

「ツキノワグマ等による被害防止、安心して暮らすための環境整備」 成果報告書

会津 DX 日新館 R5 年度調査研究

「ツキノワグマ等による被害防止、安心して暮らすための環境整備」

# 成果報告書

会津大学

齋藤 寛

令和6年3月18日

## 目次

1. 目的 .....	4
3. 実施内容、場所、体制 .....	4
3.1 内容 .....	4
3.2 実施場所 .....	4
3.3 実施体制 .....	5
4. 成果報告 .....	6
4.1 野生動物警報システムの概要 .....	6
4.2 警報装置と追跡装置について .....	6
4.3 深層学習による野生動物の検出について .....	7
4.4 メール登録と検出情報の周知 .....	8
4.5 警報装置の設置例 .....	9
4.6 結果 .....	10
4.7 考察 .....	12
5. 今後の取り組み .....	13
6. 今後の展開 .....	14

謝辞 ..... 15

## 1. 目的

本調査研究は、ツキノワグマ等による被害防止、安心して暮らすための環境整備のために、会津大学で研究を行っている AI に基づいた野生動物警報システム（以下、警報システムと呼ぶ）を、人里における野生動物の出没検出・発報・通知やツキノワグマ等の生息モニタリング調査へ活用することで、被害未然防止に寄与するものである。

## 3. 実施内容、場所、体制

### 3.1 内容

警報システムを利用して、ツキノワグマ等を識別した際に音や光などで追い払いを行う。また、発生状況をメールで関係者に通知する。

### 3.2 実施場所

会津若松市、喜多方市、会津美里町の 4 地区

図 1、2、3、4 はそれぞれ、会津美里町八木沢地区、会津若松市一箕町長原地区、会津若松市東山町、及び喜多方市慶徳町の実施場所を表す。設置した装置の数と実施期間は以下の通りである。

八木沢地区	6 台	令和 5 年 6 月 9 日～令和 5 年 12 月 8 日
長原地区	6 台	令和 5 年 6 月 9 日～令和 5 年 12 月 7 日
東山町	2 台	令和 5 年 6 月 20 日～令和 5 年 12 月 11 日
慶徳町	1 台	令和 5 年 9 月 6 日～令和 5 年 12 月 1 日

また、別途補助装置を八木沢地区に 4 台、長原地区に 2 台、慶徳町に 1 台設置した。図 1、2、3、4 におけるラベル付きマーク（detect\*\*\*\*\*）は設置した装置を表す。



