

278

No. 6

April, 1962

Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan

土 壌 の 物 理 性

第 6 号

昭和 37 年 4 月

綜 説

土壌の沈定容積について 安 部 六 郎

論 説

土壌の透水性に対する通割 山 中 金 次 郎

資 料

傾斜地における耕うん 手 塚 尚 門・小 中 俊 雄

作物よりみえ深耕の効果 渡 辺 和 之

報 文

ライシメーターにおける畑土壌の 2.3 の突数 寺 沢 五 郎・岩 田 進 午

遠心法による P-F 2.0 の測定について 岩 田 進 午

畑作における深耕問題 西 溝 高 一

土 壌 物 理 研 究 会

東京都北区西ヶ原 農業技術研究所化学部内

評 議 員 氏 名

鈴木啓夫、川口桂三郎、川村秋男、吉良芳夫、竹原秀雄、藤堂 誠、富士岡義一、松尾英俊、美園 繁、山崎不二夫、山中金次郎

土 壤 物 理 研 究 会 規 程

才1条 本会は土 物理研究会と称す。
 才2条 本会は土 の物理性を中心として試験研究の発展と農業技術への貢献を図ることを目的とする。
 才3条 本会はその目的を達成するために次の事業を行う。

- 1 研究発表会、討論会及び見学会等の開催
- 2 土 の物理性 (Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan 会誌とらう) 並にその他の印刷物の発行
- 3 内外の研究、技術の交流及び他学会、諸団体との協力
- 4 その他本会の目的を達成するために必要な事業

才4条 本会の会員は正会員及び賛助会員の2種とする。

才5条 会員は次の会費を所定の期日までに納めるものとする。

正会員 年額800円 賛助会員 1年毎額2000円

才6条 本会に次の役員をおく。

会長1名、副会長1名、評議員若干名及び幹事若干名役員の選出は総会において行い、その任期は1年とする。但し再任をさまたげない。

才7条 会長は毎年1回以上総会並に評議員会を召集する。

才8条 本会の経費は会費その他の収入をもつてあてる。

才9条 本会の会務執行に必要な規定は別に定める。

附 本会の事務所は当分の間下記にある(昭和34年4月現在)

東京都北区西ヶ原 農業技術研究所化学部内土壌

才1科土壌物理研究室

編 集 委 員 会 協 議 事 項

3-1 出處者：吉良、八幡、小中、幸次、山中、美園、岩田

- 1 6号の論文の審査のわりふり
- 2 6号発行の際、どんな記事が役に立つかなどについてアンケートを行う。
- 3 評議員会るとき、評議員に2~3名ずつ持つていつていただいて、会員を増加して行く。

土 壤 物 理 研 究 会 新 入 会 者 (36年度)

昭和34年2月1日以降 37年2月31日現在

氏 名	住 所
三和産業	群馬県澁水郡松井田町大字松井田 660
佐藤 博	北海道立農試 琴似
横山博和夫	北海道農試(札幌市琴似町八軒)
山本 茂	北海道大学農学部(札幌市北九条西7丁目)
川原由元	北海道(帯広市西4の8、帯広開発建設所)
茶野忠夫	北海道(同 上)
小柳盛夫	北海道(同 上)
鈴木啓介	北海道農試 琴似
金井 徹	群 馬(前橋市江木町)
鈴木秀平	群 馬(同 上)
永坂鉄男	農 研 西ヶ原
松尾英俊	農 研 西ヶ原
水江政典	愛知用水公園(名古屋市南区南堀町6の1)
米谷 昭	愛知用水公園(同 上)
長谷部次郎	東海近畿農試、愛知県知多郡武豊町南宇原
山下克巳	愛知県海部郡橋詰町前ヶ須 農林省鶴田農業災害復旧事務所
長沢陽一	岐阜県本巣郡糸貫町上保
古田 力	滋賀短大農学部 滋賀県草津市
種田行男	滋賀短大農学部 同 上
加納利博	大阪府立大学農学部 堺市大仙町1065
遠藤滋郎	広島県農試 農業土木、果樹試験地
中村忠春	松山市曾味町 愛媛大学農学部農業工学
生島芳雄	佐賀大学農学部 佐賀市北川副町大崎田地3
小林 登	茨城県農試化学部 水戸市若宮町

住 所 変 更 者

	旧勤務先	現勤務先
松尾英俊	九州農試	農 研
佐藤雄夫	九州農試	東海近畿農試
関谷広三	農 研	農林水産技術会議
久米清三	農 研	富山県農試
佐藤昭夫	農 研	北海道農試
松尾憲一	農 研	佐賀県農試
西村利幸	長崎県農試	長崎県総合農林センター(諫早市貝津町)

〔総説〕

土壌の沈定容積について

安富六郎(山形大・農)

I はじめに

土壌の挙動(Behavior)は土木や農耕作上の重要な課題となるが、これらに関する研究の数は少ない。土壌の挙動の内容を表わすことはむずかしいが、ここでは土壌の挙動をえがくために、古くから取扱われた土粒子の沈定容積(以下 S_v)に重要な役割を果させようと試みるものである。

(1) 沈定容積の定義

S_v は通常の測定では土壌を水に分散させ、十分な時間(通常24時間)後に上ずみ液が透明になったときの沈澱物の比容積を意味する。

$$S_v = \frac{V}{W} \quad (V \text{は土の水中で占める体積、} W \text{は土の重さ})。S_v \text{は懸濁液とみなせば、その容}$$

積濃度 ϕ は次式で表わされる。

$$\phi = \frac{1}{d \cdot S_v} \quad (d \text{は土の密度})$$

(2) 土壌物理における位置

土壌は土粒子、水分、空気などから成り立つが、その挙動は含水量により次のように特徴づけられる。飽和以上の水分では S_v の状態は最も安定であるから、これを土壌—水分系の考えの基準点とすることができる。不飽和の状態についていえば、土質の強度の問題は土壌粒子の充填に直接的に関係する。充填は水和水を含み S_v の問題の溶媒和に転化される。

表1 土壌粒子の充填変化

pF	4	3		2	0	$-\infty$
土壌水分系	Pendular	Funicular	Capillary		Slurry	Suspension
土壌粒子	連	I	II	不	連	統
水	不	連	統	統	統	
空気	連	統	不	連	統	なし
Atterberg 常 数			PL	LL		
挙 動			ビンガム流動		ニュートン流動	

S_v は一般に土壌ゲルのある状態を表わすものである。土壌は農耕上でも工学上でも大部分がゲルの状態で役割を果すわけであるから、土性が土壌の性質の指標になるのと同様に、別な面から S_v はより土壌の物理性の指標になるはずである。

(3) 関連する範囲

Sv はコロイド学的には塑性、チクソトロピー⁽²⁹⁾、乳化剤の親水性⁽¹⁰⁾などの粒子系の力学的性質に、化学工学では沈降槽⁽³⁶⁾、土木工学では圧密粘土粒子の構造に関連して^(9, 16)考えられてきた。農学上では主に鋤床の生成⁽¹⁾、土壌群⁽¹⁵⁾、土壌チクソトロピー⁽¹⁸⁾、有機質含量、土壌侵蝕性⁽¹¹⁾、地すべり粘土⁽⁷⁾等に関連してSvが一つの指標となつた。

II 現象面からの概念

(1) 測定の方法

Sv は重力下で土壌粒子が沈澱し、安定したときに測定される。沈降は通常二つの段階をもつ。すなわち、急速に沈降するもの、それに続く長時間にわたる沈降の平衡状態である。Sv は堆積構造によつて決まるので、イオン、有機物の含量、機械的な処理により支配される。

測定に再現性をもたせるためには容器のスケールが問題になる。沈澱物の圧密効果が無視できる範囲で測定されねばならない。土壌粒子中に附着している空気は測定前に減圧して除去する。

測定時の温度は沈降速度に影響し、粒子間の充填を高めるのでSvの低下が考えられるが、土壌によつてはむしろ増加の傾向を示すものもある。(常温ではほとんど問題にならない。90~100°Cに高めるとSvは大きく変化する。この場合は土壌粒子の非可逆的な破壊と関連するので、ここでは問題にしない。)

振とう時間が長ければ、無構造土壌では粒子が細かく分解されSvは増大の傾向を示すが、火山灰土壌のように構造性をもつものでは低下の傾向がみられる。しかし、いずれの場合でも30分程度の振とうでは大きな変化はみられない。

(2) 分散・凝集との関連

一般懸濁質では凝固粒子は急速に沈降を完了して体積を増大し、凝固していない場合には除々に沈降が生じ体積を減少する。Svは懸濁物質および液体の性質により決まるが、その中で重要なのは界面力である。

疎水コロイドとしての粘土粒子分散系の安定度は粒子間の ζ potentialで説明される。荷電によつて生ずる粒子の反撥力が添加電解質により中和されると、粒子は凝集して大粒子を生じ不安定になり沈降する。⁽²⁰⁾

土壌の沈降は凝集によるばかりではなく、粒子が最初から大きすぎる場合にも生ずるので、この両者を含めた沈降現象を取扱うことになる。土壌のように粒子間の結合の性質が複雑な場合には、土壌学で用いられている分散・凝集がSvにどのように反映するかは一概にはいえないが、次のような領域では対応できよう。すなわち、沈降は粒子の接触で二次力が接点まきつとして作用すると同時に、粒子の凝集を生ぜしめる力として作用するとき生ずる。このような凝集では微細粒子になるにしがたい軽い接触でも粒子は互いに強く附着し、また溶媒和層が厚くなり、全体としてSvは大となる。沈降の形式からみれば、自由沈降は凝集沈降よりもSvは大きいこと⁽²⁷⁾は土壌の場合にも一般にいえるであろう。

(3) 溶媒条件による差異

溶媒の種類によつてもSvは変化するが、ここでは溶媒として水を考え、これに加えられ、種々のイオンによつて生ずる差について述べる。

pHの値による粒徑変化は、鴨下ら⁽⁶⁾によれば火山灰土壌は中性アルカリ性では分散が著しく低い

が、酸性側 (pH 5) に近づくにつれて粘土とシルトが増加する傾向のあることが認められている。

分散剤として一般に使用されているものは NaOH、 NH_4OH 等であるが、低濃度では OH^- が粒子の陰電荷の増加にあずかり、分散を促進させるものと理解されている。したがって NaOH 等は土壤分散には必ずしも効果的ではなく、濃度を高めるとむしろ凝集を生ずる。⁽²⁶⁾

また分散の効果は溶媒の問題のみならず、土壤の性質にも左右される。

表2 置換イオンによる沈定容積の変化

添加イオン	H^+	Ca^{2+}	Na^+
第三紀填土	3.22	3.02	8.30
〃	3.82	2.78	7.80
洪積火山灰	2.65	3.31	3.61

置換カチオンで比較すれば火山灰土壤では Na^+ -clay で Sv は増大する。 Ca^{2+} -clay では増加はほとんどなくむしろ減少の傾向さえみられる⁽²⁷⁾ (表2)。メタリン酸ソーダの分散促進は凝集的に作用する Ca^{2+} を分散系から除去 (沈澱) し、同時に Na^+ が土壤粒子に添加して水和を高めることにある。(しかしこの場合分散促進に寄与するものは直接的にはカチオンではなく、むしろアニオンであると考えられる。)

J. H. Schenkel⁽¹⁷⁾ はイオンが Sv にどのような変化を与えるかを 10μ の樹脂粉末を用いて実験した。この結果、凝集作用は電解質濃度に依存しない領域と、する領域とがあり、低濃度のイオンでは安定した分散状態を保ちながら Stokes の法則で自然沈降が生ずる。しかしある濃度以上では塩濃度に依存して凝集沈降が生じ、Sv は増加する。これらは一般のモンモリロナイト系土壤についてもみられるが一定濃度以上ではむしろ Sv の低下が生ずる。⁽³¹⁾ カオリン系の土壤ではこれとは逆に、塩濃度を高めてゆくと一旦 Sv は低下し、再び増大する傾向がある。^(9, 29)

(4) 土壤条件との関連

H. E. Middleton と H. G. Byers⁽¹¹⁾ によれば、A層ではコロイド含有量が Sv と相関がある。これは水吸着の量がコロイド物質の含有量に影響されることからみて当然ではあるが、B層ではこの関係はなく、49.6%のコロイド分をもつ Shelby 土壤では39.4%のコロイド分を含む Marshall 土壤よりも Sv は小さいことが述べられている。

青峰らの被圧下での Sv 測定によれば⁽¹⁾、粘土含量の多いものほど Sv 値は大きい。水を透過あるいは減圧滲透させた場合の Sv は粘土含量の支配をうけない。風乾土と未風乾土における Sv の差は、強く減圧すれば両者はほぼ同じ値になる。粘土含量の多い土壤ほど両者の値の接近は顕著である。これは水田の鋤床層が、負圧下にある土壤沈定容積の体積収縮によつて発生することの説明になる。したがって Sv は必ずしもコロイドの影響だけとは考えられない。これらは耕地土壤と未耕地土壤との間の土壤構造の相違からも予想されうであろう。単粒構造では粒子相互の充填により Sv は説明されるが、一般にはまず沈澱構造が明らかにされる必要がある。

風乾土での Sv は未乾土より小さい値を示すが、これは風乾処理によつて膨潤水が不可逆的に減少するためと考えられる。沖積土壤での団粒形成は耕起によつてくずれ、透水性が増大するが、粒子の安定化にもない低下する。Sv の値は未耕地上層では年を経るにしたがい低下するが、下層土ではむしろ増大の傾向がみられる。⁽²²⁾

アロフエンを主成分とする火山灰土壤は、加水ハロイサイトまたはモンモリロナイトを主成分とする沖積土壤、および第三紀土壤に較べ、一般に Sv も小さい。土壤の含水率による Sv の変化をみると、アロフエン系、加水ハロイサイトを主成分とする火山灰土壤では含水率が大きくなるにつれ Sv も増すが、モンモリロナイトを主成分とする沖積、第三紀系土壤では減少する。しかし、土壤の水分当量と Sv はいずれも直線上にならぶ^(11,21)(図1)。

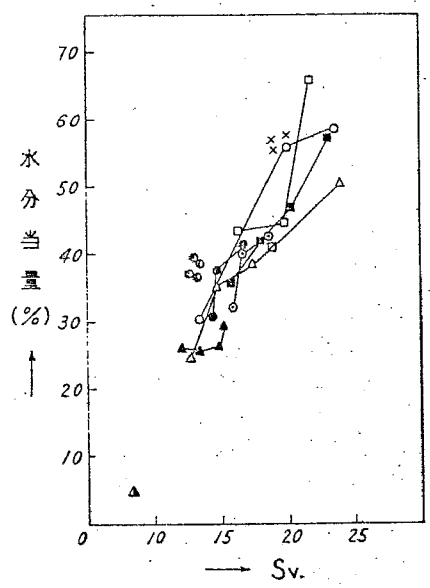


図1 沈定容積と水分当量との関係

ちぢるしい。アルカリ粘土懸濁液がカルシウム塩によつて凝集させられることから Ca がなんらかの構造形成を土壤に与えていると考えられる。

(5) その他の性質との関連
Ward と Kammermeyer⁽²⁾

は沈澱高さの初期と末期の比は懸濁液の重量%とは高濃度で次のような関係にあることを実験的に求めた。

$$H_u / H_o = aC^b$$

Cは懸濁液の重量%濃度、H_oは初期の懸濁液の高さ、H_uは最終高さ、aとbは定数。

III 堆積の構造

(1) 沈降と凝集

Sv の値を沈降物質の粒子配列からみると、凝集の程度は足場構造の形成様式に還元できる。

M. J. Vold⁽³⁵⁾ は異方性粒子の Sv から濃度を計算して粒子の配列をしらべ、稀薄懸濁液の沈澱は粒子の端(end to end)あるいは端と中央(end to center)の結合が主であることを示した。

Sv 状態での土壤構造は添加イオン等による透水係数の変化によつても推定できる。石灰や有機物が土壤の物理性をかえるといわれている。特にアルカリ土壤の Na が Ca によつておきかえられるときその効果はい

Hofman⁽⁴⁾は粘土の沈降についてしらべ、テクトロピーと沈澱ゲルとの水分に平行関係のあることを認め、沈澱による足場構造の形式を示している。凝集沈降が自由沈降よりも S_v が大きくなることは凝集によつて構造が作られるためであるといわれている。

Rosenqvist⁽⁶⁾は同一濃度の粘土をLi, K, Se, アニリン、テクロヘキサミンの添加で分散させ、充分な時間経過後 S_v を求め、アニリン粘土はテクロヘキサミンよりも S_v が50%大きく剪断応力にも強いことを示している。

粘土粒子の微細構造が力学的強度と深く関連することはすでにTerzaghi(1925), Casagrande(1932)らによつても強調されて来たものである。

(2) 充填の形式

沈澱した粒子は一般に平行的に堆積しない。^(3, 19, 33) 板状の粘土粒子からなるモンモリロナイトの沈澱粒子はテクトロピックであるが、これは粒子が構造性をもっているために生ずるものであろう。カオリナイト系土壌は端と中央の結合を少量の電解質の添加で配列をかえ、端と端の充填にかわり S_v も減少する。このような端と中央の結合を示すとき力学的には強い構造形成を示すが端と端の充填では粒子間結合も弱く構造形成はない。

粒子の形状が複雑になると一般的な記述は困難となるのでMacroな場合には充填形式を球形としてむしろ考えたほうが土壌では事実の整理に役立つものとおもわれる。

粒子を等大の球形と考えると、球の中心が互に正方形を保つ配列(Square layer)と平行四辺形を保つもの(simple rhombic layer)に大別できる。^(14, 34) 前者は最疎充填であり後者は最密充填である。充填状態を空隙率で示すと、0.47, 0.26がそれぞれ得られる。実際にはこのような特定値をとることは少なく中間値をとる。

粉体では空気中で自然充填の空隙率の値は約0.4を示すが、粒径が0.1mm以下で著しく大きくなる⁽¹²⁾ 沖積土では洪水、侵蝕土壌が新しく堆積した土壌の空隙率の最大値は0.8~0.9にもなることが知られている。風蝕土壌も同様な空隙率を示すことがしばしば見られる。強く圧縮されていない沖積土では通常約0.5を示す。粒形の異なつた粒子を含む疎鬆な砂では0.45ぐらいである。自然充填状態は S_v との相関が大きい。

耕地では季節的にも空隙率の変化がみられる。⁽⁵⁾ 洪積、沖積、泥炭土壌の三相比率を測定すれば固相の割合は洪積、沖積、泥炭の順に小になる。

表3 沈定容積と土壌固相容積分率の一例

土壌構造	母材	沈定容積 cc/g	比重	ϕ_0	土壌の 固相容積分率
単粒構造	砂丘 (鶴岡)	0.7	2.7	0.525	0.50
団粒構造	洪積火山灰(滝山)	2.2	2.65	0.17	0.20
* 無構造	才三系(滝山)	4.12	2.65	0.09	0.40

