

## 連載ミニレビュー

# 作物の形態研究法：マクロからミクロまで 収量および収量構成要素

丸山幸夫

(筑波大学大学院生命環境科学研究科)

作物体の中で収穫利用する部分の量を収量といい、一般に単位面積当りの重量で表わす。作物栽培では収穫物の量と品質を高めることが最大の目標であり、作物研究において収量は必要不可欠な調査項目である。また、作物の収量を高めるためには、収量の成立過程を明らかにし、収量成立に関わる要因を解析することが必要となる。水稻や麦類などの子実作物では収量を構成する形態の形質を収量構成要素といい、収量の成立過程を収量構成要素から解析することが多い。これは、収量構成要素から解析する手法が、他の手法と比べて、収量を高めるために有効な情報を比較的容易に得ることができるからである。収量構成要素は作物によって異なるが、本稿では水稻の収量、収量構成要素とその関連形質の調査法について述べ、玄米の外観品質にも触れる。

## 1. 収量調査

水稻の収量調査法には、調査する圃場の全体を収穫する全刈り調査と、圃場の一部を収穫する部分刈り調査がある。全刈り調査が望ましいことはいうまでもないが、労力とコストがかかるので、部分刈りによる調査が一般的に行われる。部分刈りによる収量調査は坪刈りとも呼ばれ、古くから行われてきた方法である。

部分刈りでは刈取り部分の位置と数、1箇所から刈取る株数を決める必要がある。刈取り箇所の決め方として対角線法、5斜線法などが考案されている(松島・角田 1962)。対角線法は矩形の圃場に引いた1本の対角線上に等間隔に3点を取り、その地点を中心に1箇所2~3m<sup>2</sup>を刈取る(第1図A)。5斜線法では1本の対角線を引いた上で、長辺と短辺を3等分にした点を結んだ斜線をこの対角線と平行に4本引き、これら5本の斜線上にある株を合計で150株刈取る(第1図B)。最も株揃いが悪い圃場の株間の変動係数は30%程度とされるが、この株数はこのような圃場で目標精度を5%の範囲内、かつ信頼度95%の確率で推定する

のに必要な数値である(松島・角田 1962)。

刈取った株はひとまとめにして脱穀、籾摺りし、所定の幅のふるいを通すことにより粒厚によって玄米とくず米に分別し、得られた玄米の重さから単位面積当りの収量を算出する。通常は1.7mmの粒厚で選別された玄米が収量となるが、最近は品質を高めるために1.7mm以上の粒厚で選別する場合もあるので、収量比較の際に注意する必要がある。

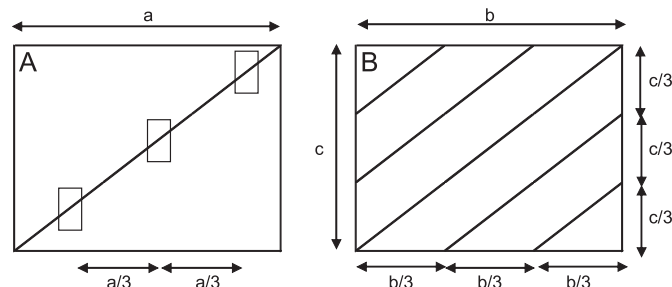
## 2. 収量構成要素の調査

水稻の収量は単位面積当り穂数、1穂粒数、登熟歩合、玄米千粒重の4要素で構成される。この4要素が水稻の収量構成要素であり、収量は収量構成要素の積として次式のように計算される。

$$\text{単位面積当り玄米収量} = \text{単位面積当り穂数} \times 1 \text{穂粒数} \\ \times \text{登熟歩合} \times \text{玄米千粒重} \div 1000$$

