

汎用水田において耕起および不耕起栽培したコムギ、ダイズ および水稻の根の垂直分布の解析

小柳敦史*・南石晃明・土田志郎・長野間宏
(農業研究センター)

要旨: 転換畑や田畑輪換など水田の汎用的な利用を前提とした水田営農において不耕起栽培技術の導入が検討されている。そこで、1994 年～1995 年に灰色低地土の水田転換畑の圃場に冬作コムギと夏作ダイズを耕起および不耕起栽培した。また、1995 年～1996 年に泥炭土の水田圃場で冬作にコムギ、夏作に乾田直播で水稻を耕起および不耕起栽培し、それぞれについて根系の調査を行った。各作物の生育の後期または収穫後に改良モノリス法で深さ 30 cm までの土壌を採取して、5 cm 角の立方体に分けて根を洗い出し、ルートスキャナーで根長を測定した。その結果、根長密度はダイズと水稻では深さ 5 cm より浅い層では不耕起区で高く、それより深い層では逆に耕起区のほうが高い傾向にあった。一方、コムギについては全層において不耕起区で根長密度が低く、特に深さ 5～15 cm の層で差が著しかった。これらのデータから根系全体の平均的な深さを示す根の深さ指数 (RDI) を算出した結果、水稻とダイズでは耕起区に比べて不耕起区で値が小さく不耕起栽培による浅根化がみられたが、コムギでは深さ指数に大きな違いはなく、不耕起栽培による浅根化はみられなかった。不耕起栽培したコムギで浅根化がみられなかった理由のひとつとして、冬期間の降水量が少なかったことが考えられる。

キーワード: 乾田直播, コムギ, 根系分布, 水稻, ダイズ, 根の深さ指数 (RDI), 不耕起栽培。

作物の不耕起栽培は焼畑農業などで古くから行われてきたが、近代的な不耕起栽培技術はアメリカ合衆国やイギリスなどで開発され、1970 年以降広く普及した (金沢 1995)。不耕起栽培は主に農耕地からの土壌の流亡を防ぐために行われる場合が多いが、土壌の物理性の適正な管理や作物生産における省力化にも有効である (ラッセル 1981)。日本では古くから山陽地域で水稻とコムギの二毛作田において不耕起栽培が行われてきたが (江口・平野 1971)、その他の地域でも水田には耕うんに困難をとまなう土壌が多い (土壌物理研究会 1979) ことに加え作物生産の省力化が求められていることから、各地で不耕起栽培の導入が検討されている。

耕起は雑草の制御や作物種子の出芽の安定化を主目的として行われるが、土壌の物理化学性や生物性的変化にともなう作物の生育収量や根系の発達にも大きな影響を与える (番場・大久保 1979, Lal 1989)。しかし、これまでの不耕起栽培における根系の調査は多くが畑圃場において行われており、水田圃場では最近になって水稻の根の調査報告 (金田 1992, 濱田ら 1994, 北野ら 1995, 在原ら 1996, 小出・高松 1996) が多くなってきたもののダイズ (長野間ら 1991, 濱田 1993) やコムギに関する根の調査報告 (金田 1995) は少ない。

現在の日本では、多くの水田が水稻だけでなく畑作物の栽培に用いられるなど汎用的に利用されている。このためダイズは栽培面積の約 7 割にあたる 5 万 ha 程度が水田転換畑で栽培され、コムギでも作付け全体の約 6 割にあたる 12 万 ha 前後が水田転換畑または水田裏作として汎用水田で栽培されている。これに伴い水稻作においては跡地が容

易に畑地化する省力的な不耕起乾田直播栽培が注目されている。そこで、汎用水田を中心とした営農現場へ不耕起栽培が普及することを想定して、茨城県つくば市にある農業研究センターの灰色低地土の水田とこれとは土壌型が異なる茨城県稲敷郡新利根町の泥炭土の水田圃場において不耕起栽培を行い、作物の根の分布を耕起栽培の場合と比較した。なお、根の垂直分布の解析は根系の平均的な深さを示す根の深さ指数 (Oyanagi ら 1993, 小柳 1998) を計算して行った。

材料と方法

1994 年～1995 年に茨城県つくば市にある農業研究センター観音台地区の 30 a の水田転換畑の試験圃場で冬作にコムギ、その後作にダイズを耕起および不耕起栽培した。また、1995 年～1996 年に茨城県稲敷郡新利根町太田新田営農組合が所有する 60 a の水田圃場で水稻を栽培し、近接する同じく 60 a の水田転換畑で冬作にコムギを耕起および不耕起栽培した。つくば市と新利根町はたがいに約 30 km の距離にあり、つくば市の圃場は細粒灰色低地土 (HC) を盛土した造成水田で窒素肥沃度が比較的高く、新利根町の圃場は泥炭土 (CL) に砂を客土したもので、深さ 15 cm 以下の下層土の pH が 5 程度と低いのが特徴である。

