

相模川流域の水田・畑地における深い土層の物理性

寺 沢 四 郎*

Physical Properties throughout Deep Soil Profile in the Alluvial Paddy and
Volcanic Upland Fields along SAGAMI River.
National Institute of Agricultural Sciences

In order to get the data of soil physical conditions which connected with the circulation of materials in soil at arable land, some physical properties of deep soil profile in the paddy and upland fields were carried out. The results obtained are as follows.

In the alluvial paddy field, the physical properties were measured about soil profile having a depth of 12 meters. Whole subsoil is structureless without large pore space of 0.1 mm or more, and is as a state of hydrophilic gel which gains large amount of bound water. The relative proportion of silt in soil separates increases as enlargement of soil depth and that of clay decreases conversely.

In the volcanic upland field, the physical properties were measured on the soil profile having a depth of 7 meters. The solid ratio of volcanic ash soil is only 22 percentage, and the amount of bound water is very large. It is recognized that the large pore space having pore sizes above 0.1mm decreases as increasing of soil depth. The large pore space at soil depth of 5 meters or more are negligible as an impermeable layer. The level of underground water is recognized into the lapilli layer at a depth of 8 meters. Such a soil, which was applied the excreta of domestic animals, has a little small pore space and shows the high retainivity of bound water. It is considered that soil structure becomes worse according to application of the excreta.

1. はじめに

生態系としての農耕地における物質やエネルギーの循環を取扱う場合には、まず循環系の各種構成要素を一つ一つ解析しておかなければならない。農耕地生態系の中で占める土壌は、無生物的環境としての最も主要な部分であり、この中に生物群集としての作物、土壌微生物、土壌動物などが生息して、独自の生態系を形づくっている。ところが、農牧畜の集中的企業化にともなって、一時に農地へ大量の畜産廃棄物の投与、流入が目立ち、また農村の市街化による生活や産業廃棄物の流入が不可避になるなど、農耕地土壌の生態系は、著しく乱されてきている。土壌中での廃棄物の分解過程、あるいは拡散、流出の循環過程を追跡するには、溶媒あるいは流体としての水の移動を規定するより深い土壌圏の物理性を知ることが先決である。

従来、水田の土壌断面の物理性は、土壌調査などで、たかだか深さ1 m程度であり、畑地でも2 m前後の断面調査にとどまっている。水田は、低湿地に分布し、浅い

地下水位を持つ関係もあって、地下水上部の浅層の物理性が調査対象になったものと思われる。しかし物質循環の担い手である地下水流動や水資源の確保にかかわる深層地下水の再利用などの問題を取扱う場合には、やはり深い土層における基礎的な物理性を把握することが必要である。この報文は、上述の物質循環を念頭におきながら、沖積地帯の深さ12 mにおよぶ水田土壌と家畜糞尿を浸透処理している深さ8 mの火山灰畑地土壌の物理性について調査したものである。

2. 供試土壌

神奈川県中央を北から南に流下する相模川の左岸には、相模野と称する広大な洪積台地が分布している。この相模野台地から相模川に向かって幾段かの段丘地形がみられ、より河に面したところまで沖積性水田が細長く分布している。この試験で採土した地点は、図1に示したように、相模川左岸に近い、海老名市の平坦な水田地帯である。

試料の採取方法は、ロータリ式ボーリング工法によるもので、長さ1 m、内径10 cmのシンウォール・チューブ

* 農技研

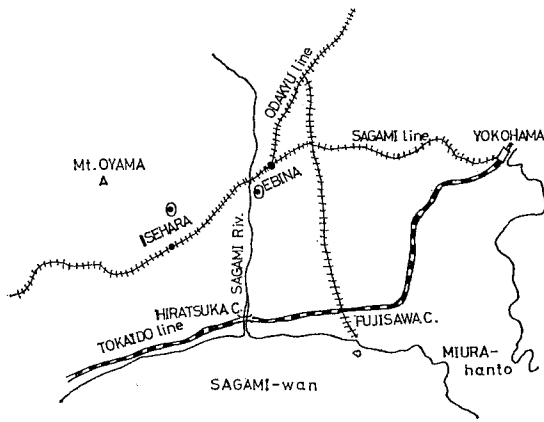


Fig. 1 Sampling site in KANAGAWA prefecture

をランマーで土中に打込み、不攪乱の状態を試料を採取する方法である²⁾。このシンウォール・チューブの打込みで、円筒内の試料に圧密が多少起こるものであるが、飽水状態の水田の場合は、全く圧密は認められなかった。これは、地下水位が45cmと浅いために、下層土は、ほぼ飽水状態であり、円筒内壁の貫入抵抗が少ない上に、固液二相系のため圧密が起こらないことによるものである。