図 1 八木沢地区の設置場所

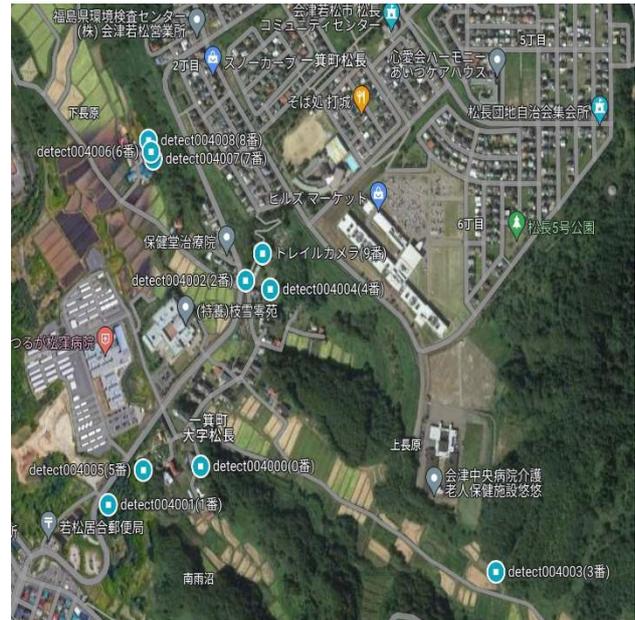


図 2 長原地区の設置場所

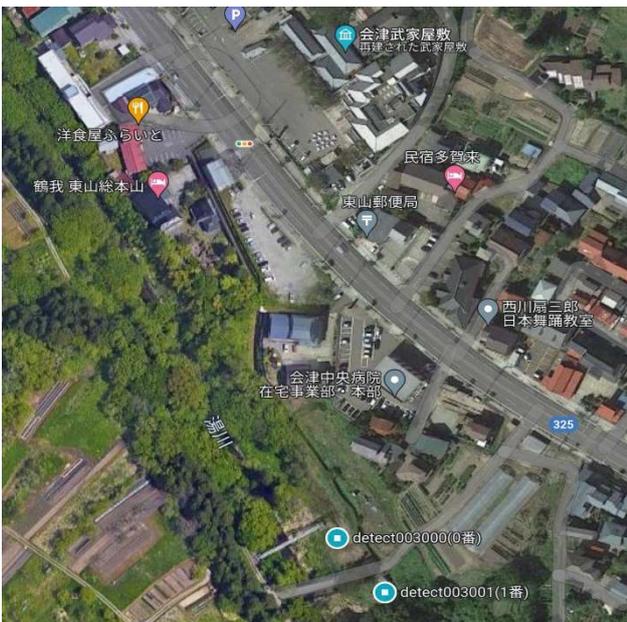


図 3 東山町の設置場所

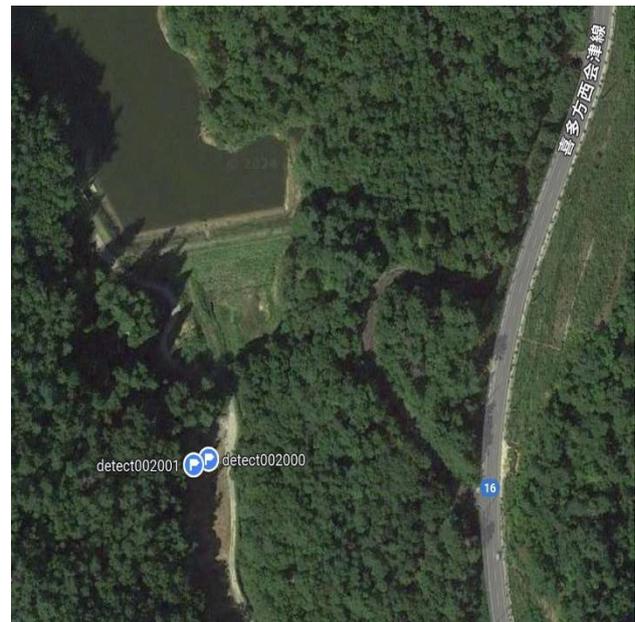


図 4 慶徳町の設置場所

### 3.3 実施体制

本業務は、齋藤の他、会津大学の小平上級准教授、富岡上級准教授、仙波研究員、他数名の学生で実施した。

## 4. 成果報告

### 4.1 野生動物警報システムの概要

図5は、野生動物警報システムの概要を表す。この警報システムは、複数の警報装置や追跡装置とサーバーからなる。警報装置や追跡装置は、固定カメラとして屋外に設置し、ソーラーパネルと鉛蓄電池にて駆動する。



図5 野生動物警報システムとその特徴

### 4.2 警報装置と追跡装置について

図6と7は、野生動物警報システムの中核となる警報装置と追跡装置を表す。共に、ラズベリーパイと呼ばれる安価なマイクロコンピュータ（マイコン）基板にて実現している。

警報装置は、モーションセンサーにて、前方12.5m以内の範囲で何かの動きをセンシングした場合、カメラにて写真を撮影する。次に、撮影した画像に対して深層学習モデル（AIの一種）を用いて物体検出を行う。物体検出の結果、ツキノワグマ、イノシシ、シカと判定した場合、周囲にいる人への警報とクマ等の追い払いを目的に、青い回転灯が点灯すると共に、警報音がスピーカーより出力される。青い回転灯は、クマ等が青色を認識できるという専門家の意見より選んだ。警報音は、爆撃音や犬の鳴き声など14種からなる。センシングから発報までの最速時間は、撮影画像に依存するが、約4秒である。警報装置は検出情報をサーバーに送り（NTT DoCoMoの回線を利用）、サーバーは登録した人に対してクマ等の検出情報をメールにて周知する。センシングからメール周知までの時間は、電波状況に依存するが約1分前後である。従来の目撃による周知と比べ（数十分から数時間）、大幅な時間短縮で人々の安全向上や素早い対策を支援する。

