

# 水稻群落上方からのレーザスキャナ計測による生育モニタリングに関する検討

環境リモートセンシング研究室 修士2年 08107290 丸山 貴士

## 1. はじめに

高品位米の安定生産には、適切な栽培管理が必要である。そのためには、定期的な生育調査により水稻の生育状態を把握することが不可欠である。生産現場では、慣行的に草丈、茎数、葉色を直接計測する生育調査法が普及している。

とくに、分けつ期から出穂期までの生育期においては、草丈、茎数が急速に変化するため、高頻度な生育量の把握が求められる。慣行計測では、一株ずつ計測するため計測箇所の影響を受けやすく、計測結果の空間代表性が低い。このため、計測時の作業労力低減や能率向上、計測結果の再現性と空間代表性の向上を目的として、リモートセンシング技術を用いた計測手法が研究されている。

葉色情報に着目した研究として、堀尾ら<sup>1)</sup>は、太陽光の強度と作物からの反射光の強度を同時に測定できる携帯式作物生育情報測定装置を開発し、緑、赤、近赤外の分光反射強度から生育情報を推定している。また、安積ら<sup>2)</sup>は、出穂期以降の水稻を対象として SPOT/HRV データから計算した正規化植生指標 (NDVI: Normalized Difference Vegetation Index) から米のタンパク含有率を推定する手法を開発した。この手法は、一部の農業団地で圃場管理システムに組み込まれる形で実用化している。

葉色情報とは異なる生育指標として稲株の平面的な広がりを示す植被率がある。岩谷ら<sup>3)</sup>は、デジタルカメラで撮影した稲株と田面の画像を、各画素の濃度値 (R、G、B) から二値化し、画素数を計測することにより植被率を算出した。また竹峰ら<sup>4)</sup>は、水稻の鉛直撮影画像から植被率を算出し、稲体窒素量を推定している。

しかし、稲体が大きく生長する6~7月は梅雨時期と重なるため<sup>5)</sup>、カメラに代表される受動型の光学式センサを用いた計測手法は、その利用を制限され高頻度かつ安定して生育度を測定することが難しい。

レーザスキャナは、土木分野を中心に普及している能動型の光学センサであり、計測時の天候の影響を受けにくい計測装置である。レーザスキャナを利用した水稻の生育度把握の研究

として、Tilly ら<sup>6)</sup>は据置型の地上レーザスキャナから水稻群落を計測することにより、水稻群落表層モデル (CSM: Crop Surface Model) を作成した。そして、算出した CSM は草丈や稲体の乾物重と相関があることを示した。また、高橋ら<sup>7)</sup>は、生育初期から中期の水稻について、航空レーザ測量のように水稻上空から取得したレーザスキャナデータから植被率が推定可能であることを示した。

航空レーザを用いて農作物の生育情報の取得を行った谷ら<sup>8)</sup>は、イネのように細い葉が縦に伸びるような草型の作物では、レーザ光が作物内に比較的深く入ってから反射してしまうことを指摘している。

一般に、レーザスキャナ計測において鉛直よりも斜め計測の方が稲体に当たるレーザ計測点数が増加する。これを従来のレーザ走査面が鉛直である航空レーザスキャナ計測に適用しようと考え、2012年に模擬実験を実施した<sup>9)</sup>。その結果、斜め計測は鉛直計測に比べて稲体に当たるレーザ計測点が多いことがわかった。

レーザスキャナは、対象物の形状情報を取得する。このため、水稻の生育程度が同一であっても圃場での栽植密度、稲株の植付け方向、レーザ走査面角の違いにより取得されるレーザスキャナデータが変化する可能性がある。広域のレーザスキャナ計測を実施するためには、これらの影響を調査する必要がある。

本研究では、広域のレーザスキャナ計測を想定し、レーザ走査面角に加え、計測対象圃場の栽植密度、植付け方向の違いが取得されるレーザスキャナデータにどの程度影響するかを地上実験データから検討した。

