

令和6年度 秋学期 卒業研究3 (BI)
学士論文

題目 動物の位置推定を行うためのマ
イクロホンアレイの効率的な配
置方法

指導教員 上山憲昭 教授

立命館大学 情報理工学部 セキュリティ・ネットワークコース

学籍番号 26002002719

鳥井亮伸

令和7年1月31日

概要

害鳥獣による農作物の被害が報告されている。害鳥獣に対する対策は長年考えられており、それでも尚害鳥獣による被害は問題視されている。対策として様々な方法が存在している。フェンスを建てて動物の侵入を防ぐ方法、動物が嫌うような音や匂いを出して近づけさせない方法、罠を仕掛けて動物を捕獲する方法や、モニタリングによって動物の動向を監視する、などが存在している。害鳥獣の動向を監視することで、害鳥獣の傾向を知ることができ、臨機応変に対策を練ることができる。そのため本論では、害鳥獣の監視を目的とし、必要最低限のセンサの設置で動物を検知する条件について、比較評価を行う。この比較評価によって、検知をしながら必要なマイクロホンアレイの数を抑えられるような配置条件について検討する。

目 次

第1章 序論

1.1 研究の背景

害鳥獣による農作物の被害は深刻な問題である。年々被害額は減少しているが、様々な対策が為されている現在でも無視ができるような状況ではない [?]. 山間部では商用電源へのアクセスが困難なため、一般的に普及されているセンサを用いて、省電力化を意識しながら、動物の動向を監視するシステムが必要になってくる。現在、センサを用いた動物の監視システムに関する研究が活発に行われている。例としては、定点カメラによって送信される画像を解析し、種別判定を行い、学習することで害獣を自動的に認識するシステムが存在する [?]. しかしながら、山間部のような十分な電力供給が難しいと考えられている場所で、複数のセンサを用いて長時間動物を監視するシステムを実現することは容易ではない。そのために、使用するセンサの数を減らして省電力化を図り、できるだけ短い時間で動物の動向を把握することができるようにする必要がある。

1.2 研究の目的

センサを用いた研究は存在しているが、あらかじめ決められた場所に配置しているため、コスト面における性能評価を主に行っているものは少ない。本稿では、動物を監視するために必要なセンサの数をコストとして捉え、できるだけ少ないセンサの数で動物を監視するためには、どのようなセンサの配置にするべきかについて比較評価を行う。

第2章 関連研究

2.1 マルチステージセンサアレイを用いた害鳥獣活動監視システム

センサデバイスを用いた動物の監視方法についてはすでに提案されている [?]. 対象エリア内に2種類のセンサデバイスを配置し、エリア内の動物の往来を監視するシステムである. 待機センサと常時起動センサの2種類を使用して監視を行う. 常時起動センサを一定間隔に配置し、動物を検知したときに待機センサを起動させることによって、省電力化を実現しつつ、長時間の監視を可能としている. 農耕地と森のフィールドを用意し、その境界線状にこれらの2種類のセンサを配置し,revi-walkに基づいて動物を移動させている. この研究では、イベントの検知率の上昇と、消費電力の節約を評価している. 常時起動センサの検知範囲を広げ、センサ間の距離を広くとることによって、消費電力を抑えながら、イベントの検出率を高めることに成功している.

2.2 revi-walk

動物の行動原理は欲望に依存している. 例えば、ある動物がご飯を食べたいと考えた際に、現在地点である 'ねぐら' から、餌場を目的地として歩き続けるといったものである [?]. この研究では、動物の欲求による移動先を3つに指定している. 一定の確率で、目的地が異なる様になっているため、より現実的に即した動物の移動モデルとなっている.

2.3 クラスタを活用したセンサの配置方法

森林火災予防用のセンサを最適に配置する手法を提案している [?]. 教師なし学習アルゴリズムを利用し、気温、湿度、風速などの気象学的要因を考慮しながら、樹木のクラスタリングを行う. この操作によって、必要センサの数を最小限に抑えながら、カバレッジ問題を解決する. 樹木の密度と高さを計算することで、火災の発生しやすい地域を早急に発見することに貢献している.

