

機関番号：51601

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009 年度 ～2010 年度

課題番号：21780237

研究課題名 (和文) 航空機レーザスキャナによる広域の水稻生育推定手法の開発

研究課題名 (英文) Study of the method to estimate rice-plant growth over a wide area using airborne LiDAR measurements

研究代表者 高橋 一義 (TAKAHASHI KAZUYOSHI)

福島工業高等専門学校・建設環境工学科・准教授

研究者番号：00332651

## 研究成果の概要 (和文)：

水稻群落上空からのレーザスキャナ計測により、水稻植被率を広域推定する手法の開発・検討に取り組んだ。推定手法の開発・検討に必要なデータを地上実験および航空レーザ計測実験により取得した。地上実験データを解析した結果、水稻群落草冠からのレーザ光の入射深さによる植被率推定手法の再現性を確認できた。また、稲株が小さい生育初期では、鉛直下向きのレーザ計測ではなく、斜め計測が有効であることを確認できた。航空計測では、植被状態が異なる 3 時期のデータを解析し、植被率が約 70% の繁茂状態においても、群落内部 (約 50% の高さ) までレーザ光が入射していることが確認できた。また、植被状態が約 40% までは、鉛直方向からの航空レーザ計測では、ほとんど茎葉の情報が取得できない可能性が高いことを確認した。

## 研究成果の概要 (英文)：

The estimation method using laser scanner measurements to monitor the vegetation coverage of rice plants over a wide area was examined in this study. Ground observations and airborne observations were carried out to obtain the data for analysis and for examination of the estimation method. As a result of the ground observation data analysis, the reproducibility of the estimation method (using the laser incident depth from the plant's crown calculated by the laser scanner data) was validated. Laser scanner measurements with a shallow incident angle were also effective in estimating the vegetation coverage in the early growth stage. The airborne LiDAR data were acquired three times in different vegetation coverage of rice plants. As a result of the LiDAR data analysis, I found that Laser pulses penetrated deeply into the rice plants at about 70 % vegetation coverage. Also I discovered it was difficult to obtain information about rice plants using LiDAR measurements with a perpendicular incident angle up to about 40% vegetation coverage.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
21 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
22 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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、LiDAR、植被率

## 1. 研究開始当初の背景

稲株が大きく生長する分けつ期～幼穂形成期は、梅雨時期と重なるため太陽の反射光を利用する計測手段では、天候・雲障害を受け広域にわたり植被率や分光特性を取得することが困難である。申請者は、この時期において、営農利用可能な水稻生育情報を広域かつ圃場単位で提供する観測システムの構築を目指し、全天候型の衛星レーダを利用した圃場単位での水稻植被率推定モデルの開発に取り組んできた。しかし、推定モデルの改良は、植被状態の異なる時期において、衛星レーダデータと植被率のデータセットを取得・蓄積することが必要であり、現在、モデル改良には至っていない。一方、確実に生育情報提供を実現する上で、衛星観測を補間する広域観測手段の開発が必要である。

## 2. 研究の目的

本研究は、衛星・航空機観測による水稻生育の広域把握を目指し、衛星観測モデル改良に必要なデータセットの収集・蓄積および衛星観測を補間する広域観測手段の開発に資することを目的に、天候・雲障害を受けにくい能動型センサの航空機レーザスキャナ（以降、航空レーザ）を用いた広域かつ圃場単位での水稻生育情報の推定手法の検討、開発に取り組んだ。

## 3. 研究の方法

### (1) 地上実験

予備実験に用いた野外実験装置を改良（近赤外デジタルカメラ）し、水稻群落の栽植密度を二通り設定した試験ほ場において、移植後1～2ヶ月の期間、およそ5～7日間隔で水稻群落の植被率計測とレーザスキャナ計測を実施した。また、計測実験と並行し水稻群落の生育情報として、草丈、茎数、草冠高さ（草高）を計測した。

### (2) 航空レーザ計測データのシミュレーション検討

航空レーザ計測時のシミュレーションデータ（レーザスキャナデータ）を地上実験データから生成し、レーザフットプリント径が10cmの航空レーザ計測時の水稻群落へのレ

表1 シミュレーションデータの諸元

高度[m]	300
レーザ照射径[m rad]	5
フットプリント径[cm]	17
点群密度[points/m <sup>2</sup> ]	4

ーザ入射状況を検討した。生成したシミュレーションデータは、表1に示す諸元をもつ。

シミュレーションデータは、地上実験データ（センサ直下から俯角±20度の範囲）から無作為抽出したデータ（抽出個数は、想定するレーザフットプリント径に応じて変化させた）の平均高さをもつとした。

