

火山性土壌畑におけるラッカセイ、トウモロコシ、ダイズの根系に及ぼす不耕起栽培の影響

辻 博之¹⁾・山本泰由¹⁾・松尾和之²⁾・臼木一英¹⁾

1) 農業技術研究機構, 2) 国際農林水産業研究センター

要旨: ラッカセイ、トウモロコシ、ダイズを不耕起および慣行耕起した畑に栽培し、その根量・分布と根系を構成する根の構造を調査し、不耕起栽培における根系発達について検討した。本試験は 1992, 1993, 1994 年に農業研究センター（茨城県つくば市）の淡色黒ぼく土畑で実施した。耕起法が作物の根系分布に及ぼす影響は深さ 20cm 程度までの層で顕著に認められ、それより深層の根量には大きな違いが認められなかった。ダイズでは他の作物に比べて耕起方法の影響が顕著で、不耕起区では慣行耕起区に比べて深さ 0~10cm の根長密度が増加し、10~20cm では減少したため、根の深さ指数は有意に小さくなった。不耕起区のダイズ不定根は、その伸長角度が鉛直軸に対して大きくなり、側根が多数発生したため、土壌表層 10cm における根量増加が顕著であったと考えられた。一方、ラッカセイでは不定根発達が貧弱であったことが、また、トウモロコシでは根伸長角度が鉛直軸に対して小さく、深さ 10cm より下方まで根が到達したことが、不耕起栽培に伴う根の深さ指数低下を小さくした要因であると考えられた。これらから、黒ぼく土畑における不耕起栽培が土壌表層の根量増加に及ぼす影響はひげ根型根系の作物では小さく、主根型根系の中でも不定根の発達が旺盛なダイズで大きいものと判断された。

キーワード: 不耕起栽培, 根系分布, 根の深さ指数, 根伸長角度, ラッカセイ, トウモロコシ, ダイズ.

圃場の耕耘を全く行わないか、播種・施肥溝を形成する程度の土壌攪拌しか行わない、いわゆる不耕起栽培はエロージョン防止や投入労働力とエネルギーを節減する技術として注目されており、収量性の面でも国内の火山性土壌では慣行耕起とほぼ匹敵するという研究例が報告されている（小川ら1988, 伊藤ら1994）。不耕起栽培では、播種溝を作る以外に土壌をほとんど攪拌、反転せず、作物残さなどは表面に堆積する。そのため、慣行耕起に比べて、固相率の増加、保水力の増大、養分・有機物の偏在などが起こるといわれている（Phillips and Phillips 1984）。そしてそれらの土壌環境変化が作物に対して直接的に影響を及ぼすのは、じかに土壌と接する根系であると考えてよいであろう。

ところで、不耕起栽培では根系が浅くなり、深層からの養水分の獲得に不利な面があると一般に考えられている。不耕起栽培では表層土壌の緊密化により土壌の固相率、仮比重や貫入抵抗が増大し（Heard *et al.* 1988, Hill and

Montalvo 1990, Nakamura 1988, 野々山 1981, Roth *et al.* 1988), 機械的抵抗の増加や空隙率低下にともなう酸素不足は根系の発達を一般に抑制することが知られており、実際に不耕起栽培や簡易耕により深層の根の密度が低下しているという報告もある（Hilfiker and Lowery 1988）。しかし、不耕起栽培した作物の地上部生育が慣行耕起と同等以上の地上部の生育を示した場合には、不耕起栽培した作物の深層の根量は必ずしも減っておらず（Anderson 1987, Hundal and Datta 1984, 辻2000）、深層の根量が耕起法によって変化する作物と変化しない作物があることを報告している例もある（Maurya and Lal 1980, Newell and Wilhelm 1987, 小柳ら1998）。また、根系を調査した事例はトウモロコシやコムギなどのイネ科作物に多く、その他の作物では少ないため、作物根系に及ぼす耕起方法の影響がすべての作物で一様であるかについては、十分に検討されているとは言えない。従って、根系に及ぼす耕起方法の影響についての情報を

集積する必要がある。また、もしも不耕起栽培において根系発達が抑制され、養水分獲得面で不利になるとすれば、不耕起栽培の利点を残しつつ根系を深層まで伸長させるなどの、改善技術を検討していく必要があるが、それには耕起省略にともなう根系の変化に関する詳細な情報が必要と思われる。

