

UAV-LiDAR を用いた水稲草丈推定におけるレーザ入射角の影響の検討

長岡技術科学大学大学院 岩崎 毅

長岡技術科学大学 高橋一義

1 はじめに

稲作を含む農業・農村の現状は少子高齢化により農業所得や農業経営体の減少, 担い手不足, 従事者の高齢化といった問題が深刻化している. こういった状況下においてもコメの安定供給・一定水準の品質維持には, 水稲の定期的な生育状況の把握が重要となる. 近年はリモートセンシング技術を活用した生育調査に関する研究が多く行われている. その中でも UAV に能動型センサである LiDAR を搭載し得られた三次元点群から草丈を推定する研究が行われている.

Phan ら¹⁾が提案した草丈推定手法では, レーザ入射角がほぼ鉛直となる領域($\pm 8^\circ$)の LiDAR 計測点の内, 1 パーセント鉛直距離を群落上層部(VD_1), 95 パーセント鉛直距離を群落下層部(VD_{95})の位置として, その差を LiDAR 計測された群落層厚さ(rD)としている.

$$rD = VD_{95} - VD_1 \quad (1)$$

そして, この rD と実測した草丈の関係から草丈推定式を決定している. 市川ら²⁾, 山根ら³⁾はこの草丈推定手法をより広域に適用させる研究を行っている. 市川ら²⁾は UAV-LiDAR 計測の前段階として, 地上から 3m の位置に取り付けたレーザ LiDAR 計測においてレーザ走査領域を入射角により複数の分割領域ごとに Phan らの草丈推定を適用することで草丈推定が可能であることを示した.

本稿では, 山根ら³⁾が 2019 年度に実施した UAV-LiDAR 計測データを用いて, 草丈推定におけるレーザ入射角の影響を検討する.

2 UAV-LiDAR 計測実験

山根らは JA 越後ながおかの指標田の一つである新潟県長岡市宮路町地区の水田を対象として UAV-LiDAR 計測を実施した. 水稲品種と移植日は, それぞれコシヒカリ, 2019 年 5 月 21 日である. UAV-LiDAR 計測は, 5 月 30 日から 8 月 20 日の期間で概

ね 10 日間隔で慣行計測日と同期して実施した. その中から LiDAR データから時刻情報が取得できた 9 回分を解析した. 飛行速度は 1m/s, 高度は 10m である.

2.1 UAV-LiDAR システムの概要

UAV-LiDAR システムは産業用ドローン (DJI Matrice600, D-RTK) に取り付けられたジンバル (DJI Ronin-MX) に搭載した LiDAR (Velodyne VLP-16) を搭載したものである(図 1). LiDAR の計測範囲を機首方向に偏らせるため, LiDAR を鉛直下向きから 9° 傾けて取り付けられている.

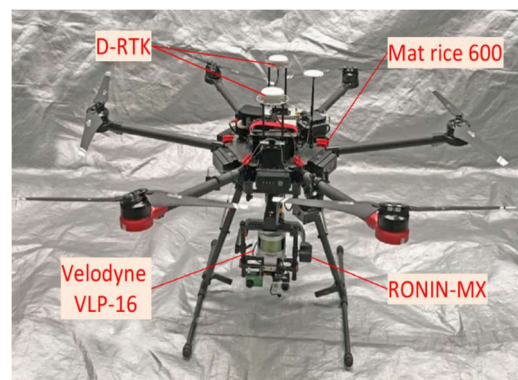


図 1 UAV システムの全景³⁾

2.2 三次元点群の生成

VLP-16 はセンサ中央を原点としたセンサ座標 (VLP 座標系) をもつ. を走査フレーム (走査光が一周した回数) 毎に出力する.

$$\begin{cases} X_{vlp} = R \sin \omega \cos \theta \\ Y_{vlp} = R \cos \omega \sin \theta \\ Z_{vlp} = R \sin \omega \end{cases} \quad (1)$$

以上を VLP 座標系とする. ここで, R は照射距離, ω は走査面傾角, θ は走査回転角である.

山根らは, ジンバルによって LiDAR の姿勢は水平を保っているという前提のもとで, フライトログデータ (機体位置経緯度, 対地高度, 機首方向) を利用して, LiDAR 座標に地図座標 (日本平面直角座標系, 第 8 系) を付与することで三次元点群を作成した.

