

水稻圃場試験調査法の改善のための基礎研究

第4報 乾物重の効率的調査法*

楠 田 宰**

(中国農業試験場)

1992年4月30日受理

要 旨 : 水稻の乾物重は、生育診断や生育予測のために重要な形質である。しかし、乾物重の調査には多くの時間を要するためにその実施が困難となってきた。そこで、簡便でかつ一定水準以上の信頼性を確保した乾物重の効率的な調査法を新たに確立する必要がある。各農業試験研究機関においても乾物重調査の省力化が図られているが、精度については経験的に問題がないと判断されている場合が多く、統計的検証を行った例はほとんど見られない。

本報では、まず、乾物重調査に重複抽出による比推定法を適用した場合の標本数、精度、所要時間を調査・解析して、その有効性を精度の確保と省力性の両面から検討した。その結果、乾物重調査に、生体重を補助量とする重複抽出による比推定法を適用すると、標本調査の原則である単純推定法と同等の精度の推定値を得るための所要時間が短縮され、調査の効率化に有効と判断された。茎数・穂数を立毛調査して補助量とする場合は、省力化の程度は小さかったが、圃場から採取する株数が単純推定法に比べて少ないという利点があった。次に、試験研究機関の生育調査は20株程度について行われる場合が多いので、20株について調査した生体重や茎数・穂数のデータを活用した各種の乾物重調査法の精度と所要時間を調査・解析した。精度と所要時間の両面から判断した効率的な調査法は、20株を「対角」抽出して補助量を調査し、その中から2次標本としてランダム抽出した所定の株数について乾物重を調査して、比推定する方法であった。

キーワード : 乾物重, 重複抽出, 水稻, 調査精度, 比推定法, 標本調査, 圃場試験。

A Basic Study on Field Experiment and Investigation Methods in Rice Plant IV. A dry weight survey method effective in laborsaving while maintaining precision : Osamu KUSUDA (*Chugoku National Agricultural Experiment Station, Fukuyama, Hiroshima 721, Japan*)

Abstract : Dry weight of rice plant is an important character for the vegetative diagnosis and growth forecast of this plant. However, it requires a long time and much labor to precisely estimate the dry weight, which makes the survey difficult. Accordingly, it is necessary to establish a new survey method effective in laborsaving while maintaining precision of a definite level or above. In this report, the sample size, precision and necessary time in a survey on dry weight by double sampling and ratio estimate were examined and analyzed so as to discuss the efficacy.

When fresh weight was employed as an auxiliary variable, the time required for obtaining an estimation of precision comparable to the one obtained by using simple random sampling was shortened, which suggested that it was effective in laborsaving. When the number of tiller and the number of panicle obtained by stand observation were employed as auxiliary variables, it was advantageous that the number of hills to be taken from fields in practice could be decreased, compared with simple random sampling, though the degree of laborsaving was somewhat lowered. Further, the precision and necessary time in various dry weight survey methods, in which the fresh weight, the number of tiller and the number of panicle of 20 hills were employed as an auxiliary variable, were examined and analyzed to thereby clarify a survey method effective in laborsaving.

Key words : Double sampling, Dry weight, Field experiment, Precision, Ratio estimate, Rice plant, Sample survey.

水稻の乾物重は、生育診断や生育予測のために重要な形質である。しかし、乾物重の調査には多くの時間を要するためにその実施が困難となってきた。そこで、簡便でかつ一定水準以上の信頼性を確保した乾物重の効率的な調査法を新たに確立する必

要がある。

各農業試験研究機関においても乾物重調査の省力化が図られているが、精度については経験的に問題がないと判断されている場合が多く、統計的検証を行った例はほとんど見られない。株周の長さを利用する推定法^{1,2,5)}も考案されているが、これらは株単位の推定精度は検証されているものの、単位面積当たりの乾物重の推定精度については検討されてい