そこで、本報ではラッカセイ (*Arachis hypogaea* L.), トウモロコシ (*Zea mays* L.), ダイズ (*Glycine max* Merr.) を用いて、不耕起栽培が根系の発達に及ぼす影響について、根の深さ指数 (RDI) による分布の評価を行うとともに、バスケット法等により根系分布に関与すると予想される根の構成と伸長角度に及ぼす不耕起の影響を検討し、不耕起による根系の変化の実態解明と、作物間比較を試みた。

材料と方法

1. 栽培方法

試験は 1992, 1993 および 1994 年に、農業研究センター (現農業技術研究機構; 茨城県つくば市) の淡色黒ぼく土畑で実施した。試験前年の秋に、深さ 25cm の反転耕を行い、麦類を栽培した跡地に地上部残さを持ち出した後に不耕起区と慣行耕起区を 2 反復で設けた。不耕起区の播種は幅・深さともに 5cm 程度の播種溝を整形して行った。慣行耕起区では深さ 15cm のロータリ耕を 2 回行った後、不耕起区と同様の方法で播種した。両区とも播種直後にグリホサートと、アラクロール・リニュロン散布による雑草制御を行い、中耕除草は行わなかった。栽培年と栽培方法の概要等は表 1 に示したとおりである。

表 1 栽培方法の概要

年次	作物名	供試品種	播種日	施肥量 (g・m ⁻²)			栽植密度 (本・m ⁻²)	畦間 (cm)	株間 (cm)
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
1992	ラッカセイ	ナカテユタカ	5月21日	3	10	10	8.3	60	20
1993	トウモロコシ	XL25-A	5月17日	16	16	16	4.2	60	40
1993	ダイズ	ユメユタカ	5月17日	3	10	10	11.1	60	15
1994	トウモロコシ	XL25-A	5月18日	8	8	8	4.2	60	40
1994	ダイズ	ユメユタカ	5月18日	3	10	10	11.1	60	15

肥料は全量基肥で両耕起区ともに播種後土壌表面に散施した。

2. 根系調査法

各作物の根の採取は図 1 に示した方法で行った。採取した土壌を篩 (mesh No.32) 上で洗浄後、残ったものから根を選別分離し、採取した根はルートスキャナー (Comair 社) で測定し、根長密度 (根長÷根を採取した土壌の体積) を算出した。また、根の深さ指数 (RDI: 根系調査した各土層の深さの中心と根長密度を加重平均して求めた根の中心位置) は Oyanagi

ら (1993) の方法で求めた。さらに、各作物の根系を構成する根の構造と伸長角度を次のような方法で解析した。ラッカセイは、1992 年 9 月上旬に株の周囲約 10cm を深さ 20cm まで各区 12 個体ずつ掘りとり調査した。調査対象は不定根および主根から発生した一次側根の長さで、そこから発生した 2 次以上の側根長である。トウモロコシとダイズの調査は 1994 年にバスケット法 (中元と辻 1998) を用いて、バスケット内の種子根、節根 (以上トウモロコシ)、不定根、一次側根 (以上ダイズ) を対象に行った (図 2)。調査に用いたバスケットは網目の間隔が約 5mm、上部直径 32cm、高さ 14cm のほぼ半球形のものを用いた。バスケットは慣行耕起区では試験当分の耕起後に上部がおおむね水平になるよう圃場に埋設し、不耕起区では試験前年の冬作の耕起後に慣行耕起区と同様の方法で埋設し、麦類を栽培した後試験に用いた。トウモロコシとダイズはバスケットの中央に設けた深さ 3cm 程度の穴に播種し、トウモロコシでは第 8 葉展開期に、ダイズでは莢肥大期にそれぞれ 8 個体をバスケットの周囲 2~3cm の土壌とともに掘り出し、根系を動かさないように土を洗浄した後、根の発生した深さと、バスケットを通過した深さから、根が鉛直軸に対して取る角度 (根伸長角度) を求めた。また、これらの根長と、そこから発生した側根長を測定した。

