

市街地周辺ヒグマ出没対策検証 事業委託業務 検証結果報告

令和元年度(2019年度)

contents

1 はじめに	1
2 地上システムの検証	2
3 ヒグマ判定用AIの開発	9
4 ドローンの検証	12
5 最終実験	21
6 まとめ	26

1

はじめに



1.1 事業の目的

ヒグマの発見・追い払いなどに有効な技術の検討や方法の検証を最新のICT技術やイノベーション技術などを活用して行い、ヒグマの出没抑制に寄与することを目的とする。



1.2 検討内容

ICTを利用したヒグマの発見と忌避の方法を検討する。実験範囲を分割し、専門性のあるチーム編成を行う。



1.2.1 地上観測装置兼忌避装置の考案と検証

- ▶ 地上観測装置の検証
- ▶ ヒグマ発見装置及び忌避装置の検証



1.2.2 ヒグマ判定用AIの開発

- ▶ ヒグマ判定用AIモデルの作成
- ▶ ヒグマ判定用AIの開発



1.2.3 ドローンの活用

- ▶ ドローンを使用した、ヒグマの効率的な搜索方法の検証
- ▶ ドローンを使用した追い払いにつながる活用方法の検証



1.3 事業における留意点

本事業の開始が10月上旬～2月下旬となり、冬期間が大半を締めるため、事業期間の序盤に屋外での調査を行い、そこで発生した課題に対する検討を以降の開発や手法の検討に柔軟に織り込むことにする。

2

地上システムの検証



2.1 計画

ヒグマの存在を機械で検知し、忌避装置を作動させるシステムの考案・動作検証を行い実用化の検討と課題抽出を行う。

また、商用電源の確保できない山間地設置の課題なども目的としている。

主装置としては、入手がしやすいシングルボードコンピュータを用い、これに人感センサー、可視光カメラ、熱赤外線カメラ、リレー(忌避装置の電源On/Offを行う部品)を接続し、動物の動き検知、写真撮影、AIプログラムによる画像判定、忌避装置作動の一連の動作を確認する。

本事業期間は晩秋～冬季の間になっていることから、できるだけ自然環境に近い冬季前にセンサー類を実験し、装置の作動確認は最後に飼育施設の協力を得て行う。



2.2 検出機材及びシステム図



2.2.1 機材

機材は普及させることを考え、できるだけ入手しやすく、安価なものを選択する。

▶ シングルボードコンピュータ

Raspberry Pi 3B+

▶ センサー

様々なシチュエーションに対応できるように、動作原理の異なるセンサーを複数検証した。

- 集電型赤外線センサー (パナソニックPaPIRs VZ 長距離検出タイプ)
周囲と温度差のあるものが動く際に起こる赤外線の変化量を検出
最大検出距離12m 消費電流 170uA ※3.0V DC時
- マイクロ波センサー (新日本無線NJR4265 J1)
マイクロ波を投影し、その反射の変化量の検出により人(物)の動きを検出
最大検出距離10m 消費電流60mA ※3.3V DC、移動物検知モード時

▶ 撮影装置

動作原理の異なるカメラ二種類を検証した。

- 可視光カメラ (Raspberry Pi カメラモジュール V2 ソニーIMX219PQ)
高解像度まで対応しているが、ヒグマのAI判定では300x300ピクセルで行うため、それを上回る程度の640x480ピクセルを採用した
- 熱赤外線カメラ
FLIR Lepton®3.5
解像度160x120ピクセル、波長帯域8~14μm、視野角56° x 71°

▶ 忌避装置

- 大音量ブザー
圧電ブザー(100DB)
- 高輝度LED
赤色LED
- 赤色レーザーモジュール
1 mW

▶▶▶ 2.3 センサー実験(Fu's 11/5調査 快晴 10:00~13:00)

▶▶▶ 2.3.1 実験場所と概要

Fu's(藤野)脇の遊歩道にて、集電型赤外線及びマイクロ波センサーのフィールド実験を行った。

この場所は、遊歩道にも関わらず多数目撃例がある地点である。

集電型赤外線センサーについては、恒温動物の検出を目的とし、マイクロ波型については、それによらない遮蔽により熱感知できない場合などの検出が可能であるかを検証することが目的である。

検知した場合は、忌避装置に見立てた大音量ブザー・LEDが一定時間作動する仕組みとなっており、それぞれ距離を測りながら遠ざかり、到達距離と角度・遮蔽物の影響などの特性を見極めた。

▶▶▶ 2.3.2 実験結果

いずれのセンサーも屋外においても動物に見立てた人物の動作に対して反応は良好であった(下図)。

▶ 集電型赤外線センサーの検出角度と到達距離

一歩ずつ前進し、上半身を動かすなどの動作に対する反応を試した。前方100度程度(中央から左右50度程度)に対して反応があるが、正面では最遠で16m程度から反応があった。木の傍ら(正面)での動作に対しては8m程度から反応が見られた。

- 到達距離：最大16m
- 角度：100度
- 特性：草木などの遮蔽がある場合は到達距離が短くなるが、恒温動物を検出できる十分な反応があった。

▶ マイクロ波センサーの検出角度と到達距離

一歩ずつ前進し、上半身を動かすなどの動作に対して9m程度から反応があった。木の側での動作は7mほどで反応が見られた。前方90度程度に対して感度が高いが、数メートルまたはそれ未満の距離においては左右いずれの方向に対しても敏感に反応があった。

- 到達距離：最大9m
- 角度：前方90度
- 特性：センサーの特性上遮蔽物は関係がなく検出可能である。この日の風速は1m程度と影響はなかったが、葉の揺らぎなどの影響を受けにくい場所への設置は必要である。



2.4 システム製作

2.4.1 撮影機能及び各種検証

シングルボードコンピュータに下記装置を搭載し、単独動作やAI機能と合わせて検証を行った。

▶ 可視光カメラ

非常に安定して動作し、リアルタイムでも静止画でも検出可能である。

▶ 熱赤外線カメラ

メーカー供給のマイクロUSBで接続可能な専用基盤で接続を行った。

(PureThermal2 FLIR Lepton Smart I/O Module)

