

研究・技術ノート

斜線刈取りによる水稻収量簡易速決診断法の改善

—特に比重 1.06 で選別された稚苗移植水稻の精籾の籾摺歩合について—

伊田黎之輔*

(鳥取県八頭農業改良普及所)

要旨：稚苗移植水稻の圃場試験区規模 (1 区面積 10.71 m^2 , 総株数 238) における収量査定を一定の信頼度および精度で行うための「斜線刈取法」による調査個体数の決定と、これらの調査個体から選出される代表株を対象にして行う「水稻収量簡易速決診断法」の籾摺歩合について検討した。238 株の母集団から無作為抽出した 30 株の収量および収量構成要素の変動係数 (CV) は、収量 (精籾重) \div 総穎花数 \times 穂数 \div 平均 1 穂穎花数 \times 登熟歩合 \times 精籾千粒重であった。収量の CV は 21% を示し、これを信頼度 95%, 精度 5% で査定するための調査個体数は 1 区当たり 52 株を要する。収量査定のシミュレーションの結果、目標の信頼度と標本数に応じた精度により、代表株の収量から試験区の実際の平均収量をよく推定できた。次に、1979～2001 年に農業試験場および現地の試験圃場で品種、作期、施肥量などを異にした稚苗移植水稻 (不完全葉を第 1 葉とする 3.0～3.6 葉苗) および成苗移植水稻 (同 6.5～7.0 葉苗) の籾摺歩合について検討した。稚苗移植水稻において、比重 1.06 の塩水選により選別された代表株の精籾重から精玄米重に換算するための籾摺歩合は 0.824 ± 0.009 (平均値 \pm 標準偏差) であり、その CV は 1.1% と極めて小さいことから、一般的な換算係数として使用できることがわかった。一方、成苗移植水稻では 0.844 ± 0.005 (CV=0.6%) であり、両者間には統計的に有意な差が認められた。このことから、従来報告されていた籾摺歩合 0.840 は成苗移植水稻における固有の換算係数と判断された。

キーワード：収量, 信頼度, 水稻, 水稻収量簡易速決診断器, 調査個体数, 変動係数, 目標精度, 籾摺歩合。

著者 (1997) は水稻栽培試験圃場における試験区の収量および収量構成要素の調査法として斜線刈取法 (松島ら 1957) による水稻収量簡易速決診断法 (松島・角田 1960) を適用している。この収量査定法において最も留意すべき点は調査個体数の決定と籾摺歩合の係数であった。松島ら (1957) は成苗移植水稻を対象にした収量の変動係数は 30～35% を想定しておけばよいことを報告している。過大な標本数は調査コストの上昇を招き、過小な標本数は調査精度を低下させる。この視点から現在広く試験の対象となっている稚苗移植水稻の収量の変動について検討しておくことは重要である。また、松島・角田 (1960), Matsushima (1975) は水稻収量簡易速決診断法において、比重 1.06 で選別された乾燥精籾重から玄米重に換算する籾摺歩合を 0.840 と報告したが、これは成苗移植水稻を対象にして得られた結果であり、稚苗移植水稻を用いた場合の報告は見当たらない。

そこで、稚苗移植水稻を対象にして、圃場試験区規模 (1 区面積 10 m^2 程度) における収量および収量構成要素の株間の変動に基づく斜線刈取法による調査個体数の決定と、水稻収量簡易速決診断法における代表株の籾摺歩合について検討したので報告する。

材料と方法

圃場栽培試験 (試験 1)

試験は鳥取県農業試験場の圃場で実施した。品種日本晴 (偏穂数型品種) の稚苗 (不完全葉を第 1 葉とする 3.2 葉苗) を供試し、1979 年 6 月 14 日に手植えを行った。栽植密度は 22.2 株 m^{-2} ($30 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$), 1 株 4 本植とし、施肥窒素量は基肥: 5 g m^{-2} (植代時), 穂肥: 3 g m^{-2} (穎分化前期) および 2 g m^{-2} (減数分裂期) とした。リン酸およびカリウムは基肥 (植代時) としてそれぞれ 12 g m^{-2} および 6 g m^{-2} , また、穂肥窒素施用時にはカリウム 6 g m^{-2} を半量ずつ分施した。試験は 1 区制で行い、1 区面積は 10.71 m^2 ($5.1 \text{ m} \times 2.1 \text{ m}$) とした。

10 月 29 日に全株 (238 株) を株毎に掘り取り、収量および収量構成要素を調査した (伊田・石脇 1980)。比重 1.06 の塩水選により沈下した株毎の籾は水洗後、 75°C で 48 時間以上通風乾燥し、室温で放任後、収量 (乾燥精籾重) として測定した。乾燥終了時における精籾の水分は絶乾状態にあったと推察されるが、重量測定直後に任意の 30 株について 105°C , 5 時間法 (食糧庁 1974) で水分測定を行った結果、精籾の水分含有率は $4.9 \pm 0.2\%$ (平均値 \pm 標準偏差) であった。

第1表 籾摺歩合の解析に使用したデータ数.