2.3 レーザ入射条件ごとの rD の算出

鉛直より大きなレーザ入射角で取得された水稻の三次元点群データについて、草丈推定手法を用いた際のレーザ入射角の影響を検討する。山根らの研究ではレーザ入射角 ± 8 度の範囲の三次元点群を飛行方向に分割(4m幅, 40フレーム分, 6区画)し、各区画の VD_{99} と VD_{05} の平均値を計測日における VD_{99} と VD_{05} としていた。本稿では解析対象範囲内のドローンの揺れや地面の傾斜による解析結果への影響を考慮し、既往研究よりも狭い範囲(1m幅, 10フレーム分, 4区画)で解析を行った。さらに、データ分割の際の問題を考慮し、分割を行う場合には隣り合う領域が存在しないように注意した。なお、レーザ入射角による影響を解析するにあたり、LiDARのレーザ走査角を ω 、LiDARミラーの走査回転角を θ とする。

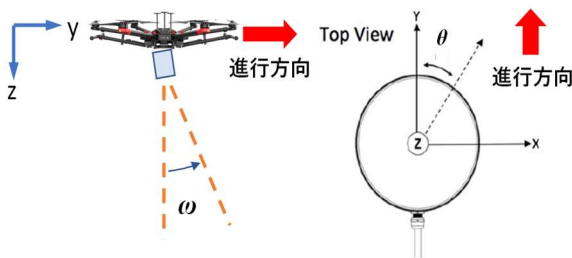


図 3 レーザ走査角 ω と走査回転角 θ

解析領域のLiDARレーザ走査角に応じて分割を行う。VLP-16はセンサ周囲 360° 、上下 30° の範囲を 2° 間隔の6本のレーザで同時に計測する。地面に向け垂直に入射しているレーザ走査光(id6)を 0° とし、ここから走査角が 4° ごとに傾くレーザ走査光を用いて解析を行う。また、同時にミラー回転角 θ を $\pm 8^\circ$ よりも大きくした場合のLiDAR計測群落層厚さ(rD)への入射角の影響を調査する。解析したミラー回転角 θ は $0 \pm 8^\circ$ 、 $-16 \pm 4^\circ$ 、 $16 \pm 4^\circ$ である。計測は往復行っているが、今回の解析は往路のみとする。

3 解析結果と考察

3.1 レーザ入射条件ごとの rD の算出

以上の解析から、UAV-LiDAR計測日ごと(DAT)のレーザ入射角(θ , ω)とLiDAR計測群落層厚さ(rD)の関係を図2に示す。図2の θ は代表値として-16, 0, 16にプロットを行い、 ω は 0° 、 8° 、 16° を用いた。DATが9および70ではミラー回転角 θ の違いに

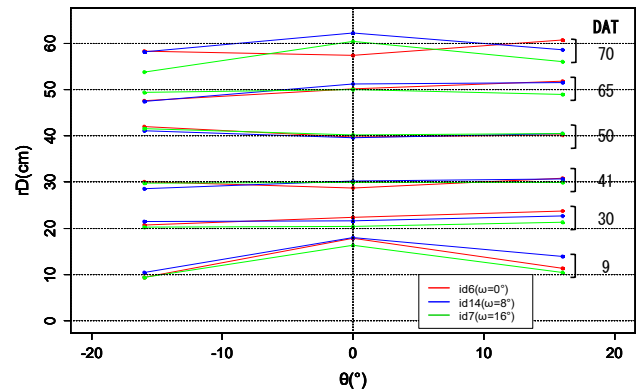


図 2 レーザ入射角と rD の関係

ついて、rDに5cm以上のバラツキが見られる。これは、田植えしてからおよそ一ヶ月後までは、レーザ光のほとんどが地面を含む群落下層部に相当する計測点が多くなり、バラツキが大きくなる。また、DAT69~78の間は、出穂期前後に当たり、群落下層部へ走査光が届きづらくなった可能性があるため、入射角を変化させた場合でもrDに変化が表れたと考えられる。従って今までの手法を用いることはできないと考える。一方、田植え一ヶ月後から出穂期前までは若干のバラつきはあるものの、4cm以内に収まっている。走査角を 16° まで広げても、既往研究で鉛直としていた領域で解析した数値と近い値を得ることができた。このことから出穂期前までの計測データであれば、鉛直より大きなレーザ入射角でも、草丈推定手法が適用可能であることが推測できる。

4 まとめ

本稿では、草丈推定における入射角の影響について検討した。その結果、田植え後一ヶ月後から出穂期前までの範囲内であれば、鉛直より大きな入射角($\omega=0^\circ \sim 16^\circ$, $\theta=-20^\circ \sim 20^\circ$)でも鉛直と近い数値を得ることができ、草丈推定手法が適用可能であるといえる。今後はこの結果を基に実測値との比較から草丈推定式の算出、さらに解析範囲を広げ、入射角の適用限界を調査する。

参考文献

- 1) PHAN Et al. : Method for estimating rice plant height without ground surface detection using laser scanner measurement, Journal of Applied Remote Sensing Vol. 10 No. 4, 2016
- 2) 市川由輔ら, 2017. レーザスキャナ計測データを用いた水稻草丈推定手法におけるレーザ入射角の影響検討, 応用測量論文集, 28, pp. 33-40.
- 3) 山根ら: 車載 LiDAR 搭載 UAV システムによる低高度からの水稻草丈モニタリングの検討, 第 67 回学術講演会論文集, pp149-150, 日本リモートセンシング学会, 2019