水稻株の直下土壤層における水稻根の生育の様相 ——その一事例について

川 田 信 一 郎・片 野 学**・山 崎 耕 宇

(東京大学農学部)

昭和54年10月4日受理

先に著者ら³⁾は、水田が湿田から乾田へ移行すると、水稻冠根の伸長方向に差異が生じてくることを明らかにしたが、その場合、土壤中を直下方向に伸長する冠根の生育の様相については、明らかにしなかった。そこで、水稻株の直下の作土および下層土における、冠根ならびに分枝根の生育の様相が如何なるものであるかを知るために、農家の水田で栽培された水稻を用いて、以下の如き観察を行った。ここに報告するところは、その結果の概要である。

観察材料および方法

観察材料は、秋田県雄勝郡羽後町赤袴在の農家の水田で栽培された水稻品種：トヨニシキであった(第1表)。水田の中央部で生育した水稻株の内、平均穂数に最も近似した水稻1株の直下土壤層の土壤モノリス(縦10 cm, 横10 cm および深さ40 cm)を、収穫直前の1973年9月16日に採集した。採集した土壤モノリスは、丁寧に土壤を洗浄しつつ、拡大鏡を用い、土壤表面より深さ7.5, 10.0, 12.5, 15.0, 17.5, 20.0, 22.5, 25.0, 27.5 および30.0 cmの各水平断面に出現した冠根および分枝根の位置を2×2 cmのコードラートに分けて記載した。また、土壤モノリスの採集時に、水田土壤の断面調査を行った。さらに、洗浄した冠根は、FAAで固定した。冠根の内部形態を観察するためには、通常のパラフィン法に従い、厚さ10 μmの横断連続切片を作成し、タンニン酸・塩化第二鉄、サフラニンおよびファストグリーンによる二重染色を行い、観察に供した。

観 察 結 果

* 第165回講演会(昭和53年4月)において概要を報告。

** 現在、岩手大学農学部

1. 水田土壤断面の特徴

土壤モノリスを採集した水田土壤の垂直断面を観察した結果、以下の如きことが明らかになった。

第1表 材料を採集した下橋作太郎氏水田の水稻栽培条件*

管理	播 種 : 1973年4月18および19日, ポリ折衷苗代
移 植	: 5月22および23日, 手植
水管理	: 湛水, 間断灌水, 8月29日落水
施肥 (10 a 当たり)	
基 肥	: 堆肥 500 kg, N 2.7 kg, P ₂ O ₅ 5.4 kg, K ₂ O 4.1 kg
追 肥	: N 4 kg, P ₂ O ₅ 8 kg, K ₂ O 6 kg, 表層施肥
10 a 当たり収量	615 kg

* 農家からの聞き取りによる

第1図 土壤の垂直断面の調査結果

* 山中式土壌硬度計による値。

** 深さ14~24 cm においては礫が出現した。

すなわち、まず、水田土壌は、土壌表面より深さ 40 cm までは、何れも、埴壤土 (SiC) であり、深さ 14 cm から 24 cm の間には、大小の礫が出現した。また、犁床が土壌表面より 16 cm の部位に認められた。土壌表面より深さ 5, 10, 15, 20, 25 および 30 cm における土壌硬度は、それぞれ 4.4, 6.6, 7.3, 15.7, 20.0 および 17.1 (いずれも山中式土壌硬度計の値) であり、作土に比較して、下層土では大となっていた。さらに、犁床上部の作土には膜状の斑鉄が認められ、犁床下部の下層土には管状の斑鉄がみられ、とくに土壌表面より深さ 24 cm 以下の部分においては、管状の斑鉄が著しく発達していた (第 1 図)。

2. 各深さの土壌断面に出現した冠根および分枝根

(1) 冠根の出現数

土壌表面より各深さの水平断面に出現した冠根数を観察した結果、以下の如きことを知った。

すなわち、土壌表面より深さ 7.5, 10.0 および 12.5 cm の各断面に出現した冠根数は、それぞれ、287, 120 および 84 本であり、深さを増すに従って、漸次、減少し、礫が多数出現した犁床 (深さ 16 cm) 直上部分に相当する深さ 15.0 cm の断面に出現した冠根数は 40 本であった。また、犁床下の深さ 17.5, 20.0, 22.5, 25.0, 27.5 および 30.0 cm の各断面に出現した冠根数は、それぞれ、72, 90, 70, 71, 51 および 43 本であり、この場合も、深さを増すに従って、漸次、減少する