追跡装置は、警報装置の拡張であり、パンチルトズーム（PTZ）カメラと呼ばれる動くカメラと AI による多物体追跡手法にて、検出した野生動物を追跡することができる。追跡ができることで、動物がどちらの方に移動したかまでわかるようになるため、早期避難や警戒地域の制限などに貢献することが期待できる。なお、PTZ カメラのパンは水平方向の移動、チルトは垂直方向の移動、ズームはズームイン・ズームアウトを表す。図 8 は、追跡装置による野生動物の追跡のイメージを表す。



図 6 警報装置の外観

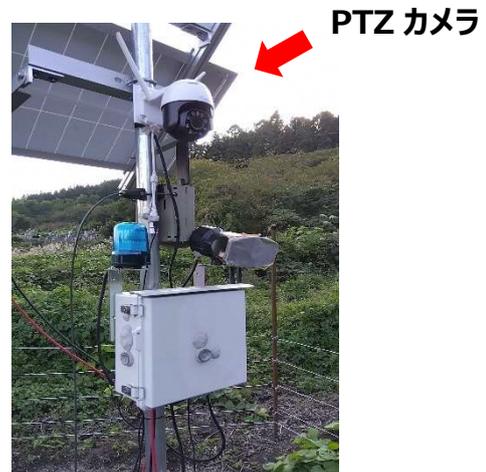


図 7 追跡装置の外観

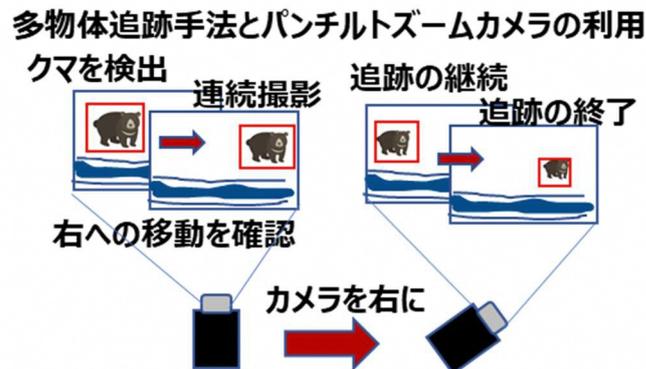


図 8 追跡装置による野生動物の追跡のイメージ

八木沢地区の 6 台のうち 2 台、東山町の 2 台のうち 1 台、長原地区の 6 台のうち 3 台は追跡装置である。

#### 4.3 深層学習による野生動物の検出について

深層学習は、図 9 に示す通り 2 つのフェーズからなる。1 つは、学習と呼ばれるフェーズで、人間の脳を模した畳み込みニューラルネットワークモデルに対し、野生動物の画像を与え（訓練データと呼ぶ）特徴を抽出する。特徴は、ツキノワグマ等の色、大きさ、形などを想定している。抽出した特徴を数値化し、畳み込みニューラルネットワークモデルにパラメータとして持たせる。この畳み込みニューラルネットワークを学習済みモデルと呼ぶ。もう 1 つは、推論と呼ばれるフェーズ

で、警報装置のカメラにて撮影した画像に対し、ラズベリーパイに実装した学習済みモデルを使って何が写っているのかを推論する。

深層学習にて野生動物を検出する場合、主に図 10 に示す画像分類か物体検出を用いる。画像分類は、撮影した画像が何に分類されるかを推論する。画像分類用の畳み込みニューラルネットワークモデルでは、あらかじめ分類クラス（例えば、ツキノワグマ、イノシシといった分類クラス）が定義されており、与えられた画像がどの分類クラスに適合するかスコアをつけていく。一方、物体検出は、撮影した画像のどの位置に何が写っているのかを推論する。位置に関してはバウンディングボックスと呼ばれる枠をつけて表す。

