

テクノロジーマップの整備に向けた調査研究
(アナログ規制の見直しに向けた技術実証等) における技術実証

技術実証報告書

実証類型番号 6 :

カメラ、ドローン、ロボット、AI 等を活用した自然物等の実地調査の実証

KDDI スマートドローン株式会社

2024 年 1 月 31 日

目次

1 技術実証の概要	1-1
1.1 目的	1-1
1.2 対象業務（法令）	1-1
1.3 全体像	1-2
1.4 実施体制・期間	1-9
1.4.1 実施体制	1-9
1.4.2 実施期間	1-9
2 技術実証内容の詳細	
実施項目 A-1 の詳細	A1-1
実施項目 A-2 の詳細	A2-1
実施項目 B の詳細	B-1
実施項目 C-1 の詳細	C1-1
実施項目 C-2 の詳細	C2-2
実施項目 C-3 の詳細	C3-1
実施項目 D の詳細	D-1
実施項目 E の詳細	E-1
3 技術実証の結果	
実施項目 A-1 の技術実証の結果	A1-20
実施項目 A-2 の技術実証の結果	A2-13
実施項目 B の技術実証の結果	B-21
実施項目 C-1 の技術実証の結果	C1-13
実施項目 C-2 の技術実証の結果	C2-9
実施項目 C-3 の技術実証の結果	C3-7
実施項目 D の技術実証の結果	D-2
実施項目 E の技術実証の結果	E-10
4 技術実証のまとめ	4-1
4.1 各評価の評価結果サマリー	4-1

1 技術実証の概要

1.1 目的

現在、国の職員等が、広大な自然環境（自然保護地域や自然公園など）に立ち入って実施している自然物等の実地調査について、カメラ、ドローン、センサー等による情報収集に加え、AI 等によるデータ解析技術を活用し、リスク評価や環境影響評価の支援や精緻化を可能とすることで、効率化・省人化を目指すこととされている。

そのため、現在、人が行っている実地調査について、実際にデジタル技術の活用による代替が可能であるかを実証する。

1.2 対象業務（法令）

(1) 対象業務（概要）

本実証において対象とした業務は以下のとおりである。

① 自然環境保全法第 28 条、第 31 条、第 47 条に係る実地調査

自然環境の保全計画の妥当性や変更の必要性、保全事業の決定・執行の妥当性等を確認するため、保全計画と現場との乖離や管理上の支障の有無、対処の必要のある課題の有無、現場の状況について職員が自然環境保全地域に立ち入って調査する。

具体的には自然環境保全地域に指定された湾内における海草の生育状況の調査や、森林の生育状況の調査等が挙げられる。

② 自然公園法第 33 条、第 62 条、第 76 条及び、自然公園法施行規則第 13 条の 5 に係る実地調査

自然公園計画の妥当性や変更の必要性、公園事業の決定・執行の妥当性等を確認するため、公園計画と現場との乖離や管理上の支障の有無、対処の必要のある課題の有無、現場の状況について職員が国立・国定公園内に立ち入って調査する。また、利用調整地区内における状況（例えば、利用者や動植物、景観等）について、国立・国定公園内を巡視し、調査する。

具体的には自然公園における水鳥等の生息状況や海浜植物の生育状況の調査や、利用調整区域内における来場者数や駐車台数等の利用状況や二ホンジカやヒグマ等の生息状況の調査等が挙げられる。

③ 大分県環境緑化条例第 23 条に係る実地調査

保護樹木や保護樹林の指定又は保全その他緑化に関し、貴重な樹木等の保護を図るため、樹木の状態（高さ、樹齢、幹回りの寸法等）や樹林を構成する樹種等について、職員が現地に立ち入って調査する。

1.3 全体像

(1) 実証内容

本実証では、以下の内容について実証を実施した。

- ① 国立公園の利用調整地区内において、エリア内の公園利用者及びエリア内を生息地とする野生動物（ツキノワグマ又はヒグマ、ニホンジカ、アライグマを対象として想定し、これらの動物種の自動判定を行うため他の哺乳類も判定対象として想定）のエリア内の出入りや存在の有無、数、位置、画像等の情報をカメラやセンサー等の遠隔操作により取得する。（（2）実証項目の①実施項目 A に該当）
- ② 国立公園又は自然環境保全地域の指定・拡張や保全計画の決定・変更等に関し、現地の自然環境や土地利用、風景・景観、利用状況等の情報をカメラやセンサー等の遠隔操作により、人による調査等（アンケートやヒアリング調査等）と同等以上の精度で取得する。（（2）実証項目の②実施項目 B に該当）
- ③ 動植物の個体群又は群集若しくは群落の生息状態又は生育状態について、カメラやセンサー等の遠隔操作により情報を取得する。（（2）実証項目の③実施項目 C、⑤実施項目 E に該当）
- ④ ②、③で取得した情報について、過去に取得した情報と比較し、状況変化の検出を自動で行う。（（2）実証項目の④実施項目 D に該当）

(2) 実施項目

対象業務（法令）及び実証内容に応じて以下の実施項目 A～E の 5 つの実証を実施した。また、実施項目 A 及び C については、複数の場所及び調査対象に応じた実証を行っているため、実施項目 A については A-1、A-2、実施項目 C については C-1、C-2、C-3 に分類をした。対象業務と各実施項目の対応表を表 1-1 に、実施項目の概念図を図 1-1 に示す。

- ① 実施項目 A
Starlink（低軌道衛星通信）等を活用したニホンジカやヒグマ等の生息状況調査
A-1：吉野熊野国立公園におけるニホンジカ及びツキノワグマの生息状況調査
A-2：知床国立公園におけるヒグマ及びアライグマの生息状況調査
- ② 実施項目 B
ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得
- ③ 実施項目 C
ドローンの遠隔操作による動植物の個体群、群集又は群落の生息・生育状態の情報取得
C-1：厚岸霧多布昆布森国定公園における水鳥類の生息状況把握
C-2：瀬戸内海国立公園（有明浜）における海浜植物群落のモニタリング
C-3：崎山湾・網取湾自然環境保全地域におけるウミシヨウブ群落の生育状況調査
- ④ 実施項目 D

実施項目 B、C で取得した情報を基にした状況変化の自動検出

⑤ 実施項目 E

ドローンを活用した大分県特別保護樹林の指定、保全のための調査業務

表 1-1 対象業務と実施項目の対応表

	対象業務（法令）		
	自然環境保全法第 28 条、第 31 条、第 47 条に係る実地調査	自然公園法第 33 条、第 62 条、第 76 条及び、自然公園法施行規則第 13 条の 5 に係る実地調査	大分県環境緑化条例第 23 条に係る実地調査
実施項目 A	—	○	—
実施項目 B	○	○	—
実施項目 C	○	○	—
実施項目 D	○	○	—
実施項目 E	—	—	○

※対象業務が該当しない実施項目については『—』を記入

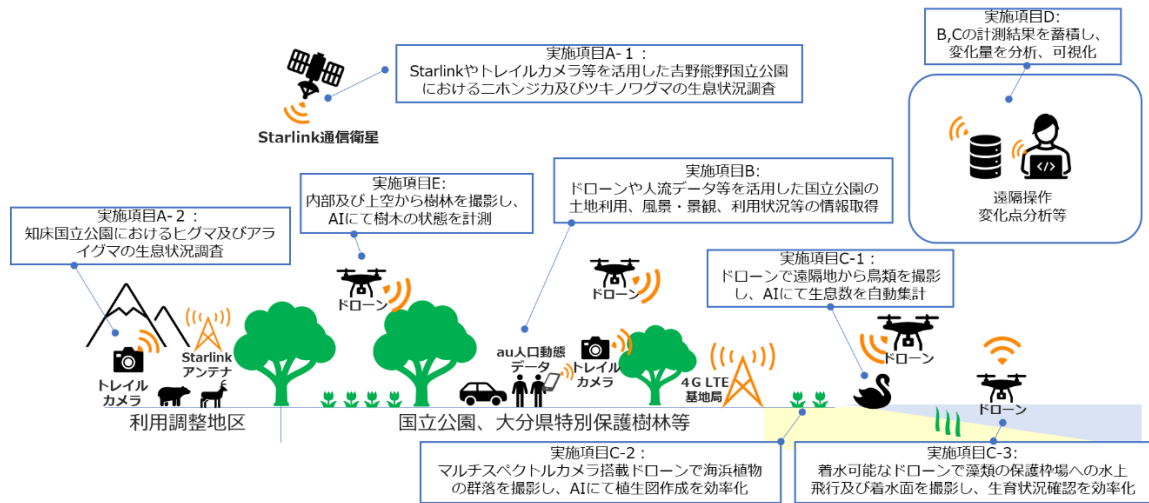


図 1-1 実施項目の概念図

(3) 技術概要

本実証の各実施項目における技術概要は表 1-2 のとおり。

表 1-2 実証での技術概要

項目	技術概要
実施項目 A) Starlink（低軌道衛星通信）等を活用したニホンジカやヒグマ等の生息状況調査	<ul style="list-style-type: none"> ・ 赤外線センサー付きトレイルカメラ（4GLTE 回線）：対象地域内に設置し、カメラの近くで検知された動物の撮影を行う。 ・ Starlink 回線又は 4GLTE 回線を活用したシステム：撮影した画像を回線を通して、クラウド上に構築されたシステムに送信する。 ・ 画像認識 AI（動物検知）：撮影された画像の動物の種類を判定する。
実施項目 B、D) ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得	<ul style="list-style-type: none"> ・ au 人口動態データ：スマートフォンの位置情報ビッグデータであり、本データに対し、属性情報を紐づけ、性・年代等の分析を可能とする。 ・ トレイルカメラ：対象地域内に設置し、来場者数カウントを行うための撮影を行う。 ・ 画像認識 AI（利用者検知、車検知）：撮影された画像の人や車を判定しカウントを自動的に行う。 ・ ポート付きドローン：駐車場を撮影し、AI で解析するための駐車台数の画像や映像を取得する。 ・ 360 度カメラ、バイノーラル録音：現地状況（静謐（せいひつ）、自然音）の再現に向けた音や映像を記録する。
実施項目 C、D) ドローンの遠隔操作による動植物の個体群、群集又は群落の生息・生育状態の情報取得	<ul style="list-style-type: none"> ・ ドローン+画像処理 AI：水鳥の群れを上空から撮影し、取得した画像、映像から AI により水鳥の数を自動カウントする。 ・ ドローン（マルチスペクトルカメラ搭載）：空撮画像（可視光線）と植物の活性度を示す NDVI 指数（マルチスペクトル）で植生分布・活性度を可視化する。 ・ 着水型ドローン：空中・水面両方から海草の生育状況・分布状況、海草の保護枠の異変の有無を撮影する。
実施項目 E) ドローンを活用した大分県特別保護樹林の指定、保全のための調査業務	<ul style="list-style-type: none"> ・ ドローン（上空からの空撮用）：樹林上空からドローンにより空撮を行う。 ・ 測量ソフト：樹林上空からの空撮画像データから、立体地形データを生成し樹林面積や立ち木本数を解析する。 ・ 小型ドローン（樹林内部からの計測用）：樹林内を小型ドローンで撮影する。 ・ 森林資源量測定システム：樹林内を撮影した画像より、空間をデータ化し、樹木の胸高直径を測定する。 ・ AI：ドローンで撮影したデータから樹種の判定及び樹木の検知を行う。

(4) 実証場所

本実証の各実施項目における実証場所は表 1-3 及び図 1-2 のとおり。

表 1-3 本実証場所

項目	実証場所
実施項目 A) Starlink (低軌道衛星通信) 等を活用したニホンジカやヒグマ等の生息状況調査	<ul style="list-style-type: none"> ・実施項目 A-1: 吉野熊野国立公園 ・実施項目 A-2: 知床国立公園
実施項目 B、D) ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得	<ul style="list-style-type: none"> ・実施項目 B、D: 吉野熊野国立公園 大台ヶ原 ・実施項目 B (一部)、D: KDDI 小山ネットワークセンター (実証の一部について実施)
実施項目 C、D) ドローンの遠隔操作による動植物の個体群、群集又は群落の生息・生育状態の情報取得	<ul style="list-style-type: none"> ・実施項目 C-1、D: 厚岸霧多布昆布森国定公園 ・実施項目 C-2、D: 瀬戸内海国立公園 (有明浜) ・実施項目 C-3: 崎山湾自然環境保全地域
実施項目 E) ドローンを活用した大分県特別保護樹林の指定、保全のための調査業務	<ul style="list-style-type: none"> ・実施項目 E: 柞原八幡宮の森 ・実施項目 E: 日吉神社の森

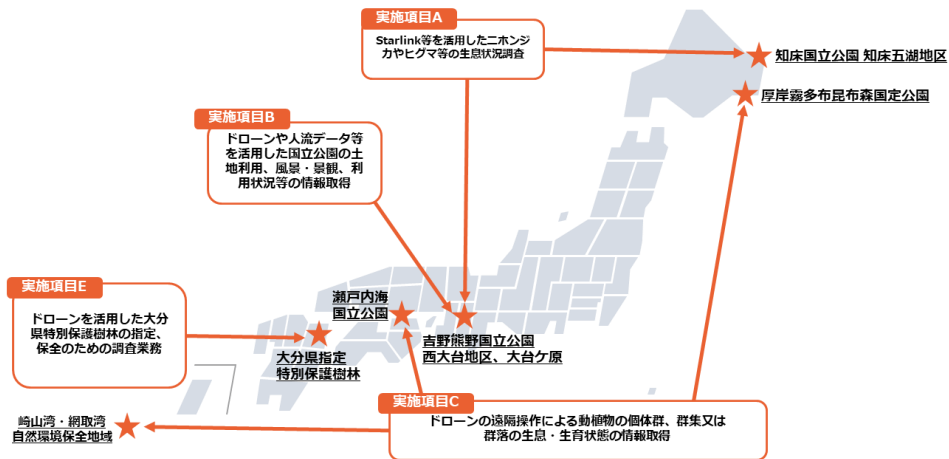


図 1-2 実施項目ごとの実証場所の概念図

(5) 実施条件

各実施項目において前提として求められていた条件と機能は表 1-4 のとおりである。

表 1-4 実証内容に共通な条件と機能

実証内容に共通な条件と機能
(1) 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること。
(2) 自然環境（特に生物）への影響に配慮したデジタル機材や情報収集方法とすること。
(3) 対象法令及び関係法令の規制に抵触せず、また公園利用に著しい支障（例えば、ドローン落下により景観や地形を損傷する、放置状態にする等）を与えないデジタル機材や情報収集方法とすること。
(4) 広大な面積、複雑な地形、見通しが悪い森林や暗所、動物移動の観測など自然物の特有の状態でも取得する情報の正確性を確保することが可能なデジタル機材や情報収集方法とすること。
(5) 自然環境の雰囲気（静謐、自然音、香り等）の把握に際して、人間の五感を可能な限り再現すること。
(6) 取得したカメラやセンサー等での取得情報は、利用調整地区制度を管理する施設にリアルタイムで送信し表示させること。
(7) 国立公園の普通地域又は自然環境保全地域の普通地区における行為届出に関し、行為地周辺の 3次元立体構造データを作成して実証を行う場合、ノートパソコン向けの内蔵 GPU のみでも支障なく動作し操作ができるものとすること。

(6) 技術実証の評価のポイント・評価方法の概要

各実施項目において、現状業務の手法を代替できるかについて 8 つの観点（表 1-5）から検証するとともに、前提として求められていた条件や機能要件を満たしているか（表 1-6）も併せて検証を行う。

表 1-5 QCDS（Quality、Cost、Delivery、Safety）の観点からの確認方針

評価ポイント		確認方針
Quality	①網羅性の比較	・従来手法と比較し、より広範囲をカバーした情報が取得できているかを検証する。 ・従来手法と比較し、必要データが網羅的に出力できているかを検証する。
	②正確性の比較	・取得したデータによって、従来のような集計・推計実施が可能かを検証する。 ・従来手法と比較し、詳細かつ正確なデータが出力できているかを検証する。
	③継続性の比較	・取得したデータが、従来手法によって得られた情報との比較が可能かを検証する。
Cost	④経済性の比較	・従来手法と比較し、工程全体で発生する費用がどの程度軽減されているかを検証する。
Delivery	⑤機動性の比較	・従来手法と比較し、業務に要する期間が短縮されているかを検証する。
	⑥再現性の比較	・同じ場所での撮像と出力を複数回行い、取得したいずれのデータも、評価ポイント①②に合致しているかを検証する。
Safety	⑦安全性の比較	・従来手法において生じる危険リスクが、ドローンやデジタル技術活用によって軽減・解消されているか、また新たに生じうるリスクがないかを検証する。
	⑧機密性の比較	・従来手法と比較し、出力データ管理に係るセキュリティが適切に担保されているかを検証する。

表 1-6 前提条件等に関する評価方法

実証内容に共通な条件と機能	実施項目ごとの評価方法			
	実施項目 A) Starlink（低軌道衛星通信）等を活用した二ホンジカやヒグマ等の生息状況調査	実施項目 B) ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得	実施項目 C) ドローンの遠隔操作による動植物の個体群、群集又は群落の生息・生育状態の情報取得	実施項目 E) ドローンを活用した大分県特別保護樹林の指定、保全のための調査業務
（１） 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証時の風速、降雨状況、温度などの外気状況について計測・記録し、使用機材の耐用条件を基準として検証し、実証成功時にデジタル活用による業務代替可能な天候条件を評価する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 最寄りのアメダスデータや現地調査時に取得した気象条件をもとに、実証期間中の気温、降水量、風速について整理して、使用機材の耐用条件を基準として検証し、実証成功時にドローン活用による業務代替可能な天候条件を評価する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 最寄りのアメダスデータや現地調査時に取得した気象条件をもとに、実証期間中の気温、降水量、風速について整理して、使用機材の耐用条件を基準として検証し、実証成功時にドローン活用による業務代替可能な天候条件を評価する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 最寄りのアメダスデータや現地調査時に取得した気象条件をもとに、実証期間中の気温、降水量、風速について整理して、使用機材の耐用条件を基準として検証し、実証成功時にドローン活用による業務代替可能な天候条件を評価する
（２） 自然環境（特に生物）への影響に配慮したデジタル機材や情報収集方法とすること。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 騒音、強い光、周囲の景観に沿わない色彩、悪臭などを発生させない機材を選定し、動物が撮影されているか評価する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 騒音、強い光、周囲の景観に沿わない色彩、悪臭などを発生させない機材を選定し、撮影対象が撮影されているか評価する ・ ドローンの飛行音等について、周囲と十分な離隔を確保する等の対策を実施の上、自然環境への影響がないかを評価する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水鳥の反応をみて退避行動とドローンの距離を把握する ・ 落下により海浜植物の損傷がなかったか評価する ・ 騒音、強い光、周囲の景観に沿わない色彩、悪臭などを発生させない機材を選定する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 騒音、強い光、周囲の景観に沿わない色彩、悪臭などを発生させない機材を選定し、ドローンの飛行音等についても、周囲と十分な離隔を確保する等の対策を実施の上、自然環境への影響がないかを評価する
（３） 対象法令及び関係法令の規制に抵触せず、また公園利用に著しい支障（例えば、ドローン落下により景観や地形を損傷する、放置状態にする等）を与えないデジタル機材や情報収集方法とすること。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 公園利用や対象法規制で求められている要件をリスト化し、実証機材・方法についてそれらの要件に準拠していることを記録する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 公園利用や対象法規制で求められている要件をリスト化し、実証機材・方法についてそれらの要件に準拠していることを記録する ・ ドローンのフェイルセーフ機能を異常時も自然環境を損傷しないよう、適切に設定し問題がないか評価する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 対象外 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 対象外

<p>(4) 広大な面積、複雑な地形、見通しが悪い森林や暗所、動物移動の観測など自然物の特有の状態でも取得する情報の正確性を確保することが可能なデジタル機材や情報収集方法とすること。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 対象動物の記録状況について、既存の事例と同程度の記録ができていますか確認する 人での模擬的な現地検査と差分を把握する 	<ul style="list-style-type: none"> 駐車場の利用状況について、想定した範囲を把握できているか確認する 人の利用状況について、調査員による記録と同程度の精度で記録できているか確認する 	<ul style="list-style-type: none"> ドローンの撮影範囲について、計画した範囲を取得したデータで把握できるか評価する 	<ul style="list-style-type: none"> ドローンの撮影範囲について、計画した範囲を取得したデータで把握できるか評価する。 人での模擬的な現地検査と差分を把握する
<p>(5) 自然環境の雰囲気（静謐、自然音、香り等）の把握に際して、人間の五感を可能な限り再現すること。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 対象外 	<ul style="list-style-type: none"> 360度動画について、VRゴーグル等を利用して視聴した際に、現地の自然環境の雰囲気を再現できているか確認する 	<ul style="list-style-type: none"> 対象外 	<ul style="list-style-type: none"> 対象外
<p>(6) 取得したカメラやセンサー等での取得情報は、利用調整地区制度を管理する施設にリアルタイムで送信し表示させること。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 対象動物（クマ類）を検知した際にシステムにラグがなく情報が送信されるか 実地で人が異常を観測した場合、その観測時刻とほぼ同時にシステムでも検知されるか確認する 	<ul style="list-style-type: none"> 対象外 	<ul style="list-style-type: none"> 対象外 	<ul style="list-style-type: none"> 対象外
<p>(7) 3次元立体構造データは、ノートパソコン向けの内蔵GPUのみでも支障なく動作し操作ができるものとする。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 対象外 	<ul style="list-style-type: none"> 対象外 	<ul style="list-style-type: none"> 対象外 	<ul style="list-style-type: none"> 対象外

1.4 実施体制・期間

1.4.1 実施体制

本実証の実施体制は表 1-7 のとおりである。

表 1-7 実施体制

事業者名	実施業務・役割
KDDI スマートドローン株式会社	全体統括、事業推進、技術実証全体企画、 実行、通信環境構築
いであ株式会社 (KDDI スマートドローン株式会社からの 再委託先)	環境の専門家観点での技術実証企画支援、 技術実証実行支援
株式会社オーイーシー (KDDI スマートドローン株式会社からの 再委託先)	大分県と連携した実施項目 E の企画支援、 技術実証実行支援
株式会社野村総合研究所 (KDDI スマートドローン株式会社からの 再委託先)	技術実証に向けたタスク等の管理及び実証 結果整理支援等を中心としたプロジェクト管 理支援
パーソルプロセス&テクノロジー株式会社 (KDDI スマートドローン株式会社からの 再委託先)	実施項目 A ～ E の準備及び現地での実証 対応支援
株式会社プロドローン (KDDI スマートドローン株式会社からの 再委託先)	着水ドローンの運用を中心とした実施項目 C- 3 の実証対応支援

1.4.2 実施期間

令和 5 年 1 0 月 1 3 日から令和 6 年 1 月 3 1 日 (契約期間)

2 実施項目 A-1 の詳細

2.1 技術実証の方法

(1) 実証内容の概要

(ア) 目的

吉野熊野国立公園において、エリア内を生息地とする哺乳類の生息状況を把握するために環境省によって行われている現地調査について、LTE トレイルカメラ、Starlink、検知 AI システムを用いることで、省力化できる可能性を検証することを目的とし実施した。

(イ) 対象業務（法令）

自然公園法第 33 条、第 62 条、第 76 条及び、自然公園法施行規則第 13 条の 5 に係る実地調査

(2) 既存調査の概要

本実証の内容の検討にあたり、事前に現在実施されている既存の現地調査の内容を確認した。環境省によって実施されている既存調査の概要は表 2-A1-1 に示すとおりであった。この内容を踏まえ、実証内容を検討、実施した。

表 2-A1-1 既存調査の概要

ニホンジカの生息状況を把握することを目的として、西大台利用調整地区および東大台地区周辺にトレイルカメラ 36 台を設置し、撮影画像を回収して判読することにより、月別にニホンジカ生息密度を解析している。
--

参考) 令和 4 年度大台ヶ原自然再生に係わる調査・検討業務報告書（環境省近畿地方環境事務所委託調査）

なお、既存調査にて使用されているトレイルカメラは、通信機能の無い Ltl Acorn Ltl-6210MC（Oldboys Outdoors 社製）であったが、本実証では、通信機能を有する LTE トレイルカメラ（ハイクカム LS4G（株式会社ハイク製））（以下、LTE トレイルカメラ）を使用した。

(3) 実証方法

実証方法の概念図を図 2-A1-1 に示す。Starlink 回線に接続した監視カメラ及び LTE トレイルカメラ（赤外線センサー付き）を対象地域内に設置し、カメラの近くで検知された動物の撮影を行い、撮影した画像を、Starlink 回線又は 4G LTE 回線を活用し、クラウド上に構築されたシステムに送信した（LTE トレイルカメラでは HykeWorks（LTE トレイルカメラのメーカーである株式会社ハイクが提供しているデータクラウドサービス）を経由）。また、画像認識 AI（動物検知）により、撮影された画像の動物の種類を判定した。ツキノワグマと判定された場合には、リアルタイムで管理施設に検出結果画像を送信するシステムを構築した。

実施項目 A | Starlink を活用したニホンジカやヒグマ等の生息状況調査
 A-1 吉野熊野国立公園におけるニホンジカ及びツキノワグマの生息状況調査

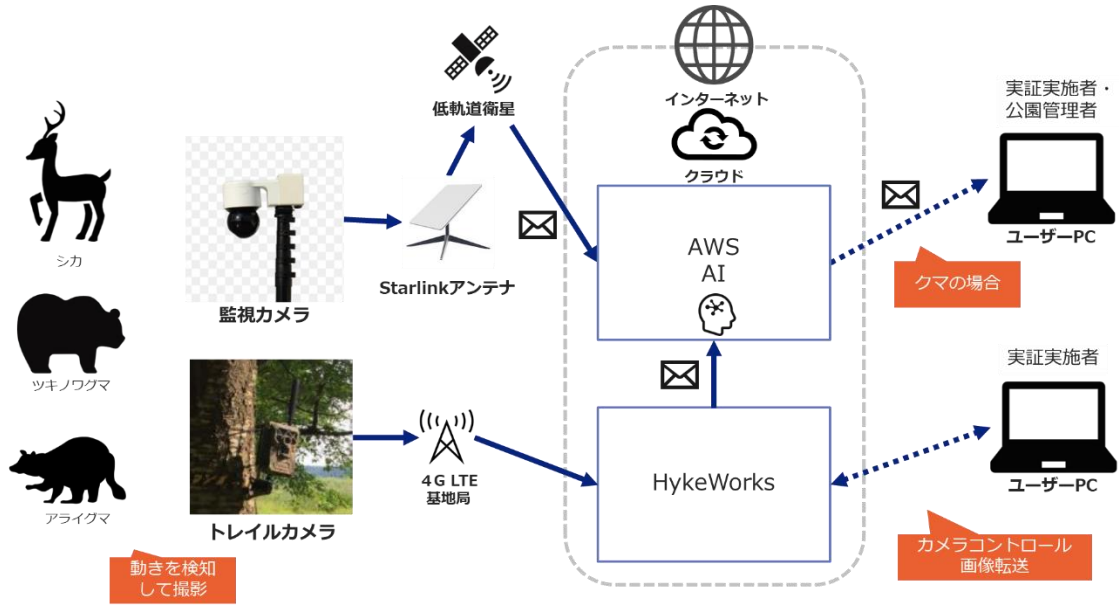
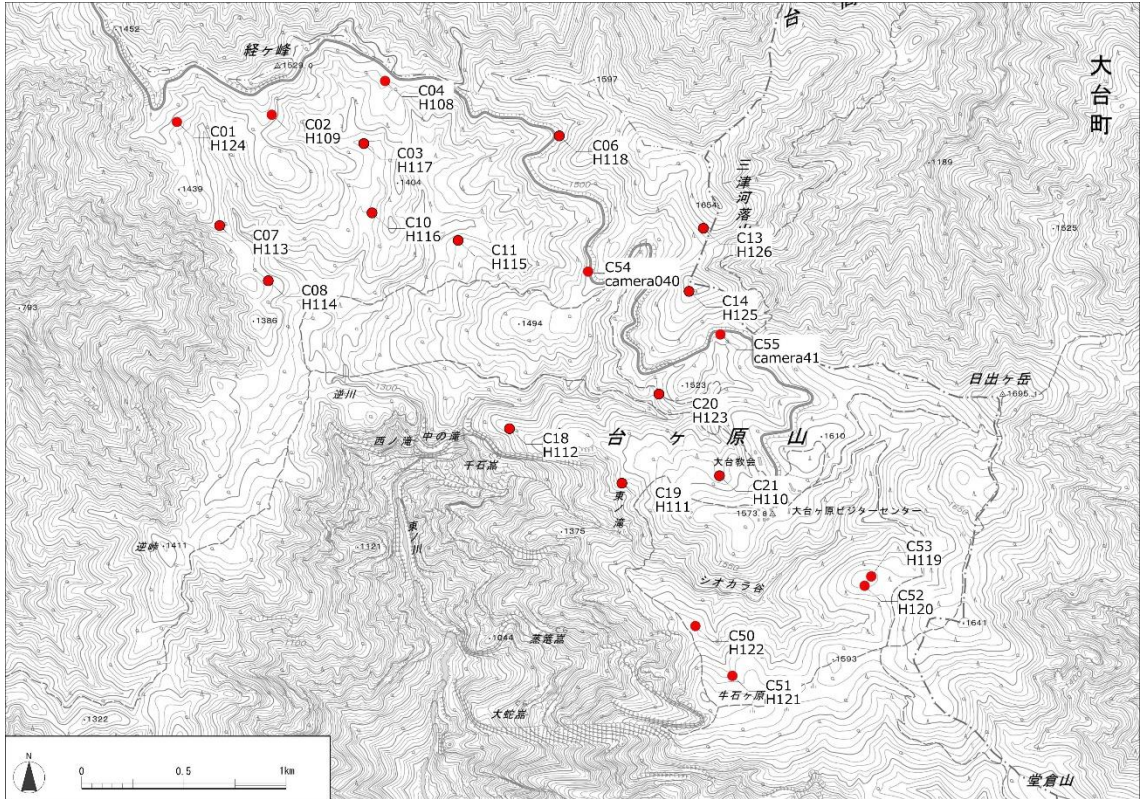


図 2-A1-1 実証方法の概念図

(ア) LTE トレイルカメラ等の準備と設置

吉野熊野国立公園大台ヶ原内に LTE トレイルカメラを 19 台、監視カメラ（株式会社オンラインスタイル社製エコパワーカメラ・スターリンク）（低軌道衛星 Starlink 回線）（以下、Starlink 監視カメラ）を 2 台設置した。LTE トレイルカメラ及び Starlink 監視カメラの設置箇所は、環境省によって行われている既存調査（トレイルカメラ（非通信）による調査）の地点のうち、本実証の対象となっている利用調整地区（西大台）内の地点と合わせた。但し、環境省との事前協議において、人の利用が多いのは東大台であり、同地でのクマの検出に意味があるとの要望を受けたため、西大台に 15 台、東大台に 4 台の LTE トレイルカメラを設置した。その設置位置を図 2-A1-2、使用機材と設置の様子を図 2-A1-3 に示す。

実施項目 A | Starlink を活用したニホンジカやヒグマ等の生息状況調査
A-1 吉野熊野国立公園におけるニホンジカ及びツキノワグマの生息状況調査



出典：電子地形図 25000（国土地理院）を加工して作成

図 2-A1-2 カメラ設置位置

実施項目 A | Starlink を活用したニホンジカやヒグマ等の生息状況調査
A-1 吉野熊野国立公園におけるニホンジカ及びツキノワグマの生息状況調査



LTE トレイルカメラ設置例① (C01 地点)



LTE トレイルカメラ設置例② (C02 地点)



Starlink 監視カメラ設置例① (C54 地点)



Starlink 監視カメラ設置例② (C55 地点)



Starlink 監視カメラのバッテリー (ブルーシート内のコンテナに収容) 及び Starlink アンテナ設置例 (C55 地点)



Starlink 監視カメラの電源供給用ソーラーパネルの設置例 (背面) (C55 地点)

図 2-A1-3 使用した機材

LTE トレイルカメラの仕様及び設定を表 2-A1-2、表 2-A1-3 に示す。LTE トレイルカメラの設置にあたっては、全て盗難防止用のセキュリティボックスに収納した上で、現地の樹木に付属のベルトで固定した。LTE トレイルカメラは、熱源の動きを感知した場合に、連続で 3 回シャッターを切る設定とした。この設定は既存調査と同じ解析を行い、比較ができるようにするために、既存調査と同じ設定とした。なお、そのうち初めの 1 枚が HykeWorks に送られる仕様とした。

表 2-A1-2 LTE トレイルカメラ（ハイクカム LS4G）の仕様

項目	内容
動作環境	-20 ～ +60℃（動作） -30 ～ +70℃（保管）
トリガースピード	0.4 秒
リカバリータイム静止画	1 秒
リカバリータイム動画	2 秒
静止画解像度	300 / 500 / 800 / 1000 / 1200 / 2400 万画素
動画解像度	WVGA 846×480 (60fps) / HD 1280×720 (60fps) / フル HD 1920×1080 (60fps) / 2K 2560×1440 (30fps) ピクセル
データ形式	静止画：JPEG / 動画：MP4
画角（水平×垂直角）	78×56°（動画 40°）
センサー反応範囲	50°
センサー反応距離	最大 25m
夜間撮影	940nm 赤外線（ノグロー）
赤外線照射距離	最大 20m
スケジュール設定	撮影開始日時設定 / センサープラン / タイムラプスプラン
タイムラプス	30 秒, 1, 3, 5, 10, 20, 30 分, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 24 時間
動作時間目安 静止画（通信使用時）	最大 20,000 枚（2,000 枚）
動作時間目安 10 秒間動画（通信使用時）	最大 2,000 本（200 本）
消費電力	1.セットアップモード-電波検索中：250～338mA / 2.セットアップモード-電波受信後最大：190～206mA / 3.SMS オン待機電力：2.7mA / 4.昼間画像撮影時最大：200mA / 5.夜間画像撮影時最大：750mA / 6.撮影モード画像送信：250mA
静止画連続撮影	静止画モード時：1-10 枚 / 静止画&動画モード時：1 枚
動画撮影時間	5, 10, 20, 30 秒, 1, 2 分
録音機能	あり（オンオフ可）
モニター	2.0 インチカラー
記録媒体	MicroSD カード 最大 32GB（SanDisk 推奨）
対応キャリア	NTT ドコモ/KDDI/SoftBank 及び各 MVNO
電源	12V 単三アルカリ・リチウム電池 12 本
外部ポート	電源ポート（12V DC） / MicroUSB（マストレージ）
メニュー言語	日本語/英語（切替可）
カメラネジ	あり（カメラ背面）
マウント	背面可動式マウント（最大傾斜 30°）

実施項目 A | Starlink を活用したニホンジカやヒグマ等の生息状況調査
 A-1 吉野熊野国立公園におけるニホンジカ及びツキノワグマの生息状況調査

本体サイズ	135×95×85mm (+アンテナ高 170mm)
重量	500g
防水防塵規格	IP65

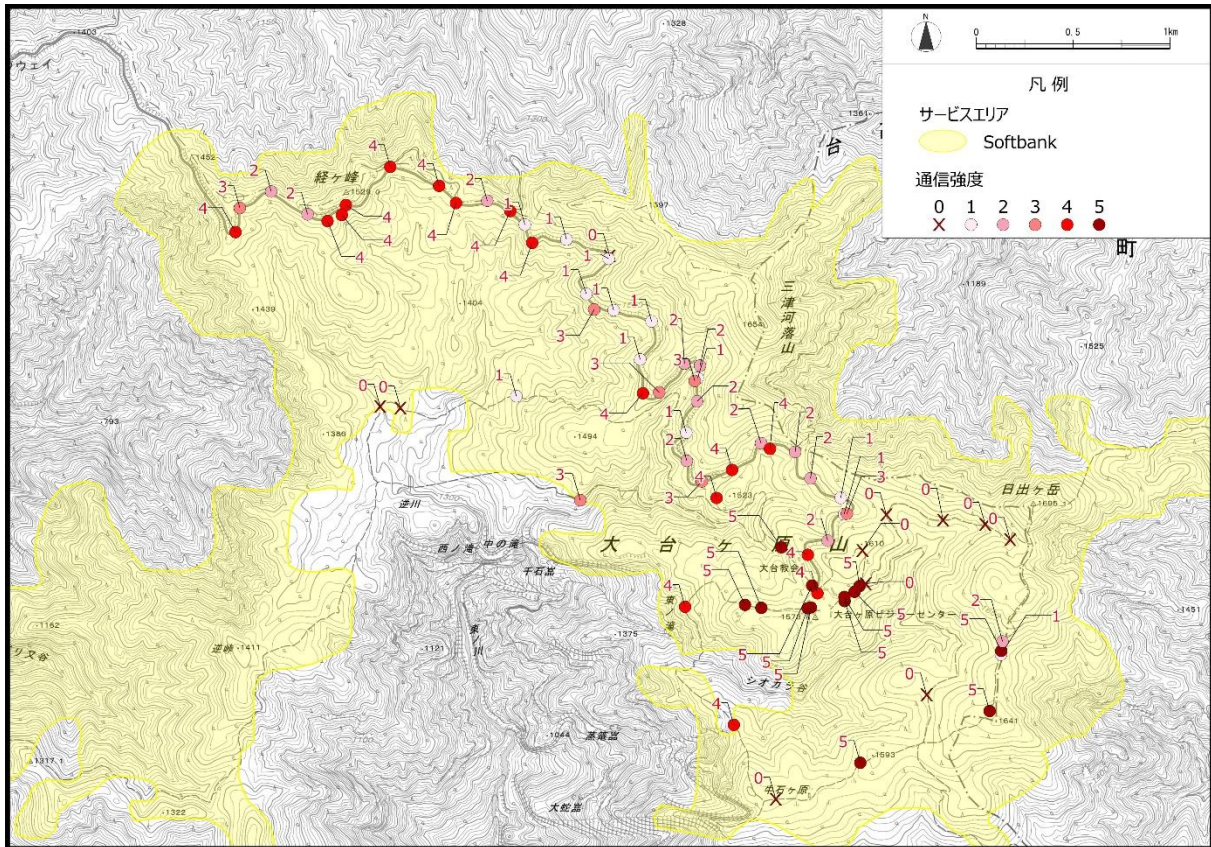
出典：ハイクカム LS4G IoT 自動撮影カメラ・株式会社ハイク・令和 5 年 12 月 28 日・<https://hyke-store.com/?pid=167840178>

表 2-A1-3 LTE トレイルカメラの本実証での設定

タブ	項目	内容
カメラ	モード	静止画
	静止解像度	300 万画素
	連続撮影	3 枚
	連続撮影間隔	最短
トリガー	センサー感度	中
	デレイ	0 秒
	タイムラプス	オフ
	スケジュール 1	オフ
	スケジュール 2	オフ
	稼働日	実行
システム	撮影開始	実行
	日時設定	実行
	カメラ ID	H101 等
	GPS 座標	オフ
	GPS 更新周期	オフ
	カメラ追跡	オフ
	パスワード	オン
	タイムスタンプ	オン
	上書き設定	オフ
	キータッチ音	オフ
	LED 表示	オン
	FW 更新	実行
	初期設定	実行
	マニュアル	実行
	光センサー	中
	言語	日本語
インフォメーション	実行	

事前に LTE 通信の状況を au、NTT docomo、Softbank の各回線についてサービスエリアマップで確認したところ、大台ヶ原では Softbank の通信網が今回調査範囲のほぼ全域をカバーしていた。事前に現地踏査を行い、スマートフォン等の LTE デバイスによって Softbank の通信強度を確認し（図 2-A1-4）、本実証においても Softbank の回線を使用することとした。なお、図示していないが利用調整地区内の遊歩道についても同様に通信状態を確認し、南西の一部を除き弱いながらも LTE 通信が可能であることを確認した。

実施項目 A | Starlink を活用したニホンジカやヒグマ等の生息状況調査
A-1 吉野熊野国立公園におけるニホンジカ及びツキノワグマの生息状況調査



出典：電子地形図 25000（国土地理院）を加工して作成

図 2-A1-4 現地踏査による LTE 電波状況の確認結果（Softbank）

Starlink 監視カメラの仕様、及び本実証での設定を表 2-A1-4 に示す。トレイルカメラが熱源の動きを感知してシャッターを切って静止画を保存・送信するのに対し、Starlink 監視カメラは常時動画を録画し、動画の中に動きを感知した際に静止画を送信する。このためトレイルカメラと比較して Starlink 監視カメラは、雨粒にも良く反応する傾向が見られた。なお、今回使用した Starlink 監視カメラは、約 1 か月常時稼働分の動画を蓄積可能である。また、蓄積した動画を Starlink 回線経由で遠隔でダウンロードすることや、Starlink 監視カメラが稼働して動画が蓄積された時間帯を遠隔で把握することも可能である。

Starlink 回線はその特性上、通信のために上空が開けている必要があること、また、本実証地域は外部電源が確保できない場所のため電源供給用のソーラーパネル及び外部バッテリーを用いたことから、設置場所は道路際の平坦地を選択した。このため、利用者の通行車両から機材が見通せる状態となったことから、環境省吉野管理官事務所と相談の上、調査中であることが遠目にもわかるように看板を設置した（図 2-A1-5）。

表 2-A1-4 Starlink 監視カメラの仕様

カメラ	ビデオとオーディオ	イメージセンサー	1/2.7" CMOS センサー
		ビデオ解像度	デフォルト：2560×1920（5.0メガピクセル）、20フレーム/秒
		レンズ	f=2.7-13.5mm F=1.6-3.3、ズームモジュール
		ビデオフォーマット	H.264
		視野角	水平方向： 96°～27°
			縦方向： 69°～21°
		デー&ナイト	IR カットフィルターによる自動切換え
		赤外線ナイトビジョン	最大 60m（190ft）まで（LED: 4個/28mil/850nm）
		カラーナイトビジョン	スポットライト: 3個/5700K/945lm
	オーディオ	双方向音声	
	電源	直流電源	DC 12.0V 2A, <24W
	インターフェース	電源	DC 電源ポート
		システム	リセットボタン
		イーサネット	10M/100Mbps RJ45 × 1
		ストレージ	MicroSD カードスロット（最大 256GB）
		オーディオ	内蔵マイクとスピーカー
	パン&チルト	パン&チルト角度	パン: 360°、チルト: 0°～90°
		パンスピード	2.5 °～50 °/s（速度設定可能）
		チルトスピード	1.5°～60 °/s（速度設定可能）
		プリセット	64
		パトロール	1つのパトロールのみ、1つのパトロールあたり最大16個プリセットを設定可能
		自動追跡	サポート
		パワーオフメモリー機能	サポート
	Wi-Fi	Wi-Fi 規格	IEEE 802.11a/b/g/n
		動作周波数	2.4GHz/5GHz
		ワイヤレスセキュリティ	WPA-PSK/WPA2-PSK
	ソフトウェア機能	フレームレート	メインストリーム：2fps～30fps（デフォルト：20fps）
			サブストリーム：4fps～15fps（デフォルト：10fps）
		コードレート	メインストリーム：1024Kbps～8192Kbps（デフォルト：4096Kbps）
			サブストリーム：64Kbps～512Kbps（デフォルト：256Kbps）
		サポートされるブラウザ	IE, Edge, Chrome, Firefox, Safari
		サポートされる OS	PC: Windows, Mac OS; スマートフォン: iOS, Android
スマートアラーム		モーション検知・人体検知・車両検知	
録画モード		モーション検知録画（デフォルト）・スケジュール録画・24時間365日持続録画	
標準プロトコル	HTTP, HTTPS, SSL, TCP/IP, UDP, UPNP, RTSP, RTMP, SMTP, NTP, DHCP, DNS, DDNS, P2P		

実施項目 A | Starlink を活用したニホンジカやヒグマ等の生息状況調査
 A-1 吉野熊野国立公園におけるニホンジカ及びツキノワグマの生息状況調査

		ユーザーアクセスの最大限	20 ユーザー（1つの管理者アカウントと19のユーザーアカウント）、最大同時に12のビデオストリームをサポート（10のサブストリームと2のメインストリーム）
	作業環境	動作温度	-10°C～+55°C（14°F～131°F）
		動作湿度	10%～90%
防水性		IP66	
サイズと重量	サイズ	Φ136 x 201mm	
	重量	1.8kg	
Starlink アンテナ	アンテナ	電子フェーズドアレイ	
	アンテナサイズ	長辺 513mm×短辺 303mm	
	方向調整	自動	
	重量	2.9kg（ケーブル除く）	
	耐環境性	IP54	
	動作温度	-30°C～50°C	
	耐風性	80km/h 以上（22.2m/s 以上）	
	融雪能力	最大 40mm/時	
	消費電力	平均：50～75W	
バッテリー	容量	1200Wh（100AH）	
	種類	リン酸鉄リチウムイオンバッテリー	
	寸法	400×390×358mm	
	重量	約 25kg	
	特徴	充電なしでも最大 5 日間連続稼働	
	備考	今回は、カメラ 1 台に対し 4 台使用	
ソーラーパネル	発電量	150W	
	備考	今回は、カメラ 1 台に対し 4 枚使用	



C54 地点



C55 地点

図 2-A1-5 Starlink 監視カメラに設置した看板

(イ) 動物検出 AI の作成

AI の学習

対象種であるクマ（ツキノワグマ）、アライグマ、シカ（ニホンジカ）を画像から検出するために、教師データとなる画像を準備し、AI に学習させ、あらかじめ設定した評価指標（全体の正解率 80%以上とし、クマについては見逃さないことが重要であることから再現率 80%以上とした）に達するまで試行錯誤を行った。また、あらかじめ設定はしていなかったが、種による検出精度の偏りも評価できるよう、アライグマのみ、シカのみ、の正解率も計算・考慮した。試行錯誤段階では AI のアルゴリズムは YOLOv5 を用いたが、YOLOv5 は AGPL v3.0 license であることから、Web サービスに組み込む場合には全てのコードの公開が必要となり、本実証の守秘義務の観点から使用が困難であった。このため、評価指標を達成後、Web サービスであるメール通知システムに搭載するために、YOLOv5 より精度と速さが向上し、Apache-2.0 license である YOLOX で再学習させ、評価指標を満たしていることを確認した。評価指標のチェックには、学習用とは別に準備した 267 枚の画像を用いた。

参考として各指標の解説と計算式を表 2-A1-5 に示す。

表 2-A1-5 予測精度の評価指標

	実際は 正	実際は 負
正と予測	TP 真陽性	FP 偽陽性
負と予測	FN 偽陰性	TN 真陰性

$$\text{正解率} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad \text{すべての予測に対する正しい予測の割合}$$

$$\text{適合率} = \frac{TP}{TP+FP} \quad \text{正と予測した中で実際に正だった割合 ※}$$

$$\text{再現率} = \frac{TP}{TP+FN} \quad \text{実際に正の中で正と予測できた割合 ※}$$

$$F\text{値} = \frac{2 \times \text{適合率} \times \text{再現率}}{\text{適合率} + \text{再現率}} \quad \text{適合率と再現率の調和平均 ※}$$

※複数の予測の精度をあわせて評価する場合（ここではクマ、アライグマ、シカをあわせた全体の評価）は、適合率、再現率、F 値は存在しない。

学習について、最終的に 13 種（inosishi、shika、itachi-ten、araiguma、kitsune、nousagi、nezumi、hakubishin、tanuki-anaguma、neko、kuma、saru、tori）を学習させた。教師データは実証者の社内蓄積情報を用い、不足分は Web 上の、機械学習目的での利用にライセンス上の問題がない画像を追加した。また、今回の対象種であるクマ、

アライグマ、シカの学習をより強化するために、他種よりも枚数を多く採用した。

最終的に学習に用いた画像枚数を表 2-A1-6 に、試行錯誤の経緯を表 2-A1-7 に、結果を表 2-A1-8、表 2-A1-9 に示す。計 9,658 枚の画像を用いて学習させた結果、最終的に、あらかじめ設定した評価指標を満足するモデルが完成し、これを採用した。

表 2-A1-6 AI による動物学習に用いた画像の枚数

Class	train	valid	total
inoshishi	408	170	578
shika	866	388	1,254
itachi-ten	354	170	524
araiguma	704	352	1,056
kitsune	596	232	828
nousagi	404	184	588
nezumi	90	50	140
hakubishin	358	158	516
tanuki-anaguma	728	304	1,032
neko	400	184	584
kuma	834	358	1,192
saru	388	146	534
tori	604	228	832
total	6,734	2,924	9,658

train : 機械学習用の画像

valid : 機械学習中に学習結果を評価するための画像

表 2-A1-7 AI による動物学習の試行錯誤経緯

モデル名	AI	使用画像枚数	conf	説明
test08	Yolov5	746	>0.2	プロトタイプ
test09	Yolov5	4,348	>0.2	画像追加 種による枚数の偏りあり
test10	Yolov5	4,829	>0.2	画像追加 種による枚数の偏りを調整
test11	Yolov5	9,658	>0.2	データ拡張を実施
test11_2	Yolov5	9,658	>0.1	予測の信頼度が低いものも出力
test12	Yolov5	3,502	>0.2	対象3種のみを学習させた
test13	YoloX	9,658	>0.2	YoloXへの切り替え
test14	YoloX	9,658	>0.2	ハイパーパラメータ及びデータ拡張の調整
test15	YoloX	9,658	>0.2	エポック数の追加

conf : 予測の信頼度の閾値。これ以下は出力しない。

エポック数 : 学習の反復回数。なお、反復した途中段階の最適解を採用している。

実施項目 A | Starlink を活用したニホンジカやヒグマ等の生息状況調査
A-1 吉野熊野国立公園におけるニホンジカ及びツキノワグマの生息状況調査

表 2-A1-8 AI による動物学習の試行錯誤結果 (全体)

対象種:	全体 (シカ、アライグマ、クマ)		test08	test09	test10	test11	test11_2	test12	test13	test14	test15
実際は対象種	対象種であると検知	TP	33	47	69	70	75	90	71	81	84
実際は対象種ではない	対象種ではないと検知	TN	155	129	137	147	140	68	143	135	145
(採用)											
正解率 (>80%目標)			70.4%	65.9%	77.2%	81.3%	80.5%	59.2%	80.1%	80.9%	85.8%

表 2-A1-9 AI による動物学習の試行錯誤結果 (種別)

対象種:	シカ		test08	test09	test10	test11	test11_2	test12	test13	test14	test15
実際は対象種 n=50	対象種であると検知	TP	13	40	39	42	45	45	39	47	46
	対象種ではないと検知	FN	37	10	11	8	5	5	11	3	4
実際は対象種ではない n=217	対象種であると検知	FP	0	26	7	6	13	66	4	16	10
	対象種ではないと検知	TN	217	191	210	211	204	151	213	201	207
(採用)											
正解率 (>80%目標)			86.1%	86.5%	93.3%	94.8%	93.3%	73.4%	94.4%	92.9%	94.8%
適合率	対象種だと検知したうち実際に対象種だった割合		100.0%	60.6%	84.8%	87.5%	77.6%	40.5%	90.7%	74.6%	82.1%
再現率	実際に対象種のものの中で対象種を検知できた割合		26.0%	80.0%	78.0%	84.0%	90.0%	90.0%	78.0%	94.0%	92.0%
F値			0.41	0.69	0.81	0.86	0.83	0.56	0.84	0.83	0.87

対象種:	アライグマ		test08	test09	test10	test11	test11_2	test12	test13	test14	test15
実際は対象種 n=30	対象種であると検知	TP	1	0	7	4	5	18	15	10	14
	対象種ではないと検知	FN	29	30	23	26	25	12	15	20	16
実際は対象種ではない n=237	対象種であると検知	FP	1	2	2	1	2	22	3	2	1
	対象種ではないと検知	TN	236	235	235	236	235	215	234	235	236
(採用)											
正解率 (>80%目標)			88.8%	88.0%	90.6%	89.9%	89.9%	87.3%	93.3%	91.8%	93.6%
適合率	対象種だと検知したうち実際に対象種だった割合		50.0%	0.0%	77.8%	80.0%	71.4%	45.0%	83.3%	83.3%	93.3%
再現率	実際に対象種のものの中で対象種を検知できた割合		3.3%	0.0%	23.3%	13.3%	16.7%	60.0%	50.0%	33.3%	46.7%
F値			0.06	-	0.36	0.23	0.27	0.51	0.63	0.48	0.62

対象種:	クマ		test08	test09	test10	test11	test11_2	test12	test13	test14	test15
実際は対象種 n=30	対象種であると検知	TP	19	7	23	24	25	27	17	24	24
	対象種ではないと検知	FN	11	23	7	6	5	3	13	6	6
実際は対象種ではない n=237	対象種であると検知	FP	1	0	1	3	6	7	7	4	1
	対象種ではないと検知	TN	236	237	236	234	231	230	230	233	236
(採用)											
正解率			95.5%	91.4%	97.0%	96.6%	95.9%	96.3%	92.5%	96.3%	97.4%
適合率	対象種だと検知したうち実際に対象種だった割合		95.0%	100.0%	95.8%	88.9%	80.6%	79.4%	70.8%	85.7%	96.0%
再現率 (>80%目標)	実際に対象種のものの中で対象種を検知できた割合		63.3%	23.3%	76.7%	80.0%	83.3%	90.0%	56.7%	80.0%	80.0%
F値			0.76	0.38	0.85	0.84	0.82	0.84	0.63	0.83	0.87

メール通知システムの構築

メール通知システムは、クマ等が検知された時にリアルタイムで検知されたという情報と画像を指定したメールアドレスに発信するシステムである。

このシステムでは、受信したメールの添付画像を Amazon のクラウドである AWS 内で AI で解析し、その結果を指定したメールアドレスに発信することとし、実証者社内の関係者には全検知結果を、社外の環境省吉野管理官事務所等にはクマが検知された場合のみ発信する仕様とした。カメラからこのシステムへのメール配信は、LTE トレイルカメラではメーカーが運用するサービスである HykeWorks を用い、Starlink 監視カメラでは直接送信した。

(ウ) 開発・準備期間

開発・準備期間を表 2-A1-10 に示す。今回、準備を開始してから現地の実証を開始するまでにトータルで 3 か月弱を要した。

LTE トレイルカメラの設置自体は通常であればそれほど時間はかからないが、設置場所が広範囲であり、徒歩以外の移動手段がないことから想定以上に期間を要した。Starlink 監視カメラは、事前の実証者の敷地内にて通信のテストを行ったが、予想以上に空が大きく開けている場所にアンテナを設置する必要があり、安定的な通信が確立する開空状況を確認するまでに数日を要した。また、対象場所が山中であり、Starlink 監視カメラの電源を確保するために大きなソーラーパネルとバッテリーが必要となり、現地でのセッティングに想定外の時間を要した。動物検出 AI の作成では、目標とした精度の達成のために試行錯誤が必要であったため、学習用の画像を収集することに想定外の時間を要した。

表 2-A1-10 開発・準備期間

項目	期間
LTEトレイルカメラ等の準備と設置	本実証に使用できる機種を選定に期間を要したが、機種が決まっており在庫があれば発注から納品までは数日。 社内手続の関係もあり、LTE 通信のために必要な SIM カードの入手に 28 日。 LTEトレイルカメラの設定は 15 分/台程度。 設置作業は 30 分/台程度であるが、徒歩で山中に多数設置したため移動時間を含めて 4 日を要した。
Starlink 監視カメラ等の準備と設置	本実証に使用できる機種を選定に期間を要したが、機種が決まっており在庫があれば発注から納品までは数日。 バッテリーのフル充電に約 3 時間～12 時間。 事前のセッティングは約 15 分/台。 現地でのバッテリー、Starlink のアンテナ、Starlink 監視カメラ、及びソーラーパネルの組み立て・設置は約 5 時間/台。今回は空が開けた場所として道路沿いを選定したが、ソーラーパネル、バッテリーが大きく重いため、徒歩のみで山中に入る場合には相当の時間を要する。
行政手続	現地の確認のための事前踏査が必要。その後申請書類の作成に約 5 日、申請先とのやりとりに数日、受理されてから許可が下りるまでは通常 1 か月。
動物検出 AI の作成	必要な精度を確保するためには、学習用画像を用意し、学習させた後に別途用意したテスト用画像で検証を行い、精度が不十分であればさらに学習用画像を追加収集する必要がある一方、種による枚数の偏りがあまりないように集める必要があることから、教師画像の収集、整理に時間を要する。収集した画像のアノテーション（1 枚ずつ画像内の動物の位置を指定する作業）は、labelimg などのツールを用いて慣れれば数分/100 枚程度。 学習は GPU を搭載したハイスペックな PC で行う必要があり、今回 NVIDIA GeForce RTX 4090 を搭載した PC を用い、約 1 万枚の学習で 3 日程度。
メール通知システムの構築	cloudpack with KDDI（AWS 利用手続の仲介サービス）を通して AWS の契約をする場合、見積もり依頼から開通まで約 1 か月。 AWS 上でシステムを組むのに 3 週間程度。



図 2-A1-6 Starlink 通信のテスト状況

2.2 実施場所等

(1) 実証期間・実証日

実証場所へのカメラ設置期間とカメラ回収期間は表 2-A1-11 のとおりである。32～34 日間、実証を行った。なお、Starlink 監視カメラについては道路脇に設置したため利用者の通行車両から機材が見通せる状態となったことから、環境省吉野管理官事務所と相談の上、調査中であることが遠目にもわかるように 11 月 2 日に看板を増強した。

表 2-A1-11 実証期間・実施日

カメラ設置	令和 5 年 10 月 24 日～26 日
点検①	令和 5 年 10 月 29 日（強風による監視カメラ向き変更の修正）
点検②	令和 5 年 11 月 2 日（周知用看板の増強・LTE トレイルカメラにかかった落ち葉の除去）
点検③	令和 5 年 11 月 12 日～13 日（ソーラーパネル設置方法変更・積雪の除去）
点検④	令和 5 年 11 月 20 日（バッテリー交換）
カメラ回収	令和 5 年 11 月 27 日～29 日

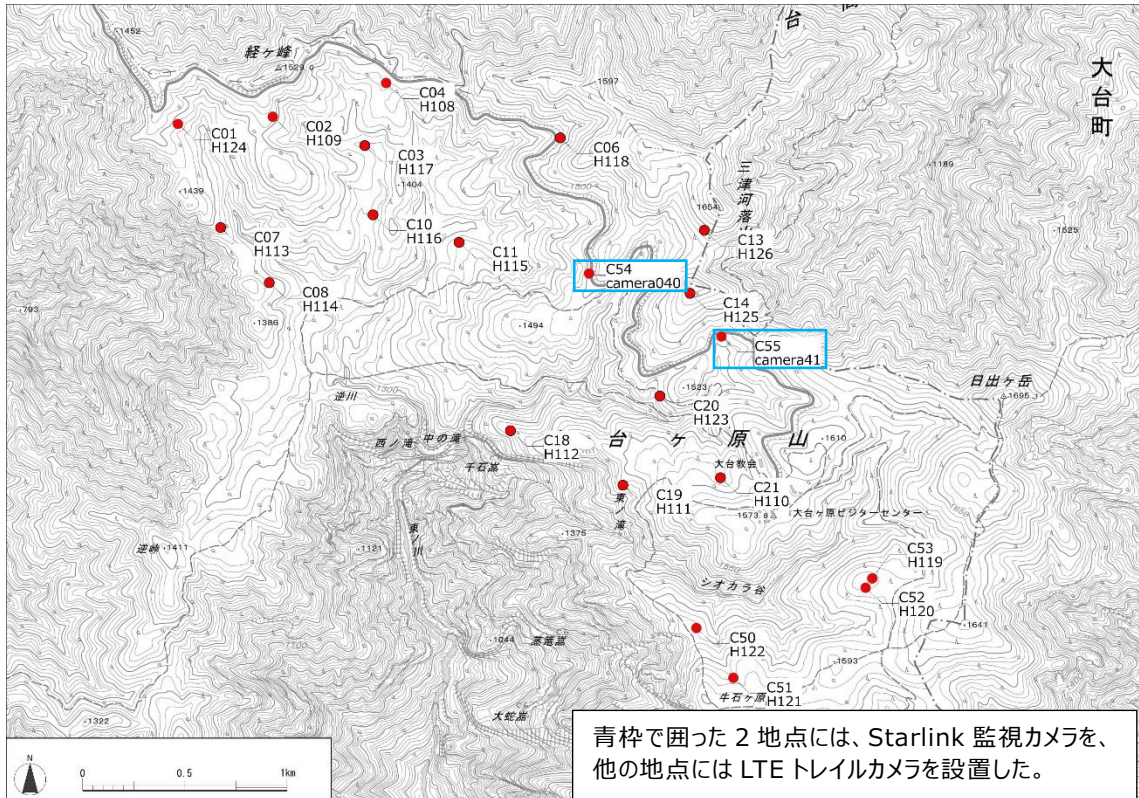


図 2-A1-7 LTE トレイルカメラ及び Starlink 監視カメラの設置作業状況

(2) 実証場所

実証場所は、吉野熊野国立公園大台ヶ原西大台地区（利用調整地区）・東大台地区とし、LTE トレイルカメラ及び Starlink 監視カメラの設置位置は既存調査を参考とした。各機材の設置位置を図 2-A1-8 に示す。

実施項目 A | Starlink を活用したニホンジカやヒグマ等の生息状況調査
A-1 吉野熊野国立公園におけるニホンジカ及びツキノワグマの生息状況調査



出典：電子地形図 25000（国土地理院）を加工して作成

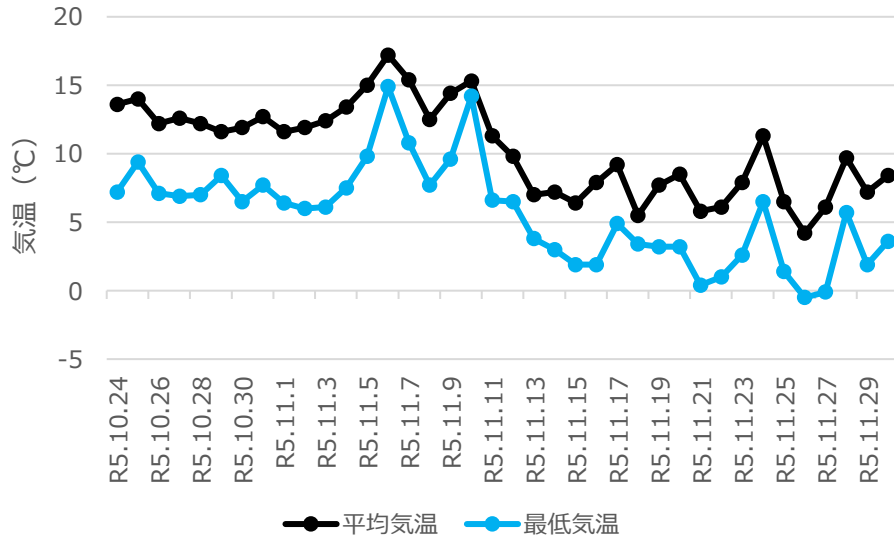
図 2-A1-8 カメラ設置位置（再掲）

(3) 実証状況

実証期間における気温・降水量・風速・日照時間を図 2-A1-9、図 2-A1-10、図 2-A1-11 に示す。なおこれらの気象データの記載にあたっては、アマガス上北山地点のデータ（過去の気象データ・ダウンロード・気象庁・令和 5 年 12 月 27 日、令和 6 年 1 月 17 日 <https://www.data.jma.go.jp/risk/obsdl/index.php>）を使用した。LTE トレイルカメラ等の調査機器のバッテリーは、一般に低温時に能力が低下することが知られているため、毎日の最低気温についてもあわせて示した。上北山地点では実証期間中に積雪が観測されなかったため割愛した。

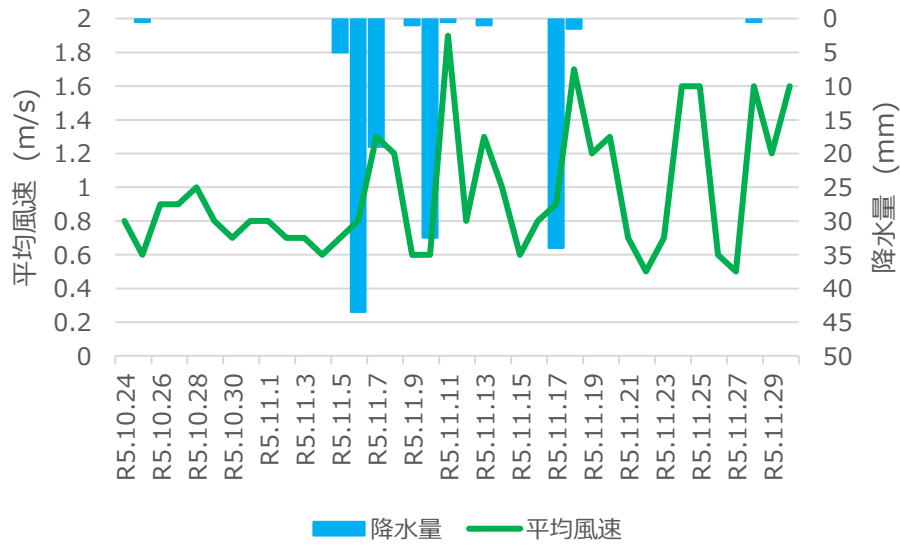
実証期間を通じての最低気温は -0.5°C 、最大の日降水量は 43.5mm であった。

実施項目 A | Starlink を活用したニホンジカやヒグマ等の生息状況調査
A-1 吉野熊野国立公園におけるニホンジカ及びツキノワグマの生息状況調査



出典：過去の気象データ・ダウンロード・気象庁・令和 5 年 12 月 27 日・
<https://www.data.jma.go.jp/risk/obsdl/index.php>

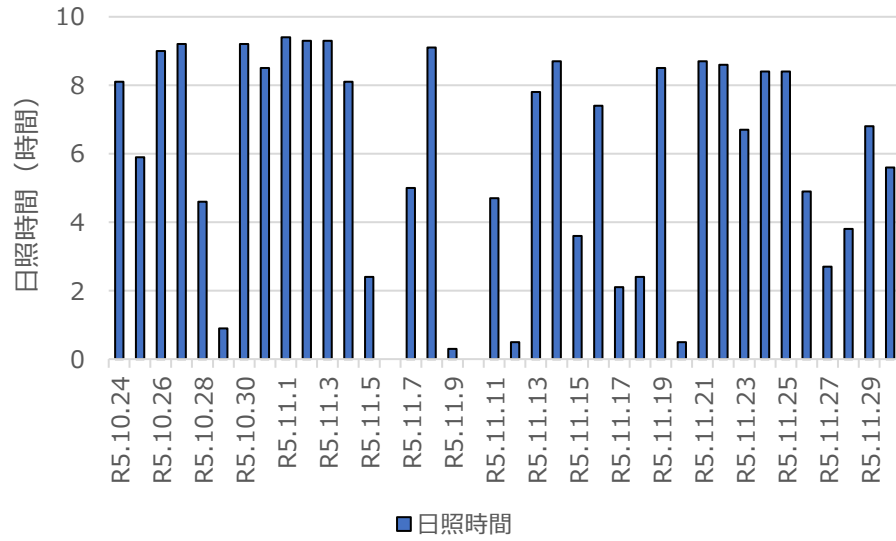
図 2-A1-9 実証期間中の気温



出典：過去の気象データ・ダウンロード・気象庁・令和 5 年 12 月 27 日・
<https://www.data.jma.go.jp/risk/obsdl/index.php>

図 2-A1-10 実証期間中の日降水量と平均風速

実施項目 A | Starlink を活用したニホンジカやヒグマ等の生息状況調査
A-1 吉野熊野国立公園におけるニホンジカ及びツキノワグマの生息状況調査



出典：過去の気象データ・ダウンロード・気象庁・令和 6 年 1 月 17 日・

<https://www.data.jma.go.jp/risk/obsdl/index.php>

図 2-A1-11 実証期間中の日照時間

2.3 実施条件等

(1) 条件と機能

実証にあたって前提として求められていた条件と機能は表 2-A1-12 に示すとおりであり、この条件等に基づき実証を実施した。

表 2-A1-12 条件と機能

実証内容に共通な条件と機能
(1) 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること。
(2) 自然環境（特に(1) 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること。
(3) 対象法令及び関係法令の規制に抵触せず、また公園利用に著しい支障（例えば、ドローン落下により景観や地形を損傷する、放置状態にする等）を与えないデジタル機材や情報収集方法とすること。
(4) 広大な面積、複雑な地形、見通しが悪い森林や暗所、動物移動の観測など自然物の特有の状態でも取得する情報の正確性を確保することが可能なデジタル機材や情報収集方法とすること。
(6) 取得したカメラやセンサー等での取得情報は、利用調整地区制度を管理する施設にリアルタイムで送信し表示させること。

(2) 行政手続

国立公園内に機器（Starlink 監視カメラ・LTE トレイルカメラ）を設置するにあたり、事前に「特別保護地区内工作物の新築許可申請書」を作成し、環境省近畿地方環境事務局長宛に提出した。なお、同地区内で別途並行して実証した「実施項目 B | ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得」で用いたトレイルカメラの設置も含めて申請を行った。

3 技術実証の結果

3.1 結果の評価ポイント・方法

(1) 実証の確認方針

1.3 (6) で概要を示した評価ポイントを踏まえて策定した実施項目 A-1 の実証の確認方針と具体的な指標等の内容を表 3-A1-1 に示すとおり整理した。

下記の評価ポイントに基づいて確認した結果は、3.2(2)に後述した。

表 3-A1-1 実証の確認方針

評価ポイント	確認方針	指標、及びその目標値
① 網羅性の比較	<ul style="list-style-type: none"> LTE や StarLink 回線を通じてクラウド上に保存された画像の数を計上・記録する (A) センサーカメラ内部に保存された数を計上・記録する (B) 調査期間を通じた A と B の差分を集計する 調査期間を通じたツキノワグマの目撃情報を集計する 	(ア) クラウドを通じた画像の取得率 (80%) (イ) ツキノワグマの目撃情報と同時期にセンサーカメラに保存された画像にツキノワグマが撮影されているか
② 正確性の比較	<ul style="list-style-type: none"> ニホンジカ、ツキノワグマの AI による正解率、適合率、再現率、F 値を計算する 	(ウ) 全体の正解率 (80%) (エ) ツキノワグマの再現率 (80%)
③ 継続性の比較	<ul style="list-style-type: none"> ニホンジカに関して、センサーカメラを用いた既存調査での記録数を集計する 	(オ) クラウド上に保存された画像においてニホンジカの既存調査と同程度の結果が得られているか
④ 経済性の比較	<ul style="list-style-type: none"> メンテナンス、システム保守に係る人件費、直接経費を計上する (A) 従来手法で実施した際の人件費、直接経費を計上する (B) 調査期間/年間を通じた A と B の差分を集計する 	(カ) 調査に係る費用が過大なものとなっているかどうか
⑤ 機動性の比較	<ul style="list-style-type: none"> システム構築後、データ完成までにかかる期間を計測する (A) 従来手法で実施した際に想定される上記の期間を集計する (B) A と B の差分を集計する 	(キ) システム構築後、データ完成までにかかる期間は従来手法と同程度となっているか (ク) ツキノワグマの発見から関係者への周知に係る工程・時間が短縮されているか
⑥ 再現性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 天候、設置場所、電波状況とセンサーカメラの撮影画像の質・量を集計する 	(ケ) 天候、設置場所、電波状況等が同様であれば、同程度の質・量の画像が取得できているかどうか
⑦ 安全性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 機器の盗難対策の実施とコストを集計する 機器メンテナンスの実施とコストを集計する 	(コ) 継続可能なコストで十分にリスクが低減できているかどうか
⑧ 機密性の比較	<ul style="list-style-type: none"> データの盗難対策の実施とコストを集計する 通信における情報漏洩防止対策の実施とコストを集計する 	(サ) 継続可能なコストで十分にリスクが低減できているかどうか

(2) 実証結果の評価方法

実証結果については、前述のとおり設定した指標等が達成できたかを確認するとともに、各実施項目において共通の前提条件や機能要件として定められた事項を満たすかも検証した。具体的には、定量的評価と定性的評価の 2 つの観点から、各項目に応じて以下の表 3-A1-2 に示すとおり評価することとした。

下記の評価方法に基づいて評価した結果は、3.2 (3) に後述した。

表 3-A1-2 前提条件等に関する評価方法

実証内容に共通な条件と機能	評価方法
(1) 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること	(ア) 実証時の風速、降雨状況、温度などの外気状況について計測し記録し、使用機材の耐用条件を基準として検証し、実証成功時にデジタル活用による業務代替可能な天候条件を評価する
(2) 自然環境（特に生物）への影響に配慮したデジタル機材や情報収集方法とすること	(イ) 騒音、強い光、周囲の景観に沿わない色彩、悪臭などを発生させない機材を選定し、動物が撮影されているか評価する
(3) 対象法令及び関係法令の規制に抵触せず、また公園利用に著しい支障（例えば、ドローン落下により景観や地形を損傷する、放置状態にする等）を与えないデジタル機材や情報収集方法とすること	(ウ) 公園利用や対象法規制で求められている要件をリスト化し、実証機材・方法についてそれらの要件に準拠していることを記録する
(4) 広大な面積、複雑な地形、見通しが悪い森林や暗所、動物移動の観測など自然物の特有の状態でも取得する情報の正確性を確保することが可能なデジタル機材や情報収集方法とすること	(エ) 対象動物の記録状況について、既存の事例と同程度の記録ができていないか 人での模擬的な現地調査と差分を把握する
(5) 自然環境の雰囲気（静謐、自然音、香り等）の把握に際して、人間の五感を可能な限り再現すること	対象外
(6) 取得したカメラやセンサー等での取得情報は、利用調整地区制度を管理する施設にリアルタイムで送信し表示させること	(オ) 対象動物（クマ類）を検知した際にシステムにラグがなく情報が送信されるか確認する 実地で人が異常を観測した場合、その観測時刻とほぼ同時にシステムでも検知されるか確認する
(7) 国立公園の普通地域又は自然環境保全地域の普通地区における行為届出に関し、行為地周辺の 3 次元立体構造データを作成して実証を行う場合、ノートパソコン向けの内蔵 GPU のみでも支障なく動作し操作ができるものとする	対象外

3.2 結果及び評価・分析

(1) 技術実証の実施結果

吉野熊野国立公園に LTE トレイルカメラ 19 台と Starlink 監視カメラ 2 台を設置し、令和 5 年 10 月～11 月の期間に 32～34 日間の調査を行った結果、LTE トレイルカメラで 1,281 回（2,962 枚）の画像を得た。LTE 回線を経由してリアルタイムに画像を発信したのは 884 回であった。Starlink 監視カメラは全てが回線を経由したリアルタイムの画像取得であり、5,742 回（5,742 枚）の画像を得た。ツキノワグマ、アライグマは確認されず、ニホンジカは 59 回確認された。



シカ検知例



シカ検知例

図 3-A1-1 リアルタイムで AI が検出したシカの例

(2) 実証内容の確認結果

3.1 (1) で示した指標、及びその目標値に沿って結果を記載する。

(ア) クラウドを通じた画像の取得率（目標値：80%）

LTE トレイルカメラでの撮影回数は 1,281 回、クラウドを通じてリアルタイムに画像が取得できたのは 884 回であることから、その割合は 69.0%であり、当初設定した評価指標は達成できなかった。評価指標を達成できなかった原因としては、LTE の電波強度不足が考えうる。なお、Starlink 監視カメラでは動画として記録されたいち動物等が検知された場合に画像が送付される仕様であったため、取得率の検討は行わなかった。以下、確認結果の詳細を示す。

LTE トレイルカメラ内の SD カードに保存されていた画像は合計 2,962 枚であった。なお、特に LTE トレイルカメラ C02 と C18 は撮影枚数が多い結果であったが、LTE トレイルカメラ C02 は落ちてきた枯れ葉がカメラに引っかかり風で動くことにより、LTE トレイルカメラ C18 は落ちてきた枝が風で動くことにより場合によっては 1～2 分間隔でセンサーが反応したことが原因であった。LTE トレイルカメラは、1 回の動物等感知につき連続 3 枚撮影する設定としていたが、実際には連続 3 枚撮影していない場合も確認された。写真の撮影時刻を確認したところ、連続 3 枚撮影できている場合には、撮影時刻が秒単位まで同時刻になっていることから、秒単位まで同時刻でない場合には連続撮影では無いと判断した。その結果、撮影回数は 1,281 回であっ

た。

調査地点別に見ると、取得率は 0～95.2%と大きな違いがあった。

表 3-A1-3 取得画像枚数一覧

	H124	H109	H117	H108	H118	H113	H114	H116	H115	H126	H125	H112	H111	H123	H110	H122	H121	H120	H119	総計
調査地点	C01	C02	C03	C04	C06	C07	C08	C10	C11	C13	C14	C18	C19	C20	C21	C50	C51	C52	C53	計
撮影枚数	18	655	50	44	45	39	42	40	6	3	27	1586	111	3	27	60	34	166	6	2962
撮影回数	7	265	28	22	20	18	19	19	3	3	11	674	45	2	12	21	18	91	3	1281
クラウドへの送信枚数	6	188	1	13	0	12	11	0	0	0	6	528	36	1	8	20	10	42	2	884
取得率	85.7%	70.9%	3.6%	59.1%	0.0%	66.7%	57.9%	0.0%	0.0%	0.0%	54.5%	78.3%	80.0%	50.0%	66.7%	95.2%	55.6%	46.2%	66.7%	69.0%

注：C01～C21 は西大台に、C50～C53 は東大台に設置した。

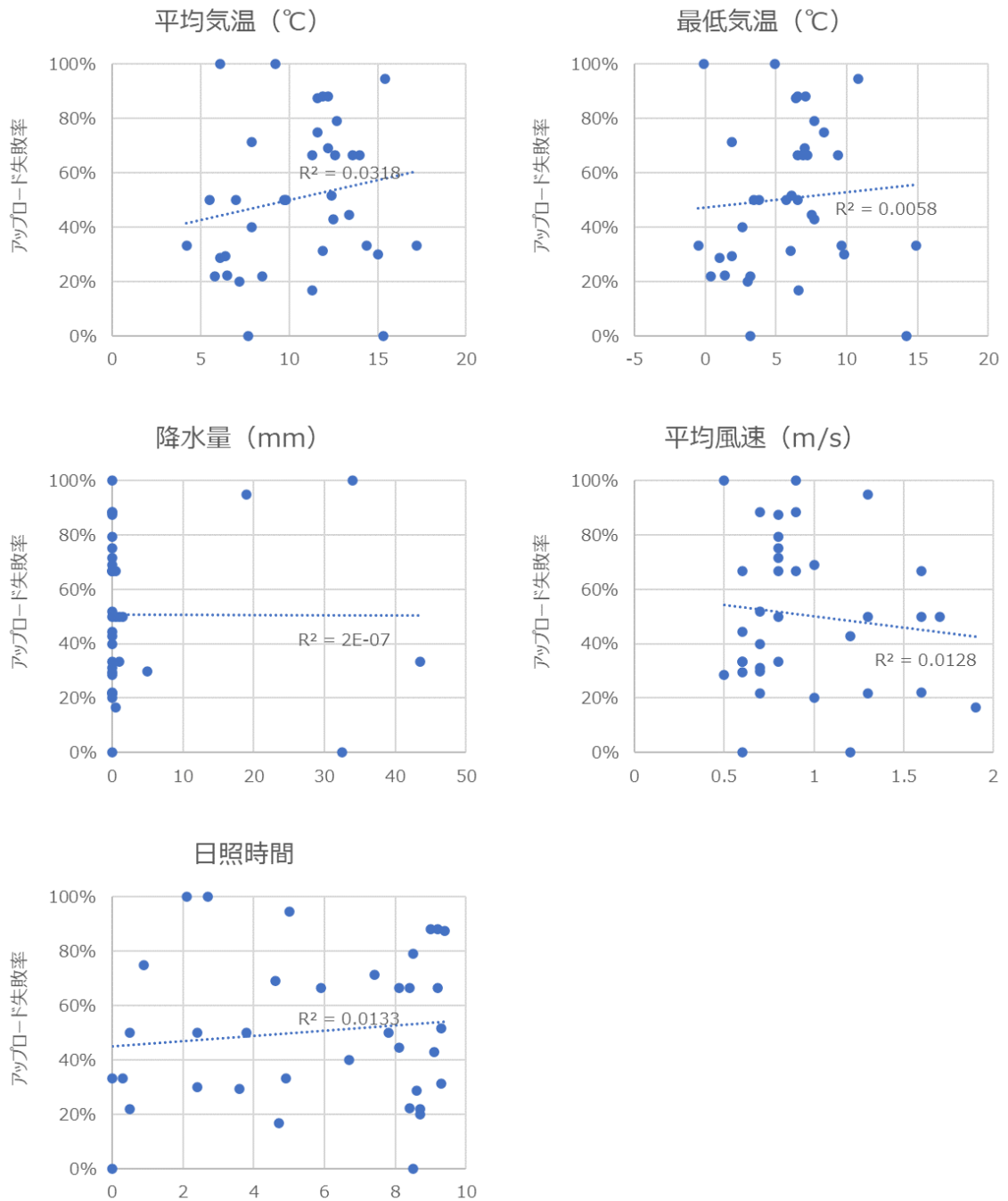
以下、画像アップロードの失敗原因について検討した。

各地点に設置した LTE トレイルカメラの電池は、回収時にも残っていた。一方、全ての LTE トレイルカメラ設置位置は携帯電話サービスエリア内であったが、LTE の電波強度は設置地点による違い、経時的な変化があった。電波強度については、クラウドにアップされた 1 枚ずつの写真について HykeWorks において送信時の電波強度を閲覧することができる。それによると、地点により「とても強い (4g)」から「とても弱い (3g)」と違いがあった。また、同じ地点でも C18 のように「とても弱い (3g)」から「強い (4g)」まで、1 分ごとに変化している例が見られた。電波強度が低下した場合には撮影した画像をアップロードすることができなかったと考えられた。このことから、各地点の撮影時点における LTE の電波強度不足が取得率の指標を達成できなかった原因と考えられた。

アップロードの失敗が発生する要因を検討するため、気温・降水量・風速・日照時間との関係を図 3-A1-2 アップロード失敗率と気象条件に示した。なおこれらの気象データはアメダス上北山地点のデータ（過去の気象データ・ダウンロード・気象庁・令和 5 年 12 月 27 日、令和 6 年 1 月 17 日・<https://www.data.jma.go.jp/risk/obsdl/index.php>）を使用した。いずれについても決定係数は 0.03 以下と低く、気象条件以外の要因によってアップロードが失敗していると考えられた。

なお、Starlink 監視カメラについては、動画のみが保存され、発報した記録がカメラ内部に残らないため、取得率の検討は行わなかった。しかし、設置した LTE トレイルカメラ 19 台からリアルタイムに取得した画像が 884 枚で、平均 46.5 枚/台であるのに対し、Starlink 監視カメラ 2 台からリアルタイムに取得した画像は 5,742 枚で、平均 2,736 枚/台と、圧倒的に多くの画像を取得することができたことから、画像の送信に関する問題はなかったものと考えられた。

実施項目 A | Starlink を活用したニホンジカやヒグマ等の生息状況調査
 A-1 吉野熊野国立公園におけるニホンジカ及びツキノワグマの生息状況調査



気象データの出典：過去の気象データ・ダウンロード・気象庁・令和 5 年年 12 月 27 日、令和 6 年 1 月 17 日・

<https://www.data.jma.go.jp/risk/obsdl/index.php>

図 3-A1-2 アップロード失敗率と気象条件

(イ) ツキノワグマの目撃情報と同時期に LTE トレイルカメラに保存された画像にツキノワグマが撮影されているか。

本実証期間内におけるツキノワグマの目撃情報はなかった（環境省吉野管理官事務所からの情報）。また、LTE トレイルカメラに保存された画像にツキノワグマは写っていなかったこと、Starlink 監視カメラでもツキノワグマは確認されなかったことから、結果は一致した。

(ウ) 全体の正解率（目標値：80%）

現地からリアルタイムで得られた LTE トレイルカメラの画像 884 枚及び Starlink 監視カメラの画像 5,742 枚、合計 6,626 枚のうち、対象種であるクマ、アライグマ、シカが写っていることを正解したのが 59 枚、対象種が映っていないことを正解したのが 6,375 枚、計 6,434 枚であったことから、正解率は 97.1%となり、当初設定した評価指標を達成した。

AI による画像解析結果の一覧を表 3-A1-4 に示す。

アライグマは確認されず、別のものをアライグマと検出した誤検知もなかった。既存調査で対象地域ではアライグマが確認されたことはなく、生息していないか、生息密度が極めて低いものと考えられた。

なお、対象 3 種の中で今回最も多く確認されたシカについては、正解率は高かった（97.2%）ものの、適合率（シカだと判断したうち実際にシカだった割合、すなわち誤検知を除く割合）が 34.7%、再現率（実際にシカだったもののうちシカであると判定できた割合、すなわち見逃しを除く割合）が 44.4%と、いずれも低い値であった。これらの精度を向上させる方法としては、今回得られた画像を用いて AI を追加学習させる方法が考えられる。今回は実証期間が短かったため実施しなかったが、得られた画像を用いて、誤検知したものはシカではない、見逃したものはシカであると追加で学習させることにより、AI の検知精度は向上すると考えられる。

表 3-A1-4 AI による動物検出結果一覧

対象種：		クマ	シカ	アライグマ	全体（シカ、アライグマ、クマ）	
実際は対象種	対象種であると検知	TP	0	59	0	59
	対象種ではないと検知	FN	0	74	0	
実際は対象種ではない	対象種であると検知	FP	7	111	0	
	対象種ではないと検知	TN	6619	6382	6626	6375

正解率（シカ、アライグマ>80%目標）		99.9%	97.2%	100.0%	97.1%
適合率	対象種だと検知したうち実際に対象種だった割合	0.0%	34.7%	-	
再現率（クマ>80%目標）	実際に対象種のものの中で対象種を検知できた割合	-	44.4%	-	
F値		-	0.39	-	

実施項目 A | Starlink を活用したニホンジカやヒグマ等の生息状況調査
A-1 吉野熊野国立公園におけるニホンジカ及びツキノワグマの生息状況調査



シカ検知例



シカ検知例



シカ見逃し例 (遠いためと思われる)



シカ見逃し例 (遠い・木の陰にいるためと思われる)



シカ見逃し例 (霧で不鮮明なためと思われる)



シカ見逃し例 (ジャンプでブレているためと思われる)

実施項目 A | Starlink を活用したニホンジカやヒグマ等の生息状況調査
A-1 吉野熊野国立公園におけるニホンジカ及びツキノワグマの生息状況調査



シカ誤検知例（原因不明）



シカ誤検知例（枝を角と間違っていると思われる）



シカ誤検知例（枝を角と間違っていると思われる）

左の写真は、LTE トレイルカメラの前に枝が落ちてきてひっかかったもの。2 本の枝をオス鹿の角と間違えたものと思われる。枝が揺れるのをカメラが感知し、11/20 から 11/21 の間に 100 枚を超える誤検知が発生した。

図 3-A1-3 撮影された動物と検出事例（シカ）

実施項目 A | Starlink を活用したニホンジカやヒグマ等の生息状況調査
A-1 吉野熊野国立公園におけるニホンジカ及びツキノワグマの生息状況調査



アナグマ



イタチかテン



イノシシ



図 3-A1-4 (1) 撮影された動物と検出事例 (その他)

実施項目 A | Starlink を活用したニホンジカやヒグマ等の生息状況調査
 A-1 吉野熊野国立公園におけるニホンジカ及びツキノワグマの生息状況調査



キツネ



サル



ニホンリス

リスは学習させていないためイタチかテンと誤検知

図 3-A1-5 (2) 撮影された動物と検出事例 (その他)

(エ) ツキノワグマの再現率 (目標値 : 80%)

現地からリアルタイムで得られた画像にはツキノワグマは撮影されていなかったことから、当初設定した評価指標は評価できなかった。なお、リアルタイムで検出した画像での誤検知は 5 例あり、いずれも同じカメラ (Starlink 監視カメラ) の同じ撮影対象物 (苔生した木か岩) であった。

回収後の LTE トレイルカメラの SD カード内に保存されていた全ての画像を確認したが、ツキノワグマは写っていないかった。また、調査期間中にツキノワグマの目撃事例もなかった (環境省吉

野管理官事務所からの情報)。4 月以降、本実証を開始した 10 月下旬までの期間でもツキノワグマの目撃事例は 3 件のみであったことから、かなり生息密度は低いものと考えられた。



クマ誤検知例



(拡大)

図 3-A1-4 (3) 撮影された動物と検出事例 (その他)

(オ) クラウド上に保存された画像においてニホンジカの既存調査と同程度の結果が得られているか

本実証において、11 月のニホンジカの生息密度指標は 3.0 頭/km²であった。既存調査において、11 月のニホンジカの生息密度指標は約 2~7 頭/km²であり、既存調査の生息密度指標の範囲内の指標が算出できたことから、当初設定した評価指標を達成した。

既存調査（非通信トレイルカメラによる調査、令和 4 年度大台ヶ原自然再生に係わる調査・検討業務報告書）では、トレイルカメラによる撮影画像からニホンジカの生息密度指標を算出する方法として、REM 法（Random Encounter Model）が用いられている。この方法では、撮影可能距離や画角が統一されたトレイルカメラを 20 台程度設置すべきとされている。そこで本実証ではカメラ撮影可能距離や画角が共通する LTE トレイルカメラ 19 台のデータを用いて検討し、撮影可能距離や画角が異なる Starlink 監視カメラ 2 台分のデータについては除外した。

REM 法に基づく生息密度指標は、以下の式を用いて算出した（Rowcliffe, J. M., Field, J., Turvey, S.T. and Carbone, C. 08, Estimating animal density using camera traps without the need for individual recognition. Journal of Applied Ecology, 45 (4) , pp.1228-1236.）。

$$D = gy/t \times n / vr (2+\theta)$$

g : ニホンジカの群れサイズ (頭)

y : 撮影枚数 (枚/台)

t : 調査日数 (日)

v : ニホンジカの移動速度 (km/日)

r : カメラの検知距離 (km)

θ : カメラの検知角度 (ラジアン)

ニホンジカが連続して撮影された場合、撮影の間隔が 10 分以上離れていた場合には独立した撮影と判断した。ニホンジカの群れは、1 回の独立した撮影で写ったニホンジカを 1 つの群れと定義した。ニホンジカの群れサイズは、1 つの群れについて撮影されたのべ個体数を、撮影された写真の枚数で割ることにより算出した。

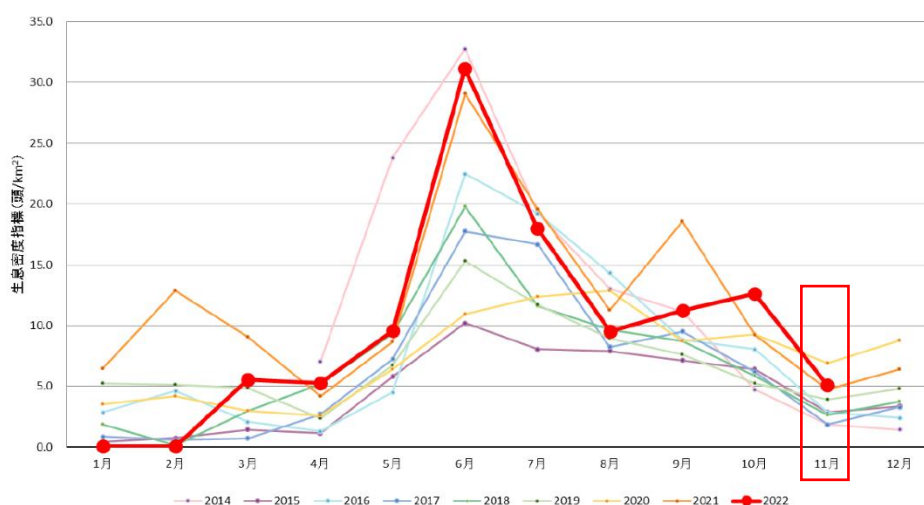
ニホンジカの移動速度については、「平成 27 年度大台ヶ原ニホンジカ個体数調整業務」、「令和 2 年度大台ヶ原ニホンジカ個体数調整手法開発業務」及び「令和 3 年度大台ヶ原ニホンジカ個体数調整業務」において実施した GPS テレメトリー調査の結果を用いた。

本実証において用いた各パラメータの値を表 3-A1-5 に、既存調査における生息密度を図 3-A1-6 に示す。

既存調査において、11 月のニホンジカの生息密度指標は約 2~7 頭/km²であった。本実証では 3.0 頭/km²であり、既存調査と同等の値が得られたことから、当初設定した評価指標を達成した。

表 3-A1-5 ニホンジカ密度推定に用いたパラメータの値

パラメータ	値	備考
g : ニホンジカの群れサイズ (頭)	1.325	
y : 撮影枚数 (枚/台)	4.05	
t : 調査日数 (日)	27.0	11 月の調査時間を 24 時間で 1 日として計算した
v : ニホンジカの移動速度 (km/日)	2.930	既存調査より引用
r : カメラの検知距離 (km)	0.025	カメラの仕様
θ : カメラの検知角度 (ラジアン)	0.872	カメラの仕様



出典：令和 4 年度大台ヶ原自然再生に係わる調査・検討業務報告書

図 3-A1-6 既存調査におけるニホンジカ生息密度

(カ) 調査に係る費用が過大なものとなっていないかどうか

本実証で、メンテナンス、システム保守に係った人件費及び直接経費、及び、本実証内容を従来手法で実施した場合の人件費、直接経費の想定を表 3-A1-6 に示す。調査にかかる費用の総額は従来手法が 7,148,100 円、実証手法は 8,210,020 円と試算した。従来手法より実証手法の方が 1,061,920 円高い結果となった。

従来手法と比べ、データの回収工数が削減になる一方、本実証の方法では SIM 通信費・Starlink 及びそのバッテリー費用・AWS 費用・システム保守の費用が高くなる。本実証と同等の条件の場合、年 100 万円程度の費用増であるが、増加の要素としては Starlink の費用が支配的であり、対象地が 4G LTE ですべてカバーされている場合はさらに費用が抑えられる可能性がある。

表 3-A1-6 本実証と従来手法で実施した場合の調査に係わる費用の比較

1年（12ヶ月、調査6回と想定）あたりトレイルカメラ19台とスターリンク監視カメラ2台を設置した場合

手法	項目	数量	単位	単価	計	摘要	
実証手法 (LTEトレイルカメラ、スターリンク監視カメラ+AI)	直接人件費	準備	5	人日	45,300	226,500	計画・踏査・許可申請等
		設置	12	人日	45,300	543,600	4人×3日
		点検	48	人日	45,300	2,174,400	4人×3日×4回 ※撮影データ回収が不要になるため従来手法より頻度減
		回収	12	人日	45,300	543,600	4人×3日
		結果整理	5	人日	45,300	226,500	AI動物検出と結果集計 1人日×5回
		計				3,714,600	従来手法との差額 -2,219,700円
	直接経費	LTEトレイルカメラ	19	台	100,000	1,900,000	購入の場合
		セキュリティバック	19	台	12,540	238,260	購入の場合
		単三電池12本	114	式	1,300	148,200	(12本セット)×19式×6 (連続2ヶ月使用)
		SIMカード	228	台月	920	209,760	Softbank 19枚×12ヶ月
		Starlink・監視カメラセット	24	台月	65,000	1,560,000	レンタル Starlink、監視カメラ、バッテリー4台、ソーラーパネル4台のセット×2
		AWS (クラウド)	12	ヶ月	30,000	360,000	使用量により増減
		Hykeworks (クラウド)	1	年	79,200	79,200	1ライセンス20台まで対応
	計				4,495,420	従来手法との差額 +3,281,620円	
	計				8,210,020	従来手法との差額 +1,061,920円	
従来手法 (トレイルカメラ)	直接人件費	準備	5	人日	45,300	226,500	計画・踏査・許可申請等
		設置	12	人日	45,300	543,600	4人×3日
		点検	72	人日	45,300	3,261,600	4人×3日×6回
		回収	12	人日	45,300	543,600	4人×3日
		結果整理	30	人日	45,300	1,359,000	写真を目で確認し動物を記録集計 6人日×5回
		計				5,934,300	
	直接経費	トレイルカメラ	21	台	50,000	1,050,000	購入の場合
		単三電池12本	126	式	1,300	163,800	(12本セット)×21式×6 (連続2ヶ月使用)
		計				1,213,800	
		計				7,148,100	

※人件費単価は令和5年度設計業務委託等技術者単価のうち技師 (B)を参照した。

(キ)システム構築後、データ完成までにかかる期間は従来手法と同程度となっているか
本実証で、システム構築後、データ完成までにかかった工程・時間、及び、本実証内容を従来手法で実施した場合の工程・時間の想定を表 3-A1-7 に示す。
従来手法と比べ、本実証の方法では、画像識別を AI のみで実施した場合には約 5 人日程度の大幅な省力化が見込まれることから、当初設定した評価指標を達成した。

表 3-A1-7 本実証と従来手法で実施した場合の工程・時間の比較

	実証手法		従来手法
	AI のみ	目視確認	目視確認
画像識別	自動	5 人日	5 人日
データ化	1 人日	1 人日	1 人日

(ク) ツキノワグマの発見から関係者への周知に係る工程・時間が短縮されているか

現地からリアルタイムで得られた画像にはツキノワグマは撮影されていなかったこと、ツキノワグマと誤認があった 5 例はいずれもメール送信システムの設定前であったことから、環境省吉野管理官事務所等への通報は 0 件であり、当初設定した評価指標は評価できなかった。但し、実証者の社内関係者へのメール通知はいずれも 1 分以内に行われたことから、実際にツキノワグマが検出できていた場合には極めて速やかに情報が伝達されたと考えられる。

(ケ) 天候、設置場所、電波状況等が同様であれば、同程度の質・量の画像が取得できているかどうか

本実証で、LTE トレイルカメラや Starlink 監視カメラで取得した画像に特に不具合はなかったことから、当初設定した評価指標を達成した。

(コ) 継続可能なコストで十分にリスクが低減できているかどうか（⑦安全性の比較）

盗難はなく、機器メンテナンスは継続可能なコストと考えられたことから、当初設定した評価指標を達成した。

機器の盗難対策として、本体のみと比較して単価 12,540 円高額となるセキュリティパッケージ（HCLS4G-SECP）を用いた。セキュリティパッケージには、盗難防止用の金属ケースとケーブルロック 2 本が含まれる（図 3-A1-7）。盗難はなかったことから、当初設定した評価指標を達成した。

また本実証では機器メンテナンスを 4 回実施し、その工数は、1 回目～3 回目がそれぞれ 1 人日、4 回目が 2 人日であったが、現地常駐者でも実施可能な簡易な作業であったことから継続可能なコストと判断し、当初設定した評価指標を達成したと判断した。



出典：ハイクカム LS4G IoT 自動撮影カメラ・株式会社ハイク・令和 5 年 12 月 28 日・<https://hyke-store.com/?pid=167840178>

図 3-A1-7 ハイクカム LS4G セキュリティパッケージ

(サ) 継続可能なコストで十分にリスクが低減できているかどうか（⑧機密性の比較）

データの盗難対策として、AWS（30,000 円/月、但し実施項目 A-2 の実証と兼ねた）と本実証で採用した LTE トレイルカメラのメーカーである株式会社ハイクが提供しているデータクラウドサービスである HykeWorks（79,200 円/20 台）を利用し、データの盗難や情報漏洩は確認されなかったことから、当初設定した評価指標を達成した。

(3) 前提条件等に関する評価結果

3.1（2）で示した評価方法に沿って結果を記載する。

(ア) 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること

本実証期間中に、積雪、霧といった悪天候があったが、その間にもリアルタイムで画像を取得できていた。なぜならば、図 3-A1-8 に示すとおり、実証期間中の現地の気温は-5～+27℃であり、LTE トレイルカメラの仕様上の動作環境である-20～+60℃の範囲内であったからである。



図 3-A1-8 荒天時の撮影記録

通信環境については、LTE では地点によって経時的に電波強度が変化することが課題として残った。

Starlink 監視カメラ、Starlink アンテナではソーラーパネルによる発電量が想定よりも少なく、設置後 13 日～16 日でバッテリー切れによる動作停止が発生し、バッテリーを交換した 26 日目まで散発的に動作停止が発生したことが課題として残った（表 3-A1-8 参照）。

表 3-A1-8 Starlink 監視カメラ、Starlink アンテナの稼働状況

設置後日数	日付	C54	C55
1~12	10月26日~11月6日	○稼働	○稼働
13	11月7日	○稼働	△動作一時停止
14	11月8日	○稼働	△動作一時停止
15	11月9日	○稼働	△動作一時停止
16	11月10日	△動作一時停止	×稼働せず
17	11月11日	△動作一時停止	△動作一時停止
18	11月12日	△動作一時停止	△動作一時停止
19	11月13日	×稼働せず	△動作一時停止
20	11月14日	△動作一時停止	△動作一時停止
21	11月15日	△動作一時停止	○稼働
22	11月16日	△動作一時停止	△動作一時停止
23	11月17日	△動作一時停止	△動作一時停止
24	11月18日	×稼働せず	×稼働せず
25	11月19日	△動作一時停止	△動作一時停止
26	11月20日	○稼働	△動作一時停止
27~33	11月21日~11月27日	○稼働	○稼働

注) 11月20日に、バッテリーを完充電したものと交換した。

日当たりの良い場所では、1枚のソーラーパネルと1台のバッテリーで継続的な運用が可能であるが、今回は山間地に設置することを考慮し、ソーラーパネル・バッテリーとも4倍の数を設置したにもかかわらず、バッテリー切れが発生した。バッテリー切れの要因として、以下の可能性が想定された。

- 道路脇の平坦な場所にソーラーパネルを設置したものの、地形や植生の影響での日陰や、天候不順により日射不足となり発電量が期待を下回った。
- Starlink 回線は、アンテナに雪が積もると電波の送受信に支障を来すため、発熱して雪を溶かす。実証期間中には積雪が見られたことから、電力消費が大きかった。
- 一般的にバッテリーは低温により能力が低下することが知られている。実証期間中の10月26日以降には気温1℃以下がLTEトレイルカメラによって記録され、11月13日には積雪もあり、長期間低温にさらされたことでバッテリーの能力が低下した(図3-A1-9参照)。
- 動物が映っていない時にも多数の画像が発報されており、発電量が少なくなる雨天時に消費電力が発電量を上回りバッテリーの蓄電量を使い切った。

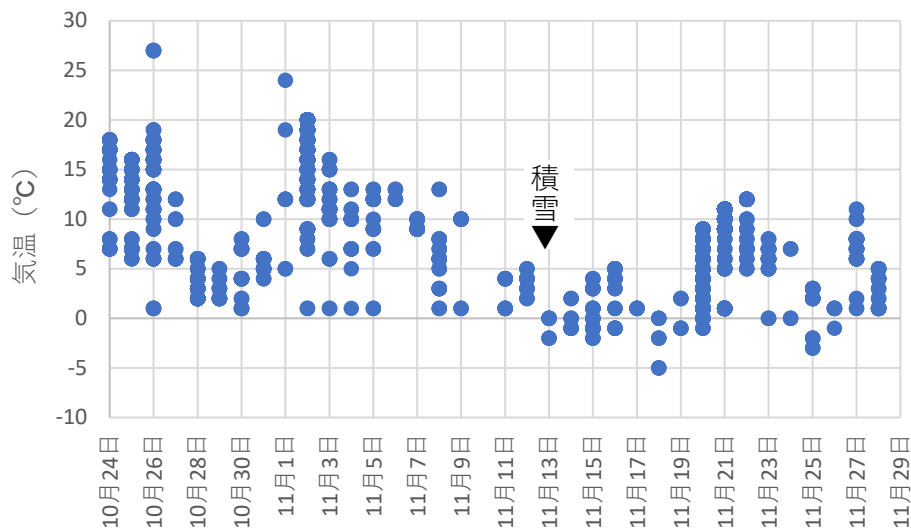


図 3-A1-9 調査期間中の現地気温（LTE トレイルカメラによる記録）

バッテリー切れの対策としては以下が考えられた。

- バッテリー切れを起こさないよう、Starlink 監視カメラの設置場所まで発電所からの電力供給を行う。
- バッテリー切れを起こす都度、完充電したバッテリーに交換する（但しデメリットとして労力と費用が上昇することが挙げられる）。
- 使用電力量を抑えるために、融雪機能を OFF にする（但しデメリットとして積雪中に通信不能となる可能性が挙げられる）。
- Starlink 回線に接続することができる、赤外線センサーを搭載し動物用に調整されたトレイルカメラを開発する。

なお、Starlink 監視カメラはバッテリー切れの後、日照によりバッテリーの電圧が回復すると自動で再起動し、撮影・メール送信を再開した。

(イ) 自然環境（特に生物）への影響に配慮したデジタル機材や情報収集方法とすること
本実証において、LTE トレイルカメラにより多くの動物が撮影されており、またカメラを設置した樹木に対しても損傷はみられず、自然環境（生物）への影響はみられなかった。
Starlink 監視カメラについても、動物が撮影されており、またカメラを設置した樹木や、ソーラーパネル及びバッテリーを設置した地面に対しても損傷はみられず、自然環境（生物）への影響はみられなかった。

(ウ) 対象法令及び関係法令の規制に抵触せず、また公園利用に著しい支障（例えば、ドローン落下により景観や地形を損傷する、放置状態にする等）を与えないデジタル機材や情報収集方法とすること

使用機材や情報収集方法に対して、許可を要する行為等が自然公園法第 21 条に記載されている。本実証では、特別保護地区において工作物を新築する行為を行うため、環境大臣の許可を得なければならなかった。その申請において記載が必要な事項とそれらに対する対応を表 3-A1-9 に示す。本実証において、機材の設置は許可を得て行い、公園利用にも著しい支障は発生しなかった。また道路等から目立つ場所においては A3 サイズの看板を設置する対策をとることで、公園利用に著しい支障は発生しなかった。

表 3-A1-9 自然公園法に基づく許可申請に記載が必要な事項とそれらに対する対応

自然公園法に基づく許可申請に記載が必要な事項	対応
支障木の伐採（樹種、本数、面積等）、支障となる動植物の除去、敷地造成（面積、切土盛土量等）、残土量とその処理方法、工事用仮工作物の設置等、申請行為に伴う行為の内容を具体的に示すこと。	樹木の伐採、敷地造成等を必要としない機材・設置位置を選定した。また、LTE トレイルカメラの視野を遮る植物の葉を除去するところがあることを申請し、許可を得た。なお、実際には植物の葉の除去は行わなかった。
施工後の周辺の取り扱いを記載すること。	資材を全て国立公園区域内から撤去し、景観上支障の無いよう整理することを記載し、実施した。
仕様資材の構造・主要材料・外部の仕上げ・色彩を記載すること。	申請書に記載した。

(エ) 広大な面積、複雑な地形、見通しが悪い森林や暗所、動物移動の観測など自然物の特有の状態でも取得する情報の正確性を確保することが可能なデジタル機材や情報収集方法とすること

本実証において、対象地域内の広範囲に機材を設置することができ、また日中・夜間の両方で動物と判別できる画像が取得できた。また、対象動物の記録状況について、3.2(2)(オ)に記載したとおり、既存の事例と同程度の記録ができた。人（調査員）での模擬的な現地調査を行い、撮影・送信されることを確認した。

実施項目 A | Starlink を活用したニホンジカやヒグマ等の生息状況調査
A-1 吉野熊野国立公園におけるニホンジカ及びツキノワグマの生息状況調査



図 3-A1-10 日中と夜間の撮影記録の例



人（調査員）により模擬的に撮影した例

人（調査員）により模擬的に撮影した例

図 3-A1-11 人（調査員）による模擬的な撮影の例

(オ) 取得したカメラやセンサー等での取得情報は、利用調整地区制度を管理する施設にリアルタイムで送信し表示させること

実証期間内にツキノワグマの確認がなかった（利用者等からの目撃情報もなかった）ことから、実際のメール配信は行う機会はなかったが、管轄されている環境省吉野管理官事務所から指定があったメールアドレスに情報をリアルタイムで送信するシステムをクラウド上で組むことができた。また、実地で人が異常を観測した例はなかった。

(4) まとめと今後の展望

本実証において、LTE トレイルカメラ、Starlink 監視カメラはリアルタイムに画像が送られてくることで、カメラの不具合（ずれて下を向いてしまう、前に枯れ枝がぶら下がる等のトラブル）にいち早く気づき欠測を最小限とできる点は有用であると考えられた。また、出現はなかったものの、クマが検出された場合にはリアルタイムで通報されるシステムを構築することができた。大きな課題としては、通信環境が悪い中での Starlink 回線の活用について、電源の問題があることが明らかとなった。バッテリーとソーラーパネルでは悪天候時に発電が追いつかなくなり、また、機材が重く大きく山中での使用には向かないことが明らかとなった。Starlink 回線は、LTE 通信環境が悪いが電源は確保できる場所に向いていると考えられ、本実証地である吉野熊野国立公園での活用は現状では有効ではないと考えられた。今後、LTE 通信網の拡大、もしくは Starlink 監視カメラの消費電力低減などの技術開発が望まれる。

AI による動物の検知は一定の成果が得られたものの、その開発には期間と労力を要した。特に、学習のための素材（画像）の収集とアノテーション（対象物を枠で囲う作業）には労力が必要であった。令和 5 年は市街地近くへのクマの出没と遭遇事故が多発した年であり、本実証と類似した、画像によりクマを検出するシステムが開発されたとの報道がいくつかなされていたことから、このシステムのニーズは高いものと考えられる。また、デジタル手法での検知結果を確認した環境省吉野管理官事務所からは、このような AI による動物の検知は、本実証で目的としたアナログ規制の撤廃だけでなく、近年被害が深刻化しているシカによる被害の防止の効率化など広く業務に活用できる可能性があるとの意見をいただいた。そこで、行政主導による、動物のアノテーション済み画像を提供するサイトの開設を提言する。著作物であっても、国内

法では公開された画像について学習のための利用を認める規定があるため、広く機械学習のために活用できる Web サイトとして運用されることにより、AI 学習の大幅な省力化と精度向上につながるものとする。

4 用語集

用語	定義・解説
Starlink	スペース X 社が開発した衛星ブロードバンドインターネット。多数の次世代型低軌道衛星を利用しており、高速・低遅延通信が特徴。
AGPL v3.0 license	Affero General Public License version 3 の略。オープンソースソフトウェアのライセンスの 1 つ。
Apache-2.0 license	オープンソースソフトウェアのライセンスの 1 つ。
AWS	Amazon 社が提供するクラウドサービス。Amazon Web Services の略。
GPU	Graphics Processing Unit の略。コンピューターにおいて、画像表示用の計算を専門に行う処理装置。
HykeWorks	本実証で採用した LTE トレイルカメラのメーカーである株式会社ハイクが提供しているデータクラウドサービス。
利用調整地区	自然公園法第 23 条に基づき、国立・国定公園の風致又は景観の維持とその適正な利用のために指定された地区。利用調整地区には環境大臣又は都道府県知事（指定認定機関が指定されている場合は指定認定機関）の認定又は許可を受けなければ立ち入ってはならないという利用調整地区制度が設けられている。また、立ち入りの認定に際しては、利用調整地区ごとに利用者数や滞在日数などの基準を定めている。

2 実施項目 A-2 の詳細

2.1 技術実証の方法

(1) 実証内容の概要

(ア) 目的

知床国立公園において、エリア内を生息地とする哺乳類の生息状況を把握するために環境省によって行われている現地調査について、LTE トレイルカメラ、検知 AI システムを用いることで、省力化できる可能性を検証することを目的とし実施した。

(イ) 対象業務（法令）

自然公園法第 33 条、第 62 条、第 76 条及び、自然公園法施行規則第 13 条の 5 に係る実地調査)

(2) 既存調査の概要

本実証で得た結果が妥当であるか否かを判断するため、既存の現地調査と比較した。既存調査としては本実施項目における実証の調査地である知床五湖においてトレイルカメラを使用してヒグマの撮影を実施している、環境省発注の委託業務を選定し、以下の報告書を環境省より提供いただいた。これらの業務はいずれも環境省が発注し、公益財団法人知床財団が実施していた。

- 公益財団法人 知床財団(2021) . 令和 2 年度(2020 年度) 知床国立公園知床五湖利用調整地区管理対策等業務 報告書.
- 公益財団法人 知床財団(2022) . 令和 3 年度知床国立公園知床五湖利用調整地区管理対策等業務 報告書.
- 公益財団法人 知床財団(2023) . 令和 4 年度知床国立公園知床五湖利用調整地区管理対策等業務 報告書.

