

## 水稻登熟期の分光計測による収量と窒素吸収量の推定

谷本俊明・中藪正之・星野 滋

キーワード：分光反射係数，水稻，ヒノヒカリ，収量，窒素吸収量

広島県は地形が複雑で起伏に富んでおり、水田には狭い範囲に多種類の土壌が複雑に分布している。また、気象条件は大きな地域差があるなど、稲作を取り巻く自然環境は多様である。このため、水稻の安定・高品質生産を行うには迅速に生育、収量及び窒素栄養状態を推定あるいは予測して、適切な栽培管理を行う必要がある。

従来、生育や収量の調査は、草丈、茎数の測定や稲株の一部刈り取りによって行われており、多大な労力と時間を要している。窒素栄養状態の推定手法としては、葉色板あるいは葉緑素計による葉色測定がある。葉色板は、安価で、誰でも容易に利用できる利点があるが、葉色判定は視覚によるため、個人差が生じることがあり、測定時の光条件や葉の外部反射率の多少によって値が変わるなど、結果の再現性に問題がある<sup>5)</sup>。葉緑素計による葉色の測定は、非破壊であるが、測定値は特定部位の個葉の測定値であるため、測定精度を高めるには多数の個体を測定しなければならない。そこで、生育、収量及び窒素栄養状態を群落あるいは圃場単位で迅速、簡易に推定する手法の確立が望まれている。

近年、エレクトロニクス技術の革新に伴って、物体が持つ分光反射特性から、物体の種類や量、その状態などを検出する分光計測手法が農業分野に適用されつつある。秋山<sup>2)</sup>は分光計測手法を作物評価に導入することのメリットとして、①センサによって、人間の目よりも広い電磁波域からの作物情報を検出できる、②非破壊計測技術であることから、同一個体を継続して追跡調査できる、③生育の違いを数値データとして計測できる、④短時間に、あるいはリアルタイムで生育過程を計測できる、⑤航空機などに搭載して広域の面的情報を得ることができ、⑥人工衛星によって取得されたデータと比較しながら解析できることをあげている。

今後、分光計測による手法は、農業分野において高品質・安定生産を目指すために欠かせない調査手法である。しかしながら、分光計測手法は生産現場で用いられ

る段階にはまだ至っていない。そこで、著者らは、分光計測手法の実用化を目指して、携帯用分光放射計を用いて、迅速、簡易に生育、収量及び窒素吸収量等を推定する手法の開発を行っている。本研究では、登熟期に測定した水稻の分光反射係数と生育、収量及び窒素含有率・吸収量との関係を検討し、収量と窒素吸収量の推定に有効な分光計測手法を開発したので報告する。

### 材料及び方法

試験は、水稻品種ヒノヒカリを用い、広島県立農業技術センター（東広島市八本松町原）の圃場で1994～1995年の2年間行った。土壌は細粒グライ土（三隅下統）である。

生育、収量に差をつけるために施肥量を変えて栽培した。試験区の面積は1区30m<sup>2</sup>、2連制とした。1994年は、移植（稚苗）を5月17日、収穫を9月30日に行った。施肥は窒素・リン酸・カリを同量とし、0, 30, 60, 90, 120 kg ha<sup>-1</sup>施用の5処理とした。1995年は、移植（稚苗）を5月18日、収穫を10月12日に行った。施肥は、1994年と同様に窒素・リン酸・カリを同量とし、0, 40, 60, 80, 100kg ha<sup>-1</sup>施用の5処理とした。肥料は両年次とも被覆尿素肥料を用い、基肥に全量施用した。

収穫時に生育（稈長、穂長）、収量調査を行った。稈長、穂長は各処理区20株を調査した。全重、わら重、もみ重及び収量は各処理区70株を刈り取り測定した。わら、もみ中の窒素含量は硫酸分解—ケルダール蒸留法により分析した。

分光反射係数の測定は電池で作動する携帯用の分光放射計（阿部設計2703型）を使用した。この分光放射計は、一眼レフ式のファインダー内に測定対象物を捉えることにより視野角2°あるいは10°で測定対象物の太陽光の反射係数を測定するものである。測定波長は、可視光線～近赤外線（400・425・450・475・500・525・550・575

・600・625・650・675・700・750・850・950・1050nm)の17波長である。

分光反射係数の測定は登熟期(1994年9月20日, 1995年9月21日)に, 標準白板(硫酸バリウム塗布紙)を基準とし, 視野角 $10^\circ$ , 高さ1.7m, 俯角 $30^\circ$ で, 分光放射計を条方向に向けて, 晴天の日の午前11時から午後2時頃の間太陽を背にして行った。各処理区とも3回測定を行い, 平均値から分光反射係数を求め, 分光反射係数と水稻の生育, 収量及び窒素含有率・吸収量との関係を相関分析により解析した。

