

# 棚田地域におけるスマート農業技術を用いた持続可能な営農環境整備に関する基礎的検討

## Basic Study on Sustainable Farm Development in Mountainous Region by Using Smart Agriculture Technology

山 田 順 之

### 要 約

棚田は、食糧生産に加え災害防止や文化的景観保全など多面的機能を発揮している。しかし、中山間地域に立地する棚田は、平地部の農地と比較して小規模かつ不整形であり、水利施設や道路、通信ネットワークなどのインフラが充分整備されておらず、荒廃の危機に直面している。今回、棚田地域における持続可能な農業経営支援を目的として、生産性向上技術として期待される UAV や ICT を利用したスマート農業技術の実証実験を実施した。本報では主に、省力・軽労化技術およびセンシング技術の適用成果と棚田地域における技術適用の課題を紹介するとともに、次世代に向けた営農環境整備のあり方を議論する。

### 目 次

- I. はじめに
- II. センシング技術の開発
- III. 省力・軽労化技術の開発
- IV. おわりに

#### I. はじめに

我が国の7割を占める中山間地域において、山の斜面や谷間の傾斜地に階段状に作られた水田を棚田と呼んでいる。棚田では生活用水の混ざらない清らかな水を利用し、昼夜の温度差と相まって高品質の米を生産できるほか、降雨水の一時貯留による洪水を抑制する機能、圃場周辺の維持管理作業により地割れなどを抑制し土砂災害を防止する機能、さらには、自然と調和した美しい農村風景の魅力により観光産業の面から地域経済に貢献している。つまり、棚田は、食糧生産ならびに美しい景観保全、国土保全といった多面的機能を有する国民共通の財産と位置付けることができる。

しかし、平地と比較して小規模かつ不整形で、通信や交通などのインフラが充分整備されていない棚田地域では、周辺の立ち木による日射阻害や渇水期の水不足、盛土地盤の沈下による作土面の不陸発生など生産条件が不利となっている。そのため棚田地域での営農は平地と比べ大きなコストを要し、農業の担い手の減少も相まって、棚田の利活用が困難と

なる地域が増加している。棚田が作付けされず放置されると数年後には圃場に木本類が繁茂し、さらにはモグラやネズミが穴を掘り地下水浸透が早まるため地滑りのリスクが高まる。このような棚田の耕作放棄は全国的に発生しており、我が国の棚田地域は荒廃の危機に直面しているといえる。

これらの課題の解決策として、農業の生産性を向上させる UAV や ICT を利用した「スマート農業技術」が注目されている。スマート農業技術は生産性の高い平地の大区画圃場での適用実績が増加しているが、棚田地域への適用は十分に検討されていない。そこで、棚田地域における持続可能な営農環境整備の方向性を検討することを目的として、棚田が広く分布する新潟県十日町市の圃場（Photo 1）を対象として、農林水産省が実施した令和2年度「スマート農業実証プロジェクト」に参加した。



Photo 1 十日町市内の棚田  
(Terraced Rice Paddies in Tokamachi City)

**キーワード：**棚田，スマート農業，ICTブルドーザ，LPWA，UAV  
**Keywords：**rice terraces, smart agriculture, ICT bulldozer, LPWA, UAV

本論文では、省力・軽労化技術およびセンシング技術の適用結果とスマート農業技術に対応した今後の圃場整備の方向性に関して報告する。

## II. センシング技術の開発

### 1. LPWA を活用したモニタリング・安全対策

#### (1) 概要

移動通信サービスの基地局は都市部を優先して整備されてきたため、人口が少ない棚田地域では通信電波が受信できないエリアが多い。棚田地域では作業の省力化を図るための気象や水位の遠隔監視技術が期待されるが、通信ネットワークが未整備な場所では情報の伝達手段がなく技術導入の課題となる。加えてこのエリアの主要産業である林業ならびに農業では、作業中の事故や怪我等緊急事態に対応するために複数人による共同作業が強いられる事が多い。そこで、低消費電力で広い領域を対象とした無線通信技術である Low Power Wide Area (以下 LPWA) に注目した。LPWA は低消費電力のため小型太陽光発電のみで持続的に稼働し、電池交換などが不要になる可能性が高い。しかし、無線通信であるため、地形や立木の影響を受けやすく棚田地域での利用には工夫が求められる。本研究では棚田地域における LPWA を利用した無線通信ネットワークの実証実験を実施した。