年次	稚苗移植水稻	稚苗移植水稻 (無窒素)	成苗移植水稻	小計
1979	20		16	36
1980	2		19	21
1981	56	2		58
1983	13	2		15
1984	100	4		104
1985	32	8		40
1999	5			5
2000	28			28
2001	5			5
合計	261	16	35	312

籾摺歩合のデータ解析試験 (試験2)

第1表に示したように、籾摺歩合の解析に使用した全標本は312である。稚苗移植水稻の標本は1979～2001年に農業試験場および現地一般圃場において得られた277で、このうち16の標本は農業試験場で得られた無窒素区に由来する。成苗移植水稻では1979年および1980年に農業試験場で得られた35の標本を使用した。なお、本報における稚苗移植水稻の葉齢は3.0～3.6葉、成苗移植水稻では6.5～7.0葉の範囲にあり、いずれも不完全葉を第1葉とした葉齢である。

籾摺歩合の測定は、斜線刈取法を適用して選出した代表株 (松島ら1957) の穂重に近似した1株について、比重1.06の塩水選で選別し、籾水分14～15%を目安に通風乾燥した精籾について行った。籾摺歩合の測定は毎年収量調査時に行い、籾摺はゴムロールを用いて自作した小型籾摺器を使用した。籾摺歩合は精玄米重を精籾重で除した値で示した。

結果及び考察

1. 収量および収量構成要素の変動係数と調査個体数の推定 (試験1)

第2表は母集団 (238株) の収量および収量構成要素の

変動に関する情報を得るために30株を無作為抽出し、各形質の変動係数 (CV) を算出したものである。これによると、CVの大きさは収量 (精籾重) ≒ 総穎花数 > 穂数 > 平均1穂穎花数 > 登熟歩合 > 精籾千粒重であった。この序列は松島ら (1957) が成苗移植水稻を対象にした結果と近似していた。収量のCVは20.8%を示し、この値は松島ら (1957) の成苗移植水稻を対象にした精密試験区における値よりもやや大きい値を示した。成苗移植水稻に比べて稚苗移植水稻の1株植付苗数の変動は大きく、このことが収量成立過程にも影響を及ぼす (中村・和田1967, 伊田1997)。しかし、本試験のように1株植付苗数を制御した場合には稚苗移植水稻においてもCVはかなり小さくなることが示された。

また、第2表には後述する収量査定のシミュレーションを行うために、標本から得られたCVを使用して式 (A) (松島・岡部1954) により算出した推定調査個体数が示してある。これによると、収量のCVは20.8%であり、これを信頼度95%、精度5%で推定するための調査個体数は66株が必要であることがわかる。ただし、このときの修正調査個体数は52株となる。すなわち、1試験区当たり52株について収量調査をすれば、母集団の真の平均値の5%の範囲内の誤差 (精度5%) で、しかも100回に5回しか誤らない確率 (信頼度95%) で収量が推定できる。収量を信頼度95%、精度1%で推定するための調査個体数は母集団の大半である220株を要する。

なお、本報における母集団の収量の平均値は26.92g、標準偏差は5.75g、CVは21.4%であり、これらは無作為抽出された30株の標本から得られた収量の各推定値と極めて近似した値を示した。

2. 収量査定への適用 (試験1)

次に収量について、松島ら (1957) の代表株による水稻収量査定法を適用し、シミュレーションを行った。第1図

第2表 収量、収量構成要素の変動係数および推定調査個体数.

項 目	穂 数 (本 株 ⁻¹)	1穂穎花数 (粒 穂 ⁻¹)	総穎花数 (粒 株 ⁻¹)	登熟歩合 (%)	精籾1000粒重 (g)	収 量 (g 株 ⁻¹)
平均値	17.2	72.9	1258	88.6	24.43	27.22
標準偏差	2.8	6.7	264	3.2	0.52	5.67
CV (%)	16.3	9.2	21.0	3.6	2.1	20.8
調査個体数 (株)						
{ 信頼度 95% 精度 5%	41	13	68	2	1	66
	35	12	53			52
{ 信頼度 95% 精度 1%	1762	562	2926	86	29	2870
	210	167	220	63	26	220

1) 調査個体数: $n_0 = \{t(a, \infty) C/P\}^2 \cdots (A)$

ここで、 $t(a, \infty)$: 自由度が無大で信頼度 $(1 - a)$ における t 値、 C : 変動係数 (%), P : 精度 (%).

