

Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan

土 壌 の 物 理 性

第 5 号

昭和 37 年 2 月

綜 説

水田の透水性に関する諸因子について 富士岡 義 一

資 料

北海道の土壤侵蝕の諸問題 一 戸 貞 光

農業土木よりみた土壤侵蝕の諸問題 吉 良 芳 夫

フローティング・ライシメーターについて 金 子 良

機械耕耘による畑深耕の効果 箱 石 正

報 文

畑土壤に対するベントナイト，パーミユキライトの施用効果 池 宗 勝 三 郎 ・ 川 井 一 之

水田土壤の物理的性質とその浸透量の関係について 山 崎 不 二 夫 ・ 八 幡 敏 雄
田 淵 俊 雄 ・ 外 田 敦 ・ 田 淵 公 子

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

会 報

土壌物理研究会規約

第1条 本会は土壌物理研究会と称する。

第2条 本会は土壌の物理性を中心とする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。

第3条 本会はその目的を達成するため次の事業を行う。

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

第4条 本会の会員は正会員及び賛助会員の2種とする。

第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 300円 賛助会員 1口年額 2,000円

第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。

第7条 会長は毎年1回以上総会並に評議員会を召集する。

第8条 本会の経費は会費その他の収入をもつてあてる。

第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おく(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第1科土壌物理研究室

評議員会の審議事項報告

36年度評議員会は4月5日香川榮養大学で開かれ、次の諸事項を審議決定した。

1. 役員の変更及び新任について

役員は任期一年を満了し改選の時期であるが、研究会の運営状況からみて今回は改選を行わず引続き留任することにする。

会の運営を活潑にし会員層を拡大するため、新た

に評議員として富士岡義一氏(京大農)及び鍋木宏夫氏(関東東山農試)を委嘱する。編集委員として金子良氏(農技研、平塚)を委嘱する。また人事異動に伴い事務局の幹事の交代を行う。(役員名参照)

2. 会費値上げについて

現在の年間200円の正会員会費では運営と会誌一冊分の発行さえ困難となりつゝあるので、昭和35年度より年間300円に値上げし運営の円滑化を計る。

3. 規約改正について

会費変更に伴い当然規約改正を行う。また投稿規定についても2.3の変更を行う。

4. 第3回研究討論会の予定について

次回の討論会は翌年4月に粒径分析法をテーマとして行うことが望ましいので、その具体化を今後検討する。

以上の審議結果は4月8日の第2回討論会に先立って開かれた総会の席上において正式に承認された。

編集委員会協議事項

36. 5. 30

1) 新年度の編集委員として、吉良、小中、滝島、寺沢、八幡、四方の諸氏に引き続きお骨ねをりを願うとともに、新らしく金子、渡辺、小林の諸氏に編集委員をお願いした。

2) 5号の内容について検討を行った。

36. 10. 26

1) 5号の原稿の検討

2) 6号の内容に関連して、シンポジウムの主題について予備討論を行なった。さきの評議員会で討論された「粒度分析」は、研究者の層もようやく時期早尚であり、むしろ機械化にともなう「深耕問題」をやった方が適切なのではないかという意見が出された。

附記

種々の問題のため5号の発行がおくれ、6号も早急に出さねばならぬ情勢にあつたので、1月19日山中会長、吉良編集委員長、美園評議員、寺沢編集委員と岩田が集って、解決策を協議した。この集まりは、正規のものではないが、一応この集まりで出された方針で仕事を進め、後で評議委員会、編集委員会に事後承認をお願いすることとして、次の事項をきめた。

綜 説

水田の透水性に關与する諸因子について

富士岡 義 一
(京都大学農学部)

I まえがき

水田の透水性は水稻の生育あるいは栽培には密接な關係を有する重要な性質であつて、水稻の生育に最も好適なる透水性(適正浸透量)が望ましいことは言うまでもない。

この水田の透水性は複雑なる現象であつて、これに關与する因子は非常に多岐にわたつてゐるのであるが、できる限りそれらの因子を単純なる形で取出し、それぞれの機能なり性格を明らかにすることは適正な透水性との關連において必要なことである。

水田の透水性に關与する因子として大別すれば、(1) 水田土壤中を流動するカンガイ水の性質、(2) 水田土壤の性質及びその存在の状況、(3) 水田の環境条件、の三者となるので、以下筆者の研究を中心にしてその概要を述べる。

II 水田内の水の性質

透水性を支配するものとしては、浸透水の粘性が考えられる。水田内の水としては、溶液の濃度による粘性の変化は微小で無視できるから、主として水温が大きく影響する。

(表-1参照) 例えば水温が5°Cより30°Cになれば粘性係数はほぼ半減することになり、透水度が倍加される。

表-1 水の温度と粘性係数

温度°C	0	5	10	15	20	25	30	50
粘性係数	0.01797	0.01525	0.01301	0.01138	0.01006	0.00895	0.00800	0.00550

その外水中に含まれてゐる空氣量に關係するが、自然界においては含氣量が急變することがないから無視することができるように考えられる。

III 水田土壤の性質及びその存在状況

一般に土壤の透水性は、透水係数(飽和あるいはこれに近い状態におけるもの)によつて表わしてゐる。透水係数についてはKogeny⁽¹⁾の式が信頼されてゐる。すなわち

$$k = \frac{g}{\nu c \Delta^2} \frac{(p - p_0)^3}{(1 - p)^2}$$

g = 重力の加速度

$\nu = \frac{\mu}{\rho}$ ν = 水の動粘性係数

μ = 水の粘性係数

ρ = 水の比重

- c = 土壤粒子の形状値
 Δ = 土壤粒子の分散度 = $\frac{\text{粒子の表面積}}{\text{粒子の実体積}}$
 p = 間ゲキ率
 p_0 = 間ゲキ内における不動水の率
 $(p - p_0)$ = 有効間ゲキ率

p_0 に関係する不動水の量は、Ca、Mg などの2価のイオンを有する一般の土壤においては、Mitscherlich の吸着係数の2倍であるが、Na のような1価のイオンを有する土壤の場合には7倍の水を吸着して動かないことが明らかとなっている。⁽²⁾ 従つて2価のイオンを1価のイオンで置換すれば透水係数は急減する。

以上の透水係数の式は流体の性質と土壤の性質を含めて透水量を表現しているのであつて、流体の粘性係数が半減すれば透水係数は逆にほぼ2倍となる。次に c 、 Δ などの土粒子に関するものは余り大きな変化を示さず透水係数に与える影響は小さいのが一般である。従つて $(p - p_0)$ の有効間ゲキに支配的な影響を受けることを示しており、それは結局土壤構造に支配されることを意味しているのである。この有効間ゲキの変化による透水係数の変化は $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{100}$ 時には $\frac{1}{1000}$ に及ぶことがある。

土壤構造は土壤の種類によつて異なるのは当然であつて壤土、植壤土のように粒子が細くなるに従つて有効間ゲキ率は急激に減少する。また同一種類の土壤でもその詰り方によつても異なるのである。従つて水田の過度の浸透を抑制するために粘質土を客土することは前者の目的のためであり、またシロカキを入念に行うのはシロカキにより有効間ゲキ率の少い浸透しにくい土壤構造にならしめる目的であると語る。我々の研究室ではこの観点に立つてシロカキの実験的研究において面白い成果を得ている。

次に安定した水田土壤においても自然環境の如何により土壤構造が変化を起すのであつて、生物などによる物理的作用によるものは最も簡単でしかも不規則であるから、それ以外のものについて述べる。

A 水田土壤の還元と透水性⁽³⁾

湛水状態における水田土壤の顕著な特色は夏季高温のために、作土が酸化の状態から還元状態になることである。この変化が透水性に与える影響について室内で実験した結果は、図-1~3に示す通りである。

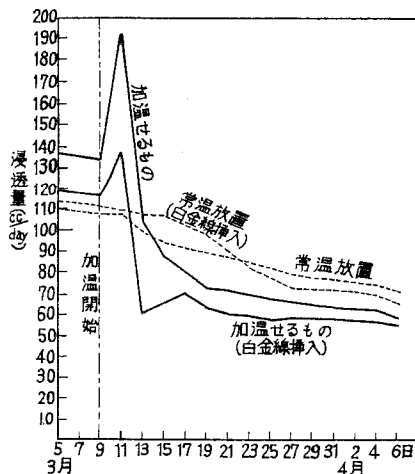


図1 砂壤土の浸透量変化

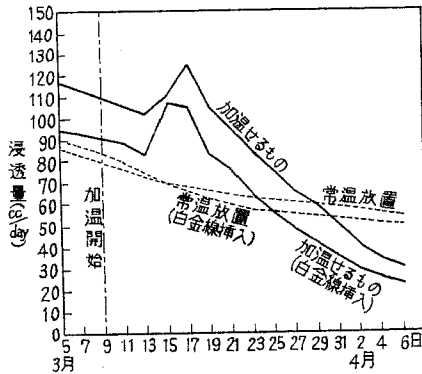


図2 埴壤土の浸透量変化

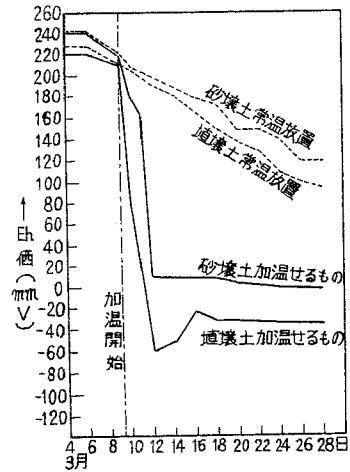
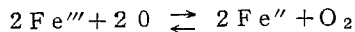
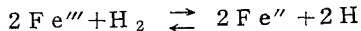


図3 Eh 価の変化

土壌を30~38℃(室温10~13℃)に加温すれば急激に還元状態となり、土性により多少異なるが大体3日目でEhは砂壤土が約+5mv、植土は約-40mvと安定している。それに対して浸透量は砂壤土においては、加温後たゞちに増加して2日目で最高に達しその後は急激に減少して終には最初の1/2以下となりEhの傾向とよく一致している。植壤土においてはこの変化が著しく緩慢であつて8日目に最高に達し、以後徐々に減少している。また上述のように加温して浸透量が減少安定後再び室温に放置しても浸透量は復元増加しなかつた。

以上の結果を考察すれば、加温により粘性係数が小さくなつて一時的に浸透量が増加し、以後急激に浸透量が減少しているのはEhの低下即ち還元に起因していることは明らかである。

還元が進めばガスが発生して浸透を抑制することも考えられるが、還元状態になれば、3価の鉄化合物は下記のように還元されて2価の酸化鉄(FeO₂, Fe(OH)₂, FeS)となり、これらの



2価鉄化合物は一部膠状酸化第1鉄となり、一部は土壌中に溶けている炭酸と作用して炭酸鉄もしくは重炭酸鉄となつて可溶性となり、一部は陰性コロイドたる腐植または他の無機膠質物と結する。これらの現象が土壌中の有効間ゲキを縮小せしめて浸透量を減少させるものと推察できる。

B 土壌戸の状況すなわち鋤床戸あるいは耕盤の存在と透水状況⁽⁴⁾⁽⁵⁾

熟田においては一般に鋤床戸あるいは耕盤が発達して作土戸よりも不透水性の場合が多い。これらの水田において水田各区に高低差のある場合には鋤床戸(耕盤上面)を境界面としてその大部分が畦畔に向つて浸透し鋤床戸に沿つた畦畔部分より下流側に流出していることを明らかにすることができたので、これを畦畔浸透と呼び、これに対して鋤床戸面を鉛直に浸透するものを鉛直浸透と呼ぶことにした。

