

農業農村地域におけるDXに係る人材育成に関する
調査検討業務

報 告 書

令和5年3月

公益社団法人 農業農村工学会

はじめに

本報告書は、一般社団法人農業農村整備情報総合センターから委託を受けた「農業農村地域における DX に係る人材育成に関する調査検討業務」の報告書である。

政府が掲げるデジタル田園都市国家構想や農水省が推進する農業農村における情報通信環境整備事業など、農業農村地域における DX が求められている。一方、都市住民は過去2年間の新型コロナウイルスの感染拡大や頻発する地震・水害などのリスクを避けて農業農村地域の価値を見直しつつある。こうした状況を鑑みると、我が国はデータやデジタル技術を農業農村地域に適用しつつ、テレワークが可能な超高齢化社会に備える必要がある。

しかしながら、こうした視点で DX を正しく理解し、具体的な推進方策を提案できる人材が圧倒的に不足している。そこで、「現場ニーズを理解しながらデジタル技術を使いこなせる人材発掘を目指し、農業農村地域における DX のあり方に係る調査等について調査検討を委託し、その成果を農業農村整備情報総合センターの業務に資する。」ことを目的として検討を行うものである。

業務の実施にあたり様々な情報と検討を提供いただいた農業農村工学会農業農村情報研究部会の東京大学教授溝口勝部会長を始め関係者に厚く御礼申し上げます次第である。

令和5年3月
公益社団法人 農業農村工学会

農業農村地域における DX に係る人材育成に関する調査検討業務実施要領

1. 目的

政府が掲げるデジタル田園都市国家構想や農水省が推進する農業農村における情報通信環境整備事業など、農業農村地域における DX が求められている。

一方、都市住民は過去2年間の新型コロナウイルスの感染拡大や頻発する地震・水害などのリスクを避けて農業農村地域の価値を見直しつつある。こうした状況を鑑みると、我が国はデータやデジタル技術を農業農村地域に適用しつつ、テレワークが可能な超高齢化社会に備える必要がある。

しかしながら、こうした視点で DX を正しく理解し、具体的な推進方策を提案できる人材が圧倒的に不足している。そこで、現場ニーズを理解しながらデジタル技術を使いこなせる人材発掘を目指し、農業農村地域における DX のあり方に係る調査等について調査検討を委託し、その成果を農業農村整備情報総合センターの業務に資する。

2. 調査検討の内容

- (1) 農業農村地域における DX のあり方に係る調査
- (2) 農業農村 DX のモデル地域の実態と可能性に係る調査
- (3) DX を活用した農業農村整備事業の展開に係る調査

3. 調査検討の進め方

- (1) 農業農村工学会の諸活動との関連性に留意して調査検討を進める。
- (2) 農林水産省の政策との関連性に留意して調査検討を進める。

4. 打合せ

受託者は、事業を円滑に遂行するため、必要に応じて委託者と打合せを行うものとする。

5. 成果物

- (1) 業務報告書一式：電子媒体（DVD 又は CD）2部
- (2) 提出先：一般社団法人 農業農村整備情報総合センター

6. 履行期限

令和5年3月15日

目次

1. 農業農村地域における DX のあり方に係る調査	1
2. 農業農村 DX のモデル地域の実態と可能性に係る調査	30
3. DX を活用した農業農村整備事業の展開に係る調査	
(1)WiFi と LoRa 二重無線通信網の構築と農山村地域モニタリング	56
(2)PIR カメラを用いた中山間地域における動物モニタリング手法の開発	134
4. あとがき	178

1. 農業農村地域における DX のあり方に係る調査

(1) 農業農村工学分野における DX に関する認識

2020 年末に閣議決定された「デジタル社会の実現に向けた改革の基本方針」において、デジタル社会の将来像、IT 基本法の見直しの考え方等が政府方針として示された。デジタル改革が目指すデジタル社会のビジョンとして掲げられたのは、「デジタルの活用により、一人ひとりのニーズに合ったサービスを選ぶことができ、多様な幸せが実現できる社会」であり、「誰一人取り残さない、人に優しいデジタル化」である。デジタル化は目的ではなく手段に過ぎない。大切なのは、デジタル技術により新たに可能となることが農業の営みを持続的なものとしその恵みが国民に安定的に供給されること、農村に暮らす一人ひとりの幸せに結び付くことである。この点は、DX を考える際には押さえておきたい。

人口減少社会に入り、産業競争力の低下や地域社会の活力低下が懸念されるわが国において、ロボット、AI、IoT など社会のあり方に影響を及ぼすデジタル技術が急速に進行する中で、政府は「Society 5.0」を提唱した。サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する社会を築こうというのだ。自動走行車、ドローン宅配、遠隔医療等の技術により、少子高齢化、地方の過疎化といった現代社会が抱える課題を克服しようとする試みがその一端である。

農業分野においても、食料・農業・農村基本計画（令和 2 年 3 月 31 日閣議決定）において、農業の DX の推進が盛り込まれた。農業者の高齢化や労働力不足に対応しつつ、生産性を向上させ、農業を成長産業にしていくためには、デジタル技術の活用により、データ駆動型の農業経営を通じて消費者ニーズに的確に対応した価値を創造・提供していくというのがその内容である。

特に、わが国が人口減少社会に移行する中で、現場の課題である生産性の向上と人手不足を、ロボット、AI、IoT 等の先端技術で解決する「スマート農業」が新しい農業の形として期待されている。

こうした中で、農業・農村が抱える課題の解決に向けては、デジタル技術を駆使した農業農村工学分野の DX も当然のことながら求められており、その範囲は広く多岐にわたる。

まず、全国に張り巡らされた農業水利施設の維持管理におけるデジタル技術による省力化と効率化を進める必要がある。水源から用排水路、圃場までをつなぐ流域レベルの監視・観測ネットワークの構築、リアルタイムの降雨予測、予測結果に基づく自動制御など、全体の水利調整、水利用が省力化されながらも、圃場の水需要にきめ細かく対応できる体制構築が目指す姿であろう。これに加え、施設変状の画像解析、AI やロボットを用いた機能診断技術は施設の機能維持に欠かせない。

次に、農地基盤データの活用によるスマート農業の展開であろう。これまでも ICT を活用してスマートフォン等で遠隔から操作する水管理システムの構築に取り組んできたが、今後は、情報化施工等により得られる 3 次元データを活用して、自動走行農機等の先端技術による作業の自動化により規模拡大を図るとともに、熟練農家の匠の技を若手農家に継承することが可能となる。また、センシングデータ等を活用することで、農作物の生育や病

害を正確に予測し、高度な農業経営が可能となる。省力化を図りつつ、次世代への技術継承と安定的に利益を出せる農業の展開を目指す取組みが重要と言えるだろう。

3 番目に、地域資源を活用した快適で利便性の高い自立分散型の農村を実現するためのデジタル技術の活用である。この際、地域の活性化やスマート農業の実装を促進すると同時に、光ファイバ、無線基地局等の情報通信施設の整備が不可欠となる。

4 番目に、安全・安心な農村を目指し、防災・減災、災害時から災害復旧まで迅速に対応できるようデジタル技術の活用を加速化していく必要がある。決壊時に人的被害を与えるおそれがある農業用ため池等の点検管理アプリの開発・普及等の防災・減災対応に加え、3次元測量等を活用した被害状況の把握、遠隔地からの技術支援・災害査定と災害復旧事業の申請手続のオンライン化を組み合わせた災害復旧事務のシステム化といった方向性が考えられる。

5 番目に、建設生産システム全体の生産性向上を図り魅力ある建設現場を目指す「i-Construction」の加速化である。農業農村整備事業においても、ICT を活用した情報化施工や建設プロセス全体（調査・測量・設計から施工、維持管理に至るまでの一連の過程）を通じての3次元データ活用に関する技術の開発や普及が進んでいる。今後は、調査・測量・設計、施工、維持管理の各段階において情報を充実させながら、BIM/CIM モデルを連携・発展させ、併せて事業全体にわたる関係者間の情報共有を容易にすることで、一連の建設生産・管理システム全体の効率化・高度化を図ることが求められる。

そして、最後に、これら DX を支えるデータ活用環境の実現に不可欠なデータプラットフォームの構築である。農業・農村に関するデータの使用目的に応じ、必要となるデータの項目、解像度、取得頻度、通信速度等を定めた上で、データを取得、作成および蓄積するシステムの構築、農業者を含む誰もが自由にアクセス可能でデータ分析等に活用できるデータのオープン化が望まれよう。このデータプラットフォームは、「Society 5.0」を具現化する、サイバー空間とフィジカル空間をつなぐデジタルツインの実現に不可欠な要素であり、特に重要な取組みとなるだろう。

このように多岐にわたる農業農村工学分野の DX の取組みは、今まで以上に多様な分野からの人材の参画、知見の活用など、迅速できめ細やかな連携が重要である。

（2）農業農村整備に関する技術開発計画における DX の扱い

2021年11月に定められた「農業農村整備に関する技術開発計画」では、前記した趣旨が盛り込まれている。その概要を次ページに示す。

農業農村整備に関する技術開発計画

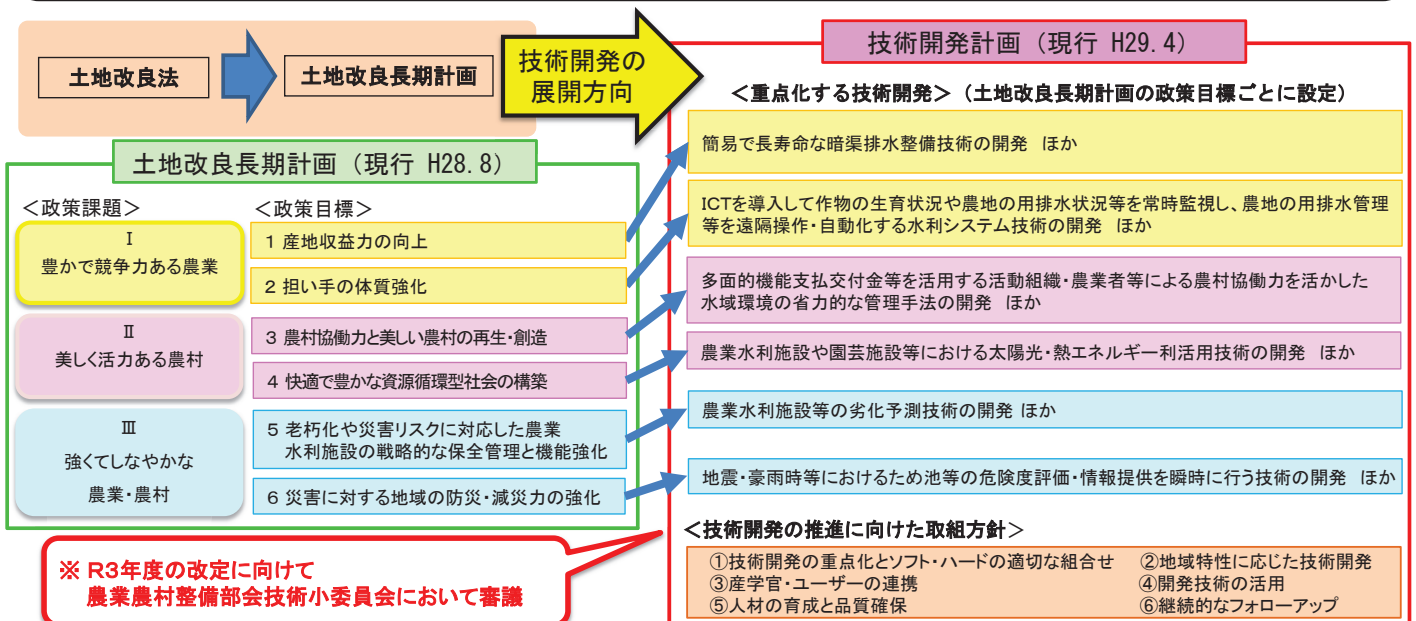
策定の概要

農村振興局
令和3年11月
農林水産省

1. 技術開発計画の概要 (1) 技術開発計画の位置付け

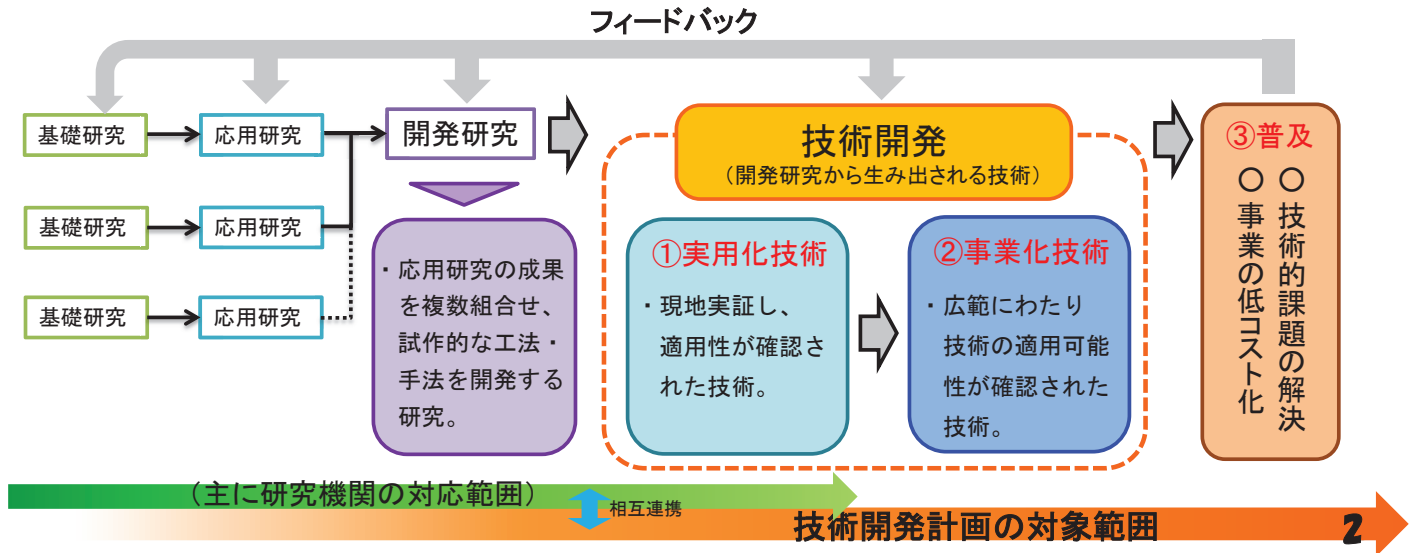
1

- 農業農村整備に関する技術開発計画(以下、「技術開発計画」という。)は、土地改良長期計画の政策目標の達成に向けて、実用性に富み、社会に貢献し得る技術開発を推進する観点から、生産基盤の整備等を通じた農村の振興に必要な技術開発の推進方向と具体的方策を取りまとめるもの。
- 技術開発計画の方向性に沿って、国が先導し、大学、試験研究機関、企業等の技術開発を促進。
- H29. 4に策定された現行の技術開発計画(計画期間:H29~R3)について、新たな土地改良長期計画(令和3年3月23日閣議決定)を踏まえつつ、R3年度改定に向けて検討してきたところ。



1. (2) 技術開発計画の対象範囲

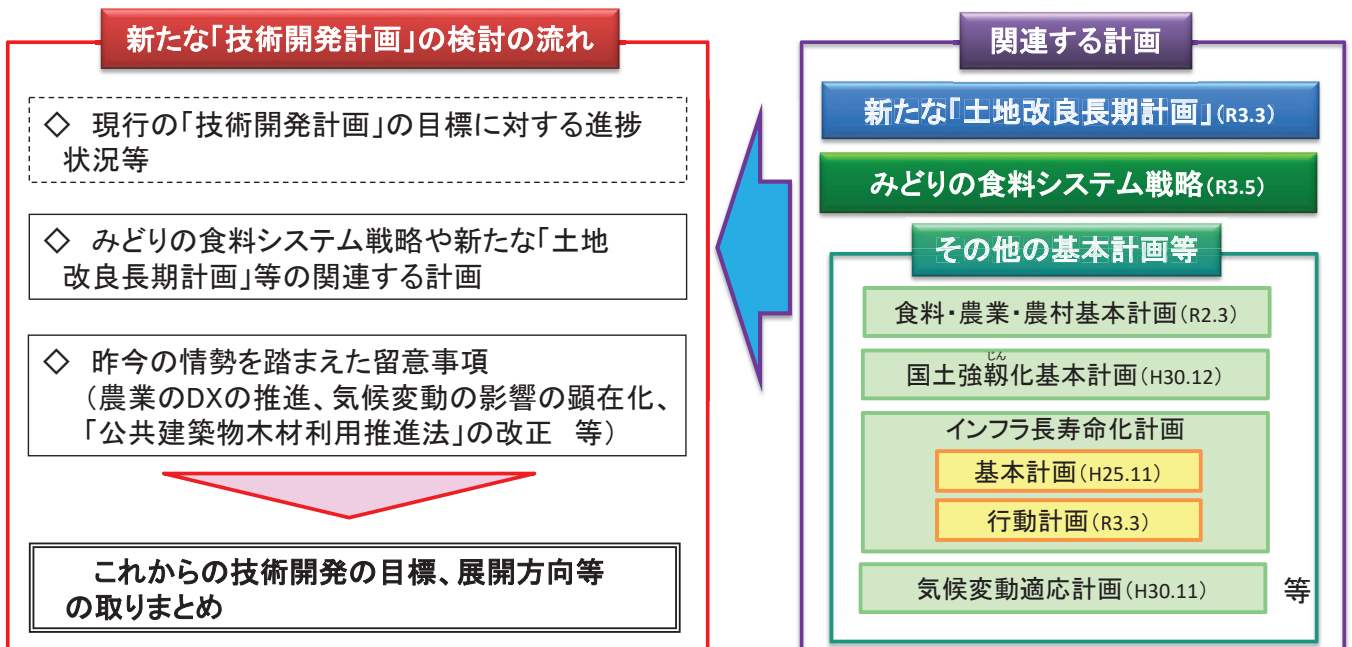
- 一般的に技術の開発は、その目的と進捗段階に応じて、基礎研究、応用研究、開発研究、技術開発の順で展開され、最終的に活用可能な技術となる。
- 技術開発計画の主な対象範囲として、基礎、応用及び開発研究を行う研究機関と密に連携しながら、
 - ① 既に開発している技術の実用化を図る「実用化技術」の開発
 - ② 実用化技術の現地適用上の課題やコスト的な問題を解決し、より広範に活用を図る「事業化技術」の開発
 - ③ 事業の低コスト化や技術的課題の解決を図った上で、開発された技術の普及を設定し、技術開発を推進。



1. (3) 新たな「技術開発計画」の策定に向けた検討

3

- 検討に当たっては、次の3つの事項を整理。
 - ① 現行の「技術開発計画」の目標に対する進捗状況等
 - ② みどりの食料システム戦略や新たな「土地改良長期計画」等の関連する計画
 - ③ 昨今の情勢を踏まえた留意事項
- これらを踏まえ、これからの技術開発の目標や展開方向を取りまとめ、新たな「技術開発計画」を策定。



土地改良長期計画（令和3～7年度）全体概要

～ 持続的に発展する農業と多様な人が住み続けられる農村の実現に向けて ～

農業・農村をめぐる情勢の変化

- 新型コロナウイルス感染症の拡大
 - ・ デジタル化やオンライン化の流れ
 - ・ 都市過密、一極集中の危険性
 - ・ リモートサービスの活用
 - ・ 新しい技術を活用できる人材の不足等
 - ・ 都市と農村の往來の停滞
- Society5.0^{※1}の実現に向けた取組
 - ・ 農業のデジタルトランスフォーメーション（デジタル技術の活用による農業の変革）の推進
 - ・ スマート農業の加速化
- 農業・農村の抱える課題と農村の再評価
 - ・ 少子高齢化・人口減少による農業者の減少と農村集落機能の低下
 - ・ 農業生産基盤の脆弱化
 - ・ 田圃回帰による人の流れが継続するなど農村の持つ価値や魅力の再評価
- 大規模自然災害の頻発化・激甚化
 - ・ TPP、EIU・EPA、日米貿易協定、RCEP協定等新たな国際環境
 - ・ 農林水産物・食品輸出の戦略的推進 → 2030年の農林水産物・食品の輸出額5兆円目標の達成を目指す
- SDGs（持続可能な開発目標）に対する関心の高まり

農業・農村に関わる政府の方針

食料・農業・農村基本計画

- ・ 食料自給率の向上と食料安全保障の確立、農業生産基盤整備の効率的な推進、事前防災の推進、災害対応体制の強化、農業水利施設の新機軸化、ため池の適正な維持管理

国土強靱化基本計画

- ・ ハード対策とソフト対策を合わせた防災・減災対策強化、地域コミュニティ等による地域資源の保全管理

経済財政運営と改革の基本方針

- ・ インフラ老朽化対策の加速、ため池の整備、利水ダムを含む既存ダムの洪水調節機能の強化、国土強靱化の取組の加速化、深化、農林水産業を成長産業にするため、土地改良事業を推進

成長戦略フォローアップ

- ・ 農地の大区画化や汎用化など農業競争力の強化、ため池や農業水利施設等の強靱化対策、スマート農業の推進

農業・農村が目指すべき姿

- 人口減少下で持続的に発展する農業
- 多様な人々が住み続けられる農村

新しい時代が到来する中での土地改良事業

- コロナの時代の「新たな日常」の実現
 - ・ デジタル化・オンライン化の推進
 - ・ 一極集中の遠征、地方移住の機運増加を踏まえた田圃回帰や関係人口の創出・拡大
- Society5.0^{※1}の実現
 - ・ 農業のデジタルトランスフォーメーション（デジタル技術の活用による農業の変革）の推進
 - ・ スマート農業の加速化
- SDGs（持続可能な開発目標）への貢献
 - ・ SDGsの達成への貢献を通じた国民理解の醸成
 - ・ 食料・農林水産業の生産力向上と持続性の高立をイノベーション（技術革新）で実現させる「みどりの食料システム戦略」の推進

土地改良事業の推進に当たり踏まえるべき事項

- 中山間地域を含めた農村地域におけるスマート農業の実装
 - ・ スマート農業に対応した基盤整備
 - ・ 施設の保全管理の省力化・高度化
- 農業者の高齢化・減少への対応
 - ・ 農作業の省力化
 - ・ 農業水利施設のスツック（量と規模）適正化
- 農業・農村の多様性への配慮
 - ・ 多様な地域条件、富農形態、輸出を含む国内外の需要に応じた事業の推進
 - ・ 地域資源の保全と活用
- 防災・減災対策の強化
 - ・ ハード、ソフト対策による事前防災の徹底
 - ・ 農地、農業水利施設を活用した「流域治水」の取組の推進
- 気候変動、SDGsなど地球規模課題への対応
 - ・ SDGsの達成に資する取組の推進

政策課題1：産業政策の視点
生産基盤の強化による農業の成長産業化

政策課題2：地域政策の視点
多様な人が住み続けられる農村の振興

政策課題3：農業・農村の強靱化
両政策を支える視点

大規模自然災害への対応

1. 東日本大震災からの復旧・復興
2. 大規模自然災害への備え

計画の円滑かつ効率的な実施に当たって必要な事項（横断的事項）

1. 土地改良区の運営体制の強化
2. 関連施策や関係団体との連携強化
3. 技術開発の促進と普及、スマート農業への対応
4. 人材の育成
5. 入札契約の透明性、公平性及び競争性の向上と品質確保の促進
6. 国民の理解促進

※1 第5期科学技術基本計画において提唱された、情報社会（Society4.0）に続く人工知能等を活用した新たな社会

2. 新たな技術開発計画の構成

○ 新たな技術開発計画は、技術開発が切り拓く未来像である「農業・農村が目指すべき姿」、重点的に取り組むべき方針や留意事項からなる「目指すべき姿の実現に向けた取組事項」、政策目標ごとの「技術開発の実施内容」等から構成。

新たな「技術開発計画」の構成

1 はじめに 計画期間：令和3年度から7年度までの5年間

2 技術開発計画を取り巻く現状と課題及び今後の方向性 農業・農村の生産力の向上と持続性の両立をイノベーションで実現

3 農業・農村が目指すべき姿 技術開発により実現を目指す未来像として提示し、6枚のイメージ図に集約

① スマート農業の推進による生産性・持続性の高い農業	④ 地域資源を活用した快適で利便性の高い自立分散型の農村
② 誰もが参加できる多様な農業	⑤ デジタル技術の活用により管理・更新が省力化・効率化された農業水利施設が支える農業
③ 中山間地域の特性を生かした暮らしとなりわいが持続的に営まれる農村	⑥ 防災・減災対策が行われ、災害時から災害復旧まで迅速に対応できる安全な農村

4 目指すべき姿の実現に向けた取組事項

(1) 重点取組事項

- ① スマート農業推進のための基盤整備
- ② 技術開発を促進するための仕組みづくり
- ③ 幅広い技術者及び研究者の確保と育成

(2) 留意すべき事項

- ① 気候変動、カーボンニュートラル、SDGsなど地球規模の課題への対応
- ② 幅広い分野・世代の人材への広報
- ③ 産学官の現場レベルからの連携
- ④ 社会実装に向けた取組の強化
- ⑤ ユニバーサルデザインの推進
- ⑥ 継続的なフォローアップと評価の実施

5 技術開発の実施内容

- 政策課題1 産業政策
- 政策課題2 農村政策
- 政策課題3 農業・農村の強靱化

重点化する技術開発テーマの提示

3. 技術開発計画を取り巻く現状と課題及び今後の方向性

(1) 技術開発計画を取り巻く現状と課題

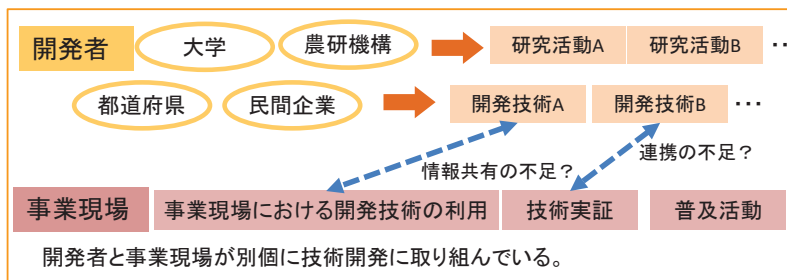
- 現在の技術開発に求められるものや技術開発の環境は大きく変容。
- 農業農村整備事業の実施に当たって、幅広い分野・世代の人材が参画できる環境を作ること、様々な主体の取組を促進し、連携を強化していくこと、農業のデジタルトランスフォーメーション(DX)※により生産性を高めていくことが必要。
- 農業・林業・その他の土地利用由来の温室効果ガスの排出も一因となっている気候変動、生産基盤の脆弱化、地域コミュニティの衰退など、食料・農林水産業が直面する課題への対応が重要。

現状

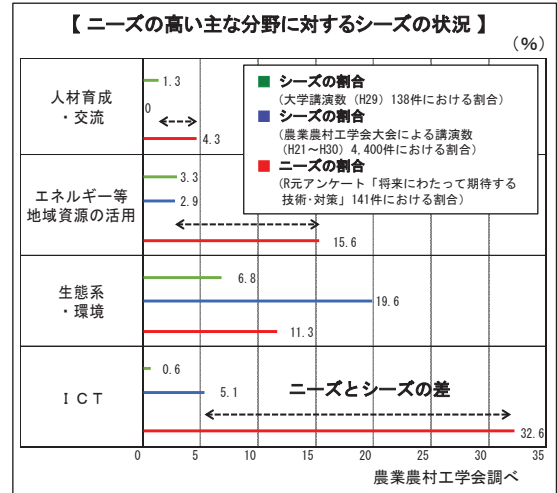
- ・ 新型コロナウイルス感染症の拡大
- ・ IoT、ロボット、AIなどの技術革新
- ・ 従来の居住形態や人が密集する働き方の見直し、生産・消費の変化
- ・ 技術開発の高度化や手法の多様化

課題

- ・ 事業現場の研究段階における実証等への参画が不十分で、社会実装や普及が迅速に進まない
- ・ 現場のニーズが高いものの対応する技術シーズが不足する分野がある



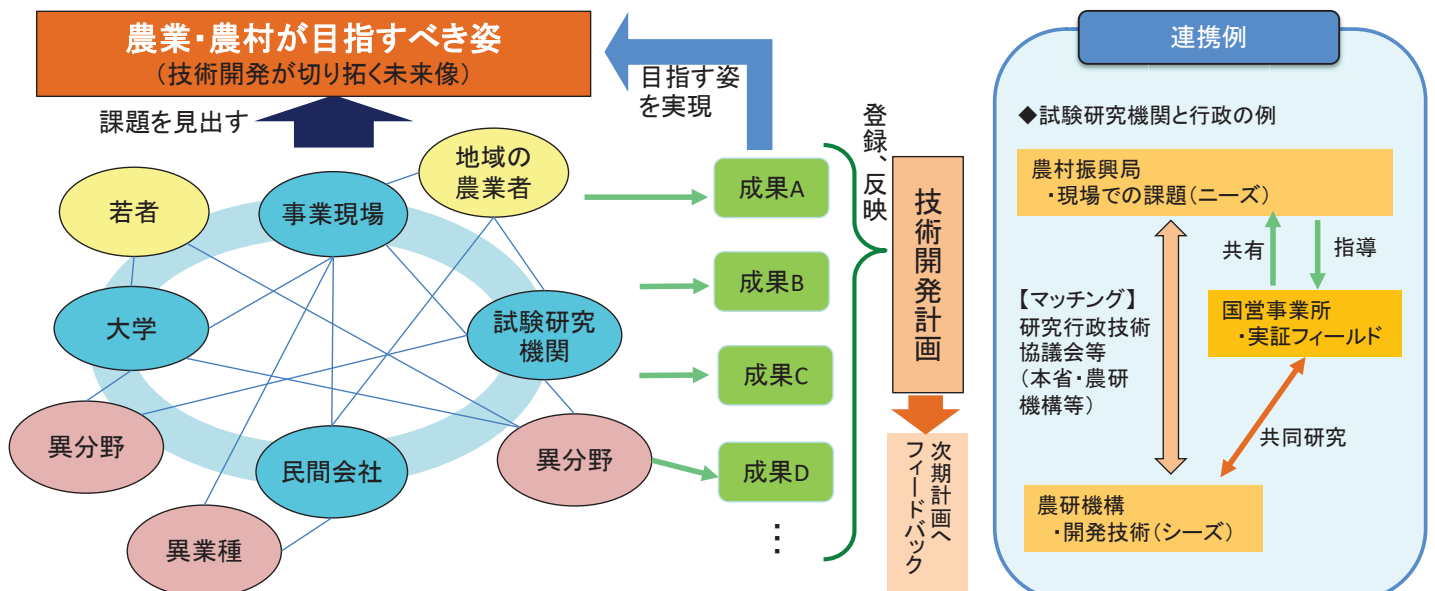
※デジタルトランスフォーメーション(DX)とは？
デジタルテクノロジーを駆使して、経営や事業の在り方、生活や働き方を変革すること
(Digital(状態を数字で表現) trans(X)(変えて/超えて/反対側の)-formation(形作ること))



3. 技術開発計画を取り巻く現状と課題及び今後の方向性

(2) 技術開発計画に関する今後の方向性

- 脱炭素・環境負荷軽減の推進、イノベーション等による持続的生産体制の構築、持続可能な農山漁村の創造等に資する技術の開発を指向。
- 様々な分野や機関が参加し、連携を強化することで、技術開発を加速できるような参加型・共同型のオープンイノベーションの取組を推進。
- 「農業・農村が目指すべき姿」を提示し、これに内在する技術課題を研究者や技術者等が自ら見出し、革新的な技術開発に取り組む共通認識を醸成。



4. 農業・農村が目指すべき姿

○ 土地改良長期計画で掲げられた農業・農村が目指すべき姿を技術的な視点から具体化し、技術開発により実現を目指す未来像として提示し、6枚のイメージ図(別添資料)に集約。

土地改良長期計画の「農業・農村が目指すべき姿」

人口減少下で持続的に発展する農業

- 必要な農業労働力、農地面積、農業技術を確保
- 農業の有する自然循環機能の維持増進

多様な人が住み続けられる農村

- 農業生産活動が行われる現場
- 農業者を含む多様な人々が日常生活を営む生活基盤

土地改良事業が下支え

技術的視点から具体化

農業・農村が目指すべき姿		
タイトル	ターゲット	コンセプト
1 スマート農業の推進による生産性・持続性の高い農業	> 農業者	> 農業のインフラ環境をデジタル化により改革し、 スマート農業を推進 することで儲かる農業、持続可能な農業を実現
2 誰もが参入できる多様な農業	> 農業への新規参入者 > 後継者不足の農業者	> 新規参入者の創意工夫 に合わせて農業を始めたり、経営拡大が可能な環境整備 > 経営形態に合わせた機能的な農地を整備
3 中山間地域の特性を生かした暮らしとなりわいが持続的に営まれる農村	> 中山間地域(条件不利地)の農業者	> 中山間の地形や資源を生かした基盤を整備 > 地域を一体的に整備 することで、魅力的な地域をつくる
4 地域資源を活用した快適で利便性の高い自立分散型の農村	> 非農家の農村居住者 > 農村外関係人口	> 農村の 通信環境 の整備、 エネルギー的自立 > 様々な立場の人が地域の価値を見出し、地域資源を活用し、活発に交流する
5 デジタル技術の活用により管理・更新が省力化・効率化された農業水利施設が支える農業	> 土地改良区や市町村の技術者(施設管理者)	> 農業水利施設のBIM/CIM活用 、ICT等を用いて農業水利施設の管理・更新を省力化 > 機能診断、長寿命化によりライフサイクルコストを縮減
6 防災・減災が行われ、災害時から災害復旧まで迅速に対応できる安全な農村	> 全般(都市居住者含む)	> 安全・安心な農業、農村生活 が可能 > 下流の市街地の防災にも寄与

5. 目指すべき姿の実現に向けた取組事項 (1)重点取組事項

①スマート農業推進のための基盤整備

- **スマート農業を推進するための基盤整備が不可欠。**
- **取組内容**
 - > **スマート農業の土台となるほ場とその周縁、情報基盤に関する技術開発の促進**
 - > **ほ場の水需要にきめ細かく対応できる自動制御技術を活用した水管理システムの整備**
 - > **農地や農業水利施設はもとより、地域資源に関する情報を含む農村に関する包括的なオープンデータプラットフォームの整備**

遠隔監視による無人自動走行システムの実演

走行シミュレーション

▲基盤整備時に得られた座標データを農機の走行経路作成に活用

遠隔監視モニタ

▲車両や周辺情報を基地局から遠隔監視

情報基盤の整備(イメージ)

データの標準化、互換性の確保

データベース化

データ活用

無線等による情報ネットワーク環境を整備

(無人草刈機)

(ドローン)

(自動走行農機)

(自動給水栓)

教育(遠隔地授業)

遠隔医療・福祉

テレワーク等

▲ほ場進入路

▲自動走行に適したほ場進入路の傾斜・幅員を設計

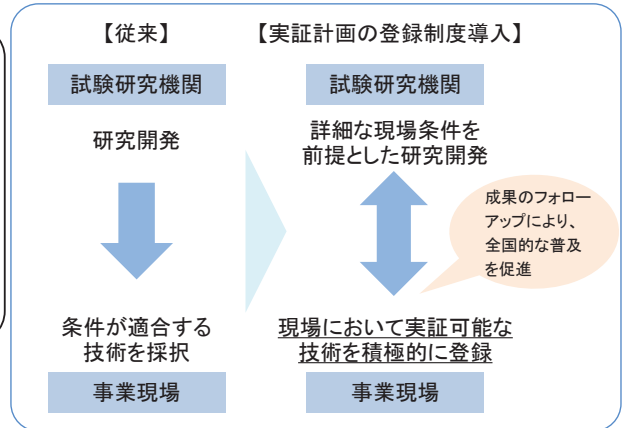
▲野上農林水産大臣も視察

5. 目指すべき姿の実現に向けた取組事項 (1) 重点取組事項

② 技術開発を促進するための仕組みづくり

- 技術開発の研究者だけではなく、地域の多様な関係者が一体となって現場実証の実例を増やし、開発意欲を醸成。
- 取組内容
 - 事業現場で取り組む新技術の実証計画を登録する仕組みを構築
 - 現場技術者の業務効率化、開発された技術を共有できるシステム等の検討

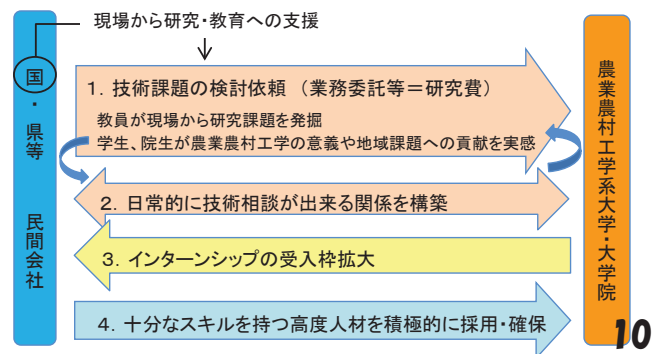
◆事業現場からの実証計画の登録



③ 幅広い技術者及び研究者の確保と育成

- 国、地方公共団体、土地改良区等の技術者や若手研究者の減少。→幅広い分野・世代から現場及び研究開発を支える人材を確保し、育成する必要。
- 取組内容
 - 農業農村工学系の高等学校や大学からの参画促進
 - デジタル技術を含む農業農村工学以外の分野の技術者及び研究者との交流等推進
 - 農業農村工学の技術者に対する研修の充実等

◆大学・大学院からの参画促進例



5. 目指すべき姿の実現に向けた取組事項 (2) 留意すべき事項

① 気候変動、カーボンニュートラル、SDGsなど地球規模の課題への対応

気候変動

気候変動の影響が様々な面で現れており、これらの影響を緩和し適応していくための対策が必要。

- 取組内容
 - ため池の防災・減災対策、排水機場、排水路等の整備による農地の湛水防止、災害時の施設被災状況の可視化・共有等のソフト対策に資する技術開発
 - ※流域治水の視点に留意
 - 農業水利施設等のICTを活用した計画的・効率的な補修・機能強化

カーボンニュートラル

温室効果ガスの排出を抑制する脱炭素の取組の推進が必要。

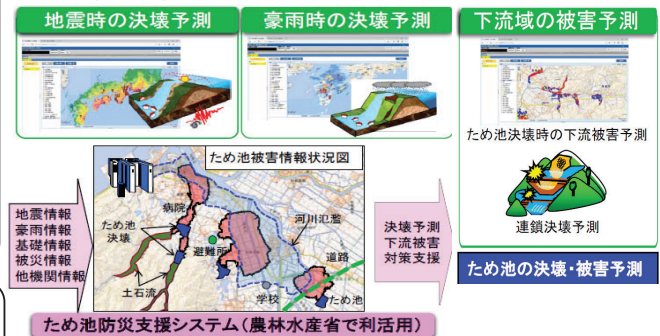
- 取組内容
 - 地域資源を活用した小規模発電や熱供給等に係る技術開発、農業水利施設の建築物における木材利用の推進

SDGs

SDGsの実現に向けて、自然資本及び環境に立脚した農業・農村が果たす役割は大きい。

- 取組内容
 - 食料の安定供給及び農業の持続的発展 (SDGs目標2に貢献)
 - 農業・農村における再生可能エネルギーの導入 (目標7)
 - 気候変動への適応力強化 (目標13) ➢ 農業用水の効率的な利用 (目標6)
 - 生態系サービスの視点からの評価・保全手法の検討 (目標15)

◆ため池防災支援システム



◆再生可能エネルギーシステムの例



5. 目指すべき姿の実現に向けた取組事項 (2)留意すべき事項

② 幅広い分野・世代の人材への広報

○ 取組内容 将来の農村を担っていく幅広い分野・世代の人材を巻き込む。

- 動画コンテンツ、SNS等を用いた農業・農村の魅力発信
- 国、地方自治体、地域の土地改良区、技術者、研究者等が連携して必要な技術情報を発信



③ 産学官の現場レベルからの連携

○ 取組内容

- 地域の農業者、技術者：課題の抽出、技術の導入・改良の提案
- 大学や企業の研究者：新たな技術の組合せ、試行、実証

○ 現場技術者から研究者への受託研究、共同研究など多様な接点を活用。

○ 国は官民連携新技術研究開発事業等を活用して支援。

④ 社会実装に向けた取組の強化

○ 取組内容

- 農林水産省：自ら定める基準類に新技術を速やかに反映するための仕組みを検討
- 研究者、事業現場等：安価な既存技術の組合せによる低コスト化、農業者に応じたユーザーインターフェースの開発

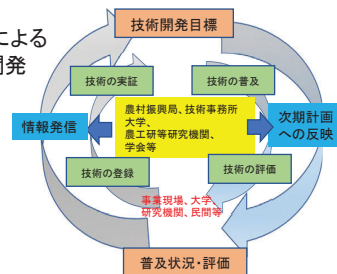
⑤ ユニバーサルデザインの推進

○ 誰でも働きやすく暮らしやすい農業・農村の創造に向けて、取組を一層推進。

⑥ 継続的なフォローアップと評価の実施

○ 本技術開発計画の実効性を高めるため、技術開発・普及の状況のフォローアップ、情報共有、計画の達成度の評価に取り組む。

PDCAサイクルによる
継続的な技術開発



12

6. 技術開発の実施内容 (1)政策課題1:生産基盤の強化による農業の成長産業化 13

土地改良長期計画

政策課題1 生産基盤の強化による農業の成長産業化

～ 産業政策の視点～

政策目標1 担い手への農地の集積・集約化、スマート農業の推進による生産コスト削減を通じた農業競争力の強化

政策目標2 高収益作物への転換、産地形成を通じた産地収益力の強化

◆ 自動走行農機等の導入に対応した基盤整備



重点化する技術開発テーマ

【スマート農業の実現に資する基盤整備技術】

○スマート農業導入に適した農業基盤整備に資する技術
(例：自動走行農機に適した形状のほ場、ほ場周縁、進入路の計画・整備手法)

○条件不利地へのスマート農業導入の可能性の検証や基盤整備に資する技術

○ICTを活用した環境負荷低減や低投入型の農業の実践に資する技術
(例：生育環境の監視、制御、保全技術)

【農業の高収益化に資する基盤整備技術】

○水田の汎用化・畑地化に資する整備技術
(例：簡易で効率的な暗渠排水の整備)

○畑地、樹園地のかんがい設備等の改良・普及
(例：傾斜地における低コストかつ省エネルギーの点滴かんがいシステムの開発)

【効率的な営農を支える基盤整備技術】

○農業基盤整備の効率化・低コスト化に資する技術
(例：農地及び農業水利施設の3次元データを活用した測量・設計及び情報化施工、簡易で低コストの排水改良)

○ほ場の効率的な水管理技術
(例：ほ場・広域連携型水管理システム、ICTを備えたほ場の自動給水機・給水栓の改良・普及、漏水被害を自動的に回避するリアルタイム水制御)

6. 技術開発の実施内容 (2) 政策課題2: 多様な人が住み続けられる農村の振興

土地改良長期計画

政策課題2 多様な人が住み続けられる農村の振興 ～ 地域政策の視点 ～

政策目標3 所得と雇用機会の確保、農村に人が住み続けるための条件整備、農村を支える新たな動きや活力の創出

◆ 情報通信環境整備



◆ 鳥獣害防止技術



通電性を向上させた電気柵システムの開発
 技術「農林水産研究推進事業現場ニーズ対応型研究」PR版より



重点化する技術開発テーマ

【農村における脱炭素の推進に資する技術】

- 農業・農村における再生可能エネルギーの生産、普及 (例: 開水路に設置できる高効率な小水力発電用水車、農業用水路の熱利用)
- 農村自立型エネルギーシステムの開発
- 木造建築物の設計及び施工に係る先進的な技術や優れた建築用木材の普及推進

【農村の生活インフラの保安全管理に資する技術】

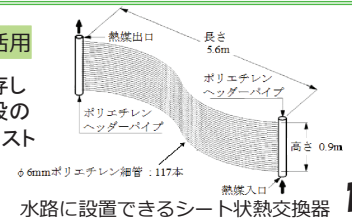
- 橋りょう、トンネル等の農道施設の点検・診断のコスト削減、省力化に資する技術
- 農業集落排水施設における平常時・非常時を通じたエネルギーの最適利用の実現に資する技術

【農村環境の保全技術】

- 効率的な鳥獣害防止技術 (例: ICTを活用した鳥獣用わな)
- 生態系サービスの保全・活用に資する技術 (例: 水路に生息する生物種の自動判別技術や簡易な個体数解析プログラム、生物種データベースの整備)
- 土地利用の最適化や荒廃農地の発生防止・解消に資する技術 (例: 景観作物の栽培や放牧等の粗放的農地利用)

◆ 農業用水のエネルギー活用

これまで購入電力に依存してきたハウス等農業施設の冷暖房等のランニングコストを削減。



14

6. 技術開発の実施内容 (3) 政策課題3: 農業・農村の強靱化

15

土地改良長期計画

政策課題3 農業・農村の強靱化 ～ 両政策を支える視点 ～

政策目標4 頻発化・激甚化する災害に対応した排水施設整備・ため池対策や流域治水の取組等による農業・農村の強靱化

政策目標5 ICTなどの新技術を活用した農業水利施設の戦略的保安全管理と柔軟な水管理の推進

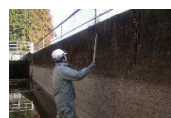
流域治水

◆ 農業用ダムの事前放流



◆ AIを活用した機能診断の効率化

現状



将来予測

- ・ 軽微な変状が見られる。
- ・ 10年後に変状が顕著になる見込みがある。



画像診断技術を活用し、写真からAIが施設の機能診断を実施

◆ 水田の活用(田んぼダム)



重点化する技術開発テーマ

【激甚化する災害への対応技術】

- 流域治水に資する技術 (例: 農業用ダムの事前放流の効果検証、必要水位低下量の簡易判定、営農と両立した田んぼダムの活用手法等検証、施設の安全性・緊急性を自動判断するシステムの開発)
- ため池の防災・減災対策に資する技術 (例: ため池改修のデジタルプラットフォームの開発)
- 農地・農業水利施設の耐震化及び津波対策に資する技術 (例: 液状化を防止するための土の締固め管理、津波減衰に効果的な農地や用排水路の配置)

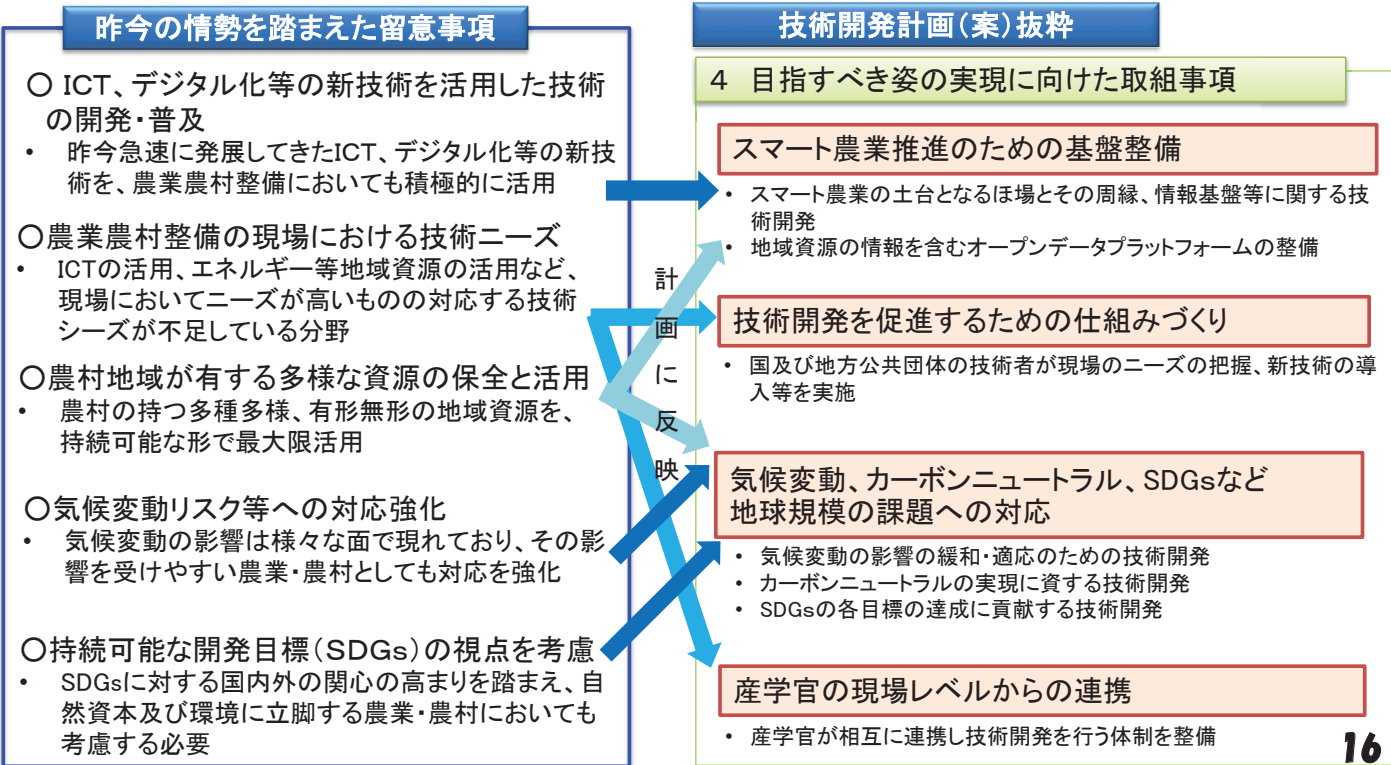
- 地域防災力向上に資するソフト対策 (例: 災害対応計画、防災マップ作成手法)

【農業水利施設の戦略的保安全管理技術】

- 農業水利施設の劣化診断・劣化予測の技術 (例: AIによるひび割れ等の自動検出、3次元点群データによるため池の変状解析)
- 農業水利システム全体の水制御に関する技術 (例: 衛星データを用いた広域的な水利用の動向把握)
- デジタル技術を活用した農地及び農業水利施設の維持管理の省力化技術 (例: ドローンを活用した3次元データ取得等による現況把握や遠隔点検、地域の施設群のストック最適化)
- データ駆動型ライフサイクルマネジメント技術 (例: 農業水利施設の3次元モデルのデータベースの構築)

6. 参考 昨今の情勢を踏まえた留意事項への対応

○ 以前の技術小委で提示した留意事項を、技術開発計画の目指すべき姿の実現に向けた取組事項等に反映し、関連する技術開発を進めていく。



農業・農村が目指すべき姿



③中山間地域の特性を生かした暮らしとなりわいが持続的に営まれる農村

中山間地域の地形や資源を活かした基盤を構築します。
 条件不利地への技術進歩の波及が停滞しないよう、地域を一体的に整備することで、魅力的な地域づくりを支えます。



④地域資源を活用した快適で利便性の高い自立分散型の農村

通信環境が整備され快適な生活ができる、エネルギー的にも自立した農村となります。
 様々な立場の人が地域の資源を見出し、地域資源を協働で管理し、活発に交流しています。



⑤ デジタル技術の活用により管理・更新が省力化・効率化された農業水利施設が支える農業



⑥ 防災・減災対策が行われ、災害時から災害復旧までの迅速に対応できる安全な農村



(3) ため池のDXによる調査から施工、管理に至る技術開発

①流域治水に向けたため池の強靱化及び洪水調節機能強化技術の開発

ここに紹介するのは、内閣府の官民研究開発投資拡大プログラム（PRISM）「革新的建設・インフラ維持管理技術／革新的防災・減災技術領域」により、ため池のDXによる調査から施工、管理に至る技術開発の事例である。

②背景

近年、頻発化・激甚化する洪水被害を軽減するために、流域の全ての関係者が協働して流域を管理する「流域治水」の取り組みが国土交通省・農林水産省・経済産業省等の連携・協力の下進められている。

主要なため池の有効貯水量は16億トンに達し、これは既存ダムの洪水調節容量（54億トン）の約3割に相当。しかし、ため池はその7割が江戸時代以前に築造または築造年代が不明とされており、老朽化により、豪雨・地震に対して極めて脆弱である。このため、ため池工事特措法に基づき、2030年度までに防災重点農業用ため池（約5.5万か所、主要なため池の有効貯水量16億トンの95%以上を占める）を対象に防災工事が進められているものの、対象となるため池が多く、工期短縮による迅速な強靱化が必要である。例えば兵庫県では防災重点農業用ため池5,972箇所に対して465箇所（約8%）、香川県では防災重点農業用ため池3,049箇所に対して377箇所（約12%）、について防災工事を行う方針となっている。

また、ため池の洪水調節機能の発揮およびため池自体の決壊防止を目的に、各地域の流域治水協議会において、ため池の洪水吐にスリット（切り欠き）を設置し、事前放流や低水位管理を実施することが推奨されているが（例えば兵庫県では、防災重点農業用ため池5,972箇所に対して314箇所）、農業用水の確保との両立の観点から、事前放流や低水位管理は十分には実施されていない。

ため池の決壊を未然に防ぎ、流域治水に活用するためには、デジタル技術・プレキャスト技術の導入によりため池の強靱化を迅速に進めることが極めて重要であり、農業用水の確保と洪水調節機能を両立する水位管理の技術が不可欠である。なお、農林水産省は、国営事業では、現場条件等を考慮したうえで、生産性向上、工期短縮等の目的でPCa製品の導入を促進する方針を示している。

③プロジェクト全体像

このようなことから、デジタル技術・プレキャスト技術の導入によりため池の更新整備を効率化し、工期・コストを2割以上縮減する技術体系を実現する。また、農業用水の確保と洪水調節機能を両立する水位管理システムを開発する。これにより、ため池の洪水調節機能を効果的に発揮させ、政府全体の流域治水対策に貢献する。

ため池の更新整備の推進により、ため池の決壊を未然に防止するとともに、「農業生産性の向上」と「流域治水」の考え方の下、流域治水協議会等への積極的な成果の発信を行い、洪水調節機能を発揮させる取組を推進する。

以下、その成果の概要を紹介する。

【農5】 流域治水に向けたため池の強靱化 及び洪水調節機能強化技術の開発

官民研究開発投資拡大プログラム (PRISM)

「革新的建設・インフラ維持管理技術／革新的防災・減災技術領域」

【継続事業】

令和4年度及び施策全体の最終成果

令和5年2月
農林水産省

1

資料1 「流域治水に向けたため池の強靱化及び洪水調節機能強化技術の開発」の全体像

課題と施策の全体像

【課題】

1. 近年、頻発化・激甚化する**洪水被害を軽減**するために、流域の全ての関係者が協働して流域を管理する「**流域治水**」の取り組みが国土交通省・農林水産省・経済産業省等の連携・協力の下進められている。
2. 主要な**ため池**の有効貯水量は16億トンに達し、これは**既存ダム**の洪水調節容量(54億トン)の**約3割**に相当。しかし、**ため池**はその**7割**が江戸時代以前に築造または**築造年代が不明**とされており、老朽化により、**豪雨・地震**に対して**極めて脆弱**である。このため、ため池工事特措法に基づき、**2030年度**までに**防災重点農業用ため池**(約5.5万か所、主要なため池の有効貯水量16億トンの95%以上を占める)を対象に防災工事が進められているものの、対象となるため池が多く、**工期短縮が必要**である(例えば兵庫県では**防災重点農業用ため池5,972箇所**に対して465箇所(約8%)、香川県では**防災重点農業用ため池3,049箇所**に対して377箇所(約12%)、について防災工事を行う方針。補足資料p.12)。
3. また、**ため池の洪水調節機能の発揮**および**ため池自体の決壊防止**を目的に、各地域の流域治水協議会において、**ため池の洪水吐にスリット(切り欠き)**を設置し、事前放流や低水位管理を実施することが推奨されているが(例えば兵庫県では、**防災重点農業用ため池5,972箇所**に対して314箇所)、農業用水の確保との両立の観点から、事前放流や低水位管理は十分には実施されていない。
4. **ため池の決壊を未然に防止**し、**流域治水に活用**するためには、**デジタル技術・プレキャスト技術の導入**により**ため池の強靱化を迅速**に進めるとともに、農業用水の確保と洪水調節機能を両立する水位管理の技術が不可欠である。なお、農林水産省より、国営事業においては、現場条件等を考慮し、PCa製品の導入を促進する方針が示されている。