* 一部は第184回講演会(昭和62年10月)において発表。

** 現在、農林水産省九州農業試験場。

第1表 補助量、乾物重の各変動係数と両者の相関係数(解析I)。

調査時期	補助量の変動係数(C_x)		乾物重の変動係数	補助量と乾物重の相関係数(ρ)	
	生体重	茎数・穂数	(C_y)	生体重	茎数・穂数
最高分けつ期	0.19	0.16	0.19	0.96	0.75
穂揃期	0.14	0.14	0.14	0.90	0.80

1株植付け本数を一定として手植えした試験区(約240株)8区のデータから推定した値である。

い。

本報では、乾物重調査を一段と効率化するために、乾物重の推定に重複抽出による比推定法を適用した場合の標本数、精度、所要時間を調査・解析して、その有効性を精度の確保と省力化の両面から検討した。さらに、試験研究機関における生育調査は20株程度について行われる場合が多いので、20株について生体重や茎数あるいは穂数を調査したデータを活用する各種の乾物重調査法の精度と所要時間を調査・解析し、効率的な調査法について検討した。

材料と方法

標本調査の効率をあげる一つの方法に、量的な予備知識である補助量を利用する統計的方法がある⁸⁾。その代表的なものとして回帰推定法と比推定法があげられる。回帰推定法は、補助量と目的変量との相関が強ければ、相関の正負にかかわらず精度上最も効果的⁹⁾であるが、集計や計算が複雑である。これに対して比推定法は、補助量と目的変量との間に強い正の相関があり、目的変量の補助量に対する回帰直線が原点を通る場合には回帰推定法と同じ精度が達成される⁸⁾。

本報では、目的変量である乾物重と強い正の相関関係にあった生体重と茎数・穂数(第1表)を補助量とした。解析には集計や計算が容易な比推定法を採用した。比推定法では回帰直線が原点を通らない場合には、母平均値からの偏りが生じるが、本解析での偏り率(偏り/母平均値 $\times 100$)は+0.1%以下と極めて小さかった。また、乾物重調査の場合には、補助量としてあらかじめ調査されたデータを利用することができないので、標本調査の枠組みの中に補助量調査を組み込んで推定の効果をあげる重複抽出法⁸⁾⁽¹¹⁾を採用し、上記の比推定法と組み合わせて乾物重調査に適用することとした。

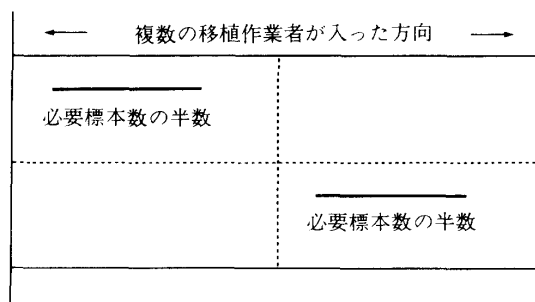
重複抽出による比推定法で乾物重を推定する基本的な手順は以下の通りである。まず、試験区から1次標本 n' 株をランダム抽出して、その全株について補助量を測定する。次に、その中から2次標本 n 株をランダム抽出して乾物重を測定し、①式より乾物重を推定する方法である。

$$\text{推定乾物重} = \frac{\text{2次標本の乾物重}}{\text{2次標本の補助量}} \times \text{1次標本の補助量} \cdots \cdots \text{①}$$

補助量と乾物重は以下のように測定した。生体重は、株を圃場から抜取り、根の周囲に付着した泥を高圧水道水で洗い落して計量した。茎数・穂数は立毛調査した。立毛調査とした理由は、標本を抜取った場合には、茎数・穂数調査の所要時間は生体重調査よりも一般に多く必要とし、また第1表に示したように、茎数・穂数と乾物重との相関は生体重と乾物重との相関より低く、茎数・穂数を補助量とする利点はないと判断したからである。乾物重の調査は、株を茎ごとに分解して基部に付着した泥をよく洗い、根をはさみで切り落とし、80℃で48時間以上乾燥した後に計量した。

