

## 水稻1次根の伸長方向と籾重との関係:

誌名	日本作物學會紀事
ISSN	00111848
著者	森田, 茂紀 岩淵, 輝 山崎, 耕宇
巻/号	55巻4号
掲載ページ	p. 520-525
発行年月	1986年12月

## 水稻 1 次根の伸長方向と籾重との関係

—窒素施用量を変えた場合—\*

森田 茂紀・岩淵 輝・山崎 耕宇

(東京大学農学部)

昭和 61 年 4 月 25 日受理

著者等の研究室においては、水稻の根系およびこれを構成している個々の根の生育と、茎葉部の生育との関係について研究を進めてきている<sup>1,2)</sup>。さらに根の量と収量との関係についても解析を行ない、生育後期に土壌表面近くにマット状に形成される“うわ根”の量と、収量との間に密接な関係が存在することを明らかにしたが、一方、10 a 当り 600 kg 以上の高い収量を上げるためには、この“うわ根”だけではなく、下方向に伸長する根が重要であることを推察している<sup>3)</sup>。しかし、圃場条件下において、水稻 1 次根の伸長方向を推定することが比較的困難であったため、この下方向に伸長する根と収量との関係については、直接解析するには至らなかった。そこで著者等は、収量に大きく影響を与えることが知られている窒素の施用量を変えて水稻を栽培し、根系を構成する個々の 1 次根の伸長方向を把握するとともに、単位面積当りの収量を規定している籾重と、1 次根の伸長方向との関係について解析を行なった。

### 実験材料および方法

実験材料として用いた水稻は、1984 年東京大学農学部構内の実験用コンクリート水田において移植栽培した品種：無芒愛国である。同年 5 月 10 日、畑土壌を充填し、NPK 各成分 1 g を全層施肥した 1/2000 a ワグナーポットに、1 ポット当り 40 粒を播種した。同年 6 月 9 日、第 6 葉抽葉前後の苗を 1 株 3 本植として、22.7 株/m<sup>2</sup> の栽植密度 (栽植間隔：21 cm×21 cm) とするようコンクリート水田に移植した。施肥条件については、次のような 4 つの処理区を設けた (第 1 表)。すなわち、窒素を 10 a 当り全く施肥しない区 (ON 区と呼ぶ、以下同様)、8 kg 施肥した区 (対照区)、16 kg 施肥した区 (2 N 区) および 24 kg 施肥した区 (3 N 区) の 4 処理区である。リンおよびカリは、いずれの区において

第 1 表 各処理区における栽培条件。

栽培条件	ON 区	対照区	2 N 区	3 N 区
施肥量 (kg/10a)				
窒素	0	8	16	24
リン	8	8	8	8
カリ	8	8	8	8
栽植密度 (株/m <sup>2</sup> )	22.7	22.7	22.7	22.7

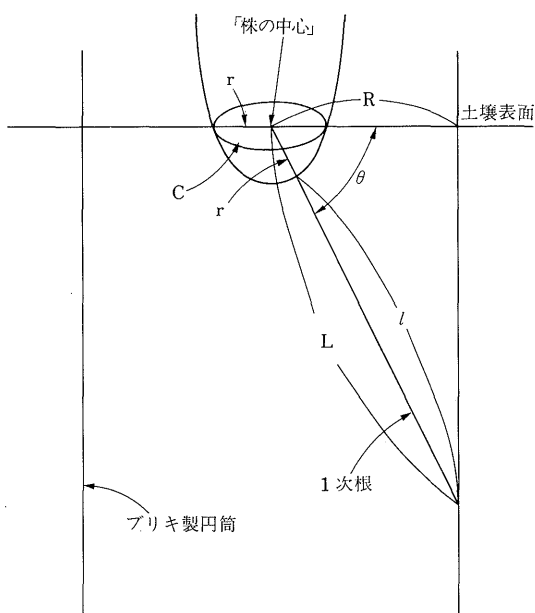
も 10 a 当り成分量でそれぞれ 8 kg を施肥した。なお、以上の窒素、リンおよびカリは、すべて基肥としてあたえ、追肥は行なわなかった。また水管理は、全期間を通じて湛水状態とした。

