

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

イームズロボティクス株式会社

国立大学法人福島大学

2024 年 1 月 31 日

目次

1	技術実証の概要	1
1.1	目的	1
1.2	対象業務（法令）	1
1.3	全体像	1
1.3.1	ドローンと熱赤外線カメラの適用性検証	2
1.3.2	ドローンとマルチスペクトルカメラの適用性検証	4
1.3.3	熱赤外線カメラの適用範囲の確認	5
1.4	実施体制・期間	7
1.4.1	実施体制	7
1.4.2	実施期間	7
2	技術実証内容の詳細	8
2.1	技術実証で活用した機材	8
2.1.1	ドローンと熱赤外線カメラの適用性検証	8
2.1.2	ドローンとマルチスペクトルカメラの適用性検証	11
2.1.3	熱赤外線カメラの適用範囲の確認	11
2.2	実施場所等	11
2.3	実施条件等	13
2.3.1	ドローンと熱赤外線カメラの適用性検証	13
2.3.2	ドローンとマルチスペクトルカメラの適用性検証	14
2.3.3	熱赤外線カメラの適用範囲の確認	14
3	技術実証の結果	16
3.1	結果の評価ポイント・方法	16
3.2	結果及び評価・分析	18
3.2.1	ドローンと熱赤外線カメラの適用性検証の結果	18
3.2.2	ドローンとマルチスペクトルカメラの適用性検証の結果と分析	25
3.2.3	熱赤外線カメラの適用範囲の確認	26
4	まとめ	32
4.1	「けもの道の探索」へのデジタル技術の適用性	32
4.1.1	「けもの道の探索」の精度向上について	32
4.1.2	効率化・省人化の効果について	32
4.2	デジタル技術の「けもの道の探索」での実用性について	33
	参考資料	36
	用語集	38

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、南極など）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。

そこで、自然物等の実地調査の一つとして、人が行っている野生動物の生態・生息調査の一環で行われている「けもの道の探索」による野生動物の出現パターンの解析に、デジタル技術の活用が可能であるかを実証により確認する。

現状の「けもの道の探索」による野生動物の出現パターンの解析方法は、まず森と平原の境界付近で草木が踏まれた痕跡のある場所を人が約 5km～10km 歩き、けもの道の可能性のある地点を何か所か推定する。それらの地点に固定カメラを設置して 1～2 週間自動撮影後に撮影データを回収する。複数地点の 1～2 週間分の画像を人の目で確認して、画像の中から動物画像を抽出し、出現場所と頻度からけもの道を特定するとともに、出現状況（種類・数・頻度や時間等）から野生動物の出現パターンの解析を行っている。但し、自動撮影では熱源や動くものを撮影するため、日光等による草木の温度上昇、風等による草木の揺れなど動物以外の画像が大量に含まれ、その中から動物画像を人の目により特定する作業にも数日を要する場合もある。

本技術実証では、「けもの道の探索」に必要な固定可視カメラ設置までの準備作業、撮影データ確認によるけもの道の特定に対して、デジタル技術の適用性と適用できる場合の効率化・省人化の可能性を検証する。

1.2 対象業務（法令）

本技術実証の対象業務は、以下の 2 つである。

- 1)自然環境保全法第 28 条、第 31 条、第 47 条に係る実地調査
- 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

これらの対象業務に関して、本技術実証の対象とする調査「けもの道の探索」は、以下に含まれるものである。

- ア)自然環境保全地域の区域のうち特別地区及び海域特別地区に含まれない区域（「普通地区」という。）内における実地調査の際に動物生息域への影響を確認するために必要となる調査
- イ)国立公園、国定公園の指定、公園計画に対して特別地域及び海域公園地区に含まれない区域（以下「普通地域」という。）における実地調査の際に動物生息域への影響を確認するために必要となる調査

1.3 全体像

「けもの道の探索」では、人が森や平原の中を 5 km～10km を歩いて、草木が踏まれた痕跡を探しけもの道の可能性のある地点を推定する。その地点にカメラを設置し 1～2 週間自動撮影・回収した画像データから、人の目で動物画像を見つけ出し、出現場所や頻度から、けもの道かどうかを判別する。これらの一連の調査を複数地点に対して行い、けもの道の特定を行っている。

これに対して、ドローンであれば、5km～10kmの距離は、概ね20分以内で飛行可能である。このためドローン搭載カメラによる撮影で移動中の動物を捕捉できれば、人が5km～10kmの範囲を数時間かけてけもの道候補場所を調査する作業が、20分に短縮できる可能性がある。さらに移動中の動物が撮影できることで、固定カメラ2週間分の撮影データの中から動物のみ抽出する作業も数分の1に軽減される可能性がある。

一方、移動中の動物をドローン搭載カメラで撮影するには、動物が出現する場所や時刻をピンポイントで予測する必要がある。動物の生態からおおよその出現場所・時間帯（たとえば、朝方、夕方など）が推定できたとしても、動物の移動を考慮すると、撮影のタイミングは非常に狭い時間幅となる。このため一定時間継続するような、動物やその移動の痕跡を捕捉できれば、動物のピンポイント撮影に比べ、動物の移動経路の特定が効率化する可能性は高い。また、これらの痕跡から動物の移動場所や出現時刻を推定することで、撮影の確率も大きく改善する見込みがある。

そこで本技術実証では、過去のフィールド調査を参考（参考1）に、動物とその移動の痕跡として、移動経路上に一定時間残存する体熱を利用した「けもの道の探索」へのデジタル技術の適用性を検証し、動物の生息状態等の実地調査の効率化や省人化につながるかを確認する。加えて、植物の生育状態の違いが計測可能であることに着目（参考2）し、移動痕跡として草木が継続的に踏まれている移動経路と周辺との植物の生育状況の差異を利用した検証も実施する。

前者は、ドローンと熱赤外線カメラを活用した検証、後者はマルチスペクトルカメラを活用した検証である。また、前者では、体熱の残存時間がデジタル技術の適用性に大きく影響するため、別途、残存時間に関する検証を行う。

上記のドローン、熱赤外線カメラ、マルチスペクトルカメラを用いた検証では、以下の3項目を実施した。

- 1)ドローンと熱赤外線カメラの適用性検証
- 2)ドローンとマルチスペクトルカメラの適用性検証
- 3)熱赤外線カメラの適用範囲の確認

1.3.1 ドローンと熱赤外線カメラの適用性検証

本実施項目では、定点観測用の熱・動作感知型の固定赤外線カメラ（以下、「固定赤外線カメラ」近赤外線LEDを照射した物体からの反射光を撮影）、けもの道上空からの撮影用のドローン、当該ドローンに搭載する熱赤外線カメラ（物体から放射される熱・遠赤外線を撮影）、補助的に利用する地上設置の熱赤外線カメラを使用する。

検証の手順は、次の通りである。

- ①複数個所に一定期間設置した固定赤外線カメラで出現する野生動物を自動撮影する。（図1）
- ②①の撮影画像から出現状況（個体数や頻度、時間帯）等によりけもの道と推定される場所を選定する。
- ③選定したけもの道の推定場所の上空で出現時間帯にドローンを飛行させ、ドローンに搭載した熱赤外線カメラ（以下、「ドローン用熱赤外線カメラ」）で野生動物の痕跡（残存熱）を撮影する。同時に地上からも残存熱を撮影するために設置した熱赤外線カメラ（以下、「野外サーモカメラ」）により残存熱を撮影する。（図2）
- ④③で撮影した野生動物の痕跡から、けもの道の特定が可能か確認する。（図3）
- ⑤一連の検証手順を通じて、ドローンと熱赤外線カメラの活用が実地調査の効率化や省人化につながるかを確認する。



図1 固定赤外線カメラによる野生動物の定点撮影



図2 熱赤外線カメラによる野生動物とその痕跡（残存熱）撮影

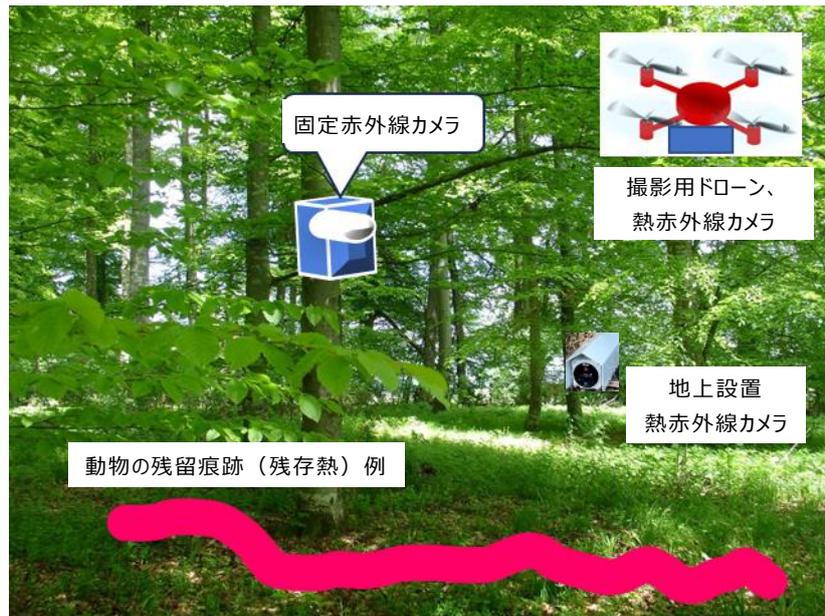


図3 野生動物の痕跡（残存熱）撮影によるけもの道の特定

1.3.2 ドローンとマルチスペクトルカメラの適用性検証

本実施項目では 1.3.1 のドローン搭載の熱赤外線カメラの代わりにマルチスペクトルカメラを用いる。検証の手順は、次の通りである。①、②は 1.3.1 と共通である。

- ①複数個所に一定期間設置した固定赤外線カメラで出現する野生動物を自動撮影する。（図 1）
- ②①の撮影画像から出現状況（個体数や頻度、時間帯）等によりけもの道と推定される場所を選定する。
- ③選定したけもの道の推定場所の上空でドローンを飛行させ、ドローンに搭載したマルチスペクトルカメラにより、野生動物の痕跡（植物の生育差異）を撮影する。（図 4）
- ④③で撮影した野生動物の痕跡から、けもの道の特定が可能か確認する。
- ⑤一連の検証手順を通じて、ドローンとマルチスペクトルカメラの活用が実地調査の効率化や省人化につながるかを確認する。

