

## アワ、キビ、トウジンビエおよびトウモロコシの根系の比較研究

中 元 朋 実・坂 本 晴 一・下 田 和 雄・松 崎 昭 夫

(東京大学農学部附属農場)

平成元年1月30日受理

**要 旨：**アワとキビ、およびトウジンビエとトウモロコシを圃場に栽培し、出穂期の根系を比較観察した。うねに垂直な土壌断面から試料を採取し、パーソナルコンピュータによる画像解析によって直径別の根長を求めた。キビはアワに、トウモロコシはトウジンビエに比べ、それぞれ土壌の深層にいたるまで根長密度が高く、またうねとうね間での根長密度の差が小さかった。すなわちキビとトウモロコシの根系は土壌中に比較的均一に発達していた。単位土地面積当りの根長は種によって5.5～11.1 km/m<sup>2</sup>の変異を示したが、1茎当りの根長は、分けつをまったく発生しないトウモロコシを除けば、アワ、キビ、トウジンビエの3者は類似した値(90～111 m)を示し、根長と茎数との間の密接な関係が示唆された。キビはアワより、トウモロコシはトウジンビエより、直径が0.17 mm以上の根長の割合が高く、根系が相対的に太い根で構成されていた。  
**キーワード：**アワ、キビ、根系、根長密度、トウジンビエ、トウモロコシ。

**Comparative Study of Root Distribution in Four Field Grown Cereals :** Tomomi NAKAMOTO, Seiichi SAKAMOTO, Kazuo SHIMODA and Akio MATSUZAKI (*Experimental Farm, Faculty of Agriculture, the University of Tokyo, Midori-cho 1-1-1, Tanashi, Tokyo 188, Japan*)

**Abstract :** The root systems of four field grown cereals were observed at heading. Foxtail millet (*Setaria italica* Beauv.) and common millet (*Panicum miliaceum* L.) are small-sized, while pearl millet (*Pennisetum typhoideum* Rich.) and corn (*Zea mays* L.) are large-sized. We compared foxtail millet with common millet, and pearl millet with corn. Root length in every 0.17mm diameter class was determined by means of a personal computer assisted measuring system. Root length density (m root length/m<sup>3</sup> soil volume) in deep soil layer was higher and the difference of root length density between under row and under inter-row was smaller in common millet than in foxtail millet, and in corn than in pearl millet. Thus common millet and corn are considered to have relatively uniform and desirable root distribution pattern in the soil. While root length per m<sup>2</sup> soil surface varied from 5.5 to 11.1 km/m<sup>2</sup> in four cereals, root length per stem was similar among foxtail millet, common millet and pearl millet (90—111m), except in corn which had no tillers. This suggests close relationship between root length and number of stems in the field. Common millet and corn had more thick roots (>0.17mm in diameter) than foxtail millet and pearl millet.

**Key words :** *Panicum miliaceum* L., *Pennisetum typhoideum* Rich., Root distribution, Root length density, Root system, *Setaria italica* Beauv., *Zea mays* L.

イネ科作物である雑穀類は、基本的には同一の体制をもち同一の生育秩序にしたがって生長するが、個々の1次根の形態的特徴<sup>13,15)</sup>や伸長方向<sup>11,13)</sup>あるいは葉面積と1次根基部断面積との関係<sup>8)</sup>などにみられる地上部と地下部の量的関係は種によって多様である。これら主として1次根に関する形態的特徴は、土壌中の根系全体の形態にも少なからず影響すると考えられるが、圃場条件下で雑穀類の根系を定量的に比較観察した例はないようである。雑穀類の中でも比較的小型のアワとキビ、大型のトウジンビエとトウモロコシをそれぞれに比較すると、キビはアワに、トウモロコシはトウジンビエに比べて、1次根の直径の大きいものを発生し<sup>13,15)</sup>、1次根の形成が葉面積の展開に比較して優先しているとみられるが<sup>8)</sup>、それら根系の土壌中の分布は、生態的特徴にも関連して興味深いものがある。本研究では、圃場条件下でこれら雑穀類の土壌中の根長密度の分布等、根系の形態的特徴を比較観察し、これらに共通

