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

田中丸重美¹⁾・林田慎一²⁾・望月俊宏^{*,2)}・古屋忠彦²⁾

(¹⁾岡山大学・²⁾九州大学)

要旨: イネ科 17 種 19 作物とマメ科 11 種作物を供試し、人工的に圧縮して作成した硬い土層への種子根・主根の貫入率および貫通率を調査し、その作物種間差について検討した。2.54 mm の網目の篩を通し、水分含量 13% に調整した砂壤土を用い、油圧ポンプで加圧して厚さ 1 cm の圧縮土層を作成した。圧縮土層の硬度は、山中式土壌硬度計による絶対硬度表示で 11~87 kg cm⁻³ であった。トウモロコシ (*Zea mays* L.) を除く 27 種 29 作物の種子根・主根は 11 kg cm⁻³ より硬い土層に貫入したが、貫入が認められた土層の硬度の最高値は作物によって異なり、イネ科では六条オオムギ (*Hordeum vulgare* L.) の 73 kg cm⁻³、マメ科ではモスビーン (*Phaseolus aconitifolius* Jacq.) の 59 kg cm⁻³ が最も高かった。供試個体中の 81% 以上の個体の種子根・主根が 11 kg cm⁻³ の土層を貫通したのは、イネ科では 7 作物、マメ科では 4 作物であった。なお、トウモロコシを除いたイネ科作物間には、種子根根径が大きい作物ほど貫通力が大きく、逆にシロクロローパー (*Trifolium repens* L.) を除いたマメ科作物間には、主根根径が小さい作物ほど貫通力が大きい傾向がみられた。

キーワード: イネ科作物, 主根, 種子根, 土壌貫通, 土壌貫入, マメ科作物。

近年、わが国の耕地では深耕が行われないために作土層が浅くなってきている。さらに有機物の投入量の減少や大型機械の走行によって土壌の物理性は悪化し、作物の根の伸長・発達を阻害する要因となりつつある (鎌田ら 1965, 寺沢 1983)。特に耕盤層が浅い位置に形成されていたり、耕耘後の碎土が不十分な土壌では、種子根・主根の伸長は発根後間もなく耕盤層や土塊の抵抗を受けることが予想される。このような場合に、耕盤層や土塊を貫通して種子根・主根を下層まで発達させることのできる作物は、初期生育の確保やその後の養水分吸収の面からも有利であろう。

土壌の機械的な抵抗に対する根の伸長反応については数多くの研究があるが (Taylor and Gardner 1963, Taylor and Ratliff 1969, Eavis 1972, 井之上ら 1976, Yapa ら 1988, Whiteley 1989, Bennine 1991, Iijima and Kono 1991, Materechera ら 1991), 根が伸長中に耕盤や土塊に遭遇した場合を想定し、作物種間差について検討した実験例は極めて少ない (井之上ら 1976)。

そこで本報では、数種イネ科およびマメ科作物を供試し、人工的に作成した硬さの異なる土層への種子根・主根の貫入および貫通程度について調査した。

材料と方法

イネ科およびマメ科の 28 種 30 作物, 1 作物につき 1 品種を供試した (第 1 表)。九州大学農学部構内圃場の砂壤土 (砂: 67.2%, シルト: 11.6%, 粘土: 21.2%) を用い、網目 2.54 mm の篩を通した後 100~105°C で約 48 時間乾燥し、所定量の水を加えて水分含量を調整した。その後、密閉できる容器に入れて 1~2 日間放置し、土壌水分が均一になってから供試した。

圧縮土層の作成には、井之上ら (1966) が考案・作成し

た外径: 120 mm, 内径: 96 mm, 深さ: 90 mm の円筒形の鉄製容器 (第 1 図) を用いた。この容器は 5~10 トンの圧力に耐え、土層の硬度は油圧ポンプによる圧縮の程度によって調整することができる。また、鉄製の薄い円盤を途中に挟むことによって、1 回の圧縮操作で 3~4 個の土層を作ることが可能である。実際の圃場における土塊の形状や厚さは様々であるが、本実験では厚さ約 1 cm の土層を作成して用いた。なお、圧縮土層の硬度は山中式土壌硬度計によって測定し、絶対硬度 (国分 1972) で表示した。実験には、11 kg cm⁻³ から 87 kg cm⁻³ まではほぼ等間隔の硬度になるように作成した 9 段階の圧縮土層を供試した。