これらの現象は放射性同位元素Co-60をトレーサーとして用い、小枠を設けてカンガイ期間中浸透させて、落水後各点の土壌のカウント数によつてその浸透流線を追跡した。それらの結果は、図4~5に示す通りである。以上のようにして見出した浸透流線が正しいかどうか(また一面畦畔浸透防止法として)を検証するために、畦畔内部に鋤床戸まで達する止水壁(コンクリート壁及びベントナイト粉

末壁)を挿入した所(図-6参照)ほとんど完全に畦畔浸透が防止することができ、以上のような流れ方をすることを実証した。

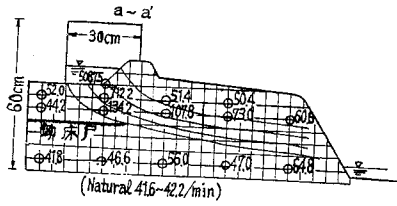


図4 畦畔浸透流線と放射能カウント数
(亀岡農試試験田)

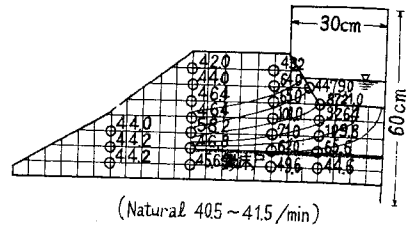


図5 畦畔浸透流線と放射能カウント数

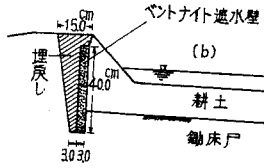


図6

従つて水田よりの浸透には鉛直浸透と畦畔浸透とがあつて、筆者の測定した範囲では、後者は前者の3~10倍にも達するので両者を区別して考えねばならない。

畦畔浸透量は畦畔の土性構造などによつて異なるのは勿論ではあるが、同一畦畔においても晴天時には増加し、曇天になり降雨になるに従つて減じて終には鉛直浸透量に近い値を示すようになる。

IV 水田存在の環境条件(6)(7)

A 地下水位の高低と透水性

地下水位の高低と透水性との関係を見るためには先ず鉛直浸透の浸透機構を明らかにしなければならない。このために、地下水位がかなり下方にあつて土壌が均質な場合の単純なる条件を想定して図-7のように、湛水深を変化して鉛直降下浸透実験を行つて図のような結果を得た。

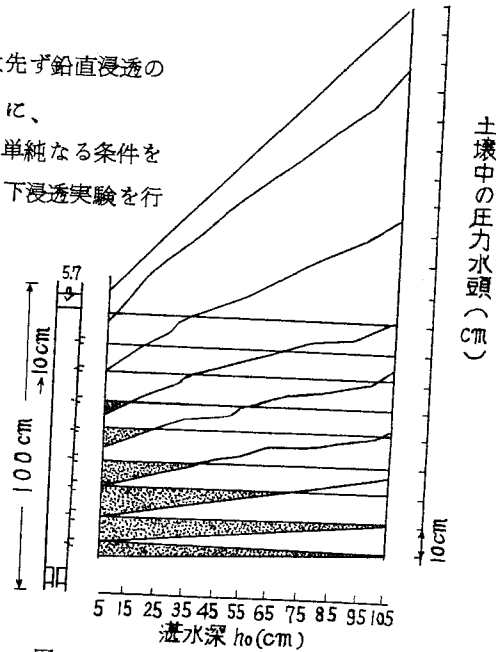


図7 湛水深と土壌中の圧力水頭の関係

以上の結果によれば、表戸部だけが飽和されて正圧を示し、それ以下は不飽和（開放浸透状態）となつて負圧となりそれが下方に行くに従つて増加している。次に湛水深を増加すれば水圧0点は下方に行き、正圧は増加すると共に負圧は減少する。一方湛水深を減少すると逆の関係が成立する。なお土壌面より負圧0点までの距離を l とすれば湛水深 h_0 との関係は砂壤土については

$$l = \log_{2 \times 1.058} h_0$$

なる関係がある。また湛水深を増加すればする程浸透量は増加する。

更に負圧下方の変化を実験により詳細に調べた結果、その傾向は図-8の通りである。

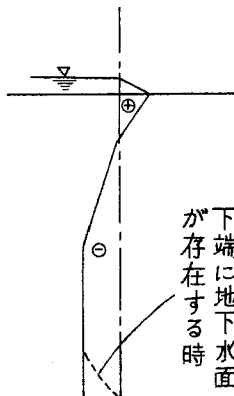


図8 土壌中の圧力水頭

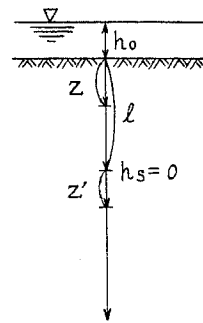


図9

以上によつて明らかなように下方に行くに従つて負圧は増加するが、ある点以下になれば一定値となる。この部分の含水比は圃場容水量にほぼ近い値を示した。

負圧一定値までの土壌中の圧力水頭は、Navier-Stokesの運動方程式を適用して考究した結果次式により表わされる。(図9参照)

$$h_s = h_0 + Z \left(1 - \frac{v}{k} \right) \quad \text{正圧部分}$$

$$h_s = -Z' \left(\frac{v}{k'} - 1 \right) \quad \text{負圧部分}$$

h_s = Z点 (Z'点)における土壌中の圧力水頭、

k, k' = 正圧及び負圧部分の透水係数、

v = 浸透流速、

次にやや不透水性の鋤床戸が狭まれた場合には図-10のようになり、不透水性戸上は静止水中和同様な圧力分布をとり、不透水性戸下で急激に負圧が発生して以下は一定値になる。(勿論この状況は不透水性の度合、並びにその厚さなどにより変化するものである。)

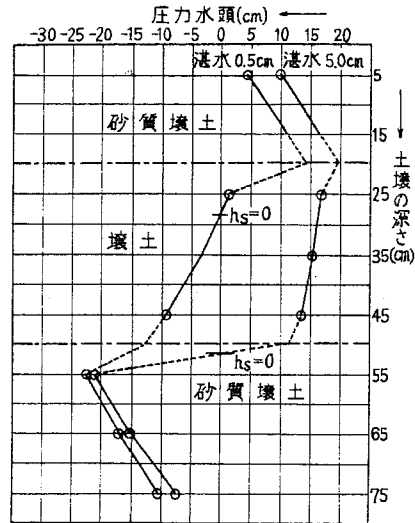


図10 表土下にやや不透水土層が挟まれた場合に各土層中における圧力水頭の分布

以上により水田における鉛直浸透の状況が明らかとなったのである。

従つて地下水位が変動する場合、例えば地下水位が負圧一定値以上で変動すれば、地下水位が上昇すれば浸透勾配は小さく成つて浸透量は減少し、逆に下降すれば増加することが推察される。所が負圧一定値以下で上下しても浸透量には影響しないことが明瞭である。(実際の場合には地下水面が現われると毛管上昇などによつて、可なり変化するが定性的には以上のことが言える。)

これらの関係は実験調査の結果⁽⁸⁾によつても実証されている。すなわち、砂土1.5~2.0m, 砂壤土0.9~1.0m, 壤土0.6mなどが浸透量に影響する限界深さで、それら以上で地下水位が変動すれば影響を受けることになる。また実際の場合、排水改良を行つて地下水位を低下すれば水田の浸透量が増加することは古くから認められている所である。

B 水稻栽培の場合の葉面蒸発量と透水性⁽⁹⁾

わが国における水田の浸透量は、多いもので減水深にして10~35mm/dayの間にあつて浸透流速にすれば 1×10^{-5} ~ 4×10^{-5} cm/secの非常に緩速度で降下浸透を行つている。このような土壤中に水稻の根が張れば可なり水量(水深4~10mm/day, 流速 5×10^{-6} ~ 1×10^{-5} cm/sec)を吸収することになり、降下浸透中の水が途中で奪取されて浸透量に影響を与えるものと考えられる。これらを調べるために鉄製浸透試験器にて水稻の栽培試験を行い(別に無栽培の浸透試験も行つた)、灌水量、浸透量を測定し、葉水面蒸発量を算出した。それらの結果は、図11, 12, 13に示す通りである。

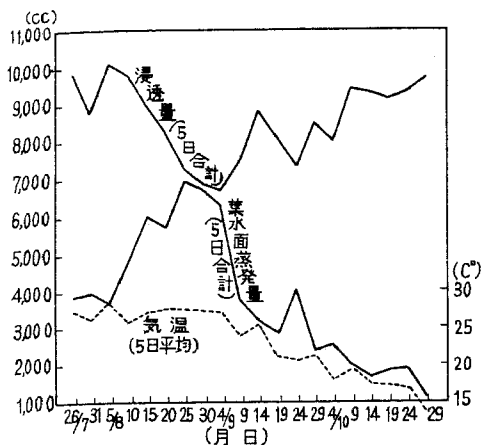


図11 葉水面蒸発量と浸透量との関係

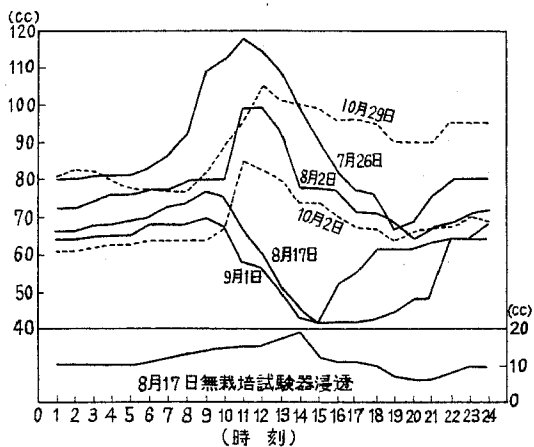


図12 生育時期別浸透量の日変化

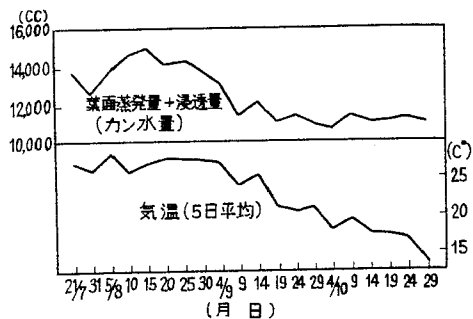


図13 カン水量と気温との関係

表2 相関係数および偏相関係数

	相 関 係 数	偏 相 関 係 数
葉水面蒸発量と浸透量	$r_{1.2} = -0.4603$	-0.4855
葉水面蒸発量と気温	$r_{1.3} = +0.8333$	+0.8390
気温と浸透量	$r_{2.3} = -0.2395$	+0.2941
気温と浸透量(8月17日)	$r = -0.7288$	-
同上 無栽培	$r = +0.6383$	-
(葉水面蒸発量+浸透量)と気温	$r = +0.8386$	-

土壤本来の浸透は、IIで述べたように気温(水温)が上昇すれば増加するのであるにかゝらず、生育全期間においてもまた一日中の変化においても逆に葉面蒸発量に反比例的に減少しているので葉面蒸発量が浸透量に影響することは明らかである。