* 例外

粒径の異なるものの混合では充填度に極大値がある。しかし粘土のような粉体、特に比表面積の大きなものは水分の存在下では表面現象が大きく生じ、充填はそのままでは説明できない。最密充填では0.3の水分まで粒子相互の直接的な接触が保たれるがそれ以上の水分では粒子は不連続となり懸濁液を作る。土壤懸濁液は粒径が小さくなると水が粒子に吸着されて固体としての水が考えられねばならない。粒子相互に作用する力は粒子が細くなればなるほど大きく、その結果粒子間の水は封入されたまゝ固体のように挙動すると考えられる。

土壤粒子が細くなれば外力によるSv値の変化は大きい。遠心沈降(70G, 30min)させると球形の比較的大きいloam sandでは自然沈降で得られるSv値との変化はわずかであるが(2%)、loam, clay loamになるにつれて変化は大きく30%もの減少がみられる。⁽¹⁹⁾ 一般にコロイド含量の多い土壤ではこの減少の割合は大きい。

炭素粉末での実験によれば沈降中に軽い機械的な振動を与えた場合にSvが著しく増大することが述べられている。⁽²⁰⁾ 火山灰土壤を10K%の超音波で処理すると、細砂中のaggregateは破壊され粘土含量は多くなり、塩酸前処理による増加よりも大きい。⁽⁸⁾ しかし振動周波数を高め20K%にすると逆に凝集が生じ自由沈降を凝集沈降に変化させるといわれている。⁽³²⁾ Svは処理条件で一様ではないが、しかしこの場合も凝集沈降ではSvは大きくなるものと考えられる。

IV レオロジー的考察

(1) 流動の限界とSv

Svの測定で得られる沈澱部分はゲルとみなしうる。この濃度より薄い懸濁液の流動特性はほぼニュートン流動を示すが、Svの濃度に近づくときクソトロピー流動が目立ち、降伏値が生ずるようになる。(表1)。土壤懸濁液では濃度と粘性の関係は、粒子相互の干渉のない球状粒子をモデルとしたアインシュタインの粘度式からはるかにそれる。

一般に土壤懸濁液の濃度として計算されている値は、土壤粒子の乾土の状態での容積分率で示される。粘土のように比表面積が大きいものでは、粒子と水の結びつきが考えられねばならない。すなわち、Svの大きな土壤粒子ほど水和作用の程度が高く、粒子相互の関係が大きいと考えられる。

土壤懸濁液の単位体積当りに懸濁する土壤粒子の重さで濃度C(g/cc)を示すと、還元粘度(η_{sp}/C)とCの関係は⁽¹³⁾、低濃度ではほぼ一定値を示すが、Svの濃度(ϕ_0)付近では急激に上昇する。モンモリロナイト系、オ三紀粘土のイオン置換体について求めてみると、懸濁液中の粒子はCa²⁺よりもNa⁺添加した場合に相互干渉が強くなることが推定される(図2)。

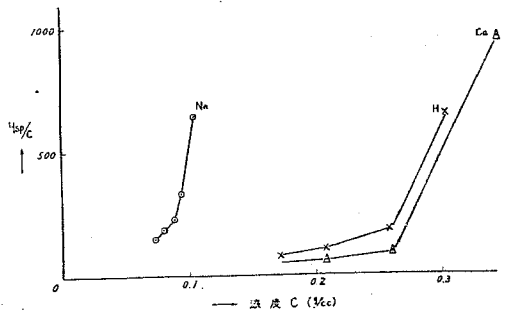


図2 添加イオンによる還元粘度の変化 (最上川モンモリロナイト系オ三紀土壤)

低濃度で求められる $1/\eta_{sp}$ と容積分率 ϕ は直線関係を示す。この直線の延長から粘性率 ∞ になる場所を求めると、近似的に ϕ_0 の値が求められる。これは流動という面から沈定容積が規定されることを意味する。⁽²⁴⁾

(2) クソトロピー

ϕ_0 以上の濃度になれば、粘性は著しく増大し、かつ剪断速度(V)によつ

て粘性が異なりいわゆるチクソトロピー流動がみられる。このとき降伏値 (θ) も ϕ_0 付近で急激に上昇する。酸性白土の実験では、チクソトロピーは S_v 値の大なるほど著しく、カチオンの各塩の S_v に対する効果は $Li > Na > K$ であることが示されている。^(30,31) また S_v の大きい土壤は粘性の時間依存性も強い。

(3) 降伏値の発生と S_v

S_v は振とう時間で変化する。関東ロームでの実験では表層より下層が変化は大きく、振巾 5 cm、20 回/min の振とうでは S_v は 2 時間で最大値が得られる。それ以上の振とうでは逆に減少がみられる⁽²⁹⁾ (図 3)。

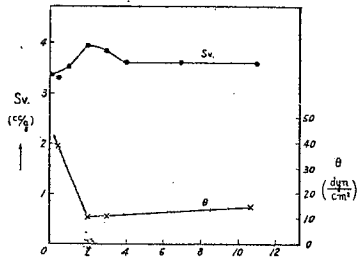


図 火山灰土壤の振とう時間による
沈定容積 S_v と降伏値 θ の変化

これは粒子がはじめ振とうによつて細分化され、水和が促進されるが、ある段階まで振とうすれば構造が破壊され、 S_v の低下がみられるのであろう。

才三紀、沖積粘土では ϕ_0 以下でも θ が現われるが、火山灰で S_v 値の大きいものでは V_s 以上でもほとんど θ の現われないものがある。しかし、一般にイオン添加により S_v が増大するだけでは同一濃度での θ 発生の度合いが大きい。実験的に θ と容積分率 ϕ との関係を求めると $\theta = e^a (\phi - \phi_0)$ が得られる。

いま $\phi = \phi_0$ で θ が発生するものと考えれば、

$$1 + \theta = e^a (\phi - \phi_0)$$

となる。⁽³⁷⁾

これは充分濃度の高いときには、降伏値の発生がそのときの降伏値に比例して生ずることを意味する。すなわち、このような系では粒子の増加、減少が系全体の構造に影響を及ぼしていることを示す。

沈定容積での粒子構造はおそらく、粒子相互の影響が最も小さくなつた限界状態と理解されよう。

V おわりに

S_v に関する諸事項——土壤構造、挙動を自由沈降の面からおもに検討した。

圧密、土壤の剪断、塑性、粘弾性等の現象あるいは土壤水分系の力学的恒数とされてきた液性限界、塑性限界等が土壤構造との関連で論じられることをかんがえ、 S_v の力学的意義に関心を払つたつもりである。農学および工学における土壤の諸性質は物理化学的な言葉で普遍的に述べられることは土壤学の進歩のために重要なことであろう。

この論文のために御指導を戴いた山形大学農学部須藤清次助教授、ならびに実験に協力された鈴木隆氏に深謝いたします。

M 参考文献

- 1 青峰重範・本荘：土肥誌 24,4(1953).
- 2 Dallavalle, J.M.: Micromeritics, P. 359. Pitman Pub. Co., N.Y. (1948).
- 3 Fahn, R., Weiss, A. and Hofmann, U.: Berichte der Deutsche Keramischen Gesellschaft, 30, P. 21(1953).
- 4 Hofmann, U.: Kolloid Z. 125, 86(1952).
- 5 池田憲・原田・田村：土肥誌, 28, 389(1958).
- 6 鴨下実・湯村：土肥誌 22, 33(1951).
- 7 岸本良次郎・大平：農土研 26, 3(1958).
- 8 弘法健三他：日本土肥学会36年度臨時大会, 発表309号(1961).
- 9 Lambe, T.W.: J. Soil Mech. Foundation Div., 84, SM2, 1654(1958).
- 10 松村輝男：工化 59, 325(1956).
- 11 Middleton, H.E. and Byers, H.G.: Soil Sci., 37, 15(1934).
- 12 森芳郎：粉体工学, 日刊工業新聞社(1958).
- 13 中川鶴太郎：レオロジー, 岩波書店, P. 118(1960).
- 14 大石行理：工化. 59, 3, 48(1956).
- 15 Olmstead, L.B.: Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 4, 89(1939).
- 16 Rosenqvist, T.: J. Soil Mech. Foundation Div., 85, SM. 2, 2000 (1959).
- 17 Schenkel, J.H. and Kitchener, J.A.: Trans. Faraday Soc., 56, 161(1960).
- 18 Schofield, R.K. and Scott Blair, G.W.: Trans. Faraday Soc., 27, 629(1931).
- 19 Schofield, R.K. and Samon, H.R.: Discussion of Faraday Soc., no. 18(1954).
- 20 妹尾学：高分子 9, 1077(1960).
- 21 須藤清次：農土研別冊2号(1961).
- 22 〃：農技研報告B12(1962).
- 23 〃・鈴木：農土木東北大会, 青森(1960).
- 24 〃・安富：農土研別冊2号(1961).
- 25 〃・〃：未発表(関東ローム研究から).
- 26 須藤俊男：粘土鉱物, 岩波書店, P. 139(1958).
- 27 水渡英二・荒川：工化 59, 303(1956).
- 28 高橋治男：日本化学雑誌 71, 3, 181(1950).
- 29 玉虫文一：日本化学会誌 57, 2(1936).

- 30 玉虫文一: *ibid.* 61, 3, 280(1940).
- 31 〃 ・鈴木: *ibid.* 58, 5, 507(1937).
- 32 寺沢四郎: 未発表.
- 33 Theissen, P. A: *Z. Electrochemie*, 48, 675(1942).
- 34 Tolman: *Ground Water*, Mac Grawhile Co. P.103(1937).
- 35 Vold, M. J: *J. Phys. Chem.*, 63, 1608(1959).
- 36 宇野昌平: *ケミカルエンジニアリング* 6, 1, 41(1961).
- 37 安富六郎・須藤清次: *農土研 別冊3号*(1961).

土壌の透水性に関する通則

山 中 金 次 郎

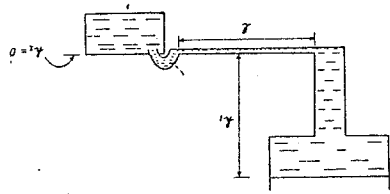
(農 技 研 化 学 部)

土壌あるいは毛管組織体の透水性(通気性を含めて)を正確に理解するためには二つの関門を通る事がどうしても必要である。それは共に古典的なポアズイユの法則と之を砂層に適用したダルシーの法則である。前者はどの物理学の教科書にも述べられており、後者は一般土壌学の本に述べられているものであつておよそありふれたものにすぎないまたそれ自体は特に難しいものとは思われない。ところで前者は一本の円筒形の毛細管についての記述に止つておりこれ丈では応用がきかないのである。また後者は原著が様々な方式で引用されており Richards に従へばその引用がしばしば誤つてさえているのである。

従つて之等を土壌の現地の状態に適用するには応用的な橋渡しが必要となるがこの橋渡しは必ずしも容易に行われ難く、従つてこの様な記述は中々見当らないのである。また透水性に関する用語としては土木関係の専門語がしばしば用いられ、その内容規定が必ずしもはつきりしないのであつてこれが農耕関係者の理解に対する熱を殺ぐ事がおびただしいと思われる。アメリカでは最近 Richards が中心となつて委員会を持ち用語の統一と内容の規程を行つたのはこの間の事情がアメリカでも共通的である事を示唆するものであり極めて有意義な企画と考える。以下にこの委員会の結論を加味して応用的な論説を試みる事とする。

1) ポアズイユの法則

オ 1 図



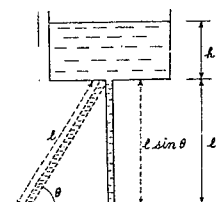
円筒形毛細管を通つて自由に流出する水の速度(v)は圧力落差(h)に比例し長さ(l)に逆比例しさらに管の半径(r)の4乗に比例する。すなわち、

$$v = cr^4 h/l \dots\dots\dots(1)$$

オ 1 図において水が半径 r の毛細管を l だけ通過する際に h に相当するエネルギーの損失が生じた事になる。したがつて一般に h は水頭損失(loss of head)と呼ばれる。

オ 2 図において管が直立すると圧力落差は $h+l$ となり斜になると $h+l \sin \theta$ となる。

オ 2 図



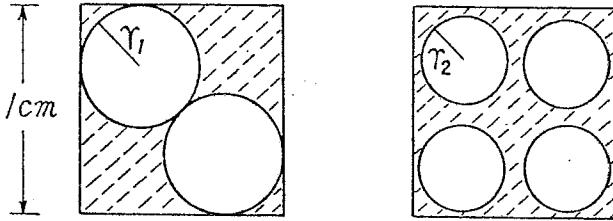
ここまでは容易に理解できるが土壌は一本の管ではなく無数の毛細管の集合であるからこれを実際の場合に応用するためには多少の考察を必要とする。

土壌の孔隙量を例へば、50%とし、直立した毛細管の集合と仮定すれば 1 cm^2 の表面には 0.5 cm^2 の毛細管の開口があり、毛細管の数は r の2乗に逆比例する。例へば r が 0.1 mm の管は r が 1 mm の管の100倍ある事になる。

オ3図において例えば、

- a) $2\pi r_1^2 = 0.5\text{cm}^2, \quad r_1 = 0.282\text{cm}$
- b) $4\pi r_2^2 = 0.5\text{cm}^2, \quad r_2 = 0.199\text{cm}$

オ3図



これ等のおのおのの毛細管群を通過する水の速度(v)を比較すると、($r_1 = 1, r_2 = 0.1$)とし他の条件は同じであるから1式から、

$$v_1 = (r_1)^4 \times 1 \times c = 10^4 r \times c$$

$$v_2 = (r_2)^4 \times 100 \times c = 10^2 r \times c$$

すなわち $v_1/v_2 = 100$

一般には単位の断面積を通過する水の速力は r^2 に比例する事になる。

従つて(1)式は、

$$v = c \cdot r^2 \cdot h / \ell \dots\dots\dots(2)$$

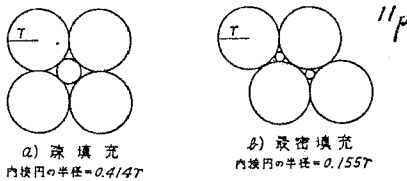
となる。或は単位の毛管断面積に対して

$$v = v / \pi r^2 \dots\dots\dots(3)$$

孔隙量を50%とすれば

$$v = v / \pi r^2 \times 0.5 \dots\dots\dots(4)$$

オ4図



a) 疎填充
内接円の半径=0.414r

b) 最密填充
内接円の半径=0.155r

a) 疎填充

b) 最密填充

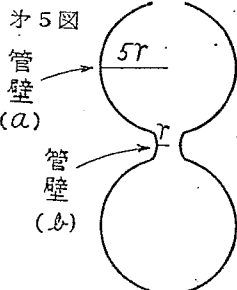
内接円の半径=0.414r

内接円の半径=0.155r 半径は最大r、最小0.414r(約1/2.5)

である。

最密填充では孔隙の切口はほぼ三角形であつて内接円の半径は0.155rである。

毛管の数は前者は $4r^2$ について1個、後者では $2.3r^2$ に対して2個である。



オ5図

管壁 (a)

管壁 (b)

今図のような毛管を水が飽和して下方へ流れる場合を考えると、最大の切口を(5r)有する管壁(a)の1cm当りの抵抗は最少の切口(r)を有する管壁(b)の1cm当りの抵抗に対して1式より、

$$1 : 5^4 = 1 : 625$$

別の表現を用いると(b)の水頭損失(h_1)は(a)の水頭損失(h_2)の625倍になる。したがつて水は孔隙の狭部によつて制約され他の部分は殆んど関係しない事になる。

土壤の毛管組織は立体的であり管の形、大きさが変化するため(2)式のままでは実際の場合の考察に適さない。

土壤粒子がほぼ同じ大きさで均質に填充された場合の垂直下方への水の流動を考えるのがオ一步であろう。周知の如く疎填充の孔隙の切口はほぼ4辺形であり、内接円の

Terzaghi はこの考えから土壌の透水的な孔隙組織を篩を重ねたセットに類推して透水係数算出の理論式を提示している。土壌の沈圧、床締めなどの効果は孔隙量そのものの低下よりむしろ孔隙間のくびれの狭化に帰すべきであろう。土壌の風化、生成過程を通じて表層からの溶脱物質は下層で²通過され狭部に沈積してこの部分を閉塞するように作用する。

水田の湛水状態ではこのたうな過程は極めてじん速に行われ特に、鉄の沈積は比較的短期間に不透水層に近い緻密層を生成するのである。富士東麓の畑地で自然生成的にできた不透水の盤層(マサ)の実験に依れば、この層の孔隙量は完全に透水する表層と同程度であり、時にさらに大きな孔隙量を有する。従つてこの場合沈積物が狭部を閉塞的に作用し、かつこの沈積物は極めて緻密である事を示している。したがつて残積的に風化生成した土層の下層はその粒径、孔隙量などに比してかなり不透水的であるが新期の崩積性堆積物では粘土層でもかなり透水的である。磐田ヶ原の洪積台地において残積的な台地面では極めて不透水であるが、台地間の凹谷における台地の母材の崩積層では全く透水的であつた。ただし以上の引例の透水性の現地測定は後に紹介する注入式の透水通気試験器によつて行われたものである。

2) ダルシーの法則

ダルシーは砂層の透水速度について(1)式が成立する事を示した。

$$V = K \cdot h / \ell \dots\dots\dots(5)$$

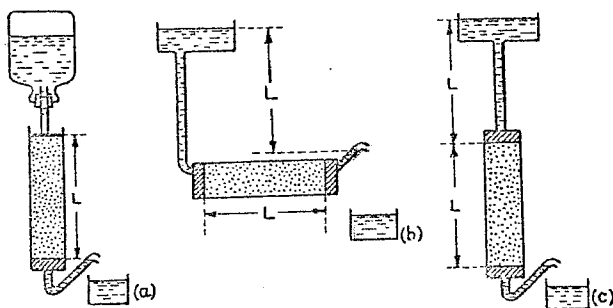
Kは砂層の物理的条件によつて定まる定数で透水係数と呼ばれる。hはオ一式と同意義であり、 ℓ は砂層の厚さである。h/ ℓ は砂層1cm当りの圧力落差或は水頭損失であつて動水勾配と呼ばれる。砂層の状態が同一であれば流動速度Vはh/ ℓ に比例する。

この関係はTerzaghiが粘土層でも成立する事を実験し、さらに畑地的な不飽和浸透でも成立する事がRichards Childsなどで提示された。

したがつてこの法則を理解する事によつてすべての浸透の場合を考察、判定する基礎が得られる事にもなる。

ダルシーが原著で提示した引例はオ1図(a)(b)(c)である。ここに問題になるのは毛管内の水の流動を生ずる動力の性質であつて多少理解し難い内容を含んでいる。

オ6図



Darcyの原図(オ6図)において(a)図では砂層の上の湛水はマリOTTびんにより零に近い浅層に保たれる。したがつて砂層の上端の圧力は零であり下端は自由に外気に開いているから同じく零である。したがつて圧力零、圧力差零で水が流動する事になる。