メーカー供給のユーティリティにて検証し、温度差による表現が実現できた。

しかし、不安定挙動があり、随時リセットが必要な状況であった。

単独利用ではなく、可視カメラや近赤外線カメラとの併用、リアルタイムではなく、静止画利用にとどめるなど使用範囲を限定する必要がある。

▶ 各種忌避装置

Raspberry PiにGPIOピンでの接続および、リレーボードでの接続などを検証し、任意のタイミングで作動することを確認できた。

▶ 通知機能の追加

忌避装置の作動は確認できたが、事業終盤に差し掛かり、各専門家から、音や光の効果が少ない情報が寄せられた。

そのため、忌避の効果検証が重要であること、また、迅速に関係機関に伝達させることが、市街地対策に時間的猶予が稼げることになり極めて有用であることが判明した。

それらのことを勘案し、撮影及び判断結果の通知機能(SNS通知)を追加した。

- 追加した機器：SORACOM社(NTTドコモMVNO)のLTE(4G)通信網
- SNSサービス：Slack TechnologiesのSLACK

世界100カ国以上で使用される、ビジネスチャットサービス

▶▶▶ 2.4.2 消費電力の検証

- ▶ 本実験に使用した機材の消費電力を示す。

今回使用機器 (USB 接続以外)⇩

機器名⇩	型番等⇩	定常状態での電流 (実測)⇩	備考⇩
Raspberry Pi 3B+⇩	-⇩	380mA⇩	⇩
可視光カメラ⇩	IMX219PQ⇩	0mA⇩	待機時通電なし⇩
人感センサー(赤外線)⇩	PaPIR VZ ⇩ EKMC1603111⇩	1mA 未満⇩	⇩
人感センサー(マイクロ波)⇩	NJR4265J1⇩	40mA⇩	⇩
リレー⇩	不明⇩	10mA 未満⇩	1チャンネル用⇩

⇩
今回使用機器(USB 機器)⇩

機器名⇩	型番等⇩	定常状態での電 流 (実測)⇩	備考⇩
LTE ドングル⇩	Huawei⇩ MS2372h-607⇩	100mA⇩	ISP 通信確立後の 無通信時⇩
熱赤外線カメラ⇩	Lepton FLiR⇩	70mA⇩	⇩

本実験ではLTEドングル、熱赤外線カメラ等のUSB接続機器を使用しているため、定常状態での合計の電流は590mAほどに達する。USB接続機器が不要である構成ではRaspberry PiのUSBポートの使用を停止し、ポートへの電力供給をなくすことにより、全体の消費電流を210mAに抑えることができた。
(hub-ctrl - <https://github.com/codazoda/hub-ctrl.c> を使用した)

- ▶ モバイルバッテリーでの検証

Raspberry PiのMicro USBポートへの電源供給として、容量3,000mAh(ミリアンペア時間)程度の一般的なスマートフォン用モバイルバッテリー(電圧5V)での動作を考える場合、本装置の定常時(人感センサーによる待ち受け状態)の電流を590mA(ミリアンペア)とすれば、 $3,000(\text{mAh}) \div 590(\text{mA}) = 5$ 時間程度であった。実際にバッテリーが安定して5Vを供給できる時間はそれよりは少なくなる。

- ▶ 野外設置を想定した試算

野外での設置に必要な、ソーラー充電に必要なバッテリー容量とソーラー発電量の計算を行った。

日中の充電時間を8時間、その他の16時間は発電されないものとする16時間の可動に必要な電力は $590(\text{mA}) \times 16(\text{h}) = 9,440\text{mAh}$ で、日中の8時間は590mAhを消費しつつ、夜間消費分を8時間で割った $9,440(\text{mAh}) / 8(\text{h}) = 1,180\text{mAh}$ (毎時)の容量がないとバッテリーが足りなくなるため、日中8時間は $590(\text{mA}) + 1,180(\text{mA}) = 1,770\text{mA}$ をソーラーパネルから継続的に供給する必要があると試算した。

$5(\text{V}) \times 1,770(\text{mA}) = 8.85(\text{W})$ で変換効率などを考慮すると、余裕を見て20Wクラスのソーラー(太陽光)パネルが必要である。

ただし、日照が確保できない場合は50Wクラスの検討も必要と思える。

▶ 最終構成

- 太陽光パネル（20W）＋充電コントローラー＋12V鉛バッテリー

バッテリーは、入手性の良い12V鉛バッテリーで、繰り返しの充電に適したディープサイクル型を採用した。充電コントローラーは、電圧変動の大きい太陽光パネルからの入力電流によるバッテリーの充電を制御する。バッテリーの12VからRaspberry Piの使用する5Vへの電圧変換は車載用USBアダプタなどで対応可能であった。

本装置でソーラーパネルから発電された電力がバッテリー蓄積され、接続されたRaspberry Piが動作可能であることを確認した。

▶ 検証

太陽光パネルが想定どおりに発電されるかは、日照時間が少ない上に、入射角が浅いなどの状況から発電が不十分であることが明白であり、設置動作時期とも大きく異なっているために行っていない。

