

■原著論文 (ノート)

スターリンクとメッシュネット Wi-Fi 技術を用いた
中山間農地のインターネット環境整備の実験Experiments on Internet environment improvement in mountainous farmland
using Starlink and mesh net Wi-Fi technology溝口 勝¹, 板倉 康裕²Masaru MIZOGUCHI¹, Yasuhiro ITAKURA²

要旨: 2011 年の原発事故から 14 年半が過ぎた。福島県飯舘村では 2017 年に避難指示が解除されたが、帰村して農業をする農家が少ないため、農地バンク制度を利用した他の自治体よりも速いペースで農地の集積化が進んでいる。現在、この農地の担い手として農業に従事しているのは飯舘村振興公社（農業部）である。しかし、集積化された農地の多くは山林に挟まれ、携帯電話の電波が悪く、最新のスマート農業機械の性能を十分に活用できていない。そこで本研究では、通信インフラのない水田で、スターリンクとメッシュネット Wi-Fi 技術を用いてインターネット環境を整備し、スマート農業を実践するための通信インフラを自ら構築する実験を行った。その結果、S 地区の集積農地では、約 2km の農業用水路の水門の状況をスマートフォンでリアルタイムに確認できるようになり、スマート農業が実践できる先進的な優良農地に生まれ変わった。この技術は、日本のスマート農業の推進に大きく貢献するものと確信している。

キーワード: スターリンク, メッシュネット Wi-Fi, 中山間地域, インフラ整備

Abstract: Fourteen and half years have passed since the 2011 Fukushima Daiichi nuclear disaster. In Iitate Village, Fukushima Prefecture, the evacuation order was lifted in 2017. Due to the limited number of farmers returning, farmland consolidation and centralization are progressing faster than in any other municipality in Japan. The Iitate Village Promotion Public Corporation (Agriculture Department) has led the management and cultivation of this land. However, many of the consolidated farmlands are located in mountainous and forested areas, where cellular reception is poor and the latest smart agricultural machinery cannot be fully utilized. In this study, we conducted an experiment to establish an internet environment in rice paddies lacking communication infrastructure, using Starlink satellite internet and mesh Wi-Fi technology. Our goal was to develop an independent communication infrastructure to support the implementation of smart agriculture. As a result, in the consolidated farmlands of District S, the status of water gates along an approximately 2-kilometer agricultural irrigation canal can now be monitored in real time via smartphone. The area has thus been transformed into an advanced model of farmland where smart agriculture is feasible. We believe that this technology has the potential to accelerate the adoption of smart agriculture in Japan.

I. はじめに

2011 年の原発事故から 14 年半が過ぎた。飯舘村では 2011 年 4 月に全村民に対して計画的避難指示が発令され、2017 年 3 月末に避難指示が解除されたが、帰村して農業をする農家が少なくために農地バンク制度を利用した他の自治体よりも速いペースで農地の集積化が進んでいる。現在この農地の担い手として飯舘村振興公社（農業部門）が農業に取り組んでいる。しかし、集積農地は山林の合間にあるために携帯電話の電波が届かないところも多く、最新のスマート農業技術を標準装備した農業機械の性能を十分に利用できていない。溝口らは既存のインターネットを Wi-Fi 中継器のアンテナを見通せるように配置することにより中山間地域のフィールドに拡張できることを実証した（溝口ら, 2024）。そこで、本研究では最近注目されているスターリンク衛星インターネットの基地局を中山間地域の農地に導入し、そこからメッシュネット Wi-Fi 技術を用いて集積化された水田全域に Wi-Fi を展開し、Wi-Fi カメラによる農業用水の水門や水田に出没する動物の遠隔モニタリングなど、スマート農業を実践するための通信インフラを構築した。

¹ 東京大学大学院農学生命科学研究科 ² (有) ミサオネットワーク¹ Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo ² MisaoNetwork Ltd.