第 1 図 圧縮土層の成型に用いた鋼鉄製容器。写真奥の本体 (外径 120 mm, 内径 96 mm, 深さ 90 mm) 内に土壌を充填し、上に写真手前の厚い円盤 (外径 96 mm, 厚さ 30 mm) を乗せて油圧ポンプで圧縮することにより土層を作成する。本器は中心線より 2 つに分離するので、圧縮して作った土層を容易に取り出すことができ、写真手前の薄い円盤 (外径 96 mm, 厚さ 5 mm) を中間に挟むことにより、1 回の操作で 3~4 個の土層を作成することができる。

密閉できる蓋を有するアクリル製の容器（縦：15 cm，横：26 cm，深さ：16 cm）に，土層の作成に用いたものと同じ土壌を 5 cm の高さまで充填して均平にし，その上に圧縮土層を水平に置いた．さらに所定量の土壌を置いて軽く鎮圧して播種床とした（第2図）．圧縮土層 1 個当たり

第2図 実験方法．アクリル製容器内に土壌を 5 cm 充填し，その上に圧縮土層を置床した．さらに所定量の土壌を置いて軽く鎮圧し，播種床とした．播種後覆土し，蓋をして密閉した．

の播種粒数は供試作物の種子の大きさによって 5～15 粒とした．播種後は土壌水分の変動を防ぐために蓋をし，25°C の恒温器に静置した．

大部分の個体が出芽した時に覆土を除去し，圧縮土層へ 1 mm 以上貫入した根数および貫通した根数を記録した．なお，複数の種子根を有する作物では初生種子根について調査した．本実験において，貫通率は出芽個体数に対する‘貫通した根数’，貫入率は出芽個体数に対する‘貫通した根数+貫入したが貫通できなかった根数’とした．各作物，各硬度の土層について貫入・貫通率の調査を 2～6 反復行い，平均値を算出して百分率で示した．また，圧縮土層を含まない播種床で各作物を育成し，長さが 3 cm に達した種子根・主根の先端から 1 cm の部位の直径を根径とした（第1表）．

実験に先だち，含水率 10，13 および 16% の土壌を用い，油圧ポンプによる圧縮力と土層の硬度との関係について調査した．また，イネ科作物としてイネ（水稻），コムギおよびイタリアンライグラス，マメ科作物としてアズキ，ダイズおよびモスビーンを供試し，本実験で作成が可