## 結 果

### 1. 分光反射係数と生育, 収量及び窒素含有率・吸収量との関係

#### 1) 施肥量と生育, 収量及び窒素含有率・吸収量

1994・1995年ともに夏期は高温, 多日照で経過し, 生育が良く, 多収であった。とくに, 1994年は収量が多かった。なお, 出穂期は, 1994年は8月16日, 1995年は8月21日であった。

1994年の施肥量と水稻の生育, 収量ならびに窒素含有率・吸収量を表1, 2に示す。稈長は施肥量の増加に伴って長くなり, わら重, もみ重及び収量が多くなった。また, 施肥量の増加に伴いわら, もみとも窒素含有率が高くなり, 窒素吸収量が多くなった。

#### 2) 分光反射係数と収量

収量の異なる水稻の登熟期の可視光線～近赤外線分光反射係数を図1に示す。収量の多少に関わらず可視～近赤外域にかけての分光反射係数は, ほぼ同じ傾向を示し, 可視域(400～700nm)では400nmの反射係数が最も低く, 波長が長くなるにしたがって反射係数は高くなり, 550nmあるいは575nmの反射係数にピークがあった。さらに波長が長くなると675nmまで反射係数は低下する。675nmから近赤外域の850nmまで反射係数は直線的に増加し, 1050nmの反射係数が最も高かった。

収量と分光反射係数の関係は, 可視域では収量が多くなるほど反射係数の低下が認められた。しかし, 近赤外域(750～1050nm)ではこの関係は逆転し, 多収のものほど反射係数が高くなった。

### 2. 分光反射係数, 分光反射係数間の演算値と生育, 収量及び窒素含有率・吸収量との相関

登熟期の17波長の分光反射係数と水稻の生育, 収量及び窒素含有率・吸収量との相関を求めた。また, ノイズや背景の影響等を軽減し, 目的とする作物体の情報を抽

出するために, 可視光線と近赤外線の反射係数を組み合わせた演算値(差, 比, 差と和の比等)が広く用いられている<sup>2,4,10)</sup>。そこで, 可視光線と近赤外線, それぞれ任意の1波長を選び, 選定した波長間の反射係数の演算値(差, 比, 差と和の比)と生育, 収量及び窒素含有率・吸収量との相関を求めた。

#### 1) 分光反射係数と生育, 収量及び窒素含有率・吸収量との相関

分光反射係数と生育, 収量との相関係数を表3, 窒素含有率・吸収量との相関係数を表4に示す。生育, 収量は, 可視域の分光反射係数との間に最も高い相関が認められ, いずれも負の相関を示した。稈長, 全重, わら重及び収量は, 波長675nmの反射係数(以下R675とする)との相関が最も高かった。穂長はR475, もみ重はR500との相関が最も高かった。なお, 生育, 収量とR400, R750及びR950の間には有意な相関は認められなかった。

窒素含有率・吸収量についても, 生育, 収量の場合と同様に可視域の分光反射係数との間に最も高い相関が認められ, いずれも負の相関を示した。わら, もみの窒素含有率はR525との相関が最も高かった。わら, もみの窒素吸収量ならびに両者の窒素吸収量の合計(以下全窒素吸収量とする)はR475との相関が最も高かった。

分光反射係数と窒素含有率・吸収量との相関は, 窒素含有率よりも窒素吸収量との間の相関の方が, 相関係数が高い傾向を示した。なお, 生育, 収量の場合と同様に, R400, R750及びR950と窒素含有率・吸収量との間には有意な相関は認められず, さらに窒素含有率はR850, R1050との間にも有意な相関が認められなかった。

#### 2) 2波長間の反射係数の演算値と生育, 収量及び窒素含有率・吸収量との相関

2波長間の反射係数の演算値(以下分光反射係数間演算値とする)と生育, 収量との相関を求め, 最も相関係数が高い演算値と相関係数を表5に示す。同様に, 窒素含有率・吸収量との相関を求め, 最も相関係数が高い演算値と相関係数を表6に示す。

分光反射係数間演算値と生育, 収量との相関は, 分光反射係数単独の場合よりも相関係数が高くなった。稈長, 穂長及びわら重は近赤外線と可視光線の反射係数の比との間の相関が最も高く, 稈長はR850/R700との間に $r=0.959^{**}$ の高い相関が認められた。全重, もみ重及び収量は, 近赤外線と可視光線の反射係数の差と和の比との相関が最も高く, もみ重, 収量との相関係数は0.94以上の高い値を示した。