解析I. 重複抽出による比推定法の適用効果

乾物重調査に重複抽出による比推定法を適用したときの必要標本数と所要時間を、1次標本をランダム抽出する場合と、第1図に示した省力的で精度も高い「対角」抽出⁴⁾する場合について解析した。1985～1987年に1株植付け本数を一定として手植



第1図 「対角」抽出の模式図。

注1) double samplingの訳語には、重複抽出法、二重抽出法、二回抽出法、重ねサンプリング等があるが、本報では、引用文献8に従い重複抽出法とした。

第2表 補助量調査と乾物重調査における個別作業の所要時間。

作業	最高分げつ期 (秒)	穂揃期 (秒)
圃場での作業		
＜補助量＝生体重＞		
1次標本をランダム抽出		
① 標本の抜取り	62	68
1次標本を「対角」抽出		
② 標本の抜取り	40	31
＜補助量＝茎数・穂数＞		
1次標本をランダム抽出		
③ 1次標本の調査	75	70
④ 中央値株の選定* ¹	35	49
⑤ 標本の抜取り	108	66
1次標本を「対角」抽出		
⑥ 1次標本の調査	31	27
⑦ 中央値株の選定* ¹	35	49
⑧ 標本の抜取り	83	49
抜取り後の作業		
⑨ 根洗いⅠ* ²	16	21
⑩ 生体重秤量	14	19
⑪ 中央値株の選定* ³	73	69
⑫ 根洗いⅡ* ⁴	61	65
⑬ 根切り* ⁵	199	194
⑭ 乾物重秤量	33	39

*¹～⁵の各作業の内容は以下の通りである。

*¹：20株分の茎・穂数データを昇（降）順にソートする。

*²：株の周囲に付着した泥を高圧水道水で洗い落とす。

*³：20株分の生体重データを昇（降）順にソートする。

*⁴：稲を茎ごとに分解して、株元に付着した泥をさらによく洗い落とす。

*⁵：根をはさみで切り落とす。

所要時間は、一人で作業すると仮定したときの1株当たりの所要時間に換算したものである。ただし、*¹、*³の作業は1試験区当たりの所要時間である。

第3表 各種の乾物重調査法における所要時間の計算式。

1次標本 抽出法	2次標本 抽出法	補助量	計 算 式
ランダム	ランダム	生 体 重	$C = N(a + i + j) + N'(l + m) + n$
〃	〃	茎・穂数	$C = N \times c + N'(e + i + l + m) + n$
〃	中央値株	生 体 重	$C = N(a + i + j) + k + N'(l + m) + n$
〃	〃	茎・穂数	$C = N \times c + d + N'(e + i + l + m) + n$
「対角」	ランダム	生 体 重	$C = N(b + i + j) + N'(l + m) + n$
〃	〃	茎・穂数	$C = N \times f + N'(h + i + l + m) + n$
〃	中央値株	生 体 重	$C = N(b + i + j) + k + N'(l + m) + n$
〃	〃	茎・穂数	$C = N \times f + g + N'(h + i + l + m) + n$
(比較)	単純推定法		$C = N''(a + i + l + m) + n$

C：総所要時間、N：重複抽出法における1次標本数。

N'：重複抽出法における2次標本数、N''：単純推定法における標本数。

①～⑭は第2表の個別作業の所要時間を表わす。

第4表 補助量、乾物重の各変動係数と両者の相関係数(解析II)。

調査時期	補助量の変動係数(C_x)		乾物重の変動係数	補助量と乾物重の相関係数(ρ)	
	生体重	茎数・穂数	(C_y)	生体重	茎数・穂数
最高分けつ期	0.16	0.15	0.16	0.96	0.73
穂揃期	0.15	0.14	0.14	0.90	0.80

