

# UAV-LiDAR 計測による広域の水稲草丈推定に関する基礎的検討

長岡技術科学大学大学院 防災・復興システム工学研究室 15333182 合屋 渉太

## 1. 背景

米の安定供給を行うためには、水稲の定期的な生育調査が必要となる。生産現場では生育調査として慣行計測が行われる。しかし、圃場全体の計測には現実的でない。そこで、リモートセンシング技術を活用した研究がされている。これまで、衛星や航空機が多く利用されていたが、より詳細な情報を取得するため、UAV を利用した近接リモートセンシングの研究がされている。

Phan ら<sup>1)</sup>は、UAV に搭載した LiDAR による近接リモートセンシングを想定し、水稲群落上方からの LiDAR 計測による草丈推定手法を提案している。そして、レーザ入射範囲がほぼ鉛直な領域 ( $\pm 8^\circ$ ) において推定誤差が 4~7cm で推定可能であることを示した。市川ら<sup>2)</sup>は、草丈推定手法を広域に適用するため、より広いレーザ入射範囲に適用した。その結果、レーザ入射範囲毎に推定手法を適用することで推定可能であることを示した。一方で、茎葉の繁茂状況が異なる場合のレーザ入射角の影響を検討する必要性を指摘した。草丈推定手法を広域に適用する場合、計測高度をあげる方法もあるが、高度の変化によるレーザフットプリント径の影響を考慮する必要がある。

## 2. 目的

上記のように草丈推定手法は、レーザ入射角・フットプリント径・茎葉の繁茂の影響をうける。本研究では、UAV-LiDAR 計測による広域の草丈推定をするために出穂期前までの水稲を対象に、2017 年と 2018 年に水稲群落上方からの LiDAR 計測を実施した。そして、以下 3 つの項目について検討した。

- 1) 「草丈が同一であっても茎葉の繁茂状況が異なる場合のレーザ入射角の影響」
- 2) 「草丈推定手法におけるレーザフットプリント径の影響」
- 3) 「生産現場の圃場への草丈推定手法の適用」

検討した結果から UAV-LiDAR 計測の運用について考察する。

## 3. LiDAR 計測実験

### 3.1. 草丈が同一であっても茎葉の繁茂状況が異なる場合のレーザ入射角の影響検討

検討を行うため、抜け株や生育不良、雑草など

がなく緻密に生育管理された新潟県農業総合研究所作物研究センター(北緯  $37^\circ 26' 17.7''$ 、東経  $138^\circ 52' 19.5''$ ) の圃場(以下、試験場)の一面を対象とした。この圃場に水稲群落上方を通る空中ガイドレールを設置し、レール上から LiDAR 計測を実施した。

対象圃場の水稲品種はコシヒカリで田植え日は 2017 年 5 月 12 日、栽植密度  $15 \text{ 株/m}^2$  である。草丈が同一であっても茎葉の繁茂状況が異なる水稲群落を設定するため、圃場内を基肥量が異なる 3 つの区画(10a 当たり、区画 I :  $1\text{kgN}$ 、区画 II :  $3\text{kgN}$ 、区画 III :  $5\text{kgN}$ ) で分割し、草丈が同一となるように生育を調整した(図 1)。

2017 年の計測は高度 3.6m、速度  $3\text{cm/s}$  で 6/12 ~ 7/19 に計 8 時期分実施した。LiDAR 計測と並行して対象圃場の水稲の草丈、茎数の慣行計測を行った。計測株数は各区画から 5 株ずつ計測を行い、それぞれの平均値を各区画の代表値とした。使用した LiDAR の諸元は表 1 に示す。