分光反射係数間演算値とわら, もみの窒素含有率なら

びにわら、もみの窒素吸収量及び全窒素吸収量との相関は、もみの窒素含有率を除いて分光反射係数単独の場合より相関係数が高くなった。なお、窒素含有率との相関よりも窒素吸収量との相関の方が高い値を示した。窒素含有率・吸収量とも近赤外線と可視光線の反射係数の差と和の比との相関が最も高かった。

### 3. 収量と窒素吸収量の推定

#### 1) 収量の推定

収量と登熟期の分光反射係数間演算値「 $(R850 - R625) / (R850 + R625)$ 」との間には表5に示すように  $r = 0.947^{**}$  の相関がある。この関係は単年度においてもみられ、1994年は  $r = 0.959^{**}$ 、1995年は  $r = 0.955^{**}$  の相関があった。そこで、1994年の回帰式を用いて1995年の収量を推定したところ、図2に示すように推定値は実測値の±10%の範囲内の値で、実測値と推定値との間には  $r = 0.955^{**}$  の相関が認められた。

#### 2) わらの窒素吸収量推定

わらの窒素吸収量と分光反射係数間演算値「 $(R850 - R475) / (R850 + R475)$ 」との間には、表6に示すように  $r = 0.949^{**}$  の相関がある。この関係は、単年度においても認められ、1994年は  $r = 0.973^{**}$ 、1995年は  $r = 0.926^{**}$  の相関があり、1994年の回帰式を用いて推定した1995年のわらの窒素吸収量と実測値との関係を図3に示す。推定値は実測値のほぼ±10%の範囲内に分布し、実測値と推定値との間には  $r = 0.926^{**}$  の相関が認められた。

#### 3) もみの窒素吸収量推定

もみの窒素吸収量と分光反射係数間演算値「 $(R850 - R525) / (R850 + R525)$ 」との間には、表6に示すように  $r = 0.924^{**}$  の相関がある。この関係は単年度においても認められ、1994年は  $r = 0.945^{**}$ 、1995年は  $r = 0.973^{**}$  の相関があり、1994年の回帰式を用いて推定した1995年のもみの窒素吸収量と実測値との関係を図4に示す。1995年のもみ窒素吸収量実測値と推定値の間には、 $Y = 0.901X$  ( $Y =$ 推定値,  $X =$ 実測値,  $r = 0.973^{**}$ ) の関係があり、推定値は実測値のほぼ10%減の値を示した。

#### 4) 全窒素吸収量の推定

全窒素吸収量と分光反射係数間演算値「 $(R850 - R525) / (R850 + R525)$ 」との間には、表6に示すように  $r = 0.964^{**}$  の相関がある。この関係は単年度においてもみられ、1994年は  $r = 0.964^{**}$ 、1995年は  $r = 0.973^{**}$  の相関があった。そこで、1994年の回帰式を用いて1995年の全窒素吸収量を推定したところ、図5に示すように

表1 施肥量と水稻の生育、収量 (1994)

施肥量 kg ha <sup>-1</sup>	稈長 cm	穂長 cm	わら重 Mg ha <sup>-1</sup>	もみ重 Mg ha <sup>-1</sup>	収量 Mg ha <sup>-1</sup>
0	74.3	17.8	92.7	53.9	42.1
60	85.7	17.8	121.0	76.3	59.0
120	91.9	18.2	129.2	84.7	65.4

表2 施肥量と水稻の窒素含有率・吸収量 (1994)

施肥量 kg ha <sup>-1</sup>	N含有率 kg kg <sup>-1</sup>		N吸収量 kg ha <sup>-1</sup>		
	わら	もみ	わら	もみ	合計
0	0.35	0.82	32	44	76
60	0.51	0.96	62	73	135
120	0.68	0.97	87	82	170

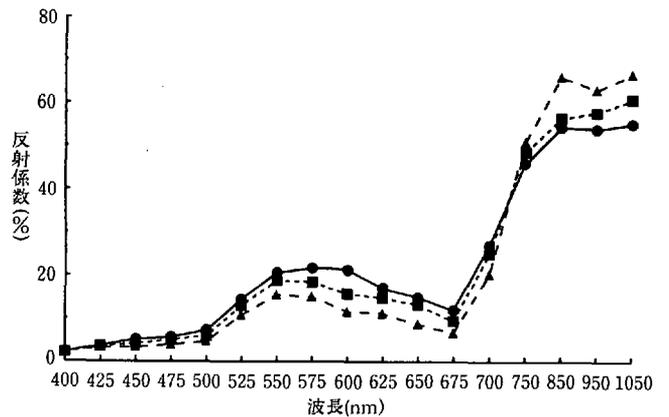


図1 収量の異なる水稻の登熟期の分光反射係数 (1994)  
注) 収量(Mg ha<sup>-1</sup>) ● : 4.1, ■ : 5.3, ▲ : 6.7