材料の採取は、登熟期 (ON 区：10 月 8 日、対照区：10 月 9 日、2 N 区・3 N 区：10 月 22 日) に行なった。採取にあたっては、まず各処理区のコンクリート水田において、周辺部分を除いた中央部分の株について草丈、穂数を調査し、平均的な生育を示した 1 株を選び出した。この株を中心にして、直径 150 mm、長さ 300 mm のブリキ製円筒を土壌中に鉛直方向に挿入し、根系を円柱状の土壌塊ごと掘り取った。採取した土壌塊から土壌を水洗した試料を、ホルマリン・酢酸・アルコール (FAA) で固定した。このようにして固定した試料を、主茎および各分けつ茎ごとに解体した後、伸長したすべての 1 次根を各茎から出根した基部で切りとった。ついで、それぞれの 1 次根の基部から円筒によって切断された部位までの長さ ( $l$ ) を測定し、その値から以下のような方法で伸長方向を推定した。

すなわち、第 1 図に示したように、すべての 1 次根が「株の中心」から放射方向にまっすぐ伸長しているものと仮定し、1 次根の走向角 (土壌表面と 1 次根のなす角度) を  $\theta$ 、ブリキ製円筒の半径を  $R$ 、切断 1 次根長 (出根した基部から切断部位までの 1 次根の長さ) を  $l$ 、推定 1 次根長 (「株の中心」から 1 次根の切断部位までの長さ) を  $L$  とした。

株の大きさを無視すると、 $L=l$  となり、 $\cos \theta = R/L = R/l$  という関係が成り立つため、これを利用して走向角  $\theta$  を推定することができる。ところが

\* 大要は第 180 回講演会 (昭和 60 年 9 月) において発表。



第1図 1次根の走向角を推定する方法。

R:ブリキ製円筒の半径 (=75 mm).

l:切断1次根長(実測値).

r:補正值(株の半径).

C:最高位出根部位の株の周長(=2πr, 実測値).

L:推定1次根長.

θ:1次根の走向角.

$\cos \theta = R/L = R/(l+r)$ .

実際には、株を構成している茎が一定の大きさを持つため、 $l$ が $R$ より小さい場合が少なからずある。このような場合には $\cos \theta$ が1以上となるため、走向角 $\theta$ を推定することができない<sup>8)</sup>。

そこで株の基部が半径 $r$ の半球形を呈していると仮定し、

$$L = l + r$$

という補正を行なった。 $r$ の値は、株全体について最高位出根部位を紐でしばってその部位の株の周長 $C$ を測定し、

$$C = 2\pi r$$

として算出した。したがって、

$$\cos \theta = R/L = R/(l+r)$$

という関係が成立するので、

$$\theta = \arccos (R/(l+r))$$

として1次根の走向角を推定した。

また、ON区と3N区の5cm以上に伸長した1次根については、基部および基部から5cmの部位における直径を測定した。

穂については、穂数、穂長、1次枝梗数、総籾数

(不稔籾を含む)、総籾重(不稔籾を含む)を測定した。また収量の概況を把握するため、総籾重に0.8をかけて精玄米重とし、この精玄米重と栽植密度から10a当りの収量を推定した。

なお、ここでサンプル数が1株に限られていることに若干ふれておきたい。周知のように、水稻の根系を研究する場合、研究材料の採取には多くの時間と労力がかかる。しかも採取する株の周囲の株を少なからず傷つけることになる。したがって、ポット試験の場合ならば若干反復数を増やすことができて、実験用水田あるいは農家水田から多数の研究材料としての水稻根系を採取するのは、實際上、極めて困難なことである。そこで、著者等の研究室においては、茎葉部の生育と根系の生育が密接に関連しながら進行することから<sup>9)</sup>、「茎葉部の生育が平均的な株は、根系の生育も平均的なものであろう」と考え、まず茎葉部の生育調査を行ない、採取株の選定を行なっている。このようにして採取した根系を研究することにより、決定的な結論を引き出すというのではなく、傾向を把握することを目指している。そして、研究の一つ一つを反復と考え、従来の研究室の蓄積を検証しながら、研究を進めている。その過程で、とくに問題となるような矛盾が出てきていないので、本研究における1株の実験結果からもある程度の傾向をうかがうことは差し支えないと考えている。