第 2 図 土壌表面より各深さの土壌の水平断面に出現した冠根および分枝根の様相 (概略)

○印：冠根、・印：分枝根を示す、A：深さ 7.5 cm, B：10.0 cm, C：12.5 cm, D：15.0 cm, E：17.5 cm, F：20.0 cm, G：22.5 cm, H：25.0 cm, I：27.5 cm, J：30.0 cm。

第3図 水稻株直下土壌層の各水平断面に出現した冠根数および分枝根数

第2表 土壌表面より各深さの断面に出現した冠根数および分枝根数

断面の深さ	冠根数	分枝根数	“分枝根数/冠根数”
7.5cm	287本	1,681本	9.0
10.0	120	1,274	16.3
12.5	84	950	17.4
15.0	40	705	27.1
17.5	72	322	6.9
20.0	90	379	6.5
22.5	70	274	6.0
25.0	71	131	2.9
27.5	51	72	2.2
30.0	43	28	0.7

* 犁床面，土壌表面より深さ 16.0cm

傾向が認められた（第2，第3図および第2表）。

(2) 分枝根の出現数

土壌表面より各深さの水平断面に出現した分枝根注1)数を観察した結果，以下の如きことがわかった。

すなわち，土壌表面より深さ 7.5 cm より犁床に至るまでの 7.5, 10.0, 12.5 および 15.0 cm の各断面に出現した分枝根数は，それぞれ，1681, 1274, 950 および 705 本であり，深さを増すに従って，漸次，減少した。また，犁床下の深さ 17.5, 20.0, 22.5, 25.0, 27.5 および 30.0 cm の各断面に出現した分枝根数は，

注1) 各分枝根の分枝“次元”数は不明であるが，2次根，3次根などを含むと思われる。文献4参照。

それぞれ，322, 379, 274, 131, 72 および 28 本であり，冠根の場合と同様，深さを増すに従って，漸次，減少した。この場合，犁床を境として，分枝根の生育の様相に顕著な差異が認められたのである（第2，第3図および第2表）。

(3) “分枝根数/冠根数”値

土壌中に伸長した冠根における分枝根形成の様相を示す指標として，各断面に出現した冠根1本当たりの分枝根数（“分枝根数/冠根数”値と呼ぶ）について検討した結果，以下の如きことを知った。

すなわち，作土各断面における“分枝根数/冠根数”値は，

下層土各断面における値に比較して著しく大であり，とくに，土壌表面より深さ 10.0, 12.5 および 15.0 cm の各断面における値は大であった（第2表）。

3. 下層土に伸長した冠根にみられた“貫入”現象

水稻株直下土壌層の各断面における水稻根の生育について観察を進めている過程において，以下，述べるが如き興味深い事実を見出した。

すなわち，管状孔隙の発達した下層土（土壌表面より深さ 29~33 cm の部分）において，隣接の異なる株から出根・伸長した冠根が，同一管状孔隙の“管”の中を伸長し，両者の冠根があたかも“合体”するが如き様相を示していたという事実であった（第4図）。

そこで，2本の冠根が“合体”した部分近傍（第4図 A, B, C, D および F）における冠根の横断切片を作成して観察を行ってみた。

その結果，同一の管状孔隙中を，すでに伸長していた冠根(I)の中に，中心柱の構造を異にする他の冠根(II)が“貫入”していたことを知った（第5図 A, B, C, D および F），さらに，冠根のみならず，分枝根もまた“貫入”しているのではないかとということが認められた（第5図 A, C, D および E）。

考 察

水稻株直下土壌層における 10×10×40 cm の土壌モノリスを採集し，水稻根の生育の様相を観察した結果は，以上，述べた如きものであった。以下，一，二，考察を行ってみたい。

第1. 周知の如く、犁床が形成された乾田においては、犁床を境として、作土および下層土における土壌の理化学的性質には、顕著な差異が見出される³⁾。すなわち、まず、土壌表面より深さを増すに従って、土壌は次第に“緻密”になり、土壌硬度が増大する。また、作土には、根株、堆肥などが混在し、湛水条件