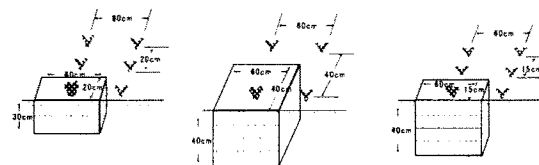


図 1 各作物の根長密度を調査した位置

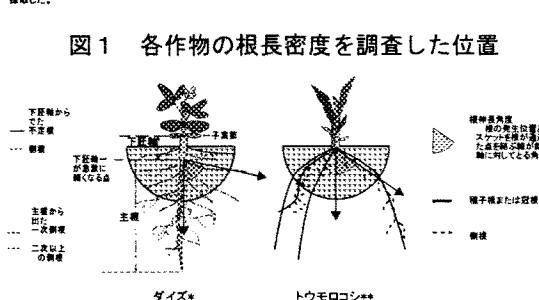


図 2 バスケット法による根系の調査方法。

* ダイズでは下胚軸が急に細くなった点を根の基部とみなし、その点を境に子葉節側を下胚軸、逆側を主根として、それらから発生した根をそれぞれ不定根、一次側根とした。ラッカセイも同様に分類した。

** トウモロコシでは種子から最初に出た太い種子根を初生種子根、種子近傍から発生した根をその他の種子根、茎から発生した根を節根とし、それらの根から発生した根を一次側根とした。

3. 土壌物理性と地上部生育の調査.

土壌の物理性については表層土壌を 100ml 容採土管に採取し、土壌の三相分布と仮比重を求めた。また、DIK-5520 貫入式硬度計を用いて、土壌貫入抵抗値を測定した。上記の測定は各区 12 点ずつ計測した。作物の地上部生育量は根系調査時に 1 区あたり 8 個体採取し、乾物重を求めた。

結果

1. 土壌の物理性

表層土壌の三相分布と仮比重を表 2 に、土壌の貫入抵抗を図 3 に示した。不耕起区の深さ 16cm までの土壌はいずれの年も慣行耕起区に比べて固相率と仮比重が大きく、気相率はおおむね低かった。また、不耕起区の 1~6cm の液

表 2 表層土壌の仮比重と三相分布

年次・作物	耕起法	深さ	仮比重	気相率	液相率	固相率
			g・cm ⁻³	cm ³ ・cm ⁻³	cm ³ ・cm ⁻³	cm ³ ・cm ⁻³
1992 年	慣行耕起	1~6cm	0.66	0.362	0.378	0.260
		11~16cm	0.67	0.297	0.436	0.267
ラッカセイ	不耕起	1~6cm	0.73**	0.247**	0.462**	0.291**
		11~16cm	0.74**	0.243**	0.462	0.294**
1993 年	慣行耕起	1~6cm	0.70	0.307	0.414	0.279
		11~16cm	0.69	0.287	0.437	0.276
トムモロコシ	不耕起	1~6cm	0.80**	0.203**	0.477*	0.321**
		11~16cm	0.75*	0.248	0.459	0.293*
1994 年	慣行耕起	1~6cm	0.69	0.285	0.441	0.274
		11~16cm	0.71	0.255	0.463	0.282
トムモロコシ	不耕起	1~6cm	0.79**	0.204**	0.484**	0.312**
		11~16cm	0.77**	0.213**	0.478	0.309**

調査は 1992 年が 7 月 22 日 (直近の降雨: 4 日前 9mm), 1993 年が 6 月 10 日 (前日 11.5mm), 1994 年は 6 月 21 日 (前々日 28.5, 前日 6mm) に行った。

*、**は慣行耕起区と不耕起区との間にそれぞれ 5%、1% 水準で有意な差があることを示す。

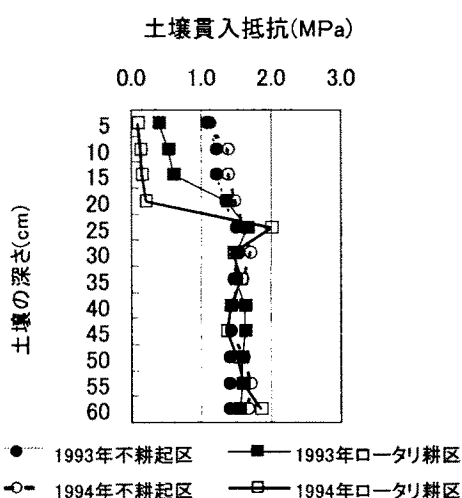


図 3 土壌貫入抵抗値に及ぼす耕起法の影響

1993 年は 8 月 4 日, 1994 年は 8 月 30 日に調査。

相率は慣行耕起区に比べて高い傾向が認められた。土壌の貫入抵抗も深さ 20cm までには不耕起区が慣行耕起区を上回ったが、それ以下の層では明瞭な差は認められなかった。

