

氏名	いわや 岩谷	きよし 潔
学位の種類	博士（農学）	
学位記番号	甲第311号	
学位授与年月日	平成16年 3月12日	
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当	
学位論文題目	光学的計測手法によるイネ個体群の生育診断に関する研究	
学位論文審査委員	(主査) 山本晴彦 (副査) 早川誠而 神近牧男 小葉田 亨 荊木康臣	

## 学位論文の内容の要旨

本研究は、光学的計測手法によるイネ個体群の生育診断手法を開発することを目標に行った。イネ個体群の生育診断指標である地上部窒素量の診断が、既存の測定機器である葉緑素計（SPAD-502、Minolta 製）とプラントキャノピーアナライザー（LAI-2000、Li-Cor 製：以下 PCA）により可能であるか検討を行った。1997 年および 1998 年において測定された SPAD 値と葉面積あたり窒素量（SLN）には、正の相関関係（ $R^2 = 0.743$ ）が認められた。PCA による葉面積指数（LAI）の推定値は LAI の実測値を約 20%過小評価する傾向があり、特に実測した LAI が 4 以上となった場合に過少評価傾向が強くなった。しかし、PCA によるイネ個体群の LAI の非接触非破壊による推定手法は、実用化技術として有効な手法であると考えられた。

SPAD 値と PCA による LAI の積と、 $1\text{m}^2$  当りの葉身窒素量（LNC）について、2 カ年を通じて正の高い相関（ $R^2 = 0.866$ ）が得られた。また、 $1\text{m}^2$  当りの LNC と  $1\text{m}^2$  当りの地上部窒素量（TNC）の間にも年次変動が確認されず高い相関が得られた。以上のことから、SPAD 値と LAI の積と、 $1\text{m}^2$  当りの TNC の関係を調査した結果、両者には 2 カ年を通じて高い相関が得られた（ $R^2 = 0.851$ ）。

デジタルカメラによるイネ個体群の画像情報を用いた生育診断技術への利用可能性について検討を行った。

デジタルカメラにより撮影した水田画像からイネ個体群のみを抽出する画像処理方法を検討するために、イネ個体群およびそれ以外の田面部に該当する画素の R（赤）、G（緑）、B（青）各色の濃度値を解析した。その結果、各画素の濃度値について画素間演算  $(G-R) \times (G-B)$  を行い、閾値 100 で 2 値化する事で、イネ個体群を白、それ以外を黒とする 2 値化画像が得られた。この処理による取得画像について白黒各画素数を計測することで、イネ個体群の葉被率が算出できた。この方法により推定したイネ個体群の植被率と、抜き取り調査により得られた葉面積指数の推移は、標準的な生育を示した個体群については、植被率が葉面積指数の推移とほぼ同様の傾向を示した。しかし、葉面積指数が 4 以上、植被率が 80%以上となり葉身の重なりが増加する従い、葉面積指数の増加に対する植被率の増加傾向は過少評価傾向となった。植被率と葉面積指数の間には高

い正の相関( $R^2 = 0.979$ )が得られた。植被率が飽和(100%)に近づくにつれて葉面積指数に対する過少評価傾向は強まると考えられ、両者の関係は直線的増加ではなく指數的増加を示すようになることが予想されるが、本研究において測定された植被率(約90%)および葉面積指数(約5)までの範囲においては、上記の関係は有効であると考えられる。

葉色の診断は、上で述べた植被率推定の画像処理によりイネ個体群とそれ以外に分類した2値化画像と処理前のカラー画像を用い、画像処理ソフト(Photoshop ver.4.0.1J、Adobe製)によりイネに該当する画素のR、G、Bおよび輝度(以下L)の平均濃度値を求め、葉身窒素濃度およびSPAD値との関係を調査した。この結果、葉身窒素濃度についてはB/L、SPAD値については(B-R)/Lとの間で、最も高い相関(それぞれ $r=0.922$ 、 $0.827$ )が得られた。また、各画像の明るさの補正方法として葉色カラースケール(水稲用、藤平工業株式会社製)を用いた補正を行い、補正後のBおよびRの差である $B^*-R^*$ との間に補正前よりも高い相関( $r=0.971$ 、 $0.856$ )が得られ、出穂期前までのイネの葉身窒素濃度が高精度で推定可能であることが示唆された。しかし、今回用いた補正法は、葉色カラースケールを画像内に判別可能な大きさで写し込む必要があるため、より広範囲のイネを対象とする診断には適さない点が問題となる。今後は、葉色カラースケールなどの画像内の基準色票を利用しない補正法を開発することが必要であると考えられる。