2) ゴシック数値は抽出比が $n_0/N > 0.05$ の場合の修正調査個体数: $n = n_0 / (1 + n_0/N) \cdots (B)$

ここで、 N : 母集団における標本単位の総数.

12	15	13	12	14	●11	15	12	15	●16	15	15	16	●18
15.20	19.43	18.95	14.50	17.54	13.31	17.37	17.30	23.10	22.11	20.03	24.17	22.73	28.41
12	16	18	14	●18	16	15	17	●17	15	15	18	●18	21
22.93	27.58	25.69	21.03	21.30	22.90	25.23	25.79	25.03	20.70	22.50	27.60	26.90	41.30
20	12	22	●18	16	15	16	●18	17	14	16	●19	16	18
33.04	17.07	30.99	29.96	22.44	23.07	21.23	29.89	25.85	27.08	21.58	27.74	24.66	34.64
12	20	●18	17	16	14	●18	19	17	13	17	18	17	22
15.25	26.62	26.58	25.82	22.82	23.72	27.90	31.24	27.04	19.16	27.00	30.47	25.72	41.77
18	●15	19	19	16	20	12	9	19	16	●17	20	17	16
32.36	28.35	31.17	30.87	24.49	34.76	20.90	15.41	29.69	27.01	29.09	32.39	27.78	27.48
17	14	14	16	15	●19	15	20	13	●14	8	20	16	18
27.32	23.86	24.12	28.67	24.02	29.25	23.25	33.74	23.56	20.72	12.75	27.65	26.57	33.64
●16	15	15	24	●21	16	19	22	●17	19	17	17	20	●18
26.61	24.78	23.76	37.37	30.81	24.98	27.51	27.11	26.13	28.83	25.37	30.59	30.29	33.59
13	17	22	●14	20	18	18	●21	20	15	20	18	●12	20
19.23	23.86	34.18	21.06	35.31	28.62	31.37	33.18	34.71	24.58	29.48	27.62	17.96	37.30
16	19	●18	17	16	16	●20	17	13	17	17	●17	21	19
23.95	29.05	33.12	27.97	28.25	24.13	34.31	28.75	23.65	32.54	25.33	27.61	33.68	30.72
14	●19	17	15	16	25	17	19	18	14	●19	18	7	13
20.80	27.05	28.80	24.09	24.24	37.72	25.79	32.83	29.11	18.54	29.22	29.17	12.35	24.64
17	18	18	15	16	●17	23	21	20	26	19	17	21	19
24.04	28.98	32.99	24.86	25.03	28.81	36.93	35.41	28.30	35.82	30.41	28.41	35.67	29.18
●16	13	18	17	●17	25	22	25	20	●18	12	28	15	●13
27.59	21.77	33.07	25.74	27.50	40.72	32.54	36.53	33.12	29.48	18.76	37.78	23.23	22.96
17	14	19	●12	19	13	23	14	●20	21	11	17	●19	23
25.48	22.48	31.48	19.81	30.20	19.18	33.27	25.96	30.61	30.71	18.04	19.95	27.22	35.95
15	17	●18	15	17	18	17	●21	20	19	9	●11	8	18
22.97	24.67	29.87	22.66	26.07	26.10	23.21	30.94	31.89	31.60	14.19	16.38	10.04	30.06
14	●17	17	16	18	16	●15	20	20	15	13	16	16	22
19.20	23.33	21.71	26.62	27.41	27.47	25.28	27.12	29.66	20.61	20.25	20.44	25.04	34.78
16	19	19	16	19	20	15	20	20	19	●19	12	19	22
20.68	30.13	29.46	25.18	28.80	28.67	23.59	28.90	29.49	28.16	27.02	19.02	29.13	37.35
●18	20	19	20	16	●16	21	14	24	●18	19	18	17	20
31.59	34.09	34.46	30.78	25.23	24.22	31.75	23.13	41.11	27.13	32.36	30.64	31.52	42.76