1 株植付け本数を一定として手植えした試験区(約240株)4区の平均値である。

えした水稻のそれぞれ約240株からなる8試験区³⁾から得たデータを使用して、それぞれ最高分けつ期と穂揃期について解析を行った。

1次標本数と2次標本数の各種の組合せについて、得られる推定値の誤差率および所要時間を以下の方法で求めた。誤差率は、第1表に示した調査対象試験区の補助量と乾物重の変動係数、両者の相関係数を②式⁷⁾に代入して算出した。この式は、1次標本、2次標本ともにランダム抽出することが前提であるが、1次標本を「対角」抽出する場合も、得られる標本平均値の精度はランダム抽出とほぼ同等であった⁴⁾ので、この式から精度を算出した。

$$CV_{(y)}^2 = \frac{2\rho C_x C_y - C_x^2}{n'} + \frac{C_y^2 - 2\rho C_x C_y + C_x^2}{n} \quad \dots\dots\dots ②$$

ここで、 $CV_{(y)}$ は可能な標本平均の標準偏差の相対値(信頼率を68%としたときの誤差率と同値である)、 C_x は補助量の変動係数、 C_y は乾物重の変動係数、 ρ は補助量と乾物重の相関係数、 n' は1次標本数、 n は2次標本数である。

第2表に補助量調査と乾物重調査における個別作業の所要時間を示した。1989年に1~5人で作業したときの所要時間を8反復で測定し、一人で作業すると仮定したときの1株当たりの所要時間に換算したものである。中央値株の選定作業(d, g, k)と茎数・穂数の立毛調査(c, f)時の記録作業は研究員が行ったが、その他の作業はある程度熟練したパート職員が行った。各調査法の所要時間は、この個別作業の所要時間を作業の流れに基づいて作成した第3表の計算式に代入して算出した。なお、抽出株の決定(ランダム抽出時)と試料の運搬、乾燥に要した時間は含めなかった。

目標精度を満たし最も所要時間が少ない、1次標本数と2次標本数の最適組合せは、所定の計算式から求めることが可能である⁷⁾。しかし、本報の解析の場合には、補助量調査と乾物重調査とに重複した作業があり計算式から求めることは困難なので、各種

の組合せについて誤差率と所要時間を算出し、その中で目標精度を満たし、かつ、所要時間が最も少ない組合せを選び最適組合せとした。その組合せで調査する場合の所要時間と、単純推定法で同じ誤差率の推定値を得る場合の所要時間を比較して、本方法の有効性を検討した。目標精度は許容誤差率5%・信頼率68%とした。

解析II. 20株について調査した補助量データを活用した調査法の有効性

20株について調査した補助量データを活用する各種の乾物重調査法の有効性を検討するために、以下の(1)~(5)の方法を組合せた調査法について、得られる推定値の精度と所要時間を算出し、単純推定法と比較した。

- (1) 1次標本の抽出法:ランダム抽出,「対角」抽出(第1図参照)。
- (2) 補助量:生体重,立毛調査による茎数・穂数。
- (3) 2次標本数:2, 4, 6, 8, 10。
- (4) 2次標本の抽出法:ランダム抽出,中央値株抽出(補助量の測定値をソートして中央に近い株を抽出する)。
- (5) 解析方法:比推定法(20株乾物重= n 株乾物重/ n 株補助量値 \times 20株補助量値),株数換算法(20株乾物重= n 株乾物重/ $n \times 20$)。

解析は、1985~1988年に1株植付け本数を一定として手植えした水稻のそれぞれ約240株からなる4試験区を対象に、それぞれ最高分けつ期と穂揃期について行った。

各調査法の精度は以下のように求めた。1次標本と2次標本の両方をランダム抽出して比推定する原則的な方法については、第4表に示した調査対象試験区の補助量と乾物重の変動係数、両者の相関係数を、解析Iと同様に前記の②式に代入して、可能な標本平均の標準偏差の相対値(信頼率を68%としたときの誤差率と同値である)を算出した。この数値を許容誤差率5%のときの信頼率に換算して、これを精度とした。