イネ栽培における最終収穫物である籾の品質に大きく影響を及ぼす収穫適期判定の指標として重要な穂含水率と、デジタルカメラの画像によるイネ個体群の表面色変化の関係を解析し、デジタル画像による表面色評価の定量的かつ客観的な収穫適期判定指標への活用について検討を行った。

イネ個体群画像のRGBおよびL値とその演算値を変数とし、穂含水率との回帰分析を行った結果、各年については、1997年では $(R-G)/(R+G)$ 、 $(R-G)/L$ 、 $R/L$ などについて高い相関(それぞれ $r=0.934$ 、 $-0.930$ 、 $-0.930$ )がえられた。また、1998年については対象とする穂含水率を1997年と同様かつ、収穫適期診断においても重要となると考えられる45から22%までのデータのみとした場合、 $R-G$ 、 $R/L$ 、 $(R-G)/(R+G)$ について高い相関(それぞれ $r = -0.970$ 、 $-0.970$ 、 $-0.969$ )が得られた。両試験年で共に高い相関を得た $(R-G)/(R+G)$ と穂含水率の関係については1997年については、

$$y = 47.7 - 142x$$

1998年については、

$$y = 34.4 - 183x$$

という関係式により表すことができた。ここで、 $y$ は穂含水率、 $x$ は $(R-G)/(R+G)$ の値である。両年とも傾きがほぼ等しい反面、 $y$ 切片が大きく異なっている。この原因としては、両試験年で用いたデジタルカメラが異なっていたことによる器差が考えられた。両年の器差を補正するために、両試験年で使用したカメラそれぞれについて高演色形メタルハライドランプ(陽光ランプDR400/T、東芝製)照明下において、葉色カラースケールを撮影した。得られた画像における両カメラのR、G、B、L各濃度値の関係から器差補正式が得られ、補正後のR、G濃度値を用いて算出した $(R-G)/(R+G)$ の値と穂含水率の間には $r = -0.934$ と高い相関が得られ、その関係は次式により表すことができた

$$y = 34.6 - 173x$$

ここで、 $y$ は穂含水率、 $x$ は $(R-G)/(R+G)$ の値である。汎用性の高い葉色カラースケールを用いたこの補正法により、両年を通じて有効なイネ個体群の穂含水率低下に伴う表面色の評価指標が得られたと考えられる。

## 論文審査の結果の要旨

本研究は、光学的計測手法によるイネ個体群の生育診断手法を開発することを目標に行った。

イネ個体群の生育診断指標である地上部窒素量の診断が、既存の測定機器である葉緑素計 (SPAD-502、Minolta製) とプラントキャノピーアナライザー (LAI-2000、Li-Cor製: 以下PCA) により可能であるか検討を行った。1997年および1998年において測定されたSPAD値と葉面積あたり窒素量 (SLN) には、正の相関関係 ( $R^2 = 0.743$ ) が認められた。PCAによる葉面積指数 (LAI) の推定値はLAIの実測値を約20%過小評価する傾向があり、特に実測LAIが4以上となった場合に傾向が強くなった。しかし、PCAによるイネ個体群のLAIの非接触非破壊による推定手法は、実用化技術として有効な手法であると考えられた。

SPAD値とPCAによるLAIの積と、1m<sup>2</sup>当りの葉身窒素量 (LNC) について、2ヵ年を通じて正の高い相関 ( $R^2 = 0.866$ ) が得られ、1m<sup>2</sup>当りのLNCと1m<sup>2</sup>当りの地上部窒素量 (TNC) の間にも年次変動が確認されず高い相関が得られた。以上のことから、SPAD値とLAIの積と、1m<sup>2</sup>当りのTNCの間には2ヵ年を通じて高い相関が得られた ( $R^2 = 0.851$ )。