播種は 3 作物とも共通に農業研究センターで開発した汎用型不耕起播種機 (長野間ら 1996) を用いて行った。この播種機はダイズの不耕起播種機をベースにして試作されたもので、イネ、ムギ、ダイズを耕起および不耕起条件で条播することができる。ダイズでは深さ 10 cm、イネとム

ギでは深さ 3 cm の播種溝を切りその中に播種していく。また、施肥の機構がついており播種と同時に施肥を行うことができる。不耕起区は前作収穫後に全て汎用型不耕起播種機により条間 30 cm で播種し、耕起区は前作収穫後にロータリで 12~13 cm の深さで耕起して整地した後、一部を除いて汎用型不耕起播種機で条間 30 cm で播種した。なお、泥炭土の圃場のコムギの耕起区は営農作業上の理由からドリルシーダを用い、条間は 17 cm とした。

1. 灰色低地土の圃場における栽培条件

(1) コムギ

1994 年 11 月 15 日~1995 年 6 月 15 日につくば市の灰色低地土の水田圃場でコムギ品種バンドウワセを栽培した。不耕起区、耕起区ともに 3 a とし、試験区の反復は設けなかった。不耕起区は本試験開始の 1 年半前に通常の水稲移植栽培を行った後、不耕起でコムギ、不耕起でダイズを栽培した後の不耕起 3 作目である。耕起区はロータリで 12~13 cm の深さに耕起した後、整地した。目標播種量を 200 粒 m^{-2} として播種し、両区とも 180 個体 m^{-2} 程度 (平均株間約 2 cm) の苗立を得た。不耕起区、耕起区ともに施肥は播種と同時に行い、窒素、リン酸およびカリを各 14% 含む化成肥料で 10 a あたり各成分 6 kg となるように土壌の表面に施用した。なお、踏圧など通常の栽培管理を行い、2 月上旬に硫酸で 10 a あたり窒素 2 kg 相当分を表面追肥した (第 1 表)。登熟期の 5 月 17 日に各区 3 カ所ずつ計 6 カ所について根系の調査を行った。

(2) ダイズ

上述の灰色低地土の水田圃場で 1995 年 6 月 22 日~10 月 26 日にダイズ品種タチナガハを栽培した。不耕起区、耕起区とも 1 区 5 a で各処理 2 区ずつを交互に配置した。不耕起区は前述のように不耕起でコムギを栽培した後作の不耕起 4 作目である。不耕起区、耕起区ともに施肥は窒素を 5%、リン酸およびカリを各 20% 含有する化成肥料を用い、10 a あたり窒素 3 kg、リン酸およびカリ各 12 kg の割合で播種と同時に土壌表面施用を行った (第 1 表)。20

個体 m^{-2} を目標にして播種し、不耕起区は 17.4 個体 m^{-2} 、耕起区は 16.7 個体 m^{-2} (平均株間約 20 cm) の苗立を得た。生育期の管理は通常通り行ったが、中耕培土は行わなかった。根系の調査を収穫期の 10 月 26 日に各区 2 カ所、計 8 カ所で行った。

2. 泥炭土の圃場における栽培条件

(1) コムギ

1995 年 11 月 9 日~1996 年 6 月 19 日に新利根町の泥炭土の水田圃場でコムギ品種バンドウワセを栽培した。60 a の水田転換畑圃場の半分を試験に用い、不耕起区を 10 a、耕起区を 20 a とし、試験区反復は設けなかった。不耕起区の前作は通常の水稲移植栽培で、コムギ作は不耕起初年目である。耕起区はロータリで 12~13 cm 耕起した後、ドリルシーダにより条間 17 cm で播種した。不耕起区はリン酸を 20%、カリを 15% 含有する化成肥料を用い 10 a あたりリン酸 8 kg、カリ 6 kg の割合であらかじめ土壌の表面に施用しておき、窒素は播種時に緩効性肥料と硫酸 (LP50 により窒素成分の 80%、硫酸で残り 20%) で 10 a あたり窒素 6 kg 相当分を播種溝の中に施用した。また、追肥を硫酸で 10 a あたり窒素 6 kg 相当を 2 回に分けて土壌表面に施用した。耕起区は窒素、リン酸およびカリ各 14% を含有する化成肥料で 10 a あたり各成分 8 kg を耕起前に施用し、追肥は硫酸で 10 a あたり窒素 4 kg 相当分を土壌表面に施用した (第 1 表)。目標播種量を 200 粒 m^{-2} として播種し、苗立数は両区とも 170 個体 m^{-2} 程度となった。生育期間中、踏圧など通常の栽培管理を行った。根の調査は生育の後期にあたる 5 月 28 日に各区 1 カ所、計 2 カ所とした。なお、生育中期にあたる節間伸長期の 3 月 21 日に同様の方法で予備的な根の調査を行った。