図-13は、葉水面蒸発量+浸透量=灌水量と気温との関係であつて、両者は全く同じ傾向を示している。(10月後半は毛根の木化腐朽のために水道が付き気温ほどは減少していない。)また無栽培区の気温と浸透量との関係もほぼ同様な傾向を示している。この事柄は、灌水量が気温によつて変化する本来の浸透量に等しいことを示すものである。(表-2参照)

以上を総合すれば、土壤の本来の浸透量は気温の変化に対応した変化を行うのであつて、そこへ水稲

が吸水を行う時には、その浸透量は、その吸水量に相当する量だけ減少しているものようである。

これらの関係は従来の減水深の測定結果を詳細に検討すれば、水稻が生理的に最も水を必要とする穂孕期前後が最大にならず、気温の最も高い7月中旬～8月上旬が減水深最大を示していることからしても実証しているものと考えられる。

以上のような観点よりすれば、水田よりの浸透量は〔畦畔浸透＋鋤床あるいは耕盤よりの浸透〕と考えるのが合理的である。従つて水田の透水性としては、畦畔浸透は好ましくないのでできる限り防止すべきであるから、ただ鋤床戸あるいは耕盤の透水性を考えればよいことになる。

参 考 文 献

- (1) J. Kogeny : Hydraulik 1953, P289 ~ 394
- (2) F. Alten und B. Kurmies Handbuch der Bodenlehre
1939, P219 ~ 239
- (3) 富士岡, 五十崎 : 水田状態土壤の還元が浸透に及ぼす影響について
農業土木研究 vol. 23, No6 . 1956
- (4) 富士岡 義 一 : 畦畔浸透について (I)
農業土木研究 vol. 25, No1 . 1957
- (5) 富士岡, 馬 場 : 全 (I)
農業土木研究 vol. 26, No1 . 1958
- (6) 富士岡 義 一 : 土壤の鉛直降下浸透における負圧発生機構に関する研究 (I)
農業土木研究 vol. 21, No6 . 1954
- (7) 富士岡 義 一 : 全 (II)
農業土木研究 vol. 23, No5 . 1955
- (8) 大 島 一 志 : 地下水位の変化に基く水田用水量の相対的増減関係とその動態に関する研究(II)
農業土木研究 vol. 21, No6 . 1954
- (9) 富士岡 義 一 : 水稻の葉面蒸発量が浸透に及ぼす影響について
農業土木研究 vol. 25, No5 . 1958

資 料

北海道の土壤侵蝕

一 戸 貞 光

(農事試験場)

1. まえがき

北海道の土壤侵蝕に関する全般的問題については、西潟らによつて再三論じられてきたところであり、資源調査会による詳しい実態調査の結果も報告されている。また土壤侵蝕に関する実験的研究も1948年より北海道農試(喜茂別)において開始され、すでに多くの成果が、西潟、飯田らによつて報告されてきた。筆者は主として1955年以降実施した調査及び試験の結果に基いて、その特質と防止対策を論じてみたい。(註: 風蝕については論及しない)

2. 北海道における土壤侵蝕の特質

(1) 気候要因と土壤侵蝕 北海道の土壤侵蝕はその起る時期によつて2つの異なる発現形態を示す。即ち早春の融雪期の土壤侵蝕と、それ以後の農耕期間中の土壤侵蝕とがそれである。前者は融雪期に急激な暖気が訪れたときに、一時に融雪水が発生し、それが斜面を流下する過程において土壤を洗掘し、運搬する形となつてあらわれることが多い。しかしこの場合にも、積雪量が比較的少なく、土壤の凍結が顕著に起つているときには、凍結土壤の融解によつて生ずる余剰水もこれに関与し、未融解の凍結層が不透水層となつて、融雪水の滲透を著しく阻害していることになるので、これらの条件が重なつた場合の土壤侵蝕は、その形態も典型的なRill 或はGullyに発展することが多い。とくに融雪期の降雨はこれを一層助長する。筆者の釧路及び網走の調査では、土壤凍結層がまだ残つていて、その上に10cm内外の残雪がある場合に、20℃の一時的暖気が訪れたときと、ほぼ同じ条件のところにも20mm程度の降雨があつたときに顕著な侵蝕を認めている。しかし一般にこの時期の土壤侵蝕は流去水量に比して流亡土量は少なく、侵蝕が認められる場所も概ね一定して農道、車輪跡、秋耕耕地の周辺及び凹地などに限られている。

つぎに農耕期間中の土壤侵蝕については府県のそれと本質的なちがいはないといつて良い。ただ強雨が比較的少なく、危険雨量も少ないにもかかわらず、土壤侵蝕は府県のそれと比較して顕著に認められ、その規模も大きい特徴がある。これは経営規模が比較的広く、ほとんどが長い自然傾斜をそのまま利用し、しかも土壤侵蝕を受け易い作物(馬鈴薯、大豆)が何ら侵蝕防止を考慮することなくまとめて作付されている例が多いためと考えられる。また土地利用方式においても、府県でも開拓地に一部みられるが、地形の如何にかかわらず、号線区画によつて方形に土地が区分され、これが傾斜地の作畦方式を不自然なものとしており、Gullyの大きな原因となつている。

(2) 土壤侵蝕の実態と降雨の分布 従来、土壤侵蝕の実態というとき、過去の累積現象を示すか、或はRill, Gully の発生状況もしくはその程度を示す場合が多かつたが、ここでは喜茂別(虻田郡)の5ケ年間と、土別(上川郡)の3ケ年間の実測値を示し、これを基準として降雨分布との関係、さらには諸要因の関与程度を順次述べていきたいと考える。第1表及2表はそれぞれ喜茂別(火山性土壤-23度)と土別(重粘性土壤-20度)の裸地状態のもとにおける試験の結果を示したものである。

第1表 地表の状態と土壤侵蝕(裸地23度-喜茂別)

項目 年次	流亡土壤量 ($Kg/10a$)			流去水量 (mm)		
	畦立せず	上下畦	等高畦	畦立せず	上下畦	等高畦
1955	2,417.0	2,482.8	245.0	15.67	13.27	2.53
1956	2,633.6	2,689.3	1,356.4	10.50	13.95	8.14
1957	3,910.3	4,117.9	1,408.0	20.55	19.84	10.87
1958	975.5	1,552.8	18.6	15.28	15.42	10.67
1959	6,384.2	5,430.7	1,171.6	18.14	20.46	6.84
合計	16,320.6	16,273.5	4,199.6	80.12	83.74	37.04
年平均	3,264	3,255	840	16.0	16.7	7.8

第2表 地表の状態と土壤侵蝕(裸地20度-士別)

項目 年次	流亡土壤量 ($Kg/10a$)			流去水量 (mm)		
	畦立せず	上下畦	等高畦	畦立せず	上下畦	等高畦
1957	558.5	1,651.7	7.2	46.0	104.1	2.1
1958	397.4	1,291.0	72.8	9.7	41.6	3.4
1959	1,194.7	6,553.6	489.8	33.3	82.3	14.5
合計	2,150.6	9,496.3	569.8	89.0	228.0	20.0
年平均	717	3,165	190	29.7	79.3	6.7

年次のちがいもあり、土性、傾斜角度のちがいもあるが、上下畦区の年平均流亡土壤量は両者とも概ね $3,200 Kg/10a$ を示し、過去において得た厨川(岩手-火山性土壤、10度)における4ヶ年間の年平均流亡土壤量の $3,218 Kg/10a$ とほぼ同量を示した。一方流去水量は厨川の $26.1mm$ に対し、喜茂別は $16.7mm$ 、士別は $79.9mm$ を示し、士別の流去水量が他に比較して著しく多いことを認めた。これはあとも述べるが、重粘性土壤なるが故に透水性が頗る低いことによるものである。これに対し、等高畦区は流亡土壤量において、喜茂別が上下畦区の 26% を、士別が同じく 6% を示し、流去水量においては同じくそれぞれ 47% 、 8% を示した。即ち等高線栽培を行つて畦立もしくは培土を行うときには透水性の高い火山性土壤のみならず、透水性の低い重粘性土壤においても土壤侵蝕を著しく抑制することを明らかにしたものである。

つぎに第3表は降雨の強度(10分間最大雨量)別分布と、裸地上下畦区において水及び土壤の流亡を生じた降雨(流亡降雨とよぶ)とを示し、強度別の流亡頻度を求めたものであるが、この結果から喜茂別の限界降雨強度は厨川のそれと同じく $3mm/10$ 分前後として良いことが認められ、士別は $2mm/10$ 分前後とするのが適当と考えられた。いずれにおいても $6mm/10$ 分以上の降雨になると、裸地上下畦区では 100% の流亡頻度を示す。以上の結果に基き、降雨強度 $3mm$ 以上の降雨を危険降雨とみな

第3表 降雨強度別流亡頻度(裸地上下鞋)

場 所	降雨強度 項目	mm									計
		0~1	1~2	2~3	3~4	4~6	6~8	8~10	10~12	12~14	
(喜茂別) 1955~59	総降雨数	186	102	27	14	15	9	4			357
	流亡降雨数	0	0	4	8	11	9	4			36
	頻度%	0	0	14.8	71.4	73.3	100	100			10.6
(士別) 1957~59	総降雨数	186	44	20	9	9	3	3	0	1	275
	流亡降雨数	1	8	8	7	5	3	3	0	1	36
	頻度%	0.5	18.2	40.2	77.8	55.6	100	100	0	100	13.1
(厨川) 1951~54	総降雨数	254	52	18	15	7	5	3	1	1	356
	流亡降雨数	0	1	5	12	6	5	3	1	1	34
	頻度%	0	1.9	27.8	80.0	85.8	100	100	100	100	9.6

して、道内6ヶ所の測候所について危険降雨の強度別分布を調査し、これを東北及び瀬戸内との比較において示したのが第4表である。即ち降雨強度は道内6ヶ所中では道央の旭川が強度の比較的高い降雨が多く、道南の倶知安、札幌がこれにつき、道東及び道北は強雨がきわめて少ないことが認められ、また東北地方と比較すると、全般的に強雨が少なく、瀬戸内と比較すると、著しく少ないことが明らかである。

第4表 危険降雨の強度別分布

降雨強度 場 所	3mm以上の 降雨回数	4mm以上の 降雨回数	6mm以上の 降雨回数	8mm以上の 降雨回数	備 考
倶 知 安	7.9	5.2	2.5	1.0	15年間平均
札 幌	5.6	3.7	1.9	1.1	"
旭 川	6.8	4.4	2.5	1.2	"
帯 広	4.5	2.9	1.3	0.7	"
網 走	4.7	3.0	1.1	0.5	"
釧 路	5.2	3.7	1.9	0.6	"
盛 岡	9.9	6.8	3.9	1.6	10年間平均
八 戸	8.9	5.8	3.4	1.8	"
宮 古	6.3	3.6	1.7	1.0	"
高 松	11.5	8.8	4.7	3.4	12年間平均
広 島	16.6	11.5	6.1	3.3	15年間平均

註) 高松と広島については吉良氏の調査より引用

3. 地形要因と土壤侵蝕

土壤侵蝕に影響を及ぼす地形要因として、従来から傾斜角度、斜面の長さ、斜面の起伏性などがあげられており、これらに関する研究成果は多数知られている。第5表は傾斜角度の影響について人工斜面を用いて人工降雨による試験を行った結果を示したものであるが、傾斜角度の増大は土壤の流亡量を著しく増加させますが、流去水量は増加しないことが認められた。即ち傾斜度が2倍になると流亡土壤量は4～5倍に、3倍になると6～7倍と増加しており、一方流去水量は傾斜度が2倍、3倍となっても、