2. 生育期間の気象条件と作物の生育量

表 3 に根系調査日、播種後 2 週間の降水量、播種から調査までの降水量および平均気温、根系調査時の根を除いた作物の乾物重を示した。播種後 2 週間は 1993 年の降水量がやや少ないが、他の試験年は適度な降雨があった。播種から調査までの降水量は 1993 年には平年より多く、1992 年と 1994 年では少なかった。また、平均気温は 1992 年と 1993 年はほぼ同じであるが、1992 年には 6、7 月がやや低く、1993 年には 7 月以降が低かった。不耕起区ではすべての作物で初期生育が旺盛になる傾向が認められたが、本試験の根系調査時期には 1994 年のダイズを除いて両耕起区間に明らかな差は認められなかった。

表 3 播種後 2 週および根系調査日までの降水量、平均気温と調査時の乾物重

年次	作物名	根系調査日 ¹⁾	播種後 2 週		播種から調査日		作物乾物重 (g ²⁾)	
			降水量 (mm) ²⁾	平均気温 (°C) ²⁾	不耕起	慣行耕起		
1992	ラッカセイ	8 月 6 日	288	20.6	211	217		
1993	トムモロコシ	8 月 13 日	9	448	20.0	1390 1390		
1993	ダイズ	8 月 13 日	9	448	20.0	294 280		
1994	トムモロコシ	7 月 28 日	174	22.3	403	391		
1994	ダイズ	7 月 28 日	174	22.3	264*	193		

- 1) 根系調査の時期は、1992 年はラッカセイ開花期 4 週間後、1993 年はトムモロコシ絹糸抽出期 2 週間後、ダイズ開花期 3 週間後、1994 年はトムモロコシ絹糸抽出期、ダイズ開花期 1 週間後にあたる。
- 2) つくば市館野高層気象台の観測資料より集計。
- 3) ラッカセイは茎葉および莢、子房柄重、トムモロコシ、ダイズは全地上部重 (n=2)。

3. 根長密度と根の深さ指数 (RDI)

作物の根長密度と RDI を表 4 に示した。

1) ラッカセイ

根長密度は深さ 0~3cm では慣行耕起区より不耕起区でやや低く、6~9cm では逆に不耕起区でやや高く、9~12cm では再び不耕起区で低くなるが、全体に耕起の違いによる差は小さく、RDI にも両耕起間で有意差が認められなかった。

2) トムモロコシ

1993,94 年ともに深さ 0~10cm の根長密度が慣行耕起区より不耕起区で明らかに高く、10~20cm では有意差はないものの逆転する傾向を示した。それより下層の根長密度には両耕起間の差が認められなかった。RDI は両年ともに不耕起区で若干小さい傾向を示したが、有意差は認められなかった。

3) ダイズ

1993,94年ともに深さ0~10cmの根長密度が慣行耕起区より不耕起区で高く、10~20cmでは逆転した。20cmより下層の根長密度は1993年には不耕起区で低く、1994年には両耕起間の差がほとんど認められなかった。RDIは両年ともに不耕起区で有意に小さくなった。

表4 作物の根長密度と根の深さ指数

(a) ラッカセイ				
根長密度 (cm ³ ・cm ⁻³)	1992			
	不耕起	慣行耕起		
深さ(cm)				
0~3	0.1±0.0	0.3±0.1		
3~6	0.5±0.0	0.5±0.0		
6~9	1.0±0.1	0.8±0.1		
9~12	1.1±0.1	1.5±0.2		
12~15	1.2±0.1	1.2±0.1		
15~30	0.6±0.0	0.6±0.1		
平均 0~30	0.7±0.0	0.7±0.1		
根の深さ指数(cm)	15.2±0.2	14.8±0.3		