調査の概要は表 2-A2-1 のとおりであった。

表 2-A2-1 既存調査の概要

<ul style="list-style-type: none">● 知床五湖利用調整地区にトレイルカメラ 7 台を設置し、ヒグマの撮影を行っている。● トレイルカメラは、4 月に設置し、11 月に回収している。● トレイルカメラの保守管理は、月 1 回程度の頻度で行っている。● トレイルカメラからデータを回収した後、ヒグマの撮影回数等を整理している。● 観光客等からクマの目撃情報があり、クマが一定期間そこにとどまるようであれば、公益財団法人知床財団の職員が巡視を行い、クマが立ち去るまでその遊歩道を閉鎖している。
--

出典：公益財団法人知床財団, 2023, 令和 4 年度知床国立公園知床五湖利用調整地区管理対策等業務報告書 および 環境省への事前聞き取り

なお、既存調査にて使用されているトレイルカメラは、通信機能の無い Ltl Acorn Ltl-6210MC (Oldboys Outdoors 社製) であったが、本実証では、通信機能を有する LTE トレイルカメラ (LS4G (株式会社ハイク製)) (以下、LTE トレイルカメラ) を使用した。

(3) 実証方法

実証方法の概念図を図 2-A2-1 に示す。LTE トレイルカメラ（赤外線センサー付き）を知床国立公園知床五湖内に設置し、カメラの近くで検知された動物の撮影を自動で行い、撮影した画像を、4G LTE 回線を活用し、クラウド上に構築されたシステムに送信した。また、画像認識 AI（動物検知）により、撮影された画像の動物の種類を判定した。ヒグマと判定された場合には、リアルタイムで検出結果画像を管理施設の PC に送信するシステムを構築した。

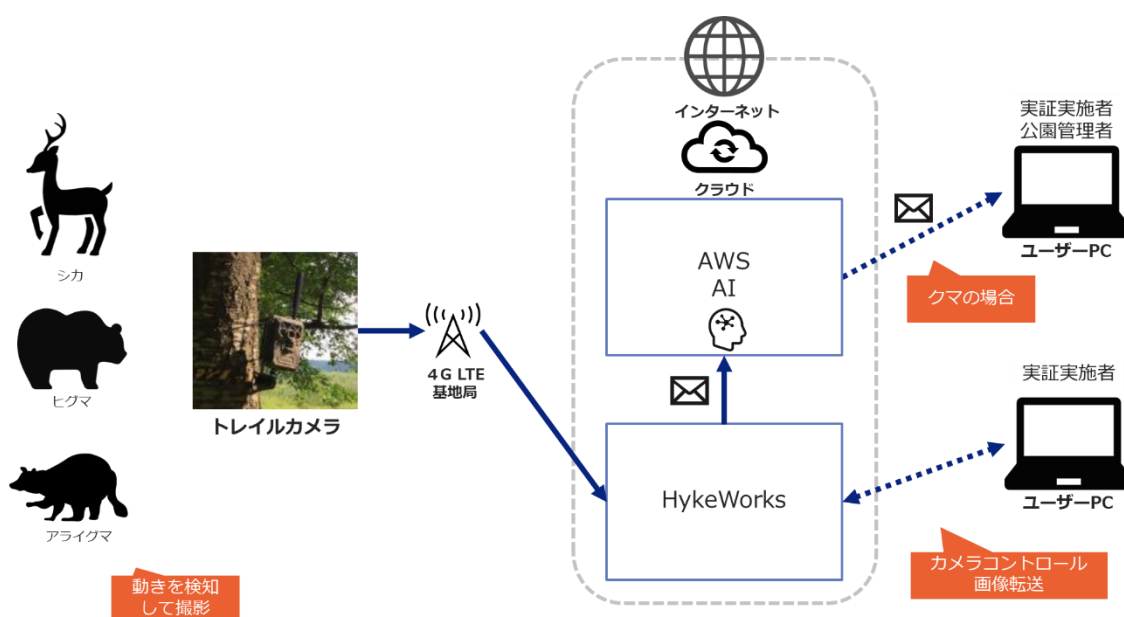


図 2-A2-1 実証方法の概念図

(ア) LTE トレイルカメラ等の準備と設置

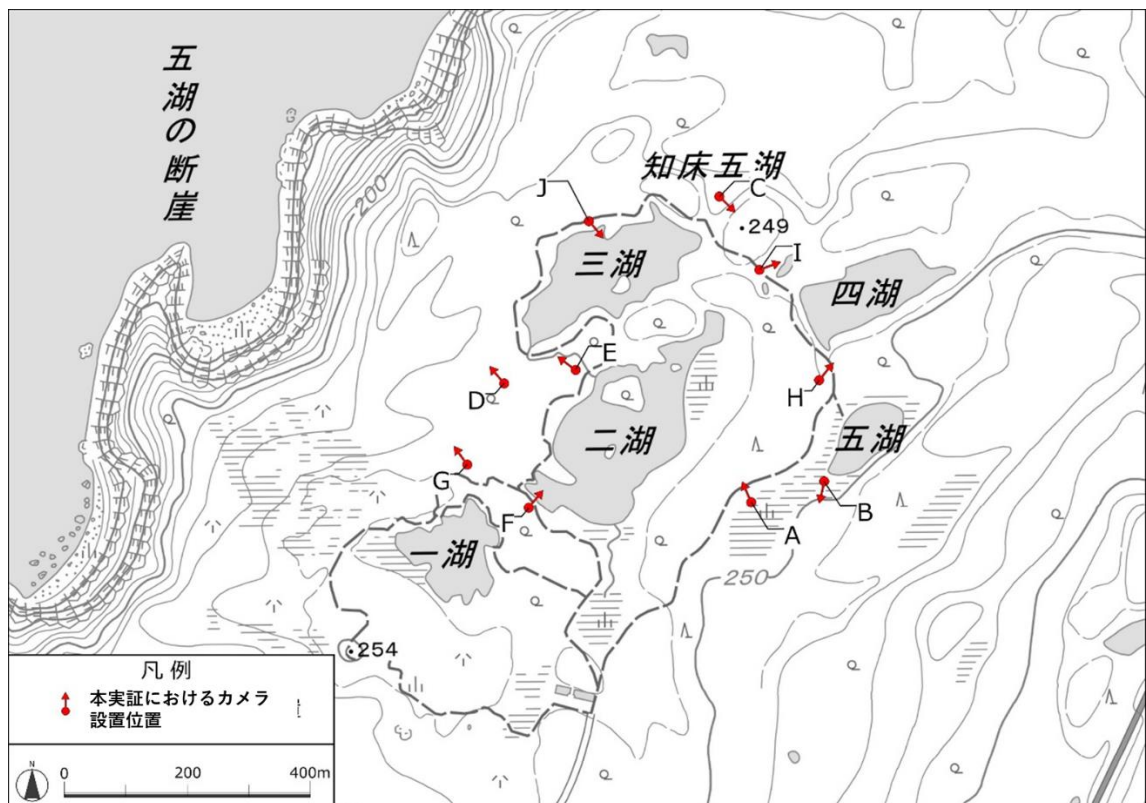
知床国立公園知床五湖内に LTE トレイルカメラ（ハイクカム LS4G（株式会社ハイク製））（図 2-A2-2）を 10 台設置した。設置箇所は、環境省によって行われている既存調査（トレイルカメラ（非通信）による調査）の地点 7 地点に合わせた。また、環境省との事前協議において、遊歩道を監視したいとの要望を受けたため、遊歩道が映る 3 地点にも設置した（図 2-A2-3）。



LTE トレイルカメラ

注：上のカメラが本実証使用機材。下のカメラは環境省・知床財団による設置機材

図 2-A2-2 使用した機材



出典：電子地形図 25000（国土地理院）を加工して作成

図 2-A2-3 LTE トレイルカメラ設置位置

LTE トレイルカメラは、全て盗難防止用のセキュリティボックスに収納した上で、現地の樹木に

付属のベルトで固定した。仕様及び設定を、表 2-A2-2、表 2-A2-3 に示す。LTE トレイルカメラは、熱源の動きを感知した場合に、連続で 3 回シャッターを切る設定とした。この設定は既存調査と同じ解析を行い、比較ができるようにするために、既存調査と同じ設定とした。なお、そのうち初めの 1 枚が HykeWorks (LTE トレイルカメラのメーカーである株式会社ハイクが提供しているデータクラウドサービス) に送られる仕様とした。

表 2-A2-2 LTE トレイルカメラ (ハイカム LS4G) の仕様

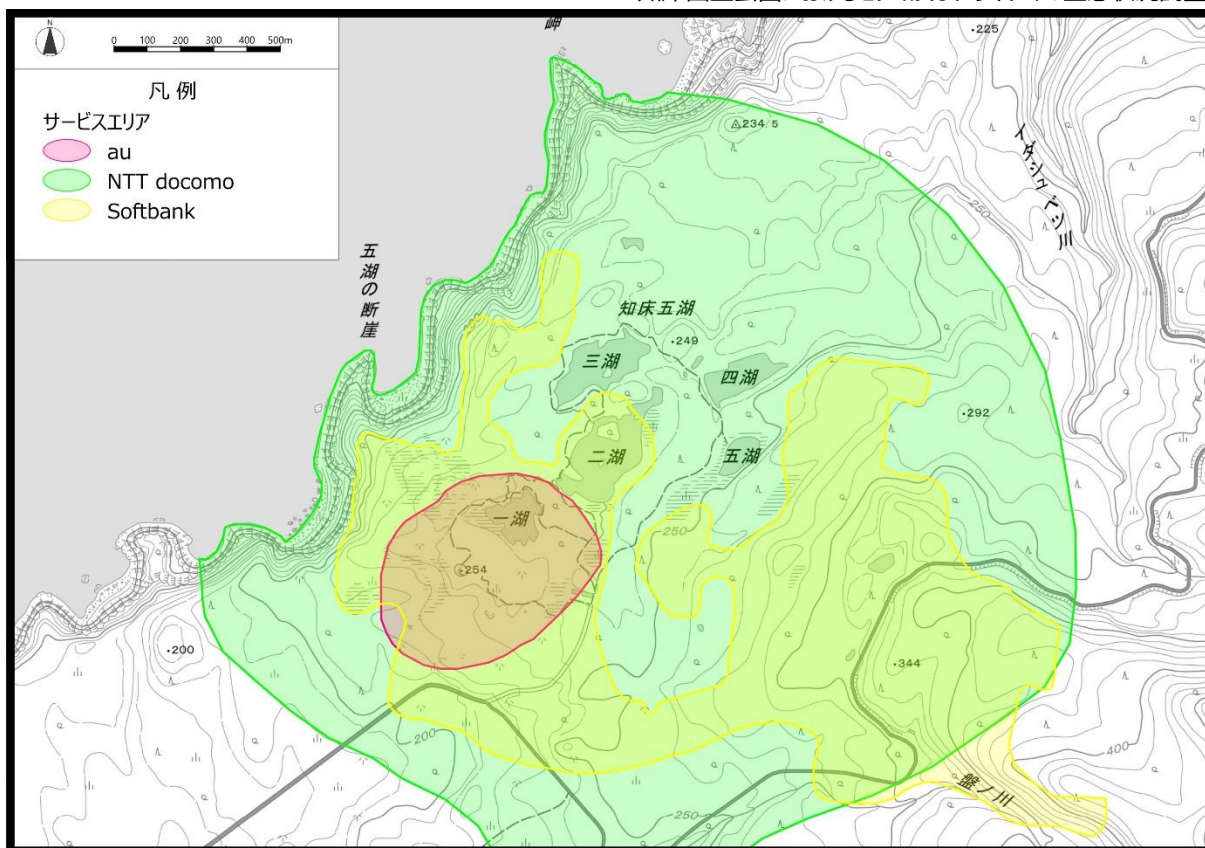
項目	内容
動作環境	-20 ~ +60℃(動作) -30 ~ +70℃(保管)
トリガースピード	0.4 秒
リカバリータイム静止画	1 秒
リカバリータイム動画	2 秒
静止画解像度	300 / 500 / 800 / 1000 / 1200 / 2400 万画素
動画解像度	WVGA 846×480(60fps) / HD 1280×720(60fps) / フル HD 1920 × 1080(60fps) / 2K 2560 × 1440(30fps) ピクセル
データ形式	静止画：JPEG / 動画：MP4
画角(水平×垂直角)	78×56°(動画 40°)
センサー反応範囲	50°
センサー反応距離	最大 25m
夜間撮影	940nm 赤外線(ノグロー)
赤外線照射距離	最大 20m
スケジュール設定	撮影開始日時設定 / センサープラン / タイムラプスプラン
タイムラプス	30 秒, 1, 3, 5, 10, 20, 30 分, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 24 時間
動作時間目安 静止画 (通信使用時)	最大 20,000 枚 (2000 枚)
動作時間目安 10 秒間動画 (通信使用時)	最大 2,000 本 (200 本)
消費電力	1.セットアップモード-電波検索中：250~338mA / 2.セットアップモード-電波受信後最大：190~206mA / 3.SMS オン待機電力：2.7mA / 4.昼間画像撮影時最大：200mA / 5.夜間画像撮影時最大：750mA / 6.撮影モード画像送信：250mA
静止画連続撮影	静止画モード時：1-10 枚 / 静止画&動画モード時：1 枚
動画撮影時間	5, 10, 20, 30 秒, 1, 2 分
録音機能	あり(オンオフ可)
モニター	2.0 インチカラー
記録媒体	MicroSD カード 最大 32GB(SanDisk 推奨)
対応キャリア	NTT ドコモ/KDDI/SoftBank 及び各 MVNO
電源	12V 単三アルカリ・リチウム電池 12 本
外部ポート	電源ポート(12V DC) / MicroUSB(マストレージ)
メニュー言語	日本語/英語(切替可)
カメラネジ	あり(カメラ背面)
マウント	背面可動式マウント(最大傾斜 30°)

本体サイズ	135×95×85mm(+アンテナ高 170mm)
重量	500g
防水防塵規格	IP65

表 2-A2-2 LTE トレイルカメラの本実証での設定

タブ	項目	内容
カメラ	モード	静止画
	静止解像度	300 万画素
	連続撮影	3 枚
	連続撮影間隔	最短
トリガー	センサー感度	中
	デレイ	0 秒
	タイムラプス	オフ
	スケジュール 1	オフ
	スケジュール 2	オフ
	稼働日	実行
システム	撮影開始	実行
	日時設定	実行
	カメラ ID	H101 等
	GPS 座標	オフ
	GPS 更新周期	オフ
	カメラ追跡	オフ
	パスワード	オン
	タイムスタンプ	オン
	上書き設定	オフ
	キータッチ音	オフ
	LED 表示	オン
	FW 更新	実行
	初期設定	実行
	マニュアル	実行
	光センサー	中
	言語	日本語
インフォメーション	実行	

事前に LTE 通信の状況を au、NTT docomo、Softbank の各回線についてサービスエリアマップで確認したところ、知床五湖では NTT docomo の通信網が今回調査範囲の全域をカバーしていたため、LTE は NTT docomo の回線を使用することとした。事前に現地踏査を行い、スマートフォン等の LTE デバイスによって NTT docomo の通信強度を確認した結果、四湖と五湖の間の一部を除き、遊歩道の調査地点近傍ほぼ全域において電波が届くことを確認した。なお、Starlink 監視カメラは機材が重く（1 セット約 150kg）、嵩張り運搬が困難であり、調査地に分布する湿原植生に設置した場合には植生へのダメージを与える可能性が考えられたことから、実施項目 A-1 とは異なり、知床五湖では Starlink の監視カメラは設置しないこととした。



電子地形図 25000 (国土地理院) を加工して作成。

図 2-A2-4 NTT docomo のサービスエリアマップ

(イ) 動物検出 AI の作成

AI の学習

動物検出 AI は、「A-1 吉野熊野国立公園におけるニホンジカ及びツキノワグマの生息状況調査 2.1 (3) (イ)」を参照されたい。

参考として各指標の解説と計算式を表 2-A2-34 に示す。

表 2-A2-3 予測精度の評価指標

	実際は正	実際は負
正と予測	TP 真陽性	FP 偽陽性
負と予測	FN 偽陰性	TN 真陰性

$$\text{正解率} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad \text{すべての予測に対する正しい予測の割合}$$

$$\text{適合率} = \frac{TP}{TP+FP} \quad \text{正と予測した中で実際に正だった割合 ※}$$

$$\text{再現率} = \frac{TP}{TP+FN} \quad \text{実際に正の中で正と予測できた割合 ※}$$

$$F\text{値} = \frac{2 \times \text{適合率} \times \text{再現率}}{\text{適合率} + \text{再現率}} \quad \text{適合率と再現率の調和平均 ※}$$

※複数の予測の精度をあわせて評価する場合（ここではクマ、アライグマ、シカをあわせた全体の評価）は、適合率、再現率、F 値は存在しない。

メール通知システムの構築

メール通知システムは、「A-1 吉野熊野国立公園におけるニホンジカ及びツキノワグマの生息状況調査 2.1（3）（イ）」を参照されたい。

(ウ) 開発・準備期間

開発・準備期間を表 2-A2-4 に示す。今回、準備を開始してから現地の実証を開始するまでにトータルで 3 か月弱を要した。

動物検出 AI の作成では、目標とした精度の達成のために試行錯誤が必要であったため、学習用の画像を収集することに想定外の時間を要した。

表 2-A2-4 開発・準備期間

項目	期間
LTEトレイルカメラ等の準備と設置	本実証に使用できる機種を選定に期間を要したが、機種が決まっていれば在庫があれば発注から納品までは数日。 社内手続の関係もあり、LTE 通信のために必要な SIM カードの入手に 20 日程度。 LTEトレイルカメラの設定は 15 分/台程度。 設置作業は 30 分/台程度であるが、徒歩で設置したため LTEトレイルカメラ 10 台の設置に 2 日。
行政手続	現地の確認のための事前踏査が必要。その後特別保護地区内工作物の新築許可申請書類の作成に約 5 日、申請先であるウトロ自然保護官事務所とのやりとりに数日、受理されてから許可が下りるまでは通常 1 か月。
動物検出 AI の作成	必要な精度を確保するためには、学習用画像を用意し、学習させた後に別途用意したテスト用画像で検証を行い、精度が不十分であればさらに学習用画像を追加収集する必要がある一方、種による枚数の偏りがあまりないように集める必要があることから、教師画像の収集、整理に時間を要した。収集した画像のアノテーション（1 枚ずつ画像内の動物の位置を指定する作業）は、labelimg などのツールを用いて慣れれば数分/100 枚程度。 学習は GPU を搭載したハイスペックな PC で行う必要があり、今回 NVIDIA GeForce RTX 4090 を搭載した PC を用い、約 1 万枚の学習で 3 日程度。
メール通知システムの構築	cloudpack with KDDI を通して AWS の契約をする場合、見積もり依頼から開通まで約 1 か月。 AWS 上でシステムを組むのに 3 週間程度。

2.2 実施場所等

(1) 実証期間・実証日

実証場所への LTE トレイルカメラ設置期間と LTE トレイルカメラ回収期間は以下のとおりである。18～19 日間、実証を行った。

LTE トレイルカメラ設置 令和 5 年 10 月 19 日～20 日

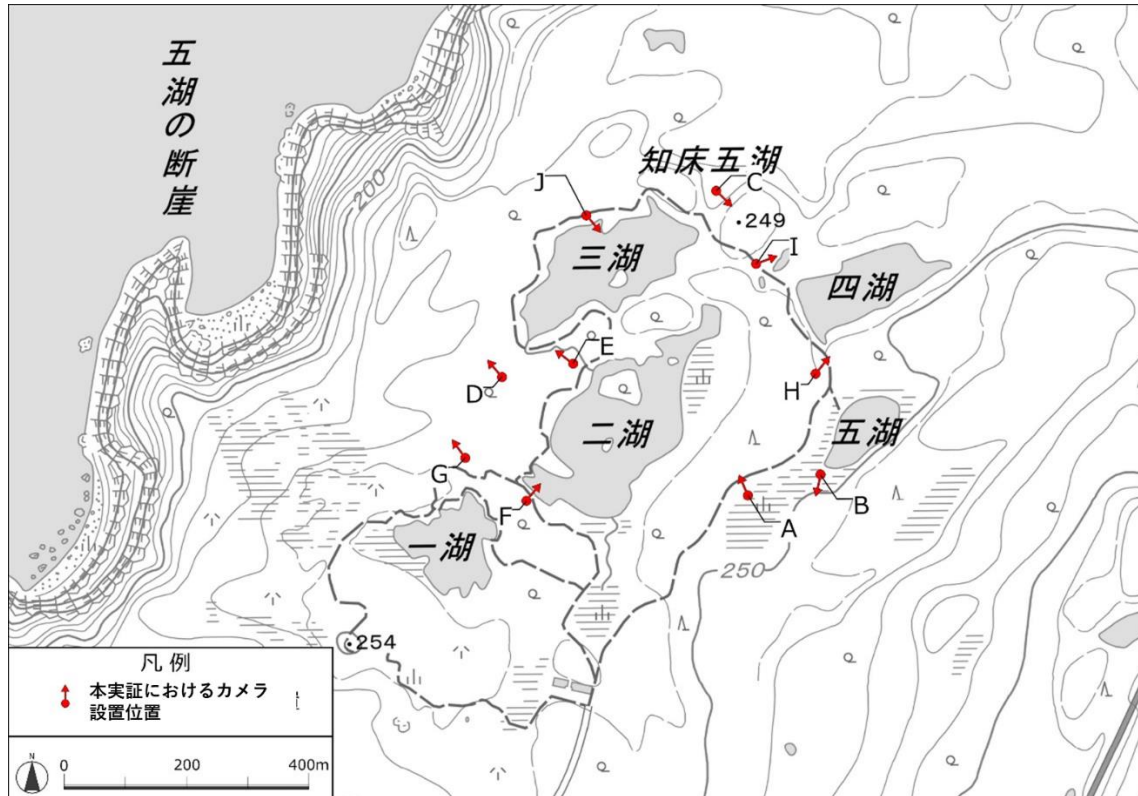
LTE トレイルカメラ回収 令和 5 年 11 月 7 日



図 2-A2-5 LTE トレイルカメラ設置作業状況

(2) 実証場所

実証場所は、知床国立公園知床五湖（利用調整地区）とし、LTE トレイルカメラの設置位置は既存調査を参考に設定した。各機材の設置位置を図 2-A2-6 に示す。）



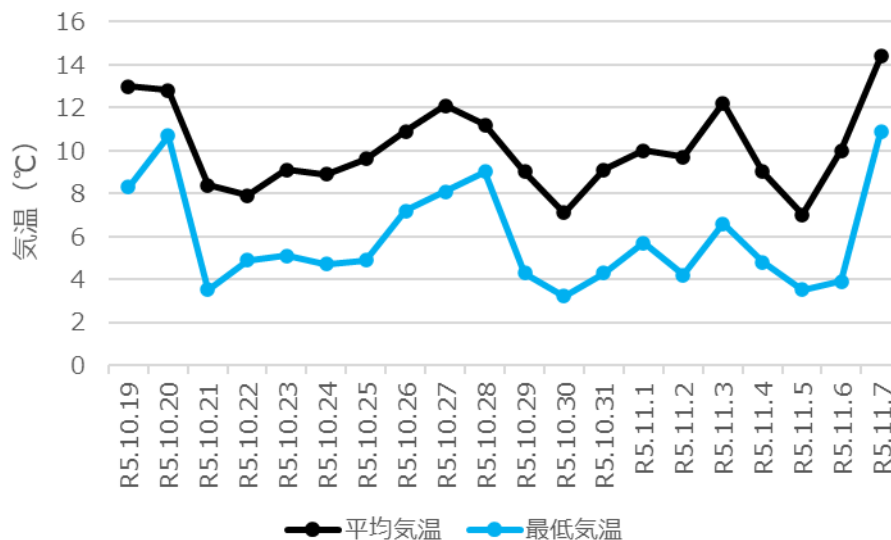
出典：電子地形図 25000（国土地理院）を加工して作成。

図 2-A2-6 LTE トレイルカメラ設置位置（再掲）

(3) 実証状況

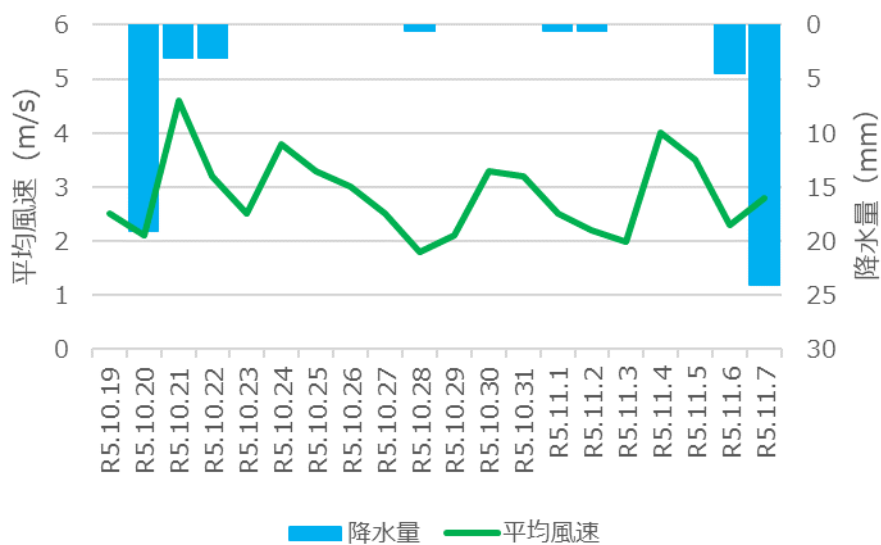
実証期間における気温・降水量・風速・日照時間を図 2-A2-7、図 2-A2-8、図 2-A2-9 に示す。なお、これらの気象データはアメダス羅臼地点のデータ（過去の気象データ・ダウンロード・気象庁・令和 5 年 12 月 12 日、令和 6 年 1 月 17 日・<https://www.data.jma.go.jp/risk/obsdl/index.php>）を使用した。調査機器のバッテリーは、一般に低温時に能力が低下することが知られているため、最低気温についても示した。なお、実証期間を通じての最低気温は 3.2℃、最大の日降水量は 24mm であった。

実施項目 A | Starlink を活用したニホンジカやヒグマ等の生息状況調査
 A-2 知床国立公園におけるヒグマ及びアライグマの生息状況調査



出典：過去の気象データ・ダウンロード・気象庁・令和 5 年 12 月 12 日・
<https://www.data.jma.go.jp/risk/obsdl/index.php>

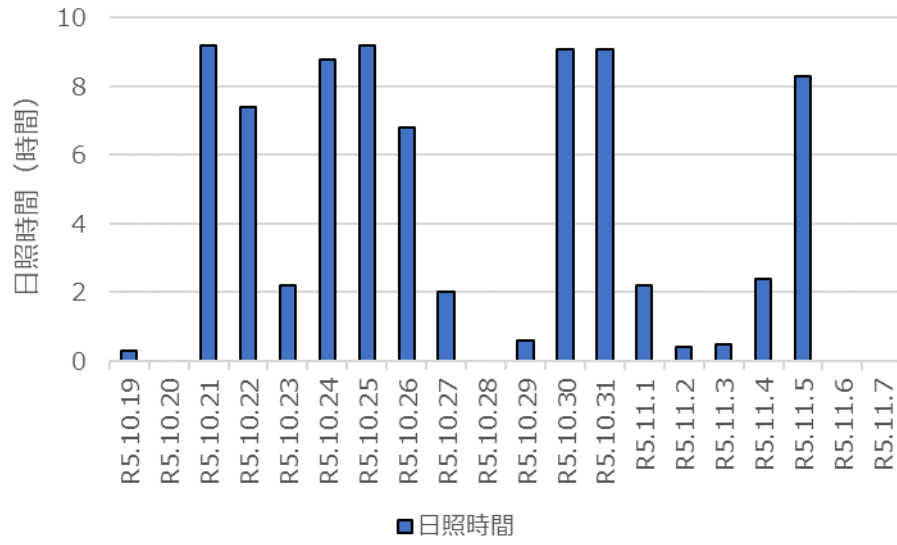
図 2-A2-7 実証期間中の気温



出典：過去の気象データ・ダウンロード・気象庁・令和 5 年 12 月 12 日・
<https://www.data.jma.go.jp/risk/obsdl/index.php>

図 2-A2-8 実証期間中の日降水量と平均風速

実施項目 A | Starlink を活用したニホンジカやヒグマ等の生息状況調査
A-2 知床国立公園におけるヒグマ及びアライグマの生息状況調査



出典：過去の気象データ・ダウンロード・気象庁・令和 6 年 1 月 17 日・

<https://www.data.jma.go.jp/risk/obsdl/index.php>

図 2-A2-9 実証期間中の日照時間

2.3 実施条件等

(1) 条件と機能

実証にあたって前提として求められていた条件と機能は表 2-A2-5 に示すとおりであり、この条件に基づき実証を実施した。

表 2-A2-5 条件と機能

実証内容に共通な条件と機能
(1) 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること。
(2) 自然環境（特に（1） 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること。
(3) 対象法令及び関係法令の規制に抵触せず、また公園利用に著しい支障（例えば、ドローン落下により景観や地形を損傷する、放置状態にする等）を与えないデジタル機材や情報収集方法とすること。
(4) 広大な面積、複雑な地形、見通しが悪い森林や暗所、動物移動の観測など自然物の特有の状態でも取得する情報の正確性を確保することが可能なデジタル機材や情報収集方法とすること。
(6) 取得したカメラやセンサー等での取得情報は、利用調整地区制度を管理する施設にリアルタイムで送信し表示させること。

(2) 行政手続

国立公園内に機器（LTE トレイルカメラ）を設置するにあたり、事前に北海道地方環境事務所長宛の「特別保護地区内工作物の新築許可申請書」を作成し、ウトロ自然保護官事務所に提出した。

3 技術実証の結果

3.1 結果の評価ポイント・方法

(1) 実証結果の確認方針

1.3(6) で概要を示した評価ポイントを踏まえて策定した実施項目 A-2 の実証の確認方針と具体的な指標等の内容を表 3-A2-1 に示すとおり整理した。

下記の評価ポイントに基づいて確認した結果は、3.2(2)に後述した。

表 3-A2-1 実証結果の確認方針

評価ポイント	確認方針	指標、及びその目標値
① 網羅性の比較	<ul style="list-style-type: none"> ・ LTE や StarLink を通じてクラウド上に保存された画像の数を計上・記録する(A) ・ センサーカメラ内部に保存された数を計上・記録する(B) ・ 調査期間を通じた A と B の差分を集計する ・ 調査期間を通じたヒグマの目撃情報を集計する 	(ア) クラウドを通じた画像の取得率(80%) (イ) ヒグマの目撃情報と同時期にセンサーカメラに保存された画像にヒグマが撮影されているか
② 正確性の比較	<ul style="list-style-type: none"> ・ ヒグマ、アライグマの AI による正解率、適合率、再現率、F 値を計算する 	(ウ) 全体の正解率(80%) (エ) ヒグマの再現率(80%)
③ 継続性の比較	<ul style="list-style-type: none"> ・ ヒグマに関して、センサーカメラを用いた既存調査での記録数を集計する 	(オ) クラウド上に保存された画像においてヒグマの既存調査と同程度の結果が得られているか
④ 経済性の比較	<ul style="list-style-type: none"> ・ メンテナンス、システム保守に係る人件費、直接経費を計上する(A) ・ 従来手法で実施した際の人件費、直接経費を計上する(B) ・ 調査期間/年間を通じた A と B の差分を集計する 	(カ) 調査に係る費用が過大なものとなっていないかどうか
⑤ 機動性の比較	<ul style="list-style-type: none"> ・ システム構築後、データ完成までにかかる工程・時間を記録する(A) ・ 従来手法で実施した際に想定される工程・時間を集計する(B) ・ A と B の差分を集計する 	(キ) システム構築後、データ完成までにかかる工程・時間は従来手法と同程度となっているか (ク) ヒグマの発見から関係者への周知に係る工程・時間が短縮されているか
⑥ 再現性の比較	<ul style="list-style-type: none"> ・ 天候、設置場所、電波状況とセンサーカメラの撮影画像の質・量を集計する 	(ケ) 天候、設置場所、電波状況等が同様であれば、同程度の質・量の画像が取得できているかどうか
⑦ 安全性の比較	<ul style="list-style-type: none"> ・ 機器の盗難対策の実施とコストを集計する ・ 機器メンテナンスの実施とコストを集計する 	(コ) 継続可能なコストで十分にリスクが低減できているかどうか
⑧ 機密性の比較	<ul style="list-style-type: none"> ・ データの盗難対策の実施とコストを集計する ・ 通信における情報漏洩防止対策の実施とコストを集計する 	(サ) 継続可能なコストで十分にリスクが低減できているかどうか

(2) 実施結果の評価方法

実証結果については、前述のとおり設定した指標等が達成できたかを確認するとともに、各実施項目において共通の前提条件や機能要件として定められた事項を満たすかも検証した。具体的には、定量的評価と定性的評価の 2 つの観点から、各項目に応じて以下の表 3-A2-2 に示すとおり評価することとした。

下記の評価方法に基づいて評価した結果は、3.2(3)に後述した。

表 3-A2-2 実証結果の評価方法

実証内容に共通な条件と機能	評価方法
(1) 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること	(ア)実証時の風速、降雨状況、温度などの外気状況について計測し記録し、使用機材の耐用条件を基準として検証し、実証成功時にデジタル活用による業務代替可能な天候条件を評価する
(2) 自然環境（特に生物）への影響に配慮したデジタル機材や情報収集方法とすること	(イ)騒音、強い光、周囲の景観に沿わない色彩、悪臭などを発生させない機材を選定し、動物が撮影されているか評価する
(3) 対象法令及び関係法令の規制に抵触せず、また公園利用に著しい支障（例えば、ドローン落下により景観や地形を損傷する、放置状態にする等）を与えないデジタル機材や情報収集方法とすること	(ウ)公園利用や対象法規制で求められている要件をリスト化し、実証機材・方法についてそれらの要件に準拠していることを記録する
(4) 広大な面積、複雑な地形、見通しが悪い森林や暗所、動物移動の観測など自然物の特有の状態でも取得する情報の正確性を確保することが可能なデジタル機材や情報収集方法とすること	(エ)対象動物の記録状況について、既存の事例と同程度の記録ができていないか 人での模擬的な現地調査と差分を把握する
(5) 自然環境の雰囲気（静謐、自然音、香り等）の把握に際して、人間の五感を可能な限り再現すること	対象外
(6) 取得したカメラやセンサー等での取得情報は、利用調整地区制度を管理する施設にリアルタイムで送信し表示させること	(オ)対象動物（クマ類）を検知した際にシステムにラグがなく情報が送信されるか確認する 実地で人が異常を観測した場合、その観測時刻とほぼ同時にシステムでも検知されるか確認する
(7) 国立公園の普通地域又は自然環境保全地域の普通地区における行為届出に関し、行為地周辺の 3 次元立体構造データを作成して実証を行う場合、ノートパソコン向けの内蔵 GPU のみでも支障なく動作し操作ができるものとすること	対象外

3.2 結果及び評価・分析

(1) 技術実証の実施結果

知床国立公園利用調整地区内に LTE トレイルカメラ 10 台を設置し、令和 5 年 10 月～11 月の期間に 18～19 日間の調査を行った結果、3,281 回（6,575 枚）の画像を得た。うち、LTE 回線を経由してリアルタイムに画像を発信したのは 1,688 回であり、うちヒグマを撮影したものが 6 回、そのうち AI でヒグマを検出したのは 1 回（図 3-A2-1）であった。



図 3-A2-1 リアルタイムで AI が検出したヒグマ

(2) 実証内容の確認結果

3.1(1) で示した指標、及びその目標値に沿って結果を記載する。

(ア) クラウドを通じた画像の取得率（目標値：80%）

LTE トレイルカメラでの撮影回数は 3,281 回の内、クラウドを通じてリアルタイムに画像を発信したのは 1,688 回であったため、クラウドを通じた画像の取得率は 51.4%であり、当初設定した評価指標（80%）は達成できなかった。ただし、環境省からの要望により追加した、遊歩道に向けて設置した 3 地点を除くと、取得率は 74.4%と評価指標に近い値であった。評価指標を達成できなかった原因としては、LTE の電波強度不足が考えられた。

LTE トレイルカメラ内の SD カードに保存されていた画像は合計 6,575 枚であった。

LTE トレイルカメラは、1 回の動物等感知につき連続 3 枚撮影する設定としていたが、実際には連続 3 枚撮影していない場合も確認された。写真の撮影時刻を確認したところ、連続 3 枚撮影できている場合には、撮影時刻が秒単位まで同時刻になっていることから、同時刻でない場合には連続撮影では無いと判断した。その結果、撮影回数は 3,281 回であった。クラウドを通じてリアルタイムに取得された画像は 1,688 枚であった。

調査地点別に見ると、取得率は 0～100%と大きな違いがあった。調査地点の内 H・I・J の 3 地点は、環境省からの要望により遊歩道に向けて設置したもので、人が通行していることから撮影枚数が桁違いに多い結果であった。このうち H 地点の取得率が 10%と低いことから、全体の取得率を大きく下げる要因となっていた。これら 3 地点を除くと取得率は 74.4%であり、評価指標に近い値であった。H 地点の取得率が低かった理由としては、後述するように LTE の電波強度不足が原因と考える。

表 3-A2-3 取得画像枚数一覧

調査地点	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	計
撮影枚数	30	97	12	115	72	60	1	1355	2125	2708	6575
撮影回数	16	39	4	50	33	25	1	1077	898	1138	3281
クラウド枚数	10	32	4	38	21	20	0	108	579	876	1688
取得率	62.5%	82.1%	100.0%	76.0%	63.6%	80.0%	0.0%	10.0%	64.5%	77.0%	51.4%

以下、画像アップロードの失敗原因について検討した。

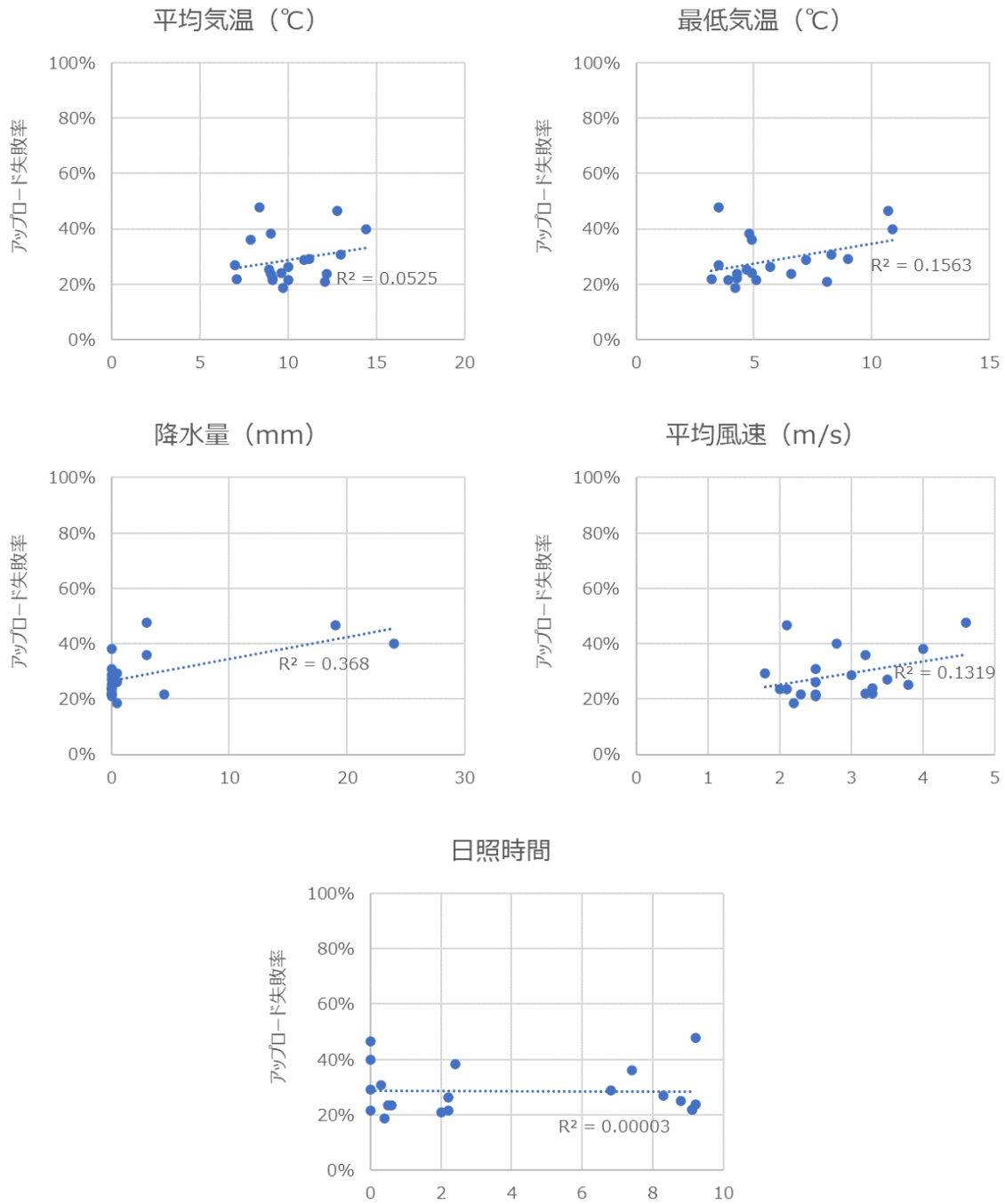
各地点に設置した LTE トレイルカメラの電池は、回収時にも残っていた。

一方、全ての LTE トレイルカメラ設置位置は携帯電話サービスエリア内であったが、LTE の電波強度は設置地点による違い、経時的な変化があった。電波強度については、クラウドにアップされた 1 枚ずつの写真について HykeWorks) において送信時の電波強度を閲覧することができる。それによると、地点により「とても強い(4g) 」から「とても弱い(3g) 」と違いがあった。また、同じ地点でも H 地点のように「とても弱い(3g) 」から「とても強い(4g) 」まで、変化している例が見られた。さらに電波強度が低下した場合には撮影した画像をアップロードすることができなかったと考えられる。

このことから、各地点の撮影時点における LTE の電波強度不足により撮影された画像をアップできない場合があり、取得率の指標を達成できなかったと考えられる。

アップロードの失敗が発生する要因を検討するため、気温・降水量・風速・日照時間との関係を図 3-A2-2 に示した。なおこれらの気象データはアメダス羅臼地点のデータ（過去の気象データ・ダウンロード・気象庁・令和 5 年 12 月 12 日、令和 6 年 1 月 17 日・

<https://www.data.jma.go.jp/risk/obsdl/index.php>）を使用した。いずれについても決定係数は 0.37 以下と低く、気象条件以外の要因によってアップロードが失敗していると考えた。



気象データの出典：過去の気象データ・ダウンロード・気象庁・令和 5 年 12 月 12 日、令和 6 年 1 月 17 日・
<https://www.data.jma.go.jp/risk/obsdl/index.php>

図 3-A2-2 アップロード失敗率と気象条件

(イ) ヒグマの目撃情報と同時期にセンサーカメラに保存された画像にヒグマが撮影されているか。

目撃情報と同日に撮影された事例は 1 例のみ、他の事例は目撃情報のみか LTE トレイルカメラでの撮影のみであり、当初設定した定性評価として十分でなく、指標は達成できなかった。但し、目撃情報が無い場合にも LTE トレイルカメラによるヒグマの撮影はなされ、リアルタイムで

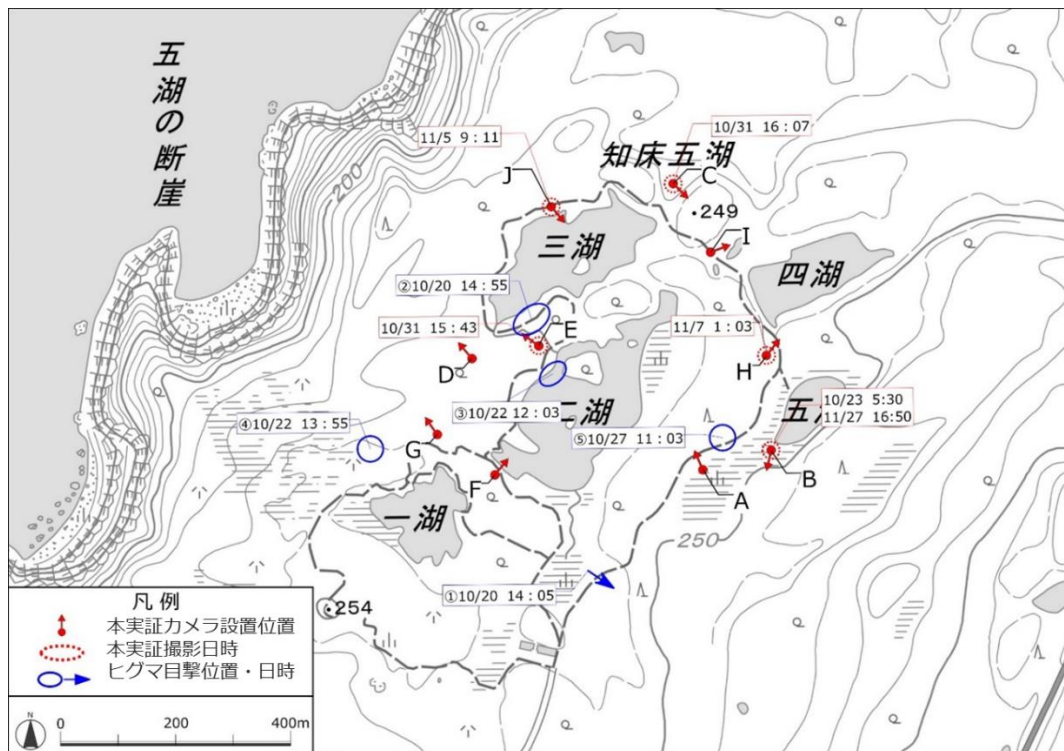
発信されており、LTE トレイルカメラによるヒグマ出現情報の取得は、利用者の安全確保上有効であると考えられた。

ヒグマの目撃情報と、本実証で得られたヒグマの確認情報を表 3-A2-4 に示す。ヒグマの目撃情報は、知床国立公園を管轄する環境省ウトロ自然保護官事務所から提供を受けた。

対象地域内・対象期間内でのヒグマ目撃情報 5 件に対し、LTE トレイルカメラでリアルタイムに発信された画像を人が目視してヒグマを確認した事例は 6 件であった。また、LTE トレイルカメラでのヒグマ撮影の内、AI によりヒグマを検出した事例は 1 件であった。

目撃情報・LTE トレイルカメラでの撮影の確認日について比較すると、目撃情報と同日に撮影された事例は 10 月 27 日の 1 例のみ、他の事例は目撃情報のみか LTE トレイルカメラでの撮影のみであり、当初設定した評価指標は達成できなかった。

目撃情報によるヒグマの出現位置は、LTE トレイルカメラ設置位置とは異なっている地点が多かったことから、LTE トレイルカメラの検知・撮影範囲が狭く、ヒグマの移動範囲が比較的狭かったために目撃情報と同時期の撮影がなされなかったと考えられる。一方、目撃情報が無い場合にも LTE トレイルカメラによるヒグマの撮影はなされており、LTE トレイルカメラによるヒグマ出現情報の取得は、利用者の安全確保上有効であると考えられた。



注) 青矢印はヒグマの移動が目撃された情報、青丸はヒグマの位置が目撃された情報をそれぞれ示す。

電子地形図 25000 (国土地理院) を加工して作成。

図 3-A2-3 ヒグマ撮影状況と目撃状況

表 3-A2-4 ヒグマの目撃情報と本実証での確認の対応状況

確認日	時刻	公園利用者等からのクマ目撃情報	トレイルカメラによるクマ確認位置	
		確認位置	AIによるリアルタイム検出	リアルタイム画像を人の目で確認
2023/10/20	14:05	①ループ内→外に移動	-	-
2023/10/20	14:55	②	-	-
2023/10/22	12:03	③ループ内	-	-
2023/10/22	13:55	④高架木道湖畔展望台より海側100m	-	-
2023/10/23	5:30	-	-	B
2023/10/27	11:30	⑤	-	-
2023/10/27	16:50	-	-	B
2023/10/31	15:43	-	-	E
2023/10/31	16:07	-	-	C
2023/11/05	9:11	-	-	J
2023/11/07	1:03	-	H	H
	計	5回	1回	6回

(ウ) 全体の正解率(目標値 : 80%)

全体の正解率は 89.7%となり、当初設定した評価指標を達成した。

AI による画像解析結果の一覧を表 3-A2-5 に示す。

現地からリアルタイムで得られた画像 1,688 枚のうち、対象種であるクマ、アライグマ、シカが写っていることを正解したのは 47 枚、対象種が写っていないことを正解したのが 1,467 枚、計 1,514 枚であったことから、正解率は 89.7%となり、当初設定した評価指標を達成した。アライグマは確認されず、植物の葉などをアライグマと検出した誤検知が 11 枚あった。なお、既存調査で対象地域ではアライグマが確認されたことはなく、生息していないか、生息密度が極めて低いものと考えられる。

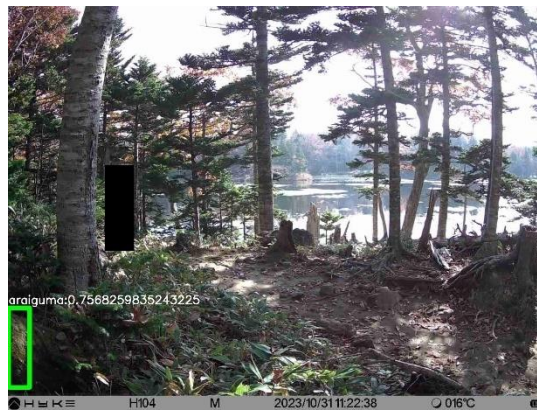
なお、対象 3 種の中で今回最も多く確認されたシカについては、正解率は高かった (92.2%) ものの、適合率 (シカだと判断したうち実際にシカだった割合、すなわち誤検知を除く割合) が 37.1%、再現率 (実際にシカだったもののうちシカであると判定できた割合、すなわち見逃しを除く割合) が 46.5%と、いずれも低い値であった。これらの精度を向上させる方法としては、今回得られた画像を用いて AI を追加学習させる方法が考えられる。今回は実証期間が短かったため実施しなかったが、得られた画像を用いて、誤検知したものはシカではない、見逃したものはシカであると追加で学習させることにより、AI の検知精度は向上すると考えられる。

表 3-A2-5 AI による動物検出結果一覧

対象種 :		クマ	シカ	アライグマ	全体 (シカ、アライグマ、クマ)	
実際は対象種	対象種であると検知	TP	1	46	0	47
	対象種ではないと検知	FN	5	53	0	
実際は対象種ではない	対象種であると検知	FP	32	78	11	
	対象種ではないと検知	TN	1650	1511	1677	1467

正解率 (シカ、アライグマ > 80% 目標)	
適合率	対象種だと検知したうち実際に対象種だった割合
再現率 (クマ > 80% 目標)	実際に対象種のものの中で対象種を検知できた割合
F値	

97.8%	92.2%	99.3%	89.7%
3.0%	37.1%	0.0%	
16.7%	46.5%	-	
0.05	0.41	-	



アライグマ誤検知例 (人はマスクしている)

図 3-A2-4 撮影された動物と検出事例 (アライグマ)

実施項目 A | Starlink を活用したニホンジカやヒグマ等の生息状況調査

A-2 知床国立公園におけるヒグマ及びアライグマの生息状況調査



シカ検知例



シカ検知例



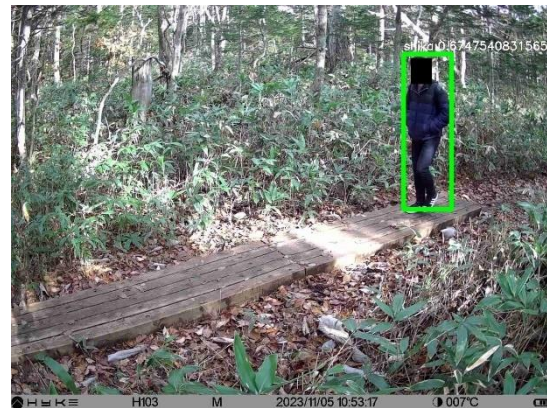
シカ見逃し例（遠いためと思われる）



シカ見逃し例（遠いためと思われる）



シカ誤検知例（人を誤検知）（人は学習させていないためと思われる）（人はマスクしている）



シカ誤検知例（人を誤検知）（人は学習させていないためと思われる）（人はマスクしている）

図 3-A2-5 撮影された動物と検出事例（シカ）



キツネ (キタキツネ)



キツネ (キタキツネ)



タヌキ



図 3-A2-6 (1) 撮影された動物と検出事例 (対象種以外の動物)



イタチかテン

図 3-A2-6 (2) 撮影された動物と検出事例 (対象種以外の動物)

(工) ヒグマの再現率（目標値：80%）

現地からリアルタイムで得られたヒグマ画像 6 枚のうち、検出で正解したのは 1 枚であったことから、再現率は 16.7%となり、当初設定した評価指標は達成できなかった。不正解の中には、メール添付のための JPEG の圧縮による画像の劣化（圧縮アーティファクト）により検出がうまくいかなかったと考えられるケース、対象が遠く画像としてかなり暗いケース、対象物の実サイズが推測できないことによる他の動物との誤認したケース、人を学習させていないために人を誤認したケースがみられた。



クマ検出例



クマ見逃し例（対象が遠く画像としてかなり暗いためと思われる）



クマ見逃し例（対象が遠く画像としてかなり暗いためと思われる）

図 3-A2-7 (1) 撮影された動物と検出事例（クマ）



クマ見逃し例（圧縮による画像劣化のためと思われる）

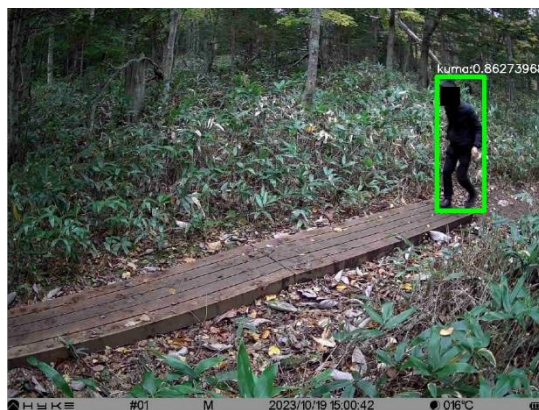


クマ見逃し例（対象物の実サイズが推測できないことによると思われる、他の小動物と誤認していた）



クマ見逃し例（圧縮による画像劣化のためと思われる）

図 3-A2-7 (2) 撮影された動物と検出事例（クマ）



クマ誤検知例（人は学習させていないためと思われる）

（人はマスクングしている）

図 3-A2-7（3） 撮影された動物と検出事例（クマ）

回収後の LTE トレイルカメラの SD カード内に保存されていた全ての画像を確認したところ（図 3-A2-8、図 3-A2-9、図 3-A2-10））、18 枚のヒグマ画像が収録されており、LTE トレイルカメラは 3 枚連写の設定としていたことから上記 6 例以外の通報漏れはなかった。これら 18 枚の画像を、リアルタイム時と同じ AI で解析した結果、リアルタイム時にはクマと検出できなかった 2 例を含む、50%の 9 枚（3 例）がクマと正しく検出された（図 3-A2-10）。

リアルタイム時にクマと検出できず、持ち帰った SD カードの画像ではクマと正しく検出できた理由は、JPEG の圧縮による画像の劣化（圧縮アーティファクト）が要因と考えられた。撮影画像が LTE 回線でメールに添付される際に容量を軽くするために JPEG 圧縮がかけられており、これによってクマが検知されにくくなったものである。ディープラーニングでは、画像圧縮により物体認識の精度に悪影響があることが報告されている（Tomasz Gandor・Jakub Nalepa(2022) . First Gradually, Then Suddenly: Understanding the Impact of Image Compression on Object Detection Using Deep Learning. Sensors, 22(3) , 1104.）。

図 3-A2-12 悪天候時にアップロードされた画像の例は、動物として認識されなかったが、LTE トレイルカメラは動きを感知して撮影を行っている。夜間であり撮影のための赤外線照射距離の限界近くにヒグマがいたことから、画像としてかなり暗い状態であり、このため検出できなかったと考えられた。LTE トレイルカメラの反応範囲と、得られた画像で物体検出ができる範囲のミスマッチがあるものと考えられた。

図 3-A2-9 の例は、他の動物との誤認である。上段では、3 連写した画像の全てを異なる動物と判定しているが、1 枚目のタヌキ-アナグマ、3 枚目のキツネの予測の信頼度（検出結果がそのクラスに所属する確からしさ）はそれぞれ 68.0%、75.5%とやや低かった。また、下段のノウサギと誤認した事例の予測の信頼度も 39.7%～71.5%とやや低く、AI の判定の自信のなさうかがえる。人の目は背景から写真の奥行きを判断し、対象物の大きさある程度認識することができるが、今回使用している AI では対象物の色や形、質感を用いて判定していることから、やや遠い場所にいる対象物に対してはこのような人が間違わない誤りをすることがあるものと考えられた。

また、人をクマと誤認した事例（図 3-A2-7（3））も同様に、写真では大きさの判断を誤ることが一つの要因と考えられ、さらに今回は当初、遊歩道を撮影する予定がなかったことから AI に人は

学習させていないことがもう一つの要因として考えられた。

以上より、リアルタイムでのクマ検出のための改善策としては以下の 3 点が考えられた。

- ① LTE トレイルカメラから無圧縮の JPEG を取得する設定とする（但し通信容量が大きくなるデメリットとのトレードオフあり）。
- ② LTE トレイルカメラをもう少し下向きに設置し、動体感知範囲と画像の物体検出範囲のミスマッチを減らす（但し 1 台あたりの探知範囲が狭くなるデメリットあり）。
- ③ あまり人が通る場所を選定しない、もしくは人も学習させる（但し人は様々な服装・装備・容姿をしていることから、あらゆる人のタイプを学習させるためには多量の画像が必要となり、また検出結果が人に偏らないようにするためには、同等以上のクマ画像を学習させる必要がある）。



<拡大画像>検出なし

<拡大画像>検出なし

<拡大画像>検出なし

図 3-A2-8 SD カード内画像によるクマ検知結果（拡大・検出なし）



<拡大画像>タヌキ-アナグマと誤認

<拡大画像>イノシシと誤認

<拡大画像>キツネと誤認



<拡大画像>ノウサギと誤認

<拡大画像>ノウサギと誤認

<拡大画像>ノウサギと誤認

図 3-A2-9 SD カード内画像によるクマ検知結果（拡大・他の動物と誤認）



図 3-A2-10 SD カード内画像によるクマ検知結果（拡大・クマと正しく判定）

(オ) クラウド上に保存された画像においてヒグマの既存調査と同程度の結果が得られているかヒグマのRAI（撮影頻度指数、Relative Abundance Index）をみると、今回の結果はリアルタイム送信画像のAIによる検出結果では0.5、リアルタイム送信画像の人による検出結果では3.2であり、既往調査における過去3年間の変動（0～4.1）の範囲内であったことから、当初設定した評価指標を達成した。

既存調査（非通信トレイルカメラによる調査、公益財団法人知床財団.2023.令和4年度知床国立公園知床五湖利用調整地区管理対策等業務報告書.）において、ヒグマの撮影頻度を評価する指標としてRAI（撮影頻度指数、Relative Abundance Index）が用いられている。RAIは、トレイルカメラを100日稼働させた場合のヒグマの撮影実績を以下の式で算出する。また、本実証におけるパラメータの値を表3-A2-6に示す。

$$RAI = (\text{撮影回数 [回]} / \text{撮影日数 [日]}) \times 100 \text{ [日]}$$

表 3-A2-6 本実証におけるヒグマ RAI 算出のためのパラメータの値

調査日数	186.6 日	
ヒグマ撮影回数	リアルタイム送信画像の AI による検出	1 回
	リアルタイム送信画像の人による検出	6 回

注：調査日数は、各地点の LTE トレイルカメラ稼働期間を時間単位で整理し、日数に換算して合計した。

既存調査では、RAI を月ごとに算出している。一方本実証では 10 月 19 日～20 日に LTE トレイルカメラを設置し、11 月 7 日に回収しているため、本実証の値は既存調査の 10 月及び 11 月の値と比較した。本実証と既存調査におけるヒグマの RAI を表 3-A2-7 に示す。本実証では、AI による検出回数と人による検出回数が異なることから、それぞれの RAI を算出した。その結果、AI による検出では 0.5、人による検出では 3.2 との結果であった。一方令和 2 年から令和 4 年に実施された既存調査では、年ごとに変動が見られ、最も少ない令和 3 年では 0～0.5、最も多い令和 4 年では 0～4.1 であり、今回の結果は過去 3 年間の変動の範囲内であったことから、当初設定した評価指標を達成した。

表 3-A2-7 本実証のデジタル手法と既存調査におけるヒグマの RAI

	調査期間		RAI	
			AI	人
デジタル手法	2023 年 10 月 19 日～2023 年 11 月 7 日		0.5	3.2
既存調査	2020 年	10 月	1.1	
	2021 年		0.5	
	2022 年		4.1	
	2020 年	11 月	1.7	
	2021 年		0	
	2022 年		0	

(カ) 調査に係る費用が過大なものとなっていないかどうか

本実証で、メンテナンス、システム保守に係った人件費及び直接経費、及び、本実証内容を従来手法で実施した場合の人件費、直接経費の想定を表 3-A2-8 に示す。調査にかかる費用の総額は従来手法が 3,431,900 円、実証手法は 3,061,600 円と試算された。従来手法と比べ実証手法でかかる費用は 370,300 円のマイナスであった。

試算結果によると、従来手法と比べ、デジタル手法では SIM 通信費・AWS 費用・システム保守の費用が高くなる一方、データ回収の人件費減が見込まれ、トータルで年 37 万円程度の費用減となる。

表 3-A2-8 本実証と従来手法で実施した場合の調査に係わる費用の比較

1年（12ヶ月、調査6回と想定）あたり トレイルカメラ10台を設置した場合

手法	項目	数量	単位	単価	計	摘要	
実証手法 (LTEトレイルカメラ+AI)	直接人件費	準備	3	人日	45,300	135,900	計画・踏査・許可申請等
		設置	4	人日	45,300	181,200	2人×2日
		点検	16	人日	45,300	724,800	2人×2日×4回 ※撮影データ回収が不要になるため従来手法より頻度減
		回収	2	人日	45,300	90,600	2人×1日
		結果整理	5	人日	45,300	226,500	AI動物検出と結果集計 1人日×5回
		計				1,359,000	従来手法との差額 -1,494,900円
	直接経費	LTEトレイルカメラ	10	台	100,000	1,000,000	購入の場合
		セキュリティパック	10	台	12,540	125,400	購入の場合
		単三電池12本	60	式	1,300	78,000	(12本セット)×10式×6 (連続2ヶ月使用)
		SIMカード	120	台月	500	60,000	NTT docomo (SORACOM) 10枚×12ヶ月
		AWS (クラウド)	12	ヶ月	30,000	360,000	使用量により増減
		Hykeworks (クラウド)	1	年	79,200	79,200	1ライセンス20台まで対応
		計				1,702,600	従来手法との差額 +1,124,600円
		計				3,061,600	従来手法との差額 -370,300円
従来手法 (トレイルカメラ)	直接人件費	準備	3	人日	45,300	135,900	計画・踏査・許可申請等
		設置	4	人日	45,300	181,200	2人×2日
		点検	24	人日	45,300	1,087,200	2人×2日×6回
		回収	2	人日	45,300	90,600	2人×1日
		結果整理	30	人日	45,300	1,359,000	写真を目で確認し動物を記録集計 6人日×5回
		計				2,853,900	
	直接経費	トレイルカメラ	10	台	50,000	500,000	購入の場合
		単三電池12本	60	式	1,300	78,000	(12本セット)×10式×6 (連続2ヶ月使用)
		計				578,000	
		計				3,431,900	

※人件費単価は令和5年度設計業務委託等技術者単価のうち技師 (B)を参照した。

(キ) システム構築後、データ完成までにかかる工程・時間は従来手法と同程度となっているが従来手法と比べ、デジタル手法では、画像識別を AI のみで実施した場合には大幅な省力化が見込まれることから、当初設定した評価指標を達成した

本実証で、システム構築後、データ完成までにかかった工程・時間、及び、本実証内容を従来手法で実施した場合の工程・時間の想定を表 3-A2-9 に示す。

表 3-A2-9 本実証と従来手法で実施した場合の工程・時間の比較

	実証手法		従来手法
	AI のみ	目視確認	目視確認
画像識別	自動	5 人日	5 人日
データ化	1 人日	1 人日	1 人日

(ク) ヒグマの発見から関係者への周知に係る工程・時間が短縮されているか

本実証で、LTE トレイルカメラがヒグマを確認してから関係者への通報がなされたのは 3 分以内であった（1 例のみ）ことから、従来手法（観光客による情報）では、その場で電話をしない限り 3 分以内での通報は難しいと考えられ、当初設定した評価指標を達成した。

(ケ) 天候、設置場所、電波状況等が同様であれば、同程度の質・量の画像が取得できているかどうか

本実証で、一部電波状況によるアップロードの失敗等の課題が見られたが、電波状況に問題がない状況下であれば LTE トレイルカメラや取得した画像に特に不具合はなかったことから、当初設定した評価指標を達成した。

(コ) 継続可能なコストで十分にリスク（機器の盗難・不具合）が低減できているかどうか

盗難はなく、機器メンテナンスの必要はなかったことから、当初設定した評価指標を達成した。機器の盗難対策として、本体のみと比較して単価 12,540 円の追加オプションとなるセキュリティパッケージ（HCLS4G-SECP）を用いた。セキュリティパッケージには、盗難防止用の金属ケースとケーブルロック 2 本が含まれる（図 3-A2-11 参照）。

盗難はなかったことから、当初設定した評価指標を達成した。

また、実施項目 A-1 では、落ち葉や枯れ枝が LTE トレイルカメラの前にかかるトラブルがあったが、本実施項目ではそのようなことはなく、機器メンテナンスの必要はなかったことから、当初設定した評価指標を達成した。



出典：ハイカム LS4G IoT 自動撮影カメラ・株式会社ハイク・令和 5 年 12 月 28 日閲覧・<https://hyke-store.com/?pid=167840178>

図 3-A2-11 ハイカム LS4G セキュリティパッケージ

(サ) 継続可能なコストで十分にリスク（データの盗難・情報漏洩）が低減できているかどうかデータの盗難対策として、AWS（30,000 円/月、但し実施項目 A-1 と兼ねた）と本実証で採用した LTE トレイルカメラのメーカーである株式会社ハイクが提供しているデータクラウドサービスである HykeWorks（79,200 円/20 台）を利用し、データの盗難や情報漏洩は確認されなかったことから、当初設定した評価指標を達成した。

(3) 評価方法に対する評価結果

3.1(2) で示した評価方法に沿って結果を記載する。

(ア) 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること

本実証期間中を通じての気温は+3.2～+14.4℃（アメダス羅臼地点）であり、LTE トレイルカメラの仕様上の動作環境である-20～+60℃の範囲内であったことから、実際の動作環境の温度限界は把握できなかった。日降水量 19mm 以上あるいは最大瞬間風速 20m 以上といった悪天候があったが、その間にも画像を取得できていた。通信環境については、ほぼ全ての LTE トレイルカメラから LTE 通信により写真が得られた。但し、LTE 電波強度が全体に弱い傾向があり、アップロードされない場合があることが課題として残った（(4)まとめと今後の展望に改善案を示す）。



10月20日 日降水量 19mm、
最大瞬間風速 21.2m/s



11月7日 日降水量 24mm

図 3-A2-12 悪天候時にアップロードされた画像

(イ) 自然環境（特に生物）への影響に配慮したデジタル機材や情報収集方法とすること
本実証において、LTE トレイルカメラにより多くの動物が撮影されており、また LTE トレイルカメラを設置した樹木に対しても損傷はみられず、自然環境（生物）への影響はみられなかった。

(ウ) 対象法令及び関係法令の規制に抵触せず、また公園利用に著しい支障（例えば、ドローン落下により景観や地形を損傷する、放置状態にする等）を与えないデジタル機材や情報収集方法とすること

特別保護地区における使用機材や情報収集方法に対して、許可を要する行為等が自然公園法第 21 条に記載されている。本実証では、特別保護地区において工作物を新築する行為を行うため、環境大臣の許可を得なければならない。その申請において記載が必要な事項とそれらに対する対応を表 3-A2-10 に示す。本実証において、機材の設置は許可を得て行い、公園利用にも著しい支障は発生しなかった。

表 3-A2-10 自然公園法に基づく許可申請に記載が必要な事項とそれらに対する対応

自然公園法に基づく許可申請に記載が必要な事項	対応
支障木の伐採（樹種、本数、面積等）、支障となる動植物の除去、敷地造成（面積、切土盛土量等）、残土量とその処理方法、工所用仮工作物の設置等、申請行為に伴う行為の内容を具体的に示すこと。	樹木の伐採、敷地造成等を必要としない機材・設置位置を選定した。また、LTE トレイルカメラの視野を遮る植物の葉を除去する必要があることを申請し、許可を得た。なお、実際には植物の葉の除去は行わなかった。
施工後の周辺の取り扱いを記載すること。	資材を全て国立公園区域内から撤去し、景観上支障の無いよう整理することを記載し、実施した。
仕様資材の構造・主要材料・外部の仕上げ・色彩を記載すること。	申請書に記載した。

(工) 広大な面積、複雑な地形、見通しが悪い森林や暗所、動物移動の観測など自然物の特有の状態でも取得する情報の正確性を確保することが可能なデジタル機材や情報収集方法とすること

本実証において、対象地域内の広範囲に機材を設置することができ、日中・夜間の両方で動物と判別できる画像が取得できた。また、対象動物の記録状況について、3.2(オ)に記載したとおり、既存の事例と同程度の記録ができた。人（調査員）の模擬的な現地検査を行い、撮影・送信されることを確認した。

実施項目 A | Starlink を活用したニホンジカやヒグマ等の生息状況調査

A-2 知床国立公園におけるヒグマ及びアライグマの生息状況調査



図 3-A2-13 日中と夜間の撮影記録の例



図 3-A2-14 人（調査員）による模擬的な撮影の例

(オ) 取得した LTE トレイルカメラやセンサー等での取得情報は、利用調整地区制度を管理する施設にリアルタイムで送信し表示させること

クラウド上でシステムを組むことにより、ヒグマを AI で検知した場合には管轄されている環境省事務所から指定があったメールアドレスに情報をリアルタイム（3 分以内）で送信することができた。ただし 3.2(2)（ア）に記載したとおり、クラウドを通じた画像の取得率は 100%には至らず、その原因は LTE の電波強度不足であると考えられた。

また、実地で人が異常を観測した例はなかった。

(4) まとめと今後の展望

本実証において、LTE トレイルカメラはリアルタイムに画像が送られてくるため、カメラの不具合にいち早く気づき欠測を最小限とできる点が、実際の調査でも有用であると考えた。また、事例は少なかったものの、クマが検出された場合にはリアルタイムで通報されるシステムを構築することができた。LTE トレイルカメラによる調査期間中のクマ確認数は、同期間内の利用者等によるクマ目撃数と匹敵していることから、LTE トレイルカメラによるクマ目撃情報の収集は有効であると考えられた。しかし、リアルタイムでのクマ確認情報の通報の実用化については、AI 検知精度の向上が課題として残った。この課題を解決するためには、公園内で取得された画像を用いた AI の追加学習を行っていくことが有効と考えられた。また、本実証ではクマが撮影された事例は全て LTE 回線を通じて全てリアルタイムで取得できたものの、通信がうまくできなかった画像もあったことから、公園内広域でのクマ情報をもれなく収集するためには、LTE 通信強度を高めることも重要と考えられた。

実施項目 A-1 と共通する点として、AI による動物の検知は一定の成果が得られたものの、その開発には期間と労力を要した。特に、学習のための素材（画像）の収集とアノテーション（対象物を枠で囲う作業）には労力が必要であった。そのため、実施項目 A-1 で述べたように、AI による動物の検知の開発環境の改善に向けた行政主導による取組が望まれる。

4 用語集

用語	定義・解説
HykeWorks	本実証で採用した LTE トレイルカメラのメーカーである株式会社ハイクが提供しているデータクラウドサービス。
ディープラーニング	人間が行う作業をコンピュータに学習させる機械学習の手法のひとつであり、多層的（ディープ）な構造で学習する方法。深層学習ともいう。

2 実施項目 B の詳細

2.1 技術実証の方法

(1) 実証内容の概要

(ア) 目的

吉野熊野国立公園大台ヶ原において、公園内の土地利用、風景・景観、利用状況等の把握のため、視認で確認していた利用者数・属性カウントや公園内の巡視業務等について、人口動態データ、ドローン、トレイルカメラ、AI を用いることで、省力化・高度化できる可能性を検証することを目的とし実施した。実施内容は、以下の構成とした。

- au 人口動態データを用いた利用者数の把握
- トレイルカメラ、AI による利用者数の把握
- 定期的なドローン空撮と AI による駐車台数の把握
- 360 度カメラ、バイノーラル録音による現地状況の記録（静謐、自然音）

なお、ドローンを用いた実証について、当初大台ヶ原ビジターセンター及びその駐車場にて、定期的なドローン空撮による駐車台数の把握と土地利用・風景・景観の把握の実証も実施を予定していたが、対象地域周辺について環境省管轄地域と奈良県管轄地域とが混在しており、奈良県管轄地域においては奈良県の許可を得る必要があった。もともと、本実証に際し、契約期間内での飛行について、奈良県特有の制度の都合上、飛行許可の取得が不可であった。

そのため、駐車台数の把握については、自然公園でない駐車場での実施でも実証目的を代替できるため、実証実施者の関連会社社有地である KDDI 小山ネットワークセンター駐車場（栃木県小山市）にて実施した。土地利用・風景・景観の把握については、実施目的の達成が他の地域での代替では難しいため、最終的には本実証では実施しないこととした。

(イ) 対象業務（法令）

自然環境保全法第 28 条、第 31 条、第 47 条に係る実地調査

自然公園法第 33 条、第 62 条、第 76 条及び、自然公園法施行規則第 13 条の 5 に係る実地調査

(2) 既存調査の概要

本実証の内容の検討にあたり、事前に現在実施されている既存の現地調査の内容を確認した。環境省によって実施されている既存調査の概要は表 2-B-1 に示すとおりであった。この内容を踏まえ、実証内容を検討、実施した。

表 2-B-1 既存調査の概要

利用者数のカウントについて、過去に実施例はあるものの、現状継続的な実施は行われていない。平成 14 年度には、遊歩道周回線の整備方針を検討するために、人による利用者のカウントを 4 地点で、土曜日～月曜日の 3 日間を 3 回（夏休み中、9 月、紅葉期）行っている。駐車場の車の台数のカウントは、かなり長期間、毎日継続して記録されている。毎日 11:30 に駐車場の利用台数と、駐車場に駐車できない車が路上に駐車している際は、路上の車両までカウントしている。路上の車は多い時で 2km くらいにわたって停まっていることがある。それでも計測時間は 1 時間もかからない程度。車、バス（但し路線バスは除く）、バイク+自転車の 3 つのカテゴリにわけて記録している。紅葉の時期の土日祝で天気のいい日と、ゴールデンウィークは駐車場が満車となる。なお、気温もあわせて記録している。風景・景観の撮影・広報は職員が SNS 等を用いて任意に実施している。昔は Facebook を使っていたが、現在は主に花の自然情報等を Instagram に上げている。

参考) 環境省、及び大台ヶ原現地事務所職員への聞き取り
参考) 平成 14 年度 大台ヶ原歩道調査報告書

(3) 実証方法

(ア) au 人口動態データを用いた利用者数の把握

KDDI 社の au 人口動態データは、au の電話回線通信、GPS 位置情報及び契約者情報について個別に明確な同意をいただいたユーザーから収集し、匿名加工処理を施した情報を活用したビッグデータである。

本データは、KDDI 社が提供する KDDI Location Analyzer（以下、KLA）サービスを通して解析・集計・出力ができ、本実証でも KLA を活用し、吉野熊野国立公園 大台ヶ原の利用状況の調査を実施した。



図 2-B-1 au 人口動態データを用いた利用者数把握の概念図



図 2-B-2 KLA システム画面

KLA の Web サービス上に表示されたマップ上からクリックでの操作で来訪者を測定したいエリアを選択し、選択したエリア周辺について、画面上の分析ボタンをクリックすることで、分析結果画面に遷移する。分析結果画面では、エリア周辺の来訪者の属性の集計結果の確認や、Excel ファイル形式、CSV データ形式などで計測結果をダウンロードも可能である。

(イ) トレイルカメラ+AI による利用者数の把握

トレイルカメラ+AI による利用者数の把握の全体像を模式的に図 2-B-3 に示す。

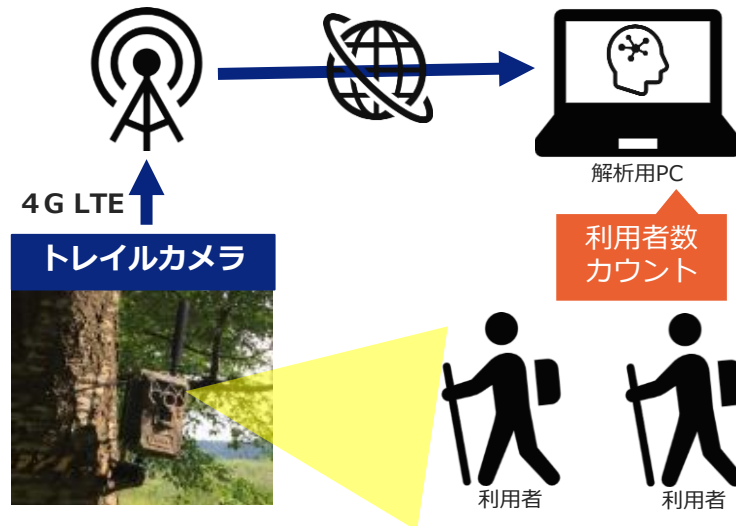


図 2-B-3 LTE トレイルカメラ+AI による利用者数把握の模式図

【トレイルカメラの準備と設置】

吉野熊野国立公園大台ヶ原の 4 つある登山道入り口付近の 4 か所に、通信機能を有する LTE トレイルカメラ（ハイクカム LS4G（株式会社 Hyke 製））（以下、LTE トレイルカメラ）を 8 台設置した。設置箇所は、4 か所ある登山道の入り口付近に、往路・復路が撮影されるように各地点 2 台ずつ設置した。LTE トレイルカメラの撮影状況の検証用として、通信を行わない赤外線センサー付きトレイルカメラ（2020 Browning パトリオット自動撮影カメラ（Browning 社製））（以下、パトリオット）を 1 台のみ設置した。パトリオットの撮影設定は基本的に LTE トレイルカメラと同様に設定したが、仕様上連写のインターバルの最短値が 1 秒である。一方、LTE トレイルカメラのインターバルの最も短い設定は「最短」で、具体的な秒数表示がないため、その 1 点のみ設定が異なっている。

当初は登山道入り口 2 か所での実施を想定していたが、環境省との協議において、可能であれば各登山道の利用者数を把握したいとの要望があったため、上記の設置場所・台数とした。設置期間中は、注意事項を併記した看板を掲示した。

加えて、長期間設置予定であったため、外部電源である「単 1 電池バッテリーコンテナミニ EX32C-12V」又は「単 1 電池バッテリーボックス EX24C-12V」も併せて設置し、動作時間の延長を行った。その結果、回収までに表示上電圧が低下した LTE トレイルカメラとパトリオット（LTE トレイルカメラとパトリオットの両方を指す場合、以下、トレイルカメラ）は確認されなかった。



LTE トレイルカメラの設置中の景観

トレイルカメラ設置の周知看板

図 2-B-4 使用した機材

LTE トレイルカメラは、全て盗難防止用のセキュリティボックスに収納した上で、現地の樹木に付属のベルトで固定した。仕様を表 2-B-2 に、設定を表 2-B-3 に示す。

LTE トレイルカメラは、熱源の動きを感知した場合に、連続で 3 回シャッターを切る設定とした。なお、そのうち初めの 1 枚が HykeWorks に送られる仕様となっている。

表 2-B-2 LTE トレイルカメラ（ハイクカム LS4G）の仕様

項目	内容
動作環境	-20 ~ +60℃（動作） -30 ~ +70℃（保管）
トリガースピード	0.4 秒
リカバリータイム静止画	1 秒
リカバリータイム動画	2 秒
静止画解像度	300 / 500 / 800 / 1000 / 1200 / 2400 万画素
動画解像度	WVGA 846×480 (60fps) / HD 1280×720 (60fps) / フル HD 1920×1080 (60fps) / 2K 2560×1440 (30fps) ピクセル
データ形式	静止画：JPEG / 動画：MP4
画角（水平×垂直角）	78×56°（動画 40°）
センサー反応範囲	50°
センサー反応距離	最大 25m
夜間撮影	940nm 赤外線（ノーグロー）
赤外線照射距離	最大 20m
スケジュール設定	撮影開始日時設定 / センサープラン / タイムラプスプラン
タイムラプス	30 秒, 1, 3, 5, 10, 20, 30 分, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 24 時間
動作時間目安 静止画（通信使用時）	最大 20,000 枚（2,000 枚）
動作時間目安 10 秒間動画（通信使用時）	最大 2,000 本（200 本）
消費電力	1.セットアップモード-電波検索中：250~338mA / 2.セットアップモード-電波受信後最大：190~206mA / 3.SMS オン待機電力：2.7mA / 4.昼間画像撮影時最大：200mA / 5.夜間画像撮影時最大：750mA / 6.撮影モード画像送信：

B-吉野熊野国立公園大台ヶ原における土地利用、風景・景観、利用状況等の把握

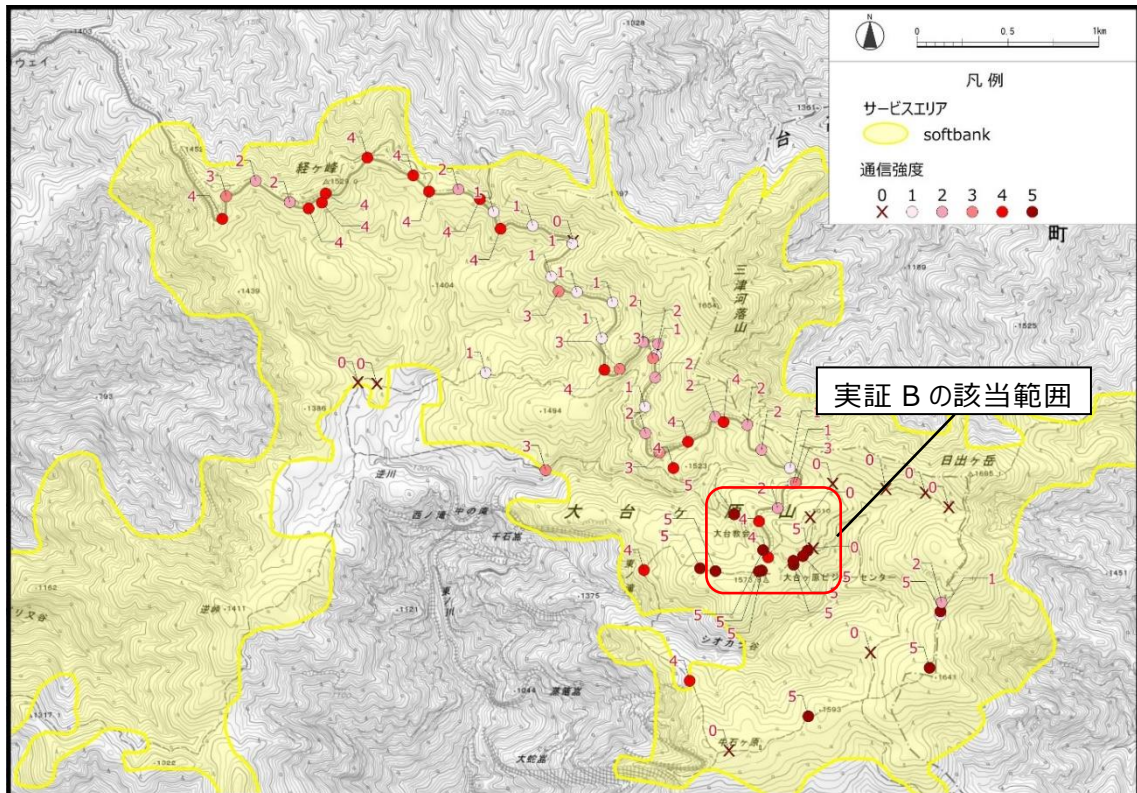
	250mA
静止画連続撮影	静止画モード時：1-10 枚 / 静止画&動画モード時：1 枚
動画撮影時間	5, 10, 20, 30 秒, 1, 2 分
録音機能	あり（オンオフ可）
モニター	2.0 インチカラー
記録媒体	MicroSD カード 最大 32GB（SanDisk 推奨）
対応キャリア	NTT ドコモ/KDDI/SoftBank 及び各 MVNO
電源	12V 単三アルカリ・リチウム電池 12 本
外部ポート	電源ポート（12V DC） / MicroUSB（マストレージ）
メニュー言語	日本語/英語（切替可）
カメラネジ	あり（カメラ背面）
マウント	背面可動式マウント（最大傾斜 30°）
本体サイズ	135×95×85mm（+アンテナ高 170mm）
重量	500g
防水防塵規格	IP65

表 2-B-3 LTE トレイルカメラの本実証での設定

タブ	項目	内容
カメラ	モード	静止画
	静止解像度	300 万画素
	連続撮影	3 枚
	連続撮影間隔	最短
トリガー	センサー感度	中
	デレイ	0 秒
	タイムラプス	オフ
	スケジュール 1	オフ
	スケジュール 2	オフ
	稼働日	実行
システム	撮影開始	実行
	日時設定	実行
	カメラ ID	H101 等
	GPS 座標	オフ
	GPS 更新周期	オフ
	カメラ追跡	オフ
	パスワード	オン
	タイムスタンプ	オン
	上書き設定	オフ
	キータッチ音	オフ
	LED 表示	オン
	FW 更新	実行
	初期設定	実行
	マニュアル	実行
光センサー	中	
言語	日本語	
インフォメーション	実行	

実施項目 B | ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得
B-吉野熊野国立公園大台ヶ原における土地利用、風景・景観、利用状況等の把握

実施項目 A と同様に、事前に LTE 通信の状況を au、NTT docomo、Softbank の各回線についてサービスエリアマップで確認したところ、吉野熊野国立公園大台ヶ原では Softbank の通信網が今回調査範囲のほぼ全域をカバーしていた。事前に現地踏査を行い、スマートフォン等の LTE デバイスによって Softbank の通信強度を確認した（図 2-B-5）上で、Softbank 回線を使用することとした。



地理院タイルに調査地点を追記して掲載

図 2-B-5 現地踏査による LTE 電波状況の確認（Softbank）

【AIによる画像解析】

撮影画像を、画像解析用 AI ソフトウェアである DeepFace を用いて、顔が写っている人物を検出した。ここで、顔が認識された画像は、トレイルカメラに向かっている方向で歩いているものと判断し、カウントした。トレイルカメラの設置、及び人による利用者数の計数はそれぞれの登山道（A、B、C、D コース）の入り口付近 4 か所（A、B、C、D 地点）において実施した。なお、吉野熊野国立公園大台ヶ原の登山道は C コースを除き、A・B・D コースは互いに途中で合流している（図 2-B-6）。そのため、吉野熊野国立公園大台ヶ原全体の利用者数は、トレイルカメラで撮影された利用者数からは計算できないことから、各登山道の往路・復路の利用者を算出する形とした。トレイルカメラで撮影された写真を用いた利用者のカウント方法の模式図を図 2-B-7 に示す。撮影された利用者のうち、顔が撮影されていた人を、カメラに向かってくる人としてカウントすることで、撮影されている人の進行方向を判断し、顔が写っていればトレイルカメラに近づく方向に進んでいるものとして、往路方向又は復路方向を算出した。その後、連なって歩いている場合には人の陰に隠れるタイミングなどがあったことから、3 連写した写真は連なって歩いている人のうち、最も多くの顔が撮影されていた顔の個数をもとに、利用者数を算出した。後述するように LTE トレイルカメラの特性上、トレイルカメラに向かってくる人の捕捉率のほうが優秀であったため、往路方向に向けて設置したトレイルカメラからは復路方向に歩く利用者、復路方向に設置したトレイルカメラからは往路方向に歩く利用者を算出し、実測値と比較した。比較の方法は、A 地点のみ現地でのカウントを 6 日間実施したため 6 日間のデータでの比較、その他の地点は 2 日間のデータでの比較とした。



出典：画像は上北山村公式ホームページ 観光情報 令和 5 年 12 月 28 日閲覧 より引用

(<http://vill.kamikitayama.nara.jp/kanko/tanoshimu/odaigahara/>)

図 2-B-6 吉野熊野国立公園大台ヶ原の登山道の模式図

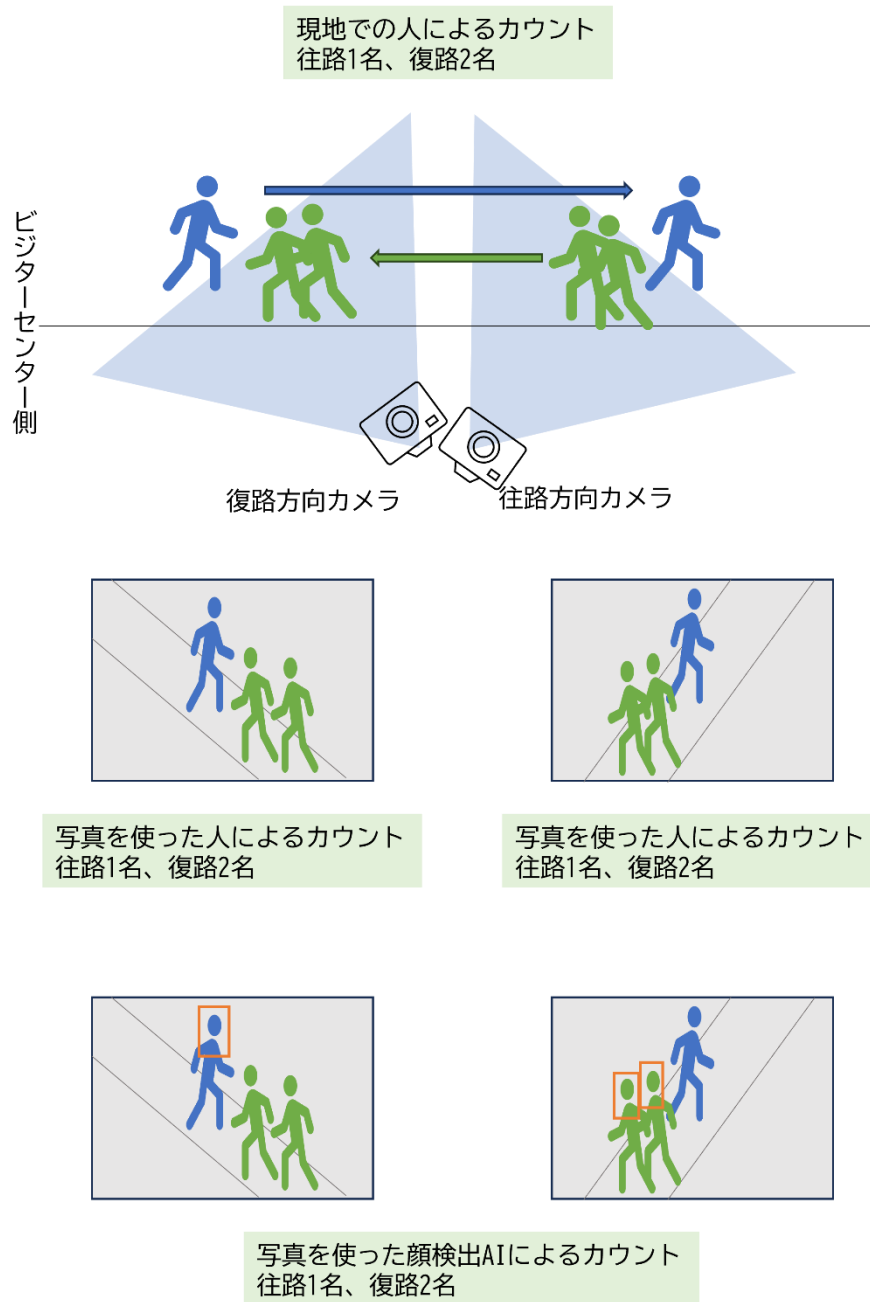


図 2-B-7 撮影画像から利用者カウントを行う模式図

【人による利用者数カウント】

現状、吉野熊野国立公園大台ヶ原での利用者の継続的な集計は行われていないが、画像から AI で利用者数を算出し、その結果の精度を評価するにあたり、正確な利用者数を把握しておく必要がある。そのため、紅葉前（令和 5 年 10 月 20 日と 21 日）・紅葉中（令和 5 年 10 月 29 日と 30 日）・紅葉後（令和 5 年 11 月 11 日と 12 日）の平日と休日の計 6 回現地の利用者数をカウントし、AI による解析結果との比較を行った。利用者数のカ

実施項目 B | ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得

B-吉野熊野国立公園大台ヶ原における土地利用、風景・景観、利用状況等の把握
ウントは 6:00～16:59 の時間帯に実施し、調査回ごとに表 2-B-6 に後述するとおりそれぞれ 2 か所で実施した。なお、調査方法等については、過去に吉野熊野国立公園大台ヶ原で実施された人による利用者数調査の報告書（平成 14 年度 大台ヶ原歩道調査報告書）を参考とした。



利用者のカウント実施状況

図 2-B-8 現地における利用者カウントの作業状況

(ウ) 定期的なドローン空撮による駐車台数の把握

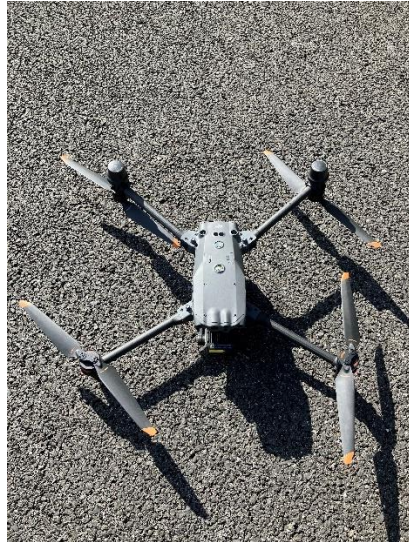
【ドローンによる空撮の方法】

当初吉野熊野国立公園大台ヶ原の駐車場での実施を計画していた。しかし、環境省及び奈良県との協議の結果、奈良県県有地が含まれる範囲でのポート付きドローン設置およびドローンの飛行が、奈良県の制度上難しいことが明らかとなった。駐車台数の把握については、自然公園でない駐車場での実施でも実証目的を代替できるため、代替として公園内駐車場ではなく、撮れる写真データとして大きな差分がなく、ドローンの飛行の許可が取得可能であった KDDI 社所有の駐車場において実証を実施した。駐車場をドローンで 2 日にかけて空撮し、撮影画像を AI を用いて解析することで車両カウントの省力化を目指した。使用した機材を図 2-B-9 に、作成した飛行プランを図 2-B-10 に示す。飛行は地上高 30m、50m、70m の高度から、ななめ写真をインターバル撮影で複数撮影するプランとした。なお、万が一の落下のおそれを考慮して、駐車している車の直上は飛行させなかった。

【使用したドローン及びドローンポート】

ドローン機体は DJI 社製の Matrice30、ドローンポートは Matrice30 に対応した DJI 社製の DJI Dock を使用した。ドローンポート自体にも風速計や降雨計・RTK（Real Time Kinematic）という地上に設置された基準点からの位置情報データを活用して±2cm 程度の測位が可能となる技術が活用できるモジュールがつくなど、高機能である。

実施項目 B | ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得
 B-吉野熊野国立公園大台ヶ原における土地利用、風景・景観、利用状況等の把握

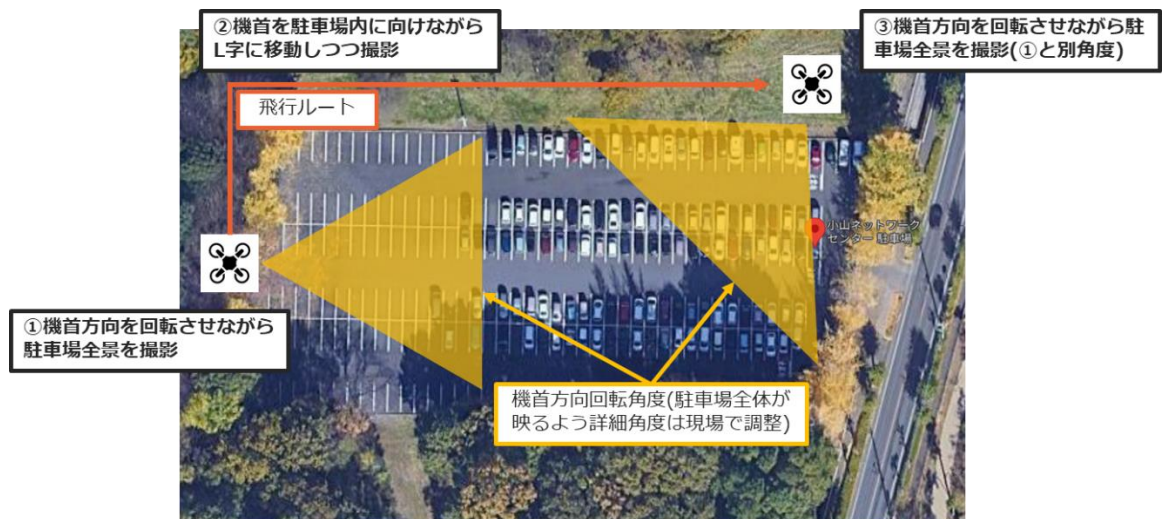


ドローン (Matrice30)



ドローンポート (DJI Dock)

図 2-B-9 使用した機材



- ・フライト中は常に時間インターバル撮影・動画撮影を実施 (1回のフライトで写真・動画を撮影可能)
- ・高度は30m,50m,70mでの実施を想定 (各高度1フライト、合計3フライト)

