

耕起法の違いが畑土壌の理化学性に及ぼす影響 表面攪土耕および反転耕の比較

農事試験場畑作部 石井和夫

従来多くの労力を要した耕起作業は、人力、畜力から機械力の利用へと発展するに伴って比較的その作業が容易となり、また土壌条件、作付様式などの諸条件に応じた種々の方法²⁸⁾が可能となつた。

しかしながら、このような機械化による耕耘型式の変化は畑土壌の理化学的性質に影響を及ぼし、種々の問題が提起されている。¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾²⁴⁾²⁵⁾²⁶⁾ 筆者は、畑地力の維持の立場から見た合理的な耕起作業方法を確立するため、大型機械の導入に伴うこれらの諸問題を検討中であるが、本稿では一般に広く行われている反転耕と、非常に簡易な耕起法⁶⁾として実施されている表面攪土耕¹⁶⁾とを対比しながら、大型機械化一貫作業条件下において、両耕起法の違いが土壌の理化学性に及ぼす影響について報告する。

なお、圃場試験は畑作部作付2研究室および業務科との共同研究として実施中のもので、作物の生育収量並びに機械化作業はこれら共同研究者によつて行われた。

1. 試験方法

1) 供試圃場 本供試圃場は畑作部内の平地林の一部を昭和37年春開墾した圃場で(土壌は火山灰土壌であるが、約50年以前は耕地であつて当時若くは沖積土壌の客土が行われた模様)当初青刈大豆の均一栽培を行つた後同年冬作より試験を開始した。試験開始に際しては、夏冬作の2回に亘つて10a当り消石灰280Kg、苦土石灰320Kg、過石400Kg、硫酸加里30Kgを地表より深さ15cm間の土壌に均一に混施し土壌改良を行つた。

2) 処理区(耕起法)

i) 表面攪土耕: 前作物を収穫後、デスクハロによつて縦横2回掛を行う。これは圃場表面を約5~8cmの深さに薄く攪土する極めて簡易な耕起法(簡易耕とも云う)である。

ii) 反転耕: 14"のボトムプラウで深さ約15cm耕起を行う。

なお、試験開始後2作目までは両耕起区とも反転耕を行い、3作目よりこの区を2分して表面攪土耕区(以後表攪耕区と略記する)を設置した。

現在まで6作(3年)を経過し(表攪耕区は表攪耕開始4作経過)現在試験を継続中である。

3) 試験の規模 1区25aとし1反復で行う、また圃場作業はすべて大型機械(フアーガソン、インター、コンバイン(クレイス))による。

4) 供試作物および施肥量 各作物ともそれぞれ均一栽培とする。供試作物の作付順位ならびに施肥量は次の通りである。

作付順位	供試作物	施 N	肥 P ₂ O ₅	量 K ₂ O
1 作目	小 麦	8.5	8.0	8.0Kg
2 作目	青刈 コーン	10.4	10.4	10.4
3 作目	小 麦	7.2	10.8	7.2
4 作目	大 豆	2.4	8.0	8.0
5 作目	大 麦	6.4	10.7	6.4
6 作目	実取 コーン	9.1	5.1	8.2

II 試験結果および考察

1) 耕起法の違いが土壌の化学性に及ぼす影響

表攪耕と反転耕との差異には、耕起深度ならびに土壌の機械的処理法(攪拌と反転)の2つの要因が考えられる。ここでは耕起深度の違いによる耕土およびその直下の土の化学性の変化を比較するため、試験開始後6作目を経過した両区より、上層(0~7.5cm, 表攪耕区の耕土, および反転耕区の耕土内上部に相当)、中層(7.5~15.0cm, 表攪耕区の耕土直下および反転耕区の耕土内下部に相当)、下層(15.0~22.5cm, 反転耕区の耕土直下に相当)の三層に分けて土壌を採取し、化学分析を行った。本稿では三要素の養分含量についてのみ検討を行う。

1) 窒素の供給力: 各層位別の窒素の供給力を乾土効果によつて比較すると表1に示す通りである。表攪耕区の乾土効果は上層が最も高く、中・下層はやゝ劣つた。また反転耕区では、上・中層間差異は少く下層のみが劣つた。また両耕起区の乾土効果を比較すると表攪耕区の耕土(上層)は明かに反転耕区の耕土(上・中層)より勝つた。

表1 耕起法の違いが土壌の三要素養分含量に及ぼす影響

mg/乾土100g

耕起 処理	層 位	乾 土 効 果			Al-H ₂ O	P ₂ O ₅ -P ₂ O ₅	P ₂ O ₅ 積算効果量	※ 置換性 K ₂ O
		NO ₃ -N	NH ₄ -N	計				
表 攪 耕	上 0~7.5	6.74mg	1.09mg	8.43	96.1mg	6.7mg	146.2 mg	19.0
	中 7.5~15.0	5.02	0.62	5.64	50.7	2.2	77.2	7.0
	下 15.0~22.5	4.39	0.65	5.04	41.4	0.8	0	3.9
反 転 耕	上 0~7.5	5.42	1.20	6.62	79.8	4.2	117.2	17.0
	中 7.5~15.0	5.61	2.01	7.62	79.7	4.3	113.7	12.0
	下 15.0~22.5	5.03	0.72	5.75	42.7	1.3	0	7.4
原土	上 0~10	0.71	11.10	11.81	46.6	0.7	—	4.2

(3年6作経過)

※ 試験開始以降投入した磷酸肥料(改良資材として加えた磷酸も含む)の成分総量を乾土 100 g 当りに換算した。

圃場で栽培した作物は収穫物として大部分が除去されるが、しかし根系・刈株・落葉などは作物残渣として畑に還元される¹⁵⁾。この残存物の多少が栽培跡地土壌の腐植含量に影響を及ぼすとともに、それらに含有されている養分の量と濃度はまた跡地土壌の養分含量に関係してくる。¹⁰⁾
²⁹⁾¹¹⁾ 本試験においても、耕起法の違いによつて残存する作物根量の差異が推測され、またコンバインによる収穫の場合は刈株等の収穫物残渣が必然的に増加し、耕起法の差異によつてこれら残渣の土壌中の分布(鋤込位置)が異なることが考えられる。

そこで耕起後の前作物残渣の土壌中における分布ならびにその量を明らかにするため、夏作コーンおよび冬作大麦跡を耕起後、土壌を層位別に採取して水中篩別の方法⁹⁾に準じて根系および刈株の分布状況を調査した。表 2 は大麦跡の耕起後の調査結果を示したものである。これからわかるように、0~2.5 cm 間の土壌中の残根刈株の全量は両区とも殆んど差異がないが、層位別の分布には明らかな差が見られる。すなわち表攪耕区では全残渣量の 7.4% が上層に分布し、しかも刈株はその全量が上層に見られ中・下層には全く分布していない。これに対して反転耕区では、上・中層(同区の耕土内に相当)にほぼ均一に分布し下層の分布は明らかに少なかった。

