

中山間地域における持続可能な土地管理モデルの構築

—スマート技術と自然資本の活用—

Creating a Sustainable Land Management Model for Mid-Mountainous Areas

— Utilization of Smart Technology and Natural Capital —

徳江 義宏 大久保敏宏 三浦 奈都 野中 沙樹 寺田 裕佳
野原 大督 山口 毅志 緒方誠二郎 板川 暢 山田 順之

Yoshihiro Tokue, Toshihiro Okubo, Natsu Miura, Saki Nonaka, Yuka Terada, Daisuke Nohara,
Tsuyoshi Yamaguchi, Seijiro Ogata, Satoru Itagawa and Yoriyuki Yamada

I. はじめに

平野の外縁部から山間地にあたる中山間地域は、日本の国土の7割を占め、自然環境や文化を守る重要な役割を果たしてきた。しかし、地形が狭隘、急峻で農林業の収益性を確保するのが難しく、また人口減少と高齢化による担い手不足から、伝統的な農林業の維持が困難となっている。そのため、耕作放棄地や荒廃した森林の増加を招き、生態系への影響、土壌浸食、水質悪化、災害の増加といった問題を引き起こしている。このような問題を解決するためには、農林業の収益性を改善しつつ、中山間地域の新たな価値創出によって持続可能性を確保する取組みが期待されている。

本報では、自然資本が生み出す災害防止機能、生態系保全機能などの多面的機能を評価し、カーボンクレジット制度・環境認証制度を用いた自然資本の価値化、またスマート技術を活用することで農林業の収益性を高める取組みを紹介する。このような一連の取組みを通して、中山間地域の課題を解決する新たな持続可能な土地管理モデルの構築を目指すものである。本報の対象地は中山間地域の典型的な場所として新潟県十日町市の棚田 (Photo 1)、福島県郡山市の日影山の社有林 (Photo 2) とした。

II. 多面的機能に関するデータ取得と価値評価

1. 効率的かつ高精度な情報収集

棚田や森林の多面的機能を評価する上で、立木、地形などの基礎情報の把握が不可欠である。本研究ではドローンや三次元レーザー計測技術を活用することによって農林地の状態を効率的、かつ高精度に把握する方法の開発を進めてきた。特に、森林においては、世間で一般的に用いられている森林上空を飛行するドローン (以下「林外ドローン」) に加えて、森林内を飛行するドローン (以下「林内ドローン」) から森林情報を効率的に取得する手法を新たに開発した。これまで林外ドローンからは把握できなかった立木の曲がりや細り、森林の階層構造を林内ドローンによって把握することができた。この林内ドローンはスウェーデンの Deep Forestry 社が



Photo 1 新潟県十日町市の棚田
(The Terrace Rice Field in Tokamachi City, Niigata Prefecture)



Photo 2 福島県郡山市の日影山の社有林
(Kajima-owned Forest of Hikageyama in Koriyama City, Fukushima Prefecture)

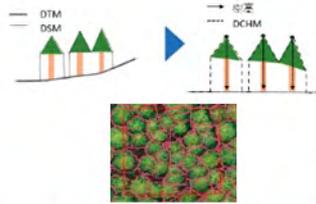
開発したもので、本研究では同機体を国内の森林に適用するための手法を検討した (Fig.1)。

この林内ドローンは森林内を自律飛行し、森林の情報を収集することを特徴とする。機体にはレーザースキャナー (LiDAR センサー) を搭載しており、3次元点群データを取得できる (Fig.2)。飛行区域を設定すれば離陸も含めて自律

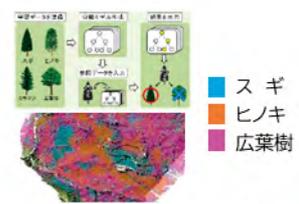
林外ドローン



ドローンの林外飛行(約400ha/日)



点群情報から木材体積を推定

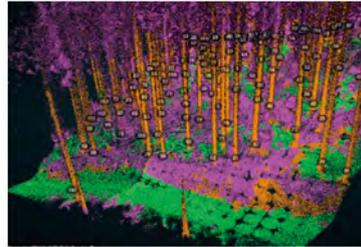


機械学習モデルにより樹種判別

林内ドローン



ドローンの林内飛行(約10ha/日)