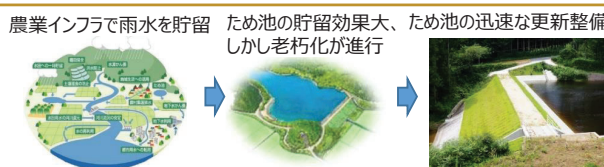
【施策の全体像】

- **デジタル技術・プレキャスト技術**の導入によりため池の更新整備を効率化し、**工期・コストを2割以上縮減**する技術体系を実現する。また、農業用水の確保と洪水調節機能を両立する水位管理システムを開発する。これにより、ため池の**洪水調節機能**を効果的に発揮させ、**政府全体の流域治水対策に貢献**する。
- ため池の更新整備の推進により、ため池の**決壊を未然に防止**するとともに、「**農業生産性の向上**」と「**流域治水**」の考え方の下、流域治水協議会等への積極的な成果の発信を行い、**洪水調節機能**を発揮させる**取組を推進**する。

元施策との関連

PRISM—ため池改造

- ため池の貯留機能を流域治水に活用するために「**ため池改造・管理技術**」を開発



元施策 運営費交付金

- ① 農業インフラのデジタル化・データ共有によりコスト・工期を2割削減する技術
- ② 気象等予測情報に基づきリアルタイム水管理システム

工期短縮・洪水調節機能

ため池部分をアドオン

ため池工事特措法に基づき、決壊の恐れがあるため池の計画的な**更新整備**を実現

流域治水と農業用水の安定供給(ため池の安全確保)を両立させる水管理の実現

2

資料2 元施策の概要

元施策 農研機構 運営費交付金 「農業インフラのデジタル化による生産基盤の強靭化」

R3：600百万円

R4：600百万円

R7

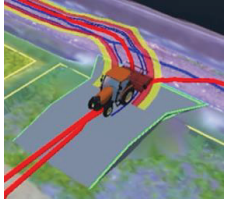
元施策の目標

- 老朽化が進むインフラの**迅速更新**
- 工期またはコストを**2割以上削減**
- 自然災害への備え
- **国土強靭化対策**への貢献

デジタル情報を活用した農業インフラの強靭化

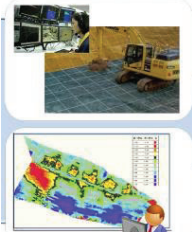
元施策の内容

スマート農業を可能とする農地設計



自動走行農機が安全かつ効率的に作業できる農地のデジタル設計手法の開発

情報化施工技術



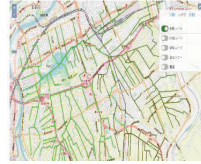
農地・水路などの整備・管理の情報化技術の開発

管理・点検技術



水路など、構造物の劣化状況の管理をデジタル化

水利施設の管理



排水地区でのAIによる浸水予測に基づく排水機場の事前排水

農業インフラ全体のデジタルプラットフォーム・データベースの構築

PRISM開発内容

R3 (FS)

R4

① **迅速かつ低コスト改造技術の開発**

3D測量・設計技術の課題及び要素技術の抽出

ため池特有の**3D測量・設計・施工技術の開発**

② **洪水調節機能強化のための管理・運営手法の開発**

水位管理情報システムの**プロトタイプ**の構築と改良

現地実証による**最適な管理・運営手法の開発**

残された課題

- ・デジタル技術によるため池の**低コスト改造・管理技術の改善と現場等での実証**
- ・ため池を対象とした技術の**ため池以外の農業インフラ**への実装

PRISMにおいて他省庁等が整備を進めるデータを利用することにより農業インフラによる洪水調節機能を強化

ため池を対象とするのは、農水省がため池の防災に緊急に取組んでいるうえ、開発するDXやPCaの技術は他の農業インフラに援用できるため。これらの技術の社会実装には、関連する企業が前もって現地試験を行うことが重要である。

3

資料3-1 「流域治水に向けたため池の強靭化及び洪水調節機能強化技術の開発」の概要①

(農林水産省 アドオン：150百万円/元施策：600百万円)

背景・現状

- 農業用ため池の洪水調節機能を流域治水に活用するためには、**豪雨・地震に脆弱なため池の改造**が必要。
- 農業用ため池（全国約15万箇所）は土を盛った人工的な池であり、その**7割**は土木工学が未発達な**江戸時代以前に築造**または**築造年代が不明**とされている。このため、豪雨・地震に脆弱なものが多く、**決壊**等による被害が**毎年発生**しており、既存のため池を早期に改造する必要性がある。
- このため、農林水産省では「**ため池工事特措法**」に基づき、**令和12年度（2030年度）**までに「**防災重点農業用ため池**」（全国約5.5万箇所）を対象に「**劣化状況評価**」等を実施し、**集中的かつ計画的な防災工事等**を推進。
- しかし、「**防災重点農業用ため池**」の多く（約75%）は江戸時代以前に築造または築造年代が不明で、**8割強**は山間部に存在する「**谷池**」。このため、①**当時の設計図面が存在せず**、②**アクセスも悪く**、重機の運搬・施工が困難、③**水位の調節や浚渫等の管理は専ら地域住民に頼っている**などため池特有の課題が存在。
- このため、ため池が決壊の危機に面しないため、**強靭化を迅速に進め**、洪水等に備えた**水位調節機能を強化**するためには、
 - (1) アクセスが悪く、草木が生い茂るなど**ため池特有の制約条件**下で、**施工工事を迅速かつ効率的**に行うための**調査・測量**（→デジタル測量）、**施工技術**（→プレキャスト工法）の**開発**
 - (2) 多くの場合、**受注者が地元**の**中小建設事業者等**になるため、調査・測量から設計、施工までの**関連情報を一貫利用**できる**情報基盤**（→デジタル情報基盤）の**確立**が必要。
 - (3) また、豪雨時に、**ため池の安全を確保**するとともに**洪水調節機能を発揮**させるための**水位管理システム**の開発等が必要。

ため池：古い、難アクセス、狭小、複雑



貯水

堤体：土で作った盛り土

実施内容

- ため池特有の制約条件に応じ、以下の研究開発を行う。
 - 1. ため池の迅速かつ低コストな改造技術の開発**
 - (1) 3Dデジタル施工図面を利用したデジタル調査・施工技術の開発
 - (2) プレキャスト（PCa）工法を活用したため池改造の効率化技術の開発
 - 2. ため池の洪水調節機能強化のための管理・運営手法の開発**

国土交通省にて策定された基準類を最大限に参照しつつ、基準類ではカバーできない部分をPRISMで研究開発。

流域治水へのため池の活用を推進するために、外部とのデータ連携を進める。

17

4

資料 3-2 「流域治水に向けたため池の強靱化及び洪水調節機能強化技術の開発」の概要②

(農林水産省 アドオン：150百万円/元施策：600百万円)

研究開発目標・出口戦略

【研究開発目標】

- ため池特措法に基づき「防災重点農業用ため池」の迅速な改造が可能となるよう、草木が生い茂るなどため池特有の制約条件下での、3Dデジタル測量技術やプレキャスト施工技術等を導入したデジタル施工一貫体系を確立する。
- また、ため池の調査・測量、設計、施工の各工程において、関連する事業者・自治体等が互いにデジタルデータを交換・利用できるデジタルデータ・プラットフォームを確立する。
- ため池の安全の確保と併せ洪水調節機能を強化するため、農業用水確保と流域治水を両立させる水位管理情報システムを開発する。

【出口戦略】

- プレキャストメーカを組織化し製品の標準・規格化を進め普及を促進する。現場試行を通じて、デジタルプラットフォームの業界への導入を図り、防災重点農業用ため池の防災工事等を推進する。ため池の水位管理情報システムは、ため池管理者による水位監視や関係機関との情報共有の体制を構築するとともに、流域治水協議会と連携し、地域の他の治水インフラと連動させた流域治水を推進する。

PRISMで推進する理由・元施策がどのように加速されるか・戦略の位置づけ

【PRISMで推進する理由】

- ため池工事特措法に基づき、今後10年間で多くの整備需要量が見込まれる中で、その施工迅速化のためのデジタル化基盤技術が確立されれば、地方の建設事業者を含め関連事業者によるデジタル工法の開発や、建設機器の自動化、プレキャスト部材に関する開発等が加速化し、PRISMのねらいである民間研究開発投資が加速化するのが確実である。
- また、開発されたデジタル技術、プレキャスト技術は、農林水産省の農業農村整備事業等に活用され、国や地方自治体の公共事業施策のイノベーション転換に大きく貢献する。
- 開発される技術の社会実装には、関連する企業が前もって現地試験による実証を行うことが重要である。

【元施策がどのように加速されるか】

- 農業インフラの維持・強化において、ため池のデジタル施工技術の確立は緊急を要する課題であり、元施策の農業インフラ全体のデータプラットフォームの整備が着実化する。

【戦略の位置付け】

- 令和3年3月26日に閣議決定された「科学技術・イノベーション基本計画」の「2-1-(3)レジリエントで安全・安心な社会の構築」、「①頻発化、激甚化する自然災害への対応」および「②デジタル化等による効率的なインフラマネジメント」として位置づけられる。

5

資料 4 実施体制

実施体制

◆ マネジメント体制

PD：農業農村工学会
専務理事
小泉 健

◆ アドオン施策実施体制

代表者：農研機構
農村工学研究部門所長
藤原 信好

1. ため池の迅速かつ低コストな改造技術の開発 (農研機構・農工研)

- (1) 3Dデジタル施工図面を利用したデジタル調査・施工技術の開発 (堀PL)
 - ①ため池 3次元デジタル調査手法・情報化施工技術の開発 (黒田主席)
 - ②ため池デジタルプラットフォームの開発 (野口G長)
- (2) プレキャスト (PCa) 工法を活用したため池改造の効率化技術の開発 (中嶋PL)
 - ①PCa底樋およびデジタル技術の導入による迅速ため池改造技術の開発 (田頭G長)
 - ②ため池改造効率化のためのPCa洪水吐の開発 (森G長)

農研機構
国際航業
NTCコンサルタンツ
サンスイコンサルタンツ
三祐コンサルタンツ
内外エンジニアリング
大林組
佐藤工業
ヘルテクスグループ
共和コンクリート
丸栄コンクリート
神戸大学

2. ため池の洪水調節機能強化のための管理・運営手法の開発 (農研機構・農工研、堀PL (吉迫G長))

農研機構
バジタリア

*新しい工事の施工歩掛かりについて、協力機関として、一般社団法人の経済調査会が参加。

資料5 令和4年度を含めた最終成果①

(1) ため池に関連する自治体・事業者等が、**デジタルデータを共有**し、調査・測量、設計、施工、維持管理を効率的に**一気通貫**して行うためのWebシステム（ため池デジタルプラットフォーム）を開発。

3Dデータを安全に共有し工事を効率化。

●発注者が設定する**アクセス権**に応じて**セキュアに3Dデータ利用**が可能。

セキュアなアクセス権管理

ため池デジタルプラットフォーム

Webカメラ閲覧

メイン画面

民間企業のシステムと接続して3Dデータの加工や施工管理等に活用。

●3D点群データと航空写真の重ね合わせ、3Dモデルの作成が可能。

国際航業株式会社の測量システム

●複数のICT建機を用いた情報化施工をリアルタイムに管理。

大林組の施工管理システムの3Dモデル

国が運用する既存のシステムとシームレスなアクセスを実現。

●全国で約3万人のため池の関係者の利用が可能に。

●ため池災害情報、日常管理のデータをため池DPIに収集

ため池防災支援システム ため池管理アプリ

3D表示システム

●3Dデータの**閲覧用ビューワー**を搭載。専用ソフトウェアがなくてもデータ閲覧が可能。

●仮想空間の**3Dモデルに複数同時アクセス**し、遠隔現場で設計協議・災害調査が可能。

メタバースを用いた遠隔協議

その他、多彩な機能を搭載

- ため池の水位データ
- Webカメラによる監視機能
- ため池管理者による日常点検登録 Etc.

リアルタイム水位・監視カメラの閲覧

●ため池水位情報管理システム

事前放流を支援

ベジタリアの監視システムとの連携

R5 開発したプロトタイプを、民間企業等のシステムとの**データ連携機能を高度化**するとともに、施工現場での**実証により高度化**する。

資料5 令和4年度を含めた最終成果②

(2) ため池の**デジタルデータを効率的に取得**するため、**規模の異なる3つのため池で3Dデジタル調査手法**を実証し、予備調査から出来形管理までの手順および技術ポイントを、**手順書（案）**としてとりまとめた。

小規模（堤高：<5m）
調査手法：**地上設置型レーザスキャナ**
技術ポイント：適切なターゲット（形状、大きさ、模様、標識表面の素材）の選択が必要。

地上設置型レーザスキャナ

ザンスイコンサルタント

中規模（堤高：5~15m）
調査手法：基準点を活用した**UAV撮影**
技術ポイント：適切な基準点管理とデータフィルタリングにより、形状の高精度推定が可能。

UAV写真測量

大林組・国際航業・内外エンジニアリング

大規模（堤高：>15m）
調査手法：**空中・水上UAVとレーザスキャナ**
技術ポイント：水を透過するグリーンレーザを利用すると陸・水部の地形を同時に計測可能。

グリーンレーザによる水中の地形の計測結果

国際航業

R5 災害などの**緊急時**に、SLAM型ドローンを利用して**高精度かつ簡易**にデジタルデータを取得する技術開発を実施する。

(3) 佐藤工業技術センター内の**モデルため池**において、開発した**ため池デジタルプラットフォーム**を使って**3Dデータを共有**利用して、**ICT施工**を行う**実証試験**を実施。

- 堤体の現況確認、開削、底樋の設置、出来形管理の各プロセスにおいて、3Dデータの円滑な利用と効率性の改善を確認した。

各プロセスにおいて3Dデータの円滑な共有利用が可能に

佐藤工業 大林組 国際航業 ヘルテクス

資料5 令和4年度を含めた最終成果③

(4) 底樋へのPCa工法導入のボトルネックとなっていた、上流端部工と底樋本体の連結部について**新たな連結用PCa部材を開発し、安全性を検証**。

・ 新たな連結用PCa部材を開発（特許出願を準備中）

設置数の多い内径
800mmの底樋を標準
化（補足資料P13）

・ 開発したPCa部材の安全性を確認するため、実物大の試験を実施。地盤の沈下等を想定し、上流端部工と底樋の間で3%の屈曲を発生させた場合でも、土砂吐と底樋が抜け出すことなく一体的に挙動することを確認した。



連結部材の試験（屈曲時の一体性の確認）

ベルテクス | 三祐コンサルタンツ | 神戸大学

→ 連結部材の安全性を確認した。

R5 連結部材設置用の**専用治具の開発**及び**安全性の向上対策**（土砂の侵入防止、3%を超える屈曲）、歩掛りの算定を実施する。

(5) PCa洪水吐の全体構造（特許出願準備中）を決定し、**据え付け試験を2回実施**した。水理実験により、階段式洪水吐の**水理特性を解明**した。

・ 3Dプリンタ模型による検討を経て、部材重量を最大2トン以下とするPCa洪水吐の**全体構造の仕様を決定**し、野外、屋内の2回**据え付け試験**を実施した。

・ **階段状PCa洪水吐では、減勢効果が大きくなりすぎるために、流下時の水位が上昇、飛沫が発生**。側壁の設定、流況の安定が課題として残された。



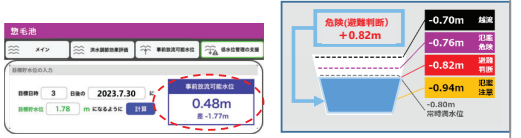
共和コンクリート工業 | 丸栄コンクリート工業 | NTCコンサルタンツ

R5 流下部分を改良し流況を安定化する。現場での試験施工を行い、**施工手順の標準化**を図る。

「正面越流型」、幅2~4mの洪水吐きがPca化に適する（補足資料P13）

(6) 豪雨の前に放流可能な水量を推定し、決壊リスクを通知する「**ため池水位管理情報システム**」を構築した。

・ 決壊を防止し、流域治水に貢献するには、豪雨前に**空き容量を確保する事前放流**が有効であるが、豪雨後には**営農に必要な水量の確保が必須**。システムにより豪雨前に**放流可能な水量を予測**して、**ため池管理者や自治体**に通知する。



事前放流の支援（画面案） ため池の決壊リスクの表示

・ システムは、気象庁の**アンサンブル降雨予測**、現地の観測水位データをもとに、**豪雨の3日前**に事前放流の水量を表示できる。水位の回復の予測信頼区間を定め、**ため池水位管理情報システムの運用マニュアル（案）**を作成した。

R5 国・自治体・ため池の管理者で事前放流による治水対策を共有するため、**ため池デジタルプラットフォームと連携**する。

9

資料6 令和4年度の予算執行

項目	積算内訳	予定額 (千円)	備考
農林水産省 科学技術イノベーション創造 推進費 農研機構運営費交付金	○流域治水に向けたため池の強靱化及び洪水調節機能強化技術の開発	150,000	
	1. ため池の迅速かつ低コストな改造技術の開発		
	(1) 3Dデジタル施工図面を利用したデジタル調査・施工技術の開発	115,000	
	(2) プレキャスト（PCa）工法を活用したため池改造の効率化技術の開発		
	1) 物品費	22,900	センシングUAV、レーザスキャナ、標点、画像解析装置、測量資材、消耗品等、ソフトウェア利用料
	a. 設備備品費：15,000千円 b. 消耗品費：7,900千円		
	2) 人件費・謝金	7,100	契約研究員、報告会、運営会議開催諸経費
	a. 人件費：6,700千円 b. 謝金：400千円		
	3) 旅費	5,000	国内旅費（@100千円×50人回）
	4) 外注費	62,600	3D測量・調査・設計・施工作業、PCa部材の作成、試験ため池での施工実験、プレキャスト部材の規格化作業、情報共有システムの開発と試験運用
5) その他賃金	5,100	研究補助員、データ通信費	
6) 一般管理費	12,300		
2. ため池の洪水調節機能強化のための管理・運営手法の開発	35,000		
1) 物品費	7,900	システム開発用パソコン購入費用、解析用ソフトウェア利用料、水位計、雨量計、通信機器	
2) 人件費・謝金	4,000	契約研究員、報告会議開催諸経費	
3) 旅費	1,500	国内旅費（@100千円×15人回）	
4) 外注費	16,000	ため池水位管理情報システムの改良役務、複数のため池群での運用試験	
5) その他賃金	2,300	研究補助員、データ通信費等	
6) 一般管理費	3,300		

資料7 PRISM実施に伴う事業効果等

【PRISM施策実施に伴う事業効果】

- ✓ 調査、設計、施工までの3Dデジタル化及びプレキャスト工法の導入により、**ため池工事全体として生産性が2割向上**する。
- ✓ 事業効果として、脆弱なため池の改造による**洪水調節容量の創出効果**が見込まれる。

【民間研究開発投資誘発効果】

- ✓ PRISMの事業成果の導入に係る民間からの投資効果は、ため池工事特措法で集中的に防災工事等が推進されるため池及びため池以外の農業インフラ整備に対する研究開発投資として**今後10年間で1,000億円**が見込まれる。

【財政支出の効率化】

- ✓ ため池工事の事業費を**約2割縮減**することで、10年間で**1,760億円**の財政支出の削減効果を見込む。

【マッチングファンドの目標】

- ✓ 参画企業11社からのマッチングファンドとして令和4年度は**年間75百万円**の民間投資を予定している。内訳として、参画企業からの従業員の**人件費として50百万円の自己投資**、このほか、ソフトウェアライセンス、施工材料等の提供が**25百万円**見込まれる。

【出口企業】

- ✓ 本PRISM参画企業のNTCコンサルタンツ、サンスイコンサルタント、三祐コンサルタンツ、内外エンジニアリングに加え、**コンサルタンツ業界**からの参入が見込まれる。
- ✓ また、大林組、佐藤工業、ベルテクスグループ、共和コンクリート工業、丸栄コンクリート工業、国際航業に加え、これまでため池工事への参入がみられなかった**大手ゼネコン**を含む**建設業界**からの参入を見込む。
- ✓ このほか、地域の調査・設計コンサルタンツや建設業者に加え、これまで**未参入の地元建設業者**や**観測機器・情報通信関連等の他業種**の企業の参入を見込む。

【政策転換】

- ✓ 調査、設計、施工、維持管理に一気に通貫でデジタル技術が活用され、ため池工事業務の**デジタルイノベーション転換**が実現。
- ✓ 開発技術の導入は、発注者（市町村技術者）、受注者（コンサルタンツ・ゼネコン）等の**業務が大幅に効率化**し、労働環境の改善や**働き方改革**が進む。
- ✓ ため池や水田（田んぼダム）等の農業インフラを一体的に運用管理する流域治水の取組が各地に広がることにより、流域で生活する地域住民と連動した総合的な治水政策に転換される。

11

補足資料 防災重点農業用ため池と防災工事数

防災重点農業用ため池の都道府県別の指定箇所数（約5.5万箇所）

都道府県名	箇所数	都道府県名	箇所数
北海道	126	滋賀県	527
青森県	415	京都府	612
岩手県	868	大阪府	3,178
宮城県	519	兵庫県	5,972
秋田県	1,018	奈良県	964
山形県	370	和歌山県	1,953
福島県	1,414	鳥取県	315
茨城県	36	島根県	1,305
栃木県	218	岡山県	4,105
群馬県	191	広島県	6,846
埼玉県	244	山口県	1,320
千葉県	387	徳島県	362
東京都	7	香川県	3,049
神奈川県	2	愛媛県	1,755
山梨県	89	高知県	222
長野県	670	福岡県	3,560
静岡県	450	佐賀県	1,419
新潟県	653	長崎県	718
富山県	559	熊本県	873
石川県	1,195	大分県	1,042
福井県	381	宮崎県	410
岐阜県	1,399	鹿児島県	245
愛知県	1,035	沖縄県	46
三重県	1,566	合計	54,610

※令和3年7月末現在。
※大阪府及び広島県は令和3年度中に追加で指定される見込みのため池を含む。

https://www.maff.go.jp/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/koujikutokusohou.html

決壊を防ぐための今後約10年間の防災工事計画

更新日：2022年5月10日

兵庫県ため池防災工事等推進計画

防災重点農業用ため池に係る防災工事等の推進に関する特別措置法（令和2年法律第56号）第5条第1項の規定に基づき策定（R3.3）した「兵庫県ため池防災工事等推進計画」を令和4年1月末に改定したので公表します。

■推進計画（R3～12）	（単位：箇所）		計
	前期5年（R3～7）	後期5年（R8～12）	
改修工事	146	168	314
廃止工事	113	38	151
計	259	206	465

※前期146箇所には国費事業で実施する改修工事5箇所を含む。

<https://web.pref.hyogo.lg.jp/nk11/tameikesuisinheikaku.html>

・令和12年度までに465箇所（防災重点農業用ため池の7.8%）の防災工事を計画

香川 NEWS WEB

「防災重点農業用ため池」377か所が危険性高いと判断

12月23日 07時42分



災害時に決壊した場合、被害を及ぼすおそれがある香川県の農業用のため池について県が委託した団体が調査した結果、依然として改修が進んでいないため池のおよそ4分の1が劣化などが進み、全面改修を優先して進める必要があることが分かりました。

・令和12年度までに377箇所（防災重点農業用ため池の12.4%）の防災工事を計画

県は、こうしたため池について、特別措置法に基づいて来年度から令和12年度までの8年間で優先的に全面改修または廃止を進める予定です。

<https://www3.nhk.or.jp/news/takamatsu/20221223/8030014800.html>

12

補足資料 プレキャスト化の対象となるため池底樋および洪水吐の形式および規模

研究開発の課題

・プレキャスト化の対象となるため池底樋および洪水吐きの形式、規模等について数値を基に示す

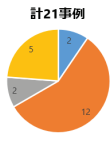
検討結果

- ・現場打ち底樋の21事例を分析した結果、底樋の管径はφ800mm、土砂吐ゲートは600×600mmが最多であった。この結果から、**管径800mmの底樋を標準タイプとしてPCa化を進める。**
- ・全国42箇所の洪水吐改修事例を分析した結果、施設規模および形式から「正面越流型」かつ**設計洪水流量4m³以下、水路幅4m未満**ものがPCa化に適することが明らかになった。

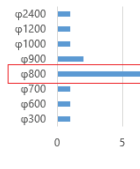
底樋の検討

● 底樋および土砂吐の標準的な規模の検討

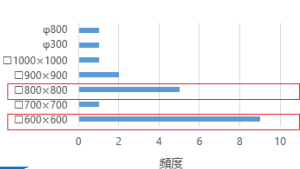
φ800mmの底樋が**最多**であることが明らかになった。この規模の底樋を標準として底樋および土砂吐設備のPCa化を進める。



● 底樋の規模



● 土砂吐ゲートの規模

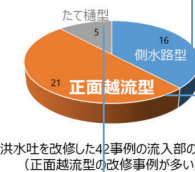


- 管径φ800mmのPca底樋を標準タイプとして開発し、土砂吐ゲートの規格化は行わず、ゲート幅600～800mmに対応した土砂吐のPCa化と底樋と土砂吐の連結部分の共通化を目指す。

洪水吐の検討

● 洪水吐規模の検討

全国42箇所の現場打洪水吐改修事例を対象に検討



洪水吐を改修した42事例の流入部分の分類 (正面越流型の改修事例が多い)

形式	検討結果
側水路型 (ほぼ設計洪水量10m ³ 以上)	施設が大規模過ぎる PCa化の対象とせず
正面越流型	大規模 (設計洪水量: 5m ³ 以上, 水路幅: 3m以上) 開発ターゲット 中規模 (平均) (設計洪水量: 2~4m ³ , 水路幅: 3~4m) 小規模 (平均) (設計洪水量: 2m ³ 未満, 水路幅: 2~3m)
立て樋型	PCa化は有望であるが、今回は対象とせず

- 施設規模および構造から形式としては、「正面越流型」と「立て樋型」がPCa化に適する。さらに「正面越流型」の中の設計洪水量が4m³未満のものが部材重量2ton未満に収まるため、PCa化の開発ターゲットとなる。

13

補足資料 ICT施工・PCa底樋のコスト分析および付加価値の検討

研究開発目標

・ICT施工等を用いたPCa底樋の施工に関するコスト分析を行い、積算方法を取りまとめる。都道府県および市町村が、従来の現場打ち施工とICT施工を含むPCa施工の比較を行う際の参考となる資料を作成する。

実施内容(三祐コンサルタンツ)

・R3に農研機構内の試験ため池で実施したPCa底樋の施工試験データを基に、**従来の工法とICT施工・PCa工法のコスト**について、**調査、設計、施工の3項目で比較**した。その結果、**ICT施工・PCa工法の導入により従来の3割程度のコストが削減可能**であることが示された。

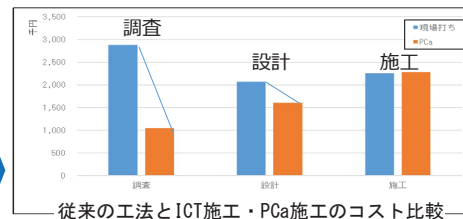
主な成果

- ICT施工・PCa工法を導入した場合のコスト分析を行った。その結果**3割程度のコスト削減が可能**であることが明らかになった。

一般的なため池を想定し、「土地改良工事積算基準」の標準歩掛を参考に、従来の工法とICT施工・PCa工法の直接経費を、調査、設計、施工の3項目で比較した。その結果、調査、設計の2項目でコスト削減、施工の項目はほぼ同様となり、総計で目標としている2割のコスト削減が可能であることが分かった。

表 コスト比較一覧表

項目	①従来の工法 (千円)	②ICT施工・PCa工法 (千円)	③差額、②-① (千円)
調査	2,883	1,045	-1,838 △64%
設計	2,070	1,610	-460 △22%
施工	2,260	2,280	20 +1%
合計	7,213	4,935	-2,278 △32%



比較的大規模で、施工期間が長くなるため池では、ICT施工・PCa施工の優位性が高い

ICT施工・PCa施工によるコスト削減の要因

- 調査: UAV測量による作業量の大幅な減少
- 設計: 構造物の図面作成の作業量の大幅な減少
- 施工: PCaの部材費はコスト高であるが、**工期短縮による経費(機械損料等)の削減で相殺**

残された課題: PCa部材の低コスト化と小規模ため池への対応

- ICT施工・PCa工法により期待されるメリット

①工期短縮、②品質安定、③安全性向上(作業が容易・短時間)、④環境負荷低減。R5は、実際の施工現場等において、効果の定量化を実施。

補足資料 底樋の従来の工法とPCa工法の必要工事日数の比較

従来の工法による工程表（イメージ）

（日数は実稼働日数）

工程	工法	日数	5	10	15	20	25	30	35	40	45
掘削面処理	整地	1	a								
	捨てコンクリート打設	1									
	捨てコンクリート養生	2		b							
底樋管布設	敷設	3			c						
	鉄筋工	3				d					
底樋の巻き立て （第1リフト）	型枠工	3				e					
	コンクリート打設	1					f				
	コンクリート養生	5									
	鉄筋工	3					d				
底樋の巻き立て （第2リフト）	型枠工	3					e				
	コンクリート打設	1						f			
	コンクリート養生	5									
	鉄筋工	3							d		
底樋の巻き立て （第3リフト）	型枠工	3								e	
	コンクリート打設	1									f
	コンクリート養生	5									
	鉄筋工	3									d
合計		43									

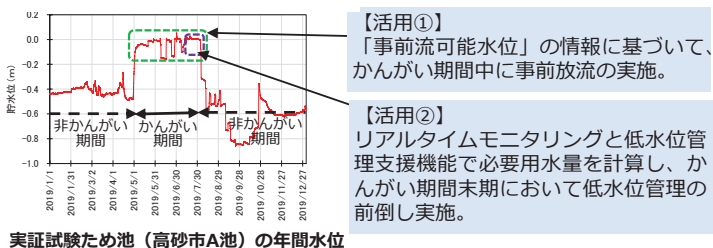
PCa工法による工程表（イメージ）

工程	工法	日数	5	10	15	20	25	30	35
掘削面処理	整地	1							
	捨てコンクリート打設	1							
	捨てコンクリート養生	2							
底樋（PCa）	設置・接合	3	A/B						
合計		7							

参考資料 ため池水位情報管理システム



ため池水位情報管理システムの活用



ため池洪水調節機能強化の取組み

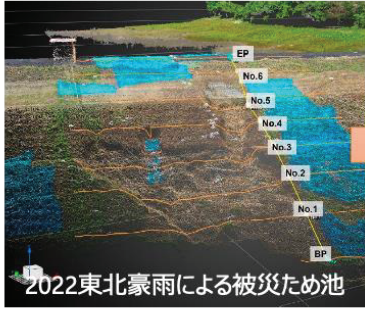
- 洪水吐スリットの設置（農林水産省・農村地域防災減災事業等）
高砂市阿弥陀地区（実証試験地）では、11箇所のため池全てに洪水吐スリットを設置済。
- 洪水吐スリットの管理（農林水産省・水利施設管理強化事業）
兵庫県高砂市では、市内のため池33箇所のうち、20箇所です事業による洪水吐スリット等管理の支援で雨水貯留容量を確保）をR5年度の非かんがい期に実施予定。



参考資料

ため池デジタルプラットフォームに格納された3Dデータをメタバース（遠隔臨場）プラットフォーム上での情報共有を可能にするシステムにより①改修計画の情報共有、②地域住民やため池管理者等への地元説明、③遠隔臨場を用いた災害調査・支援がに活用できる。

ドローンによる被災状況の3Dデジタル情報化



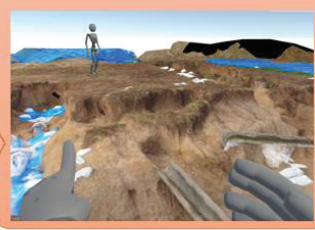
メタバースプラットフォーム上での被災状況の情報共有

現地と遠隔の専門家の仮想的災害対応の実現



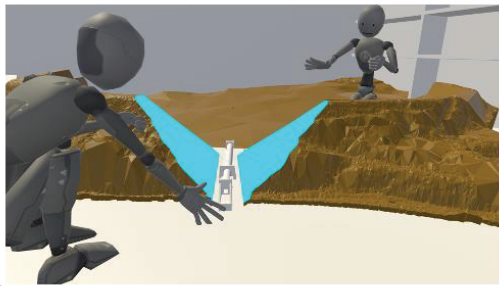
3D仮想空間での遠隔臨場を実現
→遠隔者が詳細な被災状況を共有

専門家アバター視点のイメージ

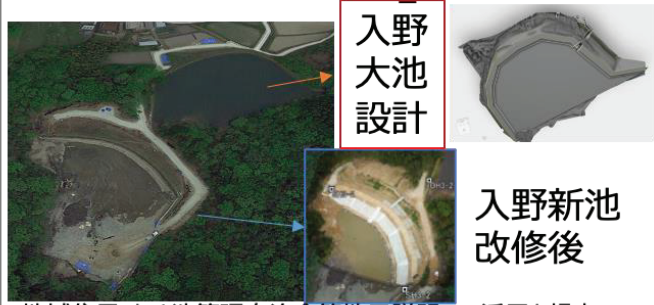


計画・設計における情報共有

3次元の複雑な地形・設計情報を設計者と発注者・施工会社が視覚的・協働的に操作



改修前後の景観・貯水状況の情報共有



地域住民・ため池管理自治会等地元説明への活用を想定
3Dデータ・設計図の活用により改修後の状況を視覚的に説明

17

参考資料 「流域治水に向けたため池の強靱化及び洪水調節機能強化技術の開発」の全体像

元施策（農研機構 交付金研究）

農業インフラ全体（ダム、用水路、頭首工等）の設計・施工の高度化、防災・減災技術の開発、DX化に関する研究開発を実施。

アースダム（土で構成されているダムのため池を含む）+コンクリートダム



PRISM建設インフラ／防災・減災



- 発災時の迅速被害推定
- 復旧の迅速化・省力化

情報共有システム+プレキャスト技術

- 整備の迅速化・省力化
- 安全かつ効率的な維持管理手法



- i-Construction（国交省）並びに情報化施工（農水省）の活用を図りつつ、ため池固有の技術的課題を解決
- ため池について、調査・測量、設計、施工、維持管理の情報をデジタル化するための情報共有システムを構築

農業インフラ全体をデジタルプラットフォームにより調査・測量、設計、施工、維持管理

- ◆ 国交省や地元自治体等と連携した流域治水の強化
- ◆ ため池工事特措法に基づく、強靱化対策の迅速な推進

- 農林水産省では、令和5年度に、国営農用地再編整備事業を拡充し、「ICT技術導入実証事業」を予算要求。3次元データを活用した設計から施工、営農・維持管理までの一体的な農地整備等を実証予定。
- 農研機構では、上記と連携しつつ、3次元データ活用に関する具体的な研究開発を担って一体的に取り組む予定でいるところ。

国営農用地再編整備事業（拡充） ～先端技術の体系化に向けた実証事業～

○ 人口減少に伴う農業者や技術者の不足により、我が国の農林水産業をとりまく状況が大きく変わる中、ICT技術の活用や農林水産業のグリーン化等を推進することで、農林水産業の持続可能な成長を図ることが重要です。

○ こうした中、農地整備においても、①新たな「土地改良長期計画」に基づき、情報化施工等のICT技術を活用することにより、事業実施や営農・維持管理の省力化・高度化を図ること、②「みどりの食料システム戦略」で掲げる農林水産業のCO₂ゼロエミッション化の実現に向け、バイオ炭等を活用した炭素貯留の拡大を進めていくことが求められています。

○ これらの政策課題の実現のため、国営地区をモデルとして、技術及び効果の実証を行うことで、先端技術に対応した農地整備手法等の確立・体系化を図ります。

1. 事業内容 ～先端技術に対応した農地整備手法等の確立・体系化に向けた実証事業の創設～

(1) ICT技術導入実証事業

3次元データを活用した設計から施工、営農・維持管理までの一体的な農地整備等を実証

調査・設計段階

施工段階（情報化施工）

営農・維持管理段階

(2) 炭素貯留技術導入実証事業

バイオ炭等を活用した炭素貯留に資する農地整備等を実証

対象土種：土層改良（作土層、心土層）、暗渠排水等

調査・検討

実証結果を基に、手法の調査・検討を行い、農地整備手法等の確立・体系化を図ることで、手法の一般化から全国への普及・拡大を目指す。

2. 実施要件等

(1) 国営農用地再編整備事業の実施地区であること	(2) 先端技術の導入に係る計画を策定すること
(3) 事業実施期間：5か年	(4) 国費率：10/10

3. 実施主体
国

- 農林水産省では、農地・農業水利施設を活用した流域の防災・減災（「流域治水」の取組）を推進中。その中で、ため池の活用が挙げられており、R5年度もため池に関する複数の施策を要求中。
- 農研機構では、上記と連携しつつ、ため池強靱化・流域治水等に関する具体的な研究開発を担って一体的に取り組む予定でいるところ。

農地・農業水利施設を活用した流域の防災・減災の推進（「流域治水」の取組）

<対策のポイント>
都市・市街地の近傍や上流域には、水田が広がり、多くの農業用ダム・ため池・排水施設等が位置しており、これらの農地・農業水利施設の多面的機能を活かして、あらゆる関係者協働の取組である「流域治水」を推進します。

<事業の全体像>

農業用ダムの活用

- 大雨が予想される際にあらかじめ水位を下げることで洪水調節機能を発揮。
- 降雨をダムに貯留し、下流域の氾濫被害リスクを低減。
（各地域の状況に応じて、放水水を地区内の調整池等に貯留）

【施設の整備等】

- 施設改修、堆砂対策、施設管理者への指導・助言等

水田の活用（田んぼダム）

- 「田んぼダム」（落水口に流出量を抑制する板等を設置し、水田に降った雨をゆっくりと排水）の取組によって湛水被害リスクを低減。

【施設の整備等】

- 水田整備、「田んぼダム」の取組促進

排水施設等の活用

- 農業用の用排水路や排水機場・樋門等は、市街地や集落の湛水も防止・軽減。

【施設の整備等】

- 老朽施設改修・ポンプ増設、降雨前の排水操作、危機管理システムの整備等

ため池の活用

- 大雨が予想される際にあらかじめ水位を下げることで洪水調節機能を発揮。
- 農業用水の貯留に影響のない範囲で、洪水吐にスリット（切り欠き）を設けて貯水位を低下させ、洪水調節容量を確保。

【施設の整備等】

- 堤体補強、洪水吐改修、施設管理者への指導・助言等

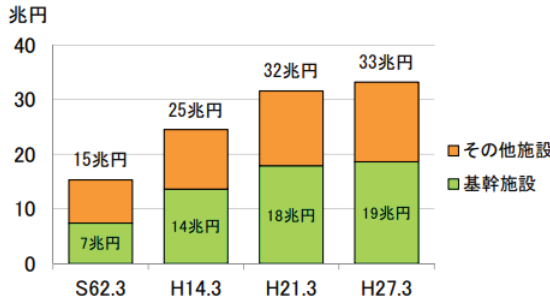
参考資料 農地、農業用ダム、用水路、パイプライン、ため池等の農業インフラ

- 農村地域には、農業用ダム（1,800基）、ポンプ場、用水路（約5万km）などの農業インフラが整備されており、その資産価値は33兆円に達する。さらに、ため池は約15万か所あり、その資産価値は16兆円と試算される（※ 関係者からの聞き取りにより、1か所1億円と想定）。

農業水利ストックと資産価値

農業用排水路	約40万km以上 (地球約10周分)
うち基幹的水路	約5万km
ダム、取水堰、用排水機場等	約7.6千箇所

事業のイメージ図



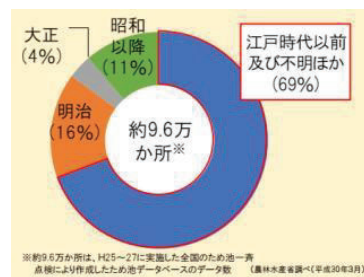
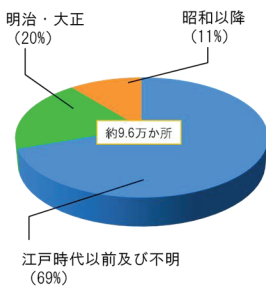
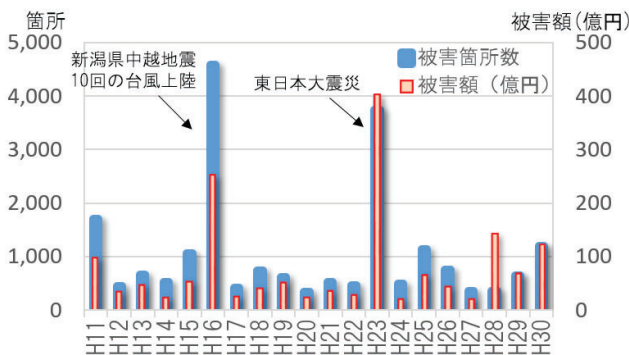
注：1) 農業水利施設の再建設費ベースによる評価算定
2) 基幹的水利施設は、受益面積100ha以上の農業水利施設

- 農地面積437万ha（水田237万、畑200万）

21

参考資料 ため池の構造と種類

- 自然災害の頻発化・激甚化により農業用ため池に深刻な被害が発生。農業用ため池約15万か所の約7割が江戸時代以前に築造された施設であり、豪雨・地震に対して脆弱なものが多い。



ため池の種類と構造

- ・ため池は、その形態により「谷池（たにいけ）」と「皿池（さらいけ）」に区分されます。
- ・棚状に複数のため池が連なっているものは、「重ね池（又は親子池）」と呼ばれています。

85%

15%

谷池



山間や丘陵地で谷をせき止めて造られたため池

重ね（親子）池



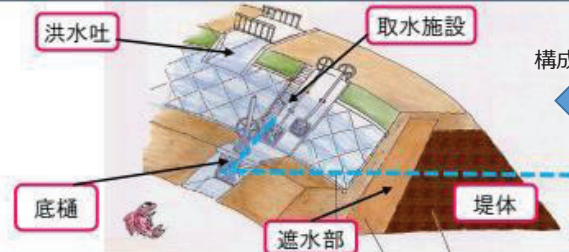
棚状に複数のため池が連なっているため池

皿池



平地の窪地の周囲に堤防を築いて造られたため池

- ・ため池は、水を貯める「堤体」、洪水を安全に流下するための「洪水吐」、かんがい用水を取り入れるための「取水施設」などから構成されています。



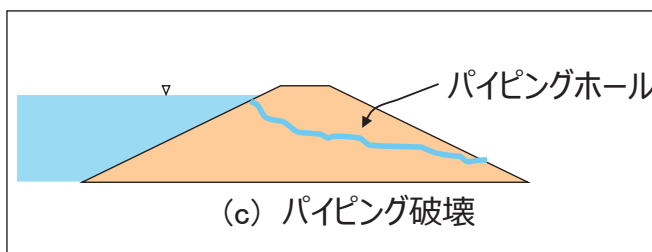
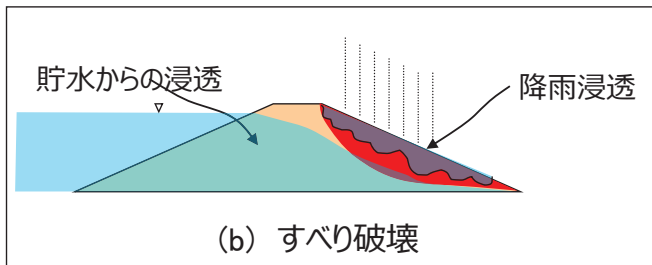
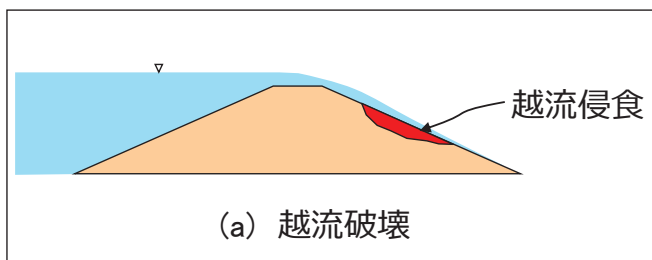
構成施設



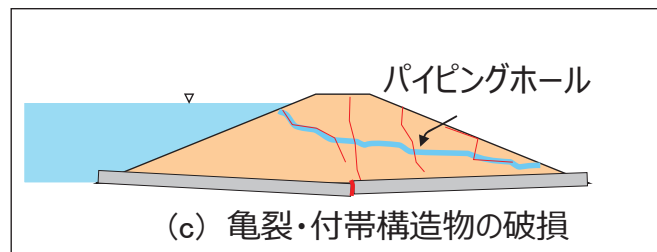
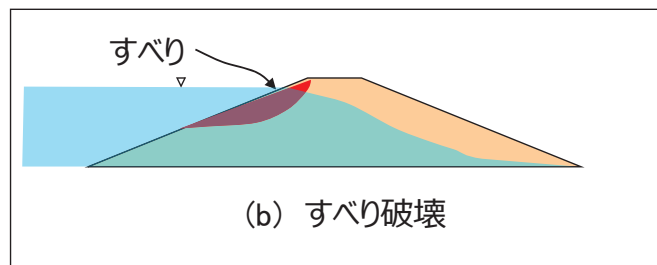
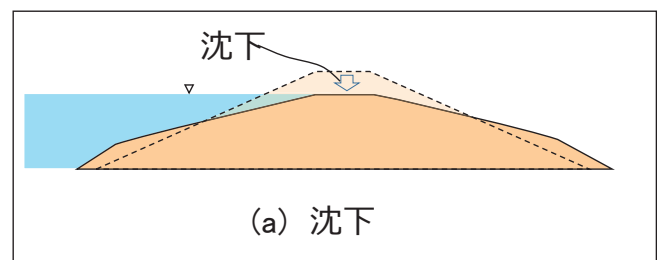
ため池の修復（戦前）

参考資料 ため池の決壊原因 —豪雨と地震時の決壊パターン—

大雨時の決壊原因



地震時の決壊原因



参考資料 ため池の改修工程 2 : プレキャスト製品の利用

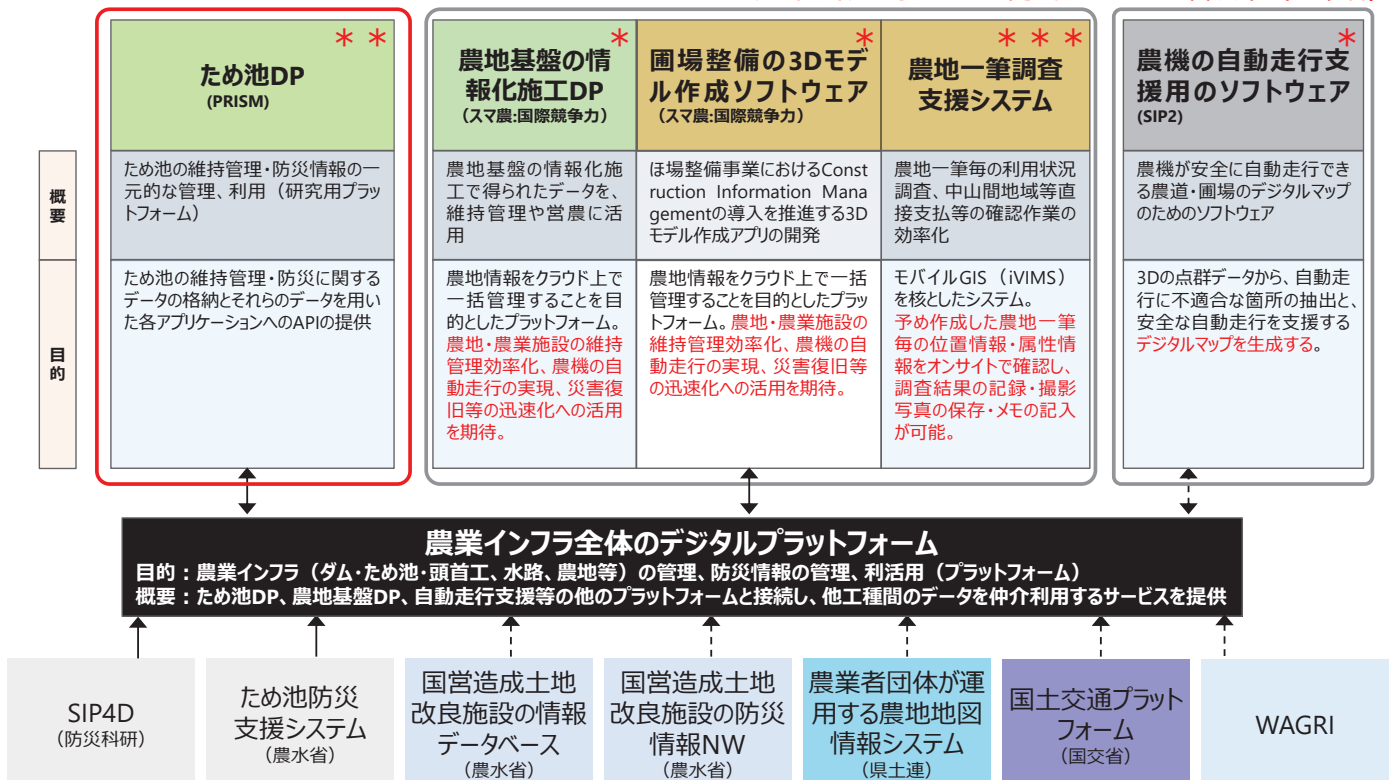
ため池を改修する土木工事の工程は下記のとおり。プレキャスト製品を利用することで効率化が可能である。

<p>1. 準備工 落水によって工事箇所を乾燥。</p> 	<p>2. 仮設工 工事用機材や盛土材、PCa資材等を搬入するための進入路を設置。 (進入路の位置)</p> 	<p>3. 堤体掘削・床掘り 現況の堤体を階段状に掘削しながら、軟弱な基礎地盤を排除。 (掘削深さ)</p> 
<p>4. PCa底樋の設置 基礎地盤を整形して PCa底樋を設置。埋め戻しは入念に実施。 (埋め戻し高さ)</p> 	<p>5. 堤体の転圧 築堤材料を搬入し、所定の強度となるように、重機で転圧。 (土工量)</p> 	<p>6. PCa洪水吐の設置 地山と盛土を整形して、PCa洪水吐を設置する。 (設置位置)</p> 

25

参考資料 農地、農業水利施設等におけるデジタルプラットフォームの構築（元施策）

* : プロトタイプまで、** : 完成、*** : 普及中（上市済）



外部研究資金（SIP3期インフラ、防災、モビリティ等）との連携を検討中

参考資料 農業インフラデジタルプラットフォームの全体ロードマップ

項目	内容	令和4年度 (2022年度)	令和5年度 (2023年度)	令和6年度 (2024年)	令和7年度以降 (2025年～)	備考
1. 全般	全体実施計画など	開発基本計画	詳細実施計画			
2. データベース	データベース構築					
	データ収集・DB基礎設計	国・水土里情報との協議				
	DBの構築		DBプロトタイプ構築		試験稼働	
	インターフェースの構築				DB更新インターフェース構築	
3. システム	システム構築					
	テストシステム構築	WebGISの構築				
	プロトタイプシステム構築		認証システム構築・SIP3との連携（流域治水等）			
	運用システム構築				運用システムの試験稼働	
4. 他システムとの連携	API連携等による連携					
	ため池デジタルプラットフォーム連携	連携基礎設計	API接続			
	農地基盤データプラットフォーム連携	連携基礎設計	API接続			
	農業水利ストックDB・防ネット等との連携		連携検討※	API接続		
	水土里情報システムとの連携		連携検討※	API接続		
	国土交通プラットフォーム等				連携検討※	
WAGRI連携		連携検討※	API接続			
5. 体制整備	研究開発実施体制	検討チーム体制整備	研究開発チーム体制整備		運用保守体制整備	
6. 運用保守	データ管理・運営等の部門設置		データ管理ルールの策定	運用マニュアル作成	公開・フォローアップ	

- テストシステム作成は、アジャイル的に機能単位の確認を行いながら開発を進める。
- 連携検討※については連携に関する調整はこれから。

2. 農業農村 DX のモデル地域の実態と可能性に係る調査

新型コロナウイルスの感染拡大の影響を受けて、地域における新しい生活の価値が見直されつつある中、農村地域における通信インフラ整備のニーズが高まってきている。令和2年度から、農業農村工学会・農業農村情報研究部会では「農業農村地域における情報利活用の未来図」のアイデアを公募し、令和2年度は20件、令和3年度は12件の課題を採択し、そのアイデアを取りまとめている。

今年度も電力と通信インフラが整備されていないような農業農村地域の特質を活かし、デジタル技術を活用して地域の振興につながるような「農業農村地域における情報利活用の未来図Ⅲ」を募集し、12件の課題を採択した。そして、各採択課題を3月3日の農業農村情報研究部会勉強会で発表してもらい、活発な議論を行った。その議論を踏まえて、報告書を提出してもらい、それを調査報告書と取りまとめた。

公募要領：<http://agrinfo.en.a.u-tokyo.ac.jp/project/221005.html>

勉強会：<http://agrinfo.en.a.u-tokyo.ac.jp/meetings/anounce-47.htm>

その内容は以下の通りである。いずれも学生らしい斬新な農業農村地域における情報利活用の未来図が提案された。

- | | |
|---|----|
| (1)小藺大臣・齋藤涼裕・深谷朱里・溜池菜々子(宇都宮大学 農学部 農業環境工学科)・ | 3 |
| 那須野ヶ原用水の水路網を利用した情報通信基盤整備を契機とした循環型農村地域の創生 | |
| (2) 佐藤稜 (岩手大学農学部食料生産環境学科) | 5 |
| 情報技術を活用した中山間地域におけるビール麦の品質管理 | |
| (3) 志賀智寛 (東京大学農学部) | 7 |
| 農村情報ネットワークを活用した「観光林業」の可能性 | |
| (4) 加藤沙耶香・森川力太・藤井淳乃介(三重大学生物資源学部共生環境学科) | 9 |
| ウォーターモバイル | |
| (5) 井上慶士・小野寺渉・羽室颯太・深川智哉・藤井遥・山下都佳爽・吉井裕亮・*下浦隆裕(近畿大学 農学部・*奈良県豊かな食と農の振興課) | 11 |
| 農地でスマート農業・最新技術展示研修会 | |
| (6) 松野大河(東京大学教養学部)・石田未優(福島大学食農学類) | 13 |
| 土壌水分計と連動した簡易的な自動散水装置の開発 | |
| (7) 浅野珠里・大塚健太郎(岐阜大学) | 15 |
| 農業農村地域活性化に向けた農村 GO の取り組み | |
| (8)野田坂秀陽(東京大学農学部) | |
| 農村振興及び自然教育のための棚田ブランディング | |
| (9) 小田広希・金子想・前田泰祐(東京大学大学院新領域創成科学研究科) | 17 |
| 「自動温湿度調節ハウス」によるマンゴーの炭疽病予防策 | |

(10) 長野宇規(神戸大学大学院農学研究科)	19
農業生産法人の農業情報ニーズ調査	
(11) 西村和海(東京農工大学)	21
通信インフラの整備によるデータ連携基盤との接続の可能性	
(12) 北村知子(岩手大学農学部食料生産環境学科)	23
農地からの情報発信が広げる推し活の輪！	
一農産物への♥で活気ある地域社会を育むために一	