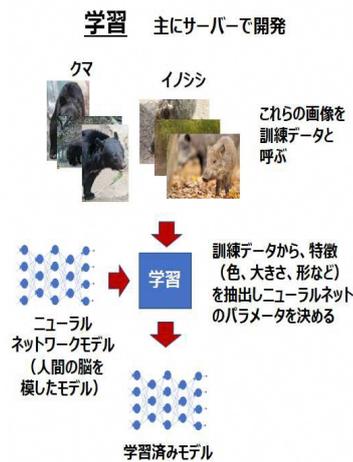


図 9 学習と推論

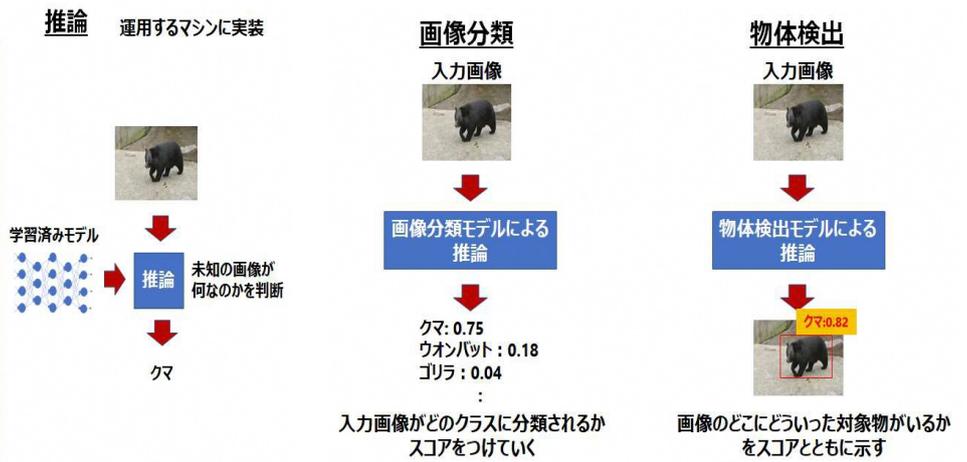


図 10 画像分類と物体検出による野生動物の検出

今年度の実証では、物体検出を用いた。これは、画像分類と比べ、高い検出精度が期待できるからである。物体検出用の畳み込みニューラルネットワークモデルには Ultralytics が提供する YOLOv5n を用いた。物体検出モデルの開発には PyTorch と Python 3 を用いた。いずれも一般的なもので、かつ無償である。なお、訓練データには、これまでの実証で収集した画像や提供された画像などを用いた。学習は、会津大学の専用サーバーを用いて行った。一方推論のために、ラズベリーパイに PyTorch の環境を整えた。深層学習モデルは、実証の開始前と 10 月の 2 回作成した。実証開始前は、主に昨年度の実証で撮影した画像を用いて学習を行った。10 月に作り直したものは、主に実証開始から 8 月までに撮影した画像を用いて学習を行った。

#### 4.4 メール登録と検出情報の周知

警報装置で検出した情報は、会津大学のサーバーに送られ、サーバーから登録した人に検出情報をメールにて周知する。図 11 は、メールの内容を表す。メールの内容は、検出された動物名、検出時間、検出場所、および場所を視覚的に確認するための Google Map やグラフへのリンク、推論の結果野生動物と判断した画像から構成される。画像は、物体検出の結果を含み、クマ等に対してバウンディングボックス（赤枠）がつけられる。そのため、メール受信者は、画像のどこの部分にクマ等が写っているのか確認することができる。なお、添付された画像が拡散されると、プライバシー

の面で問題となるため、メール登録者はあらかじめ、画像の取り扱いに関する誓約書を提出してもらった。メール登録者数は、以下の通りである。

八木沢地区 15 人（振興局 2 人、会津美里町役場 1 人、住民 12 人）

長原地区 7 人（振興局 2 人、会津若松市役所 1 人、住民 4 人）

東山地区 3 人（振興局 2 人、会津若松市役所 1 人）

メール配信に関しては、地域毎にわけ、かつ地域毎に配信時間を設定できるようにしている。例えば、八木沢地区の場合、6時から9時まで、17時から20時までの早朝と夕方である。図12は、野生動物を検出した場所をGoogle Mapに表した結果を表す。緑は装置の番号を、四角と丸はクマとイノシシを、色（青、緑、黄、赤）は、クマやイノシシが出没してから経過時間を表す。青色の場合3日以上出没がなく、緑色の場合1日以上3日以内に出没があり、黄色は1日以内に出没があり、赤色は3時間以内に出没があったことを表す。



