農家水田に生育した水稻の1次根数と収量構成要素との関係

第1報 株および個体に着目した場合

原田 二郎・山崎 耕宇・中元 朋実

三宅 晃*・梅田泰一郎**

(東京大学農学部)

昭和59年2月1日受理

水稻の収量が根系の発達と密接に関連していることについては、これまでに多くの報告が提出されており^{5,6など}、収量向上のために、根系の発達に関する土壌環境を整備することの重要性が指摘されてきている。しかし、根系の発達の様相を、収量構成要素の成立と関連づけて、解析的に検討している研究は必ずしも多いとはいえない。著者らはすでに、1次根(冠根)に着目して観察を行ない、個体別にみた場合、1次根数が粒数(穎花数)と高い相関関係にあることを予報⁷したが、その解析はなお不十分な段階に留まっていた。このような研究の現状を考慮し、本研究においては異なる農家水田に生育した水稻を対象として、各種の1次根が収量構成要素と数量的にいかなる一般的関係を有するかについて検討を試みた。本報は、上記の点につきとくに株および個体を単位として検討した結果の概要である。

観察材料および方法

観察材料は1979年山形県庄内地方の4戸の農家の水田に栽培された水稻品種ササニシキで、それぞれ水田の立地および収量水準等を異にするものであった(第1表、耕種概要等の詳細は続報⁷を参照されたい)。材料の採取は完熟期の9月25、26日の両日に行ない、各水田の中央部において標準的な生育の認められる地点で、30株の茎数ならびに草丈を測定し、平均的な4株を株際の根系を損傷しないようにシャベル

で掘取って水洗した。得られた材料のうち、穂は株内の位置を同定した後切断して風乾し、根系を含むその他の部分はFAA(ホルマリン・酢酸・アルコール)で固定した。

固定した材料は常法¹⁾にしたがって、個体、茎、“要素”別に解体し、第5“要素”以上の1次根数を測定した。なお1次根は、根長5cm未満で伸長を停止した“いじけ”根⁸⁾と、5cm以上に伸長した伸長根とに分類して記録した。また穂については、茎(有効茎)別に総穎花数、登熟歩合(総穎花数に対する精粒の割合で示す)、千粒重および精玄米重を測定した。

以上、地上部および地下部の諸形質について得られた測定値を、それぞれ株および個体を単位として集計したが、諸形質間の関係を検討するに当たっては、関与する種々の変動要因を考慮し、一般に用いられている手法に準じて下記のようなモデルを適用した。

1) 株を単位として検討を行なう場合

$$Y_{株ij} = \mu_{株} + \alpha_{株i} + e_{株ij} \quad \dots\dots(1)$$

ここで、個々の形質について $Y_{株ij}$ は採取した各株の測定値を示す。 $\mu_{株}$ は全株(母集団)の平均値を示し、具体的には採取したすべての株の測定値の総平均をもってその推定値とした。 $\alpha_{株i}$ は水田の相違によって生ずる偏差を示し、同一水田から採取した株の測定値の平均値から上記 $\mu_{株}$ を差引いた値を推定値とした。以上得られた測定値ならびに推定値から、式(1)を用いて株独自の変動 $e_{株ij}$ を求めた。なお添字 i は

第1表 材料を採取した水田

農 家 名	阿部 正志氏	石川 長治氏	斉藤 智氏	高橋 保一氏
所 在 地	東田川郡 藤島町上町	東田川郡 三川町横川新田	酒田市 北平田漆曾根	酒田市 大字城輪
採 取 月 日	9月25日	9月25日	9月26日	9月26日
予想収量* kg/10 a	570	723	600	720

* 農家からの聞き取りによる

* 現在 食糧庁検査課

** 現在 梅田農園

第2表 株を単位としてみた場合の1次根および穂の諸形質の量[†]とその水田間差異、ならびに変動係数^{††}.