第1表 供試作物，品種および種子根ないし主根の根径¹⁾．

作物名	学名	品種名	根径(mm)
イネ科普通作物			
イネ(水稻)	<i>Oryza sativa</i> L.	日本晴	0.52±0.01
イネ(陸稻)		農林糯1号	0.47±0.04
コムギ	<i>Triticum aestivum</i> L.	農林61号	0.57±0.04
六条オオムギ	<i>Hordeum vulgare</i> L.	西海皮8号	0.61±0.06
ハダカムギ		シラヌイハダカ	0.57±0.04
二条オオムギ	<i>H. distichum</i> L.	あまぎ二条	0.54±0.01
ライムギ	<i>Secale cereale</i> L.	Petkus	0.60±0.06
エンバク	<i>Avena sativa</i> L.	日向黒	0.50±0.08
トウモロコシ	<i>Zea mays</i> L.	阿蘇	1.36±0.13
モロコシ	<i>Sorghum bicolor</i> Moench	世羅	0.47±0.08
キビ	<i>Panicum miliaceum</i> L.	信濃1号	0.45±0.04
アワ	<i>Setaria italica</i> Beauv.	陸羽8号	0.25±0.01
ヒエ	<i>Echinochloa frumentacea</i> Link	登谷	0.28±0.04
トウジンビエ	<i>Pennisetum typhoideum</i> Rich.	不詳	0.48±0.08
イネ科飼料作物			
スーダングラス	<i>Sorghum sudanense</i> Stapf	不詳	0.58±0.02
イタリアンライグラス	<i>Lolium multiflorum</i> Lam.	ヒタチアオバ	0.35±0.05
ペレニアルライグラス	<i>L. perenne</i> L.	フレンド	0.33±0.03
メドウフェスク	<i>Festuca elatior</i> L.	トモサカエ	0.32±0.04
オーチャードグラス	<i>Dactylis glomerata</i> L.	キタミドリ	0.33±0.03
マメ科普通作物			
ダイズ	<i>Glycine max</i> Merr.	フクユタカ	1.14±0.09
アズキ	<i>Vigna angularis</i> Ohwi et Ohashi	大納言	0.75±0.01
リョクトウ	<i>V. radiata</i> R. Wilczek	小粒緑豆1号	0.83±0.10
ササゲ	<i>V. sinensis</i> Endl.	三尺ササゲ	1.10±0.13
ケツルアズキ	<i>V. mungo</i> Hepper	Black gram 3061	0.85±0.15
インゲンマメ	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	金時小豆	1.10±0.12
モスビーン	<i>P. aconitifolius</i> Jacq.	Moth bean 528	0.64±0.09
フジマメ	<i>Dolichos lablab</i> L.	赤花フジマメ	0.87±0.11
キマメ	<i>Cajanus cajan</i> Millsp.	ICPL-87	0.87±0.09
マメ科飼料作物			
アルファルファ	<i>Medicago sativa</i> L.	ナツワカバ	0.80±0.08
シロクロバー	<i>Trifolium repens</i> L.	California Ladino	0.35±0.07

1) 約3 cm 伸長した種子根ないし主根の根端から 1 cm の部位．

能であった最小硬度 (11 kg cm^{-3}) の圧縮土層について、播種床面から土層の表面までの距離 (播種位置) および覆土の厚さと種子根・主根の土層貫入・貫通率の関係について検討した。なお、根が伸長中に硬い土層や土塊に遭遇した場合は、首振り運動によって土壌抵抗が弱い部分を探すことが知られている (広田 1976) ので、この実験には表面が平滑な圧縮土層 (無処理土層) と、釘で削ることにより表面に 1 cm 間隔で深さ 1 mm 、幅 1 mm の窪みのある圧縮土層 (処理土層) の 2 種類を用いた。

結果と考察

1. 異なる含水率の土壌における圧縮力と土層の硬度と

第3図 異なる土壌水分条件下における圧縮力と土層の硬度の関係。●: 含水率 10%, ■: 13%, ▲: 16%。図中の横線は 5% レベルでの標準誤差を示し、記号より小さい場合には省略した。

の関係

第3図に示すように、圧縮力が $1 \sim 10 \text{ kg cm}^{-2}$ の範囲内では圧縮力と作成された土層の硬度はほぼ直線関係にあった。しかし、圧縮力が 10 kg cm^{-2} を超えると、含水率 10 および 13% の土壌では圧縮力の増加に対する土層の硬度の増加率が大きくなり、その程度は 10% の土壌で大きかった。また、含水率 16% の土壌では圧縮時に水が浸出し、土層の硬度はほとんど増加しなかった。そこで以後の実験には、圧縮力と土層の硬度の間に比較的高い直線関係のみられた含水率 13% の土壌を使用することにした。