## 2. レーザスキャナ計測実験および慣行計測

水稻群落のレーザスキャナ計測データを経時的に取得するため、新潟県農業総合研究所内の試験圃場上に、実験装置を設置した。実験装置はラインレーザ (SICK LMS200) とそれを水平移動させる移動レールで構成される。本研究では、天頂角0度 (鉛直計測) と30度 (斜め計測) のラインレーザ走査面角でレーザスキャナ計測した (図1)。実験装置の設置場所と実

験風景を図2に示す。

計測対象とした水稻品種はコシヒカリで、2013年5月15日に移植した。試験区画として栽植密度と植付け方向が異なる5つの区画(区画A~E)を設定した。栽植密度は、20.8株/m<sup>2</sup>、15.2株/m<sup>2</sup>、11.1株/m<sup>2</sup>の3ケース、植付け方向は、鉛直計測時の走査面の法線方向(スキャン方向)と株の植付け方向が平行と直交(図3)の2ケースとした(表1)。なお、区画Cは、植付け間隔が株間、条間ともに30cmなので植付け方向の区別はない。計測実験は2013年6月12日から9月18日まで実施した。また、試験圃場的水稻の生育状態を把握するため、植被率計測および稲株の草丈、茎数計測を実施した。草丈、茎数および植被率の経時変化を図4に示す。図4より、どの試験区においても草丈は時間経過にともない増加し、ほぼ同じ草丈まで伸長したことが分かる。ただ茎数は、試験区によりその値に開きがあり(7月16日で300~450本/m<sup>2</sup>)、試験区画で生育差が生じていることがわかる。草丈、茎数と同様に植被率も時間経過にともない増加した。最も植被率が低く推移したのは区画Eだった。これは、密植区画であるため株間が狭く、茎葉の生長が抑えられてしまった影響であると考えられる。

### 3. 結果と考察

本研究の解析期間は、水稻の繁茂状態が著しく変化する2013年6月20日から7月16日までの合計9時期分とした。本研究では、試験区で最も疎植の区画Cにおいて、区画中央の稲株を含む6株分の占有面積に相当する領域を解析領域とした。この解析領域は、レーザ走査角度-8.8度から8.8度の領域である。区画Cと同様の解析領域を他の区画にも設定した。

ここで、栽植密度、植付け方向、レーザ走査面角がレーザスキャナ計測データに及ぼす影響を調べるため、レーザ計測点の5、10、25、50、75、95、99百分位数(以降%tile)のレーザ計測高さを用いた。また、水稻の生育量として、草丈(cm)と茎数(本/m<sup>2</sup>)の積値で表される乾物推定指標を用いた。<sup>10)11)</sup>

#### (1) 草丈と99%tileレーザ計測高さの関係

レーザ計測点の99%tileレーザ計測高さは、群落上部を捉えていると考えられる。どの程度の位置であるか稲株の田面からの長さを表す草丈との関係を調べた。結果を図5に示す。図5より、走査面角、植付け方向、栽植密度によ

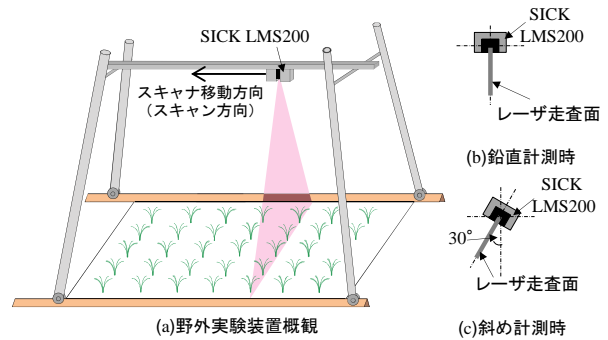


図1 実験装置の概要



図2 実験場所と実験風景

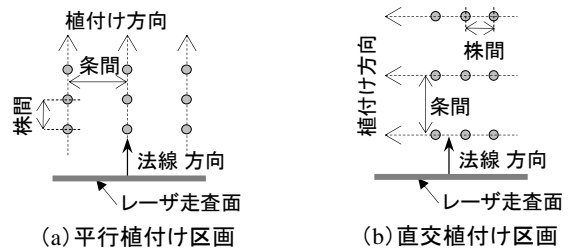


図3 平行、直交植付け区画

表1 実験区画の概要

実験区画	A	B	C	D	E
栽植密度(株/m <sup>2</sup> )	15.2	20.8	11.1	15.2	20.8
植付方向	平行	平行	-	直交	直交