する特徴と種による固有の特徴を見いだすことを目的とした。

### 材料と方法

アワ (*Setaria italica* Beauv. 品種：虎尾)、キビ (*Panicum miliaceum* L. 品種：信濃1号)、トウジンビエ (*Pennisetum typhoideum* Rich. 品種未詳) およびトウモロコシ (*Zea mays* L. 品種：ゴールドデント1103)の4種を、1988年に東京大学農学部附属多摩農場の圃場に栽培した。耕起前に成分でm<sup>2</sup>当りN 3.0 g, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 4.5 g, K<sub>2</sub>O 4.0 gの化成肥料を土壌の表層に施用し、5月20日に播種した。アワとキビはうねの間隔を0.3 mとし、条播の後間引いて株間約0.05 mとした(67個体/m<sup>2</sup>)。トウジンビエとトウモロコシはうねの間隔を0.7 mとし、株間0.2 mに数粒ずつを点播した後間引いて1個体を残した(7.1個体/m<sup>2</sup>)。出穂の開始日は、アワ8月4日、キビ8月20日、トウジンビエ8月14

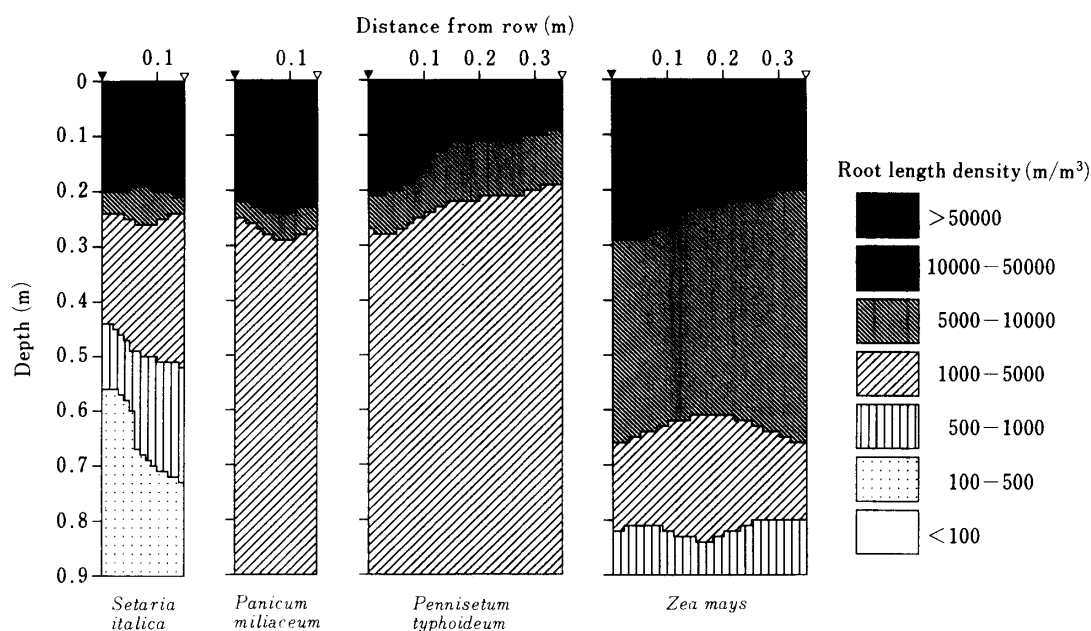


Fig. 1. Root length density on the profile.

Solid triangles show rows, open triangles show interrows.

日、トウモロコシ 8 月 15 日であった。いずれも出穂開始後 7 日目に調査を行なった。なお播種日から調査日までの間の降水量は、それぞれアワ 438 mm、キビ 710 mm、トウジンビエとトウモロコシ 677 mm であった。