2. 播種位置および覆土の厚さと種子根・主根の土層への貫入および貫通との関係

イネ科作物間およびマメ科作物間に大きな傾向の違いが認められなかったので、第2表にはイネ (水稻) およびアズキの結果のみ示した。イネ (水稻) では貫入率はほとんどの区において差が認められなかったが、貫通率は播種位置 3 cm 、覆土 1 cm の処理土層、無処理土層両区および播種位置 3 cm 、覆土 3 cm の処理土層区で有意に低かった。一方アズキでは、貫入率、貫通率ともに播種位置および覆土の厚さによって大きく異なり、特に播種位置 0 cm および 1 cm で覆土 1 cm 区では著しく低かった。圧縮土層表面の形状の影響については、イネ (水稻) には顕著な差がみられなかったが、アズキでは概して無処理土層は処理土層より貫入率、貫通率ともに値が低かった。

なお、アズキにおいて貫入率や貫通率が著しく低かった区では、ほとんどの種子が地上に押し出されていた。この原因はイネ科作物に比べてマメ科作物では主根の根径が大きいいため、根が土層に貫入しようとする時の抵抗が大きくなり、その反発力が覆土圧より大きかったことによるものと思われる。

第2表 播種位置、覆土の厚さおよび土層表面の形状と種子根ないし主根の圧縮土層 (硬度 11 kg cm^{-3}) への貫入率および貫通率との関係。

播種 ¹⁾ 位置 (cm)	覆土 の 厚さ (cm)	イネ(水稻)				アズキ			
		貫入率		貫通率		貫入率		貫通率	
		無処理 ²⁾	処 理	無処理	処 理	無処理	処 理	無処理	処 理
					(%)				
0	1	100	100	96±6	100	0* ³⁾	0*	0*	0*
	3	100	100	94±6	97±5	43±10	86±10	36±7	64±7
1	1	100	100	92±8	100	7±7*	14±10*	7±6*	7±7*
	3	100	100	96±6	96±6	81±7	92±7	75±7	92±7
3	1	92±8	100	67±3	74±11	50±6	64±12	7±9	50±12
	3	100	100	92±8	76±7	44±6	79±7	31±6	50±7
LSD ⁴⁾		4.1		11.0		13.3		12.2	

1) 播種床から 圧縮土層表面までの距離 (第2図参照)。

2) 無処理: 表面が平滑な土層, 処理: 表面に 1 cm 間隔で深さ 1 mm 、幅 1 mm の窪みのある土層。

3) *: 覆土上への種子の浮き上がりが認められた区。

4) 貫入および貫通率別の最小有意差。

以上の結果から、以後の実験では圧縮土層の表面に窪みをつけて用いることとし、イネ科、マメ科両作物ともに播種位置は1 cm、覆土の厚さは種子の大きさによって1~3 cmとした。

3. 土層の硬度と種子根・主根の貫入率、貫通率との関係およびその作物間差異

供試した9段階の圧縮土層のうち、 87 kg cm^{-3} の土層に貫入できた作物は皆無であった。そこで、第3表には 11 kg cm^{-3} から 73 kg cm^{-3} の範囲の土層についての貫入率の結果を、第4表には同じ実験の貫通率の結果を示した。両表ともに、貫入ないし貫通率が81%以上、80%以下21%以上および1%以上20%以下であった圧縮土層の硬度を示している。なお本論文では、以後各作物において出芽個体の81%以上の個体の種子根・主根が貫入または貫通した最も硬い土層の硬度を“最大貫入硬度または最大貫通硬度”、1~20%の種子根・主根が貫入または貫通した最も硬い土層の硬度を“限界貫入硬度または限界貫通硬度”

と呼ぶ。

第3表から、まずイネ科作物の最大貫入硬度についてみると、六条オオムギが最も大きく(36 kg cm^{-3})、ついで陸稲とキビ(20 kg cm^{-3})、水稻やイタリアンライグラスなど11作物(11 kg cm^{-3})の順であった。ところが、トウジンビエやスーダングラスなど5作物は最小硬度の土層(11 kg cm^{-3})においても貫入率は80%以下で、とくにトウモロコシ(ホワイデントコーン)は0%であった。なお、有馬・田中(1988)によれば、デントコーンの種子根は山中式土壌硬度計による指標硬度が18 mm (約 7 kg cm^{-3})の土層へ貫入できなかったと報告しており、デントコーンの種子根の土壌貫入力はかなり小さいと思われる。一方、マメ科作物ではモスビーンの主根が最も大きく(28 kg cm^{-3})、ついでリョクトウやキマメなど6作物(11 kg cm^{-3})で、アルファルファやダイズなど4作物は最小硬度の土層においても貫入率は80%以下であった。