2. 農業農村DXのモデル地域の実態と可能性に係る調査

那須野ヶ原用水の水路網を利用した情報通信基盤整備 を契機とした循環型農村地域の創生

小 藺 大 臣*
(KOZONO Takaomi)

齋 藤 涼 裕*
(SAITO Ryousuke)

深 谷 朱 里*
(FUKAYA Juri)

溜 池 菜 々 子**
(TAMEIKE Nanako)

I. はじめに

那須野ヶ原地区は栃木県の北東部に位置する広さが40,000 ha の広大な複合扇状地である。かつては、農業どころか人が住むことすらままならない不毛の土地であったが、先人たちの努力により那須疏水が開削された今日では、緑豊かで活力に満ち足りた大地に生まれ変わっている。近年の日本各地で、農業従事者の高齢化の問題が叫ばれているが、栃木県の那須野ヶ原地区においても高齢化が深刻な問題となっている。今後、那須野ヶ原地区を発展させるためには農業の省力化を進めることが必要であると考えた。農業の省力化を進めるためには、ICTなどの通信基盤を整備することが必須の条件である。そこで本報告では、用水路に通信ケーブルを埋設し、農業や公共利用を目的とした ICT 等の通信基盤を整備することやそれに伴う地域の発展について、那須野ヶ原土地改良区連合への聞き取り調査などをもとに検討した。

II. 未来図

那須野ヶ原地区の情報通信基盤を強固なものにするために、地区内の幹線水路に光ファイバーを設置することを考えた。光ファイバーを効果的に利活用するために、基地局を5基程度整備する。そして、通信技術を活用し、農業とロボット技術を組み合わせた農業生産のICT化を図る。例えば、自動給水栓をスマートフォンでコントロールしたり、農薬散布に自動飛行型ドローンを用いたり、自動で走行する無人トラクタ等を導入したりする。これらはほんの一例にすぎないが、農業のICT化を進めることによって、農作業の効率化や省力化を図ることができる。それだけでなく、今まで複雑な技術が必要だった作業が自動化されることにより、就農へのハードルが下がり、新規就農者の増加も期待できる。加えて、農業者以外の人へ公共的な情報サービスの提供が可能となる。

光ファイバー網や基地局を使う際に必要となる電力について、これまで那須野ヶ原地区で先進的に実施してきた小水力発電に加え、太陽光パネルも水路に設置し発電を行っていく。特に、水路の壁面にも太陽光パネルを設置することによって、従来の太陽光のほかに水面からの

光の反射光も取り入れることができ、効率的な発電が可能となる。このようにして、地域内で使う電力を地域内で発電するというエネルギー循環をすることにより、エコシティの実現も可能となる。

さらに、「エネルギー」の循環とともに「食」の循環も図っていくことが必要である。那須野ヶ原地区における上流部地域の水田を再整備して畑地化する。その畑地を作物ごとに圃区を分けることで効率的な農業を行う。また、傾斜地では、牧草や飼料用米を利用した畜産を営むことで生産性の高い耕畜連携型の農業が期待できる。那須野ヶ原地区における下流部では稲作を行う。排水路の暗渠化等を取り入れた傾斜地にも対応できる圃場の大区画化を進め、自動給水栓や農業機械の無人走行などの導入を実現することによって、さらなる担い手の集約化が図れる。地域貢献の観点からは、農産物やその加工品を、道の駅や直売所で販売するほか、周辺リゾート地のホテルやレストラン等で積極的に使ってもらうことで、地産地消、地域の食料自給率向上、低フードマイレージを推進させていくことができる。このように、情報通信基盤整備やその利活用を契機として、「農」を軸とした産業が活性化し、「食」、「エネルギー」の地域内循環が創出され、観光者や新規就労者の「人」の流れも生まれ、持続可能な地域づくりが期待できる。

III. 課題

この未来図を実現させるための課題は、行政、農業従事者、地域住民との合意形成が難しい点が挙げられる。また、基地局の設置や光ファイバーの埋設など初期投資が膨大になることも懸念される。さらに、農村農地整備事業として推進することを考慮すると、生産性・労働性の向上や営農の安定化が大前提になる。そのためには、企業やNPO法人等の組織が参入しやすい体制を整え、この事業の有用性を高めていくことが大切である。具体的には、那須野ヶ原地区の未来図に関わる多くの関係者が参加するワークショップを開いて議論を重ねることが有効であると考えられる。

栃木県那須野ヶ原地域の未来図

～水路網を利用した情報通信基盤整備を契機とした循環型農村地域の創生～

宇都宮大学農学部農業環境工学科 小藺 大臣(3年), 齋藤 涼裕(3年), 深谷 朱里(3年), 溜池 菜々子(4年)



高原リゾート地区

通信基地局



農業生産のICT化
スマート農業



無人トラクタ

水路敷地内で
太陽光発電発電

畑地地区

「農」

「情報」

「エネルギー」

「食」

「人」

畜産地区

耕畜連携

地産地消

生活地区

エコシティ

小水力発電

無人田植機

通信基地局

水田地区

幹線水路沿に
光ファイバーケーブル埋設

「農業農村地域における情報利活用の未来図Ⅲ」

-情報技術を活用した中山間地域におけるビール麦の品質管理-

佐藤 稜* [岩手大学農学部食料生産環境学科]

(SATO Ryo [Iwate University of Food Production and Environmental Management])

I. はじめに

今日において、国内における農地面積は減少の一途を辿っている。特に近年では農業従事者の高齢化を受けて、離農に伴う荒廃農地の増加が全国的な問題となっている。また、東北地域における基幹的農業従者の平均年齢は令和二年度の段階で 67.7 歳となっており、2030 年度には大規模な離農が生じることが見込まれている。

高齢化による労働力の減少は喫緊の課題となっており、対策としては労働の省力化、もしくは労働時間の短い作物の選択が挙げられる。本稿では主に後者による農地利用を想定する。

II. ビール麦栽培の優位性と課題

農地活用の省力化に繋がる作物として、様々な品目が想定されるが、中でも労働時間の短さと収益性の高さから、ビール麦の原料となるビール麦(二条大麦)による農地活用が有効だと考えられる。

ビール麦の優位性として、まず労働時間は、小麦の栽培とほぼ同等であることから 10a あたり約 7.2 時間と非常に短い。さらに収益面においてはビールメーカーと直接取引が行われるため、300~200 円での取引が可能であると考えられる。

一方で、ビール原料として使用されることから、小麦と比較して品質管理に手間がかかり、カビの防除やタンパク質含量の調整など、栽培技術の体系化が重要となる。また、販路がビールメーカーとの契約栽培のみと限定されていることから、収量の増減が取引上の課題となる。

III. 対象地域の課題

現在、ビール麦栽培は岩手県の紫波町、陸前高田市の二地域で実施している。紫波町では水田転作を前提とした平地かつ大規模栽培となり、陸前高田市では中山間地域を活用した小規模かつ分散した栽培となっている。本稿では、陸前

高田市におけるビール麦栽培を対象とする。

陸前高田市は岩手県の沿岸南部に位置することから海のイメージが強いが、岸沿いおよび内陸部における中山間地域では農業も営まれている。一方で農地の集約は進んでおらず、複数の小規模農家が営農を行っている。

また、ビール麦栽培における課題は様々なものが挙げられるが、特に品質管理が重要となる。

IV. 対策案-栽培管理プラットフォーム-

分散した農地での品質管理策として、ビール麦の栽培に特化したデータベースおよびプラットフォームの構築が重要であると考えられる。

具体的な機能としては、ビール麦は不揃いの抑制という観点から、播種および収穫タイミングの統一が最も重要であり、さらに施肥タイミングが収量増加とタンパク質含量の調整において重要となる。まず収穫タイミングに関しては、穂のたれ具合が判断基準となるが、収穫適期が数日~1 週間程度と極めて短いことから、見極めが難しい。特に分散した農地では、同地域であっても土壌条件や日当たりから収穫適期にズレが生じるため、なおさら難易度が上がる。

そこで小規模の圃場単位でデータベース化し、シミュレーションに基づいて、通年の栽培スケジュールを作成するといった機能の実現を目指したい。

V. 今後の展開

栽培管理プラットフォームの構築と同時に、ビール麦の販路は契約栽培が前提となることから、収量予想も実現し、ビールメーカーとの円滑な取引を実現する。また、東北地域において栽培事例に乏しいことから、試験栽培地を拡大し、データベースの構築に向けた、2023 年から栽培データの収集を図っていく。栽培プラットフォームは 2025 年に実用化を目指す。

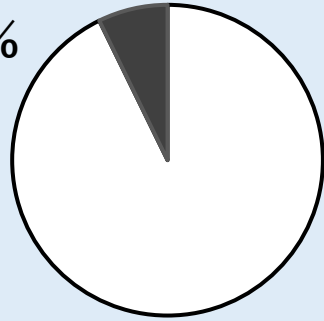
農業農村工学会「農業農村地域における情報利活用の未来図Ⅲ」 情報技術を活用した中山間地域におけるビール麦の品質管理

岩手大学農学部
佐藤稜(食料生産環境学科4年次)
2023年2月26日

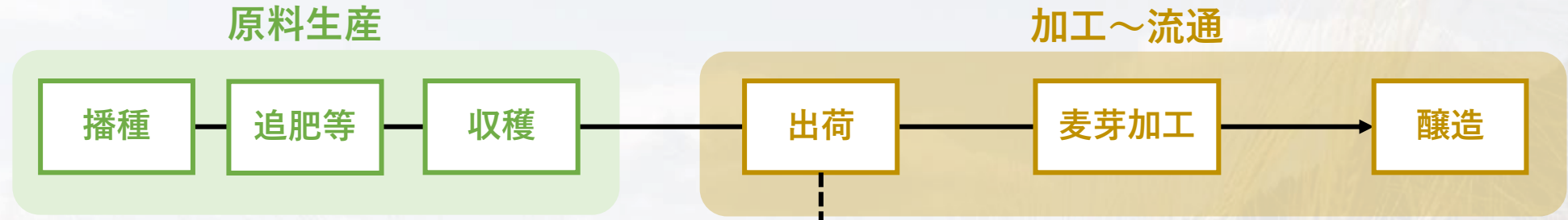
ビール麦の生産～流通フロー

国産割合

約9%



□ 輸入麦芽 ■ 国内麦芽



現状課題

中山間地域における
ビール麦の品質管理

解決策

ビール麦栽培の
データベース化

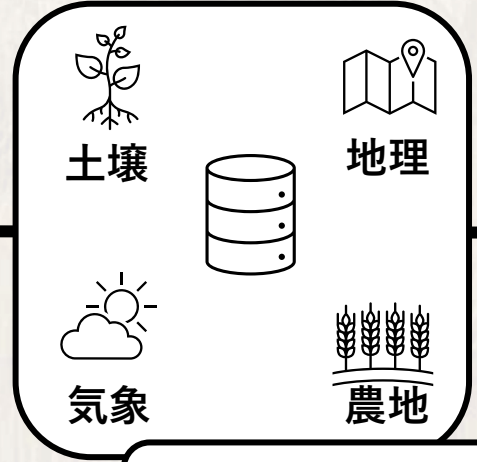
課題解消

AIによる栽培計画の生成
+ 栽培ノウハウの共有

収量予測による
取引の安定化



栽培データの収集
2023～2025年



ビール麦栽培の
プラットフォーム
2025年～

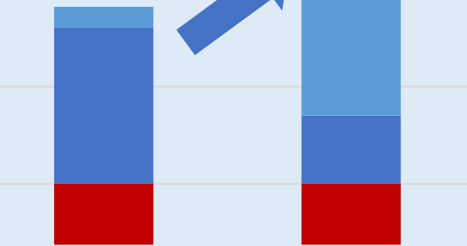


品質の統一化

約1.5倍の収益増

ビール麦
94,662円

小麦
59,612円



■ 交付金 ■ 販売金額 ■ 変動費

2023年データ収集の開始
2025年～栽培プラットフォームの実用化
岩手県内4～6地域でデータ収集実施

岩手の遊休農地を
ビール麦畑として活用！



ホップ栽培による地域ブランド化と収量最大化のための 定点観測技術の活用

Hops Cultivation for Regional Branding and Yield Maximization Utilization of Fixed-point Observation Technology

志賀 智寛*
(SHIGA Chihiro)

I. はじめに

ビールの原料の一つであるホップ（セイヨウカラハナソウ、*Humulus lupulus*）は、国内の栽培地域は限られている一方で、強い生命力を持った多年草であることから、希少性と継続性を兼ね備えた作物である。さらに、現在生産されているビールのほとんどはペレット化した海外産ホップを用いていることから、国産の生のホップは価値が高く、そのホップから生産される地域に根差したクラフトビールも含め、地域ブランドとしての潜在性がある。

筆者は、千葉県富津市でのホップ栽培とビール醸造化を実現させた経験があるが、夏の収穫タイミングの見極めや病害虫被害の発見で困難な点が多く、栽培時の大きな課題であった。それを解決するのが定点観測技術であると考えている。

本提案では、定点観測技術を用いてどのような情報利活用が求められているか、またそれによってもたらされる更なるメリットを明らかにする。

II. 概要

クラフトビール醸造を前提としたホップ栽培においては、ホップの生産量が多ければ多いほど、ビールの醸造量も増えることになるので、収量をできるだけ多く確保する必要がある。ビールの原料となる毬花という部分は夏の時期にかけて少しずつ大きくなり、1ヶ月ほど咲いたあとに少しずつ枯れていく。この流れが株ごと・節ごとに続くため、どの時期が最大の収量となるのかの予測はとて難しく、ホップ栽培の課題であると考えている。

また、病害虫の被害もホップ栽培における課題である。特に「メイガ」による食害を受けると、その株は一気に枯れてしまい、毬花の生産は期待できない。食害を発見した時点で、株には変化が現れるため、早期発見が肝である。

これらの課題を解決するために、カメラや温度計、雨量計などを搭載した機器を用いた定点観測を行うことが効果的であると考えている。まず、収量の最大化という点では、毬花の開花時期を確認できることで枯

れる時期のある程度の予測ができる上、開花状況を比較することによって最も繁茂している時期を推測しやすくなる。また、ホップの積算温度は2000-2800度ほどとされているので、温度情報を蓄積されることも収穫時期の決定に貢献するだろう。病害虫の点では、定点観測によって遠隔地においても早期発見が可能になる。また、メイガが発生しやすい降水条件も把握することができるだろう。

III. 農村情報ネットワークの活用

定点観測技術は上記のようなホップ栽培上の課題を解決する上に、さらなるメリットがあると考えている。今回は一例として「オーナー制」を提案したい。ホップの株ごとにオーナーを募集し、その株で開花した毬花を使用したオーナーオリジナルのクラフトビールを生産する、というビジネスモデルである。定点観測技術を用いれば、オーナーはいつでも自分の株の様子を確認することができる。特に成長速度が早いホップであれば、その様子を観察するのは喜びに溢れたものになるだろう。そして、その株で開花した毬花の収穫体験などで都市のオーナーを農村に誘致することも可能である。このようにして、農村ではお金を集めながら都市のオーナーも誘致でき、都市と農村を繋ぐことも可能になる。都市住民としても、成長の様子を確認しながらオリジナルのビールを飲むことができるのである。このようなビジネスモデルは、地域ブランド化を可能にし、農村の活性化に大きな貢献をするものであると考えている。

IV. おわりに

定点観測技術は、効率的なホップ栽培・ブランド化に大きく貢献するものであると考えている。ホップ自体が持つ希少性、継続性も合わせれば、このような情報利活用による農村の活性化ができるのではないかと考えている。定点観測で蔓の長いホップ全てがチェックできるのか、など課題もあるが、大きな可能性があると考えている。さらなる取り組みを行なっていきたい。

* 東京大学農学部環境資源科学課程国際開発農学専修4年

キーワード 農業農村工学会, ホップ, 定点観測, ブランド化

課題

- ・ 収量最大化の時期把握が困難…
- ・ 病害虫の被害が生じる可能性…



(収穫時期に合わず枯れてしまったもの)



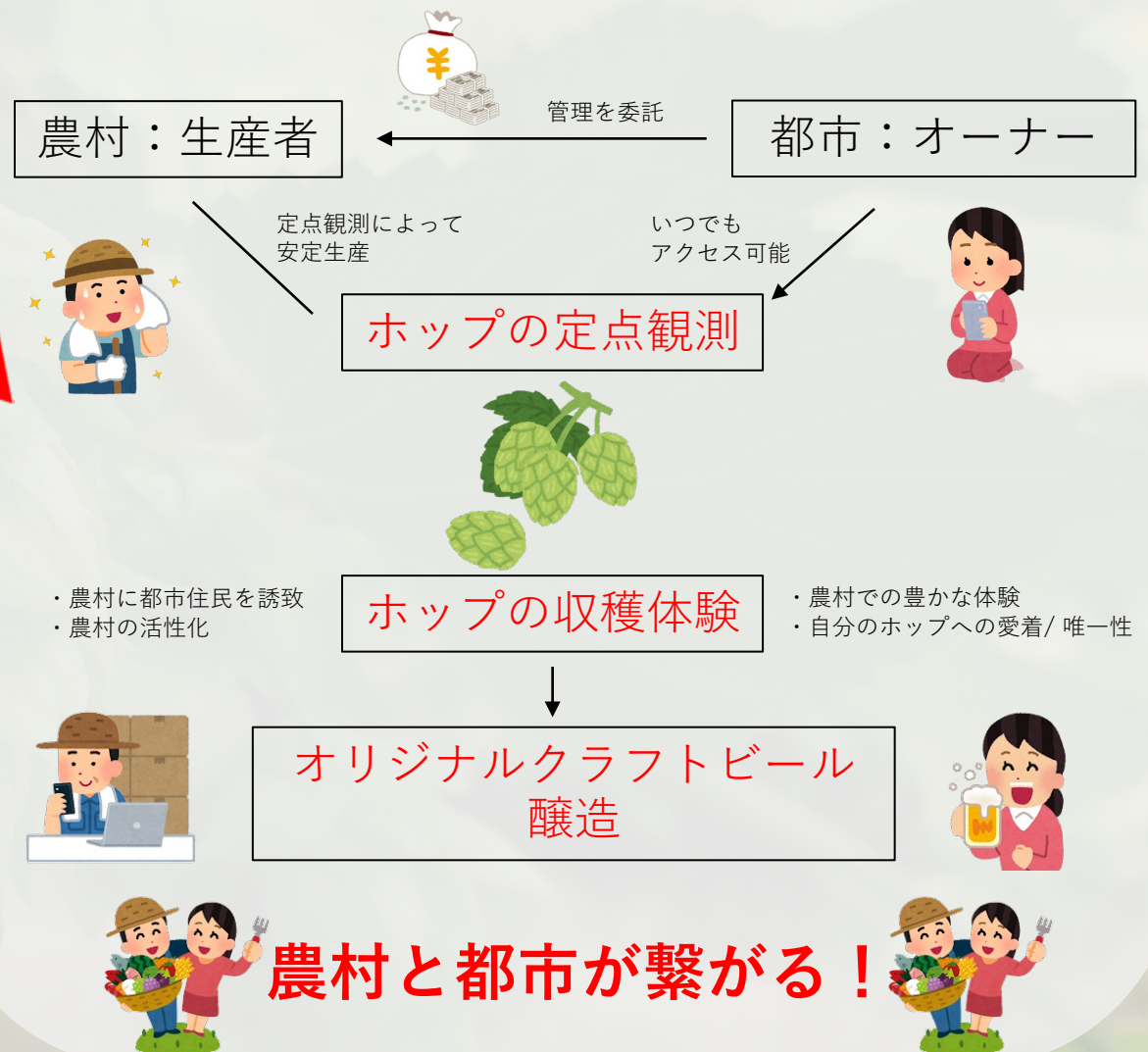
(メイガの被害を受けてしまったもの)

定点観測技術の活用

- ・ 最も繁茂する時期の推測が可能に！
 - ・ 病害虫被害の早期発見が可能に！
 - ・ 温度や降水の情報も把握が可能に！
- **収量の最大化を実現**

さらなるメリット

◎ホップ株のオーナー制とクラフトビール生産



ウォーターモバイル

Water mobile

加藤 沙耶香*
(KATO Sayaka)

森川 力太**
(MORIKAWA Rikita)

藤井 淳乃 介**
(FUJII Junnosuke)

I. はじめに

三重県東紀州地域では柑橘栽培が盛んで、高品質ミカン栽培のためマルドリ栽培方式が普及してきた。市販の土壤水分センサーは安くても10,000円程であり、農業者自身が投資するには価格面でハードルが高かった。そんな折、DFROBOT社の土壤センサー Capacitive Soil Moisture Sensor V1.2 (以下、CSMS) が商品化され、互換品が1本200円程度で一般的に入手できる。

またデータ転送に関して、みかん園地ではモバイル通信も使えない場所が多い。近年、Sigfoxをはじめとする低消費電力で長距離のデータ通信を可能とするLPWA (Low Power Wide Area) が情報インフラの整っていない農村地域で注目されている。令和3年度情報通信環境整備対策事業に採択された三重県御浜町を対象地として想定し、CSMSとLPWAを用いた土壤水分の遠隔監視システムを試作して、運用の可能性や問題点の抽出を行った。

II. 作成したシステム

CSMS, ESP32, Sigfox を繋げた土壤水分モニタリングシステムを試作した(図1)。ESP32はSigfoxとCSMSと接続してロガーとして動作する。

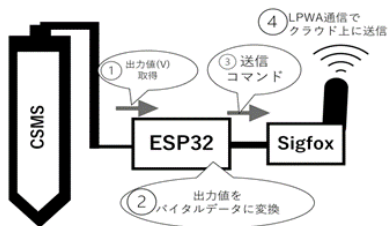


図1 システムのしくみ

電源電圧(3.3V)をCSMSに印加すると、体積含水率に応じた電圧が出力される。ESP32はA/Dポートでその出力値を取得し、バイナリデータに変換してSigfoxにデータ送信の命令を送る。その後、SigfoxはバイナリデータをLPWA回線経由でクラウド上に送る。クラウドに送られたバイナリデータは元の出力値に変換され、IoTデータ可視化サービスであるAmbientのクラウド上に蓄積される。このシステム1台の費用は

6,450円であり、非常に安価である。

III. センサーの試運転

底に排水用の穴がある同じ形の円筒を3つ用意し鳥取砂丘砂(乾燥密度 1.9g/cm^3)の砂を入れた。CSMSの端子部分が出るように設置したもの(以下、CSMS上部)、CSMSの端子部をコーキング材で簡易防水処理して全て土中に入れたもの(以下、CSMS土中)、何も設置しないもの(以下、質量測定用)とした。3つを水に浸け飽和状態にした後同時に水から揚げ、重力排水と自然蒸発で風乾状態になるまで18日間放置した。その間CSMSは30分おきに出力値を記録し、質量測定用は電子天秤に乗せて1時間に1度質量を記録した。

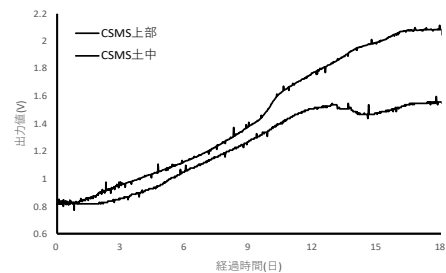


図2 システムの試運転の結果

センサー出力値の結果は図2のようになった。作成したシステムは18日間問題無く出力値を記録し続けたが、CSMS土中は12日あたりから出力値が低下し横ばいとなった。風乾状態でのCSMSの出力値はどちらも2.07(V)であったので、おそらくCSMS土中は漏電により故障したと考えられる。また、質量測定用から求めた体積含水率と、センサーから求めた体積含水率を比べたところ、測定誤差は平均 ± 0.028 であることが分かった。これは、既製品のカタログに記載されている測定誤差 $\pm 3\%$ (0.03)であることを考えるとセンサーの能力は既製品と遜色ないと考えられる。

IV. まとめ

通常より安価な土壤水分計測システムを作成し、20日間計測を行うことが出来た。センサーの測定精度は一般的なものと遜色ないが、端子部の防水処理などの耐久性の強化が急務であるということが分かった。

三重県御浜町のミカン畑では、マルドリ式でミカンを育てています。その水分量を土壌水分センサーを用いて数値的に管理できれば、より高品質を保つことに貢献できます。

本研究では、1本200円の格安センサーCSMSの測定値をLPWA通信で送信する非常に安価で自動計測可能な土壌水分センサーを作成しました。

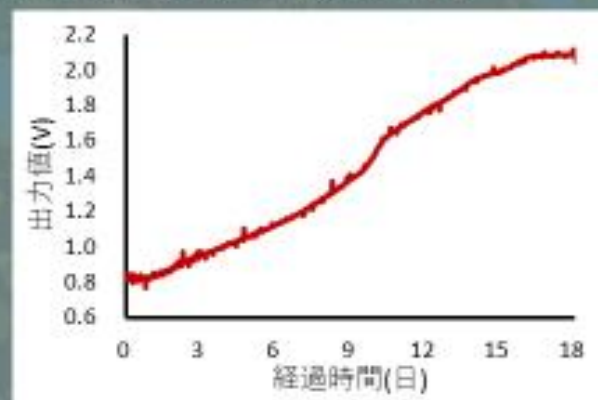
現在、普及に向けて様々な実験や検討を重ねています。



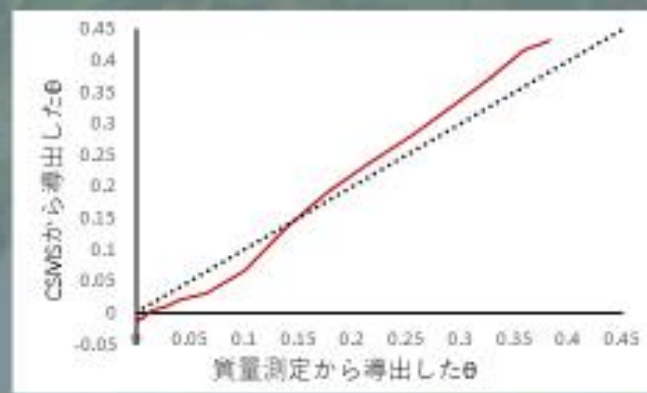
三重大学 加藤沙耶香 藤井淳之介 森川力太

ウォーターモバイル

○20日以上連続計測可能！



○平均誤差 ± 0.028 \Rightarrow 高い精度！



農地でスマート農業・最新技術展示研修会

Exhibition and workshop on smart agriculture and the latest technology on farmland

井上慶士・小野寺渉・羽室颯太・深川智哉・藤井遥・山下都佳爽・吉井裕亮・下浦隆裕

(INOUE Keishi, ONODERA Wataru, HAMURO Souta, FUKAGAWA Tomoya, FUJII Haruka, YAMASHITA Tukasa, YOSHII Yuusuke, SHIMOURA Takahiro)

I. はじめに（状況と課題）

最近の農業機械の技術的進歩や便利さは、日々変化している。更なる効率化、人材確保、農村の魅力発信等に欠かせない技術と考える。しかし、生産現場や農5村では、身近に感じない方々もまだ多く、企業側では、展示会場等でのPRの機会はあるものの、直接農家ユーザーへの説明の機会は数少ない。

そこで、農家・企業・大学・行政と連携し、農地を展示会場として、**見て・聞いて・試して**利便性等10を実感し、**学ぶ**場を企画した。併せて zoom によるオンラインLive配信も計画した。

II. 農地での展示研修会の開催

令和5年2月16、17日、奈良県内でスマート農業の実証実験を実施している地域の協力を得て、最新技15術の機械や機器の展示会・勉強会・現地見学会を開催した。この様子は、Live配信も行い、YouTubeにも投稿して現在も配信中である。[ノウカル座談会 - YouTube](#)
今回の最新技術の機械や機器は以下の通り。

- ①乗用型消毒機
- 20 果樹の消毒を快適な空間で実施
- ②リモコン式自走草刈機
農地の法面や下草刈りをリモコンで実施
- ③電動リモコン運搬機
田畑の収穫物や資材の運搬に活用
- 25 ④パワーアシストスーツ
農作業の運搬作業の軽労化に貢献
- ⑤ドローン消毒機
ドローンを使った薬剤散布や生育確認を実施
- ⑥灌水システム
- 30 ⑦灌水を遠隔操作で楽々管理を実践
- ⑧環境モニタリング
気温や水分量などの気候風土データを数値化
- ⑨メタバースによるPR
メタバースを活用した農村の魅力発信の可能性
- 35 また、今回の研修会には、JICA（カンボジア）から研修生5名も参加した。

更に、当日は、zoomによるオンラインLive中継も行い、ベトナムから情報交換するなど未来の情報通信による交流・共有の可能性も実践した。

40 III. 農地での展示研修会で感じたこと

展示研修会を開催・参加し、実際に使われている機械を生で見、話が聞ける良い経験・機会が出来た。

ドローンは、操作性も良く手頃に扱え、農薬散布などの負担軽減に農家の注目度も高かった。

45 農業は経験や知見も必要だが、データ化することは、経験の浅い若者が就農する魅力にもなると思う。

メタバースは、実際の対面交流ではないので、全く興味のない人も知ってもらおうキッカケや、広く繋がりを作るキッカケとして活用の可能性を感じた。

50 労働時間の短縮、力仕事の軽減、データ化による多様な人の農業参入、Live通信による営農や機械操作等の指導や伝授など興味深い新技術により、農業や農村がより身近で魅力的なモノ・コトになると感じた。

スマート農業や最新技術が、農業の担い手不足や労55働環境改善の一助になると思う。

機械や技術を多人数でシェアが出来、低価格化、置き場に困らない小型化、簡単操作化など、より買い易く使い易くなることで、利用拡大して欲しい。

機械化が進む中、農家が感じ伝えてきた経験や風儀60なども大切なことと考えるので、経験や風儀も機械学習などを活用して次世代に継承できればと思う。

しかし、スマート農業はまだ特別感がある。私たちがスマホを使いこ65なすように、日常に技術が使われる農村社会を創っていければと思う。



IV. まとめ

70 情報通信網の普及は進んでいるものの、まだまだ未熟である。情報管理や通信により、益々サイバーフィジカルな農業に移行する中、**農山村情報ネットワーク**（Wi-Fi等）の整備が重要かつ急務であると感じた。

最後に、「農地での展示研修会」が、農家ユーザー75と企業との意見交換などの交流の場となり、最新技術の機械や機器が多様な農家に活用されると共に、情報通信環境が農山村まで整備され、未来の魅力ある農業や農村の暮らしとして広がることを期待したい。

農地でスマート農業・最新技術 展示研修会

～ 「見て・聞いて・試して・学ぶ」！ 農地でリアルな研修会を開催！ ～

- ・次世代を見据えたスマート農業等の最新技術を、実際に農地で「見て・聞いて・試して・学ぶ」ことで人材育成し、技術や考え方を伝播させる。
- ・身近に実際の機械に触れて、実践地域のお話を聞いて、最新技術を体験することで、サイバーフィジカルを活かした農業など就農意欲を向上させる。
- ・高齢者、女性、障害を持つ方など多様な人たちが農業分野に関われ、雇用にもつながることなど次世代の農業農村との関係人口を考える。

見て・聞いて・試して・学べる農地（展示場）

農山村情報ネットワーク

オンライン交流・講座

オンラインツアー

地元農産物のおいしい食べ方配信

地元農産物のオンライン購入

実践エリア（NAFIC周辺地域）

農山村情報ネットワーク

NAFICアグリマネジメント学科

ライブ配信

農山村情報ネットワーク

ドローンの実践見学

県産食材を食しながらの交流会

遠隔灌水システム導入の果樹園見学

NAFIC附属セミナーハウス

乗用消毒機の試乗

最新技術機械・機器の勉強会

リモコン草刈機の展示・試運転

環境モニタリングの野菜園地見学

アシストスーツ・電動運搬機の展示・試運転

項目	具体的な取組内容	イメージ写真
乗用消毒機 ステレオ スプレーヤ	果樹の消毒を快適な空間で ・乗用、キャビンを備えた消毒機 ・歯科医可能な曲面ガラス ・噴霧器角度と排出量は自由自在 ・散布計画、ノズル調整等のモニター管理	
リモコン草刈機 リモコン式 自走草刈機	農地の法面や下草刈りをリモコンで ・リモコン操作可能な自走草刈り機 ・200mの遠距離でも操作可能 ・最大40°の傾斜地でも作業可能 ・軽トラック搭載可能なコンパクトサイズ	
リモコン運搬機 らくらく電動 クローラー	田や畑の中での収穫物や資材の運搬に ・無線で、らくらく運転・離れて運転 ・騒音・排気ガス無しの電動クローラー ・キャタピラで安定走行 ・荷台は、ダンプ&スライド拡張可能	
アシストスーツ ウインチ型 パワーアシ ストスーツ	農業における運搬作業の軽労化に貢献 ・ウインチワイヤーのアシスト機能 ・腰のアシスト機能付き ・軽量でコンパクト	
ドローン ドローンで 消毒・調査	ドローンを使った薬剤散布 ・農業用ドローンの体験会 ・農薬散布、植生モニタリング ・ドローン操作講習会・研修会	
灌水システム 灌水システム	灌水を遠隔操作でらくらく管理 ・農作物への灌水作業を遠隔で操作 ・スマートフォンで操作や情報管理 ・作物に最適な灌水をコントロール	
環境モニタリング 環境 モニタリング	気温や水分量などの気象・風土を数値化 ・気象や土壌の状況を瞬時に確認 ・液晶モニター表示 ・スマートフォンでも確認	
仮想空間情報発信 メタバースで 魅力PR	メタバースを用いた農業農村PR ・仮想空間での交流（新たな出会い） ・農産物や農村魅力をPR ・最新技術や機械の紹介	
情報通信 オンラインで Live配信	オンラインでLive配信して交流 ・交流による地域の魅力PR ・オンラインで営農や機械操作の指導 ・オンラインで農業疑似体験や買い物	

土壌水分計と連動した簡易的な自動散水装置の開発

Development of simple automatic water supplier working with soil moisture sensor

松野大河*
(MATSUNO Taiga)

石田未優**
(ISHIDA Miu)

那須琴実***
(NASU Kotomi)

I. はじめに

東京大学の学生サークルである東大むら塾飯館部及び福島大学の学生サークルである福島大学食農学類農林サークル福桃は、共同で活動場所の福島県飯館村内5の道の駅「いいたて村の道の駅までい館」に花壇を設置するとともにその管理を行なっている。昨年度は、当企画の昨年度版を活用し花壇木枠の制作と、顧問教員の協力の下モニタリング設備の設置を行った。その上で、昨年夏は無事ホーリーバジルとサルビアを咲か10せることができた。

しかしながら、昨年度の管理の際にいくつかの問題が生じた。すなわち、遠方のため水やりの頻度が下がること、モニタリング設備の活用ができていないこと15である。そこで今年度は、遠隔操作が可能かつ自作が比較的容易にできる簡便な仕組みの、農村情報ネットワークを活用しうる自動散水装置の開発を試みることにした。

なお、すでにYouTubeやブログ等で自動散水装置の開発がなされているが、これらはいずれも家庭用の小20規模な菜園を対象としていること、水をモーターにより移動させ散水する機構となっている。この企画では、約2m四方の比較的大きな花壇を対象にするとともに、散水方法を位置エネルギーを活用した弁の開閉のみによる方法とすることで電気のない箇所でも比較25的安定的に駆動しやすいような機械となっている点が新規性である。

II. 装置について

1. 概要

この装置は、水槽、水栓（稼働部）、散水管、計器30のおおよそ4つの構成からなる。

2. 水槽

水槽は、現在ホームセンターでも市販されている廉価の12Lのものを検討している。これを、木材を利用して台を組み花壇の地面から高いところに置く。これ35により、水の位置エネルギーを活用し花壇に水を行き渡らせることができることを狙っている。

なお、水栓の節でも述べるように一度だけ給水できるようなより簡便な設備とすることを見据え2Lペットボトルによる給水も視野に入りたいと考えている。

3. 水栓（駆動部）

水栓は駆動部および司令装置からなる。駆動部は信号を通电するだけで確実に開閉可能な市販の電磁弁 AquaNet Plus を活用して試みる。司令装置は Arduino Uno を利用し、Wi-Fi モジュール（ESP-WROOM-02）45を附属させ通信を可能にするとともに、乾電池と接続することで電源を確保する機構である。

なお、さらなる簡素化のため開機能しかない自作弁の開発も視野に入れている。これにより、水槽の小型化も図ることができる。

4. 散水管

ホームセンターなどで市販されている塩ビ管を組み合わせて使用する。散水部は、ドリルで塩ビ管に穴を開けることで対応する予定である。

5. 計器

ウェブ上からの信号送信により開栓することを主眼に置いた装置であるが、まだ計器の設置がなされていない場所での稼働を考慮し、土壌水分計（SEN0193）を附属させる方向で設計を行なっている。プログラム次第では、水分計の値から自動的に散水することも可能60な機構を考えている。

III. 今後の見通し

実際に道の駅の花壇にて運用するとともに、制作方法の動画での公開も検討している。



65

図1 開発中の駆動部及び司令装置

* 東京大学教養学部3年

** 福島大学食農学類2年 *** 同3年

キーワード 農村情報ネットワーク, 村おこし, 自動散水装置, 水やり

道の駅までい館の花壇の自動散水機構

リモート
モニタリング

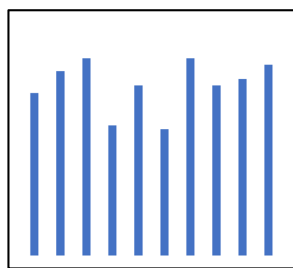
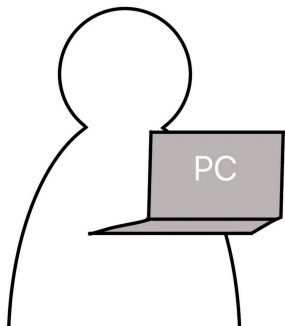
※昨年度実施

気象データの収集

雨量計、日射計等の設置

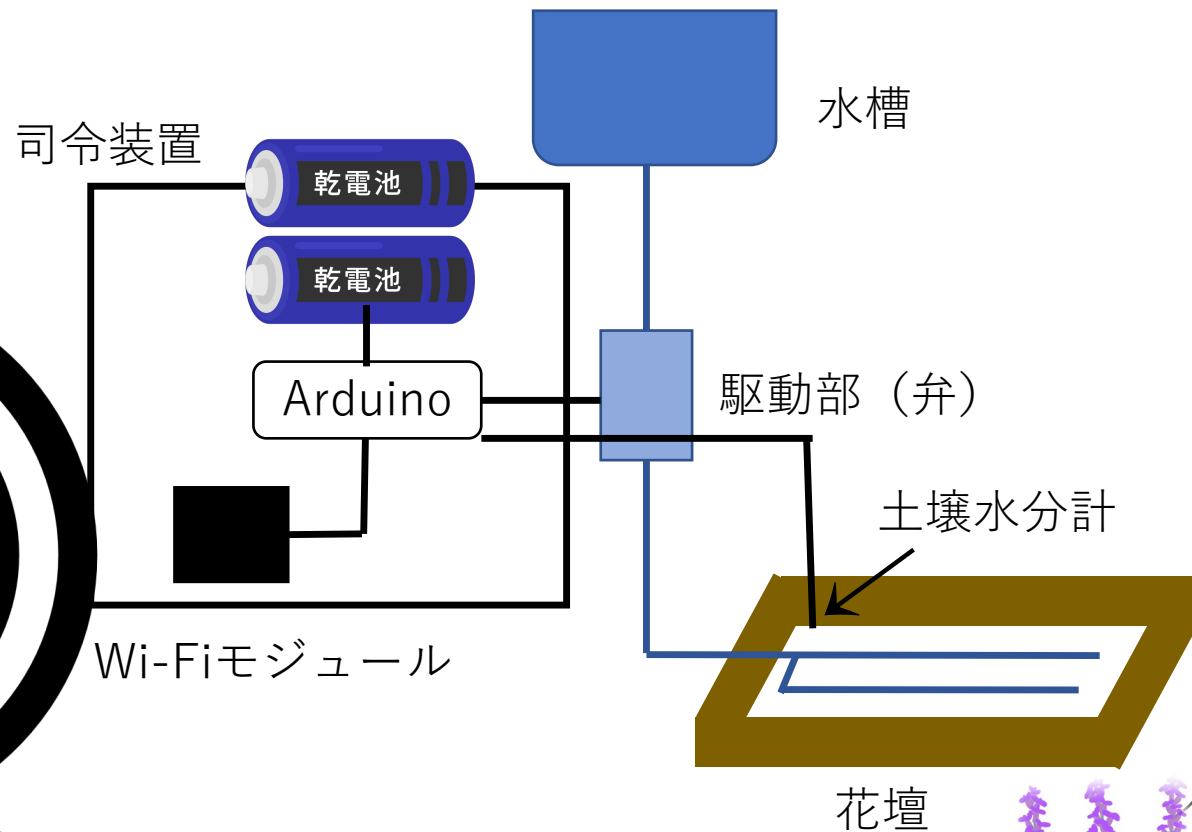
データ分析

飯舘村⇄東京



水やり時期の決定

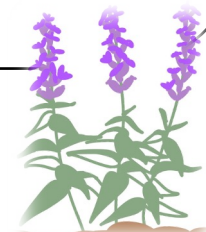
自動散水



土壤水分計と連動した簡易的な自動散水装置の開発

松野大河 (東京大学教養学部)

石田未優 (福島大学食農学類2年) ・ 那須琴実 (同3年)



環境教育ツールとしての農村 GO

大塚 健太郎
(OTSUKA Kentaro)

浅野 珠里
(ASANO Juri)

1. はじめに

農村 GO とは、農村地域の隠れた魅力を位置情報ゲーム上に表示し、都市部の住民が農村へ赴ききっかけとし、将来的な農村地域の活性化につなげる取り組みである。農村 GO プロジェクトは 2021 年 6 月に活動を開始し、農村の隠れた魅力を現地調査によって発掘し、またその情報をデータベース化してきた。今年度は、昨年度と同様の現地調査に加え、農村 GO を活用したイベントを行った。イベント後 10 のアンケートによるフィードバックを得ることで、農村 GO の新たな在り方を検討した。さらに、新たな応用として、小学生を対象とした環境教育の場での利用が可能となるような改良を施した。詳細について以下で説明する。

15

2. 小牧市民まつりでの活用

2022 年 10 月 15,16 日に行われた小牧市民まつりにおいて、木津用水まつりと題して参加した。木津用水まつり内では、ポスター（身近な水の流れ、なぜ 20 水は流れるのか）、サイフォン実験などの展示と共に、農村 GO を用いて身近な水の流れを探索し、水や水路の役割を考察する「農村 GO で水巡り」という体験を提供した。農村 GO のチェックポイントは、市民会館前の噴水、川、排水路とした。

25 体験終了後には参加者 19 人にアンケート調査を実施した。アンケートは、回答者のプロフィール、農村 GO について、水環境への意識について、の 3 つの要素で構成した。

回答者のプロフィールについては、20 歳以上 14 人 30 の内 12 人が小学生の子供と同伴、すなわち、子供と一緒に農村 GO を体験し、アンケートには保護者が回答した。

ゲームとして楽しめたか、という設問には、16 人が面白かったと回答し、面白くなかったという回答 35 者はいなかった。小学生の教育ツールとして役に立つと思うか、という設問には、17 人が役に立つと回答し、役に立たないという回答者はいなかった。

農村 GO で行った場所は以前から知っていたのか、という設問に対して、全てもしくは一部知って 40 いたという 10 人の回答者を対象に、その地点を流れ

る水の役割を意識していたか、という質問をしたところ、意識したことがなかったという回答が 8 人と大半を占め、意識していた、一部意識していたという回答はそれぞれ 1 人ずつであった。農村 GO の体験 45 により地域に流れる水の役割に対する意識に変化があったか、という設問には、変化したという回答が大部分であり（大きく変化した（2 人）、変化した（13 人）、変化はなかったという回答は 4 人のみであった。

50 以上のことから、農村 GO はゲームとしての楽しさと合わせて、環境教育ツールとしての評価も高いことが分かった。

3. 農村 GO の改良

55 環境教育ツールとしての利用価値を高めるため、農村 GO の改良を行った。具体的な機能を以下に示す。

- ・域内の水利施設をアプリに登録し、各々にポイントを設定
- 60 ・チェックインすることでポイントを獲得
- ・イベントごとに複数の水利施設をリスト化し、ポイントを獲得。獲得した合計ポイントを公開
- ・各施設はカード化し、同一施設で複数の情報をそれぞれにカード化することで獲得にランダム性を 65 持たせ、繰り返し同一施設を再訪させる仕組みを導入
- ・一定期間内で獲得したポイントを公開し、ランキング化

この改良によって、社会科見学などで域内の水利 70 施設を見学する際に分かりやすく施設の機能を学習でき、さらに自発的に再訪することが期待される。

4. おわりに

今年度は試作版農村 GO を学外のイベントで体験 75 してもらうことで、環境教育ツールとしての活路が見出された。それを受け、環境教育ツールとしての利用価値を高めることができるように、農村 GO を改良した。今後は現地調査を継続すると共に、本作版農村 GO の改良を進め、学外での活用実績を増や 80 したい。

環境教育ツールとしての農村GO

大塚健太郎, 浅野珠里
岐阜大学自然科学技術研究科1年

小牧市民まつりでの活用

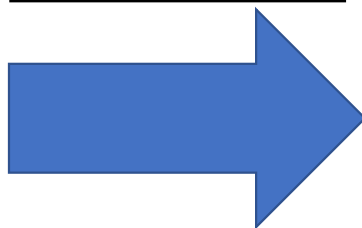


参加者は子連れの家族が多かった

参加者へのアンケートの結果

- ・ゲームとして面白かった
- ・小学生の教育ツールとして役に立ちそう
- ・農村GOを体験したことで、地域に流れる水の役割に対する意識に変化があったなどの回答を得た。

農村GOの改良



より環境教育向けに

社会科見学での水利施設の見学を想定



イベントごとに複数の水利施設をリスト化し、獲得した合計ポイントを公開

同一施設で複数の情報をそれぞれカード化獲得にランダム性を持たせ、繰り返し同一施設を再訪させる仕組みを導入

農村振興及び自然教育のための棚田ブランディング

Branding of Terraced Rice Fields for Rural Revitalization and Nature Education

野田坂 秀陽*
(NODASAKA Shuyo)

I. はじめに

農業・農村の役割は、農作物の生産だけでなく、美しい景観、文化の継承、子供の教育などもある。しかし、近代化の進展に伴い生産以外の面での役割が薄
5 5れ、農村の農地・自然の維持や自然体験の機会の確保が難しくなっている。その中で、岐阜県の棚田を自由に使える機会を得たので、特に教育に注目し、棚田を活用した形で子供が自然の中で遊び学べる場所を生み
10 10出せないか、実地調査とイベント開催によって模索した。また、情報通信技術は、通常アクセスの悪い場所にある農村を、都市など遠隔地から体験することを可能にすると考え、インターネットの活用方法についても模索した。

II. 活動内容

15 活動内容は、伝統的な農村景観を残す岐阜県の八百津町の山間部集落にて、①昨年度から続けている地元住民の方々へのヒアリング、②農村体験イベントの企画、③イベントの開催、を行った。体験型イルミネーションイベントを行った。

III. 結果と考察

①ヒアリングでは、八百津地域の魅力や地域おこしへの感度を知るために、八百津町で地域おこしに取
25 25む方々や、集落の方々に聞き取り調査を行い、多くの方が地域おこしに期待していることが分かった。実際、近隣地域には若者を中心とした地域コミュニティも形成されていた。そこで、農村という地域資源を活用する本アイデアを紹介した。

②イベントの企画では、棚田の景観への愛着が深
30 30まり、かつ参加する人から通りがかる人まで含め関わる人全てが楽しめるイベントとして、棚田をライトアップするイベントを企画した。子供を中心とする参加者が絵を描き、その絵を棚田上に LED ガーデン
35 35ライトを設置して、ライトアップで再現する。子供にとって自分の作品が展示される体験自体が貴重な上、自然の中で電球の設置等の作業をするということも環

境教育に有意義だと考えた。棚田のある農村が子供
40 40に対し自然教育と遊びの場を提供し、子供は農村への訪問を通じて人的交流の機会を提供する、相互作用をテーマにしている。このコンセプトを軸に行う活動を「棚田をテラス」という名を付けて企画を実施することを計画した。

③イベントは、八百津の棚田にて、集落内の子供が
45 45いる家庭を招いて 2022 年 3 月にイルミネーションイベントを小規模に開催した。実際に参加されたのは 15 家庭 3 人の子供とご両親だった。私たちが拠点として
50 50いる古民家にお呼びし、絵を描いて図案を作成する、棚田に移動し、図案を基に全体を俯瞰し指示を出したり、指示のもと電球を並べたりする工程を、参加者間で役割を入れ替えながら行った。終了後には、夜の棚
55 55田で遊ぶことが想像以上に楽しいという感想を頂いた。課題としては、イルミネーションが夜のため、子供にとっては開催時間が遅くなってしまうことがあった。

そこで、より参加しやすい形として、wifi カメラで
55 55のリモート観察や、LED 電球のオンオフなどをオンライン操作を可能にして、現地に行けない場合でも参加できる状態にすることを次のステップにした。

IV. まとめ

60 60棚田のライトアップを制作するイベントを通じて農地・農村を農業以外の面での価値を体験できる仕組みを考案した。そして小規模ながらも実際に開催し、運営時の課題や参加者のフィードバックを確認することができた。



岐阜の古民家、棚田を中心とした子どもへの自然教育活動。
コンセプトは「創造的公園」。

都市の公園は禁止事項だらけ。山に勝手に入るのは危ない。
外で自然の中で思い切り遊べる場所は珍しい。
ここでは、遊ぶためなら自由に使っている。
クリエイティビティに富んだ使い方を見つけて欲しい。

イルミネーションイベントの企画を行った。



みんなで作るイルミ「棚田をテラス」

2/26 15:00 ~
八百津町赤薙

小学生～高校生
外遊び、絵が好きな子

お問い合わせ
tanada.o.terrace@gmail.com

参加申し込み
上手くできない時はメールにて。

主催者：「未来図チーム」
東京大学農学部学生チーム。自然大好き！
新しいもの好き！そんな好奇心溢れる学生達が
「農村の未来を考えよ」というお題に取り組む。



イルミネーションイベントの様子

理想とする農村と子供の関わり

棚田を中心とする農村と子どもの関わり



オンライン操作可能な水田イルミネーションも試作した。



「自動温湿度調節ハウス」によるマンゴーの炭疽病予防策

Automatic temperature- and humidity-controlled greenhouses to prevent anthracnose disease of mangoes

小田 広希*
(ODA Hiroki)

金子 想**
(KANEKO So)

前田 泰祐
(MAEDA Taisuke)

I. はじめに

高齢化に伴う離農者の増加や新規就農者不足が、日本の農業人口減少の一因である。また、沖縄県においては、農場からの赤土流出が深刻な問題である。耕作放棄地は、他の土地と比べて流出量が大きく、離農者の増加によってより深刻な状況に陥ることが予想される。

こうした課題に対し、本稿では、情報通信技術を活用することで、経験のある農家の個人的な技術を標準化し、新規就農のハードルを下げることを提案する。具体的には、「属人的な技術」の例として、マンゴー農園における炭疽病予防に焦点を当て、これを自動化することを目指す。

II. 自動温湿度調節ハウス

現状、農家が経験をもとに行っているハウスの湿度調節を自動化する提案について説明する。多くの先行研究が、マンゴーの炭疽病発症率は葉ぬれ時間の積算値と強い相関があることを報告している。また、葉ぬれ時間は昼夜の気温差によって葉の表面の水分が結露することが原因であると指摘されている。この指摘を踏まえ、自動的にハウス内の温度を露点温度以上に保つ仕組みを提案する。

1. 気象観測器

まず、気象データをモニタリングする機器に必要な条件について説明する。この提案の実現には、現在の気温と相対湿度、降水量を感知できる観測器、気温と相対湿度から同時点の露点温度を計算するコンピュータが必要である。これらのデータをもとに、雨よけの開閉、ヒーターの温度を制御する。

2. ヒーター

湿度調節にあたって、ハウスの窓の開閉を自動化することは現実的でない。なぜなら、雨による高湿度が観測され、窓が開けられた場合、風向きによってはハウスに雨が入ってきてしまうことが考えられるからで

35ある。人間が開閉する場合は、風向きによって開閉する窓を調節すれば良いが、機械の判断でこれを実現するのは難しい。よって、湿度の調節ではなく、温度の調節によって葉ぬれ時間を縮める方法を取りたいと考えた。そこで、ハウス内を露点温度以上に保つヒーター（図 1）を提案したい。このヒーターは、ハウス内気温と相対湿度を計測し、露点温度を計算した後に気温が露点温度を超えるように調節する。

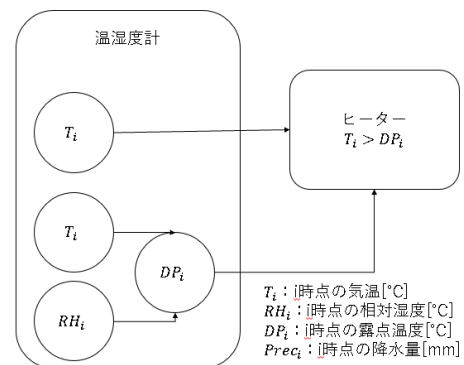


図 1 自動温湿度調節ハウスのイメージ

III. 今後の展望

今後の展望として、以下の 2 点を挙げたい。

1. 農家の支払意欲額の調査

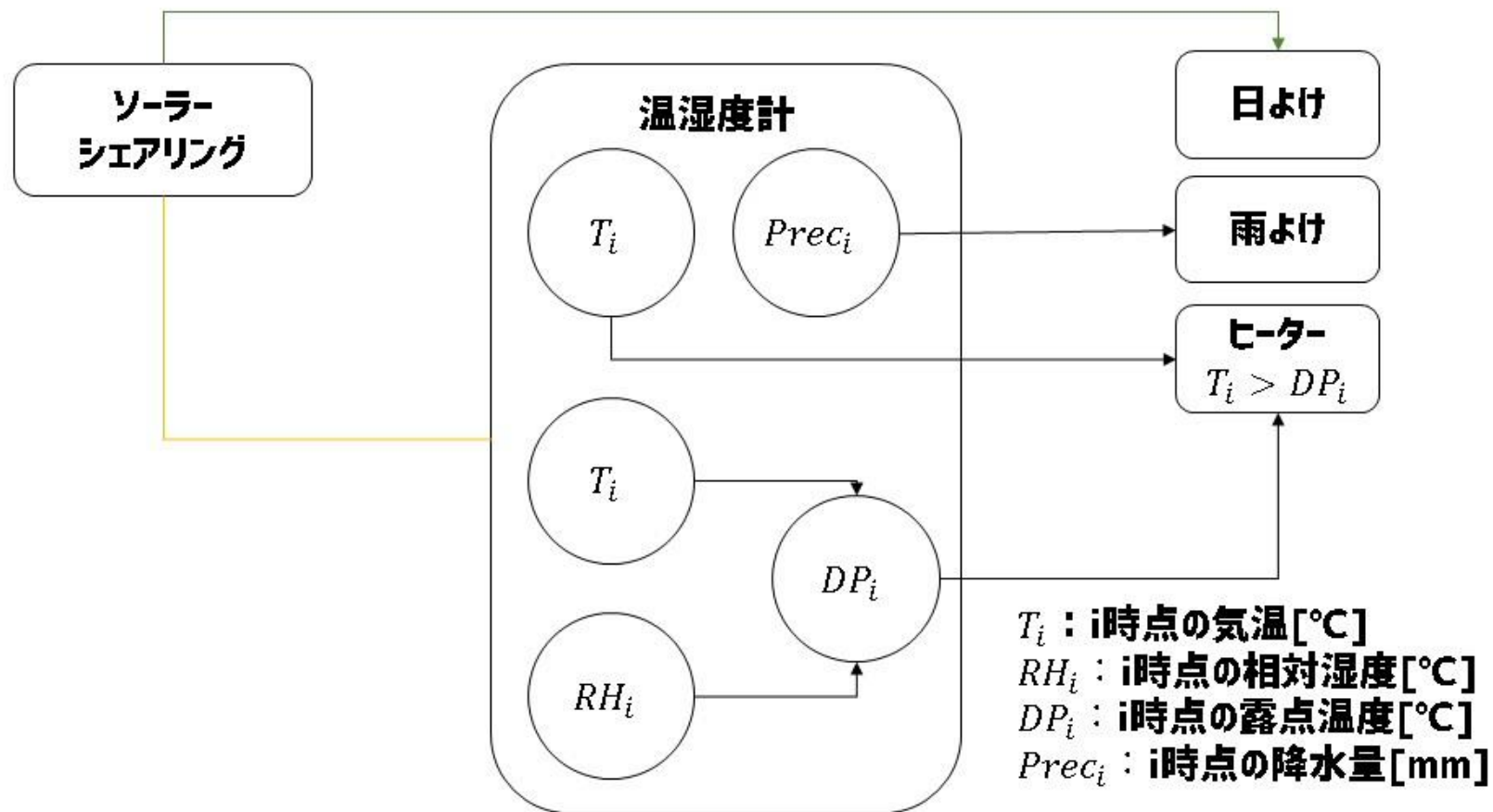
この提案には、ヒーターやコンピュータを稼働する電力コストが不明確という問題がある。また、炭疽病予防に対する定量的な効果が明らかになっていない。今後の研究でこれらを明らかにした上で、この提案に対する農家の支払い意欲額 (Willingness to Pay) を調査し、導入の一助としたい。