2.4 ビームフォーミング

マイクロホンアレイはビームフォーミング技術を用いることで、ノイズ抑制や検知範囲の拡張を行うことができる [?]. ビームフォーミングとは、検知範囲を特定の方向に絞る、指向性を鋭くさせることである. 前提として、マイクロホンアレイとは、複数のマイクロホンセンサを一つの塊のセンサとみなしたものであり、マイクロホンセンサには検知範囲

が存在する. そこでビームフォーミングを用いるとそれぞれの検知範囲角度が狭まる代わりに, 検知範囲距離が上昇するといった仕組みになっている.

第3章 ビームフォーミング技術について

3.1 ビームフォーミングの原理

マイクロホンアレイには複数のマイクロホンセンサが搭載されており、それぞれのセンサが音波を検知するタイミングは微妙にずれている。ここで生じる時間差を利用して、特定の音を強調もしくは抑制をする。波として伝わる音波は、特定の位相を持っている。検知したマイクロホンセンサに遅延を施し、位相をそろえることで、特定の音を強調することができる。

3.2 ビームフォーミングを用いた検知範囲の拡張

ビームフォーミングによる検知範囲距離の延長には様々な要因が存在している [?]. ノイズの抑制や、マイクロホンアレイを構成するマイクロホンセンサの数などが検知範囲距離の延長に起因している。信号の強度と雑音の強度の比率である、信号対雑音を SNR(dB) とする。ビームフォーミングによって変化した値を SNR_{out} とし、マイクロホンセンサの数を N と置いた時に

$$SNR_{out} \doteq 10 \log_{10}(N) \quad (3.1)$$

このような形で表される。これにより、マイクロホンアレイの数を増やすほどノイズが低減され、SNR が改善される。

基本的なマイクロホンセンサ自体の検知距離について。音源から発せられる音が発散や半所を考慮しない、自由音場での距離減衰を考える。音源自体の初期音圧を L、音源からの距離を r としたときの距離 r 地点での音圧レベル L_r は

$$L_r = L - 20 \log_{10}(r) \quad (3.2)$$

このような式で表される。そして、上記の式を

$$r_{max} \doteq 10^{\frac{L-L_r}{20}} \quad (3.3)$$

このように反転させることによって、センサの検知範囲の上限を求めることができる。

3.3 ビームフォーミングを活用したマイクロホンアレイの仕組み

マイクロホンアレイに搭載されているマイクロホンセンサは、一般的には無指向性である。無指向性のマイクは、指向性のマイクと比べて、遠い距離の音を拾ったときにノイズを拾いやすい。そこで、ビームフォーミングを用いることによって、無指向性のマイクロホンセンサの検知範囲の角度を狭め、より遠い範囲の音をより明瞭に聞き取り安くしている。

第4章 提案方式

4.1 動物の移動モデル

シミュレーションで動物の現実に即した移動を実現するためには,revi-walk といった手法が使われる. 本論では,シミュレーションで想定しているフィールドは,森林と人里のエリアを考慮していないため,動物のねぐらの位置が未知の状態の上,境界線や位置が確定している餌場が存在していない.そのため,この移動方法を適用せずに別の方法で代用する.広大な森林の中の一部を切り取った場所でシミュレートをするを想定する.このような想定によって,動物のねぐらがどこにでも存在するようになり,人里以外にも動物の餌場が存在していることを考慮し,餌場があらゆる場所に存在できるようにした.このような想定を行うことによって疑似的な revi-walk を実現している.

4.2 センサのモデル

マイクロホンアレイが音を検知する範囲は,円状となっている.

4.3 対象のフィールドについて

シミュレーション対象となるフィールドは,斜面や木などの障害物を考慮しないものとする.そのため,障害物による動物の移動経路の変化についても考慮していない.