### (1) 代表株による調査法

水稻の収量構成要素の調査は代表株を選んで行う場合が多い。圃場の中で生育が中庸とみられる数箇所を20~30



第1図 部分刈りによる収量調査の刈り取り方法。

A: 対角線法, B: 5斜線法。Aの□は刈り取り部分を示す。Bでは5斜線の交点にある株を刈り取る。a, b, cはそれぞれの辺の距離を示す。

株の穂数を数え、穂数が平均値に近い3~4株を刈取って代表株とする。この代表株の穂数を数え、 $\text{m}^2$ 当り株数を乗じて $\text{m}^2$ 当り穂数とする。次に、代表株を乾燥した後に脱穀し、得られた籾を1.06の比重に調整した塩水に入れ、浮いた籾と沈んだ籾に分ける。浮いた籾はしいなやくず米となる籾で、沈んだ籾は玄米が完全米となり得る精籾である。浮いた籾と精籾をそれぞれ数え、両者を合わせて全籾数とし、1株の全籾数を穂数で割って1穂籾数を算出する。また、全籾数に対する精籾の比率を登熟歩合とする。精籾を水洗して乾燥し、籾摺りして得られた玄米の重量を計る。計測後に玄米の一部の水分含量を調べ、水分含量15%に換算して玄米千粒重を算出する。

代表株による調査は簡便であり、小さな試験区や比較的均一な材料の収量構成要素を調べる場合に適した方法である。しかし、一般の圃場では株間の籾数の変動係数が大きいのにに対し、代表株による調査株数は3~4株と少ないので誤差が大きくなりやすい欠点がある。この調査法では穂数が中庸な株を代表株として抽出するが、この操作による精度向上の効果は極めて小さく、穂数調査株を100株程度に増加しても十分な精度は得られないとされる(楠田1995)。このため、一般の圃場で部分刈りによって収量を調査し、代表株によって収量構成要素を調査する場合には、収量調査による収量と収量構成要素から算出した収量が大きく異なることが少なくない。また、この場合には収量調査では玄米の粒厚により、収量構成要素の調査では籾の比重により登熟粒を判別している。このように登熟歩合の調査法が異なることも両者の収量が異なる一因となっている。代表株の収量構成要素から収量を解析する場合には、これらの点に注意する必要がある。

## (2) 収量調査試料による調査法

部分刈りした収量調査試料を用いて収量構成要素を調べる方法である。調査手順の詳細は楠田(1995)を参照されたい。収量調査用に刈り取った全ての株の穂数を数え、全穂数とする。全穂数を刈取り面積で割って $\text{m}^2$ 当り穂数を算出する。試料は乾燥後、全ての籾を回収するように脱穀し、脱芒と選別を行って全粗籾とする。全粗籾は重量を計測した後、均分器で半量ずつに分ける。この半分の試料(以下、1/2試料とする)を秤量後に籾摺し、粒厚による選別を行い、得られた玄米の重量を測定する。計測後に玄米の一部の水分含量を調べるとともに、20gの玄米を計り取って粒数を数え、水分含量15%に換算して玄米千粒重を算出する。また、この1/2試料の玄米重量から全玄米重を算出し、 $\text{m}^2$ 当りに換算して $\text{m}^2$ 当り玄米重とする。全玄米重を玄米千粒重で割り、1000倍して全玄米粒数を算出する。均分器で分けたもう一方の1/2試料は50~100gになるまで均分を繰り返す。この試料の重量を正確に秤量した後に籾数を数え、籾数・粗籾重比を算出する。全粗籾重にこの籾数・粗籾重比を乗ずることにより全籾数を算出し、

全籾数を全穂数で割って1穂籾数とする。全籾数に対する全玄米粒数の比率を登熟歩合とする。

収量調査試料による収量構成要素の調査法は、代表株による調査法と比較して全籾数の推定精度が高く、収量調査と同一試料を用いるので収量構成要素の積が収量と一致するという点で優れた方法といえる。しかし、脱穀時に全籾を回収する必要があること、籾に混入する夾雑物の除去に時間を要すること、均分器が新たに必要となることなどの問題がある。また、均分器の精度は登熟歩合が高い場合には大きな問題はみられないが、登熟歩合が極端に低い場合には均分精度が低下するので注意を要する(楠田1995)。

