

IoTセンサーを活用したニホンジカ食害対策に関する研究

Research on Measures Against Feeding Damage of Japanese Deer using IoT Sensors

小杉山 晃一¹

松永 彦次² 山本 義久²

青木 正篤³

山口 修平⁴ 宇都宮栄二⁴ 大谷 朋広⁴

KOSUGIYAMA Koichi¹

MATSUNAGA Hikoji² YAMAMOTO Yoshihisa²

AOKI Masaatsu³

YAMAGUCHI Shuhei⁴ UTSUNOMIYA Eiji⁴ OTANI Tomohiro⁴

1. はじめに

筆者ら、常葉大学、林野庁静岡森林管理署、国土緑化推進機構ならびにKDDI総合研究所は、静岡県の富士地域にある静岡森林管理署が管理している国有林において、ニホンジカ (*Cervus nippon*) による食害を抑止するための対策としてIoT技術を活用した取り組みを進めている。富士地域620km²のエリアに約1万8,000頭を超えるニホンジカが生息しており、富士地域の天然林、人工林において、ニホンジカによる立木や林床植生の食害被害が確認されている [1]。静岡森林管理署が管理している国有林においては、植林した苗木や貴重な樹種を保存する目的で、森林の一部を柵で囲みニホンジカの侵入を防ぐために防鹿柵を設置している。個体群密度の極めて高い状態にあるこの地域のニホンジカは、防鹿柵の外の植物が減少すると、防鹿柵内部で保護された植物を求めて侵入しようとするため、防鹿柵の破損が発生している。今回の実験エリアの防鹿柵は7.05haのエリアに外周約2,200mにわたり設置されており、防鹿柵の見回りなどによる業務負荷が高く、多くの人員と費用が必要な状態にある。柵が破損することなく正常な状態に維持できなければ、ニホンジカの侵入を防いで森林を保護する防鹿柵本来の目的は達成できないため、柵の破損状況（破損の有無、破損箇所、破損時刻など）を低コストでかつ広範囲の監視が可能な技術の確立が求められている。また、狩猟・捕獲においても罠の捕獲状況を検知する仕組みが低コストで実現できれば、捕獲数を大幅に増やすことができるであろう。

¹常葉大学 社会環境学部

²林野庁 静岡森林管理署

³国土緑化推進機構

⁴株式会社 KDDI 総合研究所

本稿では、上記の課題を解決するために実施した、2017年度の検討状況ならびに富士山麓での国有林における実験内容とその結果を報告する。2章では現状のニホンジカによる食害被害とその対策について、3章はIoTセンサーによる防鹿柵の監視の実現手法の検討結果について、4章は防鹿柵の損傷検知システムの詳細と評価結果を報告し、5章では2017年度の成果に基づいた今後の取り組みについて述べる。

2. 防鹿柵による食害対策

富士地域の国有林において2016年度に3基の防鹿柵の設置が完了している。表2-1のとおり、実験環境は国有林の造林地を囲むようにそれぞれ3種類の防鹿柵が設置され、柵の種類は金網柵、縦張りネット、網斜め張りネットの3種類である。

防鹿柵設置の目的は、ニホンジカの食害から植栽木や森林植生を保護することにあるが、林野庁静岡森林管理署、NPO法人富士山を守るホシガラスの会、常葉大学社会環境学部が共同で設置した富士山地域水ヶ塚周辺の防鹿柵を見るとその効果を確認することができる。すなわち、防鹿柵の内部では林床の植物や樹木が回復している様子が確認できるが、防鹿柵の外の森林において、林床ではニホンジカが避ける有毒植物が優占し、樹木に至っては樹皮剥ぎによる立ち枯れが目立つような状況となっている[2]。防鹿柵は将来の遺伝子の保存場所（シードバンク）でもある。ニホンジカの密度が十分に低減できた際には、防鹿柵内に残された林床植物や樹木の種子が森林に散布され、富士山麓国有林の森林生態系を再生するための源となることが期待されている。

しかし、前述した通り、ニホンジカやイノシシ (*Sus scrofa*) の侵入を完全に防ぐことができていない。防鹿柵の内部にニホンジカの侵入を許した場合、周囲の環境に比べて多く残されている植物は飢えたニホンジカに食物を供給することになり、貴重なシードバンクは失われる。防鹿柵の破損を監視するシステムを確立することは喫緊の課題である。

表 2-1 試験地に設置された防鹿柵

柵の構造	柵延長 (m)	柵内面積 (ha)
金属柵	683	2.24
縦張りネット	477	2.22
斜め張りネット	1035	2.59
(計)	2195	7.05

3. 防鹿柵の監視方式

本章では、防鹿柵を監視し、被害を検知する方式について述べる。本取り組みを開始するにあたり、様々な検知の方式を検討した。

- ①防鹿柵の損傷を検知可能なデバイスによる検知
- ②ドローンによる防鹿柵の損傷の監視
- ③自動撮影カメラによる防鹿柵の損傷の監視
- ④防鹿柵の揺れによる防鹿柵の損傷の推定

以下、各検知の方式について紹介する。

3.1 防鹿柵の損傷を検知可能なデバイスによる検知

防鹿柵の損傷を検知可能なデバイスによる検知を実現するために、(1) 防鹿柵に光ファイバを設置し光送受信装置を用いて光ファイバの歪みを検知する方法、(2) 導電性の網を開発し小さな電流を流して抵抗値の変化をみる方法などを検討した。いずれの方法も開発コストや設置コストから実現は難しいとされた。(1) の光ファイバを使用した概略図を図3-1に示す。損傷箇所として把握する範囲をおおよそ4m(現状の網柵の支柱間の幅)と仮定し光ファイバを設置した場合を想定した。外周2,200mの防鹿柵において、上段/中段/下段に光ファイバを設置した場合、約6.6km(2,200m×3段)もの光ファイバが必要となり、また4m毎にレーザー光の送信機と受信機を設置した場合、約600台もの送受信機が必要となる。光ファイバを利用した場合、損傷を検知するためのコストが膨大になることが想定できる。また、(2) の導電性ネットの場合、新たに網を開発する必要があり、防鹿柵としては既存の比較的成本の低い網柵を利用したいとのことから採用を見送った。