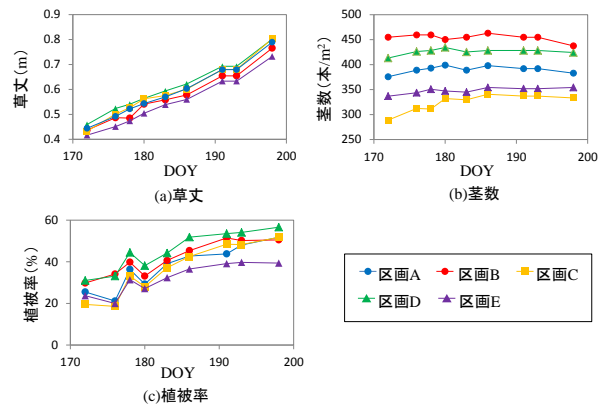


図4 草丈、茎数および植被率の経時変化

らず、99%tile レーザ計測高さは草丈と高い相関があることがわかる。Tilly ら<sup>6)</sup>の報告では、草丈の実測値とレーザスキャナ計測によって得られた水稻高さの関係から、決定係数 ( $R^2$ ) = 0.9105 を得ている。本研究でも、草丈の実測値と 99%tile レーザ計測高さの関係から  $R^2 = 0.97$  以上の高い数値を得た。図 5 に示す近似式の切片が 0 にならない理由として、谷ら<sup>8)</sup>の報告のようにレーザ光が群落内部に入り込んだ影響が考えられる。

### (2) 走査面角の影響

走査面角度により、レーザスキャナ計測データがどう変化するか調べるため、3 時期の鉛直、斜め計測において、同一%tile レーザ計測高さを比較した (図 6)。プロット点は下から 5、10、25、50、75、95、99%tile 高さを示す (合計 7 プロット)。その結果、区画によらず、同一%tile レーザ計測高さは、鉛直よりも斜め計測時の方が高かった。両者の差は、地面付近に近い高さ 0.10m 以下を除いて、群落下層部に向かい大きくなった。これは、走査面角度を鉛直から斜めにすることで、群落内を通過するレーザ光の距離が増加し、鉛直時に比べより茎葉でレーザ光が遮られた効果であると考えられる。ただ、群落最下層に対応する 5%tile 高さを見ると、期間中盤の 7 月 1 日までは、鉛直、斜め計測ともに地面付近を計測していることから、ある程度の繁茂状態 (植被率 40%程度) までは、斜め計測においても地面が検出可能であることが示唆された。しかし、出穂期前の 7 月 16 日では、1 区画を除き、鉛直と斜め計測時の 5%tile レーザ計測高さの差が約 0.20m と大きく、繁茂状態が進むと栽植密度、植付け方向と走査面のなす角により斜め計測では地面が計測されない可能性が示唆された。

### (3) 栽植密度と植付け方向の影響

95、75、50、20%tile レーザ計測高さにおける同一栽植密度の区画において、レーザ計測高さと乾物推定指標の関係から同一生育状態においてレーザ計測高さが増減するか調べた (図 7)。その結果、栽植密度が 15.2 株/m<sup>2</sup>の区画では、植付け方向の影響がほとんど見られないことが読み取れる。しかし、20.8 株/m<sup>2</sup>の区画では、25%tile レーザ計測高さを除き、平行区画と直交区画のレーザ計測高さの差が確認される。この差は、鉛直計測時と斜め計測時でそれぞれ平均 0.13m、0.17m であった。このことから、栽植密度が高い場合、同一の生育状態に