図 2-B-10 立案した飛行プラン

【AI を用いた車両のカウント】

空撮画像からの車両のカウントには、ドローン空撮画像などから小さな物体を検出することを目的に開発されたオープンソース (MIT ライセンス) のアルゴリズムである SAHI: Slicing Aided Hyper Inference を用いた。一般的に YOLOv5 などの物体検出アルゴリズムは画像内の小さな物体の検出が困難である。こうした物体検出アルゴリズムの欠点を補うため開発された SAHI を、YOLO v 5 と組み合わせて用いることで、小さな物体の検出率が向上することが期待された。

実施項目 B | ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得
B-吉野熊野国立公園大台ヶ原における土地利用、風景・景観、利用状況等の把握

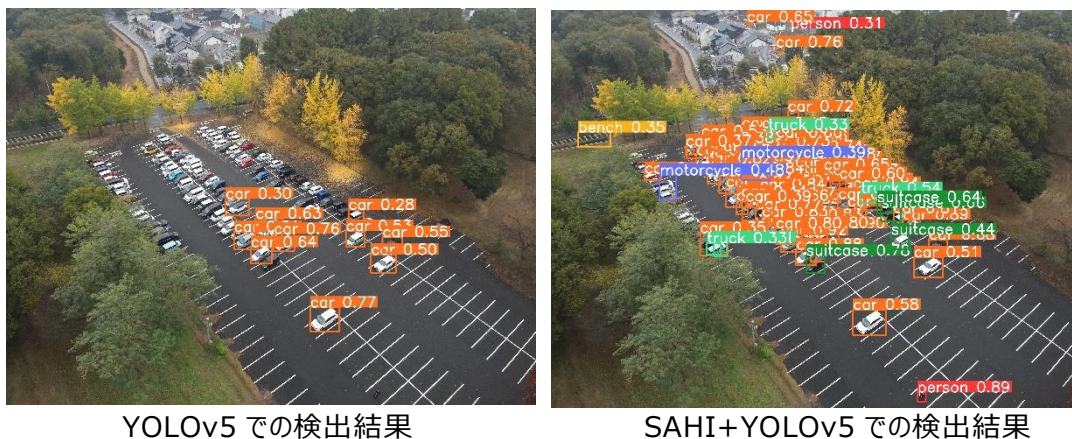


図 2-B-11 YOLOv5 と SAHI+YOLOv5 による検出結果の例

(工) 360 度カメラ、バイノーラル録音による現地状況の記録（静謐、自然音）

吉野熊野国立公園大台ヶ原の自然環境情報をよりリアルに取得・記録するため、360 度カメラとバイノーラル録音機を使用し、現地での撮影を実施した。使用した機材を図 2-B-12 に示す。

・360 度カメラ： Insta360 Pro2

6 個の魚眼レンズ（F2.4）を備え、8K の 3DVR 画像を撮影可能である。

・バイノーラル録音機： Zoom ASMR H3-VR

左右・上下方向の 360 度でのバイノーラル録音可能なマイクである。



Insta360 Pro2 及び Zoom ASMR H3-VR

撮影作業

図 2-B-12 使用した機材

(オ) 開発・準備期間

本実証の開発・準備期間を表 2-B-4 に示す。今回、準備を開始してから現地の実証を開始するまでにトータルで約 2 ヶ月を要した。

表 2-B-4 開発・準備期間

項目	期間
LTEトレイルカメラ等の準備と設置	本実証に使用できる機種を選定に期間を要したが、機種が決まっており在庫があれば発注から納品までは数日。 社内手続の関係もあり、LTE 通信のために必要な SIM カードの入手に 28 日。 人の検出のための撮影設定を決定するのに試行錯誤をして 2 週間、LTE トレイルカメラの設定は 15 分/台程度。 設置作業は 30 分/台程度であり、合計 9 台の設置であったため 1 日で完了。
行政手続	現地の確認のための事前踏査が必要。その後申請書類の作成に約 5 日、申請先とのやりとりに数日、受理されてから許可が下りるまでは通常 1 か月。
ドローン手配と空撮	本実証でのポート付きドローンの調達については、レンタルで実施し、レンタル業者側での在庫があれば 2 週間程度で調達が可能。 航空局の飛行許可を必要とする空域ではない為、航空局への飛行申請は不要。 駐車場の管理担当者へは事前に実施予定日及び実施内容について説明。
360 度カメラ・バイノーラル録音機等の準備と撮影	機種が決まっており在庫があれば発注から納品までは数日。撮影作業はバッテリー 1 個当たり約 50 分程度であり、現地での撮影ではバッテリー 2 個用いて 1 回あたりは 1 日で実施。

2.2 実施場所等

(1) 実証期間・実証日

(ア) au 人口動態データを用いた利用者数の把握

人口動態データの計測の調査にて吉野熊野国立公園大台ヶ原での A コース、C コースの通行者数（往路・復路）目視実測値データ（紅葉シーズン期間（令和 5 年 10 月 29 日））と KLA 出力結果（紅葉シーズン期間（令和 5 年 10 月 23 日～11 月 5 日の 2 週間平均より祝休日に特化した解析））を集計し比較を行った。

(イ) トレイルカメラ+AI による利用者数の把握

令和 5 年 10 月 19 日～11 月 28 日にかけて 41 日間の現地調査を実施し、持ち帰ったデータを用いて解析を行った。トレイルカメラの設置・回収及び点検の実施日を表 2-B-5 に、調査員による現地での利用者カウントの実施日を表 2-B-6 に示す。

表 2-B-5 トレイルカメラの設置・回収及び点検の実施日

項目	実施日	実施内容
トレイルカメラ設置	令和 5 年 10 月 19 日	トレイルカメラ計 9 台を設置した。
点検①	令和 5 年 10 月 20 日～21 日	撮影状況を見て画角等を微調整した。
点検②	令和 5 年 11 月 2 日	周知用看板の増強を行った。
点検③	令和 5 年 11 月 14 日	環境省からの指摘を受け、一部のトレイルカメラの高さを変更した。
点検④	令和 5 年 11 月 20 日	画像送付が止まったトレイルカメラの点検及び交換作業。点検日までに症状は解消されたが、念のためカメラを交換した。
トレイルカメラ回収	令和 5 年 11 月 28 日	設置していたすべてのトレイルカメラを回収した。

表 2-B-6 調査員による現地での利用者カウントの実施日

項目	実施日	実施地点
利用者カウント①	令和 5 年 10 月 20 日（金）	1 回目平日；A 地点と B 地点
利用者カウント②	令和 5 年 10 月 21 日（土）	1 回目休日；A 地点と B 地点
利用者カウント③	令和 5 年 10 月 29 日（日）	2 回目休日；A 地点と C 地点
利用者カウント④	令和 5 年 10 月 30 日（月）	2 回目平日；A 地点と C 地点
利用者カウント⑤	令和 5 年 11 月 12 日（日）	3 回目休日；A 地点と D 地点
利用者カウント⑥	令和 5 年 11 月 13 日（月）	3 回目平日；A 地点と D 地点

※利用者カウントは 6：00～16：59 までの時間帯で実施。

実施項目 B | ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得

B-吉野熊野国立公園大台ヶ原における土地利用、風景・景観、利用状況等の把握

(ウ) 定期的なドローン空撮による駐車台数の把握

KDDI 小山ネットワークセンターの駐車場でドローンによる空撮実施日を以下に示す。計 2 回の調査を行った。

第 1 回目撮影 令和 5 年 11 月 9 日

第 2 回目撮影 令和 5 年 11 月 10 日

(エ) 360 度カメラ、バイノーラル録音による現地状況の記録（静謐、自然音）

360 度カメラ及びバイノーラル録音による現地状況の記録実施日を以下に示す。計 2 回の調査を行った。

第 1 回目撮影 令和 5 年 10 月 31 日

第 2 回目撮影 令和 5 年 11 月 14 日

(2) 実証場所

(ア) au 人口動態データを用いた利用者数の把握

前述のとおり、KLA 自体は Web ブラウザ上で利用できるサービスであるため、インターネットに接続できる環境であれば、どこからでも利用が可能である。

また、本項目の計測対象範囲としては、図 2-B-13 のように、大台ヶ原ビジターセンター駐車場の周辺（赤枠内）を選択し解析を行った。



図 2-B-13 KLA での大台ヶ原ビジターセンター駐車場周辺エリア選択画面

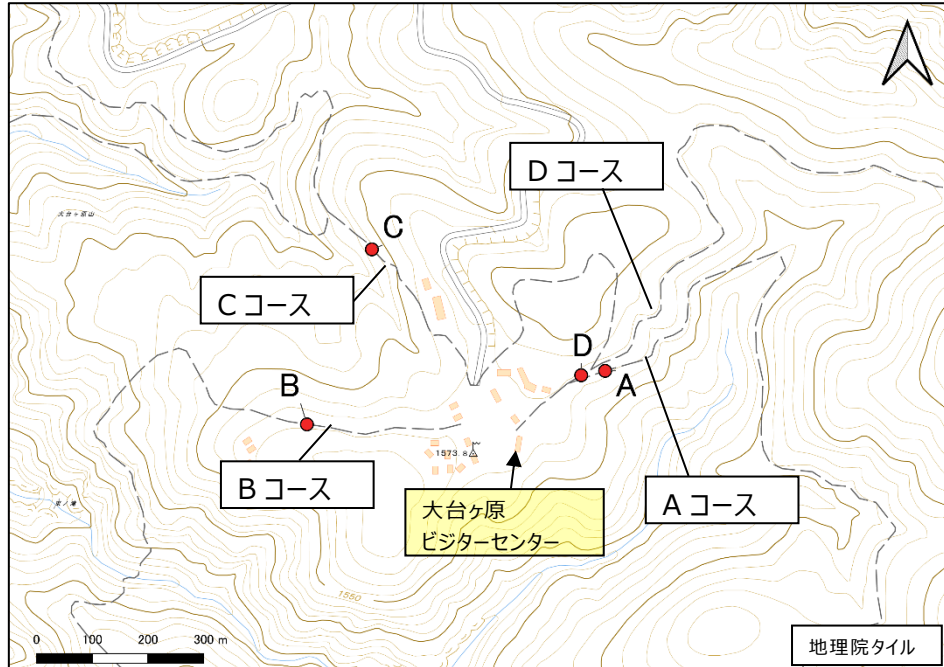
(イ) トレイルカメラ+AI による利用者数の把握

吉野熊野国立公園大台ヶ原の登山道（A、B、C、D コース）の入り口付近 4 か所において実施した。設置地点図を図 2-B-14 に示す。4 地点において、登山道に対して往路方向及び復路方向に対して 1 台ずつ計 8 台の LTE トレイルカメラを設置した（図 2-B-15）。調査員による現地での利用者カウントを実施する際は、トレイルカメラが調査員に反応してシャッターを切ることがないように、トレイルカメラ設置地点から登山口側にある程度（数十 m 程度）離れた地点でカウントを実施した。

実施項目 B | ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得

B-吉野熊野国立公園大台ヶ原における土地利用、風景・景観、利用状況等の把握

なお、LTE トレイルカメラは、写真撮影後から画像送付が完了するまでの間は、撮影が行われないため、通信状況や撮影頻度によっては欠測が起こる可能性が想定された。そのため、撮影状況検証のため、パトリオット（通信を行わないトレイルカメラ）1 台を、A コースの往路方向に対してあわせて設置した（図 2-B-16）。



地点	カメラ種別	カメラ向き	カメラ番号
A	LTE トレイルカメラ	往路	H127
	LTE トレイルカメラ	復路	H132
	パトリオット		-
B	LTE トレイルカメラ	往路	H133
		復路	H133,H130（途中で交換）
C	LTE トレイルカメラ	往路	H134
		復路	H129
D	LTE トレイルカメラ	往路	H131
		復路	H128

出典：地理院タイルに調査地点を追記して掲載

図 2-B-14 トレイルカメラ設置位置図

実施項目 B | ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得
 B-吉野熊野国立公園大台ヶ原における土地利用、風景・景観、利用状況等の把握









設置地点	往路方向を撮影	復路方向を撮影
A		
B		
C		
D		

図 2-B-15 LTE トレイルカメラ設置状況

設置地点	復路方向を撮影
A	

図 2-B-16 検証用トレイルカメラ（パトリオット）設置状況

(ウ) 定期的なドローン空撮による駐車台数の把握

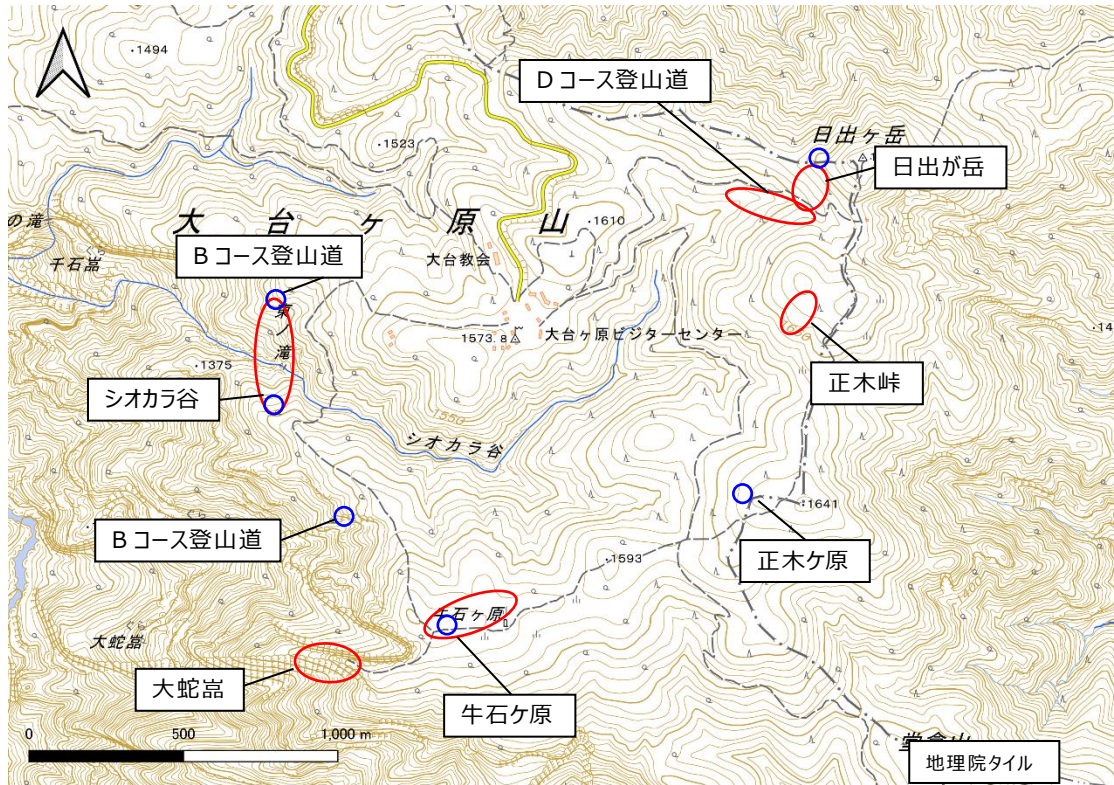
KDDI 社有地（KDDI 小山ネットワークセンター）の駐車場において実施した。駐車場の直上は飛行させず、駐車場の脇を L 字に飛行させ、高さを 30m、50m、70m と変えつつインターバル撮影設定でななめ写真を複数枚撮影した。



図 2-B-17 ドローン駐車場飛行案飛行

(エ) 360 度カメラ、バイノーラル録音による現地状況の記録（静謐、自然音）

東大台の登山道において、吉野熊野国立公園大台ヶ原を象徴するような環境で映像を取得するよう努めた。撮影地点を図 2-B-18 に示す。このうち、赤い楕円で示した 7 か所は調査員がカメラを持ちながら徒歩で録画を行った区間、青い円で示した 6 箇所はカメラを一定時間設置して録画した地点となっている。



地理院タイルに調査地点を追記して掲載

図 2-B-18 360度カメラ撮影位置図（赤い楕円は徒歩で録画、青い円は設置録画を示す）

2.3 実施条件等

(1) 条件と機能

実証にあたって前提として求められていた条件と機能は表 2-B-7 に示すとおりであり、この条件等に基づき実証を実施した。

表 2-B-7 条件と機能

実証内容に共通な条件と機能
(1) 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること。
(2) 自然環境（特に（1）厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること。
(3) 対象法令及び関係法令の規制に抵触せず、また公園利用に著しい支障（例えば、ドローン落下により景観や地形を損傷する、放置状態にする等）を与えないデジタル機材や情報収集方法とすること。
(4) 広大な面積、複雑な地形、見通しが悪い森林や暗所、動物移動の観測など自然物の特有の状態でも取得する情報の正確性を確保することが可能なデジタル機材や情報収集方法とすること。
(5) 自然環境の雰囲気（静謐、自然音、香り等）の把握に際して、人間の五感を可能な限り再現すること。

実施項目 B | ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得
B-吉野熊野国立公園大台ヶ原における土地利用、風景・景観、利用状況等の把握

(2) 行政手続

国立公園内に機器を設置するにあたり、事前に「特別保護地区内工作物の新築許可申請書」を作成し、環境省近畿地方環境事務所長宛に提出した。なお、本申請は同地区内で別途並行実施した「実施項目 A | Starlink を活用したニホンジカやヒグマ等の生息状況調査」で用いた LTE トレイルカメラの設置も含めて行っている。

3 技術実証の結果

3.1 結果の評価ポイント・方法

(1) 実証結果の確認方針

1.3 (6) で概要を示した評価ポイントを踏まえて策定した実施項目 B の実証の確認方針と具体的な指標等の内容を表 3-B-1 実証結果の確認方針に示すとおり整理した。

下記の評価ポイントに基づいて確認した結果は、3.2(2)に後述した。

表 3-B-1 実証結果の確認方針

評価ポイント	確認方針	指標、及びその目標値
① 網羅性の比較	<ul style="list-style-type: none"> ・ au 人口動態のデータを元に利用者数を推定する ・ 現地調査において利用者の主な動線とトレイルカメラの設置位置の関係を把握する ・ ドローンによる空撮を行い、その撮影範囲を確認する ・ 360 度カメラ・録音機器の設置地点を整理する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 人口動態データで公園利用者数の推定ができるか ・ 利用者の主な動線にトレイルカメラが設置されているか ・ 想定した空撮範囲を取得したデータでカバーできているか (80%) ・ 公園内の代表的な箇所に 360 度カメラを設置できているか
② 正確性の比較	<ul style="list-style-type: none"> ・ 人口動態データ及びトレイルカメラによる調査と比較するため、調査員による現地調査により公園利用者数を把握する ・ 調査時期、時間帯の異なる空撮画像の重ね合わせを行う ・ 360 度カメラ・録音データを用いて 3 次元動画を作成する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 人口動態データ、トレイルカメラを用いた利用者数と現地調査結果の比較 (乖離率 ±20%) ・ 属性ごとの利用者数割合等、調査員による調査では得られないデータが得られているか ・ 空撮画像は撮影目的を達成できる画角での撮影が実施できているか ・ 3 次元動画において現地の状況 (静謐性等) が再現できているか
③ 継続性の比較	<ul style="list-style-type: none"> ・ 従来手法で記録・集計された公園利用者数等の統計情報を収集・整理する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 従来手法で記録されている駐車台数等と本実証で得られた結果に大きな齟齬が認められないかどうか。大きな齟齬が見られる場合はその原因を明らかとする
④ 経済性の比較	<ul style="list-style-type: none"> ・ 機器設置、運用、データ整理、結果の出力にかかるコストを整理する ・ 利用者数調査について従来手法で実施した場合のコストを整理する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 調査に係る費用が過大なものとなっていないかどうか
⑤ 機動性の比較	<ul style="list-style-type: none"> ・ 機器設置、運用、データ整理、結果の出力にかかる工程・期間を整理する ・ 従来手法で実施した場合の工程・期間を整理する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 利用者数の集計等に係る工程・期間が短縮されているか ・ ドローン、360 度カメラ等による調査に係る工程・期間が過大なものとなっていないかどうか
⑥ 再現性の比較	<ul style="list-style-type: none"> ・ 調査期間中、人口動態データの取得、トレイルカメラ、ドローン及び 360 度カメラ・録音機器による調査を複数回実施する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 人口動態のデータは調査回によらず同様のデータが取得できているか ・ トレイルカメラ、360 度カメラ・録音機器によるデータ取得は調査時期によらず同様のデータが取得できているか ・ ドローンによる空撮画像は同じ画角での撮影ができているか

⑦ 安全性の比較	・ ドローンによる調査に対するリスクを評価する	・ ドローンによる調査に伴う第三者等へのリスクが定量化され、対策が検討されているか
⑧ 機密性の比較	・ 人口動態データの整理、通信における情報漏洩防止対策の実施とコストを集計する	・ 継続可能なコストで十分にリスクが低減できているかどうか

実施項目 B においては複数の実証項目があるため、上記を踏まえた各項目の確認方針をそれぞれ示す。

(ア) au 人口動態データを用いた利用者数の把握

人口動態データを用いた利用者数の把握に関する実証の確認方針と具体的な指標等の内容を表 3-B-2 に示す。

下記の評価ポイントに基づいて確認した結果は、3.2(2)に後述した。

表 3-B-2 当該項目に該当する確認方針（人口動態データを用いた利用者数の把握）

評価ポイント	確認方針	指標、及びその目標値
① 網羅性の比較	・ au 人口動態のデータを元に利用者数を推定する	・ 人口動態データで公園利用者数の推定ができるか
② 正確性の比較	・ 人口動態データ及びトレイルカメラによる調査と比較するため、調査員による現地調査により公園利用者数を把握する	・ 人口動態データ、トレイルカメラを用いた利用者数と現地調査結果の比較（乖離率±20%） ・ 属性ごとの利用者数割合等、調査員による調査では得られないデータが得られているか
④ 経済性の比較	・ 機器設置、運用、データ整理、結果の出力にかかるコストを整理する ・ 利用者数調査について従来手法で実施した場合のコストを整理する	・ 調査に係る費用が過大なものとなっていないかどうか
⑤ 機動性の比較	・ 機器設置、運用、データ整理、結果の出力にかかる工程・期間を整理する ・ 従来手法で実施した場合の工程・期間を整理する	・ 利用者数の集計等に係る工程・期間が短縮されているか
⑥ 再現性の比較	・ 調査期間中、人口動態データの取得、トレイルカメラ、ドローン及び360度カメラ・録音機器による調査を複数回実施する	・ 人口動態のデータは調査回によらず同様のデータが取得できているか
⑧ 機密性の比較	・ 人口動態データの整理、通信における情報漏洩防止対策の実施とコストを集計する	・ 継続可能なコストで十分にリスクが低減できているかどうか

(イ) トレイルカメラ+AI による利用者数の把握

トレイルカメラ+AI による利用者数の把握に関する実証の確認方針と具体的な指標等の内容を表 3-B-3 に示す。

下記の評価ポイントに基づいて確認した結果は、3.2(2)に後述した。

表 3-B-3 当該項目に該当する確認方針（トレイルカメラ+AI による利用者数の把握）

評価ポイント	確認方針	指標、及びその目標値
① 網羅性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 現地調査において利用者の主な動線とトレイルカメラの設置位置の関係を把握する 	<ul style="list-style-type: none"> 利用者の主な動線にトレイルカメラが設置されているか
② 正確性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 人口動態データ及びトレイルカメラによる調査と比較するため、調査員による現地調査により公園利用者数を把握する 	<ul style="list-style-type: none"> 人口動態データ、トレイルカメラを用いた利用者数と現地調査結果の比較（乖離率±20%）
④ 経済性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 機器設置、運用、データ整理、結果の出力にかかるコストを整理する 利用者数調査について従来手法で実施した場合のコストを整理する 	<ul style="list-style-type: none"> 調査に係る費用が過大なものとなっていないかどうか
⑤ 機動性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 機器設置、運用、データ整理、結果の出力にかかる工程・期間を整理する 従来手法で実施した場合の工程・期間を整理する 	<ul style="list-style-type: none"> 利用者数の集計等に係る工程・期間が短縮されているか
⑥ 再現性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 調査期間中、人口動態データの取得、トレイルカメラ、ドローン及び360度カメラ・録音機器による調査を複数回実施する 	<ul style="list-style-type: none"> トレイルカメラ、360度カメラ・録音機器によるデータ取得は調査時期によらず同様のデータが取得できているか

(ウ) 定期的なドローン空撮による駐車台数の把握

定期的なドローン空撮による駐車台数の把握に関する実証の確認方針と具体的な指標等の内容を表 3-B-4 に示す。

下記の評価ポイントに基づいて確認した結果は、3.2(2)に後述した。

表 3-B-4 当該項目に該当する確認方針（定期的なドローン空撮による駐車台数の把握）

評価ポイント	確認方針	指標、及びその目標値
① 網羅性の比較	<ul style="list-style-type: none"> ドローンによる空撮を行い、その撮影範囲を確認する 	<ul style="list-style-type: none"> 想定した空撮範囲を取得したデータでカバーできているか（80%）
② 正確性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 調査時期、時間帯の異なる空撮画像の重ね合わせを行う 	<ul style="list-style-type: none"> 空撮画像は撮影目的を達成できる画角での撮影が実施できているか
③ 継続性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 従来手法で記録・集計された公園利用者数等の統計情報を収集・整理する 	<ul style="list-style-type: none"> 従来手法で記録されている駐車台数等と本実証で得られた結果に大きな齟齬が認められないかどうか。大きな齟齬が見られる場合はその原因を明らかにする
④ 経済性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 機器設置、運用、データ整理、結果の出力にかかるコストを整理する 利用者数調査について従来手法で実施した場合のコストを整理する 	<ul style="list-style-type: none"> 調査に係る費用が過大なものとなっていないかどうか
⑤ 機動性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 機器設置、運用、データ整理、結果の出力にかかる工程・期間を整理する 	<ul style="list-style-type: none"> ドローン、360度カメラ等による調査に係る工程・期間が過大なものとなっていないかどうか

	<ul style="list-style-type: none"> 従来手法で実施した場合の工程・期間を整理する 	
⑥ 再現性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 調査期間中、人口動態データの取得、トレイルカメラ、ドローン及び 360 度カメラ・録音機器による調査を複数回実施する 	<ul style="list-style-type: none"> ドローンによる空撮画像は同じ画角での撮影ができていますか
⑦ 安全性の比較	<ul style="list-style-type: none"> ドローンによる調査に対する安全性のリスクと対応を評価する 	<ul style="list-style-type: none"> ドローンによる調査に伴う第三者等へのリスクが定量化され、対策が検討されているか

(工) 360 度カメラ、バイノーラル録音による現地状況の記録（静謐、自然音）

360 度カメラ、バイノーラル録音による現地状況の記録に関する実証の確認方針と具体的な指標等の内容を表 3-B-5 に示す。

下記の評価ポイントに基づいて確認した結果は、3.2(2)に後述した。

表 3-B-5 当該項目に該当する確認方針（360 度カメラ、バイノーラル録音による現地状況の記録）

評価ポイント	確認方針	指標、及びその目標値
① 網羅性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 360 度カメラ・録音機器の設置地点を整理する 	<ul style="list-style-type: none"> 公園内の代表的な箇所に 360 度カメラを設置できているか
② 正確性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 360 度カメラ・録音データを用いて 3 次元動画を作成する 	<ul style="list-style-type: none"> 3 次元動画において現地の状況（静謐性等）が再現できているか
④ 経済性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 機器設置、運用、データ整理、結果の出力にかかるコストを整理する 利用者数調査について従来手法で実施した場合のコストを整理する 	<ul style="list-style-type: none"> 調査に係る費用が過大なものとなっていないかどうか
⑤ 機動性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 機器設置、運用、データ整理、結果の出力にかかる工程・期間を整理する 従来手法で実施した場合の工程・期間を整理する 	<ul style="list-style-type: none"> ドローン、360 度カメラ等による調査に係る工程・期間が過大なものとなっていないかどうか
⑥ 再現性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 調査期間中、人口動態データの取得、トレイルカメラ、ドローン及び 360 度カメラ・録音機器による調査を複数回実施する 	<ul style="list-style-type: none"> トレイルカメラ、360 度カメラ・録音機器によるデータ取得は調査時期によらず同様のデータが取得できているか

(2) 実証結果の評価方法

実証結果については、前述のとおり設定した指標等が達成できたかを確認するとともに、各実施項目において共通の前提条件や機能要件として定められた事項を満たすかも検証した。具体的には、定量的評価と定性的評価の 2 つの観点から、各項目に応じて以下の表 3-B-6 に示すとおり評価することとした。

下記の評価方法に基づいて評価した結果は、3.2(3)に後述した。

表 3-B-6 実証結果の評価方法

実証内容に共通な条件と機能	評価方法
(1) 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること	<ul style="list-style-type: none"> 最寄りのアメダスデータや現地調査時に取得した気象条件をもとに、実証期間中の気温、降水量、風速について整理して、使用機材の耐用条件を基準として検証し、実証成功時にドローンによる業務代替可能な天候条件を評価する
(2) 自然環境（特に生物）への影響に配慮したデジタル機材や情報収集方法とすること	<ul style="list-style-type: none"> 騒音、強い光、周囲の景観に沿わない色彩、悪臭などを発生させない機材を選定し、撮影対象が撮影されているか評価する ドローンの飛行音などについて、周囲と十分な離隔を確保する等の対策を実施の上、自然環境への影響がないかを評価する
(3) 対象法令及び関係法令の規制に抵触せず、また公園利用に著しい支障（例えば、ドローン落下により景観や地形を損傷する、放置状態にする等）を与えないデジタル機材や情報収集方法とすること	<ul style="list-style-type: none"> 公園利用や対象法規制で求められている要件をリスト化し、実証機材・方法についてそれらの要件に準拠していることを記録する ドローンのフェイルセーフ機能を異常時も自然環境を損傷しないよう、適切に設定し問題がないか評価する
(4) 広大な面積、複雑な地形、見通しが悪い森林や暗所、動物移動の観測など自然物の特有の状態でも取得する情報の正確性を確保することが可能なデジタル機材や情報収集方法とすること	<ul style="list-style-type: none"> 駐車場の利用状況について、想定した範囲を把握できているか確認する 人の利用状況について、調査員による記録と同程度の精度で記録できているか確認する
(5) 自然環境の雰囲気（静謐、自然音、香り等）の把握に際して、人間の五感を可能な限り再現すること	<ul style="list-style-type: none"> 360度動画について、VRゴーグル等を利用して視聴した際に、現地の自然環境の雰囲気を再現できているか確認する
(6) 取得したカメラやセンサー等での取得情報は、利用調整地区制度を管理する施設にリアルタイムで送信し表示させること	<ul style="list-style-type: none"> 対象外
(7) 国立公園の普通地域又は自然環境保全地域の普通地区における行為届出に関し、行為地周辺の 3次元立体構造データを作成して実証を行う場合、ノートパソコン向けの内蔵 GPU のみでも支障なく動作し操作ができるものとすること。	<ul style="list-style-type: none"> 対象外

3.2 結果及び評価・分析

(1) 技術実証の実施結果

(ア) au 人口動態データを用いた利用者数の把握

人口動態データの計測の調査にて目視実測値データ（紅葉シーズン期間（令和 5 年 10 月 29 日の午前 6:00～16:59 までの目視計測））と KLA 出力結果（紅葉シーズン期間（令和 5 年 10 月 23 日～11 月 5 日の 2 週間平均より祝休日に特化した解析データより、6:00～16:59 時間帯のデータを抽出））の集計結果を表 3-B-7 に示す。

表 3-B-7 10 月 29 日目視通行者数計測結果と KLA 出力結果

時間	10 月 29 日 A コース目視 (往)	10 月 29 日 A コース目視 (復)	10 月 29 日 C コース目視 (往)	10 月 29 日 C コース目視 (復)	KLA (2 週間平 均のうち祝祭 日に特化)
6:00～6:59	10	1	1	0	25
7:00～7:59	16	4	1	1	51
8:00～8:59	18	15	20	0	30
9:00～9:59	14	4	1	1	10
10:00～10:59	19	28	44	0	45
11:00～11:59	8	31	5	1	40
12:00～12:59	2	51	2	7	52
13:00～13:59	4	20	0	11	149
14:00～14:59	3	34	1	3	137
15:00～15:59	2	51	0	48	30
16:00～16:59	0	0	0	0	5

(イ) トレイルカメラ+AI による利用者数の把握

1) トレイルカメラの稼働状況

吉野熊野国立公園の遊歩道に LTE トレイルカメラ 8 台とパトリオット 1 台を設置し、令和 5 年 10 月～11 月の期間に 41 日間の調査を行った。設置日と回収日を除く 39 日間の調査結果から、計 87,880 枚の画像を得た。

トレイルカメラを現地に設置した期間における、トレイルカメラの稼働状況を表 3-B-8 に示す。B コースの復路向きに設置した H130 が、令和 5 年 11 月 13 日の夜間～令和 5 年 11 月 19 日の明け方まで、撮影画像の送付がストップするというトラブルがあったが、撮影自体は行われていた。画像の送付がストップした原因は不明であったが、念のため令和 5 年 11 月 20 日にカメラを H130 から H135 に交換した。それ以外のトレイルカメラでも、一部動作に不具合（データ保存エラーやデータ送付失敗、3 連写失敗等）があったことがデータを回収した結果判明したが、一切撮影が行われていないといったような致命的なレベルの不具合は起こっておらず、実証結果の検証に問題はなかった。

表 3-B-8 トレイルカメラの稼働状況

地点名	トレイルカメラ名	設置期間（令和 5 年）	撮影枚数	破損データ枚数	3 連写失敗
A 往路	H127	10 月 19 日～11 月 28 日	6,947 枚	13 枚	あり
A 復路	H132	10 月 19 日～11 月 28 日	7,464 枚	35 枚	あり
	パトリオット	10 月 19 日～11 月 28 日	15,163 枚	0 枚	あり
B 往路	H133	10 月 19 日～11 月 28 日	6,777 枚	46 枚	あり
B 復路	H130	10 月 19 日～11 月 20 日	12,462 枚	33 枚	あり
	H135	11 月 20 日～11 月 28 日	3,425 枚	13 枚	あり
C 往路	H134	10 月 19 日～11 月 28 日	1,581 枚	3 枚	あり
C 復路	H129	10 月 19 日～11 月 28 日	1,742 枚	6 枚	あり
D 往路	H131	10 月 19 日～11 月 28 日	15,423 枚	0 枚	あり
D 復路	H128	10 月 19 日～11 月 28 日	16,896 枚	96 枚	あり
計			87,880 枚	245 枚	

注) 枚数は 24 時間設置ができていた令和 5 年 10 月 20 日～11 月 27 日の期間で集計した。

2) AI による利用者集計

トレイルカメラで撮影された計 87,880 枚の写真のうち、不明な原因によりデータが破損していた 245 枚を除く、87,635 枚を対象に、画像の中から人の顔を認識する AI である DeepFace による利用者のカウントを実施した。AI によるカウントについては、写真 1 枚あたり約 1.5 秒の時間がかかり、すべての写真についてカウントを行うのに約 36 時間 30 分を要した。なお、解析に使用した PC のグラフィックボードは NVIDIA GeForce RTX 4090 / 24G、プロセッサは Intel Core i9-13900K、メモリは 128GB である。

(ウ) 定期的なドローン空撮による駐車台数の把握

今回実施したドローン空撮は、令和 5 年 11 月 9 日及び 10 日の 2 日間実施した（表 3-B-9）。あらかじめ飛行プログラムを作成し、3 種類の高度（30m、50m、70m）で撮影を行った（図 3-B-1）。L 字型の飛行ルートの撮影にかかった時間はいずれの高度においても約 2～3 分であった。

表 3-B-9 駐車台数把握のためのドローン空撮実施状況

飛行高度	日付	回次	撮影時間
30m	2023/11/9	—	14:36- 14:38
	2023/11/10	1 回目	9:37-9:40
		2 回目	13:42- 13:44
50m	2023/11/9	—	13:11- 13:13
	2023/11/10	1 回目	10:28- 10:31
		2 回目	14:21- 14:24
70m	2023/11/9	—	12:31- 12:34
	2023/11/10	1 回目	10:19- 10:22
		2 回目	10:53- 10:55

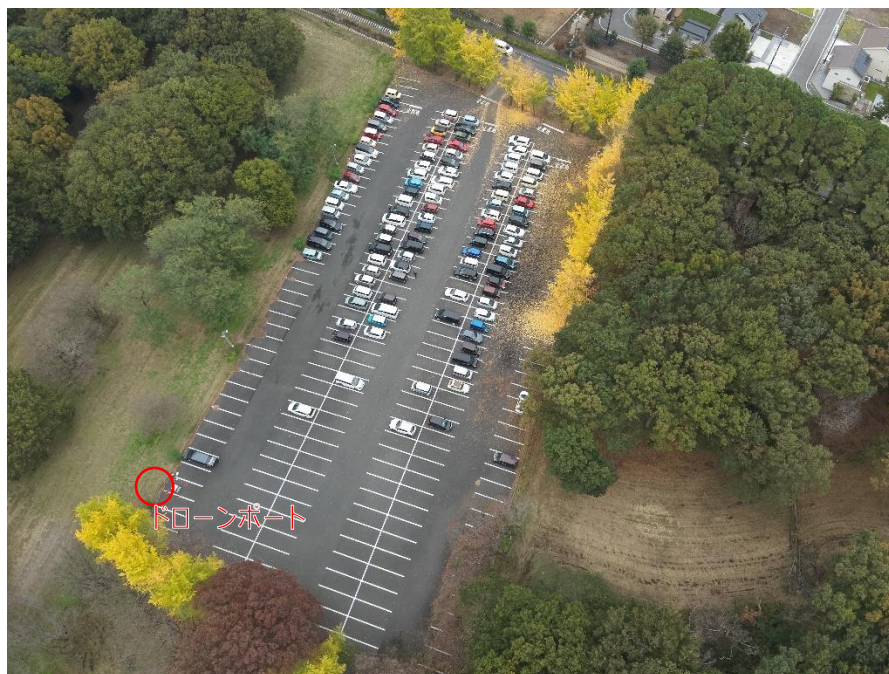
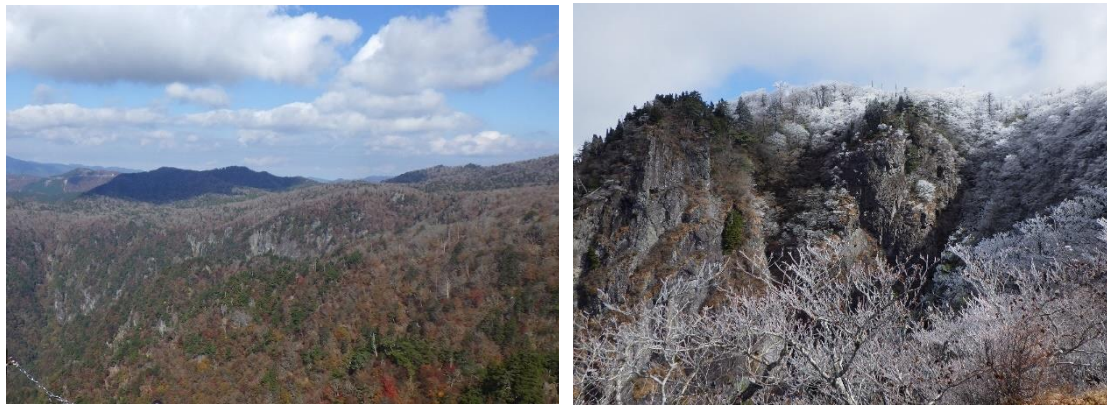


図 3-B-1 駐車場全景（上空 100m からの空撮）

(工) 360 度カメラ、バイノーラル録音による現地状況の記録（静謐、自然音）

360 度カメラとバイノーラル録音機を用いた撮影は、吉野熊野国立公園大台ヶ原の代表的な地点を中心に、第 1 回目撮影を令和 5 年 10 月 31 日に、第 2 回目撮影を 11 月 14 日に実施した（図 3-B-2）。第 1 回目は紅葉している木々が多かったことから、紅葉の時期であることがわかりやすい映像となっていた。一方、第 2 回目は落葉している樹木が多いのに加え、前日夜間に降雪があったことから、積雪や樹氷が撮影された。そのため、両者を比較することにより、季節の進行を実感できる映像を撮影することができたと考えられる。撮影実施日は両日ともに好天に恵まれ、滞りなく撮影を実施することができた。

撮影は、撮影機材を三脚で設置して撮影する方法と、撮影機材をもって徒歩で登山道を歩きながら撮影する方法で、ともに 6 箇所ずつ実施した。なお、表 3-B-10 で同じ撮影地点名でも、設置して撮影を行った場所と徒歩で撮影を行った場所は全くの同一ではない点を付記しておく。



主に落葉広葉樹が紅葉している

第 1 回目撮影時

(令和 5 年 10 月 31 日)

樹氷と積雪がみられる

第 2 回目撮影時

(令和 5 年 11 月 14 日)

図 3-B-2 調査 1 回目と 2 回目における現地状況の差

表 3-B-10 360 度カメラ、バイノーラル録音による現地状況の実施状況

調査回	実施日・天気	撮影時期	特色	撮影地点と撮影内容
第 1 回目撮影	令和 5 年 10 月 31 日 (日中) 天候：晴	晩秋 (紅葉中)	・紅葉している木々	・B コース (設置・徒歩) ・シオカラ谷 (設置・徒歩) ・大蛇岩 (徒歩) ・牛石が原 (設置・徒歩) ・正木が原 (設置)
第 2 回目撮影	令和 5 年 11 月 14 日 (日中) 天候：晴時々曇	初冬	・積雪と樹氷 ・落葉した木々	・正木峠 (徒歩) ・日出が岳下の階段～ 展望台まで (徒歩) ・日出が岳展望台 (設置) ・D コース (徒歩)

※設置：三脚で設置しての撮影；徒歩：徒歩で登山道を歩きながらでの撮影を指す。

(2) 実証内容の確認結果

3.1(1)で示した指標、及びその目標値に沿って結果を記載する。

(ア) au 人口動態データを用いた利用者数の把握

人口動態データで公園利用者数の推定ができるか

KLA では、平成 31 年 1 月 1 日から au 人口動態データ使用日の 3 日前（例えば、令和 6 年 1 月 31 日に使用する場合は、令和 6 年 1 月 28 日まで）のデータのうち、任意の期間を選択し最大 1 年間を集計対象として集計・解析が可能である。

図 3-B-3 に示すように、上記対象範囲内の過去データのうち、解析したい期間を選択し、集計期間内の利用者の傾向を把握することが可能である。

また、集計結果データは Excel レポートや CSV ファイル形式での出力が可能であるため、複数年にまたがり傾向を把握したい場合は、これらのデータ出力を用いることで、Excel などの表計算ソフトウェアで参照・比較することが可能である。

よって、定性的な判断では人口動態データからの公園の滞在者数の推定は可能と判断した。一方で、KLA で集計・測定が可能なデータは、対象エリアを来訪した au 回線ユーザー（同意取得済み）のデータを基にして解析が行われる。KLA は au 回線以外の他回線利用者や、データ取得に非同意であるユーザーの来訪者数も含めた総来訪者数の推定はできるものの、推定の基となる au 回線ユーザーの来訪が極端に少ないといった場合や、au 回線の対象外エリアを含む場合は、うまく推定できない可能性があり、実際の来訪者数の正確な計測ができない場合があることには留意が必要である。

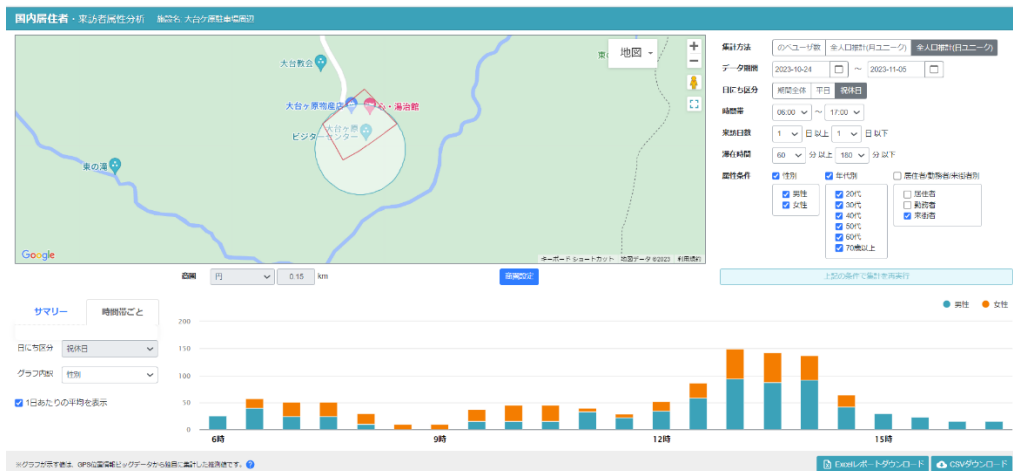


図 3-B-3 KLA 解析画面

実施項目 B | ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得
 B-吉野熊野国立公園大台ヶ原における土地利用、風景・景観、利用状況等の把握
 人口動態データを用いた利用者数と現地調査結果の比較（目標値：乖離率±20%以内）
 本実施項目においては、人口動態データでは GPS 情報をもとにした対象区域の滞留者数を解析するのに対し、目視での通行人数の調査では、1 日の調査において吉野熊野国立公園大台ヶ原の 4 コースある登山道のうち 2 コースのみしか計測結果がなく、au 回線の対応状況からコースごとの来訪者数分析が不可能であったため、比較対象がそろわず、人口動態データでの利用者数と現地調査結果の比較を行うことはかなわなかった。

上述のとおり、吉野熊野国立公園大台ヶ原には、A、B、C、D コースの 4 つの登山道が存在する。またこれらの登山道については途中で合流し、かつ往復の方向などは規定されておらず、立ち入り人数が制限されている C コースを除き、来訪者は例えば、駐車場から A コースを用いて進み、途中で D コースへコースを変え、D コースの出入り口から出るというように自由に往來することが可能である。

そのため、今回の目視での各コースの通行者の計測データでは、その日の吉野熊野国立公園大台ヶ原の来訪者全体を把握することができなかった。

また、au 人口動態データは、au 回線の対応範囲で取得されたデータを使用しており、令和 5 年 11 月時点での吉野熊野国立公園大台ヶ原周辺での au 回線のエリア対応状況は下図のとおりとなり、大台ヶ原ビジターセンター駐車場や登山道の一部では一定程度通信ができるものの、すべての登山道を網羅しきれていないため、登山コースごとの通行者数の解析は現状では不可能である。

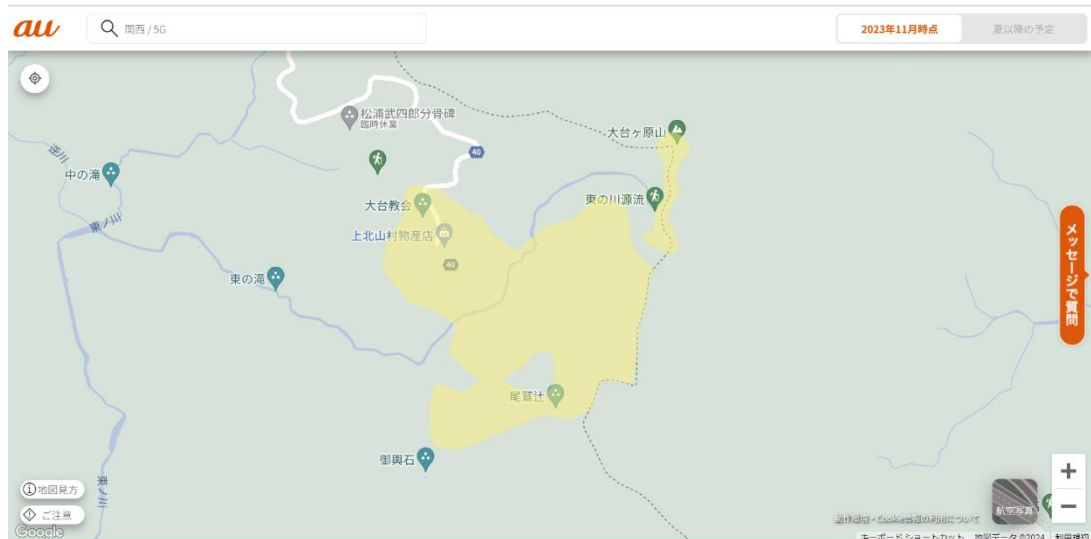
大台ヶ原



出典：画像は上北山村公式ホームページ 観光情報 令和 5 年 12 月 28 日閲覧 より引用
 (http://vill.kamikitayama.nara.jp/kanko/tanoshimu/odaigahara/)

図 3-B-4 吉野熊野国立公園大台ヶ原の登山道の模式図（再掲）

実施項目 B | ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得
B-吉野熊野国立公園大台ヶ原における土地利用、風景・景観、利用状況等の把握



出典：画像は au 公式ホームページ au 回線エリアマップ 令和 6 年 1 月 9 日閲覧 より引用
(<https://www.au.com/mobile/area/map/>)

図 3-B-5 吉野熊野国立公園大台ヶ原周辺での au 回線対応状況

一方で、参考までに以下に大台ヶ原ビジターセンター駐車場周辺での au 人口動態データを用いた来訪者数を活用し、目視結果との滞留者数の比較結果を以下に示す。

紅葉ピーク時となる令和 5 年 10 月 29 日に実施された目視での測定結果をベースとし、KLA を用いて 10 月 29 日の前後 2 週間のうち、祝休日を対象に抽出された解析データをベースとする。

なお、目視での測定結果については、A コース、C コースの通行者数を対象とし、往方向の通行者数に対し、復方向の通行者数を引いた結果を、各対象時間の前の時間の人数に積み上げたものとなる。例えば、午後 12:00 時点での A コースの往方向の通行者数が 2 名、復方向の通行者数が 51 名、C コースの往方向の通行者数が 2 名、復路の通行者数が 7 名であり、午前 11:00 時点での想定滞留者数が 71 名である場合、 $(71 + ((2 - 51) + (2 - 7))) = 17$ 名となり、午後 12:00 時点での想定滞留者数は 17 名となる。

表 3-B-11 各時間帯別の目視と KLA での測定結果の比較とその誤差

時間	目視（往）	目視（復）	目視総合滞留者数（往-復）	KLA（人数）
6:00 ～6:59	11	1	12	25
7:00 ～7:59	17	5	22	51
8:00 ～8:59	38	15	45	30
9:00 ～9:59	15	5	55	10
10:00 ～10:59	63	28	90	45
11:00 ～11:59	13	32	71	40
12:00 ～12:59	4	58	17	52
13:00 ～13:59	4	31	0 (-10)	149
14:00 ～14:59	4	37	0 (-43)	137
15:00 ～15:59	2	99	0 (-140)	30
16:00 ～16:59	0	0	0 (-140)	5

※13:00 以降については、目視での想定滞留者数が負の値となったため、0 としつつ、前の時間帯より復人数分を引いた値を記載

上述のとおり、今回の目視での調査結果は吉野熊野国立公園大台ヶ原の来訪者数すべてを確認できていないため、目視での計測結果と KLA での推測結果には大幅な乖離が存在する状況である。

一方で、往路の登山者数が増えた午前 8:00 台、午前 10:00 台では、KLA の来訪者数も増加傾向を示し、目視での復路の計測人数が大幅に増加した午後 15:00 以降は、KLA での推定来訪者数も低下傾向を示しており、現状であっても KLA を用いて大幅な増減傾向を簡単に把握できると考える。

属性ごとの利用者数割合等、調査員による調査では得られないデータが得られているか KLA を用いた分析では、性別、年代といった基礎的属性の割合だけでなく、居住者/勤務者

実施項目 B | ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得

B-吉野熊野国立公園大台ヶ原における土地利用、風景・景観、利用状況等の把握

/来街者といった属性条件を追加できるほか、その来訪日数や滞在時間（15分以上480分以下で選択可能）ごとの利用者数割合をグラフィックベースで簡単な操作でデータを表示・分析することが可能である。

また、KLA では来訪者の居住地についてもビッグデータ解析が可能であり、以下のように、令和5年11月6日～11月19日のピーク期間外では、吉野熊野国立公園大台ヶ原の近隣である奈良県をはじめとした近畿圏からの来訪者が中心（図3-B-6）であるのに対し、令和5年10月24日～11月5日のピーク期間中では中四国地方、中部地方といった遠方地域からの来訪者が多い（図3-B-7）ことが分析可能であった。

よって、調査員による調査では把握が難しいもしくは取得・集計に手間がかかるデータを気軽に取得できるといった結果となる。

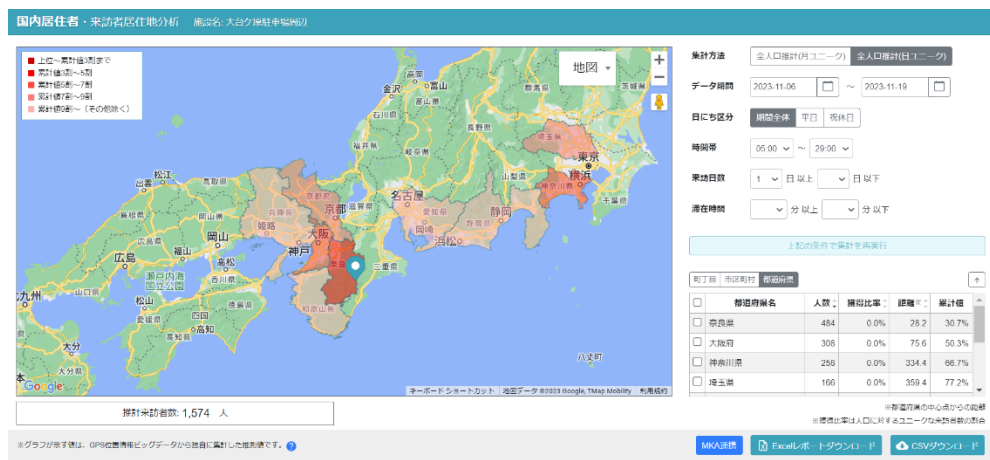


図 3-B-6 ピーク期間外の来訪者の居住地分析の結果

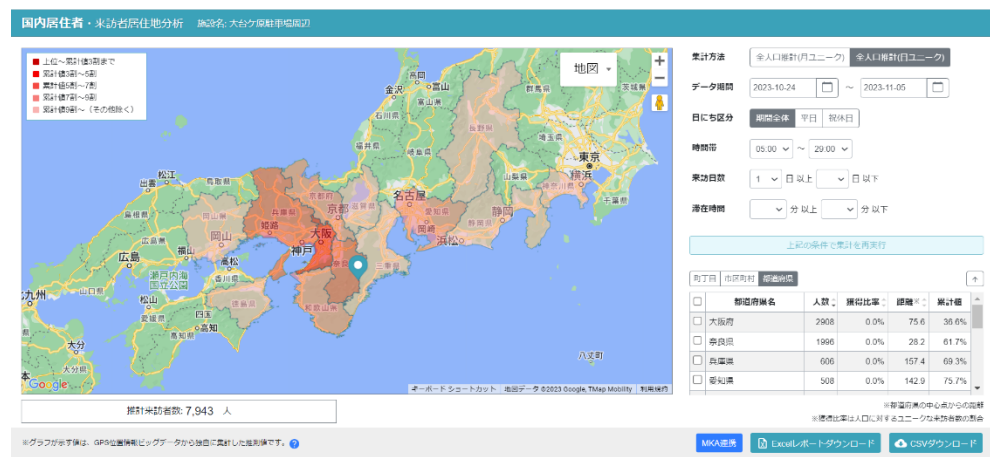


図 3-B-7 ピーク期間の来訪者の居住地分析の結果

調査に係る費用が過大なものとなっていないかどうか

KLA によるデジタル手法の調査でかかった人件費、直接経費及び、本実証内容を従来手法で実施した場合の人件費、直接経費の想定を表3-B-12に示す。

実施項目 B | ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得
 B-吉野熊野国立公園大台ヶ原における土地利用、風景・景観、利用状況等の把握
 今回の KLA によるデジタル手法の調査にかかる経費は年 2,685,300 円程度と算出された。
 KLA は 365 日 24 時間統計情報の蓄積取得が可能であり、対応する確立された従来手法がないため 365 日 1～2 時間程度、人によるカウント調査を行うとした場合、年 3,533,400 円となるため、KLA によるデジタル手法の調査にかかる費用が過大なものであるとは言えないと考えられる。

表 3-B-12 調査に係る経費算出の比較

1年（12ヶ月）あたり

手法	項目		数量	単位	単価	計	摘要
実証手法 (人流データ)	直接人件費	データ確認	1	人日	45,300	45,300	1人×1日
	直接経費		1	ライセンス	2,640,000	2,640,000	年額
	計					2,685,300	従来手法との差額 - 848,100円
従来手法 (人がカウントした場合を想定)	直接人件費	準備	3	人日	45,300	135,900	計画・踏査・許可申請等
		カウント作業	72	人日	45,300	3,261,600	0.2人×365日
		結果整理	3	人日	45,300	135,900	結果入力・集計
	計					3,533,400	

※人件費単価は令和5年度設計業務委託等技術者単価のうち技師（B）を参照した。

利用者数の集計等に係る工程・期間が短縮されているか

本実証場所においての実施を想定し、利用者数の集計等に係る工程・期間に係る比較を示したものを、表 3-B-13 に示す。

現地調査の作業日数について、従来手法では調査対象日×3.5 人日、本実証の方法では機器設置時、回収時にそれぞれ 2 人日を要する。例えば、四季調査（各季節に平日・休日を合わせて調査）の実施を従来手法で行う場合には 3.5 人日×2 日×4 回 = 28 人日、本実証のデジタル手法で行う場合は 4 人日×4 回 = 16 人日となる。

一方で、人口動態データからの解析については、特段現地側で求められる作業はなく、画面上での操作も直感的なシンプルなものであり、解析期間や属性の指定と解析したいエリアを地図画面上にプロットし、解析画面へ遷移するのみでデータを集計することが可能である。

また、データ処理に係る工程は従来手法であれば 1 コース 1 日あたり約 30 分、本実証の手法であれば約 3 分となる。

人口動態データからの解析では、スマートフォンなどの通信端末の GPS 位置情報に紐づく契約情報からの解析となるため、トレイルカメラでの測定で実施したような登山道の各コースにおける人流の詳細は解析できないという課題はあるものの、一定の期間の平均や特徴、傾向の把握に対しては手軽に実施でき、解析したい期間の条件やエリアの変更も容易であるため、従来手法より本実証のデジタル手法で実施することで工程・期間は短縮されるものと考えられる。

表 3-B-13 人口動態データと従来手法での工数比較

項目	現地作業日数	1 コース 1 日あたりのデータ処理
従来手法 (調査員によるカウント)	調査対象日数×3.5 人日	データ入力・集計：約 15 分
本実証の手法 (人口動態データからの解析)	不要	データ解析・集計：約 3 分

人口動態のデータは調査回によらず同様のデータが取得できているか
 以下に、吉野熊野国立公園大台ヶ原での令和 5 年 11 月 6 日～11 月 20 日までの期間での祝休日の KLA での解析結果を示す。

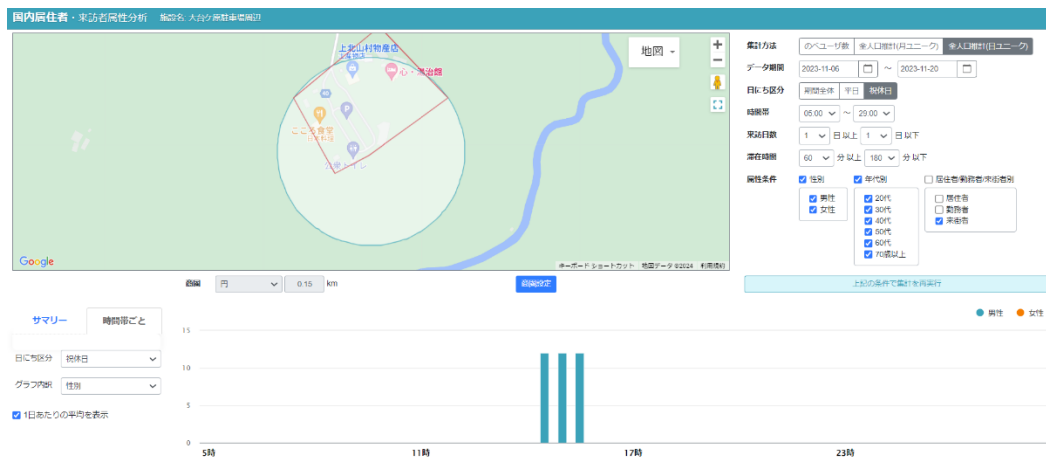


図 3-B-8 KLA での令和 5 年 11 月 6 日～11 月 20 日の祝休日の滞留者数推測結果

また、トレイルカメラでの調査と合わせて実施された目視での通行人数の調査について、令和 5 年 11 月 13 日の計測結果を用いた想定滞留者数を以下に示す。
 A コース、D コースの通行人数を対象とし、往方向の通行人数に対し、復方向の通行人数を引いた結果を、各対象時間の前の時間の人数に積み上げたものとなる。例えば、午後 12:00 時点での A コースの往方向の通行人数が 0 名、復方向の通行人数が 1 名、D コースの往方向の通行人数が 5 名、復路の通行人数が 4 名であり、午前 11:00 時点での想定滞留者数が 20 名である場合、 $(20 + ((0 - 1) + (5 - 4))) = 20$ 名となり、午後 12:00 時点での想定滞留者数は 20 名となる。

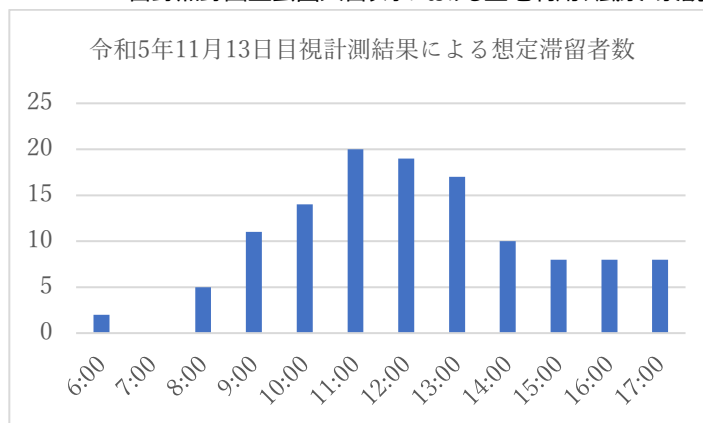


図 3-B-9 令和 5 年 11 月 13 日の目視結果を元とした滞留者数推測結果

上記より、KLA での人口動態データは計測対象地点の状況によりデータがうまく取得できない可能性があるとし唆される。

KLA で用いられる人口動態データは、au 回線の利用者の GPS 情報をもとに構築されている。令和 5 年度 4 月 25 日に総務省より発表された「通信市場の動向について」によると、令和 4 年（2022 年）12 月末現在で au 回線のシェアは国内の 27.0%であり、約 1/4 強となる。

吉野熊野国立公園大台ヶ原では、12 月初旬から 4 月にかけては冬季閉山となるため、紅葉ピークを過ぎた後は来訪者数が少なく、目視調査においても、11 月 13 日の来訪者数の測定結果は、A と D を合わせても最大で想定滞留者数が 20 人前後と非常に少なかった。仮に対象のエリアの来訪者全員が au 以外の回線を利用している場合には、推算の元となるデータが 0 となってしまう、実態の来場者数よりも少なく推算されるなど、推算の精度が悪くなることが想定される。

継続可能なコストで十分にリスクが低減できているかどうか

KLA は、Google Chrome や Microsoft edge といった主要なブラウザ上で動作し、実証期間中のサービス利用に関して情報漏洩や攻撃などは確認されなかった。また、本サービスの開発・提供を行う KDDI 社および技研商事インターナショナル社の両者ともに情報セキュリティの第三者規格 ISO27001:2013 の認証を取得し、ISMS（情報セキュリティマネジメントシステム）を構築・運用していることから、一定程度の情報セキュリティリスクが低減できている状態であり、使用にあたり別途情報セキュリティシステムの導入なども必要がないため、KLA のシステム利用費用以外はかからないことから、本指標は達成されていると考えられる。

(イ) トレイルカメラ+AI による利用者数の把握

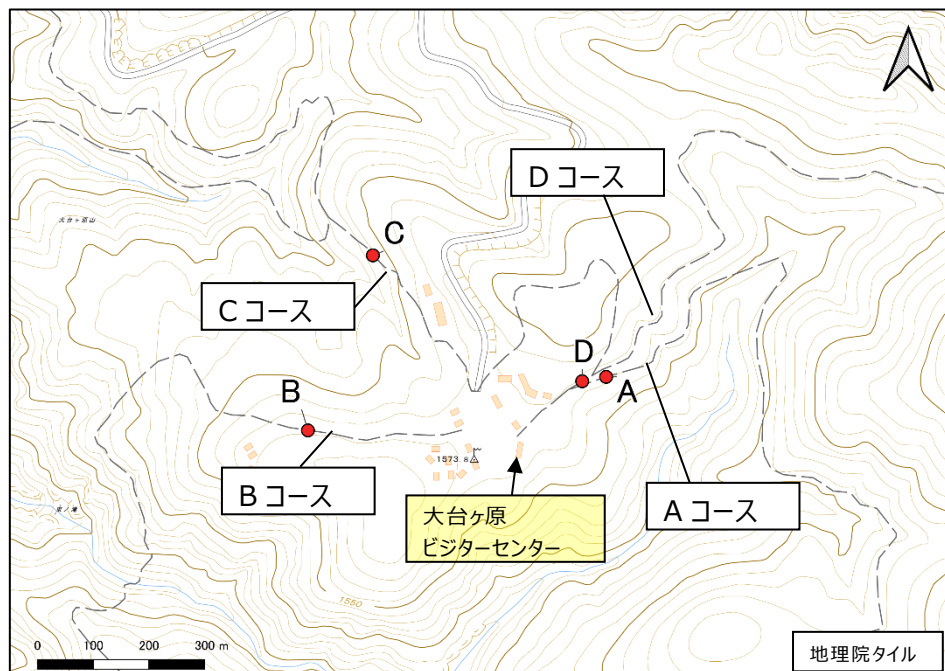
ここでは様々な指標によって評価を行っていることから、初めにこれらの定義を整理し、表 3-B-14 に記載した。

表 3-B-14 トレイルカメラ+AI による利用者数の把握で用いた各指標の定義

指標	定義
乖離率	AI (DeepFace) による推定値の実測値 (人が現地でカウントした人数) に対する比率。
画像取得率	撮影された画像が SD カードに保存された割合。一部で画像データの破損がみられた。
送付率	送付予定枚数に対する送付枚数の割合。人を感知したときに 3 連写する設定としていたが、3 連写に失敗する例がみられた。
利用者捕捉率	トレイルカメラの前を歩いた人をカメラが撮影できている割合。トレイルカメラの前を人が通り過ぎた際に、撮影できていない例がみられた。
AI 検出率・画像からの顔の検出率	画像に写っている顔を AI (DeepFace) が検出できた割合。画像を人が確認し顔が写っていると判断した数に対し、AI が顔を検出した割合。

利用者の主な動線にトレイルカメラが設置されているか

トレイルカメラは、吉野熊野国立公園大台ヶ原の主要な登山道である A コース、B コース、C コース及び D コースの全登山口付近の登山道上に設置した。そのため、駐車場から東大台及び西大台の登山道を利用する全利用者が網羅されていると考えられる。以上のことから、利用者の主な動線にトレイルカメラは設置されており、評価指標は達成された。



地理院タイルに調査地点を追記して掲載

図 3-B-10 トレイルカメラ設置位置図

トレイルカメラを用いた利用者数と現地調査結果の比較（目標値：乖離率±20%以内）

1) 確認結果

トレイルカメラで得た画像から AI により人の顔を検出することによって得た利用者数は、現地調査結果（現地での人による目視カウント数）の 83%であり目標値である乖離率±20%以内を達成した。設置したコースやカメラの方向別では 50～125%とばらつきがみられたことから正確性には課題が残るものの、AI による検出数と現地での人による目視カウント数の間には強い相関が認められたことから、トレイルカメラで撮影した画像から DeepFace で人の顔を検出する方法によって公園利用者数の大まかな傾向は把握可能と考えられた。

撮影した画像すべてについて顔認識 AI「DeepFace」を用いて、顔の個数を抽出した。顔の個数をカウントすることで、撮影されている人の進行方向を判断し、顔が写っていればトレイルカメラに近づく方向に進んでいるものとして、往路方向又は復路方向を算出した。その後、3 連写した写真のうち、最も多くの顔が撮影されていた顔の個数をもとに、利用者数を算出した。後述するように LTE トレイルカメラの特性上、LTE トレイルカメラに向かってくる人の捕捉率が優れていたため、往路方向に向けて設置した LTE トレイルカメラからは復路方向に歩く利用者、復路方向に設置した LTE トレイルカメラからは往路方向に歩く利用者を算出し、実測値と比較した。比較の方法は、A 地点のみ現地でのカウントを 6 日間実施したため 6 日間のデータでの比較、その他の地点は 2 日間のデータでの比較とした。

目視調査による実測値と DeepFace による利用者の推定数の比較を表 3-B-15、グラフ化したものを図 3-B-11 に示す。DeepFace による利用者の推定数の実測値に対する比率は A コースで 125%、72%、B コースで 122%、69%、C コースで 50%、61%、D コースで 95%、80%（いずれも往路、復路）、全体で 83%であった。評価の基準とした実測値との乖離率 20%（AI による推定値の実測値に対する比率 80～120%）についてみると、D コースの往路・復路、往路全体、及び総計では評価指標を達成したものの、A・B・C コース及び復路全体では評価指標は達成できなかった。

一方で、実測値と DeepFace で算出した利用者数の増減傾向は同様の傾向を示し、強い相関がみられる（pearson の相関係数 0.94、P 値：0.0005、図 3-B-12 参照）。このため、利用者数の正確な把握には課題が残るものの、トレイルカメラ+DeepFace による検出によって公園利用者数の大まかな傾向は把握可能と考えられる。

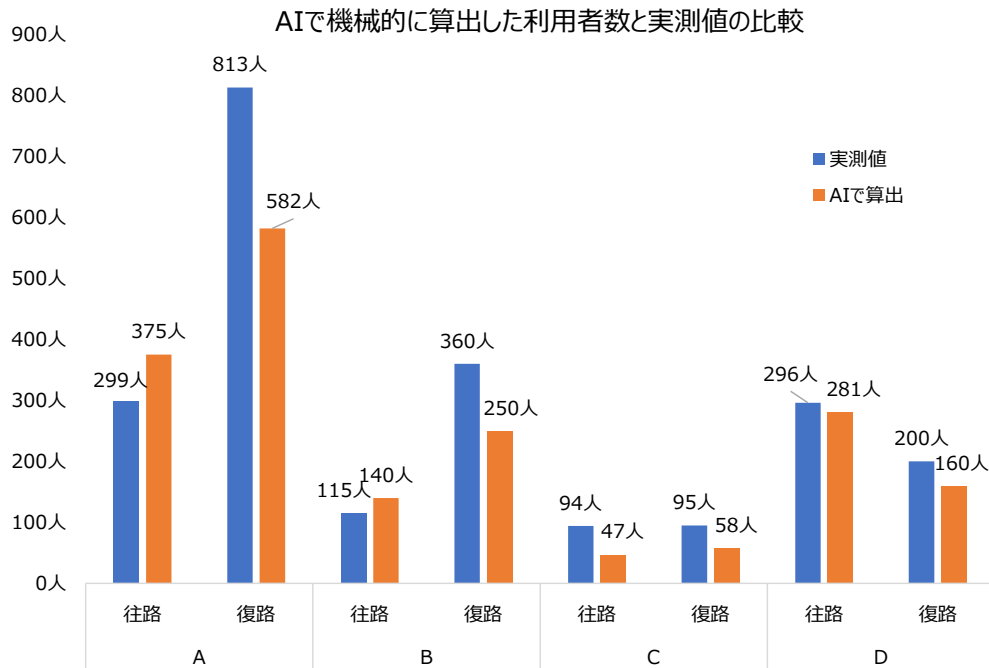


図 3-B-11 DeepFace で算出した利用者数と実測値の比較

表 3-B-15 DeepFace による利用者の検出率（現地カウントを実施した日と地点で集計・比較）

地点名	方向	検出手法	利用者数	AI検出率
A	往路	AI	375人	125%
		実測値	299人	
	復路	AI	582人	72%
		実測値	813人	
B	往路	AI	140人	122%
		実測値	115人	
	復路	AI	250人	69%
		実測値	360人	
C	往路	AI	47人	50%
		実測値	94人	
	復路	AI	58人	61%
		実測値	95人	
D	往路	AI	281人	95%
		実測値	296人	
	復路	AI	160人	80%
		実測値	200人	
往路合計		AI	843人	105%
		実測値	804人	
復路合計		AI	1050人	61%
		実測値	1733人	
総計		AI	1893人	83%
		実測値	2272人	

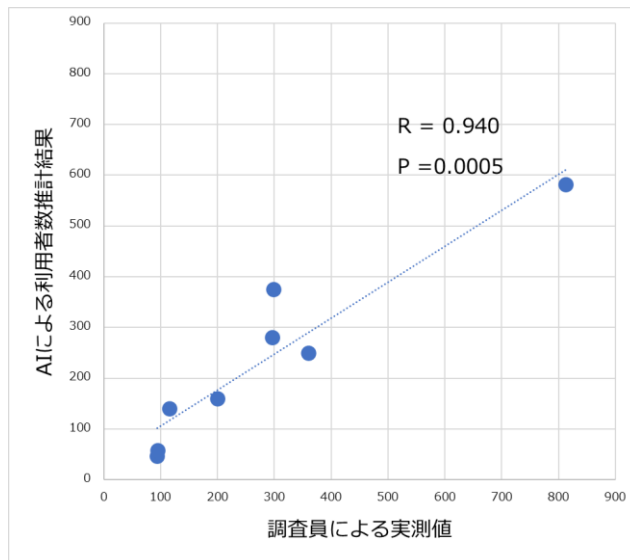


図 3-B-12 調査員による実測値と AI による利用者数推計結果の関係

2) 確認結果に関する考察

評価指標である「トレイルカメラを用いた利用者数測定結果と現地調査結果の比較（乖離率±20%）」は指標を満たさなかった。それぞれの要因についての検討結果をとりまとめたものを以下に示す。

実測値より AI による推定値が少なくなる主な要因として、トレイルカメラの前を通った人をトレイルカメラが撮影できていないケース（表 3-B-16 の②）があり、これは特に LTE トレイルカメラにおいてカメラから遠ざかっていく場合に多く発生していたことが挙げられ、これは今後、LTE トレイルカメラのセンサーや撮影機能が向上した場合に解決するものと考えられた。一方、実測値より AI による推定値が多くなる主な要因として、④立ち止まりや団体など、同じ人物が複数回撮影されてしまうダブルカウントが発生していることが考えられ、これは個人識別できる AI の開発や、トレイルカメラを利用者から見えないようにする工夫によって解決するものと考えられた。

表 3-B-16 評価指標を満たさなかった要因

項目	要因		考えられる解決策
①画像取得率	×	保存された画像のなかにはファイルが破損したものが存在したが、画像取得率は 99.5%～100%と高かった。	—（現状で十分な機能を有する）
②トレイルカメラによる利用者捕捉率	↓	利用者がトレイルカメラに向かってくる方向のほうが捕捉率（実際にトレイルカメラの前を通った人が撮影される率）が高かったが、捕捉率は 7 割強～9 割であった。	・トレイルカメラのセンサー機能・撮影機能の向上
③画像からの顔の検出率	↓	DeepFace による顔の検出率は 69.4%～91.1%であった。特に横顔の検出率が低かった。	・AI の検知能力向上 ・撮影方向の工夫
④ダブルカウント	↑	トレイルカメラの前で立ち止まってトレイルカメラをのぞき込む人、ゆっくりと歩く人、団体などは、複数回撮影されてしまっていたため、ダブルカウントが生じていた。	・個人識別できる AI の開発 ・個人情報保護の観点にも配慮した上でのトレイルカメラの設置位置、隠蔽方法の工夫
⑤進行方向	↑↓	トレイルカメラをのぞき込む人等がいると進行方向の識別が困難だった。	・トレイルカメラの設置位置、隠蔽方法の工夫

注) ×：利用者数の推定の誤差の要因とはなっていない、↑：利用者数の推定の上振れ要因、↓：利用者数の推定の下振れ要因

① カメラによる画像取得率について

LTE トレイルカメラの画像取得率（トレイルカメラが撮影した際に SD カードへ画像が正常に保存される割合）を以下に示す。画像取得率が 100%だったものは、A 復路に設置したパトリオットと、D 往路に設置した H131 の 2 台のみで、他は破損ファイルがいくつか含まれていた。しかし、割合としてみると 1%未満であった。

表 3-B-17 自動撮影カメラの画像取得率

地点名	トレイルカメラ名	撮影枚数	破損データ枚数	画像取得率	3連写失敗	撮影枚数の差
A 往路	H127	6,947 枚	13 枚	99.8%	あり	517 枚
A 復路	H132	7,464 枚	35 枚	99.5%	あり	
	パトリオット	15,163 枚	0 枚	100.0%	あり	—
B 往路	H133	6,777 枚	46 枚	99.3%	あり	9,110 枚
B 復路	H130 (~11/20)	12,462 枚	33 枚	99.7%	あり	
	H135 (11/20~)	3,425 枚	13 枚	99.6%	あり	
C 往路	H134	1,581 枚	3 枚	99.8%	あり	161 枚
C 復路	H129	1,742 枚	6 枚	99.7%	あり	
D 往路	H131	15,423 枚	0 枚	100.0%	あり	1,473 枚
D 復路	H128	16,896 枚	96 枚	99.4%	あり	

※令和 5 年 10 月 20 日～11 月 27 日の期間で集計。

② トレイルカメラによる利用者捕捉率について

現地での実測値と、同時刻帯の撮影画像を人の目で見え数えた値を比較することにより、トレイルカメラによる利用者捕捉率を算出した。A 地点のみ現地でのカウントを 6 日間実施したため 6 日間のデータでの比較、その他の地点は 2 日間のデータでの比較を行った。結果を表 3-B-18 に示す。

全体の傾向として、画像からカウントした値が実測値よりも基本的に小さくなる傾向がみられた。すなわち写真を撮影できていない場合があるということであるが、その割合はトレイルカメラの向きと関連が認められ、トレイルカメラに向かってくる利用者のほうが、基本的に捕捉率が高くなる傾向がみられた。

利用者がカメラに向かってくる方向での補足率をみると（表 3-B-18 内の赤字の行）、トレイルカメラや調査回によって振れ幅が小さくないものの、最低で 6 割だったが、大半がおおよそ 7 割強～9 割であった。なお、11 月 13 日の A コースに設置したトレイルカメラについては、利用者の補足率が 117～200%と大きくなっているが、これは A コースの利用者数が少なかったため、誤差が大きく算出されているものであることに注意が必要である。

上記のように、利用者がカメラに向かってくる方向での補足率が高いことがわかったため、LTE トレイルカメラを用いて利用者の写真をできるだけ漏れなく撮影するためには、本実証で行ったように、1 地点につき往路・復路の 2 方向に向けて 1 台、計 2 台を設置することが望ましいと考えられる。一方、パトリオットでは、進行方向による捕捉率の偏りは見られなかった。追加で検証が必要ではあるが、パトリオットを使う場合であれば 1 地点に 1 台の設置でも前を通る利用者を 85%以上の割合で撮影できる可能性がある。

表 3-B-18 撮影画像から人の目で算出した利用者数と実測値との比較

地点	カメラ名	進行方向	調査実施日						利用者の捕捉率					
			10/20	10/21	10/29	10/30	11/12	11/13	10/20	10/21	10/29	10/30	11/12	11/13
A	H132	往路	28人	82人	89人	33人	40人	7人	97%	88%	93%	97%	98%	117%
		復路	23人	168人	138人	66人	72人	8人	74%	52%	57%	66%	62%	200%
	パトリオット	往路	26人	90人	93人	31人	35人	10人	90%	97%	97%	91%	85%	167%
		復路	31人	329人	215人	104人	114人	6人	100%	102%	89%	104%	98%	150%
	H127	往路	19人	61人	58人	20人	16人	8人	66%	66%	60%	59%	39%	133%
		復路	23人	217人	199人	94人	85人	8人	74%	68%	83%	94%	73%	200%
	実測値	往路	29人	93人	96人	34人	41人	6人	-	-	-	-	-	-
		復路	31人	321人	241人	100人	116人	4人	-	-	-	-	-	-
B	H133	往路	10人	102人					91%	98%				
		復路	33人	190人					65%	61%				
	H130	往路	9人	46人					82%	44%				
		復路	34人	257人					67%	83%				
	実測値	往路	11人	104人					-	-				
		復路	51人	309人					-	-				
C	H129	往路			63人	14人					90%	70%		
		復路			33人	10人					47%	50%		
	H134	往路			24人	9人					34%	45%		
		復路			57人	12人					81%	60%		
	実測値	往路			70人	20人					-	-		
		復路			70人	20人					-	-		
D	H128	往路					251人	30人					97%	83%
		復路					107人	19人					62%	68%
	H131	往路					172人	30人					66%	83%
		復路					143人	24人					83%	86%
	実測値	往路					260人	36人					-	-
		復路					172人	28人					-	-

※赤字にしている方向が、利用者がカメラに向かってくる方向とその利用者数

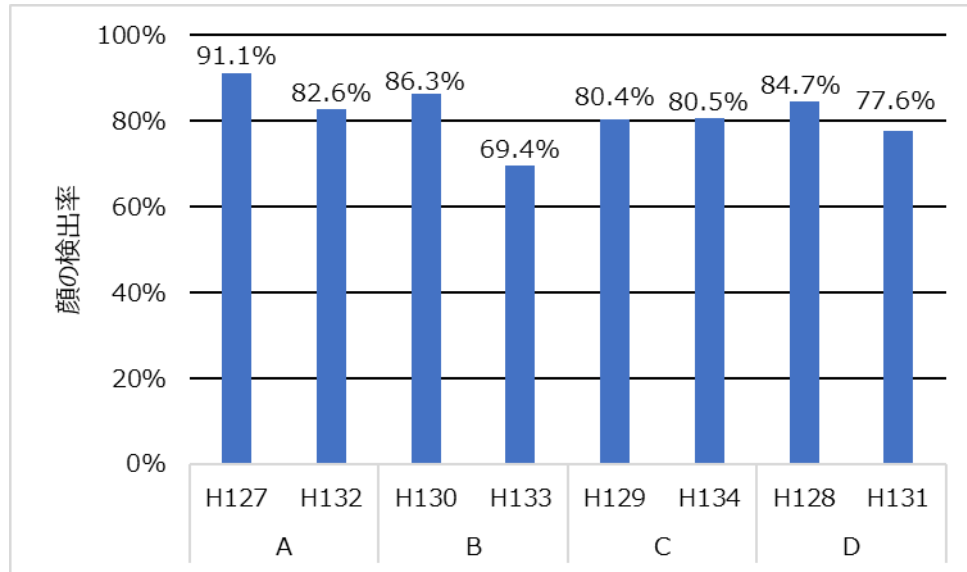
※実測値をカウントした、6時～17時の時間で撮影された画像をもとに集計した

③ DeepFace による顔の検出率について

本実証では顔認識 AI である「DeepFace」を用いて顔の個数をカウントすることで、トレイルカメラに向かって歩いてくる人の人数を推定した。DeepFace による顔の検出率を表 3-B-19、図 3-B-13 に示す。なお、ここでは、各トレイルカメラで撮影された画像のうち、ランダムに抽出した 100 枚についての整理結果を示す。

DeepFace による顔の検出率は、撮影した画像によってばらつきがあり、69.4%～91.1%となっていた。表 3-B-19 に示すように、DeepFace は横顔と横顔以外（正面を向いている顔）で検出率に差があり、横顔では 14.3%や 50.0%といった低い検出率であったのに対し、横顔以外では 76.4～95.3%と高い検出率であった。このため、横顔での撮影が多くなっていた H133 で全体の検出率が低下していたものと考えられる。また、顔の検出もれが発生したケースを次ページに示す。なお、誤検知（顔でないものを顔と検知）は確認した 1,000 枚中、2 枚（0.2%）と少なかった。

実施項目 B | ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得
 B-吉野熊野国立公園大台ヶ原における土地利用、風景・景観、利用状況等の把握



※顔の検出率については、DeepFace による顔のカウント数/人による顔のカウント数とした。各カメラで撮影された画像のうちランダムに抽出した 100 枚を対象に整理した。

図 3-B-13 DeepFace による顔の検出率

表 3-B-19 DeepFace による顔の検出率

コース	カメラ	横顔			横顔以外			全体		
		AI	未検出	検出率	AI	未検出	検出率	AI	未検出	検出率
A	H127	1	6	14.3%	122	6	95.3%	123	12	91.1%
	H132	6	1	85.7%	51	11	82.3%	57	12	82.6%
B	H130	2	2	50.0%	124	18	87.3%	126	20	86.3%
	H133	14	13	51.9%	36	9	80.0%	50	22	69.4%
C	H129	1	0	100.0%	73	18	80.2%	74	18	80.4%
	H134	25	12	67.6%	37	3	92.5%	62	15	80.5%
D	H128	4	0	100.0%	101	19	84.2%	105	19	84.7%
	H131	3	0	100.0%	42	13	76.4%	45	13	77.6%
全体		56	34	62.2%	586	97	85.8%	642	131	83.1%

※1 AI : DeepFace を用いた顔のカウント結果、未検出 : DeepFace でカウントされなかった顔の数

※2 各カメラで撮影されたすべての写真の中からそれぞれランダムに 100 枚を抽出して分析した。

・顔の検出もれが発生したケース

連続で人が歩いてくる場合、1 人目と 2 人目が離れて歩いている場合、2 人目の被写体が遠く検出できないケースや、1 人目の後ろに 2 人目が完全に隠れてしまい検出できないケース、往路と復路の人が重なり検出できないケース、暗い時間帯の撮影のため検出できていないケース等があった。



1 人目と 2 人目が離れて歩いている場合、2 人目の被写体が遠く検出できないケース
(画像はぼかしています)



1 人目の後ろに 2 人目以降が完全に隠れてしまい検出できないケース
(画像はぼかしています)



往路の人と復路の人が重なり、顔を検出できないケース



暗い時間帯の撮影のため検出できていないケース

図 3-B-14 顔が検出できない例 (赤枠内がカウントされていない人物)

④ ダブルカウントについて

利用者がトレイルカメラの前・画角内で立ち止まるケースや、トレイルカメラの前で行き来するケース、歩く速度が遅いケース、立ち止まっていたケース等において、3 連写での最大値を取るという計算上、次の 3 連写に同一人物が写り続けていた場合等に、ダブルカウントが発生していた。トレイルカメラの前を自然に通過するように、トレイルカメラそのものはなるべく目立たないように設置することが望ましいと考えられる。

⑤ 顔による進行方向の判断について

本実証で、写真に写った顔の個数で進行方向を算出しようとしたが、被写体の動きによって、必ずしも顔の個数と進行方向が一致しないケースが見受けられた。以下に例を示す。

- ・顔の向きにより、トレイルカメラから離れる方向に動く人の顔をカウントしてしまう場合
- 被写体の顔の向きにより、カメラから離れる方向に動く人の顔を検出するケースがあった。



横顔をカウントした場合
(画像はぼかしています)



振り返った場合
(画像はぼかしています)

図 3-B-15 DeepFace による誤検出の例



トレイルカメラから去る方向に動く被写体から顔を
を検知 (肌色のフード)



トレイルカメラから去る方向に動く被写体から顔を
を検知 (後頭部)

図 3-B-16 DeepFace による誤検出の例

3) LTE トレイルカメラの通信機能について

本実証では LTE トレイルカメラを用いて、移動体通信網を介した画像の送信を試行したが、送信機能等の課題が生じたため、移動体通信網を介して受信した画像は解析に利用せず、各トレイルカメラの SD カードに保存された画像を用いて解析した。以下では、本実証で明らかになった LTE トレイルカメラの課題等を記す。

① 各地点の通信状況について

Hyke 社のクラウドサービスである HykeWorks に送付された画像から、設置地点の電波状況を把握することができる。各地点の電波状況を表 3-B-20 に示す。設置箇所は Softbank の圏内であったが、どの地点においても電波強度は強くなかった。一方で、LTE トレイルカメラ本体でも電波状況を知ることができるが、回収時に確認した際は 4G のアンテナ 5 本となっており、電波状況に問題がないように見える形となっていた。どちらの表示が正しいのかは、本実証からは不明であった。

加えて、実施項目 A-1 でのケースでは、設置後移動させていないにもかかわらず電波強度が「とても強い (4g)」から「とても弱い (3g)」まで変動しているケースが確認された。このことから、電波強度は場所や時間によって変化する可能性があることが確認された。電波強度が極度に悪い場合、撮影してから送付が完了するまでの時間がかかりすぎ、その間の撮影が停止してしまう恐れや、場合によっては送信に失敗する可能性があることに留意が必要である。長期間設置する際は、設置後頻繁に電波強度及び撮影状況を確認し、不具合が発生していないかに留意することが望ましいと考えられる。

表 3-B-20 LTE トレイルカメラを設置した地点の電波強度

設置地点	撮影方向	LTE トレイルカメラ名	カメラにおける電波状況の表示	Hykeworks における電波強度の表示
A	往路方向	H127	4G・アンテナ 5 本	とても弱い (4g)
	復路方向	H132	4G・アンテナ 5 本	とても弱い (4g)
B	往路方向	H133	4G・アンテナ 5 本	とても弱い (4g)
	復路方向	H130 (~11/20) H135 (11/20~)	4G・アンテナ 5 本	とても弱い (4g)
C	往路方向	H134	4G・アンテナ 5 本	とても弱い (4g)
	復路方向	H129	4G・アンテナ 5 本	とても弱い (4g)
D	往路方向	H131	4G・アンテナ 5 本	とても弱い (4g)
	復路方向	H128	4G・アンテナ 5 本	とても弱い (4g)

② LTE トレイルカメラによる画像送信について

本実証で用いたトレイルカメラで撮影された画像は、HykeWorks と、任意に設定したメールアドレスへ送信される。撮影設定は、物体を検知時にインターバル無しで 3 枚連続撮影としたが、トレイルカメラの仕様上 3 枚連続撮影の写真のうち、最初の 1 枚のみが送付される。すなわち、単純計算でクラウド側に保存されている画像の 3 倍の量が、トレイルカメラ内の SD カードに保存されているはずである。

撮影枚数 (SD カード内に保存されていた画像の枚数)、送付予定枚数 (撮影枚数を 3 で除したもの)、送付枚数 (HykeWorks に送付された画像数) 及び送付率 (送付枚数 / 送付予定枚数) を表 3-B-21 に示す。送付予定枚数は撮影枚数を 3 で除すことによって

実施項目 B | ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得

B-吉野熊野国立公園大台ヶ原における土地利用、風景・景観、利用状況等の把握

算出したが、実際は 3 連写が失敗し単射もしくは 2 連写になっているケースがあることから、あくまで便宜的なものである。加えて、H130 は長期画像が送られてこない不具合があったため、H135 に交換した。そのため、これら 2 台の設置期間は他のトレイルカメラと異なっているため、送付率の単純比較はできない。表には 24 時間の設置ができていた令和 5 年 10 月 20 日～11 月 27 日の期間の枚数等を示した。

B 地点の復路に設置したカメラを除き、送付率が最も高かったのが H131 の 90.9%、逆に最も低かったのが H133 の 69.5%であった。各地点のトレイルカメラは同じ木に設置していたが、C 地点の送付率が 2 台のトレイルカメラでほぼ等しくなっていた以外は、同じ地点間でのトレイルカメラの画像送付率に類似性がみられなかった。以上のことから、送付の成否は電波状況だけに左右されているわけではなく、他の要因（例えばトレイルカメラの個体差等）もあるものと推測されたが、その要因は不明であった。

表 3-B-21 トレイルカメラの送付率

地点名	カメラ名	撮影枚数	送付予定枚数	送付枚数	送付率
A 往路	H127	6,947 枚	2,316 枚	2,051 枚	88.6%
A 復路	H132	7,464 枚	2,488 枚	2,069 枚	83.2%
	パトリオット	15,163 枚	(検証用のため送付はしない)		
B 往路	H133	6,777 枚	2,259 枚	1,571 枚	69.5%
B 復路	H130 (～11/20)	12,462 枚	4,154 枚	3,406 枚	82.0%
	H135 (11/20～)	3,425 枚	1,142 枚	1,119 枚	98.0%
C 往路	H134	1,581 枚	527 枚	435 枚	82.5%
C 復路	H129	1,742 枚	581 枚	477 枚	82.1%
D 往路	H131	15,423 枚	5,141 枚	4,671 枚	90.9%
D 復路	H128	16,896 枚	5,632 枚	3,971 枚	70.5%

※令和 5 年 10 月 20 日～11 月 27 日の期間で集計。

③ LTE トレイルカメラ間の画像取得枚数の比較について

各地点のトレイルカメラは、同じ木において異なる方向に向けて設置しているため、途中で引き返す人がいれば撮影枚数が異なってくる可能性があるものの、撮影枚数は理論上大きな差は

出ないものと想定していた。しかし、実際の撮影枚数には差が確認された。往路・復路間の撮影枚数の差を表 3-B-22 に、撮影枚数をグラフ化したものを図 3-B-17 に示す。

撮影枚数の差は、A 地点では 517 枚、B 地点では 9,110 枚、C 地点では 161 枚、D 地点で 1,473 枚であった。特に B 地点での撮影枚数の差が顕著であるが、これは B 往路側のカメラは、ササ等の植物の揺れに反応してシャッターを切った回数が多かったため、B 復路側の撮影枚数と非常に大きな差が出ていると考えられる。

一方、C 地点は構造上往路と復路の人数が等しくなるはずであり、実測値でもほぼ等しい人数が行き来していることとなっている。しかし、撮影枚数に 161 枚の差があった。これは、以下のような理由が考えられる。

・被写体が立ち止まった場合

センサーに連続して反応し、撮影を続けるため、通り過ぎた場合と比較すると誤差が発生する。

・トレイルカメラの不具合

今回設置したトレイルカメラは、センサーが反応した際に 3 連写する設定で設置した。しかし、全てのトレイルカメラで 3 連写が失敗している場合や、画像保存に失敗するケースがあることが確認されている。

本実証中はトレイルカメラが設置中であることがわかるように、目立つ看板をあわせて設置していたため、トレイルカメラの前で立ち止まる人が少なくなかった。現状 AI の解析では、トレイルカメラの画像に写った利用者の個体識別が難しいため、撮影画像から利用者をカウントする際に、同じ人が長くにわたり撮影され続けるとダブルカウントとなってしまうことが想定される。なるべく自然にトレイルカメラ前を通過させることがより正確な利用者のカウントにつながると考えられるため、個人情報保護の観点にも配慮した上で、設置しているトレイルカメラそのものは目立たなくする方が望ましいと考えられる。他地点においてもそれは同様である。

表 3-B-22 LTE トレイルカメラの往路側・復路側の画像枚数の比較

地点名	トレイルカメラ名	撮影枚数	往路・復路の撮影枚数の差
A 往路	H127	6,947 枚	517 枚
A 復路	H132	7,464 枚	
B 往路	H133	6,777 枚	9,110 枚
B 復路	H130 (~11/20) H135 (11/20~)	12,462 枚 3,425 枚	
C 往路	H134	1,581 枚	161 枚
C 復路	H129	1,742 枚	
D 往路	H131	15,423 枚	1,473 枚
D 復路	H128	16,896 枚	

※令和 5 年 10 月 20 日～11 月 27 日の期間で集計。

カメラ間の撮影枚数の比較(R5.10/20~11/27)

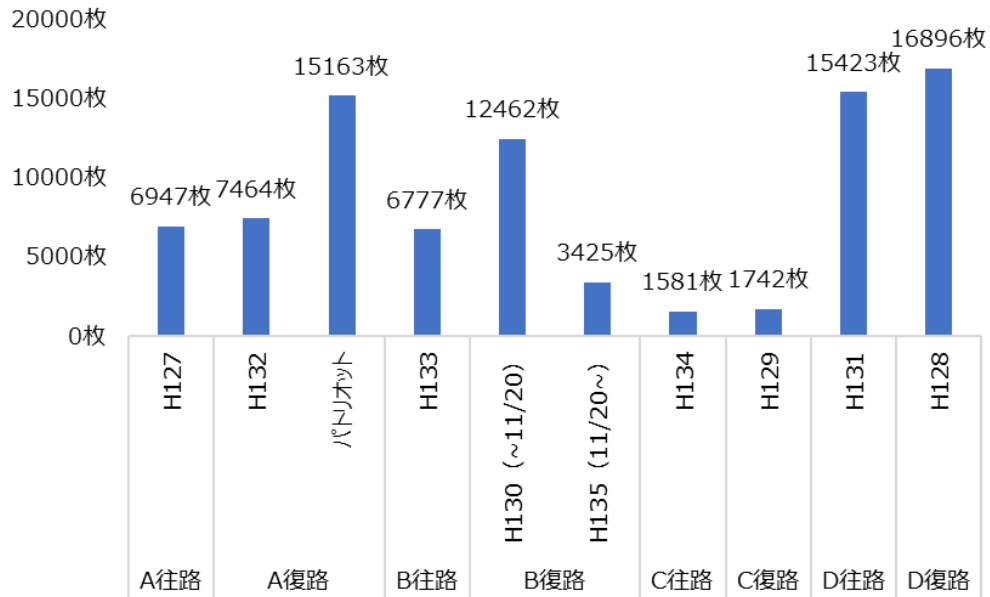


図 3-B-17 トレイルカメラ間の撮影枚数の比較

④ 長期間設置でトレイルカメラに起こりうる不具合について

本実証は令和 5 年 10 月 19 日から 11 月 27 日までの 40 日間の設置期間であったが、以下の不具合が発生した。

表 3-B-23 トレイルカメラ設置期間中に起こったアクシデント

No.	不具合	対処
1	トレイルカメラのレンズ前に枯葉がかかった	現地へ行き、枯葉を除去した。
2	一定期間画像の送付が止まったトレイルカメラがあった	電池残量、SD カード残量共に問題なし。 Hyke 社に問い合わせたものの原因不明。 現地のカメラを別個体の予備カメラと交換した。
3	撮影画像が送付されてこない場合がある	電池残量、SD カード残量共に問題なし。 Hyke 社に問い合わせたものの原因不明。
4	3 連写設定であるのに、3 連写が失敗しているケースがある	電池残量、SD カード残量共に問題なし。 Hyke 社に問い合わせたものの原因不明。

No.1 の不具合については、突発的にどのトレイルカメラでも発生する可能性がある。通常の長期設置のトレイルカメラであれば、ずっと枯葉を撮影し続けていたとしても次回の回収日まで知る方法はない。一方、LTE トレイルカメラを使用している場合であれば、画像が送付され続けるため、クラウド上の画像を確認することにより事態を容易に把握し、枯葉の除去を行うことが可能である。これは欠測の期間を最小にとどめることが可能であるため、長所であると言える。

No.2～4 に関しては、以下 1)～6) のような原因が想定されるが、下記に示すとおり、複数の要因が影響しあっている可能性が高く、直接の原因は不明である。

- 1) SD カードの書き込み読み込みエラー
- 2) トレイルカメラ電圧の低下
- 3) SIM カードの通信速度
- 4) 通信環境の問題
- 5) トレイルカメラ側ハードウェアの問題
- 6) トレイルカメラ側ソフトウェアの問題

本実証では、推奨されている新品の SD カードを使用し、外部電源も併せて設置することにより電圧を維持し、通信速度も速度制限がかかっていない状態であった。そのため、1)～3) が要因となっている可能性は低いと考えられる。一方、4) に関しては良好だったとは言えず、5) と 6) に関しては検証の方法がない。加えて、撮影や送付の不具合が起こる要因として、一度に大量のセンサー感知があった場合もトレイルカメラ内の処理がうまくいかず、不具合が引き起こされる場合もある。上記以外の要因もないとは言えず、各要因が複雑に影響しているため、動作不良の直接の要因は解明不可能であった。

なお、LTE トレイルカメラ・LS4G は、『あくまで乾電池で動作する簡易カメラとしてご理解いただき、当社では重要な業務や研究で必ず設定通りの静止画・動画が必要、という際の使用は一切推奨しておりません。』との但し書きがメーカーのホームページ上に掲載されている（ハイクストア.“ハイカム ご購入前の注意事項”. 株式会社 Hyke. <https://hyke-store.com/?mode=f6>, 令和 5 年 11 月 29 日閲覧）。本実証でも動作不良は決して少なくないと明らかになったことから、現行の機材の性能では、多少の欠測は起こりうるものと留意しておく必要がある。

他にも、今回は設置期間が短かったため発生していないが、より長期にわたり設置した場合に発生する不具合は、以下のものが考えられる。クラウド上で SD カードの空き容量と電圧の状態をチェックすることにより、ある程度定期的なメンテナンスを実施することで解決できると考えられる。

表 3-B-24 その他想定されるアクシデントと対処方法

No.	不具合	対処
1	記録媒体の容量不足	今回使用した LTE トレイルカメラで使用可能な SDXC カードは、32GB が最大であるため、HykeWorks でカードの空き容量を確認して、必要に応じて交換に赴く必要がある。なお、今回最も容量を使っていたカードは、14.8GB を使用していた。
2	電圧不足	長期間設置に備えて外部電源をあわせて設置する。 今回は使用が推奨されていたアルカリ乾電池を使用したか、より低温での動作の信頼度が高いリチウム乾電池を使用することにより、より電圧状態を安定させることができる可能性がある。

⑤ 通信機能の有無による撮影枚数の比較

LTEトレイルカメラであるLS4Gは、仕様上画像の送付中は連写を除き、次の撮影が行えない状態となる。これによる撮影漏れがどの程度あるのかを検証するため、A地点復路にH132（LTEトレイルカメラ）と併せて画像送付を行わないトレイルカメラ・パトリオットを設置した。撮影枚数の比較では、10月20日～11月27日の期間のうち、利用者の実測値を取得した6日間（10月20日～21日、10月29日～30日、11月12～13日）の6時から16時59分の期間において比較を行った。パトリオットのほうがほぼ倍の枚数を撮影しており（表3-B-25）、データ送付を行わない分、シャッターが切れない時間が少ないと考えられる。しかし、草や枝の揺れに反応して撮影した、いわゆる空打ちとなっている画像も少なくなかった。そのため、両者の撮影枚数には倍以上の差があるが、人の撮影漏れが倍あったというわけではない。A地点では実際に、利用者を計6日間カウントしたため、その期間の「現地での実測値」と、「H132（LTEトレイルカメラ）の写真を見ながら算出した利用者数」と「パトリオットの写真を見ながら算出した利用者数」を比較した。その結果を表3-B-25に示す。利用者の捕捉率からみると、3.2(1)(イ)において上述したとおり、H132（LTEトレイルカメラ）は向かって来る人のほうが、遠ざかる人よりも捕捉率が高い傾向がみられたが、パトリオットでは進行方向による捕捉率に大きな差はみられなかった。そのため、トレイルカメラから遠ざかる人（復路）の捕捉率は、パトリオットのほうが明瞭に高い結果となった。一方、トレイルカメラに向かって来る人（往路）の捕捉率を比較すると、互いに8割以上の水準となっており、2カメラ間で大きな差はみられなかった。以上のことから、撮影枚数に大きな差があったものの、それが往路利用者の欠測につながっている可能性は、極めて低いものと考えられる。

以上のことから、利用者数調査を今後実施する場合には、LTEトレイルカメラであれば往路方向と復路方向に1台ずつ計2台設置することが望ましいと考えられるが、パトリオットであればどちらか一方を向けて1台設置することで同等の捕捉率が期待できる。即時性が求められる利用者のカウントにおいては、画像送信をしないトレイルカメラ（パトリオット）1台を用いる方が経済的・機能的観点から望ましいと考えられる。

表 3-B-25 通信機能の有無による撮影枚数比較（H132とパトリオット）

カメラ名	6日間の撮影枚数 (6:00～16:59)	進行 方向	調査実施日											
			10/20		10/21		10/29		10/30		11/12		11/13	
			利用者数	捕捉率	利用者数	捕捉率	利用者数	捕捉率	利用者数	捕捉率	利用者数	捕捉率	利用者数	捕捉率
H132 (LS4G)	1501枚	往路	28人	97%	82人	88%	89人	93%	33人	97%	40人	98%	7人	117%
		復路	23人	74%	168人	52%	138人	57%	66人	66%	72人	62%	8人	200%
パトリオット	3072枚	往路	26人	90%	90人	97%	93人	97%	31人	91%	35人	85%	10人	167%
		復路	31人	100%	329人	102%	215人	89%	104人	104%	114人	98%	6人	150%
実測値		往路	29人	-	93人	-	96人	-	34人	-	41人	-	6人	-
		復路	31人	-	321人	-	241人	-	100人	-	116人	-	4人	-

※赤字は同じ進行方向でカメラ間で比較した場合、捕捉率がより高かったことを示す

調査に係る費用が過大なものとなっていないかどうか

トレイルカメラによるデジタル手法でかかった人件費、直接経費及び、本実証内容を従来手法で実施した場合の人件費、直接経費の想定を表3-B-26に示す。

今回のトレイルカメラによるデジタル手法にかかる経費は年3,144,400円程度と算出され

実施項目 B | ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得
 B-吉野熊野国立公園大台ヶ原における土地利用、風景・景観、利用状況等の把握
 た。従来手法を 365 日 1.5 時間程度、人によるカウント調査を行うとした場合、年
 3,533,400 円となり、差額はマイナス 389,000 円となるため、トレイルカメラによるデジタル手
 法にかかる費用が過大なものであるとは言えない。加えて、トレイルカメラは人による調査と比較
 して 24 時間連続して調査が可能である点もプラスの価値であるといえる。

