

デジタルカラー画像を用いた 直播水稻の生育量推定手法

土田政憲**・鹿子嶋力***・北倉芳忠*

Practical Method for Estimating the Biomass of Direct Seeding Rice by Digital Color Image Analyses

Masanori TSUCHIDA **, Chikara KAGOSHIMA *** and Yoshitada KITAKURA *

スターホイールトラクタに搭載したデジタルカメラで、直播水稻を地上高約2mの直上から撮影したカラー画像を用いて、画像間演算により得た植被率は、その地点の水稻の葉面積指数や地上部乾物重といった生育量と直線相関関係があった。また、幼穂形成期頃に得たカラー画像を用いて、画像間演算により稲体の色情報のみを抽出した画像が迅速に作成できた。その画像情報と、SPAD値(葉色)とに直線相関関係を認めた。

これらのことから、デジタルカラー画像から直播水稻の生育量を推定することが可能であることがわかった。

Key Words : デジタルカラー画像情報, 生育量推定, 直播水稻

I. 緒言

近年、欧米では、環境保全のため精密農法(Precision Farming, Precision Agriculture)が注目、実践されてきている^{8,9,10)}。これは、画一的な管理をするのではなく、高度な作物生育情報や圃場情報の解析に基づいた管理作業の最適化によって、適正な量の資材使用を行い、環境に対する負荷軽減を実現しながら最大の収益を得ようとする農法である。

一方、日本国内では、環境にやさしい農業の実践とともに、品質の良い米の生産が求められており、米の収量、品質の高位安定化を図る技術の確立が必要となっている。

省力、低コストを目指した大区画圃場での水稻直播栽培においても、圃場内の生育の不揃いが収量、品質の不安定につながるといわれ、収量、品質の高位安定化のためには生育の不揃いを小さくする管理技術の確立が求められている。そのためには、圃場内の各部分での生育量を迅速に把握する手法が必要となる。

このような背景の下、近年、リモートセンシング技術の発達により非接触・非破壊的手法で生育量を迅速に把握する方法が研究・開発されている^{3,4,5)}。

福井農試でも画像情報を用いたリモートセンシング技術の研究を行ってきており、これまでに移植水稻において、赤外画像を取得し、その画像の植被率(地表を覆っている植生の比率)と葉面積指数に相関がみられ、植被

率から葉面積指数が推定できることを明らかにした¹⁾。

今回は、この手法を発展させ、取り扱い性がより簡便で、一般に流通している機材を使用した画像取得と処理解析手法の開発を行い、あわせて、福井農試で開発した水田管理作業用鉄製中空車輪を装着したトラクタで圃場内を走行して圃場内の画像情報を取得し、迅速に圃場内各部分の生育量を推定する手法を検討する。

II. 試験方法

1. カラー画像の植被率と水稻の生育量との関係(試験1)

1) 画像撮影方法

撮影は以下の方法で行った。

1999年度は、水田管理作業用鉄製中空車輪(以下スターホイールと記す)を装着した34kW(46PS)トラクタのキャビン上にアームを取り付け、そのアームをトラクタの側面に伸ばし、先端にカメラを鉛直下向きに設置した(トラクタ側面から約2m、地上高約2m)。撮影に用いたカメラは、C社製35ミリフィルム1眼レフカメラ(リモコンシャッター付き)で、標準レンズを装着した。撮影にはF社製カラーリバーサルフィルムFujichrome Sensia IIを用いた。撮影時には、トラクタエンジンを停止し、トラクタのオペレータがシャッター操作を行った。また、同時に、赤外フィルムInfrared750(K社製)を装填した同一型式カメラ(レンズ前面に可視光をカットするためのF社製フィルタSC-70をセット)をアームに取