#### (2) 実験方法

実験に用いる LPWA に対応した一体型センサとして、アンテナ、発電装置、バッテリー、温度や湿度など7チャンネルのモニタリングセンサなどが一体となった装置（以下、一体型センサと称する）を採用した。この一体型センサは、ソーラー発電を利用し電池や給電なしで作動可能であり、また小型（幅 35mm×厚み 16mm）で軽量の装置であるため、降雪量が多い地域で冬期の損傷を避けるための装置の撤去と設置が容易にできる。この一体型センサは無線での送受信が可能であるため、各々が中継器となるように、保護カバーを付け一定間隔で設置した（Photo 2 および Fig.1）。また、携帯基地局と接続可能な場所に携帯通信網と接続するためのゲートウェイを設置することにより、携帯圏外の実験エリア内における通信ネットワークの確立を試みた。一体型センサは農作業に支障がなく、立木や斜面の影響を受けない見通しの良い場所を選定し、地上約 1.8m の高さに設置した。

棚田地域では斜面上に圃場が点在しているため、平地と比較して水位や水温の確認作業の負担が大きい。そのため本検討では作業の省力化にむけ水位・水温センサを LPWA 通信ネットワークに組み込み、水位・水温データを圃場から離れた場所においても遠隔監視するシステムを試行した。水位・水温センサは圃場の隅に設置し、一体型センサと有線で接続の上、通信データ容量を抑えるため 1 時間ごとにデータを送信する設定とした。

また、高齢者や女性を含む作業者の携帯圏外となるエリア

での安全の確保が課題となっている。実験に参加した農業法人では過去に体調を崩した作業者の救護に 4 時間を要した経験があり、それ以来共同作業を基本とした作業計画が実施されている。そのため、LPWA 通信ネットワーク内の作業において、Bluetooth を用いて作業者の位置情報の確認や緊急時の通報を可能とする見守りシステムを試行した。Photo 3 に通信用の小型端末を示す。本端末を用いて他の作業者に対して簡単な定型文の送信やボタンによる SOS 発信が可能であることに加えて、端末装着者がいつこのセンサ付近に滞在したかの履歴を記録できる仕様とした。実験ではシステムの有効性を検証するため、作業者が圃場において身動きが取れなくなる緊急事態を想定した緊急時訓練を実施した。



Photo 2 一体型センサおよび送信機設置状況  
(Integrated Sensor and Transmitter Installation Status)

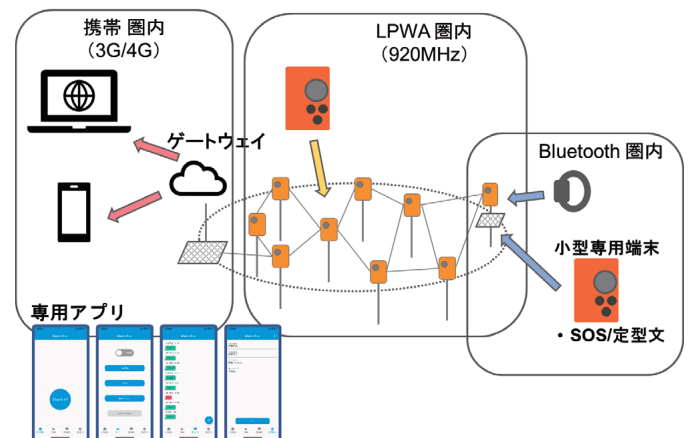


Fig.1 LPWA 通信ネットワーク  
(LPWA Communication Network)



Photo 3 見守りシステム用小型端末  
(Small Terminal for Monitoring System)



### (3) 結果

2020年および2021年の6月から降雪前の10月までLPWA通信システムを設置した。対象エリアは給電施設が存在しないため、ゲートウェイにのみ太陽光発電パネルとバッテリーを設置し、一体型センサは支柱を利用して40m～60m程度の間隔で18基設置した。一体型センサの設置に要した時間は、水位・水温センサの設置や動作確認も含め1か所あたり10分程度であった。水位・水温に関するデータは、実験期間中ほぼ問題なく受信でき遠隔地からスマートフォンなどを利用したモニタリングを実施できた。この結果、離れた圃場へ水位確認のために移動する頻度が減少し、水管理にかかる作業時間を従来と比較して約26%短縮できた。