(2) 水稲

1996 年 4 月 23 日~9 月 21 日に上述の圃場に隣接する泥炭土の水田圃場で水稲品種キヌヒカリを乾田直播栽培した。60 a の水田圃場のうちの 33 a を用い、このうち不耕起区を 3 a、耕起区を 30 a とし、試験区反復は設けなかつ

第 1 表 供試作物の栽培概要。

試験区		面積 a	施肥量 kg 10a ⁻¹		窒 素 肥 料	基肥施肥位置		
			窒素	リン酸		窒素	リン酸	
灰色低地土の圃場								
コムギ	不耕起	3	6+2	6	化成	表面	表面	
	耕起	3	6+2	6	化成	表面	表面	
ダイズ	不耕起	10	3	12	化成	表面	表面	
	耕起	10	3	12	化成	表面	表面	
泥炭土の圃場								
コムギ	不耕起	10	6+6	8	LP・硫酸	溝内	表面	
	耕起	20	8+4	8	化成	全層	全層	
水 稲	不耕起	3	8	8	LP	溝内	表面	
	耕起	30	8	8	LP	溝内	全層	

LP: 緩効性肥料。+: 追肥量。カリ肥料の施用量などその他の詳細は本文中に記載。播種期は灰色低地土の圃場ではコムギが 1994 年 11 月、ダイズが 1995 年 6 月、泥炭土の圃場ではコムギが 1995 年 11 月、水稲が 1996 年 4 月。

た。不耕起区は試験開始の2年前から水稻の不耕起乾田直播が行われており、不耕起3作目である。不耕起区、耕起区とも耕起および播種の前にリン酸を20%、カリを15%含有する化成肥料を用い、10aあたりリン酸8kg、カリ6kgを散布した。窒素施肥は播種と同時に緩効性肥料(LP40を30%、LPS100を70%の割合で混合したもの)を用いて10aあたり窒素8kg相当分を播種溝の中に施用した(第1表)。目標播種量を 150 粒 m^{-2} とし、不耕起区で 69 個体 m^{-2} (平均株間約5cm)、耕起区で 108 個体 m^{-2} (平均株間約3cm)の苗立を得た。通常の栽培管理を行ったが、中干しは行わなかった。根系の調査は収穫後の10月12日に各区とも3カ所、計6カ所について行った。

3. 根の調査方法

改良モノリス法で個体を中心にして条方向へ5cm、条間方向へ左右各15cm、計30cmの 150 cm^2 にあたる部分の土壌を深さ30cmまで採取した。この面積はコムギおよび水稻では1~2個体の占有面積に相当し、ダイズでは1個体の占有面積の約1/4の面積であった。採取した土壌を位置別、深さ別の5cm角の立方体36個に分けた。根を洗い出しやすくするためにそれぞれに水を加えて $70\sim 80^\circ\text{C}$ で1分程度加熱(Murakamiら1990)した後、1.8mm目のストレイナーとピンセットを用いて土壌や植物の残さから根を分離させて回収した。ルートスキャナー(Comair Ltd)で根長を測定し、乾燥して秤量した。各位置の根長密度のデータを深さ別にまとめて、以下のようにして根の深さ指数(Oyanagiら1993, 小柳1998)を算出した。すなわち、根の深さ指数 $=\{(\text{深さ}0\sim 5\text{ cmの根長割合, \%})\times 2.5\text{ cm}+(\text{深さ}5\sim 10\text{ cmの根長割合, \%})\times 7.5\text{ cm}+(\text{深さ}10\sim 15\text{ cmの根長割合, \%})\times 12.5\text{ cm}+(\text{深さ}15\sim 20\text{ cmの根長割合, \%})\times 17.5\text{ cm}+(\text{深さ}20\sim 25\text{ cmの根長割合, \%})\times 22.5\text{ cm}+(\text{深さ}25\sim 30\text{ cmの根長割合, \%})\times 27.5\text{ cm}\}/100$ 。このようにして求めた根の深さ指数は根系の平均的な深さを示してい