* 福井農試 作物・経営部 作業システム研究グループ

** 現 滋南振興局農業普及部 *** 現 福井農試 水稻育種部

り付け、同様な条件で撮影した(写真1)。

2000年度と2001年度は、スターホイールトラクタの3点リンクでキャリアを装着し、そのキャリアからアームをトラクタの側面に伸ばし、先端にカメラを鉛直下向きに設置した(トラクタ側面から約2m、地上高約2m)。撮影はO社製デジタルカメラを用いた。カメラとキャリアに乗せたノートパソコンとをビデオキャプチャーボードを用いて接続した。キャリア上でパソコンオペレータがディスプレイで撮影地点を確認しながら、カメラのリモコンシャッターで画像撮影を行った(写真1)。撮影時にはトラクタは停止状態とした(エンジンは停止しなかった)。

画像撮影は、5月末(葉令3程度)～7月上旬(葉令9程度)に行った。

2) 画像情報入力方法

1999年度は、現像されたフィルムをE社製イメージスキャナでデジタル情報化し、パソコンに取り込んだ。

2000年度と2001年度は、デジタルカメラ内のメモリから直接パソコンに取り込んだ。

3) 画像情報処理方法

デジタルカラー画像情報は、汎用画像処理・解析ソフトPaint Shop Pro(J社製)とImaging Primer(R社製、1999年度)またはVision Stage IP(A社製2000年度、2001年度)を用い処理、解析を行った。数値データの集計・処理は表計算ソフトExcel(M社製)を用いた。

デジタルカラー画像の中央部を抽出し、解析に用いる画像とした。デジタルカラー画像からの植被率の算出には、岩谷ら⁴⁾の画像間演算式 $(G-R) \times (G-B)$ により得られた画像を用いた。また、二値化処理のための閾値設定は、画像処理解析ソフトImaging PrimerやVision Stage IPの自動閾値決定機能を用いた。

4) 水稻栽培法

福井農試内圃場(細粒グライ土)で、品種ハナエチゼンを用い、代かき・落水後、46PSトラクタ+ブロードキャスタで散播した。

また、現地試験のS町O集落における有人ヘリコプタによる散播キヌヒカリについても調査した。

5) 水稻調査方法

水稻の撮影及び生育調査地点(50cm × 50cm または50cm × 100cm)を設定し、撮影直前または撮影直後に草丈、茎数を測定した。また、1999年度は、各撮影時ごとに、撮影後、茎数が異なる地点4～5カ所について葉面積と地上部乾物重を測定した。

2. カラー画像の色情報と水稻の葉色との関係(試験2)

1) 画像撮影方法

2001年度に試験1の2001年度と同様の方法で撮影を行った。

撮影時期は、出穂前31日(農試場内ハナエチゼン)、

出穂前23日(現地キヌヒカリ)に行った。

また同時に、照度計で照度を測定した。

2) 画像情報入力方法

画像情報はデジタルカメラ内のメモリから直接パソコンに取り込んだ。

3) 画像情報処理方法

デジタルカラー画像情報は、汎用画像処理・解析ソフトPaint Shop Pro(J社製)とVision Stage IP(A社製)を用い処理、解析を行った。数値データの集計・処理は表計算ソフトExcel(M社製)を用いた。