ボーリング工法による、深さ12mまでの土質調査の概況は、図2の通りである。断面の特徴的な点は、深さ5.40~6.00mに粗粒質の土層が存在し、その下部にはシルト質の軟弱な土層が12m以下にも、連続堆積しているようである。わずかではあるが、有機物が全層にわたり含まれている。

一方、畑地土壌は、相模川の右岸に分布する伊勢原地区の小台地の土層から採土した。この地区のロームは、立川ローム層に属し、隣接地は中新統およびそれ以前の古期岩類からなり、低地は海老名地区のような沖積面につながる。小台地の標高は、ほぼ150~200mであり、丹沢山地に面して分布している。伊勢原地区の地層には、①宝永軽石、スコリア層（富士山系）が10cmの厚さで、②東京軽石層（箱根山系）が40cmの厚さで堆積している¹⁾。

採土した畑地には普通の畑作物が栽培されているが、畑地の一部に家畜(牛)糞尿が深さ1mの土層にパイプで放流され、土壌による糞尿の分解と浄化を行なっている。土層内部に浸透した糞尿中の諸成分は、どのように水とともに挙動するかは、断面の物理的状态により規制されよう。この畑地調査では、糞尿処理区と対照区の2つ土層断面の不攪乱土を採取して、それらの物理性を調査した。図3には、ボーリングの際の土壌断面の一般的性質が示されている。深さ6mから浮石がロームの中に混入

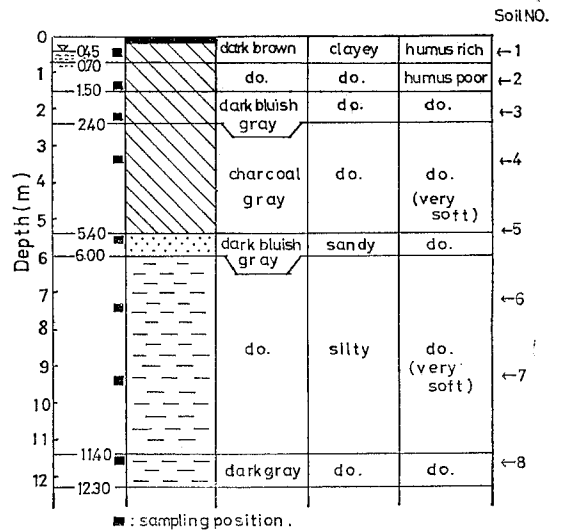


Fig. 2 Soil profile of paddy field in EBINA area

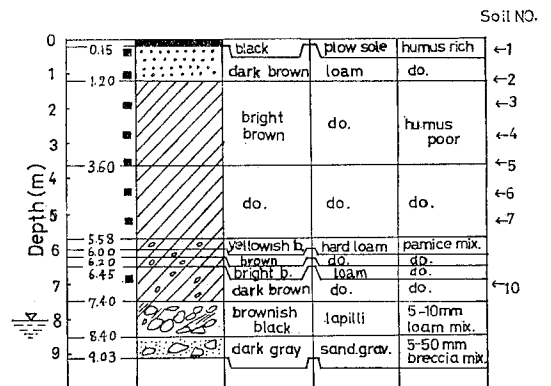


Fig. 3 Soil profile of control plot of upland soil in ISEHARA area

し、7.4m以下には火山礫層が現われ、地下水帯は8mの位置に存在する。表層1mの土層は、有機物がきわめて豊富であるが、それ以下は、一様に有機物が少ないローム土層が堆積している。水田・畑地から採取した不攪乱土の土壌番号、土層の深さなどは表1に表示した。

3. 物理性の測定法

(1) 3相分布

ボーリング工法のサンプラーとして使用されるシンウォール・チューブに充填された試料は、直ちにパラフィンでシールされて輸送保管される。この土の入った金属のサンプラーを所要の長さで切断して、サンプラーの土中に、100cc 試料円筒を挿入して、試料を採取する。土壌3相は、実容積測定法に準じて測定し、データの整理

Table 1 Undisturbed soils collected in Situ

Land use	NO. of soil	Depth m	Bulk density g/cm ³	Water ratio in Situ wt%	
Paddy field	1	0~0.95	0.82	76.8	
	2	~1.90	0.64	118.7	
	3	~2.85	0.68	107.9	
	4	~3.80	0.79	89.5	
	5	5~5.85	1.11	52.1	
	6	7~7.85	0.85	79.1	
	7	9~9.85	0.72	99.2	
	8	11~11.85	0.87	76.8	
Upland field	Control plot	1	0~0.95	0.97	36.5
		2	~1.75	0.73	92.3
		3	~2.57	0.60	115.5
		4	~3.37	0.58	128.4
		5	~4.17	0.58	132.6
		6	~4.97	0.57	138.2
		7	~5.58	0.55	144.9
	10	6.63~7.43	1.02	59.8	
	Dung plot	1	0~0.95	0.93	41.9
		2	~1.63	0.74	89.7
		3	~2.43	0.59	113.7
4		~3.23	0.57	129.3	
5	~4.13	0.58	127.4		
6	~5.03	0.57	136.5		
11	6.78~7.58	0.78	86.3		