そのため、検証は想定どおりに発電できると仮定し、満充電したバッテリーでの連続動作時間を検証した。

- 連続稼働時間：約71 h (3日弱)※逐次、赤外線を反応させながら稼働

▶ その他調査

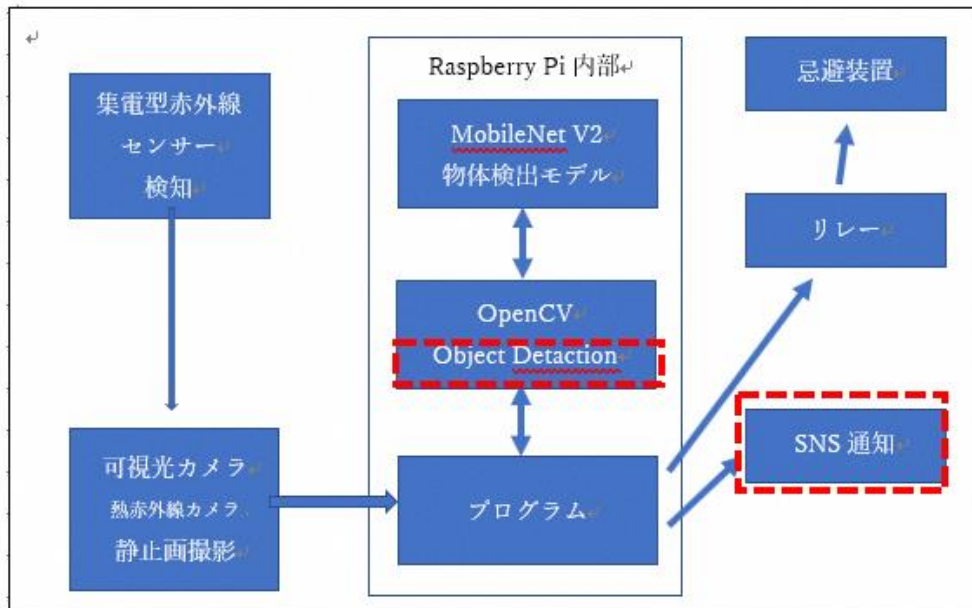
電力の乏しい環境で動作時間を増やすため、特に警戒の必要である時間帯を重点としたタイマーによる間欠稼働も可能である。Raspberry Piにはラズベリーパイ用電源管理/死活監視モジュール「slee-Pi」(メカトラックス社)が使用可能である。

今回の実験では可視光および熱赤外線向けのカメラを使用した。熱赤外線センサーは夜間には特に効果はあるが消費電力も多く、近赤外線カメラおよび赤外線フラッシュなどの採用も検討される。

2.4.3 最終検証機

電力消費を抑えながら判断機能・忌避機能・通知機能を行わせる方法として、最終的に以下のような組み合わせとした。

集電型赤外線センサーは、比較的安定して動作する点により採用し、熱赤外線カメラは、その不安定な状況と、各種センサーやカメラモジュールの安価さとは対照的に数万円のコストがかかる状況から、メインカメラでの利用ではなく、夜間における撮影カメラ（※）として使用する範囲（静止画撮影）にとどめた。



 内は、事業後半に追加したシステム

※ コストが安い近赤外線カメラとの比較は必要

3

ヒグマ判定用AIの開発



3.1 計画

生物を感知する地上装置（センサー）の精度を飛躍的に高めるため、画像（動画）からヒグマを検出するAIを開発する。

AIによる判定は主に、フレームワーク（ライブラリ）・プログラム（スクリプト）・モデル作成にわかれ、利用用途によって手法を選択するが、今回は比較的低電力で動作するシングルボードコンピュータ程度の性能で動作する手法を検討する。



3.2 判定手法

- ・フレームワーク：OpenCV DNN
- ・プログラム：Pythonによるスクリプト
- ・モデル：VGG16(事前学習済モデル)

プログラム動作

1. 地上装置から得たカメラ映像（動画）から静止画を切り出す
 2. 静止画内にヒグマがいるかを検出し推論確率を計算する
 3. 静止画内のヒグマ検出部分を囲み可視化する
- ▶ 複数のヒグマがいても検出が可能
 - ▶ 確率により、忌避装置を作動させるかの判定が可能



3.3 結果と課題



3.3.1 初期結果

▶ 実行速度

Raspberry Pi3B+（シングルボードコンピュータ）で動作テストを行ったが、1枚の画像から判定結果を得るために50秒程度かかる状況であった。

この速度では、カメラ前で静止している状態のヒグマの判定は可能であるが、動いている場合、フレームアウトする可能性が高くなる。実運用的には5秒以内が理想と思われる。

▶ 判定結果

チューニング前ではあったが、ヘアマウンテン施設で入手したヒグマ画像の認識率が50%以下であった。モデルサイズが500MBと大きい割には、期待した精度にならなかった。

▶▶▶ 3.3.2 計画の追加

上記の課題と以下の事業期間中の状況変化から、事業の検証範囲を追加した。

▶ 状況の変化

- 酪学園農大(札幌市)から野生ヒグマ動画の入手
→学習素材が豊富にあることにより、軽量のモデルでも精度の高いヒグマ判定モデルが作成可能
- 急速な技術の進歩
2019年急速にディープラーニングアクセラレータチップによるエッジコンピュータ技術のプロト製品が多数リリース
→少ない電力で安定した精度のあるAI判定が可能(低コストなAIの普及に画期的な技術)

▶▶▶ 3.3.3 判定手法(追加後)

様々なエッジコンピュータで利用する状況を見据え、一般的に利用されることが多い、フレームワークを追加(TensorFlow)した。また、ヒグマ出没状況をより早く伝える方法や、自動記録への応用といった近年多くみられるエッジ+クラウドの機能(汎用クラウドサービスとの連携)による、ヒグマ発見画像の通知機能も検証した。

- フレームワーク : OpenCV DNN
TensorFlow object detection
- プログラム : Pythonによるスクリプト
- モデル : Mobilenet v2(事前学習済モデル)
- モデル強化 : 動画から約1000枚程度のヒグマ画像を切り出し、Fine-tuning
- 連携API : SLACK用API

プログラム動作

1. 地上装置のカメラ映像(動画)から静止画を切り出す
2. 静止画内にヒグマがいるかを検出し推論確率を計算する
3. 静止画内のヒグマ検出部分を囲み可視化する
4. 上記画像をSNS(SLACK)に通知する(スマートフォン・パソコンに自動通知)