Corresponding Author*: mizo@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

2025 年 7 月 26 日受理。

II. 実験の方法

飯舘村 S 地区の集積化された水田（約 12ha）の畦畔の一角にスターリンク衛星インターネットの基地局を設置し（図 1）、Wi-Fi 通信網（図 2）を展開した。

1 スターリンク衛星インターネット基地局

スターリンク (Starlink) は、SpaceX が開発した低軌道衛星を利用したブロードバンドインターネットサービスで、山間部や海上など従来の通信インフラが届きにくい場所でも安定した通信ができる。表 1 は 2025 年 7 月現在のスターリンクのサービス一覧、表 2 はその月額料金である。本実験では標準のスターリンクを水田の畦畔に導入した。（図 2 中の赤色印）ただし、水田には商用電源がないので 100W の太陽光パネル 4 枚で電力を供給する電源 BOX を併設した。スターリンクから屋外用アクセスポイント AP (EAP225-Outdoor, TP-Link 社) に PoE 対応の LAN ケーブルで電力を供給し、AP のアンテナを約 3m の高さの支柱に固定した。

2 メッシュネットワーク Wi-Fi 中継器

基地局から 2 系統（経路 a と経路 b）で溝口らの方法（溝口ら, 2024）と同様に 6 台（経路 a に 3 台、経路 b に 3 台）の Wi-Fi 中継器を設置した。（図 2 中の黄色印）中継器は AP・リチウムイオン電池・太陽光パネル（50W）で構成され、総重量が 10kg 程度なので簡単に移動できる。単管パイプとアンテナ用の支柱を水田の畦畔に立て、太陽光パネルを設置した後に AP アンテナを約 3m の高さに固定した。スターリンク基地局と Wi-Fi 中継器および Wi-Fi 中継器間の距離と Wi-Fi 信号強度の関係を表 2 に示す。経路 b では当初 b2→b3→b1 の順番に Wi-Fi をつないでいたが、メッシュネットワーク方式で Wi-Fi をつないでいるために、設置後にスターリンク基地局 S0 から b3 に直接 Wi-Fi がつながる経路 c ができた（図 3）。

3 Wi-Fi カメラの設置

集積化された水田には約 2km の農業用水路があり、その数か所に水管理用の水門が設置されている。これまで振興公社の現場担当者は水管理のために携帯電波のないこれらの水門を見に来る必要があった。また、水田には周辺の山林からイノシシやカモシカなどの動物が出没する。そこで本実験では水門や山林近くの畔に木杭を打ち込み、そこにソーラー付きの Wi-Fi カメラ（Agus 3 Ultra, Agus PT Ultra; Reolink 社、図 2 中の青色印）を 12 台設置した。このカメラには PIR（Passive Infrared Ray；受動赤外線センサー）機能があり、micro-SD を挿入しておくことで動物や人の温度を検知して、自動的に数秒間の動画を記録する。また、タイムラプス機能を使えばイネの成長の動画を作ることできる。これらの動画データはリモートで自分のスマホにダウンロードできる。

4 気象計の設置

周囲が山に囲まれているためにこの地区の水田は風の通り道になりやすく、局所的なゲリラ豪雨に見舞われることがある。そこで局所的な気象の変化を監視するために基地局に気象計 ATMOS41 (METER 社) と Wi-Fi 対応型データロガー ZL6 (METER 社) を設置した。Wi-Fi 対応型にしたのはこの地域では携帯電波がほとんど入らないからである。（標準的な ZL6 は 4G の携帯電波を利用してデータを定期的にクラウドサーバに送信する）

III. 結果と考察

1 スターリンク衛星インターネット基地局

スターリンク衛星インターネットは昼夜に関係なく平均で 50-75 W の電力を消費する。24 時間の電力消費量をソーラーパネルだけで賄いきれない。そこで、本実験では電源 BOX にタイマーをつけて電池残量に応じて任意の時間帯に ON-OFF できるようにした。基本的に農作業管理は昼間に限られているので、現在は朝 6 時から夜の 21 時までの 15 時間をオンにしている。しかし、現場担当者からは「夜間に豪雨がある場合もあるので現場を管理する夜中も水田が見えるようにしてほしい」との要望がある。この要望に応えるためには、ソーラーパネルをさらに増やして 24 時間稼働できるようにするか、突然の豪雨があった時だけインターネットを遠隔で ON にするような機能をつける必要がある。