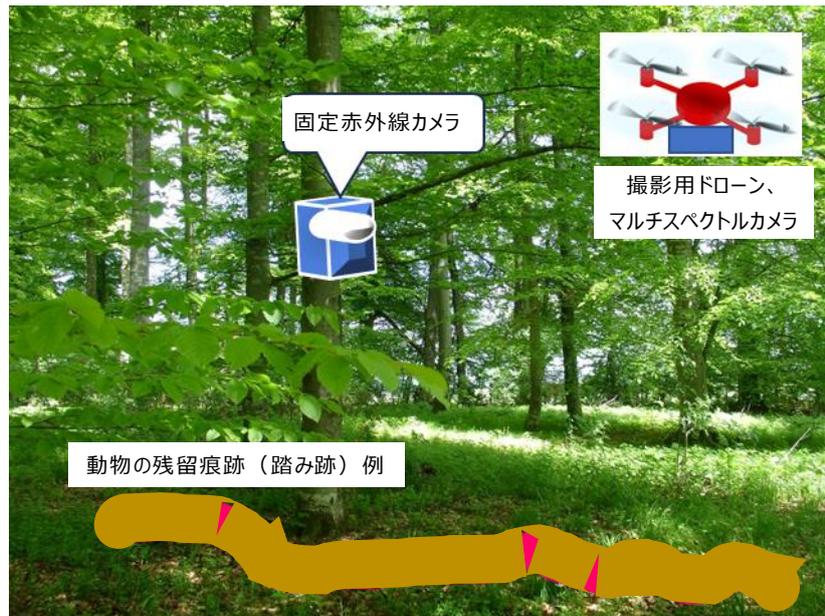


図4 マルチスペクトルカメラによる野生動物の痕跡（植生変化）撮影

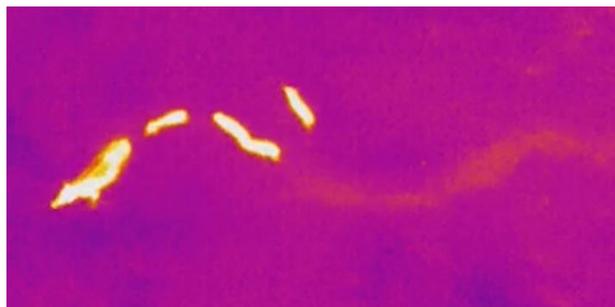
1.3.3 熱赤外線カメラの適用範囲の確認

ドローンと地上に設置した野外サーモカメラによって取得した熱赤外線カメラ撮影データを用い、動物の残存熱がどのくらいの時間撮影・識別できるのかを確認する。検証の手順は、次の通りである。

- ①1.3.1③で取得した動物と残存熱の撮影時刻の差から当該動物の体熱の残存時間を算定する。
その際に、環境条件（地面や草木の様子、気象）による変動も把握する。
- ②検証期間内に動物が撮影できない場合は、人を対象として代替の検証をする。具体的には、けもの道の周辺同等の場所で人の体熱の残存状況を熱赤外線カメラで撮影する。

<参考 1>

イームズロボティクスは、2018年8月午後8時頃、福島県浪江町の草原にて、ドローン搭載熱赤外線カメラにより、複数のイノシシが出現・移動した痕跡と思われる撮影画像を得た。参考図 1-1 では、子連れと思われる親イノシシと子供4匹が草原を移動した痕跡（残存熱）が撮影されたものと推定される。参考図 1-2 では、参考図 1-1 と同じ地点をズームアウトして撮影したもの。比較的広い範囲でイノシシの群れの移動跡が捕捉されている。なお、撮影時期は夏季であり夜でも気温が高いこと、草丈 50 cm～1m 近い草原を移動していることなど、体熱が長い時間残存しやすい環境下であったと推察される。この時点では、撮影画像から熱の残存時間まで把握するには至らなかった。



参考図 1-1 ドローン搭載熱赤外線カメラによるイノシシの痕跡撮影例（高度：50m、4倍ズームレンズ使用）



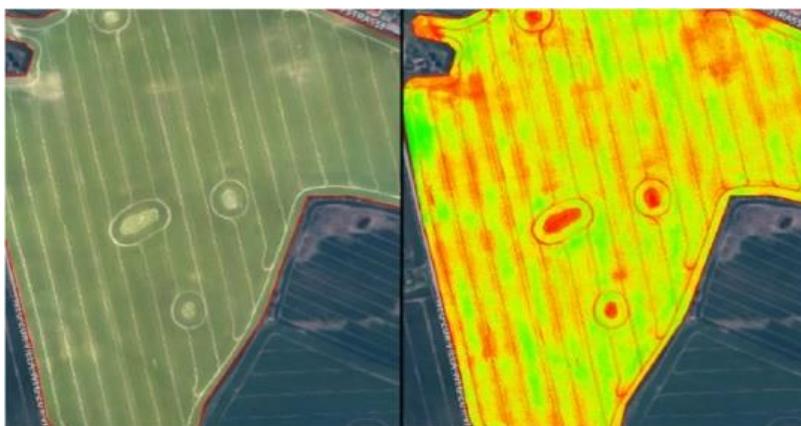
参考図 1-2 ドローン搭載熱赤外線カメラによるイノシシの痕跡撮影例（2倍ズーム）

<参考 2>

マルチスペクトルカメラでは、撮影対象植物の生育度合いの違いを正規化植生指数 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index) の違いとして示すことができる。NDVI 値は以下の式から算出される。

$$NDVI=(NIR+Red)/(NIR-Red) \quad (NIR: \text{近赤外波長域の反射率、Red: 赤色波長域の反射率})$$

参考図 2 に示すように、可視光画像では識別が容易ではない左側の圃場の状況も、右側の画像では植物の生育状況により光の反射周波数に差が生じ緑部（生育正常）と赤部（生育不良）で判別ができる。圃場内の通行路は赤い帯状に表示されている。通行路と同様に、動物に継続的に踏まれているけもの道では草木の生育状況が周辺と異なるため、マルチスペクトルカメラの撮影で識別可能となる。



参考図 2 圃場の可視光画像（左）とマルチスペクトルカメラ（右）画像

1.4 実施体制・期間

1.4.1 実施体制

本技術実証参加事業者と役割を表 1 に、体制を図 5 にまとめた。

表 1 技術実証参加事業者と役割

事業者名	実施業務・役割
イームズロボティクス株式会社	技術実証運営管理、ドローン飛行・撮影、報告書作成
国立大学法人福島大学	定点カメラ管理、定点カメラデータ解析
ALSOK 福島株式会社 (イームズロボティクスからの再委託先)	定点カメラデータ採取

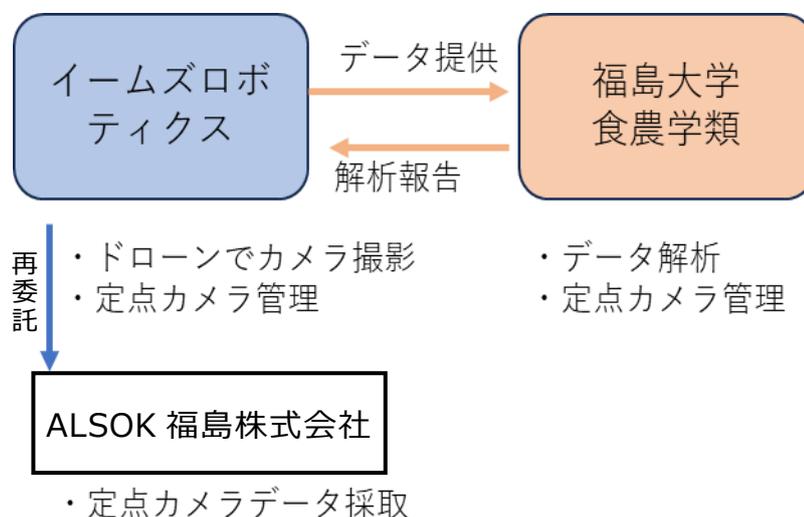


図 5 実施体制図

1.4.2 実施期間

本技術実証全体の実施期間は、2023年10月26日～2024年1月31日、各項目別の期間は以下の通りである。

表 2 技術実証実施期間

実施項目	実施期間
1)ドローンと熱赤外線カメラの適用性検証	2023年10月31日～2024年1月12日
2)ドローンとマルチスペクトルカメラの適用性検証	2023年12月18日～2023年12月19日
3)熱赤外線カメラの適用範囲の確認	2023年12月18日～2024年1月12日

2 技術実証内容の詳細

2.1 技術実証で活用した機材

本技術実証に用いた、ドローン、固定赤外線カメラ、ドローン用熱赤外線カメラ、野外サーモカメラ、マルチスペクトルカメラといった各機材の製品仕様を表 3 にまとめた。

表 3 機材の仕様

機材名	製品・仕様
ドローン	イームズロボティクス製 E470（機体サイズ：軸間 700mm、全長 554mm、全幅 554mm、全高 384mm、重量 4.7kg（バッテリー搭載）、最大離陸重量 7.8kg、飛行時間約 40 分、最大飛行速度 80km/h、最大飛行高度約 4000m）
固定赤外線カメラ	Bushnell 社製 トロフィーカム XLT 32MP ノーグロウ DC4K （最大 3200 万画素、動画解像度；最大 1920×1080 ピクセル、4 K 動画、大きさ mm；縦 139×横 95×高さ 76、単三アルカリ乾電池 6 本、電池寿命；約 180～360 日間）
ドローン用熱赤外線カメラ	日本アビオニクス製 熱赤外線カメラ※ ※開発中製品。発売前のため仕様非公開
野外サーモカメラ	日本アビオニクス製 N50 シリーズネットワークサーモカメラ （赤外カメラ＝画素数 320(H)×249 (V)、測定波長 8～14μm、測定温度範囲 - 20℃～120℃、温度制度±2℃、可視カメラ＝960(H) x 720(V) 画素、重量 600 g、62mm(H) x 62mm(W) x150mm(D))
マルチスペクトルカメラ	AgEagle 社製 MicaSense RedEdge（現在販売終了）

2.1.1 ドローンと熱赤外線カメラの適用性検証

固定赤外線カメラ、ドローン用熱赤外線カメラ、野外サーモカメラを用いた検証内容は以下の通りである。

(1)固定赤外線カメラの設置

水場がある近くや森林で野生動物により草木が踏み倒された場所やイノシシ等が掘り返した地点（図 6）を探し、動物が通ったと推定される場所や掘り返し跡付近の樹木、枯れ木、竹などに布テープで赤外線カメラを固定する（図 7）。



図 6 イノシシ等が掘り返した地点（赤丸部分）



図 7 固定赤外線カメラの設置（トロフィーカム）

(2)固定赤外線カメラによる動物撮影と「けもの道の探索」対象場所の選定

固定赤外線カメラは、カメラが向いた方向に熱や動きを感知すると自動的に撮影が開始され 30 秒～1 分間の動画を収録する。この撮影データから動物の出現時刻、場所を精査し、最も出現率（動物の 1 日当たり出現回数や測定期間の出現回数、あるいは撮影時間から算定）の高い地点を「けもの道の探索」対象とする場所として選択する。

(3)ドローン用熱赤外線カメラによる動物の痕跡撮影

(2)の固定赤外線カメラの撮影データから選択した「けもの道の探索」対象場所で、野生動物の出現時刻付近の時間帯にドローン用熱赤外線カメラ（図 8、図 9）により、当該地点の周囲を撮影し熱分布を計測して動物の痕跡（残存熱）を検出する。



図 8 熱赤外線カメラを搭載するドローン (E470)



図 9 ドローン用熱赤外線カメラ (日本アビオニクス製開発機)

(4) 野外サーモカメラによる動物の痕跡撮影

ドローン用熱赤外線カメラの撮影の補助として、(3)の撮影対象場所の地上に野外サーモカメラ (図 10) を、野生動物の出現時刻の前後の数時間設置して、出現する動物と動物の痕跡を撮影する。

固定赤外線カメラは動物等の熱源を感知して短時間、動画を撮影する。これに対して、野外サーモカメラは、数秒間隔で静止画像を継続的に撮影する。ドローン用熱赤外線カメラとは異なり限定的な範囲の撮影になるが、長時間の撮影が可能でもあることから、出現した動物が撮影できた場合は、その時刻以降の数秒間隔の撮影データから、動物の体熱の残存痕跡や移動軌跡の検出を試みる。