デジタルカメラによるイネ個体群の画像情報を用いた生育診断技術への利用可能性について検討を行った。デジタルカメラにより撮影した水田画像からイネ個体群のみを抽出する画像処理方法を検討するために、イネ個体群およびそれ以外の田面部に該当する画素のR (赤)、G (緑)、B (青) 各色の濃度値を解析した。その結果、各画素の濃度値について画素間演算 $(G-R) \times (G-B)$ を行い、閾値100で2値化する事で、イネ個体群を白、それ以外を黒とする2値化画像が得られ、白黒各画素数を計測することでイネ個体群の植被率が算出できた。この方法により推定したイネ個体群の植被率と、抜き取り調査による葉面積指数の推移は、標準的な生育を示した個体群については、ほぼ同様の傾向を示した。しかし、葉面積指数が4以上、植被率が80%以上となり葉身の重なりが増加する従い、葉面積指数に対する植被率の推移は過少評価傾向となった。植被率率と葉面積指数の間には高い正の相関( $R^2 = 0.979$ )が得られた。植被率が飽和 (100%) に近づくとつれて葉面積指数に対する過少評価傾向は強まると考えられるが、本研究において測定された植被率 (約90%) および葉面積指数 (約5) までの範囲においては、上記の関係は有効であると考えられる。

葉色の診断は、上で述べた植被率推定の画像処理による2値化画像と処理前のカラー画像を用い、画像処理ソフト (Photoshop ver.4.0.1J、Adobe製) によりイネに該当する画素のR、G、Bおよび輝度 (以下L) の平均濃度値を求め、葉身窒素濃度およびSPAD値との関係を調査した。葉身窒素濃度については $B/L$ 、SPAD値については $(B-R)/L$ との間で、最も高い相関 (それぞれ $r = 0.922$ 、 $0.827$ ) が得られた。また、各画像の明るさの補正方法として葉色カースケール (水稲用、藤平工業株式会社製) を用いた補正を行い、補正後のBおよびRの差である $B^*-R^*$ と葉身窒素濃度およびSPAD値の間に補正前よりも高い相関 ( $r = 0.971$ 、 $0.856$ ) が得られ、出穂期前までのイネの葉身窒素濃度が高精度で推定可能であることが示唆された。しかし、この補正法は葉色カースケールを画像内に写し込む必要があるため、広範囲の診断には適さない点が問題となる。今後は、画像内の基準色票を用いない補正法を開発することが必要であると考えられる。

収穫適期判定の指標として重要な穂含水率と、デジタルカメラの画像によるイネ個体群の表面色変化の関係を解析し、定量的かつ客観的な表面色評価による収穫適期判定指標への活用について検討を行った。イネ個体群画像のRGBおよびL値とその演算値を変数とし、穂含水率との回帰分析を行った結果、各年については、1997年では $(R-G)/(R+G)$ 、 $(R-G)/L$ 、 $R/L$ などについて高い相

関（それぞれ $r=0.934$ 、 $-0.930$ 、 $-0.930$ ）がえられた。また、1998年については対象とする穂含水率を1997年と同様かつ収穫適期診断においても重要となると考えられる45から22%までのデータのみとした場合、 $R-G$ 、 $R/L$ 、 $(R-G)/(R+G)$ について高い相関（それぞれ $r = -0.970$ 、 $-0.970$ 、 $-0.969$ ）が得られた。両年で共に高い相関を得た $(R-G)/(R+G)$ と穂含水率の関係については、両年とも1次回帰式の傾きがほぼ等しい反面、切片が大きく異なっている。両年で用いたデジタルカメラが異なっていたことが原因として考えられたため、両カメラについて人工光源下において葉色カラースケールを撮影し、器差補正を行った。補正後の $R$ 、 $G$ 濃度値を用いて算出した $(R-G)/(R+G)$ の値と穂含水率の間には両年を通して $r = -0.934$ と高い相関が得られた。汎用性の高い葉色カラースケールを用いたこの補正法により、両年を通じて有効なイネ個体群の穂含水率低下に伴う表面色の評価指標が得られたと考えられる。

本論文は、既存の生育診断機器を組み合わせることでイネ栽培において有効な新たな生育診断指標が推定可能であることを示し、また一般に入手可能な市販デジタルカメラと画像処理ソフトウェアを用いた簡易なシステムによる生育診断の可能性を示しており、学位論文として十分な価値を有するものと判定する。