## 実験結果

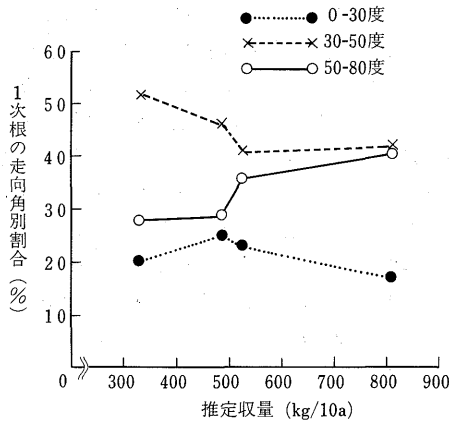
### 1. 1次根の伸長方向に対する窒素施用量の効果

1次根の走向角を推定するにあたっては、すでに述べたような補正を行なった。その結果、第2表に示したように、伸長した1次根総数の平均82%について、その走向角を推定することができた。走向角を推定できなかった1次根は、主に次のようなものである。すなわち、実際の株の基部は正確な半球形を呈していないため、補正を行なった後の推定1次根長が円筒の半径より短く、そのために走向角の推定が不可能な1次根である。これらの1次根は、具体的な走向角を推定することはできなかったものの、比較的横方向に伸長しているものと考えられる。この他の走向角を推定できなかった1次根の中には、操作途上、切断されたものなどがある。

また、窒素施用量を変えて栽培した水稻について、その根系を構成している1次根の伸長方向を、走向角別に3区分して比較した結果は、以下の通り

走向角	0-30度	30-50度	50-80度
ON区	20	52	28
対照区	25	46	29
2N区	23	41	36
3N区	17	42	41

第2図 各処理区における1次根の走向角別割合. 各コラム内の数値はそれぞれの走向角別1次根数の百分率を示す.



第3図 1次根の伸長方向と収量から推定した単位面積当たりの収量との関係.

であった(第2図). すなわち, ON区を除き, 窒素施用量が多いほど, 横方向に伸長する1次根の割合が減少し, 反対に, 下方方向に伸長する1次根の割合が増加していた.

1次根の伸長方向をさらに定量的に比較するために, 以下のような方法で「平均走向角」を算出した. すなわち, 走向角を10度ごとに区分し, 0~10度の1次根の本数を  $n_1$ , 10~20度を  $n_2$ , ..., 70~80度の本数を  $n_8$  とし,

$$\text{「平均走向角」} = (5 \times n_1 + 15 \times n_2 + \dots + 75 \times n_8) / (n_1 + n_2 + \dots + n_8)$$

と定義した. これは, 推定した走向角がたとえば0~10度の1次根は, 全て  $(0+10)/2=5$ 度の走向角を呈すると仮定し, 機械的に算出した走向角の平均値である. なお, プリキ製円筒の長さからくる制

第2表 各処理区における穂・1次根の形態的諸形質.

形態的諸形質	ON区	対照区	2N区	3N区
穂数 (本/株)	6	14	13	19
穂長 (mm)	214	186	209	208
1次枝梗数 (本/穂)	10.8	10.1	11.3	11.6
総粒数 (粒/株)	810	1365	1630	2341
総粒重 (g/株)	18.2	26.7	28.9	44.5
推定収量 (kg/10a)	331	485	525	808
平均走向角(度)	43.2	41.7	43.5	45.4
伸長1次根数 (本): A	586	881	870	542
走向角推定可能1次根数(本): B	485	688	638	512
B×100/A (%)	83	78	73	94
粒数/伸長1次根 (粒/本)	1.4	1.5	1.9	4.3

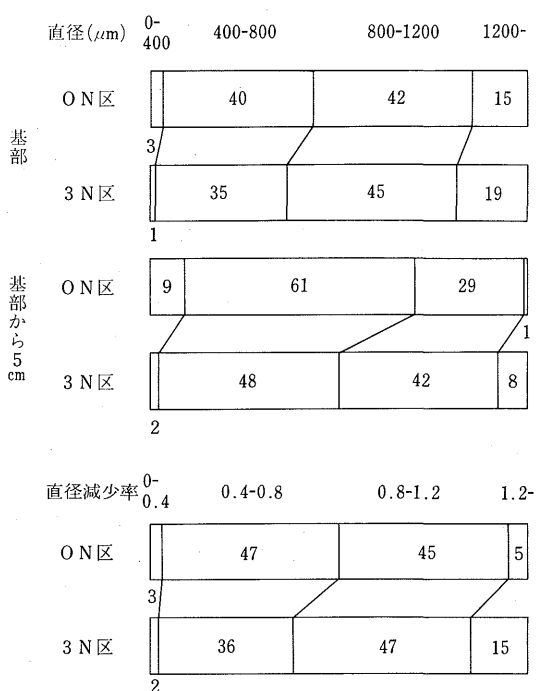
約により, 走向角が80~90度と推定される1次根はでてこない. 各処理区における1次根の「平均走向角」は, 第2表に示したように, ON区を除き, 窒素施用量が多いほど, その値が大きくなり, 下方方向に伸長している1次根の相対的な割合が高くなっていった.