2 メッシュネットワーク Wi-Fi 通信の確認

メッシュネットワーク Wi-Fi 通信の状況は Omada クラウドコントローラー (TP-LINK OC200, TP-Link 社) 用のスマホアプリを使って現場で確認でき、接続機器のトポロジーマップで Wi-Fi 中継器やカメラの接続ルートを一覧できる（図 3）。また、Wi-Fi 中継器や作業員のスマホの接続状況も確認できる（図 4）。表 3 に Wi-Fi 中継器の AP 間の距離 (m) と信号強度 (dBm) の関係をまとめた。

3 Wi-Fi カメラ

スターリンクが ON になっている時間帯であればスマホや PC を使ってリアルタイムで Wi-Fi カメラで水門や水田の状況を確認できる (図 2)。若い現場管理者のスマホに Wi-Fi カメラ用のアプリを入れて使い方を教えたところ、「自宅から水田や水門の様子を見ることができて便利になった」との感想をもらえた。今では、水門カメラを自分で好みの位置に移動して利用してくれている。さらには、「水門を自動で操作できるとありがたい」との意見をもらっている。水門の自動操作に関しては、数々のスピンドル方式による水門制御装置が市販されているので、予算規模に応じて適当な製品を選べば、スターリンク衛星インターネット基地局に LoRa の基地局を繋ぎ、水田の水位データを見ながら水門を遠隔操作できるようになる。

ちなみに、図 5 は中干期間中の夕立直後に農業用水路を流れる雨水とその翌日の水門の様子である。中干期間で空になっていた農用水路に雨水が流れ込んで、水門に塵芥が集積している様子がスマホを使って確認できる。

4 気象観測データの取得

図 6 は ATMOS-41 で観測された気温・風速・降水量・日射量である。本実験で携帯電波が入らない場所でも Wi-Fi 版データロガーを使えばデータを取得できることを確認できた。ただし、現時点では 1 日 15 時間 (6:00-21:00) を ON, 9 時間 (21:00-6:00) を OFF にしてスターリンクを運用している。そのため、OFF の時間帯もデータを送信しようするためにデータロガーの電池消耗が激しく、5 日程度で通信が途絶えることを何度か経験した。この問題は OFF の時間帯はデータ送信しないようにすれば解決できる。現在、データロガー開発メーカーに Wi-Fi 版ロガーのソフトウェアの改良を依頼している。

IV. 中山間地域における通信インフラ整備のモデル

2024 年 6 月に農業の生産性の向上のためのスマート農業技術の活用に関する法律 (スマート農業技術活用促進法) が成立し、10 月に施行された (農林水産省, 2024)。また、農林水産省は 2020 年度から「農業農村インフラの管理の省力化・高度やスマート農業の実装を図るとともに、地域活性化を促進するため、情報通信環境の整備を支援する事業」を実施し、「農業農村における情報通信環境整備のガイドライン」を作成した (農林水産省, 2024)。こうした中、本実験ではガイドラインに紹介されているような大規模な通信インフラ整備をしなくても、スターリンク衛星インターネットを導入し、Wi-Fi 中継器を数百メートル間隔で設置することで携帯電波が入らない水田で Wi-Fi が使えるようになることを実証してみせた。

未来の圃場整備事業では従来の土と水のインフラ整備に加えて、スマート農業を展開できる通信のインフラ整備し、農地としての付加価値を高めることが重要である。そうした意味で、本研究の成果は日本全国に存在する中山間地域の農地における新しい圃場整備のモデルになりうる。

V. おわりに

本実験では電源と携帯電波がない農地にスターリンク衛星インターネットを導入し、それをメッシュネットワーク Wi-Fi 技術を使って 12ha の農地全体に展開した。これにより集積化された S 地区の農地では、水・土に加えて情報のインフラも整備され、スマート農業を実践できる先端優良農地となった。なお、対象農地近くに電源のある公民館や民家がある場合にはそこにインターネットを導入してそれを展開することでコストを低く抑えられる。このように農地の立地条件に応じて最適なインターネットの展開方法を選べば耕作放棄地を含む他の地域でも遠隔での農地管理が可能となる。この技術は、日本のスマート農業の推進に大きく貢献するものと確信している。