図 10 野外サーモカメラ (N50 シリーズネットワークサーモカメラ)

2.1.2 ドローンとマルチスペクトルカメラの適用性検証

2.1.1(3)の撮影対象場所とその周辺を含めて広域的範囲で撮影を行う。マルチスペクトルカメラ(図 11)の撮影は、2.1.1(3)(4)のような動物の出現時刻に依存しないが、植生の違い(NDVI 値)が日差しにより明確となりやすいため、比較的晴れた日中に行う。周辺と比べ低 NDVI 値が表示されている場所を検出し、2.1.1の結果や地上の様子(地面や草木状況)を確認して、けもの道の判定を試みる。



図 11 ドローンに搭載するマルチスペクトルカメラ(MicaSenseRedEdge)

2.1.3 熱赤外線カメラの適用範囲の確認

2.1.1(2)(4)での動物の撮影画像から出現時刻を特定し、(3)の残存熱の撮影時刻との差を残存時間として算定する。残存時間は、環境(地面や草木の様子、気象)の影響を受けることが予想されるため、これらの環境条件も把握する。

一方、2.1.1(3)(4)で、野生動物や痕跡(残存熱)を撮影できない場合(動物が活動していない、撮影時間帯が出現時刻から大幅にずれていた、熱の残存継続時間内で撮影できなかった等)、残存時間の確認などデジタル技術の適用性の検討が困難となる。そこで、野外サーモカメラを利用して、けもの道の周辺と同じように地面や草木が十分に存在する場所で、人(手や足)の体熱の当該場所への残存に関する調査を行う。地表条件や環境条件の残存時間への影響も整理する。

2.2 実施場所等

本技術実証の場所は、以下の条件を満たす場所を選定している。

- 1)野生動物の出現が確認されている
- 2)森林と平原の境界線が比較的長く(5 km~10km)「けもの道」形成の可能性が高い
- 3)各種検証用の機材等の搬入やカメラ設置場所探索が可能な場所

イームズロボティクスと福島大学の立地や活動拠点も踏まえて、福島県浜通り地区の浪江町及び南相馬市(帰還困難区域が含まれ区域境界周辺で野生動物出現が多数確認されている地域がある)から、1)~3)を満たす地域を抽出し、現地に立入り5 km~10kmの境界線の中から2.1.1(1)に示すけもの道の可能性のある次の10か所を固定赤外線カメラ設置場所として選定した。

- ①浪江町加倉地区 6か所(図 12)
- ②浪江町津島地区 2か所(図 13)
- ③南相馬市小高地区 2か所(図 14)

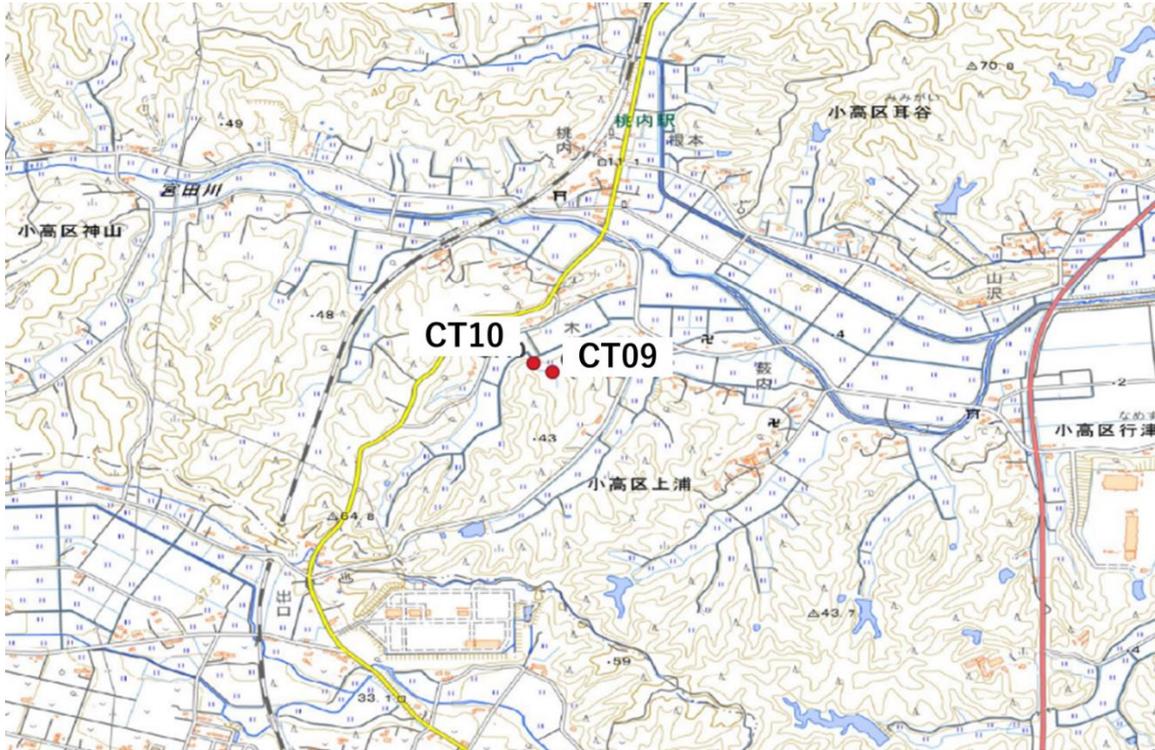


図 14 南相馬市小高地区の技術実証場所（固定赤外線カメラ 2 か所設置：CT09～CT10）

2.3 実施条件等

2.3.1 ドローンと熱赤外線カメラの適用性検証

(1)対象とする野生動物

実施時期が、冬季となり気温（5℃前後）が低いこと、平原の草木も枯れている等の環境条件となる。そのため動物の体熱が移動経路上の地面や草木には残りにくいことが予想されたため、撮影対象の野生動物を、タヌキやウサギなどの小型動物ではなく、体重 100 kg を超えることもあるイノシシに絞ることとした。

(2)固定赤外線カメラによる撮影期間（連続撮影）

10 か所の撮影期間は以下の通りである。約 1 か月の間 24 時間の自動撮影を行い、その間 1 週間に 1 回程度の頻度で撮影データ（SD カード）を回収・取得する。

- ①浪江町加倉地区 5 か所：10 月 31 日～12 月 18 日（48 日間）
- ②浪江町加倉地区 1 か所、津島地区 2 か所：11 月 14 日～12 月 18 日（34 日間）
- ③南相馬市小高地区 2 か所：11 月 14 日～12 月 18 日（34 日間）

(3)固定赤外線カメラ撮影データの判定条件

固定赤外線カメラ撮影データから野生動物の出現率（全撮影期間に占める動物出現時間の割合）を算定する。動物出現率が高い撮影場所を「けもの道の探索」候補としてドローン用熱赤外カメラ撮影対象とする。

(4)ドローン用熱赤外線カメラ撮影データの判定条件

「けもの道の探索」候補地にイノシシが出現した際、固定赤外線カメラでのイノシシ撮影時刻とドローン用熱赤外線カメラの残存熱の撮影時刻との差、残存熱の広がり方から、残存熱の持続時間と範囲の関係を分析する。この結果を基に、「けもの道の探索」が可能か、さらには残存熱から野生動物の通過時刻の推定の可能性も確認する。

(5)野外サーモカメラ撮影データの判定条件

「けもの道の探索」候補地でドローン用熱赤外線カメラにより撮影する地点を、これまで固定赤外線カメラでイノシシ出現が確認できた時刻の前後計 2 時間半の間、10 秒間隔で自動撮影する。この間にイノシシの出現を撮影できた場合は、撮影データを利用して動物撮影時刻と残存熱撮影時刻の差から持続時間や範囲を算定する。

なお、野外サーモカメラは、高額な機材であることからレンタルで調達しており、利用台数や利用期間、設置条件（無人撮影不可）等から限定的、補助的な利用にとどめている。

2.3.2 ドローンとマルチスペクトルカメラの適用性検証

(1)マルチスペクトルカメラによる撮影期間と気象条件、場所・範囲、

植物の反射光を撮影しやすい晴天の日中（13:00～14:00）に撮影する。撮影場所は、「けもの道の探索」候補地の中で最も出現率の高い地点の周辺とする。

(2)撮影データの判定条件

撮影データ（オープンソースソフトウェアの QGIS ver. 3.28.14 で処理して NDVI 値変換）で周辺より NDVI 値が低く帯状につながっている場所を特定する。その場所の地表や草木の状況やイノシシの活動痕跡（掘り返し跡、草木踏み倒し跡、地面露出など）を目視で調べ、けもの道の抽出が可能か確認する。

2.3.3 熱赤外線カメラの適用範囲の確認

(1)動物の残存熱の撮影方法

固定赤外線カメラの周辺に設置した野外サーモカメラの撮影データのうち、動物が撮影された後に連続的に残存熱の痕跡が撮影されたデータを抽出する。このデータから動物の出現時刻と残存熱の痕跡が消えるまでの時間差と残存熱の痕跡の範囲を測定し、残存熱の持続時間、移動経路の識別ができるかを確認する。また、複数地点の撮影結果から、環境条件（地面や草木の様子、気温）による影響も把握する。これらの結果を、残存熱の撮影の「けもの道の探索」への適用条件として整理する。

(2)人の体熱を使った残存熱の撮影方法

上記(1)に関して、イノシシを撮影できなかった場合には、代替手段として、人間の体熱により草、枯草、地面の温度が変化（上昇）するか、また温度上昇がどの程度持続するかを以下の手順で確認し、「けもの道の探索」に活用できるデータを取得できるか検証する。

- ①実施環境は、緑の草むら、枯れ草、露出地面が存在する場所を選定する。なお、日中前提だが冬季のため低気温を想定（5℃前後）する。
- ②対象物（緑の草むら、枯れ草、露出地面）に、手の平を一定時間接触させて離す。

③野外サーモカメラで②の様子を撮影し、離れた時刻と対象物の温度変化から体熱の残存時間を算定する。

以上の手順により、対象物、接触時間、手の平温度、気象条件と残存時間の関係を分析し、残存熱の撮影の「けもの道の探索」への適用条件として整理する。

3 技術実証の結果

3.1 結果の評価ポイント・方法

「けもの道の探索」へのデジタル技術の適用性の検証結果は、1.1 の目的や技術実証にあたって前提となっていた条件・機能等も踏まえて、以下の観点から評価する。

- 1) デジタル技術により取得するデータや「けもの道の探索」の精度向上
- 2) デジタル技術の活用による「けもの道の探索」作業の効率化・省人化の効果
- 3) デジタル技術の「けもの道の探索」での実用性

(1) デジタル技術により取得するデータや「けもの道の探索」の精度向上

本技術実証の結果から以下を確認する。

- ① 「けもの道の探索」のために取得するデータの精度は、人の目視の精度以上であることを確認する。
具体には、熱赤外線カメラ、マルチスペクトルカメラ撮影データで野生動物やその活動痕跡を明確に判別できることを確認する。
- ② 「けもの道の探索」に活用する野生動物の移動痕跡（残存熱や植生変化）が、けもの道の特定に十分に資することを確認する。具体には、移動痕跡により動物の出現場所・時間帯がある範囲で特定できること、残存熱の温度・残存時間が周辺との温度差やドローンでの撮影に要する時間の点で十分であること、植生変化のつながりを画像で識別できること、等を確認する。
- ③ 従来の測定方法に比べて「けもの道の探索」の精度が向上することを確認する。具体には、固定赤外線カメラ撮影データと人の目視による方法と、ドローン用熱赤外線カメラやマルチスペクトルカメラの撮影データを利用する方法のそれぞれで、けもの道の特定率を比較する。