次に、限界貫入硬度についてみると、イネ科作物では六条オオムギ、陸稲およびイタリアンライグラスが最も大き

第3表 種子根ないし主根が貫入した圧縮土層の硬度の作物種間差異。

作物名	圧縮土層の硬度(kg cm^{-3})		
	貫入率(%)		
	>80≥	>20≥	>0
イネ科作物			
六条オオムギ	11—36	44—73	-
陸稲	11—20	28—52	59—73
キビ	11—20	28—36	44
ハダカムギ	11	20—52	-
二条オオムギ	11	20—52	-
水稻	11	20—52	59
イタリアンライグラス	11	20—52	59—73
ライムギ	11	20—36	44
モロコシ	11	20—28	36
ペレニアルライグラス	11	20—28	36—59
コムギ	11	20—28	36
オーチャードグラス	11	20—28	-
アワ	11	20	28
エンバク	11	20	28
スーダングラス	-	11—36	44—52
トウジンビエ	-	11—28	36—59
メドウフェスク	-	11—28	36—44
ヒエ	-	11—28	36
トウモロコシ	-	-	-
マメ科作物			
モスビーン	11—28	36—73	-
キマメ	11	20—28	36
フジマメ	11	20—28	-
リョクトウ	11	20—28	36—44
ケツルアズキ	11	20	-
アズキ	11	20	28—36
ササゲ	11	-	20—28
アルファルファ	-	11—36	44—52
ダイズ	-	11	20—36
インゲンマメ	-	11	20
シロクロバー	-	-	11—20

表中の数字は、各々の作物において貫入率が81%以上、21%~80%および1%以上20%以下を示した圧縮土層の硬度を示し、-はこの範囲の貫入率を示した圧縮土層が認められなかったことを示す。

く (73 kg cm^{-3}), ついで水稻・トウジンビエ・ペレニアルライグラス, 以下, ハダカムギ・二条オオムギ・スーダングラス, ライムギ・キビ・メドウフェスク, モロコシ・コムギ・ヒエ, オーチャードグラス・アワ・エンバク (28 kg cm^{-3}) の順であった。一方, マメ科作物ではモスビーンが最も大きく (73 kg cm^{-3}), 以下, アルファルファ, リョクトウ, キマメ・アズキ・ダイズ, フジマメ・ササゲ, ケツルアズキ・インゲンマメ・シロクロバー (20 kg cm^{-3}) の順であった。

第4表から最大貫通硬度についてみると, イネ科作物では最大貫入硬度の場合と同じく六条オオムギの種子根が最も大きく (36 kg cm^{-3}), ついで陸稲など6作物 (11 kg cm^{-3}) の順で, 水稻など11作物は最小硬度の土層においても貫通率は80%以下であった。特に, ヒエの貫通率は最小硬度の圧縮土層においても0%であった。一方, マメ科作物ではキマメ・フジマメ・ケツルアズキ・アズキの4作物では80%以上の主根が最小硬度 (11 kg cm^{-3}) の土層を貫通できたが, モスビーンなど7作物では貫通率は80%

以下で, そのうちシロクロバーは0%であった。

限界貫通硬度もイネ科作物では六条オオムギが最も大きく (73 kg cm^{-3}), 以下, 陸稲, ハダカムギ・二条オオムギ, スーダングラス, 水稻など5作物, コムギなど4作物, トウジンビエ・オーチャードグラス, アワ (11 kg cm^{-3}) の順であった。一方, マメ科作物ではモスビーンが最も大きく (59 kg cm^{-3}), 以下, アルファルファ, キマメ, フジマメなど4作物, ケツルアズキ・インゲンマメ, ダイズ (11 kg cm^{-3}) の順であった。