点群情報から曲がりや下草を推定



樹木のデータベース・地図化

Fig.1 林内・林外ドローンによる森林情報の取得と解析の手順
(Procedure of Acquisition and Analysis of Forest Information by Drones inside and outside the Forest)

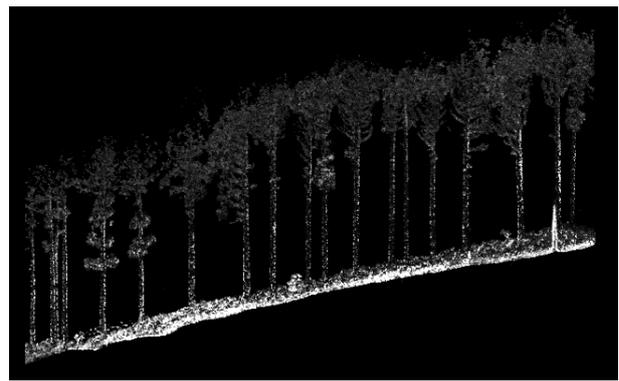
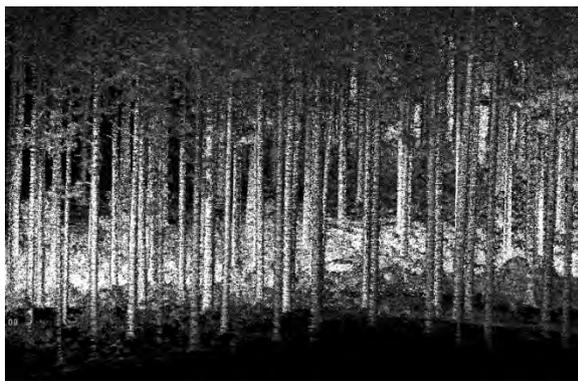


Fig.2 林内ドローンで取得したスギ林の3次元点群データの例(左:全体図, 右:断面図)
(Examples of 3D Point Cloud Data Acquired in a Cedar Forest by Forest Drone inside the Forest
(Left: Overall view, Right: Cross-sectional view))

的に障害物を検知・回避しながら、飛行区域内の立木を網羅するよう飛行することが可能である。この機体は SLAM 技術 (Simultaneous Localization and Mapping) を用いており、周囲の地図化と自己位置の把握を同時に行うことが可能である。障害物の回避や飛行ルートは、森林内の GNSS (全球測位衛星システム) の受信環境が悪くても飛行に影響はない。林内空間に枝が多く存在し、飛行するための空間が確保できない若齢の人工林や広葉樹林では飛行が難しいことがあるが、成熟した人工林であれば飛行可能である。本ドローンによって最大 1 日 5~10ha の計測が可能である。

このような森林の詳細なデータを活用することで、今後、新たな森林管理の展開が期待できる。例えば、立木の胸高直

径や樹高だけでなく、曲がりや細り形状、枝下高も点群データから得ることで木材生産の収益計算が可能となること、また、森林の階層構造も含めた状況が点群として記録されることで、森林がもつ多面的機能の評価にも活用ができる。将来的には、森林のデジタルツインを構築し、関係者間でデータを共有するような仕組みも考えられる。

棚田についてもドローンを用いた空中写真測量によって水田の代かきの均平精度の把握、低消費電力で長距離データ通信を可能とする LPWA (Low Power Wide Area) を利用した水位の把握などにこれまで取り組んでおり、高精度なデータを収集活用することで森林と同様に新たな棚田の管理の展開が期待できると考える。

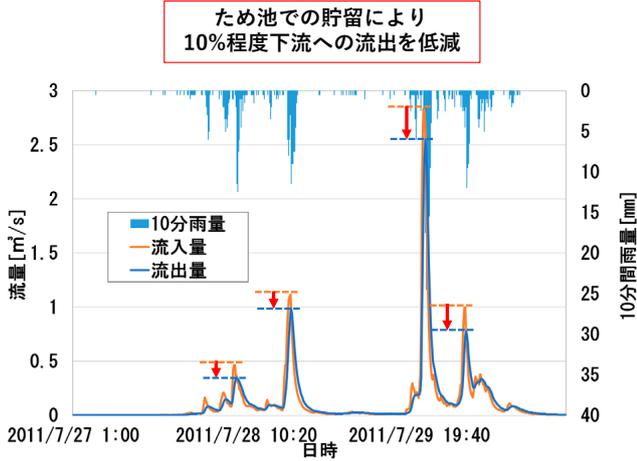


Fig.3 ため池の洪水ピーク低減効果の評価
(Evaluation of Flood Peak Reduction Effect of a Farm Pond)