このような作物残渣の分布状況の差異は、両耕起区の作物根系が異なること、——後述するよう表攪耕区の中層以下の土壌は 4 作の栽培期間全く機械による攪乱が行われず、その期間表面からのトラクタの車輪踏圧が数多く繰返されたために土壌硬度が著しく高まり、根系が浅くなった——また耕起深度の違いによつて刈株の鋤込位置が異なることなどにもとづく、

また表 2 で特筆すべきことは、刈株の量が手刈の場合よりも極めて多い点で、これはコンバイン収穫に際する高刈(1.5~2.0 cm)の影響と考えられる。刈株の量は収穫時における条件で種々異なるが、本試験の大麦では全麦稈重の 30% に相当した。

機械化栽培条件下では、以上の通り収穫物残渣が多量に還元され、かつ耕起法によつて耕起後のこれらの分布状況が異なるが、これらの結果を前に述べた層位別の窒素供給力と比較するとその傾向は非常に良く一致する。また、土壌中の微生物活性や菌量をほぼ同様の方法で層位別に調査した結果を見ても、¹²⁾有機物(主として作物残渣に由来すると考えられる)の供給ならびに分解が両耕起区の層位によつて異なることが確認された。これらのことから、毎作における作物残渣の層位別還元量の違いが、層位別の窒素の供給力の相異の原因となつたと考える。また残渣の質の違い(C/N 比等)も当然窒素の供給力に影響を及ぼすと考えられるから⁸⁾³⁰⁾前作物の種類によつて耕起後の層位別窒素の供給力が異なることが推定されるが、これについての検討は行っていない。

表 2 耕起の作物残渣(残根・刈株)の分布状況 大麦跡耕起後調査
(Kg/10a)

区	項目 深さ	残 根		刈 株		残 渣 (合計)		
		風乾重	// 指数	風乾重	// 指数	風乾重	// 指数	含有率
表 攪 耕	上 0~75 ^{cm}	333.3	68.3%	107.5	100.0%	440.8	74.0%	0.687%
	中 75-150	72.5	14.8	0	0	72.5	12.2	0.136
	下 150-225	82.5	16.9	0	0	82.5	13.8	0.136
	0~225	488.3	100.0	107.5	100.0	595.8	100.0	0.334
反 転 耕	上 0~75	204.2	41.3	58.3	56.9	262.5	44.0	0.456
	中 75-150	192.5	37.5	37.5	36.6	230.0	38.5	0.386
	下 150-225	97.5	6.7	6.7	6.5	104.2	17.5	0.187
	0~225	494.2	100.0	102.5	100.0	596.7	100.0	0.345

注) I 調査は $40\text{ cm} \times 40\text{ cm} = 160\text{ cm}^2$ の面積につき 1 mm 節を使い、水中篩別により根および刈株を分離した。3 反復平均値

ii 指数は 0~22.5 cm 間の全風乾重を 100 とした層位別の分布割合を示す。

iii 含有率は乾土 100 g 当り残渣の含量(%)を示す。

ii) 有効リン酸：前項と同様の試料について有効リン酸 (True P_2O_5)、アルミ型リン酸の分析を行いこの結果を表 1 に示した。これを見ると、表攪耕区上層の有効リン酸の含量が著しく高く、中・下層では低い。また、反転耕区では上・中層ともほぼ等量であるがその含量は表攪耕区の上層より劣る。これらの結果は前述した乾土効果の場合と全く同様の傾向である

山本ら¹³⁾ は火山灰土壌においては乾土 100 g 当り 7.5 mg 以上のアルミ型リン酸が存在すれば、その土壌のリン酸の肥沃度は高く維持されることを認めているが、この値を表 1 に示した両耕起区のアルミ型リン酸の含量と比較すると、表攪耕区の上層はこれより明らかに高く反転耕区の耕土(上・中層)は限界値に近似的、また両耕起とも耕土直下では明らかに低かった。

次に、このように有効リン酸およびアルミ型リン酸の含量が異つた原因を検討するために、試験開始以来 6 作目までに施用されたリン酸(積算投入量)を耕起法および仮比重をもとにして計算によつて求めて見た。この結果は表 1 に示す通りである。表攪耕区では上層以外は全く土壌の攪乱が行われなかつたので、当然の結果ではあるが中・下層に対するリン酸の投入量は少く、上層のみに非常に多くなる。反転耕区では耕土内の上・中層はほぼ等量であるが全積算投入量が同じであるから、その値は表攪耕区の上層より明らかに少い。

火山灰土壌における作物による肥料リン酸の利用率は極めて少く¹⁷⁾、大部分が土壌リン酸として蓄積され、またその主なる型態がアルミ型¹⁴⁾、ついで鉄型リン酸である。また、一般にこのような蓄

積磷酸含量と有効磷酸含量との間には正の相関が認められている。これらのことから、前述した両耕起区の層別有効磷酸含量の差異は、耕起法の差異によつて層別別の磷酸積算投入量が異つた結果によると考えられる。

iii) 置換性加里：置換性加里の分析結果は表1に示す通りで、加里においても今まで述べた窒素、磷酸の分析結果と全く同様の傾向が認められた。これらの原因については明らかでないが、表3に示した作物残渣の分析結果¹⁶⁾から推定して、窒素の場合と同様に層別別作物残渣の還元量の違いが原因と考える。

表3 作物残渣の量と残渣中の三要素含量 (Kg/10a)

作物	残渣の量	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
小麦※	残根 80~130	}1.8	0.4	3.1
	刈株 150~250			
荳科※	残根 60~70	}3.8~6.0	1.2	4.0
	地上部 90~120			
小麦△	刈株 180	4.0	0.7	2.0
青刈コーン△	// 135	1.0	0.3	2.1
大麦△	残根 488	}4.9	1.2	3.0
	刈株 108			

※ 新耕作体系—マリツエフ農法(菅野一郎氏訳 農業技術14:211-215)より引用
△ 圃場試験(表攪耕)の結果

2) 耕起法の違いが土壤の物理性に及ぼす影響

土壤の化学性の検討に引き続き、表攪耕および反転耕に伴う土壤の物理性の変化を明らかにするため、両耕起区の土壤三相、硬度、孔隙、透水性などの調査を行いこれを比較した。

1) 仮比重、透水性、PF水分含量：試験開始後6作(3年)を経過した両耕起区の土壤の物理性は表4、1・2図に示す通りである。

まず表4により両耕起区の仮比重を比較すると、表攪耕区では深さ5cmより著しく仮比重が高まり深さ15cmから再び低下する傾向があるが、特に5~10cm間の仮比重が最も高かつた。反転耕区では15~20cm間の値が最も高く、両耕起区とも耕土直下における仮比重の増大が明らかに認められた。