(2) デジタル技術の活用による「けもの道の探索」作業の効率化・省人化の効果

本技術実証を通じて調査に要した作業の必要時間や人数を従来方法と比較して、時間と人の削減状況から確認する。具体には、従来の固定赤外線カメラ映像から「けもの道を探索」する方法と、本技術実証での探索方法で、移動やカメラ設置、データ分析等の作業時間や必要な人員数、人が移動する探索活動の範囲を比較して、効率化・省人化、作業軽減の状況を評価する。

本技術実証では従来方法による時間や人数等の測定は実施しないが、実証事業者（福島大学）が行ってきたこれまでのフィールド調査の知見を踏まえて、次のデータを効率化・省人化の比較対象とする。

① 作業時間（計 10 日/カメラ 3 台）

- ・前提：1 人分の作業時間としては 1 日 7 時間。人の活動時間のみで自動撮影等の待ち時間は含めない。フィールド調査において 1 人当たりで担当する固定赤外線カメラ台数に換算して算定。
 - ・野外探索から固定赤外線カメラ設置まで：3 日（カメラ 3 台分）
 - ・カメラデータ回収：1 日（カメラ 3 台分）
 - ・動物撮影データ抽出：6 日（カメラ 3 台分）
- カメラ映像は、何かが 6 分に 1 回 1 分間撮影（1 時間で計 10 分間撮影）されていると仮定し、1 週間分を 2 倍速で確認。
- $7 \text{ 日} \times 24 \text{ 時間} \times 1/6 \times 1/2 \times 3 \text{ 台} = 42 \text{ 時間}$ （作業時間換算で 6 日）

②作業人数（計 1 人/カメラ 3 台）

- ・前提：直接調査に従事する人数。事前準備や機材運搬補助含まず。固定赤外線カメラ台数に換算して算定。
- ・野外探索から固定赤外線カメラ設置まで：1 人（カメラ 3 台分）
- ・カメラデータ回収：1 人（カメラ 3 台分）
- ・動物撮影データ抽出：1 人（カメラ 3 台分）

③移動範囲（計 25km²/カメラ 3 台）

- ・人によるけもの道探索では四方八方を歩きまわるため、1 名が最低 5km 四方を歩くと想定。データ回収時の移動距離は含めず。

なお、上記の移動範囲の設定は、以下の従来方法の事例に基づいて最低数値を算定している。

実証事業者である福島大学が野生動物の生態調査で活用している従来の「けもの道の探索」では、人が半日から 1 日かけて山道や森林 5km から 10km の範囲を歩き、野生動物の掘り起こし跡や草木の踏まれた痕跡を探し、その地点に固定熱赤外カメラを設置する。1～2 週間の自動撮影後にカメラから撮影データ（メモリーカード）を回収し、全映像データの中から動物撮影データを抽出・撮影数を算定する。全映像は撮影時間だけでも数 10 時間分以上のデータとなる。また、人や車、草木のゆれ、日差しやヘッドライトなど、動物以外の画像が大量に含まれカメラ映像から動物撮影データの抽出は数日を要する。これら一連の作業をカメラ複数台分で行っている。また、動物撮影データが不鮮明や数量不足等で、けもの道の推定に使用できない場合は、再度、カメラ設置（場所変更）・自動撮影・データ回収・データ抽出を繰り返す。

(3)デジタル技術の「けもの道の探索」での実用性

検証を行ったデジタル技術の実用性を以下の観点から確認する。

①適応性と耐久性（Adaptability and Durability）

- ・厳しい自然環境（悪天候や森林内での見通しの悪さ・暗さ等）下での固定赤外線カメラやドローンカメラの安定動作能力と長期間の使用に耐える耐久性。

②データ取得性能

- ・複雑な地形や森林内等におけるデータ取得の可否。
- ・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。

③遠隔操作の信頼性

- ・遠隔地からの操作が安定して行える信頼性。
- ・目視内飛行（100m 以内）レベルの遠隔操作範囲であれば通信切断や遅延を最小限に抑制可能で高い信頼性を維持。

④生態系への影響

- ・ドローンの使用による技術実証の周辺環境や生態系への影響の有無。
- ・ドローン使用前後で調査エリアの写真を撮影し、固定赤外線カメラ設置場所やドローン撮影の作業前後で、周囲の自然環境への影響（植生が修復できないような損傷）の有無。

3.2 結果及び評価・分析

3.2.1 ドローンと熱赤外線カメラの適用性検証の結果

(1)固定赤外線カメラの撮影結果

2023年10月31日～12月18日までの期間を次の3期間に分けて検証を行った。

1)10月31日～11月14日：過去の出現報告等を踏まえて先行的に2週間実施。

2)11月14日～12月5日：10か所で3週間実施。

3)12月5日～12月18日：10か所でドローン用熱赤外線カメラ撮影日までの2週間実施。

各期間の野生動物の固定赤外線カメラでの撮影結果を表4～表6に示した。イノシシが撮影できた固定赤外線カメラ設置場所は6か所であった。固定赤外線カメラでの撮影画像の例を図15～図17に示した。

これらの撮影データからも分かるように、特定できた野生動物の中ではイノシシの撮影データ数が最大で合計73、次がタヌキの64である。10月31日～12月18日までの49日間（1176時間）の撮影期間を考えると、イノシシの出現率は相当に低いと考えられる。冬季に入り気温低下とともに不活になりつつあることが影響していると推定される。

表4 固定赤外線カメラのイノシシの撮影日時とデータ数（10月31日～11月14日）

浪江町 固定赤外線カメラ（トレイルカメラ CT01-05）映像解析

設置期間：2023/10/31 ～ 2023/11/14

合計※1：		71	19	1	0	0	0	19	32
No.	カメラ位置	横計	イノシシ	アライグマ	ハクビシン	クマ	シカ	タヌキ	その他
1	CT01	13	4	0	0	0	0	5	4
2	CT02	0	0	0	0	0	0	0	0
3	CT03	35	15	1	0	0	0	1	18
4	CT04	23	0	0	0	0	0	13	10
5	CT05	0	0	0	0	0	0	0	0

※1 スズメ、キジ、カラスなどの鳥類はカウント対象外

表5 固定赤外線カメラのイノシシの撮影日時とデータ数（11月14日～12月5日）

浪江町・南相馬市 固定赤外線カメラ（トレイルカメラ CT01-10）映像解析

設置期間：2023/11/14 ～ 2023/12/5

合計※1：		561	39	9	3	0	0	28	482
No.	カメラ位置	横計	イノシシ	アライグマ	ハクビシン	クマ	シカ	タヌキ	その他
1	CT01	13	2	0	0	0	0	9	2
2	CT02	0	0	0	0	0	0	0	0
3	CT03	67	22	7	0	0	0	2	36
4	CT04	54	0	2	1	0	0	14	37
5	CT05	0	0	0	0	0	0	0	0
6	CT06	393	5	0	0	0	0	0	388
7	CT07	22	0	0	2	0	0	3	17
8	CT08	0	0	0	0	0	0	0	0
9	CT09	12	10	0	0	0	0	0	2
10	CT10	0	0	0	0	0	0	0	0

※1 スズメ、キジ、カラスなどの鳥類はカウント対象外

表6 固定赤外線カメラのイノシシの撮影日時とデータ数（12月5日～12月18日）

浪江町・南相馬市 固定赤外線カメラ（トレイルカメラ CT01-10）映像解析

設置期間： 2023/12/5 ～ 2023/12/18

合計※1：		72	15	3	1	0	0	17	36
No.	カメラ位置	横計	イノシシ	アライグマ	ハクビシン	クマ	シカ	タヌキ	その他
1	CT01	0	0	0	0	0	0	0	0
2	CT02	0	0	0	0	0	0	0	0
3	CT03	29	15	0	0	0	0	1	13
4	CT04	31	0	3	1	0	0	15	12
5	CT05	0	0	0	0	0	0	0	0
6	CT06	0	0	0	0	0	0	0	0
7	CT07	11	0	0	0	0	0	1	10
8	CT08	0	0	0	0	0	0	0	0
9	CT09	0	0	0	0	0	0	0	0
10	CT10	1	0	0	0	0	0	0	1

※1 スズメ、キジ、カラスなどの鳥類はカウント対象外



図 15 固定赤外線カメラ（CT09）の 11 月 14 日 16 時 24 分の撮影映像



図 16 固定赤外線カメラ（CT03）の 11 月 24 日 16 時 36 分の撮影映像



図 17 固定赤外線カメラ（CT03）の 11 月 29 日 15 時 25 分の撮影映像

(2)「けもの道の探索」対象場所の選定

固定赤外線カメラでイノシシが撮影された 6 か所からドローン用熱赤外線カメラの撮影場所選定のため、イノシシの出現率を算定した。

①撮影データ数からの出現率の算定方法

11 月 14 日～12 月 5 日の期間にイノシシが撮影された固定赤外線カメラ 4 台中で CT03 カメラが撮影 7 回、データ数 22 と一番多かった。22 データの内訳を表 7 に示した。内訳では 11 月 24 日 16 時 36 分の撮影データ数が 6 となっている。固定赤外線カメラの撮影設定時間は 1 分であるが、16 時 36 分から連続して撮影が行われ 6 データが収録されている。同時刻の撮影画像（図 16）を見ると子連れの 6 頭が映っており、連続して 6 回撮影されたと思われる。

従って、11 月 14 日～12 月 5 日（撮影期間 21 日間）は、イノシシが 7 回出現し 22 分間撮影されたと考えられる。撮影期間中のイノシシ撮影時間の比率を出現率とし、CT03 での出現率を算定すると、22 分／21 日間（504 時間）＝0.07%となる。

表 7 固定赤外線カメラ（CT03）のイノシシの撮影日時とデータ数（11 月 14 日～12 月 5 日）

撮影日付	撮影時刻	撮影データ数
11 月 16 日	16:25	3
11 月 17 日	15:10	3
11 月 24 日	16:36	6
11 月 25 日	16:05	1
11 月 26 日	16:25	3
11 月 27 日	16:56	2
11 月 29 日	15:25	4
合計		22

②各期間の出現率の算定

表 4 から 10 月 31 日～11 月 14 日にイノシシが撮影された固定赤外線カメラは 5 台中 2 台、撮影データ数 19 である。撮影期間 14 日間（336 時間）で、イノシシが出現したのは 19 分程

度と想定すると、出現率は 19 分/336 時間 = 0.09%である。

表 5 から 11 月 14 日～12 月 5 日の撮影データは 39 である。撮影期間 21 日間（504 時間）で、出現時間が 39 分程度とすると、出現率は 39 分 / 504 時間 = 0.13%である。

表 6 から、12 月 5 日～12 月 18 日では、撮影 13 日間で出現率は 15 分 / 312 時間 = 0.08%である。

③「けもの道の探索」対象場所の選定

固定赤外線カメラでイノシシが撮影できたものは、4 台（CT01、CT03、CT06、CT09）のみである。これらの地点におけるイノシシ撮影時間と出現率を表 8 にまとめた。この結果から、対象場所は、出現率が最もよい CT03 付近とした。また第 2 候補は CT09 とした。