4.4 センサの配置手法

マイクロホンアレイを設置する際に，一定時間ごとにセンサを追加配置することによって，検知をするために必要なセンサの数を抑えることができる．全体のフィールドを等間隔で分割，複数の正方形を作成し，セクターを作成するようにする．作製されたセクターの中心がセンサを配置する場所の候補となる．はじめに候補の中から1つランダムに選択し，センサを配置する．一定時間経過すると，候補の中から1つランダムに選択し，センサの追加配置を行う．この操作を，配置されたすべてのセンサのどれか1つでも，動物を検知することができるまで行う．

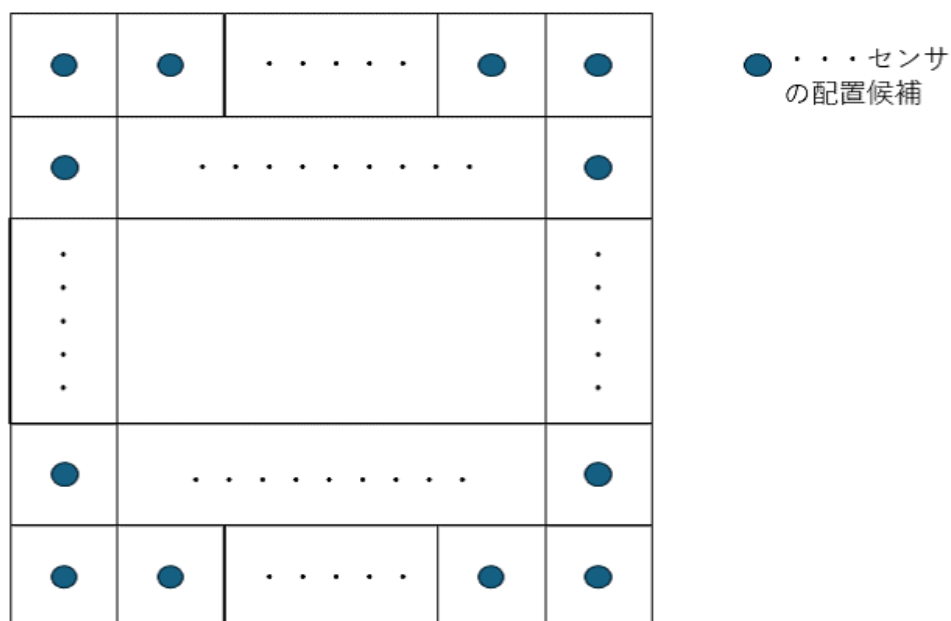


図 4.1: haiti

第5章 性能評価

5.1 評価条件

720m*720m のフィールド内で動物を歩かせている. 全体のシミュレート時間を 30 時間に設定しており, センサを追加する間隔を 1 時間に設定する. 1 秒ごとに動物を検知しているかどうか確認し, センサが動物を検知した場合, その時点でセンサの追加を止める. シミュレーションの終了条件をセンサが検知した場合と, センサが検知できずにシミュレート時間を超過した場合に設定している. 再現性を高めるために, ランダムな値の seed 値を 1 から 100 の間で 100 回シミュレーションを行う. この実験では, マイクロホンアレイの検知範囲距離 r を 3 種類と, セクターの一辺の長さ L を 4 種類で比較評価を行う. r の値は 10m, 20m, 30m の 3 種類, L の値は 30m, 40m, 60m, 120m の 4 種類を用意する.