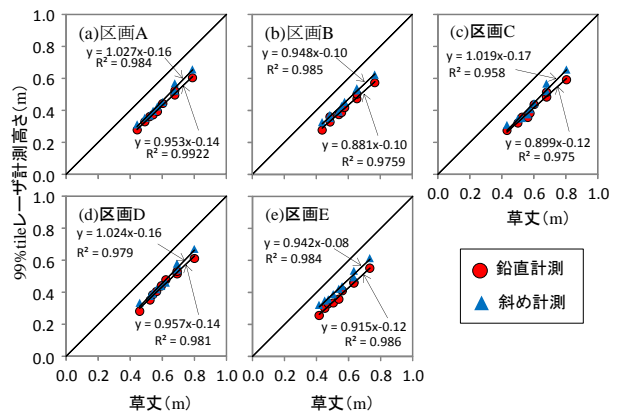


図 5 草丈と 99%tile レーザ計測高さの関係

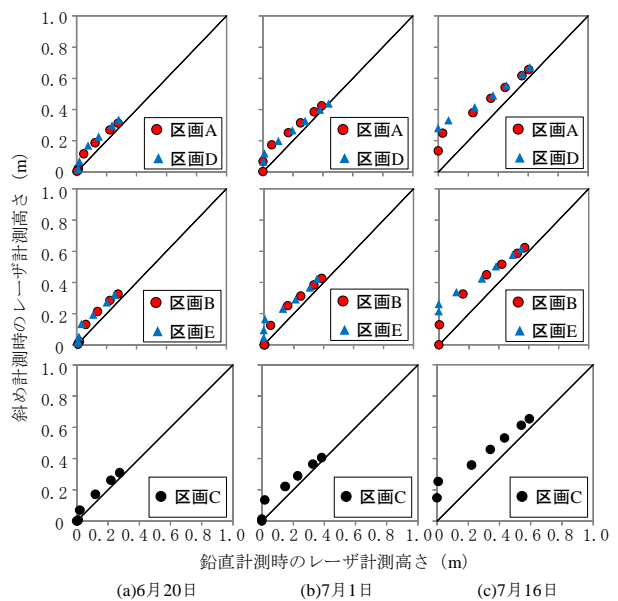


図 6 鉛直計測と斜め計測時のレーザ計測高さの関係

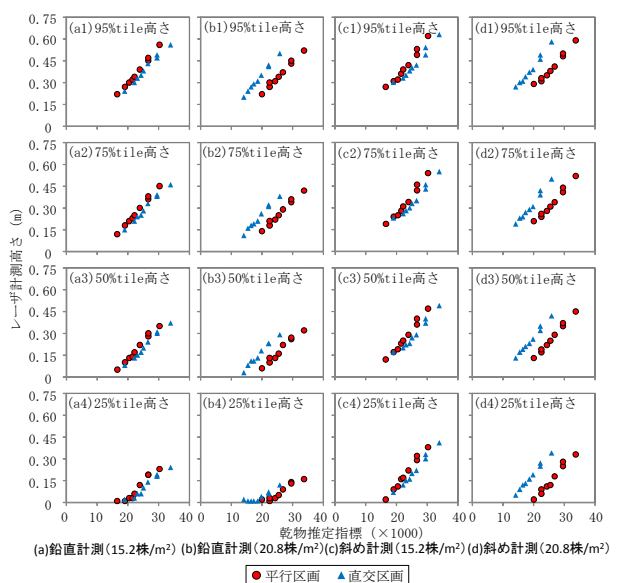


図 7 栽植密度、植付け方向によるレーザ計測高さの変化

においても植付け方向の違いにより取得されるレーザスキャナ計測データが変化する可能性が示唆される。

#### 4. まとめ

本研究では、小型無人機を用いた低空からの水稻のレーザスキャナ計測による広域の水稻生育モニタリングにおいて、計測対象圃場の栽植密度、植付け方向、レーザ走査面角の違いによりレーザスキャナ計測データがどう変化するのか地上実験により検討した。その結果、

- ・レーザ走査面の傾き（鉛直と天頂角 30 度）によらず、99%tile レーザ計測高さは草丈と高い相関を示した。99%tile レーザ計測高さは、鉛直よりも斜め計測時が若干高めに推移し、計測期間を通じて草丈の 60~80%の高さであった。

- ・レーザ走査面を斜めにする事で、群落内で反射するレーザ光の割合が高くなり、群落下層ほどこの傾向が強く現れた。ただ、植被率 40%程度までは斜め計測時においても地面が計測可能であることがわかった。