図11 配信されたメールの例

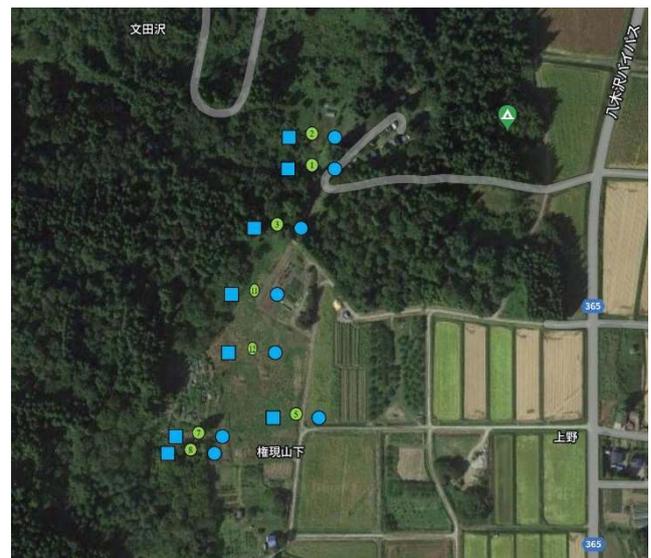


図12 地図（Google Map）による出沒場所の表示

#### 4.5 警報装置の設置例

図13は、八木沢地区に設置した警報装置の1つを表す。警報装置の設置に際し、2mの単管パイプのうち、下部約30cmを土の中に埋めた。また、その単管パイプを支えるために、1m前後の単管パイプを3本利用した。警報

装置の位置は、地面から約 1m から 1.25m の高さとし、その上に検証用のトレイルカメラを設置できるようにした。また、更にその上にソーラーパネルを、土との設置面にバッテリーボックスを設置した。



図 13 警報装置の設置例

#### 4.6 結果

表 1、2、3、4 は、八木沢地区、長原地区、東山町、及び慶徳町における実証の結果を表す。対象はツキノワグマとイノシシである。

表 1 八木沢地区における実証の結果

	トレイルカメラ		警報装置（追い払いあり）			警報・追跡装置（追い払いなし）	
	検出数	メール数（時間限定）	検出数	メール数（時間限定）	追い払い数（追い払い率）	検出数	メール数（時間限定）
ツキノワグマ	66	59 (9)	39	24 (4)	17 (43.6%)	3	1 (0)
イノシシ	221	166 (22)	66	43 (15)	18 (27.3%)	31	3 (0)

表 2 長原地区における実証の結果

	トレイルカメラ		警報装置（追い払いあり）			警報・追跡装置（追い払いなし）	
	検出数	メール数（時間限定）	検出数	メール数（時間限定）	追い払い数（追い払い率）	検出数	メール数（時間限定）
ツキノワグマ	2	1 (0)	0	0 (0)	0 (0%)	0	0 (0)
イノシシ	42	35 (7)	6	5 (0)	1 (16.7%)	7	0 (0)

表 3 東山町における実証の結果

	トレイルカメラ		警報装置（追い払いあり）			警報・追跡装置（追い払いなし）	
	検出数	メール数	検出数	メール数	追い払い数（追い払い率）	検出数	メール数
ツキノワグマ	7	7	12	5	0 (0%)	7	0
イノシシ	0	0	1	1	0 (0%)	0	0

表 4 慶徳町における実証の結果

	トレイルカメラ		警報装置（追い払いあり）			警報・追跡装置（追い払いなし）	
	検出数	メール数	検出数	メール数	追い払い数（追い払い率）	検出数	メール数
ツキノワグマ	0	0	1	0	1 (100%)	0	0
イノシシ	3	3	0	0	0 (0%)	0	0