形 質	阿部氏水田	石川氏水田	斉藤氏水田	高橋氏水田	F(水田間)	変動係数
個 体 数	6.5	13.5	9.0	8.0	7.03**	24.6
茎 数	19.5	25.5	26.5	25.0	13.57**	7.1
総 根 数	903	1,378	1,374	1,243	8.08**	12.8
“いじけ”根数	332	744	703	639	4.52*	29.1
伸 長 根 数	572	635	671	604	1.56	11.0
総 穎 花 数	1,181	1,228	1,519	1,379	5.24*	10.1
登 熟 歩 合	0.85	0.88	0.90	0.89	1.38	3.7
千 粒 重 g	21.3	21.1	21.1	20.0	5.76*	2.4
精 玄 米 重 g	21.6	22.9	28.7	24.4	4.85*	11.5

[†] 各水田4株の平均値, *F(水田間)0.05 (3, 12)=3.49, **F(水田間)0.01 (3, 12)=5.95.

^{††} 標準偏差を総平均で除した値の百分率.

第3表 株を単位として求めた諸形質間の相関係数.

形 質	個体数	茎 数	総根数	“いじけ” 根 数	伸長根数	総穎花数	登熟歩合	千粒重	精玄米重
個 体 数	1.00								
茎 数	0.17	1.00							
総 根 数	0.00	0.39	1.00						
“いじけ”根数	-0.20	0.17	0.92**	1.00					
伸 長 根 数	0.52	0.46	-0.07	-0.45	1.00				
総 穎 花 数	-0.02	0.45	0.09	-0.17	0.65*	1.00			
登 熟 歩 合	-0.03	-0.03	0.31	0.24	0.09	0.18	1.00		
千 粒 重	0.15	-0.53	-0.05	-0.07	0.08	-0.04	0.48	1.00	
精 玄 米 重	0.01	0.26	0.18	-0.07	0.60*	0.91**	0.53	0.31	1.00

* 5%水準で有意, ** 1%水準で有意, d. f. =12.

水田の区別を, また j は各水田内における株の区別を示す.

2) 個体を単位として検討を行なう場合

$$Y_{\text{個体ijk}} = \mu_{\text{個体}} + \alpha_{\text{個体i}} + \beta_{\text{個体ij}} + e_{\text{個体ijk}} \quad \dots\dots(2)$$

ここで $Y_{\text{個体ijk}}$, $\mu_{\text{個体}}$, $\alpha_{\text{個体i}}$ は, 個々の形質について, 株を単位とした場合に準じて, 個体を単位として求められる数値を示す. $\beta_{\text{個体ij}}$ は個体の属する株の相違によって生ずる偏差を示し, その推定値は同一株に属する個体の測定値の平均値から同一水田4株に属する全個体の測定値の平均値を差引いて求めた. 以上得られた測定値ならびに推定値から, 式(2)を用いて個体独自の変動 $e_{\text{個体ijk}}$ を求めた. なお添字 i, j は株単位の場合に用いたものと同様で, k は株内における個体の区別を示す.

以上のモデルにもとづき, 各形質の水田間, 株間の相違を分散分析法により検討するとともに, 得られた $e_{\text{株ij}}$ および $e_{\text{個体ijk}}$ の推定値を用い各形質間の相関関係を解析した.

観 察 結 果

1. 株を単位とした場合

農家4水田から採取した計16株について, 水田ごとに諸形質の株平均値を算出し比較してみると(第2表), 株当たり個体数(1株植込み苗数に相当する)をはじめとして, 地上部, 地下部の諸形質について, 多くの場合水田間に有意な差のあることが認められた. ただし, 株当りの伸長根数および登熟歩合については, 水田間に有意な相違は認められなかった.

以上のような水田の相違による偏差を考慮に入れ, (1)式より推定した個々の形質の株独自の変動 $e_{\text{株ij}}$ にもとづいて, 諸形質間の相関係数(第3表)を求めた. 株当りの個体数および茎数は, 根(伸長根数)あるいは穂(総穎花数, 千粒重)の諸形質と一定程度の相関関係を示す場合も認められたが, その関係は概して低く, また有意なものではなかった. 全体を通じて最も高い有意な相関関係は, 総根数と“いじけ”根数との間, および総穎花数と精玄米重との間に認めら

第4表 個体を単位としてみた場合の1次根および穂の諸形質の量[†]とその水田間および株間差異.