▶▶▶ 3.3.4 最終結果

▶ 実行速度

OpenCV DNNで1秒

TensorFlow で4秒

▶ 判定結果

テスト画像100枚にて

- ほぼヒグマ全身が見えている場合
90~100%結果
- 一部が見えている場合
40~60%の推論結果



▶ 結果補足

30%以上ヒグマである推論結果の場合、自然界では何らかの野生動物である確率がほとんどであると思われる。通知機能にて、離れた場所でもスマートフォンにて事実確認ができるシステムとなった。

4

ドローンの検証



4.1 計画

危険の伴うヒグマの捜索を安全かつ機動力を生かし、飛躍的に向上させられるかを検証する。
また、ドローン自体を用いての追い払いや、地上装置と連携しての立体的な発見・追い払い手法の技術の検討も行う。



4.2 検出機材と手法

機体は産業用ドローンで行い、ヒグマ検出の障害となる木々の樹冠の影響を考え、高倍率のカメラと高解像度の熱赤外線センサーを搭載して検出する。

また、比較的低コストである一般用のドローンでも検証を行い、その差や利用用途を検討する



4.2.1 機材

▶ 産業用ドローン

DJI製 MATIRIX210 最大飛行時間：38分 最大伝送範囲：4 km
高倍率カメラ：ZENMUSE Z30、30倍Optical Zoom、CMOS 1/2.8 有効画素数：2.13MP
熱赤外カメラ：ZENMUSE XT2、8倍Digital Zoom(640×512)、シーン範囲(-25℃~135℃)

▶ 一般用ドローン

DJI製 MAVIC 2 ENTERPRISE DUAL&ZOOM 最大飛行時間：31分 最大伝送範囲：8 km
可視カメラ：搭載カメラ、4倍Digital Zoom、CMOS 1/2.8 12MP 4KウルトラHD 3840×2160

▶ 測量用ドローン

DJI製 Phantom4RTK：最大飛行時間：30分 最大伝送範囲：7 km
センサー：1インチ20MP CMOSセンサー、高感度GNSS(全球測位衛星システム)モジュール搭載



(一般用ドローン)



(左：測量用ドローン、右：産業用ドローン)



4.2.2 検出手法

効率的にヒグマを発見できるよう、熱赤外線センサーを用いて生物と思われる熱源を広くルート探索を行い、疑わしい箇所を高倍率ズームでスポット確認を行う。

また、広範囲に安定した探索を行えるようにするため、自動飛行ルート用の3Dモデルを事前作成し、活用する手法とする。

搜索時間は、熱赤外線センサーの障害となる地表熱及び木々の反射熱などの影響が少なくなるように、早朝と夜間に行う。

4.3 調査結果

4.3.1 サホロベアマウンテン〔新得町〕での事前実験(10/25 10:00～12:30)

自然界に近い飼育方法を行っている本施設の協力にて、以下の目的で調査・確認を行った。

- ・本調査前のヒグマ空撮シミュレーション（ヒグマの体表面熱分布や上空からの識別方式など）
- ・空撮によるAIモデル作成用ヒグマ動画の入手
- ・音威嚇実験



可視カメラによる画像



熱赤外線カメラによる画像



可視カメラによる画像



熱赤外線カメラによる画像

〔関連画像・映像〕

SDカード：ヒグマ出没対策検証事業＞ドローン＞搜索＞ベアマウンテン191024に格納

▶▶▶ 4.3.2 札幌市南区山林(11/1調査 快晴 6:30~8:30 ※施設希望で時間限定)

標高531メートル、観光道路やロープウエー・スキー場を伴う行楽地で調査を行った。
当初計画にはなかった地点であったが、直近で目撃情報(未確認)があり、急遽調査を行うこととなった。
主な調査地点は、山頂・中腹・山麓の3地点である



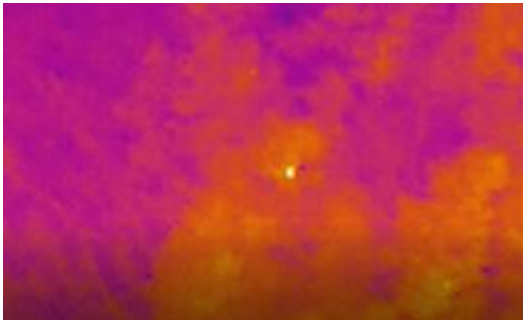
▶ 山頂での検索

ドローンでの検索は、目視内飛行が前提であり、障害物があれば反射してしまうなどの無線電波の特性から、上から見下ろすような高台からの検索が理想である。本地点は、その条件に合致し、期待通り山頂～中腹、裏山の方まで広範囲に検索が可能であった。

しかし、昇ってきた朝日による木々の反射熱などの影響があり、検索難易度が上昇した。

結果は、大型野生動物の発見には至らなかったが、暖冬のため落葉は完全ではなく、目視による生物発見ができない状況下にて、熱赤外線センサーを用いた登山者の発見が可能であった。

- ・ヒグマ発見：なし、発見生物：登山者×2名



熱赤外線カメラによる画像



可視カメラによる画像

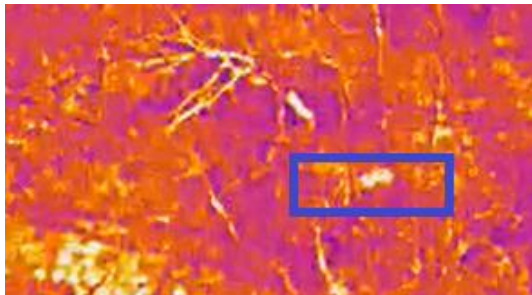
▶ 中腹での検索

目撃例があった地点での検索を行った。山頂に比べ反射熱の影響が少なかったが、強い風が行動範囲を狭めた格好となった（バッテリーを消費し、1回の検索が10分以下に減少した）。

熱赤外線センサーにて木々の中の大型動物を発見した。対象動物にほとんど動きがなく、検索時間も限られていたため、その場での生物特定には至らなかったが、後日、映像分析によりエゾシカとわかった。