4) 水稻栽培法

試験1と同様の栽培法で栽培した。

5) 水稻調査方法

水稻の撮影及び生育調査地点(50cm × 100cm)を設定し、撮影直前または撮影直後に葉色(SPAD値)を測定した。

III. 試験結果

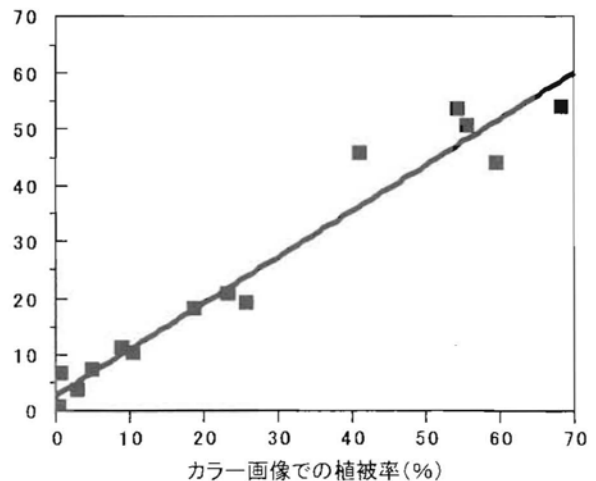
1. 試験1：画像の植被率と水稻の生育量

1) 赤外画像とカラー画像の植被率

カラー画像そのままでは、画像ごとに目視でRGBの各値ごとの閾値を設定する必要があり、稲と地面を区分するのに画像ごとに閾値が異なるなど、時間がかかった。

しかし、カラー画像を用いて、岩谷らの画像間演算⁴⁾により得られた画像は、赤外画像と同様、稲体は白く、地面は黒い画像となり、画像処理解析ソフトの自動閾値決定機能を用いることで、稲体と地面とに区分できた(写真2)。

赤外画像での植被率(%)



第1図 カラー画像の植被率と赤外画像の植被率の関係(1999年、福井農試場内散播ハナエチゼン、葉令3～9程度)

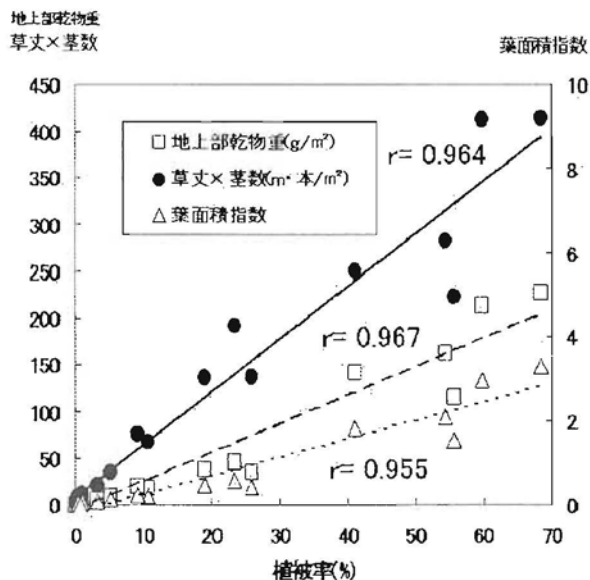
同一地点を撮影したカラー画像からの植被率と赤外画像の植被率との関係を見た。その結果、両者には $r=0.977^{***}$ の高い正の直線相関関係が認められた(第1図)。

このことから、カラー画像をもとに画像間演算により作成した画像を用いて赤外画像と同様の植被率が算出できることがわかった。

2) 植被率と水稻の生育量

場内の散播ハナエチゼンで、カラー画像から画像間演算を行って得た画像を用いて算出した植被率と実際の生育量との関係を見た。

その結果、画像の植被率は、その地点の葉面積指数(LAI)と $r=0.955^{***}$ の、地上部乾物重と $r=0.967^{***}$ の、草丈×茎数と $r=0.964^{***}$ の直線相関がみられた(第2図)。



第2図 画像植被率と直播水稻の生育量との関係
(1999年, 福井農試場内散播ハナエチゼン, 葉令3~9程度)

