

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23580361

研究課題名(和文) 小型航空レーザ計測システムを用いた水稻植被率推定モデルの改良化

研究課題名(英文) Improvement of a model to estimate the vegetation coverage of rice by an airborne laser scanner measuring system

研究代表者

高橋 一義 (Takahashi, Kazuyoshi)

長岡技術科学大学・工学部・准教授

研究者番号：00332651

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：レーザ計測による広域の水稻生育モニタリングでは、栽植密度、植付け方向、レーザ走査面の傾きが取得データに及ぼす影響の検討が必要である。本研究では、検討に必要なデータを効率的に取得する小型航空レーザ計測システムを試作した。また、地上実験データから前述した要因の影響を検討した。計測システムを試作したが、取得データに機体動揺の影響が残った。一方、地上実験により、走査面を鉛直から斜めにすることで、群落上部の反射点が多くなった。植被率40%以上では、栽植密度、植付け方向によらず田面が計測されない可能性がある。高い栽植密度の場合、植付け方向の影響を考慮した推定モデルが必要であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：For rice growth monitoring using airborne laser scanner (LS) measurements, it is necessary to evaluate how the following factors would affect acquired LS data: the planting density (PD), the scanning path direction (SPD) and the inclination of the laser scanning plane (LSP). In this study, a prototype of a small airborne LS measuring system that acquires the LS data efficiently was manufactured for evaluating those factors and field experiments were performed. Though the prototype system was tested, the acquired LS data were affected by fluctuations of the airframe. Results of the field observations were as follows: the LS data corresponding to the upper parts of plants were increased in the oblique LSP more than in the vertical LSP. Where the vegetation coverage greater was than 40%, the surface of the rice field could not be detected by the LS measurements regardless of the PD or the SPD. In dense planting, a new monitoring method that considers the effect of the SPD is necessary.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業情報工学

キーワード：リモートセンシング 生育量推定

1. 研究開始当初の背景

コメに対する社会のニーズは、おもに低価格、高品位、安全(安心)の三つに集約される。生産者は、それらニーズに応えるため産地内の生育変動やバラツキを把握する情報技術、作業能率を向上させる機器の開発・発展に取り組んでいる。生育量測定技術に関しては、慣行測定の代替として稲株群落の分光反射特性や稲株の平面的な広がりを表す植被率から稲体窒素量を推定する手法などがある。また、広域の生育量測定手法として出穂期以降の葉色情報を衛星や航空機から計測し、米タンパク含有率を推定する手法が実用化されている。しかし、天候・雲障害を受けやすい分けつ期前後の期間に関しては、水稲からの太陽反射光を利用する受動型の従来計測手法では、稲株の分光情報や植被率の安定した測定が困難である。このため、この時期においては衛星、航空機を利用した広域の生育量測定の実用化が進んでいない。

2. 研究の目的

従来主流である受動型計測にくらべ天候・雲障害の影響を受けにくい能動型センサのそのひとつであるレーザスキャナに着目した水稲生育モニタリング手法の実用化に取り組んでいる。これまで、水稲測定時のレーザ走査面が垂直かつ一つの場合(垂直計測)において、植被率推定の可能性を確認している。しかし、水稲上空からのレーザスキャナ計測により広域の水稲生育モニタリングを実施する際、計測対象圃場のA)栽植密度、B)植付け方向、C)レーザ走査面角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見積もることが必要である。

本研究では、上記A)~C)の項目を効率的に取得・蓄積するための小型航空レーザ計測システムの開発(試作)を目指した。そして試作システムを用いてアルゴリズム開発・改良のデータ取得を試みるとともに、並行して地上実験を実施し、評価に必要なデータの蓄積をはかり、レーザスキャナ計測による生育量手法の改良を検討した。

3. 研究の方法

(1)小型航空レーザ計測システムの開発

低高度で水稲を上空からレーザスキャナ計測するためのプラットフォームとして、無線操縦可能な航空機を採用した。搭載機器の重量の制約を考慮し、計測システムに搭載するレーザスキャナは、小型・軽量のものを選択した。また、レーザスキャナ計測時に機体の位置を安定させる機能(オートパイロット)、レーザスキャナ自体を水平に保つ機能(ジンバル)を計測システムに組み込んだ。さらに、単周波GPS受信機を用いて、機体位置情報を安価に測定する機能について検討し、計測システム全体のコスト低減の可能性を評価した。さいごに、試作した計測システムにより、アルゴリズム開発・改良目的に利