る。また、すべての層の根量をまとめて圃場面積当たりの根長および根乾物重を算出した。

結 果

1. 気象および土壌条件

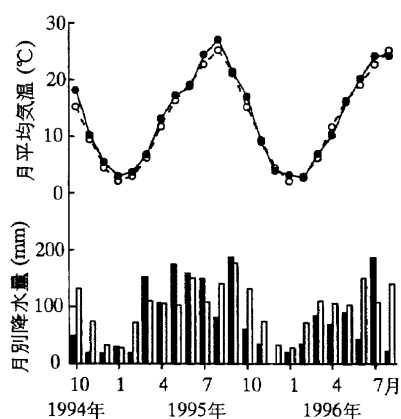
試験期間中の気象条件を第1図に示した。1994年10月~12月および1995年10月~1996年6月までの冬期~春期にかけて、気温はほぼ平年並みに推移したが、降水量は平年に比べて少なかった。供試圃場の土壌の硬度を貫入式抵抗計(大起理化製貫入式土壌硬度計)を用いて測定した結果を第2図に示した。貫入抵抗値は灰色低地土で $0.5\sim 2.5 \text{ MPa}$ 、泥炭土で $0.5\sim 2.0 \text{ MPa}$ の範囲にあった。灰色低地土の圃場では深さ0~15cm、泥炭土の圃場では深さ0~10cmの浅い層で不耕起区のほうが土壌は硬く、それより深い層では両区ほぼ同等か逆に耕起区の土壌が硬かった。

2. 灰色低地土の圃場における結果

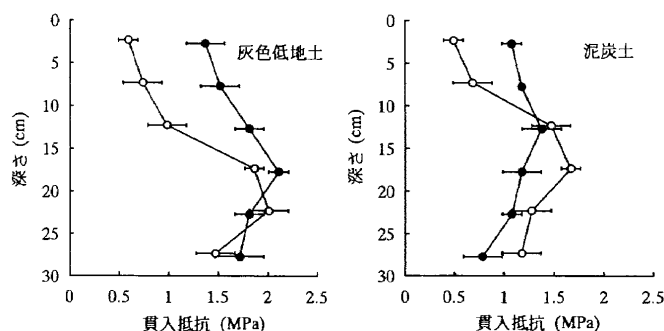
(1) コムギ

コムギは順調に生育し、坪刈りにより求めた子実収量は不耕起区が 600 g m^{-2} 、耕起区が 663 g m^{-2} で収穫期の地上部全乾物重も不耕起区の方が若干小さかった。圃場面積あたりの根乾物重は、不耕起区が 50.1 g m^{-2} 、耕起区が 84.4 g m^{-2} で、不耕起区は耕起区の59%であった。また、不耕起区の圃場面積あたりの根長は耕起区の43%と少なかった。なお、不耕起区の根長/根乾物重比は耕起区に比べて小さく、不耕起区のほうが平均的な根の太さは太かったと推定できた(第2表)。

不耕起区では深さ0~5cmの根長密度が比較的高かったが、深さ5cmの線を境にしてそれより深い層では根長密度が急激に減少した。耕起区では深さ0~15cmの層の根長密度が高く、この範囲内では根長密度は深さとともに直線的に減少したが、深さ15cmの線で根長密度が急激に減少し、それより深い層ではほぼ一定値を示した。両区



第1図 試験年と平年の月別の平均気温と降水量。農業環境技術研究所の観測データ(つくば市)。●:試験年の平均気温, ○:平年の平均気温, ■:試験年の降水量, □:平年の降水量。



第2図 供試圃場における深さ別の土壌硬度。貫入抵抗計を用いて調べた結果を深さ別にまとめた。●:不耕起区, ○:耕起区。各4カ所測定の前値土標準誤差。灰色低地土の圃場はコムギの播種前、泥炭土の圃場は水稻の播種前にそれぞれ測定した。

第2表 不耕起および耕起栽培したコムギ、ダイズおよび水稻の根長、根乾物重、根長/根乾物重比および地上部乾物重。

試験区		根 長 km m ⁻²	根 長 %	根 重 g m ⁻²	根長根重比 m g ⁻¹	地上部重 g m ⁻²
灰色低地土の圃場	コムギ	不耕起	6.10±0.76	43	50.1	122
		耕起	14.25±0.22	100	84.4	169
	ダイズ	不耕起	2.21±0.20	97	64.8	34.1
		耕起	2.27±0.24	100	63.4	35.8
泥炭土の圃場	コムギ	不耕起	8.91	62	122	73.0
		耕起	14.47	100	171	84.5
	水稻	不耕起	15.27±3.17	127	165	92.1
		耕起	12.02±1.67	100	124	96.8

根長は圃場面積あたりの数値で平均値±標準誤差 (n=2 または n=3)。泥炭土の圃場のコムギの根の調査には反復がない、根長の相対値は耕起区に対する割合。根重は圃場面積あたりの根乾物重、根長根重比は根長を根乾物重で除した値、地上部重は地上部乾物重。調査は登熟期以降または収穫期に行った。

を比較すると、いずれの深さでも不耕起区に比べて耕起区の根長密度が高かったが、特に深さ 0~15 cm の比較的浅い層で両区の差異が顕著であった。根系の平均的な深さを示す根の深さ指数は不耕起区が 8.86 cm、耕起区では 8.39 cm であり、不耕起区の値は耕起区の 106% となった (第3図上段)。

