

研究課題	急傾斜柑橘園におけるスマート農業の実践と被災農地支援
副題	～地理空間情報の利活用～
キーワード	スマート農業、ドローン、リモートセンシング、QGIS、農地災害
学校/団体名	国立国立大学法人愛媛大学附属高等学校
所在地	〒790-8566 愛媛県松山市樽味3丁目2番40号
ホームページ	http://www.hi.ehime-u.ac.jp/

1. 研究の背景

愛媛県は、柑橘算出額が全国トップクラスの柑橘王国となっているが、一方で傾斜15度以上の急傾斜園地が60%以上ある。また、1985年から2020年の35年間に農家数は59%減少、樹園地は52%減少し、2020年には農業従事者の65歳以上の高齢者が占める割合は74%となった。さらに、平成30年7月豪雨では、本県の農地・農業用施設には354億円の甚大な被害が発生した。報文「愛媛県宇和島市の平成30年7月豪雨の被災状況と復旧振興事例」では、『ドローンを利用した樹園地や圃場の定期的な空撮と画像解析技術により、より効率的に災害査定ができないものであろうか。』と記載されている。本校は総合学科であり、生命科学系列の履修生の中には農学部等への進学希望者もいるため、地理空間情報の利活用への興味・関心を喚起し、

- ①社会情勢の変化や気候変動に対して、持続可能な営農者の育成
- ②積極的にスマート農業に取り組む研究者や農業指導者の育成
- ③農地災害を担当する自治体の技師の育成、など、次世代を担う生徒の未来を創る想像力と豊かな人間性を育む技術と知識を養成することとした。

2. 研究の目的

この実践研究は、「地理空間情報を利活用し、急傾斜柑橘園でのスマート農業が効果的に実践される」との仮説を立てる。仮説を検証するために、ドローンを使用したりリモートセンシングを駆使してスマート農業を実践しモデル農園の実現を目指す。さらに、この手法を用いて被災農地を支援する。以下のように研究的側面から目的を設定する。

- ①研究のフィールドは学校の急傾斜柑橘園と近年に土砂災害で被災した松山市の農地とする。
- ②学校の急傾斜柑橘園では、ドローンを使用したりリモートセンシングを3か月ごとに行う。その内容は、写真点群測量によるオルソ画像の取得、近赤外線カメラによる正規化植生指数(NDVI)の可視化、放射分析サーマルカメラによる表面温度の可視化とし、これらをオーバーレイして、果樹の健康度合いや樹園地の季節ごとの変化を把握する。
- ③土砂災害で被災した農地を、UAVレーザ測量を行い、流出土量を算出して復旧工事費を算定し、被災農家を支援する。

3. 研究の経過

本校のICTの環境については、

- ①生徒は入学時にタブレット端末等を購入、または兄弟姉妹が所有していたものを使用するた

め一人一台端末の活用が可能である。場合によっては、スマホの授業中の使用も認めている。

②校内においては愛媛大学無線ネットワークでインターネットと常時接続できる。

③愛媛大学 Moodle を使って、教材である PowerPoint ファイルや PDF ファイル、Excel ファイルを、授業者はアップロードし、受講者はダウンロードし閲覧し保存できる。また、データの相互通信も可能である。

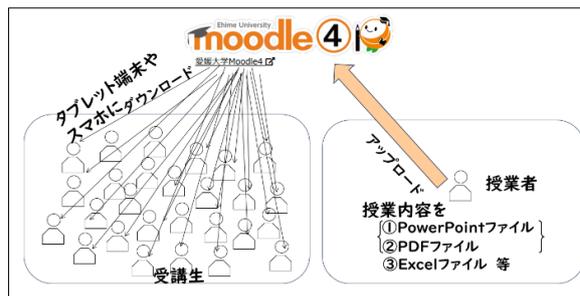


図1 SDG s 探究 I の授業の方式

図1のように、1年生のSDG s 探究 I (学校設定科目)のスマート農業班の授業では、これらの ICT 環境を活用して授業者と生徒でファイルを共有した。表1は、SDG s 探究 I、スマート農業班の研究経過である。