形 質	阿部氏水田	石川氏水田	斉藤氏水田	高橋氏水田	F(水田間)	F(株 間)
茎 数	3.0	1.9	2.9	3.1	18.8**	5.1**
総 根 数	139	102	153	155	12.2**	5.9**
“いじけ”根数	51	55	78	80	9.7**	8.6**
伸 長 根 数	88	47	75	76	18.6**	4.2**
総 穎 花 数	182	91	169	172	24.5**	6.2**
登 熟 歩 合	0.84	0.88	0.89	0.85	1.8	0.8
千 粒 重 g	21.3	21.3	21.0	19.3	7.9**	0.9
精 玄 米 重 g	3.32	1.70	3.19	3.06	22.5**	6.3**

[†] 各水田4株に含まれる個体の平均値, 平均1株個体数は第2表参照, 株毎の平均値は省略した.

** $F_{(水田間)}0.01(3, 132)=3.91$, $F_{(株間)}0.01(12, 132)=2.30$.

第5表 個体を単位として求めた諸形質間の相関係数.

形 質	茎 数	総根数	“いじけ”根数	伸長根数	総穎花数	登熟歩合	千 粒 重	精玄米重
茎 数	1.00							
総 根 数	0.90**	1.00						
“いじけ”根数	0.79**	0.89**	1.00					
伸 長 根 数	0.78**	0.86**	0.53**	1.00				
総 穎 花 数	0.87**	0.89**	0.71**	0.86**	1.00			
登 熟 歩 合	0.16	0.26**	0.25**	0.20*	0.26**	1.00		
千 粒 重	0.03	0.15	0.11	0.16	0.17*	0.81**	1.00	
精 玄 米 重	0.82**	0.89**	0.71**	0.85**	0.98**	0.34**	0.23**	1.00

* 5%水準で有意, ** 1%水準で有意, d. f. = 132.

れ, それぞれの間の密接な関係が明らかとなった. 一方, 地下部と地上部の関係についてみると, 伸長根数が総穎花数および精玄米重との間に有意な高い相関関係を示した. これに対して, 総根数および“いじけ”根数は穂の諸形質との間に, 顕著な相関関係を示すことはなかった.

根の諸形質間についてさらに検討してみると, “いじけ”根数はさきに述べたように, 総根数と極めて密接な関係が認められたが, 一方, 伸長根数との間には, 有意ではないが負の相関関係が認められた. 株当りの“いじけ”根数の変動係数は, 伸長根数のそれに比して著しく高い値を示し(第2表), 1株の1次根は, 比較的一定した数の伸長根と, 数の変動の大きい“いじけ”根よりなることが明らかとなった.

また穂の諸形質間の関係についてみると, さきに述べた総穎花数と精玄米重の間に認められる極めて高い相関関係の他には, 顕著な関係は認められなかった. 登熟歩合が千粒重および精玄米重との間にある程度の相関関係を示したが, 有意なものではなかった.

2. 個体を単位とした場合

採取した16株をさらに個体別に解体し, 得られた148個体について, 諸形質の測定値を個体ごとに集計

して検討した結果は以下のようなものであった.

観察した諸形質の1個体当りの平均値は第4表に示す通りで, 登熟歩合や千粒重など若干の例外はあるが, 多くの形質について, それぞれの個体の属する水田間および株間に, 有意な相違が認められた. そこで, 水田および株の違いによって生ずる偏差を考慮し, 式(2)によって求められる個々の形質の個体独自の変動 $e_{\text{個体ijk}}$ にもとづいて, 諸形質間の相関関係を検討した(第5表).

さきに株を単位に検討した際に, 有意な相関の認められた関係に着目してみると, 総根数と“いじけ”根数との間, および総穎花数と精玄米重との間, のいずれについても極めて高い有意な相関関係が認められ, また, 根と穂の諸形質との関係として注目された伸長根数と総穎花数および精玄米重との間にも同様に高い有意な相関関係が認められた.