(2) ダイズ

坪刈り収量は不耕起区が 329 g m⁻²、耕起区が 380 g m⁻² であり、収穫期の地上部全乾物重も不耕起区の方が小さかった。根の採取はダイズ 1 個体の占有面積より小さいために根量が過大に評価され、厳密には圃場面積あたりの根量を算出することはできなかったが、単純な比例計算で

圃場面積当たりの根乾物重および根長を試算した結果、不耕起区と耕起区との差異は小さく、両区とも乾物重は 63~65 g m⁻²、根長は 2.2~2.3 km m⁻² の範囲にあった。なお、根長/根乾物重比は不耕起区が 34.1 m g⁻¹、耕起区では 35.8 m g⁻¹ であり、根の平均的な太さは不耕起区の方が若干太かったと推測できた (第2表)。

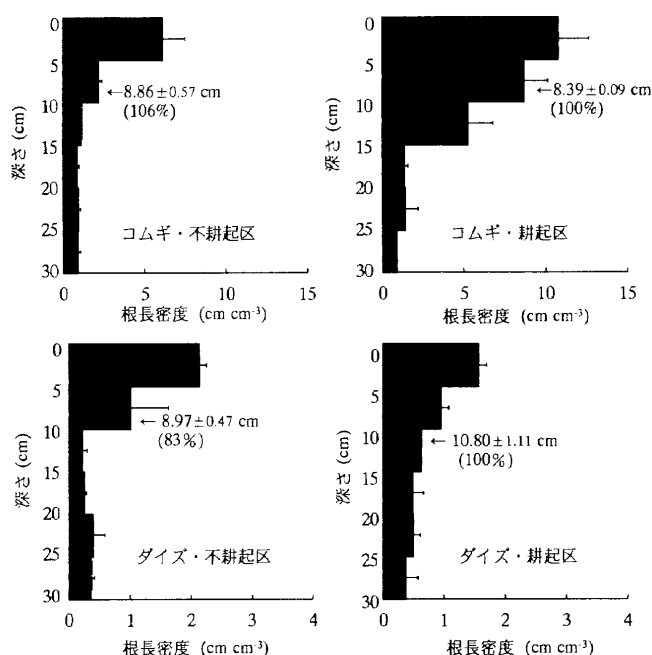
不耕起区では深さ 0~10 cm の層の根長密度が高かったが、根長密度は深さ 10~20 cm の層でいったん低くなり、深さ 20~30 cm の層で若干高くなった。耕起区では根長密度は深さ 0~5 cm の層で高かったが、深さとともにゆるやかに減少した。両区で根長密度の値を比較すると深さ 0~5 cm の浅い層では不耕起区の値が大きく、深さ 5~10 cm と深さ 20~30 cm の層では不耕起区と耕起区が同程度で、深さ 10~20 cm の層では不耕起区のほうが値が小さかった。計算された根の深さ指数は耕起区が 10.80 cm であったのに対し、不耕起区は 8.97 cm であり、不耕起区における根系の平均的な深さは耕起区の 83% であった (第3図下段)。

3. 泥炭土の圃場における結果

(1) コムギ

不耕起区では茎数の増加が少なく、有効茎歩合が高かったが、子実収量は不耕起区が 627 g m⁻²、耕起区が 624 g m⁻² でほとんど差がみられなかった。また、収穫期の全乾物重は耕起区が 1530 g m⁻²、不耕起区が 1384 g m⁻² で、耕起区のほうが若干大きかった。圃場面積あたりの根乾物重は、不耕起区が 122 g m⁻²、耕起区が 171 g m⁻² で不耕起区は耕起区の 71%、同様に不耕起区の根長は耕起区の 62% であった (第2表)。

不耕起区では根長密度が深さ 0~5 cm の層で高く、深さ 5 cm の線で急激に低くなったが、それより深い層では深さによる根長密度の変化は比較的少なかった。一方、耕起区では浅い層ほど根長密度が高かったが、深さにとっても根長密度の減少程度は直線的であった。両区を比較する



第3図 灰色低地土の圃場におけるコムギとダイズの深さ別の根長密度。コムギは3カ所、ダイズは2カ所の平均値±標準誤差。図中の矢印の位置と数字は根の深さ指数の平均値と標準誤差で、括弧内の数値は根の深さ指数の耕起区に対する割合を示す。

と、深さ 0~5 cm の根長密度には大差はなかったが、深さ 5~15 cm の層の根長密度は耕起区に比べて不耕起区で著しく少なかった。このように両区で根の垂直分布は大きく異なったものの計算された根の深さ指数は不耕起区、耕起区とも 11.02 cm で両区等しかった (第 4 図上段)。なお、生育中期の 3 月 21 日に予備的に行った調査では、圃場面積あたりの根長は 5~6 km m⁻² 程度であったが、この時の根の深さ指数は不耕起区が 10.34 cm, 耕起区は 10.59 cm で、生育後期と同様に処理区間差がほとんどみられなかった (図省略)。