第5表 傾斜角度と土壤侵蝕との関係（人工降雨による）

傾斜度 項目 降雨強度	7.5度		15度		22.5度	
	水	土壤	水	土壤	水	土壤
8.4mm/10分	36.9 (100)	149.1 (100)	45.0 (122)	69.68 (467)	37.7 (102)	107.99 (724)
18.0mm/10分	109.8 (100)	851.4 (100)	124.9 (114)	336.42 (395)	140.7 (129)	536.49 (630)

その増加量は20～30%に留まっている。この傾向は降雨強度を異にしても変化はみられなかった。つぎに第6表は斜面の長さの影響について土別（重粘性土壤）で試験を行った結果を示したものであるが、3年間の合計値では斜面の長さの増大は流亡土壤量の増加となっているが、流去水量はむしろ少なくなっている。しかし個々の降雨の場合について検討してみると、この傾向は一般的なものとは必ずしもいい切れない内容を含んでいる。Musgraveの述べている降雨の強弱によるちがいのことも明らかでなかった。

第6表 斜面の長さとの関係（裸地、土別、17度）

項目 斜面の長さ 年次	流亡土壤量 $K_f/10a$			流去水量 mm		
	10m	20m	30m	10m	20m	30m
1957	112.6	181.0	193.4	18.4	11.9	8.1
1958	647.6	878.4	922.7	17.0	13.2	14.1
1959	2,327.4	2,675.7	2,804.7	45.0	29.7	21.6
合計	3,087.6	3,735.1	3,920.8	80.4	54.8	43.8

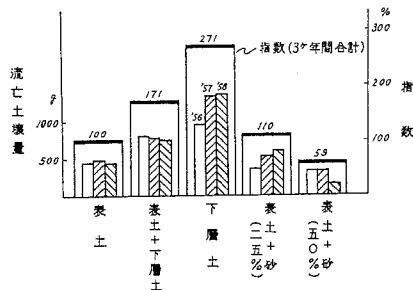
北海道の傾斜畑面積は25万余haに及び、上川、網走、後志などでは町村によつて80～90%の傾斜地率をもち、相当に急峻な土地も利用されているが、全般的にいつて府県に比較すれば緩傾斜地が多いといえるであろう。しかし反面において自然傾斜がそのまま利用されており、その利用面積が広いことから斜面の長さは府県のそれに比較すると著しく長い。

後志の馬鈴薯地帯、十勝の大豆地帯では一作物の斜面の長さが200~300mに及んでいる例も珍らしくない。第6表の結果からは斜面の長さの影響は侵蝕量を必ずしも助長することにはなりそうでないが、傾斜の長さが増大すると侵蝕形態には著しい変化が認められる。即ち、斜面の長さが短い場合には小さいRillの形成はみられるが、大きなRill或はGully侵蝕は斜面の長さが長い場合ほど顕著に認められる。程度の著しいRillまたはGully侵蝕を対象とした試験は今日まで行われた例はほとんどなく、従来の試験方法に検討を加えて今後明らかにしていかなければならない課題であると考えられる。

4. 土壤要因の影響

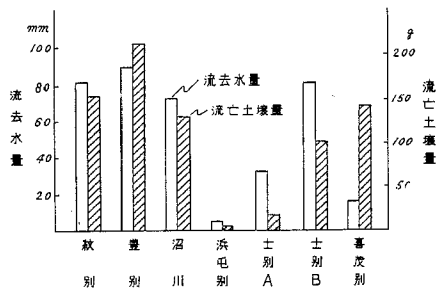
土壤要因に関するものとして、まず喜茂別の土壤について表土と下層土との比較、その両者を混合したもの、表土に砂を混合したものなどについて比較検討を行った。第1図は3ヶ年間の試験結果を示したものであるが、流亡土壤の合計値では表土区の流亡量を100とすると、下層土区は271、下層土を50%表土に混合した区は171を示し、砂混合(砂25%)区は110、同じく砂混合(砂50%)区は59を示した。

一方流去水量も概ね同様の傾向を認めた。即ちこれは表土が充分に残っているうちの侵蝕量は比較的少ないが、侵蝕が次第に進み下層土が表面にでてくると、侵蝕量が著しく増加することを明らかにしたものである。また網走の一部にみられる如く下層土が砂土の場合には、砂土が50%程度混合されるようになると侵蝕量は少なくなるが、25%程度まではむしろ増加することもこの試験で明らかとなった。ただ砂質土壤では降雨強度が高い場合には顕著なGully侵蝕をひき起すおそれがある。



第1図 表土、下層土と土壤侵蝕(1956~58)

つぎに上川から稚内及び紋別にかけて重粘土地帯といわれているが、そのなかから代表的な土壤を選び、その表土を喜茂別に運搬し、圃場試験を実施している喜茂別と土別(A)との比較において試験を行った結果を示したものが第2図であるが、降雨条件を同じとした場合の喜茂別と土別との比較では、流亡土壤量において喜茂別土壤がはるかに多く、流去水量においてその反対となっていることが認められた。また重粘土壤と一般にいわれているものの間にも侵蝕量に著しい差のあることが認められ、また侵蝕量の多い豊別、紋別、沼川の土壤においても、その流亡土壤量は喜茂別のそれと比較してそれほど多いものではないことが明らかとなった。



第2図 重粘土壤の種類と土壤侵蝕(1957)

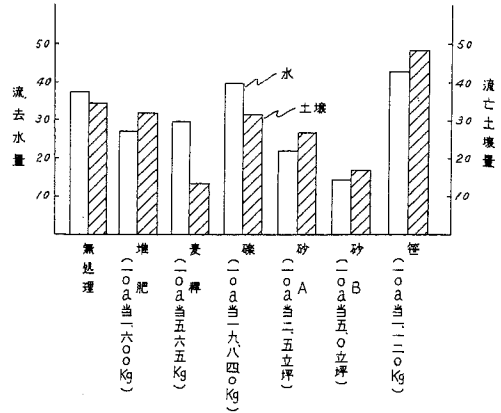
以上の2つの試験結果について土壤の物理性との間の関係を検討してみたが、A土壤とB土壤、或はA、B土壤とC土壤の間には説明を明らかにつけられるものがある。しかしA、B、C、D、……etc. というように多数の土壤の間を統一的に説明できる指標を得ることはできなかつた(分析結果省略)。

つぎに重粘土壤のなかでも最も侵蝕量の多かつた豊別土壤(稚内市)について客入物の侵蝕量に及び

す影響をみたのが第3図である。この結果から礫の混入、笹客入は侵蝕を助長し、1,600kg/10a 程度の堆肥の施用も侵蝕抑制効果は顕著でなく、5立坪程度の砂客土と、麦稈施用の効果が顕著で、両者併用が望ましいと考えられる結果を示した。

6. 作物要因の影響

作物を栽培することは、対象を林地或は草地に求めるときは侵蝕を著しく助長することになるが、対象を裸地に求めるときは一般的にいつて土壤侵蝕を抑制することになる（本来は前者の観点に立つべきものとするが、耕地の土壤侵蝕を論ずる場合には後者の観点に立つた方が防止対策を考える際に扱い易いので、筆者は常にその観点より試験を行い、論議を進めてきた）。また作物はその種類によつて抑制の程度を異にする。その程度はそれぞれの作物が



示す被覆度のちがいによつて大きく決定されてくる。第3図 重粘土壤に対する客入物の種類と土壤侵蝕 (1959) 第7表は第1表の成績を得た試験区と同じ条件の隣接区に燕麦と馬鈴薯とを栽培し、裸地との比較を行つた結果を示したものであるが、燕麦では2年間を通じて、上下畦区に547.3kg/10a の流亡土壌量を認めただけで、他の2区には全く流亡は認められなかつた。これは裸地の上下畦区の流亡土壌量6,983.5kg/10a に対し7.8%に過ぎない値である。

第7表 土壤侵蝕に対する作物の影響 (1958~59)

区別	項目 年次	流亡土壌 (kg/10a)			流去水 (mm)		
		畦立せず	上下畦	等高畦	畦立せず	上下畦	等高畦
裸地	1958年	975.5 (100)	1,552.8 (100)	18.6 (100)	15.3 (100)	15.4 (100)	10.7 (100)
	1959年	6,384.2 (100)	5,430.7 (100)	1,176.6 (100)	18.1 (100)	20.5 (100)	6.8 (100)
	計	7,359.7 (100)	6,983.5 (100)	1,190.2 (100)	33.4 (100)	35.9 (100)	17.5 (100)
燕麦	1958年	0	221.0 (14.2)	0	0	3.6 (23.4)	0
	1959年	0	326.3 (6.0)	0	0	2.1 (10.2)	0
	計	0	547.3 (7.8)	0	0	5.7 (15.8)	0
馬鈴薯	1958年	157.1 (16.1)	328.9 (21.2)	0	0.4 (2.6)	2.8 (18.2)	0
	1959年	1,324.1 (20.7)	1,874.7 (34.5)	1,159.2 (98.9)	8.7 (48.1)	10.2 (49.8)	5.0 (73.5)
	計	1,481.2 (20.1)	2,203.6 (31.6)	1,159.2 (97.4)	9.1 (27.2)	13.0 (36.2)	5.0 (28.6)

一方、馬鈴薯（男爵）の流亡土壌量は燕麦のそれよりも多く、裸地区の流亡量に対して、上下畦区は31.6%、畦立しない区は20.1%、等高畦区は97.4%を示した。等高畦の流亡量が裸地区のそれとほぼ同量を示したのは、その流亡量の大部分が1958年の収穫跡地に生じたためである。作物がそれ自身侵蝕に対して抑制的に作用するという事は莖葉被覆が降雨の遮断作用をもっており、雨量の遮断とともに雨滴の地面打圧（衝撃）作用を著しく減殺して、降雨の土中滲透を促進するからにほかならない。

北海道では、間混作は麦類及び亜麻に牧草を利用するほか、一般に行うことは稀であつて、府県における如く、間混作方式による侵蝕防止の方法を採用することは難かしい。多くの作物は4月下旬より5月中旬にかけて、全面耕起を行い早播のものから順次播種され、府県にみられる畦起しとか、不耕起間作などの方法を行うことはほとんどみられない。したがつて春播作物の被覆度が降雨遮断効果を発揮する40~50%に達するまでの5月と6月は、耕地の大部分が土壌侵蝕に対して裸地と差程変わらない危険な状態に置かれていることになる。このため10数年に1度或は数10年に1度という頻度であつても、この時期に強雨が訪れるとその被害は災害の様相を示すことがある。また危険降雨及び危険雨量の多くなる7月に入つても、燕麦、亜麻、馬鈴薯などの早播作物を除くと、多くの作物はまだ被覆度が50%以下であり、7月中旬に至り漸く甜菜、豌豆、菜豆（中長）、黍などが50%を越す。しかし大小豆、菜豆（大福）、玉蜀黍においては下旬に至るもなお50%に達しない。一方8月上中旬ともなれば秋播作物の収穫が始まり、燕麦、亜麻、豌豆の収穫につづく。牧草を間混作したもの以外は、この時期より翌春まで休閑地となる。危険雨量の最も多くなる9月には馬鈴薯、菜豆（中長）、デントコーン、小豆、黍、蕎麦が収穫され、それらの大部分もこの時期より休閑地となる。そして残りの作物もまだ危険雨量の残っている10月上旬頃にはほとんど収穫される。