見守りシステムを利用した緊急時訓練では、離れた圃場で一人作業時に身動きが取れなくなったとの設定で、SOS信号を発信し、その信号を受信した他の作業者がアクセス履歴から発信位置を探し出して救護するまでの時間を計測した。その結果、SOS信号発信から20分で他の作業者が発信場所まで救護に駆け付けることができた。これはシステム導入前と比較して大幅な時間短縮となる。

### (4) 考察

携帯圏外となるエリアの多い棚田地域においてLPWAを用いた一体型センサを用いて通信ネットワークを確立でき、水位・水温のデータなどを遠隔地においてもモニタリングできた。将来的には水位のモニタリングデータを蓄積することにより、圃場の漏水発見などにも活用できると考えられる。今後は斜面安定の監視などへの展開も検討していきたい。また、この通信ネットワークは、作業者の見守りシステムにも活用でき、担い手不足の中、共同作業が困難なケースでの作業の安全確保に効果を発揮できると考えられる。今後、バッテリー持続期間の改善やモーションセンサによる転倒感知などの機能も組み入れて、利用面でのメリットを拡充していく計画である。

## 2. UAVによる地形把握手法の開発

### (1) 概要

棚田地域では圃場が斜面上にあり、形状が不均一のため目視による作付土面の不陸の把握は困難な状況である。加えて、周囲の立木や傾斜などの影響をうけ、測量にかかる負担が平地よりも大きくなるため、営農環境整備を進める上で課題となっている。そこで棚田地域における地形把握の省力化手法として、近年活用が広がっている小型のUAV(Unmanned Aerial Vehicle)を用いた写真測量の実証実験を実施した。小型のUAV(Photo4)は自動車などで機体の運搬がしやすく、離着陸に広い敷地を要しないため棚田地域における運用性が高いと考えられる。動力は電気モーター式でメンテナンスが容易であり、導入コストも低い。

### (2) 実験方法

従来、UAVによる空中写真撮影では、後続作業の空中三角測量の実施に必要となる水平位置および標高の基準となる複数の対空標識(標定点)を設置し、その座標を測量する必要がある。この測量には測量機材や測量技能、測量時間が必要となる。そこで、標識設置および測量手間の合理化を図るため、設置後30分程度で誤差10cm以内の精度での自動測位が可能であるGNSS内蔵型の対空標識(Photo5)を採用した。画像解析では圃場の形状などを把握するためにラップさせて撮影した画像を活用し、オルソ画像および三次元モデルを作成した。今回の調査対象とした圃場12か所は面積230㎡～1570㎡と差異があり、撮影枚数は1圃場当たり115枚～203枚であった。また、解析にはクラウド型のドローン計測データ解析サービスを利用した。これにより、高価な解析ソフトウェアの購入を必要とせず、また、クラウド上でデータ処理が行われるため高性能PCを利用することが不要となった。



Photo 4 撮影用ドローン  
(Drones for Photography)



Photo 5 GNSS内蔵対空標識設置状況  
(Installation of Anti-aircraft Sign with Built-in GNSS)

(3) 結果

棚田の不陸を均平作業の実施前後で把握することを目的として計測した結果を Fig.2 に示す。従来は、圃場に導水した上で、水面との位置関係を目視確認し均平性を把握していたが、風などの影響により 10cm 以上の誤差が発生するケースもあった。一方、本手法では 1~3cm レベルの誤差で高低差を確認できた。また、高低差の偏りを視覚的に把握することができるため、ブルドーザなどによる均平作業実施の参考情報として有効に活用できた。さらに、圃場への導水が困難な渇水期などにも均平精度の把握が可能となった。

(4) 考察

今回の検討で GNSS 内蔵型対空標識の設置にかかった時間は計 1 時間程度であった。従来手法では設置と測量に約 1 日程度の作業を要していたことを考えると、作業時間とコストを大幅に削減可能であることが示された。また、傾斜地での作業を減少させるため作業安全性の向上にも貢献していると考えられる。さらにクラウド型解析システムではクラウド上で自動的に処理解析が行われることから、解析時間やコストの削減ならびに専門知識を有しない者でも対応可能であることを示すことができた。