5.2 セクターの大きさに関する比較評価

この実験では、セクターの大きさとマイクロホンセンサの検知範囲を変更させることによって、センサの最適配置について比較評価を行う。

$r = 10\text{m}$ の場合

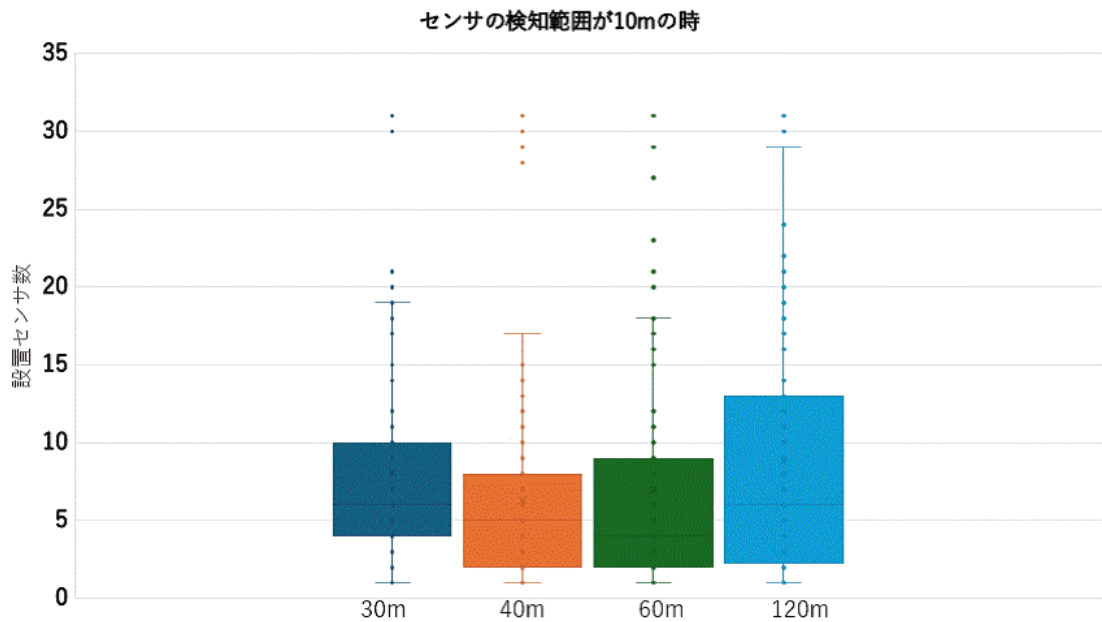


図 5.1: センサの検知範囲が 10 m

図??では、箱の大きさと髭の長さに着目すると、データのばらつきが目立つ。セクターの大きさが 30m から 60m のデータの偏りを見ると、セクターが大きいほど必要なセンサの数が減っている。120m の場合は、セクターを占める検知範囲が小さすぎるためにデータのばらつきが激しくなっている。

$r = 20\text{m}$ の場合

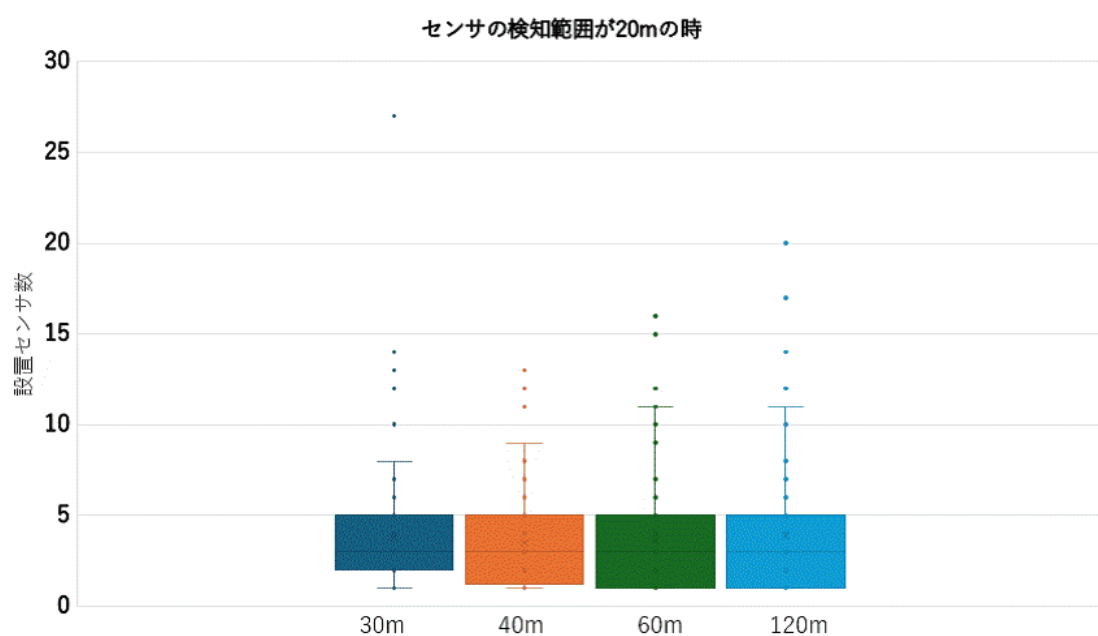


図 5.2: センサの検知範囲が 20m

図??では、箱の大きさ（データの偏り）に着目すると、セクタの大きさが大きくなるほど、より早く動物を検知しやすくなることが分かる。図??の場合と比較すると、箱が全体的に小さくなっていることから、データのばらつきが小さいことが分かり、比較的少ないセンサの数で動物を検知することができた。