謝辞:

本実験は福島イノベーション・コースト構想推進機構が実施している「大学等の「復興知」を活用した人材育成基盤構築事業」の一環で実施した。また、本実験を実施するにあたり飯舘村役場や一般財団法人飯舘村振興公社の方々にも多大なるご協力を頂いた。ここに記して謝意を表する。

【専門用語解説】

信号強度(dBm): デシベルミリワット、電波信号の強さを表す単位。

AP (アクセスポイント): 無線 LAN の接続拠点となる装置。

micro-SD: 小型のフラッシュメモリーカード、データの保存に使用。

PIR 検知機能: 赤外線を使って人や動物の動きを検知する技術。

PoE (Power over Ethernet): LAN ケーブルを通じて電力を供給する技術。

スターリンク衛星インターネット: スペース X 社の衛星ネットワークによるインターネットサービス。

参考文献

農林水産省 2024. スマート農業技術活用促進法について <https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/houritsu.html> (最終閲覧日: 2025 年 7 月 19 日)

農林水産省 2024. 農業農村における情報通信環境整備のガイドライン (Ver.2.01) https://www.maff.go.jp/j/nousin/kouryu/jouhoutsuushin/pdf/jouhou_tsuushin-80.pdf (最終閲覧日: 2025 年 7 月 19 日)

谷口純一郎 2025. 非常時の通信手段 ～Starlink Mini で始める衛星通信, https://www.idnet.co.jp/column/page_385.html (最終閲覧日: 2025 年 7 月 19 日)

溝口勝・板倉康裕. 飯館村におけるフィールド Wi-Fi 拡張実験, 復興農学会誌, Vol.4 No.2, p8-13 (2024)

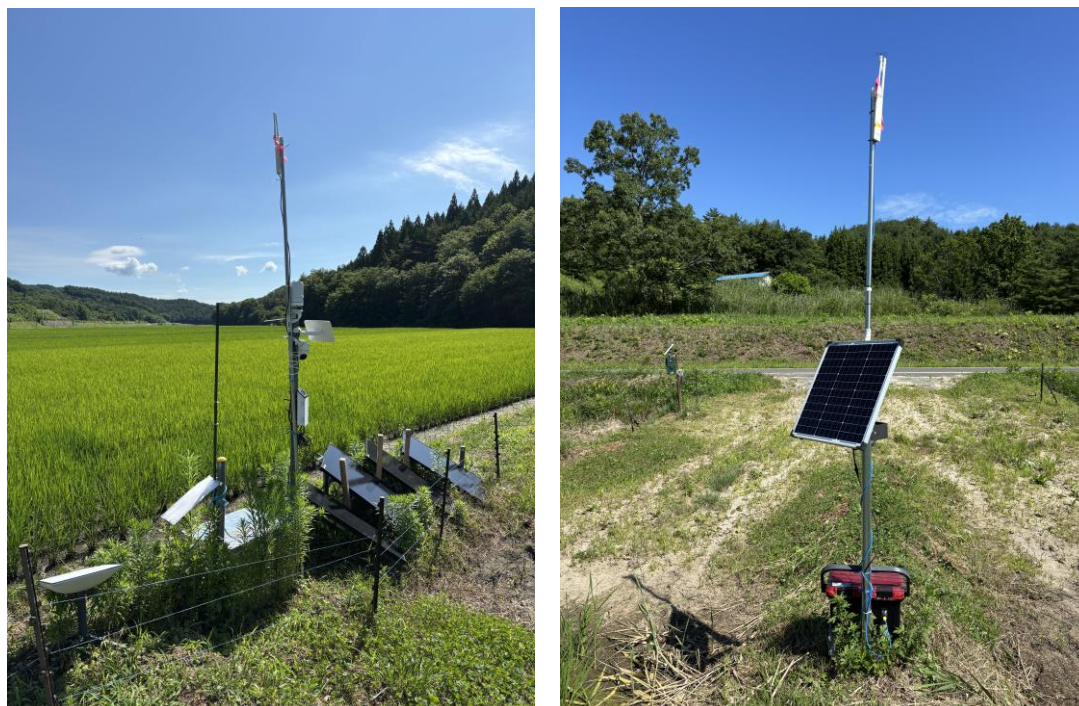


図1 スターリンク衛星インターネット基地局 (左) と Wi-Fi 中継器 (右)