を行なった。

(2) 粒径組成

水田土壌の場合、カルゴンで分散した試料をピペット法で粒径を測定した。畑地土壌の場合、完全分散を促進するために超音波処理を行ない、のちカルゴン分散を行なった。土性区分は国際法によった。

(3) 保水性

土壌水の吸引圧 (pF—水分曲線) の測定は、土柱法、遠心法、圧膜法、蒸気圧法によった。pF—水分分布曲線を作図するさいの、微分容水量 $\frac{\Delta M_w}{\Delta pF}$ を算出するときの ΔpF 変化量は、0.2とした。

4. 測定結果と考察

(1) 3相分布

(i)水田：土壌の3相分布は、図4に示した。固相率についてみると、深さ2m附近に25%の最小の固相率を示し、深さ6m附近には約40%にも達する最大の固相率を示すなどして層位によりかなり変動しているが、ほぼ30%の固相率で垂直分布している。最小の固相率の層位

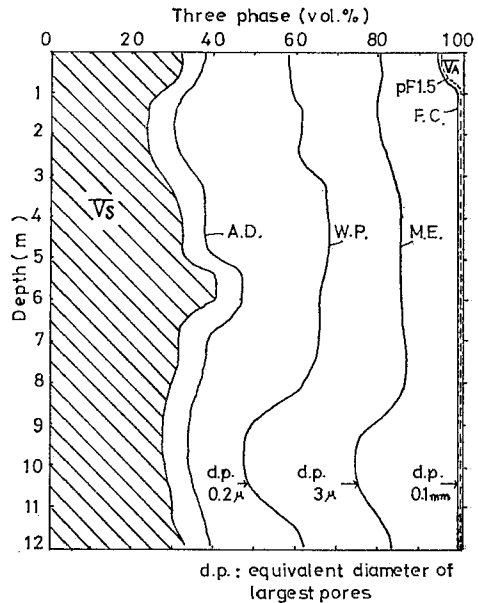


Fig. 4 Three phase distribution of paddy soil

は、粘土とシルト含量が少い土壌であり、最大の固相率を示す土層は、約半数以上が砂部分で占められる。

全孔隙量の分布は、固相率と逆の関係になるが、ほ場容水量 (F.C.) は、ほぼ飽和水分状態である。採土時の地下水位は、45cmと浅層にあるため、深層土壌は飽和状態になると思われるが、不攪乱土壌の pF1.5の垂直分布も、F.C. と全く一致していることがわかる。すなわち、この種の水田では、1m以下の土層には、pF1.5以下の粗孔隙量が全く存在しないことが判明した。表層土の方には、数%の粗孔隙量が分布しているにすぎない。

このように、水田では、全孔隙のほとんどが、結合様式を異にする土壌水で占められている。結合水と自由水の境界を永久シカレ点 (W. P.) と仮定すれば、深さ8m附近までは結合水と自由水の割合はほぼ同量とみなされる。強結合水の指標となる風乾土水分 (A. D.) は各土層とも数%で、ほぼ等しいが、弱結合水 (A. D. から W. P. までの水分) は、粘土含量の高い土層で大きい傾向を示す。

一方、自由水の領域では、ほ場容水量 (F. C.) から水分当量 (M. E.) までの毛管孔隙量 (当量直径 3~100 μ) と水分当量からシカレ点までの微細孔隙量 (当量直径 0.2~3 μ) の割合はほぼ等しい状態にある。

(ii)畑地：対照区と糞尿処理区 (以下処理区と記す) の3相分布は図5に示す。固相率の分布は、対照区と処理区の間には差異はない。表層1mと深さ5m以下の浮石層では30%以上の高い固相率を示しており、内層部1~5