2. コスト低減策の考案

先述の通り、この提案は電力に依存し、エネルギー価格の変動に脆弱である。そのため、ソーラーシェアリングや地熱利用など、ランニングコストを抑えた電力供給を併せて実現する必要がある。今後は農場での実証実験を通して、使用電力を抑える方法についての検討を加えたい。

未来図の内容

気象観測器とヒーターによって、ハウス内の気温を自動で露点温度以上に保つ機能を提案する。
ソーラーシェアリングにより、ヒーターの電力コスト抑制と遮光処理を可能にする。



農業生産法人の農業 ITC ニーズ調査 —兵庫県と新潟県での聞き取り結果—

神戸大学大学院農学研究科 長野宇規

1. はじめに

現在農業経営体が法人化し農業活動を行うケースが増えている。農業従事者の減少や高齢化など様々な課題を抱えた現在の日本の農業を立て直すために、政府によって法人化が推進されているという背景もある。農業生産法人には主に農事組合法人と会社法人に分けられる。いずれの場合も少人数で大面積の営農を担うには農業 ITC への期待が多いのではないかと考え、聞き取り調査を行った。

2. 調査対象

調査対象としたのは兵庫県と新潟県でそれぞれ 1 社の会社法人と新潟県の農事組合法人 4 社である。経営面積は 10ha から 340ha まで多様であった。調査は 2022 年から 2023 年にかけて直接訪問の形で行った。法人化のきっかけや現在の課題、ITC 技術に期待することなどについて聞き取りを行った。

3. 結果と考察

3.1 農事組合法人と会社法人の目的の違い

調査結果は農事組合法人と会社法人で異なる傾向を示した。農事組合法人は主に稲作の経営効率化を目指して結成されたものが多く、新潟県では冬季積雪の影響で耕作が難しく、食品加工を行っている法人を除き通年雇用は実現していなかった。一方会社法人では施設園芸を含む栽培品目の多様化で専門職員の通年雇用を実現していた。農事組合法人が集落機能を維持しつつ共同作業の効率化を主目的とするのに対し、会社法人は利益の最大化を指向していた。

3.2 農業 ITC への要望

農事組合法人は田植えと稲刈りの労働負荷が年間で突出して大きく、主に臨時雇用で対応している。会社法人は労働負荷の平準化を主に指向しており、稲作の割合を減じていた。また、労働負荷削減のための自動化により積極的であった。

ドローンによる直播、農薬散布、肥料散布は重労働の軽減に大きな効果がある。ドローンによる直播は減収するとの声もあるが、育苗作業と田植え時の苗運搬を省くことができるため期待されていた。施肥についてはドローンで作物の生長の違いに応じて順応的に施肥をする技術が求められていた。ドローンの作業は外注するより、生産法人が担うべきという意見が多かった。

一方労働負荷の低い水見などの作業の自動化への要望は大きくなかった。農家が水見とともに行っている栽培状況確認は多面的であり、自動化で代替しにくいことも理由として考えられる。

3.3 労務管理と情報共有

農業生産法人の特徴として複数人が圃場の管理に関わるため、圃場情報や労務管理の共有は重要視されていた。とくに生産性を重視する会社法人はオンラインの圃場管理ソフトを積極的に利用していた。

4. おわりに

近年コメの収益性が年々低下している中で、生産組合法人の費用・便益への認識は極めて高かった。労働負荷の平準化とともに高負荷の作業の労働軽減が極めて重要視されていることが確認できた。

農業生産法人の農業ITCニーズ調査

－兵庫県と新潟県の4つの農事組合法人、2つの株式会社法人の聞き取り結果－

神戸大 長野宇規

困っていること

- 耕地の不均一性（補修するような小事業に補助金が付くと助かる）
- 米の作期以外の従業員の収入源の創生
- 農業地域でも農業のことを全く知らない人が多くなった
- 米と畑地作物の輪作体系は施肥管理が難しい
- 農地を買ってほしいという依頼が多い

どんな農業ITCがあると助かる？

- ITCではなくとも田の自動水栓は楽
- 田の生育の遠隔モニタリングはあまり必要ない、田んぼを直接見に行った方がよい
- ドローンによる直播、農薬散布、施肥は助かる。ドローンなどの運用は農家の道具の一部にしたい、一連の分析作業をパッケージ化してほしい
- 作業簿を共有して圃場毎の作業内容や時間、収益を分析することは重要

農村ネットワーク x データ連携基盤

Information Networks x Data Integration in Rural Areas

西村 和海 [東京農工大学農学部地域システム学科]
(NISHIMURA Kazuomi [Tokyo University of Agriculture and Technology])

I. はじめに

デジタル田園都市国家構想の実現のため各地域へ「(エリア) データ連携基盤」の導入が促進されている。都度システムの統一・標準化を行う必要なしに、サービス間5でのデータ連携が可能になるようデータ連携基盤側が仲介する仕組みとなっている (1)。ちょうど先日結果が公開された令和4年度第2次補正予算デジタル田園都市国家構想交付金の交付対象事業のうちデータ連携基盤活用型の事業 (Type2) の採択数は全国 24 ある(2)。私は各事10例について簡単に調べてみたが現時点では「地方都市」としていかにデータ連携基盤と住民の生活を良くしていくか、という観点の事業が主であるようだ。

一方、データ連携基盤のコアとしてデジタル庁から推奨されている「FIWARE」について見てみる。欧州で生15まれオープンソースで開発が進められている FIWARE は、公式サイトで示されている通り、スマートシティの分野はあくまで一つであり、農産物、エネルギー、産業、水管理といった分野にも反映するためのプラットフォームであることが分かる。実際、FIWARE の機能としてデー20タの受け渡しを担う「ブローカー」に限らず、IoT・ロボットとの接続やデータの処理・解析も併せて開発されている(3)。

前置きが長くなってしまったが、私は今回、そのデータ連携基盤と農村ネットワークとを組み合わせるとどう25いったことが可能になるのか検討した。

II. 農村ネットワーク x データ連携基盤でできること

私は、このインフラ同士の組み合わせにより、以下のことが可能になると考えている。

- 30 ①スマート農業や自立分散型農村を支える技術の標準化
- ②該当地域で既に配備されたセンサーデータを一覧化
- ③コスト面で触り始めやすいデータの存在
- ④生活に直結した情報も扱える
- ⑤オープンデータとの連携
- 35 一つずつ説明を加える。まず①は、まさに今回の「農業農村地域における情報利活用の未来図」に応募されてい

る多様なアイデアが実装に入った時に、それらが横展開されるハードルが下がるということである。データ連携基盤がデータを仲介するため、各センサー・サービスを40 特定のプロトコルに対応しておけば、それをそのまま各地域に整備された連携基盤上でサービスを提供できるのではと考える。②は、各地域でそれぞれのサービス提供者が個別に整備したセンサーをデータ連携基盤に繋げることで、他者が別のサービスの提供を開始する際に、既45 存のセンサーと相乗りを行なって提供コストを下げることに繋がられる。③については、主に研修・教育分野での活用を意図している。リアルタイム・ログも含め実データにアクセスできることで、現場での応用性の高い研修・教育を行うことができるのではないかと。④につい50 ては、まさに現在データ連携基盤が住民の生活向上に使われているように、人間の活動由来の多様なデータを併せて扱うことで、例えば農村地域での観光といった第3次産業との組み合わせに活用できる。そして⑤は、各地方自治体が公開しているオープンデータをデータ連携基55 盤から触ることも可能となるため、未活用か扱いのハードルが高かった公共データをようやく有効活用していくことができる。

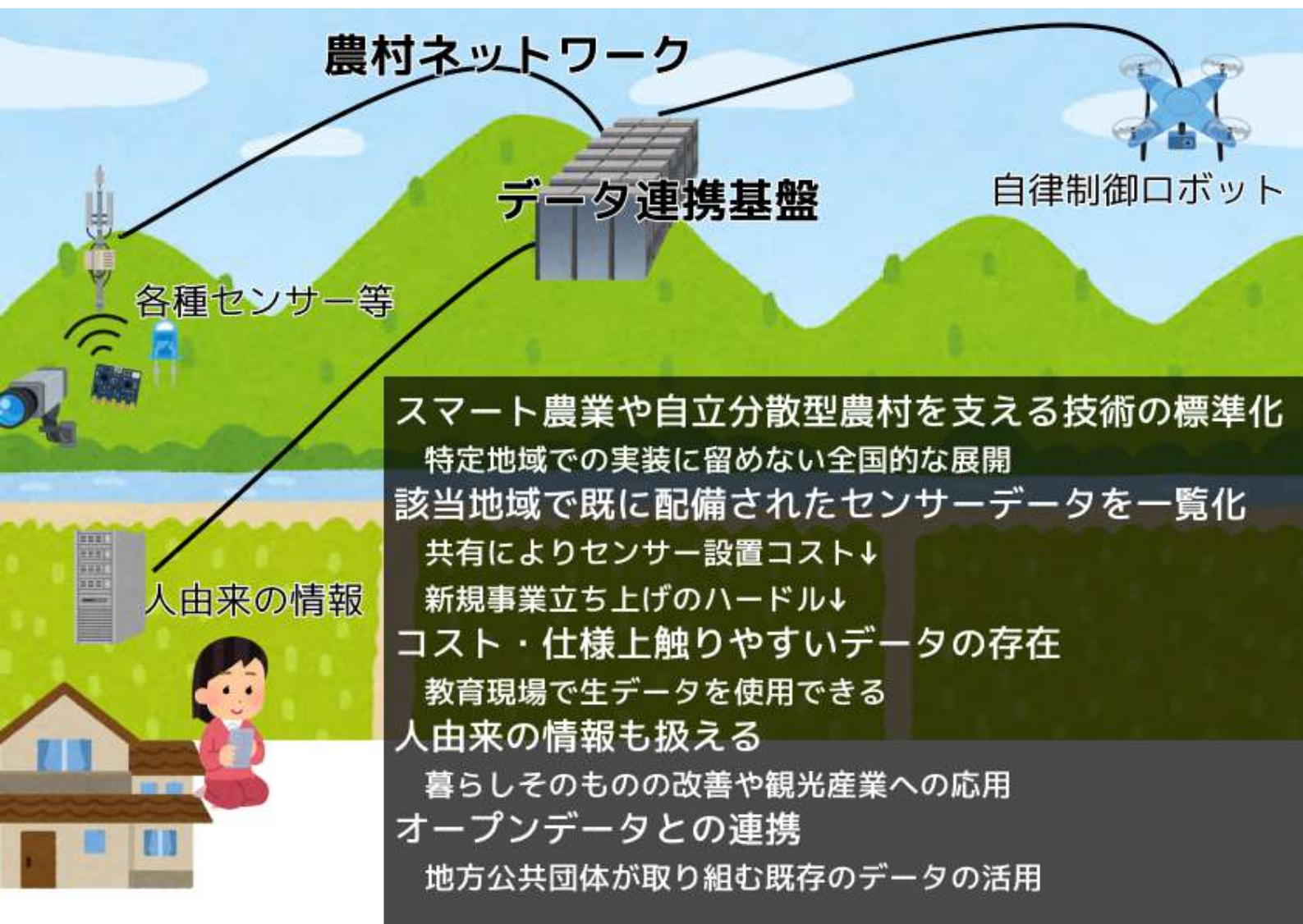
III. 最後に

本原稿執筆時点では実装に関わる具体的な活動は行60 なっていないが、筆者は来年度所属する大学を休学し、行政系ベンチャーにて勤務する。その中でいくつか先進的な自治体との取り組みの中でエリア・データ連携基盤の活用も行なっていくため、より具体的なイメージを描くために必要な知見を蓄えていきたいと考えている。

引用文献

- 1) データ連携基盤の整備について
https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/digital_denen/dai4/siryous8.pdf (参照 2023 年 3 月 17 日)
- 2) デジタル田園都市国家構想交付金 (デジタル実装タイプ) の交付対象事業の決定について (2023),
70 https://www.chisou.go.jp/sousei/about/mirai/pdf/dejidenkoufukin_saitaku.pdf (参照 2023 年 3 月 17 日)
- 3) About FIWARE,
<https://www.fiware.org/about-us/> (参照 2023 年 3 月 17 日)

キーワード 農村ネットワーク、データ連携基盤、
全国展開



農地からの情報発信が広げる推し活の輪！

—農産物への♡で活気ある地域社会を育むために—

北村 知子*
(KITAMURA Tomoko)

I. はじめに

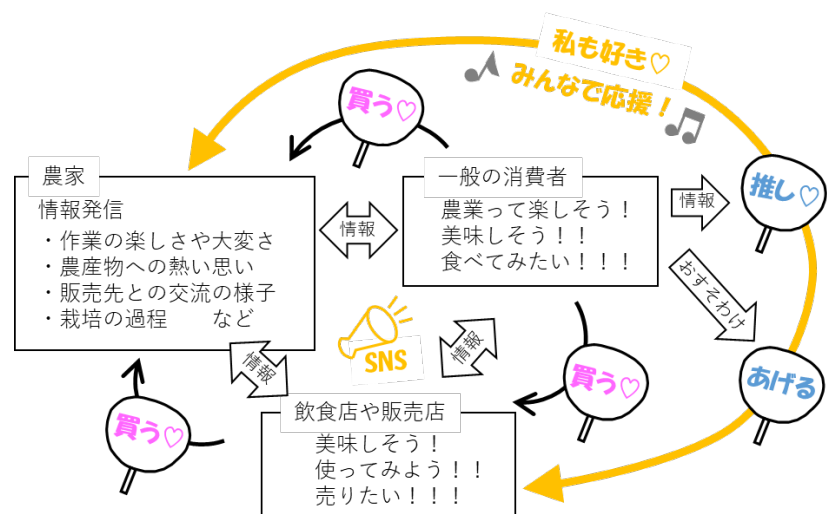
推し活は「自分が好きになった対象を応援する活動」である。推し活は楽しいだけでなく「好き」の気持ちで心を刺激し、行動的になり、孤独感が解消される等、体と心の健康に有効であるといわれる。人々はアイドル等の推し活費を捻出するため、1円でも安いキャベツを求めて遠くの店まで出かけている（予想）。しかし、推しが農家や農産物だったら、キャベツが100円高くても出費を惜しまないのではないだろうか。多くの推しを獲得するには、韓国アイドルがしているように SNS などを使った絶え間無い情報発信が不可欠である。申請者は、政府や行政の主導ではなく、住民の自発的な活動（推し活）が様々な産業を巻き込んだ地域の活性化を実現すると考えた。そこで、本取り組みでは、通信環境インフラを利用した農地からの情報発信とそれがもたらす農業を中心とした地域産業への効果、地域住民の意識への影響等をイメージした。

II. 目的

- ① 農業と農産物への消費者の関心を高める。
- ② 農産物の生産・消費活動を活発にする。
- ③ 生産者と消費者の連帯感を育む。

III. 想像する未来図

- ① 生産者の SNS などによる情報発信で消費者が農産物に興味を持つ。
- ② 知ることによって愛着が生まれて、よりおいしく感じる。
- ③ 誰かに勧めたくなって SNS に投稿したりおすそ分けする。
- ④ 仲間が増えてどんどん楽しくなる。
- ⑤ 自分も農業を取り巻く地域（ネット空間を含む）の一員であると感じる。
- ⑥ 幸福度が向上する！



農地からの情報発信が広げる推し活の輪！
—農産物への♡で活気ある地域社会を育むために—

生産者

消費者

たべろ

おいしい
おかわり



3. DX を活用した農業農村整備事業の展開に係る調査

農業農村地域において DX を活用するためには通信インフラの整備が不可欠である。しかしながら、通信インフラ整備を推進するための補助事業が農村振興局でもようやく始まったばかりである。

そこで、本調査では農業農村地域における通信インフラ整備の過程で必要とされる（1）インターネット通信網の展開に関する基礎技術と（2）インターネット通信網を利用した応用研究例について取りまとめた。

（1）WiFi と LoRa 二重無線通信網の構築と農山村地域モニタリング

（2）PIR カメラを用いた中山間地域における動物モニタリング手法の開発

参考：

1) 農林水産省：農業農村における情報通信環境整備の推進について

https://www.maff.go.jp/j/nousin/kouryu/jouhoutsuushin/jouhou_tsuushin.html

目次

第 1 章 序論	1
1-1 研究背景	1
1-2 既往の研究	3
1-2-1 Wireless Sensor Network	3
1-2-2 農山村地域のモニタリング	7
1-2-2-1 環境モニタリング	7
1-2-2-2 野生動物モニタリング	8
1-3 研究目的	10
1-4 論文構成	11
第 2 章 二重無線通信システムの試作	12
2-1 調査対象地	12
2-2 WiFi 通信実験	13
2-2-1 EAP メッシュネットワーク	13
2-2-2 親機と中継器	15
2-2-3 コントローラー	19
2-2-4 子機	22
2-2-5 中継器と子機の WebUI 環境	25
2-2-6 親機、中継器と子機の配置	27
2-3 LoRa 通信実験	27
2-3-1 LoRa メッシュネットワーク	28
2-3-2 LoRa 親機と LoRa 中継器	31
2-3-3 LoRa 子機	35
2-3-3-1 人感センサー	35
2-3-3-2 温湿度センサー	37
2-3-4 子機の WebUI 環境	40
2-3-4-1 人感センサー	40
2-3-4-2 温湿度センサー	41
2-3-5 LoRa 親機、LoRa 中継器と子機の配置	43

2-4 センサーデータの分析	44
2-4-1 電波強度と電力消費の関係性分析.....	44
2-4-2 カメラと人感センサーの精度比較.....	44
第3章 結果.....	45
3-1 二重無線通信システムの実行	45
3-1-1 WiFi メッシュネットワークシステム	46
3-1-1-1 WiFi メッシュネットワークシステム.....	46
3-1-1-2 WiFi メッシュネットワークトポロジー.....	46
3-1-1-3 動作確認	47
3-1-2 LoRa メッシュネットワークシステム.....	47
3-1-2-1 LoRa メッシュネットワークシステム	47
3-1-2-2 LoRa メッシュネットワークトポロジー	47
3-1-2-3 動作確認	49
3-2 センサーデータの分析	50
3-2-1 電波強度と電力消費の関係性分析.....	50
3-2-2 カメラと人感センサーの精度比較.....	52
第4章 考察.....	53
4-1 二重無線通信網について	53
4-1-1 構築方法.....	53
4-1-2 影響要因.....	56
4-1-3 二重無線通信網の展開と改善.....	59
4-2 農山村地域のモニタリングについて	59
4-2-1 モニタリング手法.....	59
4-2-2 影響要因.....	60
4-2-3 農山村地域のモニタリングの展開と改善.....	61
第5章 結論.....	63
5-1 本研究の成果	63
5-2 残された課題	63
参考文献.....	65

付録.....	71
学会発表.....	72

図表一覧

- 図 1-1 無線センサーネットワークによる監視システムの基本構成
- 図 1-2 無線センサーネットワークのアーキテクチャ
- 図 2-1 山林に囲まれている飯舘村佐須地区 (GoogleMap より)
- 図 2-2 飯舘村佐須地区の投稿写真 MAP アーカイブ (飯舘村プロジェクトより)
- 図 2-3 メッシュネットワークの堅牢性と適応性 (TP-Link 社より) [36]
- 図 2-4 ネットワークトポロジー対比図 (TP-Link 社より) [36]
- 図 2-5 (左) EAP225-OutdoorV1 (TP-Link 社より) [36] (中) WiFi 親機の設置
(右) WiFi 中継器の設置
- 図 2-6 EAP225-Outdoor V1 の Web 上のデフォルト設定
- 図 2-7 (左) コントローラーOC200V1 (TP-Link 社より) [34] (右) WiFi メッシュ
ネットワーク物理構成図 (TP-Link 社より) [35]
- 図 2-8 コントローラーのクラウドアクセス画面
- 図 2-9 バッテリー式カメラ Camera Argus Eco (Reolink 社より) [37]
- 図 2-10 Camera Argus Eco の設定
- 図 2-11 センサーからクラウドまでのデータ伝送の全体的なフレームワーク
- 図 2-12 WiFi 中継器 (OC200 V1) の WebUI 環境
- 図 2-13 WiFi 子機 (Camera Argus Eco) の WebUI 環境
- 図 2-14 WiFi メッシュネットワークトポロジーイメージ図
- 図 2-15 LoRa 接続形態対比図 (著者作成)
- 図 2-16 (左) 親機 ES920GWX2 (Easel 社より) [38] (右) 現地に設置された
様子
- 図 2-17 ターミナルソフトウェアの設定 (Easel 社より)
- 図 2-18 中継器の設置
- 図 2-19 (左) 人感センサユニット ES920LRH (Easel 社より) [39] (右)
ES920LRH の設置
- 図 2-20 (左) 温湿度センサユニット ES920LRTH2 (Easel 社より) [40] (右) 木
の上に設置された様子

- 図 2-21 システム概要図
- 図 2-22 人感センサユニットの WebUI 画面
- 図 2-23 人感センサユニットの詳細画面
- 図 2-24 温湿度センサユニットの WebUI 画面
- 図 2-25 飯舘村における電波伝播シミュレーターCloudRF で予測された親機の電波到達範囲
- 図 3-1 佐須区にネットワークを配置 (Google Earth 上に表示)
- 図 3-2 TP-Link Cloud 上に構築された WiFi メッシュネットワークトポロジー
- 図 3-3 WiFi 子機 (カメラ) で検知されたサルやタヌキ
- 図 3-4 飯舘村佐須集落における電波伝播シミュレーターCloudRF で予測された電波到達範囲
- 図 3-5 2021.07.31-2022.07.05 LoRa 子機 (人感センサー) の検出情報
- 図 3-6 2021.09-2022.07 人感センサーH2 の消費電力
- 図 3-7 LoRa 子機 (人感センサー) の消費電力
- 図 3-8 (上) 2022.09.12-2022.10.11 カメラ C10 と人感センサーH10 の精度比較
(下) 2022.09.12-2022.10.11 カメラ C10 と人感センサーH10 の検知正答率比較
- 図 4-1 二重無線通信網の構築フロー
- 図 4-2 (上) 異なる時点での WiFi トポロジー (下) LoRa 子機の WebUI 画面
- 図 4-3 飯舘林におけるカメラのバッテリー電圧 (2021-2022 年) (Mizoguchi 2022)

[41]

- 表 1-1 IoTを支える無線通信技術の種類と特徴 (Nipuna 2022; Rashmi 2017)
[16][17]
- 表 2-1 EAP225-Outdoor V1 の仕様 (TP-Link 社より) [36]
- 表 2-2 OC200 V1 の仕様 (TP-Link 社より) [34]
- 表 2-3 Camera Argus Eco の仕様 (Reolink 社より) [37]
- 表 2-4 ES920GWX2 の仕様 (Easel 社より) [38]
- 表 2-5 ES920GWX2 のパラメータ (Easel 社より)
- 表 2-6 ES920LRH の仕様 (Easel 社より) [39]
- 表 2-7 ES920LRH のパラメータ
- 表 2-8 ES920LRTH2 の仕様 (Easel 社より) [40]
- 表 2-9 ES920LRTH2 のパラメータ
- 表 2-10 温湿度センサユニット登録項目と説明 (Easel 社より) [40]

第1章 序論

1-1 研究背景

近年、野生動物が人間の生活空間を奪い、農作物を荒らしたり、人に危害を加えたりする現象が世界中で急増し、人間に多大な損失をもたらしている（Herrero et al. 2006） [1]。日本国内では、薪炭林や耕作地などが放棄されて動物の好適な生息環境が増加したことで、農作物被害が増えてきている（高橋 1980, 小寺ら 2001） [2][3]。鳥獣による令和 2 年度の農作物被害については、被害金額が約 161 億円で前年度に比べ約 3 億円増加（対前年 2%増）している。鳥獣被害は一方で営農意欲を減退し、耕作放棄・離農を増加する。さらには森林の下層植生の消失等による土壌流出や希少植物の食害等の被害ももたらすなど、被害額として数字に表れる以上に農山漁村に深刻な影響を及ぼしている（農林水産省 2022） [4]。鳥獣被害対策として、侵入防止柵の設置や緩衝帯の整備などの被害防止計画が実施されているが、作物が様々な損傷を受け、望ましい効果が得られていない。

福島県飯舘村は 75%が山林である。東京電力福島第一原子力発電所事故に伴う避難指示等によりイノシシ等の鳥獣の生息数が増加したことにより、被害状況が深刻になっている。捕獲の推進により被害防止に努めているところである（環境省 2020） [5]。農家は野生動物の侵入を防ぐために電気柵を設置しているが、効果は良くない状況である。そのため、これらの野生動物が農家に加害することを理解し、日常な活動パターンと行動に関する研究が必要である。そして、保護管理システムを改善し、予防と制御管理を合理的に実行し、科学的な方法を使用して問題を解決することが急務である（Conover&Decker 1991; Fall&Jackson 2002） [6][7]。

総務省は、地域経済の活性化と大規模災害対策など様々な課題を対応するために、様々な分野で ICT の効果的な活用を推進している。また、農林水産業も、科学技術の活用により、省力化・負担の軽減や人手の確保を実現する等のスマート農業を推進している。そうした中鳥獣対策に関しても ICT の導入による対策の強化と効率化が期待されている。具体的には、センサーやカメラなどを農山村地域に設置し、アプリや PC で画像・環境・位置などの情報をリアルタイムに収集する監視システムを

開発し、鳥獣の生息状況を分析することである。

通信インフラは農山村地域モニタリングシステム開発で重要である。しかし、多くの中山間地域は山林に囲まれており、携帯電話の電波が入らない場所が随所に存在する。こうした地域ではテレビの地デジ対応をアンテナを配置するより確実な光ケーブルで行っている。例えば福島県飯舘村では光ケーブルによるインターネット回線を利用している。インターネットの利用率はきわめて低い（溝口 2021）[8]。山林に囲まれた中山間地域では、都市型の従来の監視システムは使えないことが多く不安定な電波と、電波状況のムラに対応できる柔軟な通信システムが必要となる。ワイヤレスセンサーネットワーク（Wireless Sensor Network）は、センサー認識技術や最新のネットワーク技術とワイヤレス伝送技術などを組み合わせており、学際的なコンテンツと知識を組み合わせた新興のホットな研究分野である（Akyildiz et al. 2002）[9]。鳥獣対策においても、通信基盤として役に立つと考えられる。

野生動物のモニタリングでは、野生動物の画像、音声、活動経路、生活環境などの情報が重要である。これらの情報は野生動物の数、生活習慣、生活の質などの必要な情報を提供し、管理者が野生動物資源のダイナミックな変化を把握するための合理的な根拠を提供する。複数のモニタリングデータの中でも環境データや画像データは、その直感性、効率性、豊富な内容などの特徴から重要な役割を果たしている。福島県飯舘村における鳥獣被害対策には比較的容量が小さな環境データと、現場の状況を確認するための容量が大きな画像・映像データの 2 種を扱う必要がある。そのため、それぞれのデータの転送に適したネットワークを別々に構築する必要がある。

1-2 既往の研究

本節ではこれまで Wireless Sensor Network の研究現状と農山村地域におけるモニタリングに関する研究事例を整理した。

1-2-1 Wireless Sensor Network

WSN (Wireless Sensor Network) は、最近その分散型監視機能により大きな注目を集めている。この技術の特長は低コストで消費電力が少なく、フィールド全体に広がり、リアルタイムでデータを監視および報告することである。WSN のメインユニットは監視センサー、プロセッシング、無線中継の 3 つである。プロセッシングユニットには、太陽光、燃料電池、音響ノイズなどの主な電源リソースがある。太陽エネルギーは、一次エネルギー源の中で最も一般的なエネルギー源である (Seah 2009) [10]。

センサーノードは、センサー、プロセッサ、無線通信、電源、その他のモジュールを統合し、低消費電力、低コスト、自動データ収集、および自己組織化マルチホップ無線伝送の特徴を備えている。センサーノードには 2 つタイプがある。

1. 汎用ノード：このタイプのノードには、複数のセンサーが組み込まれている。
2. ゲートウェイノード：汎用ノードからデータを収集し、メインユニットに送信する。

センサーは関連データを収集し、ワイヤレス自己組織化ネットワークを介してゲートウェイノードに送信し、ゲートウェイ分析を介してサーバーデータベースにアップロードし、インターネットのリモートコールモニタリングを実現する。データの処理と伝送には、柔軟な設計、完璧な機能、安定した性能という特徴がある。

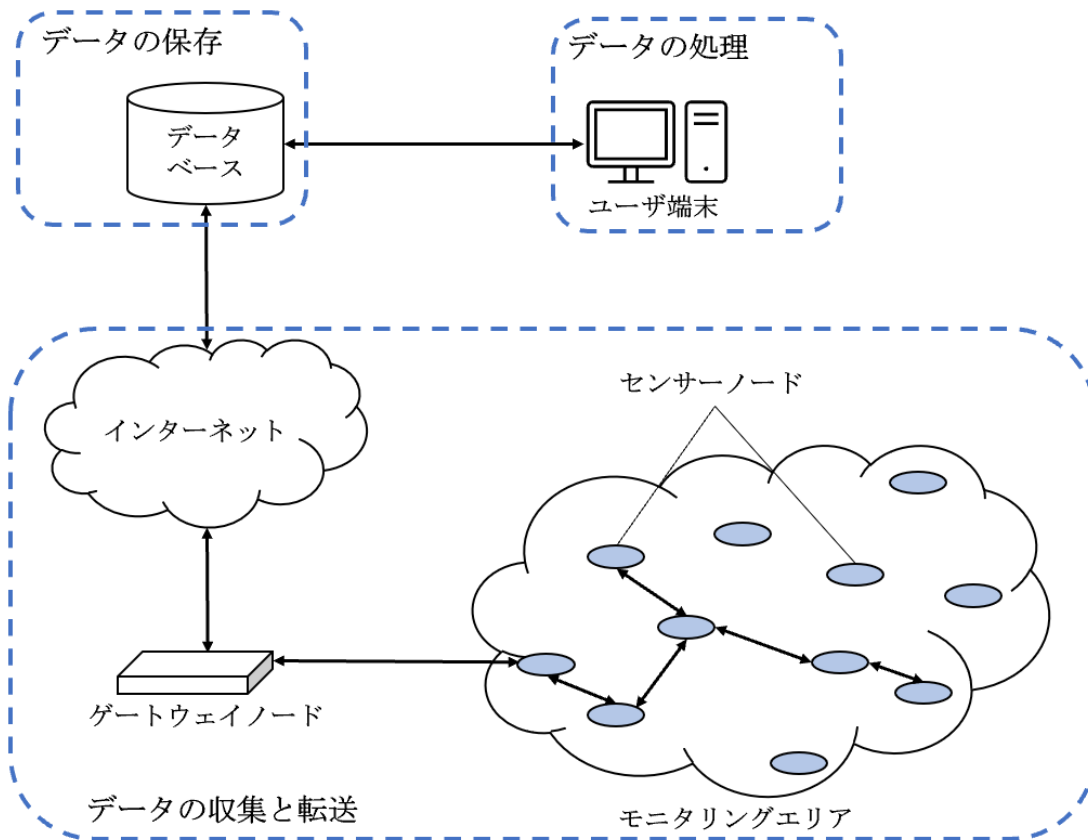


図 1-1 無線センサーネットワークによる監視システムの基本構成

展開に基づく、WSN には地上、地下、水中、マルチメディア、およびモバイル WSN など 5 つカテゴリがある (Yick 2008) [11]。軍事追跡と監視、生物医学的健康、太陽光発電による自動化された IoT ベースの点滴灌漑システムの監視、在庫追跡、危険な環境の調査、地震感知など、WSN は多くの分野に使われている。WSN に関連する問題の最初の 1 つは、選択したプラットフォーム、オペレーティングシステム、およびストレージシステムでのみ動作し、様々なユーザー関連アプリケーションを作成できるインフラストラクチャに関連している。通信プロトコルはワイヤレスである。しかし、従来のプロトコルは、より多くのリソースと電力を必要とし、ワイヤレスノードには適していない。そのため、低コスト、低リソース、低電力が必要な場合は、新しいプロトコルを開発する必要がある。例としては、Bluetooth、ZigBee[IEEE 802.15.4]、LoRa などがある (Ngaira 2007) [12]。

現在一般的に使用されている無線通信方式は、ローカルエリアネットワーク無線通信技術 (Zigbee、WiFi、Bluetooth など)、広域ネットワーク無線通信技術 (4G、

5G など)、低消費電力広域無線通信技術 (LoRa、NB-IOT など) に分けることができる。以下に、農山村地域の監視における 3 種類の無線通信技術の適用について説明し、比較する。

1. ローカルエリアネットワーク (Local Area Network、LAN) 通信技術 :

LAN とは、ネットワーク通信範囲が数十キロ以内のネットワークを指す。主に WiFi、ZigBee、Bluetooth などが含まれる。WiFi 通信方式はルーターを介して有線ネットワークを無線ネットワーク信号に変換する。特性はアプリケーションシナリオが簡単で、通信距離が短く、電力消費要件が比較的大きい。農山村地域は複雑な環境であり、バッテリーを主な電源とするため、農山村地域監視システムの通信方法としては適さないが、WiFi メッシュネットワークの開発により、2 つのノードは約 200m 以内に通信し、大量のデータ転送ができるようになった。農山村地域への応用も可能になった。ZigBee 技術は小規模な地域ネットワークで広く使用されている。高い安定性と低消費電力は利点である。バッテリー駆動の監視機器に適している (YosukeT 2019) [13]。樹木に覆われた森林地帯に面した複雑な環境では、使用される通信周波数帯域が高いため、有効通信距離が失われ、伝送信号が歪んでしまう。したがって、他のより効果的な長距離無線通信方式と比較して、ZigBee 技術は農山村地域監視通信のニーズを十分に満たすことができない。Bluetooth 通信技術は伝送速度が速いという利点があったが、その伝送距離は短く、一般に 10m 以内のポイントツーポイント通信にしか適していません。これは明らかに森林地域監視の通信要件を満たしません。

2. ワイヤレスワイドエリアネットワーク (Wireless Wide Area Network、WWAN) 通信技術 :

モバイル通信技術はアナログ通信からデジタル通信へと時代を経て、距離の点で明らかな利点があったが、通信基地局は範囲内に配置する必要がある。同時に通信事業者の使用料を支払う必要がある。そのため、一部の遠隔地の森林地域では、単にこの通信技術を森林地域の監視に使用すると、通信基地局が広範囲の森林地域をカバーできず、監視ノードが少なくなり、コストが高くなるという欠点がある。

3. 低消費電力広域無線 (Low Power Wide Area Network、LPWAN) 通信技術 :

LPWAN は、長距離と低電力消費の両方の機能を備えている。現在、使用される主流の技術は、ライセンスのない無料の周波数帯域 LoRa と Sigfox (Ameloot T 2018)

[14]と、ライセンスのある周波数帯域に基づく NB-IoT である。NB-IoT 無線通信技術は、事業者の基地局をゲートウェイとして利用するため、無線電波の良好な都市部に適する。無料の免許不要周波数帯を利用する LoRa 無線通信技術は LPWAN のモデルとなる。カスタマイズ可能な通信プロトコル、低開発コスト、オペレータへの支払い不要などメリットがある。従来の無線通信技術と比較して、LoRa 技術はリンクバジェットと耐干渉性を高め、無線通信リンクの通信範囲と堅牢性を拡大し (Nikki J.B 2020) [15]、信号干渉が深刻な地域での通信に適しており、複雑な環境でその理論上の有効通信距離は約 2km である。そのため、LoRa 技術は、山や樹木が混在する複雑な環境での使用に適しており、森林地帯での通信距離が短い、品質が悪い、信号が歪みやすいという欠点を十分に解決できる。

表 1-1 IoT を支える無線通信技術の種類と特徴 (Nipuna 2022; Rashmi 2017) [16][17]

無線通信 技術	LAN			LPWAN	
	WiFi	ZigBee	Bluetooth	NB-IOT	LoRa
ネットワーク構成	ルーター/ノードとゲートウェイ	ノードとゲートウェイ	ノード	ノード	ノードとゲートウェイ
通信距離	約 100m	10~100m	約 50m	<35Km	2~15Km
通信速度	1M~2.4G	20~250K	10K~25M	約 200K	0.3~50K
周波数帯	2.4G と 5G	2.4G	2.4G	180k	150M~1G
消費電力	比較的高い	比較的低い	高い	高い	比較的低い
コスト	高い	高い	低い	中	低い

1-2-2 農山村地域のモニタリング

鳥獣被害対策を進めていく過程で、農山村地域における監視が重要である。本研究の農山村地域モニタリングには、主に農山村環境モニタリングと野生動物カメラモニタリングが含まれる。農山村地域の環境と鳥獣をモニタリングすることで、鳥獣の生活環境や生活ルールを分析し、野生動物をより適切に管理することができる。WSN 技術の発展に伴い、農山村地域の困難な状況を克服し、WSN を地域モニタリングの分野に適用することは、重要な研究方向の 1 つである。ここでは、環境モニタリングと野生動物カメラモニタリングに関する研究事例をそれぞれ紹介する。

1-2-2-1 環境モニタリング

1972 年に開催された国連人間環境会議（ストックホルム会議）は、世界環境モニタリングの最初の兆候と考えられており、地球規模での自然環境モニタリングのプロセスを大幅に促進する地球環境モニタリングの概念を採用した。農業環境問題を解決するための研究では、主に農業環境を構成する土壌、水、動物など農業生態系の中で相互に作用し合っている要素の調査・観測・分析・モニタリングなどのデータや手法、分類・特性・機能・動態・予測などの知見、保全・管理などの技術に関する情報がある（浜崎忠雄 2002） [18]。1980 年代以降、コンピューター技術の発展に伴い、施設の農業環境監視システムは、温度、湿度、光、空気の状態を総合的に分析および制御するようになった。近年、現代の科学技術の発展に伴い、センサー、データ処理、無線通信、インターネット、人工知能、地理情報システムの助けを借りて、世界中のいくつかの国が環境監視に関する研究を相次いで実施している（Nipuna 2022） [16]。カリフォルニア大学は 21 世紀初頭からカリフォルニア州の森林資源環境モニタリングネットワークを構築し、リアルタイムのモニタリングを実現し、カリフォルニアの林業の科学的で持続可能な管理を研究者や政策立案者にデータサポートを提供している（Kefauver S. C 2012） [19]。

日本では、環境と調和した農業の実現のため、農業環境技術研究所が明治 26 年（1893 年）に日本最初の農業関係研究機関である農商務省農事試験場として設立され、平成 13 年（2001 年）に独立行政法人化された（国立研究開発法人農業環境技術研究所 2015） [20]。平成 14 年度（2002 年）には、各方面の協力を得て分散して保

存されている農業環境に係わる膨大なデータや標本を整理し、データベース化を進める農業環境インベントリーの構築が始まった（浜崎忠雄 2002）[18]。農林水産省の農業構造動態調査（2020）[21]によると、2014年の農業従事者は約369万人、その内65歳以上が約44%であったが、2019年には農業従事者276万人の内、65歳以上が約53%となっている。このように、担い手の減少・高齢化の進行等により労働力不足が深刻な問題である。政府は農業の現場の省力化、人手の確保、負担の軽減など重要な課題を解決するため、スマート農業を提唱し、作業の自動化、情報共有の簡易化、データの活用への効果が期待されている（農林水産省 2022）[22]。

気温・湿度・日射量などの環境情報の収集については、気象観測ロボットを導入して気象情報を提供した（高谷・能登 1998）[23]。画像・映像などで得られる作物の生育情報について、作物の育成シミュレーションなど（高橋ら 1998）[24]が行われた。従来の環境モニタリングでは、多くの人員、高価な機器や莫大なコストの観点から実現するには多くの困難があったが、情報技術の発展によって、無人で定点における定時のセンサー値の自動保存やセンサー機器の低廉化により、低コストで環境モニタリングが実現できるようになった（内藤 2006）[25]。2006年の新宿御苑での実施を中心とする Airy Notes プロジェクトと 2009年からの慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスを中心とする Mebius Sensor プロジェクトの環境モニタリング実証実験で気温や照度など環境センサーを備えた無線センサーノードを環境に広く設置し、現在の気象観測網では捉えきれない微細な気象観測を実現する同時にリアルタイム、オンサイトでの環境観測を実現した。こうした情報を利用したアプリケーション開発を推進した（伊藤 2010）[26]。

1-2-2-2 野生動物モニタリング

1975年、国連環境計画は地球規模の環境監視システムを確立し、世界中の哺乳類、鳥類、絶滅危惧種、国立公園、保護地域の取引を監視することを提案した。さらに、世界自然保護基金、世界動物保護協会などの組織が野生動物の監視活動を実施している。日本では、東北森林管理局青森分局では、鳥獣類の生息状況を明らかにするため、2003年から岩手北部森林管理署管内の安比岳国有林でビデオカメラによる野生動物のモニタリングを開始した。また、設定地域は AC 電源を得ることが難しい

場所が多いことから、センサーカメラ等を併用した（鈴木 2004） [27]。

福島第一原発事故は環境変化に大きく影響する。原発事故の影響を確認するため、野生生物をその場でモニタリングし、経過と結果を記録する意義が高い。原子力災害の生態系や野生生物への影響評価（と保全）についてのモニタリング調査事業も実施されている（M. Begon 2006；石田 2012） [28] [29]。また、これまでのクマによる人身被害も、野生動物の交通事故の問題も、現場検証を重ねて現象の中に潜む何らかの傾向を見い、対策を提示できる。野生動物のモニタリングを続けながら、情報を収集する（真並 2012） [30]。これまで、モニタリング調査は主に、直接観察法によるデータ収集が多かったが、動物が人を忌避するため情報収集が困難な場合が多い。また、日本は特有の急峻な地形や森林などによる障害物で観察が難しい地域があるので労力もかかる。マルチコプターを用いた研究は進展しており、野生動物の調査研究にも利用され始めている（森光 2016） [31]。

WSN のモニタリングへの応用について、2003 年から「モニタリングサイト 1000 里地調査」が環境省によって開始された。2017 年までの約 10 年間の調査の結果、各地域の市民が主体となった全国約 200 ヶ所の里山観測ネットワークが構築され、里地里山における生物多様性の危機的状況を捉えることができた。また、各調査サイトではデータを活用した取り組み事例が年々増加しており、各地域の自然保護活動に活かされている（福田 2021） [32]。IoT の導入とともに、WSN の Zigbee、LoRa など省電力技術が注目された。例えば、継続的に野生動物の情報やその被害の情報をモニタリングしていくために、省電力型短距離無線通信規格の Zigbee を用いた野生動物農業被害防除システムを構築することができた（伊吾田 2008） [33]。

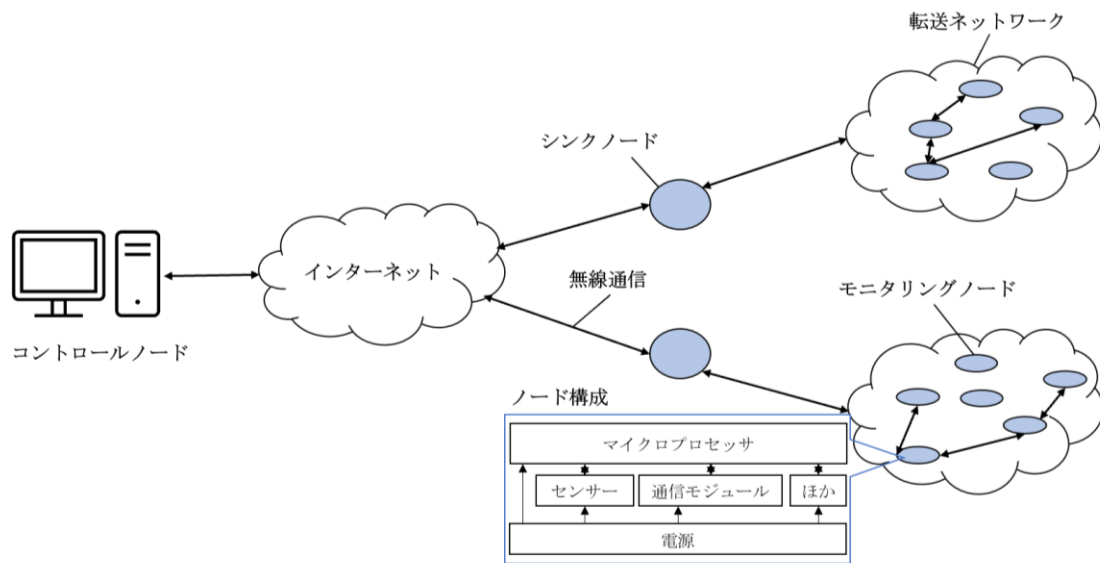


図 1-2 無線センサーネットワークのアーキテクチャ

1-3 研究目的

鳥獣被害対策について、山林部でのモニタリング手法の知能化が期待されている。効果的に多様なデータを収集するため、従来の単独で利用される通信方法を改善する必要がある。ワイヤレスセンサーネットワークの WiFi と LoRa の通信技術はどちらも農山村地域で単独で使用する場合に問題がある。WiFi は高速だが、通信距離が短く、電力消費量が比較的大きい。中継器を利用して通信距離を拡大しても集落や農地を含む幅広いカバーエリアで、山林の中に継続的な電力供給が難しい農山村地域に適していない。LoRa は、長距離と低電力消費の両方の機能を備えていたが、大量のデータ送受信には向かない(動画像、音声等は難しい)。

そこで、本研究では、高速データ伝送が可能な WiFi と長距離伝送が可能な LoRa を組み合わせた二重無線通信網を提案し、福島県飯舘村佐須地区における集落周辺に無線通信基盤を試作する。その上で、環境と動物モニタリング実験を通して山林部で使える効果的な農山村地域モニタリング手法を提案する。

1-4 論文構成

第 1 章は序論であり、研究背景・既往の研究・研究目的について述べた。さまざまな無線通信技術と省電力広域ネットワークのメリットとデメリット、農山村地域モニタリングの事例、メリットとデメリットを分析し、スペシャルなネットワークと監視方法が必要であることを指摘した。

第 2 章では、二重無線通信システムの構成及び設置方法について説明する。山村に覆われた農山村地域の複雑な環境特性を組み合わせ、アプリケーションシナリオの実際のニーズを考慮し、農山村地域の LoRa および WiFi 無線通信技術に基づくネットワークトポロジー構造を設計した。無線データ伝送はメッシュネットワークを介して実行される。LoRa と WiFi ワイヤレス通信モジュールは、環境データ監視と鳥獣監視などに対応する。また、センサーデータの分析予定の内容と分析方法を説明する。

第 3 章では、LoRa および WiFi 通信技術に基づき、農山村地域モニタリングのためのソフトウェアおよびハードウェアの全体的な設計について述べる。システムのフィールドテストは、福島県飯舘村をテストサイトを選んで実験し、収集したセンサーデータの分析結果を示す。

第 4 章では、WiFi と LoRa 二重無線通信網の構築と農山村地域モニタリングに関する考察を述べる。

第 5 章では、結論として、本研究の結果と今後の課題について述べる。

第2章 二重無線通信システムの試作

2-1 調査対象地

福島県飯舘村は 75%が山林で山林の合間に集落がある（図 2-1）。そのため携帯電話の電波が入らない場所が随所に存在する。原発事故で一時全村避難を余儀なくされ、避難指示が解除された後、村内に住む人口は事故前の約 2 割に減少した。高齢化、帰村農業者の減少と管理放棄農地の増大が課題となっている。図 2-2 のように、赤いマークの場所は主に人の活動エリアで、それ以外の場所は鳥獣の活動エリアである。鳥獣被害対策として、村民は防護柵などで農地を守っているが、野生動物による獣害が絶えない。例えば、主要作物の一つであるトウモロコシは、穂が出た時期にサルに食べられ、成熟するとイノシシやシカなどによって食べられる。そこで、本研究では、福島県飯舘村で無線センサーネットワークを活用した農山村地域モニタリングの実証実験を展開することで、農地を効率的かつ省力的に管理する。

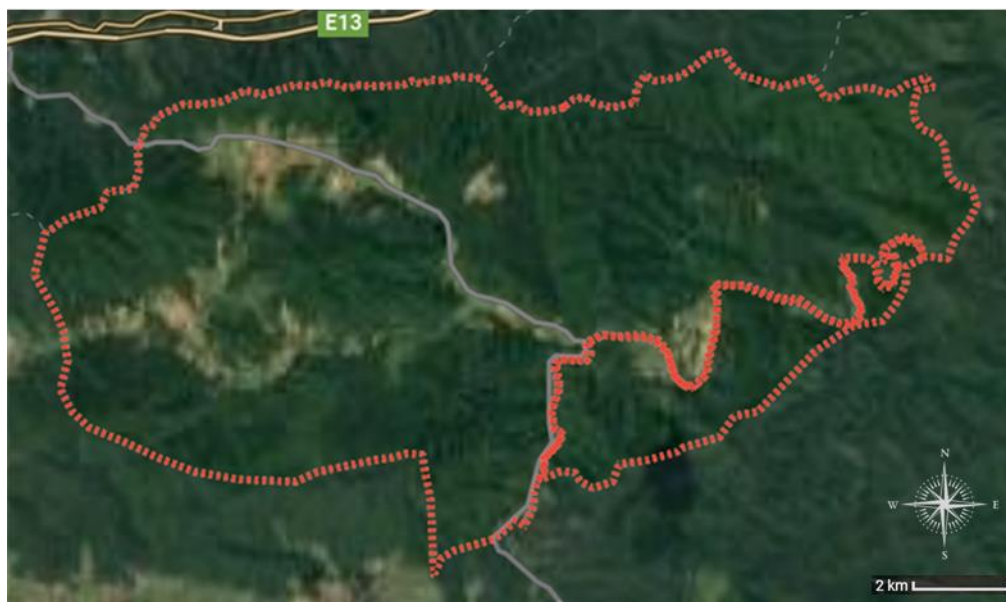


図 2-1 山林に囲まれている飯舘村佐須地区（GoogleMap より）

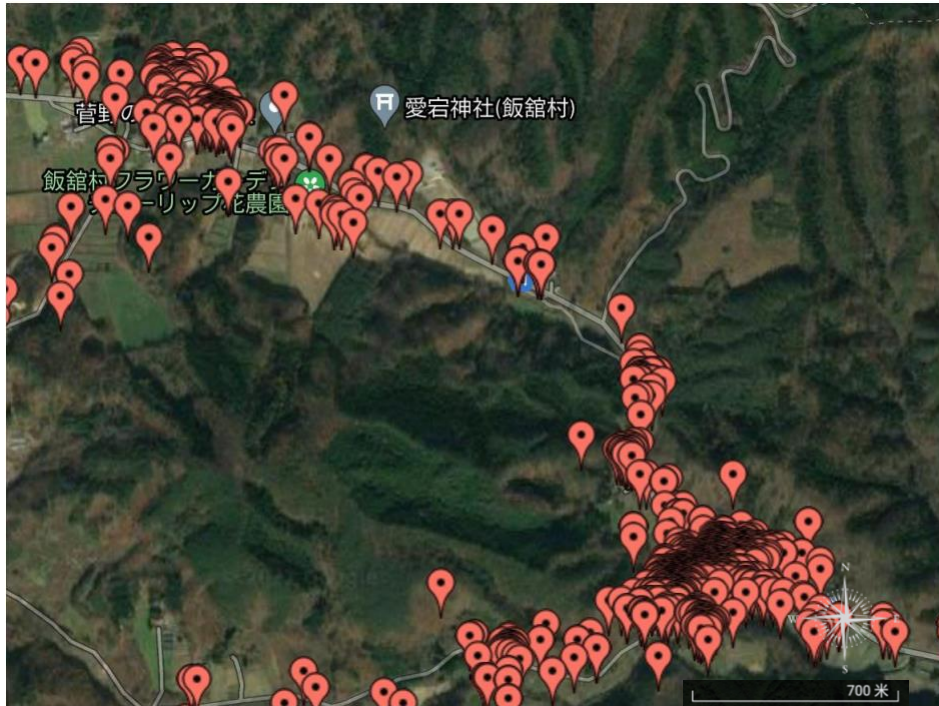


図 2-2 飯舘村佐須地区の投稿写真 MAP アーカイブ（飯舘村プロジェクトより）

2-2 WiFi 通信実験

動物を写真や動画で検知するシステムは、WiFi 親機と中継機（EAP225-Outdoor V1, Omada 社製）・コントローラー（OC200 V1, Omada 社製）・WiFi 子機（カメラ Camera Argus ECO + SP, Reolink 社製）から構成される。

佐須地区滑集落をカバーできるように WiFi 親機 2 ヶ所および集落内の主な道路上における WiFi 中継機 18 機の設置場所を検討し、メッシュネットワークで繋げた。また村民からのサル目撃情報を基に、WiFi 子機（カメラ）の設置場所（16 ヶ所）を検討した。

2-2-1 EAP メッシュネットワーク

メッシュネットワークはメッシュルーターとメッシュクライアントで構成されており、これらのデバイスノードも互いにワイヤレスで接続されている。メッシュネットワークは、トポロジー内のノードが故障したりサービスを提供できなくなった

りした場合、「ジャンピング」を使用して新しいルートを形成し、メッセージを送信先に送信できる（図 2-3）。EAP は、ネットワークがワイヤレスクライアントを認証できるようにするプロトコルである。WPA エンタープライズ標準は、標準化された認証方式として IEEE 802.1X（EAP-MD5、EAP-POTP、EAP-GTC、EAP-TLS、EAP-IKEv2 など EAP タイプ）を採用している。TP-Link 会社は EAP-TLS を使用し、EAP ネットワークと呼ばれる WiFi メッシュネットワークを構築した。