図2 スターリンク基地局からの Wi-Fi 通信網と Wi-Fi カメラ画像
スターリンク基地局 (赤色), Wi-Fi 中継器 (黄色), Wi-Fi カメラ (青色)

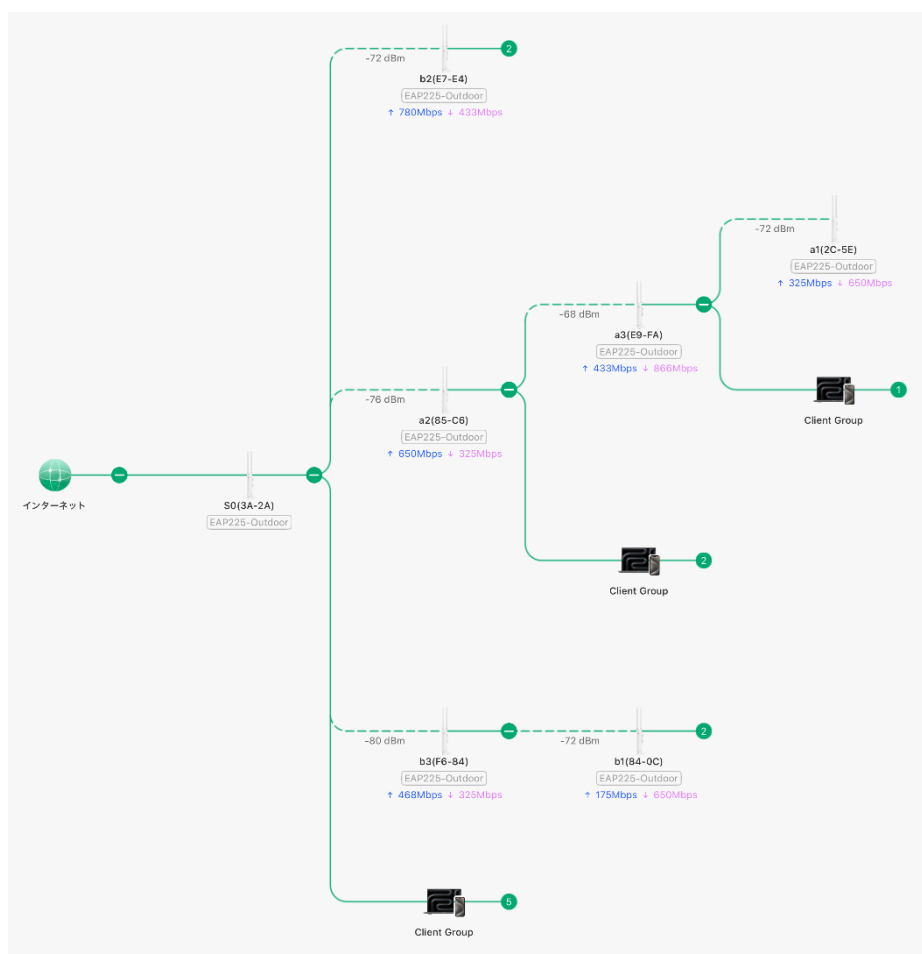


図3 Omada スマホアプリによる Wi-Fi 中継器と Wi-Fi カメラの接続状況の確認

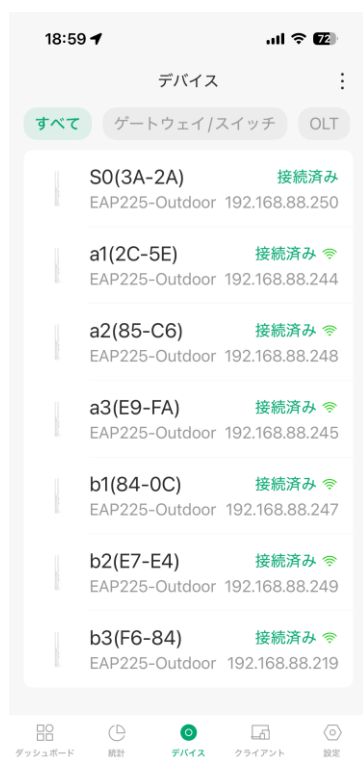


図4 Omada スマホアプリによるデバイス(左)とクライアントの確認(上). 現場作業員が現場でスマホを利用していることもわかる(san-noS2).