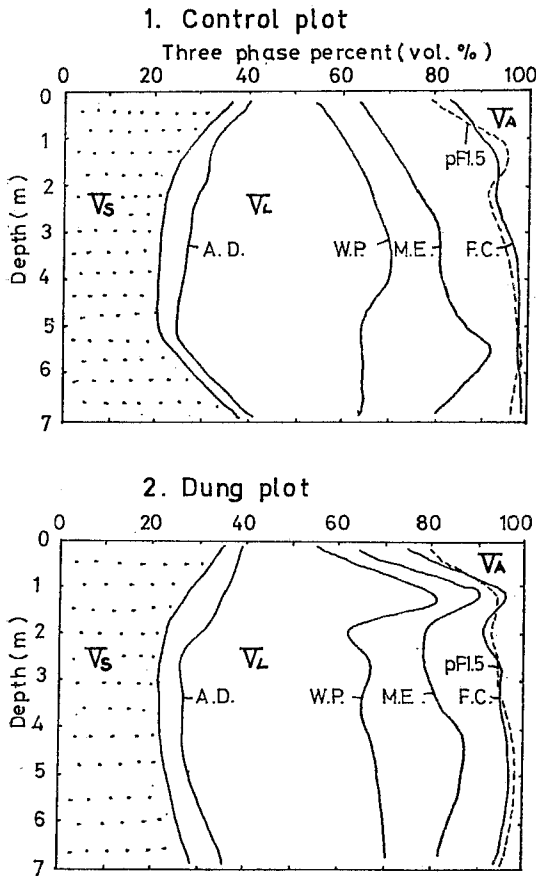


Fig. 5 Three phase distribution of upland soil

mの土層では22%程度の固相率を示して普通の火山灰ロームの状態にある。表層1mには、火山灰の外に、中新統およびそれ以前の古期岩類の風化物が含まれているために、固相率が高いものと思われる。深さ5m以下には浮石や火山礫を含むために、高い固相率を示す。

一方、対照区の全孔隙の中で占める気相率 (V_A) は、深さ5m付近で著しく減少してゼロに近くなる。室内で測定した pF1.5の値は、ほ場含水量にほぼ近い値で変化している。深さ5mの土層からは硬いローム層になり余剰水の排水が悪くなり、降雨直後は一次的に滞水層になる。乾燥時の地下水水位は、深さ8mの火山礫層に形成する。

結合水の保持量は、火山灰の内層部が最も大きく、表層と最下層では少ない。自由水の占める孔隙量は、表層土ほど多く、とくにF.C.とM.E.の間の毛管孔隙量が下層に向うにつれて減少し、火山礫層で再び増大する傾向にある。

糞尿処理区と対照区の間での大きな差異は、糞尿が流入する深さ1mの土層のシオレ点の水分が急増すること

である。W.P.以上の結合水が増加したために、その分だけ自由水を貯留する大小の孔隙量がおしなべて減少している。これは糞尿の流入により分散状態の土粒子のまわりにアルカリ土類の吸着がおこり、また、糞尿に含まれる有機物の集積によって、和が一層増加したことが考えられる。

(2) 粒径組成

(i)水田：一般に、土性はSiC, SiCL, LiCであり、第5層のみが細砂の多いSiに属する。図6に示したように、No.5の土層は、他の上層に比べて、粒径分布が特異であり、堆積様式も異なるものと思われる。

No.5を除いた各粒径フランクシヨンの垂直分布をみると、粘土、細砂部分はともに下層土ほど減少して、逆にシルト部分が増大する傾向が認められる。図6にみられるように、粒径分布はシルトをピークとする凸型の分布をとり、土壤番号が大きくなるほどそのピークが高くなる。換言すれば、堆積年代の古い深層の土壤ほどシルト含量が多くなり、逆に粘土含量が少なくなる傾向を示している。

前述したように、海老名水田地帯は、相模川流域の沖積世水積土であり、現在の平坦な低地面を形成する前は、大小様々の火山灰台地の間に存在する河谷低地を形づくっていたものと思われる。度かさなる河川の氾らんで運ばれる土粒子は、この河谷に沈積して理積し、水流の強いときは細かい土粒子は下流に流され、粗い土粒子

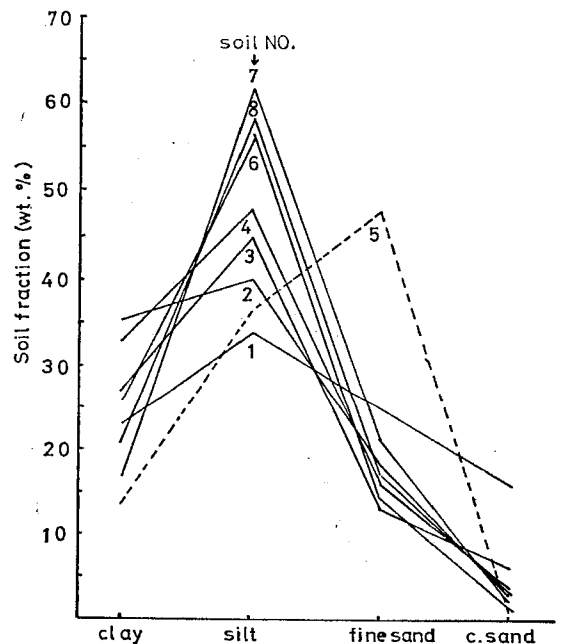


Fig. 6 Particle-size distribution of paddy soil

は比較的上流に沈積する。一般に、河谷地形が急しゅんな古い時代ほど水流の強さは、大きくなるから、粘土よりも粒径のあらいシルト質の土粒子が古い堆積層に沈積する割合が高くなる。このような河川堆積による沖積面をもつ海老名水田を考えると、深い土層ほどシルト質の土性が優勢となり、浅い土層は粘土質になることが類推される。