表 3-B-26 調査に係る経費算出の比較

1年(12ヶ月)あたり

手法	項目	数量	単位	単価	計	摘要	
実証手法	直接人件費	準備	3	人日	45,300	135,900	計画・踏査・許可申請等
		設置	2	人日	45,300	90,600	2人×1日
		点検	8	人日	45,300	362,400	2人×1日×4日
		回収	2	人日	45,300	90,600	2人×1日
		結果整理	5	人日	45,300	226,500	AIによるカウント
	直接経費	LTEトレイルカメラ	8	台	100,000	800,000	購入の場合
		外部電源	8	台	20,000	160,000	購入の場合
		単三電池12本	48	式	1,300	62,400	(12本セット)×8式×6 (連続2ヶ月使用)
		単一電池24本	48	式	3,200	153,600	(12本セット)×8式×6 (連続2ヶ月使用)
		microSD 32GB	16	枚	1,000	16,000	8枚セット2組での運用を想定
		SIMカード	96	台月	1,000	96,000	8枚12ヶ月：1枚あたり1ヶ月 1,000円を想定
		Hykeworks (クラウド)	12	ヶ月	79,200	950,400	1ライセンス20台まで対応
	計					3,144,400	従来手法との差額 -389,000円
従来手法	直接人件費	準備	3	人日	45,300	135,900	計画・踏査・許可申請等
		カウント作業	72	人日	45,300	3,261,600	0.2人日(1.5時間：22.5分程度 ×4人(4箇所))×365日
		結果整理	3	人日	45,300	135,900	結果入力・集計
計					3,533,400		

※人件費単価は令和5年度設計業務委託等技術者単価のうち技師(B)を参照した。

※準備、機器設置、点検、回収従来手法での調査にかかわる現地までの交通費は含まない。

利用者数の集計等に係る工程・期間が短縮されているか

本実証場所においての実施を想定し、利用者数の集計等に係る工程・期間に係る比較を示したものを、以下に示す。

現地調査の作業日数について、従来手法では調査対象日×3.5 人日、本実証の方法では機器設置時、回収時にそれぞれ 2 人日を要する。例えば、四季調査（各季節に平日・休日を含めて調査）の実施を従来手法で行う場合には 3.5 人日×2 日×4 回 = 28 人日、本実証のデジタル手法で行う場合は 4 人日×4 回 = 16 人日となる。また、データ処理に係る工程は従来手法であれば 1 コース 1 日あたり約 15 分、本実証のデジタル手法であれば約 8 分となる。

前述したように、本実証のデジタル手法で得られる利用者数については、現状で正確性について課題が残るが、従来手法より本実証のデジタル手法で実施することで工程・期間は短縮されるものと評価される。

表 3-B-27 利用者数の集計等に係る工程・期間の比較

項目	現地作業日数	1 コース 1 日あたりの データ処理
従来手法 (調査員によるカウント)	調査対象日数×3.5 人日	データ入力・集計：約 15 分
本実証の手法 (トレイルカメラ+AI による 利用者数の把握)	機器設置 2 人日、機器回収 2 人日 (1 か月以上連続で実施の場合メンテ ナンス 1 回/月)	データ解析・集計：約 8 分※

※画像から顔の数をカウントし集計するプログラムの実行時間。SD カードから PC にデータを移動する作業時間は含まれていない。また、撮影された画像の枚数により処理時間は変化する（上表には本実証で最も多くの枚数が撮影されたトレイルカメラに対する処理時間で計算した結果を示した）。

トレイルカメラによるデータ取得は調査時期によらず同様のデータが取得できているか
地点・LTE トレイルカメラ別の調査日別の撮影枚数を図 3-B-18 に示す。

同じ地点に設置した 2 つの LTE トレイルカメラはほぼ同様の増減傾向を示していること、また、調査地点・LTE トレイルカメラともに全体的に撮影枚数は漸減傾向を示しつつ人の利用が多い週末や休日には撮影枚数が上振れするパターンを示しており、調査期間を通じて同様のデータが取得できていたと考えられる。（前述したように、B 地点の H130 及び H135 については撮影画角に存在したササ類が風に揺れることなどによる誤撮影が多かったため、撮影枚数が増加している。）なお、前述したように、長期間設置するなかで、いくつかのトラブルが発生したが、いずれも調査時期による原因（例えば寒気による故障等）は考えられなかった。

実施項目 B | ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得
 B-吉野熊野国立公園大台ヶ原における土地利用、風景・景観、利用状況等の把握

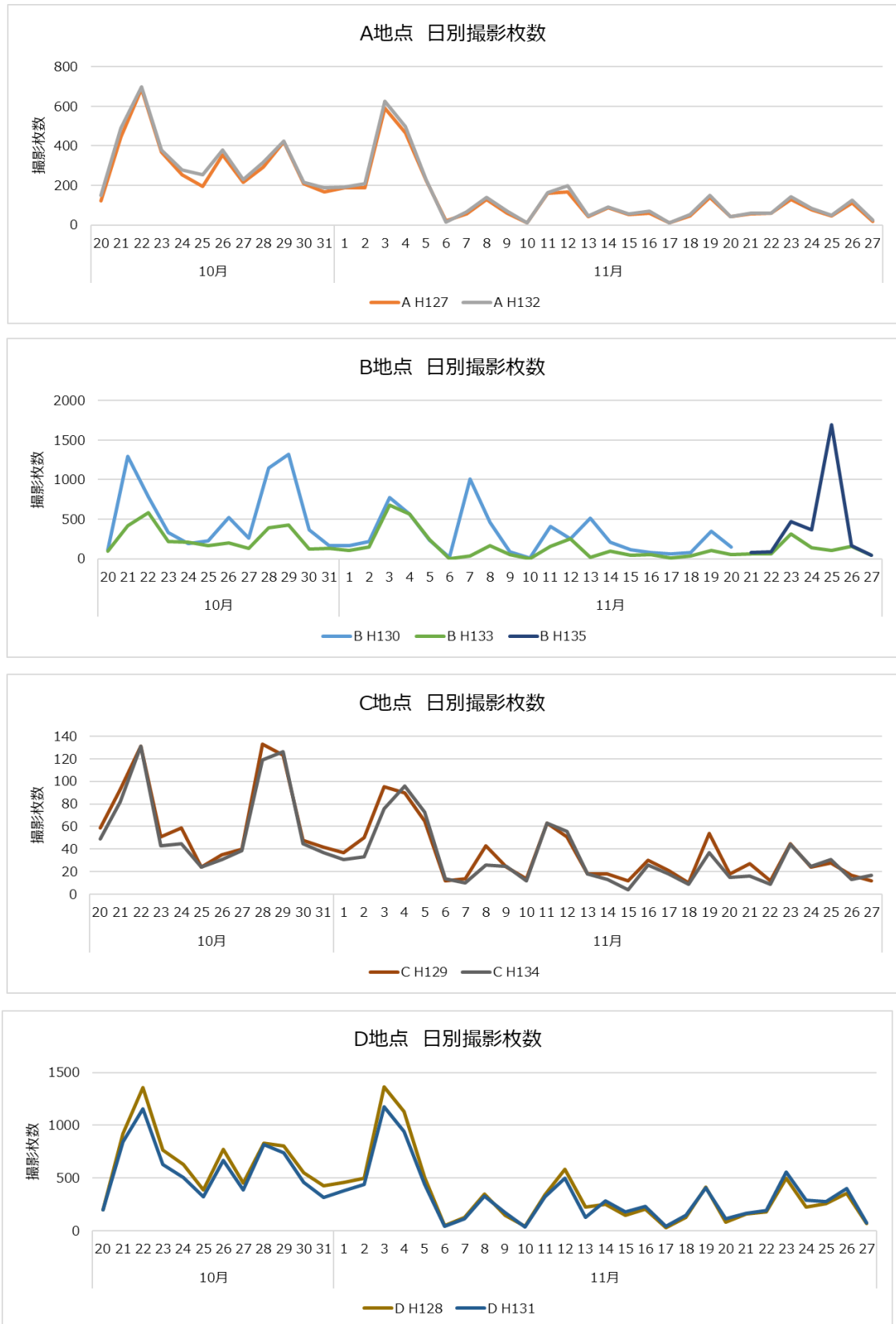


図 3-B-18 日別撮影枚数の比較

(ウ) 定期的なドローン空撮による駐車台数の把握

想定した空撮範囲を取得したデータでカバーできているか（目標値：80%）

30m、50m、70m で撮影した駐車場の空撮画像を以下の図に示す。

撮影対象とした駐車場は概ね 100m×50m、0.5ha の広さであったが、撮影高度 30m、50m、70m で駐車車両に向かって正面方向、ななめ方向のいずれも 2 枚撮影することで駐車場全体を撮影することができ、想定した空撮範囲を取得したデータでカバーできていた。







撮影時の高さ	空撮写真	
30m		
50m		
70m		

図 3-B-19 ドローンによる駐車場の空撮画像（駐車車両の正面から。いずれも 11/10 10 時頃）





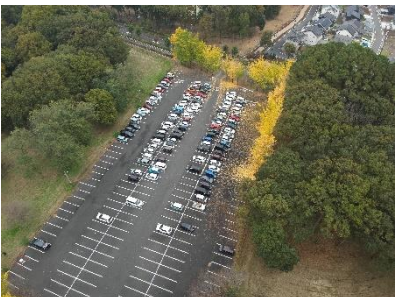
撮影時の高さ	空撮写真	
30m		
50m		
70m		

図 3-B-20 ドローンによる駐車場の空撮画像（駐車車両のななめから。いずれも 11/10 10 時頃）

実施項目 B | ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得

B-吉野熊野国立公園大台ヶ原における土地利用、風景・景観、利用状況等の把握

空撮画像は撮影目的を達成できる画角での撮影が実施できているか

AIによる駐車車両の検知については、撮影方向による検知率のばらつきが生じることが想定されたため、駐車車両の正面・ななめ横方向・横方向など多様な画角での撮影が必要であった。

本実証では、30m、50m、70mの各高度で多様な画角での撮影を行った。

撮影時の高さ	空撮写真			
30m				
50m				
70m				

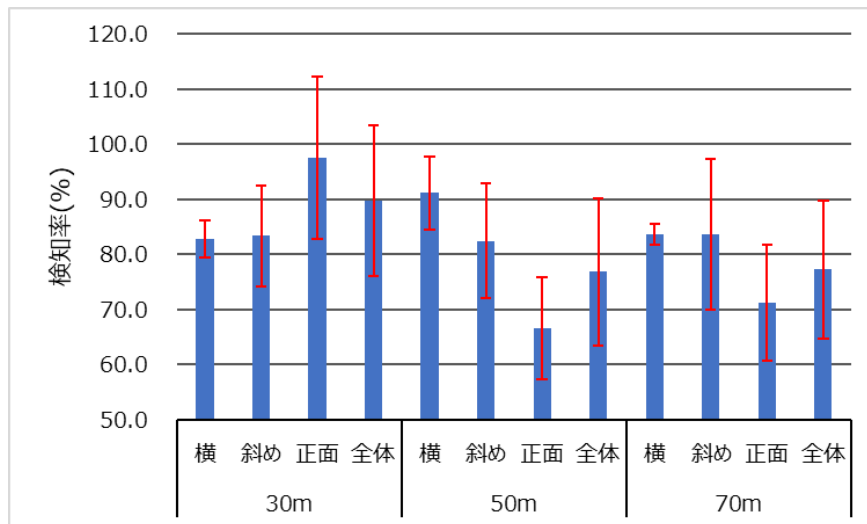
図 3-B-21 ドローンによる駐車場の空撮画像の撮影画角
(30m、50m は 11/10 14 時頃、70m は 12 時頃撮影)

従来手法で記録されている駐車台数等と本実証で得られた結果に大きな齟齬が認められないかどうか。大きな齟齬が見られる場合はその原因を明らかとする

従来手法（人による駐車台数のカウント）で記録されている駐車台数に対する、本実証（画像からの AI による駐車台数のカウント）のデジタル手法で得られた結果の割合は最高で 97.6% であり、撮影時の高さや画角を対象地の特性に応じて検討すれば人による調査と大きな齟齬は生じないと考えられた。

ドローンによる駐車場の車両台数の検知率を図 3-B-22 及び表 3-B-28 に示す。撮影対象の駐車場には駐車枠が 240 枠あり、11 月 9 日には 110 台、11 月 10 日には 113 台が駐車していた。

人による計数結果と比較すると、AI による計数は少ない傾向がみられ、撮影時の高さ・撮影方向別検知率（AI によるカウント数/人によるカウント数のパーセンテージ）の平均値は全体でみると、66.6%～97.6% であった。撮影時の高さは 30m・撮影方向は駐車車両の正面からの撮影で検知率が最も高い傾向がみられ（平均 97.6%）、次いで撮影時の高さ 50m・撮影方向は車両の横からの撮影で検知率が高かった（平均 91.1%）。おそらく検知率の高い画像では、個々の車の自動車としての特徴（ボンネット、フロントガラス、ドア、タイヤ等）が捉えやすかったものと考えられる。撮影時の高さや画角については、対象地の特性に応じて検討が必要と考えられるが、調査地・調査対象に適した高さ・画角での撮影が可能であれば、人による調査と大きな齟齬は生じていないと評価できる。



注 1) 検知率は AI によるカウント数/人によるカウント数のパーセント値を示す。

注 2) エラーバーは標準偏差を示す。

図 3-B-22 ドローンによる駐車場の車両台数の検知率（全体）

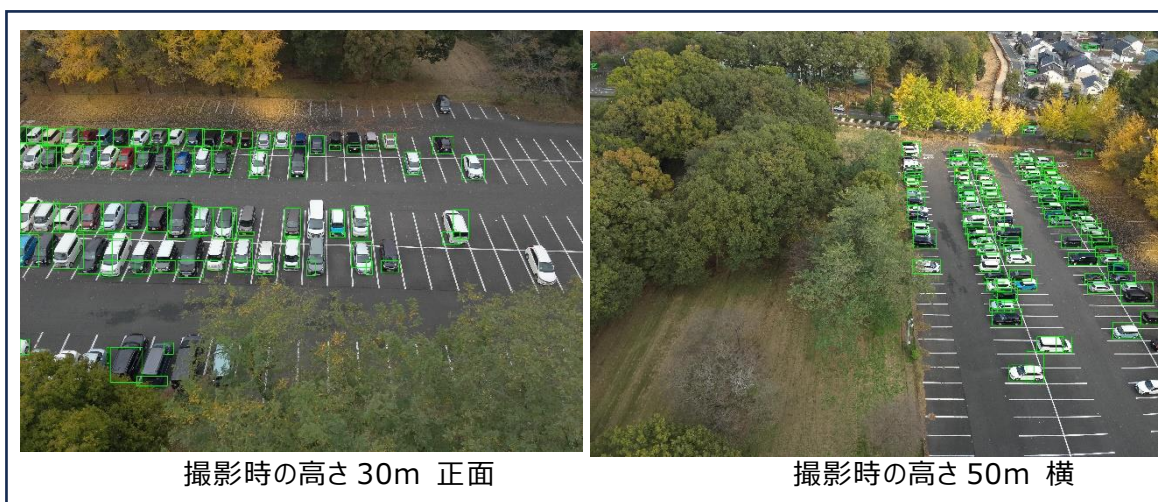


図 3-B-23 AI による車両の検知例

表 3-B-28 ドローンによる駐車場の車両台数の検知率（全体）

撮影時の高さ (m)	撮影方向	画像内の駐車台数	検知率 (%)		例数
			平均	標準偏差	
30m	横	101~111 台	82.7	3.3	4
	ななめ	40~112 台	83.4	9.1	14
	正面	17~106 台	97.6	14.7	15
	全体	17~112 台	89.7	13.6	33
50m	横	102~111 台	91.1	6.6	6
	ななめ	56~112 台	82.4	10.4	14
	正面	34~109 台	66.6	9.3	16
	全体	34~112 台	76.9	13.4	36
70m	横	109~112 台	83.7	1.9	5
	ななめ	67~113 台	83.6	13.6	11
	正面	63~113 台	71.2	10.6	17
	全体	63~113 台	77.2	12.6	33
全体		17~113 台	81.1	14.5	102

注) 検知率は AI でカウントした車両の数/目視でカウントした車両の数のパーセント値を示す。

実施項目 B | ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得

B-吉野熊野国立公園大台ヶ原における土地利用、風景・景観、利用状況等の把握

調査に係る費用が過大なものとなっていないかどうか

ドローンによるデジタル手法でかかった人件費、直接経費及び、本実証内容を従来手法で実施した場合の人件費、直接経費の想定を表 3-B-29 に示す。

今回のドローンによるデジタル手法にかかる経費は年 3,174,400 円程度と算出された。従来手法を 365 日 1~2 時間程度、人によるカウント調査を行うとした場合、年 3,805,200 円となるため、ドローンによるデジタル手法にかかる費用が過大なものであるとは言えないと考えられる。

表 3-B-29 調査に係る経費算出の比較

1年(12ヶ月)あたり 毎日3回計数

手法	項目	数量	単位	単価	計	摘要	
実証手法 (ポート付きドローン)	直接人件費	ドローン運航	36	人日	45,300	1,630,800	0.1×365日
		結果整理	12	人日	45,300	543,600	結果入力・集計
				人日	45,300	0	
	直接経費	ドローンポート	1	個	1,000,000	1,000,000	ドローン、その他機材含む (5,000,000円、5年償却)
	計				3,174,400	従来手法との差額 -630,800円	
従来手法 (人がカウントした場合を想定)	直接人件費	カウント作業・入力	72	人日	45,300	3,261,600	0.2人×365日
		結果整理	12	人日	45,300	543,600	結果入力・集計
		計				3,805,200	

※人件費単価は令和5年度設計業務委託等技術者単価のうち技師 (B) を参照した。

ドローンによる調査に係る工程・期間が過大なものとなっていないかどうか

ドローンでのデジタル手法にかかる工程・期間について、表 3-B-30 に示す。

機材準備、ポート位置の検討、ポートの設定及び行政手続等の準備の工程には概ね 1.5 か月がかかると想定される。また、運用後にはドローンのメンテナンスを 3 か月に 1 回程度、ポートのメンテナンスを 1 年に 1 回程度かかることが想定される。

駐車場については、アクセスが容易な場所にあることが想定されるため表に示した工程・期間について特に過大なものにはなっていないものと評価できる。

表 3-B-30 ドローン調査に係る工程・期間

工程	1年目												2年目				備考		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	...			
準備	機材準備	●	●																
	ポート位置検討	●	●																
	ポート設定		●	●															
	行政手続	●	●																
運用	撮影高さ・画角調整		●	●															
	調査・データ解析		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
維持管理	ドローンメンテ					●	●		●	●		●	●		●	●			3か月おき
	ポートメンテ															●	●		1年おき

ドローンによる空撮画像は同じ画角での撮影ができているか

同じプログラムで飛行させた 2 回のドローンによる空撮では、ドローン位置、機種方向についてずれが確認されたものの、いずれの箇所でも 2 枚程度撮影すれば駐車場の全体をカバーできることからずれは許容範囲内であった。

本実証では駐車場の直上は飛行させず、駐車場の脇を L 字に飛行させ、高さを 30m、50m、70m と変えつつインターバル撮影でななめ写真を複数枚撮影した。飛翔コース及び撮影地点についてはあらかじめプログラムしていたため、調査回ごとに同じ画角での撮影ができることが想定された。プログラム飛行を実施した 2 回の飛行（11/10）の内、各撮影地点の距離及び機首方向のずれを表 3-B-31 に示す。

撮影地点の距離のずれは平均で 0.7m～2.7m、最大で 1.9～5.9m、機首方向の角度のずれは平均で 0.4～2.6 度、最大で 9.5～35.1 度であった。機首方向の角度のずれが大きかった撮影点は 30m で 22.5 度ずれていた 1 地点（撮影地点全 51 地点の約 2%）、70m で 29.8 度、34.3 度、35.1 度、17.7 度ずれていた 4 地点（撮影地点全 51 地点の約 8%）であった。それらを除くと、機首方向の角度のずれは最大でも 7.2 度であった。こうした撮影地点の位置・機首方向のずれが発生する可能性を踏まえて、撮影地点の高度・画角を設定することで、駐車台数のカウントに利用する画像を撮影するために十分な再現性があると評価できる。例えば本実証ではいずれの高度（30m、50m、70m）・方向（横、正面、ななめ）でも 2 枚程度撮影できれば、駐車場の全体をカバーできることを踏まえると、上記の撮影地点、機首方向のずれは許容範囲内であった。

表 3-B-31 2 回の撮影の各撮影点の距離及び機首方向の角度のずれ

飛行高度 (m)	撮影地点の 距離のずれ (m)		機首方向の 角度のずれ (度)	
	平均	最大	平均	最大
30m	2.7	5.4	1.6	22.5
50m	0.7	1.9	0.4	9.5
70m	2.2	5.9	2.6	35.1

注) 撮影位置及び機首方向についてはドローン撮影画像の exif に保存されていた記録を参照した。













撮影時の高さ	空撮写真（2023/11/10）			
30m	 9:38	 13:43	 9:38	 13:43
50m	 10:29	 14:22	 10:29	 14:22
70m	 10:20	 10:54	 10:20	 10:54

図 3-B-24 同じ撮影地点の撮影時間が異なる写真の例

ドローンによる調査に伴う第三者等へのリスクが定量化され、対策が検討されているが本実証においては、第三者へのリスクが定量化され、対策が検討されて実施されたため評価指標を達成できた。

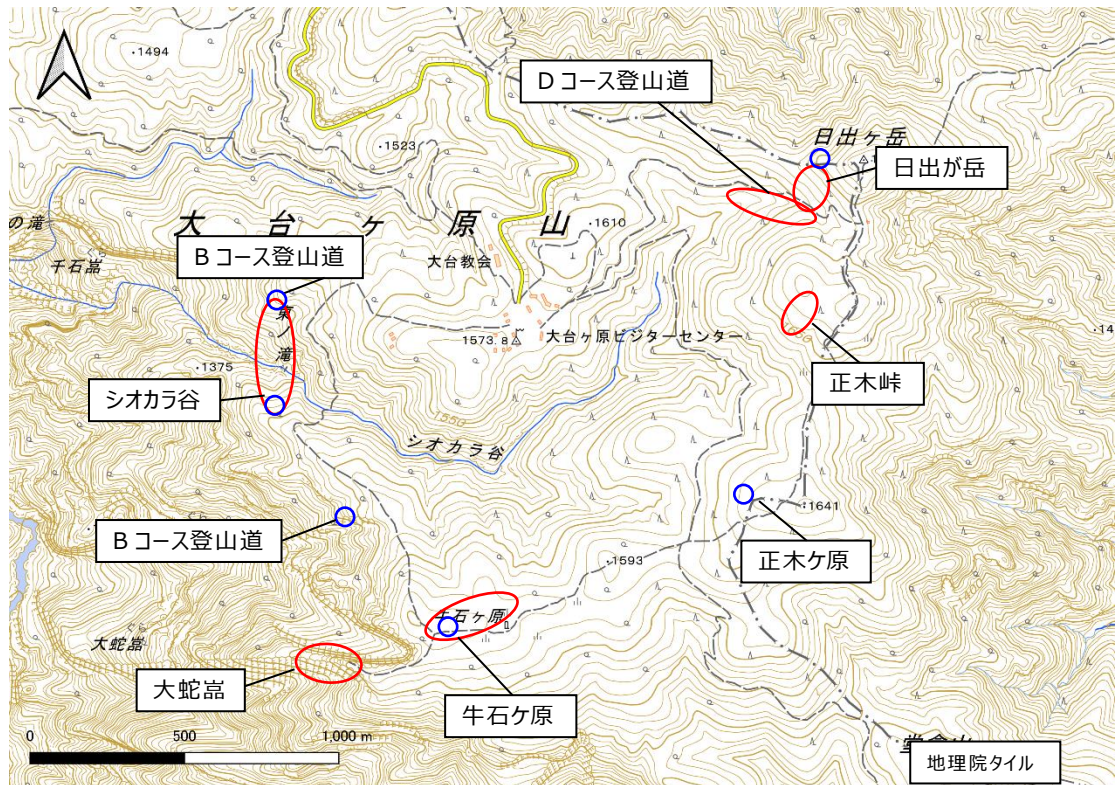
本実証でのドローン調査は航空法や関連法令・規制に準拠している運航を行っている。これらの関連法令では、そのリスクレベルが定量化されており、各レベルに合わせて適切な飛行条件が設けられている。本実証における飛行は、「カテゴリ I」に該当し、第三者へのリスクは低い状態であるといえる。

加えて、事前に駐車場管理者へドローンの飛行計画を伝え、飛行時には安全管理のための立ち入り管理措置をとるための補助者の設置などの対策を実施した。また、機体へのインシデント発生時は事前に設定したフェイルセーフ機能（ホームポイントや緊急着陸ポイントへの回避等）が発動する対策がとれており、第三者へのリスクについては十分に低いと言える。

(工) 360度カメラ、バイノーラル録音による現地状況の記録（静謐、自然音）

公園内の代表的な箇所に360度カメラを設置できているか

東大台で代表的な景観といえば、大蛇窟、牛石ヶ原、日出ヶ岳山頂及びシオカラ谷等が挙げられる。これらの地点での360度カメラによる静止動画の撮影に加え、各区間で徒歩による動画撮影も実施した。そのため、公園の代表的な箇所の映像が取得できたことから、当初設定した評価指標は達成されたと考えられる。



地理院タイルに調査地点を追記して掲載

図 3-B-25 360 度カメラ撮影位置図（赤い楕円は徒歩で録画、青い円は設置録画を示す）

3次元動画において現地の状況（静謐性等）が再現できているか

1) 確認結果

3次元動画において現地の状況は非常にリアルに再現することができた。

360度カメラである Insta Pro2 と、バイノーラル録音機である Zoom ASMR H3-VR を用いて、紅葉中である 10 月 31 日と、紅葉後の 11 月 14 日に実施した。仕様上では互いの機器を接続させることで、リンクさせることが可能であったが、成功しなかったため別個に稼働させて撮影と録音を行った。なお、リンクが成功しなかった原因は不明である。撮影した映像のスクリーンショット例を以下に示す。実際の動画は 360 度任意の方向を見ることが可能である。撮影 2 回目の令和 5 年 11 月 14 日は前日まで降雪があり、積雪があったことから、雪のなかった令和 5 年 10 月 31 日撮影の映像と比較すると非常に差がわかりやすい映像が得られた。

パソコン上で見る動画のイメージとしては、Google Earth のストリートビューが音付きで動画になった、という表現に近い。VR ゴーグルを使用することにより、臨場感あふれる映像を体感可能である。機材と体験の様子を図 3-B-26 に示す。

アンケートの結果（詳細は後述）、撮影した VR 動画は、歩いて撮影したものは手振れが気になるものの、どの動画も非常に臨場感があるという意見が多かった。バイノーラル音声に関しても同様に、臨場感を感じるという意見が多かった。

実施項目 B | ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得
B-吉野熊野国立公園大台ヶ原における土地利用、風景・景観、利用状況等の把握
以上のように、現地状況を非常にリアルに再現できたと考えられる。



VRゴーグル (Meta Quest 3)



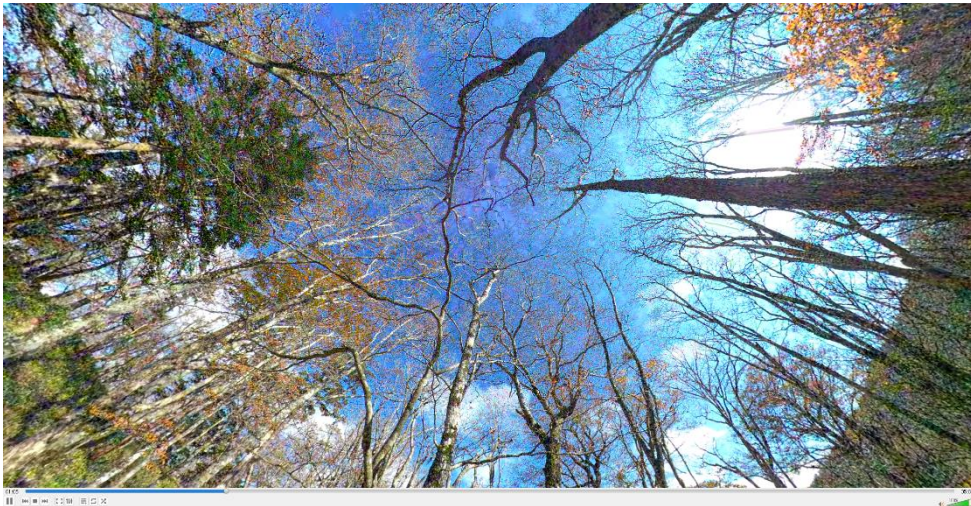
VR 動画体験の様子

図 3-B-26 VR ゴーグルとその体験の様子

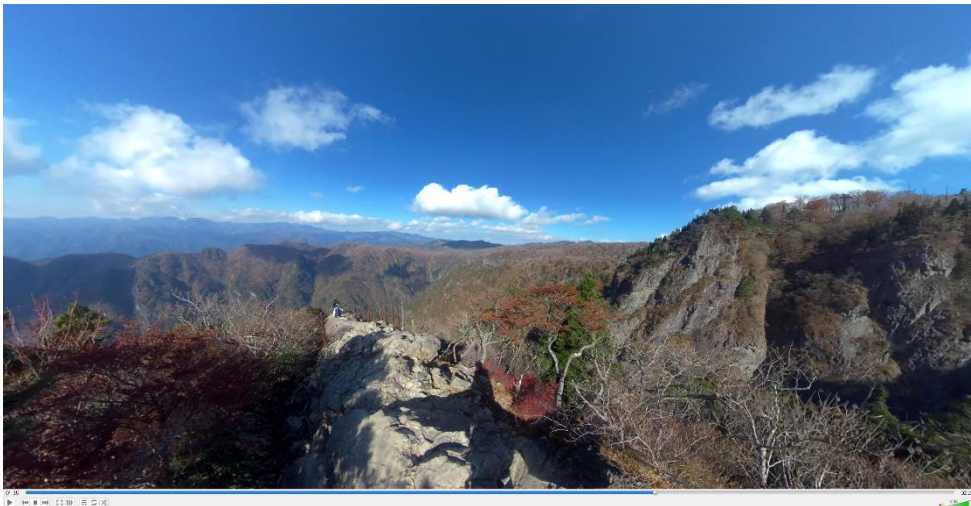
実施項目 B | ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得
B-吉野熊野国立公園大台ヶ原における土地利用、風景・景観、利用状況等の把握



シオカラ谷（令和 5 年 10 月 31 日撮影）



Bコースの登山道（令和 5 年 10 月 31 日撮影）



大蛇岩（令和 5 年 10 月 31 日撮影）

図 3-B-27 360 度カメラ撮影動画のスクリーンショット（1 回目）（1/3）

実施項目 B | ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得
B-吉野熊野国立公園大台ヶ原における土地利用、風景・景観、利用状況等の把握



牛石が原（令和 5 年 10 月 31 日撮影）



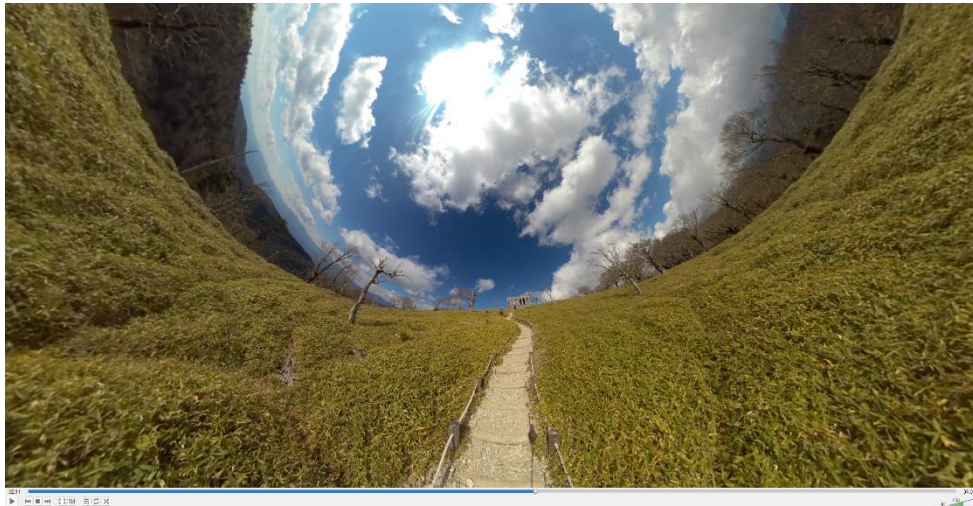
正木が原（令和 5 年 10 月 31 日撮影）



正木峠（令和 5 年 10 月 31 日撮影）

図 3-B-28 360 度カメラ撮影動画のスクリーンショット（1 回目）（2/3）

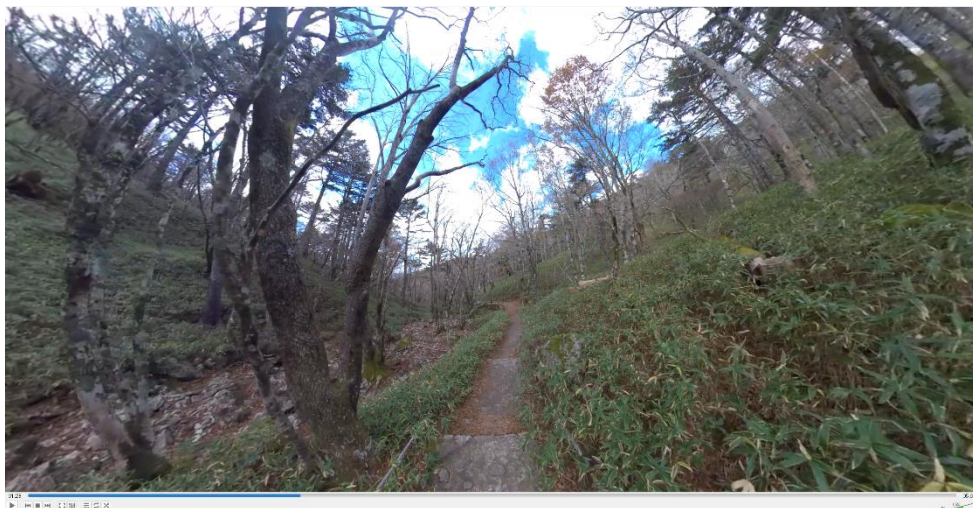
実施項目 B | ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得
B-吉野熊野国立公園大台ヶ原における土地利用、風景・景観、利用状況等の把握



日出が岳山頂への登山道（令和 5 年 10 月 31 日撮影）



日出が岳山頂（令和 5 年 10 月 31 日撮影）



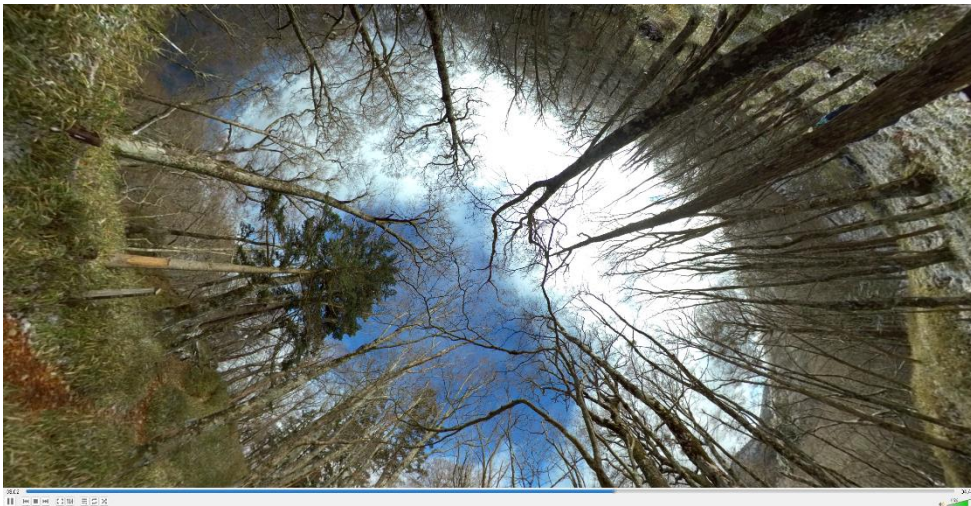
D コースの登山道（令和 5 年 10 月 31 日撮影）

図 3-B-29 360 度カメラ撮影動画のスクリーンショット（1 回目）（3/3）

実施項目 B | ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得
B-吉野熊野国立公園大台ヶ原における土地利用、風景・景観、利用状況等の把握



シオカラ谷（令和 5 年 11 月 14 日撮影）



Bコースの登山道（令和 5 年 11 月 14 日撮影）



大蛇岩（令和 5 年 11 月 14 日撮影）

図 3-B-30 360 度カメラ撮影動画のスクリーンショット（2 回目）（1/3）

実施項目 B | ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得
B-吉野熊野国立公園大台ヶ原における土地利用、風景・景観、利用状況等の把握



牛石が原（令和 5 年 11 月 14 日撮影）



正木が原（令和 5 年 11 月 14 日撮影）



正木峠（令和 5 年 11 月 14 日撮影）

図 3-B-31 360 度カメラ撮影動画のスクリーンショット（2 回目）（2/3）

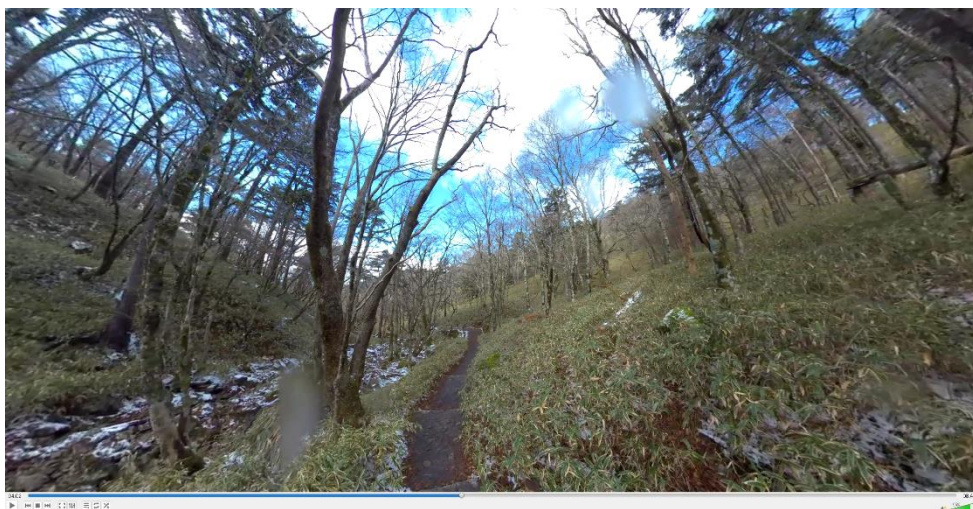
実施項目 B | ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得
B-吉野熊野国立公園大台ヶ原における土地利用、風景・景観、利用状況等の把握



日出が岳山頂への登山道（令和 5 年 11 月 14 日撮影）



日出が岳山頂（令和 5 年 11 月 14 日撮影）



Dコースの登山道（令和 5 年 11 月 14 日撮影）

図 3-B-32 360度カメラ撮影動画のスクリーンショット（2回目）（3/3）

2) アンケート結果

以下に、実証実施者の社員（実施項目 B に携わった社員を除く）で、①VR 動画について、②バイノーラル音声について実際に体験した人を対象に、アンケート調査を行った結果をそれぞれ示す。Google Form でアンケートを作成し、集計した円グラフを引用した。なお①VR 動画については 13 人、②バイノーラル録音については 15 人の意見を集計した。

表 3-B-32 アンケート調査の概要

項目	内容
対象人数	15 人（うち、13 人は VR 動画のみ回答）
アンケート実施期間	令和 5 年 12 月
実施方法	<p>VR 動画については、作成した VR 動画をラップトップ上の 4K 動画で視聴した後、同じ動画の 4K 及び 8K の 360 度動画を VR ゴーグル（Meta Quest 3）で視聴した後、アンケートの回答を求めた。また、バイノーラル音声については、バイノーラル方式とステレオ方式で出力し、両者をヘッドフォンで聞き比べてもらった後、アンケートの回答（選択式及び自由記述）を求めた。</p> <p>なお、選択式の場合は、「そう思う」、「ややそう思う」、「どちらともいえない」、「ややそうは思わない」、「そうは思わない」といった 5 段階評価での回答方式とした。</p>
質問項目	<p>Q6 と Q8 は記述式、他はすべて選択式の設問とした。</p> <p>①VR 動画について</p> <p>Q1:ディスプレイで見た動画と VR ゴーグルを通して見た動画を比較した結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ・VR ゴーグルを通して見た方が臨場感がある ・VR ゴーグルを通して見た方が季節感を感じられる ・VR ゴーグルを通して動画を見ると、酔う ・VR ゴーグルを通して動画を見ると目や耳の疲れが大きい <p>Q2:VR ゴーグルを通して見た 4K と 8K の動画を比較した結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ・8K の動画の方が臨場感がある ・8K の動画の方が季節感を感じられる <p>Q3:静止した状態で撮影した VR 動画と歩きながら撮影した VR 動画を比較した結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ・静止した状態の VR 動画の方が酔いが少なく、快適である ・歩きながら撮影した VR 動画の方が面白い <p>Q4:VR 動画を見た感想</p> <ul style="list-style-type: none"> ・吉野熊野国立公園大台ヶ原に行ってみたくなった ・ほかの季節・場所などで撮影された同様の動画をもっと見たい <p>Q5:季節の違う VR 動画を視聴して</p>

	<ul style="list-style-type: none"> ・調査回による季節の違いを把握できた Q6:VR 動画を視聴した感想、改善点や物足りない点について ②バイノーラル音声について Q7:バイノーラル音声をステレオ音声と比較した結果 ・バイノーラル形式の方が臨場感がある ・バイノーラル形式の方が季節感を感じられる Q8:バイノーラル音声を視聴した感想、改善点や物足りない点について
--	--

① VR 動画について

作成した VR 動画を、まずラップトップ上の 4K 動画で 2 回分視聴頂いたのち、同じ動画の 4K と 8K 動画を VR ゴーグル (Meta Quest 3) で視聴した感想を集計した。

Q1. ディスプレイで見た動画と VR ゴーグルを通して見た動画を比較した結果

VR ゴーグルで視聴したほうが、より臨場感があるとした意見が非常に多いものの、季節感の違いは感じた人 (7 人) ・感じなかった人 (6 人) がおおよそ半々の結果となった。2 回の調査回における季節感の違いは、動画そのものを見ることですべての人が感じられていたものの、VR ゴーグルをつけることにより違いがより増すことは無いようであった。

徒歩で撮影した動画は撮影時の手振れの影響もあり、VR ゴーグルで視聴をずっと続けていると酔うといった意見や、VR ゴーグルを装着することにより目や耳が疲れやすいという意見が多かった。

集計結果を以下の図 3-B-33 から図 3-B-36 に示す。

VR ゴーグルを通して見た方が臨場感がある。

13 件の回答

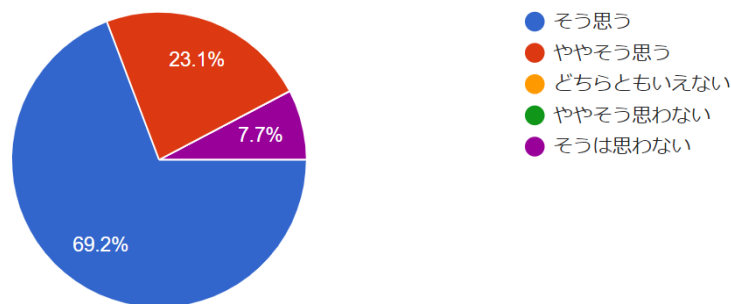


図 3-B-33 VR ゴーグル使用アンケート結果 (臨場感)

VRゴーグルを通して見た方が季節感を感じられる

13 件の回答

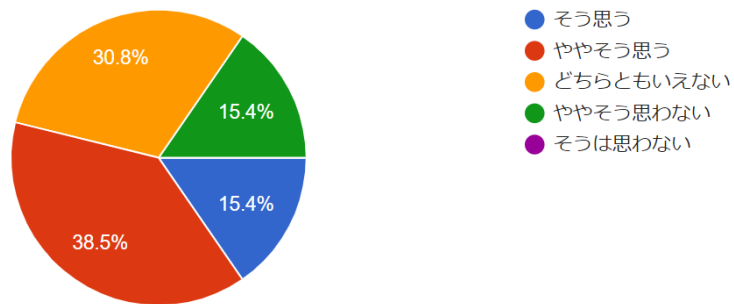


図 3-B-34 VR ゴーグル使用アンケート結果（季節感）

VRゴーグルを通して動画をみると、酔う。

13 件の回答

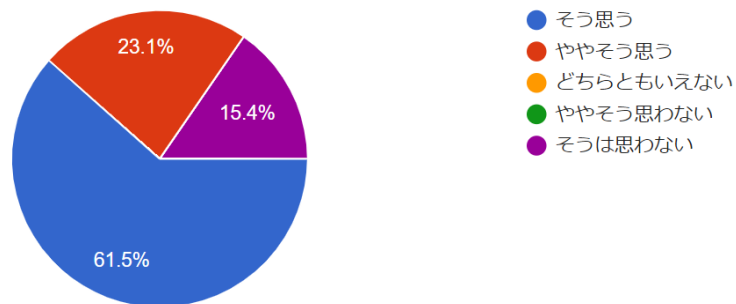


図 3-B-35 VR ゴーグル使用アンケート結果（酔い）

VRゴーグルを通して動画をみると目や耳の疲れが大きい。

13 件の回答

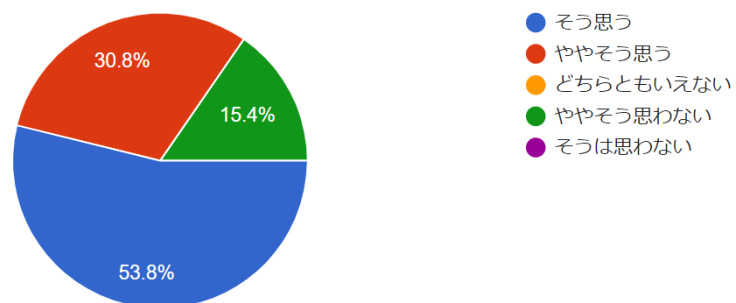


図 3-B-36 VR ゴーグル使用アンケート結果（疲れ）

Q2. VR ゴーグルを通して見た 4K と 8K の動画を比較した結果

VR ゴーグルで 4K 動画と 8K 動画を比較した結果、8K のほうがより臨場感を感じるという意見が多かった。季節感の差については、感じる（7 人）・感じない（6 人）が半々となっていたのは、2 回の調査回における季節感の違いは、動画そのものを見ることですべての人が感じられていたものの、VR ゴーグルをつけることによりそれらがより増すことは無いようであった。

集計結果を以下の図に示す。

VRゴーグルを通して見た 4K と 8K の動画を比べて、 8K 動画の方が臨場感がある。

13 件の回答

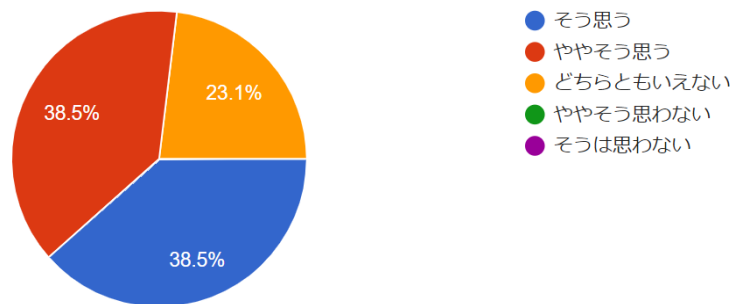


図 3-B-37 VR ゴーグル使用アンケート結果（臨場感）

VRゴーグルを通して見た 4K と 8K の動画を比べて、 8K 動画の方が季節感を感じられる。

13 件の回答

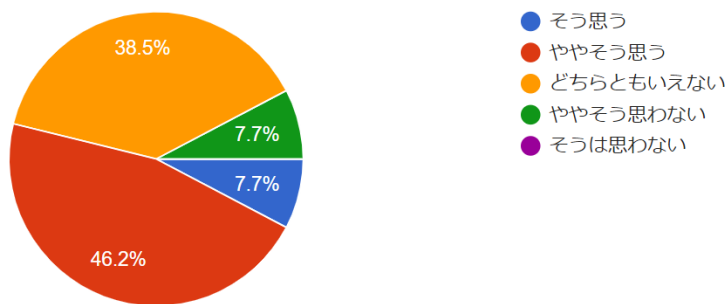


図 3-B-38 VR ゴーグル使用アンケート結果（季節感）

Q3. 静止した状態で撮影した VR 動画と歩きながら撮影した VR 動画を比較した結果静止した状態で撮影した VR 動画は、手振れが存在していないため、見て酔いを感じる人がいなかった（0 人）。一方、歩きながら撮影した VR 動画のほうがより面白いと感じた人は過半数（9 人）であり、風景が常時移り変わることから、静止した状態で撮影した映像と比較すると、より面白いと感じたと考えられる。

集計結果を以下の図に示す。

静止した状態で撮影したVR動画と歩きながら撮影したVR動画を比較して、静止した状態で撮影したVR動画の方が、酔いなどが少なく快適である。

13 件の回答

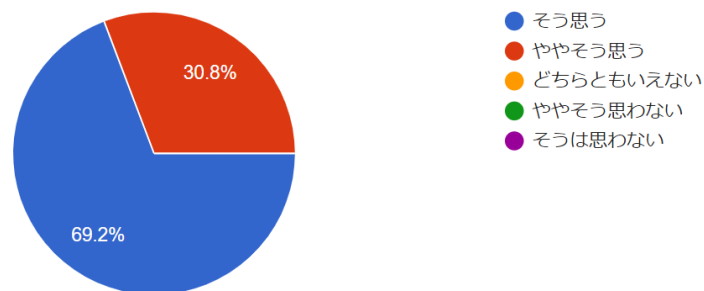


図 3-B-39 2 種の動画に対するアンケート結果（酔い）

静止した状態で撮影したVR動画と歩きながら撮影したVR動画を比較して、歩きながら撮影したVR動画の方が、面白い。

13 件の回答

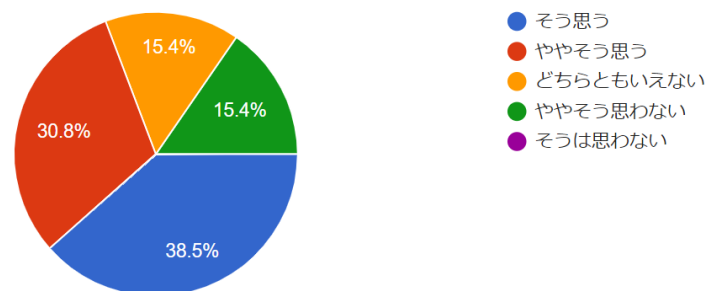


図 3-B-40 2 種の動画に対するアンケート結果（面白さの差）

Q4. VR 動画を見た感想

VR 動画を見た結果、吉野熊野国立公園大台ヶ原に行きたいと感じた人が 7 割近く（9 人）いたことから、VR 動画には PR 効果があると考えられる。他の季節や場所等で撮影された動画も見たいという意見も 85%以上（10 人）あり、現地に興味を持ってもらうきっかけとして有用である可能性がある。

集計結果を以下の図に示す。

VR動画を見た感想として、大台ヶ原に行ってみたくなった。

13 件の回答

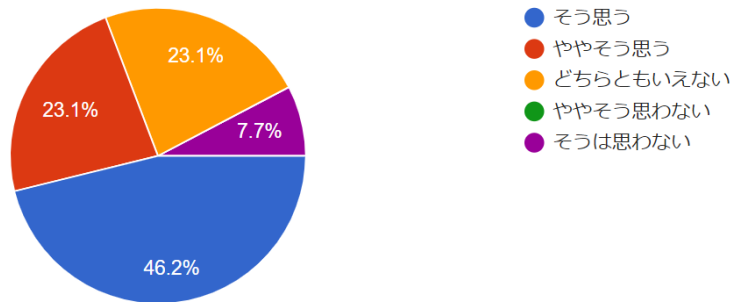


図 3-B-41 動画視聴後のアンケート結果（大台ヶ原に行きたくなったか？）

VR動画を見た感想として、ほかの季節、場所などで撮影された同様の動画をもっと見たいと思う

13 件の回答

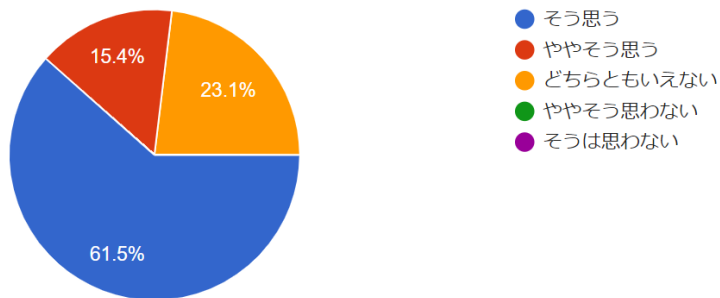


図 3-B-42 動画視聴後のアンケート結果（他の動画も見てみたいか？）

Q5. 季節の違う VR 動画を視聴して

10月31日と11月14日のVR動画を視聴した結果、全ての被験者（13人）が季節の違いを感じることができたという結果が出た。今回は、特に1回目撮影時に紅葉、2回目撮影時に積雪や樹氷がみられたことから、季節の違いがわかりやすい動画となっていたからだと考えられる。

集計結果を以下の図に示す。

Q:2つのVR動画を比較して、調査回での季節の違いを把握できていますか？

13件の回答

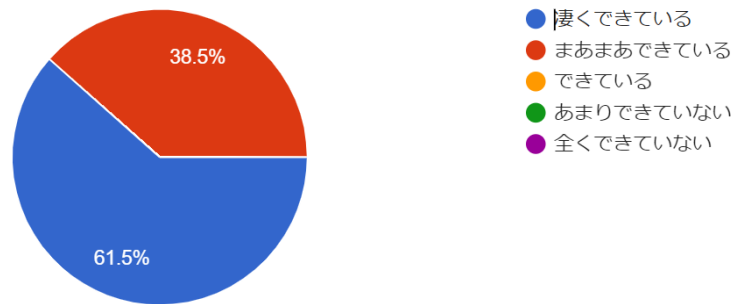


図 3-B-43 VR 動画視聴後のアンケート（季節感の違い）

Q6. VR 動画を視聴した感想、改善点や物足りない点について

カメラを持ちながら歩いて撮影した動画の、手振れに由来する酔いを訴える意見が多かった。撮影を行う際に、手振れ対策にジンバルを導入する等の改善が有効である可能性がある。加えて、酔いやずさには個人差があることから、紹介動画として活用するのであれば、静止で撮影した動画と併せて用意しておくことが望ましいと考えられる。また、歩きながらの撮影する際に、草花に近づく等のイベントを挟むと、より満足度が向上する可能性がある。

【全体の感想】

- ・ やはり晴れの日の映像が綺麗で見ていると楽しい。
- ・ 想像していたよりも良かった。

【映像に関する意見】

- ・ 動画だと死角が圧倒的に減るので情報量が多く、臨場感と季節感をより感じられる。
- ・ 8Kでも画像にそれほどきれいさを感じなかった。
- ・ 移動録画のほうが変化がありおもしろいが、カメラが揺れるのがやや気になった。カメラを揺らさずに撮影することができるとなおいいと思う。
- ・ VRで見た際は実際の視界が若干拡大されたように感じる。90%表示したい。
- ・ ただ歩くだけでなく、時折しゃがんだり、草花に近づく等のイベントの追加があると、より楽しめると思う。

【酔いに関する意見】

- ・ 進行方向に対して横向きで静止していると酔いやすい。
- ・ 撮影者の方向転換が自分の意図した動きと違うと酔う。
- ・ 酔うので長時間は見られない。動画はもっと短くでもいいかもしれない。
- ・ 動きながらの動画は手ブレが大きく、酔いやすい。
- ・ 特に山道は初期のカメラ位置が進行方向でないため、余計に酔いやすい気がする。
- ・ 手振れにより不快感（酔い）を感じるため、ジンバルを用いた動画も見てみたいと思う。
- ・ 手ぶれ補正機能のような酔わないための画像処理ができればかなりよいと思う。
- ・ カメラの揺れでかなり酔う。静止画の方が見やすかったので改善されると今後も見てみたい。

【音に関する意見】

- ・ 音の発信源が動かない状態では、どこから音が来ているかはわかりにくかった。でも音に対して近づいている、遠くなっている、その横を通っていることはわかった。
- ・ 鳥のさえずりなどが飛び交う場所では、VRの方がより臨場感が増すと思う。ヘッドフォンで耳がふさがれるのでより集中するというのもある。
- ・ 強風時の風切音を軽減してほしい。

【VRゴーグル使用時の意見】

- ・ VRゴーグル装着時、空気の美味しさや気温までも感じられた気がした。吉野熊野国立公園大台ヶ原（特に笹原）の解放感をVRだと一層感じられたからだと思う。

② バイノーラル音声について

今回、360 度カメラでの撮影時にバイノーラル録音機での録音を実施したが、機器同士のリンクは成功しなかった。そこで、録音音声をバイノーラル方式とステレオ方式で出力し、両者をヘッドフォンで聞き比べてもらうことで感想を集計した。

Q7. バイノーラル音声をステレオ音声と比較した結果

感想としては、バイノーラル音声のほうがより臨場感を感じられるという意見が多かった（13 人）。一方、両者で季節感の違いを感じたという意見はほとんどなかった。今回、撮影を実施したのが 10 月 31 日と 11 月 14 日の 2 日間であり、人が季節感を感じるような鳥や虫の鳴き声は 2 回ともほとんどなかった。そのため、収録した条件的に、音声に季節感の差が現れにくい時期であった影響が考えられる。ステレオ方式のほうがいいと感じる人もおり（4 人）、感じ方には個人差があると思われる。

ヘッドフォンを通したステレオ形式とバイノーラル形式の音を比較して、バイノーラル形式の音の方が臨場感がある。

15 件の回答

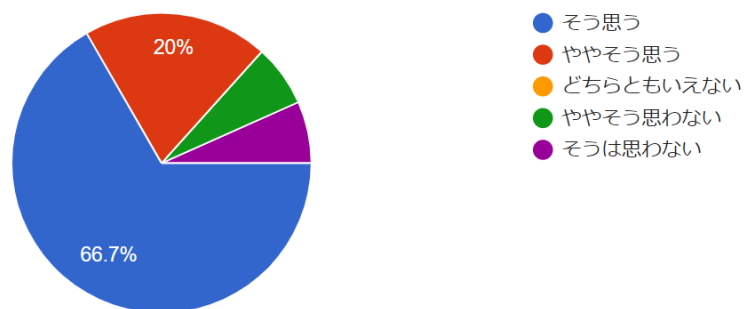


図 3-B-44 バイノーラル音声視聴アンケート（臨場感）

ヘッドフォンを通したステレオ形式とバイノーラル形式の音を比較して、バイノーラル形式の音の方が季節感を感じられる。

15 件の回答

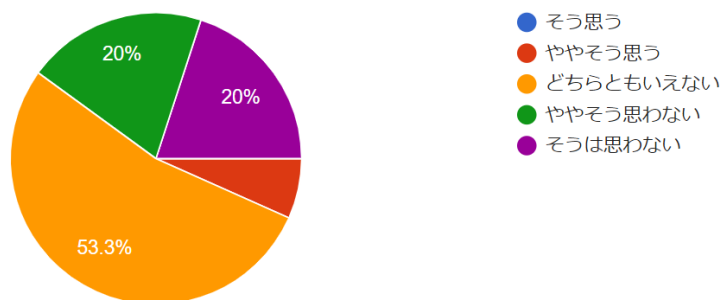


図 3-B-45 バイノーラル音声視聴アンケート（季節感）

Q8. バイノーラル音声を視聴した感想、改善点や物足りない点について

その他としては、以下のような意見が挙がっていた。

- ・ 10 月はバイノーラルの方が臨場感を感じられたが、11 月はステレオの方が良い気がした。
- ・ バイノーラルの方が音の抜けがよく、臨場感を感じた。季節感については、全く分からなかった。
- ・ 別の季節に実施しているのを聞いてみたい。
- ・ バイノーラル形式の方が臨場感があり、ステレオ形式の方が映画のように感じる。
- ・ 「季節感」というのが何を指しているのかわからなかった。しかし、臨場感は圧倒的に違うと感じた。
- ・ 使ったヘッドフォンの性能の差もあるかもしれないが、普通のステレオの方が断然臨場感を感じた。
- ・ ヘッドフォンやイヤホンの品質による影響もある気がする。ステレオの方がノイズ感を強く感じる。10 月のバイノーラル録音は、心地よく感じる。
- ・ ステレオ形式の音声は一步引いたところから聞いているという印象。バイノーラル形式は音に包まれている感覚がある。近く聞こえるからか、ホワイトノイズっぽい部分もより大きい感じがした。
- ・ 素敵な映像と音声で、リラクゼーション効果があるような気がした。
- ・ バイノーラル音声は臨場感あふれ、インパクトが強い感じがする。視覚と音で訴えるには良いと思う。ステレオ音声は自然な音に聞こえる。実際に川岸に立っているような優しい音、といった感じ。

調査に係る費用が過大なものとなっていないかどうか

360 度カメラ・バイノーラル録音によるデジタル手法でかかった人件費、直接経費及び、本実証内容を従来手法で実施した場合の人件費、直接経費の想定を表 3-B-33 に示す。

今回の 360 度カメラ・バイノーラル録音によるデジタル手法にかかる経費は 1,150,038 円程度と算出され、人が現地に行き、五感で確認する調査を従来手法とした場合、かかる経費は年 815,400 円となるため、機材費等の分 334,638 円の費用増とはなるものの、360 度カメラやバイノーラル録音のデジタル手法によって調査結果を臨場感が伝わりやすい形で共有、保存ができるようになる点がメリットとしてあげられる。

ただ、一方で調査結果の共有や保存が不要な場合や、360 度カメラやバイノーラル録音では把握ができない調査（異臭の有無など）かつ、広範囲の調査が必要な場合において当該調査は適さない。したがって、調査にかかる費用については、360 度カメラ・バイノーラル録音のデジタル手法が適した調査においては過大なものではないと考えられるが、適さない環境での調査においては過大であり、不要な費用であるといえる。

表 3-B-33 調査に係る経費算出の比較

年間(4回)あたり							
手法	項目	数量	単位	単価	計	摘要	
実証手法 (360°カメラ(レンタル)・バイノーラル録音)	直接人件費	準備	2	人日	45,300	90,600	機材準備
		現地調査	8	人日	45,300	362,400	2人×4回
		結果整理	8	人日	45,300	362,400	2人×4回
	直接経費	360°カメラ Insta Pro2	4	回	59,800	239,200	レンタル 3泊4日×4回
		360°カメラ Insta Pro2 バッテリー	4	回	4,980	19,920	レンタル 3泊4日×4回
		microSD 128GB	6	枚	5,000	30,000	購入
		microSD 256GB	1	枚	10,000	10,000	購入
		SDXC 256GB	1	枚	10,000	10,000	購入
		三脚	1	台	3,500	3,500	購入
		バイノーラル録音 Zoom H3-VR	1	台	22,018	22,018	購入
計					1,150,038		
従来手法 (人の五感による調査)	直接人件費	準備	2	人日	45,300	90,600	機材準備
		現地調査	8	人日	45,300	362,400	2人×4回
		結果整理	8	人日	45,300	362,400	2人×4回
	計					815,400	

※人件費単価は令和5年度設計業務委託等技術者単価のうち技師(B)を参照した。

ドローン、360度カメラ等による調査に係る工程・期間が過大なものとなっていないかどうか
360度カメラによる撮影は、吉野熊野国立公園大台ヶ原においては特徴的な環境を記録するために必要な期間は、1回あたり1日、撮影後VR動画を作成するために必要な期間は3日程度であった。調査工程や期間が特段過大ではないと思われる。以上のことから、当初設定した評価指標は達成されたと考えられる。

360度カメラ・録音機器によるデータ取得は調査時期によらず同様のデータが取得できているか
録画・録音を行った際の天候は10/31が晴れ・気温11℃～13℃、11/14が晴れ時々曇り・気温-1℃～+1℃であった。360度カメラの仕様上、最適な動作を保証する環境温度は0℃～40℃であり、気温が低かった11月にはバッテリー消費がやや多い傾向がみられたが、機器の使用の範囲内であったためデータの取得自体は調査時期によらず実施できていた。以上のことから、当初設定した評価指標は達成されたと考えられる。

表 3-B-34 360度カメラ、バイノーラル録音による現地状況の実施状況

調査回	実施日	実施時間帯	天候・気温
第1回	令和5年 10月31日	7:30～13:00	晴 11℃～13℃
第2回	令和5年 11月14日	7:15～12:45	晴時々曇 -1℃～+1℃

※気温についてはAコースに設置されたトレイルカメラで、実施時間帯に撮影された写真に記録されていた気温を示す。

(3) 評価方針に対する評価結果

(ア) 3.1(2)で示した評価方法に沿って結果を記載する。厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること

1) au 人口動態データを用いた利用者数の把握

インターネットブラウザ上で情報の取得が可能なため、現地に雪が降っているような厳しい気象条件等であっても関係なく調査が可能であった。広大な地域を対象にしてもデータ取得が可能であり、吉野熊野国立公園大台ヶ原の主な利用区域は携帯電話の通信圏内にあるため、一定程度のデータ取得は可能であった。

一方で、同意を得ている au 回線ユーザーからしかデータが取得できず、KLA に実装されているアルゴリズム側で au 回線のシェア（27.0%）を考慮して全利用者数を推定する工夫がされているものの、au 回線ユーザーの利用が極端に多いとみられる時間帯や、逆にまったくユーザーがいない時間帯については捕捉できないため、利用者数が少ないシーズンなどでは人による調査結果とはずれが生じる懸念がある。

一方で、解析対象期間を数週間とりその平均を見るなどの形であれば大まかな傾向をつかむことは可能である。

2) トレイルカメラ+AI による利用者数の把握

本実証期間中に、積雪、霧といった悪天候があったが、その間にも画像を取得できており、リアルタイムでの送信もできていたことから、使用に問題はなかった。

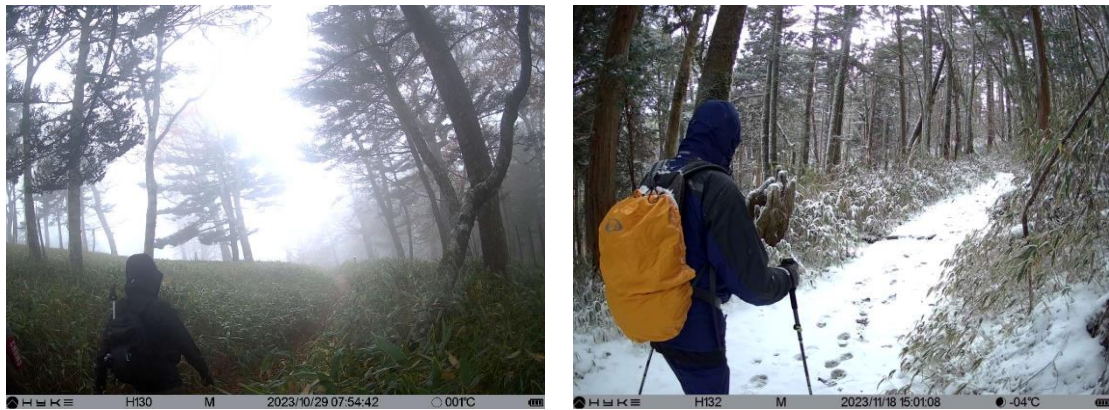


図 3-B-46 荒天時の撮影記録

3) ドローン空撮による駐車台数の把握

本実証において、対象となる駐車場全域を撮影することができた。実証期間中は小雨の降る時間帯もあったが、ドローン及びドローンポートの操作に支障をきたすことはなかった。なお、使用したドローン（Matrice30）の飛行可能風速は 12m/s であり、ドローンとドローンポートはいずれも防水性を有する。しかし、航空局の飛行マニュアルに則り、雨天時や強風時（風速 5m/s 以上）は安全を鑑みて飛行を取りやめる運用とすることが望ましい。また、スペック上、動作環境温度はドローンが-20℃～50℃、ドローンポートが-35℃～50℃であり、日本のす

実施項目 B | ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得
 B-吉野熊野国立公園大台ヶ原における土地利用、風景・景観、利用状況等の把握
 べての地域で基本的には運用が可能であるといえる。また、4G LTE のエリア圏外であってもド
 ローンポートを Starlink と接続することで遠隔からの操作が問題なく可能となる。

表 3-B-35 実証期間中の気象状況 ※栃木県小山観測所のデータ参照

実証時期	天候	平均風速 (m/s)	主な風向
11月9日	晴れのち曇り	0.8	北
11月10日	曇りのち雨	0.8	北北西

(イ) 自然環境（特に生物）への影響に配慮したデジタル機材や情報収集方法とすること

1) トレイルカメラ+AI による利用者数の把握

トレイルカメラは軽量であり、設置した樹木への影響は見られなかった。撮影画像にはシカ等の動物が複数枚撮影されており、公園に生息する動物への影響は小さかったと考えられる。



図 3-B-47 本実証で設置したトレイルカメラで撮影された動物の画像

2) ドローン空撮による駐車台数の把握

実証期間中、ドローンポート及びドローンを設置することによる周囲の自然環境への影響は確認されなかった。また、不具合発生によるドローンの落下等による自然環境への影響についても、ドローンの飛行に影響のある不具合が発生した場合は飛行前であれば離陸を取りやめ、その原因を運航者に通知し、飛行中であれば適切なフェイルセーフが発動し、安全な場所に着陸もしくはポートに帰還する仕様となっており、周辺の自然環境に影響を与える可能性は十分低いと考えられる。

(ウ) ドローンの飛行音などについて、周囲と十分な離隔を確保する等の対策を実施の上、自然環境への影響がないかを評価する

1) ドローン空撮による駐車台数の把握

本実証においては駐車場の周囲 30m ほどを本実証エリアとして確保する形でドローンポート及びドローンの運用を行った。ドローンの飛行音については離着陸の際に特に大きく発生し、周囲 30m ほどであればどこでも聞こえる程度の飛行音を確認された。一方で飛行後、高度 30m を超えたあたりから地上では飛行音は気にならない程度となった。そのため実運用の際は離着陸場所（＝ポートの設置場所）については飛行音が発生する前提での選定を行う必要があるが、飛行ルートについては特に飛行音を考慮した調整は不要であると考えられる。

(エ) 対象法令及び関係法令の規制に抵触せず、また公園利用に著しい支障（例えば、ドローン落下により景観や地形を損傷する、放置状態にする等）を与えないデジタル機材や情報収集方法とすること

1) au 人口動態データを用いた利用者数の把握

KLA で利用される au 回線ユーザーのデータについては、ユーザーが特定の個人と紐づいた状態とならないよう個人情報保護法に規定されている匿名加工情報となるよう加工処理を行ったうえで、ビッグデータとしての解析の利用に対し同意を取得したユーザーから取得されたデータのみを使用している。

2) トレイルカメラ+AI による利用者数の把握

使用機材や情報収集方法に対して、許可を要する行為等が自然公園法第 21 条に記載されている。本実証では、特別保護地区において工作物を新築する行為を行うため、環境大臣の許可を得なければならない。その申請において記載が必要な事項とそれらに対する対応を表 3-B-36 に示す。本実証において、機材の設置は許可を得て行い、公園利用にも著しい支障は発生しなかった。

表 3-B-36 自然公園法に基づく許可申請に記載が必要な事項とそれらに対する対応

自然公園法に基づく許可申請に記載が必要な事項	対応
支障木の伐採（樹種、本数、面積等）、支障となる動植物の除去、敷地造成（面積、切土盛土量等）、残土量とその処理方法、工事前仮工作物の設置等、申請行為に伴う行為の内容を具体的に示すこと。	樹木の伐採、敷地造成等を必要としない機材・設置位置を選定した。また、カメラの視野を遮る植物の葉を除去する場合があることを申請し、許可を得た。なお、実際には植物の葉の除去は行わなかった。
施工後の周辺の取り扱いを記載すること。	資材を全て国立公園区域内から撤去し、景観上支障の無いよう整理することを記載し、実施した。
仕様資材の構造・主要材料・外部の仕上げ・色彩を記載すること。	申請書に記載した。

トレイルカメラによる撮影画像は個人情報保護法における個人情報にあたるため、撮影にあたってはその利用方法等を公園利用者に周知する看板を作成した。個人情報を含む撮影画像の盗難を防ぐためにトレイルカメラは盗難防止用のチェーンキーを設置し、盗難はなかった。個人情報を含む撮影画像については、実証実施者の個人情報保護に関する社内規程に従い、閲覧者を限定したセキュリティ設定管理下にあるクラウドファイルサーバー内で適切に管理した。

公園利用者（主に登山など）によるトレイルカメラや目視調査員による調査への苦情の発生が懸念されたため、公園管理者と協議の上、周知看板を作成した。

トレイルカメラの設置に関する周知看板の設置の経緯等
<p>トレイルカメラの設置にあたっては、当初 A4 版の周知看板（図 3-B-48）を大台ヶ原のビジターセンター及び主な登山道の入り口 1 箇所に設置していた（10/19）。</p> <p>その後、環境省担当者より以下の指摘があった。</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・登山道のカメラについて不審に思いビジターセンター（以下 VC）に問合せが数件あった。 ・既存ポスターでは調査員が実測していることの説明が無いためそれに関して問合せが多かった。こちらは追加周知や分かりやすい服装を用意する必要がある。周知ポスターが文章と機材写真メインで想像しにくい部分があるようなので、実際の調査箇所の写真等で構成しなおしたものを掲示すること。 ・トレイルカメラの直近に設置している看板について、カメラに近づく前に利用者にカメラの設置に気づいてもらうため、カメラより手前に看板を再設置すること。
<p>その後、環境省担当者と協議の上、周知看板を A3 版にするとともに設置箇所を 2 箇所増やし、トレイルカメラ直近に設置していた周知看板について、トレイルカメラより手前に看板を再設置した。</p>



A4 版の周知看板の設置状況



A3 版の周知看板の設置状況



周知看板の設置状況

図 3-B-48 周知看板の設置状況

3) ドローン空撮による駐車台数の把握

本実証でのドローン飛行については、航空局の飛行許可を必要とする空域ではない為、航空局への飛行申請は不要であった。また、事前に駐車場管理者と飛行計画について打ち合わせを行ったうえで、注意事項の確認を行い、補助要員を配置するなど安全管理に十分配慮して実証を実施した。

4) 360度カメラ、バイノーラル録音による現地状況の記録

本実証での撮影については、歩いて撮影する際は調査員がカメラをもって撮影を行い、静止動画を撮影する際は三脚で機材を固定し、調査員が常駐する形で撮影を実施した。

環境省事務所と協議した結果、上記の運用方法であれば工作物の新築に該当しないため、別途許可取得は不要との回答を頂いたことから、申請は不要であった。

(オ) ドローンのフェイルセーフ機能を異常時も自然環境を損傷しないよう、適切に設定し問題がないか評価する

1) ドローン空撮による駐車台数の把握

今回使用したドローンは飛行前及び飛行中にドローンに異常が発生した場合は適切なフェイルセーフが働くような仕様となっている。具体的には飛行前に異常が発生した場合は、飛行を開始しない。本実証でも飛行前に通信が途切れた際は飛行が開始されず、通信に異常があった旨が運航者に通知された。飛行中についてもバッテリー低下時はバッテリー残量がある一定の閾値以下になった時点でポートへの帰還が開始される。また、衝突防止センサーも全方位搭載されており、設定した範囲内に障害物が検知された場合は機体が一時停止し、遠隔から安全な場所に着陸、あるいはポートへの帰還指示を行うことが可能となっており、自然環境を損傷しない安全対策ができていと考えられる。

(カ) 広大な面積、複雑な地形、見通しが悪い森林や暗所、動物移動の観測など自然物の特有の状態でも取得する情報の正確性を確保することが可能なデジタル機材や情報収集方法とすること

1) au 人口動態データを用いた利用者数の把握

KLA を用いた分析では、同意を取得済みの au 回線ユーザーの GPS 情報をもとにしたビッグデータ解析を行う。

本実証の対象である、大台ヶ原ビジターセンター周辺エリアでは、図 3-B-49 のとおり、au の 4G LTE 回線の対応エリアとなるため、理論上地形や面積によらず対象データを収集可能なエリアで実施した。

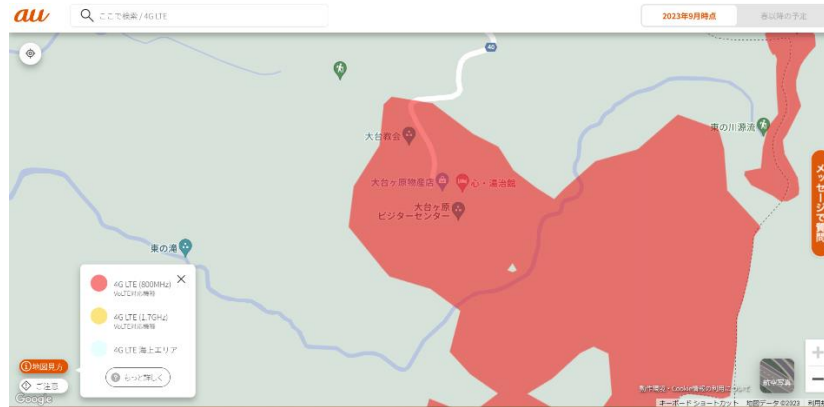


図 3-B-49 吉野熊野国立公園大台ヶ原周辺での au 回線 4G LTE 対応状況

(au Web 公式サイト上での Google map を用いた回線マップ 令和 6 年 1 月 8 日閲覧

<https://www.au.com/mobile/area/map/>より)

2) トレイルカメラ+AI による利用者数の把握

3.2(2)(イ)で記載したとおり、DeepFace による利用者の推定数の実測値に対する比率は全体で 83%であった。しかし、D コースの往路・復路、往路全体、及び総計では乖離率 20% (AI による推定値の実測値に対する比率 80~120%) 以内であったものの、A・B・C コース及び復路全体では乖離率が 20%を超えた。

一方で、実測値と DeepFace で算出した利用者数の増減傾向は同様の傾向を示した。このことから、利用者数の正確な把握には課題が残るものの、トレイルカメラ+DeepFace による検出によって公園利用者数の大まかな傾向は把握可能と考えられた。

また、トレイルカメラでは日中だけでなく夜間でも情報を取得することができ、昼夜問わず撮影を行うことが可能である点は有効と考えられた。



(人物はマスキングしています)

図 3-B-50 日中と夜間の撮影記録の例

3) 定期的なドローン空撮による駐車台数の把握

30m、50m、70m で撮影した駐車場の空撮画像を図 3-B-51 に示す。

撮影対象とした駐車場は概ね 100m×50m、0.5ha の広さであったが、撮影高度 30m、50m、70m において、いずれも撮影位置を変えて 2 枚撮影することで駐車場全体を撮影することができた。







撮影時の高さ	空撮写真	
30m		
50m		
70m		

図 3-B-51 ドローンによる駐車場の空撮画像（再掲）

(キ) 自然環境の雰囲気（静謐、自然音、香り等）の把握に際して、人間の五感を可能な限り再現すること

1) 360 度カメラ、バイノーラル録音による現地状況の記録

3.2(2)(エ)に記載のとおり、体験者からも現地の状況を体感できたとの声も多く、人間の五感のうち、視覚と聴覚について、現地の自然環境の雰囲気を可能な範囲で再現できた。

(4) まとめと今後の展望

国立公園の利用者数について、人口動態データ、トレイルカメラを用いた方法を行い、人口動態データでは正確性や通信回線対応エリアによる課題はあるもののおおまかな滞在人数の傾向に関しては現地での計測を行わずに済むため非常に効率的、トレイルカメラでは精度の課題はあるものの、登山道別、あるいは夜間も含む時間帯など、公園内の細かい情報を得ることができることが明らかとなった。したがって、今後の活用方法としては、求める情報の内容によって手法を使い分けることが考えられる。例えば、数年ごとの定期的な利用者数の推計には人口動態データを用い、国立公園への関心度合いや利用向上のための施策の必要性・方策の検討の基礎資料として用い、任意の年にはトレイルカメラによる個別箇所間の利用者数の比較から、公園内での管理運営のための情報を得るといった使い分けが考えられる。トレイルカメラを用いる場合には、リアルタイム性を必要としない情報であることから、パトリオットのような非通信トレイルカメラを用いたほうが精度の高い情報が得られると考えられ、またできるだけトレイルカメラが目立たない（利用者の立ち止まり、振り返り、覗き込みを軽減する）ようにすることが有効であると考えられた。

ポート付きドローンによる駐車場台数の計数は、高頻度での情報が得られる点が特長であるが、飛行自体の制限が多いこと、駐車場には基本的に職員が常駐しており計数にそれほど労力がかかっていないこと、1 日の中での高頻度な情報はそれほど必要とされるケースが想定されないことから、実証地では現状で有効な利用ケースは想定されない。もし、他地域において職員が常駐しない駐車場で駐車場台数を継続的に取得する必要がある場合や、職員が常駐する場合でも 1 日の中で複数回の情報が必要となる場合があれば、手法の一つとして検討する余地はあるものと考えられた。

360 度カメラやバイノーラル録音は、自然環境を遠隔地でも体感できる手法として有用と考えられた。しかし、現状でその取得した映像・音声をユーザーがそのまま体感するためのデバイスが十分に普及していないことから、活用方法としては、特定箇所に VR ゴーグルを設置し体感いただくことが想定される。例えば、環境省が管理する他地域の施設に VR ゴーグルで体験できるコーナーを設置し吉野熊野国立公園大台ヶ原の環境をアピールする、あるいは体が不自由な方や高齢者で遊歩道を踏破できない方も、管理施設までは車で同行し、VR ゴーグルで体感することで、遊歩道を歩いた人と体験を共有することができるようにするなどの活用が考えられる。

4 用語集

用語	解説
人口動態データ	スマートフォン通信回線ユーザーのうち同意を取得済みのユーザーの契約情報に紐づく年代や性別、居住地などの属性情報について、個人を特定できないように加工されたうえで GPS 情報と紐づき、任意の区域の任意の時間帯にどのような属性の利用者傾向があるかを可視化するために用いられるデータ。
KDDI Location Analyzer	au 回線のユーザーのうち、明確な同意を得たユーザーの回線通信情報・契約者情報および GPS 位置情報をもとにしたデータから匿名加工処理を行ったビッグデータと独自のアルゴリズムを用いて、au 回線提供領域における来訪者数やその属性の解析を行うことが可能な KDDI 社にて提供される Web サービス。
バイノーラル録音	ステレオ録音方式の一つで、あたかもその場に居合わせたかのような臨場感を再現できる。
DeepFace	人間と同等レベル（約 97%）の精度で顔を認識できる AI ソフトウェア。
Google Earth	Google 社が提供する、世界中を探索できるバーチャル地球儀。
Exif	デジタルカメラで撮影した画像データに付記された様々な情報。
トレイルカメラ	動物や人の熱を感知して自動で撮影するカメラ。自動撮影カメラ、センサーカメラ、無人撮影装置とも呼ばれる。
YOLO	ディープラーニングを用いたリアルタイム物体検出のアルゴリズムの一つ。You Only Look Once の略で、一目見て物体検出ができるというコンセプトのもと開発されている。
CSV	各項目がカンマで区切られたシンプルなテキストデータ。

2 実施項目 C-1 の詳細

2.1 技術実証の方法

(1) 実証内容の概要

(ア) 目的

厚岸霧多布昆布森国定公園の厚岸湖において、越冬期に飛来するオオハクチョウの個体数を把握するため実施されている現地調査について、ドローン撮影と AI による画像解析によって、省力化できる可能性を検証することを目的とし実施した。

なお、ドローンのバッテリー等の問題から、厚岸湖全域を対象として調査を行うのは困難であるため、オオハクチョウが多く集まる河口等を対象に調査を実施した。

(イ) 対象業務（法令）

自然環境保全法第28条、第31条、第47条に係る実地調査

自然公園法第33条、第62条、第76条及び、自然公園法施行規則第13条の5に係る実地調査

(2) 既存調査の概要

本実証の内容の検討にあたり、事前に現在実施されている既存の現地調査の内容を確認した。厚岸湖などにおいては、水鳥をはじめとする動植物と湿地の保全、調査研究やモニタリング等を行う拠点施設として創設された厚岸水鳥観察館によって調査が実施されている。既存調査の概要は表2-C1-1に示すとおりであった。この内容を踏まえ、実証内容を検討、実施した。

表 2-C1-1 既存調査の概要

厚岸湖は多くのカモ科鳥類の渡りの中継地、越冬地である。しかし、周囲約 30km、長径約 7～8km、短径 5～6km であり、湖岸沿いにほとんど道がないことから、鳥類の全容を把握することが困難である。

厚岸水鳥観察館では、飛来したオオハクチョウなどの水鳥の個体数や種類を把握するために、従来からの目視観察だけでなく、近年ではドローンを導入し、鳥類調査の一助としてきた。ドローン調査では、画像又は動画を撮影し、その撮影物から水鳥の個体数を目視で計数している。

参考：厚岸水鳥観察館への聞き取り

(3) 実証方法

実証方法の概念図を図2-C1-1に示す。ドローンを遠隔操作し、オオハクチョウを空撮、個体数をカウントする方法について実証を行った。



図 2-C1-1 実証方法の概念図

(ア) ドローンによる画像撮影手法

本実証では、厚岸湖に飛来するオオハクチョウを対象にドローンを利用した調査を実施した。調査は、「ドローンを活用したガンカモ類調査ガイドライン」（小川健太・鈴木透・高橋佑亮・神山和夫・牛山克己・嶋田哲郎（2019）公益財団法人宮城県伊豆沼・内沼環境保全財団）（以下、ガイドライン）に基づいて実施した。

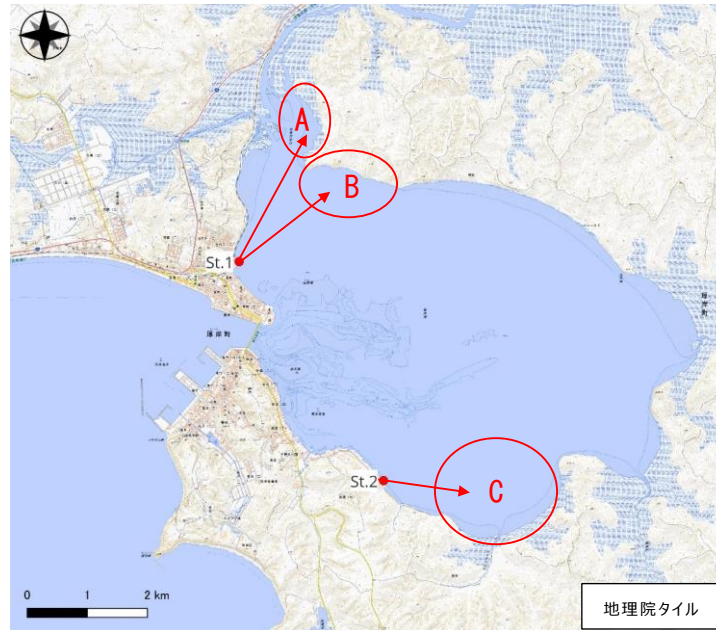
飛行の日時

前提として、厚岸湖のオオハクチョウは、結氷期前であれば、流入河川の河口に群れていることが多い。また、干潮時は、採食のために岸辺を離れるが、満潮時は採食ができず、岸辺で休息していることが多い。

調査は、オオハクチョウの個体数が徐々に増え始める10月下旬と個体数が比較的多い11月中旬の2回にわたって実施した。10月の調査では飛来個体数が少ないことが想定されたため、満潮の時間帯を含むように調査を実施することとした。

撮影対象領域

空撮範囲は、当初、厚岸湖全域を想定していたが、厚岸水鳥観察館への事前聞き取り調査の結果及びオオハクチョウの分布状況から、別寒辺牛川の河口部である A 及び B、イクラウシ川の河口部である C の3箇所とした（図2-C1-12）。10月実証では、オオハクチョウの飛来個体数が少なかったため、空撮範囲内のオオハクチョウを任意のルートで撮影した。11月実証では、オオハクチョウの飛来個体数が多くまとまって分布していたため、飛行ルートを策定して撮影した。ドローンの離着陸地点は、A 及び B は St.1（住の江）、C は St.2（奔渡）とした。



出典：地理院タイルに調査地点を追記して掲載。

図 2-C1-2 ドローンの調査範囲（赤枠は撮影範囲のイメージ）

撮影に利用する機材

本実証では、Mavic 3 Enterprise（以下、Mavic 3E）（DJI 社）と Matrice 300RTK（DJI 社）の2つの機体を実証に用いた（表2-C1-2）。Mavic 3E は Matrice 300RTK よりも小型で、操作時の騒音等も小さい。一方、Matrice 300RTK は、Mavic 3E よりも大型で騒音等も大きいですが、1回の撮影で、広角カメラ、望遠ズームカメラ、サーマルカメラから同時に撮影することが可能である。本実施項目では、ドローンの性能や鳥類への影響を踏まえながら、両種のドローンを使用した。

表 2-C1-2 ドローン機体の概要

機体			
		DJI Mavic 3E	DJI Matrice300RTK
最大離陸重量		1050g	9200g
最大飛行時間		45 分	55 分
動作環境温度		-10℃～40℃	-20℃～50℃
保護等級		なし	IP45
使用した DJI ジンバル		—	ZENMUSE H20T
広角カメラ	センサー	4/3 型 CMOS	1/2.3 インチ CMOS
	有効画素数	20MP	12MP
	焦点距離	24mm (35mm 判換算)	4.5mm (判換算：24mm)
	ISO 感度	100～6,400	1 0 0～25,600
望遠・ズーム カメラ	センサー	1/2 インチ CMOS	1/1.7 インチ CMOS
	有効画素数	12MP	20MP
	焦点距離	162mm (35mm 判換算)	6.83～119.94 (判換算： 31.7～556.2mm)
	ISO 感度	100～6,400	100～25,000
	ズーム	8 倍 (56 倍ハイブリッドズーム)	-
サーマルカメラ	サーマル撮像素子	-	非冷却 Vox マイクロボロメータ
	画素ピッチ	-	12μm
	焦点距離	-	13.5mm (判換算：58mm)
通信	通信方式	2.4GHz	2.4GHz/4G LTE

※ドローンの機体情報等は DJI 社のホームページ (<https://enterprise.dji.com/jp>) より引用

飛行高度・オーバーラップ

機体を水平に接近させる場合、ハクチョウ類の調査では、100m よりも高い高度で飛行させることが望ましく、最低でも20m より高い高度で飛行させるべきであるとされている（ガイドライン）。また、機体を垂直降下させる場合は、水面にいる群れを対象とする場合は80m、陸上にいる群れを対象とする場合は70m が下限高度の目安となる（ガイドライン）。

ドローンを高い高度から撮影した場合、撮影できる範囲は広くなり、撮影した画像の解像度（1ピクセルあたりの画像サイズ：単位 cm/pixel）は粗くなる。一方、低い高度から撮影した場合は、細かい解像度の画像が取得できるが、撮影できる範囲が狭くなる。

本実証では、ドローンの飛行可能時間や取得画像の解像度を考慮して、ドローンの飛行高度を80m、100m、120m の3つに区分して撮影を行い、100m、120m、80m の順で撮影を行った。飛行ルートを設定して撮影した11月実証においては、連続する撮影画像同士の重複率（オーバーラップ率）を80%に設定した。

4GLTE 回線と運航管理システムを用いた遠隔からのドローン運航

ドローンを運航させる場合は基本的にプロポと呼ばれるコントローラーを持った操縦者が現地に行き、ドローンと2.4GHz 帯の通信で直接通信して操縦をする必要がある。それに加えて、携帯通信事業者が整備している4G LTE のネットワーク経由でインターネットにつながるドローンと、それに繋がる運航管理システムを活用することで、遠隔から制御指示及び映像のモニタリングを行った。本実証では Mavic 3E はプロポを用いた現地での制御、Matrice 300RTK は運航管理システムを用いた遠隔での制御の2パターンの飛行を行った。



図 2-C1-3 システム構成イメージ

実施項目 C | ドローンの遠隔操作による動植物の個体群、群集又は群落の生息・生育状態の情報取得
C-1 厚岸霧多布昆布森国定公園における水鳥類の生息状況把握



図 2-C1-4 遠隔からのドローン運航の様子

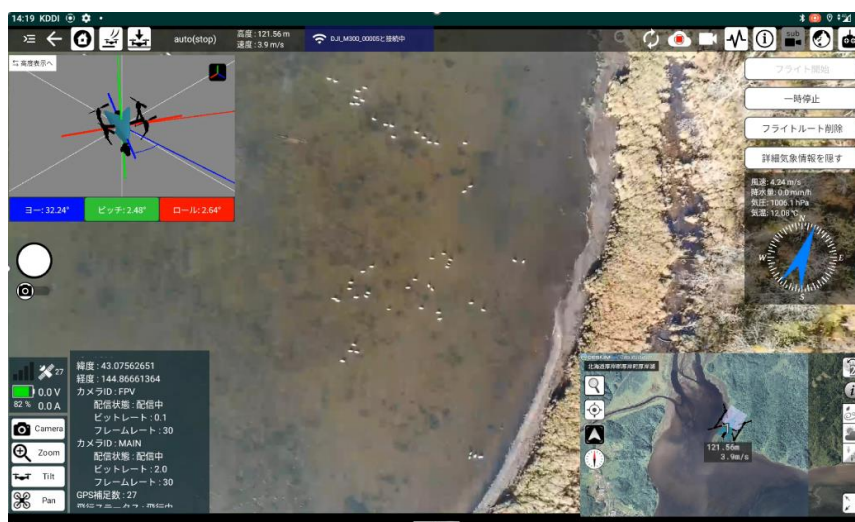


図 2-C1-5 運航管理システムの画面（画面内地図出典：国土地理院地図）

(イ) AI による画像解析手法

撮影した画像からオオハクチョウを検出するために、以下の手順で行った。

空撮画像のオルソ化

空撮した画像は、解析ソフト（Agisoft 社製 Metashape）を用いて、飛行高度別にオルソ化を行った。

オオハクチョウの手動カウント

オルソ画像内のオオハクチョウの個体数は、QGIS（オープンソースの地理情報システム）を用いて地図上に表示した後、手動でカウントし、カウントしたポイントの数をオルソ画像内におけるオオハクチョウの実際の個体数とした。

オオハクチョウの自動検出

作成したオルソ画像をもとに、Python の DeepForest パッケージ（アノテーション済みの鳥類等検出モデル）を用いてオオハクチョウの検出を試みた。

自動検出結果の評価

自動検出によって検出された物体には、それぞれバウンディングボックス（画像等の中の物体を囲んだ部分領域）を与えられ、そのボックスの面積は、検出される物体の大きさによって様々である。しかし、オオハクチョウの個体サイズはほぼ同じであることから、過大なサイズ、あるいは過小なサイズのバウンディングボックスを除外することで検出率の向上のための補正を行った。これは画像サイズを実際の地形とあわせるオルソ化を行うことにより可能となる補正である。オオハクチョウを検出したボックスを抽出し、その面積の平均値と標準偏差を算出することで、その範囲内の面積のボックスがオオハクチョウを検出しているものとして実際の検出数を補正した（補正後）。自動検出結果は、補正前と補正後の2パターンについて整理した。

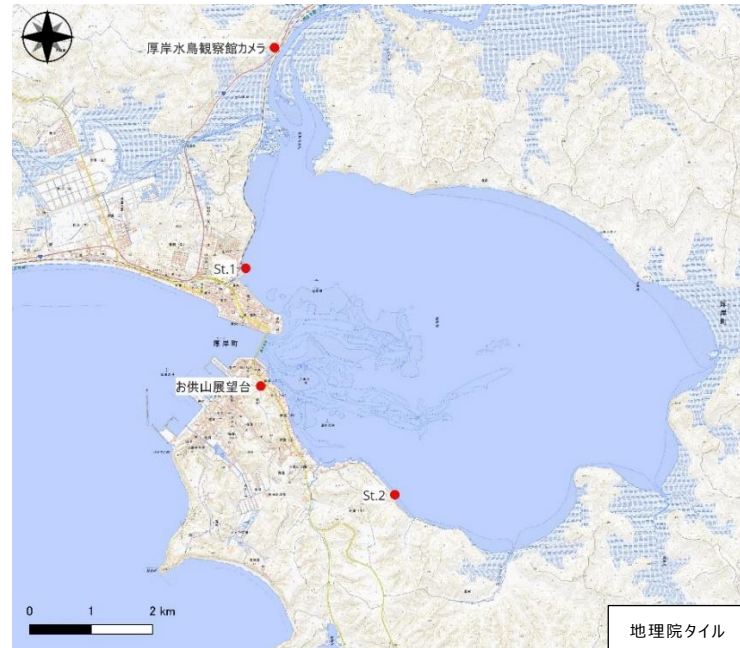
各結果は、正しくオオハクチョウを検出した数（TP：真陽性）、検出できなかったオオハクチョウの数（FN：偽陰性）、オオハクチョウ以外を検出した数（FP：偽陽性）について整理した。

(ウ) 目視によるカウント調査

オルソ画像からオオハクチョウを検出し、その結果の精度を評価するにあたり、AI による検出精度（AI による検出個体数/オルソ画像内の個体数）だけでなく、ドローンによる撮影の有効性を検証するために、従来手法（目視によるカウント）の結果と比較することで評価することとした。

目視観察地点・範囲

目視観察地点は、10月実証では、お供山展望台と、厚岸水鳥観察館の定点カメラ設置地点の2箇所、11月実証では、お供山展望台とドローンの離着陸地点である St.1又は St.2とした。オオハクチョウのカウントは、お供山展望台からの確認のみで概ねカバーできたので、その他の地点は補足的な観察とした。観察範囲は、10月実証ではドローン撮影箇所を含む湖面上全域としていたが、11月はドローン撮影箇所のみを対象に観察した。



出典：地理院タイルに調査地点を追記して掲載。

図 2-C1-6 目視観察地点

観察方法

目視観察では、ドローン調査に合わせてオオハクチョウのカウントを実施した。項目は、種名、年齢、個体数、確認位置（陸上、水際、湖面、その他）、行動（休息、採食、飛翔）、備考としそれぞれ記録した。観察は、1地点での飛行につき1回行った。ドローンを飛行させるにあたり、ドローンに対するオオハクチョウの忌避行動やその他の鳥類への影響が見られた場合は、無線機で適宜状況を連絡した。

2.2 実施場所等

(1) 実証期間・実証日

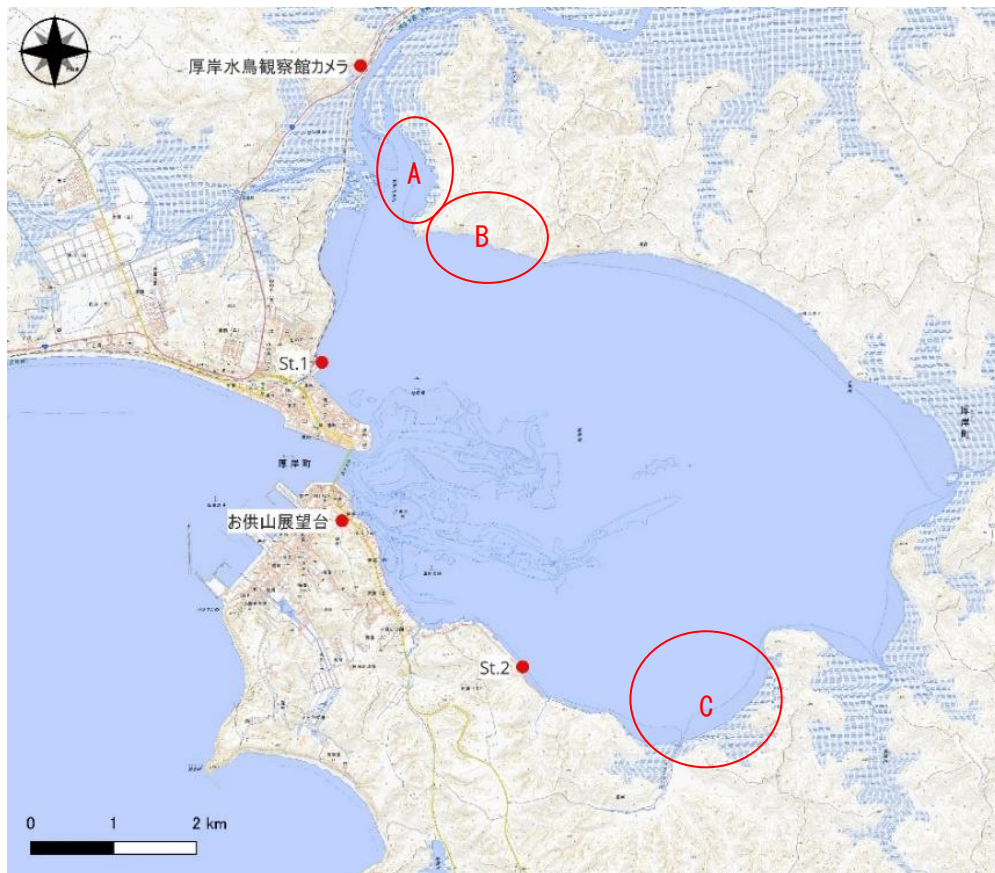
現地での実証は令和5年10月24日～25日、11月13日～14日の2回実施した。当日のタイムスケジュールを表2-C1-3に示す。

表 2-C1-3 当日のタイムスケジュール

10月24日		10月25日	
09:00	厚岸湖到着・事前準備	8:30	厚岸湖到着・事前準備
10:15	調査範囲 C の調査（ドローン、目視）開始	9:45	オート飛行テスト
13:30	調査範囲 A の調査（ドローン、目視）開始	12:10	調査範囲 C の調査（ドローン、目視）開始
13:52	調査範囲 B の調査（ドローン、目視）開始	15:00	調査終了・撤収作業
16:00	調査終了・撤収作業		
11月13日		11月14日	
12:30	厚岸湖到着	09:00	厚岸湖到着
13:00	調査範囲 B の調査（ドローン、目視）開始	10:30	調査範囲 C の調査（ドローン、目視）開始
16:00	調査終了・撤収作業	12:20	調査範囲 A の調査（ドローン、目視）開始
		15:00	調査終了・撤収作業

(2) 実証場所

実証は、厚岸霧多布昆布森国定公園 厚岸湖（図2-C1-7）において従来調査に倣い、ドローンの離着陸を St.1、St.2 から、空撮を A～C のエリアで、人による目視カウントをお供山展望台と厚岸水鳥観察館カメラの位置で行った。各離陸地点から各エリアまでの距離はそれぞれ St.1 からエリア A までは 2.5km 程度、St.1 からエリア B までは 2km 程度、St.2 からエリア C までは 2.8km 程度であった。



出典：地理院タイルに調査位置を追記して掲載。

図 2-C1-7 実証場所と調査実施地点（赤枠は大まかなドローン飛行範囲）



図 2-C1-8 調査地点の状況



図 2-C1-9 目視観察の作業状況

2.3 実施条件等

(1) 実施条件等

実証にあたって前提として求められていた条件と機能は表2-C1-4に示すとおりであり、この条件等に基づき実証を実施した。

表 2-C1-4 条件と機能

実証内容に共通な条件と機能
(1) 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること。
(2) 自然環境（特に（1） 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること。
(4) 広大な面積、複雑な地形、見通しが悪い森林や暗所、動物移動の観測など自然物の特有の状態でも取得する情報の正確性を確保することが可能なデジタル機材や情報収集方法とすること。

(2) 行政手続

ドローンを国土交通大臣の許可や承認が必要となる空域及び方法での飛行を行う場合、航空法の取り決めにより基本的に DIPS2.0を通した飛行許可・承認手続を実施する必要がある。本実証は目視外かつ人又は物件から30m 未満となる場所での飛行であったため、補助者あり目視外の形式で飛行計画の申請を行った。

3 技術実証の結果

3.1 結果の評価ポイント・方法

(1) 実証結果の確認方針

1.3 (6) で概要を示した評価ポイントを踏まえて策定した実施項目 C-1の実証の確認方針と具体的な指標等の内容を表3-C1-1に示すとおり整理した。

下記の評価ポイントに基づいて確認した結果は、3.2(2)に後述した。

10月調査では、オオハクチョウの飛来数が少なかったため、空撮範囲内のオオハクチョウが確認された箇所を任意のルートで撮影した。この結果、オオハクチョウは一定範囲内にまとまっていること、大型の Matrice300RTK ではオオハクチョウが忌避行動をとるが Mavic 3E では問題ないことが確認できた。また、垂直画像から AI で個体数を計数するためにはオルソ化を行うことが有効であると考えられたことから、11月には Mavic 3E を用いオルソ化を前提とした飛行方法とした。このため、ここでは主に11月の実証結果をもとに評価・分析を行った。