(2) 水稻

玄米収量は不耕起区が 578 g m⁻², 耕起区が 589 g m⁻² であり、収穫期の地上部全乾物重も不耕起区の方が若干小さかった。圃場面積あたりの根乾物重は不耕起区では 165 g m⁻², 耕起区が 124 g m⁻² であった。また、圃場面積あたりの根長は不耕起区で 15.27 km m⁻², 耕起区で 12.02 km m⁻² で不耕起区の方が根量は多かった (第 2 表)。

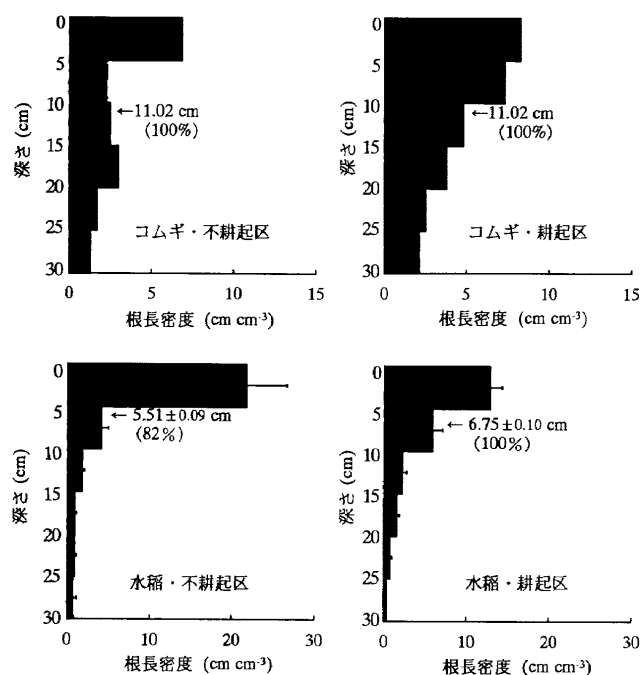
不耕起区の根長密度は深さ 0~5 cm の層で著しく高く、深さ 5 cm の線で大きく減少し、それより深い層においても根長密度は深さとともに減少した。耕起区でも深さ 0~5 cm の層の根長密度が高かったが、根長密度は深さとともにゆるやかに減少した。両区を比較すると、深さ 0~5 cm の層の根長密度は不耕起区で高く、深さ 5~30 cm の層では両区に大差なかった。根系の平均的な深さを示す根の深さ指数は不耕起区が 5.51 cm, 耕起区で 6.75 cm と計算された (第 4 図下段)。

考 察

これまでの試験から不耕起直播水稻 (人見 1976, 長期不耕起栽培圃場研究グループ 1994, 濱田ら 1994, 北野ら 1995, 小出・高松 1996) や不耕起移植水稻 (高橋 1993, 在原ら 1996) で浅い層の根量が多くなる例が報告されている。さらに、水田転換畑でダイズを不耕起栽培すると根が浅い層に多くなりやすい (濱田 1993) ことも示唆されている。本試験もダイズと水稻ではこれらの報告と同様の傾向を認めた。しかし、コムギでは不耕起栽培において浅い層での根量の増加が認められなかった。これは本試験を行った関東平坦部では冬期に降雨が少なく、試験年もコムギの栽培期間中の冬期~春期に降水量が極めて少なかったことと関係があるのではないかと考えられた。すなわち、乾燥した土壌では根がより下向きに伸びることが知られている (Nakamoto 1993) ため、不耕起区でも生育の初期から中期にかけて根系の骨格が深く形成されたものと推測できる。さらに、コムギの分枝根の生長には土壌水分が関係している (森田・奥田 1994) ことがわかっているため、不耕起栽培したコムギで浅い層の根量が増加しなかった理由のひとつに分枝根の水分反応をあげることができるかもしれない。

一方、秋田県大潟村の低湿重粘土の汎用水田における調査事例では、水稻 (金田 1992), コムギ (金田 1995) およびダイズ (長野間ら 1991) を不耕起栽培すると耕起栽培に比べて根が浅い層だけでなく、深い層でも増加すると報告されている。これは不耕起栽培の継続により根成孔隙 (金田 1995) が発達し、耕起区で発生した土壌の強還元状態が緩和されたためとみられている (金田 1992, 長野間ら 1991)。また、山陽地域において不耕起栽培を長期にわたって継続した例でも比較的深い層で水稻の根量が多くなったことが報告されている (長期不耕起栽培圃場研究グループ 1994)。本試験では、コムギ、ダイズ、水稻のいずれでも深さ 5 cm の線より深い層においては耕起区に比べて不耕起区で根量が少なかったが、これは本試験に用いた圃場では土壌の透水性が比較的高く、耕起区で土壌が強還元状態にならなかったことに加え、不耕起継続年数が比較的短かったため、不耕起区での根成孔隙の発達が少なかったためと考えられる。