ただしここで注意しなければならないことは, 株を単位とした場合と異なり, 登熟歩合と千粒重を除いて, ほとんどの形質間に有意なきわめて高い正の相関関係が認められ, 上記した関係のみが特異なものとはいえないということである. この点については, 材料採取に当って, 各水田ごとに茎数のほとんど等しい株

第6表 個体を単位として茎数を固定して求めた諸形質間の偏相関係数。

形 質	総 根 数	“いじけ”根数	伸長根数	総穎花数	登熟歩合	千 粒 重	精玄米重
総 根 数	1.00						
“いじけ”根数	0.66**	1.00					
伸 長 根 数	0.58**	-0.23**	1.00				
総 穎 花 数	0.51**	0.08	0.58**	1.00			
登 熟 歩 合	0.27**	0.21*	0.12	0.24**	1.00		
千 粒 重	0.29**	0.14	0.22*	0.30**	0.82**	1.00	
精 玄 米 重	0.60**	0.18*	0.58**	0.95**	0.37**	0.36**	1.00

* 5%水準で有意, ** 1%水準で有意, d. f. =131.

を選定したため、株を単位とした場合にはほとんど問題とならなかった茎数の効果が、個体を単位とした場合には強く現われ、諸形質の個体当りの量が茎数に規定されて比例的に変動した可能性が高い。

以上の点を考慮し、つぎに茎数の効果を除外する目的で、茎数を固定し、個体当りの諸形質間の偏相関係数を求めて比較した（第6表）。その結果は、さきに株を単位として検討した結果（第3表）と、多くの点で共通した傾向を示した。すなわち、総根数と“いじけ”根数の間、および総穎花数と精玄米重との間には高い相関関係が認められた。また伸長根数は総穎花数および精玄米重と有意な高い相関関係を示し、“いじけ”根数はそれら穂の形質との間にほとんど相関関係を示さなかった。一方、株を単位とした場合と、やや異なる傾向を示したものとして、下記の諸点をあげることができる。すなわち、総根数は“いじけ”根数のみならず伸長根数、総穎花数および精玄米重とも高い正の相関関係を示し、また穂の諸形質相互間にも、それぞれ有意な相関が認められたということである。

考 察

本研究で用いた材料は、すでに述べたように、立地や収量水準などを異にする水田（第1表）から得られたものである。このような材料から、1次根数と収量構成要素との間の一般的な関係を求めるためには、関与する各種の変動要因を明確に区別した上で検討を加える必要がある。本研究で採用したモデルはこのような意図をもって設定されたものであり、測定したほとんどの形質について、水田間あるいは株間で有意な相違のみられた（第2表、第4表）ことから判断して、この種の材料を解析するためには、極めて妥当な方法であったと考えられる。

得られた結果を比較してみると（第3表、第5表）、対象を株単位とするか個体単位とするかにより、それぞれの示す相関関係が異なっている場合が少なくな

った。この点に関しては、すでに述べたように、材料の採取法が大きく関与しており、各水田において株当たり茎数を揃えて材料を採取したため、株を単位とした場合には茎数の影響の現われる面が少なく、一方、個体を単位とした場合には、茎数の効果が顕著に現われ、多くの形質間に共通して高い相関関係が認められた（第5表）ものと考えられる。茎数が1次根数と極めて高い相関関係にあるという知見⁴⁾は、上記の推察を裏づける1つの根拠といえよう。またこの点については、茎数の効果を除いた偏相関係数を検討した結果（第6表）の示すように、“いじけ”根数と穂の諸形質の関係など、個体を単位とした場合に認められた高い相関関係（第5表）の多くが、個体当りの茎数の多少によって左右される見かけ上のものであることが明らかにされた。