(ii)畑地：火山灰土壌の粒径分析は、普通のカルゴンによる分散だけではきわめて不十分であり、超音波による分散処理を併用しないと、マイクログリゲートの中の粘土やシルトフラクションが砂部分にとりこまれて、正確な土性を表示することはできない。この試験に供試した土壌の超音波分散の有無による。各フラクションの変化は図7に示した。

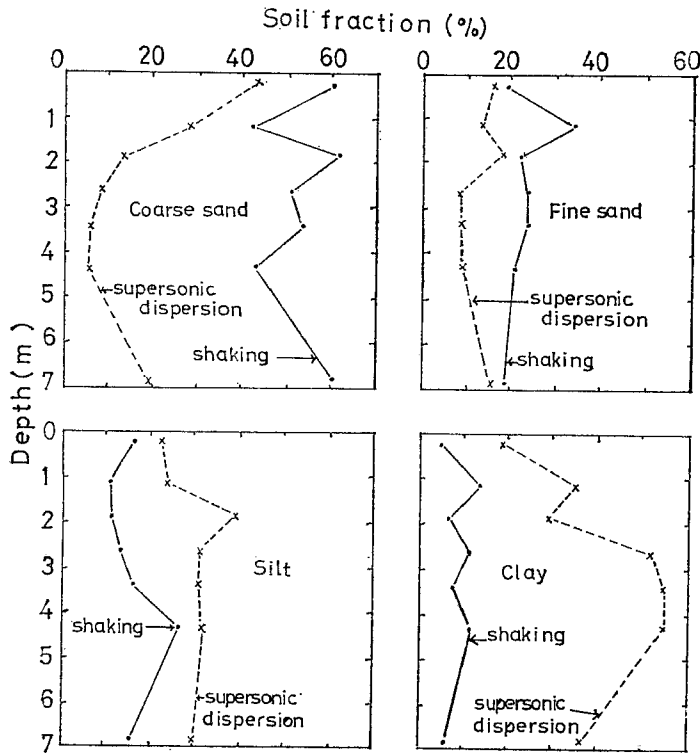


Fig. 7 Differences of soil fraction between both dispersion methods (dung plot)

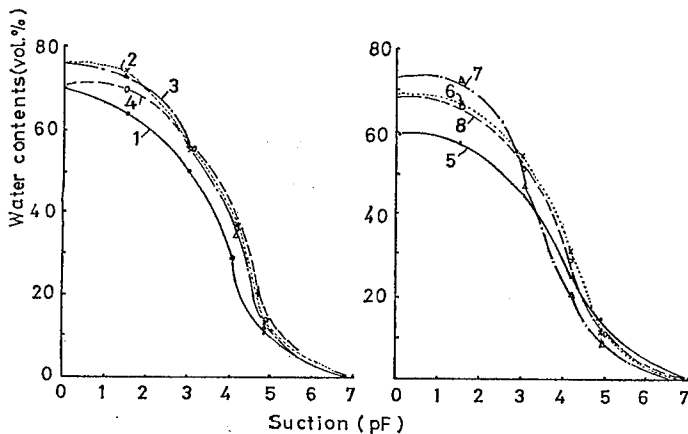


Fig. 8 Water characteristic curves of paddy soil

粘土とシルトの両フラクションは、超音波処理で例外なく増加し、逆に細砂と粗砂は減少する。とくに、この処理で粘土分が著しく増加し、その増加分だけ粗砂が減少する結果となる。このような傾向は、深さ2m以下の内層部でとくに激しく、表層土では超音波処理による変化は、比較的少ない。

各土層の土性をみると、表層から下層になるにつれて、CL, LiC, HC と変化する。内層部は、粘土分50%にも達するHCの土性であるが、アロフェン特有のマイクログリゲートの形で粘土粒子が凝集しているため原土そのものは重粘性土壌のような物理性は示さない。

対照区と糞尿処理区間の粒径組成および超音波による分散効果などにはとくに興味ある結果は認められなかった。処理区には、多量の糞尿が流入しているために、土壌の分散になんらかの相違があると思われるが、この点は今後の検討にまわしたい。

(3) 保水性

(i)水田：各土層の水分特性曲線は、図8に示した。各曲線はいずれも、逆S型曲線で示され、第1層、第5層、第7層を除く土層は、ほぼ同じ曲線上にある。

水分特性曲線を凝微分して得られる微分容水量の分布曲線は図9に示した。各土層の分布曲線の特徴は、pF4からpF5の間にピークをもった、凸型の曲線で示され、全般的に結合水の保持量が高い。しかも、低pF領域の保水力が低く、とくにpF0~1.0の水分は第1層を除けば、事実上ゼロであり、粗孔隙にきわめて貧しいことがわかる。さらに、pF4以下の自由水は、pF0から吸引圧が増加するに伴って、単調に増加している。また、pF4~5のピークを過ぎて高pFになる