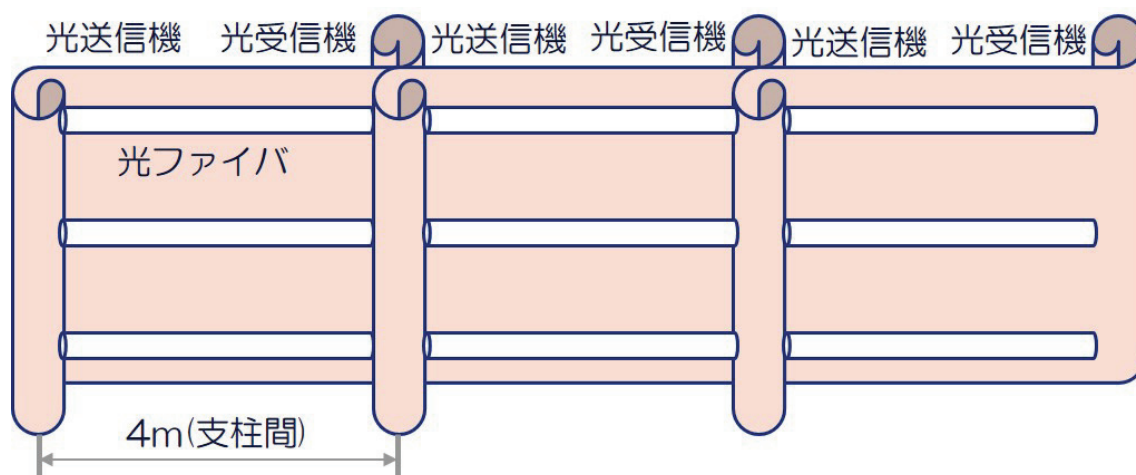


図3-1 光ファイバを使用した防鹿柵の損傷検知

3.2 ドローンによる防鹿柵の損傷の監視

ドローン（無人で遠隔操作や自動制御によって飛行できる航空機）を利用し、ドローンに搭載しているカメラを用いて防鹿柵の撮影を行う。撮影された映像から防鹿柵の損傷など画像解析を利用し判定する方法である。ドローンの飛行は防鹿柵の内側を想定し、事前に設置した飛行用マーカーに従い自動飛行させ、防鹿柵を自動的に撮影する（図3-2）。ドローンによる監視の問題点として、現時点（2018年9月）では飛行に際して人の目視による監視が必要であること、搭載するバッテリーの容量に依存するがドローンによる飛行は1回あたり約10～20分と短く、外周2,200mの防鹿柵を撮影するためには多くの回数の飛行が必要となる。例えば、12m幅の防鹿柵（4m×3張り）の撮影に約1分の時間を要すると仮定した場合、撮影のみで約200分の飛行が必要であり、撮影場所への飛行や帰還を考慮すると現実的な方法ではない。したがってドローンによる監視は採用に至らなかった。

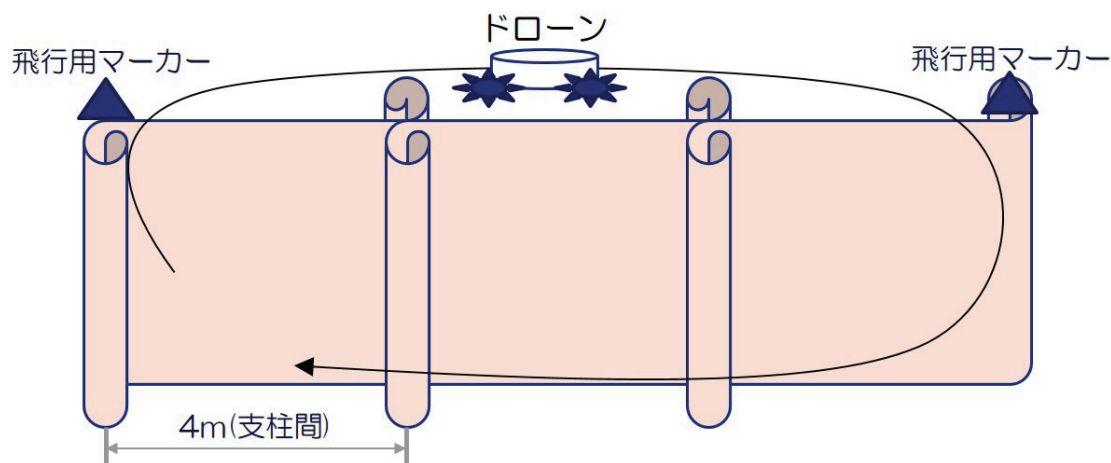


図3-2 ドローンによる防鹿柵の損傷の監視

3.3 自動撮影カメラによる防鹿柵の損傷の監視

防鹿柵の損傷をカメラにより撮影し、通信により防鹿柵の情報をクラウド（サーバ）に自動送信し、画像解析を利用し判定する方法である。一般的な監視手法であるものの、外周2,200mの防鹿柵を監視するためのカメラの台数は、カメラ1台で12m幅の防鹿柵（4m×3張り）の撮影が可能とした場合、約200台にもおよぶ。カメラの入手コストや設置、運用コストを考慮した場合、現実的な方法ではない。また、本研究で利用している富士山麓の実験フィールドは携帯電話等の公衆無線通信が利用できるエリアが限定的であり、すべてのカメラで撮影した画像を通信によりクラウド（サーバ）に送信できない。KDDI株式会社が提供するauサービスエリアマップ [3] によると、2019年1月末には当該フィールドも公衆無線通信が利用できるエリアとなる見込みである。なお、自動撮影カメラによる監視は、3.4節で述べる「防鹿柵の揺れによる検知」において、シカなどの動物の出現と防鹿柵への接触状態などを確認するために利用している。

3.4 防鹿柵の揺れによる防鹿柵の損傷の推定

防鹿柵の損傷を検知するために、防鹿柵自体にかかる揺れや振動を加速度センサーなどにより計測し、損傷を推定する方法である。防鹿柵にシカなどの動物の接触による揺れや振動に加え風による揺れや振動などが生じていると仮定し、加速度センサーを防鹿柵に設置する。動物による揺れや振動と風によるものを区別するために、3.3節で述べた自動撮影カメラと加速度センサーを防鹿柵付近に設置し、防鹿柵の揺れや振動の原因を特定する。防鹿柵の揺れや振動の計測データと自動撮影カメラにより確認した揺れや振動の要因を学習させ、防鹿柵の損傷の可能性を推定する。加速度センサーは比較的安価でありかつ小型化・軽量化できることから、今回は本方法により、富士山麓の実験フィールドにて実証実験を開始した。図3-3に加速度センサーと自動撮影カメラの防鹿柵への設置イメージを示す。加速度センサーは防鹿柵の揺れと振動を計測し、自動撮影カメラは防鹿柵に接近した動物を撮影する。撮影された画像と加速度センサーによる計測データを組み合わせることにより防鹿柵の状態を推定する。