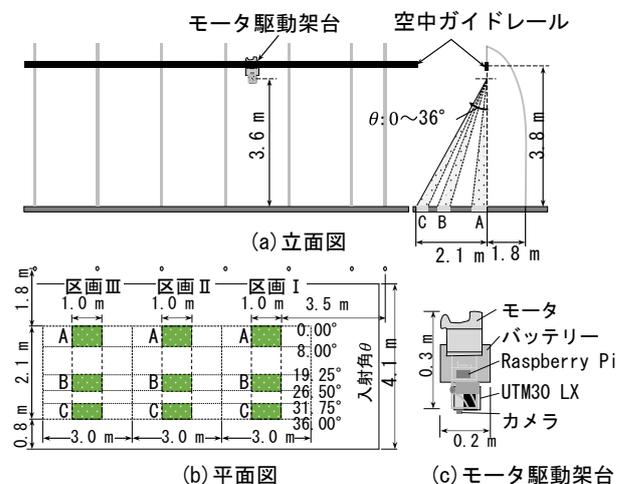


図 1 地上レール LiDAR 計測概要 (2017)

表 1 UTM-30LX/LX-EW

波長	905 nm
走査角度	270 度
角度分解能	0.25 度
走査時間	25 ms
測距精度	30mm(0.1~10m)
フットプリント径	67 × 13mm@5m

### 3.2. 草丈推定手法におけるレーザフットプリント径の影響

レーザフットプリント径の影響を調査するため、同一圃場に対して地上レーザ LiDAR 計測と UAV-LiDAR 計測を異なる高度で実施した。対象圃場は 3.1 節で示した試験場と同じであるが計測条件と計測年度は異なる。

対象圃場の水稻品種はコシヒカリで田植え日は 2018 年 5 月 17 日、栽植密度 19.3 株/m<sup>2</sup> である。圃場内を基肥量が異なる 3 つの区画 (10a 当たり、区画 I : 0kgN、区画 II : 3kgN、区画 III : 6kgN) に分割した。草丈の調整は実施しない。

地上レーザ LiDAR 計測は高度 2.8m、速度 3cm/s で 6/14~7/30 に計 8 時期分実施した。また、稲刈り取り後の 10 月 5 日に LiDAR 計測を実施し、計測した LiDAR データを水田面の高さとして利用した。

同じ圃場を対象に、高度 5m、速度 2m/s にて UAV-LiDAR 計測を実施した。計測は 6/22~7/30 の計 4 時期分である。空中ガイドレールが UAV-LiDAR 計測時に鉛直真下に入らないように、少しずらした位置を計測した (図 2)。本論文では計測対象圃場は区画ごとに生育が均一であると仮定して解析を行う。

UAV-LiDAR 計測は飛行経路が計測ごとに多少ずれる。計測データを解析する際同一の区画からデータを抽出する必要があるため位置合わせを実施した。対象圃場を囲う 4 か所に反射率の高いマーカを設置し位置合わせの基準に利用した。

3.1 節と同様に LiDAR 計測と並行して対象圃場の水稻の草丈、茎数の慣行計測を行った。地上レーザ LiDAR 計測と UAV-LiDAR 計測で使用した LiDAR は、外装は異なるが性能は同じものを利用した (表 1)。

### 3.3. 生産現場の圃場への草丈推定手法の適用

実際の生産現場では、稲作農家は複数の圃場を管理する必要があり、試験場のような緻密に生育管理することは困難である。

そこで、新潟県長岡市深沢地区 (北緯 37° 24' 44.7"、東経 138° 47' 07.2") の生産現場の圃場 (以降、実圃場) において UAV-LiDAR 計測による草丈推定手法が適用可能か検討した。計測対象とする圃場は 2 面 (西側と東側) 用意したが、解析した結果がほとんど同じであったため本論文では西側の圃場を解析した結果のみ示す。

対象圃場の水稻品種はコシヒカリで田植え日

は 6 月 7 日、基肥 2.8 kgN/10a である。西側と東側で栽植密度が異なり、西側は 15.1 株/m<sup>2</sup>、東側が 18.1 株/m<sup>2</sup> である (図 3)。

UAV-LiDAR 計測は高度 5m、速度 2m/s で 7/10~8/4 に計 8 時期分実施した。LiDAR 計測後に、対象圃場の水稻の草丈、茎数の慣行計測を行った。5 株計測を行い、それぞれの平均値の代表値とした。