表 3-C1-1 実証結果の確認方針

評価ポイント	確認方針	指標、及びその目標値
① 網羅性の比較	・ ドローンによる空撮を行い、その取得データの撮影範囲を確認する	(ア)想定した空撮範囲が取得したデータでカバーできているか (80%)
② 正確性の比較	・ ドローンを用いて撮影した空撮画像から画像解析・AI 技術を用いてオオハクチョウの個体数をカウントする	(イ)撮影されている個体のうち、自動カウントできた個体数割合 (80%)
③ 継続性の比較	・ 従来手法で記録・集計された調査情報を収集・整理する	(ウ)従来手法で記録されている調査結果と本実証で得られた結果に大きな齟齬が認められないかどうか。大きな齟齬が見られる場合はその原因を明らかにする
④ 経済性の比較	・ ドローンによる調査に係る人件費、直接経費を計上する (A) ・ 従来手法で実施した際の人件費、直接経費を計上する (B) ・ 調査期間/年間を通じた A と B の差分を集計する	(エ)従来手法と比較した場合の経費削減割合 (20%) が達成されるか
⑤ 機動性の比較	・ ドローンによる調査に係る工程・時間を記録する (A) ・ 従来手法で実施した際に想定される工程・時間を集計する (B) ・ A と B の差分を集計する	(オ)ドローンによる調査に係る工程・時間は従来手法と同程度となっているか
⑥ 再現性の比較	・ 複数回のドローンの飛行とオオハクチョウのカウントを実施する	(カ)天候、調査時期等が同様であれば、同程度の質・量の画像が取得できるか
⑦ 安全性の比較	・ ドローンによる調査に対するリスク評価をする	(キ)ドローンによる調査に伴う第三者等へのリスクが定量化され、対策が検討されているか
⑧ 機密性の比較	・ 通信における情報漏洩防止対策の実施とコストの集計をする	(ク)継続可能なコストで十分にリスクが低減できているかどうか

(2) 実施結果の評価方法

実証結果については、前述のとおり設定した指標等が達成できたかを確認するとともに、各実施項目において共通の前提条件や機能要件として定められた事項を満たすかも検証した。具体的には、定量的評価と定性的評価の二つの観点から、各項目に応じて以下の表3-C1-2に示すとおり評価することとした。

下記の評価方法に基づいて評価した結果は、3.2(3)に後述した。

表 3-C1-2 実証結果の評価方法

実証内容に共通な条件と機能	評価方法
(1) 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること	(ア)最寄りのアメダスデータや現地調査時に取得した気象条件をもとに、実証期間中の気温、降水量、風速について整理して、使用機材の耐用条件を基準として検証し、実証成功時にドローン活用による業務代替可能な天候条件を評価する
(2) 自然環境（特に生物）への影響に配慮したデジタル機材や情報収集方法とすること	(イ)水鳥の反応をみて退避行動とドローンの距離を把握する。水鳥に影響がある場合、騒音、強い光、周囲の景観に沿わない色彩、悪臭などを発生させない機材を選定する
(3) 対象法令及び関係法令の規制に抵触せず、また公園利用に著しい支障（例えば、ドローン落下により景観や地形を損傷する、放置状態にする等）を与えないデジタル機材や情報収集方法とすること	対象外
(4) 広大な面積、複雑な地形、見通しが悪い森林や暗所、動物移動の観測など自然物の特有の状態でも取得する情報の正確性を確保することが可能なデジタル機材や情報収集方法とすること	(ウ)ドローンの撮影範囲について、計画した範囲を取得したデータで把握できるか評価する
(5) 自然環境の雰囲気（静謐、自然音、香り等）の把握に際して、人間の五感を可能な限り再現すること	対象外
(6) 取得したカメラやセンサー等での取得情報は、利用調整地区制度を管理する施設にリアルタイムで送信し表示させること	対象外
(7) 国立公園の普通地域又は自然環境保全地域の普通地区における行為届出に関し、行為地周辺の3次元立体構造データを作成して実証を行う場合、ノートパソコン向けの内蔵GPUのみでも支障なく動作し操作ができるものとする。	対象外

3.2 結果及び評価・分析

(1) 技術実証の実施結果

【ドローンによる空撮】

今回のドローンによる実証結果を表3-C1-3に、撮影結果の例を注：画像中の小さく白い点がオオハクチョウ。

図3-C1-1、※すべて Mavic 3E を用いて撮影。

図3-C1-2に示す（注：画像中の小さく白い点がオオハクチョウ）。事前にオオハクチョウが集まる場所と、ドローンの離着陸場所について聞き取りにより情報を得た A～C の3箇所について、10月にはオオハクチョウを探索しながら任意のルート・高度で、11月にはオルソ画像を作成する目的で自動航行プログラムを作成した上で飛行を行った。10月に10飛行、11月に14飛行、計24飛行を行った。

表 3-C1-3 ドローンによる飛行・撮影結果

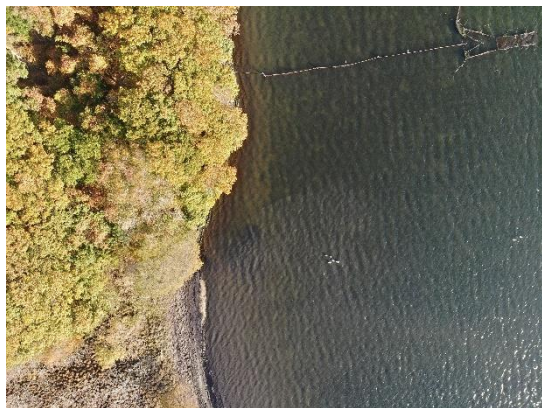
調査回	飛行 No.	調査対象箇所	使用機体	飛行高度	画像枚数
10月	1	A	Mavic3E	任意	301
	2	A	Mavic3E	任意	18
	3	A、B	Matrice300RTK	任意	423
	4	A、B	Mavic3E	任意	21
	5	B	Mavic3E	任意	89
	6	B	Matrice300RTK	任意	12
	7	C	Matrice300RTK	任意	33
	8	C	Mavic3E	任意	31
	9	C	Mavic3E	任意	319
	10	C	Matrice300RTK	任意	799
11月	1	A	Mavic3E	80m	448
	2	A	Mavic3E	80m	241
	3	A	Mavic3E	100m	463
	4	A	Mavic3E	100m	217
	5	A	Mavic3E	120m	314
	6	B	Mavic3E	80m	254
	7	B	Mavic3E	100m	165
	8	B	Mavic3E	120m	104
	9	B	Mavic3E	80m	320
	10	B	Mavic3E	100m	217
	11	B	Mavic3E	120m	142
	12	C	Mavic3E	80m	709
	13	C	Mavic3E	100m	480
	14	C	Mavic3E	120m	365
合計					6,485



撮影対象 A Matrice300RTK



撮影対象 A Mavic3E



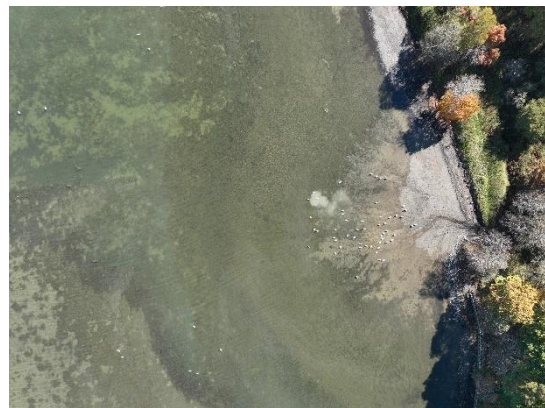
撮影対象 B Matrice300RTK



撮影対象 B Mavic3E



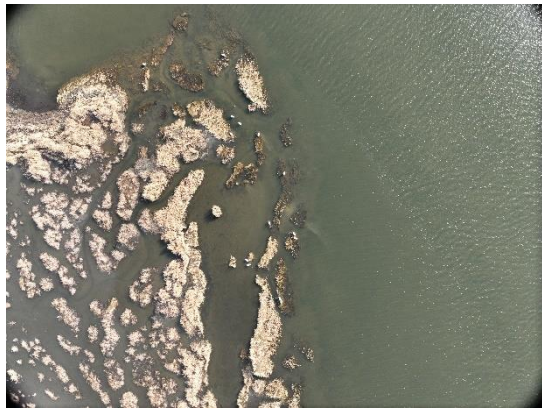
撮影対象 C Matrice300RTK



撮影対象 C Mavic3E

注：画像中の小さく白い点がオオハクチョウ。

図 3-C1-1 撮影画像の例（10月）



撮影対象 A 高度 80m



撮影対象 A 高度 100m



撮影対象 A 高度 120m



撮影対象 B 高度 80m



撮影対象 B 高度 100m



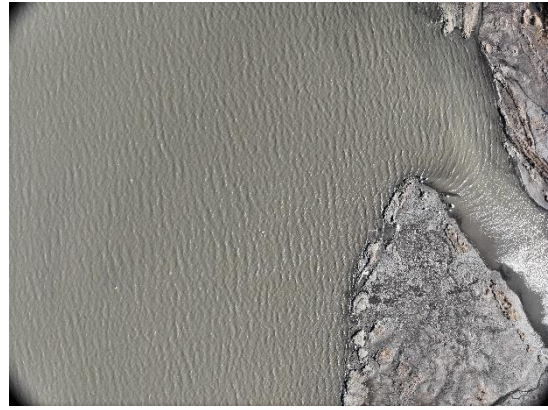
撮影対象 B 高度 120m

※すべて Mavic 3E を用いて撮影。

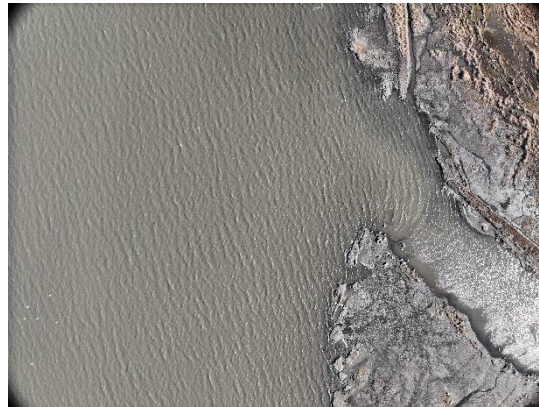
図 3-C1-2 (1) 撮影画像の例 (11 月)



撮影対象 C 高度 80m



撮影対象 C 高度 100m



撮影対象 C 高度 120m

※すべて Mavic 3E を用いて撮影。

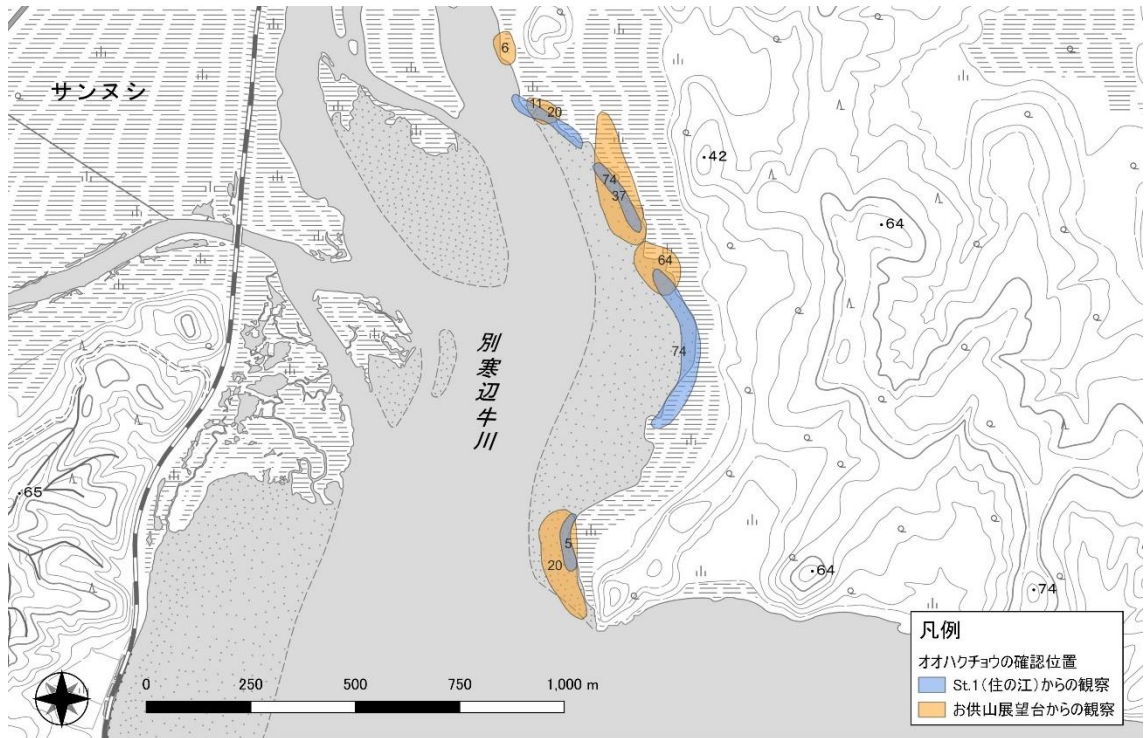
※すべて Mavic 3E を用いて撮影。

図 3-C1-2 (2) 撮影画像の例 (11 月)

【目視によるカウント調査】

各調査範囲 (A~C) における、現地での目視観察によるオオハクチョウのカウント数の例を図3-C1-3~図3-C1-6に示す。オオハクチョウは小規模なまとまりになっていたため、大まかな分布ごとに個体数を計数した。図中の『オオハクチョウの位置』は、実際に現地でオオハクチョウがいることを確認できた位置として記載している。

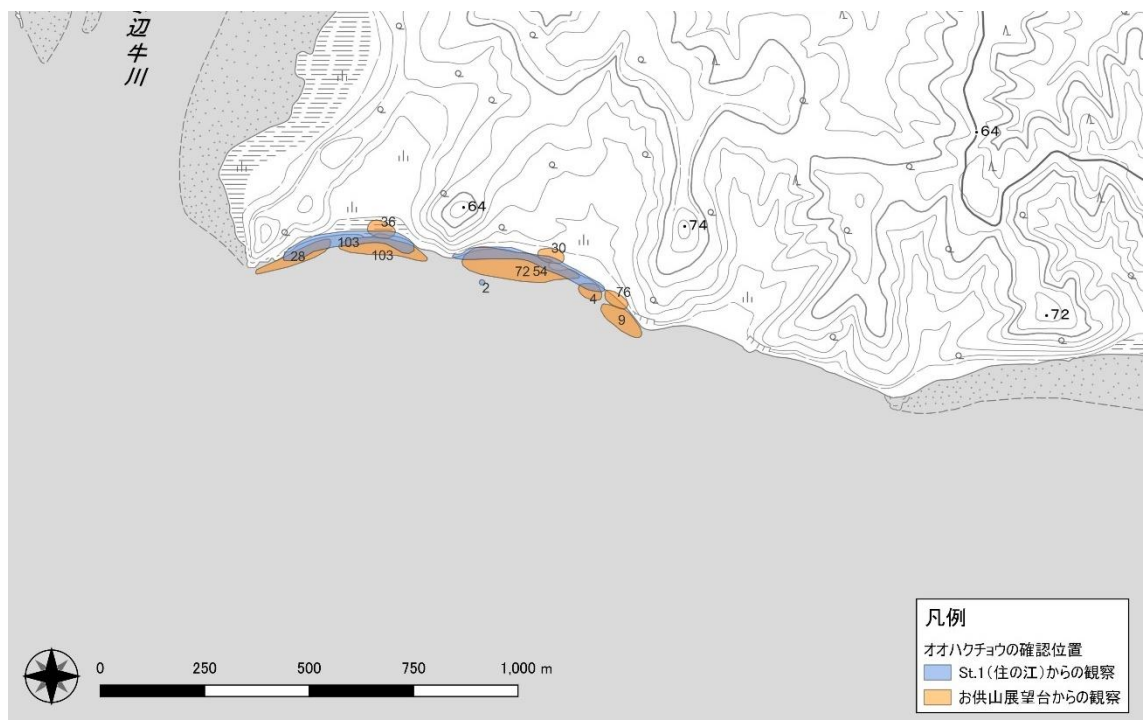
C-1 厚岸霧多布昆布森国定公園における水鳥類の生息状況把握



出典：地理院タイルに調査地点、オオハクチョウの確認位置を追記して掲載。

注：図中数字はオオハクチョウの個体数を示す。

図 3-C1-3 現地での目視によるオオハクチョウカウント調査結果（調査範囲 A）（11 月）

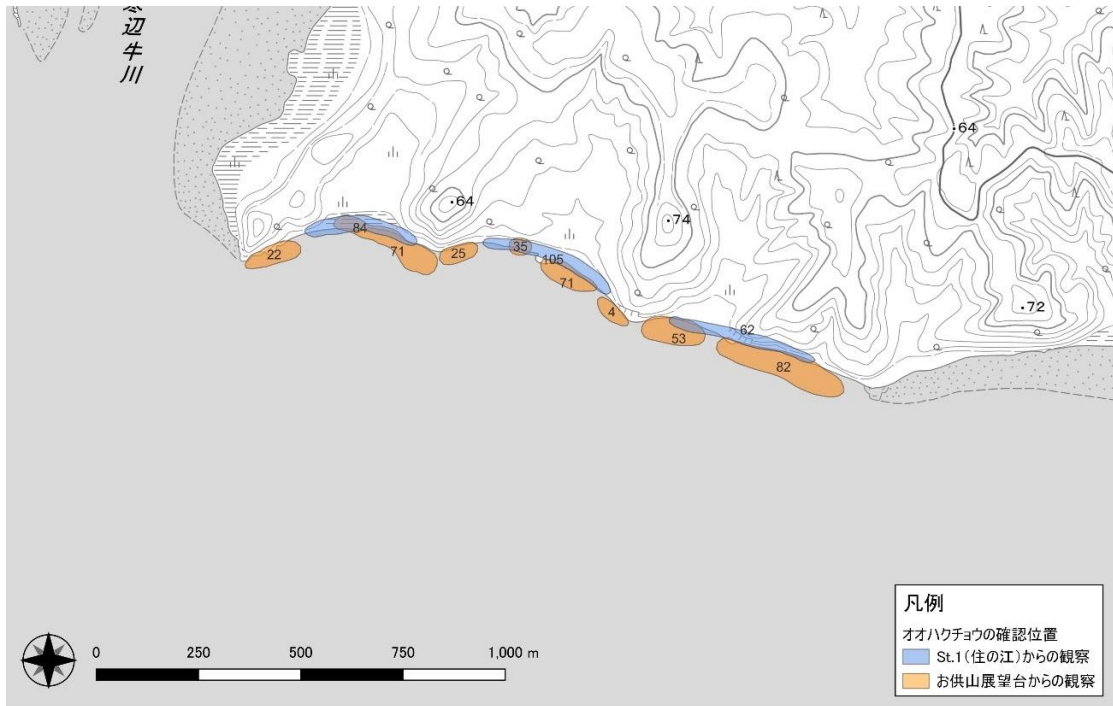


出典：地理院タイルに調査地点、オオハクチョウの確認位置を追記して掲載。

注：図中数字はオオハクチョウの個体数を示す。

図 3-C1-4 現地での目視によるオオハクチョウカウント調査結果（調査範囲 B・1 回目）
（11 月）

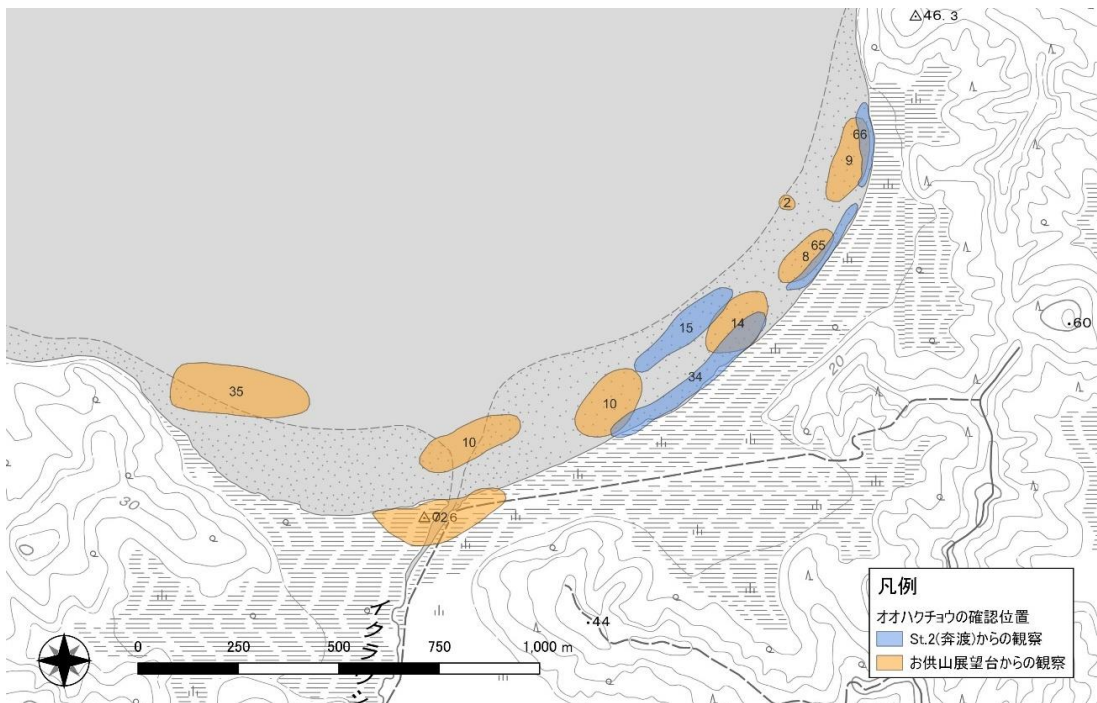
C-1 厚岸霧多布昆布森国定公園における水鳥類の生息状況把握



出典：地理院タイルに調査地点、オオハクチョウの確認位置を追記して掲載。

注：図中数字はオオハクチョウの個体数を示す。

図 3-C1-5 現地での目視によるオオハクチョウカウント調査結果（調査範囲 B・2 回目）
（11 月）



出典：地理院タイルに調査地点、オオハクチョウの確認位置を追記して掲載。

注：図中数字はオオハクチョウの個体数を示す。

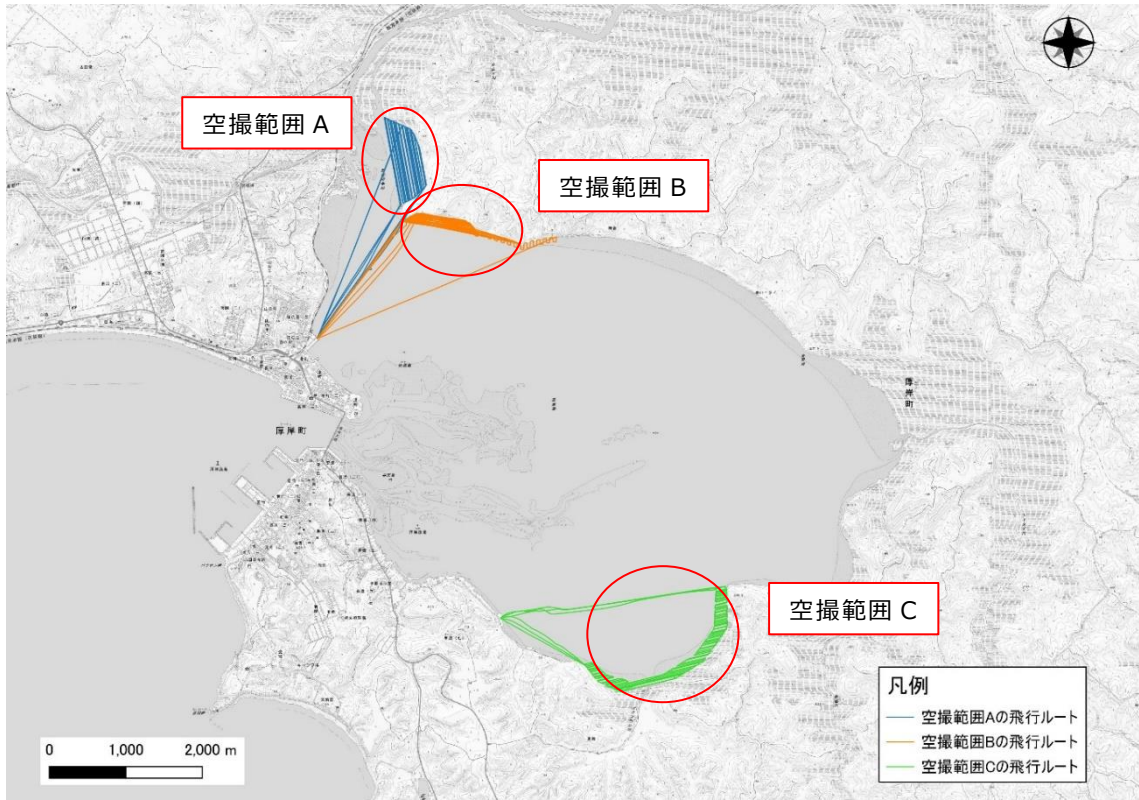
図 3-C1-6 現地での目視によるオオハクチョウカウント調査結果（調査範囲 C）（11 月）

(2) 実証内容の確認結果

3.1(1)で示した指標、及びその目標値に沿って結果を記載する。

(ア) 想定した空撮範囲が取得したデータでカバーできているか（目標値：80%）

オオハクチョウが多数確認された図3-C1-7に示す3箇所（空撮範囲 A～C）において、自動航行のプログラムで制御したドローンによる空撮を行い、全て撮影画像で対象範囲をカバーできた（図3-C1-8、図3-C1-9、図3-C1-10）。よって、想定した空撮範囲は取得したデータで100%カバーし、評価指標を達成した。

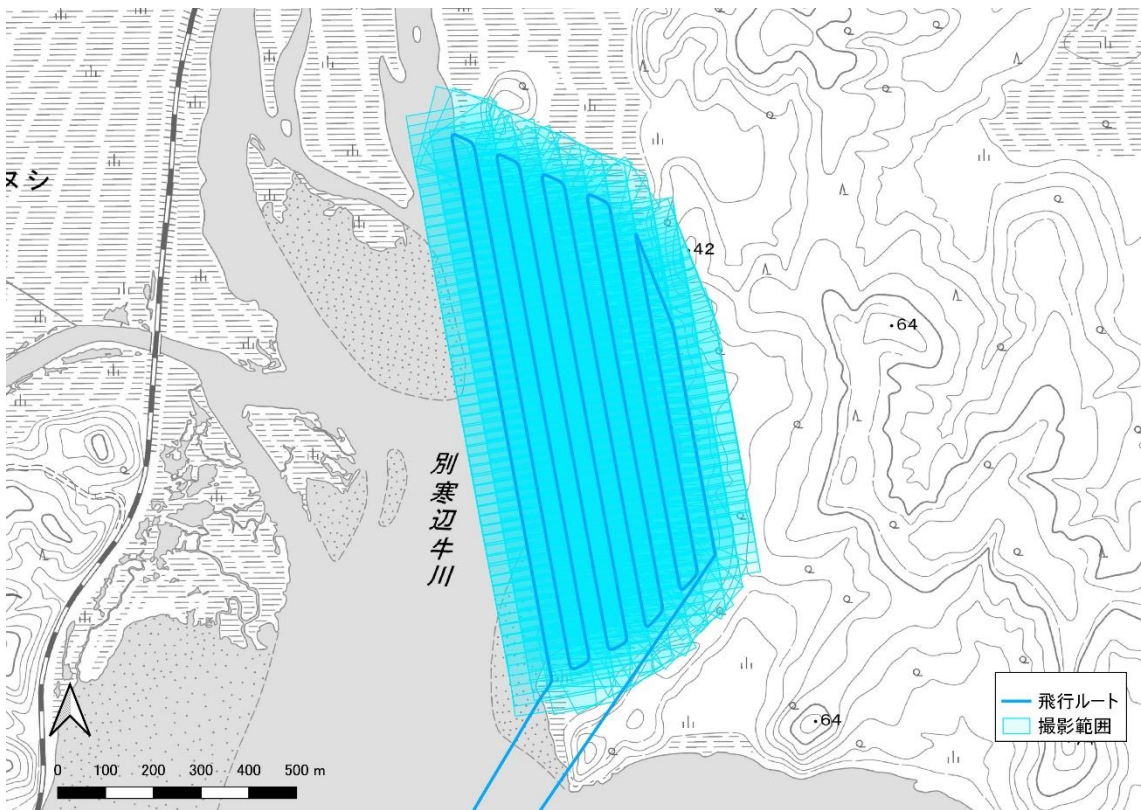


出典：地理院タイルに飛行ルートを追記して掲載。

図 3-C1-7 各空撮範囲におけるドローンの飛行ルート（11 月実証）



出典：地理院タイル（衛星画像）に MapTiler によるベクター画像を追記して掲載

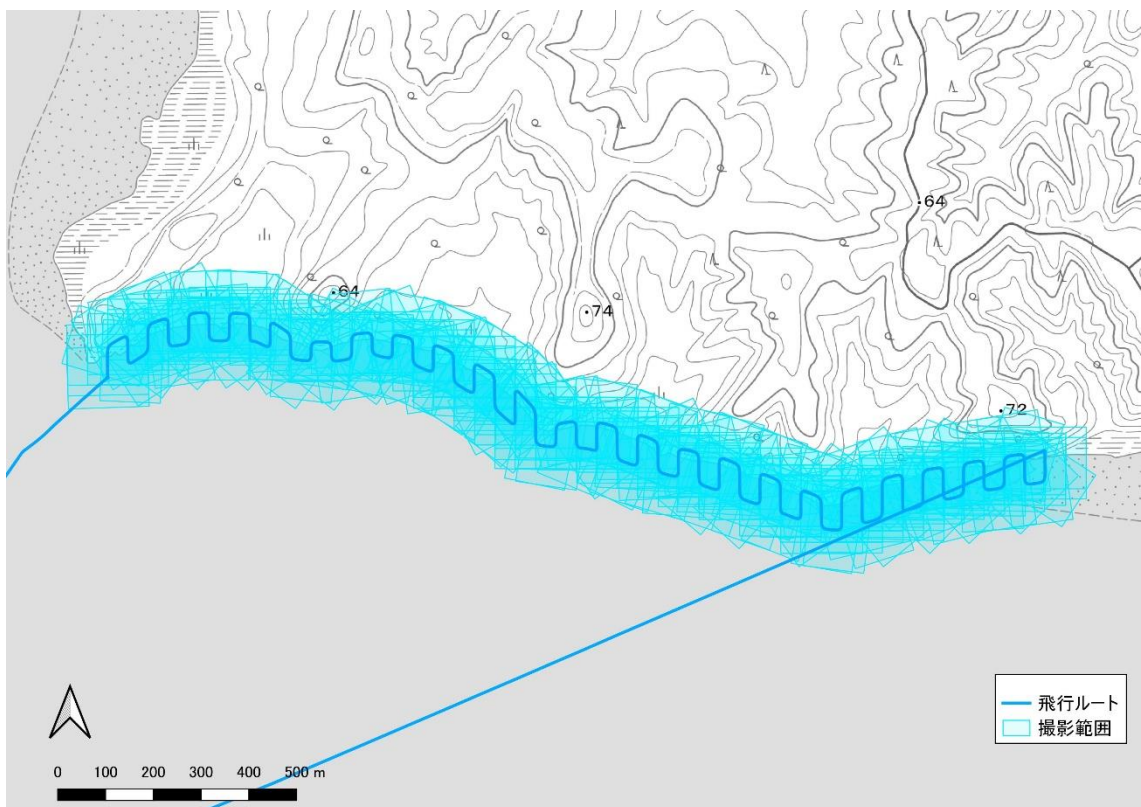


出典：地理院タイルに飛行ルート・撮影範囲を追記して掲載。

図 3-C1-8 空撮範囲 A の飛行プラン（上）と実際の飛行ルート及び写真撮影範囲（下）



出典：地理院タイル（衛星画像）に MapTiler によるベクター画像を追記して掲載

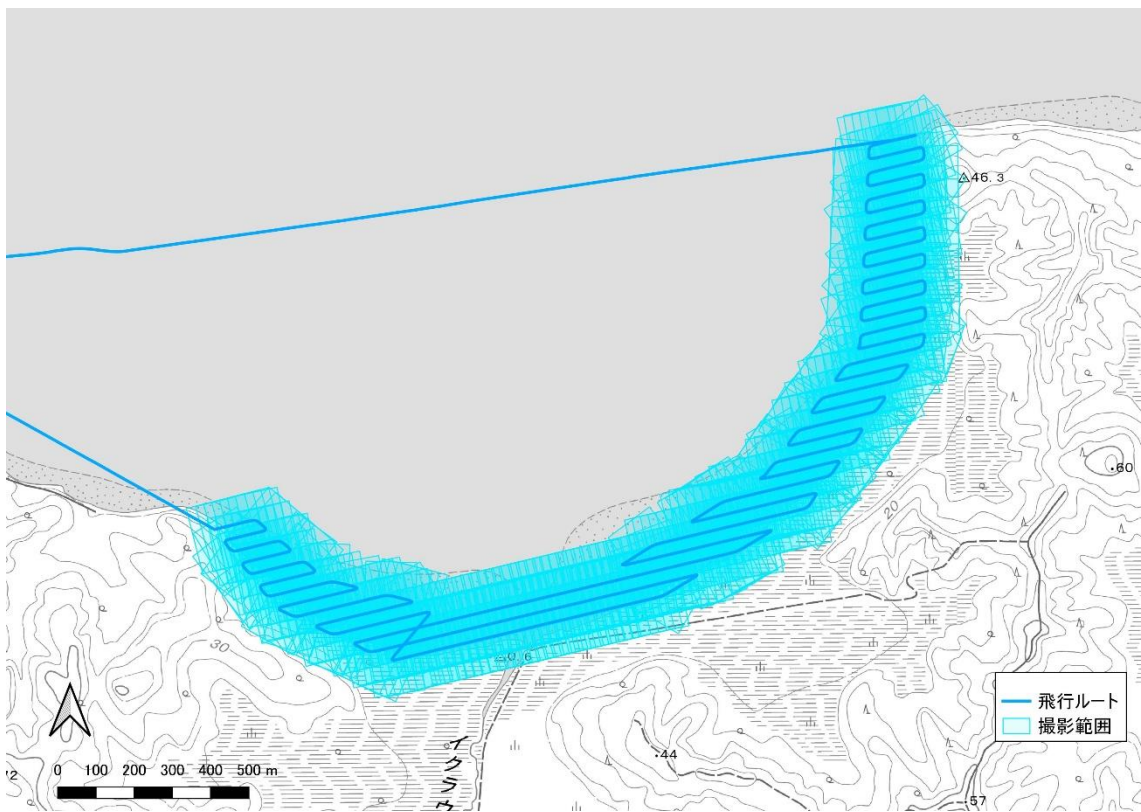


出典：地理院タイルに飛行ルート・撮影範囲を追記して掲載。

図 3-C1-9 空撮範囲 B の飛行プラン（上）と実際の飛行ルート及び写真撮影範囲（下）



出典：地理院タイル（衛星画像）に MapTiler によるベクター画像を追記して掲載



出典：地理院タイルに飛行ルート・撮影範囲を追記して掲載。

図 3-C1-10 空撮範囲 C の飛行プラン（上）と実際の飛行ルート及び写真撮影範囲（下）

(イ) 撮影されている個体のうち、自動カウントできた個体数割合（目標値：80%）

撮影されている個体（画像から人の目で計数）のうち、AI で検出できた個体数の割合は、飛行高度120m で33.4%、高度100m で52.4%、高度80m で73.1%であり、高度80m では設定した評価指標に近い値が得られたが、目標値は達成できなかった。

11月実証では、合計14枚のオルソ画像を作成した。これらのオルソ画像を用いた自動検出結果及び評価の概要について、補正前を表3-C1-4に、補正後を表3-C1-5に示す。オオハクチョウを検出したバウンディングボックスの面積は $0.848 \pm 0.424 \text{m}^2$ （平均±標準偏差 $n=2485$ ）であったことから、補正後の結果及び評価は 0.424m^2 以上かつ 1.272m^2 以下のバウンディングボックスを対象に整理した。この結果、適合率（AI で検出したもののうち正しくオオハクチョウであったものの割合）は27.2%～49.4%であったものが46.6%～78.9%へと大きく向上した。

表 3-C1-4 画像からのオオハクチョウ計数及び AI による自動検出の結果（補正前）

No.	空撮範囲	ドローンの飛行高度 (m)	オオハクチョウの実際の個体数	検出数 (補正無し)	検出したオオハクチョウ	検出できなかったオオハクチョウ	オオハクチョウ以外の検出	適合率
1	A (1 回目)	100m	212 個体	444	162	50	282	36.5%
2	A (1 回目)	120m	220 個体	376	142	78	234	37.8%
3	A (1-1 回目)	80m	158 個体	284	127	31	157	44.7%
4	A (1-2 回目)	80m	226 個体	675	198	28	477	29.3%
5	B (1 回目)	100m	341 個体	565	279	62	286	49.4%
6	B (1 回目)	120m	295 個体	430	133	162	297	30.9%
7	B (1 回目)	80m	280 個体	583	246	34	337	42.2%
8	B (2 回目)	100m	358 個体	666	216	142	450	32.4%
9	B (2 回目)	120m	371 個体	442	133	238	309	30.1%
10	B (2 回目)	80m	306 個体	742	248	58	494	33.4%
11	B (3 回目)	100m	359 個体	578	236	123	342	40.8%
12	C (1 回目)	100m	174 個体	358	130	44	228	36.3%
13	C (1 回目)	120m	198 個体	316	101	97	215	32.0%
14	C (1 回目)	80m	159 個体	492	134	25	358	27.2%

※A の 80m では空撮範囲を 2 回に分けて撮影したためそれぞれ 1-1 回目、1-2 回目と表記した。

表 3-C1-5 画像からのオオハクチョウ計数及び AI による自動検出の結果（補正後）

No.	空撮範囲	ドローンの飛行高度 (m)	オオハクチョウの実際の個体数	検出数 (補正有り)	検出したオオハクチョウ	検出できなかったオオハクチョウ	オオハクチョウ以外の検出	適合率
1	A (1 回目)	100m	212 個体	160	76	136	84	47.5%
2	A (1 回目)	120m	220 個体	142	88	132	54	62.0%
3	A (1-1 回目)	80m	158 個体	163	113	45	50	69.3%
4	A (1-2 回目)	80m	226 個体	326	184	42	142	56.4%
5	B (1 回目)	100m	341 個体	279	220	121	59	78.9%
6	B (1 回目)	120m	295 個体	135	98	197	37	72.6%
7	B (1 回目)	80m	280 個体	338	213	67	125	63.0%
8	B (2 回目)	100m	358 個体	292	177	181	115	60.6%
9	B (2 回目)	120m	371 個体	174	114	257	60	65.5%
10	B (2 回目)	80m	306 個体	366	202	104	164	55.2%
11	B (3 回目)	100m	359 個体	287	188	171	99	65.5%
12	C (1 回目)	100m	174 個体	161	96	78	65	59.6%
13	C (1 回目)	120m	198 個体	133	62	136	71	46.6%
14	C (1 回目)	80m	159 個体	192	113	46	79	58.9%

※A の 80m では空撮範囲を 2 回に分けて撮影したためそれぞれ 1-1 回目、1-2 回目と表記した。

※オオハクチョウを検出したボックス面積の平均±SD は $0.848 \pm 0.424 \text{ m}^2$ だったので、 $0.424 \text{ m}^2 \leq$ オオハクチョウのボックス面積 $\leq 1.272 \text{ m}^2$ として補正した。

補正後の、自動検出の結果及び評価を表3-C1-6 自動検出の結果及び評価（補正後）に示す。

実際の個体数（画像から人の目で計数）に対する AI による検出数の比率は合計で 86.1%であり、一見は評価指標を達成したように見えた。しかし、この値は見逃しのほかに、オオハクチョウでないものをオオハクチョウと誤検知した例も含まれていたことから、さらに内容を精査することとした。

再現率は、「撮影されている個体のうちどれだけを AI で検出できたか。」であり、TP/（TP+FN）で計算される。ここでの評価指標である「撮影されている個体のうち、自動カウントできた個体数割合（80%）」に該当する。全14例の合計では再現率は53.2%であり、およそ半数を見逃していた。空撮範囲（A～C）で大きな差はなかった（51.0～56.5%）が、飛行高度によって明確に差がみられ、高度が低いほど再現率は高く（見逃しが少なく）、高度120mで33.4%、高度100mで52.4%、高度80mで73.1%であり、高度80mでは設定した評価指標に近い値が得られた。

適合率は、「検出したうちどれだけが正しくオオハクチョウであったか。」であり、TP/（TP+FP）で計算される。全14例の合計では再現率は61.8%であり、何らかをオオハクチョウと検出したうちの4割弱が、オオハクチョウではないものであった。これは地点や高度で差はみられなかった。オオハクチョウ以外に検出された物体は、漂着物（漁業用のブイやカゴ）、自然物（木や石）、オルソ化によるブランクや歪み、陸域のエゾシカなどであった。

表 3-C1-6 自動検出の結果及び評価（補正後）

No.	空撮範囲	飛行高度	実際の個体数	検出数	検出数/実際	正しく検出 (TP)	見逃し (FN)	誤検知 (FP)	再現率	適合率
1	A (1回目)	100m	212	160	75.5%	76	136	84	35.8%	47.5%
2	A (1回目)	120m	220	142	64.5%	88	132	54	40.0%	62.0%
3	A (1-1回目)	80m	158	163	103.2%	113	45	50	71.5%	69.3%
4	A (1-2回目)	80m	226	326	144.2%	184	42	142	81.4%	56.4%
5	B (1回目)	100m	341	279	81.8%	220	121	59	64.5%	78.9%
6	B (1回目)	120m	295	135	45.8%	98	197	37	33.2%	72.6%
7	B (1回目)	80m	280	338	120.7%	213	67	125	76.1%	63.0%
8	B (2回目)	100m	358	292	81.6%	177	181	115	49.4%	60.6%
9	B (2回目)	120m	371	174	46.9%	114	257	60	30.7%	65.5%
10	B (2回目)	80m	306	366	119.6%	202	104	164	66.0%	55.2%
11	B (3回目)	100m	359	287	79.9%	188	171	99	52.4%	65.5%
12	C (1回目)	100m	174	161	92.5%	96	78	65	55.2%	59.6%
13	C (1回目)	120m	198	133	67.2%	62	136	71	31.3%	46.6%
14	C (1回目)	80m	159	192	120.8%	113	46	79	71.1%	58.9%
集計	-	80m	1,129	1,385	122.7%	825	304	560	73.1%	59.6%
		100m	1,444	1,179	81.6%	757	687	422	52.4%	64.2%
		120m	1,084	584	53.9%	362	722	222	33.4%	62.0%
	A	-	816	791	96.9%	461	355	330	56.5%	58.3%
	B		2,310	1,871	81.0%	1,212	1,098	659	52.5%	64.8%
	C		531	486	91.5%	271	260	215	51.0%	55.8%
	全体		3,657	3,148	86.1%	1,944	1,713	1,204	53.2%	61.8%

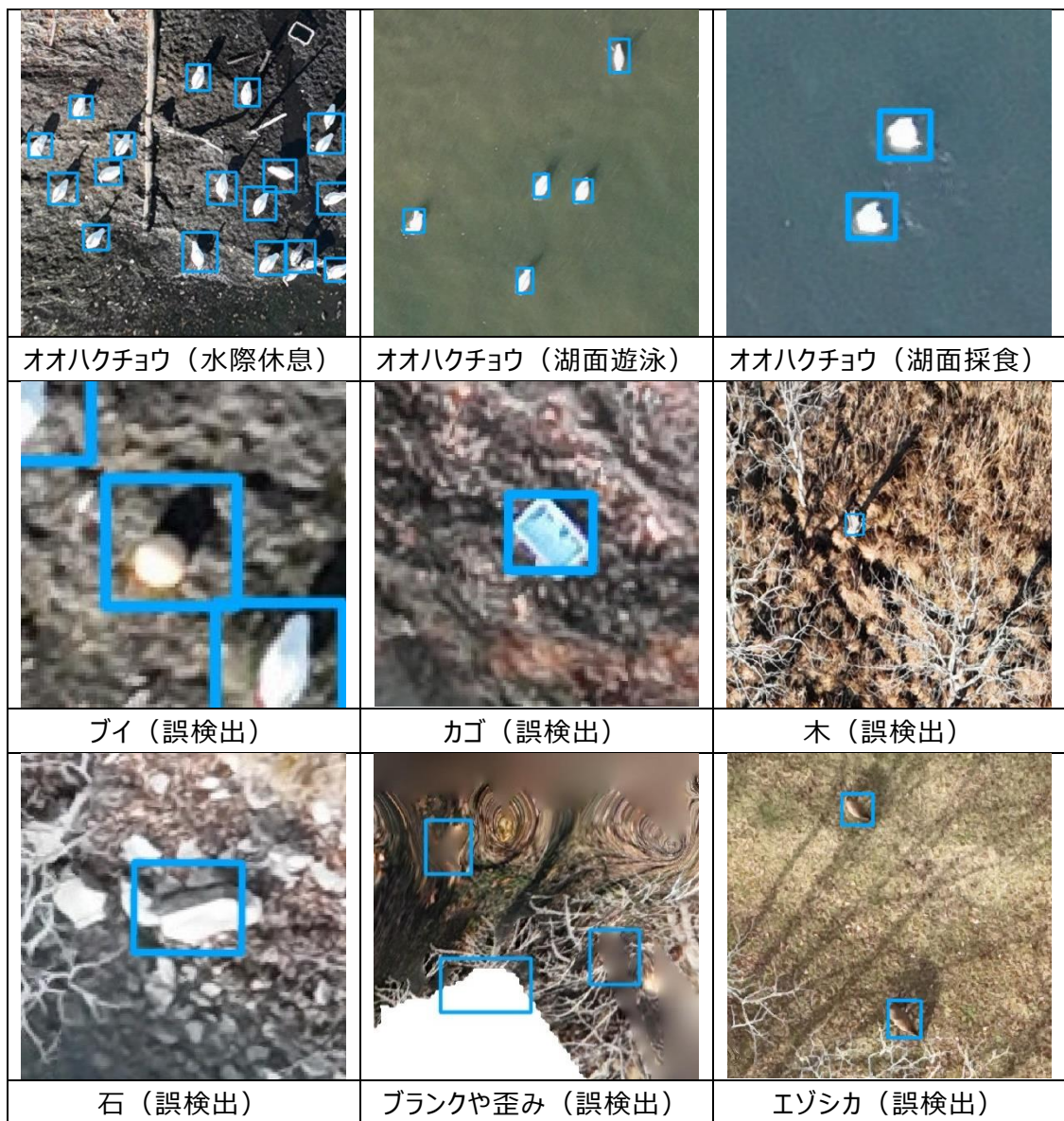


図 3-C1-11 検出した物体の一例

(ウ) 従来手法で記録されている調査結果と本実証で得られた結果に大きな齟齬が認められないかどうか。大きな齟齬が見られる場合はその原因を明らかにする。

本実証と同時に実施した従来手法での記録（目視によるカウント）とデジタル手法で得られた結果を比較したところ、誤差は-0.6%～22.1%（誤差がマイナスの時、AI による検出数より従来手法での記録の方が少なかった）であり、極端な齟齬はみられなかった。

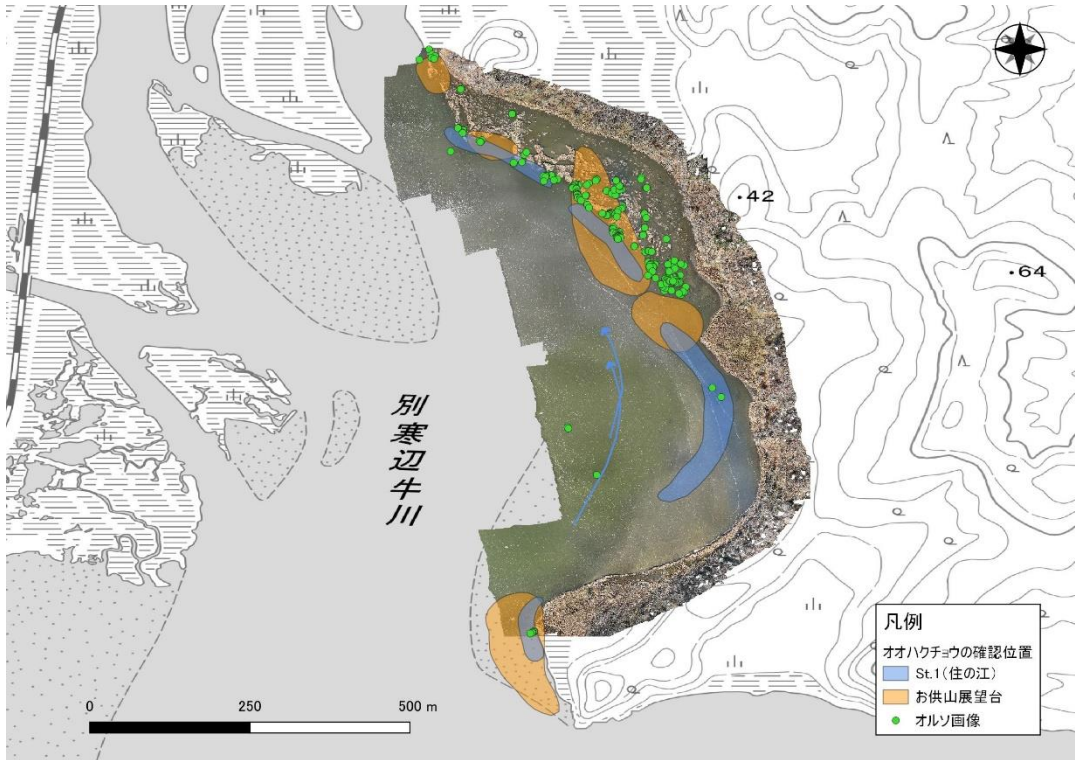
AI によるオルソ画像からのオオハクチョウの検出位置と、同時に行った従来手法での記録（目視によるカウント）のうちオルソ画像と同一範囲内でのオオハクチョウの確認範囲を図3-C1-12～図3-C1-15に示す。また、オルソ画像範囲内での AI による検出個体数と、従来手法による目視カウント個体数を比較した結果を表3-C1-7に示す。従来手法によるカウントは、A では1回、B では2回、C では1回の計4回（いずれもドローンの高度100m 飛行時）実施した。

従来手法はお供山展望台と、住の江（C では奔渡）の2通りを行い、ここではより実際の個体数に近い数字が得られているお供山展望台からの目視結果と AI による検出数を比較したところ、誤差は-0.6%～22.1%（誤差がマイナスの時、AI による検出数より従来手法での記録の方が少なかった）であり、極端な齟齬はみられなかった。

表 3-C1-7 従来手法での記録と AI によるオルソ画像からの検出結果の比較

空撮範囲	飛行高度	実際の個体数 (空撮画像から 計数)	従来手法の個体数 (お供山展望台からの 目視計数)	AI による検 出数	従来手法と AI による個 体数の誤差
A (1 回目)	100m	212	175	160	8.6%
B (1 回目)	100m	341	358	279	22.1%
B (2 回目)	100m	358	372	292	21.5%
C (1 回目)	100m	174	160	161	-0.6%

注：誤差がマイナスの時、AI による検出数より従来手法の個体数の方が少なかった。



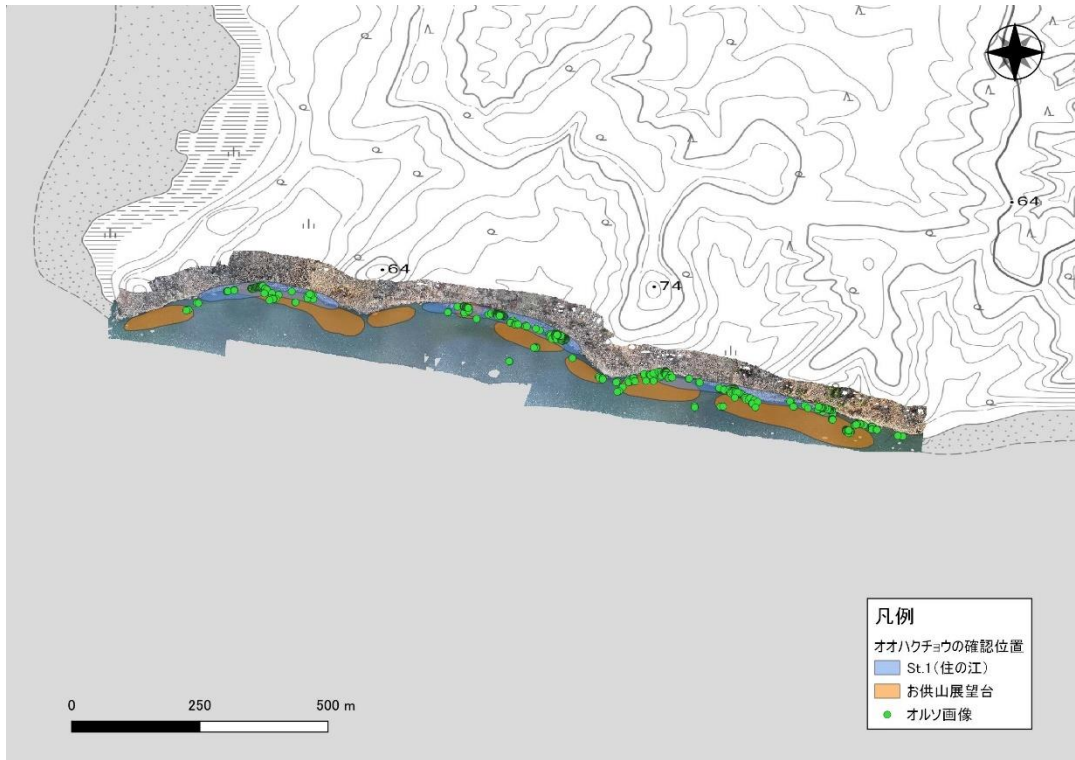
出典：地理院タイルに調査地点、オオハクチョウの確認位置を追記して掲載。

図 3-C1-12 空撮範囲 A における各調査地点からのオオハクチョウの確認位置



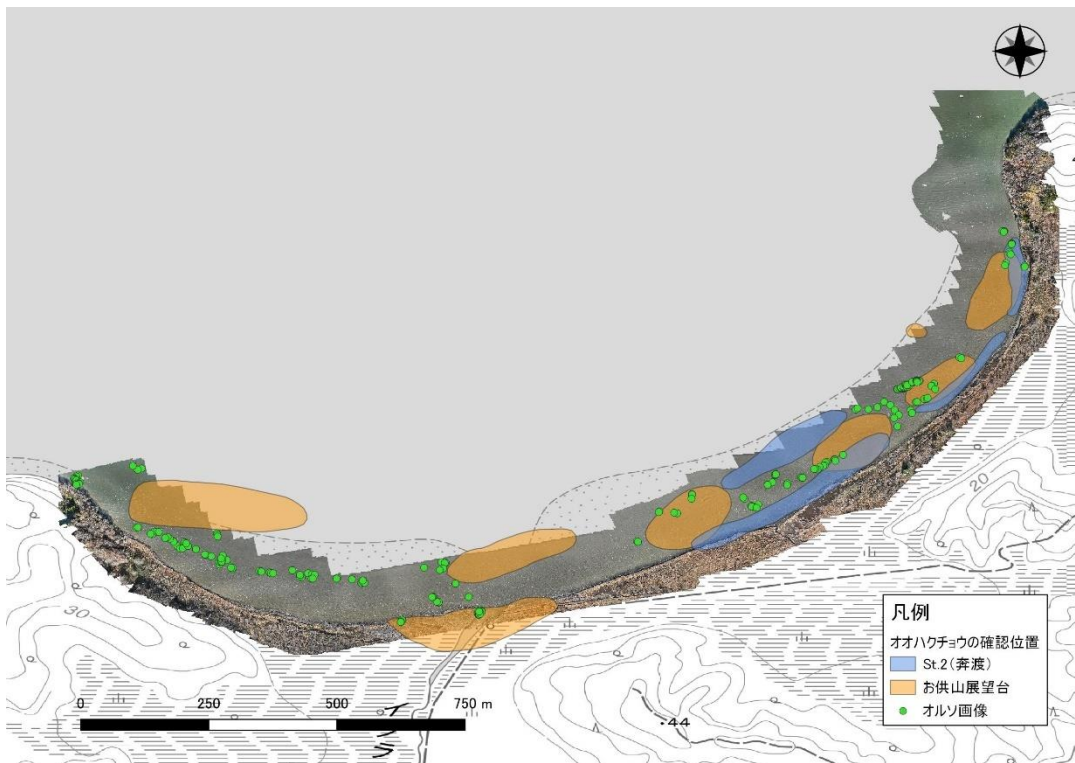
出典：地理院タイルに調査地点、オオハクチョウの確認位置を追記して掲載。

図 3-C1-13 空撮範囲 B (1 回目) における各調査地点からのオオハクチョウの確認位置



出典：地理院タイルに調査地点、オオハクチョウの確認位置を追記して掲載。

図 3-C1-14 空撮範囲 B (2 回目) における各調査地点からのオオハクチョウの確認位置



出典：地理院タイルに調査地点、オオハクチョウの確認位置を追記して掲載。

図 3-C1-15 空撮範囲 C における各調査地点からのオオハクチョウの確認位置

(工) 従来手法と比較した場合の経費削減割合（目標値：20%）が達成されるか

デジタル手法による調査にかかる経費は、従来手法（ドローン）と比較すると約7%減、従来手法（目視調査）と比較すると38%増という結果になり目標達成はできなかった。デジタル手法による調査でかかった人件費、直接経費及び、本実証内容を従来手法で実施した場合の人件費、直接経費の想定を表3-C1-8に示す。

算出の結果、今回のドローンと AI によるデジタル手法での調査にかかる経費は年812,470円程度と算出され、ドローンのみ従来手法での調査の、年877,750円よりカウントがオルソ化及び AI で自動化されることよっての工数減から年65,280円の経費減となるが、目視のみでの調査と比べると事前の準備や機材費の追加により年223,570円の費用増となる。準備の工数は初回に包括の申請をして許可を受けておくことなどで短縮が可能であるが、ドローン及び AI の採用については、これら技術の活用による精度向上から得られる価値を踏まえての判断となると考えられる。

表 3-C1-8 調査に係る経費算出の比較

1年（調査13回:R3実績）あたり

手法	項目	数量	単位	単価	計	摘要	
実証手法 (ドローン+AI)	直接人件費	準備	2	人日	45,300	90,600	飛行申請、関係者周知等
		現地調査	6.5	人日	45,300	294,450	2人×0.5日×13回
		結果整理	3.9	人日	45,300	176,670	オルソ化・AIによる検出による範囲別の結果整理と集計 1人×0.3日×13回
	直接経費	ドローンレンタル	13	日	15,250	198,250	DJI Mavic 3 Enterprise 3日間分レンタル
		解析ソフト	1	個	52,500	52,500	Metashape Professional版
	計					812,470	従来手法(ドローン)との差額 -65,280円 従来手法(目視調査)との差額 +223,570円
従来手法 (ドローン)	直接人件費	準備	2	人日	45,300	90,600	飛行申請、関係者周知等
		現地調査	6.5	人日	45,300	294,450	2人×0.5日×13回
		結果整理	6.5	人日	45,300	294,450	範囲別の結果整理と集計 1人×0.5日×13回
	直接経費	ドローンレンタル	13	日	15,250	198,250	DJI Mavic 3 Enterprise 3日間分レンタル
	計					877,750	
従来手法 (目視調査)	直接人件費	現地調査	6.5	人日	45,300	294,450	御供山からの目視 1人×0.5日×13回
		結果整理	6.5	人日	45,300	294,450	野帳入力、範囲別の結果整理と集計 1人×0.5日×13回
	計					588,900	

※人件費単価は令和5年度設計業務委託等技術者単価のうち技師 (B)を参照した。

(オ) ドローンによる調査に係る工程・時間は従来手法と同程度となっているか

デジタル手法による調査にかかる時間は1.5時間程度、従来手法での調査に係る時間は1.0～1.5時間であることから、作業時間は概ね同程度となっていると言える。

デジタル手法の実証で使用した機体 Mavic 3E のバッテリー容量は5000mAh（1個）であり、最長飛行時間は45分、Matrice300RTK のバッテリー容量5935mAh（2個）であり、最長飛行時間は55分であるが、バッテリー残量も加味して1回あたりの飛行時間は35分程度とするのが望ましい。なお、飛行の都度バッテリーは交換する運用とし複数回の飛行をする場合は複数セットのバッテリーを用意しておくことが必要となる。

ドローンを高度100m で飛行させて撮影した場合の各空撮範囲における総飛行時間（移動時間と撮影時間を含む）は、空撮範囲 A（総飛行距離：12,663m）では17分、空撮範囲 B（総飛行距離：9,894m）では平均11分（8～15分）、空撮範囲 C（総飛行距離：16,264m）では23分であり、離着陸地点間の移動（車で20分程度）やドローンの準備時間（10～20分程度）等も踏まえると、概ね1.5時間程度かかる見込みである。

従来手法では、作業員1名体制で、お供山展望台で調査した場合の作業時間は、概ね1時間程度（各空撮範囲10～15分程度（野帳への記録時間を含む））であり、地点までの移動や調査機材の準備時間等も踏まえると1.0～1.5時間程度かかる見込みであることから、ドローン調査と概ね同程度の作業時間であると考えられる。

ただし、両調査における作業時間は、策定する空撮範囲の広さやオオハクチョウの分布及び飛来個体数によって大きく変わること留意する必要がある。

(カ) 天候、調査時期等が同様であれば、同程度の質・量の画像が取得できるか

天候の違いは、取得画像の質に影響を与えられられる。10月実証及び11月実証は、両実証ともに天候は晴れであり、取得画像の質に明確な差がみられなかったことから、天候が同様であれば概ね同程度の質の画像を取得できると考えられる。

風速や風向の違いは、取得画像の量に影響を与えられられる。10月実証及び11月実証は、両実証ともに風速は同程度（日当たりの平均風速、10月実証：1.9～2.0（m/s）、11月実証：1.9～2.2（m/s）※厚岸町太田観測所のデータ参照）であった。一方で、風向は10月実証では主に南向き、11月実証では主に北向きであった。両実証でドローンの飛行ルートに違いがあることから、直接的な比較はできないため、空撮範囲によっては、風速と風向がドローンの飛行時間に影響している可能性は否定できない。ただし、風速はドローンの操作に支障が出る値（5.0m/s 以上）を大きく下回っており、風向に多少の違いがあっても、風速が小さければ同程度の量の画像を取得することは可能と考えられる。

表 3-C1-9 実証期間中の気象状況 ※厚岸町太田観測所のデータ参照

実証時期	天候	平均風速（m/s）	主な風向
10月実証	晴れのち曇り	1.9～2.0	南向き
11月実証	曇りのち晴れ	1.9～2.2	北向き

(キ) ドローンによる調査に伴う第三者等へのリスクが定量化され、対策が検討されているか

厚岸でのデジタル手法の実証においては、第三者へのリスクが定量化され、対策が検討されて実施されたため評価指標を達成できた。

本実施項目でのドローン調査は航空法や関連法令・規制に準拠している運航を行っている。これらの関連法令では、そのリスクレベルが定量化されており、各レベルに合わせて適切な飛行条件が設けられている。本実施項目は目視外での飛行となるため、「カテゴリー II」に該当するが、航空局に対して申請の上、許可承認を受領しており、安全レベルは高く、第三者へのリスクは低い状態であるといえる。加えて、常にドローンの撮影映像をリアルタイムで確認し、万が一ドローン直下に第三者が確認できた際は、回避の行動をとることが可能なことも確認し、機体へのインシデント発生時は事前に設定したフェイルセーフ機能（ホームポイントや緊急着陸ポイントへの退避等）が発動する対策がとれており、第三者へのリスクについては十分に低いと言える。

(ク) 継続可能なコストで十分にリスクが低減できているかどうか

今回使用するドローンは一部、ネットワークにつながる構成となっているが今回活用した運航管理システムは、情報セキュリティに対する第三者適合性評価制度 ISO27001を取得している KDDI 社のセキュリティ基準を満たす形で開発しており、セキュリティ対策については十分低減できていると言える。

コストについては、3.2（エ）で示したとおり、過大なものとはなっていないため継続可能なコストであると考えられる。

(3) 前提条件等に関する評価結果

3.1(2)で示した評価方法に沿って結果を記載する。

(ア) 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること

いずれの実証日も天候は安定しており、ドローンによる撮影は概ね同じ天候条件で実施されたことから、厳しい環境下との精度の比較検証はできなかったが、Matrice300 RTK であれば機体スバック上、小雨程度であれば問題なく飛行が可能であると言える。気温については10月実証時の最低気温2度、11月実証時の最低気温が-5度（※厚岸町太田観測所のデータ参照）という環境であったが、機体の動作については問題がないことが確認できた。

また従来手法による水鳥の観測は、令和4年度の実績では年13回であり、天候が問題ない日に実施する運用でも問題ないと考えられる。

(イ) 自然環境（特に生物）への影響に配慮したデジタル機材や情報収集方法とすること

10月実証において、Matrice300RTK による飛行時に、ガイドラインで推奨されている飛行高度（100m）以上を飛行したにもかかわらず、オオハクチョウの忌避行動が確認された。Matrice300RTK は最大離陸重量9,200g の大型の機体であり、Mavic3E よりもモーター音が大きく、また視認性も高いことから、オオハクチョウが機体に気づき忌避したものと考えられる。また、Matrice300RTK を飛行させた場合のみ、周辺に生息するオジロワシの接近が確認された。Matrice300RTK より小型の Mavic 3E による調査では、いずれの場合においてもオオハクチョウの忌避行動は確認されず、オジロワシの接近等も見られなかったため、同機体による調査については自然環境（鳥類）への影響は見られなかった。

(ウ) 広大な面積、複雑な地形、見通しが悪い森林や暗所、動物移動の観測など自然物の特有の状態でも取得する情報の正確性を確保することが可能なデジタル機材や情報収集方法とすること

本実証において、実証結果3.2のとおり、予定していた対象範囲で求めていたデータを100%撮影することができており、問題ないと言える。

(4) まとめと今後の展望

オオハクチョウ等、渡り鳥の個体数は、国内外を含む広域における生息状況把握のために重要な情報であり、将来にわたり継続的な情報を得るために調査手法の効率化を図ることは有用である。今回実施したドローン撮影と AI による画像解析では、一定の精度で個体数のカウントができたものの、目標としていた精度には届かず、従来手法に対して大きな省力化・効率化にはつながらなかった。もし本実証の方法を実地に活用する場合には、高い高度から撮影した画像では誤検知を起こしやすい結果を踏まえ、撮影高度は80m で実施されることが望ましい。また、オオハクチョウの忌避を起こさないように機体は Mavic 3E、もしくはより小型・低騒音の機種を用いることが望ましい。

大幅な省力化が図れなかった要因の一つとして、ドローン目視外飛行での規制がある。省

力化のためには、ほとんど人や物件がない今回の対象地のような場所における目視外飛行時の機体監視者の削減といった規制緩和が考えられる。なお、現地での実証後の令和5年12月8日付で新設された「レベル3.5飛行」では、無人地帯での立入管理措置の規制が緩和されたことから、今後はドローンの目視外飛行の普及が期待される。

4 用語集

用語	
国土交通大臣の許可や承認が必要となる空域及び方法での飛行	150m 以上の高さの上空、空港周辺の空域、人口集中地区（DID 地区）の上空、緊急用務空域、夜間飛行、目視外飛行、人又は物件から 30m 未満での飛行、催し場所上空での飛行、危険物の輸送、物件投下
DIPS2.0	Drone/UAS Information Platform System（ドローン情報基盤システム）の略。国土交通省へのドローンに関する各種手続きをオンラインで行うことができる申請システム
補助者	飛行経路周辺に有人機等がないことを監視し、有人機等を確認した場合には操縦者等に助言・また現場周辺に第三者がいなか確認、いる場合は注意喚起を行う役割の者
目視外飛行	ドローンの飛行中、距離や障害物の影響で操縦者がドローンを目視で確認できない飛行のこと
人又は物件から 30m 未満での飛行	人又は物件から 30m 以上の距離を確保できない飛行のこと

2 実施項目 C-2 の詳細

2.1 技術実証の方法

(1) 実証内容の概要

(ア) 目的

瀬戸内海国立公園の有明浜において、人工改変や土砂供給量の減少、異常気象によって存続が危ぶまれている海浜植物群落（ハマグルマ、ハマゴウ、コウボウムギ等）の把握のため、ドローンを用いることで、省力化・高度化できる可能性を検証することを目的とし実施した。

(イ) 対象業務（法令）

自然環境保全法第28条、第31条、第47条に係る実地調査

自然公園法第33条、第62条、第76条及び、自然公園法施行規則第13条の5に係る実地調査

(2) 既存調査の概要

本実証の内容の検討にあたり、現在実施されている既存調査の内容を事前に確認した。環境省によって実施されている既存調査の概要は表2-C2-1に示すとおりであり、環境省による調査は行われていなかった。このため、本実証では、一般に海浜植物等の植生の分布を調査するために行われる植生調査（具体的には空中写真をもとに群落を判別し、現地調査を行い空中写真による判別結果を修正、GIS（地理情報システム）を用いて植生図を作成することにより各群落の分布や面積を記録する方法）を従来手法とし、実証内容を検討、実施した。

表 2-C2-1 既存調査の概要

有明浜では、海浜植物群落を把握するための公的機関による調査は実施されていない。 戎谷・岡（2016）により有明浜の海浜植生を調べた報告がある。
--

参考：）環境省への事前聞き取り

参考：）戎谷遵・岡浩平（2016）小型 UAV を活用した香川県有明浜の海浜植生と微地形の把握。
日本緑化工学会誌.42（1）163-166.

(3) 実証方法

(ア) ドローンによる空撮

実証には、マルチスペクトルカメラ付きドローン Mavic3 Multispectral（以下、Mavic 3M）（DJI 社）（表2-C2-2）を1台使用し、自動航行での空撮を行った。空撮範囲は調査範囲内全域を対象とした。空撮時には監視員を2名以上（操縦者を除く）配置し、第三者（調査に関わらない歩行者等）に対しては注意喚起や飛行の同意を得た。また、周辺施設からの要請により、海岸の南側部分は午前11時まで空撮し、それ以降の飛行は実施しなかった。空撮は、海浜植物群落の活性期、衰退期の計2回実施した。

本実施項目は、ドローンの飛行可能時間や取得画像の解像度を考慮して、ドローンの飛行高度を40m、100m の2つに区分して撮影を行った。

表 2-C2-2 ドローン機体の概要

機体		 <p>DJI Mavic 3M</p>
最大離陸重量		1050g
最大飛行時間		43 分
動作環境温度		-10℃～40℃
保護等級		なし
RGB カメラ	イメージセンサー	4/3 CMOS
	有効画素数	20MP
	焦点距離	24m
	ISO 感度	100～6,400
マルチスペクトルカメラ	センサー	1/2.8 型 CMOS
	有効画素数	5MP
	焦点距離	25mm
	マルチスペクトルカメラバンド	緑 (G) : 560 ± 16 nm 赤 (R) : 650±16nm レッドエッジ (RE) : 730 ± 16 nm 近赤外線 (NIR) : 860 ± 26 nm
通信	通信方式	2.4GHz

※ドローンの機体情報等は DJI 社のホームページ (<https://enterprise.dji.com/jp>) より引用

実施項目 C | ドローンの遠隔操作による動植物の個体群、群集又は群落の生息・生育状態の情報取得
C-2 瀬戸内海国立公園（有明浜）における海浜植物群落のモニタリング



実証に使用したドローン（Mavic 3M）



ドローンに搭載されたマルチスペクトルカメラ



実証実施状況



実証実施状況

図 2-C2-1 有明浜現地実証の様子

(イ) 空撮画像のオルソ化

空撮した画像は、解析ソフト（Agisoft 社製 Metashape）を用いて、オルソ化を行った。オルソ化画像は可視光のほか、4つの波長帯域であるG（グリーン）、R（レッド）、RE（レッドエッジ）、NIR（近赤外）の計5種類を作成した。

また、これらの画像を組み合わせ、NDVI（Normalized Difference Vegetation Index 正規化植生指標）等の指標を算出した。参考としてNDVIの計算式を以下に示す。NDVIは、-1～1の範囲で、植物の活性が高いほど高い値を示す。植物の活性度と各波長の反射の関係を模式的に図2-C2-2に示す。

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

R: 赤色波長の強度 NIR: 近赤外波長の強度

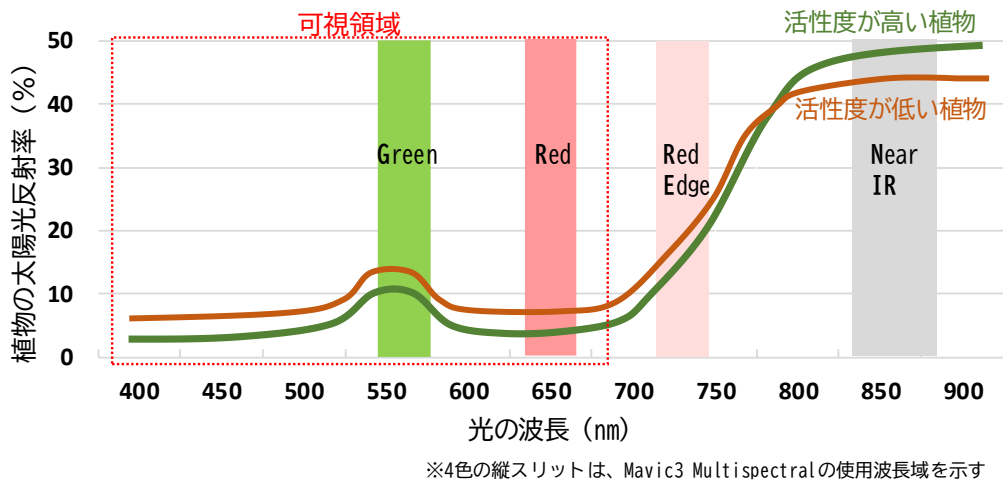


図 2-C2-2 植物の太陽光反射とマルチスペクトルカメラの波長域

(ウ) 植生調査

オルソ画像から NDVI を算出し、その結果の精度を評価するにあたり、現地の正確な植生分布を把握しておく必要がある。そのため、1回目の空撮後、可視光のオルソ画像を下図として現地を踏査し、優占種（生物群集内で、量が特に多く、その群集の特徴を代表し決定づける種）による植生図を作成した。植生の分類は、「河川水辺の国勢調査（河川版）植物群落・コード一覧表」（国土交通省水管理・国土保全局河川環境課,平成15年6月〔平成29年8月修正〕）及び「河川水辺の国勢調査植物調査（河川版）植物群落の解説」（国土交通省水管理・国土保全局河川環境課,平成15年6月〔平成29年8月修正〕）に基本的に準拠した。



現地確認群落（コウボウムギ群落）



現地確認群落（ハマゴウ群落）



コウボウムギ



ハマゴウ

図 2-C2-3 現地で確認した群落例

(工) 植生指標から植物群落の抽出

NDVI 画像及び植生図から植物群落の抽出を行った。植生指標は、NDVI のほか、GNDVI（緑正規化植生指数）や SAVI（土壌調整植生指数）を活用したが、植生の活性が強い部分は濃く、活性が弱い部分は薄い、という傾向はどの指標でも同様であった。そのため、代表して NDVI を使用した。

(オ) 植生活性度から変化量の抽出

1回目空撮と2回目空撮のそれぞれで作成した NDVI 画像を用い、NDVI 値の変化量を抽出した。抽出に当たっては、空撮範囲に対して15mメッシュの方形区を設定し、1メッシュごとに NDVI の最頻値を求めた。その後、差分を算出した。

2.2 実施場所等

(1) 実証期間・実証日

現地での実証は、1回目の実証を令和5年10月16日～17日に、2回目の実証を令和5年11月15日～16日に行った。また、10月の実証での空撮の結果を元に、令和5年10月24日に植生調査を実施した。当日のタイムスケジュールを表2-C2-3に示す。

表 2-C2-3 実証当日のタイムスケジュール

10月16日		10月17日	
14:15	有明浜到着・周辺事前調査	7:30	有明浜到着・事前準備
17:00	調査終了	8:40	オート飛行（100m・全体）×2
		10:00	オート飛行（40m・南側）×2
		11:20	オート飛行（40m・中央南側）×2
		14:00	オート飛行（40m・中央北側）×2
		15:10	オート飛行（40m・北側）×2
		16:30	調査終了・撤収作業
11月15日		11月16日	
14:15	有明浜到着・周辺事前調査	7:30	有明浜到着・事前準備
17:00	調査終了	8:40	オート飛行（100m・全体）×2
		10:00	オート飛行（40m・南側）×2
		11:20	オート飛行（40m・中央南側）×2
		14:00	オート飛行（40m・中央北側）×2
		15:10	オート飛行（40m・北側）×2
		16:30	調査終了・撤収作業

(2) 実証場所

実証は、図2-C2-4に示す瀬戸内海国立公園 有明浜の海浜植物帯を対象として行った。



出典：地理院タイルに飛行範囲を追記して掲載。

図 2-C2-4 調査範囲

2.3 実施条件等

(1) 実施条件等

実証にあたって前提として求められていた条件と機能は表2-C2-4に示すとおりであり、この条件等に基づき実証を実施した。

表 2-C2-4 条件と機能

実証内容に共通な条件と機能
(1) 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること。
(2) 自然環境（特に（1） 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること。
(4) 広大な面積、複雑な地形、見通しが悪い森林や暗所、動物移動の観測など自然物の特有の状態でも取得する情報の正確性を確保することが可能なデジタル機材や情報収集方法とすること。

(2) 行政手続

(ア) 飛行申請

ドローンを国土交通大臣の許可や承認が必要となる空域及び方法での飛行を行う場合、航空法の取り決めにより基本的に DIPS2.0を通した飛行許可・承認手続を実施する必要がある。本実証は目視外となる場所での飛行であったため、補助者あり目視外の形式で飛行計画の申請を行った。

(イ) そのほかの行政手続

本実証では、環境省中四国事務所との連携で香川県や観音寺市に対する個別の行政手続は不要であったが実証現場周辺に温泉施設があり、施設担当者からの要望により営業開始の午前11時まで現場南側部分の空撮は完了させるよう留意した。それに合わせて、現地での実証実施数日前までに実証実施の旨と日時詳細の連絡を行った。

また、有明浜にて環境保全活動を行う地域団体、有明浜海岸沿いに位置する乗馬施設に対して、有明浜での活動に影響がでないよう、事前に実証実施の旨を連絡し、安全管理に向けた調整を行った。

3 技術実証の結果

3.1 結果の評価ポイント・方法

(1) 実証結果の確認方針

1.3 (6) で概要を示した評価ポイントを踏まえて策定した実施項目 C-2の実証の確認方針と具体的な指標等の内容を表3-C2-1に示すとおり整理した。

下記の評価ポイントに基づいて確認した結果は、3.2(2)に後述した。

表 3-C2-1 実証結果の確認方針

評価ポイント	確認方針	指標、及びその目標値
① 網羅性の比較	・ ドローンによる空撮を行い、その取得データの撮影範囲を確認する	(ア) 想定した空撮範囲が取得したデータでカバーできているか（80%） (イ) 従来が目視調査ではカバーできていない範囲まで記録できているか
② 正確性の比較	・ マルチスペクトルカメラを用いた空撮画像から海浜植物群落の活性度を計測する	(ウ) 植生の活性度の把握により、植生の生育状況や種類別の分布が把握できているか
③ 継続性の比較	・ 従来手法で記録・集計された調査情報を収集・整理する	(エ) 従来手法で記録されている調査結果と本実証で得られた結果に大きな齟齬が認められないかどうか。大きな齟齬が見られる場合はその原因を明らかにする
④ 経済性の比較	・ ドローンによる調査に係る人件費、直接経費を計上する (A) ・ 従来手法で実施した際の人件費、直接経費を計上する (B) ・ 調査期間を通じた A と B の差分を集計する	(オ) 従来手法と比較した場合、経費削減割合（20%）が達成されるか
⑤ 機動性の比較	・ ドローンによる調査に係る工程・時間を記録する (A) ・ 従来手法で実施した際に想定される工程・時間を集計する (B) ・ A と B の差分を集計する	(カ) ドローンによる調査に係る工程・時間は従来手法と同程度となっているか
⑥ 再現性の比較	・ 調査時期、天候等による空撮画像の比較及び海浜植生生育範囲把握結果を集計する	(キ) 天候、調査時期等が同様であれば、同程度の質・量の画像が取得できているか
⑦ 安全性の比較	・ ドローンによる調査に対するリスクを評価する	(ク) ドローンによる調査に伴う第三者等へのリスクが定量化され、対策が検討されているか
⑧ 機密性の比較	・ 通信における情報漏洩防止対策の実施とコストを集計する	(ケ) 継続可能なコストで十分にリスクが低減できているかどうか

(2) 実施結果の評価方法

実証結果については、前述のとおり設定した指標等が達成できたかを確認するとともに、各実施項目において共通の前提条件や機能要件として定められた事項を満たすかも検証した。具体的には、定量的評価と定性的評価の二つの観点から、各項目に応じて以下の表3-C2-2に示すとおり評価することとした。

下記の評価方法に基づいて評価した結果は、3.2(3)に後述した。

表 3-C2-2 実証結果の評価方法

実証内容に共通な条件と機能	評価方法
(1) 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること	(ア) 最寄りのアメダスデータや現地調査時に取得した気象条件をもとに、実証期間中の気温、降水量、風速について整理して、使用機材の耐用条件を基準として検証し、実証成功時にドローン活用による業務代替可能な天候条件を評価する
(2) 自然環境（特に生物）への影響に配慮したデジタル機材や情報収集方法とすること	(イ) 落下により海浜植物の損傷がなかったか評価する。 (ウ) 損傷がある場合、騒音、強い光、周囲の景観に沿わない色彩、悪臭などを発生させない機材を選定する
(3) 対象法令及び関係法令の規制に抵触せず、また公園利用に著しい支障（例えば、ドローン落下により景観や地形を損傷する、放置状態にする等）を与えないデジタル機材や情報収集方法とすること	・対象外
(4) 広大な面積、複雑な地形、見通しが悪い森林や暗所、動物移動の観測など自然物の特有の状態でも取得する情報の正確性を確保することが可能なデジタル機材や情報収集方法とすること	(エ) ドローンの撮影範囲について、計画した範囲を取得したデータで把握できるか評価する
(5) 自然環境の雰囲気（静謐、自然音、香り等）の把握に際して、人間の五感を可能な限り再現すること	・対象外
(6) 取得したカメラやセンサー等での取得情報は、利用調整地区制度を管理する施設にリアルタイムで送信し表示させること	・対象外
(7) 国立公園の普通地域又は自然環境保全地域の普通地区における行為届出に関し、行為地周辺の3次元立体構造データを作成して実証を行う場合、ノートパソコン向けの内蔵GPUのみでも支障なく動作し操作ができるものとする。	・対象外

3.2 結果及び評価・分析

(1) 技術実証の実施結果

(ア) ドローンによる空撮

1回目調査（10月17日）に16,825枚、2回目調査（11月16日）に16,580枚、計33,405枚の空撮画像を得た。ドローンによる空撮結果を表3-C2-3に示す。

表 3-C2-3 空撮結果

調査日	飛行高度	回目	撮影枚数					計
			可視光	緑	赤	レッドエッジ	近赤外	
10/17	100m	1	298	298	298	298	298	1,490
		2	298	298	298	298	298	1,490
	40m	1	1,477	1,477	1,477	1,477	1,477	7,385
		2	1,292	1,292	1,292	1,292	1,292	6,460
小計			3,365	3,365	3,365	3,365	3,365	16,825
11/16	100m	1	367	367	367	367	367	1,835
		2	367	367	367	367	367	1,835
	40m	1	1,291	1,291	1,291	1,291	1,291	6,455
		2	1,291	1,291	1,291	1,291	1,291	6,455
小計			3,316	3,316	3,316	3,316	3,316	16,580
合計			6,681	6,681	6,681	6,681	6,681	33,405

注) マルチスペクトルカメラ搭載のため、1回のシャッターで5枚（可視光、緑、赤、レッドエッジ、近赤外）の写真が撮影される。

(イ) 現地調査による植生分布の記録

植生活性度の把握により、種類別の植生分布を把握するため、事前に現地調査で作成した植生図を図3-C2-2に、群落一覧を表3-C2-4に、基本分類別の面積割合を図3-C2-1に示す。

現地調査は、一般的な植生図作成調査手法と同様の手法で行い、本実証では「平成28年度版 河川水辺の国勢調査基本調査マニュアル〔河川版〕（河川環境基図作成調査編）」（国土交通省水管理・国土保全局河川環境課、平成28年1月改訂）に基本的に準拠した。まず、空撮したオルソ画像から植生の概況を判別し、植生図の下図を事前に作成した。堤防上等の見通しの良い場所から眺望するとともに、調査範囲内を踏査して植生図の下図に加筆・修正した。植物群落の区分は、最新の「河川水辺の国勢調査植物調査植物群落リスト・植物群落の解説」（国土交通省水管理・国土保全局河川環境課、平成15年6月〔平成29年8月修正〕）に準拠し、該当する群落がない場合には新たな凡例を作成した。

実施項目 C | ドローンの遠隔操作による動植物の個体群、群集又は群落の生息・生育状態の情報取得
C-2 瀬戸内海国立公園（有明浜）における海浜植物群落のモニタリング

表 3-C2-4 群落一覧

基本分類	No	表示コード	群落名	面積 (ha)	植生割合	基本分類	No	表示コード	群落名	面積 (ha)	植生割合			
草本群落	砂丘植物群落	1	045	コウボウムギ群落	0.62	5.0%	木本群落	その他の低木林	20	135	アキグリ群落	0.01	0.08%	
		2	047	ハマヒルガオ群落	0.003	0.02%			21	136	クコ群落	0.002	0.01%	
		3	049	コウボウシバ群落	0.002	0.01%			22	1335	スイズラ群落	0.002	0.02%	
		4	0410	ハマゴウ群落	6.08	48.7%			落葉広葉樹林	23	1423	アキニレ群落	0.04	0.3%
		5	0421	ネコノシタ群落	0.13	1.0%		24		1424	アキニレ群落 (低木林)	0.02	0.2%	
	一年生草本群落	6	059	ヤナギタデ群落	0.013	0.11%		25		1429	ヌルデ-アカメガシワ群落	0.002	0.02%	
		7	0513	コセンダングサ群落	0.002	0.02%		26		1430	ヌルデ-アカメガシワ群落 (低木林)	0.03	0.3%	
		8	0514	メシバ-エノコログサ群落	0.49	4.0%		常緑広葉樹林		27	1435	ムクノキ-エノキ群集	0.07	0.6%
		9	0530	オオハマムグラ群落	0.51	4.1%				28	1436	ムクノキ-エノキ群集 (低木林)	0.007	0.06%
		10	0540	イヌホオズキ群落	0.011	0.1%				常緑針葉樹林	29	161	マサキトベラ群集	0.05
	多年生広葉草本群落	11	063	カワラヨモギ-カワラハハコ群落	0.09	0.7%					30	171	クロマツ群落	0.004
		12	064	ヨモギ-メドハギ群落	0.02	0.14%		31	172	クロマツ群落 (低木林)	0.002	0.01%		
		13	068	セイタカアワダチソウ群落	0.01	0.06%		植林地 (その他)	32	206	センダン群落	0.44	3.6%	
		14	0610	ヤブガラシ群落	0.002	0.02%			33	208	シジュウ群落	0.005	0.04%	
		15	0640	オシロイバナ群落	0.002	0.02%			34	2012	クロマツ植林	0.08	0.7%	
		16	0641	ヘクソカズラ群落	0.005	0.04%			その他区分	35	253	人工裸地	0.04	0.3%
	単子葉草本群落	ヨシ群落	17	073	セイタカヨシ群落	0.06		0.5%		36	261	人工構造物	0.014	0.11%
		ツルヨシ群落	18	081	ツルヨシ群集	0.08		0.7%		37	262	コンクリート構造物	0.23	1.8%
		その他単子葉草本群落	19	1060	ジュズダマ群落	0.002		0.02%		38	264	漂着ゴミ集積地	0.005	0.04%
						39	27	自然裸地	3.28	26.3%				
						40	28	開放水面	0.01	0.10%				

※1 10月植生調査時の写真を使用した。

※2 群落の区分は以下に従った。

・河川水辺の国勢調査植物調査（河川版）植物群落・コード一覧表（国土交通省水管理・国土保全局河川環境課，平成15年6月〔平成29年8月修正〕）

・河川水辺の国勢調査植物調査（河川版）植物群落の解説（国土交通省水管理・国土保全局河川環境課，平成15年6月〔平成29年8月修正〕）

※3 ハマゴウ群落は本来低木であるが、基本分類のカテゴリ上、草本群落に含めた。

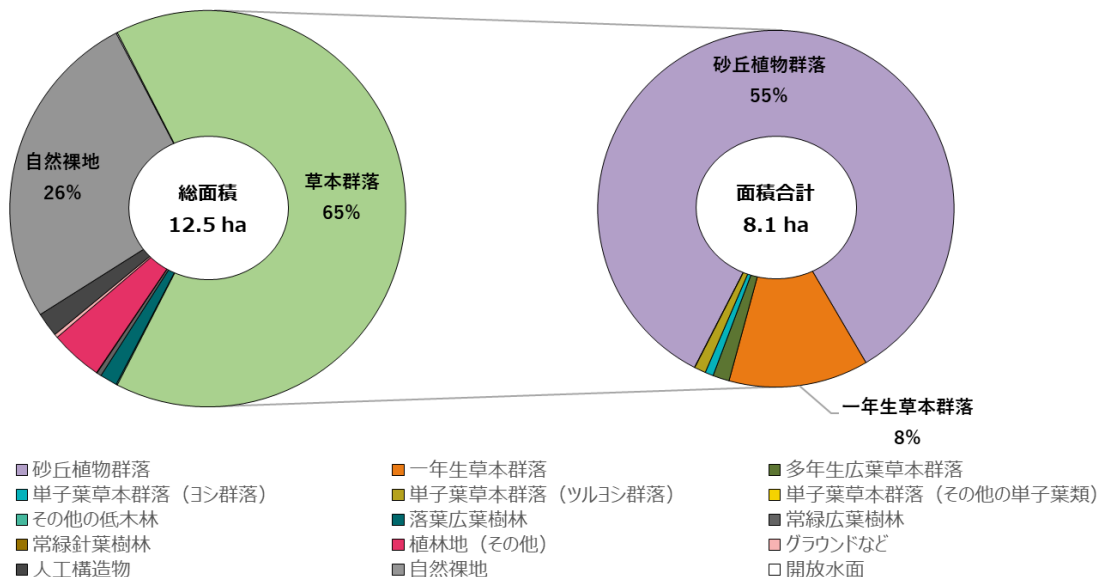
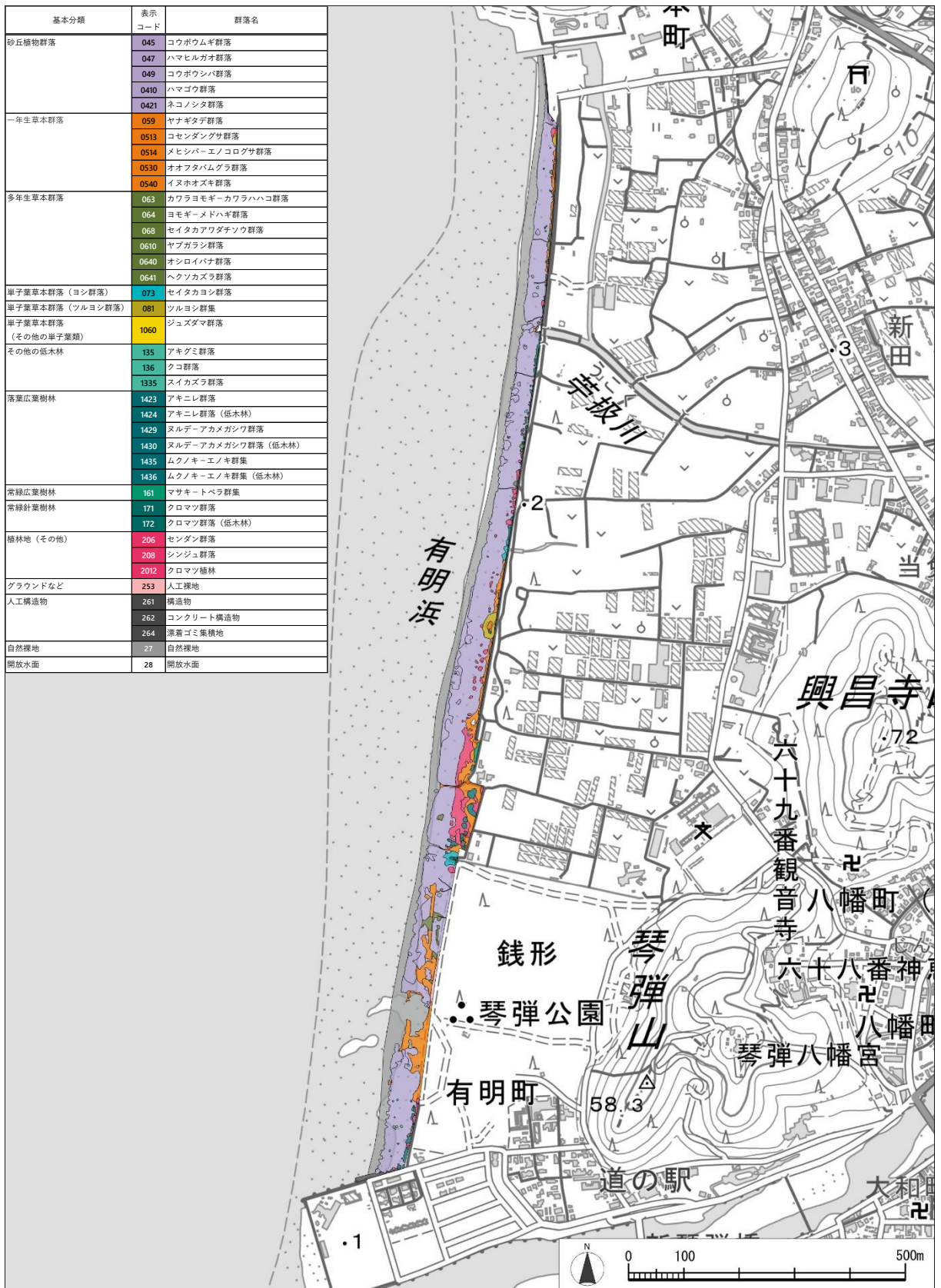


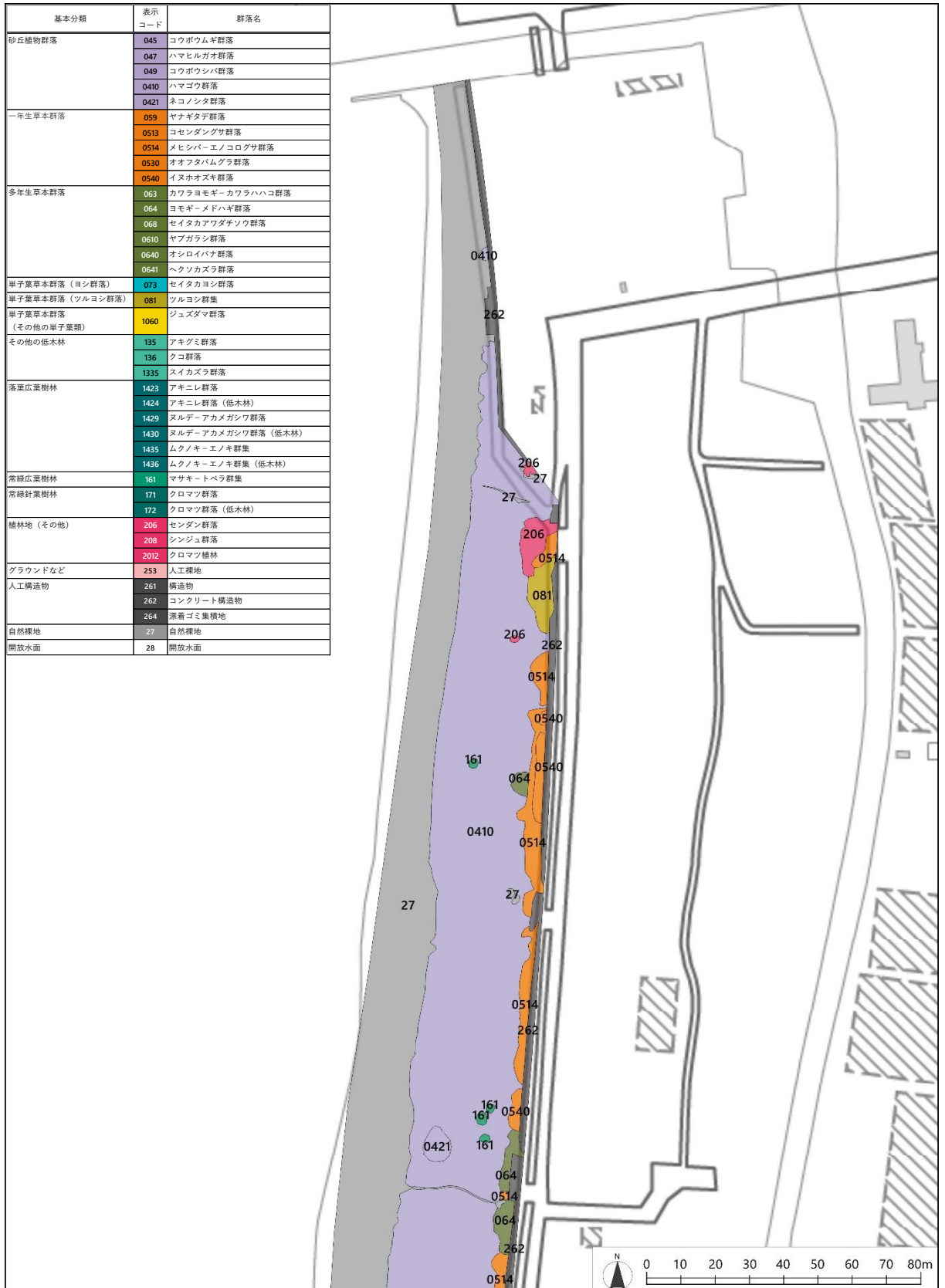
図 3-C2-1 基本分類別の面積割合

実施項目 C | ドローンの遠隔操作による動植物の個体群、群集又は群落の生息・生育状態の情報取得
 C-2 瀬戸内海国立公園（有明浜）における海浜植物群落のモニタリング



出典：地理院タイルに植生図を追加して掲載。

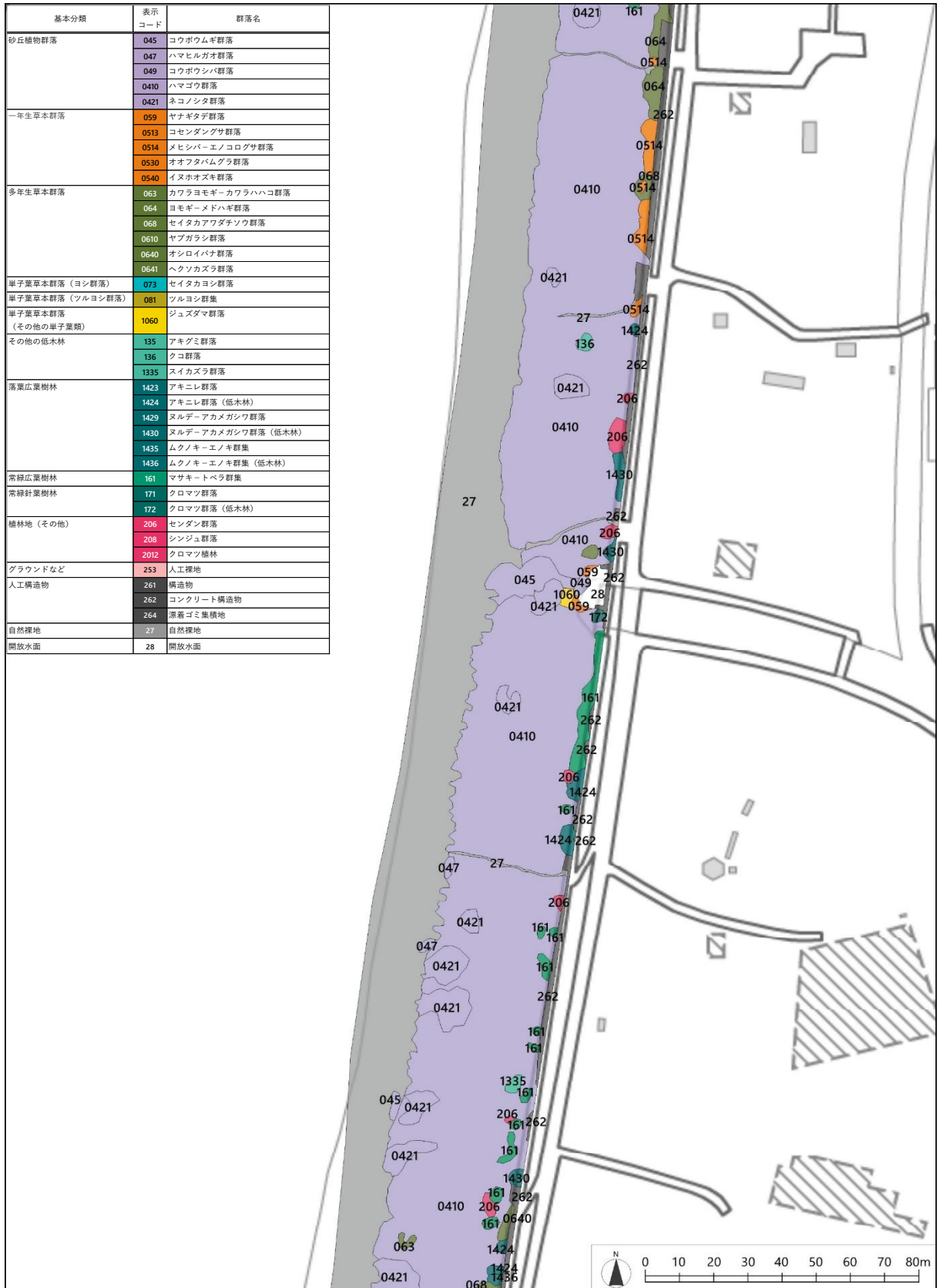
図 3-C2-2 植生図（広域図）



出典：地理院タイルに植生図を追加して掲載。

図 3-C2-2 (1) 植生図（詳細図 1/6）

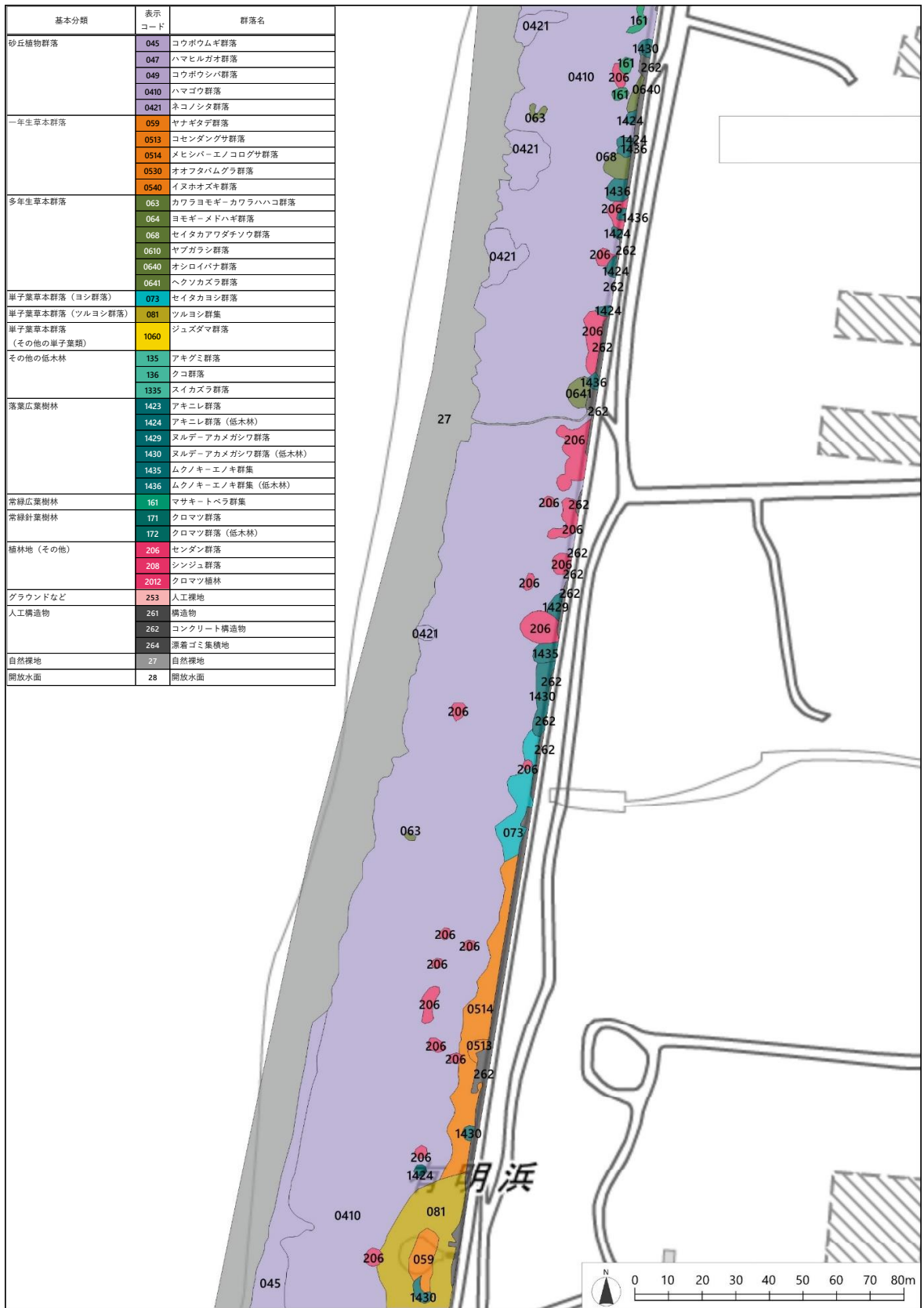
C-2 瀬戸内海国立公園（有明浜）における海浜植物群落のモニタリング



出典：地理院タイルに植生図を追加して掲載。

図 3-C2-2 (2) 植生図（詳細図 2/6）

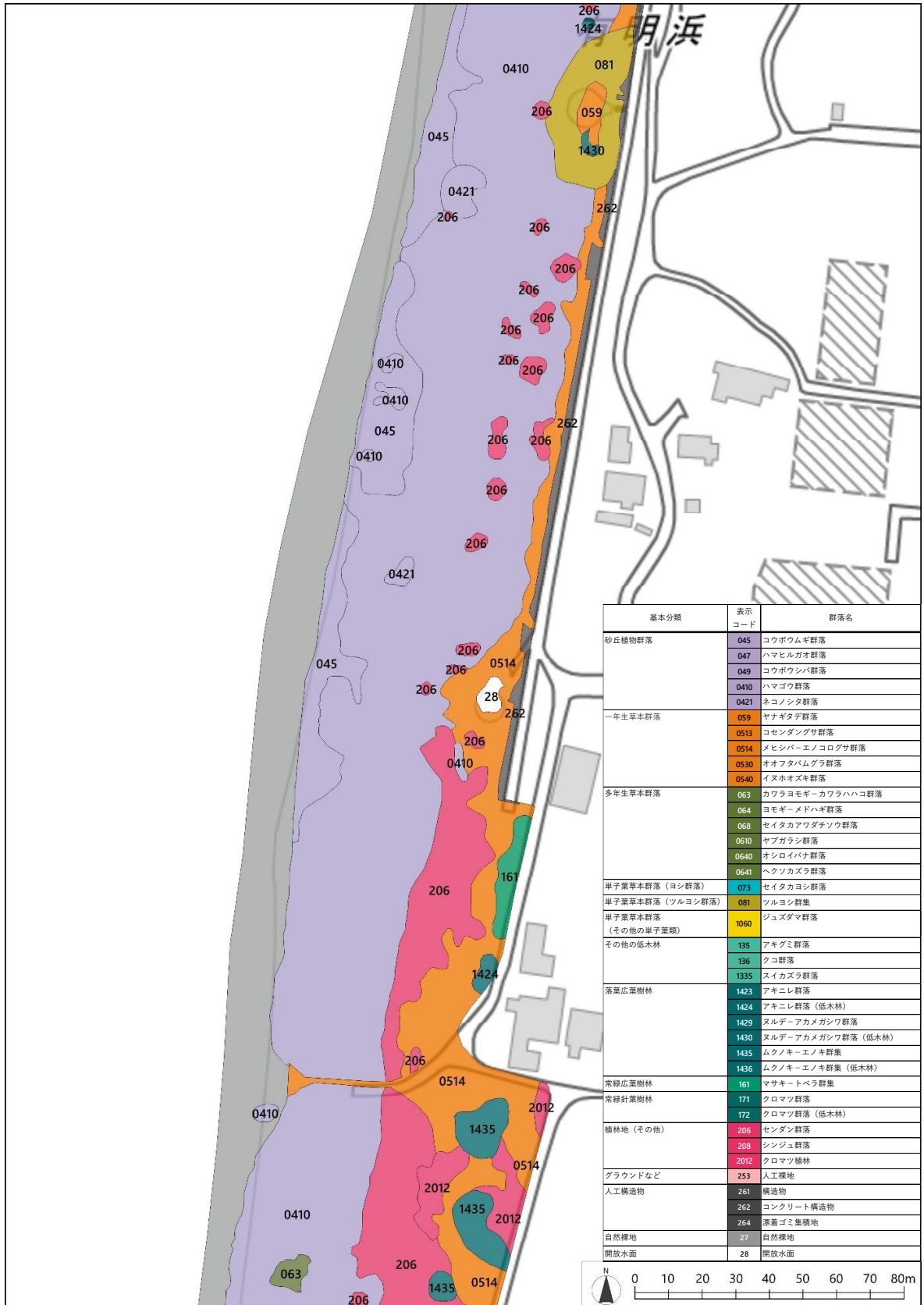
実施項目 C | ドローンの遠隔操作による動植物の個体群、群集又は群落の生息・生育状態の情報取得
 C-2 瀬戸内海国立公園（有明浜）における海浜植物群落のモニタリング