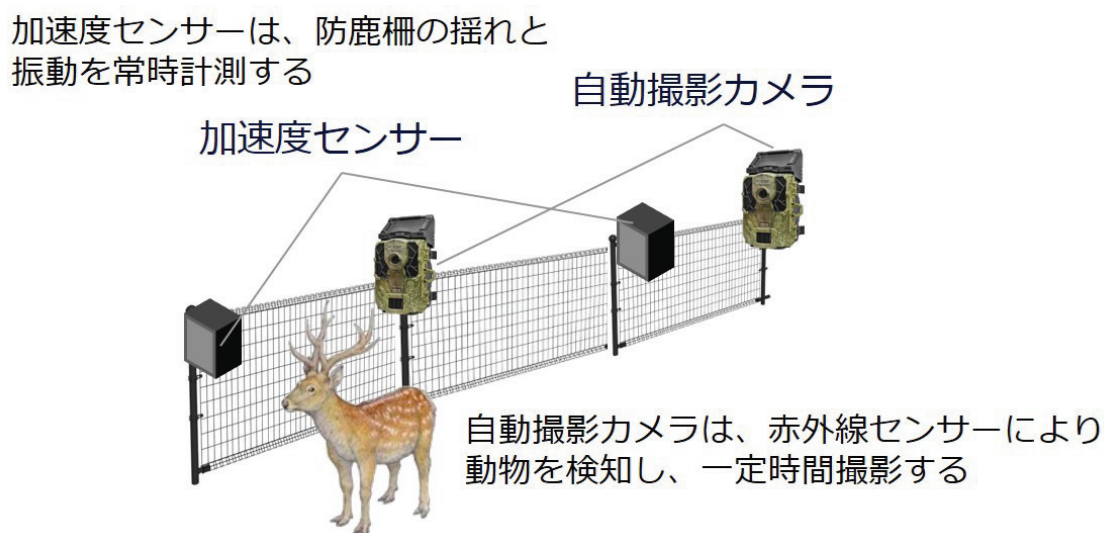


図3-3 加速度センサーによる防鹿柵の損傷の推定

4. 防鹿柵の監視による損傷検知とセンサーネットワーク

本章では、防鹿柵を監視し損傷を検知するシステムと、携帯電話等の公衆無線通信が利用できないエリアにおけるセンサーネットワークの構築について述べる。

4.1 防鹿柵の損傷検知システム

4.1.1 システム構成

構築した損傷検知システムは、加速度センサーとロガー装置、自動撮影カメラ装置から構成されている。システムを設置する富士山麓の実験フィールドには商用電源（AC100V）がなく、バッテリー（アルカリ乾電池やモバイルバッテリーなど）にて動作可能な装置を選定した。

①加速度センサーとロガー装置

加速度センサーとロガー装置は、ロガー装置にGRAPHTECH社製PetitLOGGER GL100-WLを採用し、加速度センサーはロガー装置に装着でき、3軸方向の加速度が計測可能なGS-3ATを装着した[4]。加速度センサーにて計測された加速度データはロガー装置内に装着されているSDカードに保存する。センサーの計測周期は1Hz（1秒毎に1回の計測）とし、設置位置の加速度データを常時計測した。図4-1に加速度センサーとロガー装置の設置状況を示す。ロガー装置は長期稼働のためアルカリ乾電池20本分で構成した外部電源と接続した。山間部であり頻繁に霧が発生することからロガー装置と外部電源は防水ケースに収納した。電源やケースの重量が防鹿柵の振動に影響を与えるため、ロガー装置は防鹿柵の支柱部に固定し、加速度センサーのみを防鹿柵に取り付けた。

②自動撮影カメラ

自動撮影カメラは、加速度センサーとロガー装置の設置位置に同装置と防鹿柵が撮影可能な位置に設置した。自動撮影カメラは、内蔵している赤外線センサーにより動物を検知し約20秒間の動画を撮影できる。撮影した画像は、自動撮影カメラに内蔵されたSDカードに保存するが、自動撮影カメラには撮影した画像をクラウド（サーバ）に送信する機能があり、携帯電話等の公衆無線通信が利用可能な場所に設置したカメラに限り自動的に画像をクラウド（サーバ）に送信するように設定することにより、一部カメラの設置位置に限定されるものの防鹿柵の状況を遠隔地から確認可能とした。



図4-1 加速度センサーとロガー装置の設置状況

4.1.2 実験内容

富士山麓の実験フィールドに加速度センサーとロガー装置を設置し、防鹿柵の揺れや振動を常時監視した。同時に自動撮影カメラを設置し、防鹿柵周辺に現れた動物の撮影と防鹿柵への接触状況などを併せて確認した。実験環境は国有林の苗木を囲むように設置された防鹿柵から、これまでにニホンジカの出現と侵入が確認されている十数か所を選定し設置した。図4-2に各装置の設置図を示す。設置したシステムから収集したデータは次のとおりである。

①加速度データ

加速度とは単位時間あたりの速度の変化率であり、重力加速度（G）で計測される（ $1G \approx 9.8m/s^2$ ）。例えば、動き（静止状態を含む）に変化がない状況では加速度は鉛直下向きに1G、他の方向には0（ゼロ）Gとなり、動きに変化があった場合にその変化を計測する。加速度データは、3軸（X/Y/Z）の方向に対して1秒間に速度がどれだけ変化したかを表している。図4-3に収集した加速度データの例を示す。

②動画データ

動画データは自動撮影カメラに搭載されている赤外線センサーが動物などの存在を検知した際に約20秒間自動的に録画したデータである。日中はカラー画像で録画されるが、夜間は赤外線画像で録画される。

収集したデータは一部動画データを除き各装置に内蔵しているSDカードに記録されることから、約2週間から1か月周期で設置場所にてデータの回収作業を実施した。回収したデータは、データの整理や補正を実施したのち、一部を学習データとして利用し、残りを評価用データとして利用した。

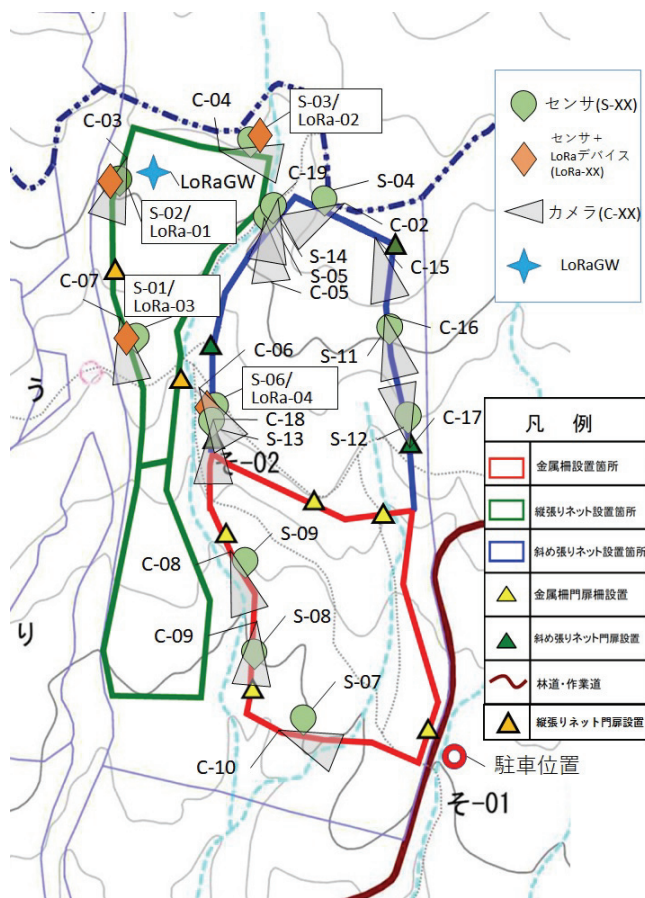


図 4-2 実験フィールドでの各装置の配置図

ベンダ	GRAPHTEC Corporation										
モデル	GL100										
ファームウェア	Ver1.28										
ソフトウェア	"Ver1.22"										
測定間隔	1s										
測定点数	3600										
トリガ点	0										
開始時刻	2017/11/14 0:39:23										
終了時刻	2017/11/14 1:39:22										
トリガ時刻	2017/11/14 0:39:23										
AC Mode											
Logic/Pulse	Off										
アンプ設定											
CH	信号名	入力	レンジ	フィルタ	スパン						
CH1	X	ACCX	10G	Off	5	-5 G					
CH2	Y	ACCY	10G	Off	5	-5 G					
CH3	Z	ACCZ	10G	Off	5	-5 G					
CH4	TEMP	TEMP	Off	Off	50	-10 °C					
測定値											
番号	日付 時間	ms	CH1	CH2	CH3	CH4	Alarm	AlarmOut			
NO.	Time	ms	G	G	G	'C	A12345678	A1			
1	2017/11/14 0:39:23	0	0.015	0.876	-1.59	8.38	LLLLLLLL	L			
2	2017/11/14 0:39:24	0	0.012	0.872	-1.57	8.35	LLLLLLLL	L			
3	2017/11/14 0:39:25	0	0.023	0.869	-1.602	8.33	LLLLLLLL	L			
4	2017/11/14 0:39:26	0	0.027	0.861	-1.602	8.34	LLLLLLLL	L			
5	2017/11/14 0:39:27	0	0.061	0.865	-1.653	8.35	LLLLLLLL	L			

