

# ドローンLiDAR計測による水稻生育モニタリングにおける観測条件の影響に関する研究

防災・復興システム工学研究室 柳沼 謙伸

## 1. はじめに

農業の担い手の減少と高齢化が進行している中、農作業の生産性の向上と省力化が求められている。そのために、リモートセンシング技術を活用した生育調査が研究されている。著者らはこれまで、水田直上からのLiDAR計測で取得した水稻群落の3次元(3D)点群の鉛直分布の解析から草丈・茎数を推定する手法開発に取り組んでいる<sup>1)</sup>。それらの研究の中で、群落点群の鉛直分布がレーザ入射角・飛行高度やLiDARの機器性能といった観測条件により変化することを確認している。観測条件と群落点群の鉛直分布の関係を明らかにできれば、観測条件に左右されずドローンLiDARシステムによる水稻生育モニタリングが実現できる。

本研究では、レーザフットプリント形状の違いによる群落点群の鉛直分布への影響を検討するため、レーザフットプリント形状が長方形のドローンLiDARシステムを用いて、同一水田を条方向に平行なコースと、それに直交するコースでそれぞれ水稻計測点を取得し、コース間でその鉛直分布に差異が生じるか2023年の観測データを用いて検討した。また、レーザが群落へ鉛直入射する条件下で群落茎葉構造が所与のもと群落点群の鉛直分布を推定するシミュレーションモデルを試作し、その有用性を2022年の観測データを用いて検討した。

## 2. 使用機器・使用データ

### 2.1 ドローンLiDARシステム

DJI社製のMATRICE 300 RTKにドローンLiDARシステムとしてDJI Zenmuse L1(表1)を搭載したドローンLiDARシステムを用いる。

### 2.2 対象圃場

計測の協力が得られた「JA越後ながおか」の指標田の一つ、新潟県長岡市宮路町地区の水田を対象圃場とする。この圃場では、コシヒカリの作付が条間30cm、株間20cmの機械移植で行われる。また、2022年と2023年の実験は5月下旬から8月中旬まで、概ね10日間隔で生育調査が実施される。

## 3. 方法

### 3.1 ドローンLiDAR計測

ドローンLiDAR計測では、飛行時にRTKをFixするため、モバイルルーター(docomo 5G)に接

表1 DJI Zenmuse L1 (LiDAR) 諸元

Laser Wavelength	905 nm
Range Accuracy (RMS 1 $\sigma$ )	3 cm @100 m
Beam Divergence	Horizontal 0.03 deg Vertical 0.28 deg
Detection Range	190 m @10%
Point Rate (Single Return)	240 kHz

続し、高精度で位置情報を取得しながら機体位置を制御する。また、水稻群落の3D点群にDJI Terraを使用して地図情報を付与した3D点群を生成する。

ドローンLiDAR計測はJAの概ね生育調査日に同期させて実施する。LiDARの飛行コース、飛行高度、走査角を変更した条件で同一対象圃場を計測し、3D点群を取得する。LiDARは反復走査モードに設定し、自動飛行を行う。2023年の実験では対象圃場をコースA、Bの2つの直交するコースを計測する。

### 3.2 群落点群の鉛直分布

対象圃場に対し、前述の条件下でコースA、Bが交差する領域を群落点群の鉛直分布の比較領域とする。コース間の高さをマーカーの高さを用いて調整し(コースBを基準)、鉛直分布間の相関係数を算出する。

### 3.3 鉛直分布を推定するシミュレーションモデル

シミュレーションモデルはレーザ光が群落に鉛直(走査角 $-90^\circ$ )に入射するものとし、レーザフットプリント形状は定義しないものとする。そして、群落を鉛直1次元多層モデルで表し、層内のレーザ反射の生起が茎葉の量に比例するものとする。また層別刈取法にて算出した各層のLeaf Area Density(LAD)とドローンLiDAR計測時に撮影した写真画像から算出した植被率を入力し、各層の茎葉の量を各層の正規化したLADと植被率の積により表現した。

レーザスポットが、群落茎葉の間隙より微細な状態では、付与した層別の茎葉分布と相似形の点群鉛直分布が得られる。この時のスポットをピュアフットプリント(PF)とし、実際のレーザ反射は、複数のPFからなるミクスチャフットプリント(MF)で発生すると考える。PFとMFの関係を調整する指数としてFootprint Size Index値(FSI)を考え、この値を調節することで、レーザフットプリント径の大きさを調整している。その際に出る群落点群の鉛直分布を変化させる。本稿では、FSI値を手動で調節し、2022年のドローン

LiDAR 計測(走査角-90°・計測高度 10m)により得られた群落点群の鉛直分布とシミュレーションにより出力した群落点群の鉛直分布の一致率が最も高い値で FSI を決定した。なお、観測条件が同じならば、調節後の FSI は全ての LiDAR 計測日で一定となることが期待される。