### 4. 草丈推定手法

草丈推定手法では、LiDAR 計測点の鉛直分布を解析し、群落最上層と群落下層の位置の相対距離である LiDAR 計測した群落層厚さ ( $rD$ ) を算出する (図 4)。そして、草丈 ( $H$ ) との関係から一次近似により草丈推定式を決定する。本稿では、地盤高を基準に鉛直上向きの距離 (高さ) へ変換し、これを LiDAR 計測点の高さとする。そして、LiDAR 計測点の高さが、99 パーセンタイル ( $VD_{99}$ ) を群落最上層の位置、5 パーセンタイル ( $VD_5$ ) を群落下層の位置として、 $rD$  を算出する (式 1)。

$$rD = VD_{99} - VD_5 \quad (1)$$

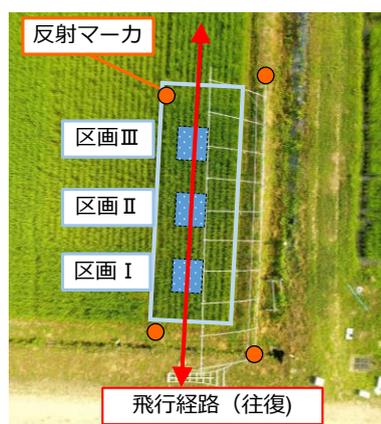


図 2 試験場の UAV-LiDAR 計測 (2018)

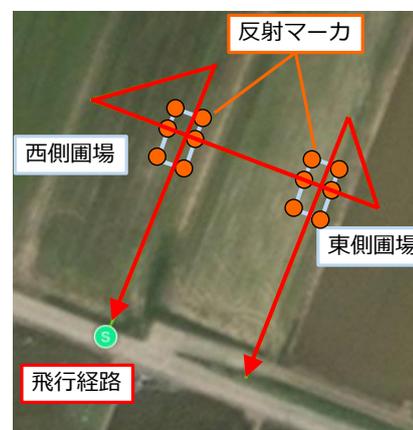


図 3 実圃場の UAV-LiDAR 計測 (2018)

## 5. 角検討の LiDAR 計測データ解析結果

### 5.1. 検討 1) の LiDAR 計測データ解析結果

レーザ入射角の影響を検討するため区画ごとに3つのレーザ入射条件を設定した(領域 A: 0.00~8.00°, B: 19.25~26.50°, C: 31.75~36.00°)

(図 1b)。2017 年度地上レーザ LiDAR 計測データから求めた  $rD$  と草丈  $H$  の関係を図 5 に示す。草丈が 50 cm 以下の時期(~DOY180)ではレーザ入射条件による違いがほぼ見られない。それ以降では、入射条件が大きくなるほど、 $H$  の増加に  $rD$  が追従しなくなる傾向を示す。これは、図 6 に示すように  $VD_{99}$  が入射角の影響をほぼ受けない一方、 $VD_5$  が DOY180 以降、影響を強く受けることに起因している。

### 5.2. 検討 2) の LiDAR 計測データ解析結果

2018 年度試験場の地上レーザ LiDAR 計測と UAV-LiDAR 計測の区画 II の  $rD$  と  $H$  の関係を図 7 に示す。レーザフットプリント径が拡大すると、単位面積当たりのレーザ強度が小さくなりレーザ計測点が見つらなくなる。それにより群落下層の計測点が減少し  $VD_5$  の位置が高くなるため  $rD$  が増加しなくなる。以上より、 $rD$  が  $H$  の増加に追従せず推定式の傾きが高くなることが予想される。しかし、今回は計測による傾きの違いはほとんど見られなかった。

### 5.3. 2018 年度深沢地区圃場での UAV-LiDAR 計測結果

2018 年度実圃場の UAV-LiDAR 計測の  $rD$  と  $H$  の関係を図 8 に示す。 $rD$  は経時変化によって増加せずほぼ同じ値をとっている(32.6~37.7cm)。 $rD$  が  $H$  の増加に追従しなかったため、草丈推定ができなかった。