ところで, 根が土層へ貫入する際には太い根ほど土壌の抵抗を強く受けることが予想されるが, イネ科作物, マメ科作物ともに, 根径と最大貫入硬度, 限界貫入硬度, 最大貫通硬度および限界貫通硬度との間にはいずれも有意な相関関係はみられなかった (イネ科作物: $r = -0.026, -0.319, 0.147$ および 0.017 , マメ科作物: $-0.191, -0.184, -0.036$ および -0.006)。しかしながら, トウモロコシを除いたイネ科16種18作物を対象とすると, 根径と最大貫通硬度との間には5%水準で, 限界貫通硬度との

第4表 種子根ないし主根が貫通した圧縮土層の硬度の作物種間差異。

作物名	圧縮土層の硬度 (kg cm^{-3})		
	貫通率 (%)		
	>80≥	>20≥	>0
イネ科作物			
六条オオムギ	11—36	44—52	59—73
陸稲	11	20—52	59
キビ	11	20	28—36
ハダカムギ	11	20—28	36—52
二条オオムギ	11	20—28	36—52
水稻	-	11—20	28—36
イタリアンライグラス	-	11—20	28
ライムギ	-	11—28	36
モロコシ	11	20	28—36
ペレニアルライグラス	-	11	20—28
コムギ	11	-	20—28
オーチャードグラス	-	-	11—20
アワ	11	-	-
エンバク	11	-	20—28
スーダングラス	-	11—20	28—44
トウジンビエ	-	11—20	-
メドウフェスク	-	11	11
ヒエ	-	-	-
トウモロコシ	-	-	-
マメ科作物			
モスビーン	-	11—59	-
キマメ	11	20—28	36
フジマメ	11	20—28	-
リョクトウ	-	11—20	28
ケツルアズキ	11	20	-
アズキ	11	-	20—28
ササゲ	-	11	20—28
アルファルファ	-	11—36	44—52
ダイズ	-	11	-
インゲンマメ	-	11	20
シロクロバー	-	-	-

表中の数字は, 各々の作物において貫通率が81%以上, 21%~80%および1%以上20%以下を示した圧縮土層の硬度を示し, - はこの範囲の貫通率を示した圧縮土層が認められなかったことを示す。

間には1%水準で有意な正の相関関係があり ($r=0.498$ および 0.764), 根径が大きい作物ほど貫通硬度が大きい関係がみられた。また, シロクロバーを除いたマメ科10種作物を対象とすると, 根径と最大貫通硬度との間には相関関係はみられなかったが ($r=-0.312$), 限界貫通硬度との間には5%水準で有意な負の相関がみられ ($r=-0.750$), マメ科作物の主根はイネ科作物の種子根と異なり, 根径が小さい作物ほど貫通硬度が大きいことが示唆された。

一般に, 畑作物の根の伸長は山中式土壌硬度計の指標硬度で17~20 mm (約 $5\sim 9 \text{ kg cm}^{-3}$) から抑制され始め, 25~27 mm (約 $28\sim 47 \text{ kg cm}^{-3}$) で停止すると報告 (古賀 1979) されている。本実験に供試した材料のうち, わが国で普通に栽培される畑作物についてみれば, 約半数の作物の種子根・主根の最大貫通硬度は 11 kg cm^{-3} であったが, 残りの作物の最大貫通硬度は 11 kg cm^{-3} 以下であり, 約 $5\sim 9 \text{ kg cm}^{-3}$ から根の伸長が抑制されるとした報告 (古賀 1979) とほぼ一致した。ところが, これら畑作物の限界貫通硬度は $11\sim 73 \text{ kg cm}^{-3}$ と作物によってかなり異なり, 約 $28\sim 47 \text{ kg cm}^{-3}$ で伸長が停止するとした報告 (古賀 1979) とはやや異なる結果であった。この違いの原因は, 供試した土壌の土性や実験条件の違いによるのであろうと推察されるが, 根の伸長が停止する土壌硬度は伸長が抑制される硬度より作物による変異幅が大きいことが伺われる。

