

委託試験成績（平成27年度）

担当機関名 部・室名	新潟県農業総合研究所作物研究センター 栽培科
実施期間	平成25年度～平成27年度
大課題名	I. 大規模水田営農を支える省力・低コスト技術の確立
課題名	大規模水田営農を支援する生育量測定のための水稲レーザースキャナ計測技術の確立
目的	高品質米を生産するために、生産現場では水稲の生育状況を把握しながら栽培管理が行われている。品種や地域別の生育量の指標は草丈、茎数、葉色などで示されるが、一般的に、これらを圃場全体において手作業でより多くの情報を得るには多大な労力を要し、これをもとにきめ細かい栽培管理を行うことは極めて困難である。これらを中干し及び穂肥時期頃の水稲を対象に、「レーザースキャナ計測」を行い、外光条件の影響を受けない水稲の生育量を測定できる技術を確立する。
担当者名	樋口泰浩
<p>1. 試験場所</p> <p>(1) 作物研究センター内 E2 圃場</p> <p>(2) 現地圃場 長岡市中之島地区、2 筆</p> <p>2. 試験方法</p> <p>センター内圃場において計測架台による地上計測、現地ほ場及びセンター内圃場において無人ヘリ計測を行った。レーザースキャナ等の設定は前年度と同様とし、無人ヘリ計測では複数の試験区を連続して計測できるようタブレット PC を無人ヘリに搭載して記録した。</p> <p>(1) 供試機械名</p> <p>ア. 無人ヘリ AYH-3</p> <p>イ. レーザースキャナ SICK LMS200</p> <p>装置前面から赤外レーザーを投光し距離を計測、レーザーは左右方向に走査。設定は走査頻度 18.75Hz、走査範囲±25°、1 走査 200 点とした。データ取得は、長岡技術科学大学 高橋一義准教授、Phan Thi Anh Thu 氏と共同で実施した。</p> <p>(2) 試験条件</p> <p>ア. 圃場条件（センター内） 細粒グライ土壌、前作大豆</p> <p>イ. 品種名：コシヒカリ</p> <p>ウ. 地上計測試験の栽培概要（センター内）</p> <p>田植：5月13日、栽植密度 37、50、70 株/坪、1 株本数 4 本</p> <p>基肥：塩加磷安、窒素成分 1kg/10a、耕起時全層混和</p> <p>エ. 無人ヘリ計測試験の栽培概要</p> <p>センター内 田植：5月13日及び6月3日、栽植密度 50 株/坪、機械植</p> <p>現地圃場は現地慣行による。</p> <p>オ. レーザースキャナ計測方法</p> <p>スキャナは水稲の上空に配置し真下（以下、0° と表す）と真下から斜め前方 30°（以下、30° と表す）とに向けて計測した。スキャナの移動は、地上計測では高さ約 3m の計測架台のリニアドモーター、無人ヘリ計測では無人ヘリに搭載して行った。移動方向と垂直面で走査することでスキャナ及び移動装置により 3 次元空間での水稲茎葉の分布状態を取得した。スキャナからは 1 走査内のレーザーの角度と対象物までの距離が得られるので、スキャナの位置を基準(0m)、下方をマイナスとして 3 次元空間での位置に変換した。（図 1、2、写真 1、2）</p>	

計測日：

地上計測：6月29日、7月2日、9日、27日

無人ヘリ計測：6月11日、7月10日

レーザースキャナ計測条件：

地上計測：37、50、70株/坪配置×移動方向平行、直交×0°、30°

無人ヘリ計測：高度3、5、7m×飛行速度10、15km/h×0°、30°（移動方向平行）

なお、移動方向の平行、直交はスキャナの移動方向と植付けの条方向との位置関係を示し、37株では条間、株間が同一なので平行、直交の試験区はない。

### 3. 試験結果

前年度までの結果から、水稻の上部と地表面を反映しているものと考えられるレーザースキャナ反射累積度数が5%、95%となる距離（以下、 $H_5$ 、 $H_{95}$ と表す）及び $H_5$ と $H_{95}$ の差（以下、 $H_{5-95}$ と表す）等と草丈・茎数等の関係を調査した。無人ヘリ計測ではレーザースキャナと水稻までの距離が一定ではないため $H_{5-95}$ を用いた。