表1 SDG s 探究 I、スマート農業班の研究経過

①時期	②取り組み内容	③実施場所
4月17日	個別ガイダンス	教室
4月24日	UAVによるNDVI・放射分析サーマルカメラによる撮影(1回目)	畑寺果樹園
5月15日	QGISインストール・ベルマドアプリ入手・QGISデータの確認	教室
5月29日	UAVレーザ測量	被災農地
6月12日	UAVレーザによる観測結果の検証	教室
7月1日	気象クラウドデータのログインとデータ解析	教室
7月10日	UAVによるNDVI・放射分析サーマルカメラによる撮影(2回目)	畑寺果樹園
8月1日 8月5日	アプリによる電磁弁の操作・溝辺果樹園における有機農業	溝辺果樹園
8月29日	ネットワーク型RTK法の観測とデータ解析	畑寺果樹園
9月11日	ネットワーク型RTK法の観測とデータ解析	教室
10月2日	UAVによるNDVI・放射分析サーマルカメラによる撮影(3回目)	畑寺果樹園
11月6日	みかんの糖酸度の測定	教室
11月13日	重心制御無人走行ユニット	愛媛大学農学部
12月4日	労働生産性・土地生産性の考察	畑寺果樹園
12月18日	労働生産性・土地生産性の算出	教室
1月22日	UAVによるNDVI・放射分析サーマルカメラによる撮影(4回目)	畑寺果樹園
2月5日	NDVIの変化、ネーブルオレンジの追熟調査	教室
2月19日	柑橘類の糖度測定	教室
2月26日	野生鳥獣による農作物被害	学校の果樹園
3月5日	スマート農業の現状と展望	教室

SDG s 探究 I の評価は自己評価とし、A4の実習記録用紙に、

- ・関心を持って取り組めたか
- ・意欲的に取り組めたか
- ・実技は身に付いたか
- ・安全に配慮できたか
- ・工夫できたか
- ・目的は達成できたか
- ・内容を理解できたか
- ・発見があったか

について、5段階で数値を記入させて提出させた。

また、これまでの研究の成果や今年度の取り組みについて、代表生徒による発表を表2のように実施した。特に、6月13日の第1回愛附コンテスト後には、校内の普通科教員からの意見の聞き取りを行った。さらに、7月20日の令和6年度ふるさと歴史ロマン講座では、松前町史談

会会員から外部評価をいただいた。

表2 研究成果の発表

①期日	②発表大会名	③場所	④対象・成績等
6月13日	第1回愛附コンテスト	校内発表	全校生徒・最優秀
7月20日	令和6年度ふるさと歴史ロマン講座	愛媛県松前町	松前町史談会
7月26日	愛媛県学校クラブ第1回各種発表県大会	愛媛県	農業高校生徒・先生優秀賞
12月17日	第2回愛附コンテスト	校内発表	全校生徒・ライブ配信
1月17日	愛媛県学校クラブ第2回各種発表県大会	愛媛県	農業高校生徒・先生優秀賞
1月29日 ～ 1月31日	Geo アクティビティコンテスト 20205	東京ビックサイト	来場者・地域貢献賞

4. 代表的な実践例

(1) ドローンを使用したリモートセンシング

表3 ドローンを使用したリモートセンシングによる仮説と検証方法

仮説をたてる	仮説の検証方法
①地形の特徴と任意の面積・断面の解析ができる	写真点群測量とレーザ測量による数値標高モデル (DEM) (Digital Elevation Model) とオルソ画像、赤色立体地図の作成
②農業散布ドローンの飛行計画が立案できる	
③果樹の樹勢のトレンド解析ができる	マルチスペクトルカメラ撮影によるNDVIの取得
④樹園地の表面温度のトレンド解析ができる	放射分析サーマルカメラ撮影による表面温度の取得
⑤被災農地の災害復旧事業が支援できる	被災前と発災後の数値標高モデルの比較計算
⑥急傾斜果樹園の崩壊箇所の源頭部がわかる	0次谷地形と集水域に着目して基盤地図情報(数値標高モデル)から斜面崩壊開始点を予測

ドローンを使用したリモートセンシングの仮説と検証方法は、表3とした。これを可視化したものが図2で、ドローンで得られた地理空間情報をデジタル化して活用するデジタルトランスフォーメーションとし、XフォーメーションのXを今回は、「重ねて見える化マップ」とした。具体的には、DJI社製Mavic3Mを使用してRGBカメラ撮影でオルソ画像のレイヤを取得し、マルチスペクトルカメラで正規化植生指数(Normalized Difference Vegetation Index、以下NDVIと表記)のレイヤを取得した。また、DJI社製Matrice300RTKを使用してレーザ照射で赤色立体地図のレイヤを、放射分析サーマルカメラで表面温度のレイヤを取得した。さらに、衛星写真を取り込み、その後に、数値標高モデルのレイヤを作成し、無料でありながら高性能なQGISソフトを利用して解析した。