また透水性においても仮比重と同様の傾向が認められたが、一般に火山灰土壤における飽和透水係数が10cm/sec²⁾以上の高い透水係数を示す³¹⁾ことから、耕土直下における土壤の透水性は著しく低下しているといふことができる。

次に同表によつてPF 水分含量(乾土%)を考察すると、両耕起区ともPF 4.0の水分含量は耕土と耕土直下の土壌により明らかな差異が見られ、耕土の方が低い傾向を示した。火山灰土壌¹⁸⁾は風乾処理などによつて親水性が失はれ非自由水分¹⁸⁾(PF 4.2における水分含量)が減少する²⁰⁾といわれているが、本試験のように耕起深度が異なりながら両耕起区とも耕土とその直下の土壌においてPF 4.0の水分含量に違いが見られた。このような差異は耕起に伴う自然的な物理作用によつて耕土の非自由水分が減少したことに起因すると考えられる。また両耕起区とも耕土直下のPF 0における水分含量が減少し、PF 1.5では増加が認められ、したがつて耕土直下における土壌の粗孔隙の減少がうかがわれる。(孔隙については後述)

表 4 表攪耕区および反転耕区の物理性の比較

耕起法	調査地点 cm	※ 仮比重	透水性 Kcm/sec	PF-水分(乾土%)				
				PF 0	1.5	2.0	3.0	4.0
表攪耕	0~5	0.87	2.7×10	67.6	47.3	41.2	28.9	20.6
	5~10	0.96	2.1×10	62.6	57.4	49.7	35.1	26.0
	10~15	0.94	6.7×10	64.8	54.3	46.6	32.9	25.3
	15~20	0.86	1.8×10	67.7	46.7	—	—	28.0
反転耕	0~5	0.88	3.2×10	66.3	48.3	44.2	31.6	22.1
	5~10	0.88	2.4×10	66.0	51.3	44.6	30.5	21.6
	10~15	0.80	3.7×10	69.7	44.0	38.9	27.2	19.7
	15~20	0.94	1.7×10	63.3	57.1	—	—	27.5

※ 40年4月7日測定

ii) 土壌水分の消長ならびに孔隙の変化: 図1は両耕起区の水分率(v_L)の変化を固相率(v_S)との相関で示したものである。この結果は美園氏が行つたライシメータにおける実験結果²⁷⁾と同様で、 v_S と v_L の間には耕起法の如何にかゝらず正の相関が認められた。 v_L 、 v_S は0~15cm間の土壌についての測定結果を示したものであつて、前述した通りこの範囲の仮比重は明らかに表攪耕区が高いから、したがつて水分率は表攪耕区が高い傾向を示した。

次に v_S の変動によつて圃場における v_L に差異が見られた原因を明らかにするために、両耕起区より実容積法によつて土壌を採取し、PF水分率が固相率の変動によつてどう変わるかを比較した。土壌を採取した深さは前回と同様深さ15cm以内である。

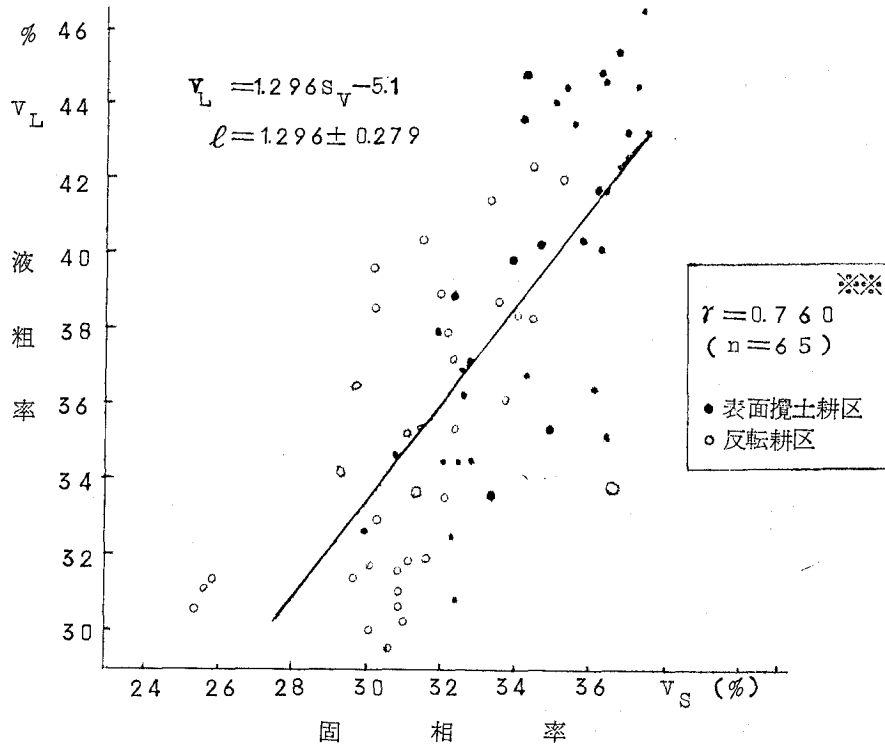


図1 表面攪土耕，反転耕区の0~1.5cm間における V_S と V_L との相関

その結果図2に示す通り本実験の固相率の範囲においては，同一pF条件下における V_L と V_S との間には正の相関が見られ，かつ直線の回帰係数は高pFほど低い傾向があつた。しかし統計処理の結果により，回帰係数はpF 1.5ならびにpF 2.0とpF 4.0の間には有意差が認められたが，pF 1.5とpF 2.0の間には有意差が認められなかつた。この結果より V_S の増加に伴うpF 1.5ならびにpF 2.0における V_L の増加割合はpF 4.0の場合より明らかに高いといふことができる。また図2のpF 0と各pF条件下の V_L との差はそれぞれのpF条件下における空気率(V_A)を示すから，したがつて V_S の変化に伴うそれぞれのpFに相当する孔隙の変化を知ることが可能である。すなわち V_S の増加によつて減少する孔隙はpF 1.5~2.0以下に相当する粗孔隙であつて，その減少割合は全孔隙より高いから，pF 1.5~2.0以上の毛管孔隙がかえつて増大することがわかる。

pF 2.0~pF 4.0の範囲の V_L を保水力の指標として(火山灰土壌の圃場容水量はほぼpF 2.0に相当する²²⁾²⁵⁾) V_S と V_L (pF 2.0~pF 4.0間の水分率)との相関を求めると次の関係が得られた。

$$V_L (\text{pF } 2.0 - \text{pF } 4.0) = 1.224 V_S - 1.53 \quad r = 0.948$$

以上の結果比較的孔隙率の高い火山灰土壌では、固相率の増加（土壌の圧縮）によつて pF 2.0 ~ 1.5 以下の粗孔隙が減少し毛管孔隙が増加する結果保水力が増加することが明らかとなつた。表攪耕区の水分率が高かつたことも以上の理由によると考えられる。