#### (1) 地上計測試験

慣行計測をスキャナ計測日の付近で行い、計測に供試した水稻の草丈、茎数は表1、2のとおりであった。草丈、茎数に前年度と比べて大きな差はないが、前作大豆のため7月の葉色は前年度に比べ濃く推移した。（データ略）

測定角度0°の $H_5$ は草丈と同様に推移し（図3）、 $H_{95}$ は6月29日と7月2日ではほぼ地表付近であったが、7月9日の一部の区及び7月27日では地表よりも高い位置となった（図4）。これは稲が繁茂し田面付近までレーザ光が到達しづらくなり、地表の検知ができなくなることが考えられた。無人ヘリでの計測を想定し測定角度0°における $H_{5-95}$ と草丈との関係を図5に示した。前年度とほぼ同じ関係が見られたが7月27日の計測では $H_{5-95}$ と草丈との関係が7月9日以前の計測と異なった。前年度の $H_{5-95}$ と草丈との関係式を用い、本年度の $H_{5-95}$ から草丈を推定し実測値と比較した結果、 $H_{95}$ でほぼ地表を検知できている7月9日以前のデータでは草丈の推定が可能と考えられたが、7月27日の計測値のように地表を検知できないデータでは草丈の推定ができなかった（図6）。

$H_{95}$ から20cm上までの累積度数と草丈×茎数との関係を図7に示した。前年度とほぼ同様の関係が見られたが、7月27日の計測値では他と異なった。また、 $[H_{95}+20\text{cm} \text{ までの累積度数}] \div H_{5-95}$ と茎数との関係も前年度同様であった（図8）。

7月27日において時刻別に計測結果を比較すると $H_5$ の変動は小さいものの $H_{95}$ に変動が見られた（図9）。また、風があるときにスキャナを移動せず同一地点を継続的に計測した結果、 $H_{95}$ に変動が見られた（図10、表3）。

#### (2) 無人ヘリ計測試験

中干し前、穂肥前の生育量把握を想定し、試験区の組み合わせによる12パターンを現地圃場2筆及びセンター内圃場で移植日の異なる2区で計測を行った。計測時の水稻の生育は表4～7のとおりで草丈は16～73cm、茎数は90～570本/m<sup>2</sup>の範囲であった。データの処理方法について検討し、1走査データから無人ヘリの傾きを算出してデータを水平に補正し、95%tile点を算出してこれを基準とした反射点の分布を得た。また、反射点までの平均距離を無人ヘリから稲までの距離として無人ヘリの高度とみなした。その結果、前年度と同様に計測時の高さとは一定の関係が見られたが、速度の影響について、飛行速度が遅い場合に影響が見られた（図11、12）。図13に計測時の速度と高度に対し、 $H_{5-95}$ が同一の時期・圃場での計測平均からどのようにずれるかを、0°のすべての計測結果から表した。その結果、速度が2m/s程度では $H_{5-95}$ が小さくなる傾向が見られ、ダウンウォッシュの影響を受けていると考えられた（写真3）。また、高度が高くなると $H_{5-95}$ が小さくなる傾向が見られた。従って速度は3m/s以上とし、計測時高さで補正した草丈を推定する方法を検討する必要があると考えられた。

#### 4. 主要成果の具体的なデータ

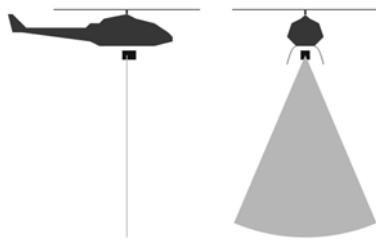


図1 無人ヘリ計測(0°) 模式図

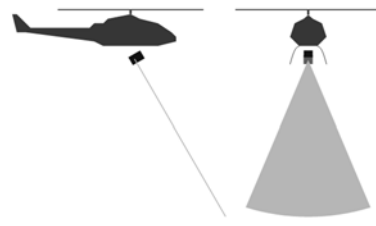


図2 無人ヘリ計測(30°) 模式図

表1 センター内圃場の草丈

調査日	(cm)				
	37株	50株 平行	50株 直交	70株 平行	70株 直交
6/25	44.3	43.3	43.2	43.8	44.9
7/2	54.2	55.1	54.6	57.2	56.8
7/10	65.8	69.1	66.7	70.8	69.7
7/27	111.9	109.1	108.5	102.7	103.7