推定値は実測値のほぼ±5%の範囲内に分布し、実測値と推定値との間には  $r = 0.973^{**}$  の相関が認められた。

## 考 察

近年、農業分野で分光計測手法を用いて、非破壊・非接触で種々の作物生体情報の推定が行われている。現在、バイオマス、葉面積、クロロフィル量及び光合成能力等の推定が報告されている<sup>1,2,6,10</sup>。そこで、携帯用分光放射計を用いて、登熟期に測定した水稻の分光反射係数と生育、収量及び窒素含有率・吸収量との関係を検討した。

一般に、緑色葉の可視光線～近赤外線の分光反射係数は一定のパターンを示し、可視光線のうち青色域(約400～500nm)と赤色域(約600～700nm)の大部分は葉内色素によって吸収され反射係数は低く、緑色域(約500～600nm)では吸収が少ないため反射係数が高く、近赤外域(約700～1,300nm)では反射係数が非常に高い、青色域の吸収はクロロフィルとカロチノイド、赤色域の

表3 水稻の登熟期の分光反射係数と生育、収量との相関係数 (1994, 1995, n = 20)

反射係数	稈長 cm	穂長 cm	全重 Mg ha <sup>-1</sup>	わら重 Mg ha <sup>-1</sup>	もみ重 Mg ha <sup>-1</sup>	収量 Mg ha <sup>-1</sup>
R400 <sup>1)</sup>	-0.231	-0.338	-0.105	-0.006	-0.245	-0.237
R425	-0.649** <sup>2)</sup>	-0.598**	-0.468* <sup>3)</sup>	-0.276	-0.683**	-0.652**
R450	-0.823**	-0.675**	-0.674**	-0.475*	-0.856**	-0.821**
R475	-0.850**	-0.775**	-0.696**	-0.497*	-0.872**	-0.835**
R500	-0.903**	-0.671**	-0.767**	-0.576**	-0.913**	-0.888**
R525	-0.776**	-0.654**	-0.584**	-0.370	-0.809**	-0.770**
R550	-0.727**	-0.717**	-0.565**	-0.382	-0.744**	-0.709**
R575	-0.793**	-0.606**	-0.636**	-0.434	-0.828**	-0.795**
R600	-0.871**	-0.678**	-0.771**	-0.613**	-0.860**	-0.836**
R625	-0.901**	-0.643**	-0.789**	-0.634**	-0.870**	-0.869**
R650	-0.910**	-0.685**	-0.806**	-0.649**	-0.887**	-0.880**
R675	-0.930**	-0.705**	-0.879**	-0.758**	-0.885**	-0.893**
R700	-0.872**	-0.629**	-0.786**	-0.662**	-0.816**	-0.828**
R750	0.316	0.174	0.369	0.379	0.270	0.282
R850	0.570**	0.176	0.591**	0.509*	0.597**	0.619**
R950	0.336	0.199	0.346	0.293	0.358	0.345
R1050	0.695**	0.324	0.711**	0.654**	0.648**	0.675**

1) R400: 波長400nmにおける反射係数を示す。

2) \*\*: 1%水準で統計的に有意。

3) \*: 5%水準で統計的に有意。

吸収はクロロフィルにより行われる<sup>7)</sup>。水稻の可視光線～近赤外線線の分光反射係数も同様のパターンを示し、可視域では400nmの反射係数が最も低く、波長が長くなるにしたがって反射係数は高くなり、550nmあるいは575nmの反射係数にピークがあり、さらに波長が長くなると675nmまで反射係数は低下する。反対に、近赤外域では反射係数が高くなった。

可視光線～近赤外線線の分光反射係数と収量の関係は、収量が多いほど可視光線の反射係数が低く、近赤外線線の反射係数が高くなった。葉身窒素の大部分はクロロフィルに分布し、しかもその割合はかなり一定している<sup>8)</sup>ため、多収の場合ほど窒素吸収量が多いことから、クロロフィル含量も多いと考えられる。クロロフィル含量が増加すれば青色域と赤色域の吸収率が高くなり<sup>7)</sup>、青色域と赤色域の反射係数が低下したものと考えられる。反対に、収量の少ない場合は窒素吸収量が少ないことから、クロロフィル含量が少ないため、青色域と赤色域の反射係数が高くなったものと考えられる。