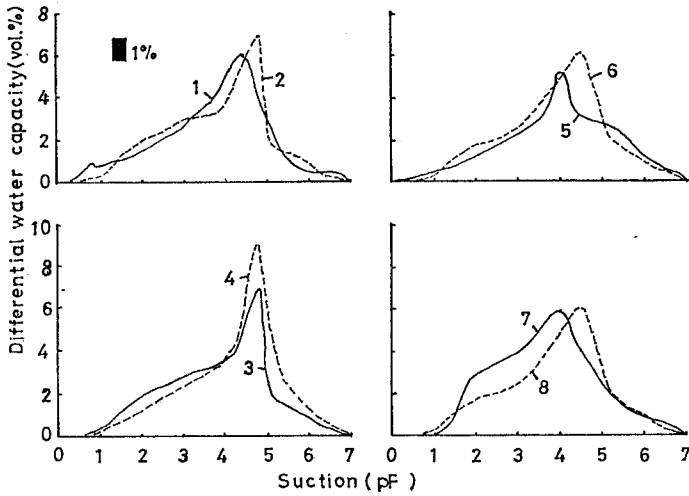


Fig. 9 Water distribution curves of paddy soil

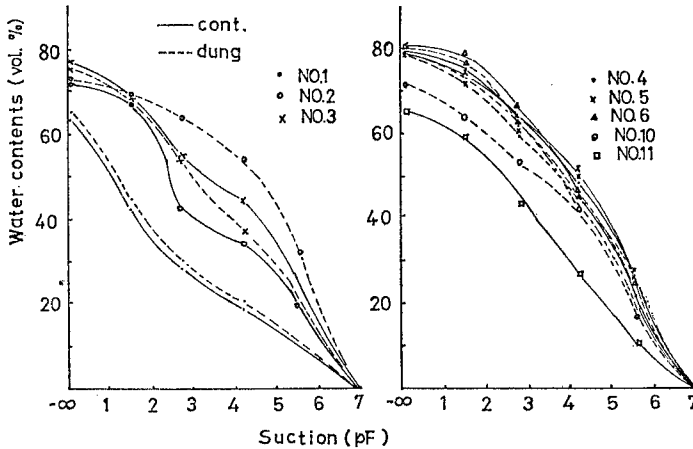


Fig. 10 Water characteristic curves of upland soil

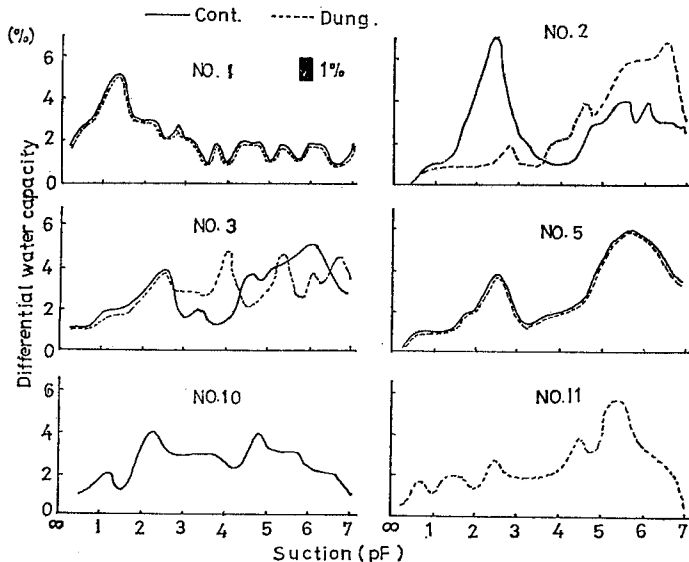


Fig. 11 Water distribution curves of upland soil

と、保水力は急激に低下する。結局、この種の水田土壌では、 pF 4 ~ 5 の弱結合水（または膨潤水）を主体とする保水形態をとり、その弱結合水の内側には強結合水が粒子界面に保持され、外側には水和土粒子の間の孔隙に、接合部集積水の形で自由水が保持されているものと推察される。

(ii)畑地：対照区と糞尿処理区の水分的特性曲線は、図10に示した。両区間の曲線のズレは第2層と第3層の水分曲線にみられ、とくに糞尿の流入する第2層に明確に現われている。他の同一土層における水分曲線には、処理区間の差異はみられない。