- ・生育量を表す乾物推定指標値が同じ場合、栽植密度が高い（20.8 株/m<sup>2</sup>）区画では、走査面角の傾きによらず、植付け方向の違いにより取得されるレーザスキャナ計測データが変化（平行区画と直交区画で鉛直計測時と斜め計測時でそれぞれ平均 0.13m、0.17m の差があった）する可能性が確認された。本研究では、直交の植付け方向の方が平行にくらべ、同一%tile レーザ計測高さが高くなった。

以上より、水稻上方からのレーザスキャナ計測により広域の水稻生育量を把握する際、とくに密植な圃場では、取得されたレーザスキャナ計測データの植付け方向の影響を考慮する必要がある。また、走査面が鉛直の状態においてもレーザ走査角が大きくなる領域では、本研究の斜め計測と同様の計測状態になる。水稻群落上方から広いレーザ走査角でレーザスキャナ計測する場合、走査面の傾きだけでなく、走査角の影響を考慮する必要があると考えられる。

本研究は、約 3m 上方から水稻生育モニタリングの検討を実施した。その結果、斜め計測時は鉛直計測時とくらべて群落内部へのレーザ光の入り込みが少ないことがわかった。これは、斜め計測の方がレーザフットプリント径の影響を受けにくいことを示唆している。この結果から、実機の航空機を用いたレーザスキャナ計測においても斜め計測を実施することにより、

谷ら<sup>8)</sup>が指摘した群落内部へのレーザ光の入り込みを緩和できる可能性が考えられる。ただし、今回の結果は 1 シーズンのみの結果である。水稻の品種や栽培条件、気候などによって生育のしかたも異なるため、今後も計測データを蓄積し、本研究の再現性を確認することが必要である。

#### 【参考文献】

- 1) 堀尾光広, 西村洋, 市川友彦, 林和信, 後藤隆志, 飯塚勝弘, 田中秀樹, 奥西陽平: 携帯型作物生育情報測定装置の開発, 日本作物学会紀事, Vol.71, No. 2, pp.126-127, 2002
- 2) 安積大治, 志賀弘行, 水稻成熟期の SPOT/HRV データによる米粒蛋白含有率の推定, 日本リモートセンシング学会誌, Vol.23, pp.451-457, 2003
- 3) 岩谷潔, 山本晴彦, 早川誠而: デジタルカメラを用いた水稻個体群の植被率の推定, 日本作物学会紀事, 68 巻, pp.202-203, 1999
- 4) 竹峰秀祐, 力丸厚, 高橋一義, 樋口泰浩: 簡易画像計測法を用いた水稻植被率による稲体窒素量の推定に関する基礎研究, 写真測量とリモートセンシング, Vol.46, No.4, pp.61-65, 2007
- 5) 気象庁: 平成 25 年報道発表資料, 平成 25 年の梅雨入り・明けと梅雨時期の特徴について, <http://www.jma.go.jp/jma/press/1309/02a/tsuyu2013.pdf>, (入手 2014.2)
- 6) N.Tilly, D.Hoffmeister, H.Liang, Q.Cao, Y.Liu, V.Lenz-Wiedemann, Y.Miao, G.Bareth: EVALUATION OF TERRESTRIAL LASER SCANNING FOR RICE GROWTH MONITORING, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B7, 2012
- 7) 高橋一義, 樋口泰浩, 力丸厚, 和泉勇希: 時系列レーザスキャナ計測による水稻の生育診断の可能性検討, 写真測量とリモートセンシング, Vol.48, No.4, 2009
- 8) 谷宏, 但馬美保, 王秀峰, 荒木肇, 中辻浩喜, 内野紀彦, 山代行記: 航空レーザ計測を用いた農作物の生育情報の取得, 日本写真測量学会秋季学術講演会, pp.47-48, 2009
- 9) 丸山貴士, 高橋一義, 樋口泰浩: 斜めスキャン面でのレーザスキャナ計測による水稻生育モニタリングの検討, 日本リモートセンシング学会第 53 回学術講演会論文集, pp.153-154, 2012
- 10) 社団法人 北海道米麦改良協会: 北海道の米づくり [2011 年版], pp.227, 2011
- 11) 農文協編: 稲作大百科Ⅲ 基本技術生育診断, 社団法人農山漁村文化協会, pp.437-447, 1990