さらに、分光反射係数の測定時期が登熟期であることから、水稻は黄化が進んでいる。なかでも収量の少ないものはクロロフィル含量が少なく、黄化の程度が高いと推測される。黄化した葉は緑葉に比べて、赤色域の吸収が非常に低下し、緑色域、赤色域の反射係数が高くなる<sup>12)</sup>ことから、収量の少ないものは緑色域と赤色域の反射係数が増加し、可視光線の反射係数が全般的に高くなったと考えられる。

近赤外域(約700～1100nm)では葉の成熟とともに反射係数が増加し、また葉の面積が大きくなったり、重なりが多くなると近赤外域の反射係数が高くなる<sup>4)</sup>ことが報告されている。多収の場合ほどわら重が大きな値を示していることから、葉面積が大きく、また葉の重なりが多くなっていると推測できる。このため、収量の多いものほど近赤外線線の反射係数が高くなったと考えられる。

生育、収量と可視域の反射係数との相関は、測定したほぼ全波長の反射係数との間に負の相関が、近赤外域の反射係数との間には正の相関が認められ、可視域の反射係数との間に最も高い相関があった。これは、前述したように、収量の少ないものほど、可視域の反射係数が高くなり、多収なものは生育量が多いことから近赤外域の反射係数が増加することによって考えられる。

窒素含有率・吸収量についても、収量の多いものほど窒素含有率が高く、窒素吸収量が多いことから、生育・収量の場合と同様に、可視域では負の相関、近赤外域では正の相関が認められたと考えられる。クロロフィル含量が多くなれば青色域と赤色域の可視光線の吸収率が高くなり、クロロフィル含量レベルによる吸収率の違いは特に青色域で大きい<sup>7)</sup>。このため、クロロフィル含量が増加すれば青色域の反射係数の低下が大きくなり、窒素吸収量と青色域のR475との相関が最も高くなったと考えられる。なお、可視域の反射係数とわら、もみの窒素含有率ならびに窒素吸収量との相関は、窒素含有率よりも窒素吸収量との相関の方が高い傾向がみられた。

表4 水稻の登熟期の分光反射係数と窒素含有率・吸収量との相関係数 (1994, 1995, n = 20)

反射係数	窒素含有率		窒素吸収量		合計
	わら	もみ	わら	もみ	
R 400	-0.412	-0.339	-0.310	-0.369	-0.348
R 425	-0.818**	-0.592**	-0.762**	-0.777**	-0.795**
R 450	-0.798**	-0.514*	-0.859**	-0.837**	-0.879**
R 475	-0.860**	-0.580**	-0.921**	-0.894**	-0.940**
R 500	-0.802**	-0.489*	-0.907**	-0.866**	-0.919**
R 525	-0.880**	-0.631**	-0.863**	-0.881**	-0.901**
R 550	-0.814**	-0.547*	-0.820**	-0.800**	-0.839**
R 575	-0.840**	-0.576**	-0.859**	-0.861**	-0.889**
R 600	-0.748**	-0.432	-0.887**	-0.801**	-0.878**
R 625	-0.723**	-0.355	-0.883**	-0.773**	-0.863**
R 650	-0.756**	-0.393	-0.913**	-0.805**	-0.895**
R 675	-0.629**	-0.221	-0.874**	-0.715**	-0.831**
R 700	-0.666**	-0.280	-0.854**	-0.701**	-0.813**
R 750	0.016	-0.119	0.211	0.104	0.169
R 850	0.307	0.080	0.514*	0.409	0.484*
R 950	0.156	0.070	0.293	0.253	0.285
R 1050	0.259	-0.043	0.554*	0.381	0.494*

表5 水稻の登熟期の分光反射係数間演算値と生育、収量との相関係数 (1994, 1995, n = 20)

項目	分光反射係数間演算値	相関係数
稈 長cm	R 850 / R 700	0.959**
穂 長cm	R 950 / R 475	0.797**
全 重 Mg ha <sup>-1</sup>	(R 850 - R 675) / (R 850 + R 675)	0.905**
わら重 Mg ha <sup>-1</sup>	R 850 / R 675	0.776**
もみ重 Mg ha <sup>-1</sup>	(R 850 - R 500) / (R 850 + R 500)	0.964**
収 量 Mg ha <sup>-1</sup>	(R 850 - R 625) / (R 850 + R 625)	0.947**