$r = 30\text{m}$ の場合

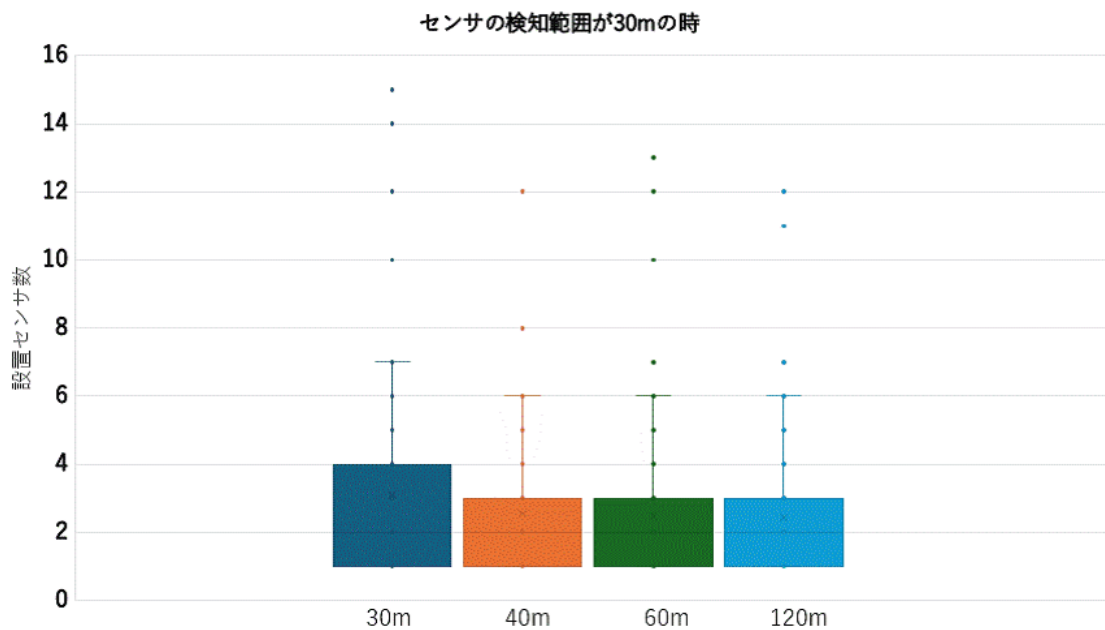


図 5.3: センサの検知範囲が 30m

図??では、箱の大きさに着目すると、セクタが大きいほど、より早く動物を検知することができる。図??の時とくらべると全体的に必要なセンサの個数が減っており、箱の大きさも小さくなっている。

これらの結果から、セクタが大きくなるほど、検知するまでに必要となるセンサの数が減っていることが分かる。しかしながら、図??と図??の結果から、セクタの大きさが 60m の場合と 120m の場合では大きな変化が見られなかったため、必要なセンサの数を減らすために、セクタの大きさを 60m 以上にする必要がないことが分かる。