今下端をレベルにとれば水位管(ピエゾメーター)の水位は上端でL、下端で零である。

従つてこの場合の水頭落差或は単純水頭(Hydraulic head)はLであつて之が水の流動を起生する原動力であり、砂層1cm当りの水頭は $L/L = 1$ である。

水頭はすなわち重力落差であるから毛管中の水の流動は専ら重力によつてゐる事は明らかである。水頭 L は同時に砂層の厚さに相当するから h/ℓ は砂層の厚さに無関係に常に L/L であつて常に 1 である。(b) 図では水平の砂層を通過する水の流動は水圧 L を原動力とし重力の作用を受けない。

毛管の左端の圧力は L であり右端は外気に開いているから零である。すなわち圧力差 L が水の流動の原動力であり $h/\ell = L/L = 1$ であるから V は (a) と等しい。この場合は砂層の長さが長くなると V は反比例して減ずる。この点が (a) と区別される。

(c) 図では水頭が $2L$ であり、又上端の水頭は圧力 L によるものであり、下端の圧力は零であるから $2L = L$ (水頭) + L (圧力差) と見る事ができ、流速は (a) および (b) の 2 倍となる。また (b) では水圧 L は左端における水位 (水頭) とも見られるからダルシーの式の h は水頭 (hydraulic head) を意味するものであつて圧力差だけで定めるものでない事が論結する。

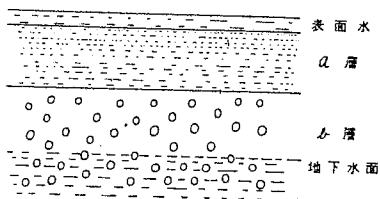
Richards は農業の一般目的に対して動力源としての重力の重要性を強調している。

3) 土壤内部への浸潤

以上に述べた引例は均質な粉質体を飽和的に透過して自由に外気に流出する場合であつてこのような場合は実際の圃場では稀である。

例えば水田で表層 (a) が土層で下層 (b) が礫層であつて、地下水面が (b) 層の下部にある場合はこの場合に当る。

オ7図

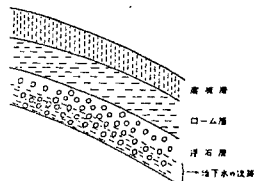


こゝでは表面水は (a) を飽和して (b) 層に流下し、(b) 層中を速かに自由に流れて地下水面に注ぐのであるから (1) 式あるいは (2) 式が適用され表面水の深さが透水量に支配的に影響する。ただしこの場合 (b) 層中の空隙の圧力を外気 (一気圧) と考えられるが、地下水が上昇すると加圧されて透水を減じ低下すると減圧されて表面水を引き込む事になる。

4) 透水係数 K の測定

土壤はその状態で一定の孔隙組織を持つており、それは透水組織或は通気組織とも考える事ができる。透水係数はこの孔隙組織をある条件下で測定表示したくないから測定が正しく行われたとしてもこれは自然状態の透水態を正しく表示しているとは限らない。一例として考えられるのは水中に沈積した粘土層では平板状の粘土粒子が沈下の際の Orientation によつて層状に堆積するから透水能は方向によつて著しく異なるであらうし、またもし弱度であつても柱状の構造化の傾向があればその方向に流動し易いと考えられる。これらの考えは今迄に述べたように水の流動は極度にデリケートにより大きい孔隙を選んで行われると云う原理から導かれるものであろう。

オ8図



オ9図



構造の中、特に下層土の杭状、塊状などの構造はその分布が不規則であるから小さい採取ブロックで代表させる事はおそらく不適當である。火山性の台地土壤では構造的には均質であつて下層はほぼ massive (均質連結状) な構造を持っているがこのローム層はさらに基層となつてゐる洪積層の波状の侵蝕地形に平行に蔽つているためにこの傾斜が透水の大きな動力源となつてゐる。特に鹿沼土のような火山礫は自由に水が透過できるため透水の自由流路を提供し(オ9図)、凹地では湧水して一時的な湿地状態をなすのである。(オ9図)

この現象は洪積層或は崩積地中の礫層でもよく觀察される。したがつて何らかの方法で測られた透水係数はさらに地形的の見地から考察しないと實際的でない。約言すれば透水係数は大きいけれども實際の水の流動は早くない場合、およびその逆の場合ができる。また層の厚さについても問題が残る。表面に薄いクラストができて透水量が $\frac{1}{10}$ 以下となる事がある。透水係数は $l = 1 \text{ cm}$ 当りの数値であるからもしこの層を 1 mm とすれば、

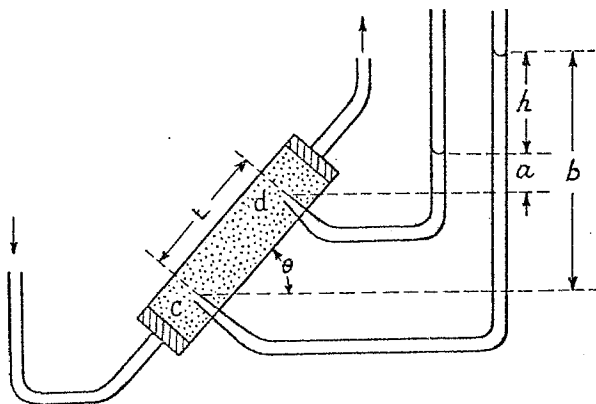
$$V = K \cdot h \cdot \times 10$$

となる。もしこの層の下の K が $\frac{1}{100}$ とすればこの 1 mm の層は下層の 10 cm に相当し、もし $\frac{1}{10,000}$ とすれば 10 m の厚さに相当する。

緻密な粘土のフィルムの場合では恐らくこのような状態がおこる事が可能であろう。

さらに一般的な場合に対する考察として Richards の優れた引例を紹介する。(オ10図)

オ10図



この例では管が θ だけ傾斜し水は下方から押し入れられて上方に流動するため、圧力差と重力落差は反対の符号を持つ事になる。

重力による動力、

$$A = -L \sin \theta \times 9g/L$$

圧力差による動力、

$$B = (b-a)/L \times 9g$$

$$= (h/L + \sin \theta) 9g$$

$$A+B = h/L \times 9g$$

この場合においても $V = h/l$ が成

立する事がわかる。ただし h の定め方に注意を要する事が示されている。この引例により、Richard に水平方向の水の流動の場合以外、一般の現実の農業場面に對して圧力差だけを考へて重力効果を無視する事が不合理である事を警告しているのである。

かくて土壤の透水係数 K を知るには流速の外に動水勾配を知る事が必要であり、このためには土壤の各部位の水圧を測定する事が必要であるが、現実の圃場でこれを確めるには色々な困難を伴う。

山崎は最近湛水下の水田の各部位の水圧を測定する新しい優れた方法を提案しているが、土層の構成が複雑であつて水の流動方向が一様でない場合などには尚色々な困難を伴うのではないかと考へる。

尚、アメリカ土壤学会の透水性 (Permeability and Infiltration) に関する分科会 (1951) において用語とその内容について新しい規定を行つたが、その報告 (Richards: Soil Sci. Soc. Am. Proc. Vol. 16, 1952) から特に Darcy の法則に関する部分を紹介しておく。

1. Darcyの法則

a) 古典的規定

砂層を垂直下方に透過する水の速度は動水勾配に比例する。即ち $V = K \cdot h / \ell$

b) すべての方向への拡張

均質の多孔質体中の水の流動速度は任意の流動方向についての動水勾配に比例する。Darcyの一般式として $V = Ki$

2. Hydraulic head : 水頭

土壌中のある地点に連結された水位管(或はマンメーター)によつて示される水の基準レベルに対する上昇高。

3. Hydraulic Gradient : 動水勾配

土壌柱における水頭の減少割合、2点間について $h_1 - h_2 / \ell$ 、水頭の最大減少割合と有する方向にとる。

4. Hydraulic Conductivity : 動水伝導度

流動に対する動力と流速との割合、Darcyの透水係数Kに相当する。

5. Flow Velocity : 流速或は流速

Darcyの式のVに相当する。

6. Greenの理論及び注入法による透水性の測定

畑状態の土壌内部に雨水或は灌漑水が滲透してゆく場合はずつと関係が複雑になる。表面水深(h)を一定とし水が飽和層として前進する最つとも簡単な場合はついても、 ℓ が絶えず増加して変化するため前進速度は次第に割合を減じつつ減少し、Kを求める事が困難になる。

GreenおよびAmptはこの場合について研究を行つた。

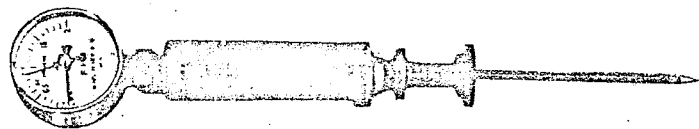
土層表面の水深をhとし、t時間後飽和層が ℓ 迄前進したとすれば全体の落差或は水の前進の動力は $(h + \ell + p)$ となる。ただしPは水の前進を促す毛管力である。飽和層の前進速度 $d\ell / dt$ は次式で与えられる。

$$d\ell / dt = \frac{K}{S} \left(\frac{h + \ell + P}{\ell} \right) \dots \dots \dots (6)$$

速度は始め($\ell = 0$)無限大であり ℓ の増加に従つて双曲線的に減ずる。ただしSは孔隙量(%)である。序論で述べたように土層合体の透水性を判定するには自然状態の異なる各土層毎に透水能を測定する事が必要である。

この目的のために著者等によつて考案されたのがオ11図の様な測定器であつてその原理は前のGreenの式に立脚するものである。

オ11図



測定は管針の先端の4個の小孔からかなり速い(一定)速度で(4cc/sec)で一定量の水(20cc)を

畑状態の土層中に注入し、その際の異常な抵抗値を圧力計で読みとるのである。

また抵抗が大きい場合には圧力計の読みを適当な値に保つ様に注入し、その時間をストップウォッチで計り前のスケールに換算する方が安定な値が得られる。小孔から速い速度で押し出された水は周辺の土壤毛细管の強い抵抗に会つて大きな孔隙を選んで前進するために小孔の方向性は最初の1秒以内に消去され、小孔を中心として球に近い形状で前進し且、飽和に近い状態が保たれる事が均質な土壤で実験された。

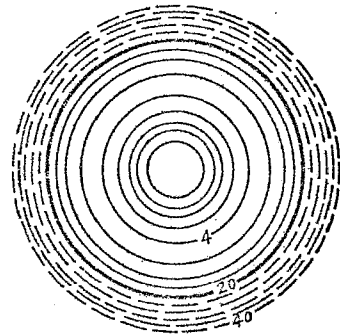
Greenの式のP(毛管力)はこの速い流動に対して暑消去され得るものとする。ただし非常に土層が乾燥している場合はその影響を考慮する必要がある。

この測定の理想的な場合を仮定すると一定の注入速度(20cc/5cc)に対して水の球面の前進速度は急に遅滞し同時に球の半径に相当する ℓ の変化はGreenの場合より非常に小さいものとなる。才1表及び才12図

才1表

注入開始後の時間(秒)	球の容積(孔隙量50%)(cc)	ℓ (=球の半径)(cm)
	0.2	0.363
	0.5	0.493
	1	0.620
	2	0.782
	4	0.986
1	8	1.231
	12	1.421
2	16	1.563
	20	1.684
3	24	1.789
	28	1.884
4	32	1.969
	36	2.050
5	40	2.121

才12図



この遅滞した水面の前進のために、その前面の土壤孔隙の空気の圧力は大気圧と考えて差しつかえない。したがつて ℓ の両端の圧力差は管針の小孔内の圧力すなわち圧力計の読み(h)に等しい。

Greenの式は一定の注入速度Vに対して次の様に表現される。

$$V = \frac{K}{S} \frac{h + \ell}{\ell} \dots\dots\dots(7)$$

Vは前進する球の表面から外部に流出する水量である。圧力差には正常な測定では0.05~2気圧、水柱の高さにして50cm~20mであつて ℓ に比して遙かに大きく $h + \ell \approx h$ となる。

したがつて

$$V = K/S \cdot h/\ell \dots\dots\dots(8)$$

Vを一定に保つには、 ℓ の増加に比例してhは理論上高まるが実際の測定では ℓ の前進速度は最初の1秒を除いて甚だ小さいために暑一定の圧力計の読みが現実に得られる。

hの逆数の10倍を便宜上透水度(Index of Permeability)とし透水性の大きさの目安と

する事ができる。ただしこの値 (h 或は $10/h$) は計測範囲を通じて必ずしも定比例的な関係が保たれない。

結論として h を大きく保つて注入速度を短かくした方が、その反対の場合より大きな透水度を得られる傾向にあるがこれは後者の方が気泡の残留が少なく、飽和滲透に近い状態になる事と、これによつて ℓ が少くなる事が考えられる。いずれにしてもこの簡単な手動式の計測器による値の不安定は免れないが計那が数秒しか要さないために多数の実験が可能になる事により優に相殺され得る。これは自然状態の土壤の不均一性を考慮した場合特に然るものと考ええる。

6) 透水度と透水係数との関係

注入法の原理が一点を中心としてこれが球状に前進する場合の抵抗、すなわち水頭損失の計測に存するだけに一般の層状の水の前進の場合に対照するには多少の難点が存し、注入法の理想的な測定を仮定しても、精密な透水係数の計算は現実的な意味のない事が明らかである。

このような観点から若干の考察を行つて見よう。水が球状に前進する際、才 12 図のような注入後の毎秒毎の球面を想定できる。内側の実線は水だけの ℓ の前進図であり外側の破線は土壤の孔隙量が 50%、或は [孔隙量+残留水分] が 50% であつて水球の容積が水丈の場合の 2 倍として拡大する場合の半径 ℓ の前進を示すものである。この図でわかるように精密には、土壤の孔隙量および含水量が、換言すれば空隙量 (%) が ℓ に関係したがつて圧力の強さ h に関係するのである。実際にはおのおの断面毎につき現地容積重を測定して空隙量を算出しこれによつて ℓ を推算する事になる。

後者の場合、20cc/5cc で注入された水球は 4 秒後には半径 $\ell = 1.97 \text{ cm}$ となり、この球の表面積は 48.72 cm^2 となる。この表面を通過して毎秒 4cc の水が外に流出するわけであるから、球の表面の単位の表面積から一秒間に流出する水量は $4/48.72 = 0.082 \text{ cc}$ となる。

この一秒間 (4→5 秒) に ℓ は $2.12 - 1.97 = 0.15 \text{ cm}$ だけ前進するが ℓ の変化はこの期間特に少ないからこの場合 32cc の球と 40cc の球との ℓ の平均値をとつてさしつかえない。

単位の球表面から実際に流れ出す毛細管の断面積は孔隙量に等しい。火山灰土壤の場合を例にとつて 80% (0.8) とすれば透水係数 K は次の様に算定できる。

才 8 式から

$$V = K/S \cdot h/\ell$$

$$K = V\ell S/h = 0.01533/h$$

ただしこの場合の V は単位の断面積を単位時間に流出する水量である。

圧力計の読み h との関係は

$$0.1 \text{ 気圧} \quad 1.6 \times 10^{-3}$$

$$1.0 \text{ 気圧} \quad 1.6 \times 10^{-4}$$

以上はおおよそ値であるが、著者等の考案した現地用の透水円筒による結果から算出された透水係数とは特に土層が均質であつて、かつ円筒の末端から水がかなり自由に流出し得る条件下においてよい一致が見られた。

いずれにしても、自然生成的な土壤断面の透水性はそのまゝの案で、別に研究さるべきであり、注入式の測定器はその一つの有力な武器である事がこの土壤調査を通じて確認されたと考えられる。これの測定値は Darcy 的に測定された透水係数とは別にそれ自体としての価値があり両者を比較する場合には前者

の値の内容が複雑しているために、土壌の孔隙量及び含水量、さらに現実の空気間隙量などを考慮する
事が必要である。

文 献

- (1) 山崎不二夫：水田の降下浸透量の新しい測定法。農業土木研究Vol. 27, No. 6, (1959)
- (2) Richards L.A.: Concerning permeability units for soil.
Soil. Sci. Soc. Am. Pro., Vol. 5. (1940)
- (3) Darcy, Henry: Les fontaines publique de la ville de Dijon.
Paris: Dalmont. (1856)
- (4) Terzaghi : Principles of soil mechaucics:
III Determination of permcability of clay.
Engineering news-record, Vol. 95, No. 21, (1925)
- (5) Green, W. H & Ampt, G. A. ;
"Studies on soil physics, (part II).
the permeability of an ideal soil to air and
water"
J. Agre. Sci, 5PP. 1~29, (1912)

資 料

傾斜地における耕うん

手塚 右門・小 中 俊 雄

(農事試験場農機具部)

我国の農業においては、自然社会条件の制約を受けて傾斜地がかなり多く、傾斜畑の農作業は大きな問題となつている。従来、耕作可能の限界は、人力耕で 30° 、牛馬耕で 20° 、トラクタ耕で 15° とされ、開拓計画などにおいても 15° 以上は開墾に適しないとしていたが、現実には 15° はおろか 30° にも達する急傾斜の農耕地が各地に散在している。かゝる傾斜地においては、平坦な耕地に較べ、土壤保全、栽培方法、耕うんから収かまでの農作業、運搬作業などが重要な問題点となる。

そのうちの傾斜地の耕うん作業について、最近若干の現地調査と現地試験を行つた。この調査・試験の本来の目的は、土地利用に関する調査研究の一つとして、作業技術からみた耕地の限界と分級基準を作成するものであつたが、こゝでは畜力による傾斜畑の耕うん、農用小型トラクタによる傾斜畑の耕うん、大型トラクタによる傾斜畑の耕うんについて、調査、試験の結果と考察を述べることにする。

1. 畜力による傾斜畑の耕うん

双用和犁による畜力耕うんを長野県下で、畜力普通プラウおよびヒルサイドプラウによるものを岩手県下で調査した結果を要約すると次の通りである。

i) 既存農家の傾斜畑の多くは、土地配分に際して傾斜面に対して幅狭く縦長の区画形状をもつように配分されているため、個々の農家が一筆毎に耕うんしている現状では、矩形の短辺方向に作用することとなる等高線往復耕の実施が制限されている。

ii) 従つて耕地全体を通しての地形、傾斜度などの条件からは、人畜の作業強度上また土壤の流亡防止の点からも有利な等高線往復耕が可能でも、やむをえず上下往復耕または下り一方耕を実施している例が多い。

iii) 双用和犁を用いて等高線往復耕を行う場合は、上向(山側へ)反転を行うのが土壤保全上望ましいわけであるが、傾斜が急になるに従つて反転がわるくなり、遂には土壤は耕起されても反転しないようになる。この上向反転の等高線往復耕の限界は、軽しよう土においては $12^{\circ} \sim 13^{\circ}$ 、やゝ重粘な土質では 15° 程度である。

iv) 上記以上の傾斜度においては、等高線往復耕を行うにしても墾土の反転方向は下向(麓側へ)反転になり、土壤の下方への流動が傾斜度の増大とともに増大するので、土壤保全上も好ましくない。

v) 役畜歩行の足場の安定性は重要な点であり、植土ないし植壤土で表土の連結性が大きい耕地では、足場がしっかりしているので、歩行が比較的容易で傾斜度 $20 \sim 25^{\circ}$ くらいまでの等高線往復耕が可能で、 25° 以上になると人畜の歩行と犁の操縦取扱の困難性がいちじるしく増大する。

vii) 軽しよう土においては、表土の連結性が小さく、役畜の歩行に際して足場が崩れ、傾斜度の増大に従い歩行が困難になる。犁に対する土の抵抗は少ないが、腐植に富み微細粒子の多い火山灰質軽しよう土では、犁体各部の土の附着がはなはだしく、犁の性能がいちじるしく減殺される。従つて中庸ないし重粘地に較べ、犁耕可能の傾斜限界は低く、また土壤侵蝕の程度もはなはだしい。