Ⅲ. 省力・軽労化技術の開発

1. ITC 建機を利用した均平化

(1) 概要

棚田では、土質や地下水脈が一樣ではないことによる不等沈下、不整形圃場の狭隘箇所における作業機の旋回や湧水に起因する特定箇所の軟弱化など、様々な理由から作付面の均平精度を保つことが難しくなっている。また、一般的な均平作業は圃場への導水が必要であり加えて誤差が大きい。均平が取れていない圃場では農薬や肥料の均一散布や、水深管理による雑草防除などが困難となるため、均平化の精度向上は収量・品質上の大きな課題となっている。この課題に対応する一つの手法として、レーザレベラを利用した高精度の均平作業が考えられる。しかし、農機のアタッチメントとして利用されている直装式や牽引式のレーザレベラでは棚田地域で主に使用されている小型農機への装着が難しく、不整形な圃場での使用には適していない。そこで、農機と比較して作業効率や耐久性に優れた建機を用いた均平化実験を実施した。利用した ICT ブルドーザを Photo 6 に示す。本ブルドーザは全長 4745mm、排土板 2490 mm、機械質量 5535kg、接地圧 29.8kPa(0.30kgf/cm<sup>2</sup>)と小型で低接地圧であるため、湿潤状態の圃場などでも比較的自由に走行が可能である。このブルドーザの排土板上部にレーザレベラ受光器を取り付けるとともに、圃場近くの作業エリアが見通せる場所にレーザレベラを設置した。