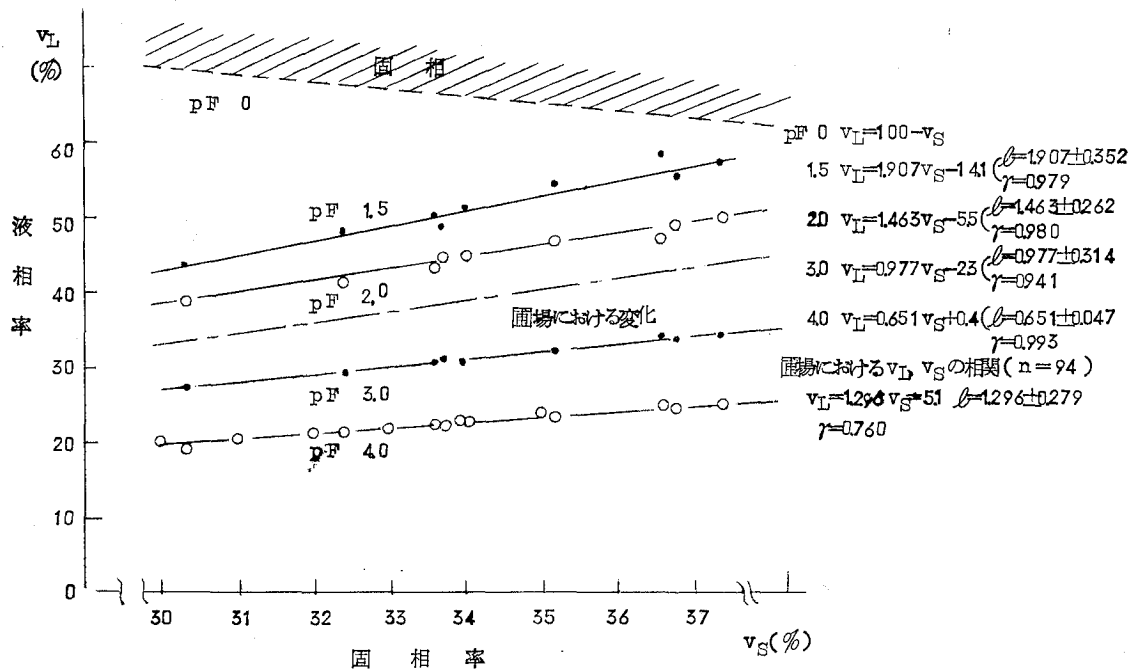


図 2 同一 pF 条件下における固相率と液相率との関係

- 注 i) 圃場における v_s , v_L の相関は両耕起の 0 ~ 20 cm 間の測定結果 94 点より求めた。
 ii) pF 1.5, 2.0 は吸引法により、また pF 3.0, 4.0 は遠心分離法によつて求めた。

iii) 土壌硬度の比較：土壌硬度の物理的意味についてはなお明確を欠くことが多いが、一般に soil tilth 判定の基準のための実用的な比較値を得る目的で²¹⁾多くの測定が行われている。

そこで本試験では大型機械化一貫栽培条件下において、耕起法の違いが土壌硬度にどのような影響を及ぼすか、また圃場における土壌硬度のバラツキはどの程度か、など主として圃場におけるこれらの実態を明らかにしようとした。

まず表 5 により両耕起区の土壌硬度を比較すると、表攪耕区は深さ 7.5 cm の位置より下方に約 10 cm の厚さで土壌硬度が高まり、また反転耕区では約 17.5 cm の深さの位置を中心にして約 5 cm の厚さの土壌硬度が高く、両耕起区とも耕土直下で土壌硬度の増加が著しい。

これらの結果は前述した仮比重と同様の傾向である。

表 5 土 壤 硬 度 測 定 結 果

耕起処理	測定位置 (深さcm)	硬 度 [※] Kg/cm ²	標準偏差 S	変動係数 C _V	標準誤差 S _{\bar{x}}	誤差の信頼限度 $\bar{x} \pm t_{0.05} S_{\bar{x}}$	水分% M ₀
表 攪 耕	2.5	8.0	2.34	29.2	0.68	8.0 ± 1.49	35.8
	7.5	19.0	4.47	23.5	1.29	19.0 ± 2.84	〃
	22.5	20.9	2.31	11.1	0.67	20.9 ± 1.47	34.7
	17.5	20.6	1.98	9.6	0.57	20.6 ± 1.26	〃
	22.5	17.8	2.30	12.9	0.66	17.8 ± 1.46	41.2
	27.5	13.9	1.88	13.5	0.54	13.9 ± 1.20	〃
反 転 耕	2.5	6.9	4.00	57.6	0.15	6.9 ± 3.68	38.1
	7.5	11.0	4.24	38.6	1.60	11.0 ± 3.92	〃
	12.5	14.9	2.85	19.1	1.08	14.9 ± 2.64	41.2
	17.5	20.4	2.64	12.9	1.00	20.4 ± 2.64	〃
	22.5	16.1	2.19	13.6	0.83	16.1 ± 2.03	43.0
	27.5	13.0	1.92	14.9	0.72	13.0 ± 1.77	〃
人 力 耕	2.5	3.9	2.03	52.1	0.72	3.9 ± 1.66	28.2
	7.5	5.6	2.90	51.8	1.03	5.6 ± 2.36	〃
	12.5	5.8	0.89	15.3	0.32	5.8 ± 0.73	30.4
	17.5	10.4	4.07	39.1	1.44	10.4 ± 3.32	〃
	22.5	11.9	2.80	23.5	0.99	11.9 ± 2.28	33.7
	27.5	10.4	2.33	22.4	0.82	10.4 ± 1.90	〃

※ SR-2型土壌抵抗計による測定結果一点につき12反復の測定を行った
昭和40年6月大麦牧穫前に測定

次に土壌硬度の圃場におけるバラツキをC_Vによつて比較してみると、一般に各層位ともC_Vの値は高かつたが、特にこの傾向は耕土において明らかである。この原因はいろいろなく耕土内の土壌硬度が比較的低いため測定位置におけるトラクタの車輪踏圧の如何、およびトラクタの走行回数の影響を強く受けるためと考えられる。