用可能なデータ取得が可能か飛行計測を実施し検討した。

(2)レーザスキャナ計測条件の影響評価

広域の水稲生育モニタリングを実施する際、計測対象圃場のA)栽植密度、B)植付け方向、C)レーザ走査面角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見積もることが必要である。水稲を対象とした経時的なレーザスキャナ計測の実施がより確実な地上実験(野外)により、生育量推定アルゴリズム改良・検討のためのデータを取得した。

植付け条件のことなる区画を準備し、計測条件(レーザ走査面の傾き、植付け方向)を変化させ水稲のレーザスキャナ計測データを取得する野外実験装置を制作した。野外実験装置は、ラインレーザスキャナ(SICK LMS200)とそれを水平移動(秒速0.01m)させる移動レールから構成した(レーザスキャナを移動レールに取り付けた後の高さは、2.8m)。

制作した野外実験装置の調整を兼ねてポット栽培した水稲を対象にレーザスキャナ計測実験(予備実験)を実施した。その後、実圃場におけるレーザスキャナ計測実験を実施し、前述したA)~C)の項目に対して、レーザスキャナ計測データにどう変化するか解析し、生育量推定アルゴリズムの改良について検討した。

4. 研究成果

(1)小型航空レーザ計測システムの開発

当初、無線操縦航空機(ガソリンヘリコプター)にオートパイロット機能、ジンバル、単周波GPS受信機による測位システムを組み込んだ計測システムを試作した。飛行高度は、搭載するレーザスキャナの計測限界(日中時約8m)に制約されるため3~5mとした。

試作システムを用いた飛行計測実験では、低高度(3~5m)・低速飛行時において、機体直下付近の水稲がプロペラからの吹き下ろし風によりかき乱される現象が確認された。また、測定データには、駆動用エンジンに起因すると考えられる振動の影響が確認された。そこで、駆動系の振動の影響が低減可能かつ小型・軽量の機体であるマルチコプターを採用することにした。同時に、レーザスキャナおよびGPSを制御し、測定データを記録する制御・記録システムをカードPCベースで構築し、搭載機器の小型・軽量化をすすめた。

改良した試作システムを用いた飛行計測実験により、超低空・低速飛行時に水稲をかき乱す作用が低減し、超低空飛行ではヘリコプタータイプよりもマルチコプタータイプが適していることを確認できた。

単周波GPS受信機による機体位置情報の測定に関して、地上の測位実験結果より、事後の動的干渉測位により機体位置(水平)を

1.0m の測位精度で把握することが期待できることを確認した。

改良後の試作計測システムによる飛行計測を実施したものの、計測対象領域を狭く設定したこと、超低速（毎秒約 1~2m）・低高度を保ち、一直線状に機体を安定して飛行させることが容易でなく、水稻の生育量と対応づけ可能な有効なレーザスキャナ計測データの取得には至らなかった。

原因として、設定した計測対象領域がレーザスキャナの走査幅と同程度（約 3m）であるため、飛行経路のわずかなズレを修正する操作により機体が動揺し、レーザスキャナデータに歪むが生じたことが考えられる。対応方法として、飛行経路のズレの影響を受けないほど、計測対象領域を広く設定することが考えられる（計測対象領域を広く設定した場合、その領域内の水稻の生育が均一とみなせる状態が確認することが重要）。

あるいは、機体位置の測位、レーザスキャナの傾き情報からレーザスキャナ計測データを三次元空間情報へ変換するシステムを構築することが考えられる。

(2)レーザスキャナ計測条件の影響評価

ポット栽培水稻のレーザスキャナ計測実験

野外実験装置を用いて、ポット栽培水稻を配置した模擬圃場の時系列レーザスキャナデータを取得した。その結果、稲株が小さい時期（植被率が 20~30%）においては、レーザ走査面が鉛直の鉛直計測よりも斜め計測（天頂角 30 度）の方がより水稻茎葉の情報を取得できる可能性があることが確認された。