5.3 マイクロホンアレイの検知範囲に関する比較評価

$l = 30\text{m}$ の場合

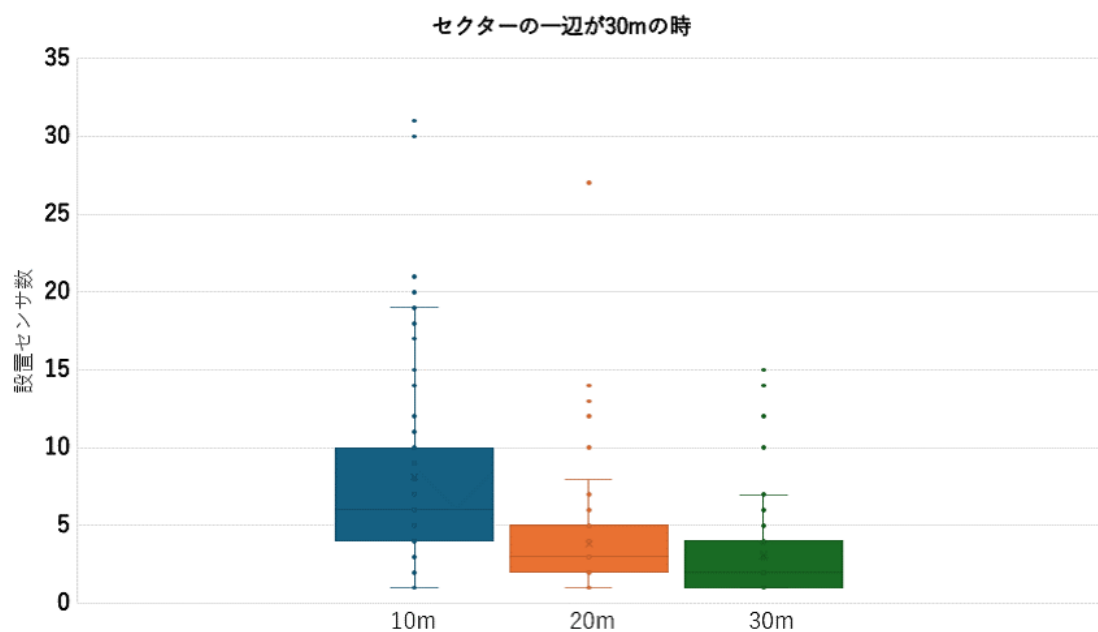


図 5.4: セクターの大きさが 30m

図??では、箱の大きさに着目すると、センサの検知範囲が大きいほど、少ない数のセンサで検知することが可能になっている。センサの検知範囲が 10m の場合、データのばらつきが目立つ。