各表とも、“トレイルカメラ”は検証用のトレイルカメラが撮影した画像に対する結果を、“警報装置（追い払いあり）”は開発した警報装置で追い払いを行ったものが撮影した画像に対する結果を表す。“検出数”は、深層学習にてクマやイノシシを検出した数を表す。“メール数”は、検出後、会津大学のサーバーからメールを配信した回数を表す。“時間限定”は、八木沢地区と長原地区に関しては、メール配信時間を 6 時から 9 時まで、17 時から 20 時まで限定したため、その時間帯に配信されたメール数を表す。“追い払い数”は、トレイルカメラが撮影した動画で、警報装置の音や光にてクマとイノシシが逃げていった回数を表す。“追い払い率”は、検出数に対する追い払い数を百分率で表したものである。“警報・追跡装置（追い払いなし）”は、開発した警報装置、追跡装置で、追い払いを実施していない装置の結果を表す。なお、今年度は、トレイルカメラで撮影した画像も会津大学のサーバーに送り、そこで深層学習による推論処理を行ったうえでクマ等を検出した場合はメールを送るようにした。

結果より、トレイルカメラとの差、検出数とメール数の差などが見受けられたため、以下にその原因を示す。

- “トレイルカメラ”と“警報装置（警報・追跡装置）”の差について

警報装置や追跡装置の検出数が少ない理由は、主に 3 つ挙げられる。1 つ目は、トレイルカメラのモーションセンサーに比べ、警報装置や追跡装置で用いているモーションセンサーのセンシング範囲が狭いことである。前者はトレイルカメラから 15m くらい離れた動物も検出できるのに対し、後者は警報装置や発報装置から 12.5m くらい離れたところが限界だった。コストは増加するが、より高精度なモーションセンサーを用いることで、改善が見込まれる。2 つ目は、トレイルカメラと警報装置や発報装置の設置位置の違いである。警報装置や発報装置は地面から約 1m 前後の高さに設置したのに対し、トレイルカメラは約 1.3m 前後の高さに設置した。そのため、例えば遠くはトレイルカメラの方が検出しやすく、近くは警報装置や発報装置の方が検出しやすい。3 つ目は、PTZ カメラの利用である。これまで、PTZ カメラを用いていなかったため、深層学習モデルの学習データセットに PTZ カメラが撮影した画像が含まれていなかった。そのため、これまでのカメラと比べ、PTZ カメラが撮影した画像での検出が困難だった。この問題は、今後 PTZ カメラが撮影した画像にて深層学習モデルを作り直していくことで改善が見込まれる。

- 検出数とメール数の差について

警報装置や追跡装置がクマ等を検出した後、画像を会津大学のサーバーに送り、そこで違う深層学習モデルを用いて再検出を行う（誤検出を減らすため）。会津大学のサーバーでもクマ等を検出した場合、メール配信を行う。逆に、サーバーの深層学習モデルがクマ等を検出できなかった場合、警報装置や追跡装置でクマ等を検出してもメール配信は行わない。これが原因で、検出数に比べメール数が少ない。この問題に対しては、会津大学のサーバーで使用する深層学習モデルの精度改善や検出結果の使い方を工夫することで改善が見込まれる。また、警報装置や追跡装置から

の画像送信の際、ネットワークに障害が発生した場合、会津大学のサーバーは画像を受信することができない。この場合、会津大学のサーバーで深層学習モデルによるクマ等の検出ができないため、メール配信も行われない。

- 検出数と追い払い数の差について

警報装置や追跡装置が深層学習モデルにてクマ等を検出した数に対し、音や光にて追い払い出来ている回数は少ない。ツキノワグマに関していえば、トレイルカメラの動画を確認すると、既にその場にはいないというケースが多かった。また、音や光の発報の後、その場にとどまっているケースはなかった。一方、イノシシに関しては、トレイルカメラの動画に写っていないというケースもあったが、音慣れしてその場にとどまるケースも確認した。なお、今年度新たに導入した追跡装置は、野生動物の追跡に焦点を当てていたため、深層学習モデルでクマ等を検出しても、音や光を発報しないようにした。そのため、検出数のうち追跡装置分は、追い払いはないということになる。追い払いに関しては、4.7節でもその効果を考察する。