### 2. 1次根の伸長方向と粒重との関係

つぎに, 1次根の伸長方向と推定収量との関係について解析を行なった(第3図). 総粒重と栽植密度とから算出した推定収量は, 第2表に示したように, 約330~810 kg/10aの範囲にあった. 10a当りの推定収量が約500 kgまでをみると, 走向角が0~30度の横方向に伸長している1次根の割合は, 推定収量が高いほど高かったが, さらに高い収量を示した区においては, 低下傾向を示した. 走向角が30~50度の斜下方に伸長している1次根の割合は, 推定収量が高いほど概して低くなっていった. これに対して, 走向角が50~80度の下方方向に伸長している1次根は, 推定収量が高いほどその割合も高く, しかもこの傾向は高い収量を示した区において顕著であった.

### 3. 粒数と1次根の数・直径との関係

各処理区の株における, 伸長した1次根の数と粒数との関係について解析を行ない, 以下の結果を得た(第2表). すなわち, 施用した窒素の量が多いほど, 伸長した1次根1本に対応する粒数が多く, この傾向はとくに3N区で顕著であった. 各処理区を通じてこの粒数の値を平均してみると, 伸長した



第4図 ON区および3N区における1次根の直径ならびにその推移。  
各コラム内の数値はそれぞれの範囲に入る1次根数の百分率を示す。直径減少率=基部から5cmの部位の直径/基部の直径。

1次根1本当たり、約2.3粒の粃が対応していた。  
伸長した1次根1本当たりの粗数が最も少なかったON区と最も多かった3N区について、すべての伸長した1次根の直径を比較した結果、以下のことが明らかとなった(第4図)。すなわち、1次根の基部における直径(ON区:平均855μm, 3N区:平均904μm)も、また基部から5cmの部位における直径(ON区:平均660μm, 3N区:平均769μm)も、ONより3N区の方が大きかった。さらに、1次根の基部における直径と基部から5cmの部位における直径の比を求めて直径減少率とし、直径の推移を比較したところ、3N区(平均0.85)に比較してON区(平均0.77)の方が直径の減少程度が大きかった(第4図)。

### 考 察

#### 1. 1次根の伸長方向の推定法

まず最初に、本研究で用いた1次根の伸長方向を推定する方法について考えておきたい。従来、水稻根の張り方を観察する場合には、改良モノリス法に

よることが多かった<sup>1)</sup>。この改良モノリス法は、根系を視覚的にとらえ、その形態を直観的に把握するのには優れた方法である。しかしこの方法は、単に根系の断面(所定の厚さはあるが)を観察し、これから根系全体を推定していることに注意しなければならない。すなわち、観察結果が必ずしもそのまま、根系全体の形態あるいは個々の1次根の伸長方向を完全に反映しているとは限らず、とくに1次根の伸長方向に関する定量的なデータを直接得ることは困難である。

著者等の研究室において開発した円筒採取法は、切断根長を測定することによって、水稻1次根の伸長方向を定量的に扱うことを可能にした<sup>2)</sup>。ただし、1次根の切断根長と1次根の走向角とは線形関係にはない( $\cos \theta = l/R$ )ため、1次根の切断根長を直接利用したのでは、すべての走向角を妥当に評価したことはならない。そこで、三角関数  $\cos \theta$  を用いて切断根長を走向角に変換する、という改良を加えた<sup>3)</sup>。その結果、個々の1次根の走向角を推定し、根系の方向別の「混み具合」<sup>7)</sup>なども考察できるようになった。