実圃場におけるレーザスキャナ計測実験

実圃場に植付け条件がことなる区画を設置し、その区画内の水稻の時系列レーザスキャナデータを取得した。計測期間は 6 月 20 日~7 月 16 日、計測間隔は、2~5 日とした。植付け条件は、栽植密度が 20.8 株/ m²、15.2 株/ m²、11.1 株/ m² の 3 ケース、植付け方向は、移動レールの方向に対して並行と直交の 2 ケース、レーザ走査面の角度は鉛直と 30 度（天頂角）とした。実験区画の概要を表 1 に示す。レーザスキャナ計測と並行して、区画内の水稻の草丈、茎数および植被率を実測した。生育量に関して、草丈はどの試験区においても時間経過とともに一様に増加し、ほぼ同じ草丈まで伸長した。ただ茎数と植被率は、区画により値に開きがあり、区画間で生育差（7 月 16 日で 300~450 本/ m²と 40%~57%）が生じた。

区画ごとに生育量とレーザスキャナ計測

表 1 実験区画の栽植密度と植付け方向

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

データを比較する解析領域を設定した。本研究では、レーザ走査角度-8.8 度から 8.8 度で計測される領域を解析領域とした。この領域の大きさは、最も疎植な区画 C において、区画中央の稲株を含む 6 株分の占有領域に相当する。SICK LMS200 は、一つのレーザパルス照射に対して一つの計測点（反射点）が取得されるため、区画によらず、計測データ総数は同一である。区画ごとに解析領域のレーザスキャナ計測データを抽出し、レーザスキャナ計測データの Z 軸を地盤（田面）からの高さへ換算した。

レーザスキャナ計測データの高さ分布の経時変化の一例を図 1 に示す。

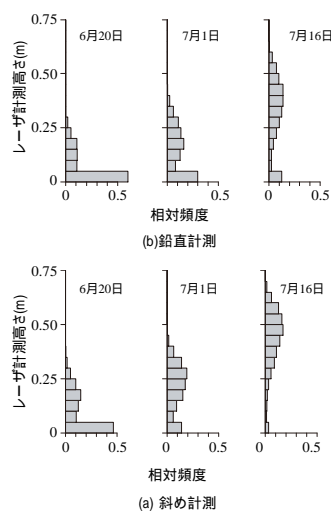


図 1 レーザスキャナ計測高さの鉛直分布例（区画 C）

図 1 より、水稻の生長にともない水稻の高さ分布が鉛直、斜め計測ともに変化することが分かる。田面付近の計測点に着目すると、草丈が低く茎数が少ない時期（6 月 20 日~7 月 4 日）では、田面付近の計測点が多いことがわかる。この傾向は斜め計測にくらべ、鉛直計測でより強く現れている。区画 C 以外の区画においても、この傾向は確認された。

レーザスキャナ計測データの鉛直分布の特徴を表す指標としてレーザ計測高さの百分位数（以降、%tile と表記）を用いた。また、水稻の生育量として、草丈（cm）と茎数（本/ m²）の積値で表される乾物推定指標を用いた。

a)草丈と 99%tile レーザ計測高さの関係

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ことから、この高さ草丈の関係を調べた。結果を図 2、3 に示す。

図 2 より、レーザ走査面角、植付け方向、栽植密度によらず、99%tile レーザ計測高さと草丈には高い相関があることがわかる。また、栽植密度と植付け方向によらず、斜め計測時が鉛直計測時よりもわずかに 99%tile レーザ計測高さが高いことがわかる。図 3 は、99%tile レーザ計測高さが草丈の何割に相当するかを示している。この図をみると、時期や鉛直計測と斜め計測で若干異なるものの、