第4図 下層においてあたかも“合体”した如き様相を示す冠根

矢印の部分において冠根 (I) 中に冠根 (II) が“貫入”している。図中の A~F は、冠根横断切片の観察に供した部位。

第5図 下層土において、あたかも“合体”した如き様相を示す冠根の横断図

A~F は第4図と対応。E はDの拡大図。矢印は分枝根を示す。A: 冠根 (I), 後生木部道管 II (MXVII) は1本ある。B: 冠根 (II), MXVII は3本ある。C: 冠根の“合体”部分, 冠根 (II) は冠根 (I) の表皮によって包囲されている。D: 冠根 (I), MXVII は1本, 皮層中を2本の分枝根 (矢印) が“貫入”している。E: Dの拡大図。F: 冠根 (II), MXVII は2本ある。

下にある水稻栽培期間中においては、土壌表面より数 mm から 1, 2 cm の部位までの酸化的土層層を除くならば還元状態となる。一方、有機物に乏しく、微生物の酸素消費が少ない下層土層は、水稻栽培期間中においても酸化的である。かくの如く、理化学的に差異を有する作土および下層土における水稻の冠根および分枝根の生育の様相について、詳細に観察し、定量化を試みた研究は、従来、ほとんどなかったといつてよいであろう。すでに記した如く、著者等は、この点に着目して、10×10×40 cm の土層モノリス⁴⁾を現地水田より採集し、土壌表面より深さ 7.5 cm より深さ 30.0 cm に至る各土層断面に出現した冠根および分枝根の出現位置を記載するという方法を用いて、以下の如きことを知ったのである。

すなわち、作土部分に相当する土層の水平断面に出現した冠根数は、下層土の場合に比較して大であり、また、作土部分に相当する土層の断面に出現した分枝根数および冠根 1 本当たりの分枝根数（“分枝根数/冠根数”値）は、下層土の場合に比較して著しく大であった。換言すれば、作土および下層土層における水稻根の生育の様相、とくに、分枝根の生育において、両者の間には、顕著な差異が認められたのであった。が、作土および下層土の、水稻根の生育に、相違をもたらした要因が、土層硬度によるものか、あるいは、土層の化学的性質に由来するものか、等については、今後の研究に待つところが少なくない。

第 2. 根群を構成する冠根の内、一部の冠根は、下層土に伸長していた。この下層土への冠根の伸長という問題について、一言述べておきたい。周知の如く、水田土層は、一般に粗孔隙に乏しく、15~0.1 μm の毛管孔隙が主体であって、直径が 0.1~1.0 mm の範囲にある水稻冠根の下層土への伸長は、土層硬度によって影響されるという瀧嶋ら⁹⁾の見解がある。すなわち、沖積土層で、土層硬度 15（山中式土層硬度計による値）の場合には、冠根の伸長は抑制され始め、土層硬度 23 となると、伸長は完全に抑制されるということである。一方、著者らが、材料を採集した水田土層も沖積土層で、下層土における土層硬度は 15.7~20.0 の範囲であり、冠根の伸長が抑制される値に相当していたといつてよい。しかし、土層断面調査によって明らかにした如く、下層土には、多数の管状の斑鉄および透水等の水の移動と密接な関連をもつ⁵⁾“キュータン”^{注 2)}が多数見出されたのであった。すなわち、冠根が伸長し得る程度の大きさの“小孔”あるいは“割れ目”が下層土に多数存在していたのであり、

この“小孔”あるいは“割れ目”を、あたかも“探索するかの如く”冠根が伸長していたのであった。

以上、述べた如きことは、下層土における分枝根の伸長の場合についても同様に認められたのである。

周知の如く、一般に、土層中においては、ミミズ、アリ、シロアリ等の小動物の残す連続した“小孔”が存在し、また、植物の根群が腐朽した結果、樹枝状を呈する“小孔”、すなわち“channel”と呼ばれているものが存在している¹⁾。かくの如き知見と著者らの観察の結果とを合わせて考えてみると、著者らは、下層土における冠根および分枝根の伸長という問題に対して、土層硬度を第一義とする瀧嶋ら⁹⁾注 3)の見解に、にわかに賛成し難いものがある。すなわち、下層土においては、冠根および分枝根は、土層硬度によって伸長が左右されるが、一方では、かつて伸長した水稻根の“足跡”=“小孔”（3 価鉄あるいは粘土粒子等によって保存されている）あるいは“キュータン”等の“割れ目”等の中を伸長するということであって、下層土における土層構造が冠根の伸長と密接に関連しているということを認めざるを得ないのである。