可視カメラでは発見不可能である状況で、ここでも熱赤外線センサーの有用性が確認された。

- ・ヒグマ発見：なし、発見生物：エゾシカ



熱赤外線カメラによる画像



可視カメラによる画像

▶ 山麓での検索

強い光（朝日が鋭角に検索範囲に照射）と強風のために検索は難航。施設と約束した検索許時間も差し迫っていたため、途中で断念した。

- ・発見生物：？ ※疑わしい熱反応があったが、高倍率ズームでの確認にいたらず（時間切れ）



- ヒグマ出没情報による緊急調査のため、自動飛行ルートによる調査ではなく、手動操作での検索を行った。

〔関連画像・映像〕

SDカード：ヒグマ出没対策検証事業＞ドローン＞検索＞藻岩に格納

▶▶▶ 4.3.3 Fu's藤野野外交流施設 1回目(11/5調査 快晴 10:00~13:00)

本調査の目的は、次週以降に続く自動ルート探索に使用する3Dモデルを利用した飛行(※)のデータ収集を目的として行った。作成したモデルを可視化したイメージは下図である。

また、山麓にてプレス用のプレゼン用に調査デモを行い、わずか数分でエゾシカも発見している

※ 測量用のドローンであるPhantom4 RTKにて地形データを収集し、UGCSを利用し対地高度を設定してのウェイポイント飛行ができるようにするための飛行



〔3Dモデル〕

SDカード：ヒグマ出没対策検証事業>ドローン>3Dモデルに格納

▶▶▶ 4.3.4 Fu's藤野野外交流施設 2回目(11/13調査 快晴 6:30~14:00)

春から夏にかけて多数の目撃例があったFu'sエリアによる本格調査を行った。

広葉樹は既に9割以上落葉し、枝と針葉樹のみの状態での搜索である。

搜索は、予定通り事前に撮影した自動飛行用ルートを活用し、山頂から産業用ドローンと一般用ドローン2機にて、疑わしい熱源を高倍率ズームによりポイント確認を行う手法で行った。

生き物らしき熱源が多数発見でき、その度にピンポイント搜索を行ったため、予想以上の時間を消費した。

最終的にヒグマ発見にはいたらなかったが、搜索範囲に生息していた場合は必ず発見できる状況であった。



- 葉の少ない搜索地点よりも、食べ物の多い奥山に移動したと思われる。

- ・ヒグマ発見=なし、発見生物=エゾシカ多数



熱赤外線カメラ画像
(赤い丸で囲んだ白い熱源がエゾシカ)



可視カメラ画像
(可視カメラではエゾシカの姿を確認できない)



熱赤外線カメラ画像
(赤い丸で囲んだ白い熱源がエゾシカ)



可視カメラ画像
(可視カメラではエゾシカの姿を確認できない)

〔関連画像・映像〕

SDカード：ヒグマ出没対策検証事業>ドローン>搜索>藤野>20191113_Fu'sに格納

▶▶▶ 4.3.5 Fu's藤野野外交流施設 3回目 (11/23 16:00～18:00 夜間調査)

本来11/15を予定していたが、突然の降雪で延期となり、11/23日の実行となった。

本ミッションの目的は、夜間での自動飛行が3Dモデル飛行をすることにより、円滑に自動検索できるかの検証を行うことである。

結果としては、目視が不可能な夜間帯において自動で飛行し、円滑な調査が可能であった。

熱赤外線センサー自体の感度も昼と比べ、反射や放射熱がなく、前回調査の日中より強い反応をみせ、検索効率は高かった。

しかし、可視カメラのズーム機能ではとらえられないため、熱反応個体の識別が難しい局面が予想されたが、既に冬季に入っており樹木の葉は完全に落ちている状況から、熱源の形から目視で判別可能であった

- ・ヒグマ発見=なし、発見生物=エゾシカ多数とキツネ

〔関連映像〕

SDカード：ヒグマ出没対策検証事業>ドローン>検索>藤野>20191122_Fu'sに格納

▶▶▶ 4.3.6 調査結果まとめ

ドローンによるヒグマ調査結果のまとめ

▶ 搭載カメラ

ヒグマの検索においては、熱赤外線センサーの搭載は必須である（可視カメラでの検索は平地以外では不可能）。ただし、一般用ドローンの熱赤外線センサー解像度では検索場所や季節が限定される。

▶ 検索高度

木々の影響ある地点での自動飛行では、30m～50mが理想である。50m以上の高度飛行では発見が難しくなり、30m以下では検索効率が落ちる。50m以上の上空では、高解像度の熱赤外線センサーや高倍率カメラの必要性和検索技量（操縦と画像認識能力）が求められる。

※ 30m以下では木々の影響を受けて目視外になりやすいため、検索範囲が減少する。高度と検索範囲はトレードオフの関係である。

▶ 自動飛行による検索

3Dモデルを活用した自動飛行は、最適な高度を保ちながら自動巡行できるため、受信映像の確認、つまりヒグマ検索に集中することが可能となり、検索効率と確率を上げる効果があった。

少人数での検索や（1人～2名）、飛行熟練者のいない状況では、非常に効果的である。

▶ 飛行ポイント

目視外飛行は、許可を取ることによって可能だが、安全上の観点から極力避ける必要がある。そのため、効率と安全を勘案すると、高台から下方に向かって検索するポイントからが望ましい。

▶ 一般用ドローンの利用方法

一般用ドローンの機動力や安全性は、産業用と遜色ない性能であったが、搭載可能重量の違いから、利用できる熱赤外線センサー及びズーム可視カメラの性能差が生じる結果となった。

結果から、利用用途としては下記が考えられる。

- 森林における特定期間の検索（熱赤外線センサー利用）
 - 3～4月の冬眠明けのヒグマの検索（警戒）

- 遊歩道など平地における搜索
通期で利用可能
- 自動巡行による搜索と警戒
平地における搜索を継続的に行うことより、発見確率の向上が推測される
- 音や投下などによる忌避
フラッシュライトなどは多数あり、積載重量は約600g程度