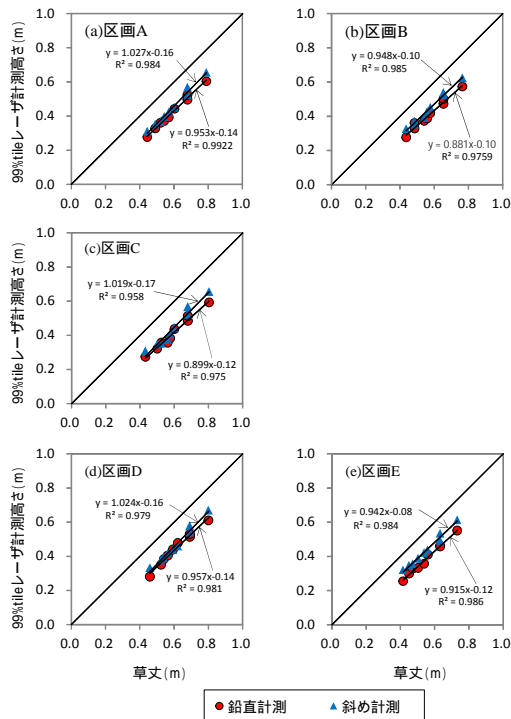


図2 草丈と99%tile レーザ計測高さの関係

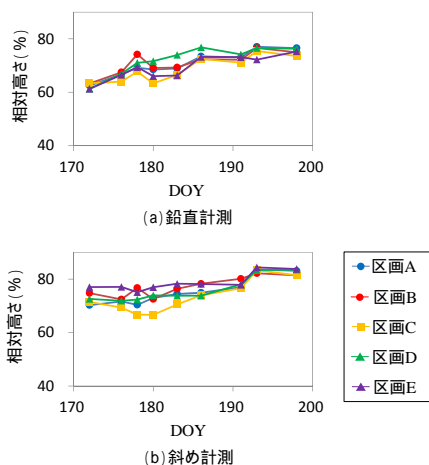


図3 草丈に対する99%tile レーザ計測高さの割合(相対高さ)

99%tile レーザ計測高さは、草丈の60~80%の高さ(位置)に対応している。既往研究では、レーザ光が群落内部に入り込んでから反射すると指摘されていることから、本研究の結果もそれを裏付けるものといえる。また、レーザ走査面の角度によらず、生育に伴って草丈に近い値に近づくのは、群落上層の繁茂度合いが増加したことを反映している。

b)レーザ走査面角の影響

レーザ走査面の角度により、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(6月20日、7月1日、7月16日)の鉛直、斜め計測において、同一%tileのレーザ計測高さを比較した(図4)。

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(今回は30度)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と推察される。ただ、群落最下層に対応する5%tile高さをを見ると、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(今回は30度)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。

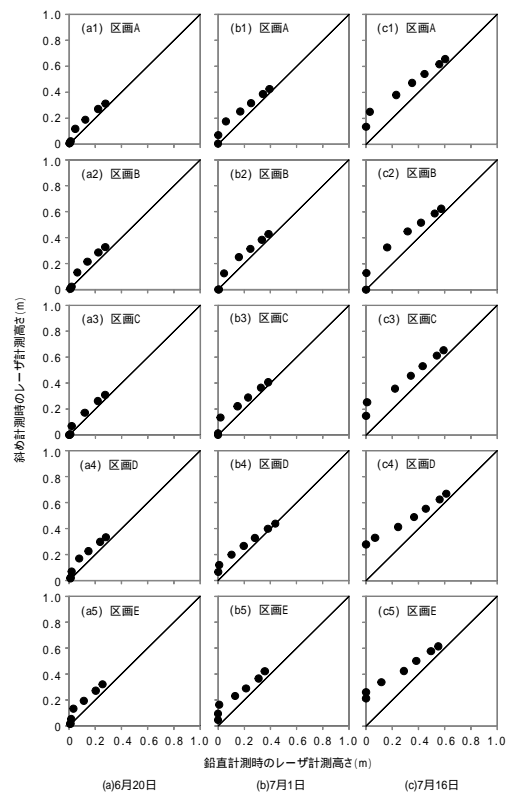


図4 鉛直計測と斜め計測時のレーザ計測高さの関係

c)栽植密度と植付け方向の影響

レーザ計測高さと乾物推定指標との相関を調べた。10,25,50,75,95,99%tileレーザ計測高さと乾物推定指標との相関係数を求めた。ここで、5,10%tileレーザ計測高さは、鉛直計測時で最大0.07m(6/20~7/16)と期間中の変化が小さいため、解析対象から除外した。99,95,75,50,25%tileレーザ計測高さとの相関係数は概ね0.95以上と非常に高かった。つぎに、生育量と相関が高い95,75,50,20%tileレーザ計測高さにおいて、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変化するか調べた(図5)。その結果、鉛直計測時、栽植密