このように北海道では多くが1年1作であつて、その収穫が危険雨量の多い時期に行われるため、収穫跡地の土壌侵蝕が頗る顕著であり、とくに馬鈴薯においてその現象が著しい。このため北海道では収穫跡地の土壌管理と、牧草帯の設定とが侵蝕防止上重要な役割を占めることになる。

7. 栽培法による土壌侵蝕防止

作物は土壌侵蝕に対して抑制的な役割を演ずるが、これを栽培する方法が適切である場合には一層抑制的なものとなり、不適切である場合にはその効果が低減するのみならず、むしろ侵蝕を助長する結果となることもある。即ち作物が斜面の上下方向に栽植されるか、等高線方向に栽植されるかによつても大いに異なり、それに畦立或は培土を行うかどうかによつても大きく異なつてくる。等高線栽培を行つても、畦立或は培土を伴わない場合の侵蝕抑制効果は顕著なものではない。また培土は上下耕栽培のときにこれを行うと侵蝕を著しく助長する。また中耕も強雨前後に適切に行うときは侵蝕抑制の効果も期待できる。

栽培法改善による侵蝕防止法としては数多く考えられているが、具体的には対象作物によつてそれが可能なものとしかならざるものがある。筆者が代表的作物について種々検討した結果を2, 3摘記しよう。

1) 馬鈴薯 まえにも述べた如く、馬鈴薯は収穫跡地の土壌侵蝕が問題である。この時期に被覆の旺盛な甜菜とか牧草を混播した燕麦などを適当な巾で組合せ、交互栽培を行うことが頗る効果的であり、また馬鈴薯を掘り取った後にブラウで等高線に溝をつくり、或はそのようにしてから菜種もしくはライ麦などを緑肥用として撒播することも効果が大きい。

2) 大豆 北海道の大豆は土壌侵蝕を受け易いものの1つとなつてゐるが、これは等高線栽培を行い早期培土を行うか、また前作の麦類の刈株を残した不耕起栽培も効果が著しい。

3) アスパラガス 新しく栽植するときは等高線栽培法を採用すべきであるが、現行の上下耕栽培に対しては、麦稈、野草の敷草が効果的である。ただ採取期間中は畦間が農道化しているため、敷草を行つても流去水量は多いので、排水渠を考える必要がある。

4) 亜麻及び秋播小麦 亜麻及び越冬前の秋播小麦は播種方法を多少変えても侵蝕防止的役割はあまり果さない。このような作物は等高線栽培を前提とするが、その上下に牧草もしくは牧草帯が隣接する如き圃場配列を考える必要がある。このことは輪作式が決定したあと作物の圃場配列に意を配る必要のあることを示したものである。

8. 牧草帯の侵蝕防止効果

北海道では府県における如く個々の作物に対して、間混作などの有効な侵蝕防止法を採用し兼ねる場合が多く、また播種期、収穫期が数作物同時期のことが多いため、牧草帯を設ける必要のあることは即ち述べた。牧草帯は輪作の一環となり得るように配置されることが望ましいが、ここから生産される牧草を有効に家畜に廻すことのできる経営である場合と、休閑地として残せるほど規模に余裕のある経営の場合においては問題ないが、現状においてはそのいずれでもない場合が多い。そこで土留めとしての最少有効巾の確定がしばしば問題となる。第8表は自然降雨下で牧草帯(チモン、オーチャード、赤クロバー混播)の巾を2m(斜面の長さ25m)及び4mとした場合の効果を試験した結果を示したものであるが、これにより、1年に1度程度予想される強雨(凡そ8~10mm/10分)に対しては25mの斜面に対して2~4m程度の巾の牧草帯でも土留めとしての効果は充分期待できることが明らかとなつた。

第8表 牧草帯の侵蝕防止効果(1957~59)

区 項 目 年 次	牧草帯0区		牧草帯2m巾区		牧草帯4m巾区	
	土 壤 kg/10a	水 mm	土 壤 kg/10a	水 mm	土 壤 kg/10a	水 mm
1957	478.0	6.41	101.9	5.69	17.5	3.00
1958	436.7	4.88	113.0	2.80	12.1	1.73
1959	958.1	7.98	0	0	0	0
合 計	1,872.8	19.27	214.9	8.49	29.6	4.73

しかし人工流水試験の結果(第9表)にみる如く、はげしい強雨(裸地区-牧草帯を設けない区-の流亡土壌量が $14,918 \text{ Kg}/10\text{a}$ で、これは喜茂別の4年間の合計流亡量に相当するものであり、処理水量は雨量に換算して $24 \text{ mm}/10\text{分}$ に相当する。)の場合には、その効果は著しく減退することが認められた。そこで牧草帯(赤クロバー)の巾を 10m としてあらたに試験を行った。

第9表 人工流水に試験結果 ($120.5\text{L}/1\text{分}$, 10分間処理)

項 目 区	流去水が牧草 帯上縁に達す るまでの時間 (秒)	流去水が集水 槽に流入し始 めた時間 (秒)	牧草帯が 保水した 時間 (秒)	流去水量 (L)	流亡土壌量** (Kg/区)	流去率 (%)
	牧草帯 0 区	54	55	1*	1,093.5	596.7 (14,918)
牧草帯 2m巾区	57	69	12	1,052.7	514.8 (12,870)	87.36
牧草帯 4m巾区	59	88	29	612.3	333.8 (8,345)	50.81

* 受水樋通過時間

** 括弧内は $\text{Kg}/10\text{a}$

1958年に 10m の巾の牧草帯を流下しきる水量について検討したところ、 15度 、 20m^2 の面積の斜面に対して $50\text{L}/1\text{分}$ ($20\text{mm}/10\text{分}$ 担当)程度の流水処理では $20\sim 30\text{分}$ 経過しても 10m を越えて流去水量となってくるものがないことがわかり、 $200\text{L}/1\text{分}$ ($80\text{mm}/10\text{分}$ 相当)の処理では 1分 数秒で流下しきることがわかった。そこで1959年に $65\text{L}/1\text{分}$ の 20分間 処理、 $111.5\text{L}/1\text{分}$ の 10分間 処理を行って得た結果が第10表である。

第10表 人工流水による試験結果

処 理 区	項 目	流下速度(分・秒)					到達距離* m	流去水量** L	流亡土壌量*** Kg
		2m	4m	6m	8m	10m			
I	裸地	.20	.57	1.10	1.20	1.31	7.5	386.4 (19.3)	75.1 (3,755)
	赤クロバー	.45	1.07	1.55	—	—		0	0
II	裸地	.7	.16	.23	.30	.36	7.5	800.1 (40.0)	260.3 (13,016)
	赤クロバー	.17	.48	2.15	3.12	7.55		18.3 (0.9)	C

註) 処理I: $65\text{L}/1\text{分}$, 20分間 処理, 合計処理水量 $1,300\text{L}$

処理II: $111.5\text{L}/1\text{分}$, 10分間 処理, " $1,115\text{L}$

* 流去水が到達した距離

** 区当り, 括弧内は mm 換算

*** 区当り, 括弧内は $\text{Kg}/10\text{a}$ 換算

即ち、雨量に換算して10分間30mm及び56mm相当の流水処理を行つた結果、巾10mの牧草帯は土壤侵蝕を完全に防止しており、とくに8m~10mの線で流下水の土中滲透が著しいことが認められこの辺に牧草帯の最少有効巾があるものと推定された。勿論これよりも狭い巾でも侵蝕防止には頗る有効に作用するが、裸地の流亡土壤量 $13,016\text{kg}/10\text{a}$ というのが、喜茂別の裸地区の概ね4年間の合計流亡土壤量に匹敵するものであることを考えると、数年に1度或は10数年に1度という豪雨に対してはこの程度以上の巾をもたせることが望ましいと考えられる。

9. むすび — 北海道における土壤侵蝕防止の対策と手順

以上述べたことから、北海道の土壤侵蝕に対しては、つぎのような対策と手順を考えることが適当と思われる。即ち、傾斜地尙の農機具を整えることにより、まず等高線栽培を実施することである。しかして適切なる土壤管理と栽培法を採用するとともに牧草帯の設定を考え、これを帯状栽培(strip Cropping)に近づけることである。つぎに経営内容の整備に努める一方、牧草地面積の増加をはかり、牧草輪作の形に移行させることである。この段階まで実施できるならば、特殊な地帯を除き、北海道では土壤侵蝕の危険をそれほど意識する必要がなくなるといつても良いであろう。残された問題点は、十勝、網走地方の如く積雪量が比較的少なく、土壤凍結のはげしい地帯の融雪期の侵蝕防止法をどのように考え、これを農耕期の防止法とどのように組合わすかということである。

資 料

農業土木より見た土壤侵蝕の諸問題

金子 良

(農業土木試験場)

はしがき

土壤侵蝕に関しては各方面で多くの研究が進められている。このうち農業土木の対象とする研究内容は土壤侵蝕を広い意味に考えて、土地保全、水保全、これに必要な工法、および傾斜地の生産性向上などに役立つ工事を含んでいる。

例えば土壤侵蝕の基礎資料を得るため行われる枠試験についても、その結果を工事に結びつけるためには、従来の枠試験成績を比較検討してマクロの傾向を知ることが要求される。また土地保全をはかるためには土壤の性質ばかりでなく、地層全体の耐蝕性とか侵蝕の機構などを究明する必要がある。

侵蝕は面状に進行するものより、ガリー侵蝕、流水、河川による侵蝕、崩壊、地すべりなどが工事の対象としてさし迫っているので、ある流域(少くとも数 ha 以上)における流域条件、降雨条件と流出との関係を求めるための流出試験を行うことが要求される。また流域の浸透との関係を調べて流出機構を明らかにするための浸透能試験が重要となる。場合によってはかなり広い面積で人工降雨試験を行い水みちを発生させて降雨、流出、土壤流亡関係を知ることすらやらずにはならない。

土壤侵蝕が問題となる傾斜地で水保全をはかることは、その土地自身のためばかりでなく下流地帯の水源涵養にも貢献する。なお傾斜地は乾燥しやすく果樹園などのかんがい効果も大きいので、傾斜地のかんがい工法が重要となってきた。

傾斜地の保全工事あるいは生産性向上の根幹となる道路については経験も少く、傾斜地特有の諸条件に適応した工事がなされているかどうか問題があるので、各地の事例を比較検討することが実際面には大いに役立つ。

以上のような目的でわれわれが調査研究したところを要約して紹介する。

I 枠試験結果の比較検討

各地の土壤侵蝕枠試験結果は非常に数多くなってきた。これらを比較検討したところ次のような共通の傾向を知り得た。

年間流亡土は試験枠の傾斜、斜面長よりも地被状態に多く影響され、流亡土平均深は仮比重を 1 と仮定した場合、度数(頻度)分布のもつとも多かつたところは、裸地 2.0~2.5mm、清耕果樹園 1.0~2.0mm、普通畑、桑園 0.1~0.5mm、草地、しきわら地 0.1mm 以下となつた。

年間流出水量の降水量に対する比、すなわち枠内流出率は、流亡土量が地被状態に左右されるほど鋭敏に現われないので、主として降水量に強く影響される。ここで著しい特徴は火山灰土の流出率が小さいことで、大部分の試験成績は 5% 以下になつている。