(b) トウモロコシ				
根長密度 (cm ³ ・cm ⁻³)	1993		1994	
	不耕起	慣行耕起	不耕起	慣行耕起
深さ(cm)				
0~10	2.4±0.2*	1.8±0.2	4.1±0.3*	3.1±0.3
10~20	1.4±0.2	1.6±0.1	2.2±0.7	2.4±0.2
20~30	1.5±0.3	1.7±0.2	1.5±0.1	1.4±0.1
30~40	1.3±0.1	1.3±0.0	1.0±0.1	0.8±0.2
平均 0~40	1.6±0.2	1.6±0.2	2.2±0.4	1.9±0.2
根の深さ指数(cm)	17.7±0.6	18.8±0.8	14.4±0.3	14.9±0.2

(c) ダイズ				
根長密度 (cm ³ ・cm ⁻³)	1993		1994	
	不耕起	慣行耕起	不耕起	慣行耕起
深さ(cm)				
0~10	2.0±0.1**	1.6±0.1	1.8±0.1**	1.1±0.1
10~20	1.0±0.1**	1.5±0.1	0.6±0.1**	1.0±0.2
20~30	0.5±0.0*	0.7±0.1	0.5±0.0	0.6±0.0
30~40	0.4±0.1**	0.7±0.0	0.3±0.0	0.3±0.0
平均 0~40	1.0±0.1	1.1±0.1	0.8±0.1	0.8±0.1
根の深さ指数(cm)	13.1±0.8**	16.0±0.2	12.9±0.7*	15.0±0.6

平均値±標準偏差で表示した。

*, **は慣行耕起区と不耕起区との間にそれぞれ5%, 1%水準で有意な差があることを示す。

4. 不定根および側根の発達と根伸長角度

1) ラッカセイ

不定根の長さは不耕起区、慣行耕起区ともに短く、そこから発生する側根は少なかった(表5)。主根から発生する側根長には両耕起間に差が認められず、ラッカセイの根系に及ぼす耕起の影響はほとんど認められなかった。なお、調査した中に主根・下胚軸のねじれ等の伸長異常が両区ともに2個体ずつ認められ、これらの個体では、側根の発達が他の個体に比べて

抑制される傾向が認められた。

表5 耕起法がラッカセイの不定根および側根発達に及ぼす影響。

発生部位		不耕起	慣行耕起
下胚軸 ¹⁾	不定根長 ³⁾	(m・plant ⁻¹) 0.3±0.3 ⁵⁾	0.6±0.6
	不定根+側根長	(m・plant ⁻¹) 0.5±0.6	0.8±0.7
主根 ²⁾	一次側根長 ⁴⁾	(m・plant ⁻¹) 5.3±1.2	6.1±1.6
	全側根長	(m・plant ⁻¹) 12.7±2.9	14.0±2.8

- 1) 子葉節と下方に伸長した主軸が急に細くなる部位の間を下胚軸とした。
- 2) ここでは1)に記した境より下の主軸を主根とした。
- 3) 下胚軸及び茎から発生した根(不定根)の長さ。
- 4) 主根から発生した全一次側根の長さ。
- 5) それぞれの値は平均値±標準偏差で示した。

2) トウモロコシ

種子根および節根から発生した側根は、慣行耕起区に比べて不耕起区で長い傾向を示した(表6)。また、初生種子根以外の種子根(種子の近くから出る全ての根)と第1葉節から発生した節根の根伸長角度は、慣行耕起区に比べて不耕起区で有意に大きかった。なお、主根の伸長停止が慣行耕起区で1個体認められ、その個体では初生種子根以外の種子根と節根の発達が他の個体に比べて旺盛であった。

表6 耕起法がトウモロコシの根の発達と伸長角度に及ぼす影響

根の種類	測定項目	不耕起	慣行耕起
初生種子根 ¹⁾	一次根長 ²⁾	(cm・plant ⁻¹) 19±2*	16±1
	側根長 ⁴⁾	(m・plant ⁻¹) 6.0±2.6	3.5±1.1
	伸長角度 (対鉛直軸rad)	1.1±0.1	1.0±0.1
その他の種子根 ²⁾	一次根長	(cm・plant ⁻¹) 107±21	89±24
	側根長	(m・plant ⁻¹) 4.5±1.2	3.3±2.0
	伸長角度 (対鉛直軸rad)	1.3±0.1**	1.0±0.0
第1葉節	一次根長	(cm・plant ⁻¹) 76±13	67±6
	側根長	(m・plant ⁻¹) 3.5±1.0	2.3±1.1
	伸長角度 (対鉛直軸rad)	1.1±0.1**	0.9±0.1
第2葉節	一次根長	(cm・plant ⁻¹) 79±16	58±15
	側根長	(m・plant ⁻¹) 3.6±1.3	2.3±0.9
	伸長角度 (対鉛直軸rad)	1.1±0.1	1.0±0.1