また表6によつて両耕起区の年次別土壌硬度の推移を見ると、耕土内の土壌硬度は耕起前後によつて増加と低下を繰返してその変化が大きい。これに対し耕土層直下では比較的变化が少く、反転耕区では試験開始2作目、また表攪耕区では表攪耕開始前の土壌硬度はその後大きな変化を示さなかつた。

以上の通り両耕起区とも耕土直下から5~10cmの厚さで土壤硬度が増大し、したがって表攪耕区では反転耕区より浅い位置に土壤硬度の高い層が形成された。しかし年次別土壤硬度の推移から見て、その層における土壤硬度の増大は比較的短期間内に進行しその後の変化は比較的少いと考えてよい。

表6 土壤硬度(山中式硬度計)の経年的変化

耕起区	測定位置 (cm)	試験開始前 36.10	冬作	夏作	冬作	夏作	冬作	夏作
			1作 耕起直後 36.12.8	2作 跡地 37.10.17	3作※ 耕起直後 37.12.11	4作 跡地 38.9.9	5作 耕起直後 38.12.23	6作 跡地 39.10.5
表面攪土耕	2.5	14.0	13.0	16.5	10.0	13.5	12.0	14.0
	7.5	16.5	18.5	25.5	24.0	24.5	24.0	25.0
	12.5	17.5	19.5	26.0	24.0	24.0	24.0	24.0
	17.5	19.5	21.5	25.0	24.0	24.0	24.0	24.0
	22.5	23.0	24.0	24.5	24.0	25.0	24.0	23.0
	27.5	24.0	24.0	24.0	23.0	25.0	24.0	21.0
反転耕	2.5	14.0	13.0	16.5	7.0	12.5	13.0	11.0
	7.5	16.5	18.5	25.5	18.0	20.0	19.0	20.0
	12.5	17.5	19.5	26.0	19.5	21.5	20.0	21.0
	17.5	19.5	21.5	25.0	23.5	23.0	22.5	23.0
	22.5	23.0	24.0	24.5	24.0	24.0	22.0	25.0
	27.5	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	20.0	21.0

※ 表面攪土耕開始1年目

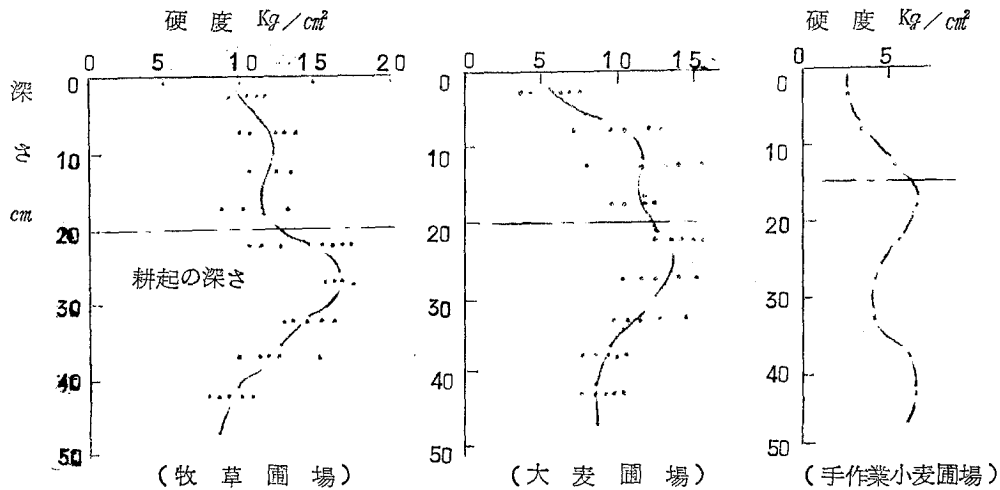
iii) トラクタの走行回数と土壤硬度の変化並びに踏圧層の形成: 前述で述べた圃場における土壤硬度の増大は主としてトラクタの車輪踏圧に起因すると考えるならば、圃場におけるトラクタの走行回数によつて土壤硬度が異なることが当然考えられる。また走行回数の増加に伴つて下層における土壤硬度がどのように変わるかについても更に検討する必要がある。

そこでこれらの関係を明らかにするために、まず大型機械化一貫作業を実施している圃場から比較的トラクタの走行回数の多い牧草圃場と、走行回数の少ない大麦圃場を選び、土壤硬度の実態を調査するとともに、~~表~~圃場においてトラクタの車輪による踏圧試験を行い、走行回数と土壤硬度ならびに容積重との関係について検討した。

図3によつて牧草圃場と大麦圃場の土壤硬度を深さ別に比較すると、両圃場とも耕土層直下の土

壤硬度が最も高く前述した反転耕の場合と同様の傾向が認められた。しかし耕土内の土壤硬度は追肥・刈取りなどによるトラクタの走行回数の多い牧草圃場で明らかに高い傾向が見られた。

図3 機械化栽培圃場における土壤硬度の比較



- 注 1. コーンペネトロメーターによる貫入抵抗値 Kg/cm^2
 2. 大型機械導入後2年半を経過し、農作業は全て大型機械によつた
 3. 牧草畑のトラクタの走行回数25回、大麦は8回である。
 4. 耕起は14"ボトム・プラウによつた

いうまでもなく、図3に示した両圃場の走行回数は作業工程から求めたものであるからこの数値が土壤硬度の調査地点における走行回数とは考えられない。しかしながらこの実態調査から、機械化栽培によつて耕土直下の土壤硬度が増加すること(一般に耕盤¹⁾または犁底盤³⁶⁾といわれる層に相当すると考えられる)、また走行回数が多い場合には耕土内にも土壤硬度の高い層ができることなどがわかつた。

次に走行回数と土壤硬度ならびに容積重の変化との関係を知るために行つた踏圧試験の結果を述べる。なお試験処理区として、踏圧回数0, 1, 3, 5, 10回の5処理区を設け、その他の条件を一定にするため土壤水分(39.5~40%)接地圧(インター約1.2t)接地圧は測定していない)などは同一とした。

これらの試験結果は図4・5・6, 表7に示す通りである。まず図4によつて走行回数と土壤硬度の深さ別の変化を見ると、各走行回数ともタイヤ接地面に近いほど硬度が高く、かつ土壤硬度が増大する範囲(深さ)は走行回数10回の場合においてもタイヤ接地面より深さ10cm以内