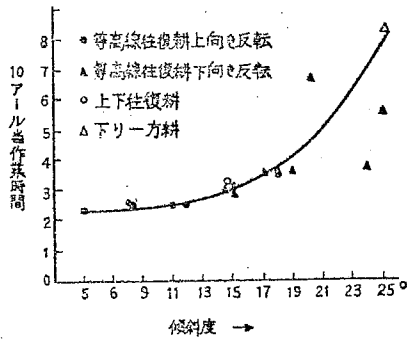
vii) 次に、圃場区画が傾斜面に縦長である場合は、土下往復耕が行われ、傾斜度はおよそ 15° が限界

である。15° 以上の場合上りにも耕起を行うことは人畜共に疲労がはなはだしく、長時間の連続作業に耐えられない。上下往復耕を行う場合は、上りには犁の掛け幅（耕幅）を狭くし、下りに犁の作用幅以上に幅広に掛け、作業能率の低下を補うようにするが、耕起後の土壌表面に縦溝状の壛条が残り、降雨の際壛条が水路となり水蝕を助長し、特に軽しよう土の場合にはなはだしい。

viii) 15° 以上の急傾斜面では、下り一方耕（上りには耕起しない）を実施することになるが、区画の上部および下部に役畜の回行ができる程度の緩傾斜面のある場合は、下り一方耕により25°～30°の急傾斜も畜力耕起が可能である。

ix) 上下往復耕および下り一方耕による土壌の移動流下は、等高線往復耕下向き反転に較べ大きく、傾斜が急になるに従いその程度は増大する。これは犁体面上に上ってきた土が側方に完全に反転放さず、一部が犁体面上に残り下方に押下げられることによると考えられる。

x) 作業能率は、圃場の区画形状、作業方法などによって差異があるが、10アール当りの作業所要時間は才1図のように、傾斜度の増大に従いは二次曲線的に増大する。



才1図

等高線往復耕上向き反転の可能な12～13°までの作業能率は殆んど平坦地に差がない。15°附近における等高線往復耕下向き反転と上下往復耕では作業能率は等しいが、平坦地に較べ10アール当り所要時間が約20%増、等高線往復耕の限界に近い25°では平坦地に較べ120%増、下り一方耕の場合は約200%増となる。

xi) 普通プラウを用いて傾斜地を耕うんする場合も和犁の場合と同じようなことがいえるが、実施可能な傾斜度の限界は、上

下耕の場合12°～15°、等高線耕の場合約7°と考えられる。

xii) 普通プラウは右反転のみであるが、ヒルサイド・プラウは左右に反転できるので能率のよい等高線往復耕ができ、実用的傾斜度限界も15°～20°と考えられるが、傾斜度が増大するに従ってプラウの安定がわるくなり人畜の疲労が増大する。

2. 小型トラクタによる傾斜畑の耕うん

小型トラクタによる傾斜畑の耕うんの実態調査を長野県下で、現地試験を茨城県八郷町で行った。現地試験の供試圃場は、火山灰質軽しよう土で表土の連結性は小さく、石礫は含まないが機具に対する土の附着が多く、トラクタの走行はやゝ難であつた。圃場面積36アールで、区画内に傾斜度8—30°の各段階の傾斜があり、供試機はガーデントラクタ型と索引駆動兼用型とを選び、作業機は双用犁、花型ロータ、ロータリとし、耕うん方法は等高線耕と上下耕を行った。

i) 犁 耕

双用犁による犁耕試験の結果の一部を才1表に示すが、一般に小型トラクタによる犁耕において作業

オ1表

耕うん方法	圃場傾斜度	耕進速度	回行時間	耕深	耕幅	車輪滑り率	墾土移動距離		機体傾斜角	機体編位角	轍間転倒距離角	
							下へ	上へ				
等高線往復耕	上向反転	8°	m/sec	sec	cm	cm	%	%	cm	° /	° /	mm °
	〃	13	0.71	7.8	17.6	17.7	43.7	21.0	41.0	30	1 43	695 42
	〃	15	0.73	7.6	19.2	23.8	27.0	23.0	41.9	4 42	3 20	695 42
	〃	15	0.81	5.5	14.3	21.6	16.7	26.8	42.0	8 24	4 20	660 —
	下向反転	15	0.59	4.8	19.4	22.5	17.7	58.4		20 18	4 40	855 51
	〃	17.5	0.57	7.1	21.0	24.9	28.4	67.3		31 24	6 50	920 54
	〃	30	0.61	9.1	20.7	19.7	33.3	55.5		34 12	21 40	1145 —
上下耕	上	11	0.75	6.5	18.5	9.9	15.3	横へ	下へ			800
	下	〃	0.94	5.0	21.1	30.4	14.0	48.7	85.7			〃
	上	15	0.68	5.9	16.3	12.6	47.4	58.3	116.7			〃
	下	〃	0.85	8.2	20.1	22.3	14.5	40.4	78.0			〃
	上	22	0.50	—	19.3	10.5	41.7	67.8	124.0			〃
	下	〃	0.65	9.3	22.8	27.9	8.4	49.5	60.8			〃

〔備考〕 機体重量206kgガーデントラクタ型、双用一段耕犁使用、ゴム車輪に滑り止めスパイク補助車輪をとりつけた。

機（双用犁）の性能は畜力による犁耕の場合と大差ないといえる。

イ 双用犁による等高線往復耕上向反転の場合、トラクタの山側の車輪がすき溝に入り、機体の傾斜は圃場傾斜面より小さいので、トラクタの左右の安定性は割合良好であるが、現状の犁の取付法では、犁の傾斜度がかえつて少なくなるため土の反転が悪く、傾斜度の増大とともに反転方向とは逆の下側土がこぼれ落ちる割合が大きくなる。

オ1表によると、傾斜度8°では耕進速度、回行時間、耕深、耕幅などは平坦地と大差ないが車輪の滑り率がいちじるしく増大した。これは上向きに反転する墾土の流れが次第に悪くなり索引抵抗が増大することによると思われる。さらに傾斜13—15°になると墾土の上方反転移動が少なく下方に逃げ落ちる量が増大し索引抵抗は減少するので滑り率はかえつて減少するものと思われる。また、13°までは機体の偏位角も小さく直行性を保ちやすいが、15°になると機体をかなり山側へ向けて運転することになり、墾条が乱れ作業精度が低下する。

以上のことから等高線往復耕上向反転の限界は、13—15°にあるといえよう。

ロ 等高線往復耕下向反転の場合は、イの場合とは逆に、谷側の車輪がすき溝を通るので機体の左右の傾斜は大きくなり転覆の恐れがあるので、トラクタの轍間距離を大にして転倒防止の処置をする必要がある。また、傾斜度の増大とともに、墾土の反転投げ出し作用は強くなり溝開きおよび反転は良好に

なる。粗雑な敷草や堆肥類などを多量にすき込む場合の耕法としては実用的である。懸念される壟土の下方への移動は、上向き反転の場合より当然多いが、上下耕の場合より少なく、傾斜度の増大とはあまり関係がない。

轍間距離を大にしても機体の傾斜は圃場傾斜度より 5° 以上も大きく不安定で、機体の偏位角や車輪の滑り率も傾斜度の増大とともに増し、 $20-25$ 附近においていちじるしく作業困難になり、回りの操作もむずかしくなる。

以上のことから、等高線往復耕下向反転の実用的限界は 20° 内外にあるものと思われる。

ハ 双用犁による上下耕においては、 15° 以下の場合には作業容易で作業精度もよいが、 15° 以上になると上り耕では耕幅を狭くして索引抵抗を少なくしても車輪の滑り率が 40% 以上になり走行困難であり、犁耕を行わずにハンドルを支持して上ることは運転者が耐えられない。また下り耕では耕幅を大にし抵抗を増しても滑り率が少なく進行速度が大になり、壟土の反転投げ出し作用が強く溝開きも大きい。一部犁体面上にたまつた土を 1m 以上も押し下し、土壌の流失を助長することが明らかになった。

以上のことから、上下耕は $22-23^{\circ}$ までは実施可能であるが、実用的限界は 15° 以下におさえるべきであろう。

ii) 花型ロータ耕

車軸に花型ロータ $4-6$ 枚と機体の後部に抵抗棒をつけて行う花型ロータ耕は、傾斜畑の耕うんに特にその機能を発揮する。この耕うん法は等高線耕では機体が左右に傾いて作業が困難になるので上下耕または上り一方耕が行われる。すなわち傾斜度 15° 内外までは抵抗棒をつけ上下耕ができ、 $15^{\circ}-25^{\circ}$ くらいまでは抵抗棒を取外し自然の走行抵抗によつて上り一方耕を行い、下りには変速レバーを後進にして耕うんした跡地を後退し、出発線より 2m くらいのところから斜めに後退し次の出発線につくような操作をすとかかなりの急傾斜地でも容易に上り一方耕ができる。なお現地試験では、 25° 以上の傾斜地になるとトラクタ前部のエンジン台が傾斜面に接触し操作ができなくなった。また、一般に花型ロータ耕は運転者の疲労が激しいので小面積の傾斜畑には適するが、広い面積の耕うん作業には適当でないと思われる。

iii) ロータリ耕

ロータリ型耕うん機による傾斜畑の耕うんは、 10° 以下の緩傾斜では平坦地とほぼ同程度の作業結果が得られるが、 10° 以上になると機体重量が大きく等高線耕、上下耕とも機体の操縦が犁耕に較べ困難で作業精度も劣るようになる。

3. 大型トラクタによる傾斜畑の耕うん

大型トラクタによる傾斜畑の耕うんの実態調査ならびに聴取り調査を群馬県浅間牧場および嬭恋農場で行つた。

i) ホイール型四輪トラクタにリバーシブルプラウを装着して等高線耕上向き反転を行うときは、傾斜度 6° 内外までは平坦地とほぼ同様な作業能率や作業精度を示すが、それ以上になると反転がわるくな高等線耕上向き反転の限界はほぼ 10° と思われる。

ii) ホイール型四輪トラクタに普通プラウを装着した場合は、等高線耕上向き反転を行うと片道起しになり能率が半減するので、回り耕を行うことになる。トラクタの右車輪はいつもすき溝を通るので、右車輪が山側になる(等高線上向き反転)ときは左右の安定はよいが土の反転がわるく、右車輪が谷側

になる（等高線下向き反転）ときは土の反転放てき作用は強くなるがトラクタが右側へ傾斜して危険を感じるようになる。

下り耕では15°-17°の傾斜地までプラウ耕が可能であるが、上りの部分では、約12°-13°になると車輪がスリップして耕うん不可能になる。

iii) クローラ型トラクタで22インチブラツツシュブレーカを牽引して起こす場合は、通常おか引き（両車輪とも未耕地の上を走行する）であり、等高線下向きへ反転するとき、ホイール型より安定がよいが、13°くらい以上になると横転の危険が増大する。



写真1. フォードソンM4 2HPクローラ型トラクタでブラツツシュブレーカを牽引して傾斜地を耕起しているところ

であり、実際現地の圃場では地形に応じて回り耕に上下耕を組み合わせで行い、横転の危険のあるところでは方向転換をして耕うんするなどいろいろ工夫している。

iv) 同じく、上り耕のときは、クローラ型がホイール型よりスリップが少ないが17°以上になるとスリップして耕うん不可能になる。下り耕では、20°以上の傾斜になると危険が増大する。

v) クローラ型トラクタで四連デスクプラウを牽引する場合は、通常回り耕を行うが、等高線上向き反転のところは土の反転がまずく、下り耕は約20°が限界であり、上り耕は17°以上でスリップして耕うんできない。

vi) 以上のように、大型トラクタによる傾斜地耕うんの直接の制限因子は、車輪がスリップすること、左右または前後に転覆する危険があること、掘土の反転がわるいことなど

オ2表

トラクタ	作業機	耕法	傾斜度	10a当り 所要時間	10a当り 燃料 消費率	備考
ファーガソン25HP(ホイール型)	16"直結ボトムプラウ		0°	1.18分	2.0ℓ	資料③⑥による
〃	〃	下り耕	9	3.30	4.1	
〃	〃	〃	15~18	3.50	5.3	
〃	〃	〃	18~20	7.00	10.0	
フォードソンM4 2HP(ホイール型)	18"直結ボトムプラウ		0	1.00	2.5	〃 〃
〃	〃	下り耕	9	1.50	4.2	
〃	〃	〃	15~18	3.20	7.8	
〃	〃	〃	18~20	7.00	16.0	
フォードソンM4 2HP(クローラ型)	22"ブラツツシュブレーカ	回り耕	0	.35	-	実測および資料④による
〃	〃	〃	3.7	.57	-	
〃	〃	〃	7.1	1.30	-	
〃	〃	〃	11.4	1.22	-	
フォードソンM4 2HP(クローラ型)	24"×12デスクハロー	2回掛	0	.17	1.4	資料③⑥による
〃	〃	〃	9	.43	2.3	
〃	〃	〃	15~18	1.20	4.5	
〃	〃	〃	18~20	1.20	6.6	

vii) 次に大型トラクタの傾斜地耕うんの作業能率と燃料消費率についてみると、才2表のように18インチボトムプラウをフォードソンメイジャ42HP(ホイール型)で牽引した場合、10アール当り所要時間は平坦地の1時間に対し、傾斜度9°では1時間50分で約2倍、傾斜度15°では3時間20分で約3倍、傾斜度18°では実に7時間を要しているが、これは急傾斜地では耕耘方法が下り一方耕であることなどによる。

ブラッシュブローカをクローラ型トラクタで牽引して、傾斜地を開墾する場合の10アール当り所要時間も、平坦地の35分に対し傾斜度11°では約1時間20分で約2倍である。

以上のように、傾斜度が增大すると耕うん所要時間が増し、急傾斜地では作業能率の低下がはなはだしい。作業能率の点からは、傾斜度10°内外に限界線を引けるのではなかろうか。

viii) 同じように、燃料消費率も傾斜度の増加とともに激増するので、急傾斜は燃料代の点からも好ましくない。

4. 結 び

以上のように傾斜地の耕うんの現状を不十分ながら明らかにしたが、今後農作業の機械化がますます発展するなかで、傾斜地用のトラクタおよび作業機の改良発達が実に要望される。また、土壌保全のためにはどういう耕うん整地作業をすればいいのか、どんな栽培体系をとればいいのか、など傾斜地農業には問題点が多い。

参考文献資料

1. 傾斜地における機械使用の限度(抄録) 農機学会誌20—2号
2. ホイルトラクタによる耕作事業実施概況長野県農業改良課 普及資料79号
3. 草地改良事業資料 長野県畜産課
4. 機械力による草地造成作業能率調査成績 静岡県富士集約酪農総合指導所
5. 作業技術からみた土地利用 農業及園芸 35—1号 手塚右門
6. 大型トラクタの利用実態 1960.3 関東東山農試畑作部 資料No.2

資 料

作物よりみた深耕の効果

渡 辺 和 之 (農事試験場)

I はしがき

大型トラクタの導入は従来の手労働の場合耕起の深さが10~15cmであつたものを、少なくとも20cm以上耕起するようになり、結果として深耕が行われる条件を作つた。又大型トラクタの利用によつて一部の農家において従来とも行われていた地力増進を目的とした深耕作業が、コストの面より有利に、しかも簡易に実施出来るようになった。

しかし既往の試験成績をみると、深耕によつて作物の収量は必ずしも増大するとは限らず、効果のみられない場合も多く認められている。これは気象の条件や深耕された畑の土に支配される所が大きい、更に作物の種類、品種、その肥培管理によつて、深耕効果に相異のあることが指摘出来る。こゝでは深耕農法を確立するため、作物の立場より、深耕の影響を検討し、深耕畑にはどのような作物を選び、それをどのように栽培することが合理的であるか検討するための資料を提出したい。

この報告における「深耕」の語意は普通の深耕、混層耕、心土耕等20cm以下の土層に手を加えた耕耘法を総称して深耕とする。又これに使用したデータは農事試験場畑作物部作付体系第2研究室(旧関東東山農試)で実施した深耕試験を中心としたが、更に振興局農産課「低位生産地調査事業」地域、都道府県農試における深耕試験結果を利用した。記して謝意を表する。

II 作物の種類と深耕効果

深耕は土壤の物理性を良くして、作物根の生育の場を拡大し、作物の生育に必要な水分空気の供給に有利な条件を作り、更に潜在地力を十分発揮させようとするものである。しかし一方において瘠薄な下層土が深耕により耕土中に混入し、肥料養分的にマイナスになり、更に土壤三相の分布が変化するから従来の栽培法では十分な生育収量をうるることができない場合がある。又深耕によつて土壤中の有機物の消耗は促進されると考えられるから地力維持の点も考慮する必要がある。このため深耕を行う場合、その土地に適した耕起方法や肥培方法をとると共に、作物の種類品種によつて深耕の影響はことなるから、深耕効果の出やすい作物品種を選ぶことが、作物増収の鍵となる。

今、作物による深耕効果の差異をみるため、全国で行われた深耕試験結果を作物別にまとめてみると表1表<著者は図によつて説明されておりましたが、頁数が非常に超過するので、編集委員会として表にさせていただきました。著者が指摘しているように、平均値でものを言うのは、いろいろ問題がありますが、止むをえずこのような措置をとりました。全員各位も、その点御了承のうえ、読んで下さい。>のようになった。これは耕起方法、肥培管理、品種等の条件を考慮せず標準耕区を100として、対象の深耕同量施肥量区の収量指数をとつたもので、作物に対する深耕効果のみを示したものである。

まづ作物別に深耕の影響をみると、調査点数の多い9作物では、燕麥が最も深耕による収量増加割合は高く、次いで馬鈴薯、甜菜であつた。大、小麦、コーンも5%以上の増収となり深耕効果が認められた。甘藷、大豆は標準耕区に比べて大差なく効果は明かでない。次に調査点数が少いので、確実なことは云えないが、普通作物ではヒエ、小豆、菜豆、等は深耕効果が出やすく、アマ、落花生等は出にくい

才1表 作物と深耕効果

A 禾穀類 (標準耕区に対する深耕同量施肥量区の比率)