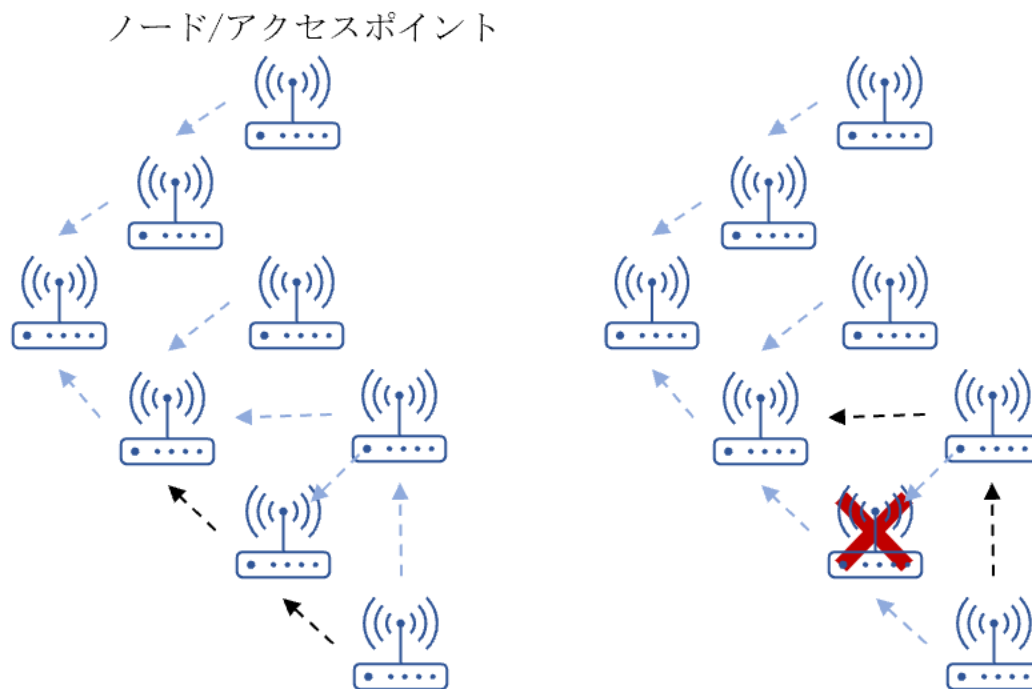


図 2-3 メッシュネットワークの堅牢性と適応性（TP-Link 社より） [36]

一般的な WiFi ネットワークの電波はモデムに接続したルーターから送信され、端末とルーターの間に壁などの障害物の場合、あるいは遠くのところに置くと、電波が弱くなってしまうことがある。また、WiFi に接続するネットワーク機器の増加に伴い、1つのルーターに何台もの機器を接続するため、帯域が不足して速度低下が起きてしまい、ユーザー側でのインターネット接続速度に影響が出る。こうした状況を解決するため、ネットワーク機器のグループが1つの Wi-Fi ネットワークとして動作できる EAP メッシュネットワークを導入する。EAP メッシュネットワークは従来のネットワークと比べると、次のメリットがある（図 2-4）。

- 1) ノードを追加すると、玄関や屋外など、受信しにくいところにも強い電波が届ける柔軟な通信範囲がある。また、ノードの間は無線で接続する。
- 2) 1つのノードが停止しても、通信は別のノードに転送されることが出来る自己修復機能がある。
- 3) すべてのノードが相互に接続されているため、宛先にデータを送信できる経路は複数ある。経路は、常に最速のものいわゆるダイレクトな送信経路が選択される。

福島県飯舘村は山林に囲まれており、電波が弱い場所が多いが、広い地域に WiFi ネットワークを利用するため、最適な EAP メッシュネットワークを構成する必要がある。

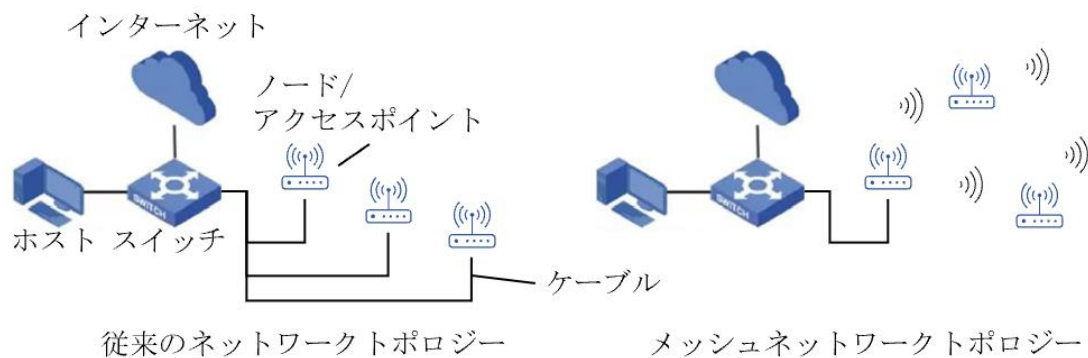


図 2-4 ネットワークトポロジー対比図 (TP-Link 社より) [36]

2-2-2 親機と中継器

WiFi 親機と中継機 (EAP225-Outdoor V1, Omada 社製) は AC1200 MU-MIMO ギガビットの屋内外対応の無線 LAN アクセスポイントである。EAP225-Outdoor V1 の主な特徴として以下が挙げられる。

- 1) 屋外環境に最適：防塵・防水テストの結果、IP65 (塵埃の侵入とあらゆる方向からのノズルによる噴流水機器の影響を受けない) 相当として評価された耐候性スプレー付きカバーは、屋外の過酷な環境からアクセスポイントを保護する。
- 2) 高速デュアルバンド WiFi：2.4GHz (300Mbps) と 5GHz (867Mbps) で合計 1167Mbps の WiFi 速度を実現できる。
- 3) 長距離カバレッジ：802.11ac Wave 2 MU-MIMO (Multi User-Multi input Multi

Output, 複数のユーザーへ同時に送信する技術) テクノロジーを備えた、専用のハイパワーアンプとプロフェッショナルアンテナを搭載する。

- 4) いつでも・どこからでも集中型のクラウド管理：Omada コントローラーを使用し、ネットワーク全体を手軽にリアルタイムで管理・インテリジェントモニタリングすることができるだけでなく、クラウドアクセスと Omada アプリによって、どこからでも安全なリモートアクセスが可能になる。
- 5) Omada メッシュテクノロジー対応：複数のアクセスポイント間での WiFi 接続でも高い接続性を保ち、利便性の高い柔軟な WiFi の導入が可能になる。
- 6) シームレスローミング：802.11k および 802.11v シームレスローミングは、クライアントが移動すると接続先アクセスポイントをスムーズに切り替える。これにより VoIP などのセンシティブなアプリケーションなども途切れることなく利用できる。移動しながらでも、途切れることなく動画ストリームや音声通話が可能になる。
- 7) PoE (LAN ケーブルを通して電力を供給できる) 対応：802.3af/at 規格 (接続機器が PoE 対応機器であることを確認してから電力を供給する形式) とパッシブ PoE (PoE アダプターを含む。接続機器が PoE 対応機器であることを確認せず、直接接続機器に電力を供給する形式) の両方に対応しており、柔軟な設置が可能である。

さらに、主な仕様は以下の表 2-1 で確認できる。

表 2-1 EAP225-Outdoor V1 の仕様 (TP-Link 社より) [36]

ハードウェア機能	電源	<ul style="list-style-type: none"> ・802.3af/atPoE ・24V パッシブ PoE (+4, 5pins; -7, 8pins. PoE アダプター付属)
	消費電力	10.5W
	アンテナ	<ul style="list-style-type: none"> ・2.4GHz : 3dBi×2 ・5GHz : 4dBi×2
	耐候性エンクロージャー	IP65

ワイヤレス機能	ワイヤレス規格	IEEE802. 11a/b/g/n/ac
	周波数範囲	2. 4GHz, 5GHz
	信号レート	802. 11ac: 5G: 6. 5Mbps to 867Mbps 802. 11n: 6. 5Mbps to 300Mbps 802. 11g: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps 802. 11b: 1, 5. 5, 11Mbps 802. 11a: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps
	ワイヤレス機能	複数の SSID (最大で各バンド 8 つずつ、16 個の SSID) Wi-Fi のオン/オフ チャンネルの自動割当 出力コントロール (dBm での設定) QoS (WMM) MU-MIMO シームレスローミング* Omada メッシュ* エアタイムフェアネス ビームフォーミング バンドステアリング 負荷分散 レート制限 再起動スケジュール、無線スケジュール
	送信パワー	・ CE: <20dBm (2. 4GHz, EIRP) , <27dBm (5GHz, EIRP) ・ FCC: <23dBm (2. 4GHz) , <22dBm (5GHz)
管理機能	Omada アプリ	Yes
	Omada コントローラーソフトウェア	有り
	クラウドアクセス	Yes

佐須地区集落をカバーできるように有線ネットワークを用いる WiFi 親機を佐須滑事務所と風と土の家（宿泊施設）の 2ヶ所に設置した。また、集落内の道路沿いと農地内の地上約 2m の見通しが良いところに WiFi 中継機 18 機を設置し、メッシュネットワークで繋いだ。WiFi 中継器は 50W のソーラーパネルで充電している。WiFi 親機と中継器（EAP で呼ぶ）の設置は以下になる。



図 2-5 （左）EAP225-OutdoorV1（TP-Link 社より）[36]（中）WiFi 親機の設置 （右）WiFi 中継器の設置

EAP にアンテナを取り付けた後、ポールマウント用ストラップを支柱に巻き付けて EAP を設置する。親機は EAP の LAN ポートと PoE スイッチを LAN ケーブルで繋いだ。親機と中継器は、EAP 裏面のラベルに印刷されているデフォルトの SSID（TP-Link_2.4GHz/5GHz_XXXXXX）を使って、Omaba アプリでリモートアクセスや管理ができる。

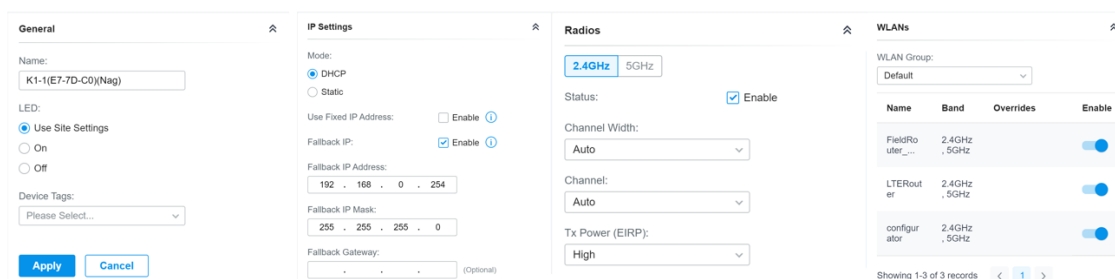


図 2-6 EAP225-Outdoor V1 の Web 上のデフォルト設定

2-2-3 コントローラー

コントローラー（OC200 V1, Omada 社製）は Omada Wi-Fi メッシュネットワーク全体の集中管理機能を提供する。リアルタイムの統計情報と監視、ネットワークトラフィックのグラフィカルな分析の表示、キャプティブポータルを作成、アクセスポイントのファームウェア更新と再起動などの機能でネットワークを容易に拡張することができる。主な特徴として以下が挙げられる。

- 1) 場所や時間を選ばずに利用できる Wi-Fi ネットワークのクラウド管理機能。
- 2) スマートな設置を可能にする PoE 受電対応（802.3af/802.3at）。
- 3) 複数のログインオプションを備えた安全なゲストネットワーク機能（Facebook Wi-Fi、SMS ログイン、Voucher）

さらに、仕様は以下の表で確認できる。

表 2-2 OC200 V1 の仕様（TP-Link 社より） [34]

ハードウェア 機能	電源	802.3af/at PoE Micro USB（DC5V/最低でも 1A 以上の給電能力が必須）
機能	ワイヤレス機能	L3 マネージメント マルチ SSID ロードバランス バンドステアリング エアタイムフェアネス ビームフォーミング レートリミット ワイヤレススケジュール QoS
	AP 管理	自動検出 統合構成 再起動スケジュール ファームウェアアップグレード LED オン/オフ

管理機能	Omada アプリ	Yes
	集中管理	登録可能デバイス数：最大 100 台 ※ゲートウェイは 10 台、スイッチは 20 台まで
	クラウドアクセス	Yes
	管理機能	<ul style="list-style-type: none"> ・自動デバイス検出 ・一括構成 ・ファームウェアの一括アップグレード ・インテリジェントネットワークモニタリング ・異常時における警告 ・統合構成 ・再起動スケジュール ・Captive Portal の設定

18 台のネットワーク機器を管理する必要があり、2 台の WiFi 親機が設置されたため、コントローラーも 2 台を導入し、WiFi 親機の隣に配置した。こうすることで、クラウドで WiFi メッシュネットワークを管理できる。設定手順は以下になる。

- 1) コントローラーの LAN ポートとスイッチを LAN ケーブルで繋ぐ。
- 2) スイッチと繋がっているルーターでコントローラーの IP アドレスを確認する。
- 3) ウェブブラウザを起動する。
- 4) アドレスバーにコントローラーの IP アドレスを入力し、セットアップウィザード、デバイスの検索と追加、WiFi のセキュリティ対策などを設定する。
- 5) WiFi 親機の置き場所によりサイトを作成する。
- 6) デバイスを検索・導入することでネットワークの管理を開始する。

こうして、一元的にデバイスを構成および監視できるようにした。

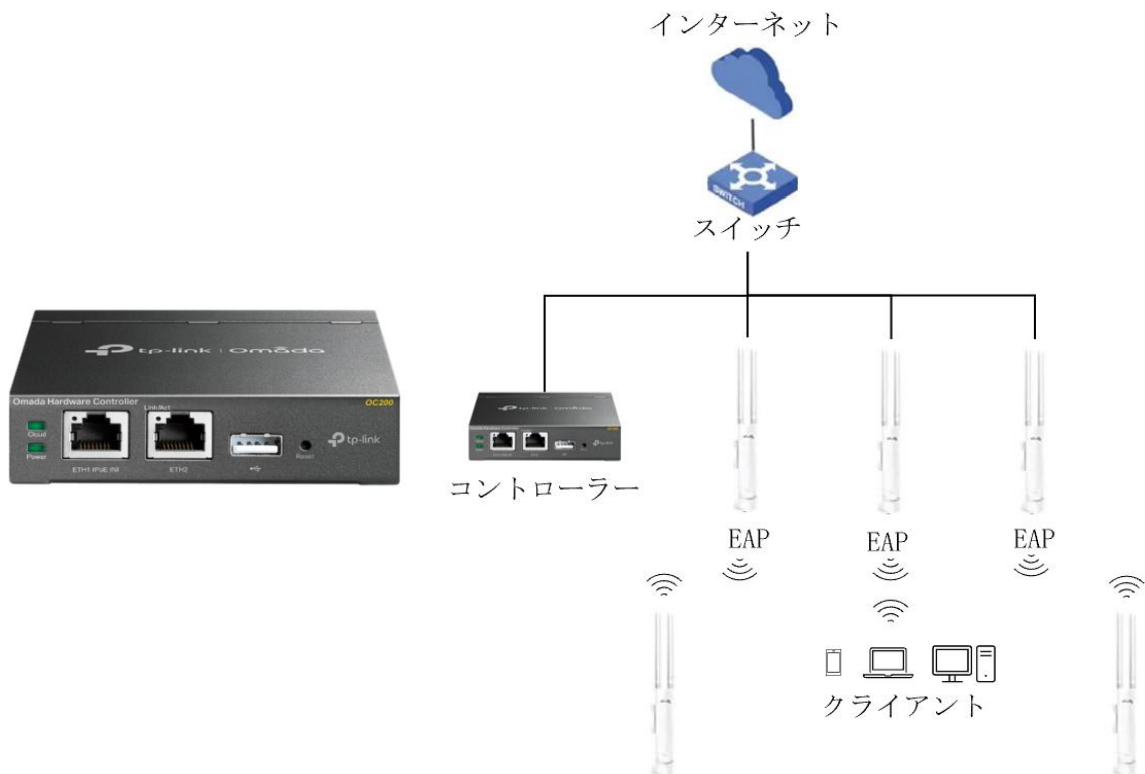


図 2-7 (左) コントローラーOC200V1 (TP-Link 社より) [34] (右) WiFi メッシュネットワーク物理構成図 (TP-Link 社より) [35]

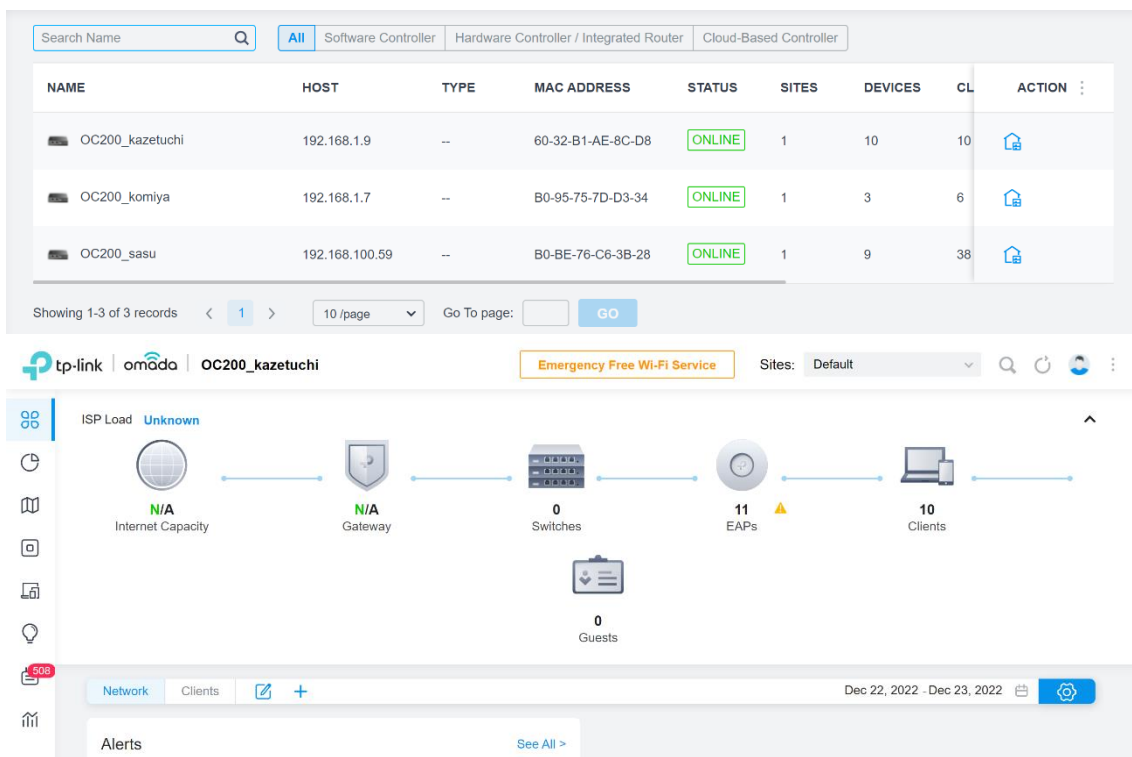


図 2-8 コントローラーのクラウドアクセス画面

2-2-4 子機

WiFi 子機（バッテリー式カメラ Camera Argus Eco, Reolink 社製）はケーブル不要のワイヤフリー屋外バッテリー式防犯カメラである。できるだけ正確に野生動物を検知するため、野外に適用なカメラを選んだ。このカメラの特徴は以下になる。

- 1) ソーラー充電式に対応できる：電源オプションは充電式バッテリーとソーラー充電式がある。セットアップが簡単な全天候型 Reolink ソーラーパネルを介して充電すれば、バッテリー容量は常に十分である。充電するたびにカメラから外す手間が省ける。
- 2) 昼と夜 1080p フル HD：1920x1080 の高解像度を備えたため、720p カメラよりもシャープでスムーズなビデオストリーミングを提供できる。細かい細部と鮮やかな画像で視界を監視する。
- 3) タイムラプス機能：数分または数秒で動物や物の揺れの観察、記録、共有することができる。
- 4) スマート PIR モーション検出機能：内蔵の PIR モーションセンサーは、飛んでいる虫や木の小枝による誤報がほとんどない。モーション感度と作動時間を設定することにより、カメラをよりスマートにし、気になるものをキャッチできる。リアルタイムのアラート以外に、強力なサイレンが自動的に鳴り、セキュリティをさらに強化できる。
- 5) リモート監視機能：カメラはライブストリーミングにアクセスされるとすぐに起動する。ライブ映像を表示し、iOS や Android のモバイルデバイスを介して、いつでもどこでも動きを監視できる。マイクとスピーカーが内蔵されているので、カメラを介して音声を聞いたり話したりことが対応できる。
- 6) モーション検出録画機能：カメラは、モーションイベントを録画し、後で再生するためにその瞬間を正確に保存できる。スマートフォンやソフトウェアですべて記録されたビデオ履歴にアクセスできる。

さらに、仕様は以下の表に確認できる。

表 2-3 Camera Argus Eco の仕様 (Reolink 社より) [37]

ビデオとオーディオ	イメージセンサー	CMOS イメージセンサー
	ビデオ解像度	1080pHD、15 フレーム/秒
	ビデオフォーマット	H. 264
	視野角	単焦点レンズ、100° 視野角
	ナイトビジョン	最大 10 メートル (33ft)
	デジタルズーム	6 倍デジタルズーム
	オーディオ	双方向音声用のスピーカーとマイク
PIR 検知とアラート	PIR 検知距離	最大 10 メートル (33ft) まで調整可能
	PIR 検知角度	100° (水平方向)
	音声アラート	サイレン (カスタマイズ可能)
	他のアラート	インスタントメールアラートとプッシュ通知
WiFi	WiFi 規格	IEEE802. 11b/g/n
	動作周波数	2. 4GHz
	ワイヤレスセキュリティ	WPA-PSK/WPA2-PSK
電源	バッテリー	5200mAh 充電式バッテリー (バッテリー寿命は設定、使用状況、温度によって異なる)
	ソーラー	Reolink のソーラーパネルで電源供給可能
	直流電源	5V/2A 電源アダプタで電源供給可能
ストレージ	ローカルストレージ	マイクロ SD カード (最大 128GB) をサポート
	クラウドストレージ	ReolinkCloud をサポート (一部の国のみで利用可能)
動作温度	動作温度	-10~55° C (14° ~131° F)
	耐候性	IP65 認証の耐候性

山林中にカメラを設置するため、精度が高い検知機能、録画再生機能、バッテリーをカメラから外す手間が省ける給電機能と防水機能が必要となる。そのため、ArgusEco を購入し、村民からのサル目撃情報を基に、WiFi 子機（カメラ）の設置場所（16ヶ所）を検討した。



図 2-9 バッテリー式カメラ Camera Argus Eco（Reolink 社より）[37]

カメラのパラメータを図 2-10 に示す。アプリより設定することができる。

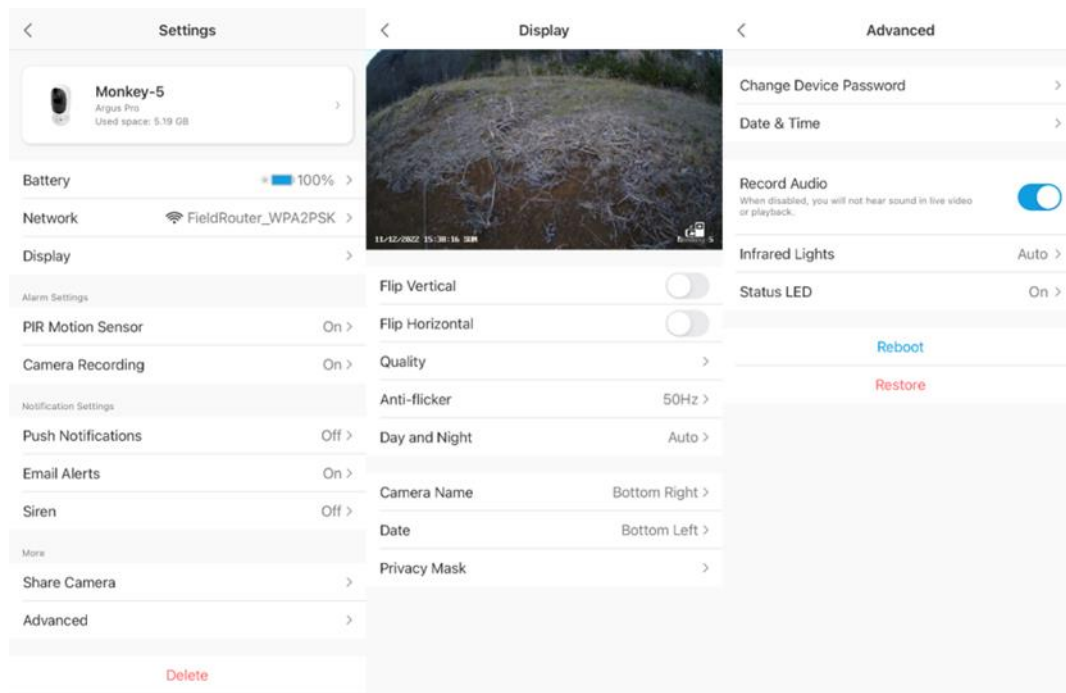


図 2-10 Camera Argus Eco の設定

2-2-5 中継器と子機の WebUI 環境

センサーからクラウドまでのデータ伝送の全体的なフレームワークは以下になる。主に四つの部分がある。①子機のデータの取得と保存：子機自体のプログラム設計を通じて、データを取得と保存する。②シリアル通信：収集されたデータは子機のWiFi ワイヤレスモジュールに送信される。③中継器と親機間の通信：収集された子機のデータは、WiFi ワイヤレスモードを介して親機に送信される。④クラウドプラットフォーム上にデータがリアルタイムに表示される。

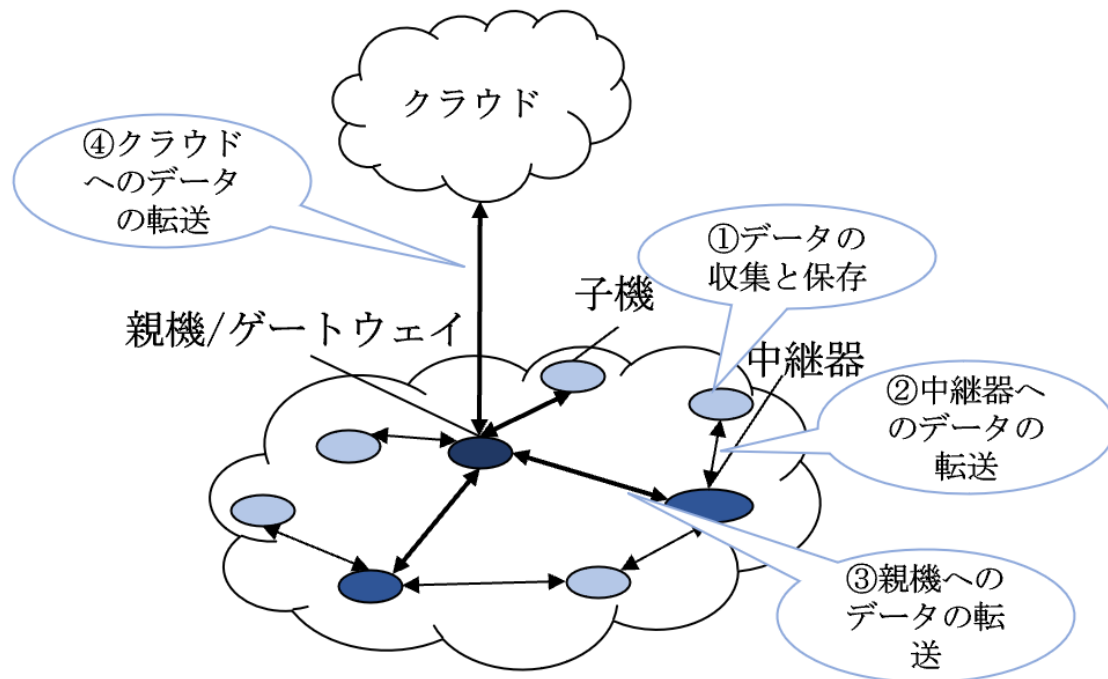


図 2-11 センサーからクラウドまでのデータ伝送の全体的なフレームワーク

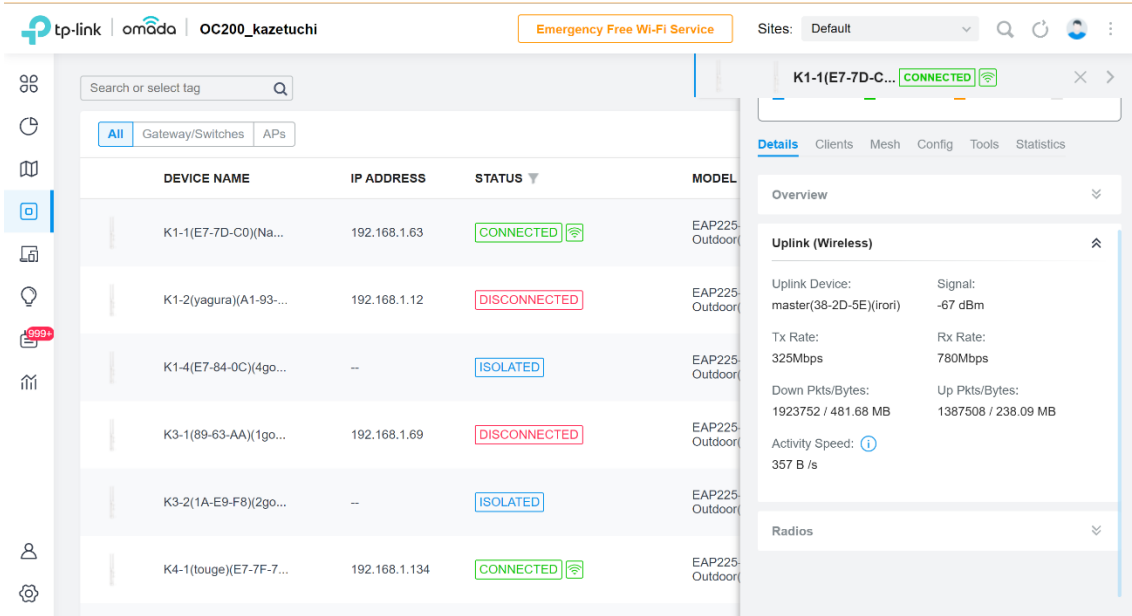


図 2-12 WiFi 中継器 (OC200 V1) の WebUI 環境

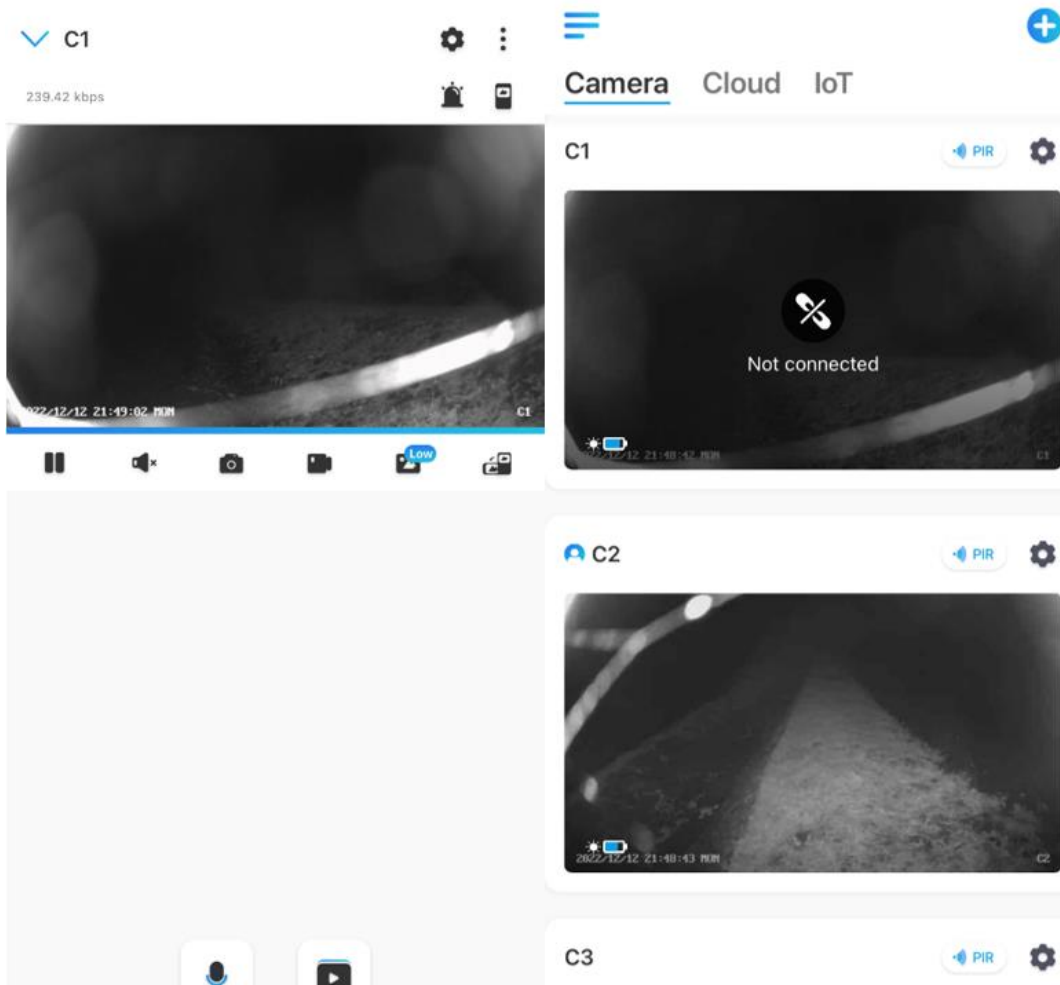


図 2-13 WiFi 子機 (Camera Argus Eco) の WebUI 環境

2-2-6 親機、中継器と子機の配置

2台 WiFi 親機の周りに中継器を置き、従来の WiFi ネットワークの通信範囲より大きいメッシュネットワークを構成した。通信できる範囲に子機をサルがよく出る場所に配置した。



図 2-14 WiFi メッシュネットワークトポロジーイメージ図

2-3 LoRa 通信実験

LoRa メッシュネットワークシステムは LoRa 親機と LoRa 中継器 (ES920GWX2, EASEL 社製)・LoRa 子機 (人感センサーES920LRH, 温湿度センサーES920LRTH2, EASEL 社製) から構成される。

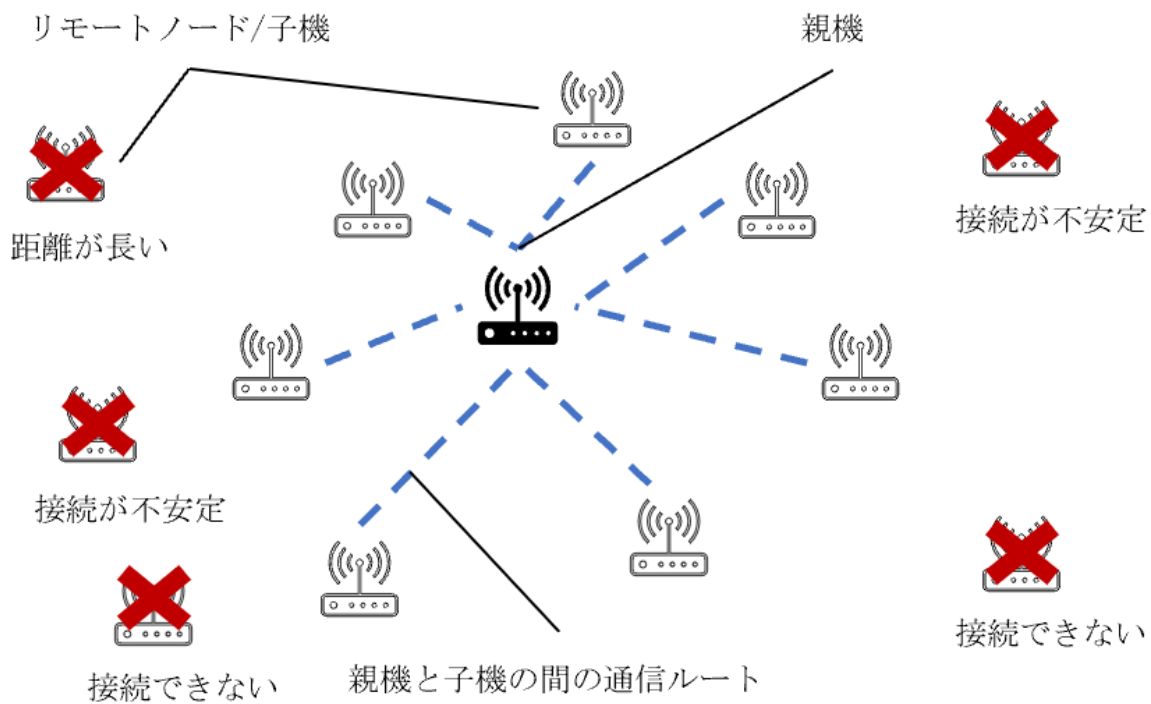
電波伝播シミュレーターCloudRf で目標カバー率を計算し、集落全体をカバー可能な範囲で山中における親機一つと中継器二つの適切な設置場所を検討した。また、電波が届くと考えられる範囲内において、6 地点で温湿度センサーを、16 地点で人感センサーの子機を配置した。人感センサーの一部は上記カメラに近い場所に、その他は村民にヒアリングを行った上で、サルを目撃場所近辺に設置した。

2-3-1 LoRa メッシュネットワーク

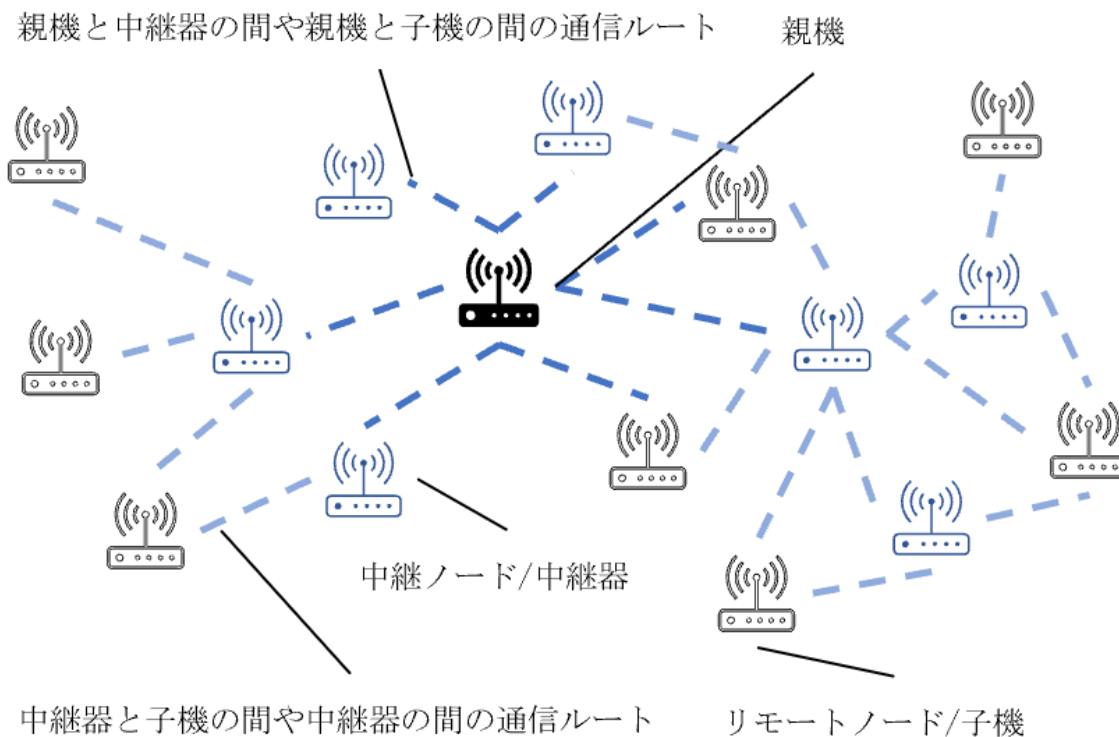
LoRa は伝送距離が長いため、農業への適用が注目されているが、実際の使用では、ノード間に山や森があったり、建物があったり、ノードが地下にあったりなどまだ完全にカバーされていない場所があり、正常な通信ができない。より高い通信速度で遠くの場所にデータを送信するため、LoRa メッシュネットワークが必要である。

一般的な LoRa メッシュネットワークには、フィールドデータ伝送、スマート水道メーター、スマート電気メーターなどがある。森林と荒野のデータ収集と伝送では、数十キロメートルまたは数百キロメートルの領域に携帯電話ネットワークと有線ネットワークの事例はない。森の奥や原野からネットワークのある場所へデータを伝送するには、LoRa のシングルホップ伝送距離だけでは足りず、伝送路上でマルチレベルの中継転送が必要になる。このとき、LoRa メッシュネットワークが使用される。

簡単に言えば、LoRa メッシュネットワークは LoRa 伝送に基づくメッシュネットワークキングソリューションである。図 2-15 のように、従来の LoRaWAN ネットワーキング方式は、接続距離が短く、スケーラビリティに劣るスター型ネットワークであるため、リモートノード（子機）への接続が不安定または接続できない。LoRa メッシュネットワークはハイブリッドネットワークであり、接続距離が長く、スケーラビリティが高く、リモートノードは中継ノード（中継器）を介してネットワークに安定的に接続できる。また、リモートノードと中継ノードの間にいくつかの経路があれば、自動的に通信状況が一番良い経路を選択することができる。そのため、LoRa メッシュネットワークの接続性、柔軟性と利便性が高い。本研究に LoRa メッシュネットワークを導入すると従来の LoRaWAN ネットワークよりカバー範囲が広く、電波強度も強くなると思われる。



従来のLoRaWAN接続形態



LoRaメッシュ接続形態

図 2-15 LoRa 接続形態対比図 (著者作成)

これから構築する LoRa メッシュネットワークには、ハードウェアおよびクラウドサービスに関して多くの機能がある。

(1) ハードウェア：

①中継機能：LoRa メッシュネットワークノードには、一般ノードと中継ノードの2つの役割がある。中継ノードが一般ノードのデータをゲートウェイに転送することで、LoRa メッシュネットワークのカバレッジが大幅に拡大され、ネットワークのカバレッジ外のノードでも、中継ノードを介してクラウドにデータを送信できる。

②自動ネットワークアクセス：LoRa メッシュネットワークノードは自動的に電源を入れてネットワークに入ることができる。ゲートウェイがローカルネットワーク設定を構成したら、ノードは電源がオンになったときに自動的にネットワークにアクセスできる。

③自動再接続：LoRa メッシュネットワークはハイブリッドネットワークトポロジを採用し、ノードは切断された再接続をサポートし、複数のインテリジェントな再接続メカニズムがネットワークの安定性を保証する。

1 番目のタイプ：ノードがゲートウェイに接続されている場合、切断された場合、ゲートウェイとの接続が自動的に再確立される。

2 番目のタイプ：ノードが中継ノードに接続されている場合、切断された場合、再接続する他の中継ノードを自動的に見つける。

3 番目のタイプ：ノードがゲートウェイに接続されている場合、切断された場合、隣接する中継ノードと自動的に再接続する。

④LoRa メッシュネットワーク：ローカル管理をサポートし、ネットワークの通信モードをローカルで設定でき、受信および送信周波数帯域をローカルで設定できる。また、ネットワークノードを管理したり、ノードを追加または削除したりできる。ローカル管理は、ネットワークとノードのパラメータを変更し、ネットワーク全体のセキュリティをさらに向上させる。

(2) クラウド：

①分散型マルチゲートウェイ：LoRa メッシュネットワークは、分散型ゲートウェイを使用し、特定の範囲内にゲートウェイを展開してゲートウェイ範囲内のノードデータを収集する。複数のゲートウェイがクラウド上でデータを収集してデータ収集の範囲を拡大することができる。従来の LoRaWAN ネットワークと比較して、範

囲はより広く、収集されたノードデータが多い。

②クラウド伝送：LoRa メッシュネットワークは、収集したデータをノードからゲートウェイに送信し、さらにクラウドに送信する。クラウドはデータを管理プラットフォームに送信する。

2-3-2 LoRa 親機と LoRa 中継器

LoRa 親機と LoRa 中継器は EASEL の ES920GWX2 を利用した。ES920GWX2 は IoT 向け無線ネットワークの構築を実現する量産タイプのプライベート LoRa 用ゲートウェイである。920MHz 帯無線通信を行っている。LoRa モジュールを 4 台搭載しているため、アプリケーションに応じて無線チャンネル、拡散率を使い分けるなどの柔軟な設定が可能である。LoRa モジュール毎に最大 30 件のデータを保留し、順次送信する事ができる。主な特徴は以下になる。

- 1) LoRa による広域ネットワーク構築：LoRa 長距離無線の特徴を生かし、ゲートウェイ：センサユニット=1：N の広域スター型ネットワークの構築が可能。
- 2) 長距離無線モジュール ES920LR を複数内蔵：それぞれを異なる拡散率に対応させることで最適な通信時間と通信距離を自動選択。
- 3) 複数の通信・電源インターフェースに対応したラインナップ：ES920GWX2 は、標準で Ethernet を搭載。Ethernet が使える環境であれば直ぐに LoRa で受信したデータをサーバーに通知する事ができる。Ethernet の使用が困難な屋外用途では、LTE 通信モジュールを使用する事が可能。電源は AC 電源による電源供給と、Ethernet (Power over Ethernet) での電源供給の選択が可能になる。

主な製品仕様は以下になる。

表 2-4 ES920GWX2 の仕様 (Easel 社より) [38]

項目	仕様内容
品名	920MHz 帯ゲートウェイ
型名	ES920GWX2
無線方式	920MHz 帯 LoRa 変調
通信距離	半径 1~5Km (通信環境に依存します)
アンテナ	外付けダイポールアンテナ
Ethernet 通信速度	100Mbit/s
SIM	データ通信用 nano SIM カード ※3G 通信モジュール、LTE 通信モジュールを使用する場合
電源	DC (12V/1A) PoE (Power over Ethernet)
温度動作範囲	-20~+80℃ (結露なきこと)
防塵・防水	IP55

設置手順は以下になる。

- 1) アンテナを本体に取り付け、LAN コネクタキャップを開け、付属の防水ハウジングを使用して LAN ケーブルを接続する。
- 2) 通信インターフェースの選択について、オプションの PCI Express Mini Card 型 3G 通信モジュールまたは LTE 通信モジュールを使用する事でインターネット接続を実現できたが、本研究では長距離無線モジュール ES920LR と Ethernet を搭載し、LoRa プライベートネットワーク用ゲートウェイにする。
- 3) 給電について、DC (12V/1A) 電源を選択する。商用電源がないフィールドのため、オフグリッドの大型ソーラーパネルを利用し、電力を供給する。
- 4) ES920GWX2 とパソコンを USB ケーブルで接続し、ES920GWX2 の電源を ON にする。
- 5) 自動的にデバイスドライバのインストールが完了した後、ターミナルソフトウェア (Tera Term) の設定を行う (図 2-17)。
- 6) パラメータを下記の通り (表 2-5) 保存し、ES920GWX2 の電源を OFF、ON し、再起動する。



図 2-16 (左) 親機 ES920GWX2 (Easel 社より) [38] (右) 現地に設置された様子

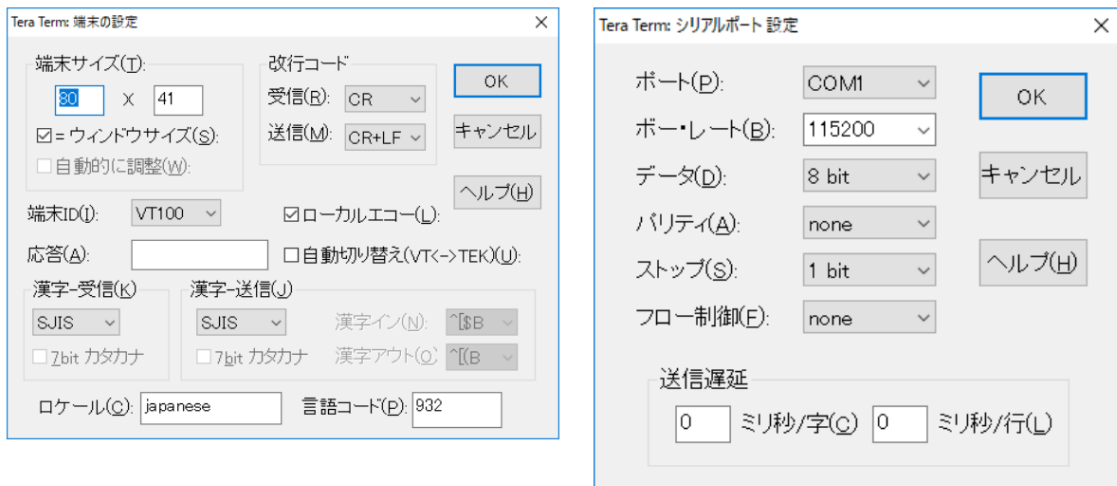


図 2-17 ターミナルソフトウェアの設定 (Easel 社より)

表 2-5 ES920GWX2 のパラメータ (Easel 社より)

パラメータ	値
DHCP	ON
帯域幅	125kHz
拡散率	7, 10, 12
チャンネル	1-2
ACK	ON
リトライ回数	1
送信出力	13dBm
AES128 暗号化キー	00000000000000000000000000000000

LoRa メッシュネットワークを構築するため、親機と同じ型番の中継器 (ES920GWX2) を山林に設置する。親機との通信は LoRa で行っているため、LAN コネクタを利用する必要がない。そのほかの設置は上記の手順と同じである。山林中に置かれるため、この中継器の電源はソーラーパネルを利用しなければならない。また日射量が小さくソーラーパネルで発電が困難であるため、タイマーで 30 分毎に ON-OFF する方式で電力消費を節約した。



図 2-18 中継器の設置

2-3-3 LoRa 子機

LoRa 子機としては野生動物を検知する人感センサーと環境を確認する温湿度センサー2種類を用いた。

2-3-3-1 人感センサー

人感センサユニット (ES920LRH) は内部にはワイヤーアンテナタイプの LoRa モジュールと焦電型赤外線 (人感) センサーを搭載しているセンサユニットである。

人感センサユニット (ES920LRH) の主な特徴として以下が挙げられる。

- 1) 人感センサー：人感センサーにより人の所在を検出し、ゲートウェイに送信する。
- 2) LoRa による広域ネットワーク構築：LoRa 長距離無線の特徴を生かし、ゲートウェイ:センサユニット=1:Nの広域スターネットワークの構築が可能である。
- 3) プライベート LoRa と LoRaWAN のプロトコル選択可能：ファームウェアの書き換えをすることで、プライベート LoRa (EASEL 独自プロトコル) と LoRaWAN のプロトコル選択が可能。LoRaWAN は日本仕様の Ver1.0.2 に準拠する。
- 4) 長期間のメンテナンスフリーを実現する低消費電力動作：単4電池2本で約6ヶ月 (無線の設定や通信環境に依存する) の連続稼働が可能である。

さらに、製品仕様は以下の表で確認できる。

表 2-6 ES920LRH の仕様 (Easel 社より) [39]

項目	仕様内容
品名	人感センサユニット
型名	ES920LRH
無線方式	920MHz 帯 LoRa 変調
通信距離	半径 0.5~2km (通信環境に依存します)
アンテナ	ワイヤーアンテナ
検出範囲	9m
LED	LoRa 送信確認:緑 LoRa 受信確認:橙

消費電流（電池動作時）	検出時:2.65mA 非検出時:215uA 通信時（ピーク時）:47mA
電源電圧	DC（5V/2A）（付属 AC アダプタを使用して下さい） 単 4 電池 2 本
温度動作範囲	-20～+70℃（結露なきこと）

電波が届けると考えられる範囲内において、16 地点で人感センサーの子機を配置した。人感センサーの一部は上記カメラに近い場所に、その他は村民にヒアリングを行った上で、サルを目撃場所近辺に設置した。



図 2-19 （左）人感センサユニット ES920LRH（Easel 社より）[39]（右）ES920LRH の設置

人感センサユニットのパラメータを表 2-7 に示す。電池寿命を延長するため、人感センサユニットから親機への LoRa 送信間隔は 10 分間隔で 1 回とした。電波が不安定の場合リトライ送信ができるために ACK を ON にした。ここで ACK とは「データが正しく受信できた」といった内容を伝達するために用いられる。OFF にすると通信内容の一部または全てが正常に届かずに消滅してしまう可能性がある（パケットロス）。データを遠くまで届かせるために帯域幅を 125kHz（125kHz、250kHz、500kHz があり）、拡散率を 12（7、10、12 があり）にした。ここで帯域幅とは、LoRa 通信に使う電波の周波数の範囲である。拡散率とは 1 シンボルあたりで送信するビット数である。帯域幅が狭いほど、拡散率が大きいほど通信可能距離は長くなる。

表 2-7 ES920LRH のパラメータ

項目	設定値
ノード ID	000x
PANID	000x
無線チャンネル	10
帯域幅	125kHz
拡散率	12
ACK	ON
送信間隔	10 分

2-3-3-2 温湿度センサー

温湿度センサユニット（ES920LRTH2）は IoT 温湿度センシングシステムに使用可能な防塵・防水対応の温湿度ユニットである。広域な施設内に温湿度センサユニットを設置、親機のゲートウェイにてスター型のネットワークを構築することでローコストな IoT 温湿度モニタリングシステムが構築可能である。主な特徴は以下になる。

- 1) 高精度温湿度センサー搭載：温湿度センサーはセンシリオン製 SHT-31 を採用、バラツキの少ない高精度なデータ取得が可能である。

- 2) LoRa による広域ネットワーク構築：LoRa 長距離無線の特徴を生かし、ゲートウェイ：センサユニット=1:Nの広域スターネットワークの構築が可能である。
- 3) プライベート LoRa と LoRaWAN のプロトコル選択可能：ファームウェアの書き換えをすることで、プライベート LoRa (EASEL 独自プロトコル) と LoRaWAN のプロトコル選択が可能。LoRaWAN は日本仕様の Ver1.0.2 に準拠する。
- 4) 長期間のメンテナンスフリーを実現する低消費電力動作：低消費電力化により単 4 電池 2 本で約 10 年（無線の設定や通信環境に依存する）の連続稼働を実現する。
- 5) モニタリングソフトで直ぐに確認可能：プライベート LoRa で温湿度センサユニットからのデータを受信するゲートウェイと、EASEL 製 PC 用モニタソフトウェアを組み合わせることで、導入後直ぐに温湿度自動管理が可能である。

製品仕様は以下になる。

表 2-8 ES920LRTH2 の仕様 (Easel 社より) [40]

項目	仕様内容
品名	温湿度センサユニット
型名	ES920LRTH2
無線方式	920MHz 帯 LoRa 変調
アンテナ	内蔵チップアンテナ
温湿度センサ	センシリオン製 SHT-31
測定精度	温度±0.5℃湿度±5%RH
LED	LoRa 送信確認:緑 LoRa 受信確認:橙
消費電流	通常時:4.0uA 通信時 (ピーク時) :45mA
電源	単 4 乾電池×2
温度動作範囲	-20~+80℃ (結露なきこと)
防塵・防水	IP55

ゲートウェイ親機から山林の中継器までインターネットに接続された範囲内 6 地点で温湿度センサーを配置した。防水機能がついているが、念のため、設置の際には動物や雨が侵入しないように、塩ビパイプに子機を入れ、ネット袋に入れて木の枝に固定した。

温湿度センサユニットのパラメータを表に示す。人感センサーのパラメータと同様に、電池寿命を延長するため、親機への LoRa 送信間隔は 10 分間隔で 1 回とした。データが遠くまで届くよう、帯域幅を 125kHz、拡散率を 12 にした。