#### 4. 結果と考察

##### 4.1 群落点群の鉛直分布比較 (2022)

コース A, B が交差する領域(対地 6.4m 四方)の群落点群の鉛直分布と鉛直分布間の相関係数を 6 時期で算出した。その結果、相関係数は 0.876~0.996 となった。3 時期のコース A, B の鉛直分布を図 1 に示す。相関係数が 0.9 未満となった DAT32(6 月 19 日)において、小領域(対地 2.1m 四方)ごとに算出した鉛直分布間の相関係数は 0.705~0.889 となり、標高 19.20m から 19.26m の間でコース A, B の鉛直分布に差異があった。

群落点群の鉛直分布は DAT32 を除き、コース間による差異はなく、レーザフットプリント形状の影響が確認できなかった。当日は他の計測日に比べ平均風速が大きく、計測時に風が弱まることもあった。このため、風が影響しコース間で差異が生じた可能性が考えられる。

##### 4.2 推定鉛直分布の評価

2022 年のドローン LiDAR 計測(走査角-90°・計測高度 10m)データを用いて、ドローン LiDAR 計測時の群落点群の鉛直分布と試作モデルで推定した群落点群の鉛直分布を比較した。生育状態が異なる 3 時期の群落点群の鉛直分布を図 2 に示す。前述した手順で 6 時期のデータから相関係数が最大となる FSI を決定した。その結果、すべての時期で相関係数が 0.9 以上となり、群落点群の鉛直分布シミュレーションモデルが概ね群落点群の鉛直分布を再現している結果が得られた。FSI は DAT27 を除いて 1.70~1.85 とほぼ同程度の値となった(表 2)。これは、本実験と同程度のレーザフットプリント径の大きさの計測ならば FSI=1.7 程度で群落点群の鉛直分布の推定が可能であることを示唆している。

#### 5. まとめ

本稿では、まずレーザフットプリント形状による群落点群の鉛直分布に差異が生じるか検討した。その結果、レーザフットプリント形状の違いによる群落点群の鉛直分布への影響は確認できなかった。このことから、同程度のレーザフットプリント径の大きさならば、レーザフットプリント形状に影響されずに群落点群の鉛直分布は同様な結果が得られることが示唆された。

表 2 各観測日における植被率・FSI・相関係数

	植被率	FSI	相関係数
DAT27	15	1.4	0.957
DAT38	35	1.7	0.981
DAT49	50	1.7	0.937
DAT59	70	1.8	0.912
DAT68	80	1.85	0.995
DAT80	90	1.7	0.994

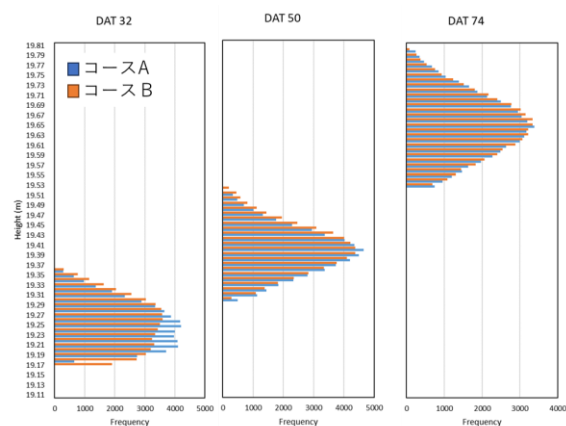


図 1 群落点群の鉛直分布比較 (コース A・B)

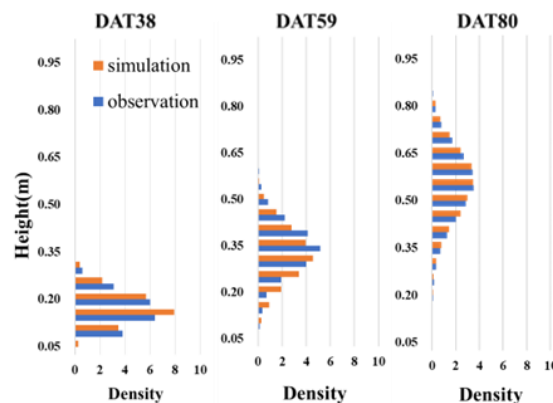


図 2 群落点群の鉛直分布 (2023)

群落茎葉構造が所与のもと群落点群の鉛直分布を推定するシミュレーションモデルは、FSI を調節することで概ね群落点群の鉛直分布を再現している結果が得られ、シミュレーションモデルは有用性があることを示唆した。しかし生育初期の LAD と植被率からは、観測条件に応じた FSI を決定することが難しいと考えられる。

今後は計測高度が 10m 以上の場合でもシミュレーションモデルに有用性があるか検討するために、計測高度 20m, 30m のドローン LiDAR 計測において群落点群の鉛直分布が推定可能であるか検討する必要がある。

#### 【参考文献】

- 1) PHAN THI ANH THU et.al: Method for estimating rice plant height without ground surface detection using laser scanner measurement, Journal of Applied Remote Sensing, 10(4), 2016