## 4.7 考察

結果より、“深層学習モデルの精度”、“追い払いの効果”、“出没の可視化”に対して考察を行う。

### 1. 深層学習モデルの精度について

今年度新たに追跡装置を導入し、PTZ カメラを利用した。これまでに生成してきた深層学習モデルの学習には、PTZ カメラの画像を用いていなかったため、実証当初 PTZ カメラが撮影した画像ではクマ等を検出できないケースも多々見受けられた。そのため、8 月末までに撮影した画像（PTZ カメラが撮影した画像も含む）も含めて、深層学習モデルを再学習したところ、PTZ カメラが撮影した画像でもクマ等の検出ができるようになった。昨年度から、深層学習モデルは春と秋の年 2 回生成しているが、回数を重ねるごと、学習で利用する画像も増えていくため、それに応じて害獣の検出率も改善していくことが見込まれる。実際、昨年度イノシシは僅か 3 地区合わせて 3 回しか検出できなかったが、今年度は 4 地区合わせて 73 回と大幅な改善に至っている。

### 2. 追い払いの効果について

音や光による追い払いに関しては、クマ等が突然の大きな音や光に驚いて逃げていると思われる。特に、クマに関しては音や光の後、検証で用いた動画でその場にとどまるケースは見受けられなかった。一方、イノシシに関しては、八木沢地区にて 7 月中旬から 9 月にかけて、音慣れが見られた。親イノシシ 1 頭と子イノシシ 4、5 頭の集団である。別な音でも、音量を変えても（当初は警戒して移動）、その場にとどまっているケースもあった。そのため、苦手な音というよりは、突然の大きな音で逃げていると考えるに至った。ただし、動物の生態に詳しい専門家の判断を確認すべきである。なお、11 月下旬ころから現れた子イノシシ 4、5 頭の集団は、音や光に対して又逃げ出すようになっていた。同じ集団と断定することはできないが、親イノシシがいなかったため、警戒心が強かったのではないかと思われる。ちなみに、逃げていくときは、警報装置から離れるように逃げていくことをトレイルカメラが撮影した動画にて確認している。

追い払いの後、どのくらいの期間寄せ付けないかということに答えることは現時点で困難である。これは、撮影した画像で個体識別ができないためである。しかし、八木沢地区で9月下旬から11月上旬にかけて、ほぼ毎日のようにクマが出没していることを考えると、音や光による追い払いはあくまで一時的なものと思われる。

### 3. 出没の可視化について

出没情報は、全て会津大学にあるサーバーに送信し、インターネット上で可視化できるようにしている。メール登録者は、送られてきたメールに含まれるリンクをクリックすることで、確認することが可能である（図11の地図による確認をクリックすると図12のような出没した場所が表示される）。また、図14は、出没状況をグラフで表したものである（図11の検出状況の集計グラフの確認をクリック）。動物毎にグラフ化しており（現在、クマ、イノシシ、シカに対応）、月別、時間別、場所別の出没状況を確認することができる。そのため、どの時期、時間帯、場所で、どういった動物が良く出ているのか知る事が可能である。