表 7 に示した通りイノシシの出現時刻は、早朝時間帯になく、15 時から 17 時に集中している。このため撮影時刻（ドローン飛行時刻）も同じ時間帯 15:00～17:00 とした。

固定赤外線カメラ（CT03）設置場所付近の全景とカメラ配置を図 18 に示した。12 月 18 日は、野外サーモカメラを固定赤外線カメラ（CT03）と同じ場所（左角近く）で平原に向けて設置した。12 月 19 日は左奥林からの出現に期待して、右側端で林に向けて設置した。

表 8 撮影時間と出現率

カメラ場所	撮影期間	イノシシ撮影時間	出現率
CT01	1,152 時間	4 分	0.006%
CT03	1,152 時間	52 分	0.08%
CT06	816 時間	5 分	0.01%
CT09	816 時間	10 分	0.02%



図 18 固定赤外線カメラ（CT03）設置場所の全景とカメラ配置
（浪江町加倉地区加倉大橋付近）

(3)ドローン用熱赤外線カメラの撮影結果

①撮影条件

ドローン用熱赤外線カメラでの撮影条件を表 9 に示した。

表 9 撮影条件

カメラ	対象地域	日付	開始時刻	撮影時間	気象条件
ドローン用	CT03	12月18日	17:20	9分	晴れ、気温 6～7℃
熱赤外線カメラ	CT03	12月19日	16:07	9分	晴れ、気温 4～6℃

②撮影結果

12月18日、19日のドローン用熱赤外線カメラではCT03カメラの前と周囲を9分間撮影したが、イノシシを始め他の野生動物の姿、痕跡（図19）は認められなかった。

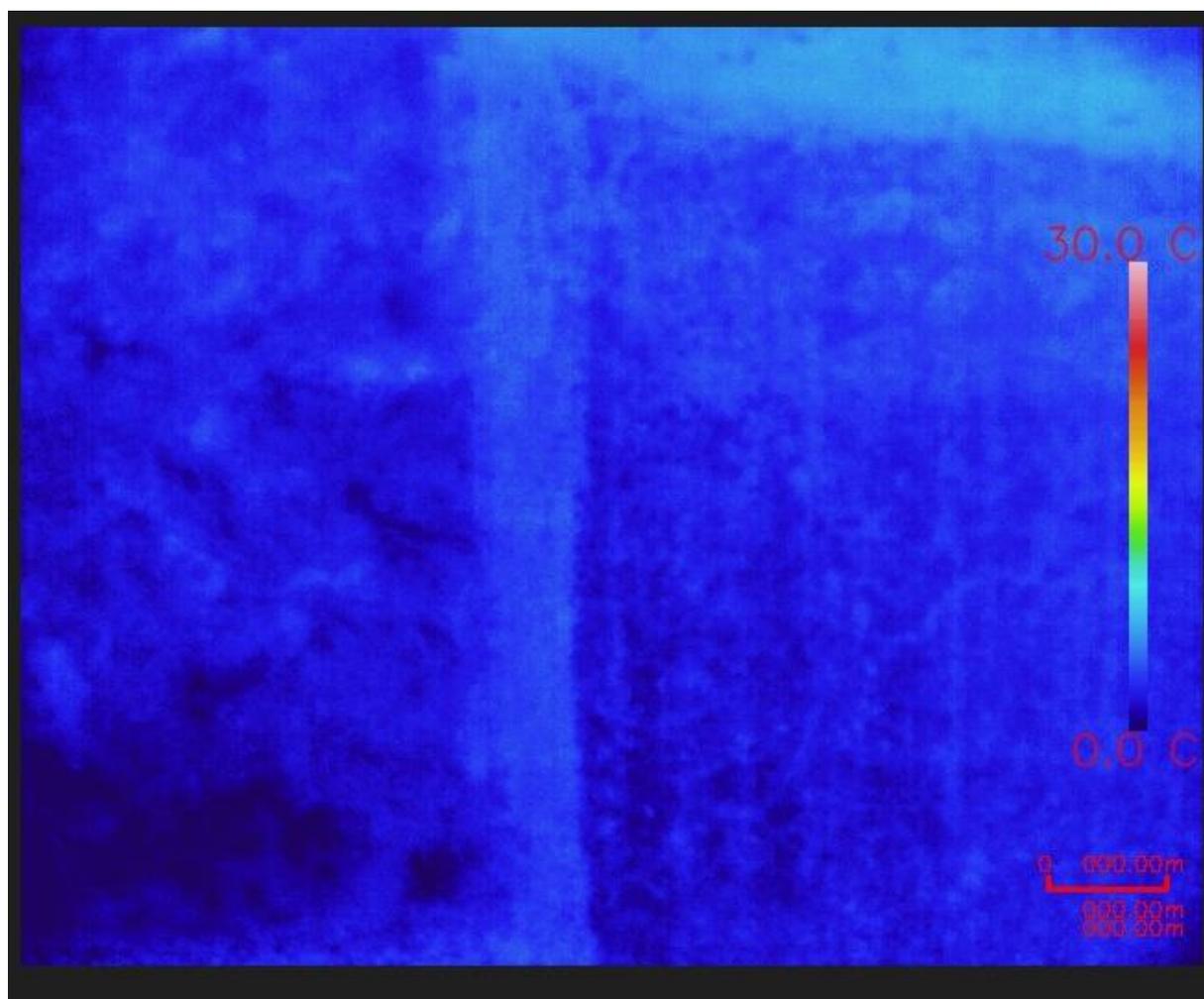


図 19 CT03 設置場所の上空からのドローン用熱赤外線カメラの撮影画像

③結果の分析

CT03 カメラが設置された加倉大橋付近(図 18)は、CT03 設置時 (10 月 31 日) には、図左
 角奥にイノシシ捕獲用箱わなが置かれていたが、CT03 データ回収日 (12 月 18 日) の午前には
 撤去されていた。この場所で固定赤外線カメラ CT03 に撮影されたイノシシ群の一部が箱わなで捕獲
 されたためその後撤収された可能性がある。

12 月 18 日、19 日の両日、イノシシが撮影できなかった原因の一つとして、捕獲を契機に出現し
 ていたイノシシの群れがこの場所周辺には近寄らなくなったことが考えられる。

そこで、12 月 20 日に、CT03 とは異なる場所 CT09 (注 1) で撮影を行うこととした。但し、
 CT09 では直近 (12 月 5 日～12 月 18 日) の出現・撮影記録がなかったため、ドローン用熱赤
 外線カメラ撮影ではなく野外サーモカメラでの撮影とした。

<注 1> CT09 では 11 月 14 日にイノシシが撮影されている (図 15)。撮影回数も CT03 の次に多く、また CT09 付近はイノ
 シシが集中して出現した痕跡として新しい掘り返し跡が認められている。

(4) 野外サーモカメラでの撮影結果

① 撮影条件

野外サーモカメラの撮影条件を表 10 にまとめた。野外サーモカメラの撮影は、12 月 18 日～20
 日に加えて、1 月 11 日、12 日にも実施した。

表 10 撮影条件

カメラ	対象地域	日付	開始時刻	撮影時間	気象条件
野外サーモ カメラ	CT03	12 月 18 日	15:00 頃	約 150 分	晴れ、気温 6～7℃
	CT03	12 月 19 日	14:00 頃	約 150 分	晴れ、気温 4～6℃
	CT09	12 月 20 日	14:30 頃	約 150 分	曇り、気温 5～6℃
	CT09	1 月 11 日	14:30 頃	約 150 分	晴れ、気温 4～5℃
	CT09	1 月 12 日	14:30 頃	約 150 分	晴れ、気温 9～11℃

② 撮影結果

12 月 18 日、19 日の CT03 付近の撮影 (図 20) では、ドローン用熱赤外線カメラ同様に、イ
 ノシシは捕捉できなかった。

12 月 20 日の CT09 付近の撮影でもイノシシの撮影はできなかった。さらに 1 月 11 日、12 日に
 追加撮影 (図 21) を行ったが、イノシシの姿はとらえられなかった。

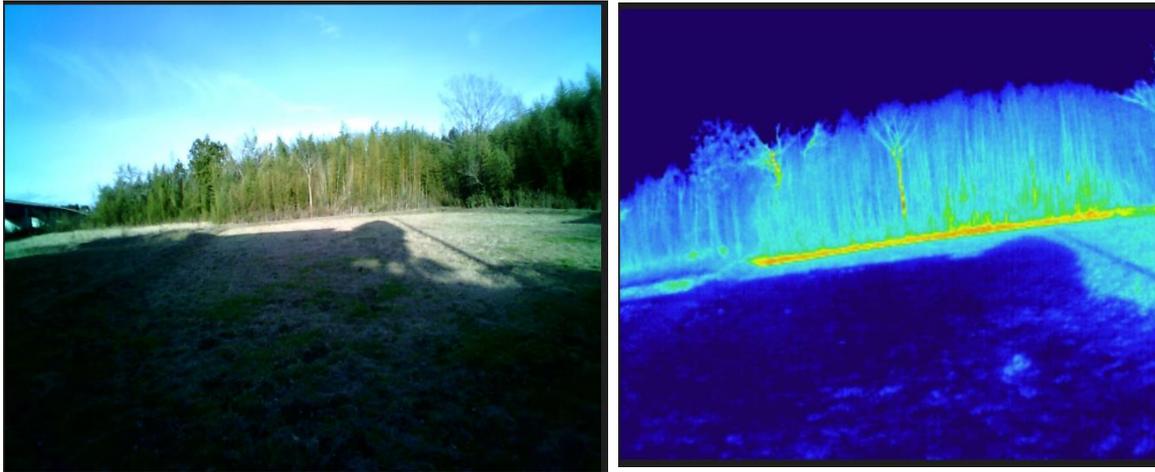


図 20 CT03 付近の野外サーモカメラの撮影 可視（左）と赤外線（右）画像（12 月 19 日）



図 21 CT09 付近の野外サーモカメラの撮影 可視（左）と赤外線（右）画像（1 月 11 日）

③結果の分析

2 日間のドローン用熱赤外線カメラ撮影から場所を変更して計 5 日間の撮影を行ったが、イノシシは撮影できなかった。CT03 付近では出現しなくなった理由のほか、12 月後半となりイノシシの活動が一層停滞してきたことが大きな要因と考えられる。

一方、12 月 19 日の撮影データにイノシシ以外のネズミらしき小動物（図 22）が映っており、野外サーモカメラでの野生動物の体熱の撮影が十分に可能であることは確認できた。