以上の点を考慮し、つぎに株を単位とした場合（第3表）および個体を単位として茎数の効果を除いた場合（第6表）とに、ほぼ共通して認められた相関関係を中心に考察したい。その第1は穂の諸形質相互の間にみられたもので、とくに総穎花数と精玄米重との間の著しく高い相関関係が注目された。一方、登熟歩合と千粒重との関係あるいは、これらと総穎花数や精玄米重との関係は、株を単位とするか個体を単位とするかなど、対象のとり方によって変化し、必ずしも明確な傾向を示すものではなかった。本研究で用いた材料においては、登熟歩合と千粒重が水田間、あるいは株間で大きな相違を示さなかったこと（第2表、第4表）などによるものと考えられる。周知のように、登熟歩合と千粒重とは収量の成立上、極めて重要な要素とされるものであるが、この点について立入って検討を加えることは、本研究の材料においては不可能であった。またこのことと関連して、総穎花数と精玄米重とを明確に区別して取扱うことも困難であった。今後、幅広い材料の収集によって検討を試みたい大きな問題点といえよう。

第2に1次根を伸長根と“いじけ”根に分類した場合の根数相互の関係について述べたい。総根数と“いじけ”根数および伸長根数が相互に密接に関係していることは、すでに著者ら³⁾の報告したところである。本研究においても、“いじけ”根数は総根数と対応して増減する傾向を強く示し、また諸々の環境条件に敏感に反応して、その数を著しく変動させるものと考えられた。これに対して、伸長根数は必ずしも総根数に対応して変動するとは限らず、独自の変動を示す場合のあることが明らかとなった。

なお、個体を単位とし茎数の効果を除いた場合には、株を単位とした場合とは異なる相関関係の認められる場合があった。総根数と伸長根数の間に認められた有意な相関関係や、登熟歩合や千粒重をも含め、穂の諸形質間に認められた有意な相関関係がそれである。この点については、それぞれの個体を構成する茎の種類別構成(分げつの次位など)や、1次根を出根した“要素”の数、あるいは各茎の個体および株内における位置など各種の要因が関与した結果と考えられるが、今後検討すべき興味ある問題として残しておきたい。

最後に得られた結果をとりまとめ、本研究の主題である1次根数と地上部の諸形質との関係について検討してみたい。株あるいは個体を単位としたいずれの場合にも、総穎花数および精玄米重とつねに有意な相関関係を示したのは伸長根数であった(第3, 第5, 第6表)。総根数は場合によってこれら穂の形質と有意な相関を示したが、概してその相関係数は低かった。また“いじけ”根数は、茎数の効果を除けば、地上部諸形質とほとんど相関関係を示すことはなかった。著者ら³⁾はすでに、個体を単位としてみた場合、総穎花数(粒数)と伸長根数との間に高い相関関係のあることを指摘したが、その際は、茎数の影響を除いて考えることをしなかったため、総穎花数と総根数あるいは“いじけ”根数との関係を明確に区別することができなかった。本研究は、とくに伸長根数が総穎花数ならびに精玄米重と密接な関係を持つことを初めて明らかにしたものである。ただし両者の間に介在する因果関係についての立入った考察は、本研究で用いた方法の性格から考え、ここでは差控えておきたい。なお、伸長根数と総穎花数あるいは精玄米重との間に認められる相関係数が、0.6前後と必ずしも著しく高い値を示さないことについても、今後検討すべき課題としたい。

摘 要

1. 農家4水田より採取した計16株の水稻を用い、株あるいは個体を単位としたそれぞれの場合における各種1次根の数と収量構成要素との数量的関係を統計モデルを適用して解析した。

2. 株を単位とした場合には、総穎花数および精玄米重と有意な高い相関関係を示したのは伸長根数であった。総根数および“いじけ”根数は穂の諸形質との間に顕著な相関は示さなかった。また、総根数は“いじけ”根数と極めて高い正の、伸長根数と負の相関を示し、1株の1次根は、比較的一定した数の伸長根と数の変動の大きい“いじけ”根よりなることが明らかにされた。