第1図 試験区内における1株穂数, 1株乾燥精籾重の分布。

- 1) ゴシックの数値は穂数 株⁻¹, その他の数値は収量(乾燥精籾重) 株⁻¹を示す。
- 2) ●は5斜線刈取りの対象となった株を示す。
- 3) 1区面積 10.71 m² (2.1 m×5.1 m)。
- 4) 品種: 日本晴, 22.2 株 m⁻² (条間 30 cm×株間 15 cm), 1株4本植。

に示したような母集団から, 5斜線刈取りをした44株の平均1株穂数は17.1本である。この平均値に近似した17本の穂数株7株を選定し(穂数選抜), その株毎の乾燥精籾重(≒穂重)を測定した平均1株精籾重は26.79 g(表省略)となる。この平均1株精籾重に最も近似した26.13 gの株を選定し(穂重選抜), これを母集団の実収量の推定値とする。

ここで, 第2表から, 信頼度95%, 精度5%で収量を推定するために必要な調査個体数は66株(修正調査個体数は52株)を要することがわかる。シミュレーションで調査対象にした44株を修正調査個体数として, 第1表の式(B)から所要調査個体数を逆算すると54株となり, これは第2表の式(A)から信頼度95%, 精度5.5%に相当す

る個体数である。先に穂重選抜された精籾重(26.13 g)は理論どおりに, 母集団における収量の真の平均値(26.92 g)の5.5%の範囲内(25.44~28.40 g)に包含されることが示された。

以上の結果は, 1区面積が10 m²程度の圃場試験区規模においても, 斜線刈取法(松島ら1957)による水稻収量簡易速決診断法(松島・角田1960)がよく適用できることを立証するものである。

3. 籾摺歩合について(試験2)

第3表によると, 年次, 品種の早晚を込みにしても稚苗移植水稻の籾摺歩合は 0.824 ± 0.009 ($CV=1.1\%$), 稚苗移植水稻(無窒素)の籾摺歩合は 0.807 ± 0.010 ($CV=$

第3表 稚苗移植水稻と成苗移植水稻における籾摺歩合の統計的検定.

	籾 摺 歩 合		籾 摺 歩 合	
	稚苗移植水稻 (無窒素)	稚苗移植水稻	稚苗移植水稻	成苗移植水稻
標本数	16	261	261	35
標本平均値	0.807	0.824	0.824	0.844
標本標準偏差	0.010	0.009	0.009	0.005
CV(%)	1.2	1.1	1.1	0.6
母分散の予備検定				
分散比 (実現値 F_0)	$F_0 = 1.292$		$F_0 = 3.117$	
P値	$P > 0.05$		$P < 0.05$	
母平均の差の検定	等分散を仮定する		等分散を仮定しない	
自由度	275		67	
t値 (実現値 t_0)	$t_0 = -7.386$		$t_0 = -19.174$	
P値	$P < 0.05$		$P < 0.05$	
母平均の差の区間推定	0.022~0.013		0.023~0.017	
信頼区間(信頼率 95%)				

1.2%)、成苗移植水稻の籾摺歩合は 0.844 ± 0.005 ($CV = 0.6\%$) とその変動は極めて小さく、いずれにおいても安定した係数を示した。最初に稚苗移植水稻と無窒素とした稚苗移植水稻の母集団の分散について有意水準 20% の F 検定 (永田 2000) を行った。本解析における F 検定では第2種の過誤、すなわち、 $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ であるのに $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ と判定する確率を小さくするために、有意水準を 20% に設定した。本解析のように標本数が2倍以上異なると、 t 検定は分散の違いに対してロバストではなくなり、 $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ なら、等分散を仮定した場合の t 検定は正しいものではなくなるためである。その結果、籾摺歩合は $F_0 = 1.292 < F(15, 260; 0.10) = 1.514$ となり、両母集団の分散は異なるとはいえないことがわかった。このため、分散が等しい場合の t 検定により、両母集団の母平均の差に関する検定 (永田 2000) を行った。籾摺歩合の母平均の差は $|t_0| = 7.386 > t(275, 0.05) = 1.969$ であり、両者間には有意水準 5% で差異がみられた。すなわち、稚苗移植水稻の籾摺歩合は稚苗移植水稻 (無窒素) の籾摺歩合に比べて有意に高く、両者間における籾摺歩合の母平均の差は信頼率 95% で 0.022~0.013 の間にあるといえる。