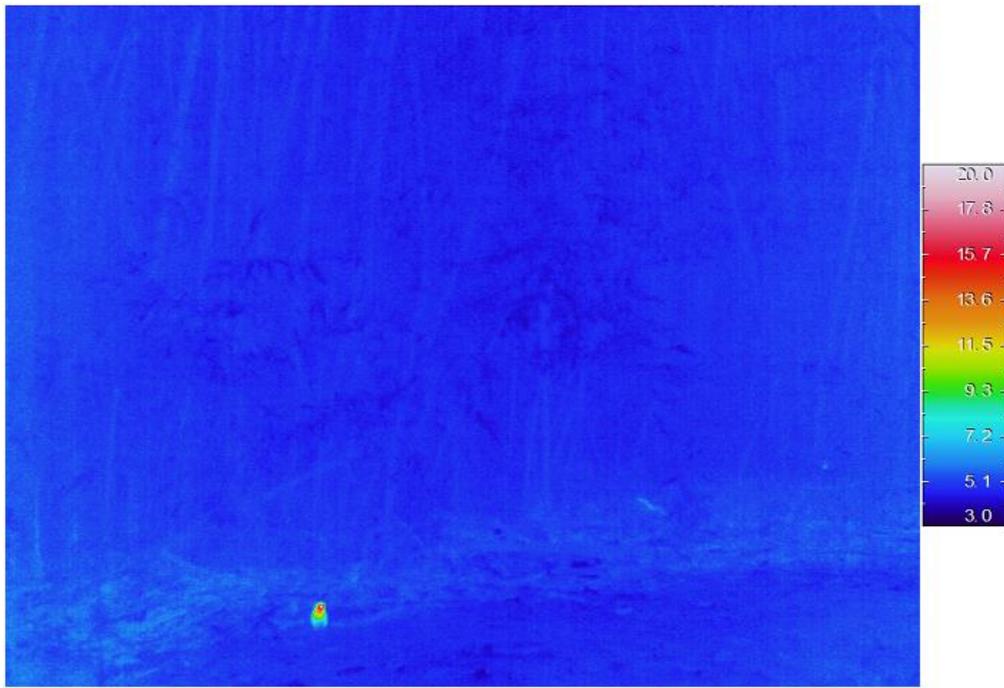


図 22 CT03 設置場所付近の野外サーモカメラの撮影熱赤外線画像（16:00 頃）

3.2.2 ドローンとマルチスペクトルカメラの適用性検証の結果と分析

①撮影結果

CT03 に比べ緑草が多い CT09 周辺において、1 月 12 日の日中に日差しが出てきた時間帯（14:00 頃）に、マルチスペクトルカメラによる撮影を行った。撮影した赤色波長域の画像データと、近赤外域波長域の画像データから NDVI 値を算出した。

マルチスペクトルカメラから得られた近赤外波長域の画像データと赤色波長域の画像データを図 23 に示す。また、NDVI 値に変換表示した結果を図 24 に示す。

NDVI 値の分布からは、イノシシのけもの道のような一定程度幅のある形状を確認することができなかった。図 23 と図 24（赤丸）からは、一見線状の構造が確認されるが、これは車両のタイヤ痕や農業機械の痕跡であると考えられる。

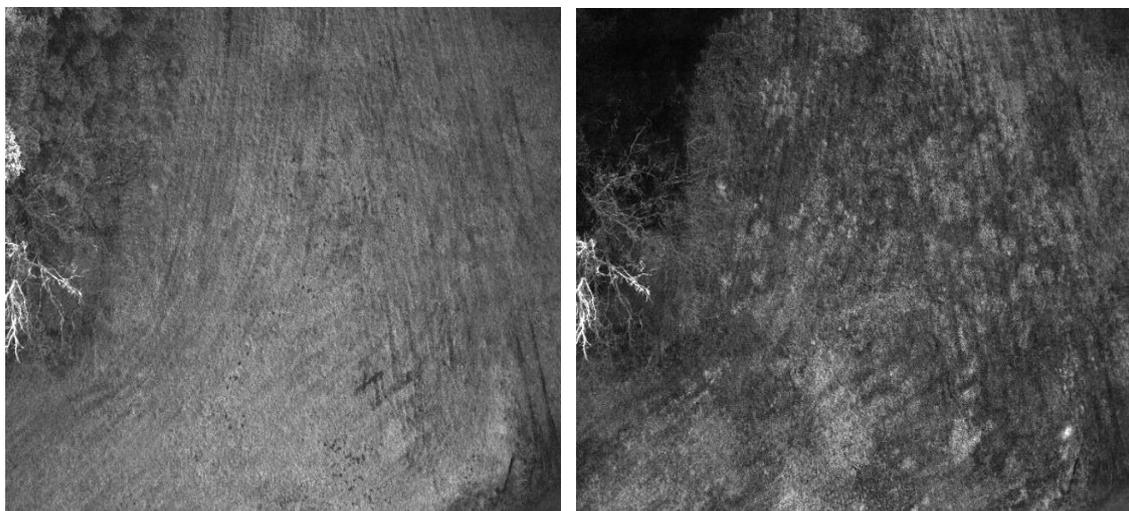


図 23. CT09 付近のマルチスペクトルカメラ撮影画像（近赤外波長域（左）と赤色波長域（右））

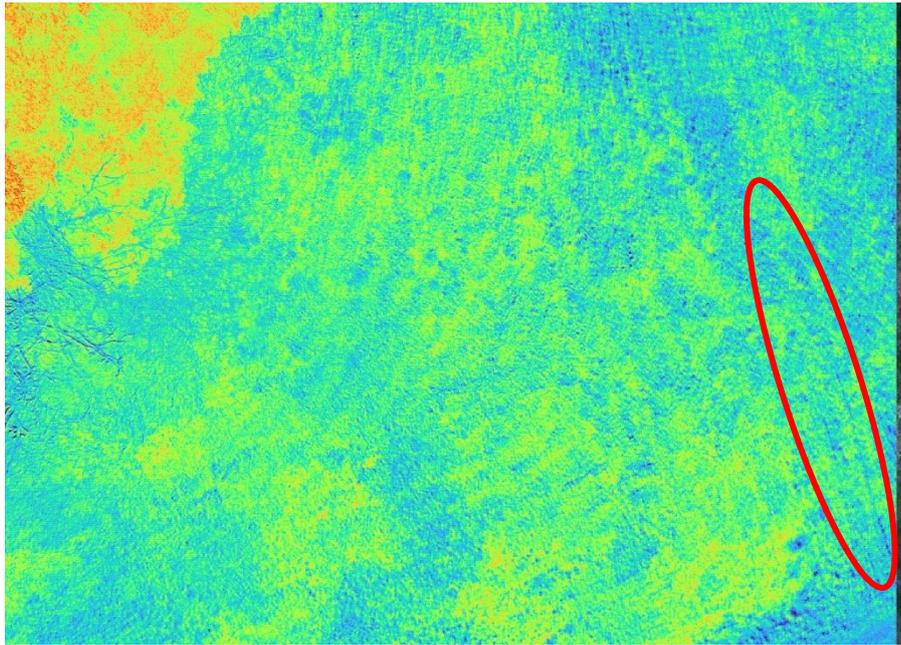


図 24 CT09 付近のマルチスペクトルカメラ撮影画像に基づく NDVI 値の分布

②結果の分析

けもの道の痕跡が撮影できなかった理由としては、大きくは、冬季の植物の生育状況と冬季のイノシシの活動量の 2 点があげられる。

1)冬季の植物の生育状況

イノシシの出現自体は、設置した固定赤外線カメラから確認できている（図 16、図 17）が、この時期（12 月～翌 1 月）は植物が枯れてしまい、撮影からは NDVI 値の違いが鮮明とならず判別が困難となった。CT03 周辺は、以前水田だった場所が放棄され現在は背丈の低い草本が繁茂する地域であるが、冬季（12 月～翌 1 月）は植物の生長が遅く、一定程度の緑被環境ではあるもののイノシシの通った経路（草木が踏まれ地面が露出）を識別できる程度の植生状況が維持できていなかった。なお、CT03 以外でも、イノシシの出現は確認されていたが、どの場所も植物が枯れてしまっており撮影は行わないこととした。

2)冬季のイノシシの活動量

イノシシ自体の撮影は確認されているが、冬季の野生動物は活発には行動しない。基本的に森林内で生活しているため、農地側への出現が少なく、けもの道の形成には至らなかった可能性がある。

けもの道自体は、イノシシの存在を示す重要な痕跡情報であり、実証事業者の過去調査だけでなく、例えば狩猟の際に猟師はイノシシの足跡からけもの道や生息域を見極めている。このようにイノシシの踏み跡は確認されており、踏み跡による植生変化が見つかる可能性は高い。植物が生長している春から夏頃における耕作放棄地や草地環境など、植生変化が明確となりやすい状況で、マルチスペクトルカメラの空撮によってけもの道を識別できる可能性が高まると考える。

3.2.3 熱赤外線カメラの適用範囲の確認

「けもの道の探索」の撮影では、ドローン用熱赤外線カメラ、野外サーモカメラ、固定赤外線カメラのいずれでもイノシシの撮影はできなかった。このため残存熱の持続時間の確認は、代替策（人の体熱で代

替)で行った。手順は 2.3.3(1)に示した通りである。気象条件の異なる 2 日間で実施し、残存時間への影響を確認した。

1)測定日時：(1)1月11日10:00～、(2)1月12日10:00～

2)測定場所：南相馬市内緑草が残る緑地(図25)

3)撮影方法：野外サーモカメラ、2秒間隔で撮影

4)測定方法：緑の草むら(図26)、枯れ草(図27)、露出地面(図28)に手の平をあてる
時間と熱の残存時間を計測

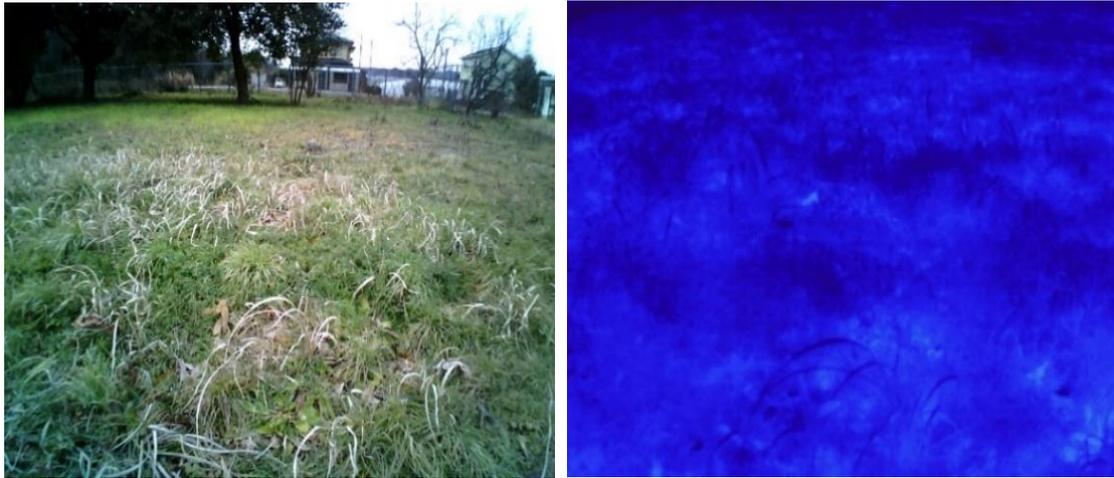


図25 計測を行った緑草が残る緑地(左：可視画像、右：熱赤外線画像)1月11日撮影

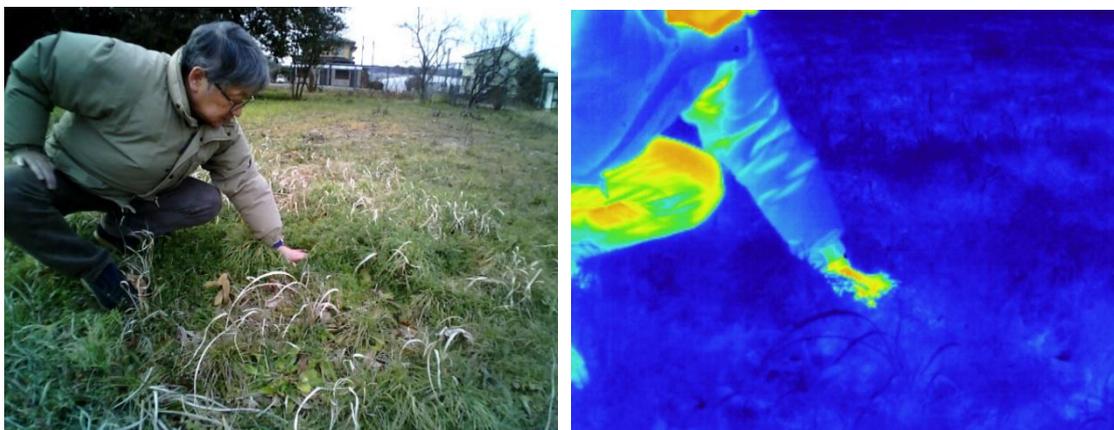


図26 測定方法(手のひらを緑の草むらに押し付ける)(左：可視画像、右：熱赤外線画像)