以上, 数種イネ科およびマメ科作物の種子根・主根の土層貫入や貫通について述べてきた。本実験は1作物につき1品種のみを供試し, 発根直後の根についてみた結果ではあるが, 硬い土層への根の貫入・貫通における作物間差を明らかにしたものと考えられる。今後は伸長が進んだ根の土層貫入・貫通力とともに, 根が土壌に貫入する際に受ける抵抗に対する根の反応や対応, 同一作物の品種間差などについても検討する必要があると考えられる。

謝辞: 本研究の遂行ならびに本報告のとり纏めに際しては, 九州大学農学部井之上準博士に有益なご助言を頂いた。ここに深く感謝いたします。

引用文献

- 有馬進・田中典幸 1988. 禾本科作物の種子根に関する研究. 2. 土壌硬度と種子根の伸長について. 佐賀大学農彙報 65: 17-26.
- Bennine, A.T.P. 1991. Growth and mechanical impedance. In Waisel, Y., A. Eshel and U. Kafkafi eds., Plant Roots. Marcel Dekker, Inc., New York・Basel・Hong Kong. 393-414.
- Eavis, B.W. 1972. Soil physical conditions affecting seedling root growth. I. Mechanical impedance, aeration and moisture availability as influenced by bulk density and moisture levels in a sandy loam soil. Plant and Soil 36: 613-622.
- 広田秀憲 1976. 牧草類の根の生長. 1. 根端の首振り生長. 日草誌 22: 156-160.
- Iijima, M. and Y. Kono 1991. Interspecific differences of the root system structures of four cereal species as affected by soil compaction. Jpn. J. Crop Sci. 60: 130-138.
- 井之上準・岡田芳一・泉和喜雄・伊藤健次 1966. ストレインメーターによる作物幼芽の抽出力と土壌貫通力との関係について (予報). 日作九支報 27: 8-10.
- 井之上準・古屋忠彦・田中丸重美 1976. イネ科数種作物における種子根の土壌貫入についての予備観察. 日作紀 45(別1): 29-30.
- 鎌田嘉孝・松下利定・長谷川徹・中村伴蔵 1965. 大型機械の導入と畑土壌の物理性. 農業技術 20: 335-337.
- 古賀汎 1979. 土壌の硬さと植生. 土壌物理研究会編, 土壌の物理性と植物の生育. 養賢堂, 東京. 7-15.
- 国分欣一 1972. 土壌の力学性 1. 土壌の硬さ (硬度・緻密度). 土壌物理性測定法委員会編, 土壌物理性測定法. 養賢堂, 東京. 308-311.
- Materechera, S.A., A.R. Dexter and A.M. Alston 1991. Penetration of very strong soils by seedling roots of different plant species. Plant and Soil 135: 31-41.
- Taylor, H.M. and H.R. Gardner 1963. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content, and strength of soil. Soil Sci. 96: 153-156.
- Taylor, H.M. and L.F. Ratliff 1969. Root elongation rates of cotton and peanuts as a function of soil strength and soil water content. Soil Sci. 108: 113-119.
- 寺沢四郎 1983. 畑地の土壌硬度相について. 土壌の物理性 47: 44-48.
- Whiteley, G.M. 1989. The deformation of soil by penetrometers and root tips of *Pisum sativum*. Plant and Soil 117: 201-205.
- Yapa, L.G.G., D.D. Fritton and S.T. Willatt 1988. Effect of soil strength on root growth under different water conditions. Plant and Soil 109: 9-16.