表2 センター内圃場の茎数

調査日	(本/m <sup>2</sup> )				
	37株	50株 平行	50株 直交	70株 平行	70株 直交
6/25	340	449	397	494	559
7/2	420	515	465	567	593
7/10	426	526	466	568	583
7/27	442	509	448	527	546

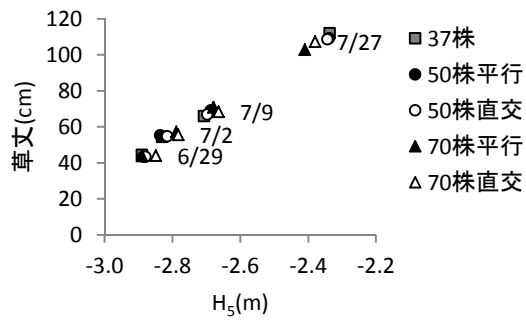


図3 H<sub>5</sub>と草丈の関係  
(地上計測 0°)

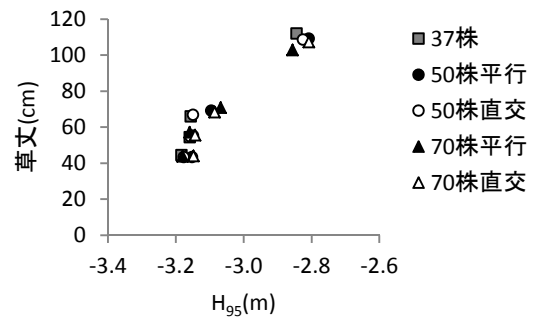


図4 H<sub>95</sub>と草丈の関係  
(地上計測 0°)

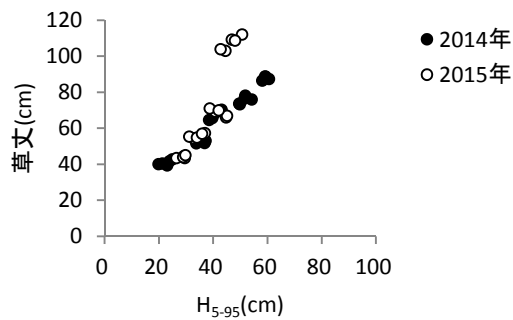


図5 H<sub>5-95</sub>と草丈の関係  
(地上計測 0°)

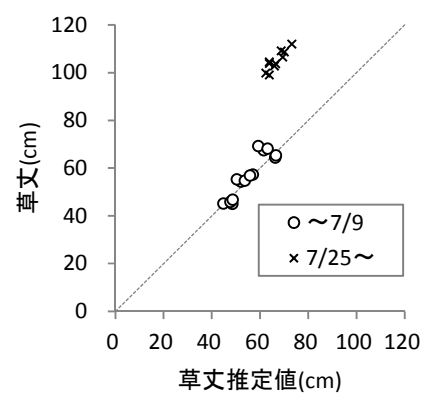


図6 H<sub>5-95</sub>による草丈の推定  
(地上計測 0°)

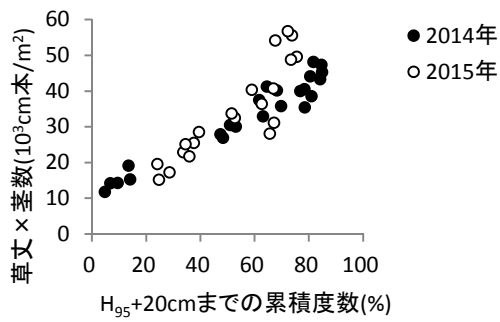


図7 H<sub>95</sub>+20cmまでの累積度数と  
草丈×茎数との関係  
(地上計測 0°)

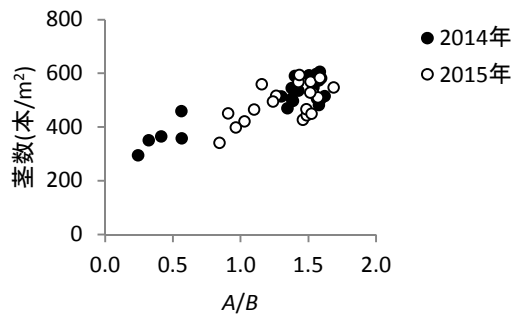


図8 茎数の推定(センター内 0°)  
A: H<sub>5-95</sub>(cm)  
B: H<sub>95</sub>+20cmまでの累積度数(%)