それぞれの値は平均値±標準偏差で示した。

- 1) 種子から最初に発生した一本の種子根のことを指す。
- 2) 初生種子根を除く、種子近傍から発生した全ての根のことを指す。
- 3) 種子または節から発生した根(種子根または節根)の長さの合計。
- 4) 根から発生した根(側根)の長さの合計。

*, **は慣行耕起区と不耕起区との間にそれぞれ5%, 1%水準で有意な差があることを示す。

3) ダイズ

不定根(下胚軸が急激に細くなる位置より子葉側から出た根)から発生した側根は慣行耕起区に比べて不耕起区で長い傾向を示し、不定根の根伸長角度は不耕起区で大きかった。主根

から発生した側根長、全側根長、根伸長角度は両耕起区間で差が認められなかった(表7)。なお、調査した中に主根の屈曲が両耕起区ともに1個体ずつ認められ、それらの個体では主根の屈曲部より先端では高次側根を発生させる側根の発達が抑制されるのに対し、不定根は他の個体に比べて多く、多くの側根を発生させていた。

表7 耕起法がサイズの側根発達と根伸長角度に及ぼす影響

発生部位	項目	不耕起	慣行耕起
下胚軸	不定根長 (m-plant-1)	2.6±0.5	2.9±0.8
	不定根+側根長 (m-plant-1)	11.3±2.0*	7.9±2.5
	根伸長角度 (対鉛直軸 rad)	1.4±0.1**	1.3±0.1
主根	一次側根長 (m-plant-1)	2.7±0.6	2.8±0.6
	全側根長 (m-plant-1)	5.9±2.1	5.1±1.9
	根伸長角度 (対鉛直軸 rad)	1.3±0.1	1.3±0.1

それぞれの値は平均値±標準偏差で示した。
 下胚軸と主根の区別は表5に付した方法と同様。
 *, **は慣行耕起区と不耕起区との間にそれぞれ 5%, 1%水準で有意な差があることを示す。

考 察

ラッカセイ、トウモロコシおよび1994年のダイズでは、今回の調査中最も深層の根量が不耕起区と慣行耕起区でほぼ同じか、不耕起区で多かった。これらから、本試験の範囲では、これら3作物の深層における根系発達は不耕起栽培により必ずしも抑制されるとは限らないものと判断される。一部の個体で主根や初生種子根の伸長が妨げられる現象が認められたが、そのような場合を除けば、耕起省略に伴う根系の変化とは、土壌の比較的表層で顕著に現れる現象であり、その深さは本試験の範囲では地表面からおおよそ15~20cm程度までと判断された。過去の研究例では、トウモロコシの根量は不耕起あるいは簡易耕栽培すると表層で増加するという報告があり(Barber 1971, Anderson 1987), Anderson (1987)はその理由として簡易耕栽培による表層土壌の肥沃化をあげている。また、不耕起栽培では主に作物残さの表層被覆により、土壌水分の保持力を高める。高い土壌水分含量はトウモロコシの種子根および節根の伸長角度を水平に近くする(Nakamoto 1993)ことが報告されており、本試験の不耕起区でダイズとトウモロコシの不定根および節根の伸長方向が水平に近くなる現象と、それらから発生する側根および2次側根の増大には、耕起省略に伴う表層土壌の肥沃化や土壌水分保持力の向上が影響を及ぼしたものと推測され、これらが深さ

10cmまでの根長密度増加の要因になったものと考えられる。一方、本試験では20cmより深層では土壌貫入抵抗値に両耕起区間の差が小さいことから、この層まで主根や節根が到達すれば、それより下方での根系発達が抑制される理由は小さいものと考えられる。