に限られそれ以下の土層では大きな変化が見られなかつた。なおタイヤ接地面から水平方向に対

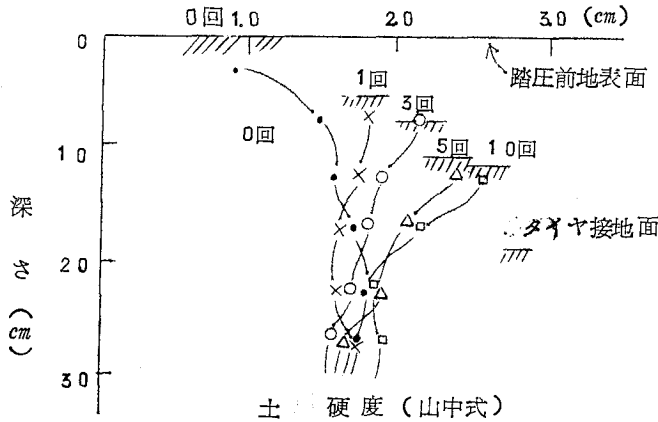


図4 表層踏圧による土 硬度の変化
回：走行回数を示す

する土壌硬度の変化も測定したがこれらの変化はほとんど見られず、またタイヤ接地面ではタイヤ巾の中心線より鉛直方向の土壌硬度が各深さとも高い傾向を示した。¹²⁾ (図省略)

次にトラクタの走行回数 (N) を変えた場合の容積重 (乾土重 / 1000g) の変化を容積重比 (e) で示し両者の関係を示すと

図5となる。(e は走行前の各深さまでの容積重の平均値を1とした場合の比率)。図5の (b) は深さ別に見た e の変化を示したもので、走行回数の増加によつて容積比重が増加する土壌の範囲は深さ 0 ~ 1.5 cm (タイヤ接地面より 0 ~ 1.0 cm) であつて特に 0 ~ 1.0 cm 間の数値が高い。この傾向は図4の土壌硬度と同様である。また図5 (a) は地表面から各深さまでの e の変化を示したものであるが、走行回数 (N) と e との関係は次の実験式で示される。³³⁾

$$e = 1 + \frac{N}{a + bN} \quad (a, b \text{ は 常 数})$$

この実験式の常数の値は図5に示す通りである。これらの実験式より求めた走行回数 (N) に対する容積重比 (e) の計算値は表7に示す通り実測値と極めて良く一致する。

また表7の $N \rightarrow \infty$ の場合の e_{∞} の数値 $(1 + \frac{1}{b})$ と各走行回数における e_N との比率³³⁾ を 0 ~ 1.0 cm 間における実測値について求めてみると、 e'_1 (N=1回の時の e_1 と $N \rightarrow \infty$ の時の e_{∞} との比率を示す) は 93.3%、同様に $e'_5 = 96.9%$ 、 $e'_6 = 98.3%$ が得られ、本実験条件下では5回の走行によつて $N \rightarrow \infty$ の場合の e の極限值にほぼ近以した。

佐々木氏³⁵⁾はローラの通過回数と地表面の沈下量との実験公式を求め、これより各通過回数に対する締固め度を求めている。これによると N=3回の場合は $N \rightarrow \infty$ の場合の 55 ~ 75%、N=6回の場合は 70 ~ 85% を示し、容積重から求めた本実験の式の場合とかなりの開きがあるが、このような差異が本実験に用いた踏圧時の条件の何に起因するかについては検討していない。

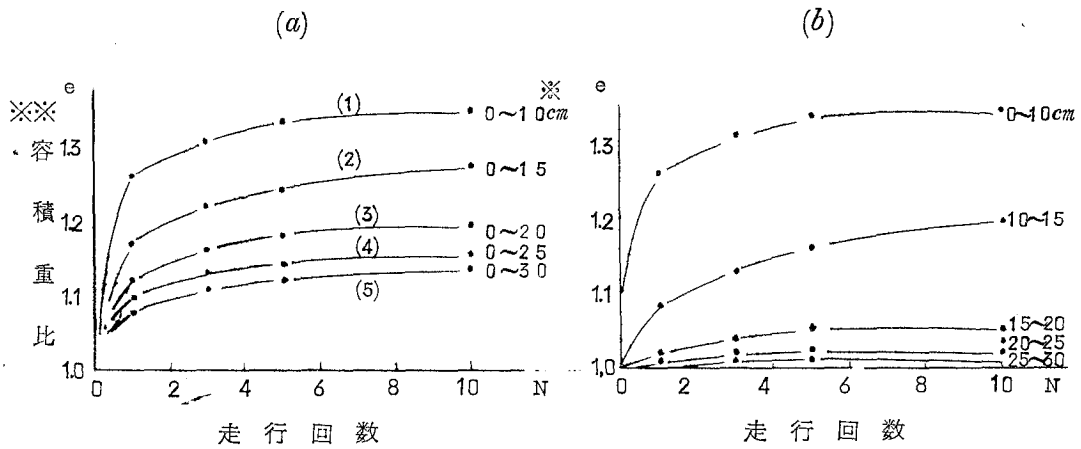


図5 トラクタの走行回数と土壌容積重比との関係

※※ 踏圧前の容積重を1とした場合の比を示す

※ 踏圧前の地表面よりの深さを示す

Nとeの関係式

(1) 0~10cm	$e = 1 + \frac{N}{1.019 + 2.869N}$	$N \rightarrow \infty \quad e = 1.349$
(2) 0~15cm	$e = 1 + \frac{N}{2.303 + 3.545N}$	$N \rightarrow \infty \quad e = 1.282$
(3) 0~20cm	$e = 1 + \frac{N}{3.522 + 5.004N}$	$N \rightarrow \infty \quad e = 1.200$
(4) 0~25cm	$e = 1 + \frac{N}{3.812 + 6.444N}$	$N \rightarrow \infty \quad e = 1.155$
(5) 0~30cm	$e = 1 + \frac{N}{4.921 + 7.373N}$	$N \rightarrow \infty \quad e = 1.136$

表7 eとNとの関係(計算値と実測値の比較)

N	e_N 0~10cm間			e_N 0~15cm間			e_N 0~20cm間		
	計算値	実測値	差	計算値	実測値	差	計算値	実測値	差
0	1.000	1.000	—	1.000	1.000	—	1.000	1.000	—
1	1.257	1.258	-0.001	1.171	1.169	+0.002	1.117	1.118	-0.001
3	1.312	1.307	+0.005	1.232	1.216	+0.016	1.162	1.156	+0.006
5	1.325	1.326	-0.001	1.250	1.242	-0.005	1.175	1.178	-0.003
10	1.337	1.340	-0.003	1.265	1.267	-0.002	1.187	1.190	-0.003
∞	1.349	—	—	1.282	—	—	1.200	—	—