地域	陸 稻		小 麦		大 麦		燕 麦		コ ー ン	
	調査点数	収量指数	調査点数	収量指数	調査点数	収量指数	調査点数	収量指数	調査点数	収量指数
北海道	—	—	41	122.1	15	121.3	108	116.5	14	110.9
東北北陸	44	106.9	90	112.7	19	105.4	8	107.6	13	105.4
関東東山	162	103.1	95	103.0	117	103.0	—	—	20	105.9
東海近畿中国	10	101.4	41	105.7	24	97.8	—	—	6	103.5
九州四国	137	100.0	103	100.8	83	105.6	—	—	3	88.7
全国平均	353	102.3	370	107.2	258	104.6	116	115.9	56	105.9

B 根菜、莖類

地域	甘 薯		馬 鈴 薯		甜 菜		大 豆	
	調査点数	収量指数	調査点数	収量指数	調査点数	収量指数	調査点数	収量指数
北海海道	—	—	89	112.4	100	114.2	26	107.9
東北北陸	13	104.2	36	115.6	27	102.5	55	101.0
関東東山	64	108.3	18	102.8	10	115.9	82	97.1
東海近畿中国	60	98.8	—	—	4	113.0	—	—
九州四国	101	98.3	—	—	20	105.8	10	94.4
全国平均	238	101.4	143	112.0	161	110.5	173	99.4

C その他の作物 (全国平均)

普通作物			そ 菜 類			飼 料 作 物		
作物名	調査点数	収量指数	作物名	調査点数	収量指数	作物名	調査点数	収量指数
ヒエ	9	116.1	トマト	17	101.8	青刈コーン	45	102.2
ソバ	5	101.2	ナス	11	100.4	青刈大豆	19	105.8
ナタネ	18	103.6	キウリ	9	99.3	青刈エンヅ	3	98.7
ママ	4	98.3	山東菜	6	117.7	禾本科牧草	22	95.2
落花生	16	99.6	カンラン	26	121.3	芝科牧草	22	101.5
菜豆	13	108.1	白菜	3	119.0	混播牧草	48	96.8
小豆	36	111.1	人参	10	104.6			
			大根	35	110.4			

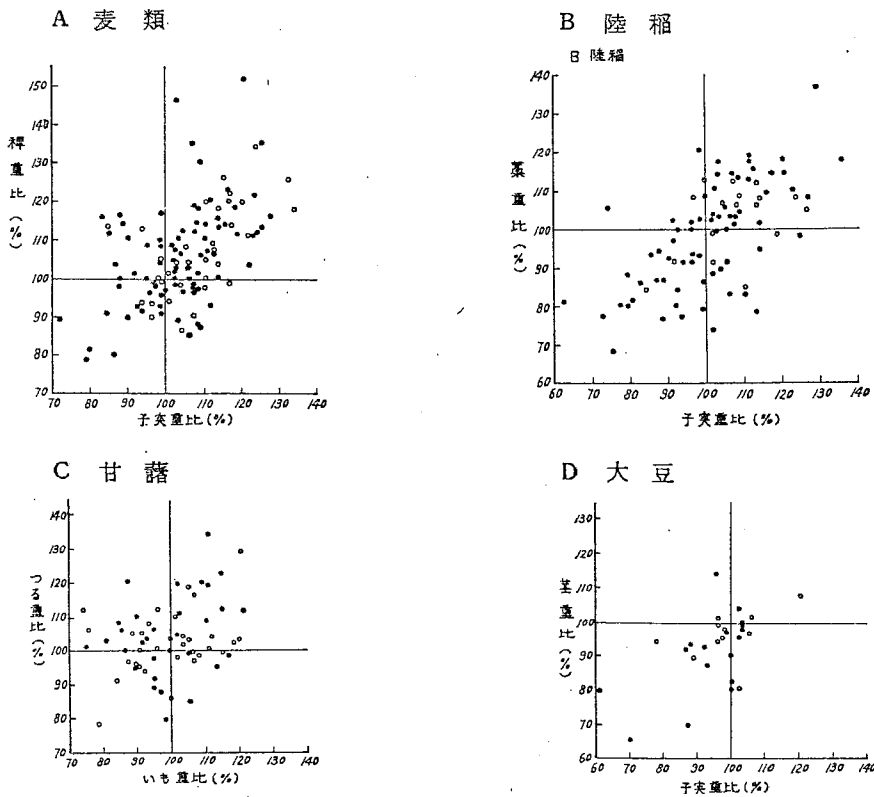
傾向が認められた。そ菜類の栽培は農家においては古くから深耕作業が行われ、又人参・ゴボ一等を栽培して、深耕と同じような状態を利用している事例が多いが、収量の点からみると普通作物に比較して深耕効果が出やすい傾向を認めた*。このことはそ菜栽培が集約的な肥培管理を行うことにも関係するが後に又ふれたい。青刈飼料作物、牧草についてみると青刈飼料作物は深耕効果を認めたが、牧草ではかえって減収する場合が多かった。

深耕効果を地域別にみると、いずれの作物も九州地方より北海道、東北地方が効果が高い傾向を認めた。この原因については明らかでないが、これが深耕の地域的差異によるものか、或は単に北海道において古くから深耕試験が行われ深耕農法が明かにされているため、合理的な肥培管理が行われたために深耕効果を高めたのか検討すべき問題である。

肥料条件と深耕の関係を見ると、多肥の場合が深耕効果を助長するとは限らず、かえって生育遅延や草出来が旺盛となり倒伏したりして減収する場合があります不安定な面がみられた。しかし増収効果の高い場所は多肥条件が多いことから深耕をもとに積極的な増収を考える場合、肥料は多く施用し、これに適した栽培法を取ることが必要である。作物別にみると麦類は多肥の効果が高い傾向が認められる。

深耕が主要作物の生育に及ぼす影響をもうすこし解析してみよう。深耕が作物の茎葉重と子実重との関係に及ぼす影響は標準耕に比べてオ1図のようになった。

オ1図 深耕と作物の収量



備考
 ① 作成資料は 各地生産地調査資料 昭30-32 収録済成録書 昭32-33
 ② 標準耕区は100%として深耕同量施肥量区の収量比
 * 標準肥条件
 ○ 多肥条件

* そ菜地帯においては連作や多肥栽培の結果土壌の性質が悪くなって来るのを防ぐため深耕を行い、下土を混合して栽培のしやすさ、品質の向上を目的とする場合も多く、収量の点のみでは判断出来ないものも多い。

備考

① 作成資料は

低位生産地調査資料 昭30-32

試験場成績書 昭32-33

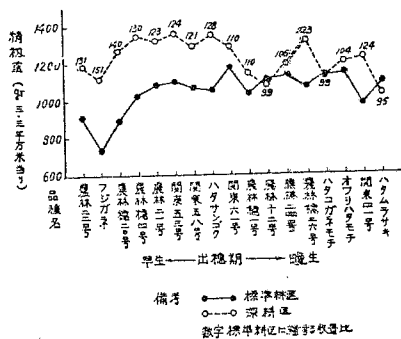
② 標準耕区を100として深耕同量施肥量の収量比

- ・ 標準肥条件
- ・ 多肥条件

麦類：深耕によつて稈重、子実重共増加傾向を認め、深耕効果は高い。又麦類は堆多肥の効果は大きく、稈重が多いほど子実重が増すから、深耕多肥によつて、莖葉の生育をよくすることが収量を高める方法となる。

陸稲：麦類と同じように、莖重と子実重とは正の関係があり、莖重の多いものは子実重を増す傾向が認められた。しかし深耕効果は麦類より低く、深耕により莖重、子実重が減少する場合も多くみられた。これは深耕によりカンバツ障害を受けやすくなる場合があり、又深耕畑では生育が遅延する傾向にあるため、出穂期と収量の関係の深い陸稲ではマイナスの影響を受けやすくなると考えられる。今、深耕畑において陸稲の品種比較を行つた結果をみるとオ2図のように出穂期の早い品種ほど深耕効果は出やすい傾向を認め、深耕畑では早生～中生種を選ぶことが重要であることがわかつた。

オ2図 深耕畑における陸稲の品種比較



(岡山山農試 1958)

甘藷：深耕の効果は明らかでなく、莖重の増加は必ずしも諸重を多くするとは限らない。しかし深耕によつて莖重を増す場合が多く認められた。この関係を品種別にみると、農林1号のようなクつるほけ、しやすい品種は莖重と諸重は負の関係を示し、莖重は増すが諸重は減収しやすく、農林2号、沖繩100号は両者間に正の関係を認め、深耕多肥の効果を確認した。

大豆：深耕効果は認められず、深耕することにより莖重、子実重が減収する場合が多い。しかし他の試験により下層土の積極的な改善によつて多収となる方法が見出されている。

土壤の相異 耕起方法と作物の関係は調査点数もまだ十分でないので、今後の試験成績の集績にま
ちたい。

以上、作物の種類と深耕効果の関係を綜括してみると、麦類、甜菜、馬鈴薯、コーン等は効果が出やすく、ヒエ、菜菔、小豆、そ菜類、青刈飼料作物も深耕畑に適するようであつた。一方牧草、大豆、落花生等は深耕効果の出にくい作物であつた。宇野も開拓地土地調査事業の結果から深耕による作物の効果と比較し、麦、コーン馬鈴薯は効果の出る場合が多く、大豆では出にくく、陸稲は腐植質土壌では余り効果がみられないが、鉾質土では効果が著しく、甘藷では余り効果がみられないと述べている。同じ

傾向が上記の結果からも認められた。又作物と同様、品種間においても深耕畑に対し適否があつた。

Ⅲ 深耕に関与する要因と作物の生育収量

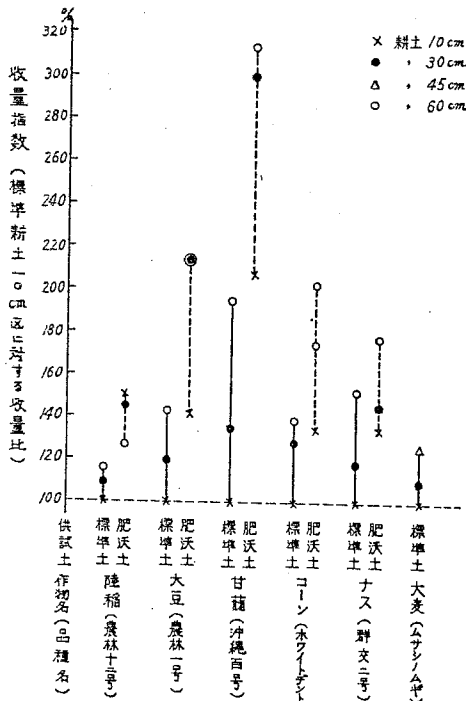
深耕の効果は作物によつて異なることが明かにされたが、その原因につき2~3の点をのべたい。

深耕は土層の垂直的配列を変え、土壤を膨軟にするが、作物への影響は土壤が膨軟になり、耕土が拡大することによる土壤三相の変化と、下層土の混入による土壤の化学性の変化の2つの面が大きい。このため深耕に対する作物の適応性を解析する場合、これらに関係する要因の作物への影響を知る必要がある。

ⅰ) 耕土の厚さと作物の生育収量

作物は耕土が深くなることによりどれだけ生育に影響し、増収にむすびつくかは深耕を行う上に大きな問題である。しかし、耕土の厚さはその土壤の肥沃度にも関係すると考えられるので、6種類の作物を供試して、標準表土と肥沃土(同じ土壤に堆肥金堆を投入、冬期間よく混合し苗床のような土にしたもの)の条件で耕土10cm、30cm、60cm(大麦のみ45cm)の厚さの所で栽培した結果はオ3図の通りであつた。これより標準表土では耕土が深い

オ3図 耕土の厚さと作物の収量



(関東々山農試 1959-60)

り、かえつて土壤がきんみづであつた方が生育が良くなる作物もあつた。土壤水分についてみると、標準水分が良く、水分が多くなつても、少なくなつても減収傾向を示したが、湿润条件下で減収にくい作物は陸稻で、次いで青刈コーン、大豆であつた。乾燥による減収は陸稻が大きく、青刈コーンが最も少なかった。

この結果から作物に対する土壤条件の影響は、陸稻は土壤水分に大きく支配され、通気性が悪くなつ

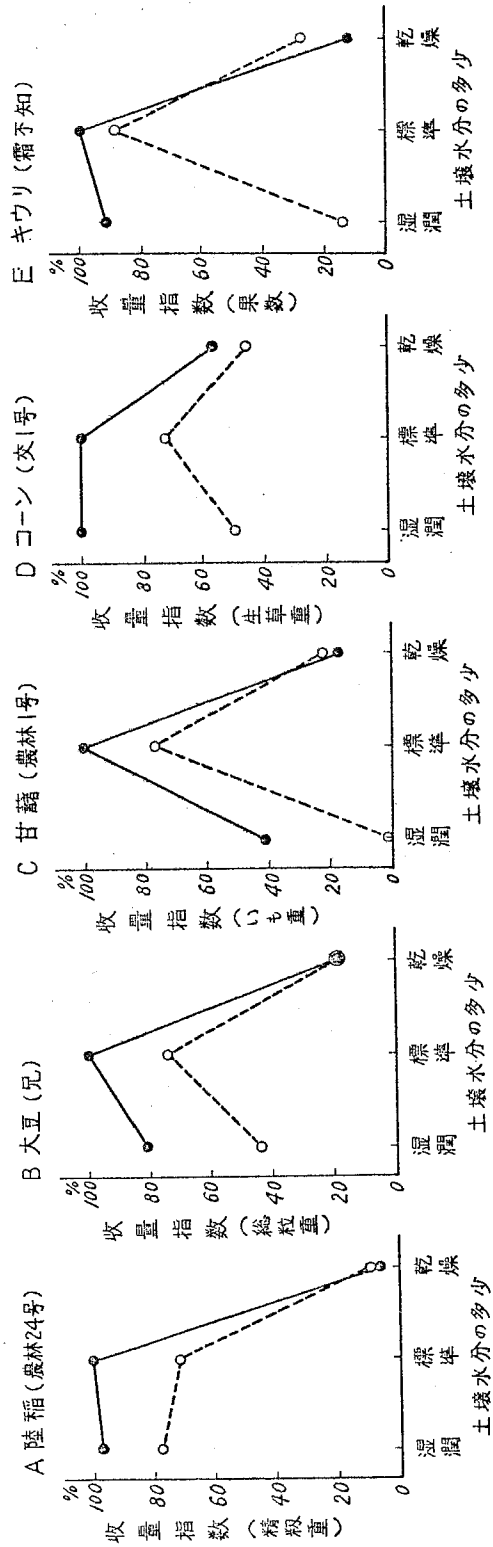
通りであつた。これより標準表土では耕土が深いほどいずれの作物も収量は増加したが、肥沃土の場合、陸稻では耕土が厚くなると草出来が旺盛となりかえつて収量はマイナスとなり、大豆は耕土30cmと60cmの間には差が認められなかつた。甘藷、コーン、ナスは肥沃土でも耕土の厚い方が増収した。この結果から作物によつて耕土の経済的な厚さはことなることがわかつた。しかしこれらのことは品種との関係をも考慮する必要がある。

ⅱ) 土壤の粗密と作物の生育収量

深耕すると土壤が膨軟になり土壤三相の分布が変り作物の生育に影響を与えるが、作物によりその影響のでかたがことなる。陸稻、大豆、甘藷、青刈コーン、キュウリの5作物を供試して、土壤粗密、土壤水分の多少を組合せて試験した結果オ4図のようになつた。

土壤の粗密による影響は、土水分の多少によりことなり、多い場合土壤が軟いことが大抵で、緊密な土壤では作物の減収割合が高くなつた。しかし土壤が乾燥すると土壤の粗密の差は少なくな

オ4図 土盤の粗密と作物の収量



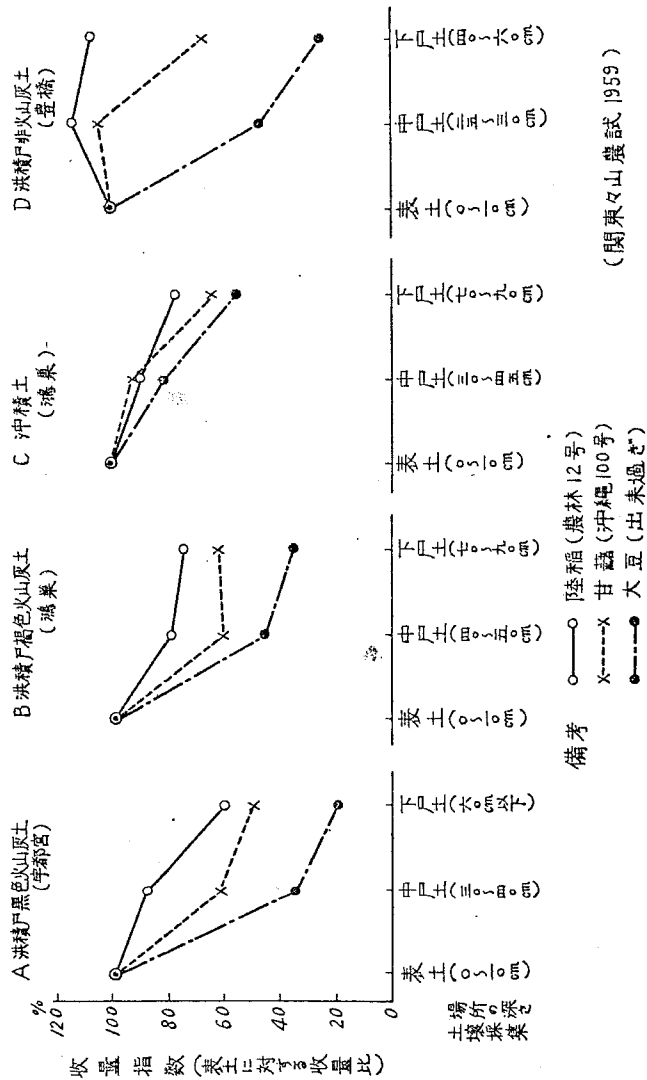
備考 ●—● 土壤がぼうなんの場合
 ○---○ 土壤がぼうまんの場合
 (農事試験場畑作部 1961)
 ぼうまん土壤標準水分の収量に対する各処理区の収量比

でも水分さえ十分あれば減収せず、乾燥による生育障害が大きかった。甘藷、キウリは土壌通気に関係深く、土壌通気性が悪くなるような条件では著しく減収したから、多湿地では特に土壌を膨軟にすることが大切であつた。大豆、青刈コーンは土壌通気性が悪くなると根が土壌の上層に張り、或る程度適応したが、土壌が硬い条件ではいずれの場合も生育が劣り、結果として土壌のち密度に影響される所が大きかった。

iii) 下層土と作物の生育収量

深耕すると下層土が耕土中に混入するが、この下層土の性質で作物の生育が影響される所が大きい。まづ下層土の種類と作物の収量との関係を見るとオ5図に示す結果を得た。この試験は洪積層火山灰土