出典：地理院タイルに植生図を追加して掲載。

図 3-C2-2 (3) 植生図 (詳細図 3/6)

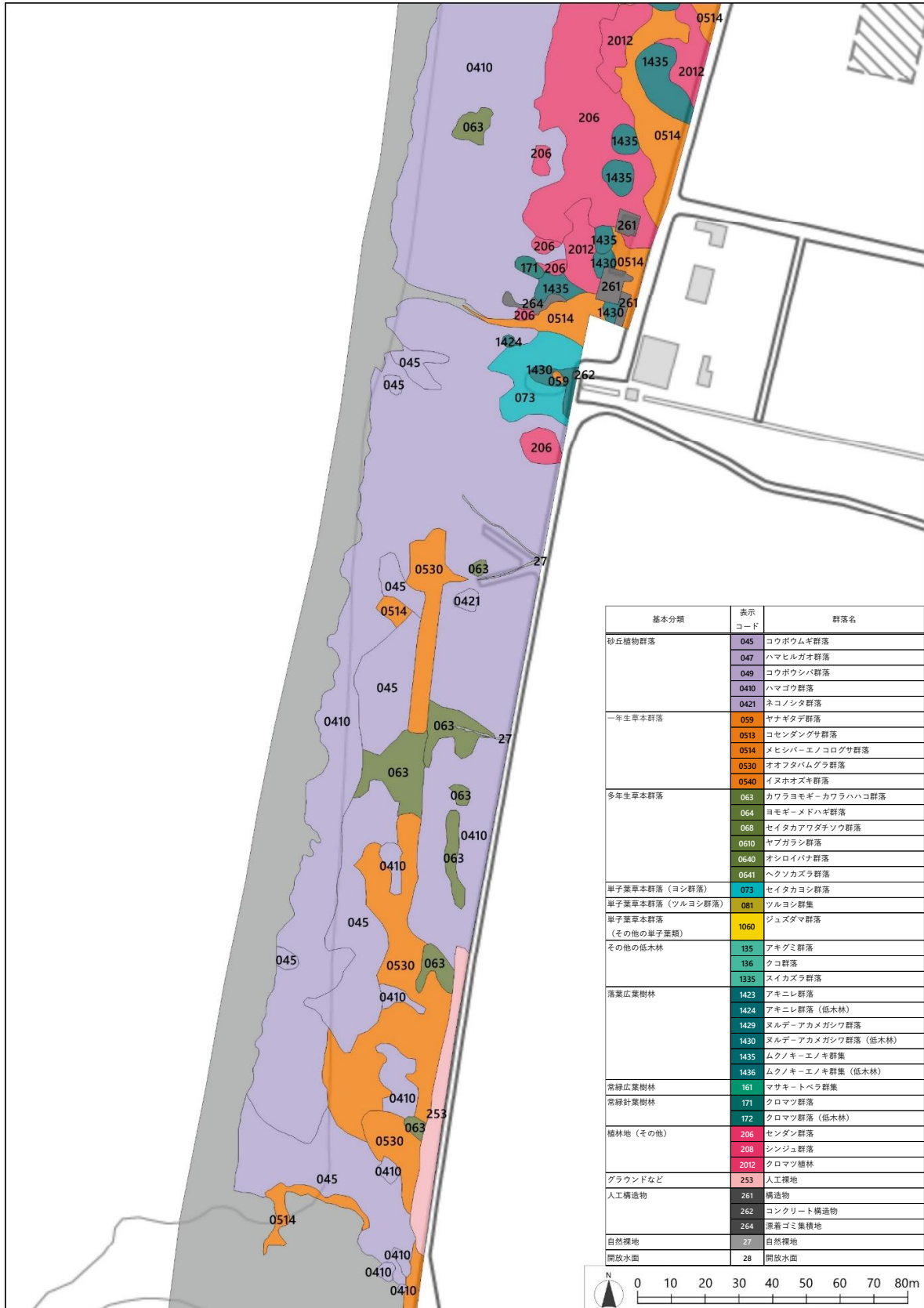
実施項目 C | ドローンの遠隔操作による動植物の個体群、群集又は群落の生息・生育状態の情報取得
 C-2 瀬戸内海国立公園（有明浜）における海浜植物群落のモニタリング



出典：地理院タイルに植生図を追加して掲載。

図 3-C2-2 (4) 植生図（詳細図 4/6）

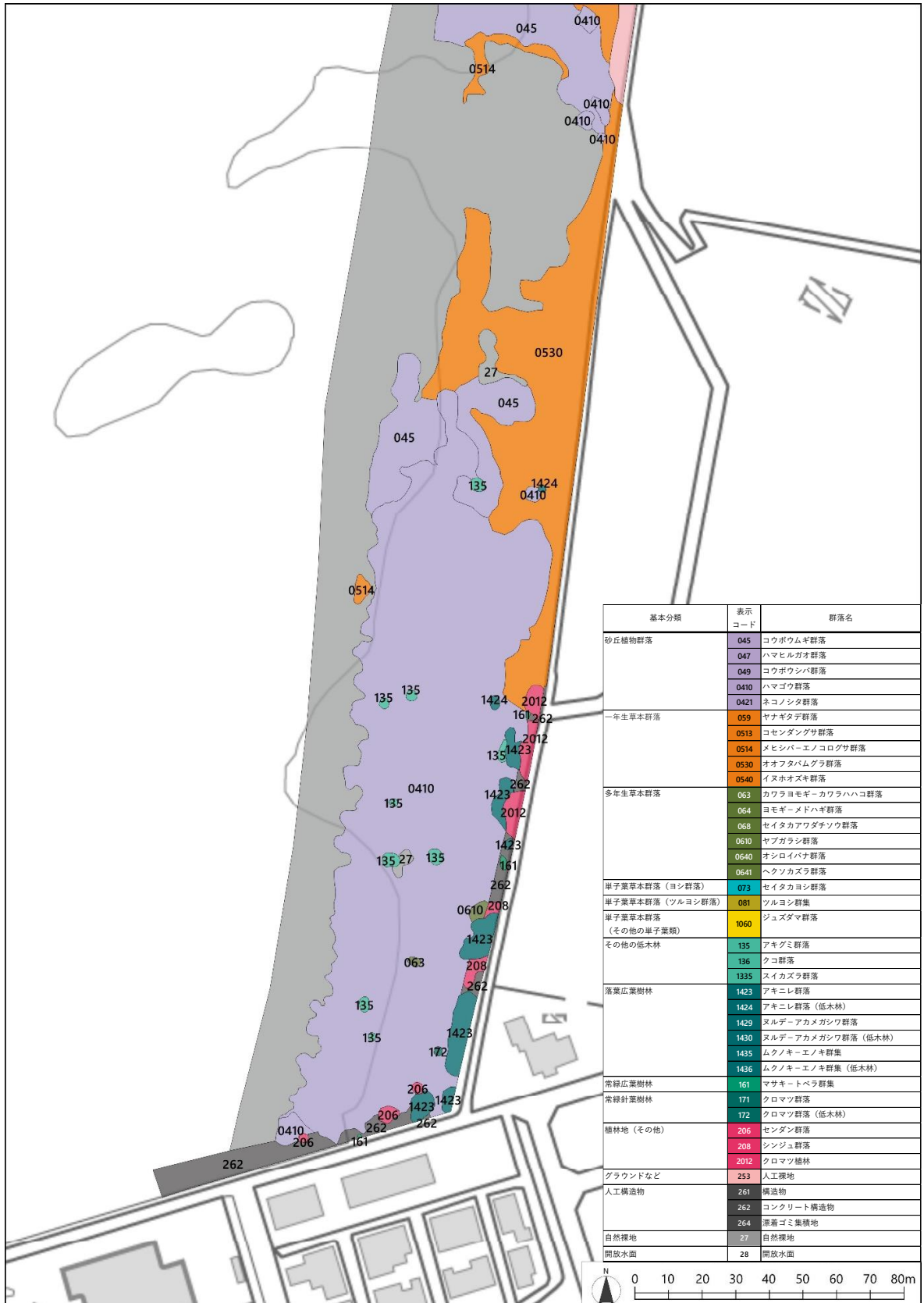
実施項目 C | ドローンの遠隔操作による動植物の個体群、群集又は群落の生息・生育状態の情報取得
 C-2 瀬戸内海国立公園（有明浜）における海浜植物群落のモニタリング



出典：地理院タイルに植生図を追加して掲載。

図 3-C2-2 (5) 植生図 (詳細図 5/6)

実施項目 C | ドローンの遠隔操作による動植物の個体群、群集又は群落の生息・生育状態の情報取得
 C-2 瀬戸内海国立公園（有明浜）における海浜植物群落のモニタリング



出典：出典：地理院タイルに植生図を追加して掲載。

図 3-C2-2 (6) 植生図 (詳細図 6/6)

(2) 実証内容の確認結果

3.1 (1)で示した指標、及びその目標値に沿って結果を記載する。

(ア) 想定した空撮範囲が取得したデータでカバーできているか（目標値：80%）

想定した空撮範囲は、すべての空撮データでカバーできた（100%）。



出典：地理院タイルに空撮範囲を追加して掲載。
想定した空撮範囲を赤線で示した。

図 3-C2-3 オルソ画像の作成範囲

(イ) 従来の目視調査ではカバーできていない範囲まで記録できているか。

有明浜では、アクセスの難しい箇所や危険箇所等はなく、従来手法（目視による植生調査）で植生分布を把握することができた。そのため、目視調査ではカバーできていない範囲は存在しなかった。

(ウ) 植生の活性度の把握により、植生の生育状況や種類別の分布が把握できているか

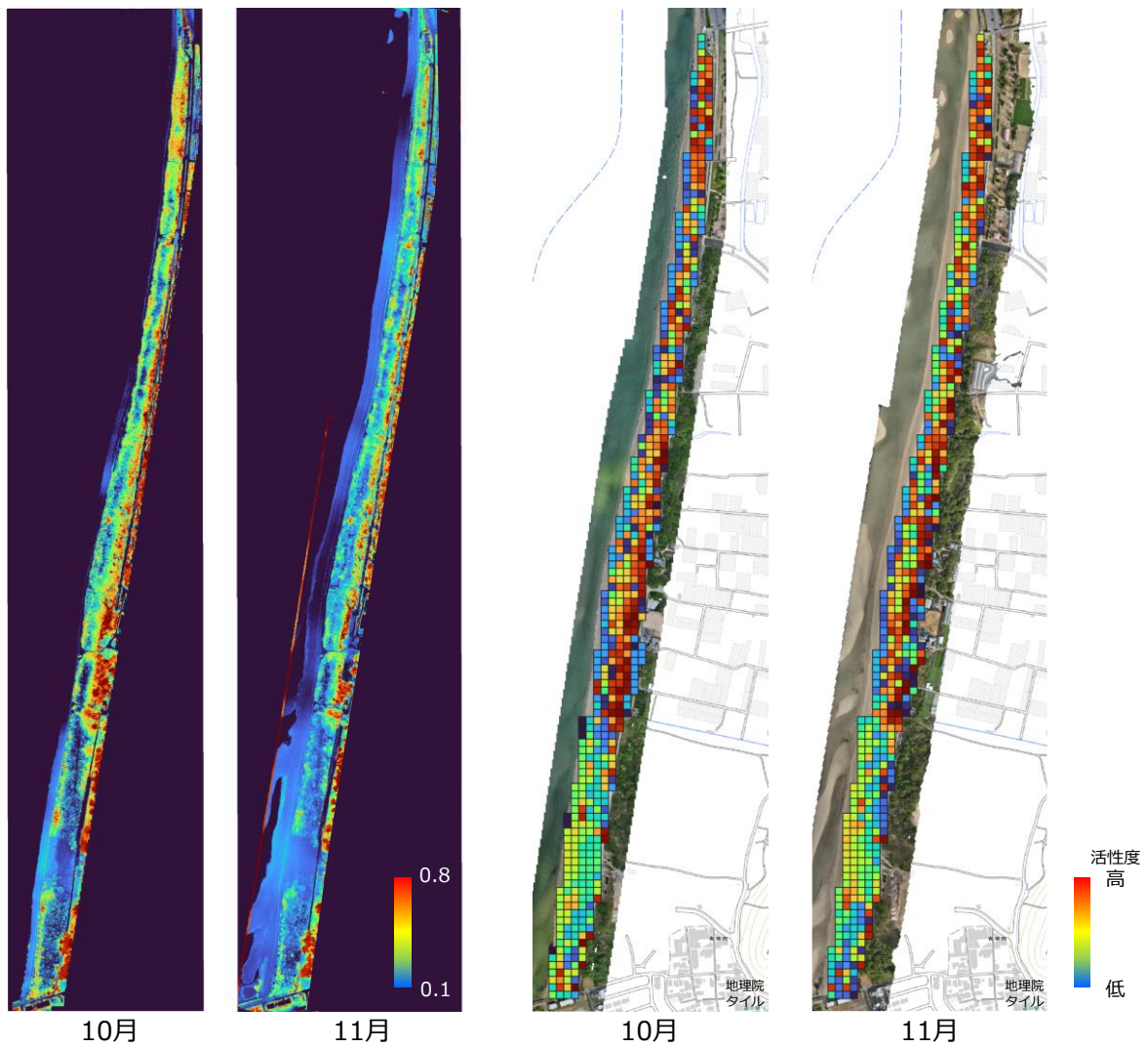
植生の活性度の把握により、植生の生育状況、種類別の分布のいずれも概ね把握できた。

【植生の生育状況】

本実証でオルソ画像から算出した植生活性度（正規化植生指標・NDVI）では、10月（1回目空撮）、11月（2回目空撮）ともに植生の生育状況を把握することができた。図3-C2-4では、赤色が強いほど植生活性度が高く、青色が強いほど植生活性度が低いことを示している。

調査範囲の植生活性度を分析するため、15m メッシュを設定し、メッシュ内の植生活性度の最頻値を求めた（図3-C2-5）。その結果、10月から11月にかけて植生活性度の高い（0.4～0.8）メッシュが減少し、植生活性度が中程度（0.2～0.3）のメッシュが増加したことから、植生の衰退も併せて把握できた。

一方、植生活性度の低い（-0.3～0）メッシュが想定に反して増加しなかったことが課題として残ったものの、ドローンによる観測結果は、現地での目視調査結果とも整合しており、植生の生育状況を概ね把握できたため、評価指標を達成した。

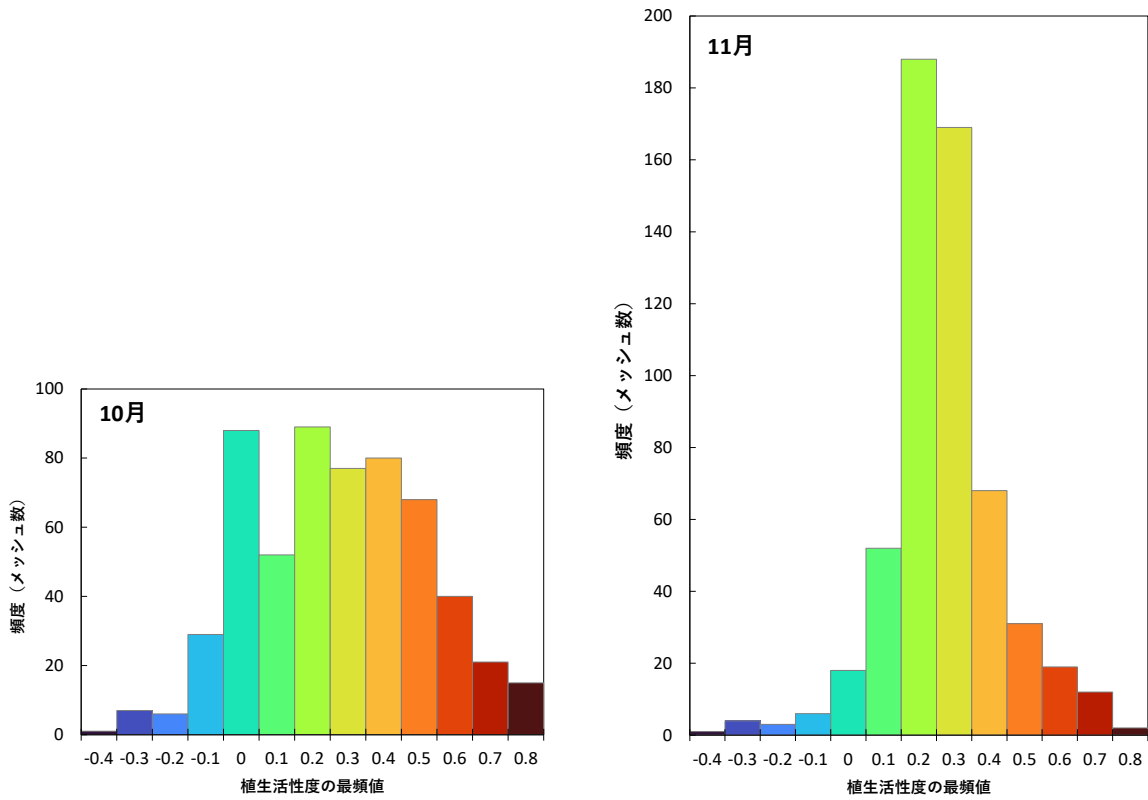


出典：地理院タイルに NDVI 情報を追加して掲載。

- ※1 左：植生活性度のオルソ画像、右：15m メッシュで分割し、植生活性度の最頻値を求めた。
- ※2 左の画像 2 枚は植生活性度の変化が把握しやすい波長帯（0.1～0.8）を示した。

図 3-C2-4 各空撮回における植生活性度（NDVI）

実施項目 C | ドローンの遠隔操作による動植物の個体群、群集又は群落の生息・生育状態の情報取得
 C-2 瀬戸内海国立公園（有明浜）における海浜植物群落のモニタリング



月	植生活性度の最頻値ごとのメッシュ数												
	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
10月 (1回目空撮)	1	7	6	29	88	52	89	77	80	68	40	21	15
11月 (2回目空撮)	1	4	3	6	18	52	188	169	68	31	19	12	2
10月からの増減	±0	-3	-3	-23	-70	±0	+99	+92	-12	-37	-21	-9	-13

図 3-C2-5 各空撮回における植生活性度の頻度分布

【種類別の分布】

本実証でオルソ画像から算出した植生活性度（正規化植生指標・NDVI）による種類別の分布把握では、海浜植物が最も重要と考えられることから、海浜植物に焦点を当てた。有明浜の草本群落は、植生調査より40群落中19群落あり、全体の約65%を占めていることが確認されている。そのうち、海浜植物（砂丘植物群落）は、5群落55%を占め、49%がハマゴウ群落である。したがって、有明浜の海浜に生育する草本のほとんどはハマゴウ群落と判断される。ゆえに、ハマゴウ群落以外の海浜植物を植生活性度で区別し、区別できなかった部分をハマゴウ群落とすれば、概ねの植生分布を把握することが可能である。ハマゴウ群落以外の海浜植物は、コウボウムギ群落を除くと微小な面積割合であるため、主としてコウボウムギ群落の識別を行った。

表 3-C2-5 砂丘植物群落の面積割合

群落	群落数	面積割合	群落	群落数	面積割合	群落	面積割合
草本群落	19	65.1%	砂丘植物群落	5	55%	コウボウムギ群落 (045)	5.0%
						ハマヒルガオ群落 (047)	0.02%
						コウボウシバ群落 (049)	0.01%
						ハマゴウ群落 (0410)	48.7%
						ネコノシタ群落 (0421)	1.0%
その他の草本群落	14	10%					
木本群落	15	6%					
その他	6	29%					

10月の植生活性度では、コウボウムギ群落がまだら模様になることが判明した（図3-C2-6、図3-C2-7）。地表面を面的に広がるハマゴウに対し、地下茎を伸ばして繁殖するコウボウムギでは群落内に隙間ができやすいことが反映されたと考えられる。又はマゴウ群落は場所により粗密が異なり、衰退が早い場所や遅い場所があったため、植生活性度も一様でなく、特徴的な色調を特定することができなかった。

11月の植生活性度では、ハマゴウ群落やコウボウムギ群落が衰退し、ネコノシタ群落の活性度は変化していないことが判明した（図3-C2-7、図3-C2-8）。これを利用することにより、10月には識別できなかったネコノシタ群落の抽出が可能となった。

したがって、海浜植物に限定されるが、有明浜に生育する海浜植物は概ね把握できたため、評価指標を一定程度達成したと考えられる。なお、実現場での活用にあたっては、植生活性度のほか、可視光によるオルソ画像からの識別も併せて行うことで、より詳細な分布を把握することができると思われる。

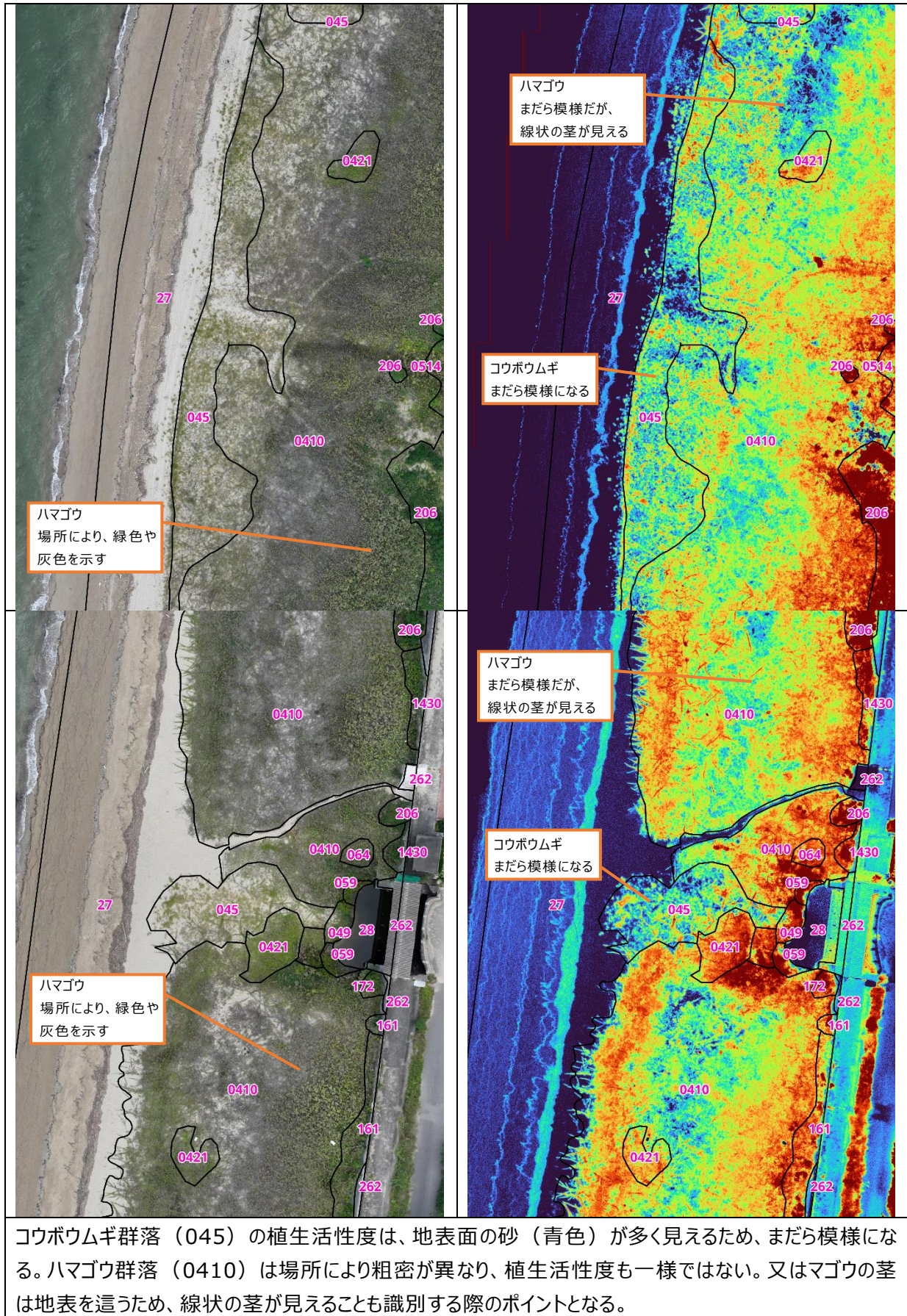


図 3-C2-6 10月の植生活性度による群落の識別（左：可視光画像 右：NDVI画像）



図 3-C2-7 10 月の植生活性度により識別した海浜植物群落

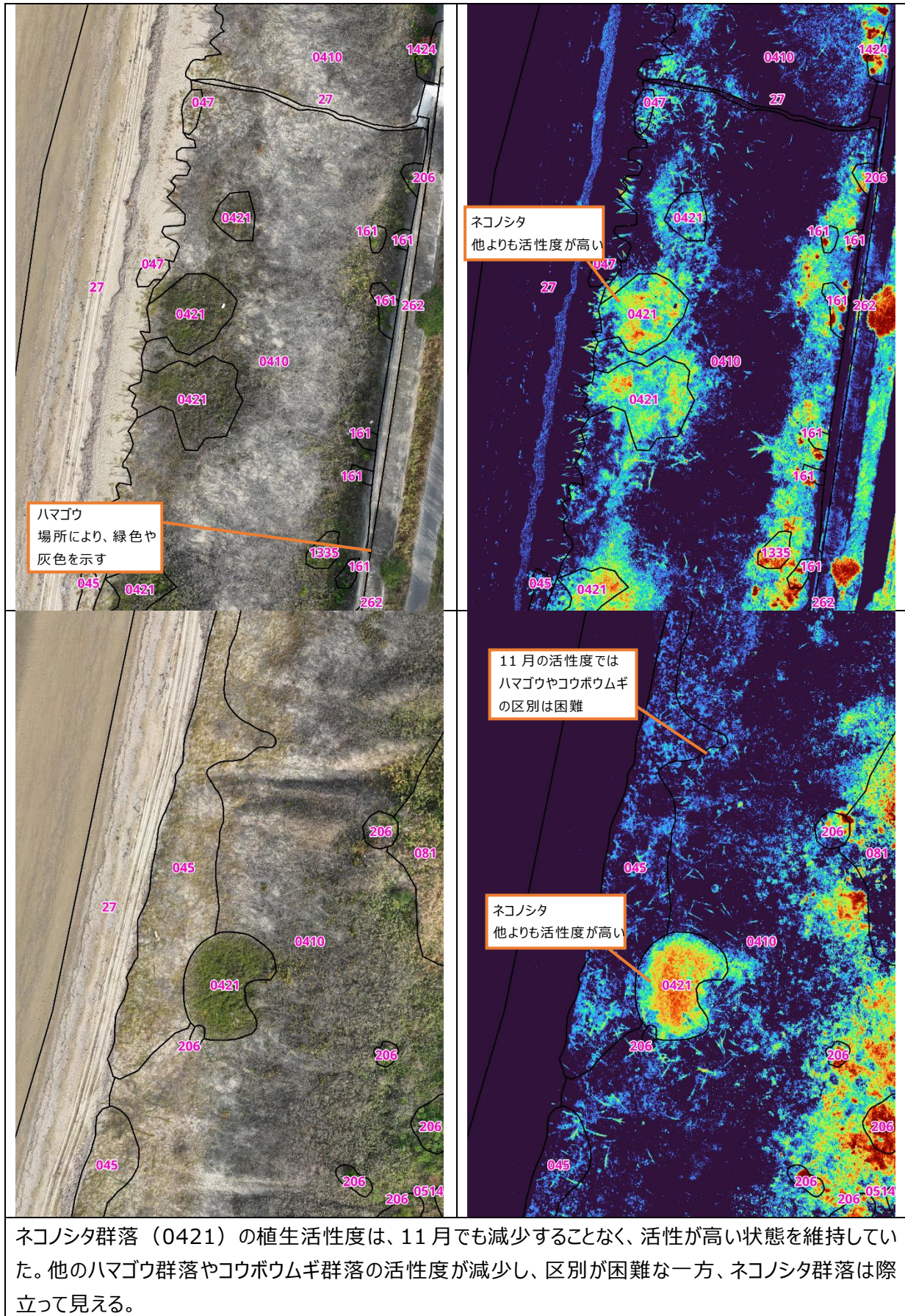


図 3-C2-8 11月の植生活性度による群落の識別（左：可視光画像 右：NDVI 画像）



ネコノシタ群落

1箇所に集まり、密に生育する。花期が7～10月のため、他のハマゴウ（花期7～9月）やコウボウムギ（花期4～7月）と比べ、11月頃まで活性度が高い。

※10月植生調査時の写真を使用した。

図 3-C2-9 10月の植生活性度により識別した海浜植物群落

(工) 従来手法で記録されている調査結果と本実証で得られた結果に大きな齟齬が認められないかどうか。大きな齟齬が見られる場合はその原因を明らかにする

今回、あわせて実施した従来手法での記録（目視による植生分布の記録）に対し、本実証で得られた結果（植生活性度のみによる植生分布の判読）は完全には一致せず、当初設定した評価指標は達成できなかった。なお、同時に取得される可視光によるオルソ画像と併せてみれば識別精度は高まると考えられた。

今回のドローンによる植生活性度結果と、従来手法との対比を行い、表3-C2-6に示す。

本実証では、前項の植生活性度（正規化植生指標・NDVI）によるコウボウムギ群落の識別点に留意し、植生活性度のみの情報からコウボウムギ群落の抽出（GIS 上でのポリゴン作成）を試みた。

それぞれの手法により算出したコウボウムギ群落の面積は、従来手法の植生調査では0.62ha、本実証の植生活性度では0.35ha となった。本実証は、従来手法よりも過小評価され、誤差は0.27ha、一致率は42%となった。本実証の植生活性度のみの識別は、多少のずれはあるが概ね位置の把握ができた部分と、ハマゴウ群落と誤認して把握できなかった部分が存在した。一致率は4割強と低く、ハマゴウ群落と誤認する、細部を捉えきれずに大きなずれが生じる等、植生活性度のみの識別には限界があると考えられる。

表 3-C2-6 従来手法と本実証により識別した群落面積の比較

群落名	面積 (ha)			一致率
	従来手法 植生調査	本実証 NDVI	誤差	
コウボウムギ群落	0.62	0.35	-0.27	42% (0.26ha)

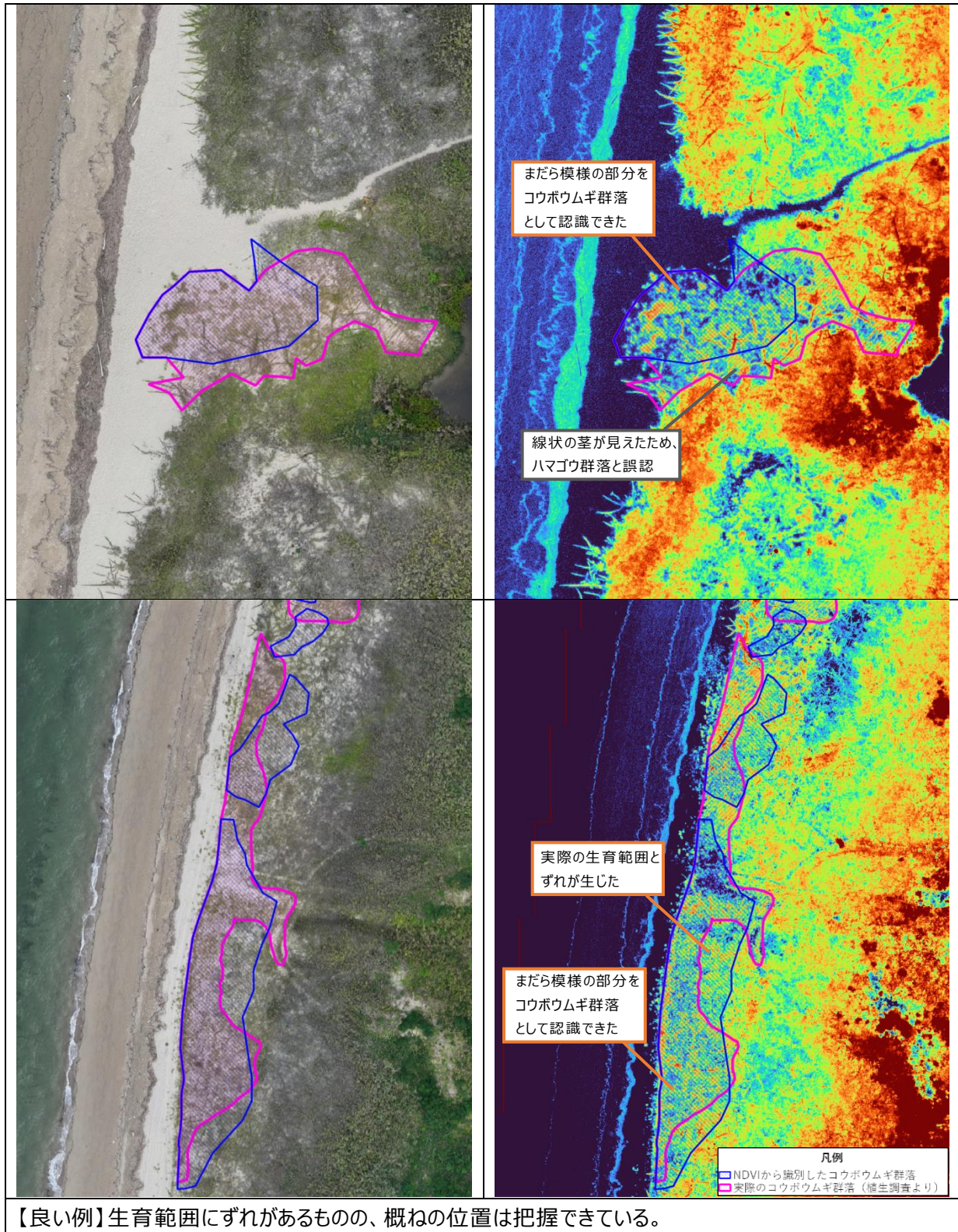


図 3-C2-10 (1) 従来手法と本実証により識別した群落面積の比較

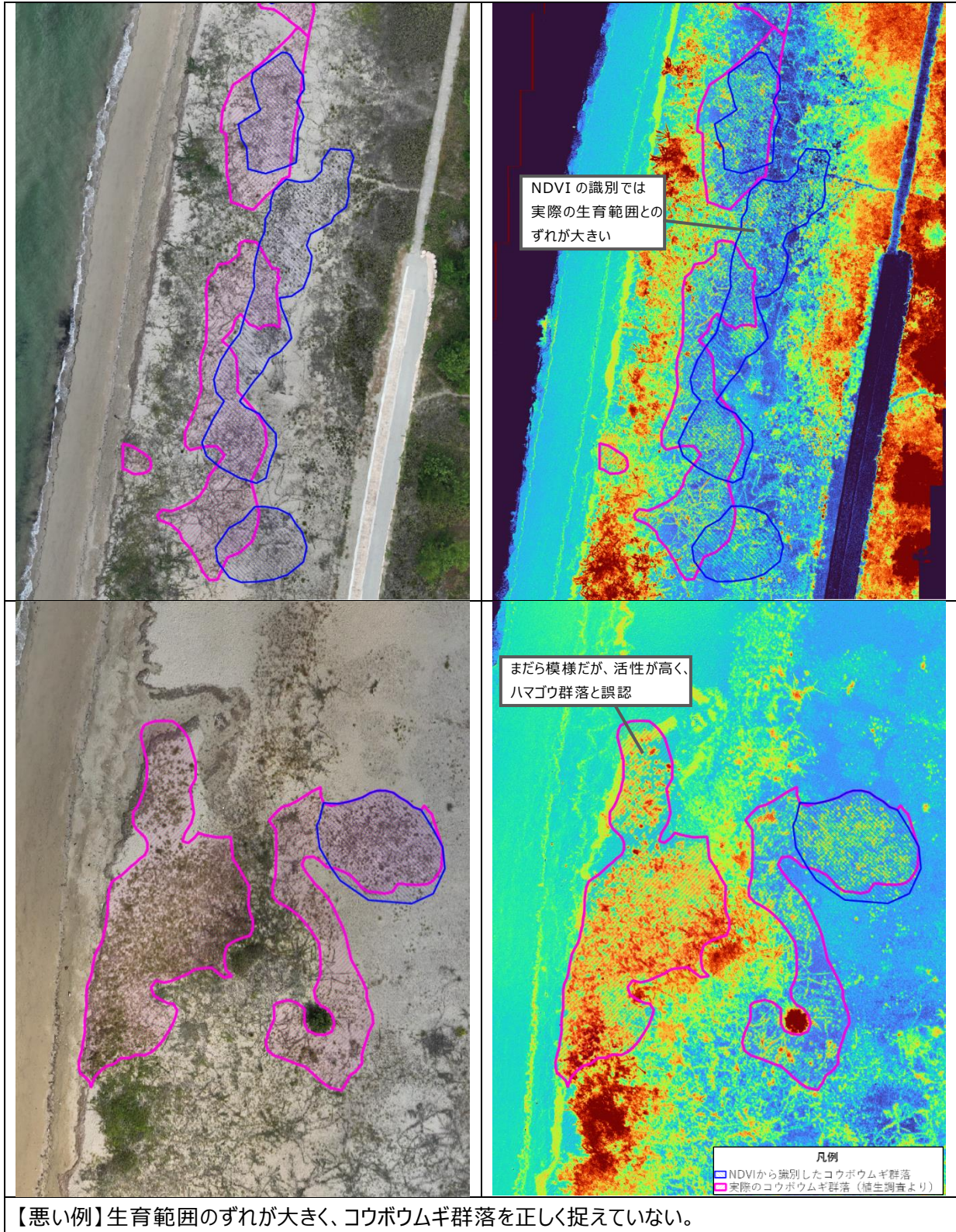


図 3-C2-10 (2) 従来手法と本実証により識別した群落面積の比較

実施項目 C | ドローンの遠隔操作による動植物の個体群、群集又は群落の生息・生育状態の情報取得

C-2 瀬戸内海国立公園（有明浜）における海浜植物群落のモニタリング

(オ) 従来手法と比較した場合の経費削減割合（目標値：20%）が達成されるか
デジタル手法での調査に係る経費は算出の結果、年 505,950 円程度と算出され、従来手法の 1,017,100 円より 50%の経費削減となったことから、評価指標の目標、経費削減割合 20%を達成した。

デジタル手法での調査でかかった人件費、直接経費及び、本実証内容を従来手法で実施した場合の人件費、直接経費の想定を表3-C2-7に示す。

表 3-C2-7 調査に係る経費算出の比較

年間あたり（植生図を1回作成）

手法	項目	数量	単位	単価	計	摘要	
実証手法 (マルチスペクトルドローン)	直接人件費	準備	2	人日	45,300	90,600	計画・飛行申請・関係機関調整等
		現地調査（ドローン）	3	人日	45,300	135,900	3人×1回
		結果整理	4	人日	45,300	181,200	オルソ化・NDVI参考に植生図作成
		計				407,700	
	直接経費	ドローンレンタル	3	日	15,250	45,750	DJI Mavic 3 Multispectral 3日間分レンタル
		解析ソフト	1	個	52,500	52,500	Metashape Professional版
		計				98,250	
	計				505,950	従来手法との差額 -511,150円	
従来手法 (空中写真+植生図)	直接人件費	結果整理	2	人日	45,300	90,600	空中写真から植生図素図作成
		現地調査（植生調査）	2	人日	45,300	90,600	現地で植生確認
		結果整理	3	人日	45,300	135,900	現地記録参考に植生図作成
		計				317,100	
	直接経費	セスナ空撮外注費	1	回	700,000	700,000	
		計				700,000	
	計				1,017,100		

※人件費単価は令和5年度設計業務委託等技術者単価のうち技師（B）を参照した。

(カ) ドローンによる調査にかかる工程・時間は従来手法と同程度となっているか

デジタル手法での調査に係る作業時間は2時間30分程度、従来手法での作業時間は7.5時間という結果になったためデジタル手法での調査にかかる工程・時間は、従来手法よりも縮小されるものと考えられる。

本実証で使用した機体の最長飛行時間は20分であるが、バッテリーの残量も加味して1回辺りの飛行時間は15分以内とするのが望ましい。また、飛行間の離着陸場所や監視者の配置移動は最大10分程度、バッテリー交換等の準備を含めると15分ほどであった。

本実証を行った有明浜同様の範囲を調査する場合、高度100mの飛行1回と高度40mの飛行4回、計5回の飛行が必要となる。

高度100mの1回の飛行を15分、離着陸地点までの移動および準備に15分の計30分かかる計算となる。高度40mの1回の飛行を15分、バッテリー交換、地点間の移動等の作業を15分の計30分と見積もった場合、計4回の飛行には2時間程度かかる計算となる。そのため、すべての飛行を完了するには計2時間30分程度がかかる。

従来手法では、作業員が2名体制で調査し、すべての範囲を踏査した場合の合計作業時間は1日（7.5時間）である。

以上より、デジタル手法での調査にかかる工程・時間は、従来手法よりも縮小されるものと考えられる。

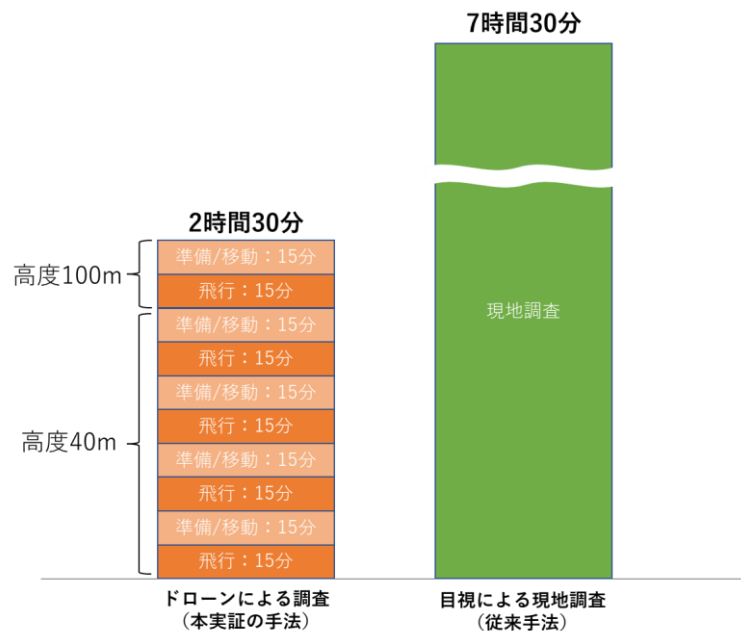


図 3-C2-11 ドローンによる調査と従来手法の工数の比較

(キ) 天候、調査時期等が同様であれば、同程度の質・量の画像が取得できるか

本実証で取得した画像について、同時期の1回目空撮と2回目空撮を比較しても同程度であったことから、当初設定した定性評価指標を達成した。実証時は潮位による干潟の出現・消失があったものの、汀線から堤防までの砂浜部分はすべて撮影できたため、天候、調査時期による画像の質・量に差は生じないものと考えられる。

(ク) ドローンによる調査に伴う第三者等へのリスクが定量化され、対策が検討されているか

有明浜での実証においては、フライヤーに加え、補助者を2名配置することで第三者へのリスクを低減している。加えて常にドローンの撮影映像をリアルタイムで確認可能なため、万が一ドローン直下に第三者が確認できた際は、回避の行動をとることが可能なことが確認できた。さらに、機体へのインシデント発生時は事前に設定したフェイルセーフ機能（ホームポイントや緊急着陸ポイントへの退避等）が発動する対策がとれており、第三者へのリスクについては十分に低いと言える。

(ケ) 継続可能なコストで十分にリスクが低減できているかどうか

今回使用したシステム及びドローンはネットワークに接続しない構成になっており、セキュリティリスクについては十分低いと言える。

(3) 前提条件等に対する評価結果

3.1 (2)で示した評価方法に沿って結果を記載する。

(ア) 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること

本実証において、約2kmの対象範囲全域を撮影することができた。いずれの実証日も天候は安定しており、ドローンの操作に支障をきたすことはなかった。なお、使用した機体（Mavic3M）の飛行可能風速は12m/sであることから、風速12m/s以下の条件下では調査は可能と考えられるが、航空局の飛行マニュアルに則り、雨天時や強風時（風速5m/s以上）は飛行を取りやめた。本実証期間内でも瞬間的に風速が5m/sを超えることが2度ほどあったが、いずれも数分の待機ののち、風が収まるタイミングで問題なく飛行を実施できた。

表 3-C2-8 実証期間中の気象状況 ※香川県多度津観測所のデータ参照

実証時期	天候	平均風速 (m/s)	主な風向
10月実証	晴れ	1.8~2.9	西向き
11月実証	晴れのち曇り	1.8~3.6	北向き

(イ) 自然環境（特に生物）への影響に配慮したデジタル機材や情報収集方法とすること

本実証において、ドローンの飛行によってサギ類やカラス類が警戒する行動はみられなかった。また、落下による海浜植物の損傷も発生しなかった。今回発動することはなかったが、異常発生時も適切なフェイルセーフが発動するような仕様となっており、落下によるリスクは十分抑えられているといえる。また、今回使用した機材は騒音、強い光、周囲の景観に沿わない色彩、悪臭などを発生させない機材であった。

(ウ) 広大な面積、複雑な地形、見通しが悪い森林や暗所、動物移動の観測など自然物の特有の状態でも取得する情報の正確性を確保することが可能なデジタル機材や情報収集方法とすること

本実証において、対象範囲全域（約2km）を撮影することができ、計2回の空撮で同等のオルソ画像を作成することができた。

(4) まとめと今後の展望

本実証として行ったマルチスペクトルカメラを搭載したドローンによる空撮では、植生の生育状況、及び群落の分布を正確にとまではいかないまでも、一定程度把握することができた。海浜植物群落は、今後の環境変化によっては徐々に生育状況が変化することも想定されることから、小さな変化が積み重なって大きな変化となっていないかをモニタリングすることが望まれる。その場合、必ずしも高頻度・高精度の植生調査でなくとも良い。数年に1度程度の頻度で、今回手法によりおおまかな情報を得ておくこと、また撮影したオリジナル画像は適切に保管しておくことで、例えば将来、特定の群落が注目された場合や、特定の場所が改変計画等によって注目された場合に見直すことができる点で、重要な情報となるものとする。また、本実証から、有明浜での空撮は NDVI によって海浜植物の第二優占種であるコウボウムギ群落、第三優占種で

実施項目 C | ドローンの遠隔操作による動植物の個体群、群集又は群落の生息・生育状態の情報取得
 C-2 瀬戸内海国立公園（有明浜）における海浜植物群落のモニタリング
 あるネコノシタ群落がある程度識別可能であることがわかった。調査の時期としてはコウボウムギ群落の把握に適した10月に実施することが有効と考えられた。

4 用語集

用語	解説
国土交通大臣の許可や承認が必要となる空域及び方法での飛行	150m 以上の高さの上空、空港周辺の空域、人口集中地区（DID 地区）の上空、緊急用務空域、夜間飛行、目視外飛行、人又は物件から30m 未満での飛行、催し場所上空での飛行、危険物の輸送、物件投下
DIPS2.0	Drone/UAS Information Platform System（ドローン情報基盤システム）の略。国土交通省へのドローンに関する各種手続きをオンラインで行うことができる申請システム
補助者	飛行経路周辺に有人機等がないことを監視し、有人機等を確認した場合には操縦者等に助言・また現場周辺に第三者がないか確認、いる場合は注意喚起を行う役割の者
目視外飛行	ドローンの飛行中、距離や障害物の影響で操縦者がドローンを目視で確認できない飛行のこと
人又は物件から30m 未満での飛行	人又は物件から30m 以上の距離を確保できない飛行のこと

2 実施項目 C-3 の詳細

2.1 技術実証の方法

(1) 実証内容の概要

(ア) 目的

崎山湾・網取湾自然環境保全地域において、ウミシヨウブ群落の生育状況を把握するため実施されている現地調査について、着水型ドローンの遠隔操作により、省力化できる可能性を検証することを目的とし実施した。

なお、当該地域内のウミシヨウブ藻場はアオウミガメの採食圧により減少・消失が著しく、健全な藻場は崎山湾内の既設の採食防止枠内に限られる。したがって、本実証の撮影対象は、崎山湾内の採食防止枠内のウミシヨウブ藻場とした。

(イ) 対象業務（法令）

自然公園法第 33 条、第 62 条、第 76 条及び、自然公園法施行規則第 13 条の 5 に係る実地調査

(2) 既存調査の概要

本実証の内容の検討にあたり、事前に現在実施されている既存調査の内容を確認した。環境省によって実施されている既存調査の概要は表 2-C3-1 に示すとおりであった。この内容を踏まえ、実証内容を検討、実施した。

表 2-C3-1 既存調査の概要

<p>崎山湾・網取湾自然環境保全地域のウミシヨウブ藻場の保全・再生のため、崎山湾では令和元年度から単管パイプを用いた採食防止枠が設置されている。採食防止枠で囲ったエリアはウミシヨウブの葉長が伸びていることが確認されており、採食防止枠による保護効果が示された。その後、採食防止枠の構造の見直しや枠の大型化といった改良を重ねつつ、防止枠の増設が進められてきている。</p> <p>加えて、採食防止枠内のウミシヨウブの生育状況を把握するため、モニタリング調査が実施されている。ドローンによる空撮のほか、潜水による調査が実施されている。潜水による調査では、令和 3 年度までは調査員が潜りウミシヨウブの葉長を計測していたが、令和 4 年度からは調査員が海底付近まで潜り、水平方向に採食防止枠の側面の写真を撮影することで、ウミシヨウブの生育状況に変化がないかの確認が行われている。</p> <p>また、対象地域が位置する沖縄県八重山地方は、亜熱帯海洋性気候に属し夏季には台風が強い勢力を維持したまま接近・上陸することが多く、採食防止枠もその被害を受けることがある。現地担当者は、定期的なモニタリング調査時だけでなく、大型台風の通過後には採食防止枠やその中に生息するウミシヨウブの状況を確認する必要があり、そのたびに白浜港から船舶で往来し、潜水し様子を確認する必要がある。</p>
--

参考) 環境省. 2022. 崎山湾・網取湾自然環境保全地域における保全計画の変更及び生態系維持回復事業計画の策定について. 第 47 回 自然公園等小委員会 諮問案件資料 6-4.
参考) 環境省への事前聞き取り

(3) 実証方法

現地での実証の様子を図 2-C3-1 に示す。

本実施項目には、水面着水・離水が可能な防水型ドローン（PRODRONE 社製 PD4-AW-AQ、以下、着水型ドローン）（表 2-C3-2）を使用した。撮影は着水型ドローン本体に装着された GoPro HERO7 Black（GoPro 社製 以下、GoPro）（表 2-C3-3）で行った。GoPro の画角は飛行前に手動で設定し、0°（水平）、45°（ななめ下）、90°（真下）の 3 パターンで空撮ならびに水中の動画撮影を実施した。飛行時は採食防止柵付近に船舶を係留し、着水型ドローンの操縦は船上で行った。着水型ドローンの離水・着水は海面から行った。海面から離水した着水型ドローンは飛行し、高度を上げて採食防止柵が存在する区域の様子を広域で確認し、そののちに任意の採食防止柵の中もしくは周囲に着水し、採食防止柵や柵内に生息する生物の様子を撮影する。

着水型ドローンに装着されている GoPro にて撮影されている映像は、着水型ドローンの映像伝送モジュールを通して、タブレット上で確認することが可能であった。

なお、崎山湾は水深が浅く、採食防止柵付近まで船舶で安全に航行するには潮位がおおよそ 120cm（気象庁 <https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/suisan/suisan.php?stn=IJ>、西表）以上であることが望ましい。したがって、実証実施日のうち、潮位が 120cm 以上となる時間帯に採食防止柵付近まで航行し、撮影を実施した（図 2-C3-2）。

表 2-C3-2 ドローン機体の概要

ドローン PD4-AW-AQ（PRODRONE 社）	
最長飛行時間	20 分（飛行環境、飛行方法により変動）
法的飛行可能高度	150m
電波到達距離	プロポ操縦：1 km 映像伝送：1 km データ伝送：5 km LTE:LTE 基地局圏内
防塵防水性能	IP55
最高速度	70km/h
飛行可能風速	15m/s（飛行環境、飛行方法により変動）
バッテリー	10,000mAh×1
通信仕様	プロポ操縦：2.4GHz データ伝送：920 MHz LTE オプション対応可

表 2-C3-3 GoPro の性能

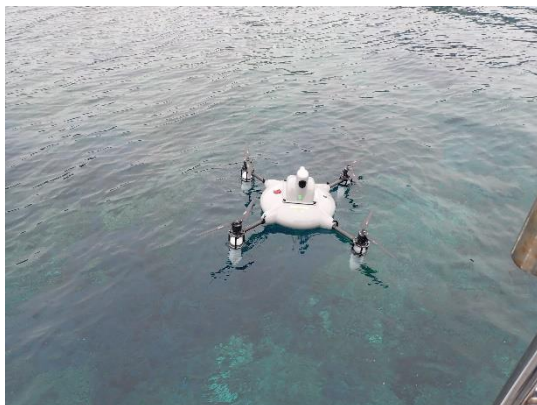
カメラ GoPro Hero7 Black (GoPro 社)	
動画画質	4K60
使用可能な記録メディア	microSD カード microSDHC カード microSDXC カード
撮影時間	47 分 (4K60 の場合)
防水性能	水深 10m



実証に使用した着水型ドローン



着水型ドローンの機体に装着された GoPro



着水型ドローン着水時の様子



実証実施状況

図 2-C3-1 崎山湾現地実証の様子

実施項目 C | ドローンの遠隔操作による動植物の個体群、群集又は群落の生息・生育状態の情報取得
 C-3 崎山湾・網取湾自然環境保全地域におけるウミシロブ群落の生育状況調査

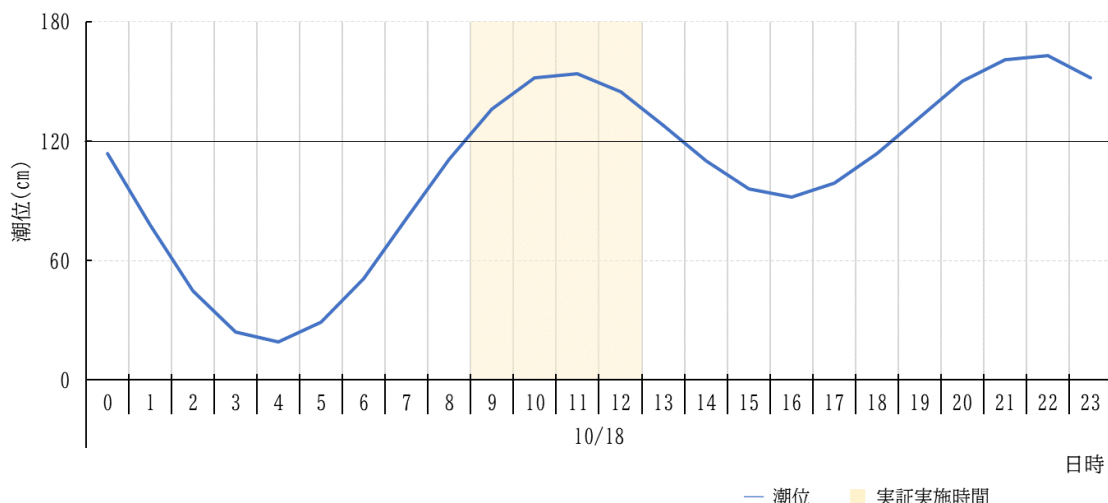


図 2-C3-2 (1) 実証当日 (10月18日) の推算潮位および実施時間帯 (気象庁、西表)

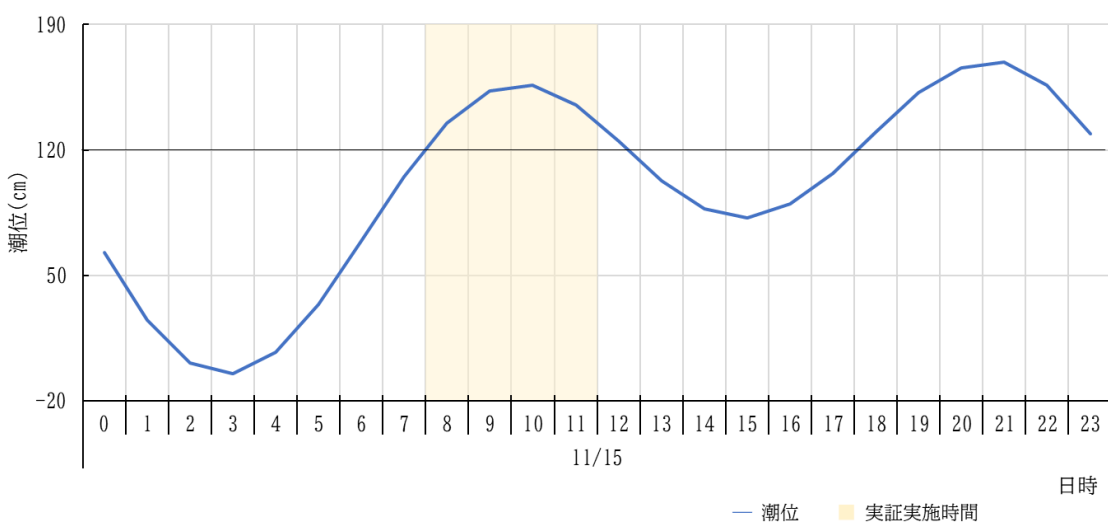


図 2-C3-3 (2) 実証当日 (11月15日) の推算潮位および実施時間帯 (気象庁、西表)

2.2 実施場所等

(1) 実証期間・実証日

実証は令和 5 年 10 月 17 日、10 月 18 日、11 月 15 日の 2 回実施した。当日のタイムスケジュールを表 2-C3-4 に示す。うち、10 月 17 日については、主に機材の動作確認としてのテスト飛行を目的とし、崎山湾到着時には潮位 120cm を下回っていたため、後述のとおり着水型ドローンの採食防止枠内への着水は実施しなかった。

前述のとおり、崎山湾内を航行できるのは潮位 120cm 以上の時間帯に限られるため、日中（午前中）に満潮となる日時を設定した。

表 2-C3-4 実証当日のタイムスケジュール

10月17日		10月18日		11月15日	
12:30	事前準備	8:45	事前準備	7:08	事前準備
13:10	実証開始	9:17	実証開始	8:04	実証開始
14:50	実証終了・ 撤収作業	11:35	実証終了・ 撤収作業	11:25	実証終了・ 撤収作業

(2) 実証場所

西表島 崎山湾（図 2-C3-4）に設置された採食防止柵周辺（図 2-C3-5）で実施した。
 なお、採食防止柵は柵の上面もワイヤーメッシュで覆った閉鎖型（A～G、I、J）と、上面にメッシュを張らない開放型（H、K）の 2 型がある。



出典：地理院タイルに調査地点を追記して掲載

図 2-C3-4 調査範囲（赤柵は採食防止柵の位置を示す）

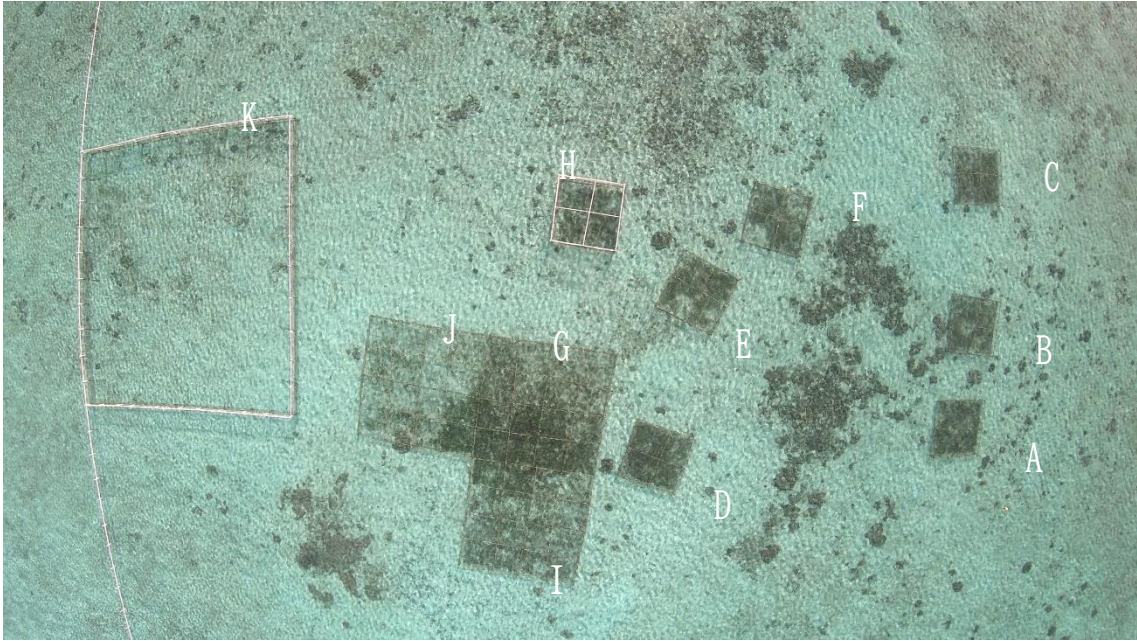


図 2-C3-5 採食防止柵の全域（高度 80m からの着水型ドローン空撮画像）

2.3 実施条件等

(1) 条件と機能

実証にあたって前提として求められていた条件と機能は表 2-C3-5 に示すとおりであり、この条件等に基づき実証を実施した。

表 2-C3-5 条件と機能

実証内容に共通な条件と機能
(1) 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること。
(2) 自然環境（特に（1） 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等））下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること。
(4) 広大な面積、複雑な地形、見通しが悪い森林や暗所、動物移動の観測など自然物の特有の状態でも取得する情報の正確性を確保することが可能なデジタル機材や情報収集方法とすること。

(2) 行政手続

【飛行申請】

本実証の対象地域は、補助者の設置など立ち入り管理措置を講じており、また航空法第 132 条に基づき飛行許可申請が必要な空域ではなく特定飛行の要件に該当しないため、航空局への飛行許可・承認申請は不要であった。

【自治体への届け出】

一方で、竹富町では、町内でのドローンを用いた飛行・撮影について、町への事前の届け出の提出を求められるため、撮影届出書を作成し、竹富町長宛に提出した。

また、当該地域を管轄する環境省 沖縄奄美自然環境事務所 西表自然保護官事務所宛に実証の実施予定について事前連絡を行った。

3 技術実証の結果

3.1 結果の評価ポイント・方法

(1) 実証結果の確認方針

1.3 (6) で概要を示した評価ポイントを踏まえて策定した実施項目 C-3 の実証の確認方針と具体的な指標等の内容を表 3-C3-1 に示すとおり整理した。下記の評価ポイントに基づいて確認した結果は、3.2(2)に後述した。

表 3-C3-1 実証結果の確認方針

評価ポイント	確認方針	指標、及びその目標値
① 網羅性の比較	<ul style="list-style-type: none"> ドローンによる空撮を行い、その取得データの撮影範囲を確認する 	(ア)想定した空撮範囲が取得したデータでカバーできているか (80%) (イ)従来の目視調査ではカバーできていない範囲まで記録できているか
② 正確性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 着水型ドローンを用いた水中画像からウミシヨウブの生育状況や食害の有無を観察する 	(イ)水中画像でウミシヨウブの生育状況や食害の有無が視認できるか
③ 継続性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 従来手法で記録・集計された調査情報を収集・整理する 	(工)従来手法で記録されている調査結果と本実証で得られた結果に大きな齟齬が認められないかどうか。大きな齟齬が見られる場合はその原因を明らかにする
④ 経済性の比較	<ul style="list-style-type: none"> ドローンによる調査に係る人件費、直接経費を計上する (A) 従来手法で実施した際の人件費、直接経費を計上する (B) 調査期間を通じた上記 A と B の差分を集計する 	(オ)従来手法と比較した場合、経費削減割合 (20%) を達成できるか
⑤ 機動性の比較	<ul style="list-style-type: none"> ドローンによる調査に係る工程・時間を記録する (A) 従来手法で実施した際に想定される工程・時間を集計する (B) 上記 A と B の差分を集計する 	(カ)ドローンによる調査に係る工程・時間は従来手法と同程度となっているか
⑥ 再現性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 調査時期、天候等による空撮画像の比較及びウミシヨウブ生育範囲把握結果を集計する 	(キ)天候、調査時期等が同様であれば、同程度の質・量の画像が取得できているか
⑦ 安全性の比較	<ul style="list-style-type: none"> ドローンによる調査に対するリスクを評価する 	(ク)ドローンによる調査に伴う第三者等へのリスクが定量化され、対策が検討されているか
⑧ 機密性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 通信における情報漏洩防止対策の実施とコストを集計する 	(ケ)継続可能なコストで十分にリスクが低減できているかどうか

(2) 実施結果の評価方法

実施結果の評価方法を、実証内容に共通な条件と機能毎に、定量的評価と定性的評価の二つの観点から、以下の表 3-C3-2 に示すとおり整理した。

下記の評価方法に基づいて評価した結果は、3.2(3)に後述した。

表 3-C3-2 実証結果の評価方法

実証内容に共通な条件と機能	評価方法
(1) 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること	(ア)最寄りのアメダスデータや現地調査時に取得した気象条件をもとに、実証期間中の気温、降水量、風速について整理して、使用機材の耐用条件を基準として検証し、実証成功時にドローン活用による業務代替可能な天候条件を評価する
(2) 自然環境（特に生物）への影響に配慮したデジタル機材や情報収集方法とすること	(イ)騒音、強い光、周囲の景観に沿わない色彩、悪臭などを発生させない機材を選定する
(3) 対象法令及び関係法令の規制に抵触せず、また公園利用に著しい支障（例えば、ドローン落下により景観や地形を損傷する、放置状態にする等）を与えないデジタル機材や情報収集方法とすること	対象外
(4) 広大な面積、複雑な地形、見通しが悪い森林や暗所、動物移動の観測など自然物の特有の状態でも取得する情報の正確性を確保することが可能なデジタル機材や情報収集方法とすること	(ウ)ドローンの撮影範囲について、計画した範囲を取得したデータで把握できるか評価する
(5) 自然環境の雰囲気（静謐、自然音、香り等）の把握に際して、人間の五感を可能な限り再現すること	対象外
(6) 取得したカメラやセンサー等での取得情報は、利用調整地区制度を管理する施設にリアルタイムで送信し表示させること	対象外
(7) 国立公園の普通地域又は自然環境保全地域の普通地区における行為届出に関し、行為地周辺の3次元立体構造データを作成して実証を行う場合、ノートパソコン向けの内蔵GPUのみでも支障なく動作し操作ができるものとする。	対象外

3.2 結果及び評価・分析

(1) 技術実証の実施結果

今回の着水型ドローンによる実証結果を表 3-C3-3 に、撮影結果の例を、図 3-C3-1、図 3-C3-2 に示す。撮影対象となる採食防止柵のタイプ（開放型・閉鎖型）ごと・GoPro の角度（0°（水平）、45°（ななめ下）、90°（真下））ごとに飛行し、10月に5飛行、11月に9飛行、計14飛行を行った。また、飛行ごとにGoProでの動画撮影を行った。

表 3-C3-3 着水型ドローンによる飛行・撮影結果

実施日	撮影対象	GoPro の角度	備考
10/17	開放型	45°（ななめ下）	テスト飛行 高度を上げて撮影防止柵の所在エリア全体の撮影を中心とした。 一方で、潮位が 120cm よりも下がっている状況であり、船舶で伝送距離範囲内の採食防止柵へ近づけず、柵周辺・柵内部での着水は不可であった。
	船舶周辺の水中写真	45°（ななめ下）	伝送距離範囲内で着水時に撮影できる水中画像の確認のためのテスト飛行
10/18	開放型 H 閉鎖型 A、C	45°（ななめ下）	飛行終了後、バッテリー交換
	開放型 K 閉鎖型 A、B、C	0°（水平）	飛行終了後、バッテリー交換
	閉鎖型 B、C 開放型 K 周辺	90°（真下）	
11/15	開放型 K	45°（ななめ下）	空撮高度 80m まで上昇 飛行終了後、バッテリー交換
	閉鎖型 G、E、A 開放型 H		
	開放型 H 閉鎖型 E、B、A		飛行終了後、バッテリー交換
	開放型 K 周辺	90°（真下）	空撮高度 80m まで上昇
	閉鎖型 G、J、E、A		飛行終了後、バッテリー交換
	開放型 K	0°（水平）	

	開放型 H 閉鎖型 G、I、J、E、 A、B 対象枠 周辺		飛行終了後、バッテリー交換
	閉鎖型 G、I、J、A 周辺	45°（ななめ下）	



10/18 開放型 0°



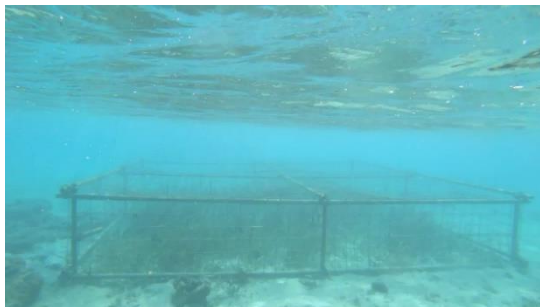
10/18 開放型 45°



10/18 開放型 90°



10/18 開放型（空撮）



10/18 閉鎖型 0°



10/18 閉鎖型 45°



10/18 閉鎖型 90°



10/18 閉鎖型（空撮）

図 3-C3-1 撮影画像の例（動画から切り出し）10月18日

実施項目 C | ドローンの遠隔操作による動植物の個体群、群集又は群落の生息・生育状態の情報取得
C-3 崎山湾・網取湾自然環境保全地域におけるウミシユブ群落の生育状況調査



11/15 開放型 0°



11/15 開放型 45°



11/15 開放型 90°



11/15 開放型 (空撮)



11/15 閉鎖型 0°



11/15 閉鎖型 45°



11/15 閉鎖型 90°



11/15 閉鎖型 (空撮)

図 3-C3-2 撮影画像の例 (動画から切り出し) 11月15日

(2) 実証内容の確認結果

3.1(1)で示した指標、及びその目標値に沿って結果を記載する。

(ア) 想定した空撮範囲が取得したデータでカバーできているか (目標値：80%)

空撮範囲については当初の想定から変更が加えられたものの、現在設置されている採食防止柵全体の空撮画像を取得できた (100%) ため、評価指標を達成した。

当初は、崎山湾・網取湾自然環境保全地域全域を空撮し、ウミシヨウブ群落らしき箇所を確認できた場合その場所にピンポイントで着水することを想定していた。しかし、西表島で自然保護の取組を行っている団体 Island Ecosystem Research への事前聞き取りにより、当該地域の健全なウミシヨウブ群落は採食防止柵内に限定されていることが明らかとなったため、空撮範囲は現在設置されている採食防止柵全体が写る範囲に変更した。

(イ) 従来の目視調査ではカバーできていない範囲まで記録できているか。

本実証で使用した着水型ドローンでカバーできる撮影範囲は、従来の目視調査よりも狭く、当初設定した評価指標は達成できなかった。

本実証で使用したドローンは水面に着水する仕様であり、水中に潜行することは不可能であるため、水平画角で撮影可能な映像は水面付近に限られる。一方、従来手法では保護柵内の様子を水平方向で撮影するため、調査員が海底付近まで潜水している。

従来手法と同様に、海底付近から保護柵の水平画像を取得するには水中ドローンを用いる必要がある。

本実証にあたり、水中ドローンと着水型ドローンを合体させた水空合体ドローンの使用を当初検討したが、当該機体は表 3-C3-4 のとおり、かなり大型であり、4 m ほどの平らな離着陸箇所を要することから、周辺に広く平らな陸地が存在しない崎山湾では使用が困難と想定されたため、本ドローンの使用は見送られた。今後、崎山湾のような環境下でも水空合体ドローンの飛行が実用化できれば、水中への潜水し海底付近の映像も撮影可能であるため、従来の目視調査と同程度の範囲が撮影可能になると考えられる。

表 3-C3-4 使用を想定していた水空合体ドローンの仕様

全長	1639.2mm
全高	754.68mm
重量	26kg (飛行重量)
プロペラ直径	30inch
防水機能	IP55 相当
耐風性能	5m/sec
飛行時間	約 28 分 (水中ドローン無) 約 20 分 (水中ドローン有)
飛行速度	40km/h (巡行)

(ウ) 水中画像でウミシヨウブの生育状況や食害の有無が視認できるか

水中画像でウミシヨウブの生育状況や食害の有無が視認することができ、当初設定した評価指標を達成した。

本実証で撮影した水中動画では、枠内にはウミシヨウブが繁茂している一方、枠外にはほとんど生えておらず、生えている箇所でも長さ 2-3cm 程度の株が疎らに見られる程度であった。これらの葉先は横に切られたような状態であったことから、アオウミガメによる食痕であると考えられた。

また、鮮明な水中画像を得ることができたことから、崎山湾では今後、採食防止枠の点検にも活用できる可能性がある。



採食防止枠（E）内外の
ウミシヨウブ生育状況



枠外で食害を受けたウミシヨウブの株
（赤丸で囲んだ部分）

図 3-C3-3 ウミシヨウブの生育状況













(工) 従来手法で記録されている調査結果と本実証で得られた結果に大きな齟齬が認められないかどうか。大きな齟齬が見られる場合はその原因を明らかにする

本実証では従来手法と同様に、枠内のウミショウブの生育状況（明らかに減少しておらず、繁茂状況は良好である）を撮影画像から視覚的に確認することができ、従来手法と大きな齟齬は認められなかったことから評価指標を達成した。

今回の着水型ドローンによる撮影結果と、従来手法との対比を行っており、その様子を表 3-C3-5 に示す。

令和 3 年度までは保護枠内のウミショウブについて葉長の計測が実施されていたが、令和 4 年度以降は目視によりウミショウブの生育状況に大きな変化がないかについての確認が行われている。

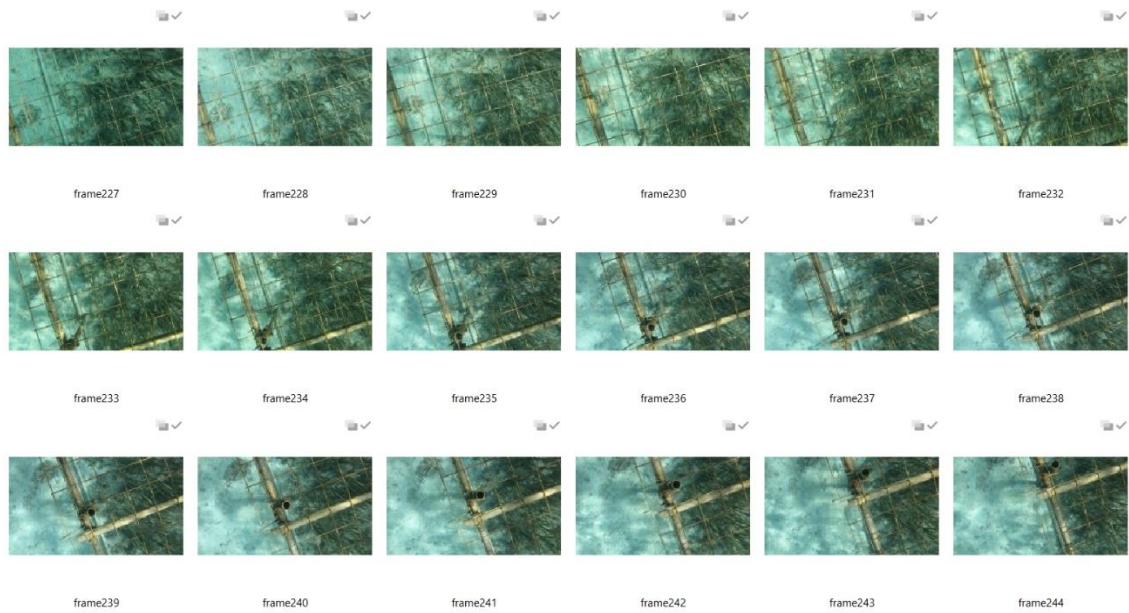
表 3-C3-5 従来手法の記録と本実証結果の対比

\ 枠名		R1 設置採食防止枠 閉鎖枠 A	R2 設置採食防止枠 閉鎖枠 G	R4 設置採食防止枠 開放枠 K
従 来 手 法	R 3	葉長：45cm 程度	葉長：40cm 程度	—
	R 4			
		繁茂している	徐々に伸びている	葉は非常に短い
本 実 証	R 5			
				
				
		繁茂している	繁茂している	僅かに伸びている

なお、本実証の調査対象ではこのケースは存在しなかったが、他の枠に囲われている等、上からの撮影しかできない場合には葉長は把握しにくい。この場合には、上からの撮影結果を 3 次元化して葉を視覚化する方法がある。11 月の調査で撮影した動画のうち、水面から真下を向け撮影した保護枠 A の動画を用いた例を図 3-C3-4～図 3-C3-6 に示す。真上からだけの動画でも、3 次元化することによってウミショウブの葉の高さを表現することができた。

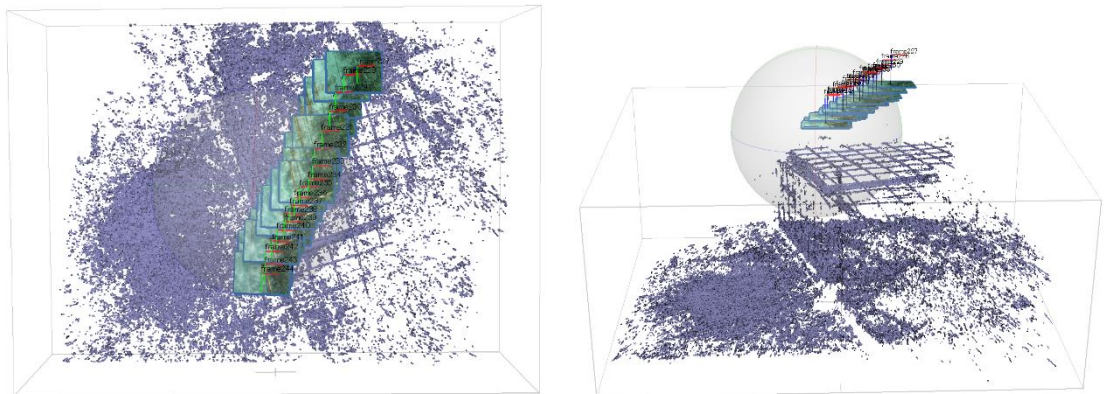
実施項目 C | ドローンの遠隔操作による動植物の個体群、群集又は群落の生息・生育状態の情報取得

C-3 崎山湾・網取湾自然環境保全地域におけるウミシオウブ群落の生育状況調査



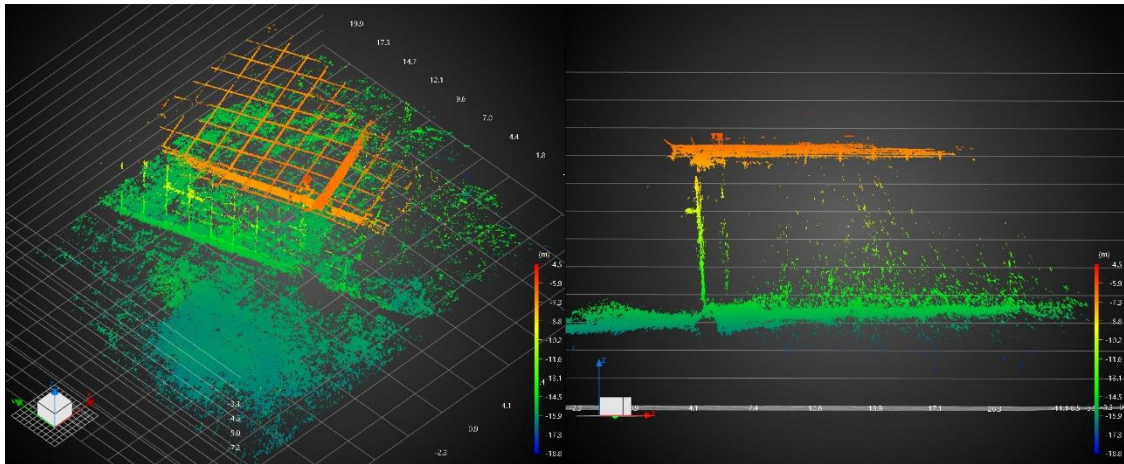
30fps の動画から 1 秒ごとに切り出した画像（3840×2160）18 枚を使用し、Metashape Professional 2.0.3（Agisoft 社）で SfM 処理を実行。

図 3-C3-4 3次元化に用いた画像（動画から切り出し）



Metashape Professional 2.0.3（Agisoft 社）の画面。カメラ位置と向きの推定結果。
左画像：真上からの表示 右画像：ななめからの表示

図 3-C3-5 3次元化作業



点群データを TREND-POINT v.10（福井コンピュータ社）で表示。高さにより色付けしている。左画像：ななめからの表示 右画像：真横からの表示 ウミショウブの高さをみる事ができている。なお、標高の数値スケールは任意の値であり、数値化するにはメッシュサイズ（15cm）との比例を用いる必要がある。

図 3-C3-6 3次元化結果（点群データ）

(オ) 従来手法と比較した場合、経費削減割合（目標値：20%）を達成できるか。

デジタル手法での調査に係る経費は 361,750 円と算出され、従来手法の 381,600 円より経費削減割合は約 5%となり、目標値である 20%を満たさなかった。そのため、本評価指標を達成できなかった。

デジタル手法での調査に係った人件費、直接経費及び、本実証内容を従来手法で実施した場合の人件費、直接経費の想定を表 3-C3-6 に示す。なお、算出は崎山湾に到着後の作業分について行った。

算出の結果、デジタル手法での調査に係る経費は 361,750 円と算出され、従来手法の 381,600 円より経費削減割合は、約 5%となり、目標値である 20%を満たさなかった。本実証はあらかじめ決まった特定の場所（保護枠）を対象とした作業のみを対象としており、ある程度地形や周辺の地理的状況がわかっているため、危険性や対象物の位置や状況が把握されている状態であった。周辺の地理的情報が不足した状態で広域な海域から対象物を探索する等の状況においては、従来手法での調査ではどのエリアをどの程度潜水するかといった調査の設計を、労力や安全面の懸念を総合して検討する必要があるほか、調査日数も多くなるため、それに伴い人件費も増すこととなる。そのような状況では、デジタル手法での調査の方が効率よくかつ機動的に調査を実施できるため、従来手法に比べデジタル手法の方が、コスト面での優位性がより強くなると考えられる。

実施項目 C | ドローンの遠隔操作による動植物の個体群、群集又は群落の生息・生育状態の情報取得

C-3 崎山湾・網取湾自然環境保全地域におけるウミシヨブ群落の生育状況調査

表 3-C3-6 調査に係る経費算出の比較

年間あたり(調査1回を想定)

手法	項目	数量	単位	単価	計	摘要	
実証手法 (着水型ドローン による撮影)	直接人件費	準備	2	人日	45,300	90,600	計画・飛行申請・関係機関調整等
		現地調査(補助者)	0.5	人日	45,300	22,650	1人×0.5日
		現地調査(フライヤー)	0.5	人日	100,000	50,000	1人×0.5日
		結果整理	2	人日	45,300	90,600	動画内容確認・各枠のウミシヨブ 繁茂状況を記録
	計					253,850	AIによるカウント
	直接経費	備船費	1	隻日	50,000	50,000	
		着水ドローンレンタル	3	日	19,300	57,900	1ヶ月レンタル費用595,000円から 算出
		計					107,900
	計					361,750	従来手法との差額 -19,850円
	従来手法 (ダイバーによる 撮影)	直接人件費	準備	2	人日	45,300	90,600
現地調査(ダイバー)			3	人日	46,800	140,400	2人×1.5日
結果整理			2	人日	45,300	90,600	撮影写真整理
計					321,600		
直接経費		備船費	1	隻日	50,000	50,000	
		潜水機材	1	式日	10,000	10,000	
計					60,000		
計					381,600		

※人件費単価は令和5年度設計業務委託等技術者単価のうち技師(B)を参照した。

※潜水士単価は令和5年度公共工事設計労務単のうちの沖縄県の潜水士単価を参照した。

(カ) ドローンによる調査に係る工程・時間は従来手法と同程度となっているか

ドローンによる調査に係る工程・時間は、従来手法では 1.5 日程度の所要時間となるところ、デジタル手法では 3 時間程度となるため、従来手法よりも大幅に縮小されるものと考えられた。

本実証で使用した機体の最長飛行時間は 20 分であるが、バッテリーの残量も加味して 1 回辺りの飛行時間は 15 分以内とするのが望ましい。1 枠あたりの撮影時間は 1-2 分程度、枠間の移動は最大 1 分程度であったため、1 回の飛行で最大 4~5 個程度の枠が撮影可能である。

したがって、9 箇所 11 個すべての保護枠を撮影しようとした場合、合計 2 回飛行させる必要があり、さらにカメラの画角を 0° (水平)、45° (ななめ下)、90° (真下) の 3 パターンとした場合には、計 6 回の飛行が必要となる。

1 回の飛行を 15 分、飛行映像の確認、カメラの画角変更・バッテリー交換等の作業を 15 分の計 30 分と見積もった場合、計 6 回の飛行には 3 時間 (半日) 程度かかる計算となる。なお、日中に崎山湾内を船舶で安全に航行可能な潮位 120cm 以上である時間はその日の潮の状況にも左右されるが、実証を実施した 10-11 月頃であれば 4 時間程度、6-8 月頃であれば 6-7 時間程度を日中の明るい時間帯に確保することができる。いずれにしても、着水型ドローンによる撮影作業は時間内に十分終わることが可能である。

従来手法では、潜水士による潜水作業を 2 名体制で実施し、1 日あたり最大で 7 個の保護枠を調査しているため、11 個すべてを調査する場合の合計作業時間は 1.5 日程度である。

特に採食防止柵間の移動に要する時間は、潜水士が泳いで移動する時間よりも短いため調査時間を短縮することができる。今後、ウミシヨウブ藻場の回復に向けて採食防止柵の大型化・新規増設などの実施が想定されるが、柵の規模が大きくなるほどモニタリング調査に要する時間の大幅な短縮につながると考えられる。

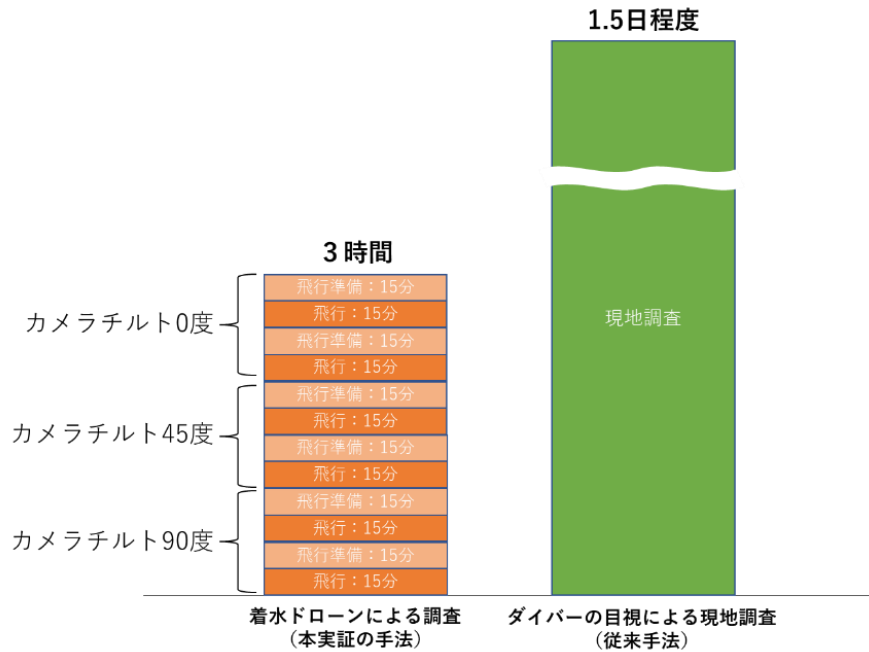


図 3-C3-7 着水ドローンによる調査と従来手法の工数の比較

(キ) 天候、調査時期等が同様であれば、同程度の質・量の画像が取得できているか
本実施項目で取得した画像は、従来手法と比較しても同程度であったことから、当初設定した評価指標を達成した。

実証時は水の濁り等は見られなかったが、既存調査では崎山湾内が濁る海況であれば、潜水目視による調査は濁りが解消されるまで実施不可能である。また、崎山湾へは白浜港より船舶での移動になるが、外洋が荒れた状況であればそもそも崎山湾への移動も不可能であり、天候、調査時期による画像の質・量に差は生じないものと考えられる。

(ク) ドローンによる調査に伴う第三者等へのリスクが定量化され、対策が検討されているか
本実施項目では、第三者などへのリスクが定量化されており、対策が検討されたうえで実施されたため、評価指標を達成できた。

本実施項目でのドローン調査は航空法や関連法令・規制に準拠している運行を行っている。これらの関連法令では、第三者への損害などのリスクを精査したうえで、そのリスクレベルが定量化されており、各レベルに合わせて適切な飛行条件が設けられている。本実施項目における飛行では、周辺に集落や第三者の通行の可能性も少ない空域での飛行であるため、安全レベルの高い「カテゴリー I 飛行」の条件で飛行となった。さらに安全を期すため、それだけではなく機体や機体周辺を監視する人員の配置や、周辺をほかの船舶が通行する場合には、実証を一時中止するなどの対策を実施した。

(ケ) 継続可能なコストで十分にリスクが低減できているかどうか

本実施項目では、情報セキュリティについて継続可能なコストでリスクが低減されていることを確認できたため、評価指標を達成できた。

本実施項目で使用したドローン機体は、インターネットに接続せずにプロポへの無線通信を介して、タブレットへ映像伝送を行う。そのため、実証実施中は外部からの攻撃リスクは低減されている状態である。また、実証後は取得したデータは SD カードから、データを一般的なセキュリティ対策を施した PC へ取り込み、関係者のみにアクセス制御を施されたファイル共有クラウドストレージサービスである Box (Box 社) へアップロードを行い、関係者とデータの共有を行った。

Box は、法人向けの Business プランでの使用の場合、1 ユーザー月 1,881 円 (令和 6 年 1 月現在) から使用可能であり、標準でデータ損失防止 (DLP Data Loss Protection) 機能が備えられているほか、Box でのファイル管理にあたっては、使用者側でアクセス権限を管理し、データのアクセスログを確認可能な状態とすることで、継続可能なコストで十分にリスク低減が可能であると考えられる。

(3) 評価方法に対する評価結果

3.1(2)で示した評価方法に沿って結果を記載する。

(ア) 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること

いずれの実証日も天候は安定しており、ドローンの操作に支障をきたすことはなかったため、厳しい環境下での操作感度を把握することはできなかった。

実証時の天候条件については、以下の表 3-C3-7 のとおりである。風速は、崎山湾採食防止柵周辺にて、ドローン操縦者が乗船する船舶上よりデジタル風速計（Proster 社製、TL0017）を用いて、ドローンの飛行前に測定を行った。

表 3-C3-7 西表の実証時の気候条件（）

実証時期	天候	平均風速 (m/s)	気温
10 月実証	曇り	0	27.0℃
11 月実証	晴れ	0	24.2℃

参照：天候、気温は気象庁 沖縄県西表島のデータ。

風速は船上でデジタル風速計を用いて測定。

一方で、前述のとおり、本実施項目にて使用した機材では各製造者より以下に示す条件までであれば、対応が可能と公表されている。

表 3-C3-8 ドローンの耐性性能（再掲）

ドローン PD4-AW-AQ (PRODRONE 社)	
最長飛行時間	20 分（飛行環境、飛行方法により変動）
法的飛行可能高度	150m
電波到達距離	プロポ操縦：1 km 映像伝送：1 km データ伝送：5 km LTE:LTE 基地局圏内
防塵防水性能	IP55
最高速度	70km/h
飛行可能風速	15m/s（飛行環境、飛行方法により変動）
バッテリー	10,000mAh×1
通信仕様	プロポ操縦：2.4GHz データ伝送：920 MHz LTE オプション対応可

表 3-C3-9 カメラの防水性能（再掲）

カメラ GoPro Hero7 Black (GoPro 社)	
防水性能	水深 10m

また、令和 5 年 10 月 15 日の実証では、西表島全島において、電話通信回線が半日ほど使用できなくなる障害が偶然発生した状態での実証となったが、着水型ドローンのテスト飛行・操作・映像の伝送や取得自体は問題なく実施することができたため、一定の通信環境制限下においても調査を行えることが示された。

なお、崎山湾へは、白浜港から船舶を航行してアクセスする必要があり、恒常的に風速 15m/s の風が吹く状況下では外洋の波が高く、そもそも崎山湾へのアクセスが不可能である。

(イ) 自然環境（特に生物）への影響に配慮したデジタル機材や情報収集方法とすること
一部の種で着水型ドローンに対する忌避的な行動が映像では確認された程度であり、明らかな自然環境（生物）への影響はみられなかった。

本実証にて使用した機材は、元来漁場管理やサンゴ礁の生育観察などの用途で用いられており、自然環境下での業務を目的に作られている機材である。また、機体の色彩に関しても蛍光色などではなく落ち着いたグレーをベースにしているため、周囲の景観を大幅に損ねたり刺激したりすることは少ないと考えられる。

実際、着水後の水中映像では、種同定が可能なレベルで魚類も撮影することができた。例を図 3-C3-8 図 3-C3-8 に示す。また、本実証において、ウミガメのドローンに対する忌避行動は確認されなかった。鳥類については、採食防止柵に止まるサギ類がドローンの接近に伴い、飛び立つ行動が 1 例確認されたが、従来手法で潜水土が接近した場合も同様の行動を示すと考えられることから、ドローンによる明らかな自然環境への影響とは言い難いと考えられる。



アオヤガラ



マトフエフキ

図 3-C3-8 (1) ドローンで撮影された魚類



モンツキアカヒメジ



ミツボシクロスズメダイ、クマノミ



オジロスズメダイ



カマスベラ



サラサハゼ



ツバメウオ属

図 3-C3-9 (2) ドローンで撮影された魚類

(ウ) 広大な面積、複雑な地形、見通しが悪い森林や暗所、動物移動の観測など自然物の特有の状態でも取得する情報の正確性を確保することが可能なデジタル機材や情報収集方法とすること

本実施項目の対象地のような周辺に離着陸に使用できる平らな陸地が存在しない状況であっても、湾内の生物の生息状況を取得することが可能となる機材を選定した。

本実施項目の対象地は、陸地から離れた場所に生息する藻場が対象となる。ドローンの離着陸においては、機体の大きさに対応した一定程度の広さのある平行な地面から離着陸することが求められることが多いが、今回使用した着水型ドローンは一定程度の波の状態であれば水面上にドローンを浮かべ、水面からドローンを飛行させることが可能となる。

本実施項目では、高度を 80m ほど上げて空撮することで採食防止枠域のエリア周辺の様子をリアルタイムで確認することができたほか、着水し採食防止枠の水中映像を撮影することができ、枠内のウミシヨウブ群落の様子が判る画像が取得できた。

また、離着水し飛行移動することが容易であるため、飛行可能時間内であれば、1回の飛行で複数の採食防止柵を移動し、内部や周囲を撮影することができた。

(4) まとめと今後の展望

今回の実施項目の調査により、崎山湾ウミシオウブ採食防止柵周辺の観察・記録は、着水型ドローンの遠隔操作によって従来手法と同等の成果を得ることができ、工数の観点からは省力化が図れることが明らかとなったが、経費の観点からは大幅な省力化は見込めなかったため、積極的な活用を推進するまでには至らなかった。崎山湾のウミシオウブを対象とする調査では、今後、採食防止柵を拡大し従来手法（潜水士による調査）の必要日数が増加した場合や、ウミガメによるウミシオウブの採食圧が低下し湾内でのウミシオウブ群落が採食防止柵外にも拡大した場合に、本実証（着水型ドローンによる調査）の優位性が発揮されるものと考えられる。

一方、崎山湾以外について考えると、ウミシオウブのような海草藻場は、汽水域～海域の浅所で、波の穏やかな場所に生育している。このため、岩礁性藻場よりも着水型ドローンでの調査に適していると考えられる。本実証地は近傍に離着陸可能な陸地がなく、陸路もないことから船舶での移動を伴ったが、他の多くの海草藻場では離着陸箇所が確保できる場所も少なくないと考えられ、その場合にはさらに簡便に調査でき、着水型ドローンによる海草藻場の状況調査は有効に機能するものと考えられる。

また、実際の活用においてはバッテリーの交換場所・時間や輸送についても考慮する必要がある。

本実証においては実証地周辺の風波が非常に穏やかであったため船の上で作業することができたが、風波が強い場合は、このような作業を行う場所について安定した場所の陸地の目星をつけておくといいかと考えられる。また、1つのバッテリーでの飛行時間は30分程度が限界であるため、実際に活用する際はその旨も考慮し、計画を立てることでより実用的な活用につながるのではないかと考えられる。

4 用語集

用語	定義・解説
ウミシオウブ	トチカガミ科の海草の一種で、熱帯から亜熱帯にかけて分布する。日本国内では石垣島と西表島で見られるが、アオウミガメによる食害が深刻な問題となっている。

2 実施項目 D の詳細

2.1 技術実証の方法

(1) 実証内容の概要

(ア) 目的

本実施項目では、実施項目 B「ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得」及び実施項目 C「ドローンの遠隔操作による動植物の個体群、群集又は群落の生息・生育状態の情報取得」において取得した情報を基にした状況変化の自動検出について、実施項目 B 及び C で得られた成果を踏まえ、その実現手法と実現にあたっての課題について検討した。

実施項目 B 及び実施項目 C で実施した内容ごとに、実施項目 D として実施した内容を表 2-D-1 に示す。

表 2-D-1 実施項目 D の実施内容

項目	実施内容
実施項目 B-1) au 人口動態データを用いた利用者数の把握	KLA (KDDI Location Analyzer) を用いて任意の解析対象期間を選択し、自動集計を実施した。
実施項目 B-2) トレイルカメラ+AI による利用者数の把握	トレイルカメラで取得した画像から AI を用いて利用者数を推計し、グラフ化するまでを自動化する手順と実施上の課題を整理した。
実施項目 B-3) 定期的なドローン空撮による駐車台数の把握	ドローン撮影画像から AI を用いて駐車台数を推計し、グラフ化するまでを自動化する手順と実施上の課題を整理した。
実施項目 C-1) ドローン+AI による水鳥調査 (厚岸湖)	ドローン撮影画像から AI を用いてオオハクチョウの数をカウントし、検出結果を表にするまでを自動化する手順と実施上の課題を整理した。
実施項目 C-2) ドローン+マルチスペクトルカメラによる海浜植物群落のモニタリング	ドローン撮影画像から植生活性度を求め、メッシュ化する過程を自動化する手順及び差分の抽出方法について、実施上の課題を整理した。

(イ) 対象業務 (法令)

自然環境保全法第28条、第31条、第47条に係る実地調査

自然公園法第33条、第62条、第76条及び、自然公園法施行規則第13条の5に係る実地調査

2.2 実施場所等

本項目は実施項目 B 及び実施項目 C での実施内容の成果をベースとしており、実施場所については、実施項目 B 及び C での記載内容と同様となる。

2.3 実施条件等

本項目は実施項目 B 及び実施項目 C での実施内容の成果をベースとしており、実施条件等については、実施項目 B 及び C での記載内容と同様となる。

3 技術実証の結果

3.1 結果の評価ポイント・方法

本実施項目は実施項目 B 及び実施項目 C での実施内容の成果をベースとしており、それぞれの項目における確認方針や評価方法については、実施項目 B 及び C の章にて記載している。

実施項目 C における評価にあたっては、状況変化の自動検出にむけて想定される手順についてフロー等を用いて整理し、各手順における調査・解析手法、課題等について、各実施項目で得られた調査結果や評価結果をもとに整理した。

3.2 結果及び評価・分析

(1) 実施項目 B-1) au 人口動態データを用いた利用者数の把握

(ア) 1 日あたり、時間帯あたりの利用人数を属性別（年齢や性別等）に集計し、過去データからの変化をグラフ化

実施項目 B にて示したように、KLA では、対象エリアと解析したい条件を選択するだけで、自動的に来訪者数の推定データの集計・結果のグラフ化を行い、来訪者について、性別や年代などの属性別にその構成割合や利用傾向の推定結果を Web サービス画面上で把握することができる（図3-D-1）。また、対象エリアの近辺で実施する必要はなく、インターネット接続がある場所であればどこからでもアクセス可能である。