近赤外線と赤色域の可視光線の反射係数間の演算値と葉面積指数、収量との間には高い相関が認められている<sup>3,11)</sup>。植物は緑葉部分が大きいほど赤色域の可視光線の反射係数が小さく、近赤外線の反射係数が大きくなる傾向が認められる。そこで、この2波長の反射係数の演算値は、その特徴を強調するとともに背景の影響や測定誤差を軽減する効果があり、赤色域の可視光線と近赤外線の反射係数の演算値が各種考案されている。なかでも近赤外線と赤色域の可視光線の反射係数の差と和の比をとる正規化植生指数は利用頻度が高い指数である<sup>4)</sup>。本試験においても、収量との相関が最も高い分光反射係数間演算値は、近赤外線と赤色域の可視光線の反射係数の差と和の比、すなわち正規化植生指数である。さらに、単年度における収量と分光反射係数間演算値「(R 850 - R 625) / (R 850 + R 625)」間の一次回帰式を用いて異なる年次の収量を推定したところ、推定値は実測値の±10%の範囲内で推定することができ、この指数の有効性

が認められた。

Shibayama ら<sup>9)</sup>は、水稻 (14品種) の単位面積当たりのクロロフィル含量と最も高い相関係数を示したのは近赤外線の反射係数と可視光線のうち緑色域の反射係数の比 (R 800~900 / R 560) であると報告している。また、秋山<sup>2)</sup>は、植物体の窒素やクロロフィルの量を推定するうえで、可視光線では緑色域の500nm から600nm の範囲、近赤外域では800nm 付近の反射係数を組み合わせた演算値が有効であると考えられると述べている。本試験においても、異なる年次の全窒素吸収量を近赤外域の R 850 と可視光線のうち、緑色域の R 525 との演算値を用いることにより高い精度で推定することができた。もみの窒素吸収量の推定は、全窒素吸収量の推定に比べて劣った。しかし、推定値と実測値の間には一定の傾向が認められ、さらに補正手法を検討することにより推定精度が高くなると考えられる。

地上から斜め下向きで、登熟期に水稻の可視光線 (525 nm と 625 nm) と近赤外線 (850 nm) の反射係数を測定することにより、収量と窒素吸収量の推定ができ、収量調査の迅速、簡易化を図ることができる。また、米の食味に関係する要因である窒素吸収量を推定できたことにより、登熟期に食味を非破壊・非接触で把握できる可能性が示された。今後、推定の高精度化を図るとともに他の品種への適用についての検討が必要である。また、より早い時期の分光反射係数測定による収量予測手法を確立するとともに、緑色域と赤色域の可視光線ならびに近赤外線の反射係数を測定できる安価な測定機器の開発が

表6 水稲の登熟期の分光反射係数間演算値と窒素含有率・吸収量との相関係数 (1994, 1995, n = 20)

	わら	もみ	合計 (わら+もみ)
窒素含有率	$(R850 - R425) / (R850 + R425)$	$(R950 - R425) / (R950 + R425)$	——
相関係数	0.895**	0.612**	——
窒素吸収量	$(R850 - R475) / (R850 + R475)$	$(R850 - R525) / (R850 + R525)$	$(R850 - R525) / (R850 + R525)$
相関係数	0.949**	0.924**	0.968**

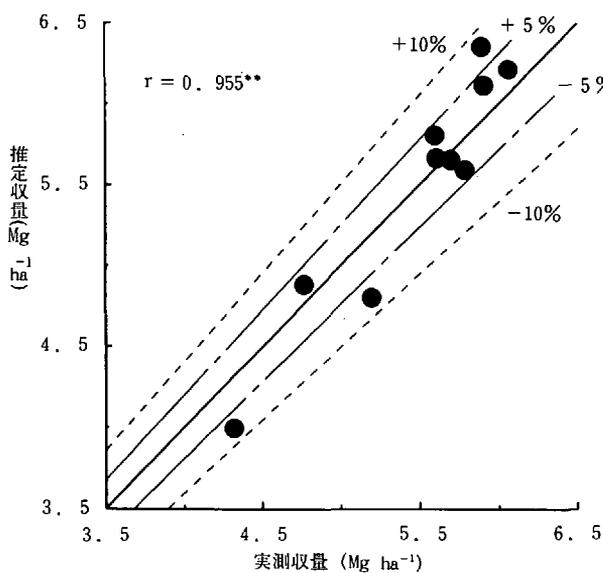


図2 1995年の収量実測値と推定値 (1994年の回帰式からの推定) の関係 (n = 10)