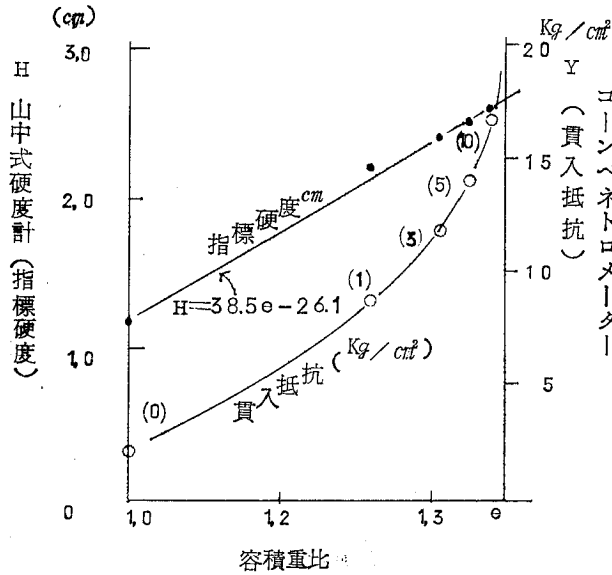


図 6 土壤硬度と容積重増加率との関係

- 注 I) ()内数字は走行回数を示す
 注 II) $e=1$ は容積重 $67.2 \text{ g} / 100 \text{ cc}$
 注 III) 土壤水分: $39.5 \sim 42.5\%$ における測定結果

図 6 は容積重比の増加に伴う土壤硬度の変化を図示したものであるが、この結果指標硬度 (山中式硬度計) は e の変化に対して直線的關係にあることが認められた。

指標硬度 (H) と貫入抵抗値 (Y) との間には次の関係があるから、 e の測定値から Y を求め、 e と Y との関係を図示すると図 6 の曲線が得られる。

$$Y = 6.28 \times \frac{2H}{[4-H]^2} \quad \left(\begin{array}{l} H: \text{指標硬度 (cm)} \\ Y: \text{Kg/cm}^2 \end{array} \right)$$

また図 6 の ● と H の関係式から走行回数 $N=10$ の時の指標硬度 (H) を求めると、深さ $0 \sim 10 \text{ cm}$ 間の容積重比の極限值は 1.349 であるから指標硬度 2.58 cm が得られる。またこれを貫入抵抗に換算すると 16.1 Kg/cm^2 が求まる。すなわちこの数値は本実験条件下における容積重比の極限值における土壤硬度に相当する。

圃場におけるトラクタの走行はもちろん本実験のように数回の走行が連続して繰返されることはほとんどなく、走行時における圃場条件はその時々によつてかなり違つてくる。また接地圧も作業内容によつて異なるから前述した踏圧試験の結果は更に複雑な要因の解析をまたなければならぬ。しかしながら、両耕起区の耕土直下の土壤硬度に数年来余り変化が見られないこと、(表 6) またその指標硬度が踏圧試験より求めた容積重比の極限值における土壤硬度とはほぼ一致することなどから、両耕起区の耕土直下における土壤は 6 作期間におけるトラクタによる踏圧の繰返しによつて極限近くまで締まり、ほぼ安定化していることが推定される。

一方圃場作業に伴うトラクタの車輪踏圧の状況であるが、これは図 7⁴⁾ に示すように作業の種

類によつて2つの型に分けられる。(a)図は耕起作業(ボトム・プラウ)に伴う踏圧の状況を示したものであり、また(b)図は耕起後の管理作業ならびに収穫作業に伴う状況を示している。圃場における土壌硬度の実態(図3)は、このような車輪踏圧の状況を良く反映しているように考

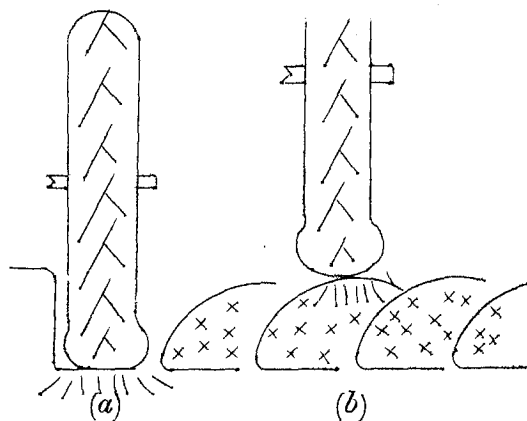


図7 wheelによる踏圧状況

- (a) ボトム・プラウによる耕起時の踏圧(下層踏圧)
- (b) 圃場管理、収穫作業時の踏圧 (表層踏圧)

察される。以上圃場における土壌硬度調査結果、踏圧試験結果ならびに踏圧の状況などから、圃場における土壌硬度の増大は主としてトラクタの車輪踏圧に伴う土壌の圧縮によるものであり、圧縮によつて土壌硬度が高まった土層(踏圧層と仮称)は農作業に伴う踏圧の状況によつて耕土直下と耕土内にそれぞれ形成されることがわかつた。

両者は踏圧層形成の過程から見ても明らかに区別して考えられるが、また形成された踏圧層の位置(深さ)によつて作物に対する影響が異ると考えられる。¹²⁾³⁴⁾³⁵⁾そこで筆者は表層踏圧によつて形成された踏圧層を表層踏圧層、また下層踏圧によつて耕土直下に形成された踏圧層を下層踏圧層と仮称し、両者を区別することにした。

3) 表攪耕区および反転耕区の作物の生育収量

現在試験を継続中のため最終的な結論は得られていないが、6作目までの結果から両耕起区を比較すると表8に示す通りとなる。なお表攪耕区は3作目より設置したので表に示した結果は3作目から6作目までの4作物についての比較である。

収量についてみると表攪耕開始後3作物については両耕起区に差はほとんど見られないが、4作目の実取コーンの収量は明らかに表攪耕区が勝つた。

作物の生育状況を比較すると、大麦では反転耕区の後期の生育量が勝り、実取コーンにおいては初期生育は表攪耕区が著るしく勝るが後期の生育は反転耕区が勝る傾向が見られた。

次に両耕起区の根系を水中篩別によつて調査した結果を大麦について比較すると表9の通りである。この結果は表2に示した結果と同様の傾向で、表攪耕区の深さ7.5cm以下の根の伸びは反

転耕区と比較して著しく悪く、根系が非常に浅いことが特徴として認められる。

表 8 耕起法の違いが作物の生育収量に及ぼす影響

a) 生育量

項目 月 日	5作目大麦乾物重(1m間 ϕ)				6作目トウモロコシ乾物重(10株)		
	12/19	2/21	3/18	4/17	7/20	7/27	8/24
表攪耕区	3.02	14.1	26.3	114.7	28.0	83.1	230.0
反転耕区	3.04	15.3	32.0	127.3	15.7	69.4	240.0

b) 収量

(子実重Kg/10a)

項目 処理区	3 作 目	4 作 目	5 作 目	6 作 目
	小 麦	大 豆	大 麦	トウモロコシ
表攪耕区	361	222	467	384
反転耕区	345	223	446	330