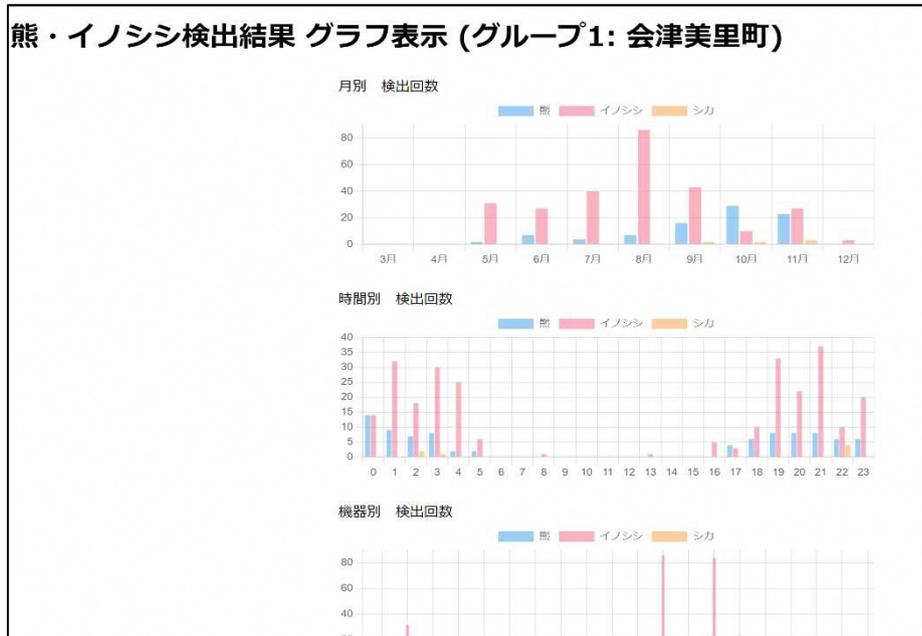


図14 検出状況の集計グラフ確認

## 5. 今後の取り組み

### 1. 深層学習モデルの改善 期待する効果：検出率の改善

今年度同様、年2回深層学習モデルの学習を行うことで、深層学習モデルの精度改善に努める。今後は特に、クマやイノシシだけでなく、シカやカモシカの検出も強化していく。また、様々なカメラにも対応できるよう、自分たちで集めた画像だけでなく、提供された画像も利用して深層学習モデルを学習していく。

### 2. 装置の改善

- ① 追跡装置の改善 期待する効果：クマやイノシシが向かった方向を知ることができるように

今年度導入した追跡装置の課題として、追跡の仕方が挙げられる。クマやイノシシの移動速度に対し、PTZカメラの制御が追いついていないケースが多々見受けられたので、PTZカメラの制御を含んだ追跡の仕方を改善していく。また、メールに移動方向も含めるようにしていく。

#### ② 検出範囲の拡大と低コスト化 **期待する効果：装置の低コスト化と検出範囲の拡大**

現在警報装置が有する、1. センシング機能、2. 撮影、推論、検出情報送信機能、3. 音と光の発報機能を異なる3種類の装置に分散させることで、1台当たりの装置のコストを削減する。また、これらをWi-Fiにて接続することで、分散しても通信コストは増えないようにする。Wi-Fiは、2の撮影、推論、検出情報送信機能を持った装置を起点に、100m前後を想定している。カメラも現在使用しているカメラとPTZカメラの2台で、100mの範囲内の検出を実現する（現在の警報装置、トレイルカメラはおおよそ12.5m、15m程度が限界）。

#### 3. 周知情報の改善 **期待する効果：得られた画像からより多くの有益な情報を引き出す**

画像に複数の動物が写っている場合、物体検出モデルはそれぞれに対して枠を張ろうとする。そこから、何匹の動物が写っているのかを判断することが可能である。また、警報装置などは固定しているため、画像のどのあたりにどのくらいの大きさで写っているかを調べることで、動物の大きさを推定することができると思われる。これらの情報をメールに加えることで、メール受信者に注意を促す。この他、地図やグラフの見やすさを改善する。

#### 4. 追い払いの改善 **期待する効果：追い払い回数を増やすことで、人身事故や作物被害を抑制**

複数の装置が連携することで、クマ等を更に驚かし、追い払いを試みる。また、音や光以外の方法も検討していく。

#### 5. 監視の低コスト化 **期待する効果：より広い範囲にて監視を実現**

通信機能のあるトレイルカメラを設置し、撮影した画像を会津大学にあるサーバーにて推論処理を行う。クマ等を検出した場合、警報装置同様、メール登録者にメール周知を行う。今年度、会津若松市役所が所有する2台のトレイルカメラを実際に運用した（会津若松市の負担はトレイルカメラの初期費用と通信費のみ）。各自治体が、今現在そうしたトレイルカメラを持っていれば、直ぐにでも監視が可能である。また、2の装置の改善で述べた、発報機能だけを持つ装置を組み合わせれば、周囲に対する警報や追い払いも実現可能である。ただし、大学のサーバーとの通信が入るため、即時性は現在の警報装置より悪い。

#### 6. 今後の展開

開発した警報システムにて、即時にクマ等の検出や周知ができることを示した。今後は、協力いただける市町村を増やす取り組み、住民や市町村関係者と議論する場を設けていただきたい。それらを基に、市町村に展開可能で、より現実的かつ効果的な獣害対策を支援していく。

## 謝辞

本研究にご支援を頂いた、会津美里町八木沢地区と会津若松市一箕町長原地区の住民の皆様、並びに福島県会津地方振興局、会津若松市役所、喜多方市役所、会津美里町役場の関係者の皆様に深く感謝致します。