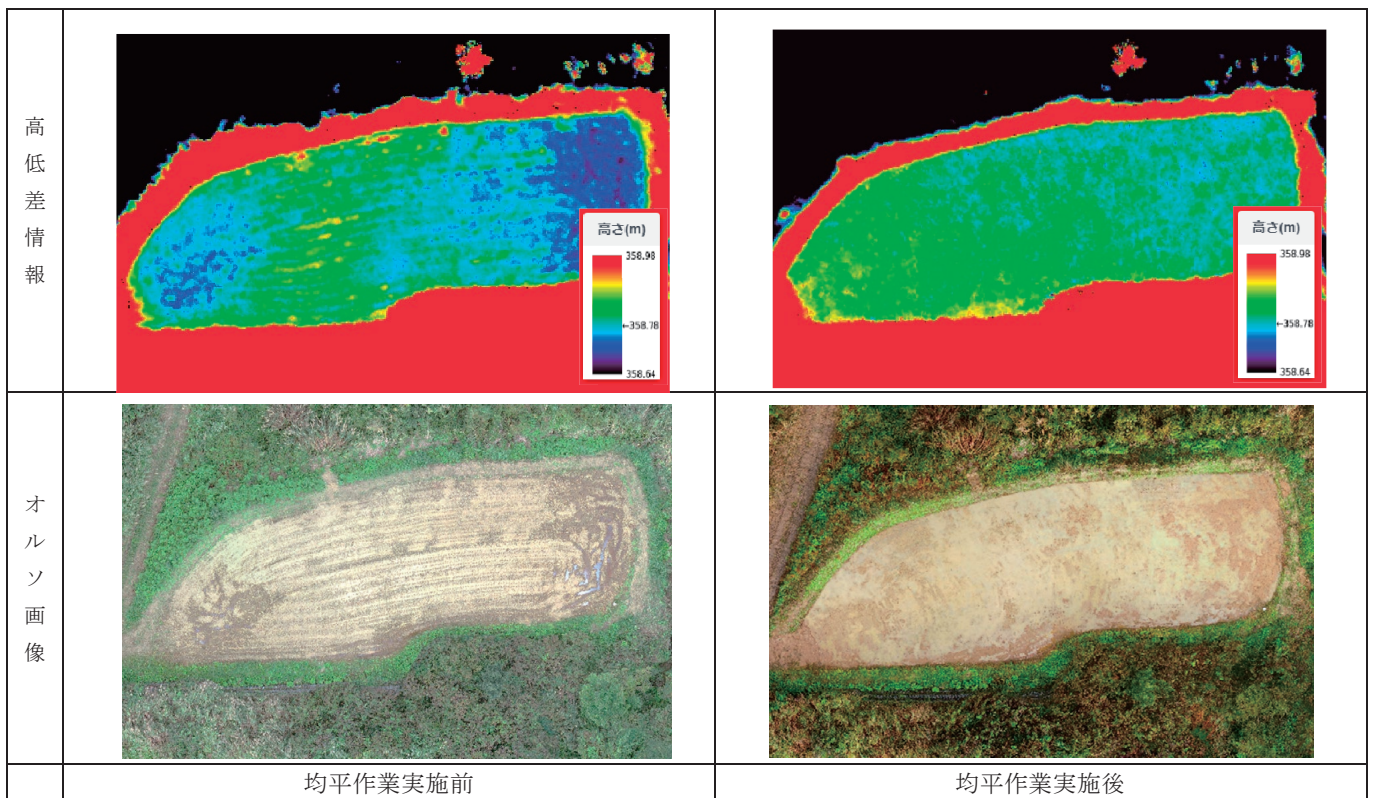


Fig.2 均平作業実施前後の高低差情報とオルソ画像  
(Elevation Difference Information and Orthoimages before and after Leveling Operations)





Photo 6 ICTブルドーザ  
(ICT Bulldozer)

### (2) 実施方法および結果

均平作業は、対象圃場の稲刈りが終わった10月に実施した。まず、現地にて圃場の仕上がり基準高を設定し、レーザレベラ受光器を用いて排土板の高さを調整した。その後オペレータがレーザレベラ受光器の表示に従い排土板を操作しながら均平作業を実施した。均平作業実施前後に実施したドローン計測結果を Fig.2 に示す。今回の実験では高低差 3cm 以内で作土面を仕上げることができた。特に、高低差の偏りを目視で判断するのではなく受光器の表示で把握することができるため、円滑な均平作業実施が可能となった。

### (3) 考察

均平作業の運土能力は農機であるトラクタと比べブルドーザが優れている。また、圃場への導水が困難な時期も実施可能であり、気候や天候に左右されることの多い農作業のスケジュールにも柔軟に対応できると考えられる。加えて建機は畔・法面の補修や冬場の除雪作業など幅広い用途で使用でき、農業経営上の利点となると考えられる。一方、建機の購入には農業対象の補助金制度が限られること、レンタルする場合に圃場への運搬コストが発生すること、さらには建機のオペレータの不足などの課題があるため、地域の建設事業者との連携や技術研修などに取り組む必要があると考える。

## 2. 電動リモコン草刈機を用いた除草

### (1) 概要

平地と比較して急傾斜地に立地する棚田地域の畦畔法面は圃場全体面積に占める割合が高くなっている。畦畔法面の除草作業は一般的にエンジン式の刈払機を用いており、除草作業が最も多忙となる夏季の熱中症や斜面上での作業による負傷・死亡災害のリスクを伴う課題の多い作業となっている。

十日町市内の棚田地域では、女性や定年帰農者などの未熟練者を含む少ない人員で除草作業を行う必要があり、除草作業の軽労化や安全性向上は大きな課題となっている。そこで、取り扱いが容易で、作業機械から離れた場所で操作が可能となる電動リモコン草刈機を選定し、導入効果の検証とともに、

同機の棚田地域での普及の課題を抽出した。Photo 7 に使用機器を示す。

### (2) 実施方法

選定した電動リモコン草刈機は本体と草刈りアタッチが分かれており、草丈に応じて草刈りアタッチを上下に動かすことのできる特長を有する。フル充電時の連続作業時間は約 120 分、作業限界斜度は 35 度となっている。

実験では、刈払機と電動草刈機の比較実験を行うため、草刈機の作業限界に近く、区画間段差が 3m 以上ある畦畔法面 (Table 1) を選定し面積、斜度、植生などの条件がほぼ等しくなる実験区を設定した。

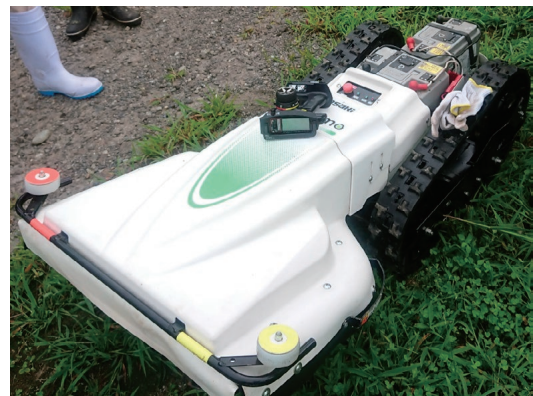


Photo 7 電動リモコン草刈機  
(Electric Remote-Controlled Mower)

Table 1 対象法面の諸元  
(Dimensions of the Slope)