$l = 40\text{m}$ の場合

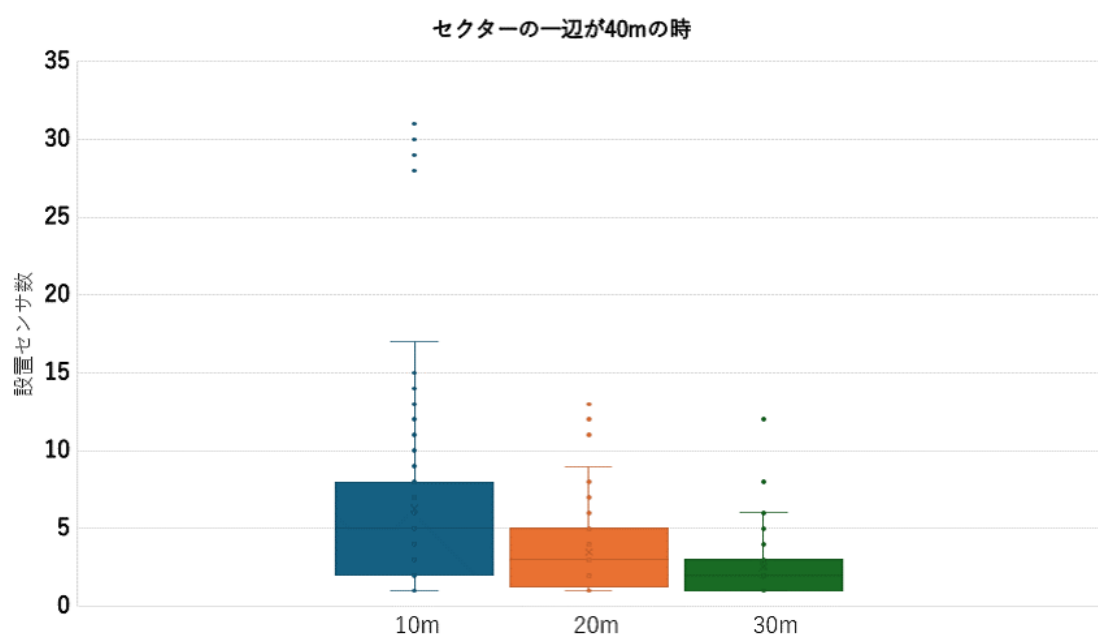


図 5.5: セクターの大きさが 40m

図??では図??と似たような結果になっている. 検知範囲が 10m の場合, 依然としてデータのばらつきが目立ってしまう. 検知範囲が 20m の場合は箱の位置が下に下がっていることから, より少ないセンサの個数で検知することが可能になっている. 検知範囲が 30m の場合は, 箱が小さくなっていることから, より少ないセンサで検知しながら, データの偏りが小さくなっている事が分かる.

l = 60m の場合

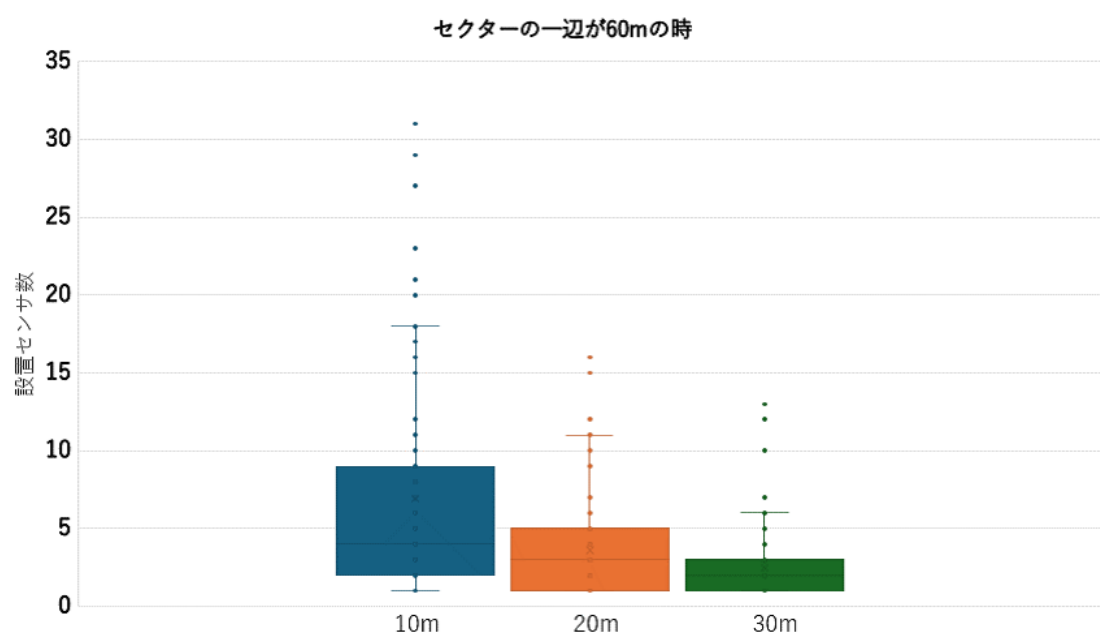


図 5.6: セクターの大きさが 60m

図??では, 検知範囲が 10m の箱に注目すると, 図??と図??の時と比べてデータのばらつきが大きくなっている. 検知範囲が 20m の箱では, 図??の場合と比べてデータのばらつきが大きくなっている.

