

ため池の水を用いた水稲栽培における窒素収支に関する空間情報学的研究

佐藤 響平[†] 後藤 真太郎[†] 横山 和成[†] 向高 新[†]

[†]立正大学大学院 地球環境科学研究科

キーワード：リモートセンシング，地理情報システム(GIS)

1 はじめに

2016年1月，総合科学技術・イノベーション会議(CSTI)，第5期科学技術基本計画において，サイバー空間とフィジカル(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人間中心の新たな未来社会(Society5.0)の実現が提唱された[1]。農業分野においては，スマート農業(ICT，ロボット技術を活用した省力・高品質生産を目指した農業)に注力するだけでなく，SDGsの観点から，持続可能な農業の実現についても研究が行われている。これらの実現には，様々なデータを統合・分析する必要があり，主に地理情報システム(GIS)と画像データを用いて農業データ連携基盤の整備が進められているが，システムの連携は遅れており，農家が活発に提供データを利用出来ていない現状がある。また，提供データは，一般的な指標の提示にとどまるため，農家が実践的に提供データを活用するためには，自身が管理している農地の地形データを農家自身で構築し，提供データと比較する必要がある。

地形データの整備には基盤となる画像データが必要であり，これは衛星画像及びドローン画像(UAV画像)から得られる。しかしながら，衛星画像は，空間分解能が低く，撮影のタイミングも衛星の回帰日数に制限されてしまうデメリットがある。対してドローンは，飛行のセッティングを自身で行う必要があるが，空間分解能や撮影のタイミングを設定できる。よって現状においては，個人での地形データ作成は，ドローンを用いた方法が最も有用であり，近年の急速なドローンの性能の進歩と普及を鑑みても，今後の農地管理に必須の技術になると考える。

筆者らは，ため池の水を利用した水田における水稲の生長量および水田の環境条件を観測し，収量の成立条件と水田内外の窒素収支を明らかにすることを目的として研究を行っている。本発表では，Society5.0・スマート農業に向けたドローンを用いた水田管理手法の応用例として，ドローン画像から構築した地形データを用いて明らかにした窒素収支について発表する。

2 研究対象

研究対象は，埼玉県熊谷市小江川地区の比企丘陵地帯にある水田(栽培品種 キヌヒカリ)を対象とした。灌漑用水に，ため池の水を利用している。ため池の周囲は，建築物は無く，樹木が密集繁茂している。ため池から水田への給水は，コンクリート整備された水路を通じて給水される。週1~2回程度の頻度で給水し，排水口の水位を基準水位として，基準水位よりの低下分の水量を給水した。元肥は，高度化成肥料14-14-14(複合磷加安444A特号，朝日工業株式会社)を60kg程度施肥している。追肥，農薬散布は行っていない。水稲の植え付けは2022/06/25行った。