また、現地の散播キヌヒカリでも、播種後24日の画像の植被率と草丈×茎数との間に $r=0.699^{***}$ の正の直線相関関係がみられた(第3図)。

以上から、カラー画像を用いて得た植被率はその地点の水稻の生育量と相関があることがわかった。

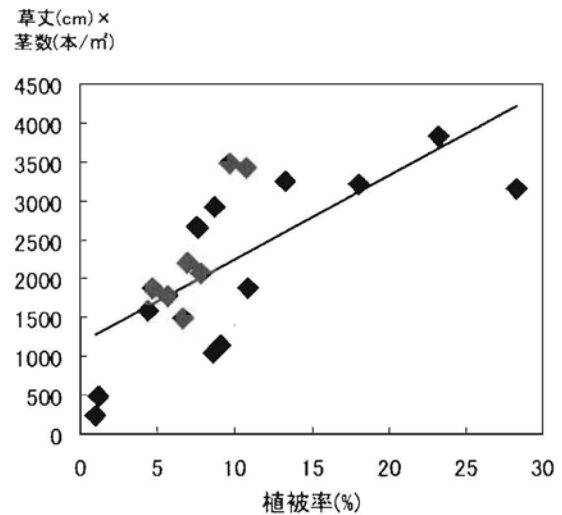
2. 試験2: 画像の色情報と水稻の葉色との関係

1) 原画像(カラー画像)から稲体情報のみの抽出

これまでの研究から、画像から葉身部分を抽出し、その色情報の演算値と窒素濃度や葉色とに相関があるとの知見が得られている^{2,7)}。しかし、画像の葉身部分の抽出

は手作業で行われるなど、手間がかかっていた。

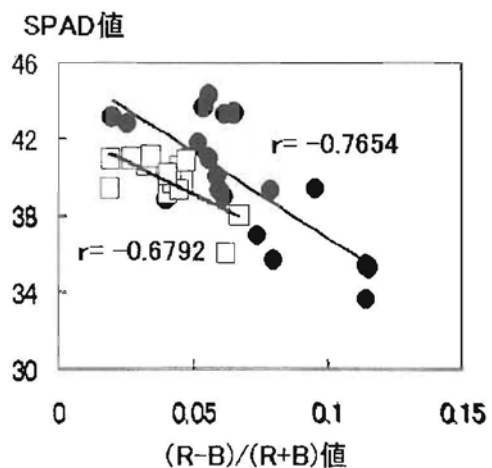
そこで、稲体の色情報を迅速に抽出する方法として、試験1で得られた二値化画像(稲体部分の値は1, 地面の値は0となっている)を用いて、この画像と原画像とを掛け合わせる画像間演算を行った。その結果、稲体部分の色情報は原画像のまま、地面の色情報を0とした、稲体情報のみを抽出した画像が得られた(写真3)。



第3図 画像植被率と直播水稻の生育量との関係
(2001年, S町現地試験散播キヌヒカリ, 播種後24日)

2) 稲体情報抽出画像とSPAD値との関係

既存の研究では、植物体の葉身部分を抽出したカラー画像の $(R-B)/(R+B)$ 値や $R/(R+G+B)$ 値などの演算値は作物体葉身の窒素濃度やSPAD値と相関があるという報告がある^{2,7)}。



第4図 画像の $(R-B)/(R+B)$ 値とSPAD値との関係
(2001年, 撮影時の照度2万~4万ルクス程度)
(□: 福井農試場内散播ハナエチゼン, 出穂前31日)
(●: 現地散播キヌヒカリ, 出穂前23日)

そこで、この稲体情報抽出画像のいくつかの演算値と稲体葉身の SPAD 値との関係を見たと、SPAD 値と相関が高いのは演算値 $(R-B)/(R+B)$ 値であることがわかった。穂首分化期～幼穂形成期の水稻で、照度が約 2 万～4 万ルクスと変動が比較的小さいとき、福井農試場内の散播ハナエチゼンで画像の $(R-B)/(R+B)$ 値と SPAD 値とに $r=-0.679^{**}$ の、現地試験における散播キヌヒカリでは $r=-0.765^{***}$ の直線相関関係がみられた (第 4 図)。

以上から、カラー画像をもとに、稲体情報のみを抽出した画像を迅速に作成でき、その RGB 値の演算値 $(R-B)/(R+B)$ 値と実際的水稻葉身の SPAD 値とに直線相関関係があることがわかった。

IV. 考察

1. 試験 1 の結果から

デジタルカメラを搭載したスターホイールトラクタで圃場内を走行して地上高約 2m の直上から得たカラー画像を用いて、画像間演算 $(G-R) \times (G-B)$ により作成した二値化画像は、赤外画像と同様、稲体部分は白く、地面は黒い画像となり、植被率が求められることがわかった。