▶▶▶ 4.3.7 地上装置との自動連係

将来的に、地上装置と連携しての追い払いや、移動方向の撮影などを行うことを想定し調査を行った。本来ドローンから多数のセンサー情報を入手し、安全性を検証しながら行う必要から、非常に時間がかかり、難易度が高いミッションである。

しかし、世界70%シェアを誇るDJI社では、SDK(開発キット)が提供されており、そちらにて検証をいった。

▶ 検証SDK

DJI mobile sdk

▶ 検証内容と将来的な応用範囲

androidから送信器にWi-Fi接続し、以下の動作が可能であることを確認した

- ホットポイントミッション※の指令を出す
※指定された地点(緯度・経度)を中心に、指示した高度で旋回行動をとる
将来:上空からのヒグマ行動記録を撮影、ドローンでの自動追い払いへの応用(光・音・投下)
- カメラ映像の伝送
AI分析などに利用しやすくなるように、送信機以外に映像を伝送する
将来:伝送された映像が、ヒグマかどうかのリアルタイム判定などへの応用用途

▶ 課題

様々な自動ミッションが可能であることが検証できたが、無人航空機の運用における飛行基準では、目視による補助者をおかない場合の飛行に様々な規制が策定されている。

原則として操縦者が操縦装置を持たない状況での完全自律飛行を実現するのは難しい状況であることが分かった(万が一の時に、改造ドローンとみなされ、保険適用外になるといった可能性もある)。

規制の例(抜粋)

- 補助者をおかない無人航空機の目視外飛行に関する要件
機体または地上に、常に飛行経路周辺を監視できるカメラ等を装備または設置し、飛行させる空域に有人機等を確認した場合は即座に着陸する等の安全措置を講じること
- 自動操縦により飛行させることができる無人航空機の条件
あらかじめ設定された飛行プログラムに関わらず、常時、不具合発生時等において、無人航空機を飛行させる者が機体を安全に着陸させられるよう、強制的に操作介入ができる設計であること

現在、『小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会』などが、目視外飛行を行うにあたっての環境整備をすすめており、2022年までに明確なルール策定される状況である。

▶▶▶ 【参考】ドローンからの音威嚇実験(10/25)

ベアマウンテンにて飼育しているヒグマに対して、ドローンからの音による威嚇が可能かを実験した。

- 使用音声：人間・犬・オオカミ・ライオン・象・銃声 etc…等
- 高 度：10m



寝ていたヒグマがまわりをキョロキョロ見渡し、最終的に上を見上げる反応があった。

- ▶ 実験の結果から音によっては反応があることが分かった。

5

最終実験

▶▶▶ 5.1 計画

ドローンのミッション飛行（自動飛行）シミュレーション、地上観測装置の作動実験、忌避装置の効果検証を行った。

▶▶▶ 5.1.1 実施日程と施設

日時：2020/2/21(金) 13:00~15:30

場所：のぼりべつクマ牧場（登別市）

▶▶▶ 5.1.2 検出機材と手法

- ・シングルボードコンピュータ：Raspberry Pi3+B
- ・センサー：集電型赤外線センサー
- ・カメラ：Raspberry Pi用CMOSセンサー
- ・熱赤外線カメラ：FLIR Lepton@3.5
- ・使用ドローン：MAVIC 2 Enterprise DUAL
- ・忌避装置：大音量ブザー、高輝度LED、高周波～超音波帯発生装置(13.5khz～45.5khz)

▶ ドローンの自動飛行実験

自動飛行にてヒグマがいる区域の中心を旋回動作するミッションの確認

▶ 地上装置の動作確認

センサー感知～忌避装置の作動までを確認

- 赤外線センサー・ドップラーセンサーにより生物を検知
↓
- 可視カメラ・熱赤外線を作動させて映像を入手
↓
- 静止画を作成
↓
- AIによる判定(可視カメラ映像)
↓
- 推論確率が20%以上の場合は以下を実行
↓
- 忌避装置作動
↓
- 画像をクラウドサービス(SLACK)に通知

▶ 忌避効果確認

- 地上忌避装置から大音量ブザー・LEDなどを作動する
※飼育個体での実験のため、レーザーは安全性を考え行っていない
- 高周波の超音波装置にて忌避効果の確認
- ドローンから人・犬・鹿の音声を、上空10mと30mから再生し、忌避効果があるか確認
- ヘビのおもちゃを投げ入れて忌避効果の確認
※ヒグマはヘビが苦手とする報告やアイヌ民族の伝承があるための確認

▶▶▶ 5.1.3 ドローン検証結果

▶ 自動ミッション

本実験は、将来的に地上装置からの指示を受信し、自動で撮影や追い払い動作をおこなうことを想定している。技術的には可能なことを確認できているが、安全性及び法制度が十分に整っていないなどの状況から、その直前までの実験にとどめている。

実験は、下図の檻で行った。約2・5mの塀の下から離陸し、地上50m上空を5回ほど自動旋回しながら撮影を行った後に着陸する、目視外を想定した自動飛行によるミッションである。

ただし、緊急時に備えて操縦者はコントローラーを手中にも持たせ、檻の淵に監督者を立たせての実験を行った。当日は快晴で風の影響もなく、何の障害もなくミッションは完了した。

課題としては、カラスによる妨害が考えられた。現場は飼育施設ということもあり、カラスが多数いる状況であった。危険にはいたらなかったが、威嚇によりドローンに接近することも想定され、完全自律飛行を行う際は、何らかの対策を行う必要があると思われる。