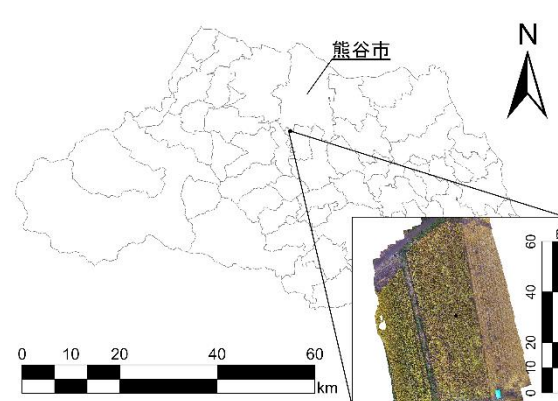


図1 研究対象地

3 研究方法

3.1 水田の地形データの作成

地形データの作成フローチャートを図 2 に示す。

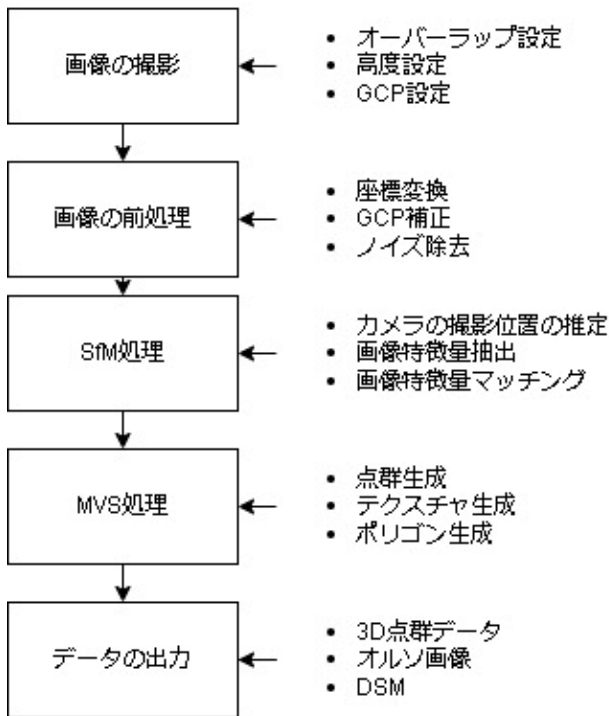


図 2 地形データの作成フローチャート

3.1.1 画像の撮影

ドローンを用いた地形データの作成には、対象地域上空での空撮が必要である。このとき、高度や撮影ルート、オーバーラップ率（空撮画像の重なり率）は、地形データの精度に大きく影響するため、必要な精度を考慮してパラメータを設定する。ピクセルサイズは、高度を下げるほど小さくなるが、高度を下げすぎるとドローンのダウンウォッシュによって、水稻や土埃が動いてしまい、ノイズが入る。本研究では、20m に高度を設定した。

撮影方法と SfM-MVS 処理については、農研機構のほ場計測マニュアルに準拠した[2]。ドローンにマルチスペクトルカメラを搭載し、赤波長、近赤外波長のスペクトル画像を取得した。ドローンの操縦は、自動操縦ソフトウェア(DJIGSProVer. 1.2. 1DJJ 社)を用いた。GCP を 6 地点設定し、オートレベルを用いた水準測量を行い、各 GCP の標高を求めた。

本研究の使用機材、撮影時のパラメータを表 1、撮影時のカメラ位置を図 3 に示す。

表 1 使用機材と撮影パラメータ

使用機材	ドローン (DJI 社 MavicPro) マルチスペクトルカメラ (Parrot 社 Sequoia)
画像オーバーラップ率	80%
撮影高度	20m
撮影ピクセルサイズ	約 5mm

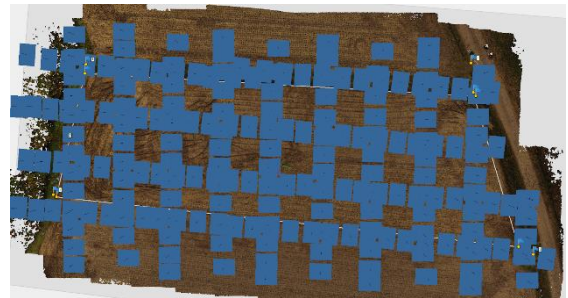


図 3 空撮時のカメラ位置

3.1.2 画像の前処理と SfM-MVS 処理

撮影画像は、地理座標系 WGS84 で座標定義されている。地形データは、距離・面積計算を行うため、投影座標系(JGD2011/JapanPlaneRectangularCS IX EPSG:6677)に座標変換した。

三次元モデリングソフトウェア (Agisoft 社 AgisoftMetashapeProfessionalVer.1.7.5)を用い、

画像品質の確認を行い、ノイズが含まれている画像は除去した。画像中の GCP 位置は、現地測量で求めた GCP の標高・位置データで補正した。

以上の前処理を行った画像を用いて、SfM-MVS 処理、反射率変換、オルソ補正を行い、オルソ RGB 画像、DSM 画像、スペクトル反射画像(RED,NIR)を作成した。