## 3. 収量構成要素関連形質の調査

### (1) 穂に着生する穎花の数と位置の調査

水稻は生育に伴い分げつを発生し、主茎とこれらの分げつの先端に穂を付ける。生育の初期に低位の節位から出現する次数の少ない分げつを強勢分げつといい、乾物重が大きく、1穂穎花数が多い。これに対し、分げつ期間の後期に高位の節位から出現する分げつや次数の多い分げつを弱勢分げつといい、乾物重が小さく、1穂穎花数は少ない。一般に、弱勢分げつは強勢分げつよりも登熟に不利であり、弱勢分げつが多いと成熟も不均一になりやすい。したがって、平均1穂穎花数の調査と合わせて、株内の個々の穂に着生する穎花数のばらつきを調べることにより、登熟や玄米品質の良否を解析することができる。

穂は穂軸から数本の1次枝梗が分化し、1次枝梗の基部に2次枝梗が分化する。1次枝梗の先端に5~6、2次枝梗に2~4の穎花が着生する。穂の基部の枝梗より頂部の枝梗に着生する穎花の方が、また、2次枝梗より1次枝梗に着生する穎花の方が玄米の肥大が早い。このように玄米の肥大が早い穎花を強勢穎花、遅い穎花を弱勢穎花という。一般に、2次枝梗に着生する弱勢穎花が少ない方が収量および品質の向上に有利とされ、2次枝梗に着生する穎花数の比率を調べることによって登熟や玄米品質の良否の解析ができる。なお、穂上の穎花を分枝の次数によって分類する方法(松葉1991)が提案されており、この分類に基づき、穎花の着生する分枝の次数によって強勢度を判別して解析を行う事例が多くなっている(森田2000)。

### (2) 分化および退化穎花の調査

1穂籾数は分化穎花数と退化穎花数との差によって決定される。穎花の分化には穂首分化期から穎花分化期までの窒素栄養が、穎花の退化には穎花分化期から出穂までの期間の炭水化物の供給が影響する。穎花分化期以後の環境条件や栄養条件が悪い場合、穂上に分化した器官の一部は発育の途中で退化し、穂上にその痕跡を留める。穂上には1次枝梗、2次枝梗、穎花、生長点および苞の5種類の退化の痕跡があるが、生長点と苞は容易に判別できるので、現存の1次枝梗、2次枝梗および穎花の数とそれぞれの退化



第2図 冷害被害を受けた穂に着生する不受精粒の判別。

被害程度の異なる水田から採取した穂をヨウ素ヨウ化カリウム溶液で染色した。染色の有無により受精、不受精が判別できる。

数が数えられる。現存数に退化数を加えることによって分化数が得られる。1次枝梗が退化している場合には、退化している枝梗上にも、現存している枝梗上にある2次枝梗数と同数の2次枝梗が分化したとして加算する必要がある。また、1次枝梗上の退化の痕跡で2次枝梗の退化か穎花の退化か判別し難いときには、頂部から数えて5つ目の節までは穎花が着生するものとし、6節以下は2次枝梗が着生しているものとして推定する(松島・真中 1962)。なお、1次枝梗および2次枝梗の退化に伴って退化する穎花の数の調査法は石井・玖村(1988)を参照されたい。

### (3) 受精および不受精粒の調査

登熟歩合を低下させる要因には、花粉が形成される時期や開花期の低温、高温、風害などによって受精が阻害されてできる不受精粒と、受精後に光合成産物が十分に配分されず胚乳へのデンプン蓄積が不足して発生する発育停止粒とがある。このうち不受精粒の多少は出穂直後に決定されるので、早期に判別することが可能である。不受精粒は透視器や肉眼で胚乳肥大の有無を調べることにより判別できるが、ヨウ素デンプン反応を用いることにより容易に調査できる(第2図)。開花後24時間を経過した受精粒では果皮の中層にデンプン粒が生成され、この部分がヨウ素ヨウ化カリウム溶液によって染色される。この方法は胚乳肥大の有無を調べる方法より早期に精度良く不受精粒を判別することが可能である(松島・田中 1959)。