### (3) レーザ入射角とレーザ入射深さの解析

レーザ光線の入射角変化により、レーザ光線が通過する水稻群落内の距離が変化する。その影響がどの程度なのか評価するため地上実験データを解析した。また、レーザ入射深さの他に、植被率をうまく説明する指標についても検討した。

### (4) 航空レーザ計測

2010年の水稻生育期を対象に航空レーザ計測の実施を試みた。飛行高度は300m～500mとし、航空レーザ計測と同期した地上観測により水稻の草丈、茎数の計測と植被画像を取得した（同一日に地上観測できない場合は、航空レーザ計測日近辺に実施）。航空レーザ計測データと地上観測結果の対応を解析し、本手法の航空観測への適用性を検討した。

## 4. 研究成果

### (1) 地上実験

2009年の6～7月上旬にかけて地上実験装置により、水稻群落のレーザスキャナ計測を実施した。ただし、7月中旬移行は天候が安定せず地上実験を断念した。2009年に取得した地上実験データは、予備実験(2008年)で取得したデータ（高さ分布）とほぼ同様の傾向を示した。また、実験データから算出した草冠位置からのレーザ入射深さと植被率の関係についても同様の結果（図1）となり、レーザ入射深さから植被率を推定する手法が再現性の高い方法であることが確認できた。

さらに、地上レーザ計測データと従前の生育情報との対応関係を分析した結果、レーザ計測データは群落の高さ（草冠）および乾物推定指標（草丈×茎数）と高い相関をもつことを確認した（図2）。

### (2) シミュレーションデータによる航空レーザ計測による植被率推定の検討

地上実験データからレーザフットプリント径を増加させた際のシミュレーションデータを生成し、植被率の増加に対する水稻群落へのレーザ入射状況を検討した。

水稻群落の草冠部に相当する最大高さ、レーザ入射率が70%、90%に達する高さ（地面基準）と植被率の対応関係を図3に示す。また、

レーザー入射率 90%におけるレーザー入射深さと植被率の関係を図4に示す。図3をみると、航空レーザー計測相当のレーザーフットプリント径での計測では、地上観測実験よりも群落内部へレーザーが入射されること(図3a)、入射率 70,90%では、地上観測にくらべシミュレーション条件では、レーザー光線が群落内部へ入射しないことが示唆された。また、図4をみると、植被率 60%超の植被状態での群落草冠部からのレーザー入射深さは10数cmと試算され、水稻が繁茂する時期では植被率計測が安定しない可能性が示唆された。

ただし、出穂期直前の植被率約 70%の水稻群落を計測した航空レーザー計測データを試験的に解析した結果、水稻群落草冠部からのレーザー入射深さは 30~40cm 程度であった。

今回のシミュレーション結果と実航空観測結果が大きく食い違う結果となった要因として、計測条件(レーザー光の波長帯域の差異、レーザー光照射時の出力の差異(高出力))があると考えられる。このことから、地上実験データからシミュレーションデータを生成する場合、レーザーフットプリント径が支配的な要素でなく、レーザー光の入射強度など他