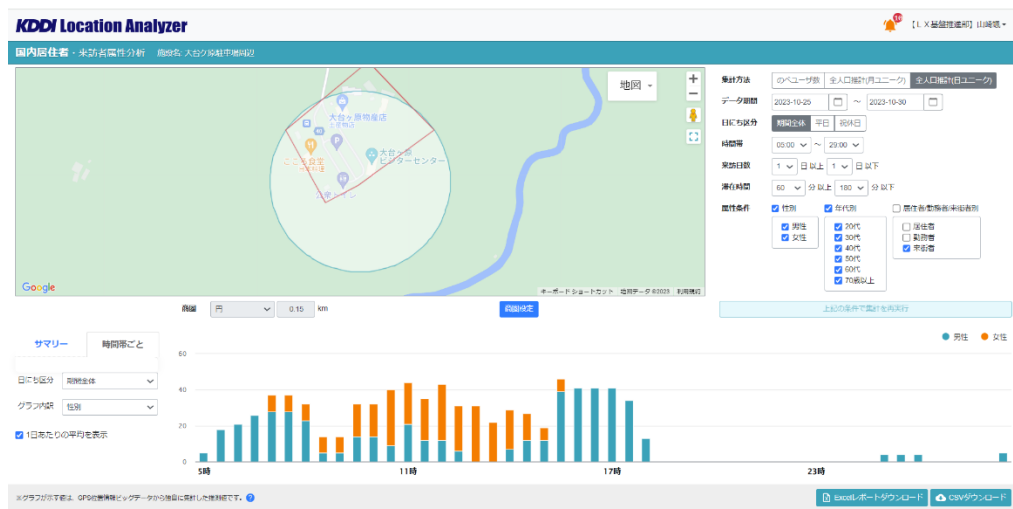


図 3-D-1 KLA での利用者傾向集計結果画面

また、Web 画面下部にある「Excel レポートダウンロード」をクリックすることで、対象期間の解析データ 1 日当たりの平均や属性別分析結果などの集計レポートを自動作成し、出力可能である（図 3-D-2、図 3-D-3）。



図 3-D-2 集計結果から自動で作成された Excel レポート (年代×性別)

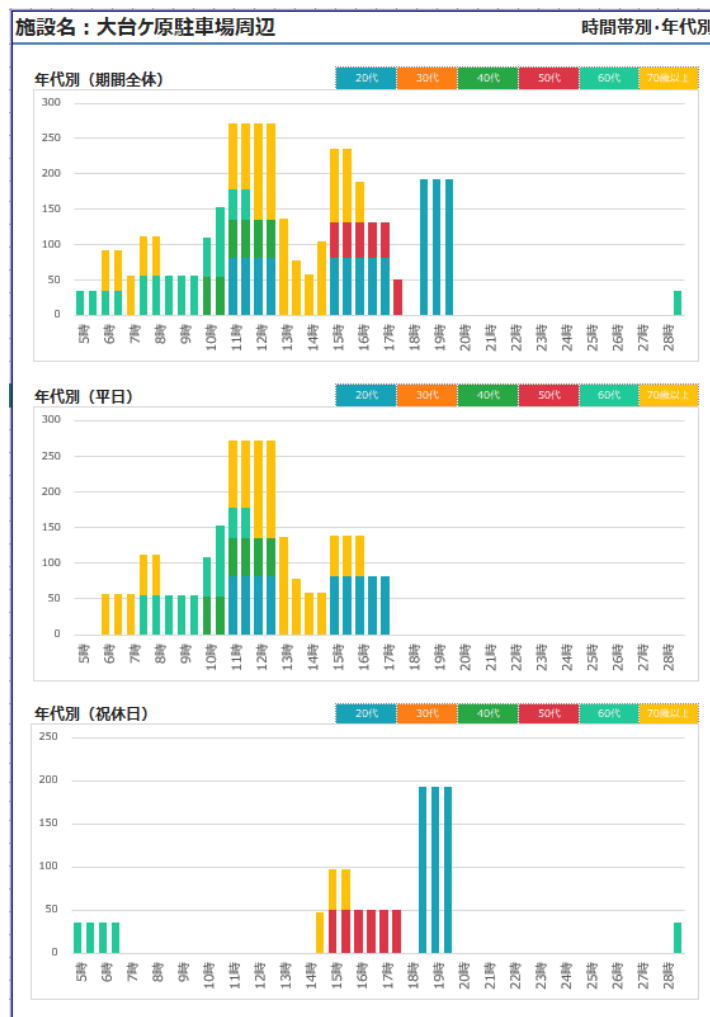


図 3-D-3 集計結果から自動で作成された Excel レポート上で自動作成されたグラフ (全期間平均・平日平均・祝休日平均について各時間帯別の利用者数とその年代構成)

このように、KLA 画面上や、KLA から出力されたデータを用いて、1日あたり、時間帯あたりの利用人数を属性別（年齢や性別等）に集計し、過去データからの変化をグラフ化しその変化を確認することが可能である。

(イ) 時期ごとの利用人数、各時期の利用ピーク日を集計し、過去データからの変化をグラフ化

① 時期ごとの利用人数の集計

KLA では、画面操作にてデータ期間を最大1年間まで選択し、集計・解析が可能である。

今回の対象となる大台ヶ原では大まかに各季節の時期について

- ・冬季閉鎖シーズン（12月～翌年4月月初）
- ・登山シーズン（4月～9月）
- ・紅葉シーズン（10月～11月上旬）
- ・紅葉後シーズン（11月中旬～11月末）

の4つのシーズンに分類される。この分類にのっとり、令和4年12月1日～令和5年11月30日までの期間を選択し KLA での解析を行った。

冬季閉鎖シーズンについては、周辺への立ち入りは極めて少ないため KLA での測定結果でも来訪者は0人の結果となった（図3-D-4）。

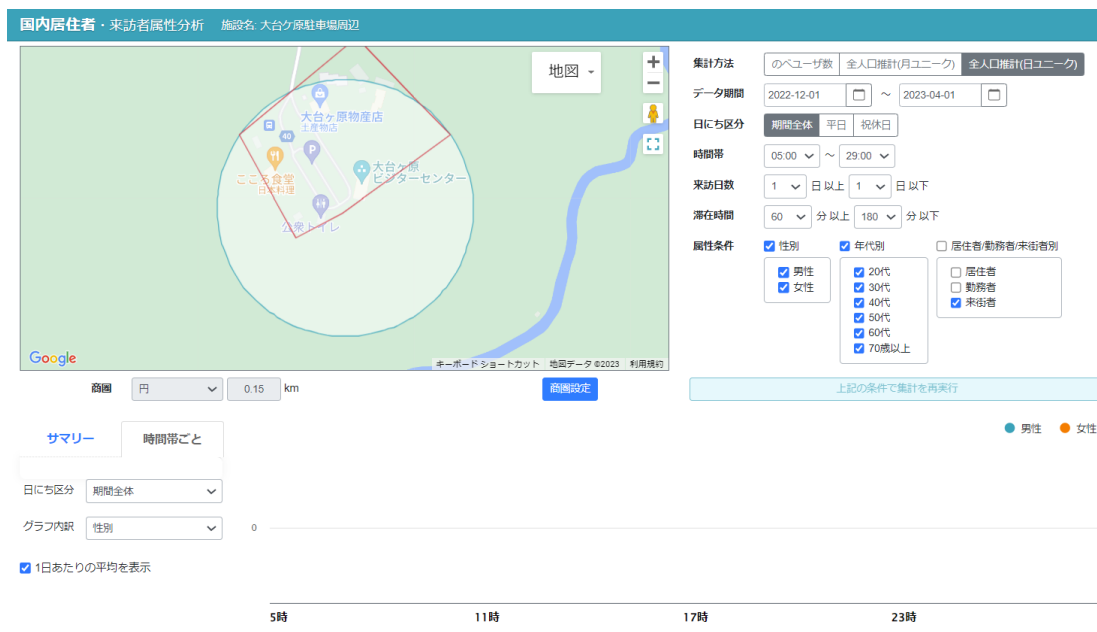


図 3-D-4 冬季閉鎖シーズンの解析結果

登山シーズンについては、来訪者の数は多くはないものの男女別での来訪者数結果が以下のように可視化され、おおむねピークは昼過ぎ頃となることが確認できるほか深夜～早朝にかけてもやや来訪者があることが示唆された（図3-D-5）。深夜帯の来訪者に関しては、大台ヶ原周辺では、天体観測などの目的で夜間に大台ヶ原を訪れる人もいる旨を大台ヶ原の現地担当者からもヒアリングで情報を得ており、そのような来訪者のデータを捕捉した結果と考えられる。

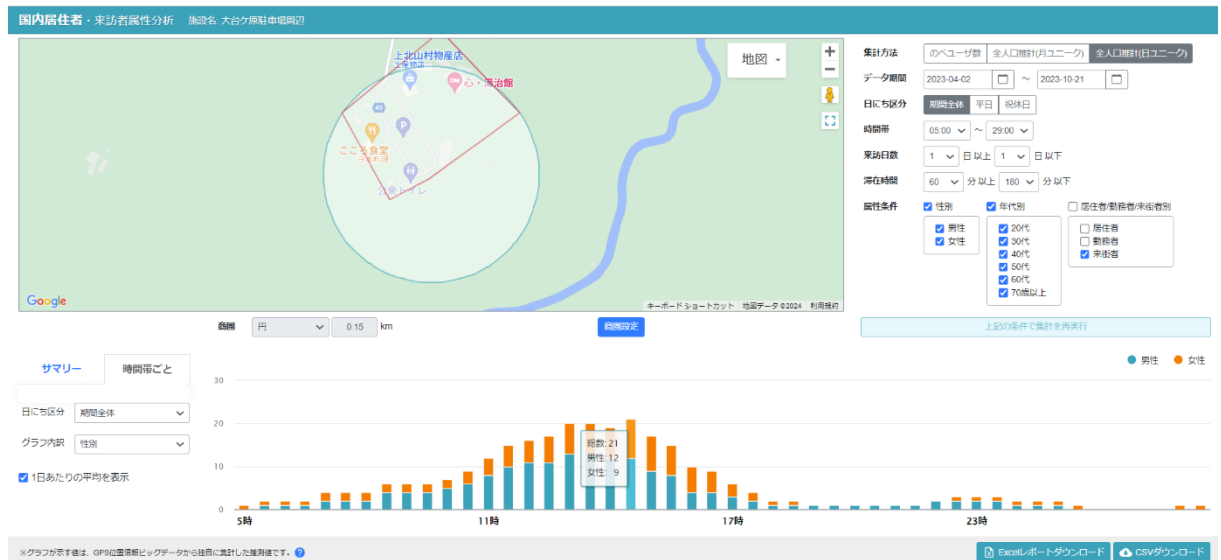


図 3-D-5 登山シーズンの解析結果

一番来訪者数が多いと想定される紅葉シーズンの解析結果では、通常の登山シーズンよりも多くの来訪者がある結果が示された（図3-D-6）。また、大台ヶ原での紅葉の見ごろが過ぎた紅葉後シーズンの解析結果では、若干の来訪者数が確認されたが、冷え込みも厳しくなる時期であるため、登山シーズン、紅葉シーズンのいずれよりも想定来訪者数が少ない結果となっている（図3-D-7）。

上記のように、KLA でのデータ解析で一定の期間ごとに来訪者数の傾向を把握することができると考えられる。

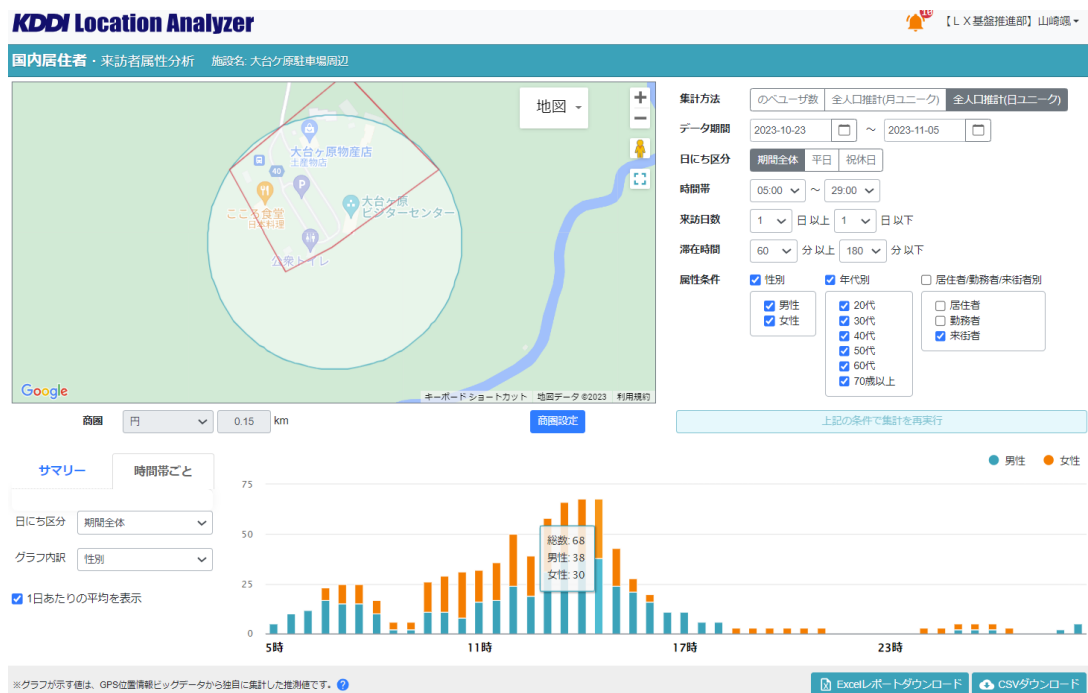


図 3-D-6 紅葉シーズンの解析結果

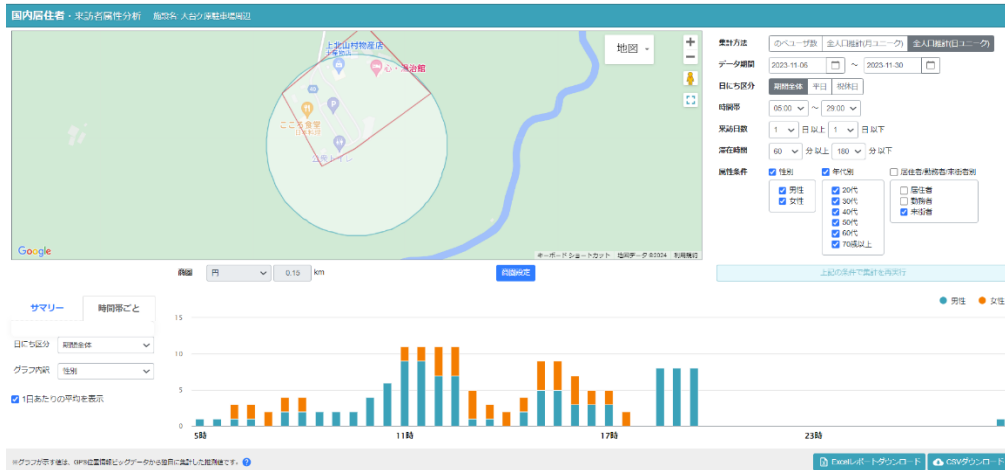


図 3-D-7 紅葉後シーズンの解析結果

② 各シーズンの利用者ピークのグラフ化

KLA で出力できる内容については、対象期間を平均した結果となるため、どの日付がピークとなるかを自動で出力することはできなかった。一方で上述のとおり、対象とする期間を区切って利用者数の想定ができるため、上記のように解析したい期間をいくつか分け、その結果を集計することで、紅葉時期に一番利用者数が多くなるなどの傾向を確認することは可能である。

③ 各シーズンの利用者数の変化のグラフ化

KLA のみでは、現状対象期間中のデータのみしか画面上で表示できず、ある期間と別の期間の集計結果を比較するなどといった機能は提供されていない。しかし、上述のとおり KLA では解析対象期間のデータについて Excel 形式でデータシートを出力することが可能である（図 3-D-8）。データシートは、フォーマットが定型化されているため、Excel VBA を用いて、比較したい期間ごとに KLA での集計結果を出力し、Excel のデータシートから任意のセルの値を取得し、期間ごとの値の変化をグラフ化させるプログラムやマクロを組むことによって、各シーズンの利用者数の変化をグラフ化させることも可能である（図 3-D-9）。

施設名	緯度	経度	集計方法	データ期間開始	データ期間終了	日(この区分)	時間帯	来訪日数	滞在時間	性別	年代別	居住者/勤務者	商圏タイプ	商圏値	
大台ヶ原駐車場周辺	34.17989284	136.0977567	全人口推計値	2023/11/6	2023/11/30	期間全体	05:00~29:00	1日以上1日以下	60分以上180分以下	男性 女性	20代 30代 40代	来街者	円	0	
年代別	男性	女性	平均男性	平均女性											
20代	274	0	11	0											
30代	0	0	0	0											
40代	54	0	2	0											
50代	0	50	0	2											
60代	133	0	5	0											
70歳以上	118	158	5	6											
サマリー	男性	女性	20代	30代	40代	50代	60代	70歳以上	居住者	勤務者	来街者	平均男性	平均女性	平均20代	
期間全体	581	208	274	0	54	50	133	278	0	0	790	23	8	11	
平日	306	158	81	0	54	0	98	229	0	0	464	17	9	4	
祝休日	275	50	193	0	0	50	35	47	0	0	326	38	7	28	
時間別	期間全体	男性	女性	20代	30代	40代	50代	60代	70歳以上	居住者	勤務者	来街者	平均男性	平均女性	平均20代
5時	35	0	0	0	0	0	0	35	0	0	35	1	0	0	
5時半	35	0	0	0	0	0	0	35	0	0	35	1	0	0	
6時	35	56	0	0	0	0	0	35	56	0	91	1	2	0	
6時半	35	56	0	0	0	0	0	35	56	0	91	1	2	0	
7時	0	56	0	0	0	0	0	56	0	0	56	0	2	0	
7時半	55	56	0	0	0	0	0	55	56	0	111	2	2	0	
8時	55	56	0	0	0	0	0	55	56	0	111	2	2	0	
8時半	55	0	0	0	0	0	0	55	0	0	55	2	0	0	
9時	55	0	0	0	0	0	0	55	0	0	55	2	0	0	
9時半	55	0	0	0	0	0	0	55	0	0	55	2	0	0	
10時	109	0	0	0	54	0	55	0	0	0	109	4	0	0	

図 3-D-8 Excel 形式で出力したデータシート

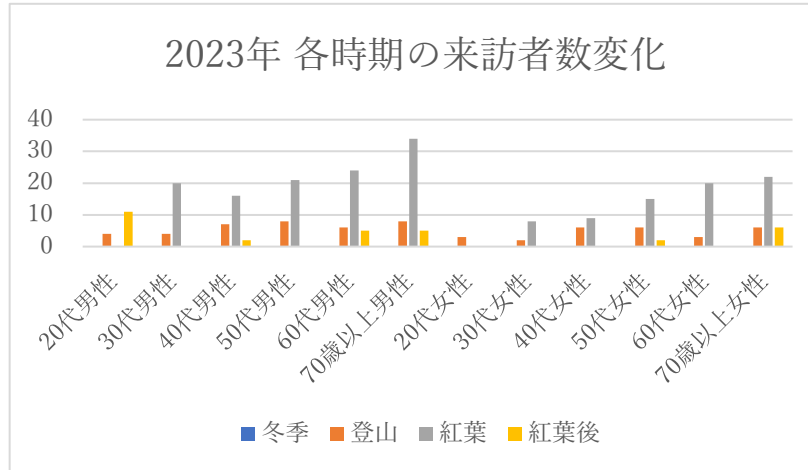


図 3-D-9 各時期のデータを出力し、Excel シートから作成したグラフ

④ 課題等

au 回線ユーザーのうち同意いただいたユーザーのデータを基にするため、来訪者が少ない時期は、データの取得が難しくなる。また、指定した期間の平均来訪者数の把握となるため、ピークを探す場合には、対象期間ごとにデータを出力して Excel などを用いて分析する必要がある。

(2) 実施項目 B-2) トレイルカメラ+AI による利用者数の把握状況変化の自動検出手法

(ア) 状況変化の自動検出手法

トレイルカメラによる利用者数の把握において、取得した情報を基にした状況変化を自動検出するシステムのフローを図3-D-10に示す。

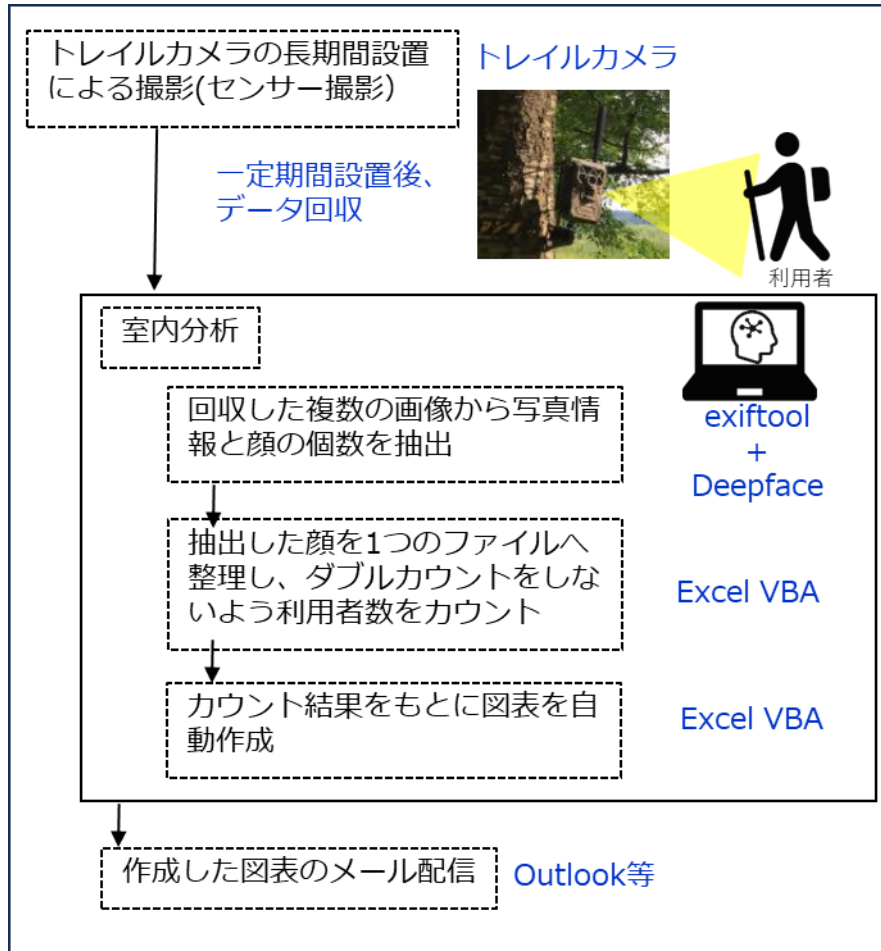


図 3-D-10 トレイルカメラ+AI による利用者数の把握のフロー

(イ) トレイルカメラによる利用者の撮影

実施項目 B に示したように、トレイルカメラによる利用者の撮影については、データ送信しないカメラ（パトリオット）であれば登山道一つにつき1台、データ送信可能な LTE カメラであれば登山道一つにつき2台（往路方向・復路方向）設置することで、利用者数の把握に必要な写真を撮影可能である。

課題等

課題として、画像内での重複等により、写真から読み取れる人数には限界があることや、トレイルカメラのエラーによる撮影漏れも発生しうることに留意する必要がある。

(ウ) 回収した複数の記録媒体に保存された画像から、撮影日時、ファイル名、保存先等を抽出

トレイルカメラで撮影された画像には、撮影時間が保存される（exif 情報）。画像に保存された exif 情報については、フリーソフトである exiftool を用いて CSV ファイルとして取得することができる。取得した CSV ファイルを、Excel VBA を用いて一つのファイルにまとめることが可能なため、回収した複数の記録媒体に保存された画像から、撮影日時、ファイル名、保存先等を抽出することは現状で実現可能である（表3-D-1）。

課題等

特になし。

表 3-D-1 トレイルカメラ画像の exif データ抽出例

ファイル名	パス名	撮影日時	AI 解析 face 数
IMAG0165.JPG	C:\¥Cloud¥Box¥...	2023/10/20 6:12	
IMAG0166.JPG	C:\¥Cloud¥Box¥...	2023/10/20 6:12	
IMAG0167.JPG	C:\¥Cloud¥Box¥...	2023/10/20 6:12	
IMAG0168.JPG	C:\¥Cloud¥Box¥...	2023/10/20 6:13	
IMAG0169.JPG	C:\¥Cloud¥Box¥...	2023/10/20 6:13	
IMAG0170.JPG	C:\¥Cloud¥Box¥...	2023/10/20 6:13	
IMAG0171.JPG	C:\¥Cloud¥Box¥...	2023/10/20 6:16	
IMAG0172.JPG	C:\¥Cloud¥Box¥...	2023/10/20 6:16	
IMAG0173.JPG	C:\¥Cloud¥Box¥...	2023/10/20 6:16	
IMAG0174.JPG	C:\¥Cloud¥Box¥...	2023/10/20 6:22	1
IMAG0175.JPG	C:\¥Cloud¥Box¥...	2023/10/20 6:22	1
IMAG0176.JPG	C:\¥Cloud¥Box¥...	2023/10/20 6:22	1
IMAG0177.JPG	C:\¥Cloud¥Box¥...	2023/10/20 7:53	1
IMAG0178.JPG	C:\¥Cloud¥Box¥...	2023/10/20 7:53	1
IMAG0179.JPG	C:\¥Cloud¥Box¥...	2023/10/20 7:53	1
IMAG0180.JPG	C:\¥Cloud¥Box¥...	2023/10/20 8:04	
IMAG0181.JPG	C:\¥Cloud¥Box¥...	2023/10/20 8:04	
IMAG0182.JPG	C:\¥Cloud¥Box¥...	2023/10/20 8:04	
IMAG0183.JPG	C:\¥Cloud¥Box¥...	2023/10/20 8:12	
...	

(工) 回収した画像を対象にした AI による撮影された顔の数の集計

AI による検出結果は、画像を保存している各フォルダに CSV 形式で保存されることから、写真ファイル名や撮影日時に紐づける形で、前項において作成した CSV ファイルへ集計結果を貼り付ける Excel VBA を作成した。

課題等

実施項目 B に示したとおり、Deepface を用いた結果、顔の検出率はカメラによって精度にばらつきがあり、検出率は69.4%～91.1%となっていた。暗い画像やブレている画像、画像内で人物同士が重なっている場合等に検出漏れが出る傾向があったことから、カメラの性能向上や、登山道に対するトレイルカメラの設置角度（例えばより高い位置に設置しななめ下方向に撮影する）等によって改善できる余地があると考えられる（図3-D-11）。



図 3-D-11 AI による利用者数のカウント

(オ) 3 枚の連続写真から最大人数の算出

トレイルカメラでは一度センサーが反応すると3枚の連続写真が撮影される。この3枚の連続写真のなかで最も多く人が撮影されている写真を抜き出す Excel VBA を作成し、利用者の集計データの元データとした。

課題等

実施項目 B に示したとおり、3枚の連続写真のなかで最も多く人が撮影されている写真の人数から集計した利用者数は実測値からの乖離が大きかった。

誤差が出る要因は、カメラを覗き込む人や、歩く速度が遅い人等が、複数回撮影され、それら

がダブルカウントとなるケースや、写り方や利用者の行動により、必ずしも進行方向と顔の個数は一致しない場合があるためと考えられる。

以上を解決するには、前者は撮影画像に写った顔と服装から、個体識別を行い、カウント時に重複している人をはじくようなシステムを構築する必要があるといえる。後者は非常に難しく、ある程度はやむを得ないものの、カメラの前をなるべく普通に通過させるために、設置したカメラを目立たせないようにすれば立ち止まるケースが減り、改善する可能性がある。進行方向と顔の個数が一致しない要因の一つとして、横顔を検出しているケースがあったことから、なるべく画角が登山道と平行になるようカメラの角度を変更することも、検知率の向上につながる可能性がある。しかし、画角を登山道と平行にすることにより、複数人が間隔を大きく開けて進んできた場合に奥の人が小さく写りすぎ、検出できないケースも考えられるため、センサー感度や看板の設置位置と併せて検討する余地がある。

(カ) カウント結果をもとに図表を作成

AI によるカウント結果を (エ) で作成した CSV ファイルに保存し、CSV ファイルをもとに Excel VBA を用いて自動的に図表を作成した (図3-D-12)。なお、Python から PIL 等のライブラリを用いて直接図表を作成することも可能であるが、汎用性から Excel 形式で結果を出力することとした。

課題等

特になし。

① CSV ファイルの内容
を Excel シートに入力

番号	地点名	カメラ名	月日	年	月	日	時	MaxAI解析 face数
1	A	H127	10月19日	2023	10	19	12	
2	A	H127	10月19日	2023	10	19	12	1
3	A	H127	10月19日	2023	10	19	13	
4	A	H127	10月19日	2023	10	19	13	1
5	A	H127	10月19日	2023	10	19	13	
6	A	H127	10月19日	2023	10	19	13	
7	A	H127	10月19日	2023	10	19	13	
8	A	H127	10月19日	2023	10	19	13	
9	A	H127	10月19日	2023	10	19	13	
10	A	H127	10月19日	2023	10	19	13	
11	A	H127	10月19日	2023	10	19	13	1

② 検出結果をピボットテーブルで
整理

③ 時間帯・日別の集計結果を
あらかじめ作成してあるグラフ
付き Excel VBA へ出力し、
グラフを作成

図 3-D-12 AI による利用者数のカウントから作図までの流れ

(キ) 作成した図表のメール配信

作成した図表について、Outlook 等のメールソフトにて関係者に送信することは現状で実現可能である。例えば、月ごとの利用者数のとりまとめ結果を定期的に保存し、保存したファイルを Power Automate を用いて、Outlook を通じて定期的なメール配信を行うフローを構築することなどが考えられる。

しかし、実施項目 B の実施結果より、現状では取得したデータについて、カメラから記録媒体を回収する必要があるため、本項目のみ自動化しても工数削減にはつながらない。

課題等
特になし。

(ク) 状況変化の自動検出結果

実施項目 B2の実施で得られたデータをもとに作成した状況変化の自動検出結果を図3-D-13及び図3-D-14に示す。



図 3-D-13 1 日当たり時間帯別利用者数のグラフ

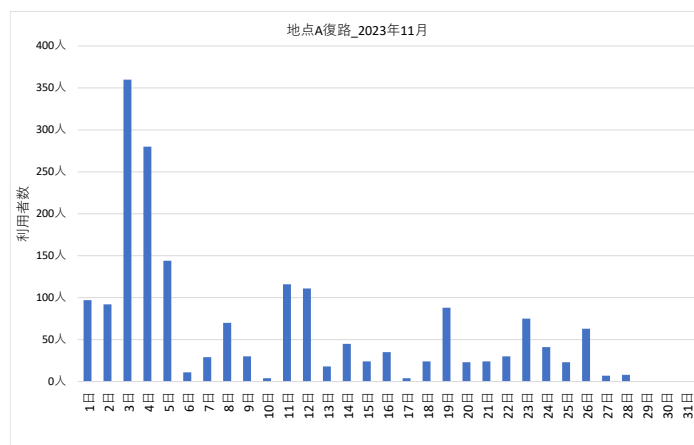


図 3-D-14 日別利用者数のグラフ

(3) 実施項目 B-3) 定期的なドローン空撮による駐車台数の把握

(ア) 状況変化の自動検出手法

定期的なドローン空撮による駐車台数の把握において、取得した情報を基にした状況変化の自動検出をするシステムのフローを図3-D-15に示す。

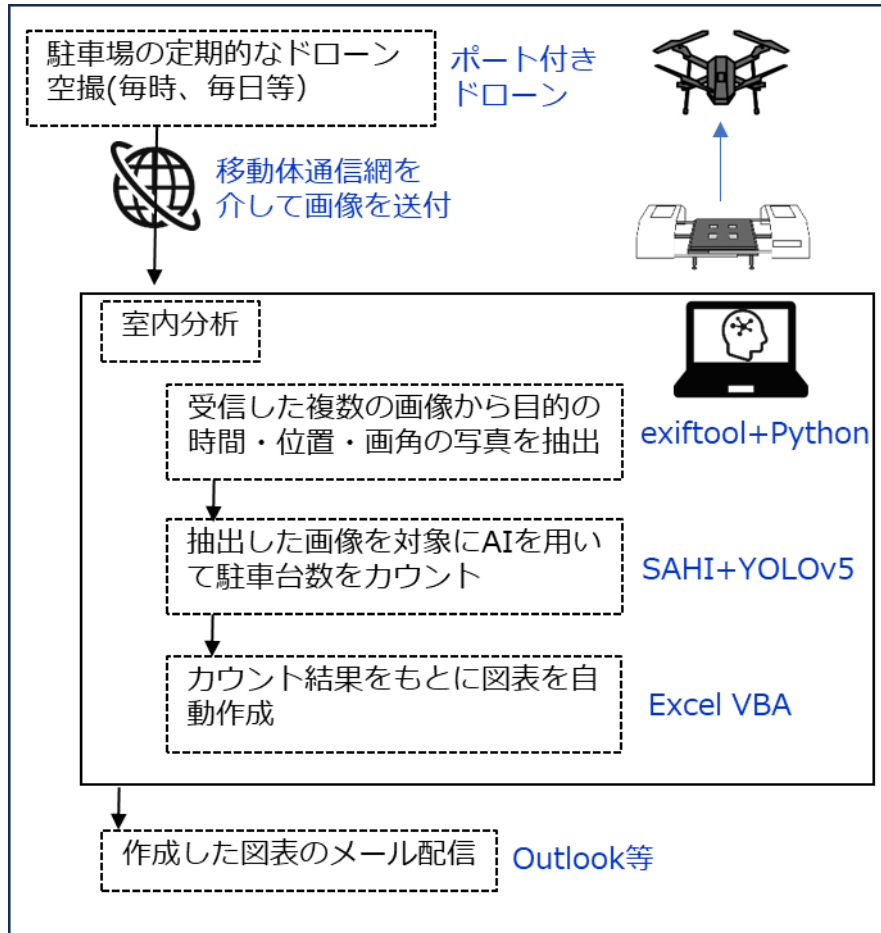


図 3-D-15 ドローンを用いた駐車台数の状況変化の自動検出

(イ) ポート付きドローンによる駐車場の定期的な空撮

実施項目 B に示したように、ポート付きドローンによる定期的な空撮については、網羅性・正確性等の観点から、駐車場の台数把握に適した高度・画角での撮影ができることが確かめられているため、現状で実現可能である（図3-D-16）。

課題等
特になし。













撮影高さ	空撮写真（2023/11/10）			
30m	 9:38	 13:43	 9:38	 13:43
50m	 10:29	 14:22	 10:29	 14:22
70m	 10:20	 10:54	 10:20	 10:54

図 3-D-16 同じ撮影地点の撮影時間が異なる写真の例（再掲）

(ウ) 撮影した複数の画像から目的の時間・位置・画角の写真を抽出

ドローンで撮影された画像には、撮影した際の標高・機種方向等の位置情報が保存される (exif 情報) (表3-D-2)。画像に保存された exif 情報については、フリーソフトである exiftool を用いて CSV ファイルとして取得することができるため、撮影された複数の画像から事前に決定しておいた高度・画角の画像を抽出することが現状で可能である。

課題等

特になし。

表 3-D-2 ドローン画像の exif データ抽出例

	A	B	C	D	E	F	G
	SourceFile	FileName	GimbalYawDegree	GimbalPitchDegree	FlightRollDegree	GPSLatitude	GPSLongitude
1	images/DJI_20231109143612_0001_W.jpeg	DJI_20231109143612_0001_W.jpeg	178.1	-43.3			
2	images/DJI_20231109143612_0001_Z.jpeg	DJI_20231109143612_0001_Z.jpeg	178.5	-43.3	-2.36 deg 17' 7.72" N	139 deg 48' 7.77" E	
3	images/DJI_20231109143615_0002_W.jpeg	DJI_20231109143615_0002_W.jpeg	94.2	-43.3	0.736 deg 17' 7.72" N	139 deg 48' 7.93" E	
4	images/DJI_20231109143615_0002_Z.jpeg	DJI_20231109143615_0002_Z.jpeg	94.2	-43.3	-0.336 deg 17' 7.72" N	139 deg 48' 7.93" E	
5	images/DJI_20231109143618_0003_W.jpeg	DJI_20231109143618_0003_W.jpeg	93.2	-43.3	0.236 deg 17' 7.72" N	139 deg 48' 8.16" E	
6	images/DJI_20231109143618_0003_Z.jpeg	DJI_20231109143618_0003_Z.jpeg	93.2	-43.3	0.236 deg 17' 7.72" N	139 deg 48' 8.16" E	
7	images/DJI_20231109143621_0004_W.jpeg	DJI_20231109143621_0004_W.jpeg	92.8	-43.3	0.136 deg 17' 7.71" N	139 deg 48' 8.40" E	
8	images/DJI_20231109143621_0004_Z.jpeg	DJI_20231109143621_0004_Z.jpeg	92.8	-43.3	0.636 deg 17' 7.71" N	139 deg 48' 8.40" E	
9	images/DJI_20231109143624_0005_W.jpeg	DJI_20231109143624_0005_W.jpeg	92.6	-43.3	0.636 deg 17' 7.71" N	139 deg 48' 8.64" E	
10	images/DJI_20231109143624_0005_Z.jpeg	DJI_20231109143624_0005_Z.jpeg	92.6	-43.3	0.636 deg 17' 7.71" N	139 deg 48' 8.63" E	
11	images/DJI_20231109143627_0006_W.jpeg	DJI_20231109143627_0006_W.jpeg	92.5	-43.3	0.336 deg 17' 7.70" N	139 deg 48' 8.86" E	
12	images/DJI_20231109143627_0006_Z.jpeg	DJI_20231109143627_0006_Z.jpeg	92.5	-43.3	0.536 deg 17' 7.70" N	139 deg 48' 8.86" E	
13	images/DJI_20231109143630_0007_W.jpeg	DJI_20231109143630_0007_W.jpeg	92.5	-43.3	1.336 deg 17' 7.70" N	139 deg 48' 9.10" E	
14	images/DJI_20231109143630_0007_Z.jpeg	DJI_20231109143630_0007_Z.jpeg	92.5	-43.3	1.336 deg 17' 7.70" N	139 deg 48' 9.10" E	
15	images/DJI_20231109143633_0008_W.jpeg	DJI_20231109143633_0008_W.jpeg	92.4	-43.3	0.336 deg 17' 7.69" N	139 deg 48' 9.33" E	
16	images/DJI_20231109143633_0008_Z.jpeg	DJI_20231109143633_0008_Z.jpeg	92.4	-43.3	0.336 deg 17' 7.69" N	139 deg 48' 9.33" E	
17							
18							

(工) 抽出した画像を対象にした AI による駐車台数のカウント

実施項目 B に示したとおり、SAHI+YOLOv5を用いることで、人による車両台数の計数の精度は高さや撮影方向によって異なり、本実証の対象地では高度30m、車の正面からの撮影方向が検知率（AI による計数/人による計数）の高いものとなっていた（平均97.6%）。駐車場の広さによって、一部重複する複数枚の写真を組み合わせて計数する必要があるため、あらかじめ画像をマスキングしたうえで（図3-D-17）、AI による解析を行うことで、駐車場全体の駐車台数を計数することが可能となる。検知率約6割であった写真も存在したため、カウントする高度・画角は駐車場に合わせて検討する必要があるが、抽出した画像を対象にした AI による駐車台数のカウントは、現状で実現可能である。

課題等

駐車場の広さや形状によって撮影高度、撮影向きなどをはじめに検討する必要がある。

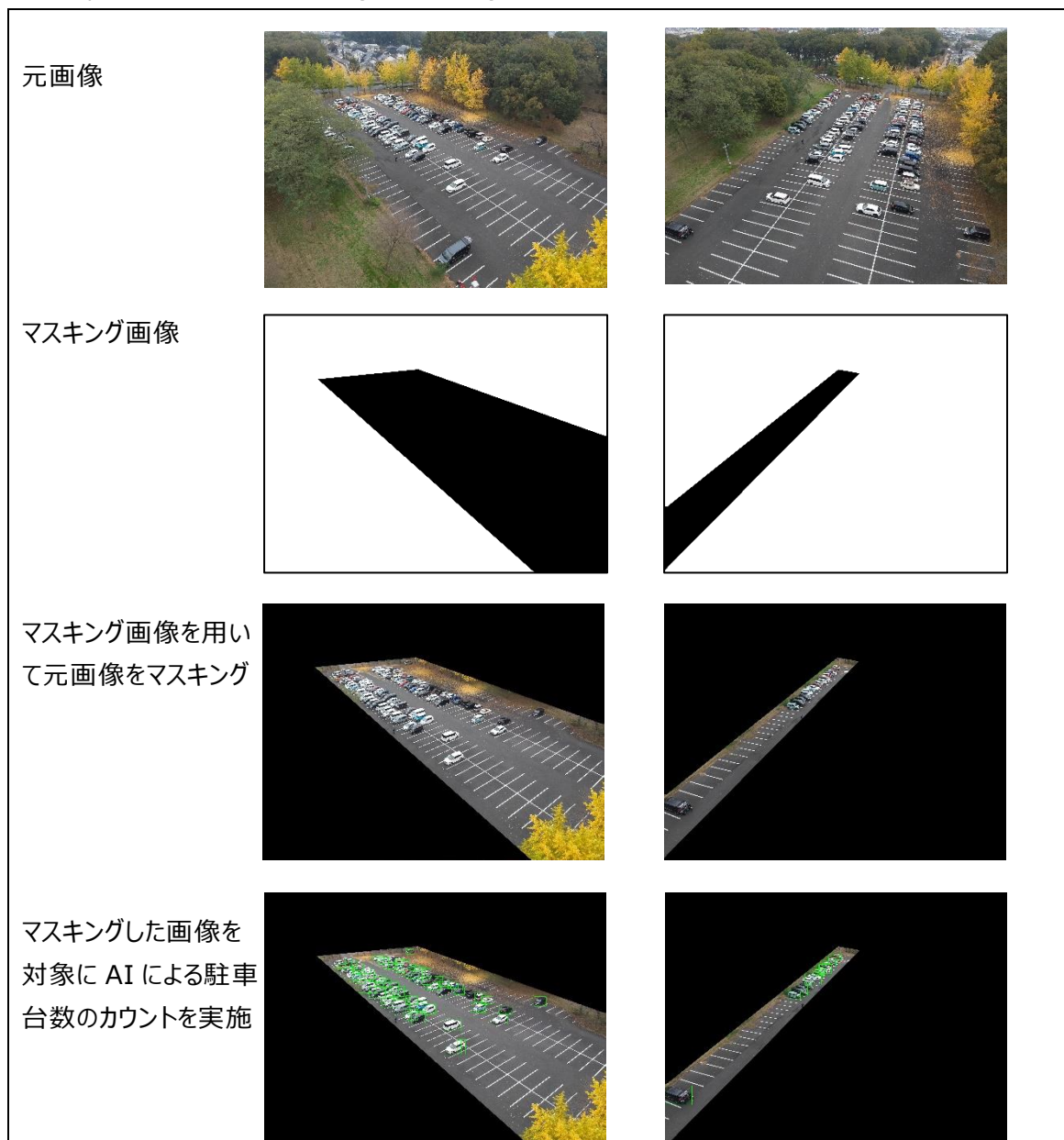


図 3-D-17 AI による駐車台数のカウント

(オ) カウント結果をもとに図表を作成

AI によるカウント結果をファイル名、撮影日時等の属性を付した CSV ファイルに保存し、CSV ファイルをもとに Excel VBA を用いて自動的に図表を作成することが現状で実現可能である (図3-D-18)。なお、Python から PIL 等のライブラリを用いて直接図表を作成することも可能であるが、汎用性から Excel 形式で結果を出力することとした。

課題等
特になし。

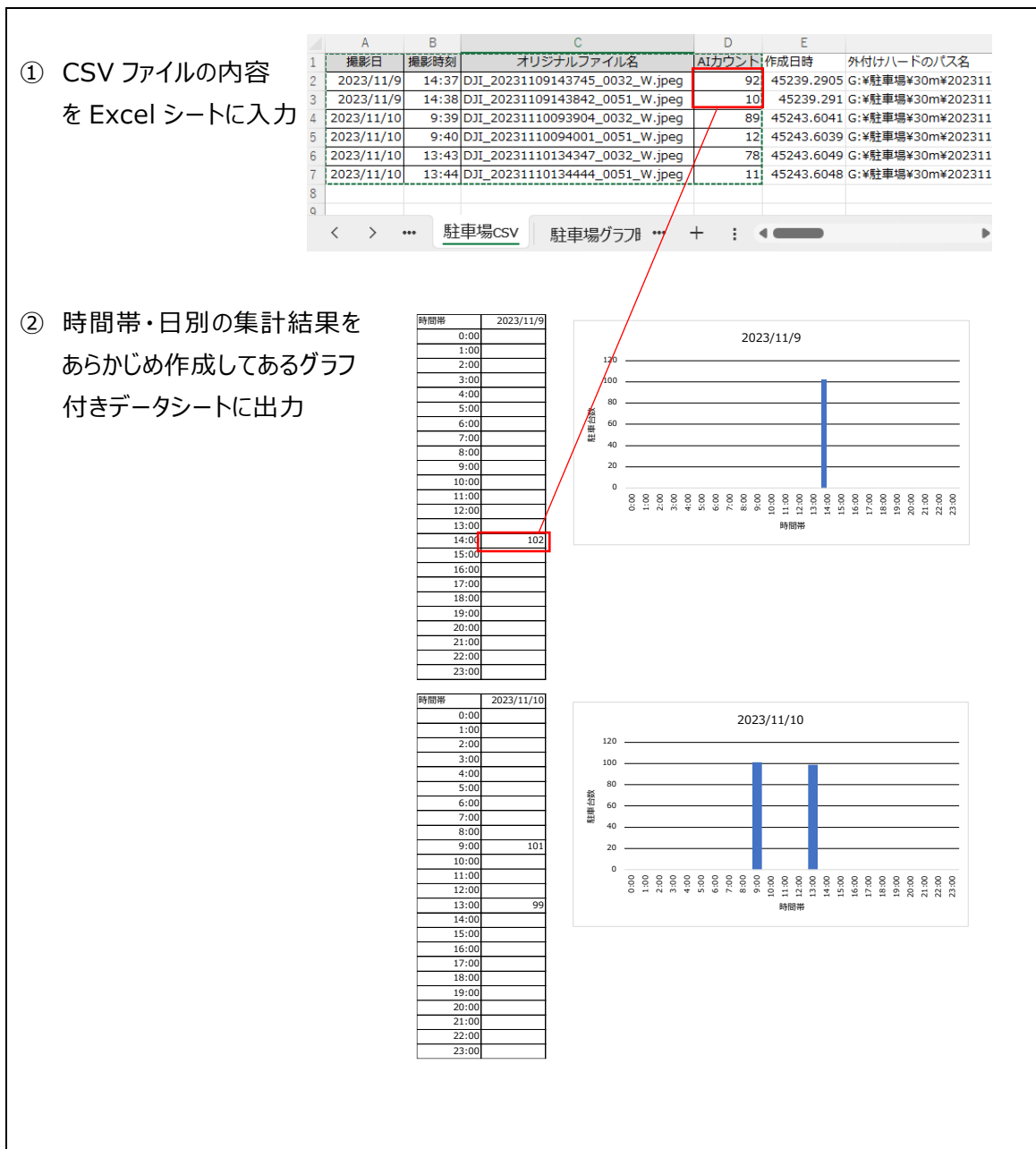


図 3-D-18 AI による駐車台数のカウント

(カ) 作成した図表のメール配信

作成した図表について、Outlook 等のメールソフトにて関係者に送信することが現状で実現可能である。例えば、満車が近くなってきたことを知らせるアラームを配信することも考えられる。

課題等

特になし。

(キ) 状況変化の自動検出結果

実施項目 B3の実施で得られたデータをもとに作成した状況変化の自動検出結果を図3-D-19及び図3-D-20に示す。

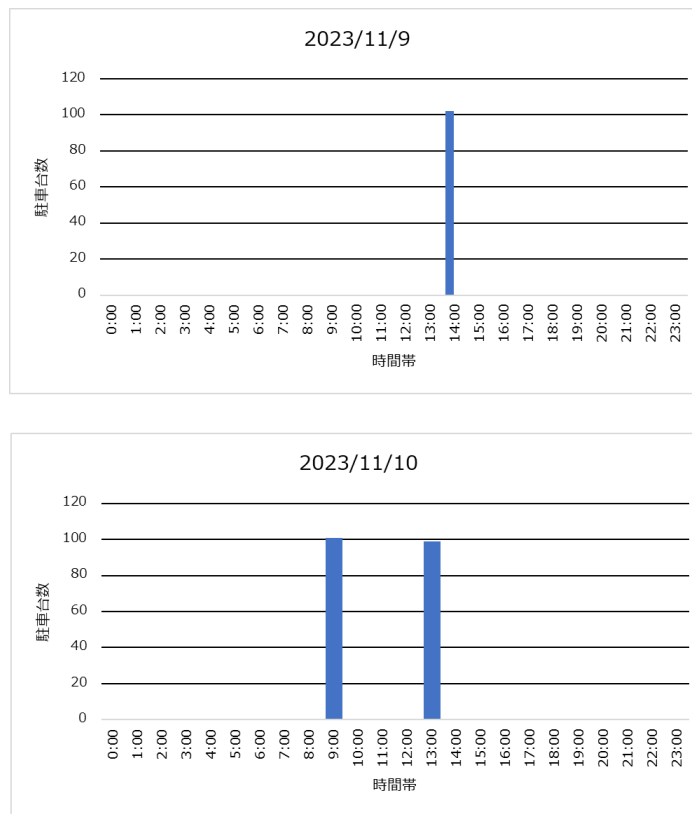


図 3-D-19 1 日当たり時間帯別駐車台数のグラフ

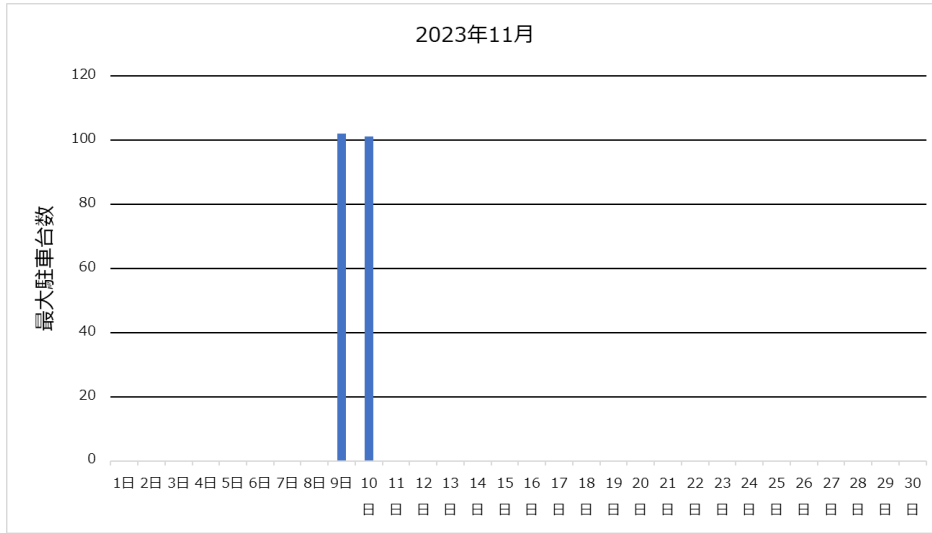


図 3-D-20 時期別駐車台数のグラフ

(4) 実施項目 C-1) ドローン+AI による水鳥調査 (厚岸湖)

(ア) オオハクチョウの自動検出手法

ドローン空撮によるオオハクチョウの個体数の把握において、取得した情報を基に自動検出するシステムのフローを (図3-D-21) に示す。

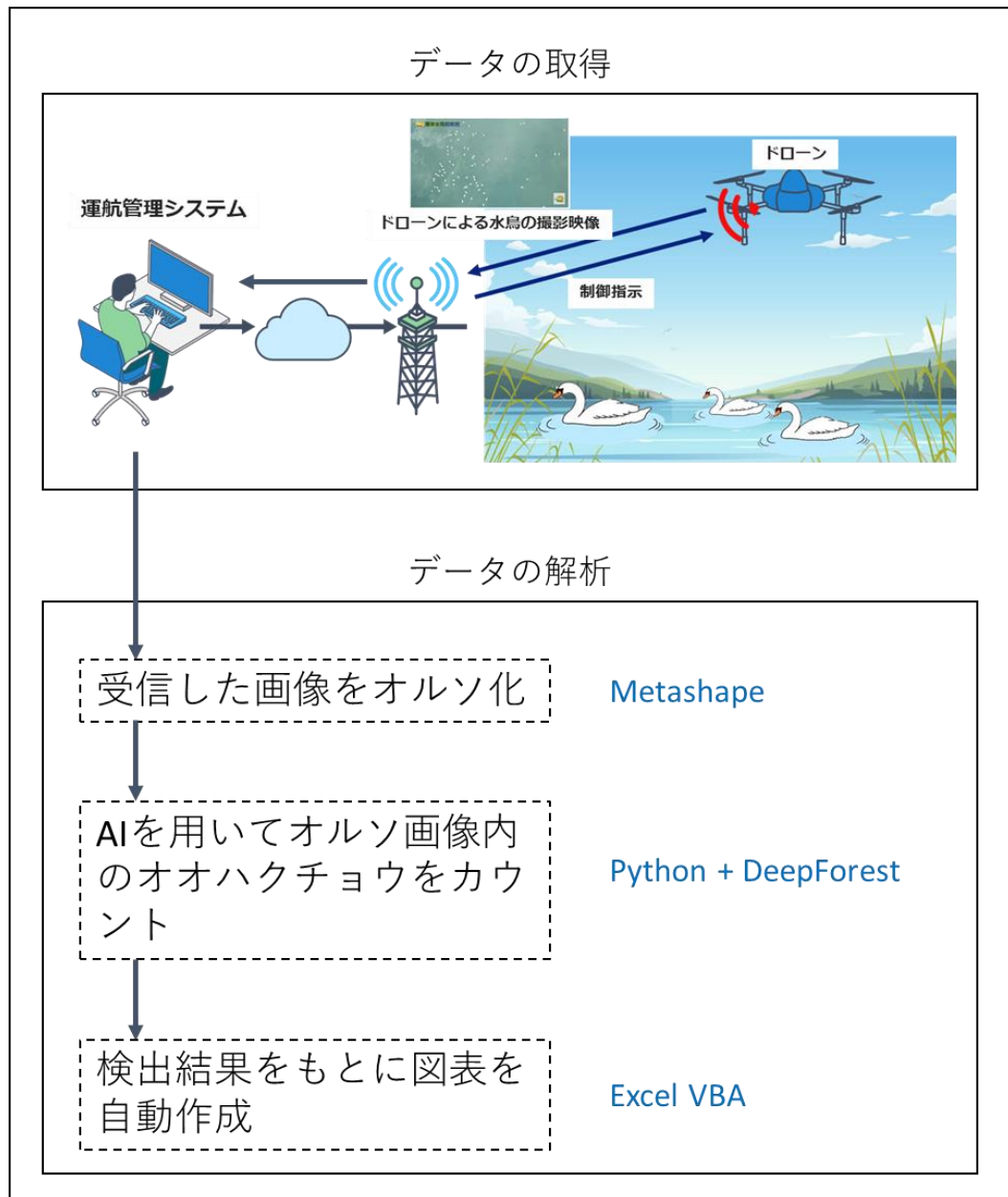


図 3-D-21 ドローンを用いたオオハクチョウの自動検出

(イ) ドローンによるオオハクチョウの空撮

実施項目 C-1での実施内容と同様であるため、C-1の2章を参照。

(ウ) 4GLTE 回線と運航管理システムを用いた遠隔からのドローン運航

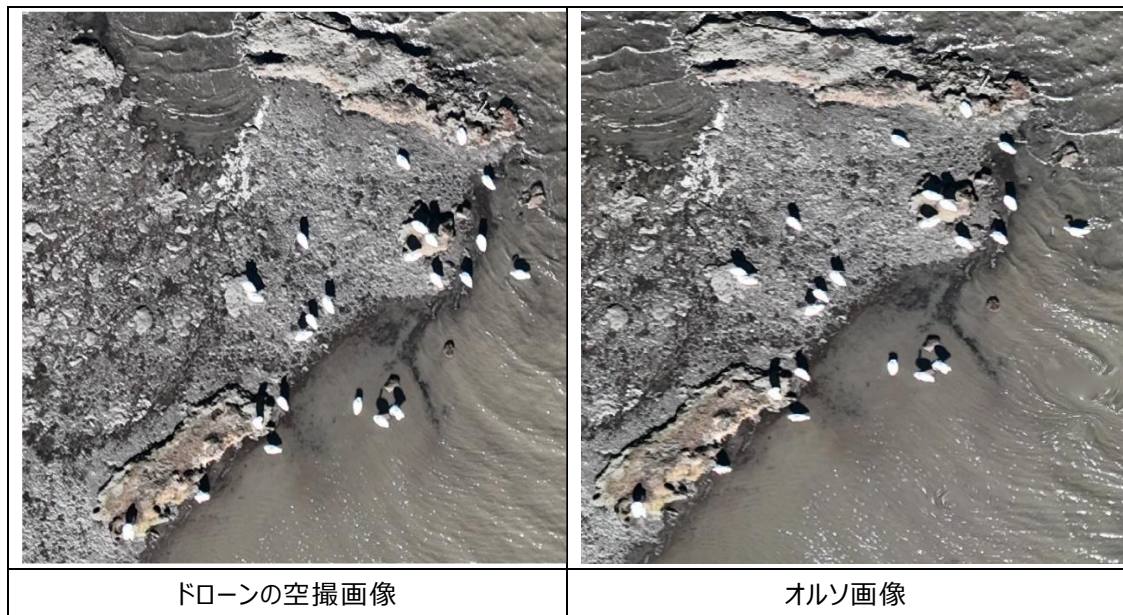
実施項目 C-1での実施内容と同様であるため、C-1の2章を参照。

(エ) 受信した画像をオルソ化

ドローンで撮影された画像には、撮影した際の飛行高度・機種方向等の位置情報が保存される。実施項目 C-1では、取得したデータを地点別、飛行高度別に整理し、解析ソフト（Metashape）の SfM 処理を用いてオルソ化した。

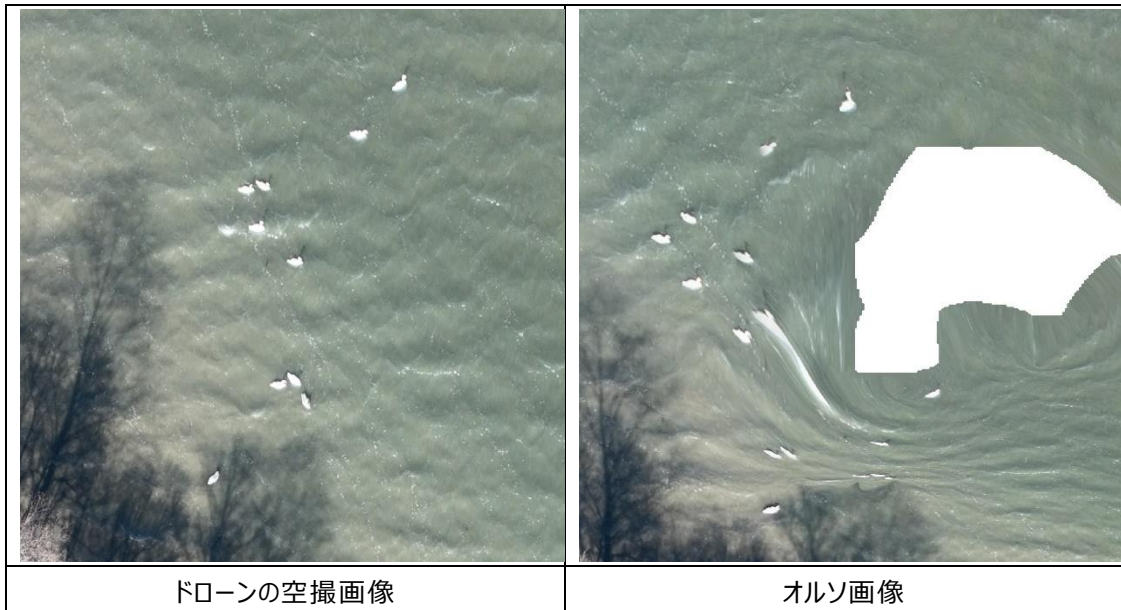
課題等

オルソ化は、対象が構造物や地形、植生等である場合、高精度でのオルソ化が可能である一方、動く物体や水面等を対象とした場合、うまくオルソ化することができず、ブランクや歪みが発生する場合がある。本実証では、水際や陸域で休息するオオハクチョウに対しては、空撮画像そのままとほぼ同等の状況でのオルソ化が可能であった（図3-D-22）が、湖面で遊泳や休息するオオハクチョウに対してはうまくオルソ化できず、オオハクチョウの個体数を増減させてしまう場合があり（図3-D-23）、オルソ画像を用いる際の注意点として留意する必要がある。



注) オルソ化しても空撮画像とほぼ同等の画像が得られている。

図 3-D-22 陸域におけるドローンの空撮画像とオルソ画像の比較



注) オルソ化によってゆがみやブランクが発生し、空撮画像と異なった画像が得られている。

図 3-D-23 湖面域におけるドローンの空撮画像とオルソ画像の比較

(オ) AI を用いてオルソ画像内のオオハクチョウをカウント

実施項目 C-1に示したとおり、Python の DeepForest パッケージを用いオオハクチョウを検出することでオオハクチョウをカウントすることが現状で実現可能である。

課題等

適合率は、オオハクチョウを検出したバウンディングボックスの面積の平均値と標準偏差によって補正を行うことで26%程度向上した。課題として、さらに適合率を向上させるためには、DeepForest に用いているモデルの精度向上が考えられる。モデルの精度向上のためには、多数のアノテーション付き空撮画像（空撮画像中のオオハクチョウの位置座標を整理したファイル）を用いた転移学習（既存モデルを利用して比較的少ない量のデータでも精度の高いモデルを構築できる手法）といった手法が考えられる。

(カ) 検出結果をもとに図表を作成

AI によるカウント結果をファイル名、撮影日時等の属性を付した CSV ファイルに保存し、CSV ファイルをもとに Excel VBA を用いて自動的に図表を作成する。なお、Python から PIL 等のライブラリを用いて直接図表を作成することも可能であるが、汎用性から Excel 形式で結果を出力することとした。以上より、AI による検出結果をもとに図表を作成することは現状で実現可能である。

課題等

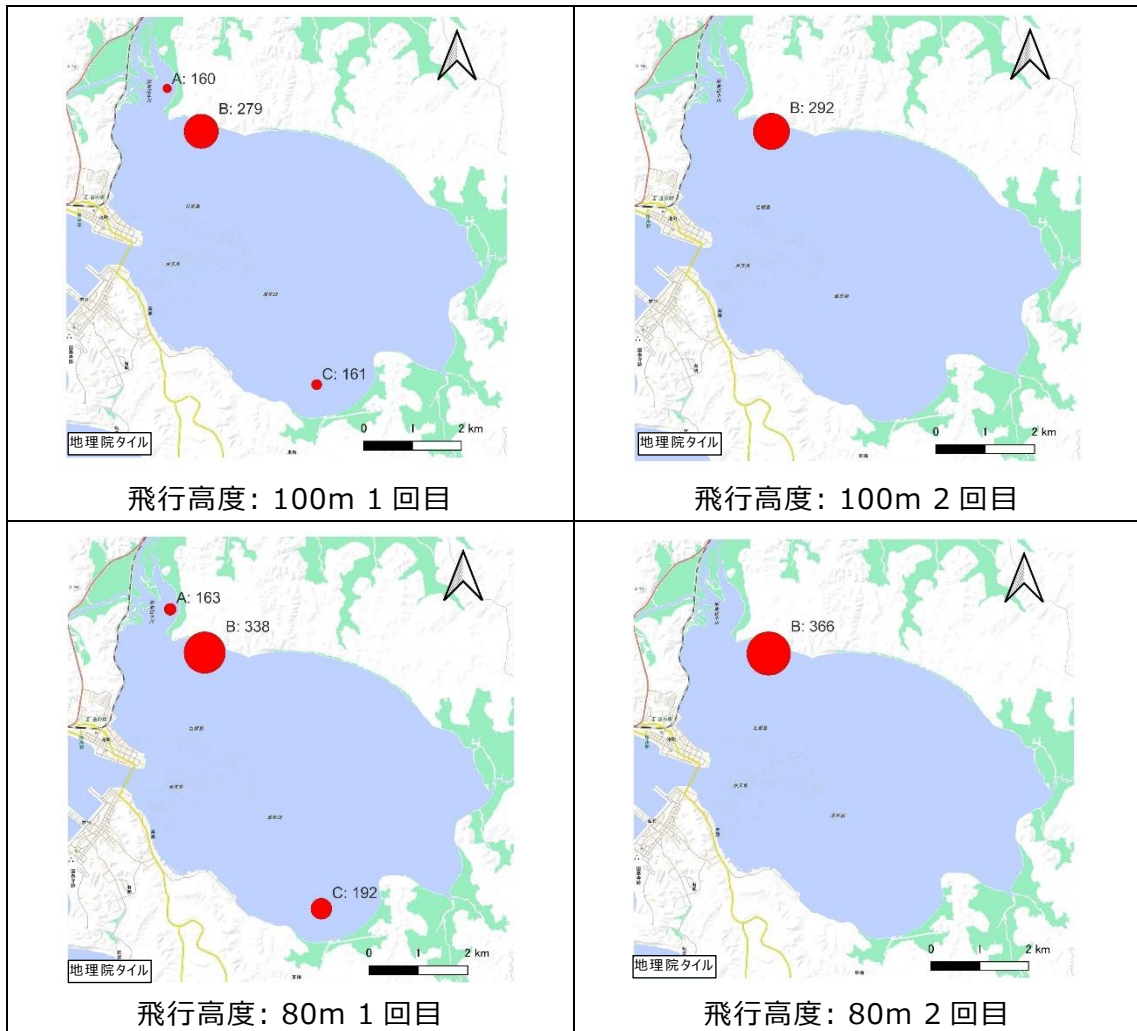
特になし。

(キ) オオハクチョウの状況変化の自動検出結果

実施項目 C-1の実施で得られたデータをもとに作成したオオハクチョウの状況変化の自動検出結果表3-D-3に、QGIS を用いて地図上に図示したものを図3-D-24に示す。

表 3-D-3 オオハクチョウの自動検出結果

地区	飛行高度 100m		飛行高度 80m	
	回次		回次	
	1	2	1	2
A	160	-	163	-
B	279	292	338	366
C	161	-	192	-
計	600	292	693	366



出典：地理院タイルにオオハクチョウ個体数情報を追加して掲載

注) 地点名の横の数字はオオハクチョウの個体数を示し、点の大きさは各地区で確認された個体数に比例する

図 3-D-24 オオハクチョウの自動検出結果の図示例

(5) 実施項目 C-2) ドローン+マルチスペクトルカメラによる海浜植物群落のモニタリング

(ア) 海浜植物群落の差分抽出方法

ドローン空撮による海浜植生の把握において、取得した情報を基に自動検出するシステムのフローを図3-D-25に示す。

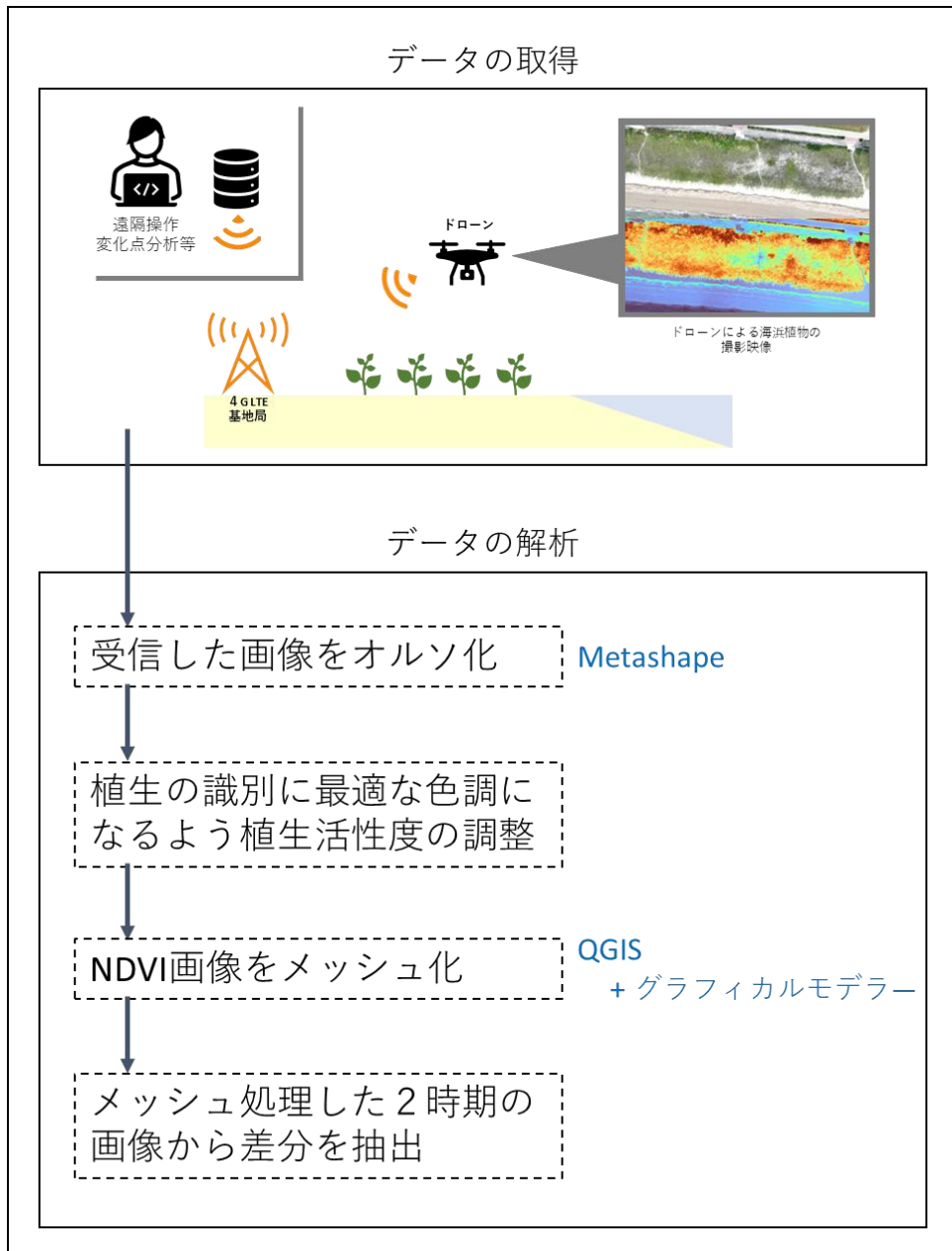


図 3-D-25 ドローン（マルチスペクトルカメラ）を用いた海浜植物群落のモニタリング

(イ) ドローンによる海浜植物群落の空撮

実施項目 C-2での実施内容と同様であるため、C-2の2章を参照。

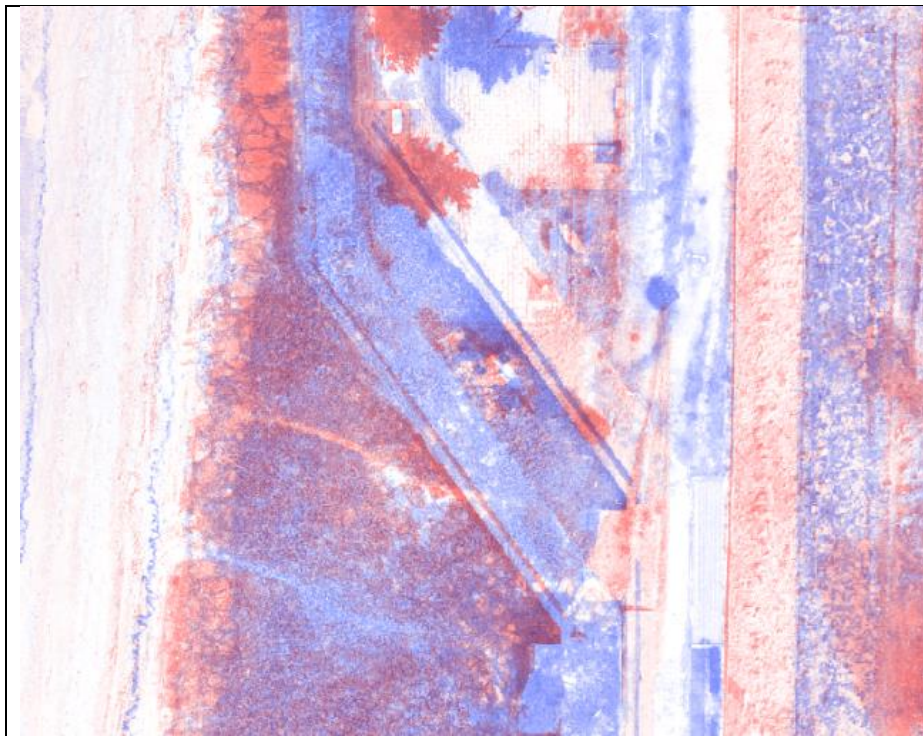
(ウ) 撮影した画像をオルソ化

ドローンで撮影された画像には、撮影した際の飛行高度・機種方向等の位置情報が保存される。実施項目 C-2では、飛行高度別に整理し、解析ソフト（Metashape）の処理を用いてオルソ化した。

課題等

オルソ化は、対象が構造物や地形、植生等である場合、高精度でのオルソ化が可能である一方、水面や砂浜を対象とした場合、うまくオルソ化することができない場合がある。

本実証では、調査範囲全体でのオルソ化は精度高く作成できた。しかし、汀線側に目印となるような人工物等がなく、標定点（GCP）が設定できなかったため、1回目空撮と2回目空撮のオルソ画像では若干のずれが生じた（図3-D-26）。したがって、オルソ画像を用いる際の注意点として留意する必要がある。



注) 1回目空撮（10月）を青色、2回目空撮（11月）を赤色で示した。画像は特にずれが大きい部分。

図 3-D-26 各空撮回におけるオルソ画像の比較

(工) 植生活性度の調整

各波長帯域（可視光、G、R、RE、NIR）のオルソ画像を組み合わせ、植生活性度（正規化植生指標・NDVI）を算出した。その後、植生の識別に最適な色調になるよう植生活性度を調整した。

課題等

特になし。

(オ) NDVI 画像をメッシュ化

次の差分抽出に向け、NDVI 画像をメッシュ化した。空撮範囲に対して15m メッシュの方形区を設定し、1メッシュごとに NDVI の最頻値を求めた。この過程は、QGIS のグラフィカルモデラーを用いて、自動的に作図可能であり、現状で実現可能である。

課題等

特になし。

(カ) メッシュから差分抽出

メッシュ化した2時期（1回目空撮、2回目空撮）の NDVI 画像について、メッシュ抽出した最頻値をテーブル結合し、テーブル上で差分を求めた。

課題等

特になし。

(キ) 差分抽出結果

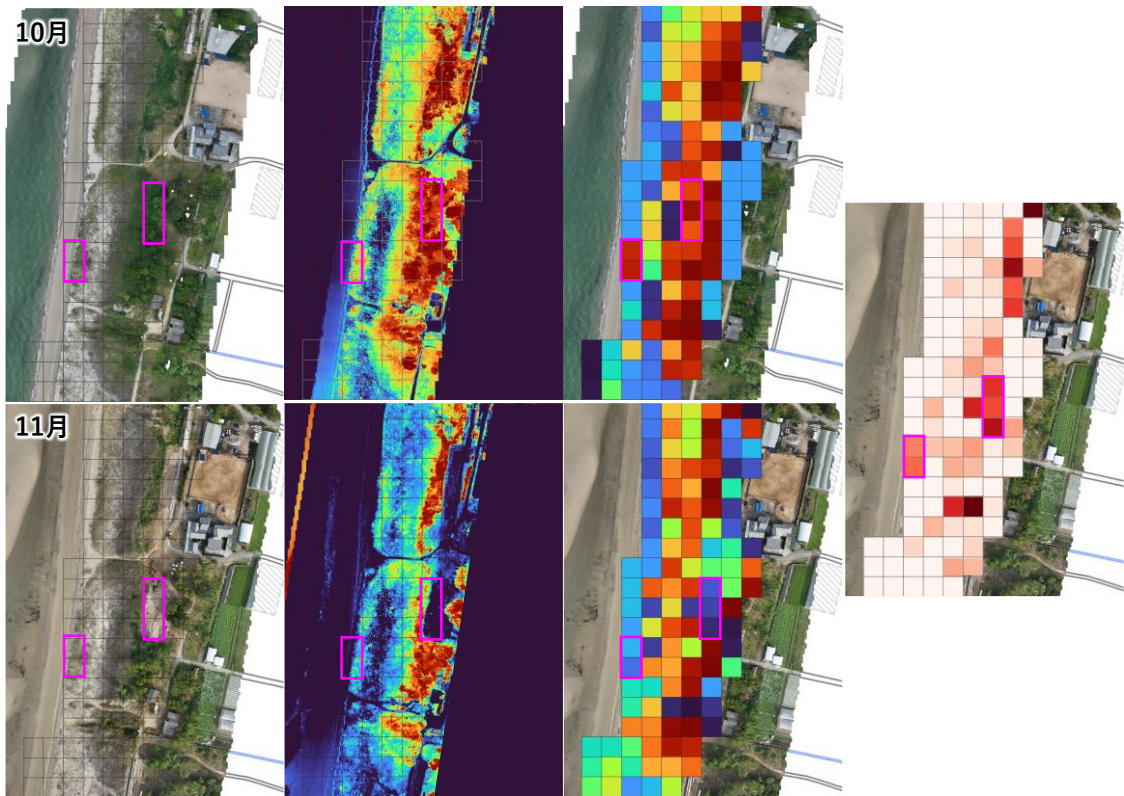
実施項目 C-2の実施で得られたデータをもとに作成した海浜植物群落の差分抽出結果を図3-D-27（対象全域）及び図3-D-28（部分）に示す。

図3-D-28では、10月と11月で大きく変化した箇所（□内）では、NDVI の差分を抽出することで、変化量が大きい場所であることが地図上で図示できている。



出典：地理院タイルに NDVI 差分情報を追加して掲載

図 3-D-27 植生活性度（正規化植生指標・NDVI）の差分抽出結果



注) 10月と11月で大きく変化した箇所(例えば左図の□内)では、NDVIの差分を抽出することで、変化量大きい場所であることが地図上で図示できている。

図 3-D-28 植生活性度(正規化植生指標・NDVI)差分の抽出結果の例

(6) まとめと今後の課題

実施項目 D で対象としたそれぞれの項目について、活用・導入にあたってのポイント、実証を通じて明らかになった課題や改善の方向性について以下に示す。

(ア) 実施項目 B-1

au 人口動態データを用いた利用者数の把握では、対象期間内の年代や性別などの利用者情報を1日の時間帯ごとに分析した結果を自動出力ができ、Excel や CSV 形式でも出力できるため、Excel VBA やプログラミング言語を用いて各時期での利用者属性の比較やグラフ化を行うことが可能である。一方で、出力されるデータは対象期間中の平均の結果となるため、現状では、KLA のみを用いて、過去の利用者ピーク日を特定するなどの活用は難しい。また、時期ごとの利用者数動向などの把握はデータ分析の知見がなくても簡単に Web ブラウザベースで行うことが可能であるため、大まかな傾向把握や過年度の傾向確認に活用できると考えるほか、Excel VBA などの知見があれば、出力したデータシートから自在にデータ分析を行うといった活用も可能である。

(イ) 実施項目 B-2

トレイルカメラ+AI による利用者数の把握では、トレイルカメラによる撮影から、作成した図表のメール配信に至る実施フローのうち、回収した画像に対する AI による顔の自動カウントの精

度に課題が残ったものの、個々の作業についてはフリーソフトや公開されている Python の AI ソフトウェア、Microsoft Excel の VBA、Microsoft Outlook 等によって自動化が可能である。

実施項目 B-3) 定期的なドローン空撮による駐車台数の把握では、ポート付きドローンによる空撮から、作成した図表のメール配信に至る実施フローのうち、車両台数をより精度高くカウントするための高度・画角は駐車場に合わせて検討する必要があるが、個々の作業についてはフリーソフトや公開されている Python の AI ソフトウェア、Microsoft Excel の VBA、Microsoft Outlook 等によって自動化が可能である。

(ウ) 実施項目 C-1

ドローン+AI による水鳥調査（厚岸湖）では、ドローンによる空撮から、検出結果をもとに図表を自動作成に至る実施フローのうち、湖面上の画像のオルソ化に課題が残ったものの、個々の作業については公開されている Python の AI ソフトウェア、オープンソースの地理情報システムである QGIS によって自動化が可能である。

(エ) 実施項目 C-2

ドローン+マルチスペクトルカメラによる海浜植物群落のモニタリングでは、ドローンによる空撮画像を受信してから、メッシュ処理した2時期の画像からの差分抽出に至る実施フローのうち、オルソ化に用いる SfM 処理ソフトウェアはライセンスを購入する必要があるが、それ以外の個々の作業についてはオープンソースの地理情報システムである QGIS 及びその中の機能であるグラフィカルモデラーによって自動化が可能である。

(オ) 全体に対してのまとめと今後の課題

それぞれの実用化にあたっては、実施者の PC 環境にあわせたセッティングや、必要なソフトウェアの事前のインストール、操作方法の習得が必要であり、Python や VBA などコンピュータ言語の基礎的な知識も必要となってくる。また、多量のデータを高速で処理したい場合には、PC の CPU・GPU の処理速度の向上やストレージの容量の確保、あるいはクラウドの活用も必要であろう。現在、デジタル庁で推進されているデータのオープン化とあわせ、こういったデジタル技術の現場への普及や、現場の機器性能の向上も同時に推し進めることで、日本の DX（デジタル・トランスフォーメーション）がより一層進むものと考えられる。

4 用語集

用語	説明
DeepFace	Python 用の軽量の顔認識および顔属性分析フレームワーク（オープンソース）。VGG-Face、Google FaceNet などの最先端のモデルを利用することができる。 https://github.com/serengil/deepface
DeepForest	DeepForest は、空撮画像内の生態学的オブジェクトを検出するための Python パッケージ。DeepForest には現在、樹冠オブジェクト検出モデルと鳥検出モデルが付属する。 https://deepforest.readthedocs.io/en/latest/index.html
Excel VBA	VBA (Visual Basic for Applications) は、Excel のアプリケーションの機能を拡張することができるプログラミング言語。
Exiftool	ExifTool は、画像、音声、動画、PDF のメタデータの読み取り、書き込み、操作を行うためのフリーでオープンソースのソフトウェアプログラム。 https://exiftool.org/
フレームワーク	プログラムに必要な機能をまとめた枠組み。開発者が効率的にアプリケーションを開発できるよう、機能や設計パターンがあらかじめ組み込まれている。
標定点 (GCP)	座標がわかっている地上の点 (Ground Control Point) のこと。
グラフィカルモデラー	QGIS の機能の一つ。QGIS 上での複数の分析操作を連鎖させ単一の操作で処理できるようにする機能。
Metashape	ロシアの Agisoft 社が販売している SfM 処理ソフトウェア。販売当初は Photoscan という名称であった。
植生活性度 (正規化植生指標 NDVI)	植物による光の反射の特徴を生かしマルチスペクトル画像を使って簡易な計算式で植生の状況を把握することを目的として考案された指標で、植物の量や活力を表している。NDVI は以下の式で求められ、-1~+1 の値となる。 $NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$ R: 赤色波長の強度 NIR: 近赤外波長の強度
オルソ補正	ドローン等から中心投影として撮影された空中写真画像を補正し、正射投影された空中写真画像を作成する作業。上空から地表を常に垂直方向から撮影した時の画像を作成し、通常の地図と整合が取れる。オルソ補正された像をオルソ写真・オルソ画像などと呼ぶ。
PIL	PIL (Python Imaging Library) は、各種形式の画像ファイルの読み込み・操作・保存を行う機能を提供するフリーのライブラリ。 https://pypi.org/project/pillow/
Python	プログラミング言語のひとつで、「読みやすさ・わかりやすさ」を重視して設計されている。アプリケーション開発やシステム管理ツールとして広く利用されている。 https://www.python.org/about/
Python パッケージ	ある程度まとまった汎用性の高い処理を他のプログラムから読み込むことで、使うことができるようにしたファイルの集まり。
QGIS	オープンソースで公開されている地理情報システム (GIS) ソフトウェア。

	https://www.qgis.org/ja/site/index.html
SfM 解析	Structure from Motion の略。カメラ（ここではドローンに取り付けられたカメラ）が移動しながら連続的に撮影した画像を用いてカメラの位置を逆算し、撮影対象の三次元構造を解析する技術。これを真上からみた画像を作成することによってオルソ補正している。
転移学習	機械学習の手法の一つであり、「別のタスクで学習された知識を別の領域の学習に適用させる技術」のことを指す。

2 実施項目 E の詳細

2.1 技術実証の方法

(1) 実証内容の概要

(ア) 目的

大分県特別保護樹林の指定又は保全に際して、「大分県環境緑化条例 特別保護樹木等調査選定要領」にて定められた選定基準を満たしているかを確認すべく大分県によって行われている実地調査について、ドローン、画像処理 AI を活用した樹林測定システムを用いることで、省力化できる可能性を検証することを目的とし実施した。

(イ) 対象業務（法令）

大分県環境緑化条例第23条に係る実地調査

(2) 既存調査の概要

大分県では、大分県環境緑化条例第11条により、緑化に特に寄与すると認められる樹木又は樹木集団を特別保護樹木又は特別保護樹林に指定し、その保全をはかっている。

この保護樹林への指定に関しては、大分県環境緑化条例第23条にて定められた手順を経て、担当者が実地調査を行い、「特別保護樹木等調査選定要領にて規定された基準を満たすかの測定等」がなされている。

以下の表2-E-1に示した特別保護樹林の選定基準のうち、定量的な指標である「2 樹林をなす区域面積が500㎡以上であること。」、「3 区域面積に対する樹林の占有率が60%以上あること。」、「4 樹林部における立木密度は、300本/ha 以上とする。」、「5 樹林を構成する中高木の平均胸高直径は、25cm以上とする。」といった項目の測定方法については、樹木医等の樹林調査実務に携わる専門家へのヒアリングより、代表的な区域を選定し、そのエリアに生育する樹木について、直径巻き尺、赤白ポール、レーザー距離測定器を用いて区域面積、本数、樹種、樹高、胸高直径を測定する方法を用いて実施されていることを確認した。

表 2-E-1 特別保護樹林選定基準

特別保護樹林
1 市街地及びその周辺地域にあり、緑地として保全する必要のある集団としての樹林。 (例えば社寺の森など)
2 樹林をなす区域面積が 500 ㎡以上であること。 (付帯施設、建造物などを含む)
3 区域面積に対する樹林の占有率が 60%以上あること。
4 樹林部における立木密度は、300 本/ha 以上であること。
5 樹林を構成する中高木の平均胸高直径は、25 cm以上とする。
6 前 5 項の規定を満たした上で、樹木医等の有識者の意見を参考にして指定する。

参考：特別保護樹木等調査選定要領 第 2 選定基準

(3) 実証方法

本実施項目では、柞原八幡宮の森及び日吉神社の森について、樹林上空から樹林をドローンにて撮影し、撮影画像から画像解析 AI を用いて樹木の樹高・立ち木本数・樹種を測定する実証と、小型ドローンを用いて樹林内から撮影し、撮影画像から画像解析 AI を用いて、樹林内の樹木の胸高直径・幹回りの周囲を測定する実証の 2 つの技術項目について実証を実施した。



本実施項目で使用するドローンについては、取得可能な画像に応じて使い分けており、Mavic 3 Enterprise（以下、Mavic 3E）（DJI 社）（表2-E-2）を、樹林上空から樹林を撮影するために使用した。また、樹林の対象木の胸高直径を算出するために樹林内の動画の撮影のため、小型ドローンである Skydio2+（Skydio 社）を使用した。

これらのドローンを用いて、撮影された動画や画像は、対象木の樹高、胸高直径の解析のために Forestry（オーイーシー社）、樹林面積や樹林全体の資源量等の情報解析を行うために、くみき（スカイマティクス社）を使用し、樹林データの解析を行った。

Forestry は、オーイーシー社により、開発・提供されているクラウドサービスであり、樹林内を撮影した動画から、画像解析 AI を活用して樹木の本数、直径、樹高などを解析するクラウドサービスである。

くみきは、スカイマティクス社が開発したオルソ画像や三次元点群データなどの地形データを生成する「SfM 機能」とオルソ画像、三次元点群データ、DSM、三次元設計データ、その他 GIS のベクター、ラスタデータ及び現地の写真までを地図上で管理できる「GIS 機能」を統一して利用できるパソコンのスペックに依存しない純国産クラウドサービスである。

表 2-E-2 ドローン機体の概要

機体		
	DJI Mavic 3E	Skydio 2+
最大離陸重量	1050g	800g
最大飛行時間	45 分	27 分
動作環境温度	-10℃～40℃	-5℃～50℃
最大耐風速	12m/s	10m/s
バッテリー	5,000mAh	5,410mAh
防水性能	なし	なし

出典：DJI 社のホームページ (<https://enterprise.dji.com/jp>) より引用

表 2-E-3 樹林測定システムの概要

システム名称	くみき	Forestry
開発会社	スカイマティクス社	オーイーシー社
利用可能な環境	インターネット通信回線が利用できる環境	インターネット通信回線が利用できる環境
推奨ブラウザ	Google Chrome、 Microsoft Edge	Google Chrome
代表的な機能	<ul style="list-style-type: none"> ・オルソ画像・点群データ等の地形データ生成機能 ・GIS 測定機能 ・GIS 例や管理機能 	<ul style="list-style-type: none"> ・動画アップロード ・動画ダウンロード ・樹木の解析結果確認 ・樹木の解析結果一覧

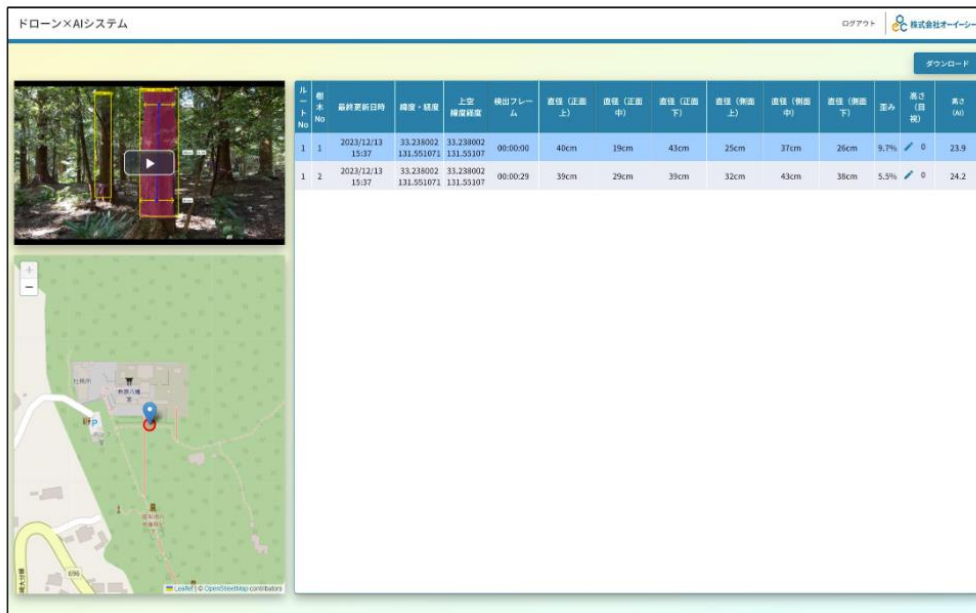


図 2-E- 1 Forestry 画面イメージ

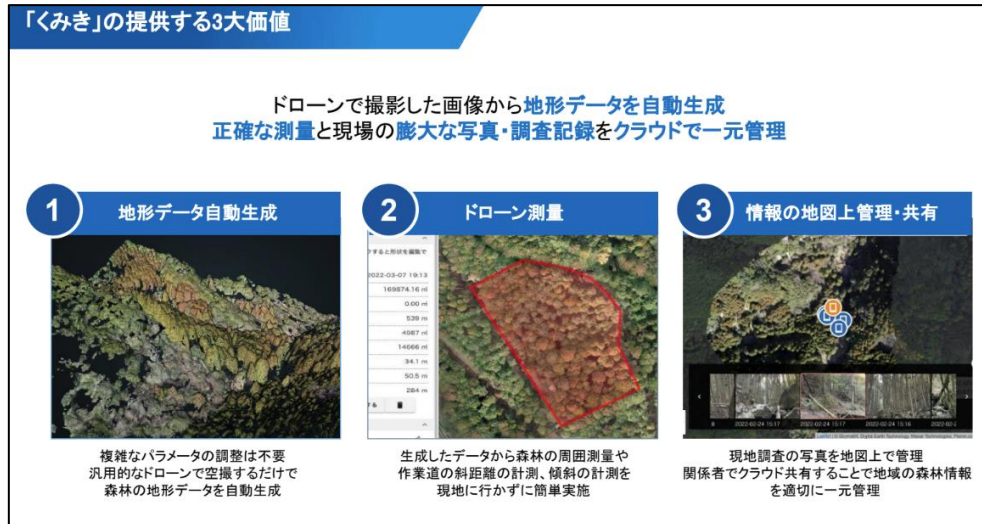


図 2-E-2 くみき説明資料

2.2 実施場所等

(1) 実証期間・実証日

現地での実証は、令和5年10月25日に事前の現地確認を実施したうえで、令和5年10月30日、10月31日に実施した。当日のタイムスケジュールを表2-E-4、表2-E-5に示す。

表 2-E-4 令和5年10月30日の実証スケジュール

日時	場所	作業内容
午前 9:15	柞原八幡宮の森周辺	現地の地形・気象状況の確認
午前 9:45	柞原八幡宮の森	機材の配置・準備
午前 10:00 前後	柞原八幡宮の森	ドローン飛行実施（複数回）
午後 0:00	柞原八幡宮の森周辺	データ確認
午後 1:00	柞原八幡宮の森	追加ドローン飛行実施

※上空からのドローン撮影と樹林内のドローン撮影は同時に実施を実施した。

表 2-E-5 令和 5 年 10 月 31 日の実証スケジュール

日時	場所	作業内容
午前 9:05	日吉神社の森周辺	現地の地形・気象状況の確認
午前 9:15	日吉神社の森	機材の配置・準備
午前 9:20	日吉神社の森	テスト飛行開始
午前 9:30	日吉神社の森	飛行ルート調整
午前 9:40	日吉神社の森	ドローン飛行実施（複数回）
午前 11:00	日吉神社の森	データ確認
午前 11:15	日吉神社の森	樹木医による従来手法での対象木の測定
午後 1:00	柞原八幡宮の森	樹木医による従来手法での対象木の測定

(2) 実証場所

大分県で特別保護樹林に指定されている樹林のうち、大分県柞原八幡宮の森（大分市大字上八幡）（図2-E-3、図2-E-4）および、大分県日吉神社の森（大分市大字木田）（図2-E-5、図2-E-6）を対象に実証を実施した。



図 2-E-3 大分県柞原八幡宮の森



出典：地理院タイルに加筆

図 2-E-4 大分県柞原八幡宮の所在地



図 2-E-5 大分県日吉神社の森



出典：地理院タイルに加筆

図 2-E-6 大分県日吉神社の所在地

2.3 実施条件等

(1) 実施と機能

実証にあたって、前提として求められていた条件と機能は表2-E-6に示すとおりであり、この条件等に基づき実証を実施した。

表 2-E-6 条件と機能

実証内容に共通な条件と機能
(1) 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること。
(2) 自然環境（特に（1） 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること。
(4) 広大な面積、複雑な地形、見通しが悪い森林や暗所、動物移動の観測など自然物の特有の状態でも取得する情報の正確性を確保することが可能なデジタル機材や情報収集方法とすること。

(2) 大分県側の要請に基づく実施条件

本実施項目の実施に当たり、実証の対象地の柞原八幡宮および日吉神社では、それぞれ県や国の重要文化財を含む建造物を有することから、大分県側との事前協議でドローンでの樹林上空の飛行時には、区域内の建造物の上空をドローンが通過することがないように配慮して飛行することが求められた。

また、当初は「スギ・ヒノキ」を本実施項目での計測対象と想定していたため、本実施項目スギ・ヒノキの学習データから構築されるモデルを用いる林業用のシステムを使用することとしたが、実証実施前に、大分県より対象樹林にはスギ・ヒノキ以外の樹種も混在しているため、今後の活用に向けてスギ・ヒノキ以外の樹種も測定対象とできるか検証いただきたいとの要望をいただいた。

本実施項目で使用するシステムでは、スギ・ヒノキ以外の樹種については正確な測定ができない懸念はあったが、本実施項目スギ・ヒノキ以外の樹種についても、現行の樹林測定システムを用いて解析が可能か試行し、樹木であると判定ができるか、実測値に対する誤差の程度はどの程度かを検証したうえで、樹林測定システム開発担当者へ今後の実用化に向けた課題についてヒアリングを踏まえ実証を通じて明らかになった課題や改善の方向性を取りまとめることとした。

(3) 行政手続

大分県環境緑化条例により、特別保護樹林の樹林内への調査での立ち入りの際には、事前に大分県が発行する身分証明書を携帯する必要があるため、その身分証明書発行に際し調査参加予定者の名簿の提出を行った。

また、国土交通大臣の許可や承認が必要となる空域及び方法でのドローンの飛行を行う場合、航空法の取り決めにより基本的に DIPS2.0を通じた飛行許可・承認手続を実施する必

要がある。本実証は目視外となる場所での飛行であったため、補助者あり目視外の形式で飛行計画の申請を行った。

(4) その他の手続

実証実施に対する事前説明は、大分県庁担当者を経由して、各対象地の管理者へ説明した。

3 技術実証の結果

3.1 結果の評価ポイント・方法

(1) 実施結果の確認方針

1.3 (6) で概要を示した評価ポイントを踏まえて策定した実施項目 E の実証の確認方針と具体的な指標等の内容を表3-E-1に示すとおり整理した。

下記の評価ポイントに基づいて確認した結果は、3.2(1)に後述した。

表 3-E-1 実証結果の確認方針

評価ポイント	確認方針	指標、及びその目標値
① 網羅性の比較	<ul style="list-style-type: none"> ドローンによる空撮を行い、その取得データの撮影範囲を確認する 	<ul style="list-style-type: none"> 想定した空撮範囲が取得したデータでカバーできているか (80%)
② 正確性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 林上空、林内部をドローンで撮影し、その画像を確認、解析することで各種情報の判断を行う -50cm 単位での木の高さの判別 -2cm 単位での木の太さの判別 -葉の有無の識別、枯れた状態 (緑と茶色の識別等) の識別: 目視での識別 	<ul style="list-style-type: none"> 50cm単位での木の高さの判別、2cm単位での木の太さの判別、葉の有無の識別、枯れた状態 (緑と茶色の識別等) の識別等が可能な画像データが得られるか 平均誤差10%以下で胸高直径・樹高の計測や、大分県「特別保護樹木等調査選定要領」に定められた選定基準に基づく自動判定ができたか
③ 継続性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 取得したデータが、従来手法によって得られた情報との比較が可能かを判断する 	<ul style="list-style-type: none"> 過去の樹木データとの比較が可能か
④ 経済性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 従来手法と比較し、工程全体で発生する費用がどの程度軽減されているかを判断する 	<ul style="list-style-type: none"> 来手法より低いコストで実現できるか
⑤ 機動性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 従来手法と比較し、業務に要する期間が短縮されているかを判断する 	<ul style="list-style-type: none"> より少ない工数で必要アウトプットを作成できるか
⑥ 再現性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 調査実施における条件を明確化したうえで、撮像と出力を行い、取得したデータを評価する 	<ul style="list-style-type: none"> 現地の地形状況、天候、通信環境によらず調査が可能か。実施が困難な条件、環境がある場合その条件が明確になっているか
⑦ 安全性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 従来手法において生じる危険リスクが、ドローン活用によって軽減・解消されているか、また新たに生じるリスクがないかを判断する 	<ul style="list-style-type: none"> 従来手法と比較して安全か (デジタル技術の活用により、樹木等に悪影響を及ぼしていないか) 実証期間中、機材が樹木本体や景観、地形を損傷しないためのフェイルセーフ設定を講じることができているか
⑧ 機密性の比較	<ul style="list-style-type: none"> 従来手法と比較し、出力データ管理に係るセキュリティが適切に担保されているかを判断する 	<ul style="list-style-type: none"> 継続可能なコストで十分にリスクが低減できているかどうか

(2) 実施結果の評価方法

実証結果については、前述のとおり設定した指標等が達成できたかを確認するとともに、各実施項目において共通の前提条件や機能要件として定められた事項を満たすかも検証した。具体的には、定量的評価と定性的評価の二つの観点から、各項目に応じて表3-E-2に示すとおり評価することとした。

表 3-E-2 実証結果の評価方法

実証内容に共通な条件と機能	評価方法
(1) 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること	<ul style="list-style-type: none"> ・最寄りのアメダスデータや現地調査時に取得した気象条件をもとに、実証期間中の気温、降水量、風速について整理して、使用機材の耐用条件を基準として検証し、実証成功時にドローンによる業務代替可能な天候条件を評価する
(2) 自然環境（特に生物）への影響に配慮したデジタル機材や情報収集方法とすること	<ul style="list-style-type: none"> ・騒音、強い光、周囲の景観に沿わない色彩、悪臭などを発生させない機材を選定し、ドローンの飛行音等についても、周囲と十分な離隔を確保する等の対策を実施の上、自然環境への影響がないかを評価する
(3) 対象法令及び関係法令の規制に抵触せず、また公園利用に著しい支障（例えば、ドローン落下により景観や地形を損傷する、放置状態にする等）を与えないデジタル機材や情報収集方法とすること	<ul style="list-style-type: none"> ・対象外
(4) 広大な面積、複雑な地形、見通しが悪い森林や暗所、動物移動の観測など自然物の特有の状態でも取得する情報の正確性を確保することが可能なデジタル機材や情報収集方法とすること	<ul style="list-style-type: none"> ・ドローンの撮影範囲について、計画した範囲を取得したデータで把握できるか評価する ・人での模擬的な現地測量と差分を把握する
(5) 自然環境の雰囲気（静謐、自然音、香り等）の把握に際して、人間の五感を可能な限り再現すること	<ul style="list-style-type: none"> ・対象外
(6) 取得したカメラやセンサー等での取得情報は、利用調整地区制度を管理する施設にリアルタイムで送信し表示させること	<ul style="list-style-type: none"> ・対象外
(7) 国立公園の普通地域又は自然環境保全地域の普通地区における行為届出に関し、行為地周辺の3次元立体構造データを作成して実証を行う場合、ノートパソコン向けの内蔵GPUのみでも支障なく動作し操作ができるものとすること	<ul style="list-style-type: none"> ・対象外

3.2 結果及び評価・分析

(1) 技術実証の実施結果

(ア) 想定した空撮範囲が取得したデータでカバーできているか（80%）

くみきを用いて対象範囲の面積の測定を行った結果、柞原八幡宮の森は、15,863㎡≒

1.59ha であり（図3-E-1）、カバー率は97%、日吉神社の森は、9,447.20m²≒0.94ha であり（図3-E-2）、カバー率は99%となり、ともに測定対象の空撮範囲は実証計画段階で定めたドローン等のデジタル技術での測定にかかる評価指標の80%のカバー率を満たしたため、本指標は達成できた。

本実施項目にて対象とした区域の範囲について、昭和49年3月15日の特別保護樹林指定時に作成された看板の情報より柞原八幡宮の森は1.63ha、日吉神社の森は0.95ha が対象とされている。但し、看板では対象区域の簡単な概略図があるのみであり、県ではそのほかの指定時の関連資料も残っていないため区域の正確な境界線は定かではない（図3-E-3、図3-E-4）。よって、それぞれの看板の概略図と実地調査での結果を対照させたうえで、看板に記載されている面積情報に合わせた区域を空撮対象範囲とした。

くみきでは、表3-E-2に示す条件で撮影した画像から SfM 解析によりオルソ画像を生成し、オルソ画像の任意の範囲を GIS 機能を用いて面積を計測することが可能である。

表 3-E-3 くみきでオルソ画像生成を行うための画像撮影に必要な条件

- 直下視でのオーバーラップ撮影を実施。
- コース内オーバーラップ率 85%
- コース間オーバーラップ率 75%
- 撮影コースが 3 コース以上で、1 コース当たり 4 枚以上の撮影
- 平均値上解像度 2cm による画像取得