求められた植被率は、その地点の葉面積指数(LAI)や、地上部乾物重、草丈×茎数と直線相関関係があり、カラー画像の植被率から直播水稻の生育量の推定が可能であることがわかった。しかし、1998 年の予備試験結果では、LAI や地上部乾物重は、植被率が 70 % を超えるとそれ以下のときの直線回帰式と異なる回帰式となることがみられ、葉の重なりが多くなると植被率からの生育量推定は難しくなることが推察された。

2. 試験 2 の結果から

デジタルカメラを搭載したスターホイールトラクタで圃場内を走行して地上高約 2m の直上から得たカラー原画像(A)と、原画像を元に植被率算出のため作成した二値化画像(W)との画像間演算 $(A) \times (W)$ により、稲体部分だけの色情報を抽出した画像(C)が短時間で作成できた。

幼穂形成期頃、撮影時の照度が約 2 万～4 万ルクスと変動が比較的小さいとき、その画像 C の RGB 値の演算値 $(R-B)/(R+B)$ 値と実際的水稻葉身の SPAD 値とに直線相関関係がみられた。

これらのことから、幼穂形成期頃に得たデジタルカラー画像を用いて、直播水稻の葉色 (SPAD 値) の推定が可能であることがわかった。

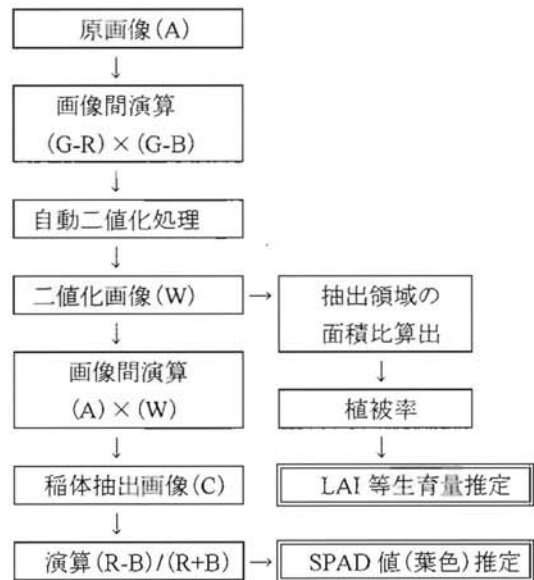
しかし、照度が大きく変動する条件下では、 $(R-B)/(R+B)$ 値も変動が大きくなった。実際にこの手法が導入されるべき一般圃場は、自然光の条件下にあり、光源光

量や光源と撮影対象や撮影者の 3 者の位置関係は天候等の条件によっては変動しやすい条件下にある。画像撮影にあたってはその点の注意が必要となると思われた。

3. 試験 1 と試験 2 をあわせて

以上から、デジタルカメラを搭載したスターホイールトラクタで圃場内を走行して地上高約 2m の直上から得たカラー画像から、直播水稻の葉面積指数や地上部乾物重などの生育量、葉色 (SPAD 値) といった稲体内栄養状態の推定が可能であり、大区画圃場の生育むらを把握できる手法となりうるということがわかった。

以上の画像処理解析の流れをまとめると、第 5 図のとおりである。



第 5 図 画像処理・解析の流れ

これらの画像情報取得や画像情報処理に用いたデジタルカメラやパソコン、画像処理解析ソフトは全て市販されているものであり、価格もさほど高価なものではない。さらに赤外フィルムよりも取り扱い性も簡易で、現像する必要もない。デジタルカメラで取得された画像情報はデジタル情報なので、データをパソコンに直接転送することができる。したがって、この手法は、簡便で迅速な生育推定手法となりうることが推察された。