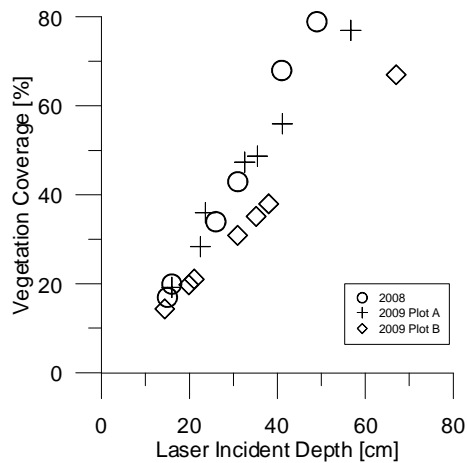


図1 レーザー入射深さと植被率の関係

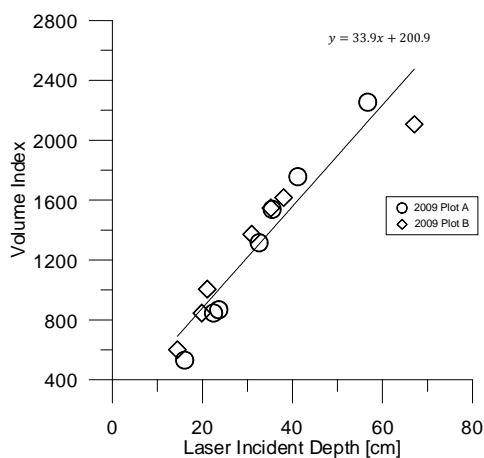
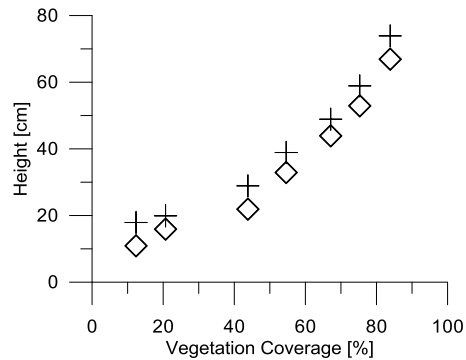


図2 レーザー入射深さと乾物推定指標の関係

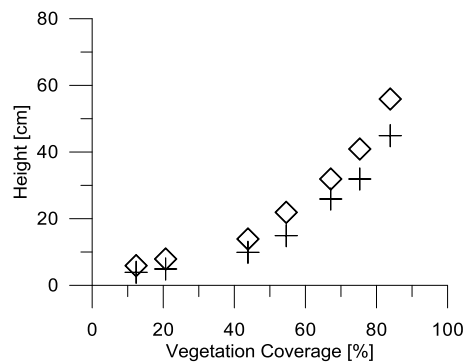
の要素を考慮する必要性を確認できた。

### (3) レーザー入射角とレーザー入射深さの解析

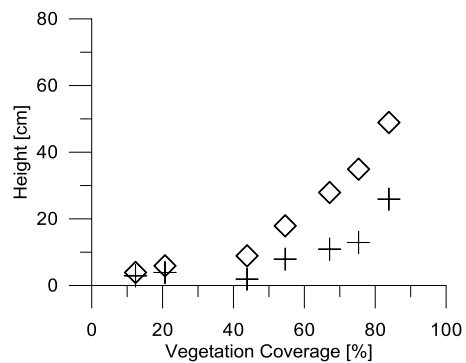
地上観測データの内、レーザー入射角が±18度の範囲のデータを対象にレーザー入射角とレーザー入射深さの対応を解析した。その結果、植被率が小さい時期(20%程度)では、レーザー入射角の変化に対するレーザー入射深さの変動幅が4cm(25%増加)と小さいものの、レーザー入射角の増加にともないレーザー入射深さが増加する傾向がみられた。このことは、植被率が低い状態での計測では、鉛直下向きの



(a) Plant's Crown



(b) Laser Incident Ratio 70%



(c) Laser Incident Ratio 90%

+ Ground Observation data    ◇ Simulation data

図3 地上観測データとシミュレーションデータにおける水稻群落へのレーザー光入射状況の比較

レーザ計測ではなく、斜め計測が有効であることを示唆している。

また、レーザスキャナデータの高さ分布の特徴を指標化した値（指標値）が植被率の増加を説明している可能性を確認した。

#### (4) 航空レーザ計測

2010年6月～8月にかけて高度300m～500mでの高密度計測を実施し、航空レーザ計測データと地上計測した植被率との対応を解析した。ただし、当初予定していた新潟県の圃場については、天候条件と航空機機体の運行条件の折り合いがつかず、6月初めのみデータ取得となった。そのため、予備実験ほ場として準備していた名古屋空港近辺のほ場を対象に航空レーザ計測を実施した(3時期、2010/06/07, 2010/07/07, 2010/08/07)。解析に用いた水田付近の様子を図6に示す。期間内のレーザ計測データの高さ情報の相互変動は、3～5cmとなった。また、地上観測で取得した植被画像から算出した3時期(2010/06/14, 2010/07/08, 2010/08/09)の植被率は、9, 42, 71%であった。