3.2 地形データを用いた窒素量の推定

3.2.1 窒素量の推定

水田への流入窒素量は、DSM から推定した給水量に水質分析より得られた窒素濃度を乗じて推定した。

水田内に固定される窒素量は、収穫した玄米重量と DSM から推定した水稻乾重量を稲わらとして、バイオマス成分データベース(中村・柚山,2005)より含有窒素量(玄米 1.18%, 稲わら 0.74%, 粃殻 0.5%)をそれぞれ乗じて推定した[3]。

3.2.2 流入水量の推定

流入水量はため池から水田への給水量のみを計測対象とした。水田の排水口付近の圃場面を基準として、水位を観測し、ArcGISPro のラスター演算を用いて、田植え前の DSM と観測期間中の水位変動データから各水位での流入水量を推定した。

3.2.3 水質分析

研究対象地のため池の水と水田中の水を対象として、採水と水質分析を行った。観測期間中に毎週 1 回程度、晴天日の 12 時から 14 時の間で採水した。分析項目は、全窒素、硝酸態窒素、アンモニア態窒素とした。全窒素は、紫外線吸光光度法で分析した。硝酸態窒素、アンモニア態窒素は、イオンクロマトグラフ法で分析した。

3.2.4 水稻乾重量の推定

ArcGISPro のラスター演算を用いて、稲刈り後の DSM より水稻の株面積、稲刈り後の DSM と稲刈り前の DSM の差分より水稻株の高さ、NDVI と DSM から求めた水稻株の鉛直下向きから見た面積から仮想的な円錐台形を求め、これに現地調査で求めたサンプル株の乾重量係数を乗じて推定した。

NDVI は次式によって与えられる。

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \dots (1)$$

ここで、NIR は 790nm の反射率、Red は 660nm の反射率である。

4 結果

4.1 地形データ

ドローンで撮影した画像は 235 枚であった。この画像を用いて作成した地形データを図 4、ラスター変換した DSM を図 5 に示す。

地形データより本研究の対象水田は給水口側から排水口側へ緩やかに傾斜しており、排水口の標高は 50.88m、水田内での最大高低差は、18cm 程度であることが分かった。

また、排水口側の水位が 9cm に達すると水田全体が浸水し、水位 9cm 以降は、水位が 1cm 増加するごとに約 15kL 水量が増加することが分かった。

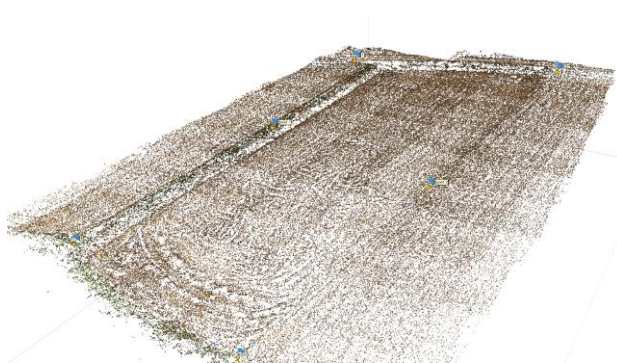


図 4 SfM-MVS 処理で構築した地形データ

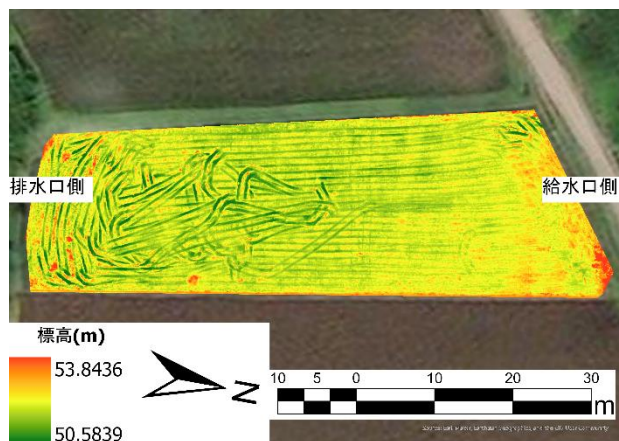


図 5 水田の DSM 画像

4.2 窒素収支

水質分析より、観測期間中のため池の全窒素濃度は、0.9mg/L から 1.8mg/L の間で変動しており、そのうちの可給態窒素であるアンモニア態窒素濃度と硝酸態窒素濃度の合計は、0.4mg/L から 1mg/L の間で変動していたことが分かった。全窒素と可給態窒素濃度の変動を図 6 に示す。ため池中の全窒素濃度と可給態窒素濃度の回帰分析では、決定係数 0.89 を示しており、どちらも同様の傾向で変動していることから、ため池の水には、外部からの窒素流入はなく、降雨とため池中の有機物の分解で窒素が生産されていることが示唆された。