しかし、すでに述べたように、実際には株がある一定の大きさを持つため、走向角を推定できない1次根が少なからずあった<sup>8)</sup>。そこで本研究においてはさらに改良を加え、株の基部の形態を半球形と仮定して補正を行なった(第1図)。その結果、伸長した1次根全体の82%について、その走向角を推定することが可能になった(第2表)。水稻根系を構成する個々の1次根の伸長方向を、的確に、しかも定量的に推定する方法として、この円筒採取法は優れたものといえよう。

#### 2. 1次根の伸長方向に対する窒素施用量の効果

本研究では、窒素施用量を変えて水稻を栽培し、1次根の伸長方向を比較した。その結果、窒素を全く施用しない区を除いて、窒素の施用量が多いほど、横方向に伸長する1次根の割合が低く、反対に、下方向に伸長する1次根の割合が多いことが分かった(第2表, 第2図)。この場合、施用した窒素量が多いほど、穂数、粃数が多く、収量も高くなっている点に注意しておきたい。今回水稻を栽培したのは、1.8×1.8mという小型の実験用コンクリート水田であり、風通しや日当たりなども比較的良く、窒素施用量が多くなることが水稻の生育や収量に対して、プラス条件として作用していたものと考えられる。したがって、この実験結果から、「窒素を多

く施用すると、常に横方向に伸長する1次根の割合が低くなり、また反対に、下方向に伸長する1次根の割合が高くなる」と一般化することは危険である。むしろ本研究の結果は、「水稻の生育が良好で高い収量を上げるような場合には、横方向に伸長する1次根の割合が低くなり、また反対に、下方向に伸長する1次根の割合が高くなる」ことを示唆するものと考えるのが妥当であろう。すでに著者等は、1次根の伸長方向とその組織構造、通導能力との関係について解析を行ない<sup>5,6)</sup>、「茎葉部から根系への光合成産物の転流が少なければ、横方向に伸長する1次根の割合が高く、反対に、転流が多ければ下方向に伸長する1次根の割合が高くなる」のではないかという考え方を提出したが、本実験結果は、この考え方を間接的ではあるが支持するものといえるのではないだろうか。この点については、茎葉部の生育と関連づけて、さらに追究していきたいと考えている。

### 3. 1次根の伸長方向と推定収量との関係

本研究においては、1次根を、走向角別に横方向、斜下方向および下方向に伸長するものの3種類に分け、それぞれの割合と収量との関係について解析を行なった(第3図)。その結果、「10a当り500~600kgまでの収量をあげる水稻においては、横方向に伸長する1次根が重要であるが、さらにそれ以上の高い収量をあげる水稻においては下方向に伸長する1次根が重要である」ことを示唆するデータが得られた。すでに著者等の研究室においては、現地農家水田など150ヶ所から採取した水稻について検討を加え、「約600kg/10aまでは、“うわ根”が重要な役割を果たすが、それ以上の収量を上げるためには、“うわ根”以外の根、とくに下方向に伸長する根が重要であることが推察される」という見解を提出している<sup>4)</sup>。本研究の結果は、一例ではあるが、この考え方をある程度実験的に裏づけるものといえるであろう。

ここで問題となるのは、下方向に伸長する根とは、どのような性質の根であるかということである。すでに著者等は、1次根の直径と走向角との間には、高い正の相関関係があり、直径の大きい根ほど下方向に伸長する傾向が認められることを報告した<sup>6)</sup>。また先にも指摘したように、1次根の走向角と組織構造との関係の解析結果から、下方向に伸長する根ほど通導能力が高いことを推察している<sup>5,6)</sup>。これらのことを総合してみると、収量が高いというこ

とは、直径が大きく通導能力が高い1次根が多数下方向に伸長していることと密接に対応しているのではないかと考えられる。今後水稻の収量の成立に対する根の役割について考えていく場合、根の形態としてはとくに直径に着目して研究を進める必要がある。

本研究において、伸長した1次根の数と粒数との関係についても解析を行なった(第2表)。その結果、伸長した1次根1本に対応する粒数は、処理区によって差はあるが、平均すると約2.3粒であった。著者等は、すでに現地農家水田に栽培された水稻について、伸長根1本に約2粒の粒が対応している例を報告している<sup>9)</sup>。このように、現地と実験水田という異なる条件下で栽培された水稻について、ほぼ一致するデータが得られたことは極めて興味深いことである。今後、収量の成立の問題を根の側から考察していく場合に、ヒントとなる点ではないだろうか。