図 27 測定方法（手のひらを枯れ草に押し付ける）（左：可視画像、右：熱赤外線画像）

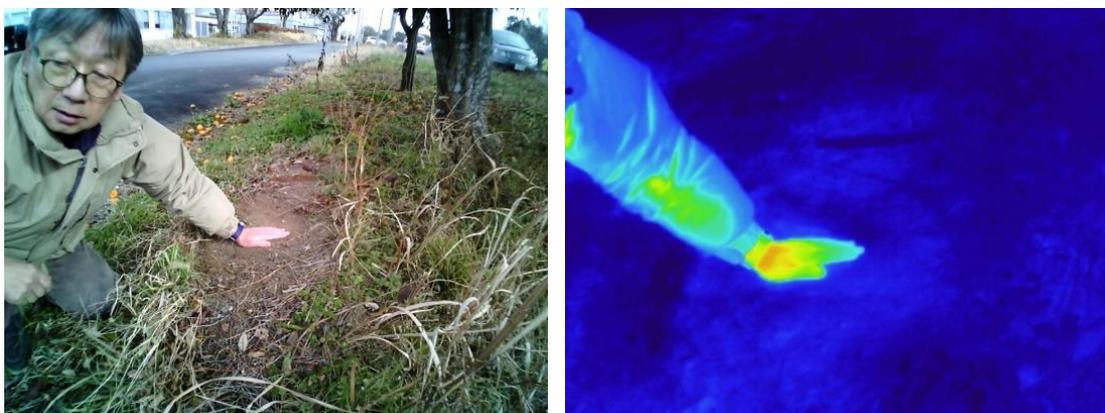


図 28 測定方法（手のひらを露出地面に押し付ける）（左：可視画像、右：熱赤外線画像）

(1)1月11日 10:00（気象：曇り、気温 4～5℃）の計測結果

表 11 に 1 月 11 日の緑の草むら、枯れ草、露出地面での残存時間の測定結果をまとめた。

緑の草むらに 2 秒間（動物が移動する際に草木に接触する時間を想定）手をあてた場合の残存熱の変化を図 29 に示している。10 秒後でかすかに残っているが、12 秒後には見えなくなっている。36 秒間手をあてた場合（図 30）は、54 秒後（図 31）には確認できなくなっている。

同様に枯れ草では、2 秒間に対して 20 秒残存、8 秒間に対して 36 秒残存であった。露出地面（土）では、2 秒間に対して 10 秒残存、4 秒間に対して 12 秒残存であった。

表 11 1 月 11 日の測定結果

測定対象	手を当てる時間	熱の残存時間
緑の草むら	2 秒	12 秒
	36 秒	52 秒
枯れ草	2 秒	20 秒
	8 秒	36 秒
露出地面	2 秒	10 秒
	4 秒	12 秒

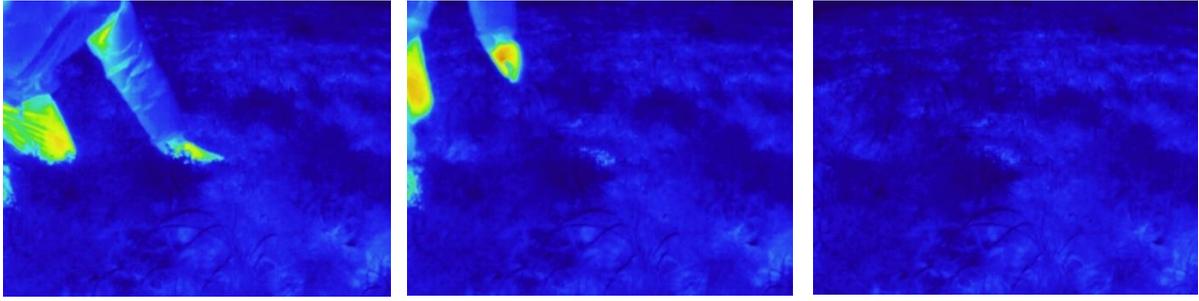


図 29 緑の草むらに手を 2 秒間あて、離してからの熱の残存時間測定
(左：直後、中：10 秒後、右：12 秒後)

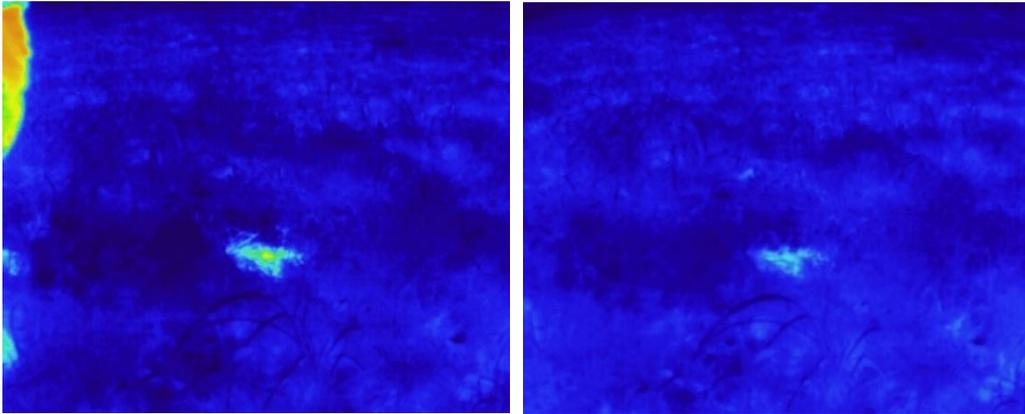


図 30 緑の草むらに手を 36 秒間あて、離してからの熱の残存時間測定 (左：直後、右：20 秒後)

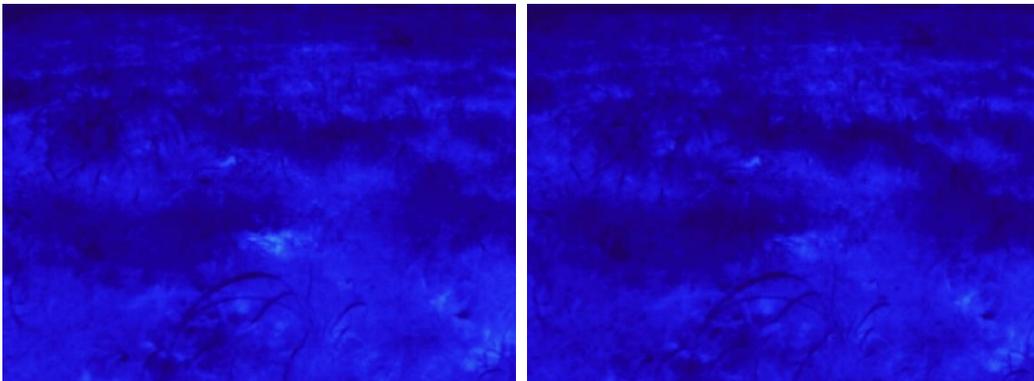


図 31 緑の草むらに手を 36 秒間あて、離してからの熱の残存時間測定
(左：40 秒後、右：54 秒後)

(2)1月12日10:00(気象：晴れ、気温10℃)の測定結果

表12に1月12日の緑の草むら、枯れ草、露出地面での残存時間の測定結果をまとめた。

気温の上昇、日光の照りつけなどにより、測定場所、対象の温度が上昇(10~15℃)し、特に枯れ草が高温になっていた(図32)。このため全般的に残存熱の測定が困難な条件となった。

緑の草むらに14秒間手をあてた場合の残存熱の様子を図33に示した。中央部でうっすらと温度変化を確認できるものの検出できた残存時間は10秒であった。この傾向は、枯れ草、露出地面でも同様で、14秒間手をあてても残存熱が検出できない状況であった。

緑地自体に熱がたまり温度が高くなっているため、手の平からの体熱では、周辺温度と識別できる程の温度変化がなく検出時間も短くなったものと考えられる。

表 12 1月12日の測定結果

測定対象	手を当てる時間	熱の残存時間
緑の草むら	14 秒	10 秒
枯れ草	14 秒	検出できず
露出地面	14 秒	検出できず



図 32 計測を行った緑草の残る緑地（左：可視画像、右：熱赤外線画像）1月12日撮影

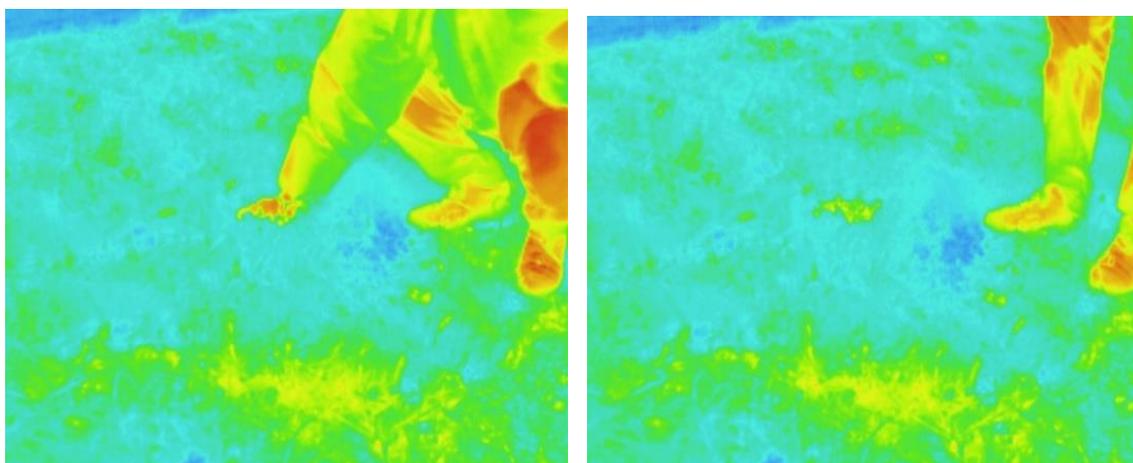


図 33 緑の草むらに手を14秒間あて、離してからの熱の残存時間測定（左：直後、右：10秒後）

(3) 残存熱の測定結果の分析

① 残存時間の評価

緑の草むら、枯れ葉、露出地面とも体熱が短時間であったが残存すること、周辺環境への熱蓄積が増えれば残存時間も延びることは確認できた。ただし、測定条件については別途考慮する必要がある。すなわち、イノシシの脚に比べ人の手は大きい熱源となるが、春から秋にかけての季節は、けもの道の周囲は背の高い草木が取り囲み、イノシシの体熱が脚だけでなく胴体部分からも移ることも