根系の構成、不定根の発達程度および各根の伸長角度は、慣行耕起区においても作物により異なり、これを標準の根系と考えた場合、仮に不耕起条件が根の伸長角度や側根の発達に同程度の影響を及ぼしても、その結果である根系分布の変化は、作物により異なると考えられる。本試験で認められた耕起法にともなうRDIの変化は、主に深さ20cmまでの根系分布の変化の結果であるが、その変化の程度には作物間差が認められ、その差は以下のような各作物の根系の構成、不定根の発達程度および伸長角度の違いにより現れたものと考えられる。不耕起区のRDIが慣行耕起区に比べて有意に小さくなったダイズと小さな減少に止まったトウモロコシでは、前者が深さ10~20cmの根長密度が慣行耕起区に比べて不耕起区で著しく減少したのに対して、後者は比較的小さな減少に止まったという違いがある。これは、トウモロコシの種子根や節根の根伸長角度はダイズの不定根に比べて小さく鉛直に近いため、不耕起栽培によって根伸長角度が多少大きくなっても、トウモロコシでは10cm以下の層まで根が容易に到達するのに対して、ダイズでは深さ10~20cmの層まで不定根が到達できなくなったためと推察された。また、ラッカセイはダイズに比べると不定根の発達が極めて貧弱で、不耕起で栽培しても不定根とその側根の発達は旺盛にならず、極浅い層の根量がほとんど増加しなかったため、深さ15cmまでの根系分布が大きく変わらずRDIの変化が小さかったものと考えられた。

また、本試験では少ないながらも主根や初生種子根の伸長停止や屈曲、ねじれ等が両耕起区で観察された。ダイズやラッカセイのような直根型作物では、不定根や主根基部から発生する一次側根の伸長角度は鉛直軸に対して大きく、深層への根系発達を左右するのは1本の主根であると考えられる。不耕起栽培では土壌表層に土壌貫入抵抗が大きい層があり、出芽時期にこの層の抵抗が大きいと主根の伸長停止や変形する率が高まり、下層の根長密度低下を引き起こす原因となることが報告されている(関ら2001)。本試験の不耕起区表層の土壌貫入抵抗は1.1~1.4Mpa程度であり、波多野(1996)の総説にある根の伸長を抑制または停止させる土壌

硬度にあたり、また、抵抗値は土壌の乾燥により増大する可能性がある。1994年のバスケット法を用いた調査では不耕起区と慣行耕起区で主根の伸長停止や変形が同程度認められたことから、火山灰土壌では不耕起栽培が主根の伸長異常を常に引き起こすことはないと考えられる。しかし、最下層の根長密度が不耕起区で有意に減少した1993年のダイズの出芽直後は降雨が少なく、貫入抵抗が高かったと推測され、主根型根系の作物では生育初期の条件次第で深層への根の発達が生試験の結果以上に抑制される可能性も否定できない。これに対して、ひげ根型の根系を持つイネ科作物では、種子根の他に初期に発生する節根が深層まで伸びることがAraki *et al.* (2000)の研究で明らかになっている。土壌の貫入抵抗は均一ではなく、また、土壌水分条件でも抵抗値は変化するため、不耕起区の緊密化した表層土壌の中にも貫入抵抗が小さい部分や時期が存在すると考えられる。深層へ伸びる根が1本の主根型根系に比較して、深層に到達しえる複数の根が異なる時期に発生するひげ根型根系の作物のほうが、不耕起区の緊密層の抵抗が小さい部分や時期に、根が下層に伸長しえる機会が多いと考えられる。

また、土壌の緊密化にともなう空隙率の低下は、湿潤な土壌条件では酸素不足による根系発達抑制の要因となりうる。森と小川(1968)は10作物の根の伸長が抑制され始める気相率について報告しているが、その値はキャベツの24%~水稲、イタリアンライグラスの10%程度であり、多くの畑作物は15~20%程度である。本試験の不耕起区の気相率は降雨の翌日で20%程度であり、長期間の酸素不足が根の発達に悪影響を与えたとは考えにくく、火山灰土壌の普通畑では特に酸素を要求する作物でない限り、不耕起栽培でも酸素不足を心配する必要は小さいものと判断して良い。

以上より、火山灰土壌畑における不耕起栽培は作物根系の側根発達を旺盛にし、根伸長角度を鉛直方向に対して大きくし、慣行耕起栽培に比べて浅い土壌層に根を張るため、表層の根長密度が大きくなるが、ひげ根型根系をもつイネ科作物では土壌乾燥時の養水分吸収に重要な役割を果たすと考えられる下層の根長密度への耕起法の影響は小さいと考えられる。一方、主根型根系を持つ作物では、ごく表層の根量が増えることや、出芽直後の主根伸長の補助等を念頭に置いた栽培法を考慮する必要が認められた。