図 4-3 加速度データの例

4.1.3 データ分析

防鹿柵の損傷を検知するため、実験期間中に収集したデータは次のように利用した。

①加速度データ

加速度データは、同時刻帯に撮影された動画データを参照しつつ、防鹿柵への動物の接近や接触によるデータとし、動画データに含まれない防鹿柵の揺れや振動は風などによる揺れと想定されるデータとして分類した。分類したデータは、防鹿柵の揺れや振動の種類を推定するモデルを構築するための学習データとして利用した。

②動画データ

動画データは、上述したとおり、防鹿柵の動物への接近や接触など揺れの事象判定に利用した。

データ分析には、教師なし学習の1つであるオートエンコーダ [5] を採用した。教師なし学習を選定した理由は、実験期間中の動物の出現頻度が少なく、分析に必要な教師データを十分に収集できなかったからである。また、オートエンコーダに加え任意の時間スケールでパターンを学習可能なリカーレントニューラルネットワークを併せて用いた。リカーレントニューラルネットワークを用いることで、オートエンコーダ単独では区別することが難しい防鹿柵の風による継続的な揺れと動物の衝突による振動を前後の時系列情報を一つのデータパターンとして扱うことが可能となる。リカーレントニューラルネットワークには様々な手法が存在するが、本分析においては、長期のデータの学習に優れた Long short-term memory (LSTM) を用いた。

図4-4（ニホンジカ）および図4-5（イノシシ）に示す動物が出現した時点の加速度データを示す。風などによる揺れと想定される加速度データを学習データ（定常状態）とし、定常状態からの乖離度により動物の防鹿柵への接触有無の検知を試みた。図4-6に防鹿柵にニホンジカが接近した時の加速度データ、図4-7にイノシシが接近した時の加速度データを示す。定常状態モデルから異常状態（定常時と異なる状態）を計算し、防鹿柵への動物の接触や防鹿柵の損傷を検知することを目指した。



図4-4 防鹿柵にニホンジカが接近した時の動画像



図4-5 防鹿柵にイノシシが接近した時の動画像

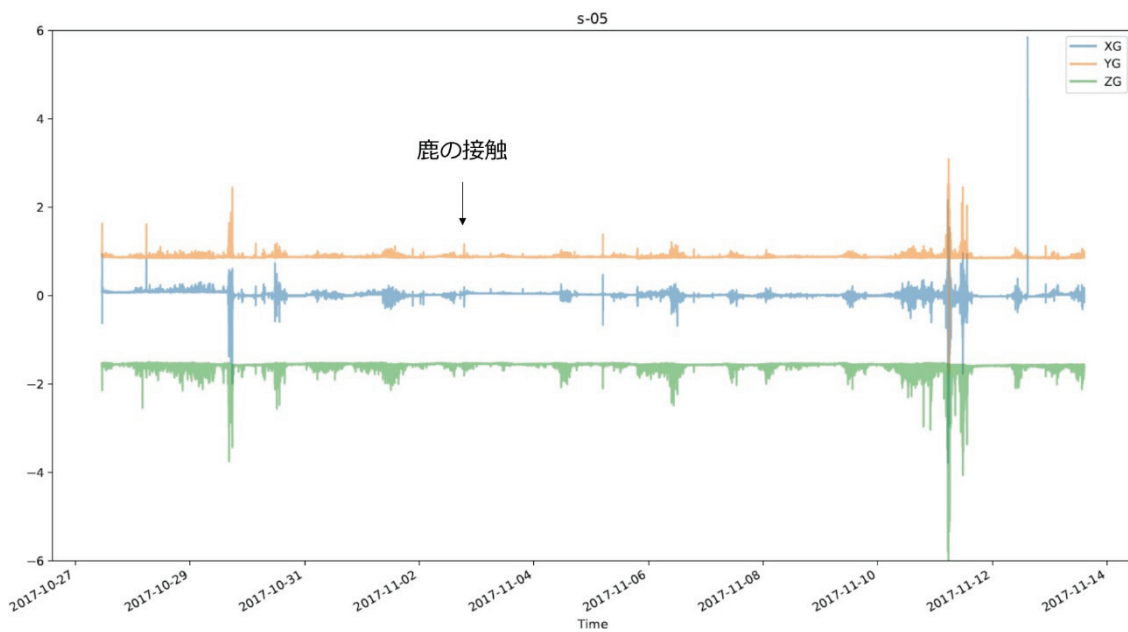


図4-6 防鹿柵にニホンジカが接近した時の加速度データ

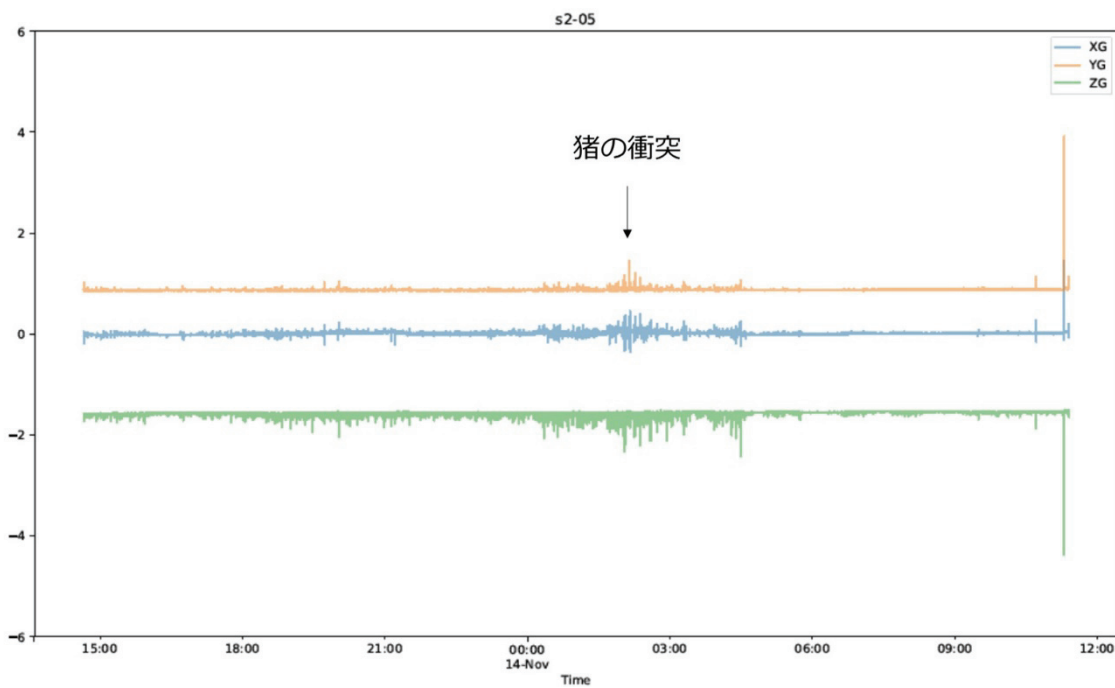


図4-7 防鹿柵にイノシシが接近した時の加速度データ

4.1.4 データ分析結果

図4-4（ニホンジカ）および図4-5（イノシシ）の動物が出現した時点の加速度データの分析結果を図4-8（ニホンジカ）、図4-9（イノシシ）に示す。図4-8および図4-9はそれぞれ前述の教師なし学習により算出された定常状態からの乖離具合を視覚的に示している。