〔関連映像〕

SDカード：ヒグマ出没対策検証事業＞登別熊牧場2020-02-21＞ドローン熱赤外

▶ 音実験

ベアマウンテンとFu'sで行った音源による威嚇実験を再度行った。

既に効果が認められた人・犬・オオカミなどで実験を行ったが、残念ながら効果は感じられなかった。

こちらの施設では、大音量によるショーの案内などが逐次流されており、音に対しては耐性があると考えられた。

使用音声	結果
人間	反応なし
犬	若干の反応はみられた
オオカミ	反応なし
ライオン	反応なし
銃声	反応なし

5.1.4 地上装置検証結果

飼育されているヒグマのオリ越しでの検証となったため、可視光・赤外線カメラいずれも観測ユニット本体から取り外し、手持ちにて実験を行った。

赤外線による画像については本年度の検証期間中に判定に必要な十分なデータが得られず、AI判断は可視光による検出で行い、撮影のみを行っている。

装置は円滑に動作が行われ、ヒグマが検出→撮影(可視)→リレー装置がOnになり、リレー装置に接続されているブザーなどの忌避装置に電源が入り作動すること、また、同時にヒグマの判定画像をLTE(4G)通信網によりSNS「Slack」へ投稿が行われることを確認した。



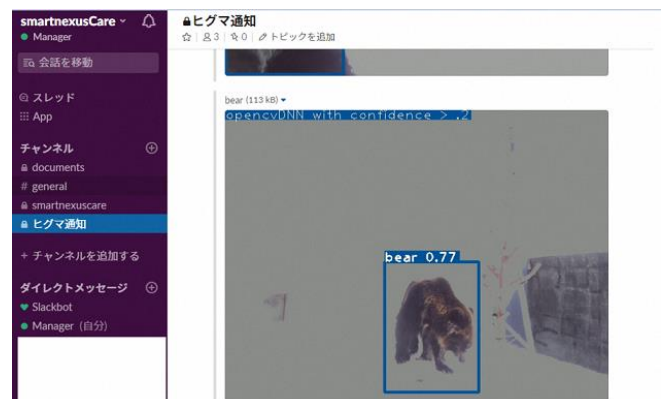
実験の様子



地上装置の内部



ヒグマの検出



SLACKへ投稿

○実験の課題としては2点あった。

1. 可視光カメラが雪上での使用については自動の露出調整がオーバー気味であった、本来の出没時期では起きない事象であると思われるが、自動の調整や可視カメラレンズの交換などが考えられる。
2. 人間の髪を熊の一部と誤認識するケースがあった。

上記のような露出不足による画像、カメラを手持ちに行っている関係で、手振れによる影響など、鮮明ではない画像の状況もあるが、こちらは誤認識した画像を再学習させることで対応可能である。

この課題にて、SNSを利用した通知が、人間による検出精度の補完と再学習素材の収集の両面に効果的であることが確認できた。

〔関連映像〕

SDカード：ヒグマ出没対策検証事業＞登別熊牧場2020-02-21＞AIサンプルに格納

▶▶▶ 5.1.5 忌避効果検証

地上装置と連消した大音量ブザー（100db）・高輝度LEDには何の反応も示さなかった。事業途中の情報などから想定された状況であり、以下の単独の装置で忌避効果があるかを確認した。現在は独立した機器であるが、効果があれば地上装置と連動することが可能な機器である

▶ 大音量ブザー

地上装置より更に大きい音のでるブザー（120db）にて実験を行ったが反応はみられなかった。この飼育施設では、大音量で園内の案内が流されているため、耐性ができている可能性がある

▶ 高周波～超音波

飼育個体のため、安全性を考慮し音圧は低めだが、接近状況での忌避効果があるかを確認した。13～45.5kHzの高周波帯を周波数を変えながら繰り返し発生させたが、全く効果が感じられなかった。なお13～15kHz近辺の音は人間にとっては非常に耳障りな音であるが、ヒグマには何の反応もみられなかった。

▶ ヘビ実験

飼育施設のヒグマに極度の影響を与えないように小型のヘビのおもちゃにて実験を行った。

○例1. 2歳オスのヒグマでの実験

- ヘビのおもちゃに近づかない
- 餌を近くに撒くが、警戒しながら（ゆっくりとした動作）の動作
- ヘビのおもちゃに動きを出すと、後ずさる
- 檻の隅に避難する

○例2. 3歳のヒグマ2頭での実験にも同じ実験

2歳のヒグマとは全く別の反応が見られた

- 反応なし個体
全く動じず餌を食べていた
- 攻撃する個体
手で追い払い（強きたたく）する動作

今回のヘビのおもちゃは影響を考え、小さなもので行ったが、大きなもので行った場合は3歳のヒグマも別の反応があった可能性がある。

実験結果からは、ヘビに対し反応に個体差があるが、明らかに嫌がる動作が確認できた。



後ずさる

〔関連画像・映像〕

SDカード：ヒグマ出没対策検証事業＞登別熊牧場2020-02-21＞熊牧場ヘビ実験に格納

▶ ヘビ実験補足

登別クマ牧場では既に生きたヘビにて実験を行っており、映像をみながらのヒアリングを行ってきた。また、あらためて今回の検証結果と合わせると、以下のことが推測される。

- ヘビの姿や動きは、個体差はあるが苦手と思われる。
- 単純にヘビのようなものではなく、色・形や動きによって認識していると思われる。
- 危険、または怖いという衝動があるヒグマは、匂いでも忌避効果がある。
映像により単純なロープには反応しないが、ヘビのおいがあるロープには反応する。
- 一度、怖いと認識すると成長しても、その感情は持続する。
本実験で怖がる動作をみせたヒグマは、以前にヘビ実験を行っている。
初めてヘビをみる場合は、好奇心もあり、近づく動作もみられるが、怖いと認識すると近づこうとはしない反応がある。

〔関連画像・映像〕

SDカード：ヒグマ出没対策検証事業＞参考：ヘビ実験（著作：クマ牧場）に格納

6

まとめ

事業の検証結果により、今後の課題と展望をまとめる

6.1 ドローン搜索

季節が晩秋～冬季にかけてのヒグマ搜索には難しい時期での検証であったが、その機動力は目を見張るものがあり、生息していたシカは安全かつ確実に発見できた。

今後は、市街地でのヒグマ出没時期期間内での検証を行い、森林の樹冠の影響・天候・搜索方法などの効果検証が重要である。

▶ 搜索可能時期(推測)