## 6. 考察

### 6.1. 草丈が同一であっても茎葉の繁茂状況が異なる場合のレーザ入射角の影響

図 5 より  $rD$  と  $H$  の関係が入射条件により大きく変化し、入射角が大きい領域ほど茎葉の繁茂状況の影響が強く現れる結果となった。これは  $VD_5$  の値が、入射角が大きいほど茎葉が繁茂するほど高くなる傾向を示すことによる。このことから、茎葉が繁茂した群落では、入射角が大きい LiDAR 計測データへ草丈推定手法をそのまま適用できない可能性が明らかになった。また、レーザがほぼ鉛直に入射する 0.00~8.00 度の領域では茎葉の繁茂の影響をほとんど受けない可能性がある。

草丈が 50cm に達する最高分けつ期までは、 $rD$  と  $H$  の関係が茎葉の繁茂状況と入射条件によらず単調増加する傾向を示している。これより、最高分けつ期までの群落では、 $rD$  が茎葉の繁茂と入射条件に影響されない可能性がある。

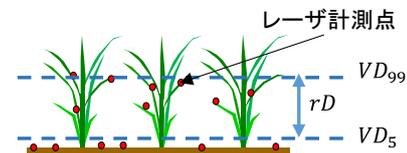


図 4 LiDAR 計測した群落層厚さ

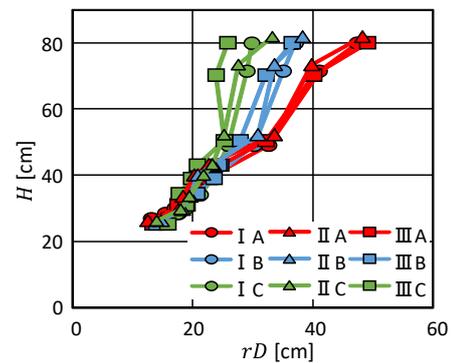
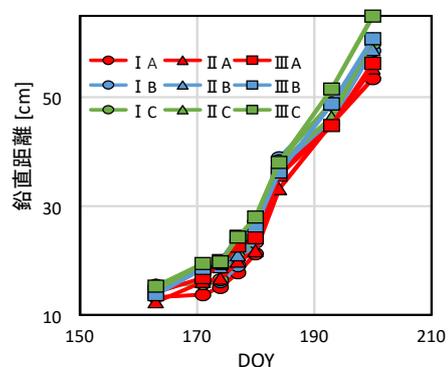
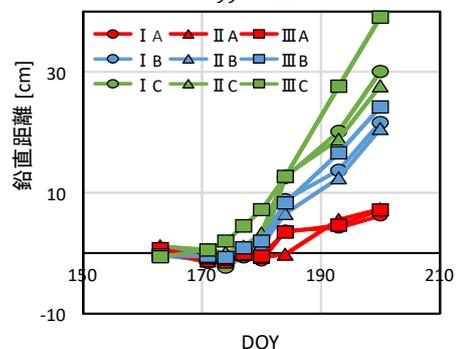


図 5  $rD$  と  $H$  の関係 (2017 年試験場)



(a)  $VD_{99}$  の経時変化



(a)  $VD_5$  の経時変化

図 6  $VD_{99}$  と  $VD_5$  の経時変化 (2017 年試験場)

また、入射領域 A と B では  $rD$  と  $H$  の関係が単調増加していることから 8.00~19.25 度においても草丈推定手法が適用できる可能性がある。

## 6.2. 草丈推定手法におけるレーザフットプリント径の影響

レーザフットプリント径が拡大すると、 $rD$  が  $H$  の増加に追従しづらくなることから草丈推定式の傾きが大きくなることが予想される。しかし、今回の結果からは大きな違いはなかった (図 7)。これは、今回対象とした水稻群落は、レーザフットプリント径が大きくなって群落下層が計測可能な程度の繁茂状況だったと考えられる。このため今回の結果からは、レーザフットプリント径の明確な影響は確認できなかった。