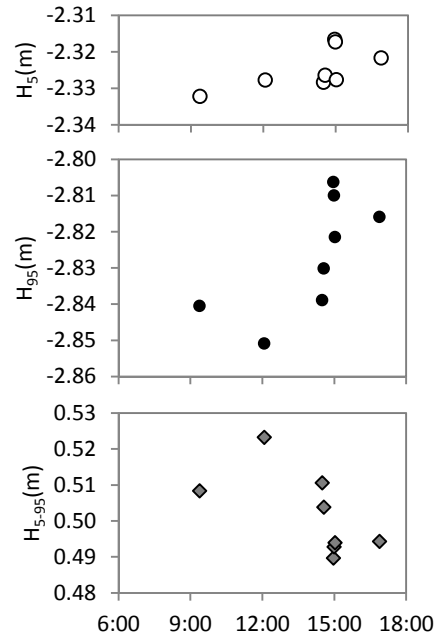


図9 時刻別計測結果の差異  
(地上計測 7月27日 37株区 0°)

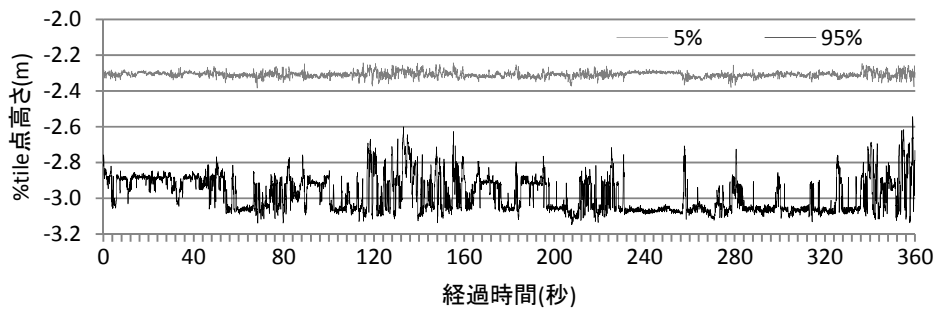


図10 %tile点の変動(地上計測 37株区内、0°)

表3 %tile点の平均と範囲(地上計測 37株区内、0°)

%タイル点高さ(m)	5%	-2.31	(-2.38 ~ -2.24)
	95%	-2.98	(-3.15 ~ -2.54)
5%タイル点高さ-95%タイル点高さ(cm)		67.0	(22.0 ~ 86.2)

表4 6月11日の生育(現地圃場)

調査ほ場		中之島1	中之島2
株間	(cm)	22.0	20.7
栽植密度	(株/m <sup>2</sup> )	15.1	16.1
草丈	(cm)	29.9	27.3
茎数	(本/m <sup>2</sup> )	90	178
欠株率	(%)	4.8	1.3

表6 7月10日の生育(現地圃場)

調査ほ場		中之島1	中之島2
草丈	(cm)	62.7	64.5
茎数	(本/m <sup>2</sup> )	353	405
葉色(SPAD値)		40.6	32.3

表5 6月11日の生育(センター内)

調査ほ場		遅植	標準植
株間	(cm)	21.6	19.7
栽植密度	(株/m <sup>2</sup> )	15.5	16.9
草丈	(cm)	15.8	31.1
茎数	(本/m <sup>2</sup> )	97	331

表7 7月10日の生育(センター内)

調査ほ場		遅植	標準植
草丈	(cm)	45.4	72.8
茎数	(本/m <sup>2</sup> )	525	571

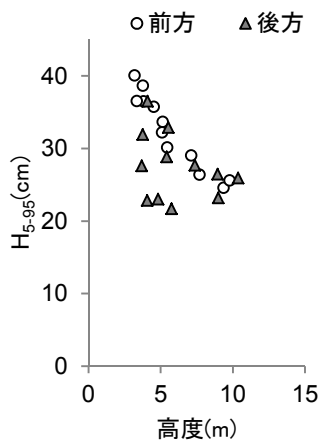


図1.1 計測高さの影響  
(現地圃場 7月10日中之島1)