引用文献

- Anderson E.L.1987 Corn root growth and distribution as influenced by tillage and nitrogen fertilization. *Agron.J.* 79, 544-549.
- Araki H., Hirayama M., Hirasawa H., and Iijima M. 2000 Which roots penetrate the deepest in rice and maize root system? *Plant Product. Sci.* 3, 279-286.
- Barber S.A. 1971 Effect of tillage practice on corn root distribution and morphology. *Agron. J.* 63, 724-726.
- 波多野隆介 1996 根の伸長を予測する土壌物理性農業および園芸 71. 323-326.
- Heard J. R., Klavivko E. J. and Mannering J. V. 1988 Soil macroporosity, hydraulic conductivity and air permeability of silty soil under long-term conservation tillage in Indiana. *Soil Till. Res.* 11, 1-18.
- Hifiker R. E. and Lowery B. 1988 Effect of conservation tillage system on corn root growth. *Soil Till. Res.* 12, 269-283.
- Hill R. L. and Montalvo M. M. 1990 Long term wheel traffic effects on soil physical properties under different tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54, 865-870.
- Hundal S. S. and Datta S. K. 1984 Water table and tillage effects on root distribution, soil water extraction, and yield of sorghum grown after wetland rice in a tropical soil. *Field Crop Res.* 9, 291-303.
- 伊藤道秋, 遠藤織太郎, 坂井直樹, 春原亘, 米川智司, 福田晟, 伊藤憲弘 1994 土性の異なる3種土壌における不耕起栽培の比較研究 第3報 火山灰土壌(土性 SiC)に対する不耕起栽培の適応性. *農作業研究* 29, 44-50.
- Maurya P.R and R.Lal 1980 Effects of no-tillage and ploughing on roots of maize and leguminous crops. *Exp. Agric.* 16, 185-193.
- 森哲朗, 小川和夫 1968 土壌の物理的要因と作物の生育に関する研究 第1報 土壌の空気量・硬度と作物の生育. *東海近畿農試報* 16, 77-104.
- Nakamoto T.1993 Effect of soil water content on the gravitropic behavior of nodal roots in maize. *Plant Soil.* 152, 261-267.
- 中元朋実, 辻博之 根の事典. 根の事典編集委員会編. 朝倉書店 398-400
- Nakamura Y. 1988 The effect of soil management on the soil faunal makeup of cropped andosol in centeal Japan. *Soil Till. Res.* 12, 177-186.
- Newell R. L. and Wilhelm W. W. 1987 Conservation tillage and irrigation effects on corn root development. *Agron. J.* 79, 160-165.
- 野々山芳夫 1981 転換畑の不耕起栽培における土壌肥沃度(第2報)作土における理化学性. *近畿中国農研報* 62, 63-37.

- 小川和夫, 竹内豊, 片山雅弘 1988 湿性火山灰土における簡易耕の導入が土壌の諸性質と作物の生育に及ぼす影響. 北海道農試研報 150, 57-90.
- Oyanagi.A., Nakamoto T. and Wada M. 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.
- 小柳敦史ら 1998 汎用水田において耕起および不耕起栽培したコムギ, ダイズおよび水稲の根の垂直分布の解析. 日作紀 67 49-55.
- Phillips R.E. and Phillips S.H. 1984 No-tillage agriculture, Principles and Practices. Van Nostrand Reinhold Company Inc. New York.
- Roth C.H., Mayer B., Frede H.G. and Drepsch R. 1988 Effect of mulch rate and tillage systems on infiltrability and other soil physical properties of an oxisol in Parana, Brazil. *Soil Till. Res.* 11, 81-91.
- 関節朗, 干場健, J. BORDON 2001 パラグアイ・イグアス地域の不耕起畑におけるダイズ根系根系の分布. 熱帯農業 45, 33-37.
- 辻博之 2000 黒ボク土畑における陸稲干害に対する不耕起栽培と深根化による軽減効果. 根の研究 9, 11-15.

Title: Effects of no-tillage on the root system development of groundnut, maize and soybean in Andosol.

Authors: Hiroyuki TSUJI, Hiroyuki YAMAMOTO, Kazuyuki MATSUO and Kazuei USUKI