観測期間中の水田の全窒素濃度は、4.18mg/L から 7.54mg/L の間で変動しており、水田の可給態窒素濃度は、0.04mg/L から 2.16mg/L の間で変動していた。決定係数は 0.63 であった。

観測期間中の給水量にため池の可給態窒素濃度を乗じたものを 2022/06/23(給水開始日)から 2022/9/14(給水停止日)まで積算した結果、観測期間中に給水された給水量は約 619kL であり、供給された可給態窒素量は、約 0.4kg であることが分かった。水田の元肥中の可給態窒素量は、6.5kg であることから、水田への供給窒素量は 6.9kg であることがわかった。

水稻の窒素量として、玄米収量は 158kg で窒素量は 18.6kg、推定した水稻乾重量は、328kg で窒素量は 24.3kg であることが分かった。よって水田に水稻として固定された窒素量は 42.9kg であると推定される。以上の結果より、水稻に固定される窒素量のうち、ため池と元肥からは、16%程度供給されていることが分かった。

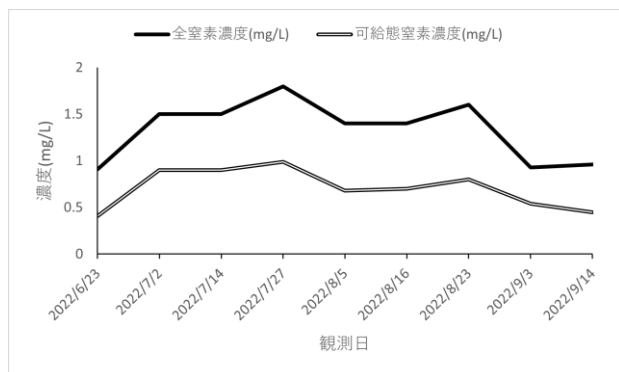


図 6 全窒素と可給態窒素の変動

4.3 まとめ

本研究では、埼玉県熊谷市小江川地区の比企丘陵地帯にある水田を対象とし、ドローン画像と SfM-MVS 処理を用いてスマート農業の基盤となる地形データを作成した。その結果、従来の農地単位での分析と比べ、地形データベースのより詳細な分析が可能であることを明らかにした。

水田内外での窒素収支については、ため池から水とともに供給される窒素量はごく少量であることが明らかになった。

4.4 今後の課題

本研究で求めた水田の窒素収支は、供給水量と水稻体積から求めた窒素量のみで関係性を評価したものであるが、実際の水田の窒素は本研究で示した単純なパラメータだけでなく、土壌浸透量や降雨量、蒸発散量などによる水の流出入量、土壌中の窒素量、水田土壌中での微生物の働きによる硝化・脱窒反応と様々な窒素の変動を考慮する必要がある。他のパラメータについては、現在観測・計算処理中である。

また、本発表では、水田全体の窒素収支に焦点を当てたが、今後は本発表で解析した水稻株のデータをもとに、水稻株スケールでの収量評価と収量成立要因を行う。

参考文献

- [1] 内閣府 society5.0 とは, https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/society5_0-1.pdf, 参照日 2022-11-01
- [2] 石塚直樹・岩崎亘典・坂本利弘, 技術マニュアル「ドローンを用いたほ場計測マニュアル(不陸(凹凸)), (研) 農業・食品産業技術総合研究機構農業環境変動研究センター, 22-39, 2018
- [3] 中村真人・柚山義人, 各種バイオマス成分のデータベース整備, 農業工学研究所技報, 203, 57-80, 2005