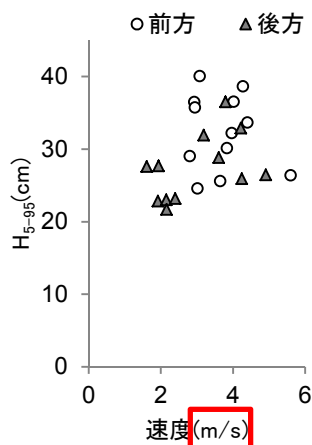
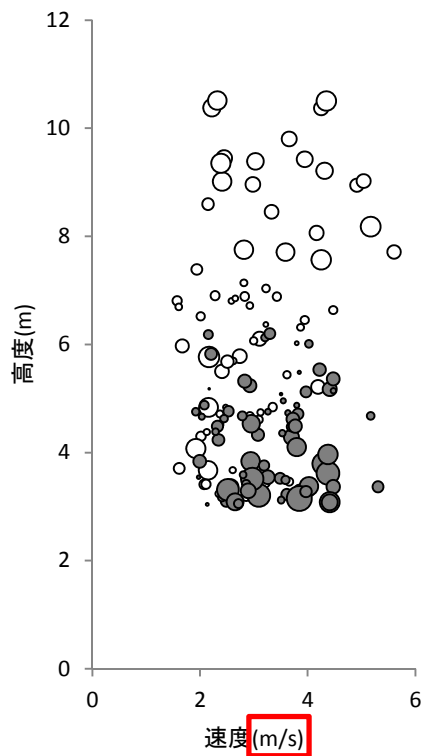


図1.2 計測速度の影響  
(現地圃場 7月10日中之島1)



※円の大きさは測定対象ごとの測定値平均からの差を表す  
※●は平均より大、○は平均より小

図1.3 H<sub>5-95</sub>の計測高度と速度の影響

## 5. 経営評価

供試したレーザースキャナは約 70 万円であり、今後スキャナの分解能、計測距離等を基に低価格な機種を検討していく必要がある。

## 6. 利用機械評価

供試した無人ヘリの作業性は良好であった。レーザースキャナの架台は角度を無線で変えられるため飛行中に設定を変更することが可能で、ほぼ目標どおりの計測条件で計測ができた。

## 7. 成果の普及 未定

## 8. 考察

これまでの計測から、生育や計測角度によるレーザー反射の分布が明らかとなった。水稻の上部と地表面をスキャナ反射累積度数の 5%tile 点高さと 95%tile 点高さとで得られるものと考えられた。無人ヘリ計測については、機体左右方向の傾斜を補正し、1 走査の 95%tile 点高さを基準とした高さ分布を求めることで、平均的な各%tile 点高さを得ることができた。各%tile 点高さやある高さまでの累積度数を用いて水稻の草丈、茎数推定の可能性が示唆された。

## 9. 問題点と次年度の計画

無人ヘリでの水稻の計測方法（データ処理方法）について、本年度までに得られた手法を検証し、草丈、茎数推定式のためのデータを蓄積するとともに計測の不安定要因（風等）の影響を把握し、計測時の条件を明らかにする。

## 10. 参考写真



写真 1 センター内での計測

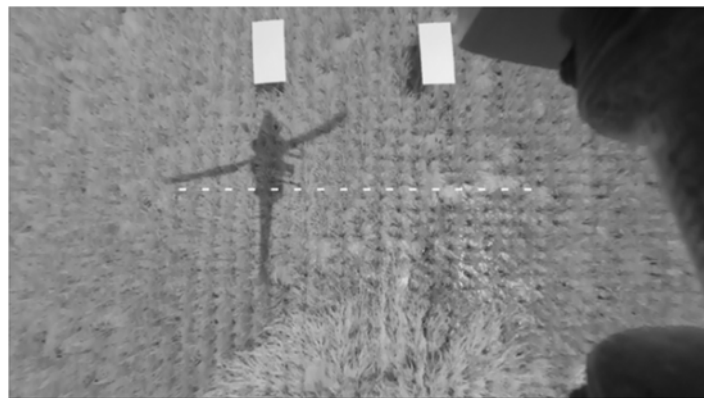


写真 3 現地圃場での計測状況

※無人ヘリに搭載、レーザースキャナの計測方向に向けたカメラによる。写真上の白い四角は測定位置を特定するためのマーカー、右側の黒色はレーザースキャナ、中央はヘリの影、写真中央下はダウンウォッシュによる稲の乱れ、中央の点線は画像処理時に追加したもの。



写真 2 無人ヘリへの搭載