第 3. 先に、著者ら⁹⁾は、水稻栽培において、高位収穫をあげようとする場合、作土のみならず、下層土に冠根が伸長していくということが重要な条件になるのではないかということを指摘した。以下、下層土に伸長する冠根について、若干、考察を行っておきたい。

周知の如く、上郷ら²⁾は、高位収穫田においては、下層土の条件が良好であるという調査に基づき、理化学的性質を異にする 2 種類の水田土層（長野土層および豊科土層）を用い、作土（土層表面から深さ 15cm）ならびに下層土（深さ 15~45 cm）の組合せを変更して、実験を行っている。その結果、作土の影響も見られるが、下層土として、長野下層土層を充填した区の収量（1 m² 当たりの玄米重、長野作土：646 g、豊科作土：693 g）が、下層土として豊科下層土層を充填した区の収量（長野作土：585 g、豊科作土：560 g）に比較して明らかに勝り、下層土層の理化学的性質の相違が著しい影響を及ぼしたという興味深い事実を報告

注 2) 現地の圃場の鉄、マンガ集積層よりも下の層の構造体表面、孔隙の壁面が灰色化している部分（キュータン）は、構造体内部の灰色化していない部分に比較して、粘土含量には大差はなく、有機物含量が多く、遊離鉄および活性マンガ含量が少なく、微生物数が多い⁷⁾。

注 3) 瀧嶋らは、下層土における分枝根の伸長については観察を行っていない。

している。しかし、残念なことに、上郷らは、これら作土および下層土に伸長した水稻根の生育の様相については、観察を行っていない。しかし、この場合、伸長した冠根は、収穫直前に至るまで、水稻の生育に関与し、稔実に対しても、十分に貢献している、と考えることができるのではあるまいか。

本研究を遂行するに当たり、材料採集に快く御協力下さった秋田県雄勝郡羽後町赤袴在の下橋作太郎氏および大坂隆二氏、さらに土壌断面調査に御協力いただいた東京大学農学部土壌学研究室木村真人氏に対し、謝意を表する次第である。

引用文献

1. BREWER, R. 1974. Fabric and mineral analysis of soils. John Wiley & Sons Inc. N.Y.

- 201.
2. 上郷千春・御子柴 穆 1961. 水稻に対する作土と下層土の影響について. 長野農試研報 **4**: 53—59.
3. 川田信一郎・片野 学・山崎耕宇 1977. 水稻における根群の形態形成について、とくに湿田・乾田に着目した場合の一例. 日作紀 **46**: 261—268.
4. ———— 1977. 水稻冠根の伸長方向並びに分枝根形成に及ぼす水管理の影響. 日作紀 **46**: 543—557.
5. 高井康雄 1974. 水田土壌. 川口他著, 改訂新版土壌学. 朝倉書店, 東京. 178—196.
6. 瀧嶋康夫・佐久間 宏 1969. 土壌の圧縮および硬度が根系の発達ならびに生育におよぼす影響に関する研究. 農技研報告 **B21**: 255—328.
7. 和田秀徳 1978. 水田土壌化作用. 川口桂三郎編, 水田土壌学. 講談社, 東京. 115—132.

The Root System Development of Rice Plants in the Worked- and Sub-soils of an Actual Paddy Field

Shin-ichiro KAWATA, Manabu KATANO*, and KOOU YAMAZAKI

(Faculty of Agriculture, University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo 113)

Summary

The root system development of rice plants grown in the worked- and the sub-soils was investigated in a farmer's paddy field located in Akita Prefecture.

After a soil monolith (10×10 cm with a depth of 40 cm, including a hill of rice plants) had been taken, the crown and lateral roots, which appeared in the 10×10 cm horizontal quadrat made at every 2.5 cm depth from 7.5 to 30.0 cm from the soil surface, were plotted (Fig. 2).

It was found that the numbers of crown and lateral roots appearing in each horizontal quadrat gradually decreased from the depth of 7.5 cm downwards, and that the numbers of roots, especially those of lateral ones decreased markedly in the subsoil.

In the compact subsoil demarcated from the worked-soil by a ploughsole (16 cm depth), both crown and lateral roots seemed to grow along the tube-shaped soil pore, and a case was found in which a crown root as well as lateral roots penetrated into other crown root in the same pore (Figs. 4 and 5).

These findings suggest the importance of soil structure in the compact subsoil for the growth of rice roots.

* Present address: Faculty of Agriculture, Iwate University, Morioka, 020.