図 2-20 (左) 温湿度センサユニット ES920LRTH2 (Easel 社より) [40] (右) 木の上に設置された様子

表 2-9 ES920LRTH2 のパラメータ

項目	設定値
ノード ID	000x
PANID	000x
無線チャンネル	10
帯域幅	125kHz
拡散率	12
ACK	ON
送信間隔	10 分

2-3-4 子機の WebUI 環境

LoRa 子機（人感センサユニットと温湿度センサユニット）からのデータを WebUI でリアルタイムに確認できる。概要図は以下になる。

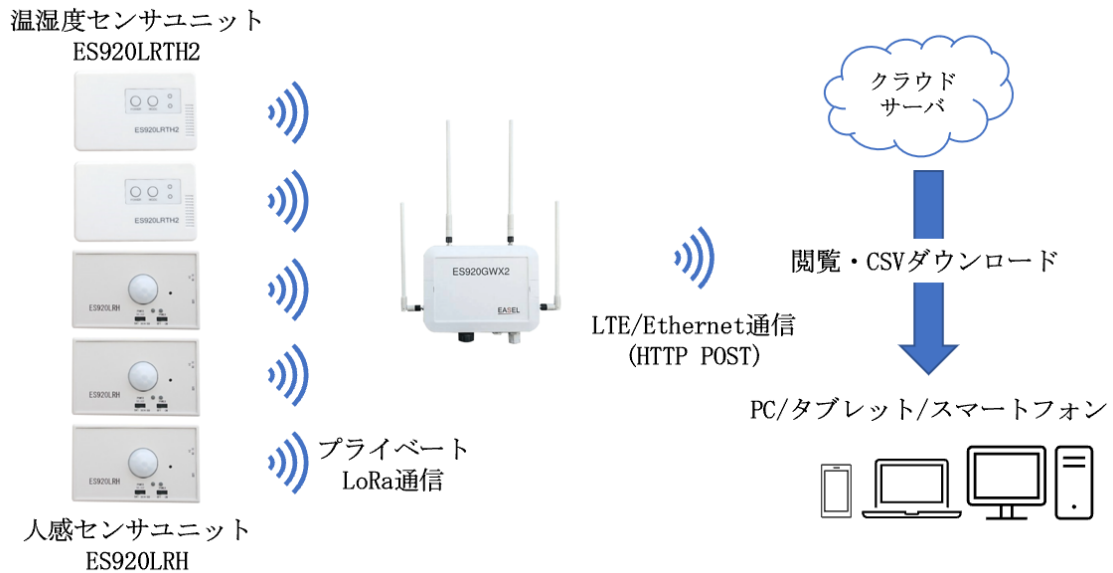


図 2-21 システム概要図

2-3-4-1 人感センサー

人感センサユニット（ES920LRH）からゲートウェイ（ES920GWX2）を経由してクラウドサーバーに通知された検知データを、PC やスマートフォンのブラウザで閲覧可能とする Web アプリケーションがある。WebUI を利用するため、ゲートウェイと人感センサの設定と登録が必要とする。設定が完了すると、WebUI のメニューボタンエリアから「温湿度」ボタンを選択し、モニター画面が他センサユニットに表示される。

他センサユニット			
センサ	名称	受信時刻	検出
人感	人感センサー1	2022-12-14 05:42:05	非検知
人感	人感センサー2	2022-11-16 13:47:37	非検知
人感	人感センサー3	2022-12-14 05:57:12	非検知
人感	人感センサー4	2022-12-14 05:29:17	非検知
人感	人感センサー5	2022-12-14 05:48:46	非検知
人感	人感センサー6	2022-12-14 05:52:15	非検知
人感	人感センサー7	2022-12-01 16:30:02	非検知
人感	人感センサー8	2022-10-18 00:36:30	非検知

図 2-22 人感センサユニットの WebUI 画面

検出欄にボタンをクリックすると、下記の情報が表示される。

ホーム マップ 温湿度 デバイス 建物 その他					
受信データ 【人感センサ (人感センサー1)】					
他センサユニット一覧 CSV Download					
受信時刻	ID	検出	RSSI(dBm)	電池電圧(v)	
2022-12-14 05:42:05	0101	非検知	-107	2.73	
2022-12-14 05:31:50	0101	非検知	-107	2.74	
2022-12-14 05:21:36	0101	非検知	-109	2.73	
2022-12-14 05:11:21	0101	非検知	-107	2.75	
2022-12-14 05:01:06	0101	非検知	-107	2.73	
2022-12-14 04:50:51	0101	非検知	-109	2.73	
2022-12-14 04:40:36	0101	非検知	-109	2.75	
2022-12-14 04:30:21	0101	非検知	-109	2.73	

図 2-23 人感センサユニットの詳細画面

2-3-4-2 温湿度センサー

人感センサユニットと同様に、温湿度センサユニット (ES920LRTH2) からゲートウェイ (ES920GWX2) を経由してクラウドサーバーに通知された温湿度データを、PC やスマートフォンのブラウザで閲覧できる。ユニット個別にアラート設定を行うことで、個々の設置環境における異常 (温度異常/湿度異常/電池電圧異常/通信異常) を検出することが可能である。設定が完了すると、WebUI のメニューボタンエリアから「温湿度」ボタンを選択し、モニター画面とマスタアラームが表示される。

マスタアラーム		モニター							
温度		名称	RSSI	温度	湿度	電池	受信時刻	しきい値	
異常								温度(°C)	湿度(%)
異常		Node1	-51dBm	14.0°C	56%	2.6V	2021-10-29 11:40:21	10.0~20.0	60~90
異常		Node2	-127dBm	11.3°C	68%	2.7V	2021-10-29 11:44:52	10.0~20.0	60~90
異常		Node3	-131dBm	10.7°C	72%	2.7V	2021-10-29 11:47:24	10.0~20.0	60~90
異常		node4	-125dBm	11.3°C	65%	2.5V	2021-10-29 11:42:41	10.0~20.0	60~90
異常		Node5	-130dBm	11.8°C	67%	2.4V	2021-10-29 11:46:45	10.0~20.0	60~90
異常		Node6	-127dBm	10.6°C	73%	2.8V	2021-10-29 11:40:54	10.0~20.0	60~90
異常		Node7	-137dBm	11.2°C	68%	2.8V	2021-10-29 11:38:53	10.0~20.0	60~90
異常		Node8	-133dBm	10.4°C	75%	2.6V	2021-10-29 11:37:36	10.0~20.0	60~90
異常		Node9	-136dBm	11.2°C	62%	2.7V	2021-10-29 11:35:46	10.0~20.0	60~90
正常		Node10	-103dBm	20.5°C	50%	2.8V	2021-10-24 16:23:45	10.0~20.0	60~90
異常		Node11	-130dBm	10.8°C	75%	2.6V	2021-10-24 16:01:14	10.0~20.0	60~90

図 2-24 温湿度センサユニットの WebUI 画面

表 2-10 温湿度センサユニット登録項目と説明 (Easel 社より) [40]

項目	説明
名称	温湿度センサユニットの識別名称
受信時刻	サーバーがゲートウェイから温湿度センサユニットデータを受信した時刻
温度	温湿度センサユニットからの最新通知温度
湿度	温湿度センサユニットからの最新通知湿度
電池	温湿度センサユニットからの電池残量値
RSSI	ゲートウェイが温湿度センサユニットからデータを受信した際の LoRa 無線受信電波強度
温度しきい値 (°C)	温湿度センサユニットの温度しきい値 範囲：10~20
湿度しきい値 (%)	温湿度センサユニットの湿度しきい値 範囲：60~90

2-3-5 LoRa 親機、LoRa 中継器と子機の配置

親機、中継器と子機の配置を検討するため、電波伝播シミュレーターCloud-RF™を導入した。Cloud-RF™は、電波伝搬をモデル化するための使いやすいサービスである。HF以上のRFスペクトル全体をカバーし、航空機向けの高さの上限と距離、長距離放送局向けの大きな電力制限、WISPおよびIoTネットワーク向けのメッシュ、モバイルネットワーク向けのセルラー伝搬モデル、および郊外、田園地帯、山の計画者に対応するための環境変数を備えている。Cloud-RF™で目標カバー率を計算し、集落全体をカバー可能な範囲で山中における親機一つと中継器二つの適切な設置場所を検討した。

シミュレーションでLoRa親機1台を置いてから、中継器を増やすことでLoRaの通信範囲が拡大されることが分かった。また、中継器の設置場所によりカバー範囲の面積と強度が異なる。このため、Cloud-RF™で中継器設置場所のシミュレーションと実地設置し、信号を確認する必要がある。

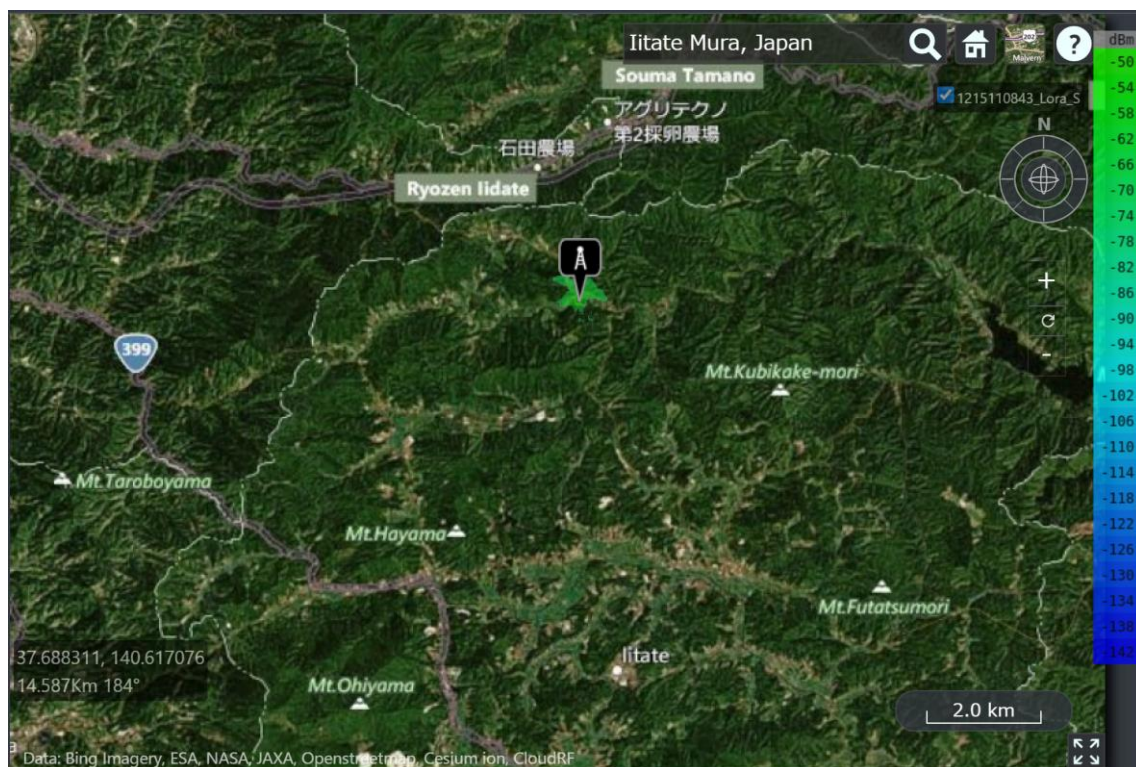


図 2-25 飯舘村における電波伝播シミュレーターCloudRFで予測された親機の電波到達範囲

2-4 センサーデータの分析

2-4-1 電波強度と電力消費の関係性分析

LoRa ネットワークシステムにおいて親機や中継器からの距離や環境条件の差異がどれだけ電波強度や電力消費に影響を与えるかを分析・検討した。

2-4-2 カメラと人感センサーの精度比較

カメラと人感センサーによる野生動物検知の結果を比較することで、両者の利点・不利点を吟味し、両者の最適な配置パターンと利用法を検討した。

第3章 結果

3-1 二重無線通信システムの実行

福島県飯舘村佐須地区に 2021 年 7 月から LoRa メッシュネットワークを導入し、何度か最適な位置を修正した後、2022 年 7 月から WiFi メッシュネットワークの構築を開始し、二重無線通信網を構築していった。その後、電波が届く範囲内で LoRa 子機と WiFi 子機を設置した。2022 年 12 月時点のネットワークプロジェクト図は以下になる。

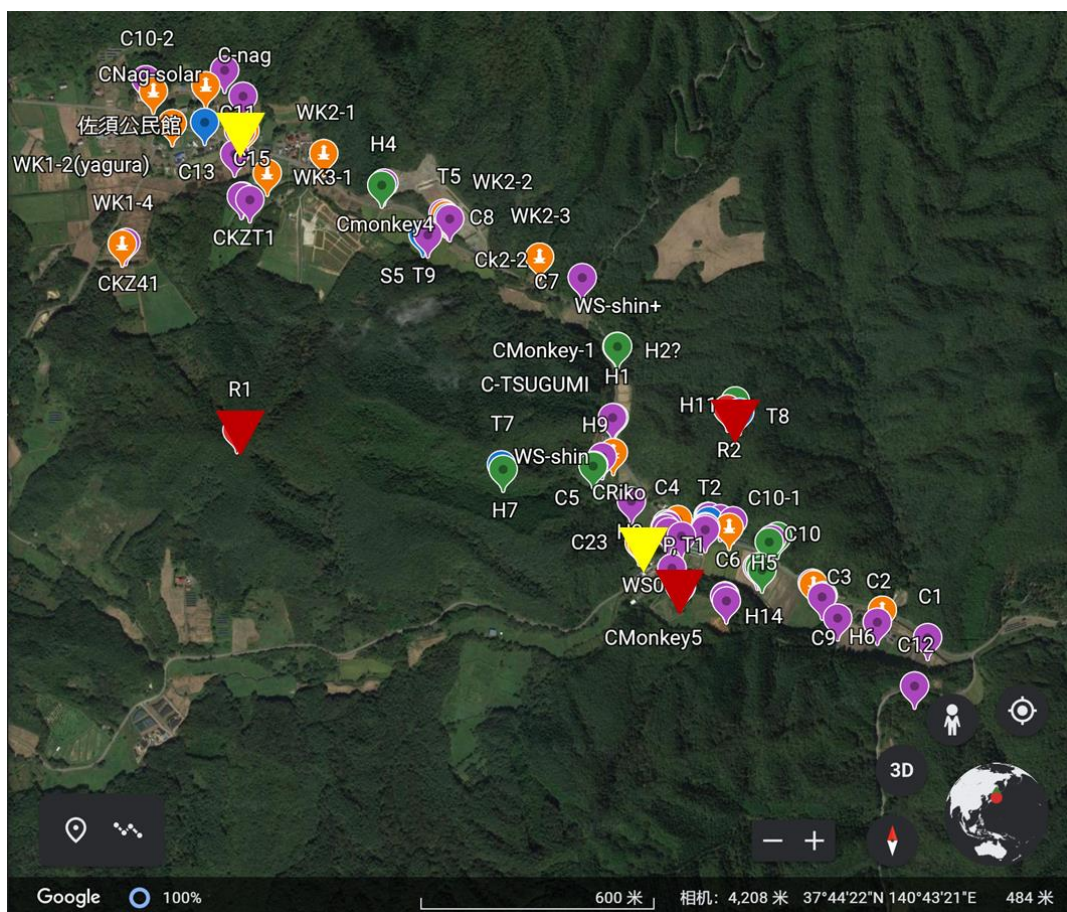


図 3-1 佐須区にネットワークを配置 (Google Earth 上に表示)

* WiFi 親機 (黄色)、WiFi 中継器 (橙色)、WiFi 子機 (紫色)、LoRa 親機と中継器 (赤色)、
LoRa 子機人感センサー (緑色)、温湿度センサー (青色)

3-1-1 WiFi メッシュネットワークシステム

3-1-1-1 WiFi メッシュネットワークシステム

図 3-1 のように、佐須地区内の 2 ヶ所の WiFi 親機から、佐須の主要道路沿いに WiFi 中継器を EAP メッシュネットワークで設置したところ、長さ約 2.3km の WiFi ネットワーク通信が可能になった。親機と中継器は見通しが良い条件で最長約 270m で通信できた（マニュアルでは 180m を推奨）。

3-1-1-2 WiFi メッシュネットワークトポロジー

データの流れ方を確認するため、クラウド上で WiFi メッシュネットワークトポロジーを確認した。図 3-2 のように、WiFi 子機のデータは WiFi メッシュネットワークを経由し、サーバに転送された。丸の枠で囲むアイコンは WiFi 中継器である。長方形の枠で囲むアイコンは WiFi 子機の集合であり、クリックすると子機（正方形の枠で囲むアイコン）が表示される。赤色の矢印に示す数値はネットワークのパフォーマンスである。

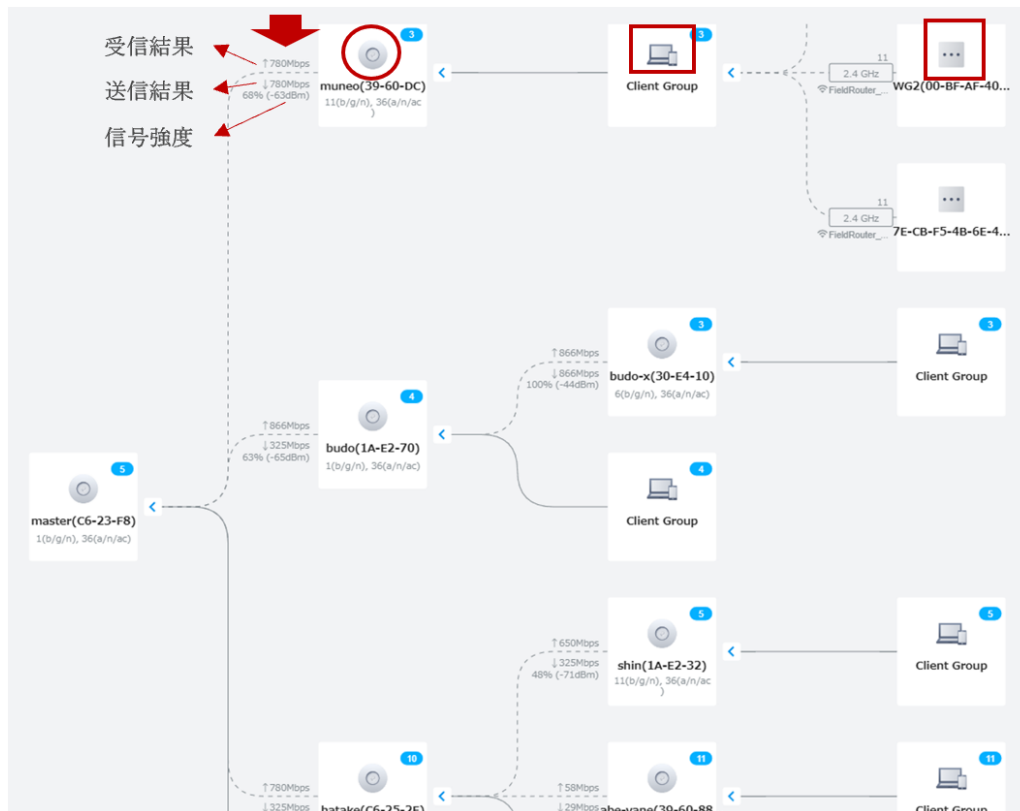


図 3-2 TP-Link Cloud 上に構築された WiFi メッシュネットワークトポロジー

3-1-1-3 動作確認

WiFi メッシュネットワークシステムを構築して以来、サルやタヌキ、イノシシが WiFi 子機のカメラで検知・記録された (図 3-3)。

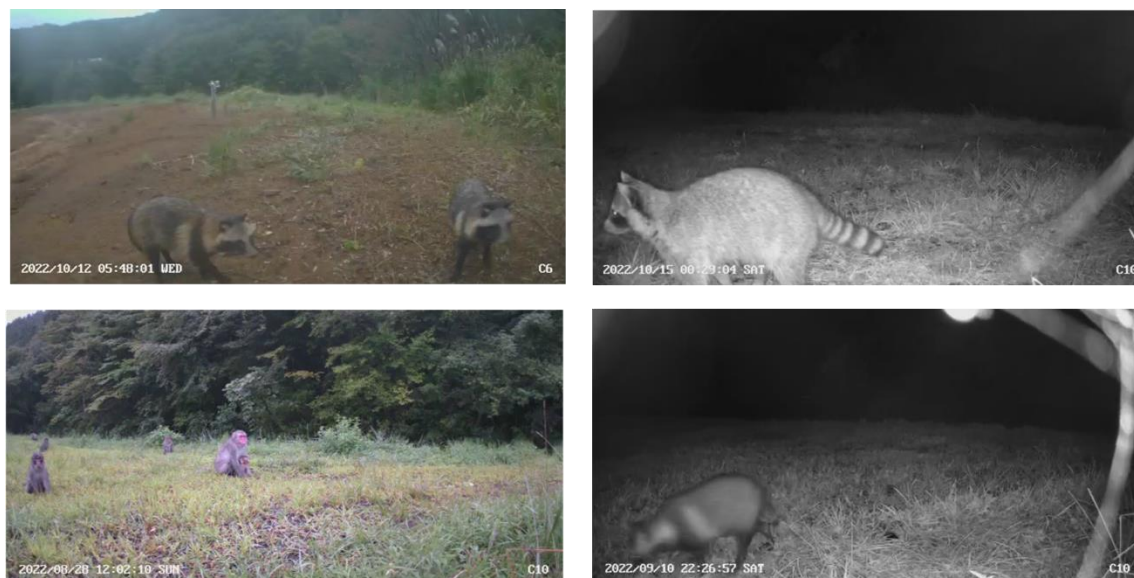


図 3-3 WiFi 子機 (カメラ) で検知されたサルやタヌキ

3-1-2 LoRa メッシュネットワークシステム

3-1-2-1 LoRa メッシュネットワークシステム

図 3-1 のように、佐須区内の 1ヶ所に LoRa 親機、メイン道路の両側の山に LoRa 中継器を設置し、長さ約 2.2 km の LoRa ネットワークの通信網を構築することができた。LoRa 子機のデータは LoRa ネットワークを経由し、サーバに転送された。

3-1-2-2 LoRa メッシュネットワークトポロジー

図 3 が示すように、Cloud-RF™ により電波到達範囲を検討し、対象地区内の集落を中心として LoRa メッシュネットワークシステムを構築した。

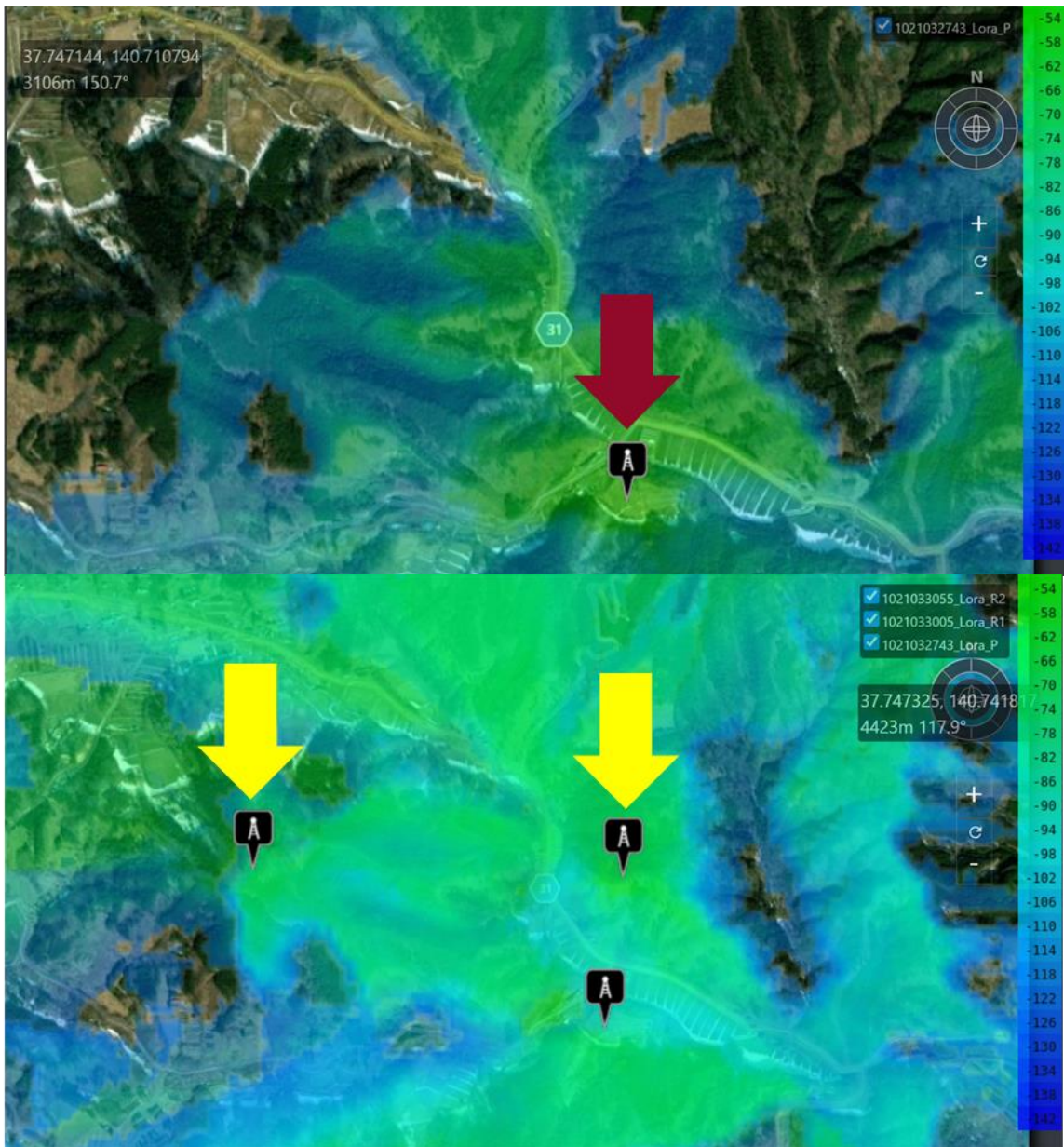


図 3-4 飯館村佐須集落における電波伝播シミュレーターCloudRFで予測された電波到達範囲

(上) 赤色の矢印に示す親機しか置いていないシミュレーションの結果。

(下) 最適な場所に黄色の矢印に示す2台中継器を置いたシミュレーションの結果。(緑色がLoRaの電波が強い。青色がLoRaの電波が弱い。黒印が親機と中継器を示す)

3-1-2-3 動作確認

LoRa ネットワークシステムの設置を通じて、LoRa 子機（人感センサー）が野生動物などによる現場状況の変化検知とデータの転送ができるようになった。図 3-5 のように、16 個人感センサーが変化を検知した時の電圧を縦軸、受信信号強度 RSSI を横軸にしてグラフ化した。人感センサー109~116 の散布図の右下の空白から、多くのデータ転送が電波強度がよくない状況下（RSSI が-140~-120dBm）で行われていることが分かった。また、ほかの人感センサーの図に電波強度がよい状況下（RSSI が-110~-80dBm）で点がある（変化を検知した）この理由は人感センサーの配置場所が LoRa 中継器や親機に近いから、データ転送が順調に行われたためと考えられる。

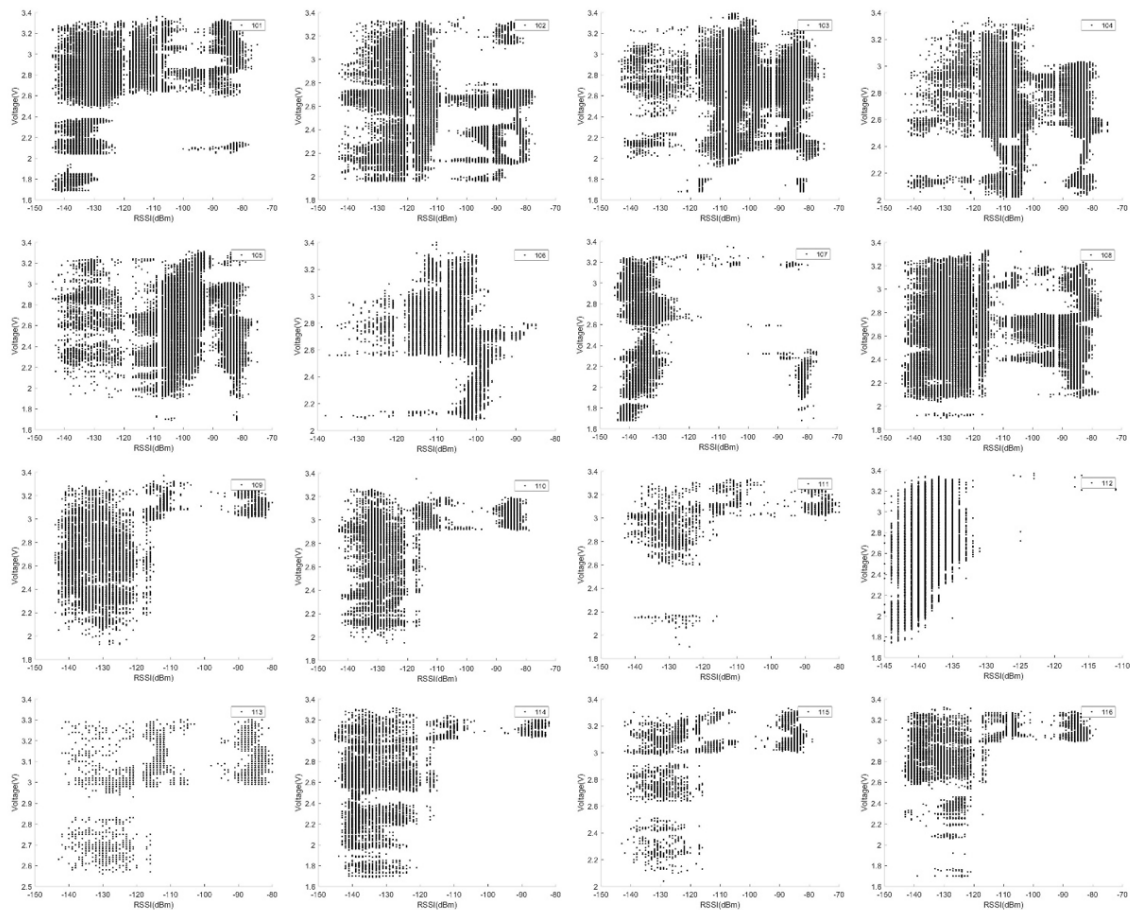


図 3-5 2021. 07. 31-2022. 07. 05 LoRa 子機（人感センサー）の検出情報

3-2 センサーデータの分析

3-2-1 電波強度と電力消費の関係性分析

二重無線通信網における監視システムを構築したが、図 3-6 のように、電波状況が悪い場合（図中左側）に電力消費が速いなどの問題があることが分かった。その理由は、LoRa 子機（人感センサー）は通信がうまく行かないと子機が何度もデータの送信を繰り返すためと考えられる。例えば、RSSI が約-140dBm など通信がギリギリのところは、送信が失敗すると、何回もリトライするため、電力の消費が激しくなったと考えられる。

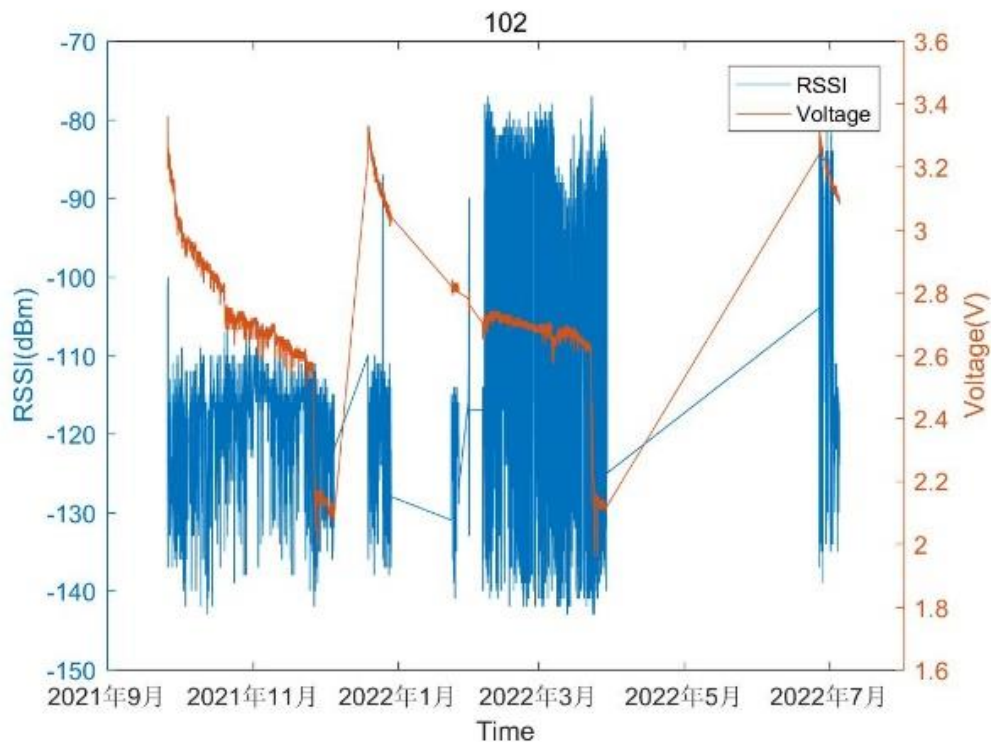


図 3-6 2021.09-2022.07 人感センサーH2 の消費電力

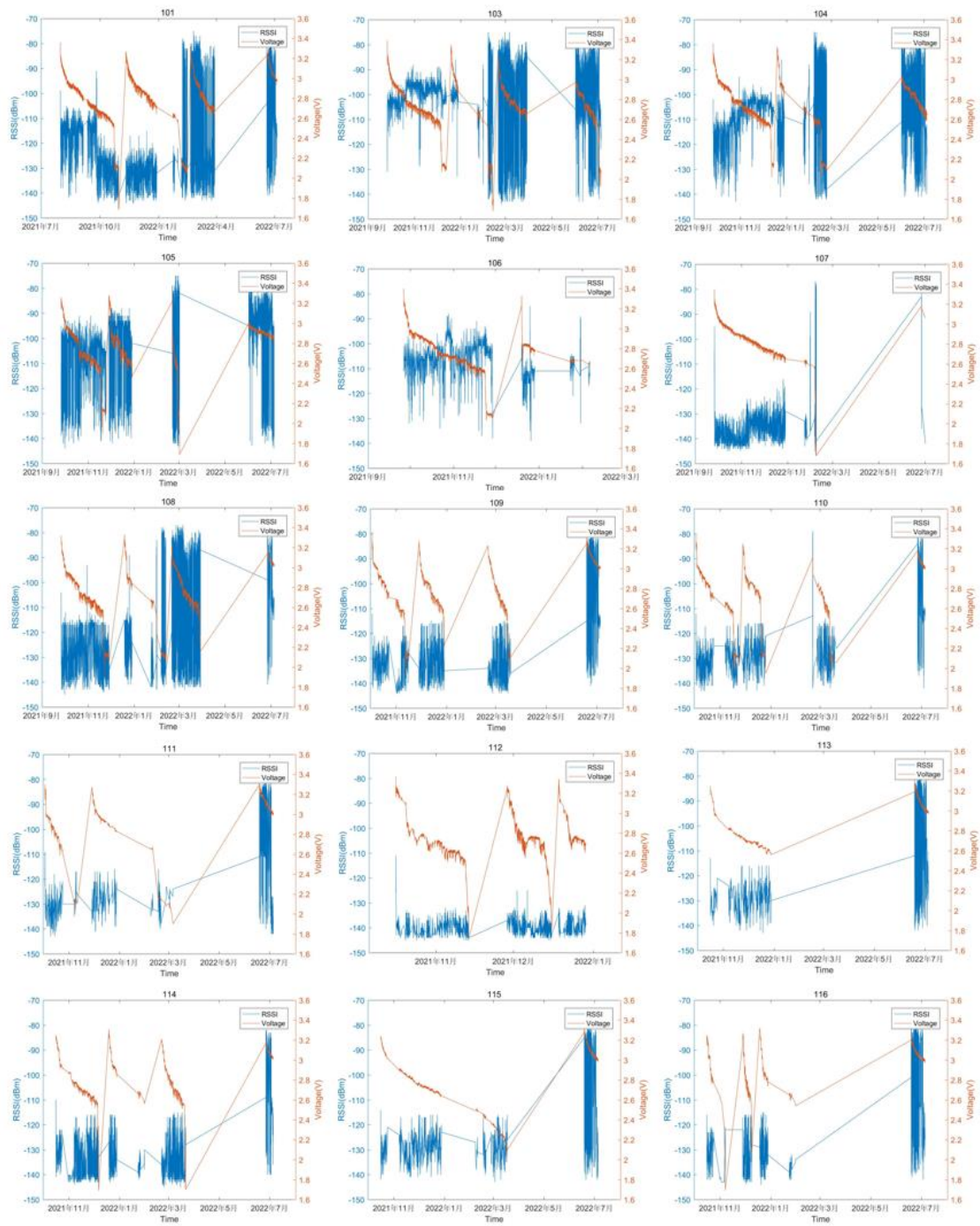


図 3-7 LoRa 子機（人感センサー）の消費電力

3-2-2 カメラと人感センサーの精度比較

同地点に設置した人感センサーとカメラの検知時間を比較したところ（図 3-8）、上の図のように、人感センサーの検知報告があった場合でも、実際にカメラに動物の姿が確認できる回数は少なかった。これは、人感センサーが風などでよく揺れる植物や道路における車や通行人等による動作に反応してしまうためと考えられる。検知時間を基に動物の姿を正しく検知した時間の割合を「検知正答率 (%)」のように整理し、図 3-8 の下のグラフを作成した。現時点で基本的にカメラ C10 の検知精度は人感センサーH10 の検知精度より高いことが分かった。今後人感センサーとカメラを最適なパターンで設置して検知精度を比較するような対策と改善が望まれる。

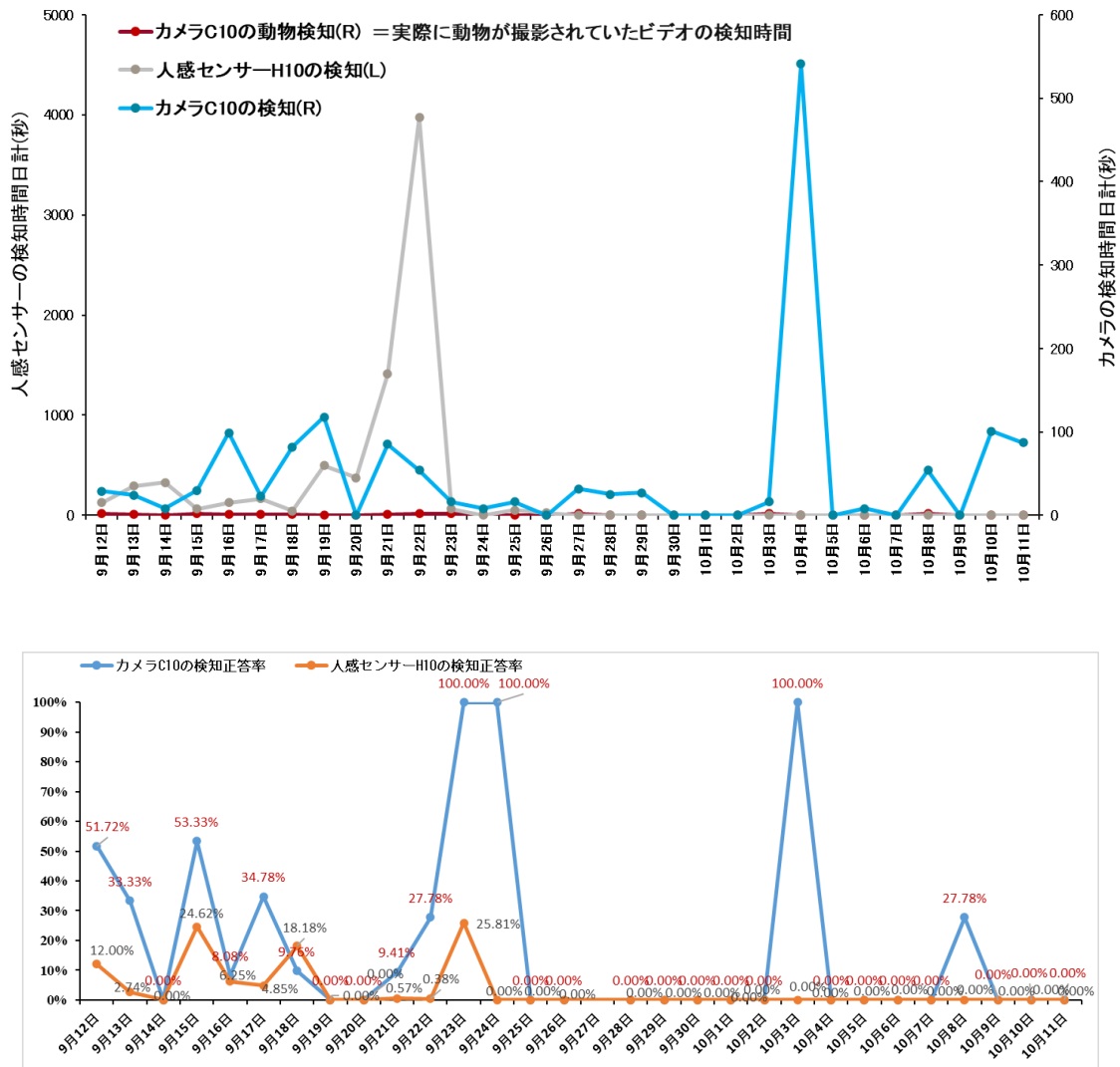


図 3-8 (上) 2022.09.12-2022.10.11 カメラ C10 と人感センサーH10 の精度比較
(下) 2022.09.12-2022.10.11 カメラ C10 と人感センサーH10 の検知正答率比較

第4章 考察

4-1 二重無線通信網について

4-1-1 構築方法

現在、IoT の応用分野は、従来の配線の難しさ、ネットワークのアップグレードの難しさ、大量のデータ情報、アプリケーション端末の豊富さなど、様々な状況に直面している。異なる状況に応じて異なるネットワークソリューションを採用することで、適切で安全かつ制御可能なネットワーク基盤が確立できる。本研究の二重無線通信網の構築方法を以下に説明する（図 4-1）。

- 1) 本研究は、農山村地域における IoT の適用のためのネットワークの構築に焦点を当てた。まず、全体的な機能要件とネットワーク要件を含め、ワイヤレス通信要件と実現可能性分析が実行された。農山村地域では一般的に幅広くて地形が複雑のため、従来の配線が困難で監視範囲が広い。また、機器の電力消費が深刻でコストが高い、メンテナンスが難しいなどの問題に直面している。本研究の機能要件とネットワークの要件には、主に、広い通信をカバーする範囲、リアルタイムのデータ収集と送信、収集を行うべきデータの種類によって異なるサイズのデータ量、電力消費、リモート管理および簡単なメンテナンスが含まれた。その後通信技術を探し、本研究に適用するネットワークプランを作った。
- 2) 次に、無線通信方式を調査・比較し、農山村地域に適用する通信方式を本研究の通信システム基盤として利用した。IoT で一般的に使用されている WiFi、ZigBee、LoRa、5G などのいくつかの無線通信技術を様々な要件に関して比較した。その中にパフォーマンスが優れる WiFi と LoRa を先行研究のように単独で使用し、通信基盤を構築する場合に完全に本研究の要件を満たすことができなかった。WiFi は高速だが、通信距離が短く、電力消費量が比較的大きい。中継器を利用して通信距離を拡大しても集落や農地を含む幅広いカバーエリアで、山林の中に継続的な電力供給が難しい農山村地域に適していない。LoRa は、長距離と低電力消費の両方の機能を備えていたが、大量のデータ送受信には向かない（動画像、音声等は難しい）。本研究では、小さな環境データと、現場の状況を確認するた

めの容量が大きな画像・映像データの2種を扱う必要性があるため、高速データ伝送が可能な WiFi とコスト低い、長距離伝送が可能な LoRa を組み合わせたネットワーク方式を確立した。本来通信範囲が短くて農山村地域に向いてない WiFi 通信技術が中継器を利用し、メッシュネットワークを構築することで通信範囲が大幅に拡張できることが分かった。障害物の影響を受けやすく、電波状況が不安定な LoRa もシミュレーションとメッシュネットワークで通信範囲がさらに広く、通信状況が良くなったことが分かった。

- 3) 最後に、全体的なワイヤレスセンサーネットワーク方式の設計を行った。ネットワークとノード設定が含まれた。2 つネットワークの技術的特性に応じたネットワーク機器の設定とネットワークの設計が実行された。その結果、長さ約 2.3km の WiFi ネットワーク通信と長さ約 2.2 km の LoRa ネットワーク通信を構築できた。従来の単一ネットワーク技術の応用と比べ、WiFi と LoRa の二重無線通信網を構成した結果、両方とも通信範囲が拡大し、通信状況も相対的に安定していた。特に WiFi は狭域でしか利用しなかった先行研究 (Yick 2008) [11]と違い、本研究は広い範囲で利用でき、リモートコントロールもできるようになった。また、データサイズにかかわらず、小さな環境データと大きな画像・映像データの2種類のデータをリアルタイムで送信され、リモートで保存されることができるようになった。

以前の IoT ネットワークソリューションとは異なり、本研究では、農山村地域の特性と様々なセンサーのネットワーク要件に応じて、二重無線通信網を確立した。二重無線通信網は、シングルネットワーク設計よりも複雑だが、カバレッジと伝送パフォーマンスなどで大幅に改善された。通信技術の発展とシーン要件の複雑化に伴い、様々なネットワーク技術の統合が一般的な傾向になると考えられる。

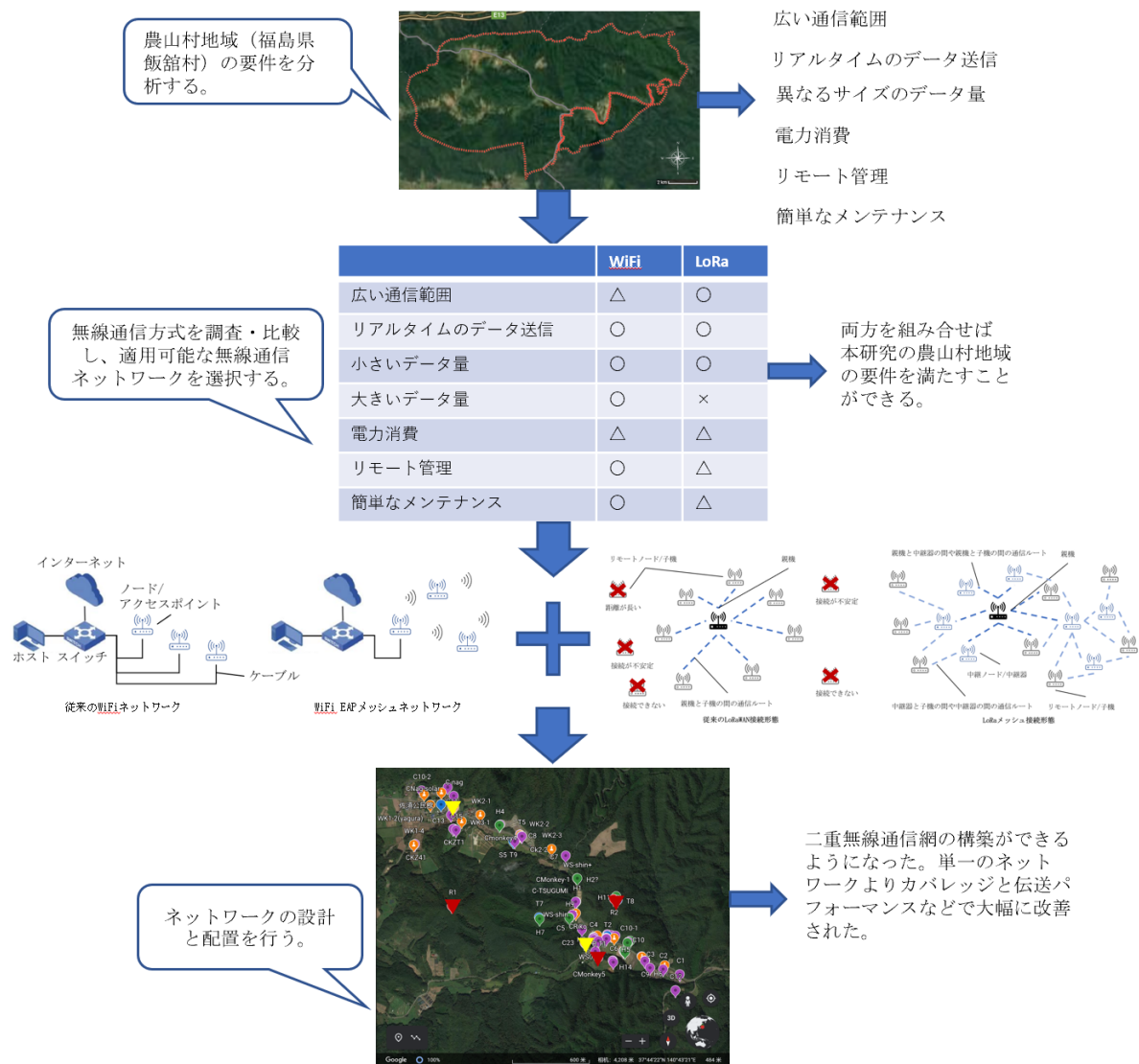


図 4-1 二重無線通信網の構築フロー

4-1-2 影響要因

IoT 通信システムは、一般的に①物理層：情報をリアルタイムで収集；②ネットワーク層：ネットワークの接続とデータ情報の伝送；③アプリケーション層：データの保存、処理、分析などで構成されている。ネットワーク状況に影響を与える要因は、主に上記の3つのレイヤーに存在する。

1. 冗長化:主にネットワーク経路の冗長化とネットワーク機器の冗長化がある。①経路の冗長化：ネットワーク内の経路に障害が発生した場合でも、情報は他の経路を介して送信できる技術である。本研究では、WiFi のネットワークパフォーマンスは EAP メッシュネットワークのため、複数の中継器（AP）間での接続が冗長化されている。LoRa のネットワークパフォーマンスについて、広い範囲で中継器 2 台しかないため、経路に障害が発生した場合、他の経路を利用できるかどうかのが問題である。そのため、定期的にリモートで各 LoRa 子機の稼働状況を監視し、ネットワーク経路の状況を確認する。

②機器の冗長化：ネットワーク機器を並列に設置して複数の経路を設けるができる。二重無線通信網で、全部の子機からデータを収集する親機は、WiFi は 2 台、LoRa は 1 台の機器のみが稼働している。停電などのトラブルが発生した場合、親機を自動で再起動しないとネットワークが機能せず、データ通信ができなくなる。本来はもう一台機器をバックアップ機器として一つずつ親機に追加すると、冗長性が向上できたが、コストが大幅に増加する。また、親機が再起動したら保存した未送信データを自動的に送信するため、わざわざバックアップ機器を追加する必要がない。

2. 柔軟性:ネットワークの柔軟性は、復元力、セキュリティ、および簡単な管理を維持しながら、ネットワークが変化に適応する速度として定義する。ソフトウェア、人工知能や高度な自動化などの最新のテクノロジーを使用することによって実現されている。主にネットワークの自動化（伝送速度に応じて最も効率的なパスを選択する）、速度と拡張性（リモートでネットワークの部署）、およびネットワークの可視性（ネットワーク監視データのリアルタイムの取得）が含まれる。本研究に対する考察は以下になる。

①ネットワークの自動化：メッシュネットワークを利用するため、最適なネットワーク経路を自動的に選択することができる。図 4-2 はネットワークの自動化を表す。

上の図は異なる時点での WiFi トポロジーであり、赤いマークがついているところは WiFi 中継器と繋がっている WiFi 子機の台数である。異なる時点での台数が異なる理由は WiFi 子機が異なる時点の最適なネットワーク経路を選んだ。下の図は LoRa 子機温湿度センサーと人感センサーの WebUI 画面である。両方とも黄色がついているところは LoRa 子機が LoRa 中継器を経由し、LoRa 親機に送信したことである。青いマークがついているところは人感センサーが直接に LoRa 親機に送信したこともある。

②速度と拡張性：WiFi メッシュネットワークはリモートでネットワーク全体の管理と速度等の設置ができるため、十分な柔軟性を備えている。LoRa は、リモートで電圧、受信強度など確認できたが、最適な速度とネットワークのスケラビリティを展開するには、まだ多くの改善の余地がある。

③ネットワークの可視性：WiFi メッシュネットワークはリモートでネットワーク全体を管理し、グラフ化するため、可視性がよい。LoRa は監視データをリアルタイムに取得できたが、数値しかないため、可視性がよくない。

本研究の二重無線通信システムはまだ開発中であり、今後中継器特に LoRa 中継器を増加することにより、通信範囲をさらに拡大することができる。地方 IoT 化に深刻な影響を与えると思われる。



名称	受信時刻	温度	湿度
温度度1	-	-	-
佐須MH_OUT	2022-12-31 21:18:10	-3.1°C	96%
温度度3	2023-01-04 15:26:53	3.5°C	68%
佐須MH3	2023-01-04 15:24:20	6.3°C	52%
温度度5	2023-01-04 15:31:40	-0.1°C	69%
温度度6	2022-12-14 05:52:40	3.7°C	79%
2023-01-05 18:45:58	0109	非検知	-117
2023-01-05 18:35:47	0109	非検知	-99
2023-01-05 18:35:44	0109	非検知	-118
2023-01-05 18:25:33	0109	非検知	-99
2023-01-05 18:25:30	0109	非検知	-138
2023-01-05 18:15:15	0109	検知	-100
2023-01-05 18:08:33	0109	非検知	-102
2023-01-05 18:08:30	0109	非検知	-132
2023-01-05 17:58:15	0109	検知	-102
2023-01-05 17:58:12	0109	検知	-124
2023-01-05 17:51:09	0109	非検知	-102
2023-01-05 17:51:07	0109	非検知	-117

図 4-2 (上) 異なる時点での WiFi トポロジー (下) LoRa 子機の WebUI 画面

4-1-3 二重無線通信網の展開と改善

1. カバー範囲の拡大

本研究では長さ約 2.3km の WiFi ネットワーク通信と長さ約 2.2 km の LoRa ネットワークの通信網を構築することができたが、中継器を追加することによって通信網をさらに拡張することができる。

2. 不安定な電波状況の改善

電波状況は設置場所、ネットワーク機器のパラメータと天気などに影響されることが分かった。このことから利用環境に応じた設置場所の検討と機器のパラメータの変更が必要である。

4-2 農山村地域のモニタリングについて

4-2-1 モニタリング手法

鳥獣被害対策を進めていく過程で、農山村地域における監視が重要である。これまで、動物モニタリング調査は主に、直接観察法によるデータ収集を行ったが、動物が人を忌避するため情報収集が困難な場合が多かった。また、日本は特有の急峻な地形や森林などによる障害物で観察が難しい地域があるので労力もかかる。従来の環境モニタリング手法は作業員が監視機器で収集されたデータをまとめて分析する。多くの人員、高価な機器や莫大なコストの観点からモニタリングするには多くの困難があった。特に近年、労働力不足が深刻な問題である。農業の現場の省力化、人手の確保、負担の軽減など重要な課題を解決するため、スマート農業やモニタリング手法の知能化が期待されている。これから本研究のモニタリング手法について説明する。

- 1) まずはモニタリング対象と範囲を決めた。本研究の農山村地域モニタリングには、主に農山村環境モニタリングと野生動物カメラモニタリングが含まれた。温湿度などの環境データと動物の画像・映像データが必要である。現場調査と村民にヒアリングを行い、野生動物よく出現する場所をまとめてモニタリング範囲を決めた。その結果、福島県飯舘村佐須地区の長さ約 3km の主要道路沿いをモニタリング範囲として決めた。

- 2) 次に、ネットワーク基盤を構築した。モニタリング範囲のカバーと大きいサイズのデータの送信ができる通信技術を導入した。その結果、WiFi と LoRa 二重無線通信網を構築した。過去の研究より、モニタリング範囲が大きく、モニタリングできるデータの種類が多くなった。また、自動的に充電するため、農山村地域に配置されたネットワーク機器の給電方式は電池ではなく、ソーラーパネルを利用したが、夏になると電力消費が速いことが分かった。
- 3) 最後に、リアルタイムに収集・保存されたデータを分析した。温湿度などの環境データと動物の画像・映像データを基づいて鳥獣の生活環境や生活ルールを分析し、野生動物をより適切に管理することができる。その結果、多くの人感センサーとカメラで鳥獣の活動を検知したが、検知誤差があることが分かった。