$l = 120\text{m}$ の場合

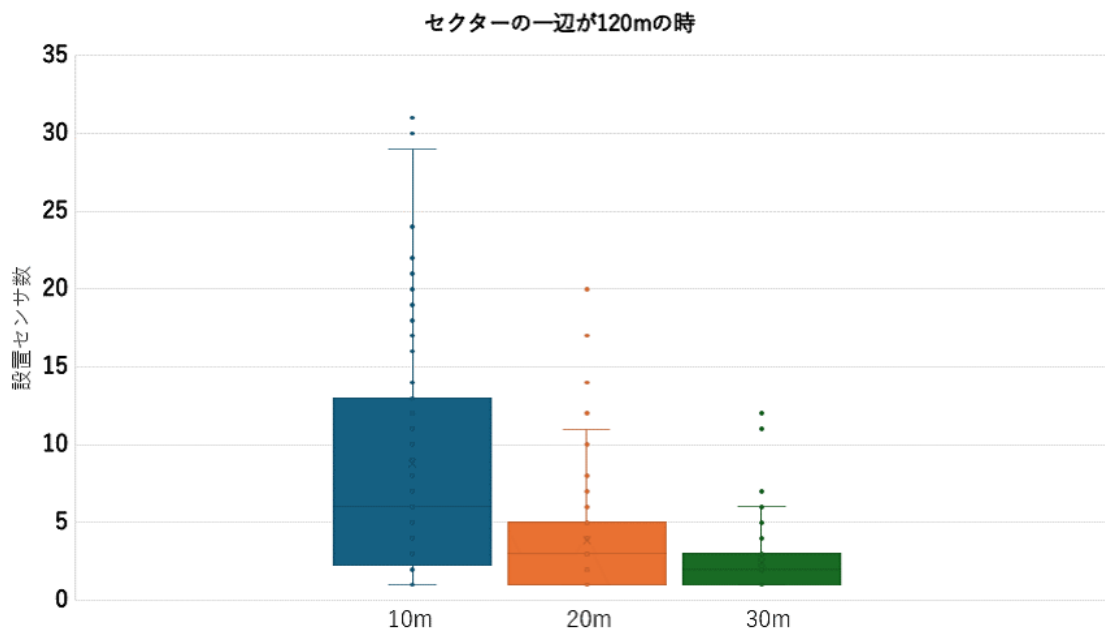


図 5.7: セクターの大きさが 120m

図??では、検知範囲が 10m の箱に着目すると、データのばらつきがより大きくなっている。それ以外では大きな変化が見られなかった。これらの結果から、センサの検知範囲が大きいほど、必要なセンサの数は少なくてすむようになっている。しかしながら、検知範囲が 10m の場合は、セクターが大きいほどデータのばらつきが激しくなるため、セクターの大きさと検知範囲の大きさの関係について注意しなければならない。

半径 r とセクタの一辺 L 、どちらのパラメータも検知するために必要なセンサの数を抑えることには成功しているが、大きな変化が見られたのはセンサの検知範囲に関してである。

第6章 まとめ

害鳥獣の被害を抑えるために、マイクロホンアレイを用いた監視システムについて検討を行った。シミュレーションにより、セクターを大きくすることによって、センサの配置数を抑えることができた。同様にセンサの検知範囲が大きいほど、センサの配置数を抑えられることができた。この研究では障害物の存在や、傾斜などの地形を考慮しない、簡易的な状況を基に作製されている。今後は、パラメータの変化にバリエーションを増やしつつ、障害物による動物の迂回経路やセンサの配置方法についてより具体化した条件での研究に臨みたいと思う。

謝辞

本研究を行うに当たり，ご指導を頂いた上山教授と福岡大学の三角助教に感謝します．
また，有益な議論をして頂いた研究室の皆様に感謝します．

参考文献

- [1] https://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/hogai_zyoukyou/index.html
- [2] 中島 彩菜, 奥 浩之, 茂木 和弘, 白石 洋一, ” 深層学習と動体検出を組み合わせた動画からの害獣認識手法 ” , 産業応用工学会論文誌, vol.9, No.1, pp.38-45(mar.2021)
- [3] Makoto Misumi, Masashi Naoe, Noriaki Kamiyama, “ Activity-Monitoring System for Harmful Wildlife Using WuR Multi Stage Sensor Array ”
- [4] 電子情報通信学会, ” 音源定位 ” , 知識の森
- [5] Mejri Ikbel, MohamedHechmi Jeridi, Tahar Ezzedine, ” Optimizing Sensor Node Placement for Forest Fire Prevention Using Clustering and Regression ” , 2023 22nd Mediterranean Microwave Symposium (MMS)