次に、稚苗移植水稻と成苗移植水稻の母集団の分散について同様に検定を行った。籾摺歩合は $F_0 = 3.117 > F(260, 34; 0.10) = 1.441$ となり、両母集団の分散は異なるといえることがわかった。このため、分散が等しくない場合の t 検定により、両母集団の母平均の差に関する検定を行った。籾摺歩合の母平均の差は $|t_0| = 19.174 > t(67, 0.05) = 1.996$ であり、両者間には有意水準 5% で差異がみられた。すなわち、稚苗移植水稻区の籾摺歩合は成苗移植水稻区の籾摺歩合に比べて有意に低下し、稚苗移植水稻と成苗移植水稻との間における籾摺歩合の母平均の差は、信頼率 95% で 0.023~0.017 の間にあるといえる。

松島・角田 (1960)、Matsushima (1975) は水稻収量簡易速決診断器を使用した収量査定法において、全国から収

集された成苗移植水稻の乾燥精籾 (比重 1.06 以上の籾) について調査を行い、籾摺歩合は 0.840 とすればよいことを報告している。本試験においても成苗移植水稻の籾摺歩合は 0.844 であり、極めて近似した値が得られ、成苗移植水稻固有の籾摺歩合と推察された。しかし本試験の結果から明らかのように、稚苗移植水稻の収量査定を実施するときの籾摺歩合は 0.824 とすることが妥当であることがわかった。松島の報告した籾摺歩合 0.840 を稚苗移植水稻に適用すると、玄米 1000 粒重、玄米収量を過大に見積もることになると判断された。苗質を異にしたときや窒素施用を伴わない場合などにおいて籾摺歩合がなぜ相違するかについては本試験においては究明できず、今後の課題である。

謝辞: 本稿の統計的検定に対して御助言をいただいた常盤大学人間科学部伊田政司教授、早稲田大学理工学部永田靖教授に対して謝意を表します。

引用文献

- 伊田黎之輔 1997. 暖地水稻における穂首分化期追肥効果の解析. 鳥取県農試特別研報 5: 1—96.
- 伊田黎之輔・石脇勇 1980. 稚苗移植水稻における収量および収量構成要素の株間変動 (予報). 作物学研究収録 22: 15—16.
- 伊田黎之輔・大西淳 1994. 暖地鳥取県における稚苗移植水稻の生育相および収量成立の特徴. 土肥誌 65: 547—553.
- 松島省三・岡部俊 1954. 作物の圃場の試験に於ける調査個體数決定早表. 農及園 29: 495—497.
- 松島省三・角田公正・岡部俊 1957. 水稻の簡易速決坪刈法 [1]. 農及園 32: 1309—1312.
- 松島省三・角田公正 1960. 水稻収量簡易速決診断器の考案とその利用法. 農及園 35: 1253—1258.
- Matsushima, S. 1975. Crop Science in Rice. Enlarged edition. Fuji Publishing Co., Ltd. Tokyo. 300—316.
- 永田靖 2000. 入門統計解析法. 日科技連出版社, 東京. 87—105.
- 中村公則・和田学 1967. 暖地における稚苗移植水稻の生育特性. 日作九支報 29: 26—27.
- 食糧庁 1974. 標準計測方法. 東京. 3—9.

Husking ratio of winnowed paddy selected by 1.06 specific gravity : Reinosuke IDA* (*Yazu Agric. Ext. Off., Yazu-gun, Tottori Pref. 680-0461, Japan*)

Abstract : This study aimed to improve Matsushima's yield assessment method for rice using the hills sampled along five lines parallel to a diagonal. When growing plants by transplanting young seedlings, the coefficient of variation for grain yield estimated using 30 hills selected from 238 hills was 20.8%. The number of hills to be investigated for estimating the yield with an aimed-at precision of 5% and a confidence level of 95% was 52 hills in the plot with 238 hills. The yield assessed by the above method coincided well with the actual average yield. To clarify the difference in husking ratio between the plants grown by transplanting young seedlings and mature seedlings, we analyzed the husking ratio in 312 specimens collected during 1979–2001 using a salt solution with a specific gravity of 1.06 to select ripened grains. The husking ratio was 0.824 ± 0.009 (mean \pm standard deviation) and 0.844 ± 0.005 in the plants grown by transplanting young seedlings and mature seedlings, respectively. The significant difference between the two seedlings indicated that the husking ratio of 0.840 reported by Matsushima was a characteristic value for the rice grown by transplanting mature seedlings, and that the husking ratio of 0.824 for the rice grown by transplanting young seedlings was appropriate for selecting rice because of the low variation in husking ratio.

Key words : Aimed-at precision, Coefficient of variation, Confidence level, Husking ratio, Matsushima's yield assessment, Number of investigated samples, Paddy rice, Yield.