本報告のように、水田圃場において根系の深さの平均値を数値化して耕起と不耕起条件で比較した報告は他にはみられないが、畑圃場においては一般的に不耕起栽培を行うと通常の耕起栽培に比べて土壌の浅い層で根量が多くなり、深い層で根量が少なくなる (Lal 1989) ことから、一般的には不耕起栽培により根系の平均的な深さは浅くなるといわれている。本試験でも根系の平均的な深さを示す根の深さ指数はダイズと水稻において不耕起栽培で小さくなった。しかし、コムギにおいては不耕起栽培で根量が少なくなり根系の垂直分布の様相が大きく変化しているにもか



第 4 図 泥炭土の圃場におけるコムギと水稻の深さ別の根長密度。コムギは反復なし、水稻は 3 反復の平均値±標準誤差。図中の矢印の位置と数字は根の深さ指数の平均値と標準誤差で、括弧内の数値は根の深さ指数の耕起区に対する割合を示す。

かわらず根の深さ指数には大差がなく、不耕起栽培による浅根化はみられなかった。このように両区の根の深さ指数の相対的な関係が作物間で異なったのは、生育期間中の土壌水分が異なっていたことに加え、一般的な栽培条件下でも根量や根の分布に種間差があり (Yamaguchi and Tanaka 1990)、土壌の硬度に関する根の伸長反応 (三好 1972, 飯嶋ら 1994) にも作物間で差がある (田中丸ら 1998) ためではないかと考えられた。

不耕起栽培が根の垂直分布に与える影響が作物間で異なることが分かったため、汎用水田における作物の栽培管理において多様な対応が可能になる。例えば、不耕起栽培において追肥位置を考える場合、ダイズと水稻では浅い層に根が多くなるため、土壌の表面に施用するほうが施肥効率が高くなり、不耕起栽培のコムギでは浅い層の根量の増加が著しくないため、土壌中に施用するほうが施肥効率が高くなるかもしれない。また、不耕起栽培による浅根化で、水稻では株の倒伏抵抗が小さくなり、ダイズでは乾燥などの水ストレスで生育が不安定になる可能性を指摘することができる。耕起が作物の根の分布に及ぼす影響は土壌や気象条件により変化するため、本試験の結果を必ずしも一般化して考えることはできないが、本試験の結果はラッセル (1981) のいう不耕起栽培における作物の生育の特徴を帰納的に解析するためのひとつの材料になると思われる。

謝辞: 研究にご協力いただいた太田新田営農組合 (篠田二郎組合長) と気象観測データを使わせていただいた農業環境技術研究所にお礼申し上げます。また、東京大学大学院農学生命科学研究科の阿部淳氏から不耕起移植水稻の根系に関して、農業研究センターの辻博之氏から不耕起畑作物の根系に関して有益なご助言をいただきました。