オ5図 下層土の種類と作物の収量



である宇都宮土壌(黒色)、鴻巣土壌(褐色)と、沖積土(鴻巣)、洪積層非火山灰土(豊橋)の4種類の土壌を表層土、中層土、下層土に区別して採集し生土のままポットにつめ、標準肥料にて栽培したものである。この結果をみると、いずれの土壌でも陸稲が下層土に対する減収割合は少なく、次いで甘藷で、大豆が最も大きかった。又下層土の悪影響が少なかった土は沖積土であり、3作物の収量の差も少なかった。非火山灰土では、陸稲は下層土で生育がよくなったが、大豆では著しく減収し、作物による収量の差は大きかった。火山灰土は作物間の差も大きく、又下層土による減収割合も大きかった。

この関係を更にくわしく多くの作物についてみるため、洪積層火山灰土(堰本)の下層土を用いて、施肥条件を変え、作物を栽培した結果次のように区分することが出来た。

A) 施肥量の多少にかかわらず下層土の影響が同じ傾向を示す作物。

- 1) 下層土で生育があまり悪くならない作物……………人参、大根
- 2) 下層土で施肥量の多少に関係なく生育が悪い作物……………コーン、甘藷、ヒエ、モロコシ、トマト、ネギ。

B) 施肥量の多少によつて下層土の影響が異なり、少肥では下層土の悪影響がみられるが、多肥にすると生育がかえつてよくなる作物。……………キウリ、カボチャ、白菜、陸稲。

前章で一般にそ菜類は深耕効果の出やすいものが多いことを述べたが、これは普通作物に比べて肥料効果が大きく、集約的な肥培管理が行なわれているから深耕による下層土の悪影響を回避することが出来ることと共に、大根、人参のように下層土の悪影響の少ないものが含まれるためである。

しかし下層土は瘠薄な土壌が多いから、作物の下層土に対する反応はその作物の吸肥特性と関連すると考えられる。この点を明らかにするため12種類の作物を供試し、下層土にて各要素欠の影響をみた結果、下層土の作物への影響はP・Kに対する作物の反応と関係が深いことを認めた。即ち、P欠により生育のおちたトマト、ネギ等では肥培されない下層土で減収が著しく、人参、大根のような下層土で減収しにくい作物は、P欠、K欠に対しても生育はあまりおちなかつた。

このように作物に対する下層土適応性は施肥条件によつてことなり三要素の欠乏による障害となつて表れる所が大きい。その他遊離アルミナ、Fe等更には土壌酸度等の影響も無視することは出来ない。一例として作物根のAlの吸収程度をみるとネギ、陸稲が少なく、大根、人参、白菜がこれに次ぎ、キウリ、カボチャは多く、根のAl吸収の状態と下層土の作物への影響と関連あることを認めた。

作物の種類と深耕の影響については、作物根の生理、生態的特性との関係において更に詳細にのべる必要があるが、これは別途の機会にゆずりたい。

IV む す び

作物に対する深耕の影響は、その作物によりことなり効果の出やすい作物として、麦類、甜菜・馬鈴薯、コーン、そ菜類、青刈飼料作物類があり、出にくい作物は牧草・大豆・落花生等であつた。このような関係は品種間においても認められ、深耕の効果を高めるには深耕畑に適した作物、品種を選ぶことが重要である。それと共に深耕前作の作物によつても深耕効果の出方がことなつて来ると考えられ、この点は今後問題にすべき所であるが、深耕農法を確立するためには作物面からみると深耕畑を積極的に利用するような作付体系を組入れることが大切である。

更に深耕にともなう土壌的変化と作物特性との関係について、2~3の点をのべたが、今後これらの

関係より、深耕効果の出にくい作物も、その減収要因を解析し、合理的な改善方法を行うことにより、効果を上げるようにすることが必要であろう。

ライシメーターにおける畑土壤の2・3の実験

寺 沢 四 郎 ・ 岩 田 進 午 (昭和37年3月4日受理)

(農技研 化学部)

1 はじめに

わが国の土壤学の研究分野におけるライシメーター試験は、主として水田稲作を中心とした試験研究に向けられてきたのであるが、このことは日本農業における歴史的な農業技術の発表過程の中で一応必然性を有していることは容易に想像される。今日、土壤学における水田土壤の研究の重要性にもまして畑土壤の研究はしばしばその重要性が強調されている。このことは単に農業構造の変遷にともなう畑作技術の要請に基因するのみならず、土壤立地学 (pedology) の分野から提起される諸問題を究明する必然的な重要性を包含していることも明らかである。

畑土壤の諸性質の中で土壤の物理的性質 (とくに土壤構造および土壤水分の運動) が重要な試験研究の課題であり、これらの性質が圃場状態とライシメーターの条件ではいかなる差異を示すかが余り明らかにされていない。われわれは畑ライシメーターの新設にさいし、黒ノツポ火山灰土壤、赤城火山灰土壤および盤田ヶ原洪積土壤を供試土壤として、ライシメーターにおける土壤水分系の2・3の実験をおこなつたので報告する。

2 実験方法

ライシメーターは $2\text{ m} \times 4\text{ m} \times 1\text{ m}$ の規模を有し、1 m以下は砂礫層が存在し排水管が取り付けられている。各供試土壤は現地における固相率と土壤の硬度に近い状態でライシメーターに充填された。それぞれのライシメーターにテンシオメーターおよび石こうブロックを設置し土壤水分の変化を測定した。テンシオメーターは深さ 5 cm、30 cmに石こうブロックは深さ 5、15、25、35、45 cmの各層位に二聯づつ埋設した。

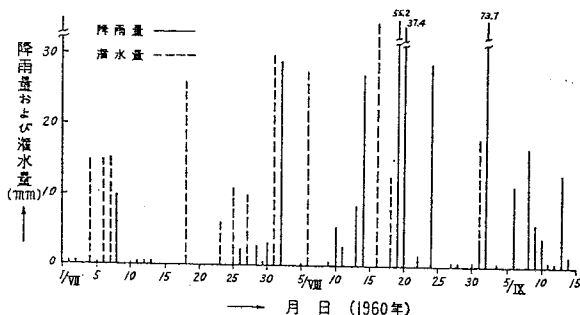
栽培植物はおかぼ農林12号を供試し、施肥量はライシメーター当たり、堆肥 9 Kg、硫安 300 gr、硫酸加里 90 gr、を施用し、過磷酸石灰は非火山性土壤 300 gr、火山性土壤は 600 gr を施す。8月16日に硫安 45 gr を追肥した。植物の萎凋が観察されたときは、スプリンクラーによつて灌水をおこなつた。

3 測定結果および考察

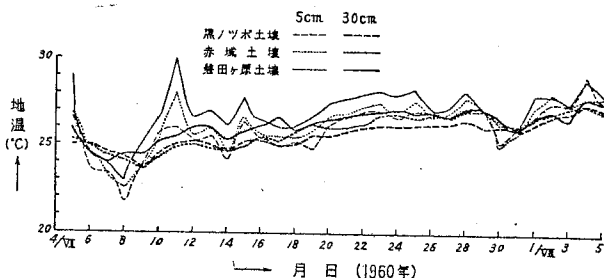
おかぼの生育に最も関係する7月～8月にわたる降雨量および灌水量をオ1図に示した。7月から8月の中旬にかけて降雨量が著しく少なく作物の萎凋がしばしば発現したので、随時かんすいをおこなつた。

石こうブロックの電気抵抗値は温度により変化するから、サーミスターによる温度自記装置による測定結果をオ2図にしめた。オ2図は深さ 5 cmの層位の地温であつて、測定時刻は午前9時の結である。深さ 30 cmの測定結果と 5 cmの地温の変化は、表層土の方がいずれの時刻においても高い値を示す。5 cmにおける地温の日変化をみると9時から急速に地温の上昇を示し、14時において最高を記録し以後20時頃まで漸次低下することがみとめられる。一方 30 cmの深さでは日中やや上昇の傾向みられるが大局的には日変化が小さく、週変化または月変化を示すにすぎない。

オ1図 試験期間中の降雨量と灌水量



オ2図 有底ライシメーター土壤の地温の経時的変化



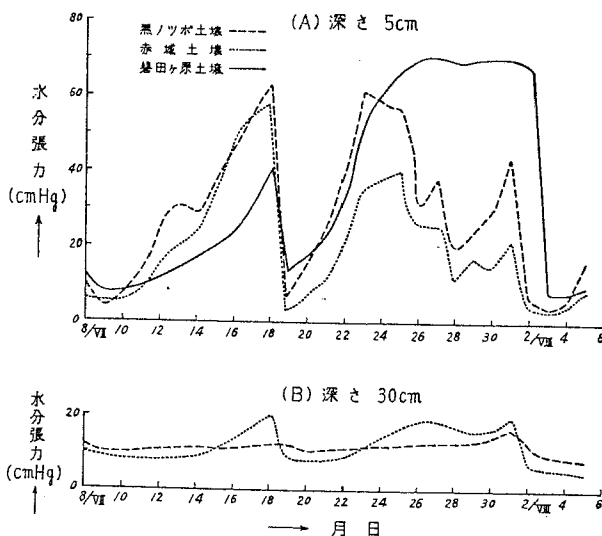
これら4つの期間において最も水分張力の増大がみとめられたのはオ2の期間であり、ついでオ4、オ1、オ3の順に土壤水分張力の増大が観察された。このような土壤水分張力の時期的な差異は主として降雨量と灌水量の差異にもとずくとともに、作物の蒸散量の変化に基因するものと考えられる。

表層5cmにおける土壤水分張力の増加は作物の吸水によつて惹起されるものと考えられ、土壤の種類によつてその変化の様相を異にする。すなわちオ1期における深さ5cmの土壤水分張力の増加の傾向は火山灰土壤は磐田ヶ原土壤にくらべて急速に上昇する。7月18日の極大におい

土壤間の地温の変化をみると、磐田ヶ原土壤は最も地温が高く、ついで赤城土壤、黒ノツボ土壤の順に低い値を示す。同一の気象条件下における地温の変化は、土壤の熱容量、熱伝導度などによつて影響されるのであるが、土壤の物理性(土色、固相率、含水量など)の差異が熱収支におよぼす影響が大きいものと考えられる。

土壤水分の運動の基礎的因子となる土壤水分張力の経時的変化をオ3図に示した。7月から9月上旬にわたる土壤水分張力の変化の中で、各土壤とも4つのpeakを有する変化がみとめられる。オ1のpeakは7月10日~7月1日、オ2のpeakは7月18日~8月1日、オ3は8月3日~8月14日、オ4は8月22日~9月1日の期間に発現する。

オ3図 土壤水分張力の経時的変化(有底ライシメーター)



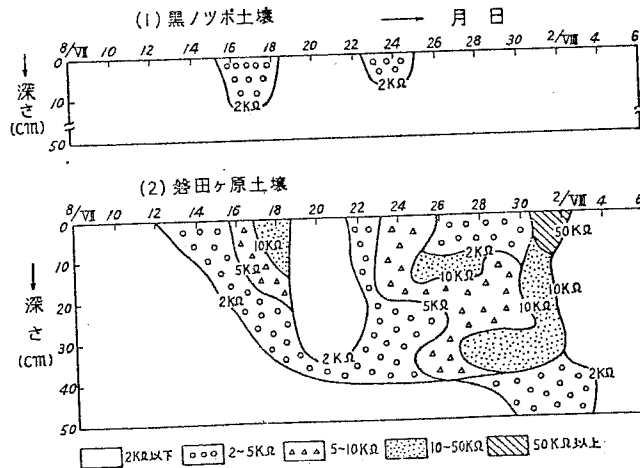
ての水分張力の差が水銀柱で20cmを示し、26mmの灌水量による水分張力の低下は磐田ケ原土壌では25cmHgで最も少なく、黒ノツポおよび赤城土壌では約55cmHgの水分張力の低下を示した。

火山灰土壌は保水力が大であるが、透水性が良好であるために重力水は急速に下層に移動し水分張力を低下させる。磐田ケ原土壌は比較的密状態で透水性が不良であるから、短時間の間の多量灌漑水の急速な浸潤はおこなわれない。したがって灌漑直後は地表面に停滞水の形成がみられ、土面蒸発量が促進される結果となろう。かつ重力水の下向浸潤が緩慢であるから下層土に伝達される水分量も比較的少ないものと推察される。

オ2の水分張力の増大期(7月18日~8月1日)では磐田ケ原土壌の水分張力は増加の傾向を続けるに反し、火山灰土壌では灌漑にともなう水分張力が低下する傾向は注目すべき点であろう。磐田ケ原土壌の水分張力の増大は灌漑水の移動による供給量が少ないばかりでなく、下層土の湿潤部位からの上昇移動が円滑におこなわれ得ない理由にもとづくものであろう。

火山灰土壌においては深さ5cmの水分張力の変動があるにもかかわらず、深さ30cmにおいてはほぼ一定の水分張力を示している。表層土の水分の減少にともなう比較的low張力の水分は下層土から上昇移動する。したがって、深さ30cmの層位に保持される水分の上昇量と、下層から補給される水量が同量であるならば、水分張力はほぼ一定に保たれるであろう。すなわち火山灰土壌の下層土では、水分の運動をともなう動的平衡状態を維持する物理的性質を有しているものと推定される。しかし同じ火山灰土壌においても粗粒質の土壌構造を有する赤城土壌は、微細孔隙を有し多孔質な黒ノツポ土壌にくらべて下層土の水分張力が表層土の影響を強くうけている。これは水分の上昇移動量が仮りに同程度であるとするならば、水分張力の増大は保水量によつて変化するであろう。このことは赤城土壌の毛管水の保持量が黒ノツポ土壌にくらべて少なく、水分の減少にともなう急速に水分張力の増大がみとめられることから推察される。

同様に磐田ケ原土壌の作物根圏土層直下の下層土の水分張力は比較的低いものと推定される。この部位のテンシオメーターによる水分張力の測定結果をうることができなかつたが、電気抵抗法により得られた等電気抵抗分布曲線から類推することができる。



オ4図は深さ50 cmにおける黒ノツボと磐田ケ原土壌の等電気抵抗分布曲線である。電気抵抗値に対応する土壌水分張力は土壌の種類に関係なくほぼ同一の値を示すから、土壌断面の電気抵抗値の分布から水分の運動を解析できよう。水分当量が約2 K Ω の電気抵抗値に相当し、初期萎凋点は約50 K Ω に相当する。この実験に用いた石こうブロックの電気抵抗値の有効範囲は2 K Ω 以上であり、2 K Ω 以下はテンシオメーターによつて水分の変化を追跡せねばならない。

オ4図の(2)に示された磐田ケ原土壌の等電気抵抗分布曲線から、土壌水分の減少は0~40 cmの表層土において発達し、40 cm以下の下層土では著しい水分の減少がみとめられない。とくに表層土の内層部20~40 cmの電気抵抗値が高く、降雨および灌漑による電気抵抗値の変化は比較的浅い層位においてみとめられる。これらの理由については、水分張力の変化について述べたごとく、表層からの水分の下降移動および下層土からの上昇移動が火山灰土壌にくらべて緩慢であることを示すものと考えられる。オ4図(1)の等電気抵抗分布曲線に示されているごとく、黒ノツボ土壌では深さ0~10 cmの範囲において2~5 K Ω の電気抵抗値を示すにすぎず、土壌水分の減少にともなう土壌断面の水分移動が円滑におこなわれていることがうかがわれる。

土壌構造の差異は透水性および保水性に影響し、土壌水分の損失量についても差異がみとめられる。土壌水分の損失過程は、土壌面蒸発、植物の蒸散作用、および重力水の下向移動による排水過程が考えられる。この報告においては、とくに重力による排水量の変化をみるために、作物の水分吸収が極めて少ないと考えられる9月13日から10月6日にわたり排水量の経時的变化を測定した。

オ1表に示されているごとく、赤城土壌は排水量が127 mmで最も大きく、ついで磐田ケ原土壌96.8 mm、黒ノツボ土壌では78.0 mmで最も少ない。測定期間の降雨量は68.6 mmであつて、いずれの土壌においても降雨量よりも大きい値を示す。これは測定期間中の降雨量が排水されたものではなく、9月上旬において112.4 mmの降雨が漸次下向浸透して排水されたものであろう。経時的な排水速度(mm/day)をみると、いずれの土壌においても双曲線で示される。黒ノツボ土壌は磐田ケ原土壌にくらべて初期の排水速度は大きいが、経時的には急速に低下する。磐田ケ原土壌の排水速度の低下は火山灰土壌にくらべて小さく、比較的緩慢な下向浸透がみられる。

一方粗粒質で保水力の小さい赤城土壌では、他の二つの土壌にくらべて排水速度は常に大である。これは多量の降雨および灌漑後の浸透水は、粗孔隙が多く毛管水の保持量の少ない粗粒火山灰土壌において多量に排水されるものと考えられる。このような排水量の差異は単に有効水分量の損失を意味するばかりでなく、土壌中の養分の溶脱と密接な関係を有するものと考えられる。

土壌の物理化学的性質の差異は植物の生育に影響することは明らかであり、今まで述べた2・3の結果と植生の関係を検討するためにおかばの収量調査をオ1表に示した。もみ量およびわら量などの乾物

表1 表 おかぼの収量および排水量

土壌 収量	黒ノツボ土壌	赤城土壌	磐田ケ原土壌
もみ重 g/4.4m ²	1.745	1.440	1.785
わら重 g/4.4m ²	2.820	2.230	2.745
排水量(* mm)	78.0	127.0	96.8

* 期間 9月13日～10月6日

生産量は黒ノツボ土壌と磐田ケ原土壌では大差はなく、赤城土壌では明らかに乾物量が少なく生産は不良であった。これは土壌-水分系における有効水分保持量および水分供給力の差異に起因する事とも考えられるが、土壌水分の運動にともなう養分供給力の差異に影響されている点を十分考慮すべきであろう。

4 まとめ

農業技術研究所に新設された畑ライシメーターに、火山性土壌をとって黒ノツボ土壌および赤城土壌、非火山性土壌として磐田ケ原洪積土壌を充填し、土壌-水分系に関する2・3の実験をおこなった。地温の経時的変化において磐田ケ原土壌は他の2つの土壌にくらべて一般に高い地温を示した。土壌水分張力および電気抵抗法による水分変化から磐田ケ原土壌の水分の移動速度は火山性土壌にくらべて緩慢であり、とくに植物根圏層の土壌水分の減少が著しく発達することがみとめられた。また浸透水の排水量の変化をみると、粗粒質の赤城土壌の排水量が最も大きく、ついで細粒質で密構造の磐田ケ原土壌の排水量が大きく、黒ノツボ土壌は最小の排水量を示した。これらの原因については、浸透水の下向運動を支配する毛管水の保持量および重力水の保持に關係する粗孔隙量の差異によるものと推察される。