図4-8（ニホンジカ）は点群から離れた場所に位置する2点が乖離具合の大きな時間帯を表している。左記2点の時間帯を確認したところ、実際にシカが接近したときの時間帯とは一致していない。一方、図4-9（イノシシ）は点群から離れた場所に位置している1点の時間帯を確認したところ、実際にイノシシが接近した時間帯と一致している。

この2つの結果の違いとして、撮影した動画像によると、ニホンジカ（図4-8）は防鹿柵に接触はしているものの大きく防鹿柵を動かしてはいない。一方、イノシシ（図4-9）はイノシシの脚が防鹿柵にかかり、イノシシがそれをはずそうとして暴れ、大きく防鹿柵を動かしていることを確認した。したがって、前者（ニホンジカ）は風などによる揺れと区別ができない程度の揺れであったと考えられ、結果として防鹿柵の破損に至っていないと推定できる。また、収集した加速度データは動物が出現した地点のみのデータであり、動物の防鹿柵への接触程度により、風による揺れとの区別が困難になると想定できる。動物による防鹿柵への接触と風などによる揺れを区別するためには、一地点での加速度データのみでなく複数地点の加速度データを利用することが考えられる。その理由として、動物の防鹿柵による接触に起因する揺れは動物の出現位置のみであるものの、風による揺れは防鹿柵一地点のみでなく周辺の防鹿柵も同様に揺れが生じていると考えられる。したがって、本実験において、動物による防鹿柵への接触を検知し、かつ、風などによる揺れを検知するまたはそれらを除外するためには、複数のセンサーデバイスを用いる必要があると結論づけた。

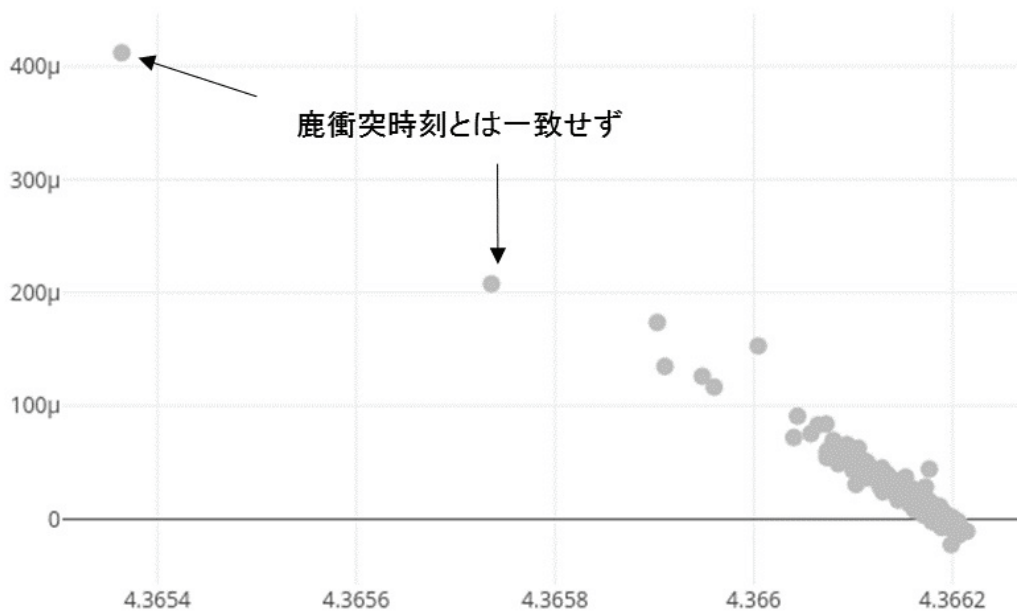


図4-8 防鹿柵にニホンジカが接近した時の分析結果

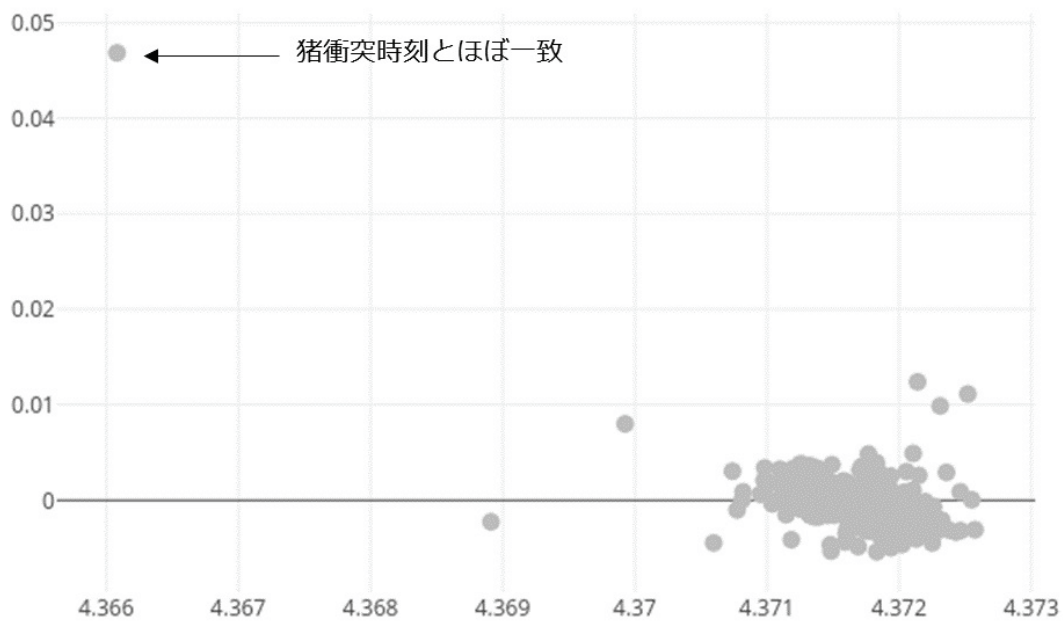


図4-9 防鹿柵にイノシシが接近した時の分析結果

4.2 センサーネットワークの構築

実験を行った富士山麓の実験フィールドは携帯電話等の公衆無線通信が利用できるエリアではなく、実験フィールドの一部地点でのみ公衆無線通信が利用可能である（図4-10）。このような環境下において、実験フィールドに設置したすべてのセンサーからのセンサーデータを収集し、公衆無線通信などを利用してセンサーデータをクラウド（サーバ）に送信することを可能とするセンサーネットワークについて検討した。