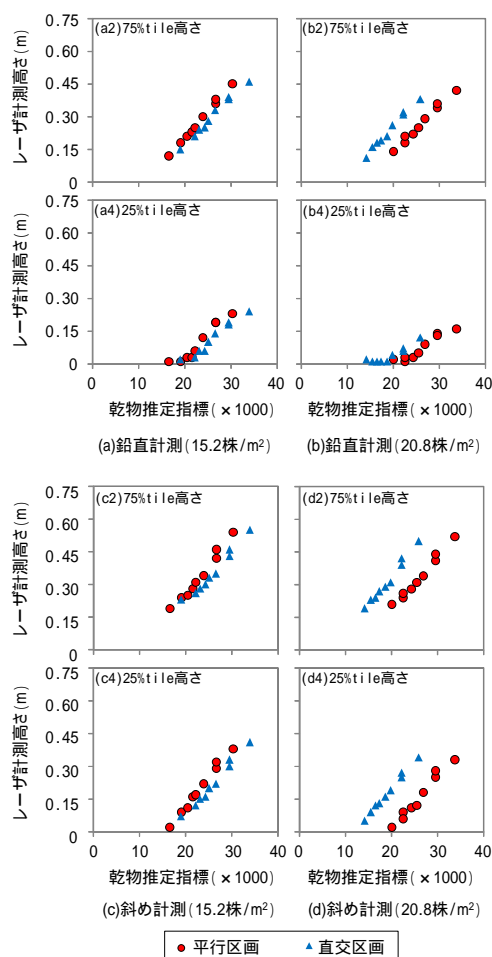


図5 栽植密度，植付け方向によるレーザ計測高さの変化

度が 15.2 株/m²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/m²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ことが示唆された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 9 件)

丸山貴士、高橋一義、樋口泰浩、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の検討、応用測量論文集、査読有、Vol.25、pp.87-95、2014
高橋一義、入江博樹、山田貴浩、単周波 GPS

受信機観測と電子基準点データを用いた事後干渉測位における測位性能の検討、写真測量とリモートセンシング、査読有、Vol.53(1)、pp.39-43、2014

丸山貴士、高橋一義、樋口泰浩、水稻群落上方からの斜めレーザスキャナ計測による生育モニタリングの検討、日本リモートセンシング学会学術講演会論文集、査読無、Vol.55、pp.169-170、2013

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学術講演会論文集、査読無、Vol.53、pp.153-154、2012

塚田千夏、高橋一義、入江博樹、小型航空機によるリモートセンシングデータ取得に向けた低速移動体の精密測位の試み、Text GPS/GNSS Symp、査読無、pp.194、2012、<http://www.gnss-pnt.org/gpsgnss2012/images/poster/tukada@nagaokagikadai.pdf>

高橋一義、入江博樹、渡邊直、単周波 GPS 受信機を利用した移動体の高精度位置計測の試み、日本リモートセンシング学会学術講演会論文集、査読無、Vol.52、pp.263-264、2012

高橋一義、力丸厚、坂田健太、遠藤重紀、水稻植被状態の地上画像計測における観測角度の特性検討、写真測量とリモートセンシング、査読有、Vol.50(6)、pp.367-371、2012

[学会発表](計 6 件)

丸山貴士、第 55 回日本リモートセンシング学会学術講演会、日本リモートセンシング学会、2013 年 11 月 21 日、日本大学工学部 50 周年記念館

丸山貴士、第 53 回日本リモートセンシング学会学術講演会、日本リモートセンシング学会、2012 年 11 月 19 日、広島大学東広島キャンパス

塚田千夏、GPS/GNSS シンポジウム 2012、測位航法学会、2012 年 10 月 24 日、東京海洋大学中島キャンパス

高橋一義、第 52 回日本リモートセンシング学会学術講演会、日本リモートセンシング学会、2012 年 5 月 24 日、東京大学生産技術研究所

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：

国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 一義 (TAKAHASHI KAZUYOSHI)

長岡技術科学大学・工学部・准教授

研究者番号：00332651

(2) 研究分担者

なし ()

研究者番号：

(3) 連携研究者

なし ()

研究者番号：