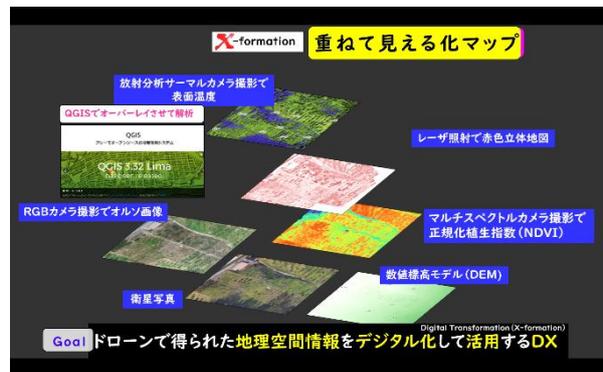


図2 重ねて見える化マップのイメージ

(2) 畑寺果樹園での UAV による NDVI・放射分析サーマルカメラによる撮影

附属農場の1つである畑寺果樹園では、4月24日、7月10日、10月2日(雨天のため10

月 11 日に変更して実施)、2024 年 1 月 22 日の 4 回実施した。図 3 は、畑寺果樹園で専門家の指導を受けながら、生徒が実際にドローンを実際に操縦する様子である。



図 3 ドローンの操作 (2024 年 7 月 10 日)

図 4 UAV レーザによる観測 (2024 年 5 月 29 日)

(3) 被災農地での UAV レーザ観測

図 4、図 5 は、2023 年 7 月 1 日の豪雨で被災した松山市本村地区の果樹園で、UAV にレーザを搭載して LiDAR (Light Detection And Ranging) による観測の様子である。この被災農地では、2023 年 12 月 20 日に UAV 写真点群測量を行っており、5 か月の時間経過はあるが、UAV レーザ測量と UAV 写真点群測量の結果を比較した。さらに、急傾斜果樹園の崩壊箇所の源頭部の解析については、研究メンバーの愛媛大学農学研究科の大学院生が担当した。



図 5 UAV レーザによる観測 (2024 年 5 月 29 日)

5. 研究の成果

(1) 実習記録

SDG 探究 I「スマート農業部門」実習記録 2024 年 4 月 24 日 (水) 天気 <曇り>

1 年 組 番 氏名 _____ 教員確認印 _____

1. 授業内容 (授業内容は何しようとしていますか?)

- ① オリジナル画像の取得 → ドローン撮影
- ② NDVI の季節ごとの変化 → ドローン撮影
- ③ 樹冠の表面温度の季節ごとの変化 → ドローン撮影

2. 目的 (どんな成果を期待していますか?)

任意の地点の正規化植生指数 (NDVI) 算出、果樹の健康度合いがわかる

3. 準備物 (この授業で使ったドローンは?)

Mavic 3M
MATRICE 300 RTK

4. 手順 (ドローンを飛ばす手順は?)

RGB カメラで撮影したオリジナル画像のレスポンスバタリカメラでも同時撮影し、放射分析サーマルカメラで撮影した画像を比較

5. 留意点 (上記の撮影では留意が必要か? 留意事項は?)

平坦な水田で本物のイネを密植している研究報告は多いが、起伏のある地形に植栽された本物の石臼系報告は極めて少ない。撮影時期による気候変動による気候変動による影響を考慮する必要がある。

6. 本時に関わる関連知識

レイヤー: オリジナル画像、RGB (Red, Green, Blue)、モザイク、放射分析サーマルカメラ、コースの重複を抑制するフライトプラン、100g

7. 自己評価 (5段階で数値で記入)

- ◎ 関心を持って取り組めたか (5)
- ◎ 意欲的に取り組めたか (5)
- ◎ 実技は身に付いたか (5)
- ◎ 安全に配慮できたか (5)
- ◎ 工夫できたか (5)
- ◎ 目的は達成できたか (5)
- ◎ 内容を理解できたか (5)
- ◎ 発見があったか (5)

8. 本時の感想・質問等 (気づいたことや疑問に思ったことは?)

初めての SDG 探究だったので、何をするのかドキドキしていましたが、先生の外出ドローンが素晴らしいもので、とてもおもしろいと感じました。ドローンについてもっと知りたいです。ドローンがもっとおもしろいと思います。

※ 学生の探究心です

図 6 UAV による NDVI・放射分析サーマルカメラによる撮影 (1 回目) (2024 年 4 月 24 日)

SDG 探究 I「スマート農業部門」実習記録 2024 年 5 月 29 日 (水) 天気 <曇り>

1 年 組 番 氏名 _____ 教員確認印 _____

1. 授業内容 (授業内容は何しようとしていますか?)