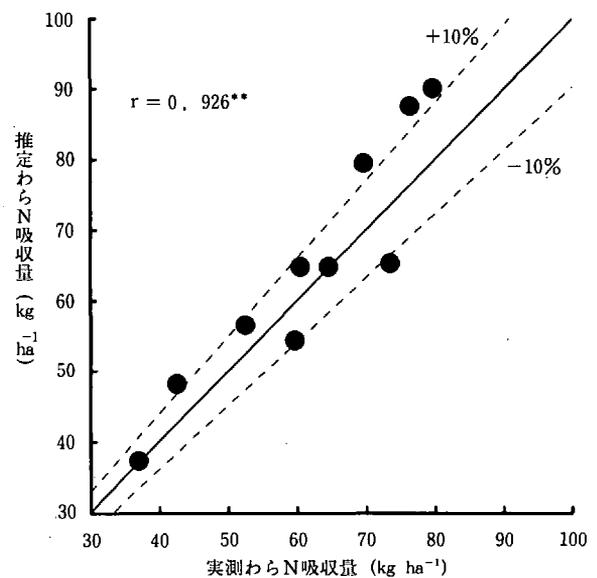


図3 1995年のわら窒素吸収量実測値と推定値 (1994年の回帰式からの推定) の関係 (n = 10)

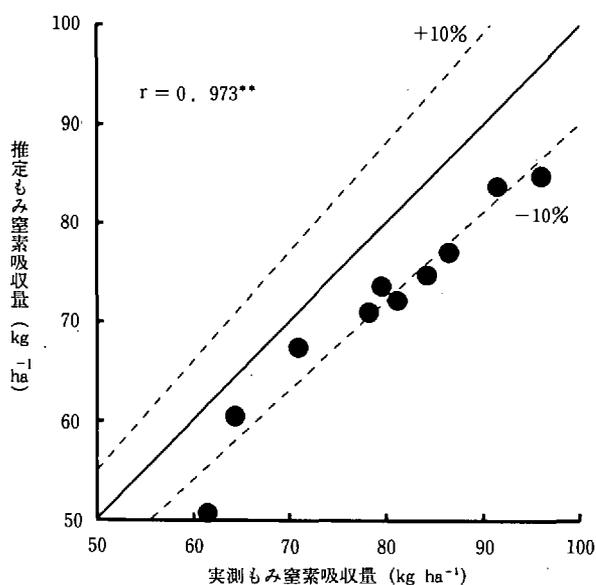


図4 1995年のもみ窒素吸収量実測値と推定値 (1994年の回帰式からの推定) の関係 (n = 10)

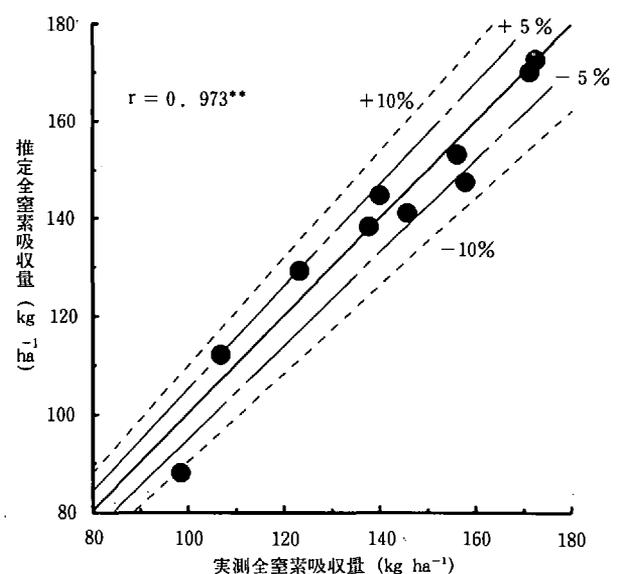


図5 1995年の全窒素吸収量実測値と推定値 (1994年の回帰式からの推定) の関係 (n = 10)

望まれる。

## 摘 要

登熟期に測定した水稻（品種ヒノヒカリ）の分光反射係数と生育，収量及び窒素含有率・吸収量との関係を検討し，収量と全窒素吸収量の推定に有効な波長を明らかにした。

1. 水稻の分光反射係数は，収量が多くなるほど可視光線の反射係数が低下し，反対に近赤外線（NIR）の反射係数が高くなった。
2. 水稻の分光反射係数と生育，収量及び窒素含有率・吸収量との相関は，いずれも可視光線の反射係数との相関が最も高く，負の相関が認められた。稈長，全重，わら重及び収量はR675との相関が最も高く，穂長はR475，もみ重はR500との相関が最も高い。わらともみの窒素含有率はR525，わらともみの窒素吸収量ならびに全窒素吸収量はR475との相関が最も高い。
3. 分光反射係数間演算値と生育，収量及び窒素含有率・吸収量との相関は，もみの窒素含有率を除いて分光反射係数単独の場合よりも相関係数が高くなった。稈長，穂長及びわら重は近赤外線と可視光線の反射係数の比との相関が最も高く，全重，もみ重，収量及び窒素含有率・吸収量は近赤外線と可視光線の差と和の比との相関が最も高くなった。
4. 単年度（1994年）の収量と分光反射係数間演算値「 $(R850 - R625) / (R850 + R625)$ 」との一次回帰式により，異なる年次（1995年）の収量を推定したところ，推定値は実測値の±10%の範囲内で，実測値と推定値との間には $r = 0.955^{**}$ の相関があった。
5. 単年度の全窒素吸収量と分光反射係数間演算値「 $(R850 - R525) / (R850 + R525)$ 」との一次回帰式により，異なる年次の全窒素吸収量を推定したところ，推定値は実測値のほぼ±5%の範囲内であった。しかし，わら・もみの窒素吸収量の推定精度は全窒素吸収量の推定に比べて劣った。
6. 地上から斜め下向きで，水稻の可視光線（525・625nm）と近赤外線（850nm）の反射係数を測定することにより，収量と窒素吸収量の推定が可能である。