調査手順は以下の通りである。深さ約 1 m の塹壕を掘り、うねに垂直な土壌断面から、うね直下（うねから 0 m）およびうね間（アワとキビはうねから 0.15 m、トウジンビエとトウモロコシでは 0.35 m）およびその中間（うねから 0.075 m または 0.175 m）について深さ 0 m から 0.15 m ごとに 0.9 m までの個所計 21 の部位から、直径 0.05 m 容積 0.0001 m<sup>3</sup> (100 cc) の金属性の円筒で土壌を採取した。土壌断面は株の位置を考慮せず任意に設け 4 反復とした。採取した円筒内の根を手作業によって土や粗大有機物から分離し、1% のクリスタルバイオレットを含む 95% エタノールで染色のち、イメージスキャナとパーソナルコンピュータを用いて直径別の根長を測定した<sup>9)</sup>。このシステムでは直径約 0.07 mm 以上の根について、3% 以内の誤差で総根長を測定することができ、また直径については ±0.17 mm の範囲内に 96% 以上の根を正しく分級することができる。根長の測定結果から各測定点における根長密度（単位土壌体積当たりの根長：m/m<sup>3</sup>）を算出した。つぎに、土壌断面における根長密度の分布を推定した。そのためには測定以外の土壌部位における根長密度を補

間によって求める必要がある。そこでうねからうね間までの土壌断面を水平および垂直方向に間隔 0.01 m で格子状に分割し、アワとキビでは 15×90=1350、トウジンビエとトウモロコシでは 35×90=3150 のます目を想定し、各ます目における根長密度を、近傍の 4～6 測定点の根長密度の平均をとることによって算出した。ただし各測定点には距離の自乗に反比例する重みを与えることにした。また得られたます目の値を水平方向に平均することによって根長密度の垂直分布を求め、またます目の総和をとることによって深さ 0.9 m までの総根長を求め、単位土地面積当りの値 (m/m<sup>2</sup>) としてこれを表現した。さらに 21 の測定点の直径別の根長を平均することによって、7 つに分級した直径別の根長割合を求めた。同時に、m<sup>2</sup> 当り茎数（出穂をみたもの茎数）と LAI を測定した。

## 結 果

第 1 図に土壌断面の根長密度を、第 2 図に根長密度の垂直分布を示した。アワとキビを比較してみると、根長密度が 1000 m/m<sup>3</sup> の以上の領域は、キビでは深さ 0.9 m にまで達しているのに対し、アワでは約 0.5 m にとどまっており（第 1 図）、キビのほうが土壌の深層での根長密度が高かった（第 2 図）。また水平方向については、キビではうねからうね間にいたるまで根長密度がほぼ一定であるとみられたが、ア

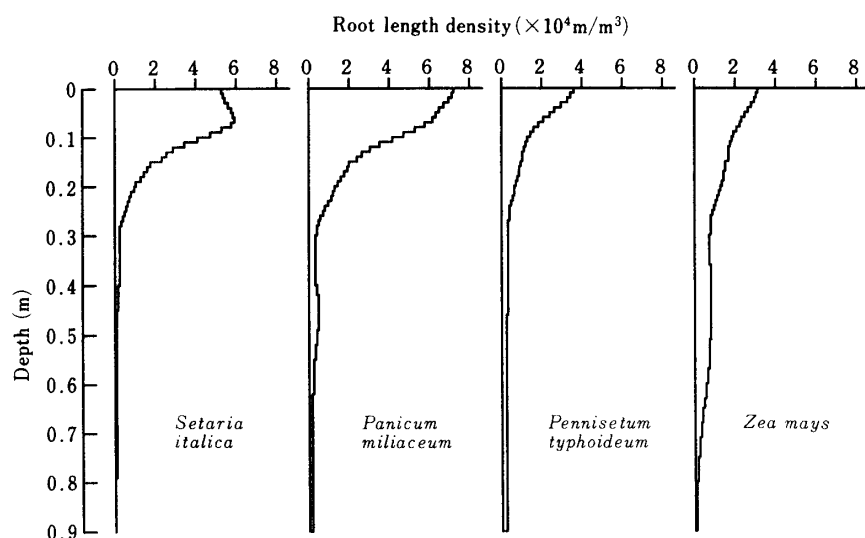


Fig. 2. Vertical distribution of roots.