本研究では、WSN により、複数の異なる種類のセンサーを配置することに成功し、超長距離モニタリングを実現した。ネットワーク基盤の構築の成功は、自動灌漑システムや温室栽培システムなど、他のタイプの監視システムの構築に役立つと考えられる。しかし同時に、電力消費が速い、設備のメンテナンスが難しいなどの問題もある。

4-2-2 影響要因

現在、農山村地域に設置されたネットワーク機器は防水・防塵性能が高く設計され、比較的破損する可能性は低いだが、消費電力が常にモニタリングシステムの課題だった。LoRa 子機人感センサーは 6 ヶ月の連続稼働が可能とされるが、実際には電波がギリギリの所で使っていたため、1 ヶ月以内で電池が消耗した。温湿度センサーも同様に、10 年の連続稼働が可能とされるが、3 ヶ月以内で電池が消耗した。

消費電力は ACK 受信の有無、帯域幅、拡散率と送信周期などの様々な条件で変化している。また、電波環境が悪い場合、送信回数の増加により電池寿命が短くなる場合がある。本研究では、ネットワーク機器は様々な容量のソーラーパネルを利用するが、山や森には背の高い木が多く、日照量が少ないため、ソーラー充電パネルの充電効率が低くなる。図 3-8 のように、ソーラーパネルで充電している WiFi 子機（カメラ）が山林中に設置された場合、冬になると落葉樹が落葉するため、ある程度の発電はできたが、葉が茂った夏だとバッテリーの電圧が急激に低下し、バッテ

リーを交換しないといけない (Mizoguchi 2022) [41]。そのため、ソーラー充電パネルで給電する機器の設置場所が重要である。LoRa 子機は電池を使っているため、子機の設置条件帯域幅、拡散率などを最適に設定することが不可欠である。

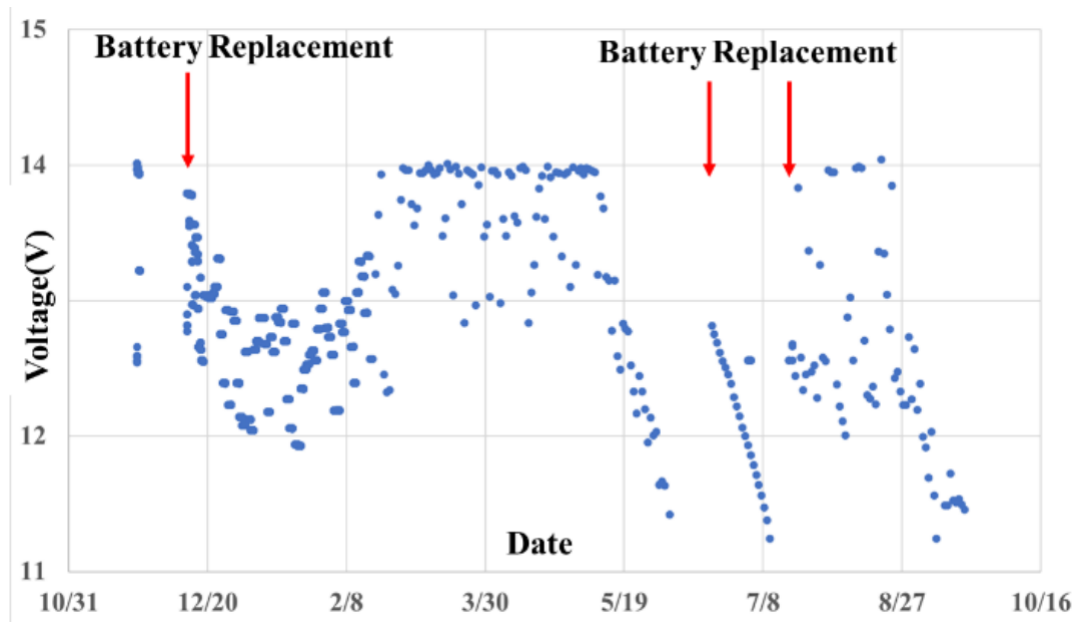


図 4-3 飯舘林におけるカメラのバッテリー電圧 (2021-2022 年) (Mizoguchi 2022) [41]

4-2-3 農山村地域のモニタリングの展開と改善

1. センサーの検知誤差の検討

風などでよく揺れる植物や道路における車、通行人等による動作のため、人感センサーとカメラとの検知誤差がある。また、モニタリング場所の変更による人感センサーのデータの混乱を避けるため、変更日時と場所を注意する必要がある。

2. 消費電力の改善

現在、電力を節約するため、WiFi 親機と中継器をプログラムで一日 3 回 5~10 分内だけ ON にした。設置場所に適したパラメータ設定をすることで、LoRa 子機の消費電力を改善できる可能性がある。

3. 野生動物の追跡結果の分析

野生動物の出現時間、天気、頻度などのデータを分析し、野生動物の出現時間と場所を予測する。野生動物が農地を破壊するのを防ぐために、予測される場所に網

やわなを設置するか、他の手段を検討する。

4. その他のモニタリングシステムの構築

WiFi と LoRa のネットワーク基盤が構築され、土壌監視システム、自動灌漑システム、温室栽培システムなどの構築は、センサーを導入してデータをすぐに収集することができる。その後村民のニーズに応じ、農業関連のモニタリングを継続することを考える。

第5章 結論

5-1 本研究の成果

鳥獣被害は農山漁村に深刻な影響を及ぼしている。一方で、農業の現場の省力化、人手の確保、負担の軽減など重要な課題を解決するため、スマート農業や農業 IoT の応用が期待されている。鳥獣被害対策として、ICT を導入し、農山村地域モニタリングシステムを開発した。高速データ伝送が可能な WiFi とコストが低い、長距離伝送が可能な LoRa を組み合わせた二重無線通信網をモニタリングシステム通信基盤として構築し、山林で囲まれる福島県飯舘村佐須集落で実証実験を行った。その結果、メッシュネットワークで長さ約 2.3km の WiFi ネットワーク通信と長さ約 2.2 km の LoRa ネットワーク通信が成功し、佐須集落をカバーできるようになった。二重無線通信網の構築により、長距離・高速な通信、リアルタイムにデータの転送・保存とリモート管理などができるようになった。

モニタリングシステムの構築により動物の検知ができたが、人感センサーのデータとカメラのデータを比較し、検知誤差があることが分かった。電力の消耗に関して、WiFi 中継器は PPCC というプログラムを利用して一日三回 5～10 分 ON に調整することにより安定稼働している。しかし、山の中に設置された LoRa 中継器は、夏場でも木の葉で日陰になり、太陽光パネルの発電量が減少するため、電力の消費が速いことが分かった。

5-2 残された課題

1. 検知誤差の検討

人感センサーとカメラとの検知誤差があるため、今後は人感センサーを最適な設置パターンの検討や、センサーの検知誤差を減らす方法を探る予定である。

2. 消費電力の改善

設置場所に適したパラメータ設定をすることで、LoRa 子機の消費電力を改善できる可能性がある。

3. 野生動物の追跡結果の分析

モニタリングシステムを構築し、サルやイノシシなどを検知・記録できたが、動物の活動を影響する要因はまだわからない。今後は野生動物の出現時間と場所を予測する。

4. その他のモニタリングシステムの構築

ネットワーク基盤が構築されたため、色々なセンサーを導入してデータをすぐに収集することができる。土壌水分 IoT センサーを使えば広域の土壌水分モニタリングも可能になると思われる。

参考文献

- [1] Herrero, J., García-Serrano, A., Couto, S., Ortuño, V. M., & García-González, R. (2006). Diet of wild boar *Sus scrofa* L. and crop damage in an intensive agroecosystem. *European Journal of Wildlife Research*, 52(4), 245-250.
- [2] 高橋 春成. 猪肉の商品化--中国地方を事例として. 史学研究. 広島史学研究会. (1980) p. p73-90.
- [3] 小寺祐二. 島根県石見地方の中山間地域におけるニホンイノシシの保護管理に関する研究. 東京農工大学大学院博士論文. (2001)
- [4] 農林水産省 (2022) . 鳥獣被害の現状と対策 . <https://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/attach/pdf/index-6.pdf> (最終閲覧日：2023年1月6日)
- [5] 環境省 (2020) . 放射性物質に汚染されたイノシシ等の軟化処理施設建設・運営の手引き . http://shiteihaiki.env.go.jp/initiatives_fukushima/waste_disposal/pdf/wild_boar_02.pdf (最終閲覧日：2023年1月6日)
- [6] Conover, M. R., & Decker, D. J. (1991). Wildlife damage to crops: perceptions of agricultural and wildlife professionals in 1957 and 1987. *Wildlife Society Bulletin (1973-2006)*, 19(1), 46-52.
- [7] Michael W. Fall, William B. Jackson, The tools and techniques of wildlife damage management—changing needs: an introduction, *International Biodeterioration & Biodegradation*, Volume 49, Issues 2-3, 2002, Pages 87-91, ISSN 0964-8305.
- [8] 溝口 勝, リコ・アハマド・マウラナ, 章浩棟, 杉野弘明. 通信インフラ脆弱地域における高齢者安否確認システムの試作. 農業農村工学会全国大会講演要旨集 pp. 616-617, 2021
- [9] Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: a survey. *Computer networks*, 38(4), 393-422.
- [10] Seah, W. K., Eu, Z. A., & Tan, H. P. (2009, May). Wireless sensor networks powered by ambient energy harvesting (WSN-HEAP)-Survey and challenges. In 2009 1st International Conference on Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems Technology (pp. 1-5). Ieee.
- [11] Yick, J., Mukherjee, B., & Ghosal, D. (2008). Wireless sensor network survey. *Computer*

- networks, 52(12), 2292-2330.
- [12] Ngaira, J. K. W. : Impact of climate change on agriculture in Africa by 2030. Sci. Res. Essays2 (7) , 238-243 (2007)
- [13] Yosuke T, Seiya D, Hideki T. A Study on Hop Count Reduction of Frame Transfer in ZigBee Network by Wireless LAN Cooperation[J]. IEICE Transactions on Communications, 2019, E102. B (7) :1279-1291.
- [14] Ameloot T, Van T P, Rogier H. A Compact Low-Power LoRa IoT Sensor Node with Extended Dynamic Range for Channel Measurements. [J]. Sensors (Basel, Switzerland) , 2018, 18 (7) :1.
- [15] Nikki John B. Florita, Alyssa Nicole M. Senatin, Angela Margaret A. Zabala, Wilson M. Tan, Opportunistic LoRa-based gateways for delay-tolerant sensor data collection in urban settings, Computer Communications, Volume 154, 2020, Pages 410-432, ISSN 0140-3664,
- [16] Nipuna Chamara, Md Didarul Islam, Geng (Frank) Bai, Yeyin Shi, Yufeng Ge, Ag-IoT for crop and environment monitoring: Past, present, and future, Agricultural Systems, Volume 203, 2022, 103497, ISSN 0308-521X.
- [17] Rashmi Sharan Sinha, Yiqiao Wei, Seung-Hoon Hwang, A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT, ICT Express, Volume 3, Issue 1, 2017, Pages 14-21, ISSN 2405-9595.
- [18] 浜崎忠雄. 農業環境インベントリーセンター. インベントリー, 第1号, p. 1 - 2 (2002)
- [19] Kefauver, S. C., Peñuelas, J., & Ustin, S. L. (2012). Improving assessments of tropospheric ozone injury to Mediterranean montane conifer forests in California (USA) and Catalonia (Spain) with GIS models related to plant water relations. Atmospheric environment, 62, 41-49.
- [20] 国立研究開発法人農業環境技術研究所 (2015) . 国立研究開発法人農業環境技術研究所要覧. <https://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/outline/youran.pdf?201504> (最終閲覧日 : 2023年1月6日)
- [21] 農林水産省 (2020) . 農業構造動態調査 _ 長期累年 . <https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noukou/index.html#1> (最終閲覧日 : 2023年1月6日)
- [22] 農林水産省 (2022) . スマート農業の展開について . <https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/attach/pdf/index-69.pdf> (最終閲覧日 : 2023年1

月 6 日)

- [23] 高谷悟・能登正之 (1998) . 気象情報農業高度利用システムの概要. 農業気象 54 (3) : 283-287
- [24] 高橋渉・長谷川利拡・田中慶 (1998) . 窒素の影響を考慮した水稻生長モデルの GUI の開発とその検証. 日本作物学会紀事 67 (別 2) : 126-127.
- [25] 内藤康二・諏訪敬祐 (2006) . 柔軟な構築が可能な環境モニタリングシステム. 武蔵工業大学 環境情報学部 情報メディアセンタージャーナル 2006.4 第 7 号
- [26] 伊藤昌毅. センサネットワーク技術を活用した環境モニタリングの実現. 電気学会研究会資料. IIS, 次世代産業システム研究会, IEEE Japan, 2010, 2010. 66.
- [27] 鈴木 祥悟, P06) 奥羽山脈「緑の回廊」における暗視カメラによる野生動物モニタリング, ワイルドライフ・フォーラム, 2004, 9 巻, 3 号, p. 81-82
- [28] M. Begon, C. R. Townsend & J. L. Harper : “Ecology (4th ed.) ,” Blackwell, Hoboken, 2006, p. 738
- [29] 石田 健, 高線量地帯周辺における野生動物の生態・被曝モニタリング, 化学と生物, 2012, 50 巻, 11 号, p. 825-829.
- [30] 真並, 恭介, 福島の野生動物の被曝と環境モニタリング, 畜産の研究 =Animal-husbandry, 0009-3874, 養賢堂, 2012-12, 66 巻, 12 号, p. 1163-1171
- [31] 森光 由樹, マルチコプター監視技術を用いた野生ニホンザルのモニタリング法の検討, 霊長類研究 Supplement, 2016, 32 巻, 第 32 回日本霊長類学会大会, セッション ID A10, p. 35
- [32] 福田 真由子, 藤田 卓, 小林 彩, 高川 晋一, 市民による里地里山のモニタリング調査の意義とその成果, 日本緑化工学会誌, 2021, 47 巻, 4 号, p. 443-446.
- [33] 伊吾田 宏正, 鈴木 透, 金子 正美, 星野 仏方, 吉田 剛司, Zigbee を用いた野生動物農業被害防除システムの検討, 地理情報システム学会講演論文集, 地理情報システム学会, 2008-10, 17 巻, p. 439-44
- [34] OC200 仕様 . <https://www.tp-link.com/jp/business-networking/omada-sdn-controller/oc200/#specifications> (最終閲覧日 : 2023 年 1 月 6 日)
- [35] Omada SDN Software Controller 4.4.4 (windows&linux) _User Guide. <https://static.tp-link.com/manual/2021/202107/20210714/1910013060-Omada%20SDN%20Controller%20User%20Guide.pdf> (最終閲覧日 : 2023 年 1 月 6 日)

- [36] EAP225-Outdoor 仕様 . <https://www.tp-link.com/jp/business-networking/outdoor-ap/eap225-outdoor/#specifications> (最終閲覧日 : 2023 年 1 月 6 日)
- [37] Camera Argus Eco 仕様. <https://reolink.com/product/argus-eco/#specifications> (最終閲覧日 : 2023 年 1 月 6 日)
- [38] ES920GWX2 取扱説明書 . <https://easel5.com/documents/files/ES920GWX2-%E5%8F%96%E6%89%B1%E8%AA%AC%E6%98%8E%E6%9B%B8.pdf> (最終閲覧日 : 2023 年 1 月 6 日)
- [39] 人感センサユニット (ES920LRH) 取扱説明書 . <https://easel5.com/documents/files/%E5%8F%96%E6%89%B1%E8%AA%AC%E6%98%8E%E6%9B%B8-%E3%83%97%E3%83%A9%E3%82%A4%E3%83%99%E3%83%BC%E3%83%88LoRa%E7%89%88.pdf> (最終閲覧日 : 2023 年 1 月 6 日)
- [40] 温湿度センサユニット (ES920LRTH2) 取扱説明書 . <https://easel5.com/documents/files/%E6%B8%A9%E6%B9%BF%E5%BA%A6%E3%82%B%E3%83%B3%E3%82%B5%E3%83%A6%E3%83%8B%E3%83%83%E3%83%88ES920LRTH2%E5%8F%96%E6%89%B1%E8%AA%AC%E6%98%8E%E6%9B%B8.pdf> (最終閲覧日 : 2023 年 1 月 6 日)
- [41] Masaru Mizoguchi. ICT Experiments on a mountain forest Monitoring System in Iitate Village, Fukushima. PAWEES2022 International Conference, Fukuoka, Japan, November 17-18, 2022

付録

学会発表

土壌物理学会（2022 年 10 月 29 日）

張テイ（発表者），川澄大樹，溝口勝，WiFi と LoRa 二重無線通信網の構築と農

山村地域モニタリング，三重大学生物資源学部

WiFi と LoRa 二重無線通信網の構築と農山村地域モニタリング

Construction of WiFi and LoRa Dual Wireless Communication Network for Monitoring of Rural Areas

張テイ¹・川澄大樹¹・溝口勝¹

¹ 東京大学 大学院農学生命科学研究科

要旨(Abstract) :

農山村地域の野生動物は、人や作物に被害を及ぼしやすく、監視と分析が必要である。しかし、農山村地域は山林で囲まれているため、従来の監視システムで動物を監視するのが難しい。そのため、山林でも使える効果的な IoT 向け無線通信技術が必要である。そこで、無線通信方式の異なる WiFi と LoRa を組み合わせた二重無線通信網を福島県飯舘村佐須周辺に試作し、動物監視の実験を行った。その結果、中継器を適切に配置することで、広域ネットワークの通信、センサーからのデータ送信、および野生動物のリアルタイム監視ができそうなことが分かった。

キーワード：二重無線センサーネットワーク、WiFi、LoRa、動物モニタリング

Key words: Dual Wireless Sensor Network, WiFi, LoRa, Animal Monitoring

1. はじめに

野生鳥獣による農作物被害は、営農意欲の減退、耕作放棄・離農の増加、さらには森林の下層植生の消失等、農山漁村に深刻な影響を及ぼしている。まだ、農山村地域は山林に囲まれているため、通信状況悪く、都市型の従来の監視システムは使えないことが多い。そのため、山林で使える効果的な無線通信技術が必要である。

本研究では、高速データ伝送が可能な WiFi と長距離伝送が可能な LoRa を組み合わせた二重無線通信網を飯舘村佐須集落の近くに試作し、環境と動物モニタリング実験を行った。

2. 方法

2.1 調査対象地：福島県飯舘村佐須区

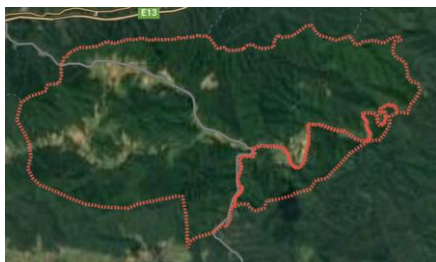


図1 飯舘村佐須集落 (Google Map より) は山林に囲まれている。

図1のように、福島県飯舘村は75%が山林で山林の合間に集落がある。そのため携帯電話の電波が入らない場所が随所に存在する。鳥獣被害対策として、村民は防護柵などで農地を守っているが、野生動物による獣害が絶えない。

2.2 研究手順

1) 二重無線通信システムの試作

WiFi (2.4GHz/5GHz) と LoRa (920MHz) 通信技術を組み合わせた無線通信網を使って監視システムを試作した。

①WiFi メッシュネットワークシステム：動物を写真やビデオで検知するため、WiFi 親機と中継機 (EAP225 - Outdoor V1, Omada 社製)・コントローラー (OC200 V1, Omada 社製)・WiFi 子機 (カメラ Camera Argus ECO, Reolink 社製) から構成される。

佐須周辺に2ヶ所を選び、WiFi 親機を設置した。集落内のメイン道路上に17個 Wi-Fi 中継機をメッシュネットワークで繋げた。また村民にヒアリングを行い、サルを目撃場所近くに WiFi 子機を佐須区内16ヶ所に設置した。

②LoRa ネットワークシステム：LoRa 親機と LoRa 中継器 (ES920GWX2, EASEL 社

製)・LoRa 子機(人感センサーES920LRH, 温湿度 センサーES920LRTH2, EASEL 社製)から構成される。

電波伝播シミュレーターCloudRf で目標カバー率を計算し、親機一つと中継器二つを山の適当な位置において、電波が届くと思われる6地点で子機(温湿度センサー)を設置した。16個子機(人感センサー)の一部は配置されたカメラに近い場所に、一部は村民にヒアリングを行い、サルを目撃場所近辺に設置した。



図2 (左) 子機の設置 (右) 中継器の設置

2) センサーデータの分析

① カメラと人感センサーの精度比較:

違う方式で野生動物を検知する精度をpython で比較し、LoRa 人感センサーを色々なパターンを置いて最適な利用法を探す。

② 動物の行動に対する気象データの影響:

降雨量、気圧、温湿度などのデータと野生動物が検出された時間と頻度の関係を分析する。

3. 結果

3.1 WiFi メッシュネットワークシステム

図3のように、佐須区内の2ヶ所のWiFi 親機から、佐須の主要道路沿いにWiFi 中継器をEAP メッシュネットワークで設置したところ、長さ約2.3kmのWiFi ネットワーク通信が可能になった。親機と中継器は見通しが良い条件で最長約270mで通信できた(マニュアルでは180mを推奨)。WiFi子機のデータはWiFiメッシュネットワークを経由し、サーバに転送できることを確認できた。

3.2 LoRa ネットワークシステム

図3のように、佐須区内の1ヶ所にLoRa

親機、メイン道路の両側の山にLoRa 中継器を設置し、長さ約2.2kmのLoRa ネットワークの通信ができた。LoRa子機のデータはLoRa ネットワークを経由し、サーバに転送される。

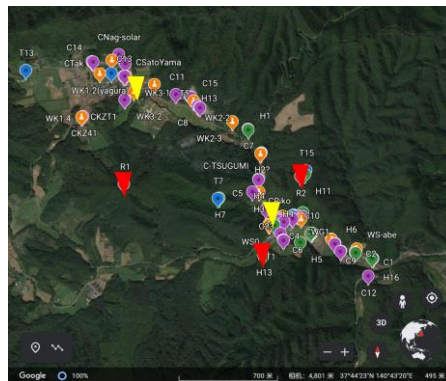


図3 佐須区にネットワークを配置

(Google Earth より)/WiFi 親機(黄色)、WiFi 中継器(橙色)、WiFi 子機(紫色)、LoRa 親機と中継器(赤色)、LoRa 子機人感センサー(緑色)、温湿度センサー(青色)

4. 考察

二重無線通信網における監視システムを構築したが、WiFi 中継器の消費電力の減りが早いなどの問題がある。また、検知精度を高めるため、LoRa 人感センサーを色々なパターンを置いて最適な利用法を探す必要がある。

5. おわりに

WiFi とLoRa 二重通信網を試作し、山林で囲まれる福島県飯舘村佐須集落で実験した。その結果、システムの構築により動物の検知ができたが、検知誤差があることとWiFi 中継器の電力の消費が早いことが分かった。

今後は人感センサーを最適なパターンで設置し、検知誤差を減らす方法を探る予定である。

参考文献等

[1] 農林水産省、農村振興局：鳥獣被害の現状と対策

<https://www.maff.go.jp/seisan/tyozyu/higai/attach/pdf/index-7.pdf>

[2] 溝口 勝: 通信インフラ脆弱地域における高齢者安否確認システムの試作, 農業農村工学会全国大会講演要旨集 pp.616-617, 2021

[http://soil.en.a.u-tokyo.ac.jp/isidre/search/PDFs/21/\[T-1-7\].pdf](http://soil.en.a.u-tokyo.ac.jp/isidre/search/PDFs/21/[T-1-7].pdf)

3. DX を活用した農業農村整備事業の展開に係る調査

農業農村地域において DX を活用するためには通信インフラの整備が不可欠である。しかしながら、通信インフラ整備を推進するための補助事業が農村振興局でもようやく始まったばかりである。

そこで、本調査では農業農村地域における通信インフラ整備の過程で必要とされる（1）インターネット通信網の展開に関する基礎技術と（2）インターネット通信網を利用した応用研究例について取りまとめた。

- （1）WiFi と LoRa 二重無線通信網の構築と農山村地域モニタリング
- （2）PIR カメラを用いた中山間地域における動物モニタリング手法の開発

参考：

- 1) 農林水産省：農業農村における情報通信環境整備の推進について

https://www.maff.go.jp/j/nousin/kouryu/jouhoutsuushin/jouhou_tsuushin.html

目 次

第1章 研究背景と目的	4
1節 背景：農山村地域における鳥獣害	4
1-1.農業農村地域における鳥獣被害	4
1-2.中山間地域における情報通信環境整備	4
2節 研究目的：	6
2-1.鳥獣被害の実態把握 – 動物の出没場所と移動方法、山林と農地の接続部に着目して	
2-2.映像、動画データとして記録する意義	
2-3.記録した映像、動画データを共有する意義	
2-3.研究の目的設定	
第2章 研究方法	8
1節 調査対象地 福島 島県飯舘村佐須区	8
(1)位置と概要	8
(2)福島県：飯舘村：佐須行政区における鳥獣害の状況	9
2節 研究手順概要	エラー! ブックマークが定義されていません。
以降に各段階の詳細を記す。	エラー! ブックマークが定義されていません。
3節 [手順]1：Wi-Fi メッシュネットワークの整備	10
(1)メッシュネットワークの必要性 –屋外での公共無線	10
(2)駆動電源の確保	11
(3)ネットワークの構成：使用機材	12
4節 [手順]2: PIR カメラを用いた監視システムの構築	12
(1)PIR カメラ、Reolink カメラの説明	12
(2)Reolink App によるストリーミング視聴と録画動画の再生	13
(3)Reolink カメラの設置の場所選定と設置	14
(4)定点カメラ稼働時の注意、備考 –雨、雪、動物による画角のズレ	15
5節 [手順]3: 取得データの可視化	16
(1)地点と録画映像のマッチング、Google Earth と Google Drive を用いた実装	16
(2)Reolink App による録画動画の遠隔ダウンロードと Google Drive へのアップロード	18
(3)Google App Script による動画やドライブフォルダの URL 取得と JSON への変換	18
(4)Google Earth でのマップピンの詳細説明欄への HTML ソースの書き込み	19
(5)撮影データと映り込み頭数の分析	20
第3章 結果と考察	22
1節. [結果]1: Wi-Fi メッシュネットワークの整備	22
2節. [結果]2: PIR カメラを用いた監視システムの構築	23
3節. [結果]3：取得データの可視化	24
(1)Google Earth 上での表示 -試作品の UI	24
(2)動画の分析：撮影数の多いカメラ	24
(3)動画の分析：動物種ごとの撮影数と映り込み回数	27
(4)サルのみ映り込みが確認できたカメラ	36
(5)その他考察	37
第4章 結論と今後の課題	38
付録	39

Google App Script コード -----	39
Google Earth マップピン詳細欄の HTML ソース -----	41
参考文献 -----	44

第1章 研究背景と目的

1 節 背景：農山村地域における鳥獣害

1-1. 農業農村地域における鳥獣被害

中山間地域に点在する農業農村集落は人の手が入らない山林に近接していることから、常に自然災害や鳥獣被害などに悩まされている（溝口，2022）。中でも野生鳥獣による農作物被害は、営農意欲の減退、耕作放棄・離農の増加、さらには森林の下層植生の消失など、農山漁村に深刻な影響を及ぼしている。

こうした鳥獣被害に対し、農家は防護柵や狩猟罠の設置、地域住民による追い払いを行い対抗してきた。近年は防犯カメラの普及や GPS 技術の発達などにより、監視カメラの設置や野生動物の行動追跡や個体数推定といった対策も取られている。

しかし、監視カメラは通信基盤がある場所にしか設置できない。中山間地に点在する集落は山林に囲まれており、電気・通信基盤のある住居から離れた農地では、これらの通信基盤を利用出来ない場合がある。更に、樹木等に遮蔽されるため無線通信状況も悪い。したがって、こうした場所では都市には当たり前存在する情報通信網を前提とする電子機器が利用できない。

1-2. 中山間地域における情報通信環境整備

環境計測や作物の生育計測、農作業の自動化といったあらゆる場面において、農業への ICT 利活用が謳われている。農林水産省は情報通信環境整備対策として、農業農村における情報通信環境整備を推進している（農林水産省，2022）。これに基づき農山村地域を有する多くの自治体では、道の駅や役場、集会所等の公共施設における有線のインターネット回線や公共 Wi-Fi とした情報インフラが近年整備されてきた。しかしながら、現時点ではこれらの通信網は実際にインターネット接続機器を使用する農地までは到達していない場所が多い[溝口，2022]。

本研究の対象地としている飯舘村佐須行政区も例に漏れず、利用可能な公共 Wi-Fi は無く、公共 Wi-Fi のある最寄りの道の駅飯舘村までい館(福島県相馬郡飯舘村深谷深谷 前 12-1)まで 4.5km の距離がある。このような地域の田畑で ICT 機器を利用するには、離れた農地まで住居から通信ケーブルを延長する必要がある。

このように、農地末端までの通信整備が農業への ICT 利活用における課題である。また、整備した通信網の活用法に関する議論もあまり進んでいない（溝口，2022）。

1-3. 映像、動画データとして記録する意義

クラウドカメラのような多数の定点カメラを用いた連続した観測は、動物たちが田畑へ降りて来るコリドーとなりやすい場所の発見が可能だと考えられる。しかし、同様に出現場所の推測であれば温度センサや赤外線センサ、アニマルトラッキング等の他の手段の選択も考えられる。

ここで、ビデオ撮影可能なカメラを用いる利点の一つに、動物の移動の様子を記録できることが挙げられる。例えば、サルは電柱や電線を伝い、柵に囲われた農地へ上空から着地して侵入する様子が近年では全国的に報じられている。人里や農地への侵入にあたり、野生動物が地上から、樹上から、水中、川からあるいは地中から侵入しているのかは侵入の場面を実際に視認しないことには確かめられない。水中を伝ってくるのか。移動経路(画面の上下左右)や移動方法(歩行、遊泳、滑空)を知るにはカメラ撮影による映像媒体が最適であり、動物の侵入手段を把握することで、適切な被害予防策が講じられる。



図 1 電柱、電線を伝って農地の上を移動するサルの群れ(福島県飯舘村、2022)

1-4. 記録した映像、動画データを共有する意義

また、映像媒体は目撃証言や音声データ、センサの検知データ等に比べて非常に強力な証拠となる。鳥獣被害の被害者である農家当人を始め、イノシシのように人に危害を加える獣種の場合には、周辺住民に周知する必要性も生じる。このような多数の「出没情報」を、日時や場所、状況を整理して他者へ伝える手段として、カメラモニタリングのデータ共有方法を考慮することも重要である。

カメラモニタリングを実施する研究の課題の一つに、動画ファイルの回収とデータの整理

がある。設置された定点カメラには日々多数の動画が撮影されるが、それらを回収するには、カメラに取り付けられた記録機器を回収する必要がある。カメラの設置台数が多く、設置範囲が広大な場合には、データ回収の人的負担は大きくなる。また、自動撮影されるカメラを用いたモニタリングでは、撮影されるデータ数が多く、全ての動画を一つ一つ視聴し分析する手間は膨大になりやすいことから、解析されずに放置される動画も多い。加えて、映像データとそれが撮影された場所を照合する作業の煩雑さがある。

こうした動画ファイルを大量保存した際に生じる問題に対して、カメラで撮影されるデータの回収方法、分析方法、および動画の撮影場所といった付属情報との照合方法を考慮することが重要である。

2 節 既往の研究：

2-1. 鳥獣被害の実態把握 - 動物の出没場所と移動方法、山林と農地の接続部に着目して

鳥獣による令和2年度の農作物の被害金額が約161億円ある（農林水産省，2021）。鳥獣被害は作物の不良品化や農地のかく乱といった種類はあるが、共通するのは、被害者は農家であり、最終的に脅かされているのは金銭的被害による農家の生活である。鳥獣被害に関して農家の関心事項は、「農地と作物がいつ・誰によって荒らされたか」である。それらを調べるには圃場内のカメラモニタリングやアニマルトラッキング、個体数推定、個体識別などの手段が考えられる。

ここで、動物種別の被害金額に関して、福島県の令和3年度の鳥獣類による農作物の被害金額は、全鳥獣類では13,984万円であり、そのうちイノシシによる被害が6458万円でも多く、次いでサルが1819万円であった（福島県，2022）。

ニホンザルの群れ行動圏とコアエリアの空間分布の調査から、林縁に近い農地ほど被害を受けやすい。帯状の森林がサルの農地進出の拠点となり、森林と農地を繋ぐコリドーとして機能している（望月ほか，2009）。サルへの被害防御技術を計画する為には、それぞれの地域において生息地の環境を評価し、その生態を調べる事が重要である。地域ごとの生態を考慮した被害対策が必要である（望月ほか，2009）。

また、イノシシに関しては、防護柵のない畑が生息地間のコリドーとして機能すると、生息地の連結性が更に向上し、生息地面積の80%が連結される（武山ほか，2015）。

野生動物山林と農地を往来する際に通る接続部であるコリドーは山裾や林縁部がその役割を果たすことが分かっているが、地域によって山林と農地の位置関係は多種多様である。例えば農地を囲む山の数（三方位を囲まれているのか四方が山なのか）や、土地の標高等、河川の有無などが地域ごとの特徴であり、その土地固有の野生動物の生態を考慮すべきである。特に、農地と接する山林では、山裾部のどの位置を伝って動物が出没しているかを把握することは、通り道となりやすい場所を塞いで動物が人里への出没する頻度を抑制すると

言った対策を講じる手助けとなり得る。

このような動物の被害・出没場所の推測を行うには、広域観測の後に狭域観測と段階を踏んで観測する方法が有効だと考えられる。広島県立びんご運動公園（87ha）は郊外の中山間に位置する広域運動公園であり、以前よりイノシシによる地面の掘り返し被害が生じていた（田村ほか，2022）。イノシシの出没・移動経路を推測し、被害予測地図を作成するにあたり、2段階のカメラ撮影を実施した。分布敷地内5か所にクラウドカメラを設置し、3か月間の撮影により出没範囲を絞った後、範囲を狭めて16地点に近距離用自動録画カメラ（トレイルカメラ）を設置することでイノシシの頻出場所に成功している。

しかし、上記の例では、情報通信基盤が整備されている公園の敷地内にクラウドカメラを設置していることから、情報通信基盤が未整備の農業農村地域への即時的な導入は容易ではない。

3 節 研究目的：

本研究では中山間地域に整備された Wi-Fi メッシュネットワーク通信網の活用例として、PIR（赤外線）カメラを用いた動物モニタリング実践を実施し、動物による農業被害に繋がり得る出没状況（出没時の場所や頭数、山林と人里の接続部の状況）を明らかにする。

第2章 研究方法

1 節 調査対象地 福島県飯舘村佐須区

(1) 位置と概要

福島県飯舘村は面積の 75%に山林が広がり、その合間に集落が点在する。2011 年の原発事故で全村避難していた村民も帰村し営農を再開しているものの、サルやイノシシなどの獣害被害に悩まされている。



<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/iju-tokyo/city-town-vill.html>

図 2 福島県 飯舘村の位置(左)および 飯舘村 佐須行政区の位置(右)



図 3 飯舘村の航空写真図(Google Earth)

(2) 福島県：飯舘村：佐須行政区における鳥獣害の状況

福島県ニホンザル管理計画（第4期計画）では、推定生息頭数 113 頭の猿が「佐須群」として把握されている（福島県，2020）。

佐須行政区は飯舘村の中でも山が多く、主要街道に沿った住居や農地の周囲を山林に囲まれており、携帯電話の通信が叶わない場所も多い。鳥獣害対策として防護柵を設置したりして予防に取り組んではいるが、サルは柵内に侵入している様子が目撃されていたり、夜のうちに食害に遭っていることも多い。特に作物が身をつける収穫期の秋、そして山間に実る果実が尽きる冬季に人里や農地での目撃が多発している。



図 4 飯舘村 佐須行政区 主要部(Google Map より)、赤枠部は図 5 の撮影地



図 5 真野川：農地と山林の境界部にある川

図 5(図 4 の赤線枠部)のように、佐須行政区内には真野川が流れており、一部流域は農地と山林の境界部を流れている。サルをはじめとする野生動物がどのように川を越えて農地に入出入りするのかという点は関心事項である。

2 節 [手順]1：Wi-Fi メッシュネットワークの整備

本研究の手順は次の 3 段階で実施する。

- 1 Wi-Fi メッシュネットワークの整備
- 2 PIR カメラを用いた監視システムの構築と稼働
- 3 取得データの可視化

以降に各段階の詳細を記す。

(1) メッシュネットワークの必要性 —屋外の無線通信網整備

佐須行政区の滑地区にある家庭には有線の家庭用インターネット光回線が届いている。この家庭契約回線を数百メートル離れた農地でも使用できるように、無線の通信網を展開した。しかし、通信規格の一つである Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) の電波は、通信速度が速く安定したデータ送受信が可能である代わりに、50~100m 程度まで届かないという特徴を持つ。Wi-Fi が持つ安定した高速通信を広大な農地全体で利用可能にするにあたり、Wi-Fi の中継機を農地内の随所に設置し、有線回線を Wi-Fi 無線に変換する親機から発信される電波を中継させて遠くへ届ける必要があった。(図 6)

TPLink 社製の Wi-Fi 中継機を佐須地域内の各所に設置し、親機を佐須滑の Wi-Fi を農地まで使えるように整備した。2021 年より随時中継機の設置を続け、使用可能範囲の拡大

とアンテナ位置の調整を継続している。

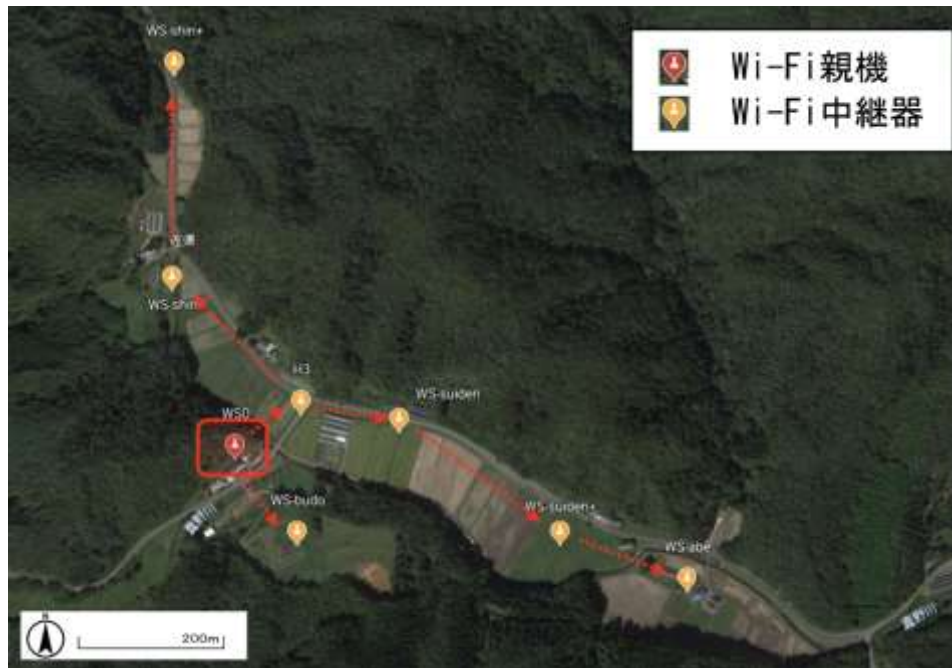


図 6 イメージ図：中継機を用いた Wi-Fi 利用可能エリアの拡大

(2) 駆動電源の確保

中継機の駆動電源にはソーラーパネルと蓄電用電池を使用し、消費電力節約の為にプログラムで起動時間を制限した。



図 7 中継機の設置方法、鉄杭にソーラーパネルと中継機を取り付け、地面に防水ボックスに入れた蓄電池を設置。



図 8 櫓の上部に設置した Wi-Fi 中継アンテナ (EAP225-OutdoorV1, Omada 社製) (左)、櫓下部にはソーラーパネルと蓄電池ボックスを設置 (右)

(3) ネットワークの構成：使用機材

Wi-Fi メッシュネットワークシステムの構成は、

- ・Wi-Fi 親機 (コントローラ OC200, V1, Omada 社製)
- ・Wi-Fi 中継機 (EAP225-OutdoorV1, Omada 社製)
- ・Wi-Fi 子機 (カメラ Camera Argus ECO+SP, Reolink 社製)

の 3 種の機材を使用する。佐須周辺に 2 ヶ所を選び、Wi-Fi 親機を設置。集落内のメイン道路に沿って 17 個の Wi-Fi 中継機を設置し、メッシュネットワークを組む。

(張 et al., 2022)

少ない中継機数でより遠距離の安定通信を実現する為には、中継機同士が互いに視認できる開けた場所に設置することが有効である。中継機の一部は櫓や家屋の上部に設置した。(図 8)

3 節 [手順]2: PIR カメラを用いた監視システムの構築

(1) 使用する PIR カメラ

村民にヒアリングを行い、サルを目撃場所近辺にホームセキュリティ用 PIR カメラ Reolink Camera Argus ECO +SP (図 9) を佐須区内 16 ヶ所に設置した。カメラは価格 (カメラ+ソーラーパネルのセットで ¥11,000) を理由に選び、1 年前から東京大学農学生命科学研究科農学国際専攻国際情報農学研究室では村内で他の研究用途にも使用されてきた。

カメラは PIR (*Passive Infrared Ray*, 赤外線) センサーに反応があると自動で起動し、8 秒間の動画を撮影し micro SD カードに保存する。



図 9 PIR カメラ Reolink Camera Argus ECO +SP

(2) Reolink App によるストリーミング視聴と録画動画の再生

同社提供の純正アプリ Reolink App を用いることで、遠隔地よりインターネットを介してカメラに接続し、ストリーミング視聴やSDカードに録画保存された映像の視聴ができる。本アプリケーションは任意の電子端末(PC, タブレット、スマートフォン)にインストールし無料で利用できる。また、録画映像を次端末にダウンロード保存することも可能である。

しかし、本アプリはAPIソースコードが公開されていないという問題点がある。カメラへの接続やデータ授受の自動化をプログラム制御することができないため、端末へのダウンロードを毎日決まった時刻に行うといった操作の定期実行を行うことができない。

そのため、本研究では定期的に自ら純正アプリで録画映像を視聴し手動でダウンロード作業を繰り返し、動物が映っている動画のみを収集した。

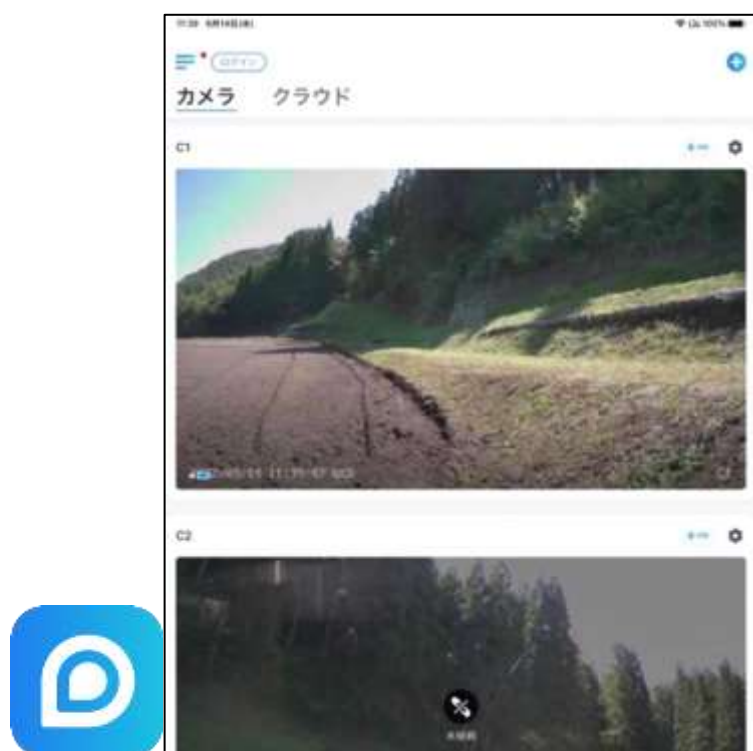


図 10 Reolink App のアイコン(左)とユーザー画面(iOS版) (右)

(3) Reolink カメラの設置の場所選定と設置

住民にサルをはじめとする目撃証言をヒアリングし、出没場所の近辺にカメラの設置場所を選んだ。撮影する方向を決める際には、1. 農地の間の畦道、2. 山林側の地表面を収める、ことを意識して決定した。また、カメラを設置する際には、PIR が植物の揺れに誤反応することを防ぐために周囲の下草を鎌等で刈り取ってから設置した。



図 11 カメラ設置の様子(左)、木杭をハンマーで打ち込み、ソーラーパネルと PIR カメラを括り付けて設置。カメラ設置後の様子(右)



図 12 撮影方向の一例：山林と農地の境界部に向ける。スピーカー(図中央部)が既設。



図 13 図 12 の設置の様子：農地内の作物に近すぎるとトラクターの走行を妨害してしまうため要注意。(後日場所を移動し再設置)

図 12 および図 13 のカメラ設置位置(C3)は、設置した場所が作物に近すぎてしまい農作業を妨害してしまったため、設置の翌日に移動した。またこの場所には動物の唸り声が夜間に流れ続けるスピーカー(図中央部)が農家の方々によって設置されていることが、試験撮影した際の音声データとヒアリングにより判明した。

(4) 定点カメラ稼働時の注意

飯舘村は福島県北部に位置し、冬季は降雪が多い地域であることから、カメラには降雨・浸水対策に加えて降雪対策を施す必要がある(図 14)。ホームセンター等で入手可能な塩化ビニル管を半分に切断したものをカメラの上面に被せることで、レンズへの雪の付着が大幅に改善した。

また、動物が設置したカメラに衝突したり、好奇心から触って動かしたりする場合も観察された(図 15)。このような事態に備え、定期的に現地での修正作業を実施した。



図 14 塩化ビニル管製傘を取り付けた PIR カメラ(左)、
降雨降雪対策なしの PIR カメラ(右):画面の曇りやレンズへの雪付着が生じる



図 15 動物(シカ)がカメラへ接近する様子

4 節 [手順]3: 取得データの可視化

(1)地点と録画映像のマッチング、Google Earth と Google Drive を用いた実装

動画ファイルを大量保存した際に生じる問題の 1 つに、映像データとそれが撮影された場所を照合する作業の煩雑さがある。そこで、データ分析の簡便化と、インターネット公開を見据えて、Web ブラウザ上での数値・映像データの表示ツールを開発した。

今回は、Google Drive と Google Earth を用いて動画が撮影された場所(=カメラ設置位置)と動画ファイルを結びつけて、Web 上で動画を見るツールを実装した。

次に記す流れのように、カメラで撮影された動画を Web ブラウザに表示した。

- ① 村内の監視地点で PIR センサに動画が撮影されるとカメラが起動し、自動で撮影する。
- ② 開発者端末(ここでは筆者の電子端末)で Reolink アプリを操作し、インターネットを介して村内のカメラに遠隔アクセスし、動物が映り込んでいる動画を選んでダウンロードする。
- ③ 開発者端末に一時保存した動画を Google Drive の所定フォルダへアップロードする。
- ④ Google Earth のマップピンの詳細欄の HTML ソースに、Drive に保存した動画の URL を記述し、動画の再生視聴を行うウインドウが表示される。



図 16 作成した動画視聴ツールの概説図 1. 動物の出現とカメラの起動



図 17 作成した動画視聴ツールの概説図 2. 撮影動画の遠隔ダウンロード



図 18 作成した動画視聴ツールの概説図 3. Drive への動画アップロード



図 19 作成した動画視聴ツールの概説図 4. Drive から Earth への画面表示

ユーザインタフェースの基盤に Google Earth を、データサーバに Google Drive を使う理由は主に以下の3つである。

- ① Wi-Fiメッシュネットワーク網記録

Wi-Fi中継機やPIRカメラの設置位置記を地図上にマップピンとして表示できる。

② 映像データの共有

Google Driveに動画を保存することで、他のGoogleサービスへのデータ参照を円滑にすることに加え、複数人でのデータの視聴と共同管理を可能にする。

③ 初期準備の省略

Google Driveを擬似的なデータサーバとして活用することで、物理的なデータサーバや立ち上げ作業やレンタルサーバの契約等の手続きを省略し、迅速な導入と実践が可能になる。

(2) Reolink App による録画動画の遠隔ダウンロードと Google Drive へのアップロード

録画データは動物の映り込んでいる動画のみをアプリを通し手動でダウンロードした。

API が非公開のため、純正アプリのダウンロード端末上での操作(マウスクリックやタブレットならタップ操作)をプログラム化する形で自動化する必要があるため、本研究では自分の端末にダウンロードした動画は Google Drive のフォルダに逐次アップロードした。

開発した動画視聴ツールでは、カメラ別に動画フォルダを作成し、保存した(図 17)。

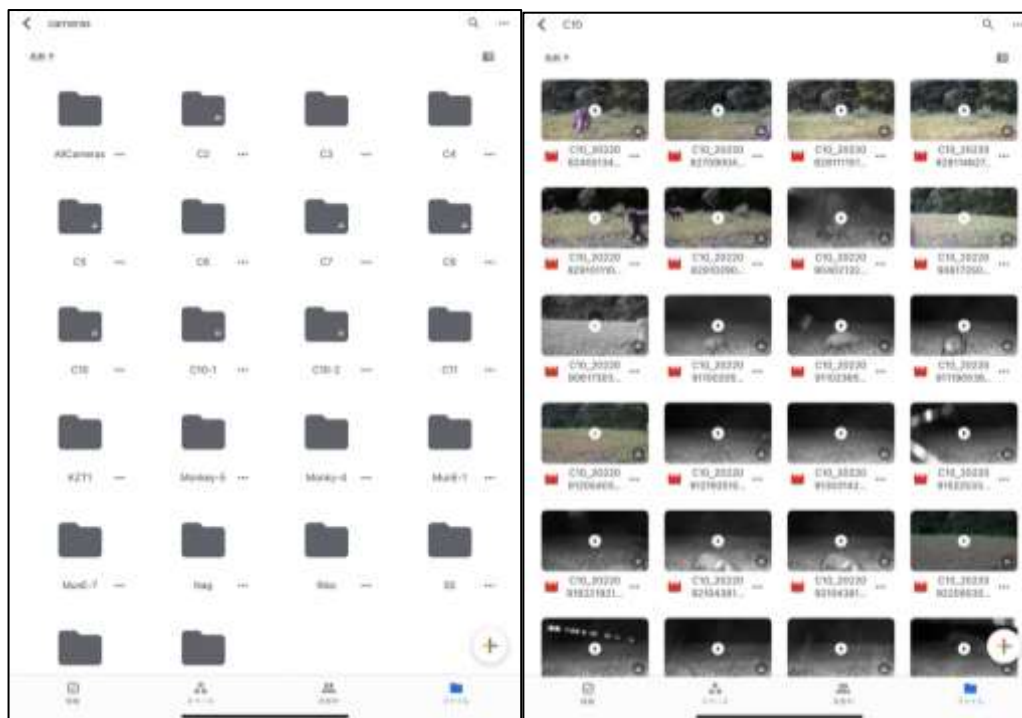


図 20 Google Drive フォルダへの動画のアップロード (iOS 版 Drive 画面)
撮影地点ごとに分けてフォルダを作成(左)、フォルダ内に動画を保存(右)

(3) Google App Script による動画やドライブフォルダの URL 取得と JSON への変換

後述する Google Earth 上で再生する動画を指定するには、インターネット上に保存した動画の固有 URL を取得しなければならない。Google Drive 内のファイルを操作するにあた

り、Google Drive 内のファイルパスを取得するのに適した Google App Script を用いた。ドライブ上に保存した動画ファイルを取り扱う(固有 URL 取得、ファイル数のカウント、撮影日時の取得)スクリプトプログラムを作成した。これを実行すると、Google Spread Sheet へ書き込まれる(図 18)。これを行うスクリプトを付録(コード 1)に記す。

さらに、JSON 形式(図 19)への変換を行うことにより、HTML ソースにデータの受け渡しができるようになる。これを行うスクリプトを付録(コード 2)に記す。

フォルダID	ファイルID	ファイル名	カメラ	日時
11YCW2Z9GRB0E0kMuz202a3amuQD0				
	1M3MC7EzWw3QNKtGtCSXUKDaJD06200	C10_20221217203526_20221217203550_95270002B21KUP10_0.mpeg	C10	20221217203526 20221217203550 95270002B21K1 0.mpeg
	11oeR5yRzLJH4W4XQ2NW7X0P1Yy6	C10_20221217203507_20221217203504_95270002B21KUP10_0-2.mpeg	C10	20221217203507 20221217203504 95270002B21K1 0-2.mpeg
	1yQY17F7rnadkH0AGNEEp60FCLaEV	C10_20221217203549_20221217203607_95270002B21KUP10_0-2.mpeg	C10	20221217203549 20221217203607 95270002B21K1 0-2.mpeg
	1Xuz2xrd4GJ8pnd87ZUuJ15BF7c	C10_20221217210749_20221217210804_95270002B21KUP10_0.mpeg	C10	20221217210749 20221217210804 95270002B21K1 0.mpeg
	1vKk-wQMf1FVWZzDrdDjyGwYUzr_U	C10_20221217211201_20221217211213_95270002B21KUP10_0.mpeg	C10	20221217211201 20221217211213 95270002B21K1 0.mpeg
	1kaNcmUy110H4myCS44qbKXNvEqKv	C10_20221217202002_20221217202014_95270002B21KUP10_0.mpeg	C10	20221217202002 20221217202014 95270002B21K1 0.mpeg
	1NKL_TL2ZYzEPh8SeP9wSvPavGvgePA	C10_20221217212531_20221217212545_95270002B21KUP10_0-2.mpeg	C10	20221217212531 20221217212545 95270002B21K1 0-2.mpeg
	1e-mz0NNMGeXa2RwWvNSGh_W8k7yf	C10_20221217210803_20221217210816_95270002B21KUP10_0.mpeg	C10	20221217210803 20221217210816 95270002B21K1 0.mpeg
	1HfmgpRnaD8CQWPD6SDaM9kDnkr	C10_20221217202002_20221217202014_95270002B21KUP10_0-2.mpeg	C10	20221217202002 20221217202014 95270002B21K1 0-2.mpeg
	11QPSU13Q6Jab8B_Dvch8eb0nswpHr	C10_20221217210851_20221217210850_95270002B21KUP10_0.mpeg	C10	20221217210851 20221217210850 95270002B21K1 0.mpeg
	1pZdU8K8vteRVAJJAaTZCRoABEEC	C10_20221217210426_20221217210434_95270002B21KUP10_0.mpeg	C10	20221217210426 20221217210434 95270002B21K1 0.mpeg
	1AeBK1qMG3oiYKv136KxSPvskEJaRW	C10_20221217202007_20221217202004_95270002B21KUP10_0.mpeg	C10	20221217202007 20221217202004 95270002B21K1 0.mpeg
	1gFLGwawRc1FavVlg8kKz2yPqSV1	C10_20221217203526_20221217203550_95270002B21KUP10_0-2.mpeg	C10	20221217203526 20221217203550 95270002B21K1 0-2.mpeg
	1j24H8UPeDThr2-G5c7JigUthKMaJ	C10_20221217212531_20221217212545_95270002B21KUP10_0.mpeg	C10	20221217212531 20221217212545 95270002B21K1 0.mpeg
	1Bp5yMqE1CvGNK7yH8d8fMhycdt	C10_20221217210749_20221217210804_95270002B21KUP10_0-2.mpeg	C10	20221217210749 20221217210804 95270002B21K1 0-2.mpeg
	1jWwW8Zgy90aZPH_BNvoos20BepP	C10_20221217203549_20221217203607_95270002B21KUP10_0.mpeg	C10	20221217203549 20221217203607 95270002B21K1 0.mpeg
	1akaxgrDhnt2-YNRY7YCaP9DmcWdc2sa	C10_2022108224034_2022108224051_95270002B21KUP10_0.mpeg	C10	2022108224034 2022108224051 95270002B21K1 0.mpeg
	1lmp5e3lg73wvViqSzr1Dpy7-YQ85X	C10_20221025011424_20221025011436_95270002B21KUP10_0.mpeg	C10	20221025011424 20221025011436 95270002B21K1 0.mpeg
	102RQ3as7C9HAWtshTAcAF1Kf8e5Aj	C10_20221027183100_20221027183114_95270002B21KUP10_0.mpeg	C10	20221027183100 20221027183114 95270002B21K1 0.mpeg
	13VyeoedLrzd2xCRDfRyC5EPPvW	C10_20221026062635_20221026062643_95270002B21KUP10_0.mpeg	C10	20221026062635 20221026062643 95270002B21K1 0.mpeg
	1zuzH8DpQkA4vye8efNwHqm-nP	C10_20220829102907_20220829102915_95270002B21KUP10_0.mpeg	C10	20220829102907 20220829102915 95270002B21K1 0.mpeg
	1u10a8yVv8LFSUaQK8W7_TuJK7b	C10_20221026062622_20221026062630_95270002B21KUP10_0.mpeg	C10	20221026062622 20221026062630 95270002B21K1 0.mpeg
	171Dv8LQZkUvW8nX1lqz2gh8e8n	C10_20221201180117_20221201180125_95270002B21KUP10_0.mpeg	C10	20221201180117 20221201180125 95270002B21K1 0.mpeg
	17ASv8vXDDf8ZKUG-VEA8h3vYn8uJ	C10_20221204071101_20221204071109_95270002B21KUP10_0.mpeg	C10	20221204071101 20221204071109 95270002B21K1 0.mpeg