本報は今后研究されるであろう畑土壌の基礎的研究の下準備としておこなわれた2・3の土壌水系の実験であり、畑土壌のライシメーター試験に寄与する点があれば幸いである。

なおこの実験を進めるにあたり御援助と御指導を頂いた農業技術研究所美園繁氏および川尻美智子氏に感謝の意を表します。

報 文

遠心法による p.F 2.0 の測定について

岩 田 進 午 (昭和37年3月14日受理)

(農技研化)

1 はじめに

p.F 2.0 の水分量の測定に、遠心法が用いられている。これは、p.F 2.0 の水分量は、土壌を構成する一次粒子、二次粒子、団粒の量および質にのみ依存し、それらの空間的配置には関係しないという仮定にもとづいている。

この仮定が正しいかどうか。測定された水分量が、圃場での p.F 2.0 の土壌水分量を正しくしめしているものかどうか。これらを明らかにするため、この実験をおこなった。

圃場の土壌について、直接張力-水分量曲線をうることは、なかなか困難である。そこで乱されない試料を用い、圃場の張力-水分量曲線と高い一致をしめすと考えられる吸引法による測定値をもつてそれに代えた。あわせて、土柱法による p.F 1.5 の土壌水分の測定値の検討もおこなった。

2 試料と実験方法

試料として、才三紀の常滑層を母材としてその上に生成したごく未熟な砂質土(愛知県小鈴谷町高師ヶ原洪積土壌(愛知農試農橋分場)、火山灰土壌(松戸市五香)と、ライシメーターに充填された赤ノツボ火山灰土壌、磐田ヶ原洪積土壌を用いた。<註. 小鈴谷, 高師ヶ原, 松戸は, 自然状態の土壌を用い, 赤ノツボ, 磐田ヶ原は, ライシメーターに1度充填したものをを用いた。>

土柱法ならびに遠心法の測定法は、土壌肥料全編⁽²⁾によつた。

吸引測定装置は、Bradfield⁽¹⁾型を用いた。試料は、下から徐々に吸水させた。測定は、二連づつの試料についておこなつた。

3 結果と考察

測定結果を表1. 図1, 2にしめす。測定値は、二連の値の平均である。

p.F 1.5 ふきんは、わづかの張力変化で水分量が大きく変化する領域である、それにもかかわらず、土柱法による測定値と吸引法の測定値は、かなりよい一致をしめしている。原理的には、同じ測定法であるので当然のことといえよう。

それに反して、遠心法による p.F 2.0 の測定値と吸引法の測定値には、明らかに差が認められる。遠心法による測定値は、すべての試料について、吸引法のそれより大きい。この事実は、0~100 cmの張力をしめす水を保持する孔隙量が、乱された遠心法の試料では、乱されていない試料のそれより小であることをしめしている。

一般に、重力水、毛管水と呼ばれている範囲の土壌水を保持している孔隙量の分布は、つぎの2つの要因の組み合わせによつて変化するものと考えられる。

イ) 土壌を構成する団粒および団粒化していない一次粒子の空間的配置の変化。

ロ) 団粒を構成する一次粒子(あるいは二次粒子)の空間的配置の変化。— 団粒の変形による破かい。

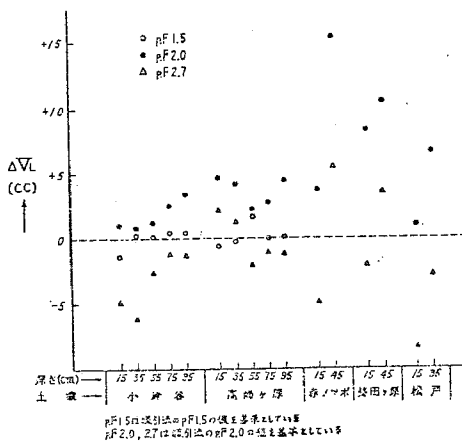
才1表： 遠心法，土柱法と吸引法の測定法

土 壤	深 さ (cm)	固 相 重 量	固 相 容 積	p. F 15		p. F 20		p. F 27
				土柱法 M ※	吸引法 M	吸引法 M	遠心法 M	遠心法 M
小 鈴 谷	15~20	138.7	51.2	22.7	24.1	18.5	19.5	13.6
	35~40	156.4	58.6	21.5	21.2	18.2	19.0	12.0
	55~60	150.1	55.0	21.2	21.0	17.0	18.2	14.4
	75~80	166.8	61.5	24.2	23.8	22.9	25.5	21.7
	95~100	171.0	63.1	25.5	25.1	22.3	25.7	21.0
高 師 ヶ 原	15~20	136.6	50.2	29.6	30.1	26.9	31.6	29.1
	34~40	136.3	49.8	30.4	30.6	27.2	31.4	28.5
	55~60	143.5	52.1	33.3	31.6	31.3	33.6	29.3
	75~80	153.8	57.0	35.5	35.5	35.3	38.1	34.3
	95~100	151.7	56.0	35.3	35.2	35.2	39.7	34.1
赤 ツ ボ	15~20	55.1	20.8			37.9	41.7	33.0
	45~50	56.6	22.2			52.4	67.8	57.9
磐 田 ヶ 原	15~20	81.3	39.2			34.9	43.3	32.9
	45~50	126.0	43.3			39.3	49.9	43.2
松 戸	15~20	56.9	20.3			46.8	47.8	38.5
	35~40	51.1	17.5			54.4	60.3	51.7

※ 容積水分率

± 100 cc 中の固相部分のもの

才1図 △ V_L の分布



才3,4,5図は，吸引法により同一試料につ
いて水柱 200 cm の張力まで，2度繰り返して
測定した張力-水分量曲線の1例である。水
分量分布曲線（孔隙分布曲線）も，同時にし
めしてある。2回目の測定は，1回目の測定
終了後，ひき続きおこなった。1度吸引され
た試料の吸水は，張力 200 cm の水分状態で，
下から徐々に起こわれているので，和氷作
用，爆発作用による団粒の破かいはないもの
と考えられる。

1度 200 cm まで吸引された試料の状態と，
吸引されない前の試料の状態を比較すると，
つぎの点が明らかとなる。

1) p.F.20 —張力 100 cm—の水分量は，

前者が大である。

2) 前者は、後者に比し、小鈴谷と高師ヶ原では、10~50 cm、松戸では、10~80 cm の張力に対応する孔隙量がそれぞれ減少し、それ以上の孔隙量が増加している。

その結果張力 10 cm ~ 100 cm に対応する孔隙量の分布が平均化されてきている。

3) 前者は、後者に比して、張力 10 cm 以上の孔隙量が増大している。

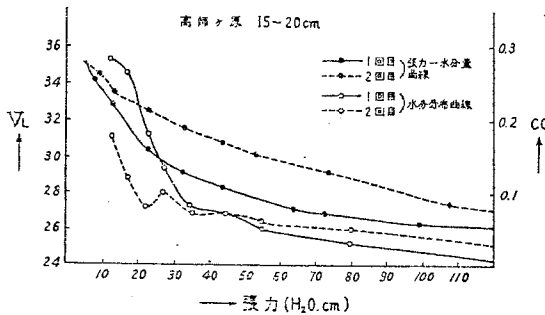
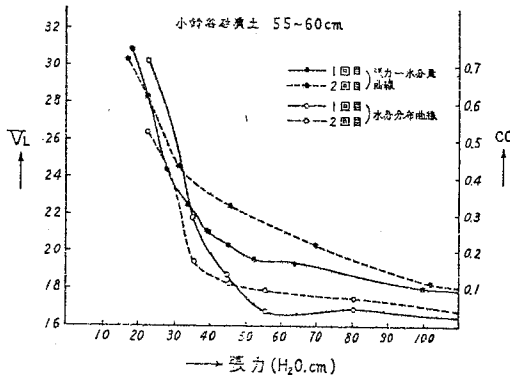
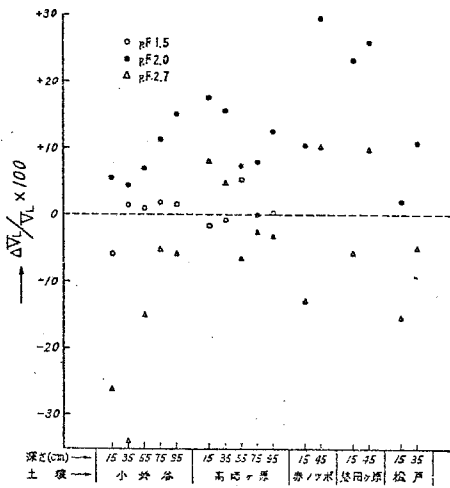
他の試料についても、同様な傾向が認められた。

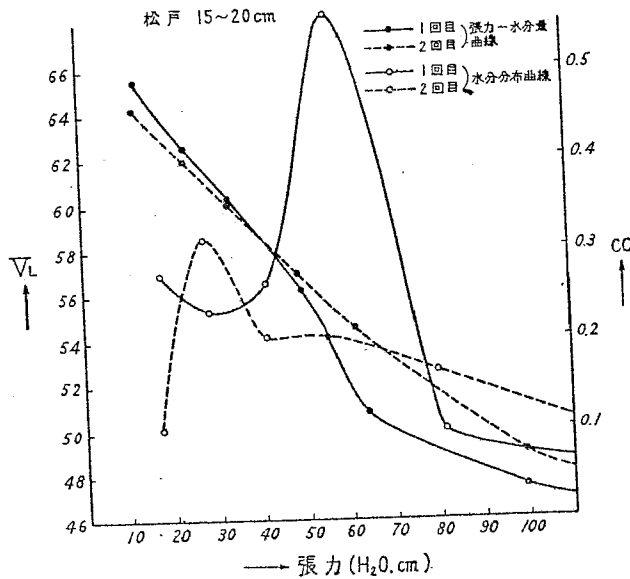
土壌の固相質量は一定であるので、これらの事実は、毛管力の凝集作用によつて孔隙の分布が変化したことをしめす。

張力 50 cm ~ 100 cm の水を保持する孔隙の有効径は、およそ 0.03 mm ~ 0.06 mm であり、これに関与する粒子の大きさは、0.4 ~ 0.05 mm に相当すると考えられる。したがつて、上のような孔隙量の分布の変化は、ほとんど団粒化していない砂質土では、0.4 ~ 0.05 mm の一次粒子が、他の土壌では、大きな団粒の構成要素となつているものをふくめて、0.4 ~ 0.05 mm の一次粒子およびその大きさの団粒が、部分的にたがいにより密に配列されたことによるものと推定される。団粒が破かいされないと考えられるので、大きい団粒が破かいされ、その構成要素が大きい団粒間の孔隙をうめるという現象はおこらない。

遠心力の場合においては、吸引法の場合と異なり、水のみでなく、粒子にも、単位質量について 100 g の質量力が働いている。その上、遠心法の試料は、マクロな意味の空間的配列が破かいされている。

このような条件は、吸引法の場合存在した粒子の空間的配列変化の要





※5図 張力—水分量曲線、水分分布曲線

間的变化をうけたため、100 cm 以上の張力に対応する孔隙量を増加させたことによるものと考えられる。

固相容積の小さい土壌の ΔV <註. 吸引法の測定値を基準としたもの、>が、固相容積の大きい土壌のそれに比して、大きい値をしめしていること。および一次粒子からのみなる小鈴谷砂質土の ΔV が、他の土壌に比して小さいこと。はこの推定を強めるものである。

孔隙の分布も、吸引法の試料でみられたより、さらに大きく平均化されるとともに、10 cm 以下の張力に対応する孔隙量が減少しているであろう。

4 まとめと今後の問題

遠心法による p.F 2.0 の水分量が、吸引法による測定値よりつねに大きい値をしめすこと。それが 0.2 ~ 0.1 mm の粒子部分の空間的配列に起因すると推定されること。をしめた。なお、上述の結果および考察からわかるように、吸引法は土壌を部分的に密にする。そのため、吸引法による1回目の測定値も、圃場の値より大きいと考えられる。遠心法の測定値は、圃場の値と比較すると、さらに大きき値をしめしていることになる。

この事實は、p.F 2.0 の測定では、遠心法成立のための仮定が満足されていないことをしめしている。

小鈴谷の 90 cm、高師ヶ原の 55, 75, 95 cm では遠心法による p.F 2.7 の水分量が、吸引法による p.F 2.0 の値より大きい。これは、遠心法による p.F 2.7 の測定にも、問題があることを示唆している。“圃場容水量は、水分当量の水分量にほぼ等しいので、圃場容水量は p.F 2.7 に近い。”とする見解がある。これは、p.F 2.7 における遠心法成立の仮定を検討していないことに由来する

因に、さらにつぎの要因を附加すると考えられる。

1) 吸引法で部分的にしかおこらなかつた粒子同志の接近が、全体的におこる。

2) 大きな団粒が破かいし、より小さな一次粒子あるいは団粒が、破かい前に存在した大団粒間孔隙をうめる。

3) 1) 2) によつて、固相容積パーセントが増大する。

p.F 2.0 ふきんの水を保持する有効径は、およそ 0.03 mm であるので、これに關与する粒子の大きさは、0.2 ~ 0.1 mm であろう。

よつて、遠心法と吸引法による測定値の差は、0.2 ~ 0.1 mm の大きさの粒子部分が、上にのべたような空

ものと考えられる。

遠心法による水分量測定の可能性を明らかにすることが、ぜひとも必要なことである。これは、毛管力の影響のもとにある土壌水と、粒子表面と相互作用をおこなっている土壌水との境界を明らかにすることにも貢献するであろう。

なお、この論文では、土壌肥料全編に記されている遠心法が理論的にも測定技術の面からも正しいとして考察をおこなったが、この面の検討も必要である。

最後に、この研究をおこなうにあたり、いろいろ御援助をいただいた、美園繁氏、寺沢四郎氏、川尻美智子氏に、感謝します。

- (1) Bradfield, R., and J. Amison, V. E. : Soil Sci. Am. Proc.,
3, 70 (1939)
- (2) 農林省研究部： 土壌肥料全編

畑作における深耕問題

西 瀧 高

(北海道農試)

深耕の意義

深耕の目的は耕土の深さを機械的に増大し、潜在地力の活用と、作物生育領域の拡大によつて、作物収量の増加を計ろうとするものと解される。畑土壌の低位生産性は、主として土壌理化学性の不良に由来するものが多く、その生産阻害要因矯正の手段として耕土改良の意義が認められている。また多肥集約を本質とするわが国農業においての生産力は、既に限界に近くなり、これが打開の途を耕土の縦への拡がり求めようとするに至り、さらに農業機械化の進展は必然的に深耕の形を取ることに成り、土壌管理も自から趣を異にするに至つた。このような理由から深耕の問題は広く各地において主要な課題として取りあげられ、その成果は耕土改良事業として実際に活用されている。深耕に関する研究の歴史は北海道を除いてはそれ程古いものではない。北海道では重粘土、火山灰土、泥炭土等の特殊土壌の分布が広く、気候の苛烈さによる生産の不安定を助長している事実もあつて、生産の向上と安定を耕土の改良によつて達成しようとして、各種の試験が大正末期、昭和初頭から数多く行われて来た。

在来農法においては長年に亘り同一手段によつて農作業が行われるため、耕土の深さはほぼ一定となり且つ比較的浅くなつてゐるのが通例である。これを他の何等かの手段によつて耕土を深くすることを深耕と呼んでいるものである。従つて深耕と云つてもその内容あるいは程度は必ずしも同一のものとは云えないもので、耕土改良の目的によつて性格の異なつた作業があり、それぞれ異つた名称が附されている。即ち作土・心土の性状に大差がなく土層が連続的に堆積しており、犁底盤の破壊あるいは緊密なる下層土の膨軟を主目的にしている場合には、単なる“深耕”によつてその目的が達せられる。下層土の風化が進まずその性状が不良のため、心土の混入によつて生産が著るしく阻害されるような場合(重粘強酸性土)には、先づ心土を耕起攪拌して風化を促進し、然る後漸次深耕を行う“心土耕”があり、また同じ目的のためSubsoilerを使用する“心土破碎”が行われることもある。また性状の全く異なる土層が幾重にも重なり合つている場合(火山灰土)、これ等の層を混和して性状の均一化を計ろうとして“混層耕”が行われるが、この場合でも下層土の性状が著るしく不良なる場合には才一段階として“心土混層耕”が実施される。また下層に肥沃な土層の存在している時には、大型機械により“転倒客土”と呼ばれる天地返し形を取るものもある。これ等の諸作業の全部が深耕という概念で一括することが出来るもので、作業の内容を示す必要のある時に、それぞれの名称を附すればよいものであろう。

深耕の効果

従来数多く行われた深耕試験の結果を見ると、著るしい効果の認められている例も多いが、その反面必ずしも多収になつてゐない場合も少くはない。元々深耕は機械的に深く耕起し、土壌の物理性を良好ならしめ、下層土の風化を促進し根の養分吸収領域を大ならしめることを目的としたものであるが、深耕により土壌有機物の分解消耗が促がされ、養分供給の不均衡がおこることも予想されるので、深耕の効果は土壌の種類、施肥管理の適否、作物の種類、品種等各種の条件によつてそ

のあらわれ方に差を生じたものと思われる。深耕の効果を土壌の種類別に見ると、生産阻害要因が

才1表 土壌別地域別に見た深耕の効果

収量割合	北海道地域 沖積土、火山灰土、重粘土			東北 地域	関東 地域	東海 地域	九州
	140%以上	5	10	5	4	3	—
120~140%	11	18	9	12	9	4	14
100~120%	29	37	5	39	61	20	97
80~100%	11	13	—	14	35	12	82
80%以下	9	1	—	1	5	1	12

(農林省水産技術会議大田作推進会議資料No. 4. No. 5
より作成)

性が生産の挙らない才一の原因となつているので、土層を混和し均一化することによつてその欠陥が改善され、作物の生育に好影響を与えることになる。併し物理性の改善とともに深耕によつて混和される下層土の性状によつて、土壌改良資材の使用、適切なる施肥管理等が同時に行われなければ、その効果の万全を期することは困難となる。才2表、才3表に示す如く強酸性重粘土壤におい

才2表 重粘地における深耕の効果例

処 理 区 別	燕 麦		馬 鈴 薯	
	反収(俵)	比率	反収(俵)	比率
才1区 普通耕, 作土酸性矯正. 慣行肥料	3.7	100	21.2	100
才2区 " " 標準肥料	4.1	111	25.7	121
才3区 普通耕. 心土耕 " "	4.4	119	25.9	122
才4区 " 作土. 心土酸性矯正 "	4.5	122	27.8	131
才5区 深耕 作土酸性矯正 "	4.6	124	28.7	135
才6区 深耕. 心土耕. 作土. 心土. 酸性矯正 "	4.8	130	31.5	149

昭和10~11年, 天塩, 幌延村, 才3紀頁岩, 重粘土壤

才3表 火山灰地における深耕の効果. 例

1年目甜菜収量及比率(反当斤)

区 別	共通肥料	共通肥料+堆肥	共通肥料+堆肥+磷酸
10cm耕	4451(100)	4337(98)	4564(103)
20cm耕	3087(69)	5228(117)	5434(122)
30cm耕	3863(87)	4716(106)	5511(124)