ワではうね間ではうね下に比べて土壌の浅い層の根長密度が相対的に低く、逆に深層では根長密度が高かった。他方、トウジンビエはトウモロコシに比べて、株の近傍(約0.05 m以内)において高い根長密度を示した(第1図)。しかしながら、トウモロコシでは根長密度5000m/m<sup>3</sup>以上の領域が広く、土壌の深層にいたるまで根長密度が高かった。(第2図)。トウジンビエとトウモロコシではともに、うねからうね間にかけて根長密度が低下したが、この傾向はトウジンビエでやや顕著であった。なお、うねの間隔の広いトウジンビエとトウモロコシではともに、根長密度50000m/m<sup>3</sup>以上の領域がきわめて狭い範囲に限られており、0.1 mまでの浅い土壌層での密度は、うねの間隔の狭いアワやキビに比べて顕著に低かった(第2図)。

単位土地面積当りの根長は、トウジンビエで若干小さく(5.5km/m<sup>2</sup>)、他3者では8.8~11.1km/m<sup>2</sup>であった(第1表)。1茎当りの根長は、分けつをまったく発生しないトウモロコシを除いて、アワ、キビ、トウジンビエの3者に類似した値(90~111 m)が得られた。一方根長とLAIとの比は種によって多様であり、種を通じて一定の傾向を見いだすことができなかった。

直径別の根長についてみると、キビはアワより直径0.17 mm以上の根の割合が高く、トウモロコシはトウジンビエより直径0.17~0.68 mmの根の割合が顕著に高かった(第2表)。なお、小型の雑穀であるアワとキビはともに直径0.34 mm以下の根が全根長の90%以上を占め、トウジンビエとトウモロコシに比

較して細い根が著しく多かった。

## 考 察

本研究では、比較的小型の雑穀であるアワとキビ、大型の雑穀であるトウジンビエとトウモロコシのそれぞれを比較対照しながら、土壌中の根の分布状態を観察した。その結果、キビはアワに、トウモロコシはトウジンビエに比べて、土壌の深層での根長密度が高く、またうねからうね間にかけての根長密度の変化が小さいことが明らかになった。これらの観察結果は、キビとトウモロコシが、それぞれアワとトウジンビエに比較して、土壌の全体にわたって比較的一様な密度の根系を展開していることを示すものであることに注目しておきたい。キビとトウモロコシの根系のこのような特徴は、形態形成学的には、両者が比較的大きな1次根を数多く発生する<sup>13,15)</sup>ことによるところが大きいのではないかと考えられる。なぜならば、直径の大きな1次根は、伸長速度が速く<sup>4)</sup>、土壌中株から遠くにまで伸長することが予想されるのみならず、2次根あるいはさらに高次の分枝根を数多く発生し<sup>14)</sup>、根系の形成に主導的な役割を果たすとみられるからである。キビとトウモロコシがそれぞれアワ、トウジンビエに比較して根系全体に占める太い根の割合が高いこと(第2表)も、このような1次根の特徴に密接に関係した現象ではないかと考えられる。しかしながら雑穀類では、水稻で明らかにされているような1次根の直径と伸長方向との関係<sup>12)</sup>や1次根からの2次根さらに高次の分枝根の発生については未だ不明の点がある。

Table 1. Comparison of morphological characteristics among four cereals.

	<i>Setaria italica</i>	<i>Panicum miliaceum</i>	<i>Pennisetum typhoideum</i>	<i>Zea mays</i>
Total root length ( $\times 10^3 \text{ m/m}^2$ soil surface)	8.8	11.1	5.5	8.9
Number of stems ( $/\text{m}^2$ soil surface)	97	100	61	7.1
Leaf area index	4.5	6.8	7.0	6.4
Root length per stem (m)	91	111	90	1253
Total root length/LAI ( $\times 10^3 \text{ m}$ )	1.9	1.6	0.8	1.4

Table 2. Distribution of percent root length of the four cereals in the root diameter classes.

Diameter (mm)	<i>Setaria italica</i>	<i>Panicum miliaceum</i>	<i>Pennisetum typhoideum</i>	<i>Zea mays</i>
<0.17	72.6	56.9	60.9	32.0
0.17~0.34	22.6	35.3	24.4	44.1
0.34~0.68	4.3	6.1	9.0	19.1
0.68~1.02	0.4	1.4	2.7	2.3
1.02~2.04	0.1	0.2	2.9	1.9
2.04~3.06	—	—	0.1	0.4
>3.06	—	—	—	0.1