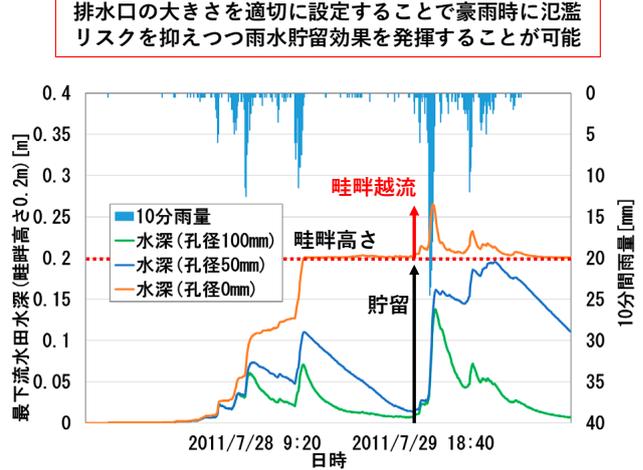


Fig.4 水田の雨水貯留機能の評価
(Assessing the Rainwater Storage Function of Paddy Fields)



ホオジロ
Emberiza cioides



ジムグリ
Euprepiophis conspicillatus



シュレーゲルアオガエル
Zhangixalus schlegelii



ハネナガイナゴ
Oxya japonica



キイトンボ
Ceriagrion melanurum



オオコオイムシ
Appasus major

Photo 3 生物多様性調査で確認された生物の一例
(Examples of Species Identified in Biodiversity Surveys)

2. 多面的機能の価値評価と地域への利益還元の取組み

中山間地域の自然資本が担ってきた多面的機能を科学的、かつ定量的に評価する取り組みを進めた。また、カーボンクレジット制度・環境認証制度を活用することで地域への利益還元を進めた。

(1) 棚田の水害リスク低減機能

気候変動により想定外の水害に見舞われる可能性もある中、棚田は下流の都市部に対して水害リスクを低減する機能を有していると考えられる。このような機能を明らかにすることで、棚田を維持することの社会的・経済的価値の評価や適切

な公共投資規模の算出に繋がると考える。

棚田の水害リスク低減機能をシミュレーションによって定量化²⁾した。棚田を、構成する水田・水路、ため池の要素ごとにモデル化した。水田・水路の解析は内水氾濫解析モデル³⁾を使用、ため池の解析は集水域の降雨流出計算に貯留関数法を用い、また、洪水吐からの流出量計算に堰の公式を用いてモデル化した。モデルによるシミュレーションの結果、ため池では雨水を貯留することで下流域に対して10%程度の流出低減効果を発揮すること、水田では排水口の大きさを調整することで豪雨時の雨水貯留効果を発揮することが示

された (Fig.3, Fig.4)。本結果から、棚田の圃場の氾濫リスクや、水田・ため池の雨水貯留効果が適切に発揮されるための圃場条件などを明らかにすることができた。

(2) 棚田の生物多様性

棚田は人手が加わることで維持されてきた二次的自然として、中山間地域の生物多様性維持における重要な基盤である。棚田のもつ生物多様性保全の機能を明らかにするため、2024年の春夏秋の3季節に、棚田の生物相調査を行った。調査の結果、二次的自然を特徴づける種を含む多数の種 (Photo 3) を把握し、持続的な営農による生物多様性の保全の効果を確認することができた。

(3) 森林の多面的機能

社有林を対象として、GIS解析に基づいて水源涵養機能、生物多様性ポテンシャル、土壌流出防止機能、木材生産機能の定量的な評価手法を構築した (Fig.5)。この評価は国土地理院などのオープンデータをもとにして、ほかの場所でも汎用的に用いることができる手法を構築した。立木の成長量、原木の搬出し易さなどの木材生産に関する評価結果と環境保全機能の分析結果を重ね合わせることで、利用と保全を考慮した社有林のゾーニングを提示することができた。このようなゾーニングも踏まえながら社有林の活用について検討を進めているところである。