第5表 重複抽出による比推定法を適用した乾物重調査法の必要標本数と所要時間。

調査時期	1次標本抽出法	補助量	1次標本数	2次標本数	所要時間(秒)	対比(%)
最高分けつ期	ランダム	生体重	19	4	2821	55
	〃	茎数	23	10	5598	110
	「対角」	生体重	22	3	2353	46
	〃	茎数	29	9	4163	82
(比較)	ランダム	単純推定法	15	—	5103	100
穂揃期	ランダム	生体重	11	4	2263	80
	〃	穂数	13	5	2679	95
	「対角」	生体重	14	3	1810	64
	〃	穂数	22	4	1949	69
(比較)	ランダム	単純推定法	8	—	2823	100

目標精度は5%（許容誤差率5%・信頼率68%）とした。

所要時間は一人で作業すると仮定したときの所要時間である。

その他の方法についてはコンピュータで抽出実験を行って算出した。1次標本をランダム抽出する方法は、各試験区についてあらかじめそれぞれ作成しておいた、圃場での位置に対応した補助量、乾物重の行列から、コンピュータで発生させた乱数にしたがい1次標本20株を100回抽出した。1次標本を「対角」抽出する場合は各試験区について、先の行列から抽出法にしたがって1次標本20株を40回抽出した。抽出した1次標本から前記(2)～(5)の各方法で2次標本を抽出、解析して推定値を求め、誤差率を算出した。ここでいう誤差率とは、得られた標本平均値と行列全体の平均値（母平均値）との差の、母平均値に対する百分率である。この誤差率が5%以内となった回数を総試行回数で除したものを、その調査法の精度とした。この値は、許容誤差率5%のときの信頼率と同じであり、単純推定法や、1次標本と2次標本の両方をランダム抽出して比推定する方法の精度との比較が可能となる。

各調査法の所要時間は、解析Iと同様に第2表に示した個別調査の所要時間を第3表の計算式に代入して算出した。

なお、計算の一部には農林水産研究計算センターのコンピュータを使用した。

結果と考察

1. 重複抽出による比推定法の適用効果

目標精度を満たす、1次標本数と2次標本数の組合せは複数あるが、その中で所要時間が最も少ない1次標本数と2次標本数の組合せおよびその時の所

要時間を第5表に示した。

生体重を補助量とした重複抽出による比推定法の所要時間は、単純推定法と比較すると、最高分けつ期では46～55%に、穂揃期では64～80%に短縮された。乾物重の変動係数が大きく、単純推定法で標本数を多く必要とする最高分けつ期の調査には、特に省力効果が大きかった。また、1次標本を「対角」抽出する場合は、ランダム抽出する場合よりも所要時間の短縮程度が大きかった。乾物重調査に生体重を補助量とする重複抽出による比推定法を適用して、単純推定法と同等の精度の推定値を得ようとする場合には、単純推定法に比べて圃場から採取する株数（1次標本数）は多くなるが、実際に乾物重を調査する株数（2次標本数）が少ないために所要時間は短縮され、調査の省力化に有効と判断される。

最高分けつ期に茎数を、あるいは穂揃期に穂数をそれぞれ立毛調査して補助量とした重複抽出による比推定法については、1次標本を「対角」抽出する場合の所要時間は最高分けつ期には単純推定法の82%に、穂揃期には69%に短縮された。短縮の程度は生体重を補助量とした場合よりも小さいが、調査の省力化に有効と判断される。一方、1次標本をランダム抽出する場合は所要時間の短縮効果は認められなかった。しかし、圃場から実際に採取する2次標本の株数は単純推定法での標本数よりも少ないという利点がある。したがってこの方法は、圃場から採取する株数をなるべく少なくしたい場合には有効な方法と考えられる。