各時期のレーザ入射深さを算出した結果、それぞれ3, 18, 17cmとなった。また、高さデータの上位1%の高さ(位置)を草丈と比較すると、20, 26, 46%となり比較的、茎葉が繁

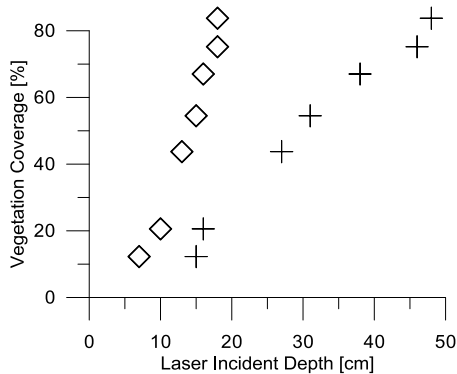


図4 地上観測データとシミュレーションデータにおける水レーザ光入射深さと植被率の関係

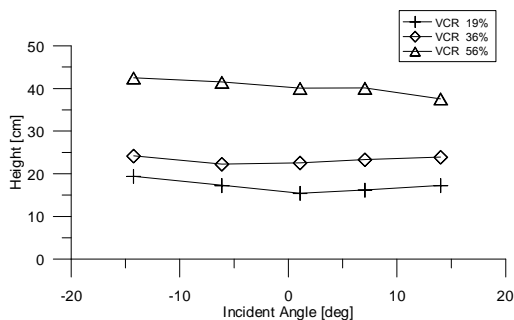


図5 レーザ光の入射角と入射深さの関係

茂している時期においても、レーザが水稻群落上部で反射せず、内部へ深く入射していることが示唆された。このことから、植被率が40%程度の生育中期までは、鉛直方向からの航空レーザ計測では、ほとんど茎葉の情報取得できない可能性が高いといえる。

今後、引き続き地上実験を実施し、入射角や水稻群落高さデータの分布形状を用いた植被率推定モデルの改良、稲株が小さな生育初期～中期においても、茎葉の繁茂状態の変化により鋭敏に捉える航空レーザ計測方法を検討することがレーザスキャナを用いた



図6 航空レーザ計測対象ほ場とデータ解析領域(図中緑領域)

広域の水稻生育情報推定手法の開発に必要であることがわかった。

#### 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 4 件)

1) Kazuyoshi Takahashi, Atsushi Rikimaru, Kenta Sakata, A Study on the Growth Monitoring Method of Rice Plants by Laser Scanner from Above, Proceedings of The 31st Asian Conference on Remote Sensing, 査読無, CD-ROM, 2010

2. 水稻群落上からのレーザスキャナ計測による生育推定に関する検討, 高橋一義, 和泉勇希, 樋口泰浩, 第48回日本リモートセンシング学会学術講演会論文集, 査読無, pp.185-186, 2010

3. 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, 高橋一義, 丸丸厚, 樋口泰浩, 和泉勇希, 写真測量とリモートセンシング, 査読有, Vol.48.No.4, pp.229-234, 2009

4. レーザスキャナ計測による水稻生育モニタリングのための基礎実験, 和泉勇希,

高橋一義,力丸 厚,樋口泰浩,第 46 回日本  
リモートセンシング学会学術講演会論  
文集,査読無, pp.189-190,2009

〔学会発表〕(計 3 件)

1. Kazuyoshi Takahashi, A Study on the  
Growth Monitoring Method of Rice Plants  
by Laser Scanner from Above, The 31<sup>st</sup>  
Asian Conference on Remote  
Sensing,2010/11/02,Hanoi/Vietnam

2. 高橋一義,和泉勇希,樋口泰浩, 水稻群落上か  
らのレーザスキャナ計測による生育推定に  
関する検討, 第 48 回日本リモートセンシ  
ング学会学術講演会,2010/05/27,産業技術総合  
研究所つくばセンター

3. 和泉勇希,高橋一義,力丸 厚,樋口泰浩, レ  
ーザスキャナ計測による水稻生育モニタリ  
ングのための基礎実験, 第 46 回日本リモ  
ートセンシング学会学術講演会,2009/05/21,東  
京大学生産技術研究所

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

高橋 一義 (TAKAHASHI KAZUYOSHI)

福島工業高等専門学校・  
建設環境工学科・准教授

研究者番号 : 00332651