平均深 1mm の土壤を流亡させるには大体 20~100mm の水深を必要とするが、火山灰土は少い水で多量の土を流亡される。埴質の耐蝕性土壤は水量のわりに流亡土が少い。

一降雨との関係を見ると、花崗岩土壤では地面が粗粒で固結しているため、ある程度の降雨までは流出水も流亡土も少いが、これを越すと地表固結被覆が崩れて流亡土が急に多くなる。花崗岩土でもそうであるが火山灰土の場合には特に乾燥時の強雨による流亡が大きい。耐蝕性の埴質土はこのような乾湿

変化に対して比較的安定している。

II 広地域の侵蝕量と侵蝕型

広い地域の侵蝕量は現地調査で測定する方法のほか、河床変化、ダムの堆砂量、流出水量と含砂量で推定することができる。ただし斜面を移行しつつあるものは不明である。表土層の厚さ測定から侵蝕、堆積の累加量を求めることは周知の通りである。

多数のダム堆砂量から年間平均流域侵蝕量を求めたところ、大部分は0.01~1.0mmの間でもつとも度数の多いものは0.01~0.1mm程度であった。これは林地の平均を示すものと見てよく、地被良好な畑地、および草地の侵蝕量ともほぼ一致する。

流域に崩壊のあつた場合などはこの100年分以上が侵蝕されることになる。また流域が侵蝕されやすい花崗岩地帯で段畑の多い溜池の流域堆砂量を調べた値では年間0.8mmなどの例がある。

河川の流出量と含砂量から求めたものでは鳥取県の流出試験地（流域に傾斜畑が多い）で0.04mmという値を得た。

傾斜地の管理不良な道路はもつとも侵蝕低下しやすい。火山山麓では年間10cmも低下して道路がガリーになり、また別に道路を平行させているのをよく見る。低下した道路から樹枝状に発達する水みちは次第に拡大して、浸透性の大きい火山山麓でも全面的に土壌を流亡させることになる。シラス台地の坂道なども道路侵蝕が台地破壊の原因ともなっている。

地表から浸透した水が不浸透性の下層、火山地帯の盤層、山腹岩盤などに達すると、その上の土層が飽和に近くなり、浮上りまたは滑落などによつて局部的に全土層を失うことがある。段畑地帯ではのり面の途中から土層中の水が湧出し、しばしばその上から滑落する。

このような水は中間流出の給源をなすもので、中間流出の最大限度と土層滑落とは関係が深い。

シラス台地では崖下の湧水による谷頭侵蝕が激しいが、ローム台地でも観察され、流水による台地面の樹枝状侵蝕谷と明らかに区別される。

なお豪雨時の一時的湧水が崖の中途に露出する不透水性部分の上に現われると、ここに穴をあけシラス台地の崖から離れたところと通じて陥没を生じることもある。

台地や火山山麓のように比較的緩傾斜の面に急な谷壁が接する場合は、落下する水による縁辺、落下点の崩壊という土地の破壊を生じる。シラス台地はその極端な例である。

未固結の土層、軟岩などは集中した水による侵蝕に対して脆弱であり、河岸の欠潰、洗掘、深いガリ一侵蝕を生じやすい。砂質で地味不良の場合には植生被覆が不十分のため、侵蝕の進行が速く、ときにバッドランド状を呈するところも見られる。

崖錐や斜面途中の厚い土砂、岩屑まじり層が豪雨で多量の水を含むと、大規模の土石流を生じて、これがさらに下流沿岸を欠潰させる。人為的に不完全な盛土、例えば宅地造成などを行った場合には、人家に近いので土砂崩れの被害が大きい。

広範囲にわたる厚い層の移動は地すべりであつて、これは馬蹄形の崖とその下方に押し出した舌状の堆積が特徴である。

以上のような土地の破壊的侵蝕は表土の流亡を主として対象とする土壌侵蝕よりは内容が広い。農業土木で問題とする侵蝕防止は土地を対象とするものであるから、試験研究としてはまとまつた水による侵蝕と流出機構に関するものがきわめて重要となる。

Ⅲ 流出試験

われわれは流域面積10～100 ha内外の畑を主とする9地区と、300 ha余の林地流域について数年間以上の流出資料を得、流域の保留効果に重点をおいて流出機構を調べた。

流出現象を説明するため、表面流出、中間流出をまず分離して、それぞれが表面貯溜、土層超過保留地下水貯溜に関係が深いことを確かめた。これらの保留量は刻々の累加量から累加流出量を差し引いた保留量曲線を分析することによつて得られた。特に中間流出曲線は保留量曲線より表面貯溜による急変化部を除いた形によく似るので、この性質を利用して中間流出と表面流出とを分離するのに役立てた。

各流域ごとに初期損失後の雨量と、表面流出量または中間流出量との関係を求めると、それぞれ特徴のある曲線が画かれる。これより例えば連続降雨中の任意の毎時降雨に対する表面流出総量が推定される。

毎時有効雨量がどのようにおくれで配分され、かつ降雨が連続するにしたいが、いかに合成されて表面流出となるかを単位図法によつて検討した。

この場合中小出水では降雨強度が増大するにしたいが、地表流出する場所が拡がるから、流出の抵抗を生じ、流出強度 Q と貯溜量 S との間にはほぼ $Q=K \cdot S$ (K は定数)が成立した。これは単位図法の適用に有利であり、実際にも計算と実測流量から分離した表面流出とはかなりよく一致した。

流出に影響する流域条件は地形、地質、土性、流路形態、地被などであり、地形はさらに形状係数、本流長、山腹長、本支流傾斜、山腹傾斜などの要素に分けられる。これらを総合して点数で示すと、ある程度流域条件を数量的に表わすことができる。

小流域における単位図の流量配分率は山腹長、傾斜、流路、水みち状態、凹凸による流出の抵抗、貯溜性などによつて決定され、流出時間8～11時間、ピーク時配分率は0.20～0.40を標準とする。火山灰被覆の流域およびおだやかな丘陵はこれが0.20～0.30で、ピークが第2時間にくるのに対し、急傾斜段畑流域はピークが第1時間で配分率0.30～0.40となる。

流出ピークは侵蝕防止工事上もつとも必要な数値であるが、これは流量配分率、毎時有効雨量(毎時流出率)、その複合によつて左右されるものである。しかし実用上の標準を知るための便法としてピーク1時間降雨に対するピーク1時間流出強度の比率を多数の実例から求めてみると、数年間の観測期間内においては、急な流域で0.40～0.45、おだやかな流域で0.10～0.20となり、一般に考えられているより小さい値となつた。

Ⅳ 浸透試験

流出を求めるために浸透を調べる方法がある。ただ浸透試験は流出試験のように総合された値として求められず、流域のうちの特定な地点だけが実測される。できるだけ面積をあげここに人工降雨(散水による)で各種の降雨条件を与えながら、浸透、流出、土壌流亡の時間的關係を調べる方法もある。

関東ロームの被覆する地帯各所で行つた浸透能試験などについては本誌4号で説明した。

自然流域で地表全面的に水膜を生じるほどの流出を生じることはいまだである。(ただ埼玉県荒川北岸台地でカスリン台風、狩野川台風時に地下水位上昇に伴う土層飽和で全面的な地表流出を観察した例はある。)浸透能試験からは過去のどんな雨でも流出を生じないような結果がでる。しかし実際には水みち流出があるため小さい降雨強度でも流出を生じる。このように流域の浸透能は一様でないので浸透法によつて流出を求めることは容易でない。火山灰土のように浸透性の膨軟地と不浸透性の水みちが極端に

差がある場合にやつと、それぞれの面積率を考慮して近似計算ができる程度である。

宮崎県シラス台地流域で測定された流出資料からは次のような傾向がわかった。実測流量から逆算された浸透度 F は(浸透能ではない)、降雨強度 R の増大とともに増大し、 α を1より小さい定数とするとはば $F=R^\alpha$ の関係が成立した。また $Q_s = K \cdot S^M$ における M の値は1に近い。ここに Q_s : 表面流出強度、 S : 表面貯溜、 K, M : 定数、これは S が増大するにしたがい道路などの抵抗の少ない水みちから抵抗の多い畑地面へ地表流出が拡がるからである。

従来考えられていたように降雨と流出から流域の浸透能を求めたり、流域固有の浸透能曲線から流出を求めるのは、大洪水の場合を除き困難なことである。

富士山麓の人工降雨による流出試験(長さ40m、巾10mのもの2区画、降雨強度70mm/hvまで)では、火山灰土が大きな浸透能力をもつのに、集中した水に対する抵抗が弱く水みち侵蝕が生長しやすいこと、踏みつけ地の浸透が特に小さいこと、一つの畦が欠潰すると上からの水勢で次々に下の畦が欠潰しやすいこと、微粒子の沈澱しやすいテラス部分にかえって地表流出を生じて下部の侵蝕を助長する危険があること。乾燥したところへ強雨があると土壌流亡が著しく多くなること、降雨の継続に伴う土壌流亡の時間的変化は、まずピークが現われ以後やや低下してゆくが地表流出強度が漸増する場合は再び流亡度も上昇すること、降雨強度が大ききその時間が長くなると作付地も裸地も地表流出の差が次第になくなることなどを数量的に知ることができた。(4号参照)

V 傾斜地の性質と保全工事

保全工事は傾斜地の性質に対応させる必要がある。よつて傾斜地の性質を地形区分によつて検討することとする。

(1) 洪積台地、河岸段丘

洪積台地は関東ローム台地、東海地方などの非火山灰台地、北海道の火山灰台地、南九州のシラス台地などがその代表的なものである。

火山灰の被覆する台地は水みちの発達特に崖端に近い台地面の道路侵蝕が問題である。道路側溝を整備しなるべく路面の低下しないようにする。道路と連絡する畑地間踏跡は芝や密生植物で階段的に床どめしてそれ自身の低下を防ぐとともに、道路へ落ちる水をなるべく少くすることが必要である。畑区画周縁はしばしば斜面をなして侵蝕されやすいのでわらや密生植物で保護することが望ましい。火山灰土の下に砂礫層があつて地下水が深いときは、ここへ地表水を吸いとませる浸透溝または井戸を掘ることも考えられる。

台地に残る平地林は開墾と出水、水源涵養の問題でしばしば紛争の原因となつた。しかし畑地は裸地状態で強雨にたたかれない限り浸透能力が大きいこと、浸透不良の水みち部分は畑地帯の標準面積率で10%内外に過ぎないから、開墾の影響は判断される。これに対し大面積の宅地開墾が行われると全面的に浸透度が低下することを注意すべきである。

非火山灰の台地はやや不浸透性であつて、地味不良で植生地被の貧弱な場合が多く地表流出と土壌流亡が大きい。ここでは保全工事以上に地力増大の努力が重要である。

シラス台地は谷の縁辺保護のため、一定巾耕作を禁止して植生で保護し、防水堤、承水路を設ける。台地面の排水系統を整理して安全なところから谷へ落とす。崖脚は地下水を集水排除し、湧水で崩れないような階段工を設ける。また谷底には砂防堰堤を重ね、谷底の地下水位低下のために排水したり、流