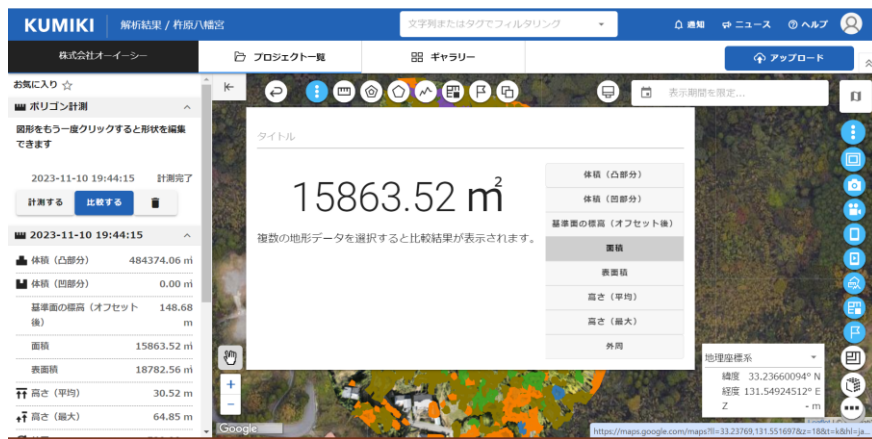


図 3-E-1 柞原八幡宮の森 面積測定結果



図 3-E-2 日吉神社の森 面積測定結果



看板右上に 1.63 ヘクタールである旨の記載あり

図 3-E-3 柞原八幡宮の森 特別保護樹林看板



図 3-E-4 日吉神社の森 特別保護樹林看板

(イ) 50 cm単位での木の高さの判別、2cm 単位での木の太さの判別、葉の有無の識別、枯れた状態（緑と茶色の識別等）の識別等が可能な画像データが得られるか。

Forestory での解析結果より、木の高さについては10cm 単位、木の太さに関しては1cm 単位での推定を行うことが可能であった。

また、くみきを用いて作成したオルソ画像では、対象樹林について、立体的な再現画像を作成でき、その画像から 図3-E-5のように人が目視することで葉の有無やその色の状態の識別がだまかに可能であった。よって、本指標は達成できた。

Forestory では、ドローンで撮影した樹木の動画（対象樹木1本に対し1～2分程度の長さで撮影した mov ファイル形式の動画）を用いて、人工林で樹木画像を学習済みの画像処理 AI を用いて動画データ中の特徴量より樹木を認識、判定し、解析を行う。

Forestory での対象樹林の樹高・胸高直径の測定結果を図3-E-4、図3-E-5に示す。

表 3-E-4 柞原八幡宮の森 対象樹木解析結果

樹種	実測幹周	実測樹高	実測直径	初期解析樹高	初期解析直径	初期樹高誤差	初期直径誤差	調整後樹高	調整後直径	調整後樹高誤差	調整後直径誤差
スギ	195	3020	62.1	2770	48	8.3%	22.7%	2550	53	15.6%	14.7%
ヒノキ	137	2510	43.6	2060	29	17.9%	33.5%	2630	44	-4.8%	-0.9%
ヒノキ	120	2560	38.2	1990	26	22.3%	31.9%	2530	40	1.2%	-4.7%
ヒノキ	155	2740	49.3	-	-	-	-	-	42	-	14.8%
ヒノキ	115	2550	36.6	1370	17	46.3%	53.6%	2480	37	2.7%	-1.1%
ヒノキ	102	2300	32.5	1780	21	22.6%	35.4%	2210	32	3.9%	1.5%
ヒノキ	150	2490	47.7	1920	28	22.9%	41.3%	2420	43	2.8%	9.9%
ヒノキ	164	2650	52.2	2000	27	24.5%	48.3%	2540	41	4.2%	21.5%
ヒノキ	148	2790	47.1	2110	36	24.4%	23.6%	2710	45	2.9%	4.5%
ヒノキ	154	2670	49	1940	28	27.3%	42.9%	2450	43	8.2%	12.2%

表 3-E-5 日吉神社の森 対象樹木解析結果

樹種	実測幹周	実測樹高	実測直径	初期解析樹高	初期解析直径	初期樹高誤差	初期直径誤差	調整後樹高	調整後直径	調整後樹高誤差	調整後直径誤差
クスノキ	275	1760	87.5	-	-	-	-	-	71	-	18.9%
クスノキ	92	2070	29.3	1440	17	30.4%	42.0%	1680	26	18.8%	11.3%
クスノキ	180	2050	57.3	2270	30	-10.7%	47.6%	2950	45	-43.9%	21.5%
クスノキ	260	1540	82.8	2240	32	-45.5%	61.4%	3040	49	-97.4%	40.8%
クスノキ	310	2390	98.7	2370	39	0.8%	60.5%	3110	59	-30.1%	40.2%
ヒノキ	125	1280	39.8	1970	26	-53.9%	34.7%	2500	39	-95.3%	2.0%
ヒノキ	87	1300	27.7	1370	17	-5.4%	38.6%	1580	27	-21.5%	2.5%
ヒノキ	89	1260	28.3	1490	17	-18.3%	39.9%	1270	28	-0.8%	1.1%
ヒノキ	97	1370	30.9	1720	27	-25.5%	12.6%	2120	41	-54.7%	-32.7%
スギ	100	1500	31.8	1900	24	-26.7%	24.5%	2080	32	-38.7%	-0.6%

Forestry については特にパラメータなどの調整は行わず、樹林内で撮影した動画データを読み込ませた状態で初期の解析を行った結果、誤差が大きい状態であった。そのため、樹種情報のラベリングや、Forestry のパラメータや使用データなどを、改めて調整した上で解析したところ、柞原八幡宮では平均誤差を樹高については±5.14%（Forestry が樹木だと認識できなかった1本除く）、胸高直径については±8.58%と、誤差±10%以内で自動計測を行うことができた。スギ・ヒノキのみでなくクスノキも混在する日吉神社の森での解析結果はパラメータ調整を行った後も、平均誤差は、樹高については±44.58%（Forestry が樹木だと認識できなかった1本除く）であったものの胸高直径については、±17.16%となり、おおむね誤差±15%前後での自動解析が可能であった。今後のさらなる改善に向けての原因や改善策の示唆については、実施項目 E の3.2（2）以降にて述べることとする。

本実施項目では実施対象外となったが、くみきを開発したスカイマティクス社によれば、現在のくみきには機能としては設けられていないものの、葉の有無やその色の状態の識別について、システムを活用し定量化しての確認も技術的には可能であるとのことである。

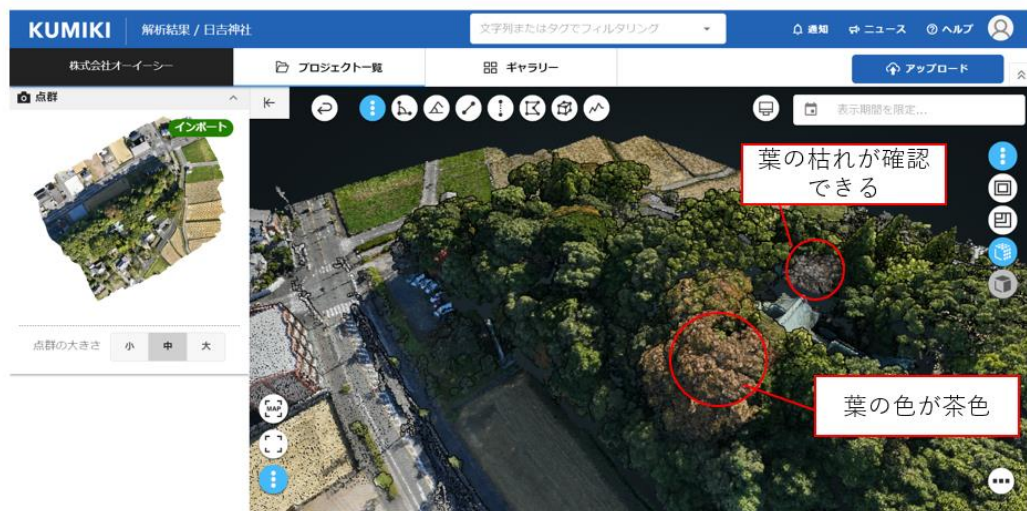


図 3-E-5 くみきで作成した樹林のオルソ画像を用いて作成した立体画像に葉の色や枯れの状態を確認できたか所を図示（日吉神社の森）

(ウ) 平均誤差 10%以下で胸高直径・樹高の計測や、大分県「特別保護樹木等調査選定要領」に定められた選定基準に基づく自動判定ができたか

表3-E-4、表3-E-5より、Forestory を用いた胸高直径、樹高の計測結果は、対象木での実測値と比較すると、樹高については対象20本中11本で、胸高直径については20本中10本で誤差±10%以内での測定を達成した。

また、そのほかの大分県「特別保護樹木等調査選定要領」にて定められた選定基準のうち定量的に計測可能である項目についてのシステムを用いた解析結果を以下に示す。

「2 樹林をなす区域面積が500㎡以上であること。」

くみきでの面積の測定結果を人が目視することによって基準を満たしているかを確認することができ、本項目を判定することが可能である。

くみきでは、くみき画面上で表示された立体画像の任意の範囲を囲うことでポリゴン生成ができ、指定したポリゴンから対象範囲の面積が確認可能である。

くみき画面上で、対象となる区域面積を撮影画像から生成した立体画像や、電子地図上に立体画像を対応させた画面にて、測定したいエリアを指定し、分析することで区域面積を確認することができる。

本測定結果では、図3-E-1、図3-E-2に示すとおり、柞原八幡宮では15,863.52㎡、日吉神社では9,447.2㎡となり、基準となる「樹林をなす区域面積が500㎡以上である」を満たしていた。

「3 区域面積に対する樹林の占有率が60%以上あること。」

くみきでの面積の測定結果を人が目視することによって基準を満たしているかを確認することができ、本項目を判定することが可能である。

くみきを用いて上述のポリゴンを使用した面積計測により、対象区域全体の面積より樹林以外の建造物の面積を除外し計算したところ、日吉神社については、樹林以外の建造物の面積が、1197.32㎡であり、樹林のみの面積は、8,249.88㎡であり、その占有率は、87.3%となり、基準を満たしていることを確認できた。

また、柞原八幡宮では、樹林以外の建造物の面積が、3249.9㎡であり、樹林のみの面積は12,613.6㎡であり、その占有率は79.5%となるため、こちらも基準を満たしていた。

「4 樹林部における立木密度は、300本/ha 以上とする。」

くみきでの立ち木本数の測定結果を人が目視することによって基準を満たしているかを確認することができ、本項目を判定することが可能である。

くみきでは、地面の高さデータ（DEM）と表層の高さデータ（DSM）の差分より、樹冠高（CHM）を算出し、CHMとオルソ画像を用いて樹頂点の位置を検出し、この頂点のポイント数を計測することで立ち木本数を計測可能である。

上記の機能により立ち木本数を測定し、柞原八幡宮の森では、範囲内の樹木は745本であり、1ha あたりの立木密度は、457本/ha、日吉神社では範囲内樹木は413本であり、1ha あたりの立木密度は、434本/ha であった。

よって、双方ともに測定結果は本項目の基準である1ha あたり300本以上であることを満たしていた。



図 3-E-6 ポリゴン計測機能による立木本数計測結果

「5 樹林を構成する中高木の平均胸高直径は、25cm 以上とする。」

表3-E-4、表3-E-5に示す Forestry の解析結果より胸高直径はいずれも25cm 以上であることが確認できた。また、実測値との比較結果について、胸高直径については20本中10本が誤差±10%以内に収まる測定結果となった。

(工) 過去の樹木データとの比較が可能か

今回の対象樹林の樹木データについては、過去の測定時の既存データがないため、実際の過去の測定データとの比較はできない状態であった。

また、本実施項目では各対象地について1日のみの実証となったため、期間をまたいだ樹木データの比較の可否を確認することはできなかった。

一方で、くみき上では図3-E-7のように同じ地域について、時期をずらして撮影した情報を比較対照させることも可能であり、測定したデータを記録しシステムを活用することで、過去のデータと目視で比較確認しながら、任意の計測範囲における体積、面積等を比較表示可能させることは可能である。

具体的には、一方の画像上で範囲指定したポリゴンがもう一方の画像にも自動反映され、ポリゴン内の体積を自動比較することが可能であり、また、自動反映されたポリゴンの範囲を任意に調整することができるため、それぞれの時期の範囲を調整し、面積を自動比較することが可能となる。



本実施項目対象樹林ではなくサンプル地の様子、図上で「くみき」にて、対象地のポリゴンを作ることで伐採面積の変化の確認が可能。

図 3-E-7 くみきを用いた同一地域の揭示比較（本実施項目）

(オ) 従来手法より低いコストで実現できるか

従来手法でのコストの試算結果が161,055円であったのに対し、デジタル手法でのコストの試算結果は124,485円と従来手法の77%程となり、従来手法より低いコストで実現できるといえる。

従来手法での樹林の測定に係る費用の試算では、大分県の森との共生推進室からヒアリングした情報と、大分県土木建築部より公表されている「物件等調査業務費積算基準（R4.7.15）」及び「土木工事積算単価（R5.10.15）」を踏まえ算出を行った。大分県の森との共生推進室からのヒアリング結果より、従来手法では平成17年度に行われた調査の実績より、2ha以下の樹林では、20m×20mの標準地（400㎡）を1区域設け、区域内の樹木の樹高や胸高直径を調査していたため、面積が1.63haである柞原八幡宮の森と0.95haである日吉神社の森でそれぞれ標準地は1区域ずつの計2区域となり、樹木の測定対象面積の合計は800㎡となる。

「物件等調査業務費積算基準（R4.7.15）」にて公表されている用材林の調査にかかる1000㎡あたりの工数を、上記の樹木の測定対象面積（800㎡）での工数に換算し、さらに対象天然林であることを考慮し、傾斜地として、1.3倍の補正を行った費用を直接人件費としている。

算出された直接人件費を基に「物件等調査業務費積算基準」にて定められた材料費、その他原価、一般管理費の値を求め、合計すると、161,065円となる。

なお、大分県によると、従来手法での調査では現地での樹木の測定のみならず、空中写真を用いて樹林の面積や樹林部の割合の計算を行っているが、この際に用いる空中写真は特別

保護樹林の指定又は保全以外の業務で撮影されたものを使用しているため、空中写真の購入や撮影委託に係る費用は試算の対象外となる。

デジタル手法でのコストは、ドローン操縦者1名（ドローン機材レンタル費用含む）と補助者1名の人件費及びシステム利用料にて構成される。

本実施項目にて、予備の撮影も含めてドローンの撮影はスムーズに実施でき、実証地間の距離も22km 程であったため、操縦者の移動に長時間を要することはなかった。ドローンの実運用の際には、1か所につき2、3飛行で必要なデータが取得でき、また、1飛行当たり最大でも30分程度であることから、操縦者の移動などを考慮しても、2か所につき0.5日で測量が可能と考えられる。操縦者を手配する費用は同様事例での過去実績を踏まえ、1名1日当たり80,000円程度（ドローンレンタル費用含む）となる。また、令和6年1月現在ではドローン操縦者の目視外での飛行が含まれる場合、安全確保のため航空法などの法規制により飛行区域への第三者の立ち入り管理などを行うための補助者の設置が求められる。

補助者は1名1日当たり8,970円程度の人件費がかかると見積もられ、2か所の樹林の測量にあたる人件費は合計すると44,485円となる。

また、今回使用したシステムでの解析に関しては、条件により利用料は変動するものの、各システム会社より提供された費用情報を参照すると、本実施項目の事例においてはくみきの使用に際しては1か月あたり約30,000円、Forestory の使用に際しては最大でも1か月あたり50,000円のシステム利用料がかかることが想定されるため、1か月あたり約80,000円程度のシステム利用料となる。よって、デジタル手法での2か所の樹林の測定・解析にかかる費用は、合計124,485円と見積もられる。

上記の結果を踏まえ、デジタル手法での測定は、従来手法で実施した場合よりも約22%コストを削減し実施できると考えられる。

表 3-E-6 樹林調査の測定結果出力までのコスト

手法	科目	必要単位	単価	所要費用	備考
従来手法	主任技師 人件費	0.04 人日	62,200 円	2,588 円	
	技師 B 人件費	0.38 人日	45,300 円	17,471 円	
	技師 C 人件費	0.92 人日	35,600 円	32,581 円	
	技師 D 人件費	0.40 人日	31,600 円	12,488 円	
	材料費	-	-	4,556 円	直接人件費の 7%
	その他原価	-	-	35,047 円	直接人件費× α / (1- α) $\alpha=35\%$
	一般管理費	-	-	56,372 円	業務原価 (直接人件費 + 材料費 + その他原価) × β / (1- β) $\beta=35\%$
合計	-	-	161,065 円		
デジタル 手法	ドローン操縦者 業務依頼費用	0.5 人日	80,000 円 (1 人日)	40,000 円	過去同事例実績より 算出 ドローン機材のレンタル 費用を含む
	安全管理補助 者業務依頼費用	0.5 人日	8,970 円 (1 人日)	4,485 円	1,196 円×7.5 時間 ((アイテム社調査の 大分県アルバイト平均 時給 ((令和 6 年 1 月 11 日時点)) より概算))
	システム利用料	1 か月	80,000 円 (1 か月)	80,000 円	くみき : 30,000 円 Forestry : 50,000 円
	合計	-	-	124,485 円	

※各従事者の宿泊費、旅費などは除く

※補助者人件費は、https://www.e-aidem.com/clp/pay/0744_pay.htm (令和 6 年 1 月 19 日閲覧) 参照

(カ) より少ない工数で必要アウトプットを作成できるか。

従来手法での調査での所要工数は、1.74人日と試算されるのに対し、デジタル手法での所要工数は、約1.0人日と試算されるため、デジタル手法ではより少ない工数で必要アウトプットを作成可能である（図3-E-7）。

従来手法での測定においては、上記コストの計算時に活用した技師の所要工数を合計し、2区域の合計800㎡の調査に対し、合計1.74人日がかかると考えられる。

一方で、デジタル技術を活用した調査では、ドローンの飛行前の事前調査では、1時間程実地を訪れての確認を行ったが、飛行自体は、樹林上空におけるドローンの1回の飛行はおよそ5分程度で終了し、予備の飛行を含め3、4回実施するとしても20分程度の時間で撮影が完了する。また、樹林内でのドローン飛行についても1区域30分程度の時間で完了するため、ドローン操縦者1名と補助者1名の2名体制で、2区域合わせて1時間程度で作業が可能である。

なお、Forestory での解析に際しては、Forestory に対象となる樹木を撮影した動画をアップロードすることで自動解析が可能であり、動画アップロードまでの工数を樹木1本あたり10分程度とした場合、20本の解析で200分（3時間20分）ほどの所要時間と見積もられ、デジタル技術を活用した場合の合計所要時間は、約5時間20分となる。

また、樹林上空の撮影データからのくみきでの面積などの解析は、およそ5分程度で実施完了でき、上記の所要時間を合計し、デジタル手法での工数は、約1.0人日（約7時間25分）となる。

一方で、Forestory での解析においては、1本あたりの解析結果出力に40分ほどかかり、今回対象となった2区域の総計20本だった全対象樹木の測定では約1,200分（20時間）の時間を要した。これは、Forestory では、樹林内でのドローン飛行によって撮影した動画を用いて解析を行うところ、この動画の読み込み・解析に必要な所要時間であり、この時間にシステム利用者がシステムの調整などをする必要はないが、実際の利用場面では、解析結果出力まで相当な時間がかかる旨に留意し、日数に余裕をもってアップロードなどの手順を済ませておく必要がある。

表 3-E-7 森林調査全体のアウトプット出力までの想定所要時間

手法	作業	所要時間
従来手法	柞原八幡宮の森での森林調査 (20m×20m の 1 区画)	0.87 人日
	日吉神社の森での森林調査 (20m×20m の 1 区画)	0.87 人日
	合計	1.74 人日
デジタル技術	事前調査	1 時間/2 人
	ドローン飛行 (2 区域)	1 時間/2 人
	Forestory でのシステム解析	3 時間 20 分/1 人
	くみきでのシステム解析	5 分程度/1 人
	合計	約 1.0 人日 (7 時間 25 分)

※各区域への移動時間などは含まない

※Forestory でのシステムへの動画のアップロードにかかる待ち時間は含まない

(キ) 現地の地形状況、天候、通信環境によらず調査が可能か。実施が困難な条件、環境がある場合その条件が明確になっているか。

実証時の気候条件については以下のとおりであり、穏やかな状況下での実施となった。(風速は、離着陸箇所周辺にて、デジタル風速計 (Proster 社製、TL0017) を用いて、ドローンの飛行前に測定を行った。)

表 3-E-8 大分の実証時の気候条件

	令和 5 年 10 月 30 日 午前 11 時	令和 5 年 10 月 31 日 午前 11 時
天候	曇後晴	晴
平均気温	17.0℃	19.9℃
測定風速	0.0m/s	0.0m/s

※天候、気温は気象庁 大分県大分市の情報を参照、風速は現地にてデジタル風速計で測定

ドローンでの撮影について、柞原八幡宮での撮影は上空については対象面積が広く、また樹林内については、対象木の周辺に草木が深く生い茂っていたため、日吉神社での撮影より所要時間が長くなる形となった。

本実施項目では、特に柞原八幡宮の森では高低差ある状態であったが、ドローン側で地形に追従した飛行操作を行うことが可能であるため、地形状況によらず調査を行うことができた。一

方で、柞原八幡宮では一番高台にある場所に本殿が存在するため、周囲から見下ろす形でドローンの状況を目視で確認することが難しい状況であり、比較的に見通しが良いと思われる場所に5名ほどの補助者を配置し状況を監視しての実施となった。

なお、本実施項目では確認項目の詳細の分析に向けたデータ収集や、限られた実施期間内で安全かつ無事故で実施できるよう万全の態勢を整えるために実証地の状況を効率よく確認する必要があったため、やや多くの人員を割いたが、このような制約がない中では補助者は1名で十分だと考えられる。

また、本実証時には風もない状態であり穏やかな天候条件の中での実施となったが、表3-E-2のとおり、製造者から公表されている情報では、Skydio2+の場合は10m/s 以上、Mavic 3E の場合は、12m/s 以上という風速条件には耐性がないことや、いずれも防水性能は実装されていないため、今回使用した機材では強い雨風にさらされる場合は調査が困難となる。一方、本調査は高頻度で行う調査でないため、事前に天気予報等を確認するなどしながら、調査計画を行うことで当該リスクについては回避が可能と考える。

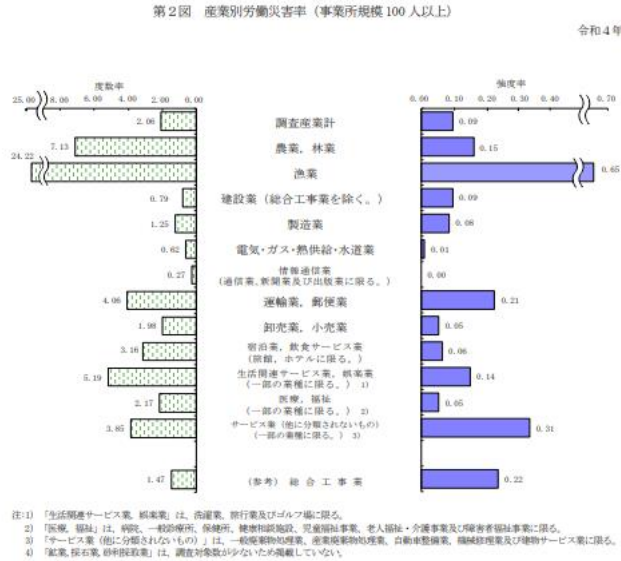
そのため、本実施項目では、台風や荒天など強い雨風が発生した場合に備えて、実証予備日を2日程あらかじめ設定したほか、実証の1週間前、3日前でそれぞれ気象庁の天気予報を確認し現地入りの可否や実証実施の判断タイミングを設けた。また、上述のように雨風がない場合でも飛行前に現地でデジタル風速計を用いて風速を確認したうえ、雨風のリスクが高いと判断された場合には飛行を中止できるよう事前計画を行うといった対策をとることで、安全な調査の実施に向けてのリスク対策を講じた。

(ク) 従来手法と比較して安全か（デジタル技術の活用により、樹木等に悪影響を及ぼしていないか。）

林業はその性質より、非常に危険と隣り合わせである業種として知られている。

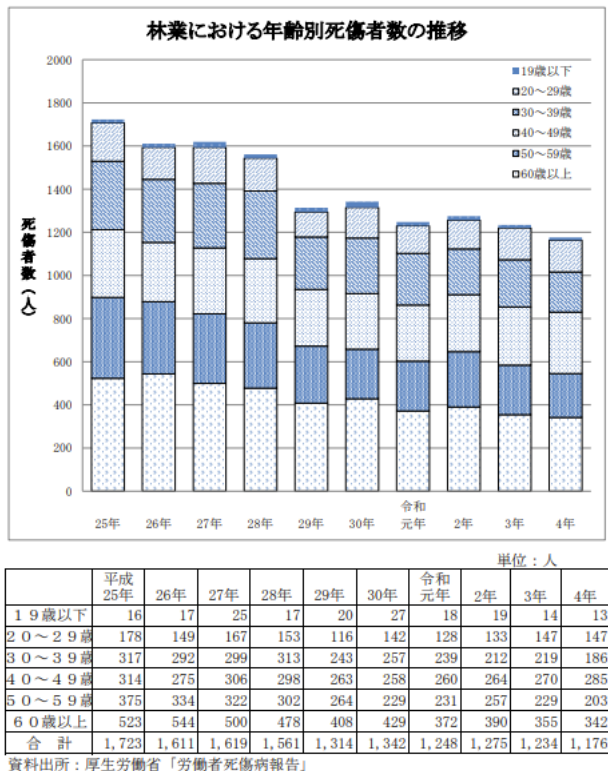
厚生労働省により発表されている令和4年度労働災害動向調査（事業所調査（事業者規模100人以上）及び総合工事業調査）の結果においても、100万延べ実労働時間当たりの労働災害による死傷者数で、災害発生の頻度を表す度数の統計において、産業間の比較において「農業・林業」は、「漁業」に次いで度数が高い状況（図3-E-8）であり、労働従事者への危険性は高い水準であり、林業における年齢別死傷者数の推移（平成25年～令和4年）を参照しても、若年層より中高年層での割合が高いことから、一定程度林業や森林の性質を知り尽くし専門性を有している熟練者においても災害の危険が高いことが推察される。

実施項目 E | ドローンを活用した大分県特別保護樹林の指定、保全のための調査業務



引用：厚生労働省 令和4年度労働災害動向調査（事業所調査（事業者規模 100人以上）及び総合工事業調査）

図 3-E-8 産業別労働災害率（事業所規模 100人以上）



引用：林業・木材製造業労働災害防止協会
 図 3-E-9 林業における年齢別死傷者数の推移（平成 25 年～令和 4 年）

林業・木材製造業労働災害防止協会によると、令和5年8月時点において、令和5年（2023年1月～8月）における、林業労働災害における死亡災害は、19件が報告されており、多くは伐採作業による死亡事故がほとんどを占めるものの、中には斜面からの滑落や蜂に刺されたことによる死亡事例も含まれている。

これらの現状を踏まえ、デジタル技術の代替により、人による樹林の立ち入りの機会を減らすことで、これらの災害に対するリスクが幾分か低減できると想定される。

また、従来手法による測定では、樹林内の木の測定にあたり対象とする木へ近づくために周辺の草木の構造により、人が通るのが難しい場合にはやむを得ずそれらの草木の枝を刈る・除去するといった対応が必要となる場合がある。

一方で、今回使用した Skydio2+のような小型のドローンを用いることで、使用するドローンが通れるサイズであれば、比較的人が立ち入るには狭い空間であっても、樹林内に調査や作業を行う人が立ち入れるようにするための草木や枝の除去といった対応をしなくて済むようになることから、デジタル技術を活用することで樹木等への悪影響も減らすことができると考えられる。

(ケ) 実証期間中、機材が樹木本体や景観、地形を損傷しないためのフェイルセーフ設定を講じることができているか。

本実施項目では、対象区域内に国指定重要文化財や県指定重要文化財が建造物内に所在するため、ドローンの上空飛行に際しては、区域内の建造物を避けて飛行するよう大分県より要請を受けていた。そのため、机上での地図上での確認とともに、事前調査、当日の確認時でもこれらの建造物上空を飛行しないよう慎重にルート作成を行った。

その他、飛行中においても鳥などの介入により落下することがないよう5名の補助員とともに注意深く監視を行い、危険が察知された場合には速やかに手動での操作でも避難できるように設定を行ったため、墜落や損傷などの事態を避けることができた。

樹木本体については、Skydio 2+では、四方にセンサーが装備されており、障害物の接近を検知した場合に自動的に止まるようフェイルセーフ設定を講じられており、実際に飛行測定時には樹木の損傷を起こすことはなかったため、当該項目を満たすことができた。

(コ) 継続可能なコストで十分にリスクが低減できているかどうか

本実施項目で使用したソフトウェア「くみき」を開発・提供するスカイマティクス社、「Forestory」を提供するオーイーシー社ともに情報セキュリティに対する代表的な第三者認証であるISO27001を取得済みであり、さらにオーイーシー社ではよりクラウドサービスの提供時に特化した情報セキュリティの第三者認証であるISO27017を取得済みである。各サービスともに、一般的な環境での使用であれば、別途特別なセキュリティ対策サービスなどを使用せずとも第三者からの確認を受け十分と認定される程度の対策が講じられた状態で標準利用できるため、継続可能なコストでリスクは十分に低減されているものと考えられる。

(2) 前提条件等に関する評価結果

(ア) 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること。

本実施項目実施期間では、表3-E-8のとおり、雨風もなく比較的温暖な環境下での実施となったため、厳しい環境下における精度の検証はできなかった。今回使用したドローンの耐性性能については、各製造者より、表2-E-2のとおり公表されており、風速10m/s 以下であれば測定の実施は可能と考えられる。今回使用したドローンについては、いずれも防水性能を有しておらず、降雨などの状況下では測定の実施が難しいと懸念される。

また、防水性能を有するドローンであっても、ドローンのカメラに雨粒が付いてしまう場合、対象の樹林や樹木を正確に撮影ができず、システムでの解析ができないため、雨天時での測定の実施は難しい。

そのため、上記実施項目3.2. (1) (キ)に記載のように、雨天が想定される場合には実証の実施を延期することができるよう事前に柔軟に対応できるよう、予備日を設けることや調査の数日前には気象予報を確認し、延期の可否を判断するタイミングを設けるなどの実施計画を立てていくことが求められる。

また、やや広範囲に及んだ柞原八幡宮の森（1.63ha 以上）の撮影においても1回の全体撮影を5分程度で実施できた。

各機体の最大飛行時間は Mavic 3E で45分、Skydio 2+で27分程度であるため、バッテリーの消耗や電圧低下が激しくなる寒冷な環境などでの実施を考慮しても、それぞれ15～20分程度は撮影可能であり、広大な環境に対する調査についてはドローンの活用により、従来手法での実施よりも効率的に測定可能だと考えられる。

(イ) 自然環境（特に生物）への影響に配慮したデジタル機材や情報収集方法とすること。

本実証において、機体の色彩自体もグレーなどの地味な色味であり、景観や周辺の生物を刺激しないよう配慮した機材を選定した。

飛行内容や使用する機体については航空法や関連法規制に準拠し、一定程度の安全性が保障されている機材を使用している。特に、樹林内部のドローン飛行については、樹林間を飛行するため小型かつ障害物回避の機能が充実した機材を選定し使用している。

しかし、樹林上空での撮影においては、ドローンの飛行中にカラスや鳶などの鳥がドローンに近づくことが複数回見られ、樹林に生息する鳥類の縄張りに近づいた場合は、これらの鳥類を刺激しうることが確認された。

本実施項目では、樹林上空の撮影に用いた Mavic 3E は比較的小型である機体であったが、それにもかかわらず、鳥類の縄張りに近づいた場合には鳥類の接近行動が発生した。

そのため、鳥類の接近の様子が見られたり想定されたりする場合には、ドローン側で鳥類の縄張りから離れるように操作を切り替え、しばらく時間をおいてから再度飛行を試みることで、鳥類による攻撃を受けず撮影を完了することができた。

(ウ) 広大な面積、複雑な地形、見通しが悪い森林や暗所、動物移動の観測など自然物の

特有の状態でも取得する情報の正確性を確保することが可能なデジタル機材や情報収集方法とすること（ドローンの撮影範囲について、計画した範囲を取得したデータで把握できるか評価する）

本実証では、樹林上空からの撮影については、特に柞原八幡宮の森は対象面積も広く高低差も激しい状況であったが、ドローンでの飛行は5分程度で対象範囲から計測に必要な画像を撮影することができ、撮影画像から測定した対象範囲の面積についても上述のとおり、計画した範囲を80%以上網羅できた。

また、今回は計測した画像からシステムで解析に使用するオルソ画像作成をより正確に撮影するため、撮影した画像同士のラップ率がサイドラップ率80% オーバーラップ率90%となるように飛行・撮影設定を行った。また、高低差による高度の変化については、ドローン側で地形情報に合わせて、地面からの高度を一定以上に保つよう調整ができる地形フォローの機能を使用し、高低差による影響を減らすように試みた。また、ドローン直下の撮影画像のみでオルソ画像を生成する場合、歪みが生じる懸念があったため、対象区域をななめ70°の角度から四方を撮影したデータを追加し解析に加えることで、より精度の高い地形情報の再現が可能となった。

また、樹林内での撮影については、撮影自体はすべての対象樹木で実施できたものの、対象20本中2本の樹木は、システムが樹木と認識することができなかった。これについて想定される原因と改善策については、実施項目 E の3.2（3）（イ）にて詳細を述べる。

人での模擬的な現地測量と差分の把握について

人での模擬的な現地測量では、実施項目 E の2.1に記載のとおり、直径巻き尺、赤白ポール、レーザー距離測定器といった専用の器具を用いて、人が直接対象木の周囲へ立ち入り、巻き尺やポールを樹木へ当てるなどといった作業を通して、測量が行われている。今回は、樹林内での対象木の測定については、各樹林で1区域の10本を対象としたが、人での検査の場合は1区域あたり1時間程度の時間がかかったのに対し、ドローンでの飛行自体は、上空での飛行の場合5分程度、樹林内での飛行の場合は長くても30分程度で終わることができた。

また、人での測量の場合は、三角比の原理を応用する形での計測となるため、測定対象の樹木から一定程度距離を置いた地点から対象樹木を確認する必要があり、草木が生い茂り地面が安定しない樹林の場合は、測定に適し、人が立つことができる地点を探すのに手間がかかっていた。また、樹高を測定する上でどの枝が最上部にあるかを下から見上げて探す必要があり、この際に選定する枝を誤ってしまった場合は測定結果にも大きなブレが生じることとなる。天然林の場合は、特に人による管理をされていないため、枝の形状も複雑となり樹高の測定対象とする枝を見つける作業も容易ではなかった。

ドローンでの撮影結果とシステムを用いた解析では、上記のような樹林立地による困難さを解消でき効率的にデータを取得することが可能である。本実施項目においてはシステムの学習データが樹種の偏りや人工林を元としていたこともあり、実測値との誤差が見られたものの、おおよそ誤差±10～15%の測定が可能であった。今後のさらなる精度向上に向けては天然林を想定した幅広い樹種や人工林ではない樹木のデータを学習させ、システムを改善させることが望

まれる。



図 3-E-10 従来手法での人での樹高測定の様子

(3) まとめと今後の展望

(ア) 対象業務（法令）に係るアナログ規制の見直しに資するか否か

本実施項目の実施結果を踏まえ、デジタル技術の活用は、対象業務（法令）に係るアナログ規制の見直しに資すると考えられる。

Forestry やくみきはスギ・ヒノキの人工林での林業に特化しているものであったため、胸高直径の測定について、スギ・ヒノキ以外の樹種である場合やや天然林である場合は対応できない懸念があったものの、結果的には樹林区域の面積や樹木の樹高樹高や胸高直径についておおむね誤差10%～15%程度での自動測定を行うことができた。

なお、本対象業務による実地調査については、最後に行われた調査は平成17年12月9日に指定された真玉八幡神社の林の調査であり、20年以上本対象業務による調査は実施されていない状況である。そのため、平成17年以前に指定された樹林については、測定調査時の情報はほぼ県内に記録として残っていない状態である。前述のとおり、本対象業務による実地調査の過去の運用を含めた詳細や調査手法について、具体的に定められていることは確認できなかった。

上述のような状況も踏まえ、実地調査の方法に関して、ドローン等の先端技術の活用を許容するなど時代に合った内容に改正することも手段の一つと考えられる。3.2（1）の(ウ)で示したとおり、特別保護樹林選定基準のうち、「3 区域面積に対する樹林の占有率が60%以上あること。」の測定に関しては、実際に現地で樹林の占有率を測定する場合は、多大な労力がかかるが、現地に行かずともシステム上で樹林ではない区域を指定するだけで樹林の占有率が60%以上であることを推測できるほか、「4 樹林部における立木密度は、300本/ha以上とする。」については、ポリゴン計測機能で立木本数をおおよそ計測できることから、これらの

指標の測定に関してはドローンやシステムを活用することで効率化できるのではないかと想定される。

(イ) アナログ規制の見直しにあたり留意すべき点等

アナログ規制の見直しに際して、以下のとおり林業特有の課題の観点や環境保全の観点からもアナログ規制の見直しを検討することで、対象業務（法令）の効率性や安全性の向上に貢献できると考える。

林業特有の課題の観点

デジタル技術を活用しない人の手による従来手法の調査では、樹林の専門知識を有した担当者でないと実施が難しいことや、専門家による調査であっても測定時の角度や頂点とする枝の選定状況などにより樹高の測定結果が変化しうろ様子が見られ、正確な樹高を測定することが難しい状態であることや、樹林の中では道が険しく測定を行うための場所が十分確保できないことや、周辺の人立ち入りが非常に困難であるといった事態が想定される。

さらに、林野庁より公表されている森林・林業白書（令和4年度）によると、林業従事者数は長期的に減少傾向であるほか、平均年齢は52.1歳であり、全産業平均に比べやや高齢である。加えて、前述のとおり、危険な現場での作業が多い場合、滑落などによる重篤な労働災害の発生の危険性もある。

このような状況も鑑みると、樹林の調査測定に関して部分的にでもデジタル技術の活用を通じて効率化していくことで、林業従事者の高齢化や不足にも対応でき、段階的にはあるものの現場作業における危険性の低減にもつながると考えられる。

環境保全の観点

昨今気候変動の影響が急進化するのに伴い、世界情勢としてもGXの推進が求められ、わが国でも森林環境譲与税の導入など、現存する樹林による森林資源量を正確に見積もり、大気中のCO₂量の低減に向けて、より定量的に森林を管理しようとする機運が高まっている。

本実施項目の実施項目に含まれていなかったが、くみきでは、ドローンでの撮影画像を用いて解析した結果より、さらに樹林内の樹木の炭素蓄積量といった資源量解析を手軽に行うことも可能である。

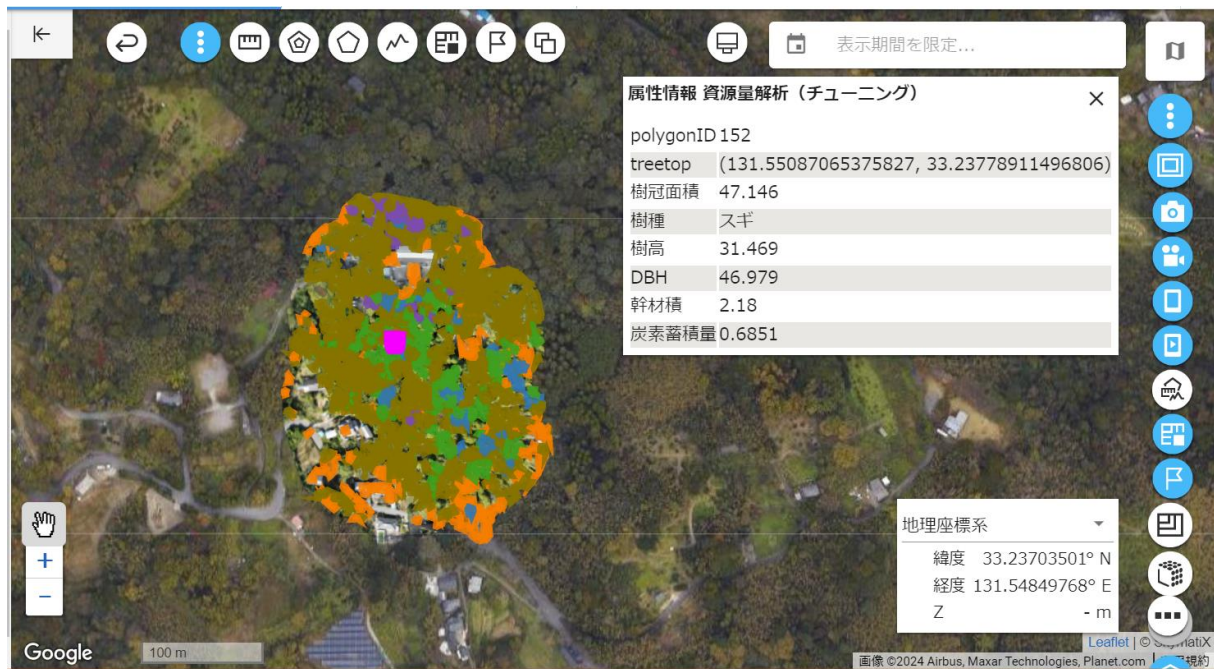


図 3-E-11 くみきによる柞原八幡宮のスギ（ピンク色箇所）の資源量解析画面

大分県の緑化及び保全を目的とする「大分県環境緑化条例」に関しても、情勢の動きにあわせ、すでに指定された樹林についても、その森林資源量の調査や正確なデータの記録保全、樹林の緑化保全状態について定期的にモニタリングしていくことが望ましいと考えられ、デジタル技術を活用することで、安全性、効率性が向上するだけでなく、環境保全などの観点も絡めて、従来業務の改善に貢献できると考えられる。

(ウ) 実証を通じて明らかになった課題や改善の方向性

天然林特有の誤差への対応

人工管理された樹林と天然の樹林とでは枝の伸び具合などの違いがある。本実施項目で使用した Forestory やくみきは、人工管理されたスギ・ヒノキ樹林の測定を対象としているため一定程度の精度が担保される樹種は限定されている。

また、胸高直径について、理論上は幹回りの周囲から円周率で割った数値となるが、天然林の樹木では歪みが大きく均一に丸い状態ではないため、実測値は上記の理論上の数値とは誤差がみられた。

樹高についても胸高直径をベースとし、林業用のスギで学習させたモデルで計算を行っているため実測値とは異なる結果が出た事例が生じた。

本実施項目の対象となった天然林では、人工管理された樹林よりもそれぞれの樹木の特徴が統一されていないため、AI での測定に向けた学習データの作成やそのチューニングには相当な量のデータを読み込ませる必要があり、そのデータの作成時には人手によるアノテーション作業が求められるものの、これらの天然林に対応した学習用のデータセットの作成による AI 精度の向上によって、天然林も対象とした活用が可能になると想定される。

Forestry の解析結果の誤差とその対応策

Forestry を用いた樹木の解析については、樹木により誤差の程度が異なることや、一部樹木と認識できない事例が生じた。

本事象に関して、Forestry を提供するオーイーシー社の担当者と原因の検証を進めたところ、動画の撮影結果より、樹木の前に障害物が少なく3秒以上樹木を認識できた場合には正常に動作するものの（図3-E-12）、図3-E-13のように、葉っぱや枝などの障害物が前に写ってしまうケースであると、3秒以上樹木を認識することができずうまく解析できないという傾向が確認されたため、今後の改善策としては、ドローンでの撮影時になるべく対象の前方がクリアとなる状態で設営に臨むといった方法が考えられる。

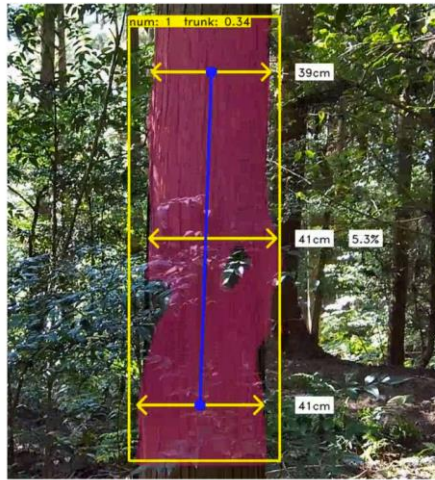


図3-E-12 正常に検知できた例



図3-E-13 葉っぱや枝が対象樹木の前に存在し解析に失敗した事例（柞原八幡宮）

また、非常に太い樹木や、やや細身の樹木が乱立している状態の場合、対象となる樹木の幹を1本の幹ではなく2本の幹と誤って検知してしまうケースが発生した（図3-E-14）。

このようなケースに対しては、撮影時になるべく対象樹木以外の木が映り込まないように撮影場所を検討するといった対応策が想定される。

上記で検討された改善策の実施により誤差が抑制され、従来手法の代替として十分活用できる可能性がある。

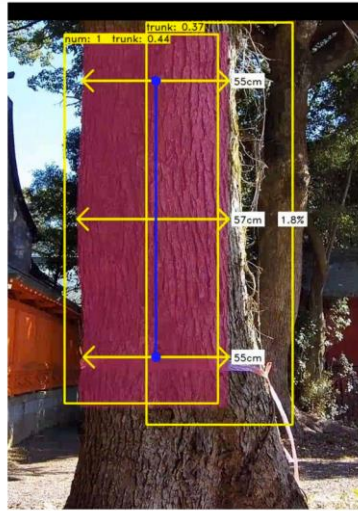


図3-E-14 1本の幹を2本であると誤検知した事例（日吉神社）

(工) 実現場での技術等の活用や導入にあたってのポイント

実現場への導入前の準備事項

Forestry での解析結果について、スギ・ヒノキ・クスノキごとのシステムでの解析結果と実測値との誤差を以下に示す。

表3-E-9スギの解析結果

樹林	樹種	実測幹周	実測樹高	実測直径	初期解析樹高	初期解析直径	初期樹高誤差	初期直径誤差	調整後樹高	調整後直径	調整後樹高誤差	調整後直径誤差
柞原八幡宮	スギ	195	3020	62.1	2770	48	8.3%	22.7%	2550	53	15.6%	14.7%
日吉神社	スギ	100	1500	31.8	1900	24	-26.7%	24.5%	2080	32	-38.7%	-0.6%

(幹周、樹高、直径の単位はcm)

表3-E-10ヒノキの解析結果 (“-”は欠損値を示す)

樹林	樹種	実測幹周	実測樹高	実測直径	初期解析樹高	初期解析直径	初期樹高誤差	初期直径誤差	調整後樹高	調整後直径	調整後樹高誤差	調整後直径誤差
柞原八幡宮	ヒノキ	137	2510	43.6	2060	29	17.9%	33.5%	2630	44	-4.8%	-0.9%
柞原八幡宮	ヒノキ	120	2560	38.2	1990	26	22.3%	31.9%	2530	40	1.2%	-4.7%
柞原八幡宮	ヒノキ	155	2740	49.3	-	-	-	-	-	42	-	14.8%
柞原八幡宮	ヒノキ	115	2550	36.6	1370	17	46.3%	53.6%	2480	37	2.7%	-1.1%
柞原八幡宮	ヒノキ	102	2300	32.5	1780	21	22.6%	35.4%	2210	32	3.9%	1.5%
柞原八幡宮	ヒノキ	150	2490	47.7	1920	28	22.9%	41.3%	2420	43	2.8%	9.9%
柞原八幡宮	ヒノキ	164	2650	52.2	2000	27	24.5%	48.3%	2540	41	4.2%	21.5%
柞原八幡宮	ヒノキ	148	2790	47.1	2110	36	24.4%	23.6%	2710	45	2.9%	4.5%
柞原八幡宮	ヒノキ	154	2670	49	1940	28	27.3%	42.9%	2450	43	8.2%	12.2%
日吉神社	ヒノキ	125	1280	39.8	1970	26	-53.9%	34.7%	2500	39	-95.3%	2.0%
日吉神社	ヒノキ	87	1300	27.7	1370	17	-5.4%	38.6%	1580	27	-21.5%	2.5%
日吉神社	ヒノキ	89	1260	28.3	1490	17	-18.3%	39.9%	1270	28	-0.8%	1.1%
日吉神社	ヒノキ	97	1370	30.9	1720	27	-25.5%	12.6%	2120	41	-54.7%	-32.7%

(幹周、樹高、直径の単位はcm)

表3-E-11クスノキの解析結果 (“-”は欠損値を示す)

樹林	樹種	実測幹周	実測樹高	実測直径	初期解析樹高	初期解析直径	初期樹高誤差	初期直径誤差	調整後樹高	調整後直径	調整後樹高誤差	調整後直径誤差
日吉神社	クスノキ	275	1760	87.5	-	-	-	-	-	71	-	18.9%
日吉神社	クスノキ	92	2070	29.3	1440	17	30.4%	42.0%	1680	26	18.8%	11.3%
日吉神社	クスノキ	180	2050	57.3	2270	30	-10.7%	47.6%	2950	45	-43.9%	21.5%
日吉神社	クスノキ	260	1540	82.8	2240	32	-45.5%	61.4%	3040	49	-97.4%	40.8%
日吉神社	クスノキ	310	2390	98.7	2370	39	0.8%	60.5%	3110	59	-30.1%	40.2%

(幹周、樹高、直径の単位はcm)

上記のように、ヒノキでは調整後の解析結果と実測値との誤差の乖離率が±10%であるものについて、樹高については対象13本中9本（69.2%）、胸高直径については対象13本中9本（69.2%）であったのに対し、スギは胸高直径について2本中1本で乖離率を0.6%に収まる結果を出すことができたものの樹高では2本とも10%を上回る結果となった。また、学習対象に含まれていないクスノキについては、対象木5本すべてが樹高、胸高直径ともに10%以上の乖離率となった。

スギについては、学習対象に含まれているにもかかわらず誤差が大きくなった理由としては、今回使用したシステムでの学習データは、人工林でのスギ・ヒノキのデータを使用していたため、天然林でのスギ・ヒノキではうまく測定ができなかったからと考えられる。人工林では樹木の生長を人が管理し、必要に応じて伐採・間伐なども行うため、一定程度同質の樹木を育てることが可能であるが、天然林ではそのような管理がなされないため人工林よりも大きく育ったりいびつな形となったりすることもある。

天然林では、スギ・ヒノキだけでなくクスノキのような広葉樹もまばらに混在しているため、実現場にて AI 画像処理によるシステム解析を用いる場合は、モデルの学習データに使われている樹種や天然林への対応状況を確認し、使用を考えている樹林の構成樹種をなるべく事前に把握できていることが望ましい。

実現場での配置や運用時に配慮すべき点

本実証にて確認されたように、天然林でのドローン飛行においては、樹林内に生息するカラスや鳶などの鳥類による妨害が発生することが想定される。現状では、鳥類の妨害に対しては、周辺の鳥類の様子を確認しながら、接近が確認された場合はドローン側で鳥類を避けるように操作を切り替えることや、いったん飛行を中止し少し時間をおいて実施するなど臨機応変な対応が求められる。

導入後に考慮しておく点

近年の技術発達によりドローンについても、パイロードや飛行時間などの機体性能が向上し、令和2年4月より林野庁の森林整備事業においても、ドローンの活用が可能となった。また、技術の向上に伴い、令和5年12月に、航空法による規制の緩和となるレベル3.5の導入が発表されたように、ドローンの活用に関する航空法のようなデジタル技術に関連する法規制は、近年目覚ましく変化している。求められる要件や手続及びそれにかかる期間が大きく変わることが想定される。また、そのため、デジタル技術の活用に関しては、常に最新の動向を確認し、柔軟に対応を行う運用ができるようにすべきことが望ましいと考えられる。

コスト面の比較

3.2 (1) (オ) に示すとおり、デジタル技術を活用した測定に係る費用（人件費及びシステム利用料）においては、従来手法で実施した場合の人件費よりも20%ほど割り引かれた費用で実施できると考えられ、デジタル手法での実施のほうがコストを抑えることが可能であると考えられる。

4 用語集

用語	説明
地形フォロー	高低差のある区域において、地形の起伏に合わせて高度を保ちつつ、ドローンでの撮影する写真の重複率（ラップ率）や地上画素寸法（GSD）を一定に保つことができるよう自動飛行を行う機能を使用すること。
地上画素寸法	1つの画素に映った地表の実際の面積・距離を表す数値のこと。
オーバーラップ	空撮写真において、撮影の進行コース内（同じ進行方向）の重複率のこと。
GX	グリーントランスフォーメーションの略。化石燃料をできるだけ使わず、クリーンなエネルギーを活用していくための変革やその実現に向けた活動のこと。

4 技術実証のまとめ

4.1 各評価項目の評価結果サマリー

(1) QCDS (Quality, Cost, Delivery, Safety) の観点からの評価サマリー

表 1-5 で示した評価項目①～⑧について、本実証の各実施項目の結果を踏まえて、下記のとおり項目（観点）ごとに評価を行った。

① 網羅性の比較

【実施項目 A-1】

LTE トレイルカメラでの撮影回数は 1,281 回、クラウドを通じてリアルタイムに画像が取得できたのは 884 回であることから、その割合は 69.0%であり、評価指標とした 80%は達成できなかった。評価指標を達成できなかった原因としては、LTE の電波強度不足が考えられる。

また、本実証実施期間中に、ツキノワグマの目撃情報はなかった（環境省吉野管理官事務所からの情報）。LTE トレイルカメラに保存された画像にツキノワグマは写っていないことが、Starlink 監視カメラでもツキノワグマは確認されなかったことから、結果は一致した。

【実施項目 A-2】

クラウドを通じた画像の取得率（目標値：80%）は、撮影回数 3,281 回のうち、クラウドを通じてリアルタイムに画像が取得できたのは 1,688 回であることから、その割合は 51.4%であり、当初設定した評価指標（80%）は達成できなかった。ただし、環境省からの要望により追加した、遊歩道に向けて設置した 3 地点を除くと、取得率は 74.4%と評価指標に近い値であった。評価指標を達成できなかった原因としては、LTE の電波強度不足が考えられる。そのため、実運用の際は設置位置の電波強度も考慮する必要があると考えられる。

【実施項目 B】

複数の実施項目があるため、それぞれの実施項目について整理した。

au 人口動態データを用いた利用者数の把握について、人口動態データで公園利用者数の推定ができるかに関しては、平成 30 年 1 月 1 日から au 人口動態データ使用日の 3 日前までのデータのうち、任意の期間を選択し最大 1 年間を集計対象として集計・解析が可能であり、上記の対象範囲内の過去データのうち、解析したい期間を選択し集計期間内の利用者の傾向を把握することができた。au 人口動態データからの公園利用者数の推定は可能と考えられる。

トレイルカメラ+AIによる利用者数の把握について、利用者の主な動線にトレイルカメラが設置されているかに関しては、トレイルカメラは、大台ヶ原の主要な登山道である A コース、B コース、C コース及び D コースの全ての登山口付近の登山道上に設置した。そのため、駐車場から東大台及び西大台の登山道を利用する全利用者が網羅されていると考えられる。以上のことから、利用者の主な動線にトレイルカメラは設置されており、評価指標は達成された。

定期的なドローン空撮による駐車台数の把握について、想定した空撮範囲を取得したデータでカバーできているか（目標値：80%）に関しては、撮影対象とした駐車場は概ね100m×50m、0.5haの広さであったが、撮影高度30m、50m、70mで駐車車両に向かって正面方向、ななめ方向のいずれも2枚撮影することで駐車場全体を撮影することができ、想定した空撮範囲を取得したデータでカバーできていた。

360度カメラ、バイノーラル録音による現地状況の記録（静謐、自然音）について、公園内の代表的な箇所に360度カメラを設置できているかに関しては、東大台で代表的な景観といえば、大蛇岩、牛石ヶ原、日出ヶ岳山頂及びシオカラ谷等が挙げられる。これらの地点での360度カメラによる静止動画の撮影に加え、各区間で徒歩による動画撮影も実施した。そのため、公園の代表的な箇所の映像が取得できたことから、当初設定した評価指標は達成されたと考えられる。

【実施項目 C-1】

想定した空撮範囲が取得したデータでカバーできているか（目標値：80%）に関しては、本実証でオオハクチョウが多数確認された3地点において、自動航行のプログラムで制御したドローンによる空撮を行い、全て撮影画像で対象範囲をカバーできたことから、想定した空撮範囲は取得したデータで全てカバーできており、評価指標を達成した。そのため、場所が異なった場合も撮影範囲については問題がないと考えられる。

【実施項目 C-2】

想定した空撮範囲が取得したデータでカバーできているか（目標値：80%）に関しては、想定した空撮範囲は、すべての空撮データでカバーできた（100%）。また、従来の目視調査ではカバーできていない範囲まで記録できているかについては、有明浜では、アクセスの難しい箇所や危険箇所等はなく、従来手法（目視による植生調査）で植生分布を把握することができた。そのため、目視調査ではカバーできていない範囲は存在しなかったが、場所が異なった場合も撮影範囲については基本的に問題がないと考えられる。

【実施項目 C-3】

想定した空撮範囲が取得したデータでカバーできているか（目標値：80%）に関しては、現在設置されている採食防止柵全体の空撮画像を取得できたため、評価指標を達成した。また、従来の目視調査ではカバーできていない範囲まで記録できているかに関しては、本実証で使用したドローンは水面に着水する仕様であり、水中に潜行することは不可能であるため、水平画角で撮影可能な映像は水面付近に限られる。従来手法と同様に、海底付近から保護柵の水平画像を取得するには水中ドローンを用いる必要がある。今後、水中ドローンを搭載が可能な水空合体ドローンの飛行が実現できれば、水中に潜水し海底付近の映像も撮影可能であるため、従来の目視調査と同程度の範囲が撮影可能になると考えられる。

【実施項目 E】

想定した空撮範囲が取得したデータでカバーできているか（目標値：80%）に関しては、本実証にて対象となった区域の範囲について、昭和49年3月15日の指定時に作成さ

れた看板の情報より柞原八幡宮の森は 1.63ha、日吉神社の森は 0.95ha が対象とされているが、測量ソフトを用いて対象範囲の面積の測定を行った結果、柞原八幡宮の森は、15,863 m²≒1.59ha、日吉神社の森は、9,447.20 m²≒0.94ha となり、ともに測定対象の空撮範囲は規定基準の 80%のカバー率を満たした。また、本結果は基本的にも他の樹林にも適用が可能と考えられる。

② 正確性の比較

【実施項目 A-1】

現地からリアルタイムで得られた LTE トレイルカメラの画像 884 枚及び Starlink 監視カメラの画像 5,742 枚、合計 6,626 枚のうち、対象種であるクマ、アライグマ、シカが写っていることを正解したのが 59 枚、対象種が映っていないことを正解したのが 6,375 枚、計 6,434 枚であったことから、正解率は 97.1%となり、当初設定した評価指標 80%を達成した。

また、ツキノワグマの再現率に関しては、現地からリアルタイムで得られた画像にはツキノワグマは撮影されていなかったことから、当初設定した評価指標は評価できなかった。

【実施項目 A-2】

全体の正解率（目標値：80%）は、現地からリアルタイムで得られた画像 1,688 枚のうち、対象種であるクマ、アライグマ、シカが写っていることを正解したのは 47 枚、対象種が写っていないことを正解したのが 1,467 枚、計 1,514 枚であったことから、正解率は 89.7%となり、当初設定した評価指標を達成した。なお、実施項目 A-1、A-2 ともに本実証で取得したデータは「何も起こっていない」サンプルが非常に多い不均衡データになっており、不均衡データではモデルの予測能力が低くとも正解率が高くなる傾向があり、本結果についてはその点留意が必要である。

また、ヒグマの再現率（目標値：80%）に関しては、現地からリアルタイムで得られたヒグマ画像 6 枚のうち、検出で正解したのは 1 枚であったことから、再現率は 16.7%となり、当初設定した評価指標は達成できなかった。不正解の中には、メール添付のための JPEG の圧縮による画像の劣化（圧縮アーティファクト）により検出がうまくいかなかったと考えられるケース、対象が遠く画像としてかなり暗いケース、対象物の実サイズが推測できないことにより他の動物と誤認したケース、人を学習させていないために人を誤認したケースがみられた。画像圧縮については圧縮しない設定が可能であり、通信帯域も画像伝送には充分であるため、設定作業で解決が可能と考えられる。また、その他の検知精度に関する課題についても学習データを増やすことで制度の改善が可能であると考えられる。

【実施項目 B】

複数の実施項目があるため、それぞれの実施項目について整理した。

au 人口動態データを用いた利用者数の把握について、人口動態データを用いた利用者数と現地調査結果の比較（目標値：乖離率±20%以内）に関しては、11 時台、12 時台においては、乖離率±20%以内に収まるもののそれ以外の時間帯については評価指標を達成することはできなかった。原因については、目視の測定結果では測定地点の通行人

数をカウント対象とするのに対し、KLA でのカウントでは対象地点周辺への滞在データをベースとしており、特に乖離の激しい 13 時台、14 時台においては KLA では山へ滞留している人数を捕捉しているため乖離が激しい結果となったと想定される。

属性ごとの利用者数割合等、調査員による調査では得られないデータが得られているかについては、KLA を用いた分析では、性別、年代といった基礎的属性の割合だけでなく、居住者/勤務者/来街者といった属性条件を追加できるほか、その来訪日数や滞在時間（15分以上 480 分以下で選択可能）ごとの利用者数割合をグラフィックベースで簡単な操作でデータを表示・分析することが可能である。よって、調査員による調査では把握が難しいもしくは取得・集計に手間がかかるデータを気軽に取得できるといった結果である。

トレイルカメラ+AI による利用者数の把握について、トレイルカメラを用いた利用者数と現地調査結果の比較（目標値：乖離率±20%以内）に関しては、トレイルカメラで得た画像から AI により人の顔を検出することによって得た利用者数は、現地調査結果（現地での人による目視カウント数）の 83%であり目標値である乖離率±20%以内を達成した。設置したコースやカメラの方向別では 50～125%とばらつきがみられたことから正確性には課題が残るものの、AI による検出数と現地での人による目視カウント数の間には強い相関が認められたことから、トレイルカメラ+AI による検出によって公園利用者数の大まかな傾向は把握可能と考えられる。

定期的なドローン空撮による駐車台数の把握について、空撮画像は撮影目的を達成できる画角での撮影が実施できているかに関しては、AI による駐車車両の検知については、撮影方向による検知率のばらつきが生じることが想定されたため、駐車車両の正面・ななめ横方向・横方向など多様な画角での撮影が必要であった。本実証では、30m、50m、70m の各高度で多様な画角での撮影を行った。

360 度カメラ、バイノーラル録音による現地状況の記録（静謐、自然音）について、3 次元動画において現地の状況（静謐性等）が再現できているかに関しては、アンケートの結果において、撮影した VR 動画は歩いて撮影したものは手振れが気になるものの、どの動画も非常に臨場感があるという意見が多く、バイノーラル音声に関しても同様に臨場感を感じるという意見が多かった。

【実施項目 C-1】

撮影されている個体のうち、自動カウントできた個体数割合（目標値：80%）に関しては、撮影されている個体（画像から人の目で計数）のうち、AI で検出できた個体数の割合は、飛行高度 120m で 33.4%、高度 100m で 52.4%、高度 80m で 73.1%であり、高度 80m では設定した評価指標に近い値が得られたが、目標値は達成できなかった。これは AI の精度向上に伴って、十分に今後達成が可能なものと考えられる。

【実施項目 C-2】

植生の活性度の把握により、植生の生育状況や種類別の分布が把握できているかに関しては、植生の活性度の把握により、オルソ画像から算出した植生活性度（正規化植生指標・NDVI）では、10 月（1 回目空撮）、11 月（2 回目空撮）ともに植生の生育状況を把握することができ、植生の衰退も併せて把握するなど植生の生育状況、種類別の分布

のいずれも概ね把握できた。

【実施項目 C-3】

水中画像でウミシヨウブの生育状況や食害の有無が視認できるかに関しては、本実証で撮影した水中動画では、枠内にはウミシヨウブが繁茂している一方、枠外にはほとんど生えておらず、生えている箇所でも長さ 2～3cm 程度の株が疎らに見られる程度であった。これらの葉先は横に切られたような状態であったことから、アオウミガメによる食痕であると考えられた。したがって、水中画像でウミシヨウブの生育状況や食害の有無が視認することができ、当初設定した評価指標を達成した。

また、潜水目視と同等の水中映像が取得できることが判明したことから、崎山湾では今後、採食防止枠の点検にも活用できる可能性がある。

【実施項目 E】

50cm 単位での木の高さの判別、2cm 単位での木の太さの判別、葉の有無の識別、枯れた状態（緑と茶色の識別等）の識別等が可能な画像データが得られるかに関しては、森林資源量測定ソフトでの解析結果より、木の高さについては 10cm 単位、木の太さに関しては 1cm 単位での推定を行うことが可能であった。また、測量ソフトを用いて作成したオルソ画像では、対象樹林について、立体的な再現画像を作成でき、その画像から葉の有無やその色の状態の識別が大まかに可能であった。

さらに、平均誤差 10%以下で胸高直径・樹高の計測や、大分県「特別保護樹木等調査選定要領」に定められた選定基準に基づく自動判定ができたかについては、森林資源量測定ソフトを用いた対象木での実測値との比較結果について対象 20 本中 9 本が、胸高直径については 20 本中 10 本が誤差±10%以下の結果となった。平均誤差はスギ・ヒノキのみでなくクスノキも混在する日吉神社の森での解析結果は、樹高については±44.58%（システムが樹木だと認識できなかった 1 本除く）、胸高直径については、±17.16%となり、環境によって誤差が大きい結果となったが、スギ・ヒノキ中心の柞原八幡宮では樹高については±5.14%（システムが樹木だと認識できなかった 1 本除く）、胸高直径については±8.58%であり、現状でも条件が適した環境であれば目標としている精度を満たすことが確認できた。

また、そのほかの大分県「特別保護樹木等調査選定要領」にて定められた選定基準のうち定量的に計測可能である項目についてのシステムを用いた解析結果を以下に示す。

- 「2 樹林をなす区域面積が 500 m²以上であること」については、「測量ソフト」の画面上で、対象である区域面積を撮影画像や撮影画像を対応させた地図にて、測定したいエリアを選択し分析することで区域面積を確認することができる。本測定結果では、柞原八幡宮では 15,863.52 m²、日吉神社では 9,447.2 m²となり、基準である「樹林をなす区域面積が 500 m²以上である」を満たしており、本項目を判定することが可能である。
- 「3 区域面積に対する樹林の占有率が 60%以上あること」については、測量ソフトを用いて全体の面積より樹林以外の建造物の面積を除外し計算したところ、日吉神社については、樹林以外の建造物の面積が、1,197.32 m²であり、樹林のみの

面積は、8,249.88 m²であり、その占有率は、87.3%となり、基準を満たしていることを確認できた。また、柞原八幡宮では、樹林以外の建造物の面積が、3,249.9 m²であり、樹林のみの面積は 12,613.6 m²であり、その占有率は 79.5%であるため、こちらも基準を満たしていることを確認できた。

- 「4 樹林部における立木密度は、300 本/ha 以上とする。」については、測量ソフトの解析データから、ポリゴン計測機能により立ち木本数を測定し、柞原八幡宮の森では、範囲内の樹木は 745 本であり、1ha あたりの立木密度は、457 本、日吉神社では範囲内樹木は 413 本であり、1ha あたりの立木密度は、434 本であり、こちらも基準を満たしていることを確認できた。

③ 継続性の比較

【実施項目 A-1】

クラウド上に保存された画像においてニホンジカの既往調査と同程度の結果が得られているかに関しては、本実証において、11 月のニホンジカの生息密度指標は 3.0 頭/km²であった。既往調査において、11 月のニホンジカの生息密度指標は約 2～7 頭/km²であり、既往調査と同等の値が得られたことから、当初設定した評価指標を達成した。

【実施項目 A-2】

クラウド上に保存された画像においてヒグマの既往調査と同程度の結果が得られているかに関しては、本実証では 10 月 19 日～20 日に LTE トレイルカメラを設置し、11 月 7 日に回収しているため、本実証の値は既往調査の 10 月及び 11 月の値と比較した。本実証では、AI による検出回数と人による検出回数が異なることから、それぞれの撮影頻度指数 (RAI : Relative Abundance Index) を算出した。その結果、AI による検出では 0.5、人による検出では 3.2 との結果であった。一方令和 2 年から令和 4 年に実施された既往調査では、年ごとに変動が見られ、最も少ない令和 3 年では 0～0.5、最も多い令和 4 年では 0～4.1 であり、本実証の結果は過去 3 年間の変動の範囲内であったことから、当初設定した評価指標を達成した。

【実施項目 B】

定期的なドローン空撮による駐車台数の把握について、従来手法で記録されている駐車台数等と本実証で得られた結果に大きな齟齬が認められないかどうかに関しては、従来手法 (人による駐車台数のカウント) で記録されている駐車台数に対する、本実証 (画像からの AI による駐車台数のカウント) で得られた結果の割合は最高で 97.6%であり、撮影高さや画角を対象地の特性に応じて検討すれば人による調査と大きな齟齬は生じないと考えられる。

【実施項目 C-1】

従来手法で記録されている調査結果と本実証で得られた結果に大きな齟齬が認められないかどうかに関しては、本実証と同時に実施した従来手法での記録 (目視によるカウント) と本実証で得られた結果を比較したところ、誤差は-0.6%～22.1%であり、極端な齟齬

はみられなかった。

【実施項目 C-2】

従来手法で記録されている調査結果と本実証で得られた結果に大きな齟齬が認められないかどうかに関しては、本実証にあわせて実施した従来手法での記録（目視による植生分布の記録）に対し、本実証で得られた結果（植生活性度のみによる植生分布の判読）では誤差が確認されたが、同時に取得される可視光画像と併せてみれば識別精度は高まると考えられる。

【実施項目 C-3】

従来手法で記録されている調査結果と本実証で得られた結果に大きな齟齬が認められないかどうかに関しては、本実証では従来手法と同様に、枠内のウミショウブの生育状況（明らかに減少しておらず、繁茂状況は良好である）を撮影画像から視覚的に確認することができ、従来手法と大きな齟齬は認められなかったことから評価指標を達成した。

【実施項目 E】

過去の樹木データとの比較が可能かに関しては、本実証の対象樹林の樹木データについては、過去の測定時の既存データがないため、実際の過去の測定時のデータとの比較はできない状態であった。また、本実証では各対象値について 1 日のみの実証となったため、期間をまたいだ樹木データの比較の可否を確認することはできなかった。一方で、測量ソフト上では同じ地域について、時期をずらして撮影した情報を比較対照させることも可能であり、測定したデータを記録しシステムを活用することで、過去のデータと比較対照させることは可能である。

④ 経済性の比較

【実施項目 A-1】

調査にかかる費用が過大なものとなっていないかどうかに関しては、従来手法と比べ、データの回収工数が削減になる一方、本実証の方法では SIM 通信費・Starlink 及びそのバッテリー費用・AWS 費用・システム保守の費用が高くなる。本実証と同等の条件の場合、年 1,000,000 円程度の費用増であるが、増加の要素としては Starlink の費用が支配的であり、対象地が 4G LTE ですべてカバーされている場合はさらに費用が抑えられる可能性がある。

【実施項目 A-2】

調査にかかる費用が過大なものとなっていないかどうかに関しては、従来手法と比べ、本実証の方法では SIM 通信費・AWS 費用・システム保守の費用が高くなる一方、データ回収の人件費減が見込まれ、トータルで年 370,300 円程度の費用減である。

【実施項目 B】

複数の実施項目があるため、それぞれの実施項目について整理した。

au人口動態データを用いた利用者数の把握について、調査にかかる費用が過大なものとなっていないかどうかに関しては、本実証で用いた KLA による調査にかかる経費は年 2,685,300 円程度と算出された。KLA は 365 日 24 時間統計情報の蓄積取得が可能であり、対応する確立された従来手法がないため 365 日 1~2 時間程度、人によるカウント調査を行うとした場合、年 3,533,400 円であるため、848,100 円の費用減となり KLA による調査にかかる費用が過大なものであるとは言えないと考えられる。

トレイルカメラ+AIによる利用者数の把握について、調査にかかる費用が過大なものとなっていないかどうかに関しては、本実証で用いたトレイルカメラによる調査にかかる経費は年 3,144,400 円程度と算出された。従来手法を 365 日 1~2 時間程度、人によるカウント調査を行うとした場合、年 3,533,400 円であるため、389,000 円の費用減となりトレイルカメラによる調査にかかる費用が過大なものであるとは言えないと考えられる。

定期的なドローン空撮による駐車台数の把握について、調査にかかる費用が過大なものとなっていないかどうかに関しては、本実証で用いたドローンポートによる調査にかかる経費は年 3,174,400 円程度と算出された。従来手法を 365 日 1~2 時間程度、人によるカウント調査を行うとした場合、年 3,805,200 円となり、630,800 円の費用減であり、ドローンポートによる調査にかかる費用が過大なものであるとは言えないと考えられる。

360 度カメラ、バイノーラル録音による現地状況の記録（静謐、自然音）について、調査にかかる費用が過大なものとなっていないかどうかに関しては、本実証で用いた 360 度カメラ、バイノーラル録音による調査にかかる経費は 1,150,038 円程度と算出された。従来手法は、年 815,400 円であるため、機材費等の分 334,638 円程度の費用増とはなるものの、360 度カメラでの臨場感等による調査結果の高度化を踏まえると調査にかかる費用が過大なものであるとは言えないと考えられる。

【実施項目 C-1】

従来手法と比較した場合の経費削減割合（20%）に関しては、算出の結果、本実証で用いたドローンと AI による調査にかかる経費は年 812,470 円程度と算出され、従来手法のドローンのみでの場合の年 877,750 円よりカウントがオルソ化及び AI で自動化されることよっての工数減から年 65,280 円の経費減であるが、目視での確認と比べると事前の準備や機材費の追加により 223,570 円の費用増である。準備の工数は初回に包括の申請を取得するなど短縮が可能であるが機材費の追加分についてはドローンによるカウント精度の向上等を踏まえての判断になると考えられる。

【実施項目 C-2】

従来手法と比較した場合の経費削減割合（目標値：20%）に関しては、算出の結果、ドローンによる調査にかかる経費は年 505,950 円程度と算出され、従来手法の 1,017,100 円より 511,150 円（51%）の費用減となったことから、評価指標の 20%を達成した。

【実施項目 C-3】

従来手法と比較した場合の経費削減割合（目標値：20%）に関しては、算出の結果、

着水型ドローンによる調査にかかる経費は 361,750 円と算出され、従来手法の 381,600 円より 19,500 円の費用減であり、経費削減割合約 5%の経費削減となり、評価指標の 20%を満たさなかった。しかし、本実証はあらかじめ決まった特定の場所（保護柵）を対象とした作業のみを対象としたが、広域な海域を調査する際は着水型ドローンの優位性がより強くなると考えられると考えられる。

【実施項目 E】

従来手法でのコストの試算結果が 161,055 円であったのに対し、デジタル手法でのコストの試算結果は 124,485 円と 36,580 円の費用減で従来手法の 77%程となり、従来手法より低いコストで実現できるといえる。

⑤ 機動性の比較

【実施項目 A-1】

システム構築後、データ完成までにかかる期間は従来手法と同程度となっているかに関しては、従来手法と比べ、本実証の方法では、画像識別を AI のみで実施した場合には大幅な省力化が見込まれることから、当初設定した評価指標を達成した。

また、ツキノワグマの発見から関係者への周知にかかる工程・時間が短縮されているかに関しては、現地からリアルタイムで得られた画像にはツキノワグマは撮影されていないこと、ツキノワグマと誤認があった 5 例はいずれもメール送信システムの設定前であったことから、環境省現地事務所への通報は 0 件であり、当初設定した評価指標は評価できなかった。但し、社内関係者へのメール通知はいずれも 1 分以内に行われたことから、実際にツキノワグマが検出できていた場合には極めて速やかに情報が伝達されたと考えられる。

【実施項目 A-2】

システム構築後、データ完成までにかかる工程・時間は従来手法と同程度となっているかに関しては、従来手法と比べ、本実証の方法では、画像識別を AI のみで実施した場合には大幅な省力化が見込まれることから、当初設定した評価指標を達成した。

また、ヒグマの発見から関係者への周知にかかる工程・時間が短縮されているかに関しては、本実証で、LTE トレイルカメラがヒグマを確認してから関係者への通報がなされたのは 3 分以内であった（1 例のみ）。従来手法（観光客による情報）では、その場で電話をしない限り 3 分以内での通報は難しいと考えられ、当初設定した評価指標を達成した。

【実施項目 B】

複数の実施項目があるため、それぞれの実施項目について整理した。

au 人口動態データを用いた利用者数の把握について、利用者数の集計等にかかる工程・期間が短縮されているかに関しては、現地調査の作業日数について、従来手法では調査対象日×3.5 人日、本実証の方法では機器設置時、回収時にそれぞれ 2 人日を要する。例えば、四季調査（平日・休日）の実施を従来手法で行う場合には 3.5 人日×2 日×4 回 = 28 人日、本実証の手法で行う場合は 4 人日×4 回 = 16 人日である。

一方で、人口動態データからの解析については、特段現地側で求められる作業はなく、解

析したいエリアを地図画面上にプロットするのみでデータを集計することが可能である。

また、データ処理にかかる工程は従来手法であれば 1 コース 1 日あたり約 30 分、本実証の手法であれば約 3 分である。人口動態データからの解析では、スマートフォンなどの通信端末の GPS 位置情報に紐づく契約情報からの解析であるため、トレイルカメラでの測定で実施したような登山道の各コースの人流の詳細は解析できないという課題はあるものの、一定の期間の平均や特徴、傾向の把握に対しては手軽に実施でき、解析したい期間の条件やエリアの変更も容易であるため、従来手法より本実証の手法で実施することで工程・期間は短縮されるものと評価される。

トレイルカメラ+AI による利用者数の把握について、利用者数の集計等にかかる工程・期間が短縮されているかに関しては、現地調査の作業日数について、従来手法では調査対象日×3.5 人日、本実証の方法では機器設置時、回収時にそれぞれ 2 人日を要する。例えば、四季調査（平日・休日）の実施を従来手法で行う場合には 3.5 人日×2 日×4 回 = 28 人日、本実証の手法で行う場合は 4 人日×4 回 = 16 人日である。また、データ処理にかかる工程は従来手法であれば 1 コース 1 日あたり約 15 分、本実証の手法であれば約 8 分である。従来手法より本実証の手法で実施することで工程・期間は短縮されるものと評価される。

定期的なドローン空撮による駐車台数の把握について、ドローンによる調査にかかる工程・期間が過大なものとなっていないかどうかに関しては、機材準備、ポート位置の検討、ポートの設定及び行政手続き等の準備の工程には概ね 1.5 か月がかかると想定される。また、運用後にはドローンのメンテナンスを 3 か月に 1 回程度、ポートのメンテナンスを 1 年に 1 回程度かかることが想定されるが、基本的に運航は遠隔の事務所から実施が可能であり、工程・期間について特に過大なものにはなっていないものと評価できる。

360 度カメラ、バイノーラル録音による現地状況の記録（静謐、自然音）について、調査にかかる工程・期間が過大なものとなっていないかどうかに関しては、360 度カメラによる撮影は、大台ヶ原においては特徴的な環境を記録するために必要な期間は、1 回あたり 1 日、撮影後 VR 動画を作成するために必要な期間は 3 日程度であった。調査工程や期間が特段過大ではないと思われる。以上のことから、当初設定した評価指標は達成されたと考えられる。

【実施項目 C-1】

ドローンによる調査にかかる工程・時間は従来手法と同程度となっているかに関しては、ドローンを高度 100m で飛行させて撮影した場合の各空撮範囲における総飛行時間（移動時間と撮影時間を含む）は、平均 11 分（8～15 分）～23 分程度であり、離着陸地点間の移動やドローンの準備時間等も踏まえると、概ね 1.5 時間程度かかる見込みである。従来手法では、作業員 1 名体制で、お供山展望台で調査した場合の作業時間は、概ね 1 時間程度（各空撮範囲 10～15 分程度（野帳への記録時間を含む））であり、地点までの移動や調査機材の準備時間等も踏まえると 1.0～1.5 時間程度かかる見込みであることから、ドローン調査と概ね同程度の作業時間であると考えられる。

ただし、両調査における作業時間は、策定する空撮範囲の広さやオオハクチョウの分布及び飛来個体数によって大きく変わることには留意する必要がある。

【実施項目 C-2】

ドローンによる調査にかかる工程・時間は従来手法と同程度となっているかに関しては、本実証の撮影時間は 15 分程度、飛行間の離着陸場所や監視者の配置移動は最大 10 分程度であった。したがって、高度 100m と高度 40m の空撮をそれぞれ実施しようとした場合、計 5 回の飛行が必要である。高度 100m の 1 回の飛行を 15 分、離着陸地点までの移動に 15 分の計 30 分、高度 40m の 1 回の飛行を 15 分、バッテリー交換、地点間の移動等の作業を 15 分の計 30 分と見積もった場合、計 5 回の飛行には 2 時間半程度かかる計算である。従来手法では、作業員が 2 名体制で調査し、すべての範囲を踏査した場合の合計作業時間は 1 日（7.5 時間）である。以上より、ドローンによる調査にかかる工程・時間は、従来手法よりも縮小されるものと考えられる。

【実施項目 C-3】

ドローンによる調査にかかる工程・時間は従来手法と同程度となっているかに関しては、1 枠あたりの撮影時間は 1-2 分程度、枠間の移動は最大 1 分程度であったため、1 回の飛行で最大 4～5 個程度の枠が撮影可能である。

したがって、9 箇所 11 個すべての保護枠を撮影しようとした場合、合計 2 回飛行させる必要があり、さらにカメラの画角を 0°（水平）、45°（ななめ下）、90°（真下）の 3 パターンとした場合には、計 6 回の飛行が必要である。

1 回の飛行を 15 分、飛行映像の確認、カメラの画角変更・バッテリー交換等の作業を 15 分の計 30 分と見積もった場合、計 6 回の飛行には 3 時間（半日）程度かかる計算である。従来手法では、潜水作業を 2 名体制で実施し、1 日あたり最大で 7 個の保護枠を調査しているため、11 個すべてを調査する場合の合計作業時間は 1.5 日程度である。

以上より、ドローンによる調査にかかる工程・時間は、従来手法よりも大幅に縮小されるものと考えられる。

特に採食防止枠間の移動に要する時間は、潜水士が泳いで移動する時間よりも短いため調査時間を短縮することができる。今後、ウミシヨウブ藻場の回復に向けて採食防止枠の大型化・新規増設などの実施が想定されるが、枠の規模が大きくなるほどモニタリング調査に要する時間の大幅な短縮につながると考えられる。

【実施項目 E】

より少ない工数で必要アウトプットを作成できるかに関しては、従来手法での測定においては、測量業務経験になれた専門家 2 名に対応いただき、樹木の測定は、約 10m×約 16m の区域内の測量で 1 区域 1 時間ほどの時間を要した。しかし、その区域の選定や対象木へのマーキングなどの事前調査でおよそ別途 2 時間程を要した。森林資源量測定での解析においては、1 本あたりの解析結果出力に 40 分ほどかかり、本実証の対象とした 20 本すべての測定では約 1,200 分（20 時間）の時間を要した。よって、現状では所要時間のみの計算では、従来手法での実施のほうが早い結果となった。

一方で、上述のとおり、境界の明確化および森林調査にかかる労力は 1ha あたり、合計 3.53 人日要するとのことであるため、本実証地の面積に当てはめると、日吉神社では

3.35 人日、柞原八幡宮では 5.75 人日要する計算である。

本実証のデジタル技術を活用した測量では、ドローンの飛行前の事前調査では、1 時間程実地を訪れての確認を行ったが、飛行自体は、1 回の飛行はおよそ 5 分程度で終了し、予備の飛行を含め 3、4 回実施するとしても 20 分程度の時間で撮影が完了する。

その後のシステムへ撮影画像をアップロードしたのち、測量ソフトでの解析では、計測したい面積を設定後、解析を指定すると 3 分程度で面積などの解析結果を計測することが可能である。

そのため、本項目に対する結果については、各樹木の測定については、専門家による従来手法による測定のほうが早く実施できるものの、樹林全体の面積などの測定についてはデジタル技術を活用することで手軽にアウトプットを作成できることが確認された。

⑥ 再現性の比較

【実施項目 A-1、2】

天候、設置場所、電波状況等が同様であれば、同程度の質・量の画像が取得できているかどうかに関しては、本実証で、LTE トレイルカメラや取得した画像に特に不具合はなかったことから、当初設定した評価指標を達成した。

【実施項目 B】

複数の実施項目があるため、それぞれの実施項目について整理した。

au 人口動態データを用いた利用者数の把握について、人口動態のデータは調査回によらず同様のデータが取得できているかに関しては、令和 5 年度 4 月 25 日に総務省より発表された「通信市場の動向について」によると、令和 4 年 12 月末現在で au 回線のシェアは国内の 27.0%であり、約 1/4 強である。大台ヶ原では、12 月初旬から 4 月にかけては冬季閉山であるため、紅葉ピークを過ぎた後は来訪者数が少なく、目視調査においても、11 月 13 日の来訪者数の測定結果は、ルート A と D を合わせても 40 人前後と非常に少なかった。来訪者が au 以外の回線を利用している場合には、データの取得はできないため、来訪者数が非常に少ない状況においては、データを捕捉できる可能性もそれに伴い低くなるため、データが取得できない可能性がある。

トレイルカメラ+AI による利用者数の把握について、トレイルカメラによるデータ取得は調査時期によらず同様のデータが取得できているかに関しては、同じ地点に設置した 2 つの LTE トレイルカメラはほぼ同様の増減傾向を示していること、また、調査地点・LTE トレイルカメラともに全体的に撮影枚数は漸減傾向を示しつつ人の利用が多い週末や休日には撮影枚数が上振れするパターンを示しており、調査期間を通じて同様のデータが取得できていたと考えられる。

定期的なドローン空撮による駐車台数の把握について、ドローンによる空撮画像は同じ画角での撮影ができているかに関しては、同じプログラムで飛行させた 2 回のドローンによる空撮では、ドローン位置、機種方向についてずれが確認されたものの、いずれの箇所でも 2 枚程度撮影すれば駐車場の全体をカバーできることからずれは許容範囲内であった。

360 度カメラ、バイノーラル録音による現地状況の記録（静謐、自然音）について、360 度カメラ・録音機器によるデータ取得は調査時期によらず同様のデータが取得できているか

に関しては、録画・録音を行った際の天候は10月31日は晴れ・気温11℃～13℃、11月14日は晴れ時々曇り・気温-1℃～+1℃であった。360度カメラについて気温が低かった11月にはバッテリー消費がやや多い傾向がみられたが、データの取得自体は調査時期によらず実施できていた。以上のことから、当初設定した評価指標は達成されたと考えられる。

【実施項目 C-1】

天候、調査時期等が同様であれば、同程度の質・量の画像が取得できるかに関しては、10月、11月の実証では、両実証ともに天候は晴れであり、取得画像の質に明確な差がみられなかったことから、天候が同様であれば概ね同程度の質の画像を取得できると考えられる。

【実施項目 C-2】

天候、調査時期等が同様であれば、同程度の質・量の画像が取得できるかに関しては、本実証で取得した画像について、1回目空撮と2回目空撮を比較しても同程度であったことから、当初設定した評価指標を達成した。実証時は潮位による干潟の出現・消失があったものの、汀線から堤防までの砂浜部分はすべて撮影できたため、天候、調査時期による画像の質・量に差は生じないものと考えられる。

【実施項目 C-3】

天候、調査時期等が同様であれば、同程度の質・量の画像が取得できているかに関しては、本実証で取得した画像は、従来手法と比較しても同程度であったことから、当初設定した評価指標を達成した。実証時は水の濁り等はみられなかったが、崎山湾内が濁る状況であれば潜水目視による調査も不可能である。

【実施項目 E】

現地の地形状況、天候、通信環境によらず調査が可能かに関しては、本実証では、特に柞原八幡宮の森では高低差ある状態であったが、ドローン側で地形に追従した飛行操作を行うことが可能であるため、地形状況によらず調査を行うことができた。

また、本実証時には風もない状態であり穏やかな天候条件の中での実施となったが、製造者から公表されている情報では、10m/s以上の風速条件には耐性がないことや、防水性能は実装されていないため、本実証で使用した機材では強い雨風にさらされる場合は調査が困難である。

⑦ 安全性の比較

【実施項目 A-1、A-2】

継続可能なコストで十分にリスクが低減できているかどうかは、盗難はなく、機器メンテナンスは継続可能なコストと考えられたことから、当初設定した評価指標を達成した。

【実施項目 B】

定期的なドローン空撮による駐車台数の把握については、ドローンによる調査に伴う第三者

等へのリスクが定量化され、対策が検討されているかに関しては、事前に駐車場管理者へドローンの飛行計画を伝え、飛行時には安全管理のための立ち入り管理措置をとるための補助者の設置などの対策を実施した。また、機体へのインシデント発生時は事前に設定したフェイルセーフ機能（ホームポイントや緊急着陸ポイントへの退避等）が発動する対策がとれており、第三者へのリスクについては十分に低減できていると言える。

【実施項目 C-1】

ドローンによる調査に伴う第三者等へのリスクが定量化され、対策が検討されているかに関しては、厚岸での実証においては、目視外での飛行となるため、航空局が安全基準に則り定めるカテゴリー（Ⅰ～Ⅲで定められ、Ⅲが最もリスクが高い）における「カテゴリーⅡ飛行」に該当するが、航空局に対して申請の上、許可承認を受領しており、安全レベルは高く、第三者へのリスクは低い状態であるといえる。加えて常にドローンの撮影映像をリアルタイムで確認可能なため、万が一ドローン直下に第三者が確認できた際は、回避の行動をとることが可能なことが確認できた。さらに、機体へのインシデント発生時は事前に設定したフェイルセーフ機能（ホームポイントや緊急着陸ポイントへの退避等）が発動する対策がとれており、第三者へのリスクについては十分に低減できていると言える。

【実施項目 C-2】

ドローンによる調査に伴う第三者等へのリスクが定量化され、対策が検討されているかに関しては、有明浜での実証においては、フライヤーに加え、補助者を2名配置することで「カテゴリーⅠ飛行」に該当する飛行であり、第三者へのリスクを低減している。加えて常にドローンの撮影映像をリアルタイムで確認可能なため、万が一ドローン直下に第三者が確認できた際は、回避の行動をとることが可能なことが確認できた。さらに、機体へのインシデント発生時は事前に設定したフェイルセーフ機能（ホームポイントや緊急着陸ポイントへの退避等）が発動する対策がとれており、第三者へのリスクについては十分に低減できていると言える。

【実施項目 C-3】

ドローンによる調査に伴う第三者等へのリスクが定量化され、対策が検討されているかに関しては、本実証における飛行では、周辺に集落や第三者の通行の可能性も少ない空域での飛行であるため、安全レベルの高い「カテゴリーⅠ飛行」の条件で飛行となった。さらに安全を期すため、それだけではなく機体や機体周辺を監視する人員の配置や、周辺をほかの船舶が通行する場合には、実証を一時中止するなどの対策を実施しており、第三者等へのリスクについては十分低減できているといえる。

【実施項目 E】

従来手法と比較して安全か（デジタル技術の活用により、樹木等に悪影響を及ぼしていないか。）に関しては、林業・木材製造業労働災害防止協会によると、令和5年8月時点において、令和5年（令和5年1月～8月）における、林業労働災害における死亡災害は、19件が報告されており、中には斜面からの滑落や蜂に刺されたことによる死亡事例も含まれている。これらの現状を踏まえ、ドローンなどのデジタル技術の代替により、人による

樹木の立ち入りの機会を減らすことで、これらの災害に対するリスクが低減できると想定される。また、実証期間中、機材が樹木本体や景観、地形を損傷しないためのフェイルセーフ設定を講じることができているかについては、本実証では、対象区域内に国指定重要文化財や県指定重要文化財が建造物内に所在するため、ドローンの上空飛行に際しては、区域内の建造物を避けて飛行するよう大分県より要請を受けていた。そのため、机上での地図上による確認とともに、事前調査、当日の確認時でもこれらの建造物上空を飛行しないよう慎重にルート作成を行った。その他、飛行中においても鳥などの介入により落下することがないよう 5 名の補助員とともに注意深く監視を行い、危険が察知された場合には速やかに手動での操作でも避難できるように設定を行ったため、墜落や損傷などの事態を避けることができた。

樹木本体については、Skydio 2+では、四方にセンサーが装備されており、障害物の接近を検知した場合に自動的に止まるようフェイルセーフ設定を講じられており、実際に飛行測定時には樹木への損傷を起こすことはなかった。以上のことより、第三者等へのリスクについては十分低減できているといえる。

⑧ 機密性の比較

【実施項目 A-1、A-2】

継続可能なコストで十分にリスクが低減できているかどうかは、データの盗難対策として、AWS（30,000 円/月、但し知床五湖の実証と兼ねた）と本実証で採用した LTE トレイルカメラのメーカーである株式会社ハイクが提供しているデータクラウドサービスである HykeWorks（79,200 円/20 台）を利用した結果、データの盗難や情報漏洩は確認されておらず、当初設定した評価指標を達成した。

【実施項目 B】

au 人口動態データを用いた利用者数の把握について、継続可能なコストで十分にリスクが低減できているかどうかに関しては、実証期間中のサービス利用に関して情報漏洩や攻撃などは確認されなかった。また、本サービスの開発・提供を行う KDDI 社および技研商事インターナショナル社の両者ともに情報セキュリティの第三者規格 ISO27001:2013 の認証を取得し、ISMS（情報セキュリティマネジメントシステム）を構築・運用していることから、一定程度の情報セキュリティリスクが低減できている状態であり、評価指標は達成されていると考えられる。コストについても、経済性の比較のとおり過大なものとはなっていないため継続可能なコストであると考えられる。

【実施項目 C-1】

継続可能なコストで十分にリスクが低減できているかどうかに関しては、本実証で使用したドローンは、一部ネットワークにつながる構成となっているが、本実証で活用した運航管理システムは情報セキュリティに対する第三者適合性評価制度 ISMS27001 を取得している KDDI 社のセキュリティ基準を満たす形で開発しており、セキュリティ対策については十分高いと言える。コストについても、経済性の比較のとおり過大なものとはなっていないため継続可能なコストであると考えられる。

【実施項目 C-2】

継続可能なコストで十分にリスクが低減できているかどうかに関しては、本実証で使用したシステム及びドローンはネットワークに接続しない構成になっており、セキュリティリスクについては十分低いと言える。コストについても、経済性の比較のとおり過大なものとはなっていないため継続可能なコストであると考えられる。

【実施項目 C-3】

継続可能なコストで十分にリスクが低減できているかどうかに関しては、本実施項目で使用したドローン機体は、インターネットに接続せずにプロポへの無線通信を介して、タブレットへ映像伝送を行う。そのため、実証実施中は外部からの攻撃リスクは低減されている状態である。また、実証後は取得したデータは SD カードから、データを一般的なセキュリティ対策を施した PC へ取り込み、関係者のみにアクセス制御を施された Box へアップロードを行い、関係者とデータの共有を行った。Box での管理にあたっては、使用者側でアクセス権限を管理し、データのアクセスログを確認可能な状態とすることで、継続可能なコストで十分にリスク低減が可能であると考えられる。

【実施項目 E】

継続可能なコストで十分にリスクが低減できているかどうかに関しては、本実証で使用したソフトウェア測量ソフトを開発・提供するスカイマティクス社、森林資源量計測を提供するオーイーシー社ともに情報セキュリティに対する代表的な第三者認証である ISO27001 を取得済みであり、さらにオーイーシー社ではよりクラウドサービスの提供時に特化した情報セキュリティの第三者認証である ISO27017 を取得済みであることから、各サービスともに第三者からの確認を受け十分と認定される程度の対策が講じられた状態で標準利用できるため、リスクは十分に低減されているものと考えられ、コストについても、経済性の比較のとおり過大なものとはなっていないため継続可能なコストであると考えられる。

(2) 前提条件等に関する評価

表 1-6 で示した評価対象①～⑦について、本実証の各実施項目の結果を踏まえて、下記のとおり前提として求められていた条件と機能についても評価を行った。

- ① 厳しい環境（広大、極寒、積雪、粉じん、悪天候下、通信環境制限等）下においても、遠隔操作により、人による調査等と同等以上の精度を維持できること。

上記に関する各実施項目における評価結果の概要は、表 4-1 のとおりである。

表 4-1 前提条件等に関する評価結果の概要（実施条件①）

項目	評価結果概要
実施項目 A) Starlink（（低軌道衛星通信））等を活用したニホンジカやヒグマ等の生息状況調査	<ul style="list-style-type: none"> ・画像の取得については、積雪等の悪天候下でもリアルタイムでの取得ができた。 ・通信環境については、電波強度の変化やバッテリー切れ等による動作停止など課題があった。
実施項目 B) ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得	<ul style="list-style-type: none"> ・人口データを用いた利用者数の把握については、広大な地域を対象としたデータが取得できた一方で、利用者数が少ない場合の精度の確保が課題となった。 ・トレイルカメラでの利用者数の把握については、積雪等の悪天候下でも、画像の取得、リアルタイムでの送信を行うことができた。
実施項目 C) ドローンの遠隔操作による動植物の個体群、群集又は群落の生息・生育状態の情報取得	<ul style="list-style-type: none"> ・実施項目 C-1 については、機体（Mavic3E）スペック上、小雨程度であれば問題なく飛行が可能であると考えられる。 ・実施項目 C-2 については、使用した機体（Mavic3M）の飛行可能風速を踏まえ、風速 12m/s 以下の条件下では調査は可能と考えられる。 ・実施項目 C-3 については、本実証にて使用した機材では各製造者より表 2-C3-2、表 2-C3-3 に示す条件までであれば、対応が可能と公表されている。
実施項目 E) ドローンを活用した大分県特別保護樹林の指定、保全のための調査業務	<ul style="list-style-type: none"> ・本実証で使用した機材（Mavic 3E、Skydio 2+）の性能を踏まえ、風速 10m/s 以下であれば測定の実施は可能と考えられる。 ・本実証で使用した機材については、いずれも防水性能を有しておらず、雨が降っているなどの状況下では、測定の実施が難しいと懸念される。 ・各機体の最大飛行時間は Mavic 3E で 45 分、Skydio 2+ で 27 分程度であるため、それぞれ 15～20 分程度は撮影可能であるため、広大な環境に対する調査についてはドローンの活用により、従来手法での実施よりも効率的に測定可能だと考えられる。

表 4-2 実施項目 C、E における実証地ごとの実証時の気候条件※

	実証時期	天候	平均風速 (m/s)	主な風向き
北海道厚岸町 (実施項目 C-1)	令和 5 年 10 月 24、25 日	晴れのち 曇り	1.9～2.0	南向き
	令和 5 年 11 月 13、14 日	曇りのち 晴れ	1.9～2.2	北向き
香川県多度津町 (実施項目 C-2)	令和 5 年 10 月 16、17 日	晴れ	1.8～2.9	西向き
	令和 5 年 11 月 15、16 日	晴れのち 曇り	1.8～3.6	北向き
沖縄県西表島 (実施項目 C-3)	令和 5 年 10 月 17、18 日	曇り	0 (実測値)	-
	令和 5 年 11 月 15 日	晴れ	0 (実測値)	-
大分県大分市 (実施項目 E)	令和 5 年 10 月 30、31 日	曇りのち 晴れ	0 (実測値)	-

※厚岸、多度津は観測所のデータ参照

表 4-3 使用したドローンの耐風、防水性能

ドローン機種名	耐風性能	防水性能
DJI Matrice300 RTK	12m/s	IP45
DJI Matrice30T	12m/s	IP55
DJI Mavic Enterprise	12m/s	なし
DJI Mavic Multispectral	12m/s	なし
PD4-AW-AQ（着水ドローン）	15m/s（飛行環境、飛行方法により変動）	IP55
Skydio2+	10m/s	なし

② 自然環境（特に生物）への影響に配慮したデジタル機材や情報収集方法とすること。上記に関する各実施項目における評価結果の概要は、表 4-4 のとおりである。

表 4-4 実施項目における評価結果の概要（実施条件②）

項目	評価結果概要
実施項目 A) Starlink（低軌道衛星通信）等を活用した二ホンジカやヒグマ等の生息状況調査	・カメラ等の機材を設置した樹木や地面に対しても損傷はみられず、生物等自然環境への影響はみられなかった。
実施項目 B) ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得	・カメラ等の機材を設置した樹木や地面に対しても損傷はみられず、生物等自然環境への影響はみられなかった。
実施項目 C) ドローンの遠隔操作による動植物の個体群、群集又は群落の生息・生育状態の情報取得	<ul style="list-style-type: none"> ・実施項目 C-1 についてはドローン（Mavic 3E）の飛行に当たっては、鳥類等自然環境への影響は見られなかった。なお、特定の機種（Matrice300RTK）のドローンの飛行に当たっては、マニュアルで推奨されている飛行高度（100m）以上を飛行したにもかかわらず、オオハクチョウの忌避行動が確認された。 ・実施項目 C-2 については、ドローンの飛行に当たって鳥類が警戒する行動はみられず、生物等自然環境への影響はみられなかった。 ・実施項目 C-3 については、ドローンの飛行に当たって一部の種で忌避的な行動が映像では確認されたものの、明らかな自然環境（生物）への影響はみられなかった。
実施項目 E) ドローンを活用した大分県特別保護樹林の指定、保全のための調査業務	・樹林上空での撮影においてドローンの飛行中に一部の鳥類がドローンに近づくことが複数回見られ、樹林に生息する鳥類の縄張りに近づいた場合は、これらの鳥類を刺激しうることを確認された。

- ③ 対象法令及び関係法令の規制に抵触せず、また公園利用に著しい支障（例えば、ドローン落下により景観や地形を損傷する、放置状態にする等）を与えないデジタル機材や情報収集方法とすること。

上記に関する各実施項目における評価結果の概要は、表 4-5 のとおりである。

表 4-5 実施条件に関する評価結果の概要（実施条件③）

項目	評価結果概要
実施項目 A) Starlink（低軌道衛星通信）等を活用した二ホンジカやヒグマ等の生息状況調査	・機材の設置は許可申請により適切に行い、一部の場所では看板等を設置するなど対策を行うことで公園利用に著しい支障は発生しなかった。
実施項目 B) ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得	・人口データを用いた利用者数の把握については、ユーザーのデータについて個人情報保護法の規定にのっとり適切に加工処理を行った上で使用した。 ・トレイルカメラでの利用者数の把握については、撮影に当たって個人情報保護法にのっとり利用方法を周知するなど適切に対応し、取得した撮影画像については、個人情報保護に関する社内規定に従い適切に管理した。

- ④ 広大な面積、複雑な地形、見通しが悪い森林や暗所、動物移動の観測など自然物の特有の状態でも取得する情報の正確性を確保することが可能なデジタル機材や情報収集方法とすること。

各実施項目における評価結果の概要は、表 4-6 のとおりである。

表 4-6 実施条件に関する評価結果の概要（実施条件④）

項目	評価結果概要
実施項目 A) Starlink（低軌道衛星通信）等を活用した二ホンジカやヒグマ等の生息状況調査	・対象地域内の広範囲に機材を設置することができ、日中・夜間の両方で動物と判別できる画像が取得できた。
実施項目 B) ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得	・人口データを用いた利用者数の把握について、本実証対象エリア内では地形や面積によらずデータを収集できた。 ・トレイルカメラでの利用者数の把握について、日中・夜間の両方で情報を取得することができた。
実施項目 C) ドローンの遠隔操作による動植物の個体群、群集又は群落の生息・生育状態の情報取得	・C-1、2 については対象範囲全域を撮影することができ、C-2 については 1 回目と 2 回目の空撮で同等のオルソ画像を作成することができた。 ・実施項目 C-3 については、水面からドローンを離着水させることができた。また、特定エリア周辺の様子をリアルタイムで確認することができたほか、着水し水中映像を撮影することができ、ウミシヨウブの生育状況、食害の有無、葉の高さなどウミシヨウブ群落の様子が判る画像が取得できた。
実施項目 E) ドローンを活用した大分県特別保護樹林の指定、保全のための調査業務	・特に柞原八幡宮の森は対象面積も広く高低差も激しい状況の中、ドローンにより短時間で対象範囲から樹高や胸高直径などの計測に必要な画像を撮影することができた。

- ⑤ 自然環境の雰囲気（静謐、自然音、香り等）の把握に際して、人間の五感を可能な限り再現すること。

上記に関する各実施項目における評価結果の概要は、表 4-7 のとおりである。

表 4-7 実施条件に関する評価結果の概要（実施条件⑤）

項目	評価結果概要
実施項目 B) ドローンや人流データ等を活用した国立公園の土地利用、風景・景観、利用状況等の情報取得	<ul style="list-style-type: none"> ・ 360 度カメラ・バイノーラル録音を用いた現地状況（静謐、自然音）の記録については、アンケート調査を行った結果、VR ゴーグルで視聴したほうがより臨場感があるとした意見が非常に多いものの、季節感の違いを感じた人・感じなかった人がおおよそ半々の結果となった。 ・ バイノーラル録音については、バイノーラル音声のほうがより臨場感を感じられるという意見が多かった一方、両者で季節感の違いを感じたという意見はほとんどなかった。

- ⑥ 取得したカメラやセンサー等での取得情報は、利用調整地区制度を管理する施設にリアルタイムで送信し表示させること。

上記に関する各実施項目における評価結果の概要は、表 4-8 のとおりである。

表 4-8 実施条件に関する評価結果の概要（実施条件⑥）

項目	評価結果概要
実施項目 A) Starlink（低軌道衛星通信）等を活用した二ホンジカやヒグマ等の生息状況調査	<ul style="list-style-type: none"> ・ 管轄されている環境省事務所から指定があったメールアドレスに情報をリアルタイムで送信するシステムをクラウド上で組み、実際にリアルタイムで送信することができた。