Specific Difference in Root Penetration into the Compacted Soil Cakes in Crop Plants: Shigemi TANAKAMARU¹⁾, Shinichi HAYASHIDA²⁾, Toshihiro MOCHIZUKI^{*2)} and Tadahiko FURUYA²⁾ (¹⁾Okayama Univ.; ²⁾Fac. of Agr., Kyushu Univ., Fukuoka 812-8581, Japan)

Abstract: Artificially compacted soil cakes were used to examine the penetration of seminal roots in cereal and tap roots in leguminous crops. Using an oil pressure pump, compacted soil cakes 1 cm in thickness were made from sandy loam soil which had been sieved through a 2.54-mm screen and had about 13% moisture by volume. The penetration of seminal and tap roots of 30 common and forage crops was examined at 25°C. All crops except maize (*Zea mays* L.) could penetrate soil cakes with a hardness of more than 11 kg cm^{-3} . Among the crops used, the seminal root of six-row barley (*Hordeum vulgare* L.) could penetrate the hardest soil cake (73 kg cm^{-3}). Of the leguminous crops, the tap root of moth bean (*Phaseolus aconitifolius* Jacq.) could penetrate a soil cake of 59 kg cm^{-3} . The seminal roots of 7 crops and tap roots of 4 crops penetrated completely through

soil cakes of 11 kg cm^{-3} . Among cereal crops except maize, there is a tendency of the larger the diameter of the seminal root, the stronger the penetration force. On the contrary, among leguminous crops except white clover (*Trifolium repens* L.), the smaller the diameter of the main root, the stronger the penetration force.

Key words: Main root, Root penetration, Seminal root, Soil cake, Soil hardness, Tap root.

書評

「食料生産の生態学」 I. 農業システムと作物, p. 180 (2000 円) II. 作物の生産過程と環境, p. 257 (2800 円) III. 食料生産と資源管理, p. 263 (2900 円). R.S. Loomis, D.J. Connor 著, 堀江 武・高見晋一監訳, 農林統計協会, 東京, 1995 年

本著は、カリフォルニア大学デービス校の R.S. Loomis 教授とメルボルン大学の D.J. Connor 教授が、大学 3, 4 年生あるいは大学院生向けの教科書として執筆した「Crop Ecology」の翻訳本である。原著が 4 編, 18 章, 538 ページからなる大著であり、翻訳の総ページ数も 650 ページに及んだため、日本語版では上記の 3 冊に分けて出版された。教科書ではあるが、主題は今後増加しつづける人口を扶養するために、我々がどのような食料生産戦略を持つべきかという点であり、著者の哲学が強く感じられる提言書でもある。

本著の対象は、単に 1 筆の圃場における植物群落だけではなく、輪作などを含む作物生産システム、さらには社会性、経済性を含む営農システムである。まず、第 I 巻では、群落とその構成要素が紹介されるとともに、収量変動の要因が技術的、経済的、政策的側面から解説されている。

第 II 巻では、耕地をとりまく環境として土壌および大気を取り上げ、生産に関わる物理・化学的な過程を解説する。また、作物生産の基礎である光合成・呼吸などの生理過程や水・窒素栄養などの生産制限因子が、全体のシステムとの関連から、わかりやすい例を交えて紹介されている。したがって、第 II 巻は単独でも作物学や作物生態学の優れた教科書としてお勧めできる。

第 III 巻は、おそらく著者がもっとも力を入れた部分であろう。ここでは、具体的な営農システムにおける水・栄養素の利用効率やエネルギー効率が、システム解析などの手法を用いて検証されている。さらに、最終章「不確実性の未来に向けて」は、次のような提言で締め括られる。すなわち、人類の目標は増え続ける人口を扶養するだけの食料生産を行うことであり、そのための戦略として生産性および持続可能性が高い優良な耕地において、エネルギーや資源的にみて効率の高い農業を行っていくべきである。論理は明快で説得力がある。しかし、これは食料大国の論理でもある。我々は地域や立地条件に適した基本戦略を明確にし、それに向かってどのような方策をとるかを見定めることが重要である。本書はそのための手法を提供してくれるように思われる。

(北海道大学 長谷川利弘)