(4) 地域への利益還元への取組み

カーボンクレジット制度・環境認証制度を用いて農林業のもつ価値を可視化し、地域への利益還元を進めた。環境省では、民間の取組などによって生物多様性の保全が図られている区域を国が認定する自然共生サイトの制度を2023年度より開始している。この制度によって認定された区域は、保護

地域との重複を除き、OECM (Other Effective area based Conservation Measures) として国際データベースに登録されることとなっている。本研究では、2023年度に日影山の社有林の自然共生サイト認定を取得し⁴⁾、2024年度には十日町の棚田の自然共生サイト取得に向けた申請を進めている。また、森林や棚田では、J-クレジットの方法論に基づいて、CO₂吸収量に対してカーボンクレジットの取得を進めており⁵⁾、機能の金銭価値化を進めた。

このような取組みを通して、生物多様性や環境に配慮した棚田・森林であることを対外的に示すことで農林産物の付加価値の向上にも貢献するものと考えられる。また、このような活動は、鹿島が掲げた脱炭素・自然再興の目標⁶⁾に貢献するものであり、企業として対外的なPRにもつながるものである。

Ⅲ. 農林業の生産性向上や従事者の安全管理の取組み

2019年より十日町市の棚田を対象としたスマート農業の取組を開始する中で、棚田の農業の持続可能性の向上策を検討してきた¹⁾。中山間地域は携帯通信などの情報インフラが脆弱であり、生産性向上や作業安全上、通信確保が課題となる。この課題に対応するため、低消費電力で広い領域を対象とすることができるLPWAによる通信網を導入した (Fig.6)。これによって、中山間地域での農地、人の活動状況をリアルタイムで遠隔監視するための情報通信基盤を整備した。その上で棚田の水位・水温の管理システムを導入し、水管理回数の労力を33~71%削減することができた。作業従事者に見守りセンサー、バイタルセンサーを導入し、緊急時の訓練ではSOS信号が出てから20分で救護にかけつけられること、また単独作業時の安心度の向上が確認され、安全管理にも寄

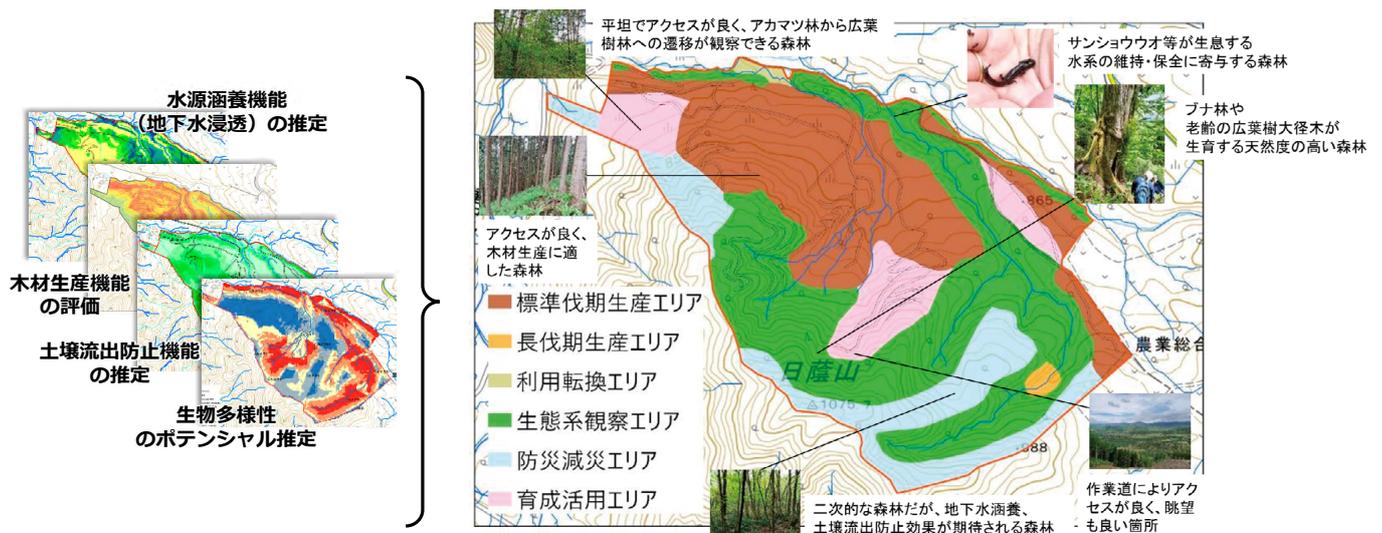


Fig.5 山林の多面的機能の評価とゾーニング
(Assessment and Zoning of the Multifunction of Forests)