また、画像情報を用いることで、生育情報を具体的に視覚に訴えることができ、農家向けの栽培管理指導のための資料などとしての活用も期待できると思われる。

福井県では、直播水稻の施肥は、基肥一 5 葉期追肥一穂肥 (2 回) という体系が基準となっている。この施肥体系に則って、実際に生育に応じた施肥管理 (局所施肥) を行うとした場合、

① 3～4 葉期頃に画像情報取得を行い、植被率を調査し

て、それから初期生育量を推定する。その結果をもとに生育に応じた5葉期追肥量を決定する。

②穂首分化期～幼穂形成期頃に画像情報取得を行い、稲体抽出画像を作成してその(R-B)/(R+B)値から葉色を推定する。その結果をもとに穂肥量を決定する。という手法が想定される。

4. 今後の課題

スターホイールトラクタに搭載したデジタルカメラを用いて得た画像情報から直播水稻の生育量や体内栄養状態が推定できることがわかった。

しかし、実際に生育量の推定を行うにあたっては、品種や栽培法などによって、推定するための回帰式が異なることが試験結果から示唆されたので、その検討が必要となる。

また、生育量の推定は、収量品質の高位安定化を目指した生育制御を行うために行うものである。どの生育ステージでどれくらいの生育量が適切なのか、またそれからはずれているときにどのような生育制御法を実施すればよいのか、など作物生理面や施肥管理面の検討が必要である。

V. 謝辞

坂井町での現地試験実施にあたり、地元生産組合や坂井農林総合事務所農業普及部に御支援、御協力いただいた。ここに、関係者各位に心から感謝の意を表し、お礼申し上げます。

VI. 引用文献

- 1) 林恒夫・佐藤勉・酒井究・岩田忠寿・笈田豊彦・間脇正博・斎尾乾二郎・二宮正士・吉田隆亮(1993)画像解析を利用した水稻の生育診断技術 第1報 植被率と葉面積指数の関係による生育量の推定. 福井農試報告 30:9-18
- 2) 北海道立中央農業試験場・宮城県農業センター・宮城県古川農業試験場・福井県農業試験場・石川県農業総合研究センター・広島県立農業技術センター(1996)リモートセンシング技術等による作物・環境情報の効率的把握と情報処理手法の高度化. 地域重要新技術開発促進事業報告書:46-56
- 3) 井上吉雄(1998)情報化精密農業生産管理へのリモートセンシングの応用(1). 農業機械学会誌 60(1):127-134
- 4) 井上吉雄(1998)情報化精密農業生産管理へのリモートセンシングの応用(2). 農業機械学会誌 60(2):139-146
- 5) 井上吉雄(1998)情報化精密農業生産管理へのリモートセンシングの応用(3). 農業機械学会誌 60(3):141-150
- 6) 岩谷潔・山本晴彦・早川誠而(1999)デジタルカメラを用いた水稻個体群の植被率の推定. 日作紀 68(別1):202-203

- 7) 中谷誠・川島茂人(1994)ビデオ画像による麦類の葉色判定. 日作紀 63(1):42-47
- 8) 野口伸(1999)米国穀倉地帯におけるプレシジョンアグリカルチャ. 農業機械学会誌 61(1):12-16
- 9) 澁澤栄(1999)米国プレシジョンアグリカルチャへの訪問. 農業機械学会誌 61(1):7-12
- 10) 梅田幹雄(1999)ドイツでのプレシジョン・アグリカルチャ. 農業機械学会誌 61(1):26-29

Practical Method for Estimating the Biomass of Direct Seeding Rice by Digital Color Image Analyses

Masanori TSUCHIDA, Chikara KAGOSHIMA and Yoshitada KITAKURA

Summary

To precisely estimate the growth conditions of directly seeded rice in each part of a large-scale paddy field, color pictures were taken by a digital camera mounted on the star-wheels of an attached tractor. The pictures were taken from two meters above the rice canopy. The percentage of vegetational rice cover was calculated by analyzing image data from several color images. A significant linear correlation was recognized between the percentage of vegetational cover and biomass, which is the leaf area index and top dry weight. From the color images taken at the panicle formation stage, the color information of the rice canopy was abstracted and new images were composed rapidly. A linear correlation was also recognized between the composed images and leaf color SPAD values. As a result, the biomass of directly seeded rice can be estimated, until the panicle formation stage, by analyzing digital color images.