各 pF に対応する微分含水量の水分分布曲線は、図11に示した。畑土壌の分布曲線の形は水田土壌のような単調なものではなく、吸引圧 pF 4 を境にした、低 pF 領域と高 pF 領域にそれぞれピークをもった分布曲線を示す。低 pF 領域に分布のピークをもつことは、比較的安定な粗孔隙や毛管孔隙をもち、構造的に富むことを示している。いうまでもなく、水分分布曲線は各種の当量直径をもった孔隙の分布曲線でもあり、No.1のように低 pF 領域の水分が多い土壌ほど粗孔隙に富む土壌といえる。対照区の第2層になると、 pF 2.5附近にピークが移動して比較的小さい毛管孔隙が多くなり、第3層以下の深い土層になると、 pF 2.5のピークの高さが小さくなり、毛管孔隙の絶対量が少なくなり、構造の悪化が認められる。

一方、 pF 4.0以上の高 pF 領域での水分分布曲線は、弱結合水と強結合水（または膨潤水と吸湿水）の保持力を示すものであるが、第1層では結合水が少なく、第2層から深さ6 mまでは深さが増すにつれて結合水は増加の傾向にある。火山灰土壌による結合水は、非晶質のアロフェン粘土の界面および超微細孔隙内に保持される水分であるが、風乾処理によって不可逆的に保水力が減少する特質を有することは、よく知られている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。糞尿処理による保水力の変化は、第2

層と第3層の分布曲線に現われる。とくに、第2層の分布曲線の場合には、pF 2.5附近のピークが完全に消失して、その代りに pF 4.0 以上の高 pF の水分保持力が増大する。すなわち、糞尿の流入した土壌では、個々の土粒子のまわりに比較的結合力の強い水分が多量に保持され、その結合水の容積増加分だけ毛管孔隙が縮小された形となる。家畜糞尿中に含まれる、多量の有機物やアルカリ土類金属は、和した形で土粒子のまわりや、微細孔隙内に吸着保持されるために、結合水は著しく増加するものと考えられる。

したがって、ほ場で糞尿処理を長く続けると、透水性に関与する低 pF 領域の孔隙が顕著に少なくなり、水の浸透が悪化するのと同じ場所での糞尿処理は続けられなくなるのである。

5. 総括検討

(1) 水田土壌の物理性

相模川流域の低平地に広がる沖積面は、河川による堆積作用で形成されたものか、海の堆積作用で作られた海岸平野なのか、あるいは前二者の共合作用によるものかは予測の域を出ない。この沖積面の土壌調査によれば、深い土層ほど粘土含量が少なく、シルト含量が増大する傾向にある。この堆積物粒径の垂直分布からみれば、古い年代の河川ほど深い峡谷と傾斜をもち、水の流れが強いものとすれば、比較的粒径の大きい土粒子は深層に堆積することになる。これは、河川の堆積作用にみられる上流から下流へと堆積物の粒径が小さくなる現象に類似している³⁾。河川の堆積作用の場合は、上流から下流へと、流れの線にそって堆積物の粒径を追跡して、その作用を判定できるが、この海老名水田の場合、線の中の点の調査でしかないので、河川の堆積作用を論ずるには問題が多い。

海老名水田の下層は深層にわたりきわめて軟弱なシルト-粘土層からなり、全孔隙量、含水比とも高く、圧密収縮量が大きく、いわゆる軟弱地盤を構成する。深さ1mから、グライ化した暗青灰色の土層が現われ、深さ11mでは暗色グライ層が続いている。海岸平野のシルト-粘土層は、厚さ10~25mにも及ぶといわれ、海老名水田の場合も、軟弱なシルト質の土層が、相当の深さまで続くものと予想される。

神奈川県農試の土壌調査によれば海老名水田は、新山統に属し、灰色グライ土壌である。この土壌調査の対象は、深さ1mの土層にすぎないが、土層内に斑紋がみられ下部にはグライ層があらわれる、いわゆる地下水土壌型類である。地下水の影響でできたグライ層では、個々の土粒子は分散状態になり粒子相互の影響をうけること

なく表面に結合水を最高度に吸着しうる。しかも、粒子の外液には可動化した結合物質が和酸化物として水分子を吸着してゲル状に沈積し系全体は結合水を多量に保持した親水性コロイド (hydrophilic colloid) の状態にある⁶⁾。グライ層では、結合水の吸着量が多いために、土粒子間の通水間隙が縮小、あるいは閉鎖されるために土層内の水理条件をよくしても土壌の透水が悪く排水は困難である。透水に関与する直径 0.1mm (pF 1.5相当) 以上の粗孔隙が、深い土層に事実上存在しないことが沖積層の特徴の1つといえる。