水が崖脚を洗わないように改修する。崩壊した斜面は安定した角度の法切りを行い植生被覆と排水につとめる。シラス台地の坂道はもつとも侵蝕されやすく、崩壊の原因ともなるので、路面の固定、側溝の水処理、道路沿い谷壁の安定には十分の注意を要する。なおこの道路を車の通行に便利のように整備することはシラス台地利用の根幹をなすものである。

シラス台地は昔から草で固定された畦畔で区画され、流出水の浸透、土壌流亡の防止に役立っていた。この畦畔に芝などで固めた余水吐を計画することにより、豪雨時の流出を激化しないようにすることが望ましい。またこれは台地面の間断かんがい、田畑輪換にも通じるもので畦畔の活用は検討に値する。

河岸段丘は比高数mから数十mに達し、幾段にもわたっているものがある。一般に段丘面は支流によって刻まれ、本支流の谷縁辺は脆弱である。谷の侵蝕防止のためには落差工を必要とし、段丘面からの落ち口の保護、段丘面の排水系統整理、縁辺の承水路などはシラス台地の場合と同様である。

(2) 火山山麓

火山山麓の道路侵蝕は前述の通り激しいものであり、これを防止するためには畑の境界などから道路へ流出水の落ちる前に浸透処理することが望ましく、また承水路を兼ねた浸透溝を掘るとか安全な承水路を固定した谷または堅固な排水路に連絡させることが必要である。道路に集った水はあまり流下しないうちに排水路、浸透溝へ導いて谷へ落とす。路面の低下に対しては車の通行に支障ないようにとどこで床固めを行う。

富士山麓の富士アサのように盤層が上の土層の侵蝕原因をなす場合は、これを火薬で破碎するとか、レーキドーザーなどで破碎除去する。

(3) 丘陵

丘陵では不完全な宅地造成によって災害をおこし、近頃各所で問題となつている。浸透性、水を含んだときの危険性、宅地からの流出量などについて関係者の正確な知識を必要とする。

名古屋東北部から知多半島へかけての丘陵は古くから農耕地として利用されているもののほかは貧弱な松林、荒地を主としている。これを開墾する場合地味不良で作物地被による安定に時間を要し、その間の豪雨で崩れる心配が多い。新墾地は特に保全工事に注意しまた地力増大に努めなければならない。

凝灰岩、礫岩、安山岩などの丘陵は、一般に風化土の地味もよく耐蝕性である。ただ表土が薄くしばしば不浸透性で流出水が多いことが欠点となる。保全工事および段畑構築に石塊を使用できることは有利であるが、傾斜地の高度利用のためにはコンクリートを十分に使用して車の通れる道路、排水路、承水路、土砂溜、水槽などを計画的に配置しなければならない。

北海道の波状丘陵地は畑区画が等高線に関係なくて大きい上、道路が不完全であり、しばしば畑地内に土シリを入れるので侵蝕を助長している。ここでは等高線耕作に適合した畑区画、テラス設置、車の通る道路が、水路などのコンクリート建造物のほかに重要である。

(4) 地すべり地

山間で土地利用上重要なところは地すべり地である。地すべりをおこすような岩は比較的肥料分に富み、また地すべりによって土層が厚くなり更新され耕作に適する緩斜面が形成されるからである。地すべりを助長するのは地すべり地頭部の崖下、凹地の湧水およびこの付近から浸みこむ水である。特に地すべりの原因として水田浸透水はあまり関係ない。地すべりを完全に防止することは困難であるが、その被害を軽減する努力は続けられている。例えば侵蝕されやすい谷底を固定する。地表の水特に崖下付

近の水は排水路や暗渠で早く流す。すべり面付近の水を横孔ボーリングで抜くことなどが行われる。なお水田は粘質のため干害で深い亀裂を生じると漏水して地すべりを助長する危険があり、用水の少い棚田地帯で用水源を確保することも容易でない。このため地すべり地帯には横井戸と小溜池が多く造られ、横孔で抜いた深い地下水は水田用水としても貴重である。

(5) 沿海急傾斜地

瀬戸内から南予などの沿海急傾斜地には段畑がよくつくられている。南予方面は花崗岩ではないが急傾斜で雨が多く市場に遠いという問題があり、瀬戸内は主として侵蝕されやすい花崗岩で、乾燥被害とまた強雨による土砂崩れの害を受ける欠点がある。

段畑地帯の保全工事は農道、索道、承水路、排水路、土砂溜、貯水槽などであるが、ここでは土地がせまく潰地をできるだけ少くすることが特に要求される。しかし車の通る農道は今後の傾斜地利用上もつとも重要なものであり、農道を広く堅固にすることと潰地を少くすることを両立させるため路面全部を排水路兼用にすることが各所で成功している。なお急な排水路は階段式にして通行の便をはかることも行われる。

排水路、承水路に崩壊した土砂が流入して途中で通水を阻害すると、計画水量を流すことができず、溢水して侵蝕被害を増大させる。故に斜面全体の保全を考えなければ土木工事は成功しない。小さい水路は草生として、それ自身の侵蝕低下を防止するとともに流下中の浸透をはかること、従来の裸地のり面を草地にすること、のり下には小溝（よけ）を掘つてのり面から流下する水が下段を洗わないようにすること、コンクリート水路は周辺の地形を考えて流入水の受け口を整備し、コンクリート水路外壁に沿った洗掘を生じないようにすることが大切である。侵蝕防止を目的とする熟練した農法はもちろん結構であるが、将来過重労働を伴う農法は期待できないから、できるだけ省力的に誰でもやれる傾斜地農法が確立されなければならず、このために道路を中心とする土木工事はますます重要となるであろう。

Ⅶ 傾斜地における水利用と水保全

乾燥しやすい傾斜地でいかに水源を得てかんがいするかは、果樹栽培などにとって重要なことである。また火山山麓や台地、扇状地など高位部地帯で水の浸透をはかり侵蝕防止を兼ねて水保全を行うこと、あるいは水資源の余裕のある時期にかんがいて地下貯溜をはかり、下流地帯の流量を調節することなど、土壌保全に関連した問題であるが、紙数の関係で省略する。

資 料

フローティングライシメーターについて

吉 良 芳 夫

(東京農大)

蒸発散量がかんがい用水量を決定する重要な要因であることは、水田の場合でも畑地の場合でも同様であるが、水田の場合にはかんがい方法による相違はそれ程大きくなく、むしろ浸透量の相違がかんがい用水量の決定に大きな影響をもつのに反し、畑地の場合には浸透を一応無視する(効率の中で取り扱う)ので蒸発散量が最大の要因となる。また土性やかんがい方法(1回のかんがい用水量や間断日数も含む)によつて著しい相違があるので、畑作物の蒸発散量について諸外国では古くから各方面で研究が進められ、その測定方法についても色々な方法が採用されてきた。しかしこれらを大別すると、次の3つに分類することが出来る。

- (1) ポットや小型ライシメーターを使つてその重量変化によつて蒸発散量を測定する方法。
- (2) ポット又は大型のタンクを水槽に連絡し人工地下水面を作り、下方から毛管上昇によつて根群域に給水し、作物が必要に応じ常に水分を吸収し得るような状態にして水槽から供給された水量を測定して蒸発散量とする方法(素焼土管を用いる場合も含む)
- (3) 畑地状態のまま、で土壤水分の消長を測定して蒸発散量を計算する方法。

(1)の方法は最も普通に用いられる方法で、その条件下ではかなり正確な数値が得られるが、実際の畑地状態とはおよそかけ離れた状態での測定であるから、この値をそのままかんがい計画に利用するわけにはゆかない。

(2)の方法は所謂蒸発散位の測定でかなり大がかりな装置にして畑地に設置することも出来るが、実際のかんがい方法とは著しく異なつたもので、ある作物の現想的なかんがい用水量の基準を知るためには極めて有効な方法であるが、色々なかんがい条件下での蒸発散量を測定する目的には採用できない。

(3)の方法は自然の状態のまま、で測定するのであるから最も実際の値が得られる筈であるが、土壤水分の測定には多大の労力を要し、またその測定精度にも限界があるので、現在では各深さにおける水分の消長を精確につかむことは困難で信頼し得る値は中々得られない。殊に度々降雨のある所では土層中における水分移動が複雑になつて測定がむづかしい。このように実際のかんがい計画にそのまま適用できる蒸発散量を測定することは非常に困難である。

このような測定上の欠陥を出来るだけ少なくし、畑地の中に設置して隣接耕地のかんがい方法と同じ方法を採用しながら(1)の測定方法と同程度の精度で蒸発散量を測定する方法として考案されたものがフローティングライシメーターである。この装置は初めアメリカで永年牧草の蒸発散量測定用に用いられたものである。著者はこれを日本的に改良してみた。最初に試作したものは陸稲の畦間かんがい用に製作したもので関係地方の一般的畦巾60cmを採用して設計したものである。その後蚕糸試験場の桑園内の株間土壤面蒸発用その他2~3製作してみたのであるが近来各地でこの方法を採用してみようという所があるので参考のためその装置を紹介することにする。

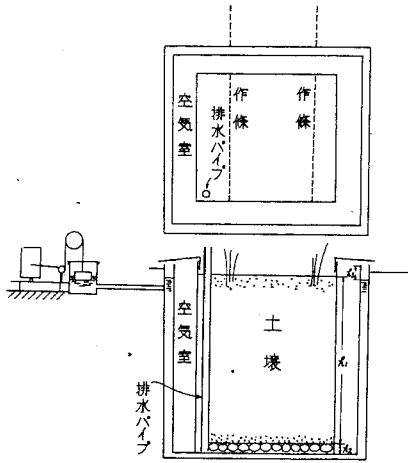


図1 浸透はポンプ排水する装置

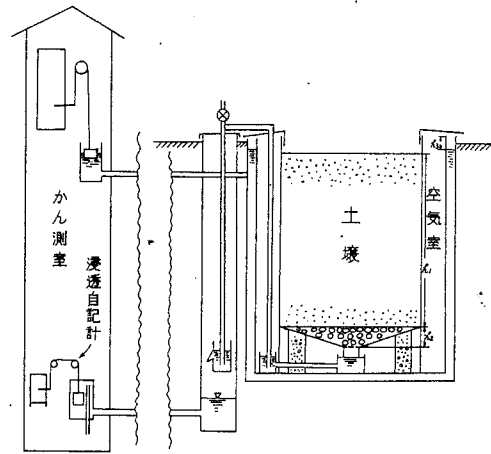


図2 浸透量も自記する装置

構造は極めて簡単で水を入れたタンクの中に土壌をつめたタンクを浮かし、この中で作物を栽培するのである。かん水したり雨が降ったりすると土壌タンクは重くなって沈み、蒸発散があると軽くなって浮いてくるので水槽の水位は絶えず変化する。この水位変化を適当に拡大して自記するようにしたものである。土壌タンクの底には普通礫を入れ浸透水をここに集め一隅に設置した排水用パイプから排水するようにする。蚕糸試験物に設置したものは礫層の水を更に下のタンクに集めこのタンクをパイプで自記装置に連絡し浸透水をも自記出来るようにしてある。土壌タンクを設計するときには毫雨などの時を考慮し安全のため土壌が飽和に近い状態になったときタンクの上端が水槽の上端よりやや高い所にあつて、水槽水面が上端から5~10cm位のところで平衡が保たれるように空気室の大きさを調節しなければならない。毫雨の時には浸透水が礫層一杯になり土壌水分が自然状態の場合とかなりちがった状態となるので蚕糸試験場の場合のように礫層の水は直ちに下のタンクに落ちるようにするか一時的蔽いをかぶせて過剰の雨ははいらないようにした方が観測に便利である。このように試験の目的によつて土壌タンクが沈まない範囲内で空気室の大きさを加減する。土壌タンクが平衡状態にあるときには次のような関係式がなり立つ。

$$B = W_1 + W_2 + W_3$$

$$B: \text{浮力} = (H_1 - h_3) \times A,$$

$$W_1: \text{実験中に予想される最大容水量のときの土壌およびレキの重量} \\ = (S_{a1} \times h_1 \times A_2) + (S_{a2} \times h_2 \times A_2)$$