本解析に用いた統計量のうち、補助量、乾物重の

第6表 補助量調査所要時間／乾物重調査所要時間比の臨界値。

調査時期 補助量	最高分げつ期		穂 揃 期	
	生体重	茎 数	生体重	穂 数
補助量調査所要時間／乾物重 調査所要時間比の臨界値	0.56	0.20	0.38	0.23

補助量調査所要時間／乾物重調査所要時間比が臨界値よりも小さいときに重複抽出による比推定法が有効となる。

各変動係数、両者の相関係数は、1株植付け本数が一定の場合には試験研究機関の間で大差はないと考えられるが、補助量調査と乾物重調査の所要時間の比は、調査の方法や手順の違いにより差がある可能性がある。そこで、補助量、乾物重の各変動係数、両者の相関係数が第1表に示した値をとる場合に、補助量調査と乾物重調査の所要時間の比がいかなる値のときに、重複抽出による比推定法が有効となるかについて検討する。

重複抽出による比推定法が有効と考えられるのは、同一精度の推定値を得るのに要する調査時間が少ないときである。見方を変えれば、調査労力一定のもとで単純推定法に比べて精度の向上が期待できる場合、つまり、推定値の分散が小さくなる場合にこの方法は有効といえる。すなわち、[単純推定法による推定値の分散－最適標本数での重複抽出による比推定法における推定値の分散]を正とした不等式から③式が導かれ⁷⁾、この式が成立するときに重複抽出による比推定法が有効となる。

$$\frac{C_y^2 - 2\rho C_x C_y + C_x^2}{C_y^2} < \frac{(C_n - C_n')^2}{(C_n + C_n')^2} \dots\dots\dots ③$$

ここで、 C_x は補助量の変動係数、 C_y は乾物重の変動係数、 ρ は補助量と乾物重との相関係数、 C_n は乾物重調査の1株当たりの所要時間、 C_n' は補助量調査の1株当たりの所要時間である。③式をみて明らかのように、この式が成立するのは相関係数 ρ が大きいとき、または、補助量調査の所要時間が乾物重調査の所要時間に比べて極めて小さいときである。

さらに具体的に判断するために、③式を変形して、所要時間の比 C_n'/C_n を左辺に出すと④式となる。

$$\frac{C_n'}{C_n} < \frac{1 - \sqrt{(C_y^2 - 2\rho C_x C_y + C_x^2)/C_y^2}}{1 + \sqrt{(C_y^2 - 2\rho C_x C_y + C_x^2)/C_y^2}} \dots\dots\dots ④$$

この式に第1表の値を代入して右辺を計算した結果が第6表である。つまり、補助量調査の所要時間と乾物重調査の所要時間の比が第6表の値より小さければ、重複抽出による比推定法は有効と判断される。本方法を採用する場合は、各試験研究機関ごと

の点を確認する必要がある。所要時間の比が第6表の値よりも大きい場合には、本方法を適用しても省力効果は期待できない。

2. 20株について調査した補助量データを活用した調査法の有効性

各種調査法の精度と所要時間を第7表に示した。まず、1次標本の抽出法についてみると、「対角」抽出する場合は、ランダム抽出と比べて所要時間は少ないにもかかわらず、精度の差はほとんど認められなかった。「対角」抽出については、前報⁴⁾で精度の面から有効性を明らかにしたが、その場合、省力化については経験的な判断であった。本報においても、この抽出法はランダム抽出と比べて精度の差はほとんどなく、省力的であることが実証された。「対角」抽出の有効性は明確であるので、以下では、1次標本を「対角」抽出する場合について検討する。