UAV レーザ測量による被災農地の観測と点群データの取得

2. 目的 (何を学びたいですか?)

① DEM の作成、② 急傾斜地での地形解析、③ 数字表面モデル (Digital Surface Model) の作成、④ 地形解析 (Terrain Elevation)

3. 準備物 (必要な道具は?)

MATRICE 300 RTK compact LiDAR 300S

4. 手順 (作業の流れは?)

GNSS、IMU、LiDAR 計測器の取り付け、飛行高度 30m、GNSS で位置を正確に取得、IMU で傾斜角度を正確に計測、LiDAR で地形を正確に計測

5. 留意点 (安全確保のために必要なことは?)

人口密集地区 (Densely Inhabited District (DID)) 上空を飛行しない

6. 本時に関わる関連知識

レーザの原理、UAV の飛行制御、DEM の作成、地形解析、数字表面モデル (DSM) の作成

7. 自己評価 (5段階で数値で記入)

- ◎ 関心を持って取り組めたか (5)
- ◎ 意欲的に取り組めたか (5)
- ◎ 実技は身に付いたか (5)
- ◎ 安全に配慮できたか (5)
- ◎ 工夫できたか (5)
- ◎ 目的は達成できたか (5)
- ◎ 内容を理解できたか (5)
- ◎ 発見があったか (5)

8. 本時の感想・質問等 (気づいたことや疑問に思ったことは?)

DEM の作成が非常に面白かったです。地形解析が非常に役に立つと思います。数字表面モデル (DSM) の作成が非常に面白かったです。DEM の作成が非常に面白かったです。DEM の作成が非常に面白かったです。

図 7 UAV レーザ測量 (松山市近郊の被災農地) (2024 年 5 月 29 日)

図 6～図 9、図 12 は、生徒が記入した実習記録である。生徒は、愛媛大学 Moodle を利用して、自身のタブレット端末等に教材ファイルをダウンロードしたのち、そのファイルを参考にして、授業内容、目的、手順、留意点、本時に関わる関連知識を記入している。授業の後半では、自己評価と感想、質問等を記入して提出する。授業者は、提出されたすべての実習記録について確認し、指導や助言を朱書きして返却した。

図 6 の UAV による NDVI・放射分析サーマルカメラによる撮影（1 回目）の生徒の感想では、「初めての SDGs 探究だったので、何をするかドキドキしていたのですが、突然の外出やドローンが飛んでいくのを見てとても楽しみになりました。ドローンについてもっと知りたくなりました。」とあり、興味や関心、探究心が喚起されたことが推察される。次に、図 7 の UAV レーザ測量の生徒の感想では、「今回実際に被災地に訪れてみて、被災後の場所でこのようにドローンを飛ばし今後の対策として使用していると知り、とても勉強になりました。」と被災農地が身近にあることを認識したことがわかる。次に、図 8 は、UAV による NDVI・放射分析サーマルカメラによる撮影（2 回目）の実習記録である。QGIS の測定アイコンで NDVI の数値を読み取り、「NDVI の変化から草本類の変化は大きく、果樹の変化は小さいと読み取れることができました。」と QGIS の技術的な手法を理解したことが記載されている。しかし、この授業で最も興味を持ったのは、実際にドローンを操作し飛行させたことであつたようで、多くの生徒が「ドローンの構造やモード I の操縦を理解」と記入している。

図 10、図 11 は労働生産性と土地生産性を求めるためのデータシートである。混植されたネーブルオレンジをオルソ画像から抽出し、QGIS で植栽面積を 3 回測定し、その平均を求めたものが図 10 で、収穫時間と収穫量（生産量）から労働生産性を算出し、植栽面積と収穫量（生産量）から土地生産性を求めたのが図 11 である。図 9 の感想に「QGIS で距離や面積を測ることができるのがすごいと思いました。」と地理空間情報の活用に驚きを記載している。

図 12 の感想には、「今日の授業で、論文の構成について学ぶことができたので、課題研究や論文を実際に書く際に、活かしていきたいなと思いました。」とあり、2 年生で履修する課題研究 I へと系統付けて探究活動が実施されるものと推察される。