考えられる。人の手による残存熱の測定状況は、野生動物や生息環境との乖離が大きい点に注意する必要がある。

残存時間が 1 分程度では、ドローン撮影による「けもの道の探索」への適用は難しいと考えられる。しかし気象条件や野生動物の生息環境次第で残存時間がさらに伸びる可能性もある。けもの道での野生動物の活動状況を反映した条件で残存時間の延長可否の確認が今後の課題である。

②気象条件による影響評価

体熱が残存すると考えられる草木や地面の温度は、気温や太陽光の照射状況により大きく変化する。けもの道周辺の温度と野生動物の体温や残存熱の温度との差が小さくなると、残存熱があったとしても識別が困難になることが確認できた。今後、周辺環境と野生動物との温度差と、残存熱の検出可能時間の関係を確認する必要がある。これにより「けもの道の探索」に適切な周辺環境の温度条件を特定でき、季節や時間帯（例えば早朝や夕方等）を設定することが可能となる。

③残存熱の利用条件

残存時間の評価や気象条件の影響から、残存熱を利用する方法では、

- ・ドローン撮影に最低限必要な時間（撮影場所までの最短時間）
- ・環境条件（気温やけもの道周辺の温度）
- ・野生動物の出現しやすい時間帯と残存熱を識別しやすい時間帯

などを考慮して撮影を実施する必要があると推察される。どのような組み合わせが適切か、①、②で記した今後の検証が必要である。

4 まとめ

4.1 「けもの道の探索」へのデジタル技術の適用性

4.1.1 「けもの道の探索」の精度向上について

(1)取得するデータの精度

限定された小動物の熱赤外撮影（図 22）、農機による植生変化撮影（図 24）、人の体熱による残存熱の検証結果（図 30）ではあるが、熱赤外線カメラやマルチスペクトルカメラの撮影データで草木の中や遠方の野生動物（個体数や形・種類）や痕跡（残存熱や踏み跡）を目視以上に正確かつ広範囲に測定し把握できると推察される。特に、残存熱や踏み跡のような痕跡は、人の目では判別が困難なものもあり、こうしたデータが取得できることは、熱赤外線カメラやマルチスペクトルカメラの有用性を示すものといえる。ただし、これらのカメラ撮影の際には測定条件の設定に十分な事前調査（気象条件や時間帯など）が必須である。

(2)「けもの道の探索」に活用する野生動物の移動痕跡の測定精度

残存熱や植生変化等の動物の痕跡を撮影が可能であることから、けもの道の特定への適用可能性が推測されたが、これらの痕跡の一定長のつながりやそれらに基づく移動経路を判定できるデータは取得できなかった。このため、測定精度の評価に必要な以下の確認は今後の課題となった。

- ・移動痕跡に基づく出現場所・時間帯の特定
- ・ドローン撮影を十分に可能とする熱残存時間の把握
- ・けもの道の経路上の植生変化

(3)従来の測定方法に比べた「けもの道の探索」の精度

従来の固定赤外線カメラ撮影データのみによる方法では、出現場所を起点に広い地域の草木の中を人が歩き目視により周辺状況から動物の移動経路を推察していく必要がある。このため、野外での野生動物の生態調査の一定程度の経験がない場合、けもの道かどうかの判定に誤りを生じやすい。一方ドローン撮影を活用することで、広い地域を上空から、直近まで出現していた動物の痕跡を直接撮影できる。痕跡やそのつながりを撮影できたという仮定の下であるが、調査経験を問わず、経験者と同等の精度で、調査を行うことができるようになる。

4.1.2 効率化・省人化の効果について

(1)ドローン用熱赤外線カメラでの時間・人数等

ドローン用熱赤外線カメラによる「けもの道の探索」方法の比較数値は、野生動物の痕跡が撮影できたと仮定して算定した。

①作業時間（3日/撮影範囲 25km²）

- ・表 9 の通り、ドローン飛行・撮影に要した時間は 9 分である。固定カメラ周辺の飛行範囲が 500m 四方であれば、撮影可能（速度 30km/h、100m 間隔で 5 往復）な飛行範囲は、0.25 km²となる。
- ・従来手法の移動範囲 25km² 全てをドローン撮影で網羅すると次の通りとなる。
9 分×25km²/0.25 km²=900 分（1 日 7 時間として、約 2 日間）
- ・1 か所からの飛行では 25km² のすべての範囲に対応することが困難であり、複数地点への移動に余

分に1日を見込む。

- ・上空からの熱赤外線カメラ撮影データは地表面方向の熱源のみであり、草木や車・人といった動物以外のデータはほとんど含まれないため、動物撮影データ抽出に時間を要さないと考えられる。

②作業人数（1人/撮影範囲25km²）

ドローン操作及び撮影データ確認は1人で可能である。

③移動範囲（ほぼゼロ）

草原や森林の中を人が歩くことはない。ドローン発着場所までの人の移動はあるが、従来方法の機材等の搬入・データ回収等の時間・移動距離を比較対象に含めないため、ドローン運搬は考慮しないこととした。

(2)効率化・省人化の効果

①効率化

動物及びその痕跡撮影から「けもの道の探索」ができたと仮定して作業時間を比較すると、従来方法でカメラ3台分相当（3か所での撮影）に要する作業時間10日が、ドローン用熱赤外線カメラを用いると3日に短縮可能となり、7割程度の効率化が図れると推定される。また従来方法では、撮影画像が不鮮明で動物か否かの判断が難しい場合もあり追加調査が発生すると作業時間は2倍（20日）になる。一方、森や草原に人工的な熱源がないことが前提ではあるが、熱赤外線カメラ撮影データは鮮明でなくても地表面付近の熱源が映っていることで動物の存在は確認できるため、従来方法に比べ9割近い効率化といえる。

②省人化

作業人数は、カメラ3台分相当でみると時間短縮できるものの最低1人は必要である。ただし、本技術実証で用いた10台の固定赤外線カメラでの対応は、地点探しからデータ確認まで4名が2週間程度従事している。ドローン用熱赤外線カメラの撮影であれば、従来手法に比べて野外活動やデータ抽出に長期間を要さないため、撮影範囲が3倍（カメラ10台分程度）に拡大しても必要日数は3倍の10日程度（2週間）であり、固定赤外線カメラによる探索手法に要した期間を踏まえれば、1名での対応も可能である。

したがって、作業が1/4人で対応可能となり、7割以上の省人化が図れるといえる。

③移動に関する効果

けもの道があるような灌木や草木のある中を長時間歩くことは体力面だけでなく様々な人体への危険（熱中症、ハチ等の害虫、植物かぶれ、大型野生動物、豪雨・落雷等）も伴う。野生動物の生態調査で全くフィールドに出ないことが推奨されるわけではないが、「けもの道の探索」での歩く距離や範囲を極力抑制することができれば、時間削減だけでなく、生態調査に伴う作業負担や安全性に関するリスク低減にも十分な効果があるといえる。

4.2 デジタル技術の「けもの道の探索」での実用性について

(1)適応性と耐久性（Adaptability and Durability）

使用した各機材は、動物の生息状況を調査する場合の気象条件や測定地形において、技術実証期間中を通じて十分な性能や安定的な稼働が確保できており、また、そのカタログスペックや過去の活用事例からしても、動物移動の観測など自然物の特有の状態でも正確な情報取得が可能である。

(2)データ取得性能

「けもの道の探索」に利用する熱赤外線やマルチスペクトルは、人の目では捉えられない痕跡を撮影するものであり、人による目視調査以上のデータ取得は可能である。さらに熱赤外線カメラやマルチスペクトルカメラにドローンを組み合わせて動物の痕跡を追跡する技術が確立できれば、広大かつ複雑な地形など目視ではとらえにくい環境下における動物移動の痕跡データの取得が容易になる。ただし、樹木が多い森林中でのドローン飛行や暗い場所でのマルチスペクトルカメラによる撮影は技術的な制約によって、活用が困難になったり取得データが限定されたりする点には留意が必要である。

(3)遠隔操作の信頼性

今回活用したドローンは、プログラムによる自動飛行で樹木等を回避する設定ができる。また、フェールセーフ機能、電波遮断時の自動帰還、自動離着陸、ウェイポイント飛行、強制介入による着陸指示等の安全機能を持つ。性能上は、風速 10m/s、気温 0℃から 40℃域でも安全に飛行が可能である。

(4)生態系への影響

本技術実証で用いたデジタル機材や情報収集方法は、法令・規制に抵触せず、公園利用に著しい支障（ドローン落下により景観や地形を損傷等）を与えないものであり、自然環境（特に生物）への影響に配慮したものである。

具体には、本技術実証で検証した「けもの道の探索」の手法で必要となる作業は、以下の通りである。

- ・カメラ設置場所選定のための事前調査
- ・デジタル機材の搬入・搬出
- ・固定カメラの設置・データ回収
- ・ドローン飛行・カメラ撮影（カメラ重量含め 10 kg 以内の軽量ドローン、落下・衝突安全機能有）

これらの作業は、車両や重機など使わず人手のみで実施している。加えて、自動撮影により長期間撮影時も頻繁な立入りの回避、大掛かりな機材の搬入・搬出の回避（ドローン以外の各機材 2kg 程度）、樹木へのカメラ設置に布テープ等の使用、軽量かつ落下・衝突防止措置のあるドローン活用など、自然環境への影響を最小限に抑えている。また、機材の草地への配置にも留意し、本技術実証における調査の実施前後（図 34）で、環境を大きく変える損傷が現地に生じていないことを写真などで確認している。



図 34 ドローン撮影前の地面への設置による影響確認（左：設置前、右：設置後）

(5) ドローンによる熱探索の将来性

本技術実証で用いた熱赤外線カメラをドローンに搭載して調査する方法は、短時間ではあるが生物の体熱の痕跡（残存熱）の撮影に利用可能であることが確認できた。気温条件の影響の不確定性は残るが、野生動物の移動場所や気象条件を特定できれば、ドローンと熱赤外線カメラによって広い範囲を短い時間かつ 1 回の撮影で、動物の活動痕跡の撮影が可能であると考えられる。その際には既存の生態調査より撮影時間の短縮や人員の削減などの点からも優位性は高い。

今後、福島大学では本技術実証の結果を踏まえ、実際の国立公園（尾瀬ヶ原）で測定しやすい気象条件や周辺環境条件を探りながら、ドローンと熱赤外線カメラの野生動物の生態調査への適用を検討している。「熱と動物」の関係性を明確にできれば、生態調査の新しい手法として普及が期待できる。

参考資料

「けもの道の探索」の各種検証では、様々なデジタル機器や機器利用の準備作業が重要である。そこで参考資料として、準備作業を以下にまとめた。

(1)固定赤外線カメラ設置の樹木・枯れ木の選定とカメラ取付



(2)固定赤外線カメラ CT03 付近への野外サーモカメラの設置

左上：野外サーモカメラ（白）、右下：固定赤外線カメラ（グレー）、中：予備サーモカメラ（黒：日本アビオニクス社製 InfReC シリーズ）



(3)野外サーモカメラとデータ保存用ノート PC の接続



(4)ドローンベースの設営



(5)残存熱を撮影する際の野外サーモカメラの設置



用語集

用語	定義・解説