場所	新潟県十日町市清水1950付近	
対象法面面積	234m <sup>2</sup>	
刈払機除草試験区		114m <sup>2</sup>
電動リモコン草刈機除草試験区		114m <sup>2</sup>
平均法面斜度	31.6度	
平均土壌硬度	13.8mm (山中式標準土壌硬度計測定値)	



Photo 8 電動リモコン草刈機による除草作業  
(Weeding with Electric Remote-Controlled Mower)

### (3) 結果

実験区において同時に除草を実施し、作業時間や仕上がりなどの比較を行った。その結果、刈払機による除草に13分、電動リモコン草刈機による除草に20分を要し、今回の条件下では刈払機が作業時間上は優位となった。Photo8に電動草刈機による作業状況を示す。また、作業者にヒアリングした結果、危険な法面中央部の除草時も、電動リモコン草刈機は法面天端もしくは下部の足場の良い場所から操作でき、刈払機と比較して安全性が高く、疲れにくいとのコメントがあった。

### (4) 考察

作業時間に関しては実験に参加した作業員が電動リモコン草刈機の操作に慣れていない面を考慮すれば、今後同等レベルとなる可能性もあるためさらなる検証が必要となる。また、現在の圃場整備における設計基準は最も斜度の緩い畦畔法面で1:1.5(33.7度)となっており、今回使用した電動リモコン草刈機の作業限界である35度に近い。棚田の畦畔法面は積雪や湧水なども影響し、勾配が一定でなく作業が難しいエリアが存在した。また、表層が軟弱で不陸が多い法面も作業が困難であった。今後、圃場の作付け面積を減少させながら法面を緩勾配化し、次世代型草刈機の導入が推進できる、技術の進歩に対応した新たな圃場整備基準が必要になると考えられる。

### IV. おわりに

今回、棚田地域において各種スマート農業技術を活用することで、管理作業の省力・軽労化やセンシング技術による品質や収量向上、安全性の改善などに一定の成果があることを明らかにすることができた。一方、このような技術を棚田地域に導入するためには、水理施設や交通インフラの整備に加

え、棚田地域の特徴に適応した通信インフラなどの整備が必要であることが示された。特に、棚田地域において地域独自の仕様で整備された圃場ではスマート農業技術を導入することが難しいエリアも出てくるため、畦畔の勾配や圃場の形状や規模などを見直し、次世代型の圃場整備仕様の在り方について議論を深める必要がある。

2019年に議員立法により棚田地域振興法が成立するなど、我が国においても棚田地域に対する支援の動きが活発化している。当社も建設業で培ったスマート生産技術などのノウハウを活用して、棚田地域における持続可能な営農環境整備に関する研究を深めていきたい。

### 謝 辞

本研究の一部は、農林水産省スマート農業技術の開発・実証プロジェクト「課題番号：水2D04 棚田地域の多様な条件不利圃場におけるスマート農業技術を活用した持続可能な営農技術体系の実証」の助成を受け実施したものです。

### 参考文献

- 1) 山田順之ほか；欧州連合の農業政策に見る権利としての国土政策, 土木学会土木計画学研究発表会講演集, No.63, 2021.
- 2) 曾根佑太ほか；中山間地農業ルネッサンス推進事業を活用した新潟県十日町市におけるスマート農業技術の実証, 農業農村整備政策研究, No.6, 2020, pp.5-9.
- 3) 山田順之ほか；中山間地域における UAV による地形把握手法の開発, 土木学会年次学術講演会, IV-73, 2021.
- 4) 岩井稔ほか；中山間地域における LPWA を活用したモニタリング・安全対策手法の開発, 土木学会年次学術講演会, CS9-65, 2021.

## Basic Study on Sustainable Farm Development in Mountainous Region by Using Smart Agriculture Technology

*Yoriyuki Yamada*

Rice terraces serve multiple functions, including food production, disaster prevention, and cultural landscape preservation. However, terraced rice paddies in mountainous areas are smaller and more irregularly shaped than those on the plains, and they are facing a crisis of deterioration due to insufficient infrastructure such as water supply facilities, roads, and communication networks. In this study, we conducted a demonstration experiment of smart farming technology using drones and ICT, which are expected to improve productivity, in order to support sustainable agricultural management in terraced rice-field areas. In this paper, we mainly introduce the results of applying labor-saving and sensing technologies and the challenges of applying the technologies in terraced rice field areas, and we discuss how the fields should be maintained for the next generation.