(2) 課題研究 I での取り組みへの波及

平たんで水田を覆い隠すように広がる草本類のイネの NDVI の研究報告は多いのに対し、起伏のある地形に植栽された常緑果樹の NDVI の研究報告は極めて少ない。QGIS で任意の果樹を選定し、バッファ（半径）1 m、面積 3.14m²の円を描いた。ゾーン統計量の機能を使うと、この円内の NDVI のデータ数や平均値が容易に求められるが、果樹栽培でこれがすぐに活用できるかは疑問である。1 年次に SDGs 探究 I のスマート班を履修した生徒が、「柑橘栽培と NDVI」を主題に、高大連携

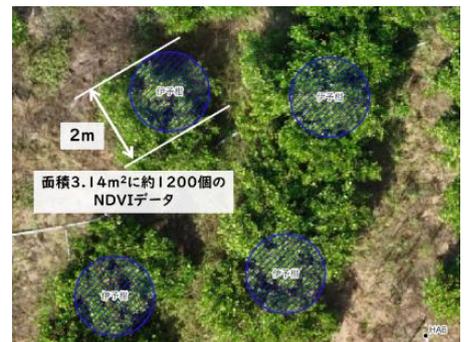


図 13 QGIS による NDVI データの抽出

の課題研究 I でこの研究に取り組んでいる。この課題研究では、愛媛果試第 28 号（基準を満たしたものは「紅まどonna」）を使って、「施肥量・剪定の強さと NDVI には関係性がある」とい

う仮説を立て、施肥量1倍区と3倍区、剪定の強弱を目的変数として1群当たり5か所のNDVIをニコン・トリンブル社製GreenSeeker 2で毎週測定した。有意水準を0.05、目的変数を施肥量、剪定として、推計統計学のF検定で二元配置分散分析を行った。その結果、図14のように、粗摘果までのA区間はNDVIと施肥量に有意差があり、粗摘果まではNDVIが低い果樹には施肥が有効であること。粗摘果から仕上げ摘果のB区間、仕上げ摘果から収穫までのC区間はNDVIと剪定の強さに有意差があり、強剪定は粗摘果以降、NDVIが高くなることなど、NDVIデータの柑橘栽培における利活用が期待できることが判明しつつある。

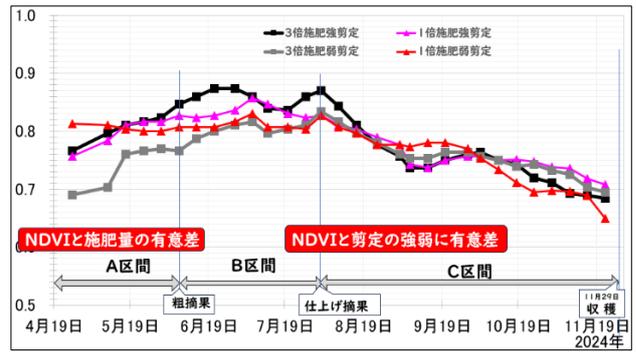


図14 NDVIとA、B、C区間の有意差検定結果

(3)被災農地の支援

5月29日に実施したUAVレーザ測量から流出土量を求めると284m³であった。この被災農地では2024年12月20日にUAV写真点群測量を実施しており、この観測結果から求めた流出土量は240m³で、5か月の時間経過を考慮すると両差に大差はない。使用したUAVレーザは約800万円、UAV写真点群測量のUAVが20万円とUAVレーザ測量は高価なため、植生のない発災直後にUAV写真点群測量をすることが経済的には有効な手法と言える。

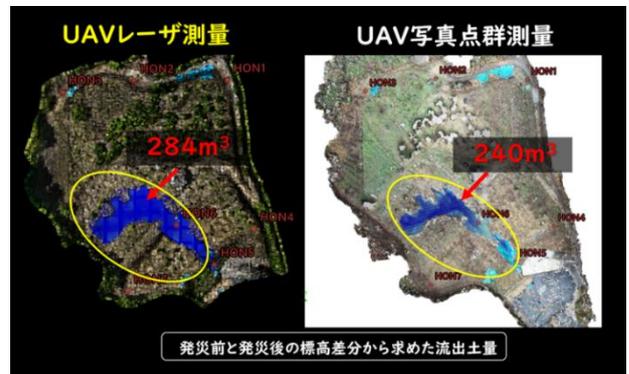


図15 UAVレーザ測量とUAV写真点群測量の比較

(4)農地災害の予測

図16はGeoアクティビティコンテストで展示したイゼルの1枚である。「この研究は、パナソニック教育財団の『2024年度(第50回)実践研究助成』を受けて実施しています」のクレジットを明記して展示した。