多いので、これ以上の立ち入った議論は差し控えておきたい。

圃場で土層別に根長密度を測定したいいくつかの報告から、深さ 0.9 m までの総根長によって単位土地面積当りの根長を試算してみると<sup>1-3,5-7,10)</sup>、トウモロコシでは 5000~15000 m/m<sup>2</sup>、コムギで 3000~12000 m/m<sup>2</sup>なる値がえられた。本報告の値(第 1 表)をもあわせみると、単位土地面積当りの根長は、作物の種類による差が明確でなく、むしろ栽培法や環境等の要因によって容易に変動するとの印象を受ける。また本報告で観察した根の 2 次元的な分布からも明らかなように、単に株下やうね間のみの測定から全根量を推定するのはしばしば大きな誤差をとまうと考えられる。種や環境と単位面積当りの根長との関係を論じるには、さらに広範で精密なデータの蓄積が望まれる。

一方、冬コムギその他のイネ科作物では、1 茎当りの根長が類似した値であることが指摘されている<sup>3)</sup>。本研究においても、分げつをまったく発生しないトウモロコシを除いたアワ、キビおよびトウジンビエの 3 者については、Böhm<sup>3)</sup>が冬コムギについて得た値 (30 m) に比べてかなり大きい値であるが、オーダー的には類似した値 (90-111 m) が得られたことに注目しておきたい。分げつからも 1 次根が多数発生するイネ科作物では、茎の多少が 1 次根の数を通じて根長にも影響する考えられる。また逆に、

群落中の個体間に土壤中の養水分等をめぐって競合が起こるような条件下では、根長が長くなった場合に個体間の競合が激しくなりひいては分げつの発生や生長が抑制されるといった過程を通じて、土壤中の根長が茎数の規定に関与することもありうるのではないかと想像される。以上の考察は推測の域を出るものではないが、雑穀類の根長と茎数の関係には興味深いものがある。

## 引用文献

1. Anderson, E. L. 1988. Tillage and N fertilization effects on maize root growth and root: shoot ratio. *Plant Soil* 108 : 245-251.
2. Barber, S. A. 1971. Effect of tillage practice on corn (*Zea mays* L.) root distribution and morphology. *Agron. J.* 63 : 724-726.
3. Böhm, W. 1978. Untersuchungen zur Wurzelentwicklung bei Winterweizen. *Z. Acker Pflanzenbau* 147 : 264-269.
4. 川田信一郎・石原愛也 1977. 水稻根における根端 (root apex) の大きさ、根端-側根・長 (root apex-lateral distance) および伸長速度の相互関係について. *日作紀* 46 : 228-238.
5. Köpke, U., W. Böhm and TH. Jachmann 1982. Rooting pattern of three winter wheat cultivars in a field and greenhouse experiment. *Z. Acker-Pflanzenbau* 151 : 42-48.
6. Lorens, G. G., J. N. Bennett and L. B. Loggale 1987. Differences in drought resistance between

- two corn hybrids. I. Water relations and root length density. *Agron. J.* 79 : 802-807.
7. Mengel, D. B. and S. A. Barber 1974. Development and distribution of the corn root system under field conditions. *Agron. J.* 66 : 341-344.
8. 中元朋実・山崎耕宇 1988. 雑穀類の栄養器官および通導組織間の量的相互関係, 第4報 葉と根の量的関係. *日作紀* 57 : 666-670.
9. Nakamoto, T. 1989. Development of rooting zone in corn plant. *Japan. J. Crop Sci.* 58 : 648-652.
10. Proffitt, A. P. B., P. R. Berliner and D. M. Oosterhuis 1985. A comparative study of root distribution and water extraction efficiency by wheat grown under high-and low-frequency irrigation. *Agron. J.* 77 : 655-662.
11. Yamauchi, A., Y. Kono and J. Tasumi 1987. Comparison of root system structures of 13 species of cereals. *Japan. J. Crop Sci.* 56 : 618-631.
12. 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との関係. *日作紀* 50 : 452-546.
13. ———・埴山長憲 1982. トウモロコシ根系を構成する1次根の外部形態およびその伸長方向. *日作紀* 51 : 584-590.
14. ———・——— 1983. トウモロコシにおける1次根の直径と2次根の形成. *日作紀* 52 : 59-64.
15. ———・中元朋実 1983. 数種のイネ科作物における地上部の生育と1次根の形成. *日作紀* 52 : 342-348.
-