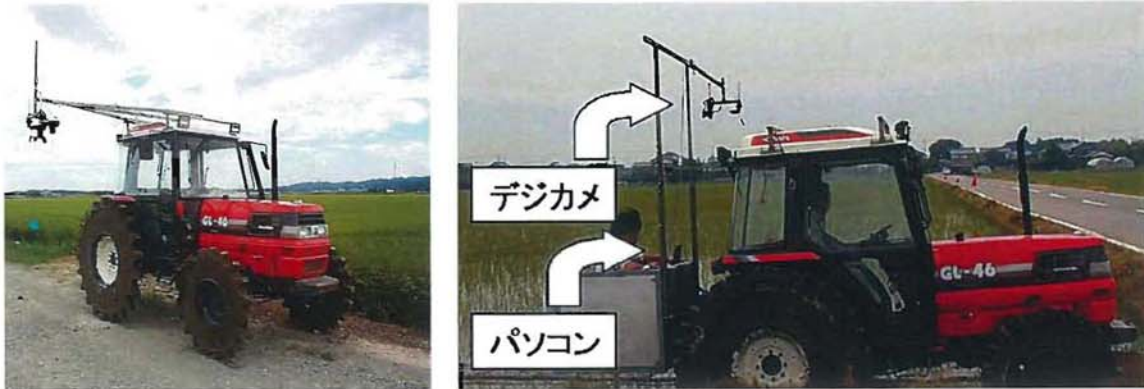


写真1 画像情報取得装置（左：1999年度，右：2001年度）



写真2 同一地点の画像比較
（上：カラー画像）
（中：カラー画像から
画像間演算で作成
された画像）
（下：赤外画像）

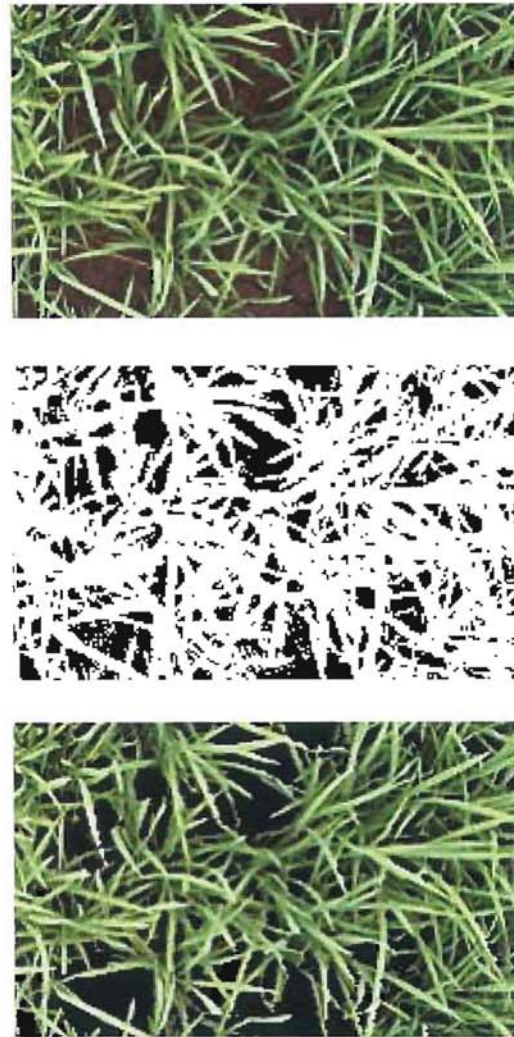


写真3 葉色推定のための処理画像
（上：原画像(A)）
（中：二値化画像(W)）
（下：画像間演算(A×W)で作成
された稲体抽出画像）