## 6.3. 実圃場での UAV-LiDAR 計測結果について

図 8 からわかるように、 $rD$  が  $H$  の増加に追従しなかったため草丈推定ができなかった。2017 年に実圃場を対象に計測高度 5m から実施した UAV-LiDAR 計測結果では草丈推定が可能であった。このように結果が異なった要因としては圃場内の雑草による影響が考えられる。2017 年と 2018 年の実圃場の慣行計測は、著者自身が行っており、2018 年では雑草が多く生えていることを確認した。この雑草が生えていたことで、茎葉の繁茂状況が高くなりレーザ光が地面付近に届かなくなったことが原因の一つであると考えられる。

## 7. 結論

出穂期前までの水稻を対象に、2017 年と 2018 年に水稻群落上方からの LiDAR 計測を実施し、草丈推定手法を広域に適用するために 3 つの検討を行った。その結果、

- 1)  $rD$  と  $H$  の関係はレーザ入射角の影響を強く受けるが、最高分けつ期前まではほとんど影響はない。また、レーザがほぼ鉛直に入射する領域では茎葉の繁茂状況の影響はほぼ受けない。入射条件が 8.00° ~ 19.25° の範囲でも草丈推定手法が適用できる可能性がある。ただ、範囲を特定するにはさらなる解析が必要である。
- 2) 同一圃場を異なる高度から LiDAR 計測を実施し、草丈推定手法におけるレーザフットプリント径の影響を検討した結果、今回の結果からは明確な影響を確認できなかった。
- 3) 実際の生産現場において草丈推定手法を適用した結果、草丈推定ができなかった。原因の一

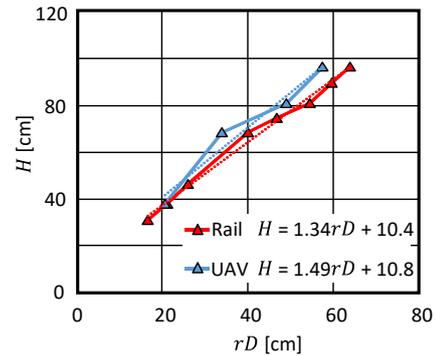


図 7  $rD$  と  $H$  の関係 (2018 年試験場)

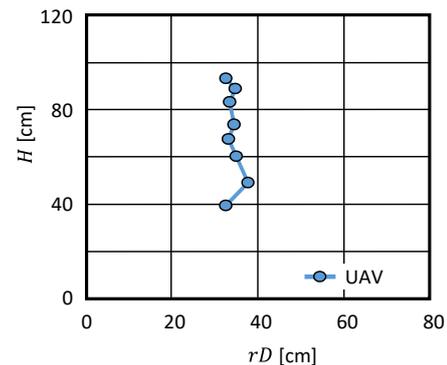


図 8  $rD$  と  $H$  の関係 (2018 年実圃場)

つとしては雑草などにより茎葉の繁茂が仮想的に高くなった可能性がある。

今後の展望として、広域に草丈推定手法を適用するには、フットプリント径が小さく計測密度の高い高性能な LiDAR を使用することが望まれる。このような機器を用いれば、レーザ光がほぼ鉛直入射する領域に制限することで広域に適用できる可能性がある。今後このような LiDAR による実験を行い、データの蓄積と解析が必要となる。

## 参考文献

- 1) Anh Thu Thi Phan, Kazuyoshi Takahashi, Atushi Rikimaru, Uasuihiro Higuchi : Method for estimating rice plant height without ground surface detection using laser scanner measurement, Journal of Applied Remote Sensing 10 (4), 046018-1-12, <https://doi.org/10.1117/1.JRS.10.046018>
- 2) 市川由輔、高橋一義、Anh Thu Thi Phan、樋口泰浩：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、2017