### (4) 玄米の外観品質の調査

登熟の良否は登熟歩合や玄米千粒重とともに玄米の外観にも表れる。農産物検査規格に基づく米穀検査では背白粒、基白粒、乳白粒、腹白未熟粒、心白未熟粒、青未熟粒を未熟粒としており、これら未熟粒や被害粒の比率が増加すると玄米の等級が低下する。背白粒、基白粒、乳白粒、腹白

未熟米および心白未熟粒では、粒の一部の組織でデンプン粒の発達が悪く、デンプン粒の周囲に微小な空隙が生じ、これが光を乱反射することにより白色不透明に見える。このような白色不透明部分を持つ未熟粒を総称して白未熟粒ということもある(寺島ら 2001)。これらの未熟粒は白色不透明部分の位置と大きさによって以下のように判別される(農林水産省 2001)。背白粒は登熟後期にデンプン集積が阻害された場合に発生し、粒の背側部(胚の反対側)に白色不透明な部分がある粒で、その大きさが粒長の3分の2以上で、かつ、粒幅の3分の1以上のものである。基白米は登熟後期に粒の肥大が衰えると生じ、粒の基部に白色不透明部分がある粒で、その大きさが粒長の5分の1以上のものである。乳白粒は粒が透明化する登熟中期にデンプンの集積が阻害されて発生し、胚乳部に白色不透明な部分が2分の1以上あり、かつ、光沢のある粒である。なお、胚乳部横断面の白色不透明部分がリング状になっているものを指す。腹白未熟粒は粒の肥大が初期に旺盛で後で急に衰える場合に発生し、粒の腹部(胚側)に白色不透明部分のある粒で、その大きさが粒長の3分の2以上で、かつ、粒幅の3分の1以上のものである。心白未熟粒は登熟初期に粒の発育が促進される場合に発生し、胚乳部の白色不透明部分の大きさは乳白粒と同程度であるが、胚乳部横断面の白色不透明部分が平板状あるいは紡錘状になっているものである。また、青未熟粒は成熟が遅れた場合や早刈りの場合に生じ、粒表面の果皮部分に葉緑素が残り、緑色を呈している粒である。これらの未熟粒の判別は肉眼で行うことが多いが、分光分析により玄米の外観品質の判別が可能で機器が開発されている(森田 2000)。

### 引用文献

- 石井康之・玖村敦彦 1988. 個々の茎のシンクとソースの発育に着目してみた水稻の収量形成過程. 第1報“茎の強勢度”とシンクおよびシンク/ソース比の成立過程の特徴. 日作紀 57: 146-156.
- 楠田幸 1995. 水稻の収量及び収量構成要素の調査方法について. 植調 29: 138-143.
- 松葉捷也 1991. イネの穂の着粒構造の分析およびその形成機構論. 中国農研報 9: 11-58.
- 松島省三・田中孝幸 1959. 水稻収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究. LV. 不受精粒の早期鑑別法. 日作紀 28: 365-366.
- 松島省三・真中多喜夫 1962. 穂相の診断. 天辰克己・戸刈義次編, 最新稲作診断法下巻. 農業技術協会, 東京. 55-71.
- 松島省三・角田公正 1962. 収量の診断. 天辰克己・戸刈義次編, 最新稲作診断法下巻. 農業技術協会, 東京. 71-80.
- 森田敏 2000. 高温が水稻の登熟に及ぼす影響. 一人工気象室における温度処理実験による解析一. 日作紀 69: 391-399.
- 農林水産省 2001. 高温による水稻作への影響と今後の技術対策に関する資料集. 1-115.
- 寺島一男・齋藤祐幸・酒井長雄・渡部富男・尾形武文・秋田重誠 2001. 1999年の夏季高温が水稻の登熟と米品質に及ぼした影響. 日作紀 70: 449-458.