農地被害の予測は、平成30年宇和島市吉田町豪雨を研究対象に、卒論や学会発表に取り組む池見孔志の論文に基づいている。この手法によると、平成30年宇和島市吉田町豪雨の場合、予測結果は69.6%となり、提案した手法により、7割程度と、高確率での予測が可能である。この予測手法を、UAVレーザ測量をした松山市本村地区に適用したが一致しなかった。しかし、2023年のSDGs探究IでUAV写真点群測量を実施した松山市松組地区では、頭源部と0次谷の集水域メッシュがすべてで一致した。図17は、Geoアクティビティコンテスト2025

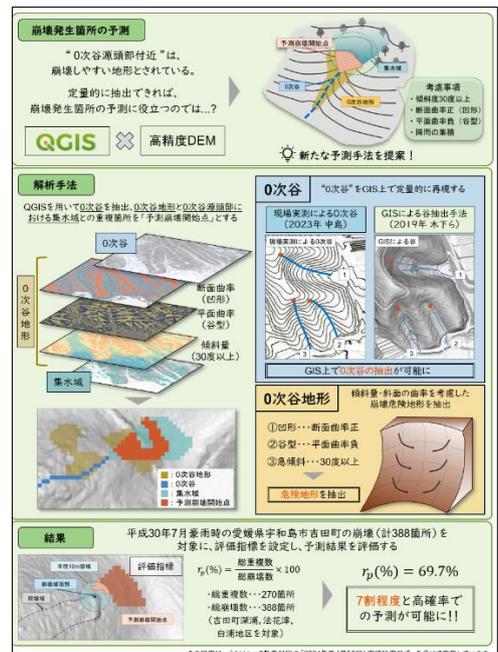


図16 農地災害の予測手法



図 17 Geo アクティビティコンテスト 2025（東京ビックサイト：2025 年 1 月 29 日～31 日）でのブース展示発表の様子である。審査の結果、地域貢献賞を受賞した。

6. 今後の課題・展望

今回の実践研究では、①一人一台端末活用、②インターネットと常時接続、③愛媛大学 Moodle など ICT 環境がよく活用できた。また、生徒の記載した実習記録から、興味や関心、探究心が喚起されたことが伺える。2 年次、3 年次での SDGs 探究Ⅱ（学校設定科目）、農業科学探究（学校設定科目）、課題研究Ⅰ、課題研究Ⅱと系統的、体系的に深化、探究する生徒が出現するものと期待している。また、紙面の関係ですべてを記載することができなかったが、表 4 のように、ドローンを使用したりリモートセンシングによる仮説について、検証結果を得ることができた。

表 4 ドローンを使用したりリモートセンシングによる検証結果

①地形の特徴と任意の面積・断面の解析が可能となった
②農業散布ドローンの飛行計画が立案できた
③木本類の果樹の NDVI の変化は草本類の植物の NDVI の変化より小さかった
④活性の高い植物は蒸散により表面温度が抑制されていた
⑤被災前と発災後の数値標高モデルで土量計算が可能となった
⑥ 0 次谷地形と集水域に着目して基盤地図情報（数値標高モデル）から斜面崩壊開始点が予測できた

柑橘栽培と NDVI の相関関係を見出すことは容易ではないが、課題研究Ⅰの履修生（2 年生）は、新梢の伸長、総葉数、果実の肥大と NDVI の関係性を現在も継続調査中である。この生徒は、3 年次には課題研究Ⅱと農業科学探究を履修しており、サンプル数を増やして再現性や信頼性を高め、論文が書ける内容に指導することが、あらたな課題である。

7. おわりに

今回の実践研究に当たっては、UAV レーザの提供をいただいた共立工管株式会社吉原潔代表取締役をはじめ、重心制御無人走行ユニットの走行実験の実演と課題研究Ⅰの高大連携でご指導をいただいた愛媛大学農学部の上加裕子先生、羽生剛先生、井上久雄先生、大学院生、実践研究のフィールドを提供していただいた被災農家のみなさまに感謝を申し上げます。

8. 参考文献

安瀬地一作, 関島建志, 木村延明, 桐博英 (2019) 「愛媛県宇和島市の平成 30 年 7 月豪雨の被災状況と復旧復興事例」『農業農村工学会誌第 87 巻第 5 号』, 6

池見孔志, 小林範之, 倉澤智樹 (2024) 「高精度 DEM と GIS を用いた表層崩壊・深層崩壊開始点の予測」『第 79 回農業農村工学会中国四国支部講演会講演要旨集』, 99-101