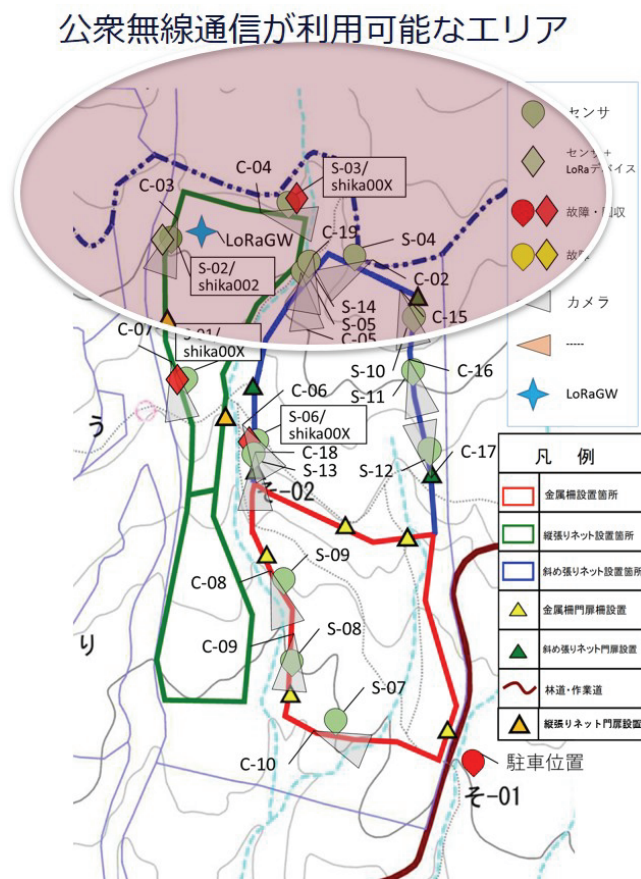


図4-10 公衆無線通信が利用可能なエリア

4.2.1 センサーネットワーク構成

検討したセンサーネットワークは、携帯電話などの公衆無線通信ではなく、LPWA（Low Power Wide Area Network）を活用した。LPWAは無線通信の免許が不要なSORACOM社の提供するLoRaWAN [6]を採用した。LoRaWANは下記のような特徴を有するLPWAの無線通信規格の1つである。

- 免許不要のサブギガ帯域である920MHz の特性を活かし、伝搬距離が長く、最大10km程度の長距離通信が可能（実際の通信可能距離は電波状況等によって変動）
- 低消費電力のためバッテリー等の電源設備の負担を低減可能
- 使用したいエリアに基地局（ゲートウェイ）を利用者が設置可能で、公衆無線通信を補完
- 標準化団体の LoRa Alliance により公開されているグローバルでオープンな技術仕様

LoRaWAN を採用した理由は、利用者がLoRaWAN用の基地局（ゲートウェイ）を容易に設置でき、通信可能なエリアを独自に構築できること、データ送信容量は少ないものの（1通信あたり十数バイト）、LoRaWAN用の通信モジュールや基地局（ゲートウェイ）の消費電力は低くバッテリーなどでも長時間稼働できる特徴がある。

LoRaWAN を用いて構築したセンサーネットワークの構成は次のとおりである。

- ①LoRaWAN 基地局（ゲートウェイ）
- ②LoRaWAN IoT センサーデバイス

4.2.2 LoRaWAN 基地局（ゲートウェイ）

LoRaWAN 基地局（ゲートウェイ）は、SORACOM社の屋内用ゲートウェイAL-020を採用した（図4-11）。実験の時点で屋外用ゲートウェイが販売されていなかったことから、屋内用ゲートウェイに対し防水・防塵対策を施した上で屋外に設置した。防水対策としてポリプロピレン製の30～50cm程度のコンテナボックスを用い、同コンテナボックス内にLoRaWAN基地局（ゲートウェイ）、チャージコントローラ、リチウムイオンバッテリーなどを搭載している（図4-12）。実験フィールドは商用電源（AC100V）がなく、屋内用ゲートウェイを稼働させるための電源が必要であるが、連続稼働させるためには乾電池やモバイルバッテリーによる電源のみでの長時間運用は困難である。連続的に稼働させるために、太陽光発電による発電機能を搭載した。太陽光発電は太陽光パネル、チャージコントローラ、リチウムイオンバッテリーにより構成され、太陽光パネルは出力DC18V100Wのパネルを2枚直列に接続している。チャージコントローラにはFangpusun社製MPPT75/05を採用し、リチウムイオンバッテリーには12V9.9Ahのリチウムイオンバッテリー最大6台を搭載した。太陽光発電による発電容量は、1日の晴天でバッテリー充電が完了できる容量を得られるよう設計した [7][8]。また、富士山麓の実験フィールドには起伏があり、見通しがない箇所へのLoRaWAN IoTセンサーデバイスを設置する必要があり、LoRaWAN基地局（ゲートウェイ）のアンテナ高所化を実施している。図4-13に示すとおり、アンテナマスト（2m）およびアンテナマスト固定のためのワイヤーにより、強風にも耐えられる構造とした。

LoRaWAN基地局（ゲートウェイ）に集められたLoRaWAN IoTセンサーデバイスからのセンサーデータは、公衆無線通信（3G網やLTE網）を経由して、クラウド（サーバ）へ送信する。実際のセンサーデータの流れを図4-14に示す。送信されたデータは、SORACOM社のネットワークサーバを経由し、センサーデータの蓄積と閲覧を可能とするためAmazon AWSへ転送している。