このように、沖積層の下部には、多量の地下水が存在しているが、この地下水は永年停滞しているものか、あるいは、流動しているものかは明らかでない。もしも、停滞型の地下水であれば、土壌に投下される化学肥料や廃棄物などの分解残留成分の溜池となりわずかながら年々集積の傾向をたどるのであろう。一方、緩慢な地下水流動型であれば、分解残留成分の集積は、前者に比べて少ないであろう。この点は、物質循環の観点から興味ある問題である。

また、地下揚水による農業用水の確保の問題でも、深層地下水の状態をしることがきわめて重要である。海老名水田地帯に関する限り、地下水帯は表層深さ45cmから12mの深層まで連続した自由面地下水であり、被圧地下水帯は存在しない。したがって、このような水田地帯で地下揚水すれば、地下水位の低下とともに、土層中の水が脱水されて土壌収縮による地盤沈下が起こるのであろう。

(2) 畑地土壌の物理性

伊勢原地区の小台地は、立川ローム層でおおわれている¹⁾。岩石の風化物や浮石を含まない火山灰ローム層は、深さ1.5~5.0mの層位にあって、固相率は20%程度と少なく、全孔隙の大半は結合水で占められ、0.1mm以上の粗孔隙は数%でしかない。深さ5mでは粗孔隙はゼロで硬度も高く不透水層の状態となっている。多雨時には地下水が、この不透水層の上に生成し、ときには、深さ2~3mのところ地下水水位が観測された。通常の永久地下水水位は、深さ8mの火山礫層に存在しており、たえず地下水流動が行なわれている。したがって、多雨後の一時地下水の流動方向は、永久地下水に垂直浸透するものと、不透水層の斜面にそって横移動するものが考えられる。伊勢原地区の小台地は起伏が多いので、案外、横移動による水分移動が活発に行われているのかもしれない。

土壌中に投与される化学肥料、家畜糞尿、廃棄物などに含まれる諸成分の移動は、可溶成分を携動する土壌水の移動形態に強く支配される。土壌水に溶存する有機・

無機諸成分が浄化されないまま地下水系に流入して、井戸水、河川、湖沼などに負荷される過程を解析するには、気象、地形、地質、地層などの諸条件に対応した土壌水の運動形態を把握しておかなければならない。たとえば、前述した深さ1 mの土層に糞尿を放流した場合に、分解過程の糞尿成分が雨水による浸透水で洗滌されたり、浅い一時地下水中に拡散移動したりする過程を解析するには、浸透水や地下水の流れの方向あるいは流速を知ることが先決である。このような水の流れを知るには、深層の透水孔隙の状態や土壌水の存在形態をまず調査し、さらに地下水流動の実態調査と土層中の水分収支の定量化を進める必要がある。

6. ま と め

農耕地における物質とエネルギーの循環を解析するさいの1つの基礎データをうるため、水田・畑地の深い土層の物理性について調査し次の結果を得た。

(1) 海老名沖積水田では、深さ12 mにおよぶ土壌物理性を調査した。下層は0.1 mm以上の粗孔隙のない無構造土壌で、結合水を多量に吸着した親水性コロイドゲルの堆積状態にある。地下水は浅層から深層に水理的に連続した自由面地下水である。粒径組成は、深層ほどシルト含量が高く、逆に粘土含量が低下する傾向がみられる。

(2) 伊勢原火山性畑地では深さ8 mにおよぶ土壌物理性を調査した。固相率は内層部が最も少なく、全孔隙中に占める結合水の量は増大して、毛管孔隙は少なくなる。表層から下層に向かうにつれて粗孔隙量が少なくな

り、深さ5 m以下では粗孔隙が事実上ゼロになり、不透水層の状態にある。この不透水層のため、多雨時には一時地下水を生成するが、永久地下水は深さ8 mの火山礫層に存在する。家畜糞尿を放流した深さ1 mの土層では、pF 4以下の毛管孔隙が著しく消失して、高pF領域の結合水が増大し孔隙性が悪化していることが認められる。

〔謝辞〕この調査研究を進めるにあたり、不撓乱土の採集で多大の援助をうけた農研鈴木達彦科長をはじめ関係各位に厚く謝意を表す。また、土壌物理性の測定に協力を惜しまれなかった農研粕淵辰昭氏、高橋義明氏に深く謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 関東ローム研究グループ；関東ローム，築地書館，102～123（1965）
- 2) 大矢・大井；土質調査法，土質工学会，133—177（1964）
- 3) 地学団体研究会地学事典編集委員会；地学事典，平凡社，708～709（1970）
- 4) 山崎・八幡・須藤；関東ロームの物理的性質，農土研，別冊7，1～13（1963）
- 5) 多田・山崎・竹中・安富・田淵；関東ロームにおける新时期ロームと古期ロームの物理的性質の比較，農土論，14，67～70（1965）
- 6) 寺沢四郎；水田土壌群の物理的特性に関する研究，農研報，B22，197～200（1971）