2年目燕麦収量及比率(甜菜跡地)

10cm耕	27.3(100)	29.1(107)	31.8(117)
20cm耕	27.3(100)	37.3(134)	43.6(160)
30cm耕	29.1(107)	42.7(157)	49.1(180)

甜菜 N. 1.5^x P₂O₅ 1.6^x K₂O 2.5^x 堆肥 1000^x 磷酸 6.0^x
燕麦 N. 1.0^x P₂O₅ 2.0^x K₂O 1.0^x 各区 20cm 耕起, 均一栽培。

昭和11年~12年, 十勝幕別町, 火山灰土

主として土壌の理化学性にあるような場合に顕著にあらわれているようである。重粘土では微細粒子が緊密に堆積し、通気透水が著しく不良で、このことが作物生育を不良ならしめているものであるが、深耕によつてかかる不良条件が除かれるため、例外なく効果を示したものである。また火山灰土においては土層の不均一性と瘠薄

では深耕と作土心土の酸性矯正が行われることによつて効果は著しく高まり、火山灰土においては堆肥の加用及び磷酸の増施によつて収量の増加が得られしかも翌年に至つてもなお深耕施肥の効果の持続していることが認められる。

才4表は畑地心土耕が土壌の物理性に及ぼす影響についての例を示したが、心土耕によつて才2層の土壌に対する変化が認められる。比較的大規模の調査によつて土壌硬度、滲透速度等は才才に原土の状態に近づきつつあることが知られ、約4年にして対照区と殆んど等しくなつていた。心土耕によつて土壌の物理性がどのように変化す

才4表 深耕による土壌物理性の変化

才4表-1 土性

			心土耕			
			28年	29年	30年	31年
才1層	表層	填土	CL	L	L	C
才2層	心土耕層	"	C	C	CL	L
才3層	下層	填壤土	C	CL	SL	L

才4表-2 土壌の物理性

	層位	含水率 (%)		密度 (cm ³)				容水率 (%)		含水率容水率		空気率 (%)	
		春	秋	湿		乾		春	秋	春	秋	春	秋
				春	秋	春	秋						
普通耕	1	19	29	0.97	1.14	0.78	0.80	49	59	39	49	50	35
	2	30	34	1.19	1.27	0.83	0.83	55	61	55	56	24	24
	3	28	30	1.54	1.41	1.11	0.98	47	52	60	58	16	22
心土耕 -28年-	1	21	28	1.06	1.25	0.82	0.91	55	53	38	53	45	29
	2	33	32	1.06	1.36	0.71	0.93	47	53	70	60	36	19
	3	21	21	1.77	1.74	1.39	1.38	36	40	58	53	13	15
心土耕 -29年-	1	25	33	1.14	1.04	0.85	0.70	55	62	46	53	38	38
	2	23	33	1.13	1.26	0.76	0.85	55	56	60	59	33	16
	3	25	25	1.56	1.53	1.17	1.15	45	45	56	56	18	20
心土耕 -30年-	1	30	40	0.99	1.08	0.69	0.65	57	65	53	62	42	31
	2	38	43	1.20	1.14	0.74	0.65	62	59	61	73	24	25
	3	36	20	1.44	1.67	0.92	1.34	37	37	97	54	10	22
心土耕 -31年-	1	47	29	1.16	1.12	0.61	0.79	68	61	69	48	21	36
	2	39	30	1.13	1.31	0.68	0.92	75	52	52	58	28	24
	3	30	38	1.47	1.27	1.02	0.79	47	60	64	63	18	23

才4表-3 団粒構造%

	才1層			才2層		
	1.0mm以上	1.0~0.1mm	0.1mm以下	1.0mm以上	1.0~0.1mm	0.1mm以下
	普通耕	27	46	27	41	44
心土耕(28年)	26	38	36	67	20	13
(29年)	27	40	33	45	38	17
(30年)	28	42	30	53	36	11
(31年)	77	17	6	84	13	3

るかは、およその見当がついたが、それが化学性にどんな関係があるか。作物の生育に如何に影響するか等の点が明らかにならなければ、低位生産性の原因を明確に把握し、適切な改良方法を生み出すことは困難となろう。また効果の持続性についても当初の状態と

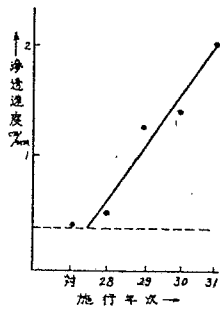
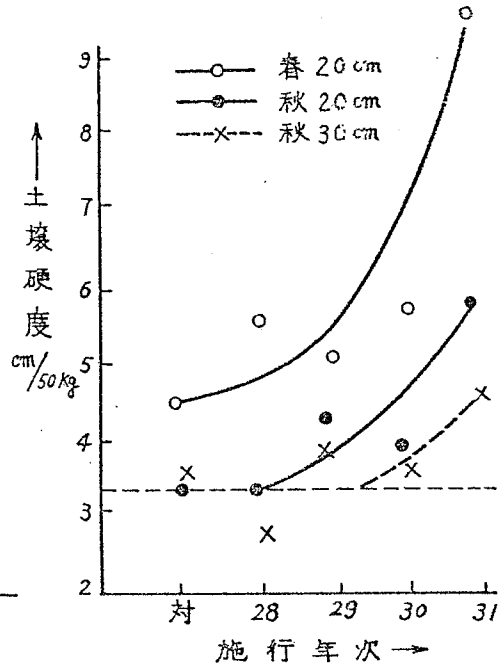
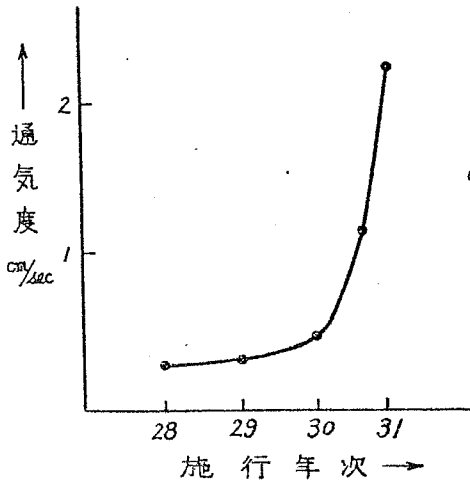
改良後の状態がそれぞれ因となり果となつて変化を続けるものであろうから、この過程の分析がなければ解決は困難であろう。

次に才1表に示された各地の成績から、深耕の効果に

ついでに地

域性を論ずることは、試験成績が充分でないので誤りをおかすおそれもあるが、現在集積された資料のみについて見ると、深耕の効果は北海道においては土壌別にも作物別にも顕著に見られるもので、東北地域、関東地域がこれについて、東海、九州地域が一般に劣つていることが認められ、

寒地から暖地に至るに従い次第に効果があらわれ難くなるという傾向が見られる。かかる結果の得られたのは深耕試験に際して適切な土壌管理が考慮されなかつたためか、あるいは気候的条件の影響が大きく、深耕の効果に地域的な差異を生じたものであるかは今後の重要な研究問題であらう。



才4表-4 地温 °C (10h~18h)

深さ	普通耕	28年	29年	30年	31年
10cm	19.8	20.5	21.3	21.9	20.4
20cm	18.7	19.3	20.6	19.8	19.1

深耕を行つた場合作物の種類によつて、効果の出やすいものと出にくいものがある。多く

江別市西野幌台丘地

普通耕は6寸馬耕，心土耕はトラクター耕表土6寸心土4寸各28, 29, 30, 31年に心土耕を行いその後普通耕を続けた。調査は31年春秋。(昭和31年度，農業物理部試験成績)

の試験結果から全国的に見て，青刈飼料，甜菜，馬鈴薯，麦類，陸稻，等

は効果をあげやすい作物であり，大豆，甘藷等は効果の少ない場合が多くなつてゐる。これ等の作物といつても品種の特性による差異があり，また土壤管理の適否によつても差を生ずることは当然考えられる。

深耕の効果は終局的には栽培した作物の収量の多少によつて判定されることになる。経営経済的の観点からすれば当然作物収量の増大をもたらすものが才一義的に考えられなければならない。従つて農家の圃場において実際に深耕を行う場合には，収量の最も上りやすく，深耕に適応する作物を作付して，収量(収益)を高めることが深耕の有利性を明確にする方法で，普通耕に比して何程の増収が得られたか，安定した多収性がどの程度続くものかを見なければならぬ。事実北海道においては深耕直後にはデントコーン，馬鈴薯，甜菜等適応性の高いものを作付し，莖葉の繁茂伸張が著るしいが倒伏による減収のおそれある麦類，子実収量の高まらない萱類の作付を避けるように指導されている。要は深耕後の土壤条件を最も有利に利用し得る作物の導入を行い，有機物の授与，

施肥管理の適正等によつて心土の改善がすすむにつれてそれに適した作物を取り入れるようにすることが有効な方法であろう。

次に経済的の見地をはなれて見るならば、深耕によつて子実の収量は高まらなくても、莖葉の繁茂伸張が示されるということは別の見方をすれば、深耕の効果があがつていると見ることが出来るのではあるまいか。即ち深養生長が促進され栄養体の生育量が大きくなることは、その後の子実収量の増大の可能性を示しているものといえよう。実際には必ずしも期待の如くにはならない場合が多いが、これは栄養体の増大を子実生涯に結び付けるための条件が充分に解明されてないためであると考えられる。従つてこの点については基礎的研究の推進によつて解明さるべき重要な問題であるが、一面従来試験において単なる深耕では減収となりやすい大豆も、心土の改良が行われるならば相当の多収が得られるという試験例、あるいは深耕と下層施肥によつて増収の得られた例等が、問題解明の一つの手がかりとなるものであろう。

深耕に対する2.3の考察

深耕によつてオ一に最も大きな変化を受けるのは土層の配列であり、土壤の膨軟化である。深耕は主として機械的手段によつて土壤物理性の改善を目指しているものであるが、土地生産性阻害要因を見出し、これを除去矯正することがオ一に必要である。土壤中において如何なる部分がどのような状況において生産に影響しているかの判定は、土壤断面の調査によつて大凡そは可能な筈であるし、またこれを可能ならしめなければならない。土壤基本調査の重要性が強調される一面はかかる点にあるものと云えよう。比較的浅い部位に盤層その他不良土層の存在する場合とか、重粘微細な粒子が緊密に堆積し通気透水が著るしく不良になつている場合とか、噴出源、噴出時を異にして、性質の著るしく異つた土壤の疊積しているような場合には、生産阻害の要因が明瞭であり深耕の効果がしやすい条件を具えているものであるが、実際に深耕を行つて見ると全く効果の見られない例が多い。かかる事例を見ると深耕による下層土混入の悪影響が急激にあらわれている場合が極めて多い。一般的に見て下層土には性状の不良のものの存在している例が多い。各種不良性改善に関しては既に多くの試験が行われその対策も明らかにされているが、心土改良の有無適否が深耕における根本問題と云うことが出来る。従つて深耕の実施にあつては土壤の種類土層の配列状態に応じて如何なる施工をなすか（心土耕・混層耕等）、何れの部位までの耕起が必要か等が検討され、その上に土壤の改良方法、適作物の選考等の試験が行われ、広範囲に適用出来る深耕地における適切な農法が明らかにされるものである。なお深耕に関する試験成績の記載に当つては常に施工地の土層断面を附することを提唱したい。（単に耕深を示しただけでは、その深さが如何なる意義を有しているかが不明の場合が多いからである。）

以上深耕によつて土壤水分系の変化が大きく取りあげられる。深耕は人為的に土壤を膨軟ならしめるのであるから、当然土壤三相分布に変化を来たし、孔隙の分布もまた変り特に粗孔隙量の増加を来たしている。透水係数も従つて増加し、有効水量も深耕によつて増加することも知られている。水の保持力の増大する一方、毛管水の上昇がたち切られるため、旱魃に際し陸稲の旱害を被る例も報告されている。土壤水分の変化の間接的影響として地温の変化があり、深耕により地温の上昇が見られるのが通例であるが、寒冷地においては水分保持の増大により地温上昇を妨げ、作物生育に悪影響を及ぼす場合もある。また火山灰土の如く元々透水性の大きな土壤においては、深耕による

透水性の増加に伴い養分溶脱の傾向が助長されることも考えられ、窒素、加里の作物体内の含有率が低くなつたり、作物栽培に当り各種要素の多投によつて収量があがる等の事実がこれを裏書きしているものと思われる。土壌水分系の変化はある土壌においては有利な条件を与える反面、他の種の土壌には不利な条件となつていることもある。従つて各種の土壌において系統的に水分系の変化を作物生育との関連において明らかにし、常に多収となるような合理的な水分管理の方式を作りあげることが必要である。

深耕によつて作物が多収となつた場合の地力の推移を明らかにすることが必要である。深耕の効果の一つとして潜在地力の活用があげられている。深く耕起し土壌を攪拌、膨軟化することによつて、有効態窒素の増加が一般に認められているが、このことは土壌中の有機物の分解が促進されていることを示すもので、このようにして有効化された養分が作物に吸収利用され、生育量の増大となつてあらわれているものと考えられている。北海道における試験例によると、深耕区の収量は常に普通耕区より高いが、年次の経過に伴い収量低下の速度が大きくなることが明らかにされている。このように見ると深耕によつて地力増進を計ろうとすることは必ずしも当を得ないものであつて、むしろ地力減耗的な技術であるように見られる。深耕によつて予期されたような結果の得られない原因が、深耕によつて水分の移動が激しくなり、肥料養分の流亡が著るしくなるためによるものか、作物の生育が促進されるため養分の消耗が著るしいためか、従つて肥料の増施によつてかかる現象を改善することが出来るものかどうか、現在なお不明のまま残されている点を明らかにされるならば、深耕に際してその効果が十分に発揮されるような土壌管理の方法も見出されるであろう。一方土壌有機物の分解消耗に対しこれが補給は不可欠のものとされているが、所謂地力維持のためと考えられている有機物が如何なる役割をなしているものであるか、例えば主として土壌物理性の改善・保持のために働いているものであるか、あるいは主として作物に対する養分供給に意義があるのか等、有機物施用についての本質的な面を明らかにすることが必要で、これによつて深耕時に施用すべき有機物の種類、施用量、施用法等が考えられることにならう。地力の本質についての論議は兎も角として、深耕によつて作物生育に対して好ましい環境が作りあげられるもので、これに土壌化学性の改善、合理的な水分管理、適切な施肥等が行われるならば、永続的に高水準の収量を維持することも可能となるであろう。結局深耕を地力増進技術たらしめるか、地力消耗技術たらしめるかはその後の管理によつて決定さるべきもので、深耕自体は地力増進の可能性を附与するものであるを云えよう。

次に考えられることはトラクター利用にもなつて生ずる各種の問題であろう。従来畜力、人力による耕起は10~15 cm程度にすぎなかつたものであつたが、大型の機械導入によりその耕深を増大せしめることが出来る。深耕の実施にあつては土層の構成状態によつて適切な耕深、方法が一応決定されるが、同時に使用すべき機械の種類も決定されるものである。また機械利用に際してその能力を規正するものは土壌の性状と関連して、その土壌に含まれている水分の状態である。各種土壌において機械の能率を最高度に発揮せしむるための土壌条件、特に適正なる水分含有率を明らかにすることが先づ必要で、かかる要望は重粘土地壌において最も大なるものがある。さらに土壌の混和の程度と関連して、有機物施用法、化学肥料あるいは土壌改良資材の施用法等が問題となるであろう。またトラクターの使用による耕盤の形成とこれが作物に対する影響とこの対策等機

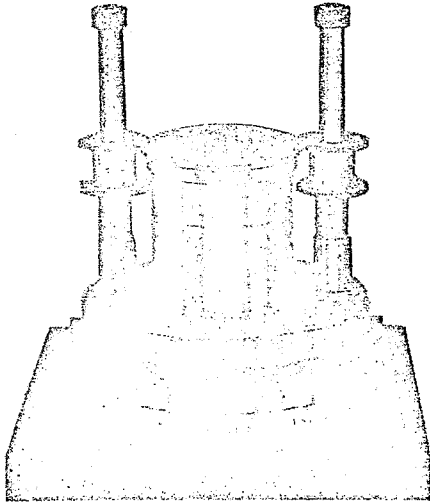
械利用にあつての問題点も少くはない。

む す び

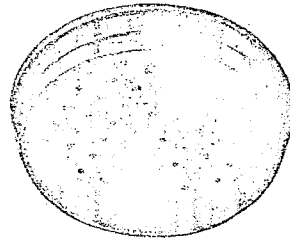
以上主として深耕の問題を土壤肥料の面から考察したものであるが、深耕の効果は数多くの要因が綜合された結果示されるものであるから、土壤、気候、作物さらに機械の種類、使用の形態等によつて、類似の環境においてもあらわれる結果は必ずしも一様ではない。深耕によつて増収の効果を収めようとするならば、耕起方法、土壤の性質に対応した施肥量、施肥法、作物の種類あるいは品種の選定等各般に亘つての研究が必要であり、しかも小面積の試験では、大規模の圃場において見られる実際の様相とはしばしば異なることも知られているので、この種の土地改良試験は広い面積を用いて実施することが望ましいものである。さらに土壤の種類と深耕の関係、深耕効果の発現に対する地域性の問題等を明らかにするため、幅広く行われた現地試験の成績を集積し、深耕に関する諸問題を學納的に解明する等の方法も取らなければならないものと考えられる。

農林省農業技術研究所技官 農学博士 山中金次郎先生考案

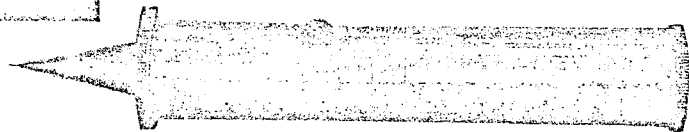
土地改良と施肥改善の 各種土壤測定器



容積重測定装置

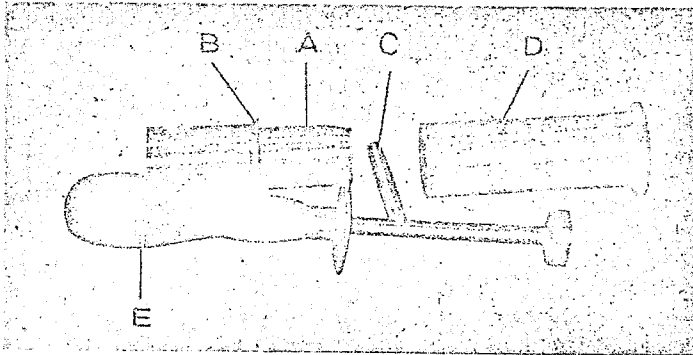


最大容水量測定用皿



土壤硬度計

容積重測定器 (現地用)



営業品目

土壤硬度計
容積重測定装置
最大容水量測定用皿
容積重測定器 (現地用)
特許ビスポン器
(気体液体用各種)

製造発売元

ビスポン濾器株式会社

東京都中野区川添町31番地
電話 (361) 2849番