引用文献

- 在原克之・斉藤幸一・深山政治 1996. 水稻の不耕起および簡易耕起栽培法. 第2報 不耕起移植の継続に伴う生育・収量の変化. 日作関東支報 11: 36—37.
- 番場宏治・大久保隆弘 1979. 畑作物の根系分布と収量との相互関係. 第1報 畑水稻の根系分布に対する耕耘法の影響. 日作紀 48: 463—469.
- 長期不耕起栽培圃場研究グループ 1994. 長期不耕起直播田の土壌及び水稻栽培の実態調査. 農業技術 49: 251—256.
- 土壌物理研究会 1979. 土壌の物理性と植物生育. 養賢堂, 東京. 55—150.
- 江口久夫・平野寿助 1971. 稲麦二毛作田における耕起・不耕起の組合せが小麦の収量および土壌物理性に及ぼす影響. 日作紀 40: 203—208.
- 濱田千裕 1993. ダイズ不耕起播種技術の開発と栽培の安定化. 一愛知県における試験研究を中心として. 日作紀 62: 470—474.
- 濱田千裕・中嶋泰則・関稔・井澤恭彦・澤田恭彦・井深武夫 1994. 細粒黄色土地帯における水稻の不耕起直播栽培について. 1. 愛知農総試式播種機を用いた栽培技術. 日作東海支部報 117: 15—19.
- 人見進 1976. 水稻の不耕起直播栽培法の確立に関する基礎的研究. 岡山農試臨報 68: 1—50.
- 飯嶋盛雄・正村智子・河野恭廣 1994. 作物根の圧縮土壌ストレス耐性の評価. 1. 29種のイネ科・マメ科作物主軸根の直径と伸長性. 日作紀 63(別2): 135—136.
- 金沢晋二郎 1995. 持続的・環境保全型農業としての不耕起栽培. 畑作物の収量と土壌の特性. 土肥誌 66: 286—297.
- 金田吉弘 1992. 低湿重粘土汎用水田における水稻の不耕起及び部分耕移植栽培. 農業技術 47: 215—219.
- 金田吉弘 1995. 不耕起栽培における土壌管理と水稻根. 根の研究 4: 47—51.
- 北野順一・山中聡子・生杉佳弘 1995. 不耕起直播水稻の根系発達経過と移植水稻との差異. 日作東海支部報 119: 1—2.
- 小出俊則・高松美智則 1996. 不耕起乾田直播における根系分布. 日作東海支部報 122: 3—4.
- Lal, R. 1989. Conservation tillage for sustainable agriculture: Tropics versus temperate environments. Adv. Agron. 42: 85—197.
- 三好洋 1972. 根群発達の良好な土壌条件からみた畑地の有効土層の検討. 畑土壌生産力分級のための指標の再検討と千葉県畑土壌の生産力分級 (第1報). 土肥誌 43: 92—97.
- 森田茂紀・奥田浩之 1994. 土壌水分条件がコムギ幼植物の根の生育, とくに種子根の分枝に及ぼす影響. 日作紀 63: 418—422.
- Murakami, T., Y. Terada, Z. Yazaki and T. Yoneyama 1990. Fractionation method for the determination of the root length of field-grown wheat. Soil Sci. Plant Nutr. 36: 683—687.
- 長野間宏・児玉徹・金田吉弘・山谷正治 1991. 耕起方法が低湿重粘土汎用水田の土壌物理性に及ぼす影響. 土壌の物理性 62: 43—52.
- 長野間宏・深澤秀夫・田坂幸平・南石晃明・小柳敦史・吉田治男・染谷隆司・井上豊 1996. 汎用型不耕起播種機の改良と稲・麦・大豆への適応性. 農作業研究 31(別1): 115—116.
- Nakamoto, T. 1993. Effect of soil water content on the gravitropic behavior of nodal roots in maize. Plant and Soil. 152: 261—267.
- Oyanagi, A., T. Nakamoto and M. Wada 1993. Relationship between root growth angle of seedlings and vertical distribution of roots in the field in wheat cultivars. Jpn. J. Crop Sci. 62: 565—570.
- 小柳敦史 1998. 深さの定量化による作物根系の新しいとらえかた. 日作紀 67: 3—10.
- ラッセル, R.S. 1981. 作物の根系と土壌. 田中典幸訳. 農文協, 東京. 315—366.
- 高橋能彦 1993. 水稻不耕起移植栽培におけるペースト側条施肥の肥料利用率と稲体の窒素吸収特性. 土肥誌 64: 681—684.
- 田中丸重美・林田慎一・望月俊宏・古屋忠彦 1998. 圧縮土層への種子根・主根の貫入および貫通の作物種間差について. 日作紀 67: 63—69.
- Yamaguchi, J. and A. Tanaka 1990. Quantitative observation on the root system of various crops growing in the field. Soil Sci. Plant Nutr. 36: 483—493.

Analyses of the Vertical Distribution of Roots in Wheat, Soybean and Rice in Tilled and Non-tilled Multipurpose Paddy Fields : Atsushi OYANAGI*, Teruaki NANSEKI, Shiro TSUCHIDA and Hiroshi NAGANOMA (*Natl. Agr. Res. Cent., Tsukuba 305-0856, Japan*)

Abstract : Wheat and soybean were grown in an upland field converted from a paddy of gray lowland soil in Ibaraki, Japan in 1994–1995. Wheat and rice were also grown in multipurpose paddy fields of peat soil in 1995–1996. Non-tilled and tilled plots were prepared and wheat was sown in autumn. Soil monoliths, 30 cm in width, 5 cm in thickness and 30 cm in depth, were sampled during the late growth stages of the crops. The soil monoliths were divided into 5 cm cubes. Roots were washed and cleaned with water, and lengths measured with a root length scanner. Root length density of 0–5 cm in the depth layer was large in non-tilled fields of soybean and rice. Wheat in the non-tilled field had a smaller root length than that in the tilled field. Root length density of 5–15 cm in the depth layer was relatively small in the non-tilled wheat field. The root depth index (RDI), which showed mean root depth in a root system, was calculated from these data. The RDI of soybean and rice was small for the non-tilled field and large for the tilled field. However, the RDI of wheat was almost the same in both non-tilled and tilled fields. It may be caused by small amount of precipitation in winter.

Key words : Direct sowing, Distribution of roots, Non-tilled cultivation, Rice, Root depth index (RDI), Soybean, Wheat.