ただし詳細にみると、栽培条件によって両者の関係は多少変動していた。ここでは、伸長した1次根1本に対応する粒数が最も少ないON区と、最も多い3N区を取り上げ、伸長した1次根のうち、測定可能なものすべてについて直径を測定し、比較を行なった(第4図)。その結果、基部および基部から5cmのいずれ部位においても、ON区より3N区の方が直径が大きく、また直径の減少割合も小さかった。したがって、伸長根1本に対応する粒数の違いは、1つには根の直径に関係していることが推定され、ここでも根の直径の重要性が示唆されたのである。今後、根と収量との関係を研究していく場合には、単に根の数だけでなく、根の長さ、直径、分枝なども考慮に入れ、根の機能を形態と関連させて考察する必要がある。

## 摘 要

窒素施用量を変えて水稻を栽培し、根系の形態をとくに1次根の伸長方向に着目して観察を行ない、これと総粒重との関係について解析を行なった。その結果、以下のことが明らかとなった。

1. 円筒採取法を用いて1次根の伸長方向を推定する場合、株の大きさを考慮にいれるという補正を行なった。その結果、1次根全体の平均約82%についてそれぞれの走向角(土壌表面と1次根のなす角度)を推定することができ、この結果から根系全体の様相をほぼ把握することが可能となった。

2. 窒素を全く施用しなかった場合を除き、施用した窒素の量が多いほど、横方向に伸長する1次根(走向角=0~30度)の割合が減少し、反対に、下方方向に伸長する1次根(走向角=50~80度)の割合が増加する傾向が認められた。

3. 単位面積当りの収量がある一定水準(約500 kg/10 a レベルの玄米収量に相当)に達するまでは、収量が重いほど横方向に伸長する1次根の割合が高かったが、それ以上では、収量が重いほど下方方向に伸長する1次根の割合が高くなった。

4. 窒素施用量が多いほど、伸長した1次根1本に対応する収量は多くなったが、平均すると約2.3粒/本であった。

5. 単位面積当りの収量および伸長根1本当りの収量のいずれにおいても、最も低い値を示したON区(窒素を全く施用しない区)と最も高い値を示した3N区(24 kg/10 a の窒素を施用した区)の1次根の直径を比較すると、1次根の基部においても、基部から5 cm の部位においても、ON区よりも3N区の方が大きかった。また、根軸に沿った直径の減少割合も、ON区よりも3N区の方が小さかった。

## 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. 川田信一郎・副島増夫 1974. 水稻における“うわ根”の形成過程、とくに生育段階に着目した場合の一例. 日作紀 43: 354—374.
3. 川田信一郎・片野 学 1976. 水稻冠根の土壤中における伸長方向について. 日作紀 45: 471—483.
4. 川田信一郎・副島増夫・山崎耕宇 1978. 水稻における“うわ根”の形成量と玄米収量との関係. 日作紀 47: 629—636.
5. 森田茂紀・山崎耕宇・川田信一郎 1983. 水稻冠根の伸長方向と組織構造の関係. 日作紀 52: 551—554.
6. 森田茂紀・山崎耕宇・川田信一郎 1983. 水稻冠根の伸長方向と通導機能の関係. 日作紀 52: 562—566.
7. 森田茂紀・根本圭介・中元朋実・山崎耕宇 1983. 水稻1次根の空間的分布を推定・評価する方法. 日作紀 53(別2): 226—227.
8. 山崎耕宇・森田茂紀・川田信一郎 1981. 水稻冠根の伸長方向と直径の関係. 日作紀 50: 452—456.
9. 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 水田の差異について. 日作紀 53: 320—325.

## Relationships between the Growth Direction of Primary Roots and Yield in Rice Plants

Shigenori MORITA, Akira IWABUCHI and Koou YAMAZAKI

(Faculty of Agriculture, the University of Tokyo, Tokyo 113)

### Summary

The images of whole root system with regard to the growth direction of individual primary roots and their relationships to yield were examined using the improved cylinder sampling method. There was a proportional increase in the percentage of horizontally-growing primary roots with increase in yield up to about 500 g/m<sup>2</sup>. However, with further increase in yield, the proportion of vertically-growing primary roots and the diameter of primary roots became larger.

From above-mentioned results, it is suggested that the vertically-growing primary roots with large diameter are important for higher yield.