図 21 作成したスクリプト「ファイル一覧取得」の実行結果。Spread Sheet に指定したフォルダ(フォルダ ID)内の動画の ID、ファイル名、カメラ名、撮影日時を取得し書き込む。

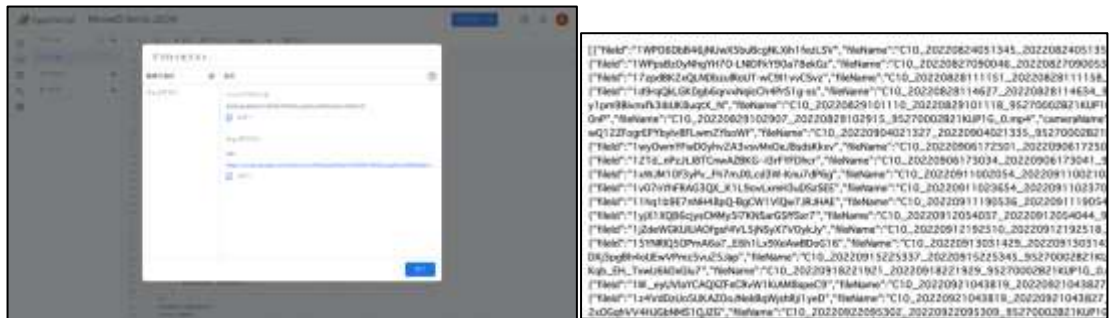


図 22 Google App Script で作成したコードを Web アプリとしてデプロイ。(左)、URL にアクセスすることで、JSON 形式に変換された動画リストを取得。(右)

(4) Google Earth でのマップピンの詳細説明欄への HTML ソースの書き込み

Google Earth 上にカメラの設置位置をマップピンで登録し、それらのマップピンの詳細

欄(メモ欄のようなもの)に動画再生ウィンドウを埋め込む。Google Earth の基本機能の一つとして、HTML ソースの埋め込みが可能である。Google Earth のプロジェクトを作成し、立てたマップピンの詳細を記載する際に、「HTML ソース」を使うことで自在に Web ページの構成要素を表示できる。(図 20)

また、HTML、CSS に加えて、JavaScript を使うことも可能なので、ループ用いた繰り返し操作や、日時の取得、表示、並び替えを出来る。

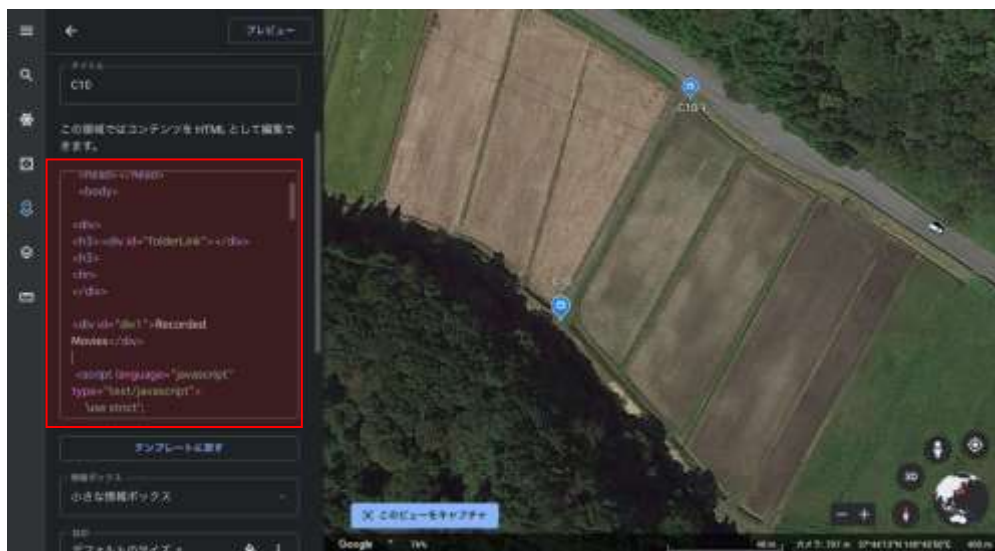
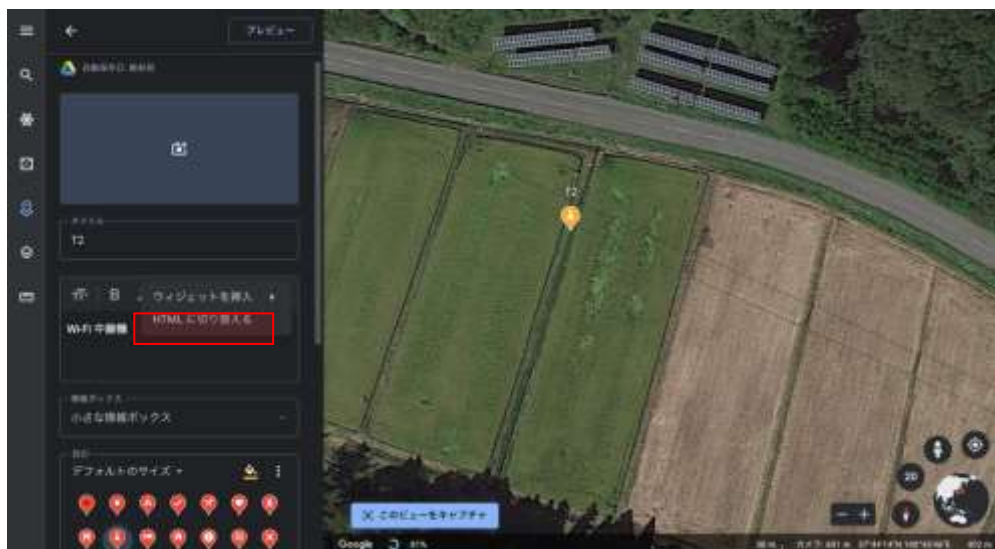


図 23 マップピン作成時はテンプレートモードになっている(上)ため、HTML に切り替えることでHTML、CSS、JavaScript を記入可能。(下)

(5) 撮影データと映り込み頭数の分析

2022年8月24日～2022年12月20日の121日間(4ヶ月)のデータのうち、8/22日に設置したカメラ11台、他研究で使用しているカメラ4台の計15台のカメラで撮影された動

画を対象として、

1. カメラ位置ごとの全動画数および動物が映り込んだ動画数
 2. 映り込んでいる動物の種類ごとの動画数と個体数(映り込み回数)
- をまとめて、地点ごとおよび動物種ごとの出現回数を計上した。

1. カメラ位置ごとの全動画数および動物が映り込んだ動画数では、次の 4 つの数を計上した。

- ・総数：全撮影動画総数－撮影された動画数(PIR センサが反応し、録画された回数)
- ・週間：週間平均動画数－全撮影動画数/(集計期間/7[日])
- ・映込：映り込み動画数－撮影された動画のうち、動物の姿が確認された動画本数
- ・期間：集計期間(日)－分析対象としている期間。

異なる時期にモニタリングを開始したカメラもあるため、週間の撮影期間を比較する際の参考値として算出した。

計上を行った方法としては、Reolink アプリのインターフェース上で、カメラごとに日間の撮影動画ページを開き、動画数を数えた。また、動画を視聴し、動物が映り込んでいるかどうかを人の目で判別し、映り込んでいたものはダウンロードし、その総数を計上した。

2. 映り込んでいる動物の種類ごとの動画数と個体数(映り込み回数)では、1. で動物の写り込んだ動画の多かった上位 3 ヶ所のカメラ(C10, CWG3, CKZT1)に関して、動物種ごとの撮影動画数と映り込み回数を計上した。1. の分析時に手動でダウンロードした動画に対して、人の目でどの動物種が映り込んでいるかを判断し、1 動画あたりの頭数と合わせて記録し、計上した。数えた動物種の分類は、福島県の「野生鳥獣による農作物の被害状況(令和 3 年度)」(福島県, 2022)に記載の鳥獣害被害を起こしている動物種の区分を参考にした。

福島県内で実際に報告された農作物被害を起こした獣類のうち、カメラ観測で撮影された獣類のみ抜粋し、「イノシシ、サル、シカ、ハクビシン、タヌキ、アライグマ、ウサギ」を数えた。

ここで、ハクビシン、タヌキ、アライグマ、+キツネの 4 種は夜間に出没が多く、判別が難しかった為、「タヌキ類」にまとめた。また、鳥類は「鳥類」としてまとめて集計し、移り込み回数の多い「ネコ」、「その他」を追加して、次の 8 区分にした。

「1. サル 2. イノシシ 3. シカ 4. タヌキ類 5. ウサギ 6. 鳥類 7. ネコ、 8 その他(人、車)」の 8 つに分類し、それぞれが写り込んでいる動画の本数と頭数を計上した。

動画には一本の動画に動物が 2 匹以上映り込んでいる場合がある。そこで、出没した動画数の他に個体数も数えた。

第3章 結果と考察

1 節. [結果]1: Wi-Fi メッシュネットワークの整備

2021 年より作業を継続している飯館村佐須区内への Wi-Fi 中継機の設置状況を図 21 に示す。現時点では 17 台の中継機が設置されており、主要街道に沿った多くの地点でインターネット接続が可能になった。これにより大半の PIR カメラへの遠隔アクセス可能である。

また、設置と稼働を通して、ソーラーパネルへの降雪により冬季は電源供給が途絶えることが昨年度の 1 月に分かっている。その為定期的な除雪作業が必要である。更に、カメラの撮影視界を確保する為には、定期的に草刈りを実施する必要もある。

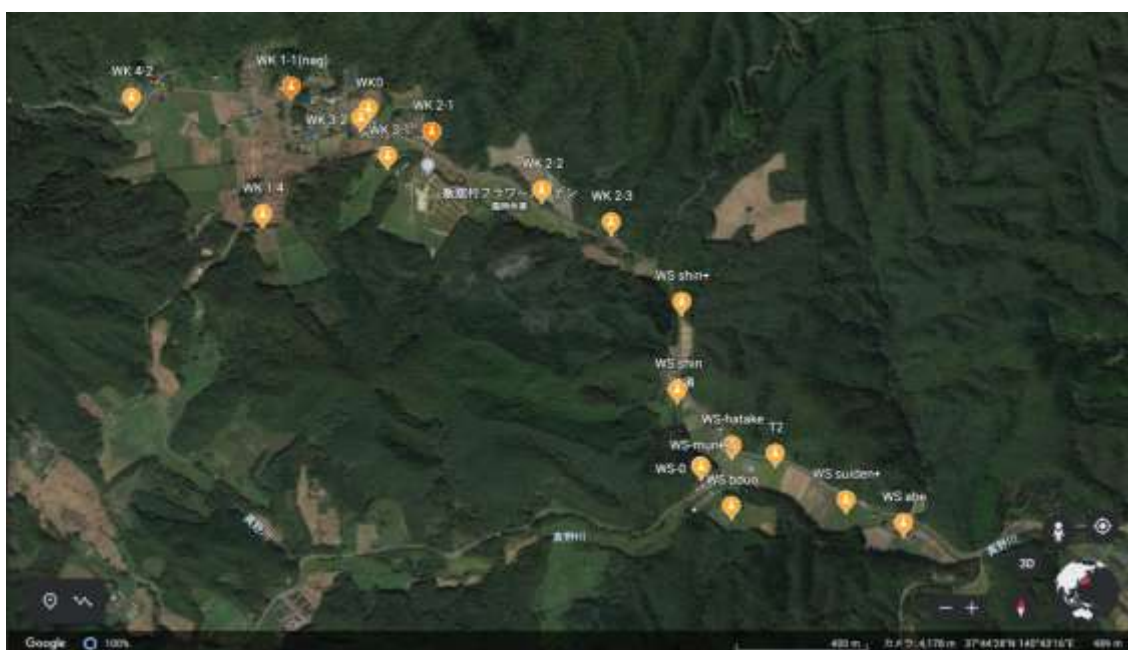


図 24 飯館村佐須区内への Wi-Fi 中継機の設置状況(2022 年 12 月時点)



図 25 ソーラーパネルへの積雪 2022 年 1 月撮影 (左)、2023 年 1 月撮影(右)

2 節. [結果]2: PIR カメラを用いた監視システムの構築

2022 年 8 月 21 日、22 日に佐須行政区内に 17 台の PIR カメラを設置した。(図 23)

これらのカメラを中心に、2022 年 12 月までの 4 ヶ月間、動物の映り込んでいる動画を収集した。

また、この期間中において、本研究以外の他研究の用途で設置していたカメラでも動物の写り込みが確認されたため、それらのカメラの一部も分析の対象とした。(図 24)



図 26 2022/8/21, 22 に佐須行政区内に 17 台の PIR カメラの配置図



図 27 他研究用のカメラのうち、動物の映り込みが確認された PIR カメラの配置図

3 節. [結果]3 : 取得データの可視化

(1)Google Earth 上での表示

本文 Google Earth 上のマップピンの詳細説明欄から対応するカメラで撮影された動画データを読み込み再生視聴させた。(図 25)

このウインドウを表示させるために記述した HTML ソースを付録(コード3)に記す。

(2)動画の分析 : 撮影数の多いカメラ

8月22日に設置した17台のカメラには通信や電源供給の問題から動画が撮影されていないカメラが6台あった。また、本研究以外の研究用に設置したカメラにも動物の姿を捉えたカメラも数台あった。このことから、8/22日に設置したカメラ11台、他研究で使用しているカメラ4台の計15台を分析の対象とするカメラとした。

これら15台のカメラに関する動画数を数えた結果を図26に示した。

水田と山林の間に水路が流れる地点に設置したカメラ(C10)の撮影動画数は73で最多であった。

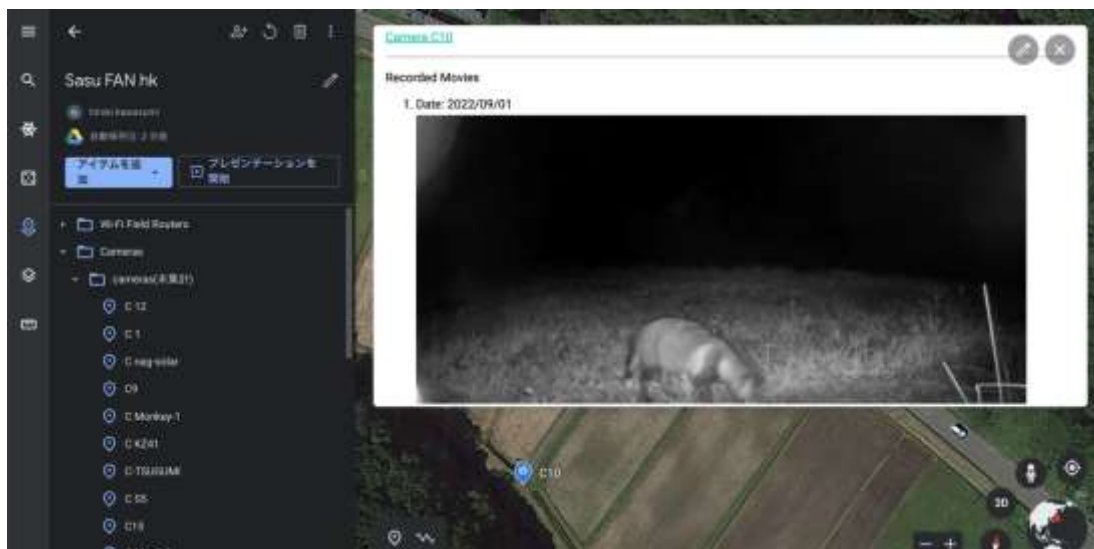


図 28 Google Earth マップピンに動画再生ウインドウを埋め込み

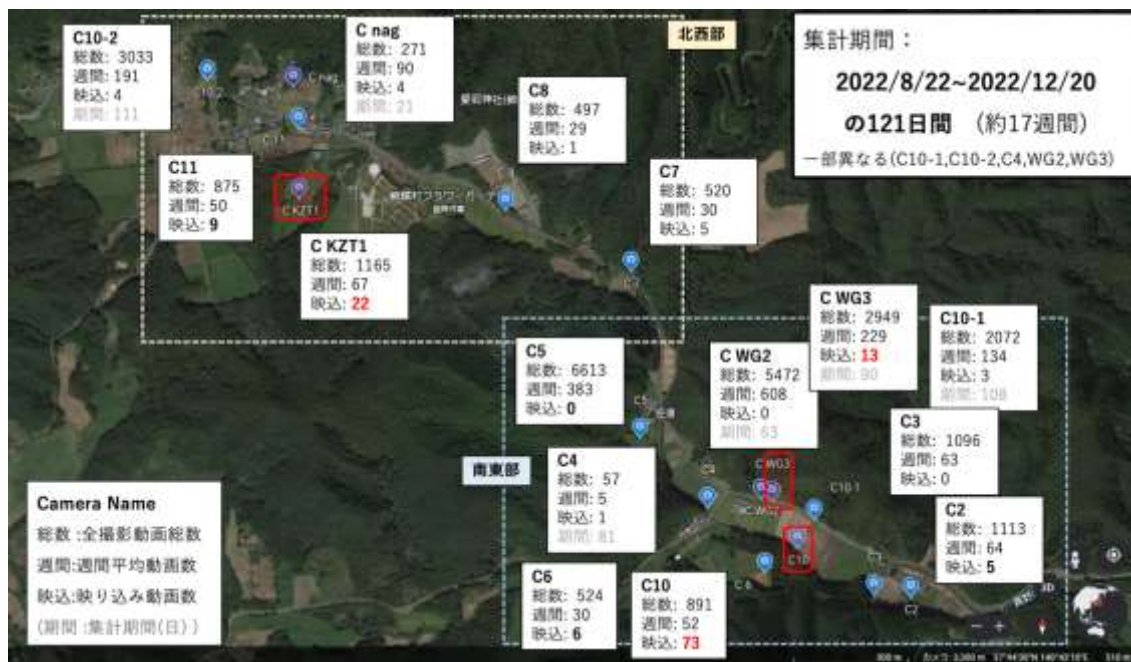


図 29 カメラごとの撮影された動画数と動物の映り込みが確認された動画数(全体)



図 30 カメラごとの撮影された動画数と動物の映り込みが確認された動画数(北西部)

北西部では、三方を山林に囲まれたカメラ(CKZT1)が22本で最多であった。最も動物映り込み動画数が少ないカメラC8は道路脇に設置し、道路を挟んで南側の農地方向を撮影しているカメラである。C7とC11は道路に近い場所に設置しながらも、道路側を背にして山林方向を画角に収めている。

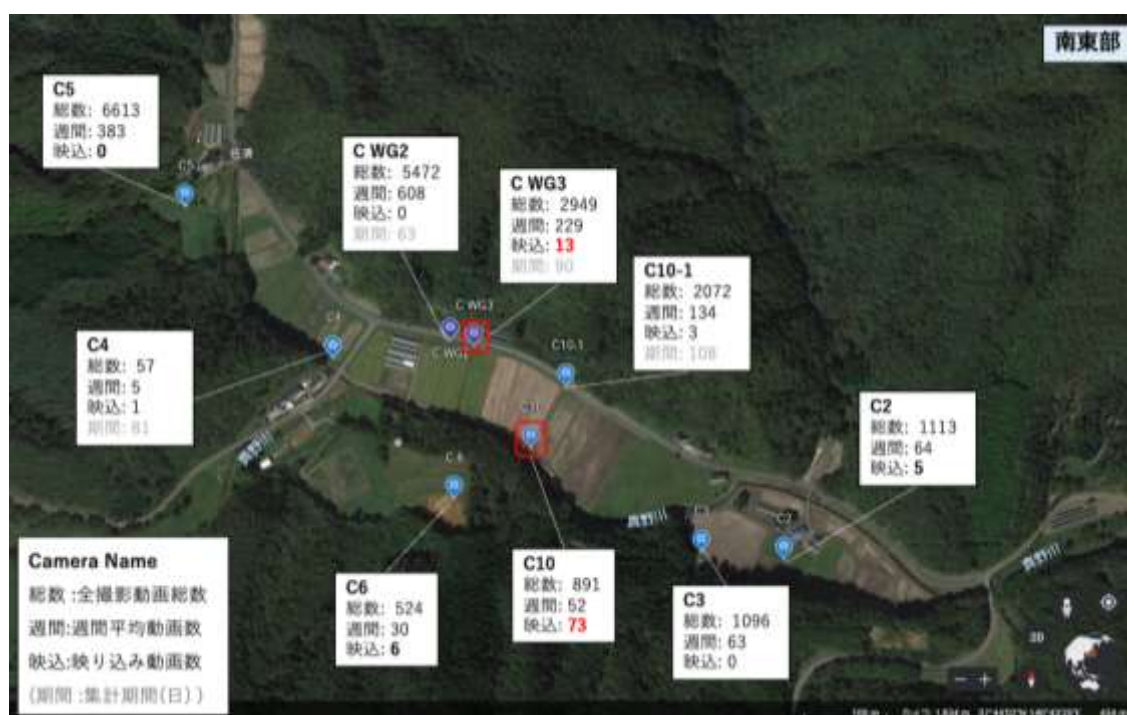


図 31 カメラごとの撮影された動画数と動物の映り込みが確認された動画数(南東部)

一方南東部ではカメラ C10 に次いで水田を監視しているカメラでは撮影動画数が 13 と多かった。対してカメラ C3 と C5 での動物映り込み動画数は 0 であった。C3 では夜間に威嚇用のスピーカーが設置されていることが出没数の低さの要因だと考えられる。C5 はビニールハウスのある農地と山林の境界に高度差 5m程の崖のようになっていることから動物の侵入経路としては選ばれないと考察する。

(3) 動画の分析：動物種ごとの撮影動画数と映り込み回数

最も動物を検出した 3 ヶ所のカメラ (C10, CWG3, CKZT1) に関して、動物種ごとの撮影動画数と映り込み回数を計上した。「1. サル 2. イノシシ 3. シカ 4. タヌキ類 5. ウサギ 6. 鳥類 7. ネコ, 8 その他(人、車)」の 8 つに分類に基づき、それぞれが写り込んでいる動画の本数と頭数を計上した結果を図 30 以降に示す。

次の表 1 に、分類例として、動画の 1 フレームを切り抜いた画像と、それを実際にどう分類したかの結果をそれぞれ示した。

表1 分類した動画の一例と分類・頭数計上結果




		
1. サル ×2	2. イノシシ ×6	3. シカ ×1
		
4. タヌキ類(タヌキ) ×1	4. タヌキ類(アライグマ) ×1	4. タヌキ類(キツネ) ×1
		
4. タヌキ類(判別不明) ×2	(2021年撮影) 期間内では撮影されず 5. ウサギ ×1	6. ネコ ×1
		
7. 鳥類(ハト) 鳥類の中での区別はしなかった。	8. その他(人) ×1	8. その他(車) ×1



図 32 アライグマ、タヌキ、ハクビシンの違い 夜間撮影での区別は難しいことから、これらはタヌキ類としてまとめた計上した。

<https://www.sharing-tech.co.jp/gaiju/news/20200221-2.php/> より引用

3ヶ所のカメラ(C10, CWG3, CKZT1)の計上結果を次の図 30, 35, 40 に示す。また、撮影時間が昼間(5:00~17:00)か夜間(17:00~5:00)のどちらかによって2分して計上した結果を図 31, 36, 41 に示す。

カメラ C10 は農地と農地との畦道から山林方向を映したカメラである。ここではタヌキ類の動画数が多かったが、イノシシは同時に数頭映ることが多かったため頭数ではイノシシが最多出あった。また、サルは全て昼間に出現し、イノシシとタヌキ類とは全て夜間に出没していた。

頭数 と 動画数 (C10)

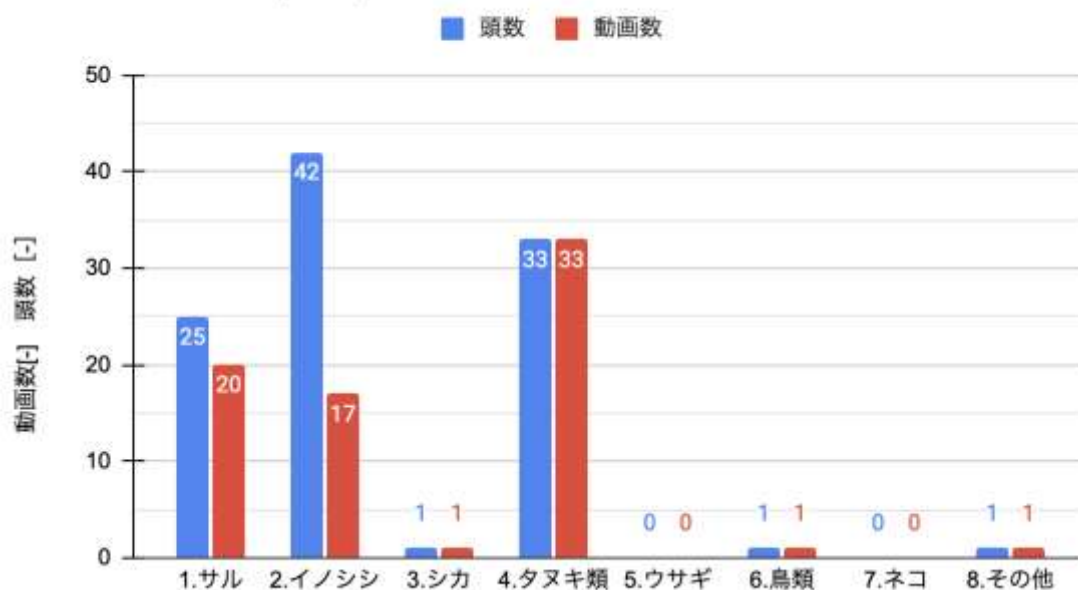


図 33 カメラ C10 の動物種ごとの映り込み頭数と動画数



昼夜比 (C10)

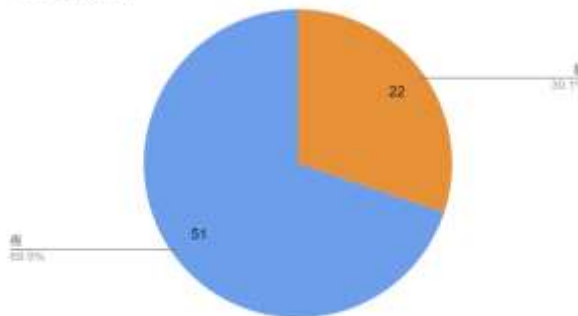


図 34 カメラ C10 の設置場所と撮影方向(左)、動画数の昼夜比(右)



図 35 カメラ C10 で撮影された動画に映ったイノシシの一齐逃走の様子(上から順にコマ送り)。右向きだったイノシシの群れが一齐に左方向へ逃走



図 36 図 32 の動画から推測されるイノシシの来訪方向(図中黄矢印)と逃走方向(図中青矢印)

図 32 は同一の動画の一部を切り抜いた一連の画像である。始めは画面右方向に向かい歩いていたイノシシの群れが、何かに驚いた様子で一斉に方向転換し、画面左側に走り出す様子が記録された。多数のイノシシが瞬間的に逃げ出す方向が同一であることから、これらイノシシは図 33 の右、すなわちカメラ C10 より南東方向に森林内との通り道があることが推察される。

また、サルに関しては、12 月以降、親子ザルの映り込みが多数確認されたことと、その多くは画面の右から左方向(地図上では北西から南東方向)へ移動している様子が見られた。尚、画面手前から奥側(地図上では北から南方向)への移動も見られたが、山林との境界を流れる真野川を越える様子は撮影されていない。この点に関しては、PIR カメラの撮影時間を延長することで撮影できる可能性があると考えられる。



図 37 カメラ C10 で撮影された動画の 1 フレーム：親子ザル左方向への移動(左)、サルの画面奥、真野川および山林側への移動(右)、川を渡る瞬間は撮影されず。

頭数 と 動画数 (C WG3)

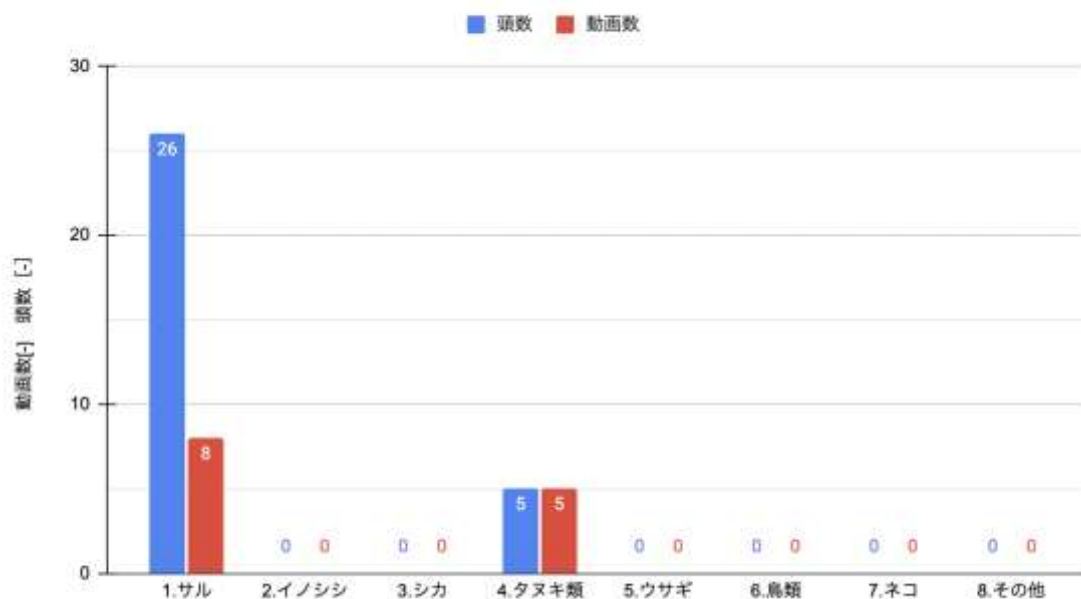


図 38 カメラ CWG3 の動物種ごとの映り込み頭数と動画数

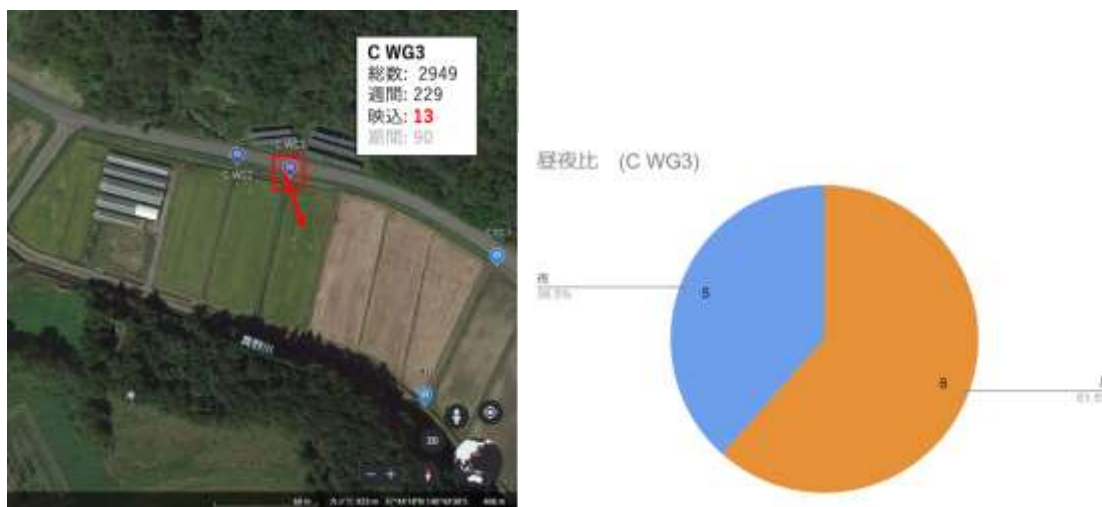


図 39 カメラ CWG3 の設置場所と撮影方向(左)、動画数の昼夜比(右)

カメラ CWG3 は主に作物の生育モニタリング用途で設置されたカメラである。ここではサルとタヌキ類の 2 種類しか確認されなかった。C10 と同様にサルは全て昼間に、タヌキ類は全て夜間に出没していた。また、ほとんどの動画でサルは同時に 2 匹以上映っていた。

先述のカメラ C10 で撮影された動画(図 34 左)は 2022 年 12 月 1 日 16 時代の撮影で、図 38 に示した動画の撮影時刻と近い。C10 の動画では画面の右方向から左方向へ移動しており、その往来方向は WG3 に映っている場所にあたる。したがって、この時期のサルは農地の南東方向の山林から農地へ侵入し、休憩期の農地に残る草種を食し、また南東方向に戻っていることが窺える。実際に、図 37 の左下には、葉を手を持つサルが映っている。



図 40 カメラ CWG3 で撮影された動画の 1 フレーム(サル)



図 41 カメラ CWG3 で撮影された動画の 1 フレーム(サル)



図 42 カメラ CWG3 で撮影された動画の 1 フレーム(タヌキ類)

頭数と動画数 (C KZT1)

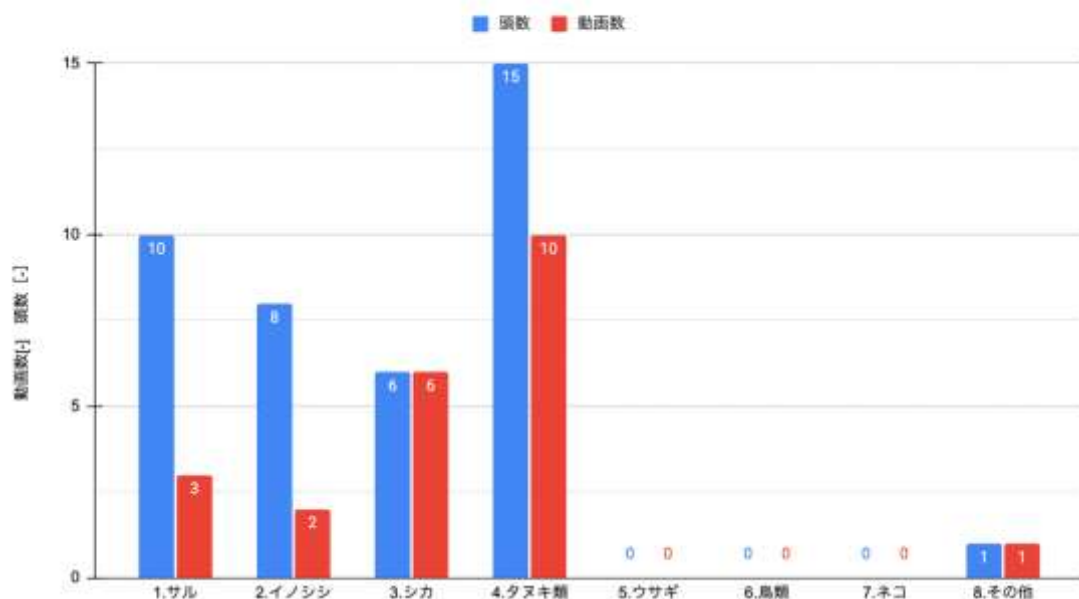


図 43 カメラ CKZT1 の動物種ごとの映り込み頭数と動画数



昼夜比 (C KZT1)

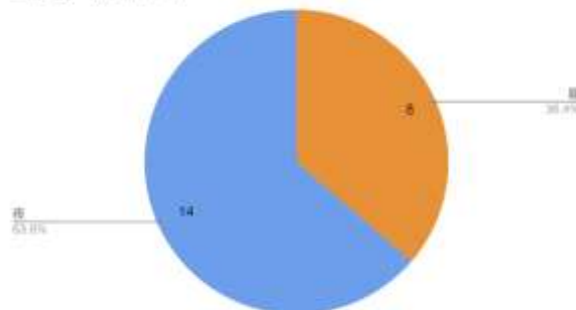


図 44 カメラ CKZT1 の設置場所と撮影方向(左)、動画数の昼夜比(右)

カメラ CKZT1 は佐須行政区の北東部で最も映り込みの多いカメラで、道路側を除く三方を山林に囲まれている傾斜地にある。カメラは東向きに山林側を写している。このカメラでは最も多くの動物種の映り込みを確認し、また唯一シカの出没を捉えたカメラである。キツネを含むタヌキ類が最も多く、次いでサルの頭数ベースでは多い。図 40 からは、シカやタヌキ類は単独で出没することが多く、反対にサルやイノシシは複数で出没している傾向が窺える。昼夜比に関しては、サルとキツネは全て昼間に、イノシシ、シカ、タヌキ類は全て夜間に出没していた。



図 45 カメラ CKZT1 で撮影された動画の 1 フレーム(サル)



図 46 カメラ CKZT1 で撮影された動画の 1 フレーム(キツネ：タヌキ類)



図 47 カメラ CKZT1 で撮影された動画の 1 フレーム(シカ)

(4) サルの映り込みが確認できたカメラと月別の映り込み動画数

2022年8月～12月の期間中で、サルの姿を撮影したカメラはC6,C7,C8,C10,KZT1,WG3の6つであった。(図45)

また、今回特に映り込みの多かったサルとタヌキ類に関して、上位3カメラの映り込み動画数を月別に合計した結果を図46に示す。サル、タヌキ類ともに、8月から11月にかけて映り込み動画数は減少し、12月以降に大きく増加している。これは冬を迎え山中の自然の食糧が枯渇したことにより農地に降りてくるのが原因だと考えられる。



図 48 分析対象のカメラのうち、サルの姿を撮影したカメラの位置

上位3カメラの月別動画数

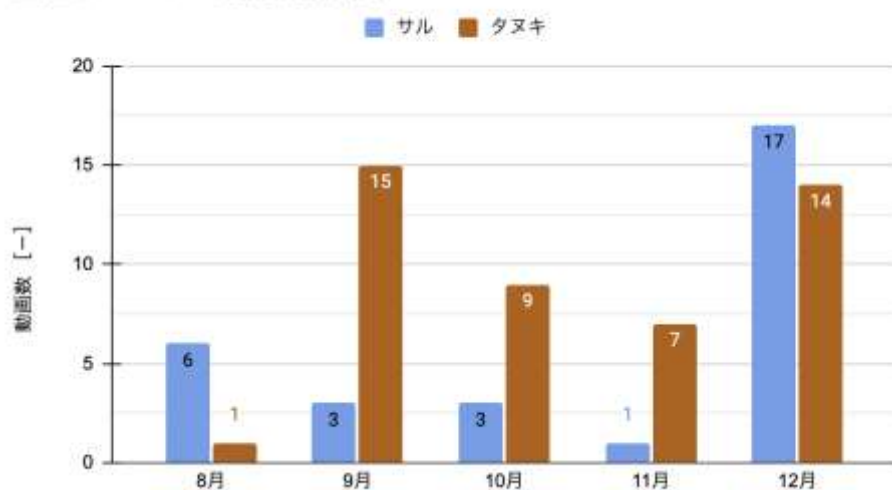


図 49 サルとタヌキ類の月別の映り込み動画数 (2022年8/22～12/20)

(5) 柵を潜り抜けて農地に侵入するサル

図47は、サルが柵の下を潜り農地内に侵入する瞬間を捉えた動画の一部である。カメラモニタリングを実施したことにより、侵入する瞬間を日時と合わせて記録することができた。この映像では、図47の図中左下でサルが手前側から柵を潜り農地に侵入している様子が映っている。このことから、カメラC8地点においては、サルは画面奥の山側ではなく、手前の道路側から侵入している可能性が高く、道路を挟んだ向かいの山を生息地としていると考えられる。(図48)



図 50 柵をくぐり抜けて農地に侵入するサル(図中左下)



図 51 推測されるサルの移動方向 (図中矢印)

第4章 結論と今後の課題

中山間地域に整備された Wi-Fi メッシュネットワーク通信網の活用例として、飯舘村に試作した Wi-Fi メッシュネットワーク基盤上に PIR カメラを設置して動物モニタリングを行った。撮影動画を Web 上で見るツールを開発した。

4 ヶ月間に及ぶ動画を分析した結果、佐須行政区に設置した 15 台のカメラの中で極めて動物が撮影された回数の多いカメラ(C10)があることが分かった。道路や住宅から離れておりかつ山林と農地が近接している場所に設置したカメラでは撮影回数が多い傾向があることが示唆された。また、映像媒体として定点撮影を行うことにより、動画の画角内での動物の進行方向を調べ、近い時刻に撮影された映像を比較検討することにより、地図上での動物の移動方向を推測できる。更には逃走するイノシシからは群れの生息場所も考察できる。また、動物種ごとに出没時間帯が異なっており、サルやキツネは昼間に、イノシシやタヌキは夜間に出没していることがわかった。イノシシは複数で、シカやタヌキは単独で出没する傾向にあることが窺える。山林への出入りの瞬間の撮影は叶わなかったものの、本研究で構築した Wi-Fi メッシュネットワークを基盤にしたカメラモニタリングシステムを調整し継続的に稼働することで動物の出没経路を検出できる可能性が示唆された。

今後は動画の分析の省力化と高速化に向けて、データ伝送の自動化、カメラ設置位置の分析、動物の自動識別(誤検知の排斥)が必要である。



図 52 撮影データに対するオブジェクト検出アルゴリズム「YOLOv3」の試験実行結果。動画取得やオブジェクト検出の連続実行を自動化することでリアルタイムの出没警報システムの実現に近づくと考える。

付録

Google App Script コード

ソースコード 1 ドライブフォルダ内の動画ファイルのタイトル・URL・撮影日時を取得

```

/**
 * スプレッドシートのメニューから関数を実行出来るように、メニューを追加。
 */
function onOpen() {
    var sheet = SpreadsheetApp.getActiveSpreadsheet();
    var entries = [
        { name: "ファイル一覧取得実行", functionName: "main" }
    ];
    sheet.addMenu("ファイル一覧取得", entries);
}

/**
 * フォルダ一覧取得
 */
function main() {

    // 変数設定
    // フォルダ ID 記載位置設定
    var folderIdRow = 2;
    var folderIdCol = 3;

    // ファイル書き込み位置設定
    var fileWriteStartRow = 5;
    var fileWriteStartCol = 3;

    // 既存ファイル反映セルクリア範囲設定
    var fileWriteEndRow = 1000;

    // スプレッドシート取得
    // var folderId = '1BVfWtld3aYdA80oOW2GJaiJAydXoDWMh'
    var ss = SpreadsheetApp.getActiveSpreadsheet();

```



```

var activeSheet = ss.getSheetByName('シート 1');

// フォルダ ID 取得
var folderId = activeSheet.getRange(folderIdRow, folderIdCol).getValues()[0][0];
// var folderId = rootFolder.getId();

// フォルダー一覧取得
// Log the name of every folder in the user's Drive.
var folder = DriveApp.getFolderById(folderId);
Logger.log(folder.getName());
var files = folder.getFiles();

var fileNames = []
while (files.hasNext()) {
  var file = files.next();
  var fileNameSprit = file.getName().split('_');
  if ( fileNameSprit.length !== 5){
    Browser.msgBox('ファイル名の形式が違います: ' + file.getName());
    return
  }
  fileNameSprit.unshift(file.getName());
  fileNameSprit.unshift(file.getId());
  fileNames.push(fileNameSprit);
}

// 書き込む前にセルをクリア
activeSheet.getRange(fileWriteStartRow,      fileWriteStartCol,      fileWriteEndRow,
fileNames[0].length).clear();
// スプレッドシート反映
activeSheet.getRange(fileWriteStartRow,      fileWriteStartCol,      fileNames.length,
fileNames[0].length).setValues(fileNames);
}

```

ソースコード 2 動画リストの諸情報を変換し、JSON ファイルとして書き出す

```
function doGet() { //JSON の作成
  const data = getData();
  const response = ContentService.createTextOutput();
  response.setContentType(MimeType.JSON);
  response.setContent(JSON.stringify(data));
  return response;
}

function getData() {

  const spreadsheet = SpreadsheetApp.getActiveSpreadsheet();
  const sheet1 = spreadsheet.getSheetByName('シート 1');

  const primaryRow = 5;
  const primaryCol = 3;
  const totalRows = sheet1.getLastRow()-primaryRow + 1; //最終行の取得
  const totalCols = 4;

  // Sheet オブジェクト.getRange(行番号, 列番号, 行数, 列数)
  const range = sheet1.getRange(primaryRow, primaryCol, totalRows, totalCols);

  const values = range.getValues();
  const data = values.map(row => {
    let col = 0;
    return {
      fileId: row[col++],
      fileName: row[col++],
      cameraName: row[col++],
      movieTime: row[col++],
    }
  });
};
```

Google Earth マップピン詳細欄の HTML ソース

ソースコード 3 動画の再生ウインドウを埋め込むソースコード(ループ処理なし)

```
<!DOCTYPE html>
```

```

<html>
  <head></head>
  <body>

<div>
  <h3><div id="folderLink"></div><h3>
  <hr>
</div>

<div id="div1">Recorded Movies</div>

<script language="javascript" type="text/javascript">
  'use strict';

const movieURL= "https://drive.google.com/uc?id=〇〇"
// 動画の URL(JSON 形式で取得) ここでは、直接入力指定

const folderLinkDiv = document.getElementById("folderLink");
const a1 = document.createElement("a");
  a1.href = "https://drive.google.com/drive/folders/〇〇";
// 動画の保管フォルダへのパス
  a1.target = "_blank";
  a1.innerText = "Camera C10";
  folderLinkDiv.appendChild(a1);

// 埋め込み対象の HTML タグ
const div1 = document.getElementById("div1");

// 新規作成の DIV タグ
const newDiv = document.createElement("div");

// 空の動画リストの作成
const movieList = document.createElement("ol");

```

```
// 単一動画の取得
    const movieListItem = document.createElement("li");

    // <video>タグの作成
const video = document.createElement("video");
video.src = movieURL;
video.width = 800;
video.height = 450;
video.setAttribute("controls", "false");

var movieTitle = "Date: 2022/09/01 ";

    movieListItem.appendChild(document.createTextNode(movieTitle));

movieListItem.appendChild(video);

    movieList.appendChild(movieListItem);

newDiv.appendChild(movieList);
div1.appendChild(newDiv);
</script>
</body>
</html>
```

参考文献

引用文献

溝口勝第 3 のインフラ整備をリードする農業農村情報研究部会. 出版地不明, 農業農村工学会, 2022. ページ:27-30, 農業農村工学会誌第 90 巻第 11 号.

ー. 農業農村地域における DX のための先導的研究. 出版地不明, 日本農業工学会, 2022. ページ:30-33, 日本農業工学会 2022 学会賞受賞講演要旨集, pp. 30-33.

張テイ, 川澄大樹, 溝口勝 Wi-Fi と LoRa 二重無線通信網の構築と農山村地域モニタリング. 出版地不明, 土壌物理学学会, 2022. ページ:58-59, 土壌物理学学会大会 2022 一般発表集.

田村将太, 横山真 郊外山間部の広域公園におけるイノシシ被害予測マップ ドローン・センサー技術・GIS を活用した分析とマップ作成. 出版地不明, 日本建築学会, 2022. ページ:1617-1622, 日本建築学会技術報告集/28 巻 (2022) 70 号.

農林水産省 全国の野生鳥獣による農作物被害状況 (令和 2 年度). 農林水産省 HP. (オンライン)2021 年 11 月 6 日. <https://www.maff.go.jp/j/press/nousin/tyozyu/attach/pdf/211126-1.pdf>.

ー. 農業農村における情報通信環境整備のガイドライン Ver.01. 農林水産省 HP. (オンライン)2022 年. https://www.maff.go.jp/j/nousin/kouryu/jouhoutsuushin/attach/pdf/jouhou_tsuushin-1.pdf.

武山絵美, 笹山新生, 野中仁智, 九鬼泰彰 樹園地周辺における耕作放棄地および防護柵がイノシシ生息地の集塊性・連結性に及ぼす影響 — 瀬戸内海島嶼部の柑橘栽培地域を対象として —. 出版地不明, 農業農村工学会, 2015. ページ:p. I_25-I_31, 農業農村工学会論文集 2015 年 83 巻 2 号. (IDRE).

福島県 福島県ニホンザル管理計画 (第 4 期計画). 福島県 HP. (オンライン)2020 年. https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/life/665385_1870170_misc.pdf.

ー. 令和 3 年度 鳥獣類による農作物の被害状況. 福島県 HP. (オンライン)2022 年. <https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/544574.pdf>.

望月翔太, 村上拓彦, 芝原知 樹林コリドーがニホンザルの農作物被害に与える影響. 出版地不明, 景観生態学, 2009. ページ:109-118, 景観生態学会誌 第 14 巻 2 号.

ー. 樹林コリドーがニホンザルの農作物被害に与える影響. 出版地不明, 景観生態学, 2009. ページ:109-118.

4. あとがき

DX人材や高度人材育成の動きが政府にあり、理工系学部再編に対する基金の活用が進められている。そのため、農業農村工学会では、JABEE認定大学に限らず、デジタル人材の育成はもとより、学術振興に務めていることを内外に知らせる必要があると考えたことから、2023/3/16の理事会において決議に至った。

この意味から、一般社団法人農業農村整備情報総合センターから委託を受けた「農業農村地域におけるDXに係る人材育成に関する調査検討業務」はまさに、この決議を裏付けるものとなった。

このような取組が、引き続き、デジタル時代をけん引する役割を願い、関係各位に厚く感謝申し上げます。

参考に決議文を次ページに示します。

緊急要望の議決について

農業農村工学会は3月16日に行われた第272回理事会において、関係機関に提出する以下の要望を議決しました。

緊急要望

農業農村工学は理工農系人材の育成に貢献する学術・教育分野です

2023年3月16日

公益社団法人 農業農村工学会 理事会

趣旨

文部科学省では、理工農系学部増を支援するため、3,000億円基金の活用を進めておられます。デジタルや脱炭素など成長分野の人材を育成する理工農系の学部を増やすため、私立大と公立大を対象に約250学部の新設や理系への学部転換を支援する方針と受け止めております。

農業農村工学会は、デジタル技術を活用して、「スマート農業の推進」、「農村にある社会資本の保全管理や流域治水などの防災・減災」、「再生可能エネルギーや生物多様性等地域資源を活用した自立分散型の農村」など気候変動、脱炭素、SDGsなどはもとより、現在喫緊の課題である「食料の安全保障強化」を直接的に支える学術・技術領域を担っています。そのため、農業や農村をフィールドとして、デジタル時代を支える技術開発と人材育成を推進しています。また、国家公務員総合職・一般職の独立した試験区分として国の施策を推進する人材の育成に努めています。特に、JABEE認定大学は、このような教育方針に加えてグローバル社会で我が国の未来を担う人材の教育プログラムに国際的評価を獲得しています。さらに、当学会では、コロナ禍を踏まえ学生の年会費免除や博士課程に進学する人材に研究費を支援するなど、デジタル技術を活用した次代の人材育成にも積極的な取組を行っています。

このようなことから、農業農村工学はデジタル技術を活用した成長分野に貢献する学術・技術領域であり、学部再編の拡充分野であることをご理解いただき、研究開発と人材育成に対する支援を強く要望いたします。

※現在農業農村工学が学べる主な大学は下記の36大学で、JABEE認定大学は太字の13大学です。

- | | |
|------------------------------------|---|
| 1 北海道大学 農学部 生物環境工学科 | 21 三重大学 生物資源学部 共生環境学科 農業土木学教育コース |
| 2 帯広畜産大学 畜産学部 畜産科学課程 農業環境工学ユニット | 22 滋賀県立大学 環境科学部 生物資源管理学科 水資源・水環境グループ |
| 3 弘前大学 農学生命科学部 地域環境工学科 | 23 京都大学 農学部 地域環境工学科 |
| 4 北里大学 獣医学部 生物環境科学科 | 24 大阪公立大学 農学部 緑地環境科学科 |
| 5 岩手大学 農学部 食料生産環境学科 農村地域デザイン学コース | 25 神戸大学 農学部 食料環境システム学科 生産環境工学コース |
| 6 福島大学 農学群食農学類 生産環境学コース | 26 近畿大学 農学部 環境管理学科 |
| 7 秋田県立大学 生物資源科学部 アグリビジネス学科 | 27 鳥取大学 農学部 生命環境農学科 国際乾燥地農学コース |
| 8 山形大学 農学部 食料生命環境学科 エコサイエンスコース | 28 島根大学 生物資源科学部 環境共生科学科 地域工学コース |
| 9 茨城大学 農学部 地域総合農学科 地域共生コース | 29 岡山大学 工学部 工学科 環境・社会基盤系 環境マネジメントコース |
| 10 筑波大学 生物資源学類 環境工学コース | 30 愛媛大学 農学部 生物環境学科 地域環境工学コース |
| 11 宇都宮大学 農学部 農業環境工学科 | 31 高知大学 農林海洋科学部 農林資源環境科学科 生産環境管理学領域 |
| 12 東京大学 農学部 環境資源科学課程 生物・環境工学専修 | 32 九州大学 農学部 生物資源環境学科 生物資源生産科学コース 生物生産環境工学分野 |
| 13 東京農工大学 農学部 地域生態システム学科 | 33 佐賀大学 農学部 生物資源科学科 食資源環境科学コース |
| 14 東京農業大学 地域環境科学部 生産環境工学科, 地域創成科学科 | 34 宮崎大学 農学部 森林緑地環境科学科 |
| 15 日本大学 生物資源科学部 生物環境工学科 | 35 鹿児島大学 農学部 農林環境科学科 地域環境システム学コース |
| 16 明治大学 農学部 農学科 農業農村工学分野 | 36 琉球大学 農学部 地域農業工学科 |
| 17 信州大学 農学部 農学生命科学科 森林・環境共生学コース | |
| 18 新潟大学 農学部 農学科 流域環境学プログラム | |
| 19 石川県立大学 生物資源環境学部 環境科学科 | |
| 20 岐阜大学 応用生物科学部 生産環境科学課程 環境生態科学コース | |

なお、この緊急要望に対応して、2023年度大会講演会ではシンポジウム（愛媛大学、2023年8月30日）を開催し、また学会誌では小特集を計画しています。