3. 個体を単位とした場合には、ほとんどの形質間において有意な極めて高い相関係数が得られ、いずれの形質も茎数と高い相関を示した。そこで、茎数を固定し、個体当りの諸形質間の偏相関係数を比較した結果、総穎花数および精玄米重と高い相関関係を示したのは総根数と伸長根数で、“いじけ”根数は穂の諸形質とほとんど関係を示さなかった。

4. 株あるいは個体を単位としたいずれの場合にも、総穎花数と精玄米重との間には極めて高い相関関係が認められた。また、登熟歩合および千粒重は各種1次根の数と顕著な関係は示さず、本研究の材料においては、詳細な検討は困難であった。

地上部と地下部との間では、とくに伸長根数が総穎花数および精玄米重と密接な関係をもつことが明らかにされた。

謝辞：測定値の解析にあたって種々御教示いただいた東京大学農学部生物測定学研究室の斎尾乾二郎教授および高野 泰助手に心から御礼申し上げる。また材料の採取に当っては、山形県酒田市在住の丸藤政吉氏、佐藤繁実氏ならびに各地域の農家各位の御協力を賜った。記して深甚の謝意を表したい。

引 用 文 献

1. 川田信一郎・山崎耕宇・石原 邦・芝山秀次郎・頼 光 隆 1963. 水稻における根群の形態形成について、とくにその生育段階に着目した場合の一例、日作紀, 32: 163—180.
2. ———— 1969. 水稻1個体における粒数と冠根数との関係、日作紀, 38(別号1): 181—182.
3. ————・S. M. エルアイシー・山崎耕宇 1978. 水稻根群における“いじけ”根の形成部分

- について、とくに現地水田より採集した材料を中心として、日作紀 **47**: 609—616.
4. ———・山崎耕宇・片野 学 1980. 水稻1株の根群を構成する伸長した冠根数と穂数との関係. 日作紀 **49**: 317—322.
 5. 李 鐘 薫・太田保夫 1970. 水稻の地上部の形質におよぼす根の役割に関する研究. 第3報 要素別根の形態と稈基の太さおよび一穂穎花数との関係. 日作紀 **39**: 500—504.
 6. YAMAZAKI, K. and J. HARADA 1982. The root system formation and its possible bearings on grain yield of rice plants. Japan Agric. Res. Quart. **15**: 153—160.
 7. 山崎耕宇・原田二郎 1984. 農家水田に生育した水稻の1次根数と収量構成要素との関係. 第3報 水田間の差異について. 日作紀 **53**: 320—325.

The Relationship between the Number of Primary Roots and Yield Components in Rice Plant grown on Farmers' Paddy Fields

I. Analyses per hill and per plant

Jiro HARADA, Koou YAMAZAKI, Tomomi NAKAMOTO,
Akira MIYAKE and Tai-ichiro UMEDA

(*Faculty of Agriculture, The University of Tokyo, Tokyo 113*)

Summary

The relationship between the number of primary roots and yield components was investigated by using 16 hills of rice plants grown on 4 different farmers' paddy fields. The data obtained were analyzed statistically on per-hill or per-plant basis.

Throughout the analyses on both per-hill and per-plant basis, a high correlation was observed between the number of spikelets and the weight of ripened kernels, both of which were closely related to the number of primary roots. However, no notable variation was found either in the percentage of ripened kernel or in the thousand-kernel-weight.

In the case of analyses per hill, the number of elongated primary roots showed a close correlation with the number of spikelets and the weight of ripened kernels. In contrast, the total number of primary roots as well as the number of 'stunted' primary roots did not show any relation with either of the yield components mentioned above.

In the case of analyses per plant, close correlations were noted among most characters examined. These phenomena within a plant were attributed to the change in the number of culms, which were highly correlated with most of the other characters. When the partial correlations were examined by fixing the number of culms, the total number of primary roots and the number of elongated primary roots were the characters that exclusively showed significant correlations with the number of spikelets or with the weight of ripened kernels.

From the above investigations, it was assumed that among the primary roots, the elongated roots may have the utmost intimate relationship with the yield of rice plants.