## 謝 辞

ご指導ならびに分光放射計の使用について便宜をはかっていただいた千葉大学工学部情報工学科知識情報学・パターン処理講座の安田嘉純教授に心より感謝の意を表す。なお，本研究は，農林水産省技術会議地域重要新技術「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」（1993～1995年）の一部として行ったものである。

## 引用文献

- 1) 秋山 侃・芝山道郎：1990. 作物生体情報と栽培管理. システム農学会誌, 6 : 9-19.
- 2) ————：1996. 分光計測による作物生育診断技術. 日作紀, 65 : 379-389.
- 3) 福原道一・斎藤元也・安田嘉純：1978. 小麦の分光特性の測定. 写真測量とリモートセンシング, 17 : 15-22.
- 4) 早川誠而：1994. リモートセンシング, 地上計測法とその利用. 農業気象学会編, 新しい農業気象・環境の科学, 養賢堂 : 1-12.
- 5) 稲田勝美：1993. “緑”を測る(1)葉色の測定とその栄養・生育診断への利用. 農及園, 68 : 997-1000.
- 6) 井上吉雄：1995. 電磁波計測による作物診断情報の遠隔評価法. 農業技術, 50 : 414-418.
- 7) 玖村敦彦：1981. 葉における放射の吸収. 宮地重遠編, 植物生理学2—光合成Ⅱ, 朝倉書店 : 13-20.
- 8) ————：1981. 無機要素. 宮地重遠編, 植物生理学2—光合成Ⅱ, 朝倉書店 : 101-111.
- 9) SHIBAYAMA, M. and T. AKIYAMA : 1986. A Spectroradiometer for Field Use VI. Radiometric estimation for chlorophyll index of rice canopy. Japan Jour. Crop Sci. 55 : 433-438.
- 10) 芝山道郎：1994. 生体情報, 野外分光計測. 農業気象学会編, 新しい農業気象・環境の科学, 養賢堂 : 132-143.
- 11) 山本晴彦・本條 均：1990. 分光反射特性を利用した暖地グイズの葉面積指数およびバイオマスの推定. 農業気象, 46(1) : 19-22.
- 12) 吉村晴佳・小橋澄治・大手桂二・妹尾俊夫：1991. 樹葉の分光反射特性変化およびその色彩の数値的解析についての研究. 日本リモートセンシング学会誌, 11(2) : 5-17.

## Estimation of Yield and Nitrogen Absorption of Paddy Rice in Ripening Period using Spectrometer

Toshiaki TANIMOTO, Masayuki NAKAYABU and Sigeru HOSHINO

### Summary

Research was made into correlation of spectral reflectance factor with yield and nitrogen absorption of paddy rice in its ripening period using portable spectroradiometer, and we found the most effective band of sunbeam to utilize for the estimation of yield and nitrogen absorption.

Visible reflectance factor of paddy rice was observed negatively correlate with yield, whereas positively so was near infrared reflectance. Visible reflectance factor of paddy rice was found correlate best with growth, yield and nitrogen content of paddy rice. Specifically, stem length, total weight, straw weight and yield were correlate best with R 675 (reflectance factor of paddy rice at 675 nm), ear length was with R 475, unhulled rice weight was with R 500, straw and unhulled rice nitrogen content by percentage were with R 525, straw and hulled rice, and total (straw + unhulled rice) nitrogen absorption were with R 475.

We further calculated spectral indices (ratio, subtraction, etc. of reflectance factor), and found that there is a far more significant relationship of the spectral indices to stem length, ear length, straw weight, yield, straw nitrogen content, straw nitrogen absorption or total nitrogen absorption.

Estimation of yield and nitrogen absorption is available by measuring visible reflectance factor (R 525, R 625) and near infrared reflectance factor (R 850) of paddy rice.

**Key words:** spectral reflectance factor, paddy rice, Hinohikari, yield, nitrogen absorption