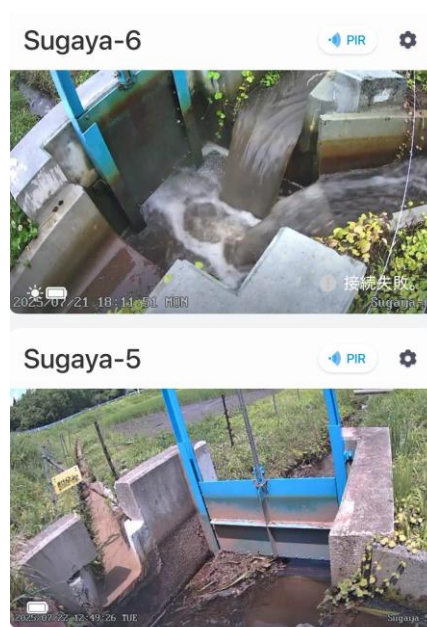


図5 7月21日16:30頃の夕立直後の農業用水路(上)と翌日の水門(下)の様子.

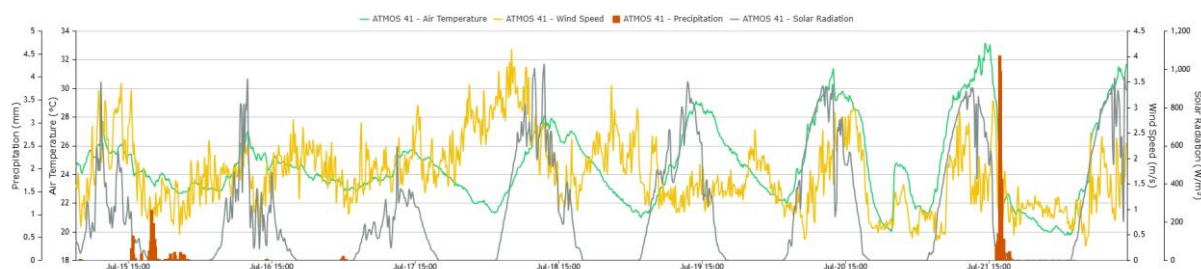


図6 観測中の気象データ（気温・風速・降水量・日射量）
7月21日16:30頃に現地で雷雨があったことがわかる。

表1 スターリンクの比較表（谷口,2025）

項目	Starlink 標準	Starlink Mini
サイズ（縦）	59.4 cm	29.85 cm
サイズ（横）	38.3 cm	25.9 cm
重量（本体のみ）	2.9 kg	1.1 kg
重量（スタンド込み）	3.2 kg	1.16 kg
ルーター	外部	内蔵
WiFi世代	WiFi 6	WiFi 5
電源仕様	100～240V、2.5A	100～240V、1.6A
平均消費電力	75～100 W	25～40 W
ハード費用	55,000 円	34,800 円

表2 スターリンクの月額料金（谷口,2025）

プラン名	通信費用／月	通信量／月	その他
Residential Lite	4,600 円	無制限	固定配置, 速度 50～100 Mbps
Residential	6,600 円	無制限	固定配置
Roam – 10 GB	1,500 円	10 GB まで	全国サービス, 沿岸・海外移動利用, 一時停止可能
Roam – 50 GB	6,500 円	50 GB まで	
Roam – Unlimited	11,500 円	無制限	

表3 AP間の距離 (m)と信号強度 (dBm)

経路a	S0	<421>	a2	<250>	a3	<211>	a1
信号強度(dBm)		-76		-68		-72	
経路b	S0	<396>	b2				
信号強度(dBm)		-71					
経路c	S0	<700>	b3	<325>	b1		
信号強度(dBm)		-80		-75			

<数字>はAP間の距離(m) 信号強度(dBm)は天候によって±2程度変動する