補助量についてみると、いずれの調査時期においても、生体重とした場合は精度は良いが所要時間は多く、茎数・穂数とした場合は精度は劣るが所要時間は少なかった。自明のことであるが、2次標本数が少ない場合は所要時間は少なく済むが精度が劣り、2次標本数が多い場合は精度は良くなるが所要時間が多くなる。調査の効率をあげるのに有効なのは、単純推定法と同等以上の精度を有し、かつ所要時間が少ないときである。この条件を満たしている2次標本数は、最高分げつ期に生体重を補助量とする場合は2～8株、茎数を補助量とする場合は6～8株、穂揃期に生体重を補助量とする場合は2～4株、穂数を補助量とする場合は4～6株であった。

2次標本の抽出法としては、ランダム抽出と中央値株抽出(経験的に精度が良いであろうと判断され、よく用いられている方法)の二つの方法について検討した。中央値株抽出は、補助量の大ききでソートする作業があるのでランダム抽出に比べて所要時間は僅かに増加した。精度については、中央値株抽出による精度の向上が穂揃期には認められたが、最高分げつ期にはほとんど認められなかった。調査の省

第7表 各種の乾物重調査法の精度と所要時間。

補助量	1次標本 抽 出 法	2次標本 抽 出 法	推 定 法	2次標本数（1次標本数=20）				
				2	4	6	8	10
【最高分げつ期】								
生体重	ランダム	ランダム	比推定法	72 (64)	78 (78)	80 (92)	81 (105)	82 (119)
〃	〃	中央値株	比推定法	74	81	84	85	86
〃	〃	〃	株数換算	73 (66)	81 (80)	82 (93)	82 (107)	84 (121)
生体重	「対角」	ランダム	比推定法	74 (52)	82 (66)	83 (80)	88 (94)	90 (108)
〃	〃	中央値株	比推定法	71	81	86	88	89
〃	〃	〃	株数換算	75 (54)	73 (68)	76 (82)	79 (96)	82 (109)
茎 数	ランダム	ランダム	比推定法	44 (61)	58 (82)	65 (102)	71 (123)	75 (143)
〃	〃	中央値株	比推定法	48	67	69	73	77
〃	〃	〃	株数換算	44 (62)	63 (83)	68 (103)	72 (124)	77 (144)
茎 数	「対角」	ランダム	比推定法	49 (37)	54 (56)	71 (75)	76 (94)	79 (113)
〃	〃	中央値株	比推定法	52	63	68	74	80
〃	〃	〃	株数換算	46 (37)	54 (57)	63 (76)	71 (95)	77 (114)
単純推定法（標本数=11 株）				68 (100=3751 秒)				
【穂 揃 期】								
生体重	ランダム	ランダム	比推定法	65 (96)	76 (115)	81 (133)	84 (151)	85 (170)
〃	〃	中央値株	比推定法	76	81	82	85	86
〃	〃	〃	株数換算	77 (99)	81 (117)	86 (135)	87 (154)	89 (172)
生体重	「対角」	ランダム	比推定法	76 (70)	78 (88)	82 (107)	84 (125)	86 (143)
〃	〃	中央値株	比推定法	76	81	82	86	86
〃	〃	〃	株数換算	78 (72)	82 (91)	86 (109)	88 (128)	88 (146)
穂 数	ランダム	ランダム	比推定法	54 (75)	68 (100)	75 (125)	79 (149)	82 (174)
〃	〃	中央値株	比推定法	60	75	78	84	84
〃	〃	〃	株数換算	60 (77)	77 (102)	82 (126)	86 (151)	89 (175)
穂 数	「対角」	ランダム	比推定法	55 (44)	71 (67)	74 (90)	77 (114)	78 (137)
〃	〃	中央値株	比推定法	64	78	79	83	83
〃	〃	〃	株数換算	61 (46)	73 (69)	80 (92)	87 (115)	91 (139)
単純推定法（標本数=8 株）				68 (100=2823 秒)				