与することが示された。水田の代かき作業において、ドローン空中写真測量により圃場の高低差を把握した上で、ICT 建機による均平作業を行うことで、代かきの作業時間を 26% 削減することができた (Photo 4)。また、ドローンによる農業資材の散布作業は作業時間を 64%短縮することができた。こうしたスマート技術・土木技術を組み合わせることで、棚田で生産される米の収量が計 3.2%向上した。

これらの取組は、2020-21 年度には農林水産省の「スマート農業加速化実証プロジェクト」において、スマート農業技術の実証事業として採択され、社会実装を進めてきた。また、2023-2024 年度には十日町市において、農山漁村振興交付金を活用した情報通信環境に関わる調査を実施した。スマート農業技術の導入に向けた LPWA による情報通信環境整備の調査、実施計画を策定し、地域への実装に向けた取組みを進めているところである。

IV. まとめ

確立した技術については、コンサルティングサービスを提供しながら、社会実装を進めている。森林管理を総合的に支援するサービスとして 2024 年には Forest Asset (Fig.7) を始動し、社外に展開した⁷⁾。すでに複数の自治体や企業からの依頼を受けて、水源涵養機能の評価や森林の所有者特定・境界確認、Jクレジット取得支援、森林管理と認証取得支援など、各地域で活動を展開しているところである。今後、各種スマート技術・土木技術の融合、多面的機能の把握・向上を図りながら、目指すべき持続可能な中山間地域のモデル構築を進めていく所存である。

参考文献

- 1) 山田順之；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，鹿島技術研究所年報，第 70 号，2022，pp. 141-146.
- 2) 三浦奈都，野中沙樹，野原大督，山田順之；中山間地での持続可能な営農支援に向けた棚田の水害リスク評価に関する基礎的検討，令和 6 年度土木学会全国大会第 79 回年次学術講演会，2024，pp. II-35.
- 3) 吉川夏樹ら；低平農業地帯を対象とした内水氾濫解析モデルの開発，土木学会論文集 B1(水工学)，67(4)，I_991-I_996，2011.
- 4) 鹿島建設株式会社；鹿島の社有林「日影山山林・ボナリ山林」が環境省「自然共生サイト」に認定，<https://www.kajima.co.jp/news/press/202403/1e1-j.htm>
- 5) 鹿島建設株式会社；「社有林協議会」を設置し、森林経営活動に基づく CO₂ 吸収量の J-クレジット認証取得に向けプロジェクト計画書を提出，https://www.kajima.co.jp/sustainability/sustainability_topics/

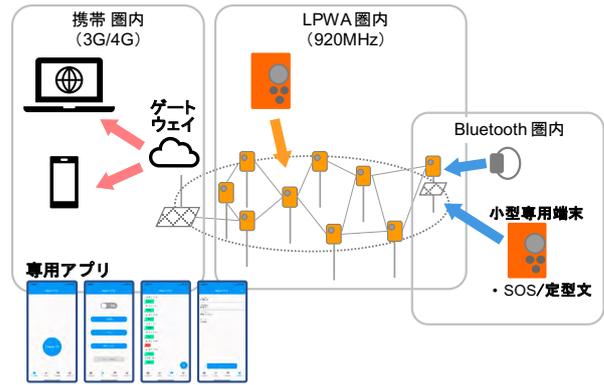


Fig.6 LPWA 通信ネットワークの構成
(Configuration of LPWA Communication Network)



Photo 4 ICT 建機を利用した均平化の状況
(Leveling Using ICT Construction Equipment)



Fig.7 Forest Asset サービス
(Forest Asset Service)

[2023.html#topics_2023_02](https://www.kajima.co.jp/sustainability/topics_2023_02)

- 6) 鹿島建設株式会社；鹿島環境ビジョン 2050plus，<https://www.kajima.co.jp/sustainability/policy/vision/index-j.html>
- 7) 鹿島建設株式会社；デジタルで森林づくりを総合支援！～国内初 森林内自律飛行ドローンを活用した森林の付加価値向上～，<https://www.kajima.co.jp/news/press/202406/21e1-j.htm>