図 4-11 SORACOM社屋内用ゲートウェイ装置

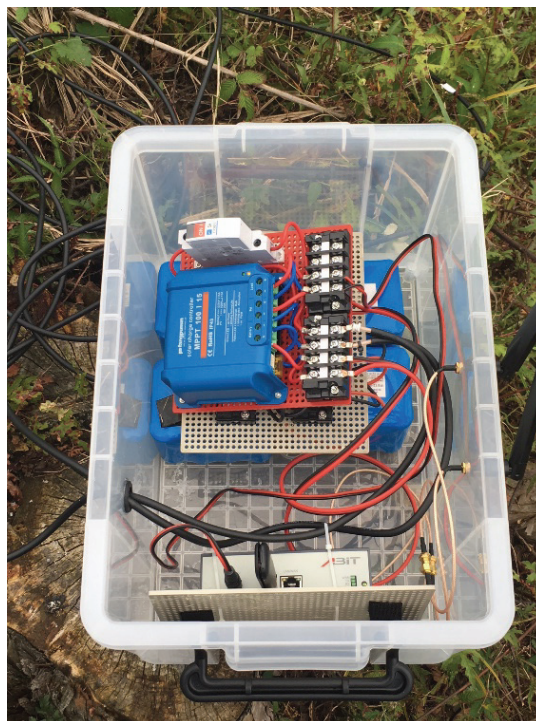


図 4-12 防水・防塵対策した屋内用ゲートウェイ装置



図 4-13 ゲートウェイ装置のアンテナの高所化

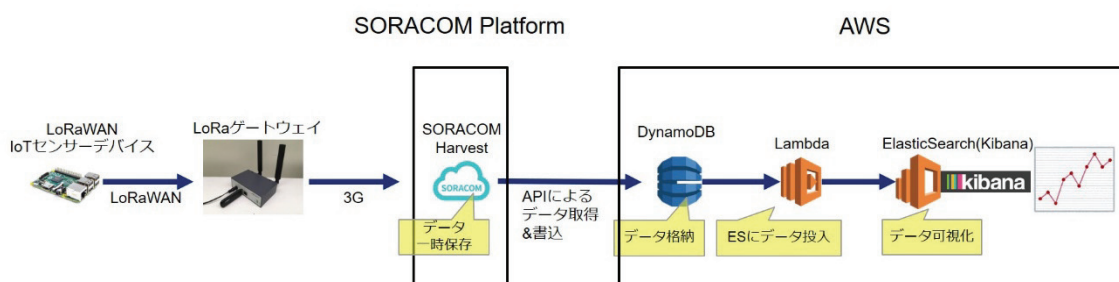


図 4-14 センサーデータの流れ

4.2.3 LoRaWAN IoT センサーデバイス

LoRaWAN IoTセンサーデバイスは、Arduino UNO R3をメインボードに採用し、加速度センサーとしてozzmaker社のBerryIMUを搭載した。LoRaWANへの通信のためにLoRa Arduino開発シールドAL-050をArduino上に搭載し、LoRaWAN基地局（ゲートウェイ）へ加速度センサーのデータを送信している。Arduino UNO R3用の電源にはモバイルバッテリー（26,800mAh）を採用した。試作したLoRaWAN IoTセンサーデバイスを図4-15に示す。防水・防塵対策としてLoRaWAN IoTセンサーデバイスと電源は防水用ケースに収納した。



図4-15 LoRaWAN IoT センサーデバイス

4.2.4 センサーネットワークの評価

LoRaWAN 基地局（ゲートウェイ）およびLoRaWAN IoTセンサーデバイスを図4-2に示した実験フィールド内に設置し、①通信性能、②連続稼働の2つの観点から評価を行った。LoRaWAN IoTセンサーデバイスの設置位置は4.1.1章で記載した自動撮影カメラの撮影範囲の中から、ニホンジカの出現が見込まれる箇所を選定した。

①通信性能

LoRaWAN 基地局（ゲートウェイ）との通信可否について、LoRaWAN IoTセンサーデバイス設置位置および実験フィールド南東の位置（自動車の駐車位置）から計測データを送信することで試験を行った。結果、全ての位置で通信が可能であった。駐車位置はLoRaWAN基地局（ゲートウェイ）から最も離れた位置にあり、LoRaWAN基地局（ゲートウェイ）への見通しはないものの通信は可能であることを確認できた。この結果から、実験フィールド全域において、1台のLoRaWAN基地局（ゲートウェイ）を設置するのみで、LoRaWAN通信が可能であると推察できる。しかし、LoRaWANで送信できるデータ量は1回の通信につき11バイトの制限があり、さらに日本では4秒に1回しか送信できないという制約がある。本取り組みのような1Hz（1秒毎に1回の計測）で計測している加速度の計測

データ（6バイト／秒）の送信には向かない。

②連続稼働性

LoRaWAN 基地局（ゲートウェイ）の稼働状況は、SORACOM社が提供するゲートウェイの管理コンソールを用いることでステータスを確認し連続稼働性を評価した。1ヶ月以上連続稼働したものの、2回の大きな通信の停止を確認した。通信の停止の原因は、想定以上の暴風によるアンテナの倒壊と、積雪による太陽光発電の機能停止であった。特に冬季の積雪は自然融解までに1ヶ月以上の時間を要する上に、フィールドが荒れており復旧作業に赴くこともできない。本問題の対策として、アルカリ乾電池などをリチウムイオンバッテリーが尽きた際の非常用電源として利用するなど電源の改良を検討している。

一方、LoRaWAN IoTセンサーデバイスは26,800mAhのモバイルバッテリー電源で約110時間の連続稼働を確認した。LoRaWAN IoTセンサーデバイスの消費電流は約200mAであるため計算上は134時間の動作が期待されたが、実際には期待値の82%の稼働時間にとどまった。稼働時間が短くなった要因として、気温・湿度などの実験フィールド環境の影響からモバイルバッテリーが理論値どおりの性能を出せなかったと考えられる。また、今回は通信性能試験を試験するため汎用的な小型コンピュータであるArduino UNO R3を利用してLoRaWAN IoTセンサーデバイスを試作したが、専用デバイスとすることで待機時の消費電流を抑えることが可能である。センサーデバイスは日当たりが悪い防鹿柵に設置される可能性もあり、太陽光発電による給電よりもセンサーデバイスの消費電力を低減させることが効果的であり、その実現は今後の課題である。

5. 今後の取り組み

2017年度の取り組みでは富士山麓の実験フィールドに設置した加速度センサーのデータから、ニホンジカなどが衝突した時の異常検知を試みた。その結果、次の2つの課題を明らかにした。

①センサーデバイスを常時稼働させていたため、センサーデバイスを連続して稼働させるために定期的に乾電池交換が必要であったこと

②動物が柵へ衝突したときの振動と風の振動との判別が難しいこと

これらを解決するため、2018年度では以下の2点に取り組んでいる。

1点目は新たなセンサーデバイスの試作とセンサーネットワークの構築である。新たなセンサーデバイスでは機能を必要最低限に絞り、耐水性や無線通信機能を備えつつ全体を数十グラムにまで軽量化する。さらに、振動が発生した時のみ計測データを送信するよう制御することで、ボタン電池で1年間稼働できる低消費電力性の実現を目指す（図5-1）。そして、センサーからの計測データをインターネット上に転送するセンサーネットワークは、ゲートウェイと、中継器であるアグリゲーターからなる多段構成を取る。2017年度に試験したLoRaWANは、通信距離は良いものの、データサイズの大きい加速度データの転送にはやや不向きである。そこで、LoRaWANより比較的高速に通信可能なBLEなどの使用も検討したいが、センサーの位置によってはゲートウェイとの見通しが悪い箇所や距離的に電波が届かない箇所が存在する。そこで、アグリゲーターとゲートウェイの位置には高所にアンテナを設置し、

領域全体をカバーするネットワークを実現する。ただし、ネットワーク用機器はセンサーデバイスと比較して消費電力が大きくなるため、太陽光発電による電力供給機構を設けることで長期稼働を実現する。これらにより、センサーデバイスの連続稼働性を向上させ、かつ、定期的な機器メンテナンスコストの低下が見込まれる。2018年度は網柵の支柱間隔（約4m）ごとの密度でセンサーデバイスを設置し、計測を開始する（図5-2）。

2点目は、複数のセンサーデバイスからの計測データを利用した衝突判別手法の検討である。センサーデバイスを密に配置することで、隣接した網柵の振動情報が利用可能となる。例えば、風による揺れでは、広範囲の網柵にわたってある程度同じ大きさの振動が観測される。一方、動物が網柵に衝突した場合、衝突箇所の振動は非常に激しく、衝突箇所から離れるにしたがって振動が減衰していく。この特徴を利用して、網柵の振動原因を判別する手法の確立を目指す。さらに、本衝突手法の有効性を先行評価するため、ニホンジカなどが頻繁に出没した2エリアを選定し、実験エリア内の網柵と支柱に集中してセンサーデバイスを配置している（図5-3）。計測されるセンサーデータを活用し、網柵同士の振動の相関性だけでなく、支柱に対する風による振動雑音の大きさも含めて確認していく予定である。