表 9 大麦根系調査結果

(Kg/10a)

表攪耕	根 重	反転耕	根 重
0~7.5 cm	299.0	0~7.5 cm	257.0
7.5~15.0	77.5	7.5~15.0	132.0
15.0~22.5	62.5	15.0~22.5	79.1
0~22.5	439.0	0~22.5	468.1

- 注 1. 昭和40年4月7日大麦生育期間に測定した。
 2. 測定は大麦残渣の分布調査の場合と同様の方法で行った。
 3. 0~7.5cm間の根重には両耕起とも切株が若干含まれている。
 4. 栽培法はドリル播(18cm全面ドリル)によった。

なおこれらの生育状況ならびに収量結果に対する解析はほとんど行っていないので、これらに関する知見は得られていないが、両耕起区の土壌の理化学的特性から見て、作物生産との関係は単に土壌養分の問題に限らず、土壌物理性の面から詳細な検討が必要と思われる。

III 結 論

大型機械導入に伴う土壌の理化学性の変化を明らかにするため、表面攪土耕および反転耕を対

比させながら、両耕起法の違いが土壌の理化学性に及ぼす影響を検討した。

これらの結果を要約すると次の通りである。

1) 両耕起区の化学性について三要素の養分含量を深さ別に比較した結果、各要素とも表面攪土耕区の耕土が最も勝り表層の肥沃化が認められたが、その肥沃な土層は極めて浅く浅耕土化の傾向が認められた。また反転耕区の耕土は表攪耕区の耕土より肥沃度は劣つたが、耕土の深さでは明らかに反転耕区が勝つた。

このように耕起法の違いによつて層別別の土壌肥沃度が異なる原因を検討した結果、機械による収穫で比較的多量に還元される作物残渣、あるいは施肥磷酸の残効（蓄積磷酸）の累積効果が耕起深度によつて異なるためであることがわかつた。

2) 土壌の物理性の変化を層別別に比較した結果、両耕起区とも耕土直下5～10cmの厚さの土壌の固相率の増大が顕著に認められ、それに伴つてその層における土壌の透水性の低下、土壌硬度の増大が顕著に認められた。また土壌水分の消長を表層0～15cm間の土壌について比較した結果、固相率の高い表攪耕の水分率は明らかに反転耕区より勝つた。

またこの原因を固相率の増加に伴う孔隙の変化から検討し、固相率が増加したのは粗孔隙が減少し毛管孔隙が増加したため、その結果保水力も高まつたことがわかつた。

圃場における踏圧層の形成について、踏圧試験、圃場における土壌硬度の実態、ならびにトラクタの車輪踏圧の状況から検討し、大型機械導入に伴う踏圧層の形成は主として農作業に伴うトラクタの車輪踏圧によるものであり、踏圧の状況によつて耕土直下および耕土内にそれぞれ踏圧層が形成されることがわかつた。

踏圧層形成の過程ならびに作物に対する影響を考慮して両者を区別し、前者を下層踏圧層、後者を表層踏圧層と呼ぶことにした。

圃場試験において認められた踏圧層は、反転耕区は下層踏圧層、表攪耕区は表層踏圧層に相当する。

また農作業に伴うトラクタの走行回数と土壌物理性の変化との関係を明らかにするため、裸地圃場（自然断面）において踏圧試験を行い走行回数と容積重の変化、それに伴う土壌硬度の変化などにつき検討を加え、これらの関係を明らかにした。

なお本実験は極めて限られた条件下における試験結果であつて、土壌の種類、土壌水分³³⁾、下層土の状態（下層土の膨軟）等単に土壌条件を考慮しただけでも検討すべき多くの問題が残されている。

終りに本研究にあつて種々懇切な指導を受けた徳永美治研究室長、鈴木達彦前研究室長に厚く感謝の意を表すると共に、分析の一部を担当した深山技官ならびに共同研究者の労を多としたい。

引用文献

- 1) 佐藤清美：土壤の物理性(10) (1964)
- 2) 望月武雄他：弘大農報(9) (1963)
- 3) 常松 栄：農機誌 23: 87~89 (1962)
- 4) William R. Gill, Agr Eng 40(7) 392~394 (1959)
- 5) 米田茂男：農園 29: 5~10 (1954)
- 6) 佐藤清美他農業技術：18: 401~405 (1963)
- 7) Phillips, R.E., and Kirkhan: Soil sci soc Amer Proc 26(4)
(1962)
- 8) 渡辺・仁紫・石井：日土肥誌 23: 77 (1952)
- 9) 作物試験法：農業技術協会 (1956)
- 10) 出井・浜崎：九州農試彙報 3: 387~397 (1956)
- 11) 渡辺他：農事試研報(5) 1~44 (1963)
- 12) 農事畑作部試験成績書 畑作部・畑土研 昭和38.3.9 (未発表)
- 13) 山本・宮里：日土肥誌講演要旨(11) 79 (1965)
- 14) 試験成績書，農業技術研究所化学部 才5研究室 昭和34
- 15) ソビエト農業技術資料(7)，農林水産技術会議事務局 調査課 (1964)
- 16) 菅野一郎：農業技術 14: 211~215 (1959)
- 17) 江川・関谷・飯村：農技研報，B(7) 31 (1957)
- 18) 竹中 肇：農土研(7)別冊，68~75 (1963)
- 19) 美園 繁：日土肥誌，33: 48~58 (1962)
- 20) 美園 繁：農技研報，B(11) (1958)
- 21) 米田茂男：土壤の物理性(2) (1962)
- 22) 吉良芳夫他：農技研報，F(12) 117~209 (1960)
- 23) 吉良・安保・相馬・伊藤：農土研(7)別冊76~80 (1963)
- 24) Free G. R Agr Eng, 34(8), 528~530 (1953)
- 25) Phillips, R. E. Kirkhan, D: Agron, J, 54: 29~34 (1962)
- 26) 涌井 学他：農機誌，12(1.2) 27~31 (1951)
- 27) 美園 繁：日土肥誌，34 (1963)
- 28) 農事試畑作部試験成績書，農事試畑作部 機械化研究室 昭和37年度

- 29) 出井・浜崎：九州農試彙報 3, 399~411 (1956)
- 30) 試験成績書, 東海近畿農試 土肥研究室 昭和38.39
- 31) 田淵俊雄：農土研(7)別冊 (1963)
- 32) 山中金次郎：日土肥誌 33:343~347 (1962)
- 33) 佐々木次郎：農土試報告(1) (1963)
- 34) 試験成績書, 北海道農試畑作部 土壤改良研究室, 昭和38, 39
- 35) " " 長野農試桔梗原分場 土壤肥料研究室 昭和39
- 36) 山田 忍：土壤の物理性 (1964)