表中の数値の上段は精度，下段の（ ）内は所要時間の単純推定法対比（％）。

精度は，誤差率が5％以下となった割合（％）。

ゴシック文字の欄は，単純推定法に比べて精度が良く，所要時間が少ないことを表わす。

力化を考えると、2次標本として先に述べた株数をとることで単純推定法と同等以上の精度の推定値を得ることができるランダム抽出が効率的だと判断される。

このように、2次標本の中央値株抽出は効率的ではないが、中央値株抽出した場合の解析方法の違いによる精度の差を、比推定法と株数換算法について検討したので、参考までにみることにする。村田らの著書に、「イネのように栽植密度がはっきりしている場合の乾物重調査は、ランダムに数個体を刈取り、栽植密度から面積当たりの量に直してもよい」⁶⁾とあるように、株数換算法はしばしば採用される方法である。補助量を利用する場面でも、20株程度について茎数あるいは生体重を調査して、その中の大小数株ずつを除外して中庸株について乾物重を調査し、株数換算法により推定するという方法がとられることがある。比推定法と株数換算法の二つの解析方法の精度の比較では、最高分げつ期には比推定法で、穂揃期には株数換算法で精度が良い傾向が認められた。ただし、所要時間が単純推定法よりも少ない場合に限ると、比推定法の精度が株数換算法よりも同等か上回った。

以上、20株について調査した補助量のデータを活用する各種の乾物重調査法について検討した。精度、所要時間の両面から総合的に判断して最も効率的な調査法は、1次標本として20株を「対角」抽出して補助量を調査し、その中からランダム抽出した2次標本について乾物重を調査して、比推定する方法であると判断された。精度と所要時間は相反する関係にあるので、補助量、2次標本数は、目標精度や労力事情を考慮して第7表から適宜選択すればよい。

本報では、乾物重調査の、省力的でかつ精度を保持した方法について、重複抽出による比推定法を適用した場合を中心に解析した。この解析は、補助量と乾物重の各変動係数、両者の相関係数、それぞれ

の調査所要時間に基づいている。先にも述べたように、補助量調査と乾物重調査の所要時間比が第6表に示した値より大きい場合には、本方法による省力効果は期待できない。本方法の採用に当たっては、各試験研究機関ごとにこの点を確認する必要がある。また、本報での解析結果は1株植付け本数が一定の手植え水稻が調査対象の場合のものである。このように、限定条件はつくものの、本解析結果は、試験研究機関や普及所における水稻乾物重調査の精度や再現性の確保および省力化に明確な基盤を与え、生育診断や生育予測に対して貢献するものと考ええる。

謝辞 標本理論に関して貴重な助言をいただいた農林水産省統計情報部生産統計課の佐藤勝志氏に感謝の意を表する。

引用文献

1. 中鉢富夫・斎藤公夫・浅野岩夫・及川 勉 1985. 株周測定による乾物重の簡易測定法. 東北農業研究 37: 29—30.
2. ———・沼倉正二 1986. 水稻乾物重の簡易推定法. 第2報 株周の測定法. 東北農業研究 39: 45—46.
3. 楠田 幸 1990. 水稻圃場試験調査法の改善のための基礎研究. 第1報 量的諸形質の変動係数と標本数の目安. 日作紀 59: 721—726.
4. ——— 1992. ———. 第3報 量的形質の標本調査における各種標本抽出法の精度. 日作紀 61: 412—418.
5. 宮下慶一郎・小菅裕明・新毛晴夫 1988. 水稻の生育診断と予測. 第2報 水稻の窒素吸収量推定と栄養診断. 東北農業研究 41: 67—68.
6. 村田吉男・玖村敦彦・石井龍一 1976. 作物の光合成と生態—作物生産の理論と応用—. 農山漁村文化協会, 東京. 243—246.
7. 津村善郎 1956. 標本調査法. 岩波書店, 東京. 153—166.
8. ———・築林昭明 1986. 標本調査法. 岩波書店, 東京. 1—279.