搜索を行った11月においては、樹冠の影響が極めて少なく、搜索範囲にヒグマがいた場合は確実に発見に至ったと思われる。1ヶ月の実証で通期の状況を断言することは難しいが、以下のことが予想される

月(季節)	難易度	樹冠の影響	備考
3～5月	◎	小	冬眠明けのヒグマ出没時期とも重なり、最も効果的であると思われる
6月・9月	△	大	樹冠の影響を受けるが、真夏と比べると地面からの放射熱の影響が少ないと思われる 早朝及び搜索場所の検討が必要な時期
7・8月	×	大	樹冠の影響及び地表の温度も高くなり、早朝・夜間以外の搜索は難しい ただし、頻繁に市街地に出没する季節でもあり、早朝などの搜索や警戒に期待
10月	○	小	落葉が進み樹冠の影響が少なくなるが、徐々にヒグマが奥山に移動する時期
11月～2月	×	無	冬眠中につき搜索困難

※木々の影響を受けない地点の場合は、いずれの時期も搜索は可能

▶ 追い払い効果

事業内では、飼育施設のヒグマと自然界でのエゾシカに対して、音による威嚇実験を行ったが、結果は追い払いにはつながらなかった。

しかし、自然に近い環境の個体には、音源によっては(人間・犬など)、反応があることが確認できた。

音だけではなく、ドローン自体を認識させた上での特殊な動きや強い光(レーザー光)・嫌がるニオイの噴霧や投下など、複合要素によっては、追い払いにつながる可能性がある

▶ その他検討事項

- 搜索時間や効果的な場所などの検討
- 継続監視の実現(ヒグマの継続的な監視を行う自動ミッション方法の確立)
- 継続監視映像の効率化(目視確認に頼らず機械により合理化する)

▶▶▶ 6.2 地上装置

▶▶▶ 6.2.1 出沒時期の継続調査

事業期間内では野外での設置調査が不可能であったが、昨年以前に出没記録があった地点などに実験装置の設置を行い、実証証験を行う必要がある。

なお、設置場所は効率と効果を考え、携帯サービスエリアが望ましい。発見時には、いち早く正確な情報を関係各所に提供できるなど、検証以上の効果も想定できる。

▶ 調査候補案

- Fu'sエリア
- その他、携帯サービスエリア

▶▶▶ 6.2.2 装置強化

▶ 電力低減と性能向上

今回の事業結果では、装置に必要な電力の供給に課題が残った。

特に警戒の必要である時間帯を重点としたタイマーによる間欠稼働も可能であることは確認できたが、24時間動作を実現するため、近年普及が始まった低電力で動作するディープラーニングアクセラレーター(KP I)搭載型エッジコンピュータの開発も効果的である。



- エッジ自体はチップによる決められた動作(AIにおける推論など)しか行わないため、電力消費が抑えられている



本事業で作成したAIモデルが
作動することも確認済み



カメラと装置が一体化されて
おり更に小型となっている

▶ クラウド連携

通信環境が必要ではあるが、クラウド連携によって次の効果が得られる

- 自動記録
自動的に出没記録をとることが可能となる
※いつ、どこで、出没したかなどが、データ化されるため、行動分析などのデータ利活用も可能となる
- 技術革新の追従（レガシー化を防ぐ）
地上監視装置で全てを補う場合、設置装置ごとの環境に応じた最適化を継続的に行い、アップデートなどの維持管理が重要になる。地上側を汎用のエッジで行い、汎用クラウドサービスなどと連携することによって、管理側の負担をへらしつつ、技術の陳腐化を防ぐ効果が期待される

▶▶▶ 6.2.3 山間部での調査

山間地や集落から若干離れた場所など、商用電源の利用できず、太陽光パネル設置の場所が限定されるエリアでの実運用期間での本格調査を行い、課題の抽出（日照時間や雨風による影響）が必要である。

また、画像の転送には向かないが、山間地においての事象検出の事実のみ、または検出されたものの種類を伝達する程度であれば、LTE/4Gなどの携帯電話系の通信方式と比べると極めて省電力で遠距離通信を可能とするLoRa等のLPWA（Low Power, Wide Area方式）の使用も有用と思われる。

より低価格な個体識別の方法の実現に向けて、様々な検証を継続する必要がある。

6.3 忌避措置

▶ 忌避装置案

- ヘビのおもちゃなどによる威嚇装置
鹿や猪用に、狼の模型による威嚇装置があるが、ヒグマ版の装置の作成
- ヘビの匂いや刺激物成分などの噴霧（地上装置・ドローンなど）
匂い成分の分析と合成が課題
- 130以上の大音響（炸裂音）
人の耳では痛みとして影響がある音響 ※150以上は鼓膜破裂の危険があるため注意が必要
- 痛みを伴う忌避装置の検討（ゴム弾、電気柵などとの連動）
ヒグマが痛みを感じる装置は、誤って人に作動した場合は重大な事故が予想される。法律や条例に準拠する必要がある。

▶ 最後に

どのような忌避装置誤作動を防止する確実な技術と希少動物保護に配慮したルール策定は必要である。
ルールは自治体や発生場所・発生個体によっても異なることがあるため、機械（合理的な判断）と人（確実な確認とルールに基づいた行動）によるハイブリッドな方法も有効であると思われる。

例.機械と人とのハイブリッド忌避装置作動プロセス案

1. 検知（各種センサー）
2. 機械による合理的判断（AI）
3. 人による詳細判断（装置からの通知画像やカメラ映像などをスマートフォンなどで確認）
4. 事前に定めた条件に合致した場合、忌避装置の作動をスマートフォンなどから人の手で行う
5. 地上装置から音声で忌避装置発動の警告を行う（カウントダウン）
6. 忌避装置発動

END