また、ニホンジカによる森林植物の食害を低減し防鹿柵の破損を防止するには、ニホンジカの個体群密度を下げるための狩猟・捕獲も並行して進めなくてはならない。狩猟方法のひとつであるくくり罠は標準的な手段としてこの地域でも行われているが、くくり罠の場合も仕掛けた罠の見回りが大きな負荷となっており、防鹿柵と同様に、IoT技術に期待がかかる。つまり、くくり罠が動作したことを監視し、携帯電話などに通知することでくくり罠の日々の巡回監視の負荷を低減することができる（図5-4）。くくり罠が動作したことを検知するためには、スイッチによる単純なオン/オフの検知や加速度センサーによる検知が考えられる。スイッチによる単純なオン/オフの検知では、くくり罠が動作した場合のみの検知となるが、加速度センサーを組み合わせることにより動物がかかっているかまたは動きによる動物の種別判定なども実現できる可能性がある。

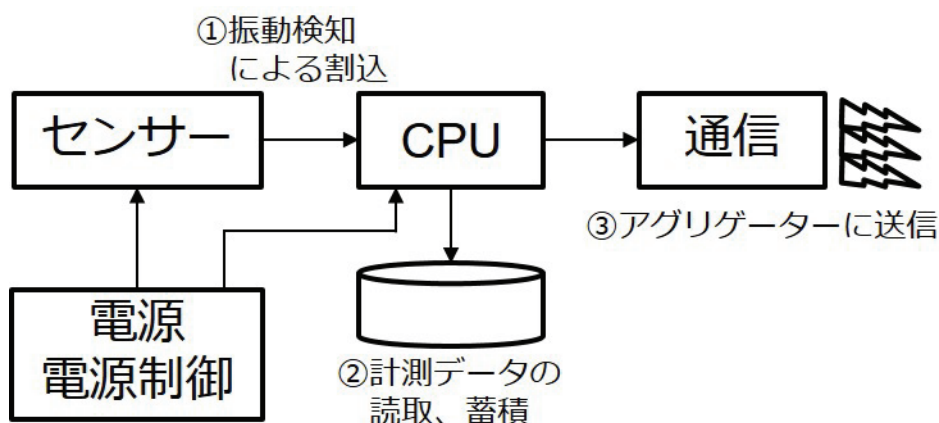


図5-1 新しいセンサーデバイス

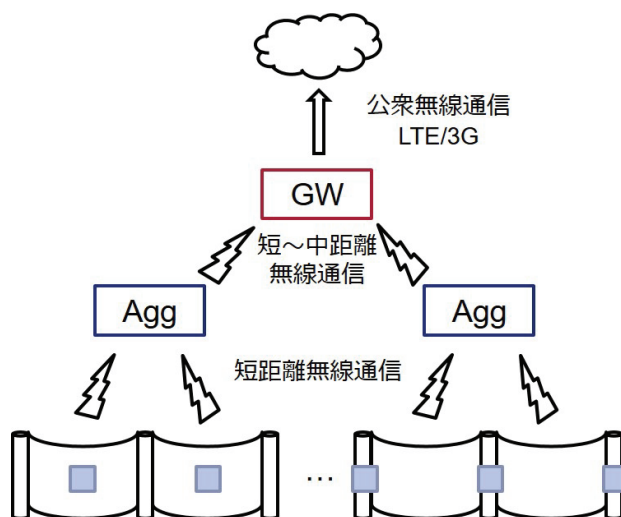


図5-2 センサーネットワークの構成



図5-3 加速度センサーとカメラの配置状況

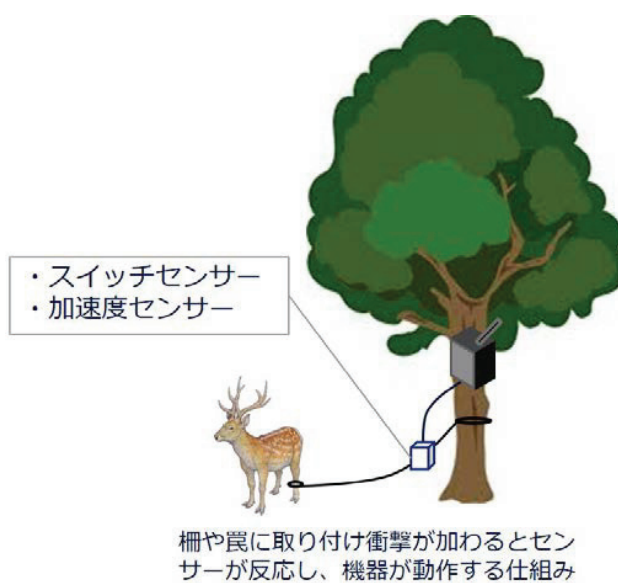


図5-4 捕獲罠の動物捕獲の監視と通知

6. おわりに

本稿では、2017年度に取り組んだ富土地域の国有林におけるニホンジカの食害対策について報告した。本取り組みの成果として、防鹿柵が破損することなく正常な状態であれば、ニホンジカの侵入を抑止でき、その結果として食害被害も減少できることが明らかであり、防鹿柵の破損状況（破損の有無、破損箇所、破損時刻など）を低コストでかつ広範囲の監視を実現する新たなセンサーネットワークの構築を2018年度から開始している。また、狩猟・捕獲においてその作業負荷の低減と捕獲数を大幅に増やすために、罠の捕獲状況を検知するシステムの開発にも着手し、2018年度に富士山麓での国有林において実証実験を開始する予定である。

最後に、本研究は以下の協定に基づいて進められているものである。この場をお借りして関係各位に謝意を表したい。

- ・公益財団法人国土緑化推進機構，KDDI 株式会社，株式会社 KDDI 総合研究所，常葉大学社会環境学部の4者による「ニホンジカ被害対策の調査研究等の連携に関する協定書」（2017年6月1日締結）
- ・静岡森林管理署と常葉大学社会環境学部とによる「静岡森林管理署と常葉大学社会環境学部とのニホンジカによる森林被害対策の推進に向けた，調査研究，技術開発等の連携と協力に関する協定書」（2017年8月10日締結）

参照：

- [1] 静岡県農林技術研究所・森林・林業研究センター ニホンジカ低密度化プロジェクトスタッフ (2013)「静岡のシカ問題と捕獲 Q&A」
- [2] 山田辰美 (2016)「ニホンジカ増加による生態系攪乱と対策」常葉大学社会環境学部研究紀要第三号
- [3] KDDI株式会社，auサービスエリアマップ，
<http://www13.info-mapping.com/au/map/index.aspx?maptype=lte&code=22>，2018年8月31日
- [4] GRAPHTECH社，PetitLOGGER GL100，
http://www.graphtec.co.jp/site_instrument/instrument/gl100/index.html，2018年8月31日
- [5] Srivastava, N., Elman M., and Ruslan S., "Unsupervised Learning of Video Representations using LSTMs," International Conference on Machine Learning, 2015.
- [6] SORACOM 社，LoRaWAN，<https://soracom.jp/services/air/lora/>，2018年8月31日
- [7] 気象庁，最新の気象データ，
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/mdrr/tenkou/alltable/sun00.html>，2018年8月31日
- [8]，蓄電システム.com，ソーラー蓄電システム・独立型太陽光発電システムの設計方法
<http://www.chikuden-sys.com/solar/design.asp>，2018年8月31日