S_{a1} : 最大容水量のときの土の仮比重

S_{a2} : " " レキの "

A_1 : 土壌タンクの面積(空気室を含む)

A_2 : 土壌層の断面積

W_2 : タンク材料の重量

W_3 : 空気室カバー, 調整用バラスその他土壌タンク中に設置する計測器の全重量

土壤やレキの仮比重は予想することが出来るが(出来るだけ自然状態と同じになるように土壤をつめる)なかなかタンクの重心を中心にもつてくることがむつかしいので、安全のため浮力に余裕をもたせ調整用のバラスを空気室内に入れてタンクが水平に浮かぶようにしたほうがよい。バラスのかわりに一定の重量に作ったコンクリートブロックを用意しておくで一層便利である。また風などで浮遊タンクが水槽壁に押しつけられることがあるので出来るだけ摩擦を小さくした支えを三方につけておかねばならない。水槽と自記計のフロートタンク水面からの蒸発を防ぐため流動パラフィンなどを浮かしておいたほうがよい。

このような状態から dmm の蒸発散があると土壤タンクは浮上して水槽内の水位は Δh だけ下る。このとき $\Delta h = d \cdot F/A$ (F = 土壤タンクの面積, A = 水槽面積) となる。どんな場合でも Δh は d より小さくなるからこの変化を拡大して記録出来るように設計する。簡単な自記計でも 5 倍 ~ 10 倍に拡大することが出来る。ただし倍率を大きくした場合には自記出来る範囲が狭くなる。いずれにしても長期観測を行う場合には自記可能範囲をこえることができるのでこの自記範囲の水量に相当するいくつかのおもりを作っておいて、タンクが自記範囲以上に浮き上る場合にはこのおもりをのせて調整するようにする。

以上フローティングライシメーターの一般的構造について説明したが、測定目的と精度により自記計には色々な型のものが使われる。浸透水も自記できるようにしておけば、これを逆に使うことによつて地下から給水することもできる。しかし土壤タンクは常に動いているので浸透水を自記させる装置は複雑になり経費もかなり高くつくので、普通は簡単なポンプで汲みあげる程度で充分である。

フローティングライシメーターの得失

以上にあげた構造でわかるようにこの装置によると土壤水分の変化を直接重量測定によつて求めるのでないからどんな大きさのものでも出来るし、圃場内に設置出来るので自然状態に近い条件下で測定することが出来る。著者はこの小型のものを使って株間の土壤面蒸発を測定している。降雨の場合も雨量計の雨量から計算するのではなく直接その地表面におちたものが記録される。一定の土壤水分になるようにするための水量も直ぐ計算出来るし、かんがいの時期も自記計の目盛りによつて直ちにわかる。

しかしまた次のような欠陥もある。

この装置では土壤タンクの重量変化を間接的にはかることによつて蒸発散量を求めるのであるから土壤中から水分が作物体内に移行しても葉面から出てゆかなければ記録されない。したがって生体重の大きいものを栽培したときその重量をどのように処理するか問題がある。これ迄の実験結果では夜間に土壤タンクの重量が僅かではあるが増加したように記録されることがある。この原因としては空気中の水蒸気の凝縮、水槽内水温の変化などが考えられるが、水温変化はそれ程の相違を来すとは考えられない。蒸散水量が空気中の水蒸気の凝縮を助長して土壤面に落下するのではないかと思われる。裸地と畦間に小型のものを設置して土壤面蒸発の比較を行っているが、裸地におけるものは夜間にもほとんど重量増加が認められず蒸発は 0 に近い時間がかかなり続く規則正しいカーブを画き、株間に設置したものは 7 月下旬から 8 月にかけては毎日夜間に重量増加を示す(一)の蒸発を示す)規則正しいカーブを画き、裸地と比較してはつきりした相違を示している。これらの数値については後日発表する予定である。

また自記自動給水装置による蒸発散量の定時変化とはかなりの相違がある。同じフローティングライ

シメーターでの測定でも平塚の砂壤土で測定した場合には日の出と共に急激に蒸発散量が増して行くが午後3時頃からは急激に少なくなる。東京世田ヶ谷の関東ロームでの実験では蒸発散量の急激な減少時期が平塚の場合より遅く午後5時~6時頃になりその変化率も平塚の場合のように大きくはなく、下方給水の場合には、接近した形をとるが、夜間も連続して蒸発が行われるように見えるようなことはない。いずれにしても下方給水の場合の傾向には時間的ズレの大きい事は確かでこの点ではフローティングライシメーターの方が正しい値を示すものと思われるが、平塚と東京での測定値の相違が何に原因しているかはつきりしないし、生体重の問題もあるので今後尚検討を要する。

土壌タンクの底にはレキを入れて浸透水を除去するようにしてはあるが、畑地の土層のように連続していないので、自立の畑地に比し平均含水比で5~10%前後多くなっていることが多く、全く自然状態に等しいとはいえない。このことは自然状態の場合に比し有効降雨量が多い事を意味する。このため根群内における水分消費率が自然状態の場合に比し均一傾向を示すのではないかと思われる。しかしこのことは容器を使用する他のすべての測定法にも共通した欠陥でフローティングライシメーターに限られた問題ではない。

以上のようにフローティングライシメーターによる測定にも色々の欠点はあるが、これ迄の測定方法にくらべ、容器の形も大きさも自由でかなり広い面積を与えても測定精度はそうかわらない。畑地内に設置しほとんど圃場と同一管理のもとに取扱うことができるので、その目的に応じて工夫すれば蒸発散量の測定装置としては最も合理的なものと思われ、今後以上にあげた色々な欠点を補正し得るような装置を研究することによって色々な目的に利用できると思われるので大方の御検討を御願います次第である。

資 料

機械耕耘による畑深耕の効果

箱 石 正

(東京農大)

中、大型トラクターを基幹とする機械力の導入は、労働生産性の向上を目的とするものであるが、土壌管理の面にも多くの問題を提起し、且その解答を要求している。深耕もその一つである。従来人力乃至畜力で行われて来た深耕は一般に長期にわたる連続的な努力の結果、作土の量を漸進的に増加せしめ、平行して収量も高められて来たものであると考えることが出来る。ところが機械力の導入の結果は一挙に深耕することが可能になり、又従来の観念では深耕とされる様な耕深が普通のものとなり、作物の要求、肥培管理の方法等と無関係に新しい土壌条件が作られた。

その結果は深耕の積極的な効果も大きいが消極的な面も拡大されて来た。

深耕の積極的な面は要約すれば根の活動領域を拡大して養水分に対する土壌の capacity を増大することであり、消極的な面は下層土が養分に貧しく理化学性が不良である場合それを混入することにより作土が瘠薄劣悪化する点である。

同質の作土が量(厚さ)のみを異にして存在する場合は、たとえば第1表の如き結果が得られる。漸進的に下層土の不良性を消去しながら作土の量を増して行つた場合はこれと似た結果が得られるであろう。一方機械力によつて一挙に深耕された場合、新しく得られた作土は混入した鋤床層及下層土の性質によつて異なるが、もとの作土とはかなり性状のちがつたものが作られることになるので、単に耕深と作物の収量の関係でもつて結論づけることは適当でない。深耕は直接には土壌条件に変化を与え、その結果が作物に反映するのであるから、第一には処理の方法(普通耕、深耕、心土耕等)と程度(耕起の深さ、碎土の程度等)の差が土壌条件に如何なる差異を生ずるかを明らかにし、次に土壌条件を構成する個々の要素(例えば大孔隙、有効水分、塩基等の量及垂直分布)についてその変異が作物に如何に反映するかを明らかにしなければならない。その結果は土壌断面の調査記載からその土壌における深耕の効果を推察し、又効果的な深耕の方法について指示を与えることが出来る。

第1表 作土の厚さと収量(指数)

(厨川)

作土の厚さ	燕 麦		陸 稻	
	稈 重	子実重	稈 重	子実重
5 cm	70 *	70 *	112	93
15 cm	100	100	100 **	100 **
30 cm ***	130	118	172	160

* 期間中2回1時的な萎調が認められた。

** 初期生育は5 cm区より良好であつたが、中期以降回数1時的萎調を反覆し著しく生育が劣つた。

*** 期間を通じて著しい土壌乾燥は認められなかつた。

東北農試では東北地域における連絡試験として畑深耕の問題をとりあげ東北6県農業試験場と共同で試験を実施中である。こゝにその初年度の結果を揚げ、畑深耕に関する論議に資そうとするものである。

試験の方法及び結果

母機、堆積様式を異にする郡山、最上、豊島、古間木、奥中山の5試験地で普通耕（現在の作土の深さに耕起）深耕（中型ホイルトラクターにより概ね30cmに耕起）深耕土壌改良（同前、耕起の深さに対する中和量の石灰と、10a当100Kgの熔燐を各1/2量を耕起前に残量を碎土前に散布混和）の三処理について各々標肥・多肥、堆肥施用の有無、そ組合わせ、馬鈴薯—小麦—を作付けた。

試験地土壌の処理前の断面及理化学性は第1図及第2表第3表の如くであつた。

郡山：沖積土壌と考えられる。47cm以下は極めてち密であるが、1.2層は膨軟で大孔隙に富み、腐植含量は少く、燐酸吸収係数は低い。1.2層の燐酸は豊富であるが酸性はかなり強く塩基に乏しい。

最上：第3紀層の非固結水成岩を基盤とし、その上に火山灰の影響をうけた堆積物があると考えられる。35cm以下は極めてち密であるが、1.2層は膨軟である。腐植含量多く、燐酸吸収係数は頗る高い、有効態燐酸は著しく乏しい、2層以下は酸性が極めて強く塩基に乏しい。

豊島：洪積層の非固結水成岩を母機とする河成水積物に由来する土壌と考えられるが、表層は火山性の混入物の影響をうけているものと思われる。1層（作土）は膨軟であるが2層はやゝち密であり、犁底盤が形成されていると考えられる。45cm以下は極めてち密である。3層までは腐植含量が多い。

第1図 試験地土壌の断面

郡山	色	土性	礫 (%)	腐植 (%)	ち密度 (mm)	構造
15	7.5YR _{3/2}	LiC	—	(5.4)3	(5.4)H ₁	b1 Gn
30	7.5YR _{3/2}	LiC	—	(4.8)2	(16.4)H ₂	b1 Gn
47	7.5YR _{3/3}	LiC	—	(2.4)2	(19.2)H ₃	b1
60	7.5YR ^{5/2} ₂ × 7.5YR ^{4/6} ₆	LiC	—	(1.7)1	(26.3)H ₄	Ms
	7.5YR ^{6/2} ₂ × 7.5YR ^{6/8} ₈	H C	—	(0.8)0	(25.8)H ₄	Ms

最上	色	土性	礫 (%)	腐植 (%)	ち密度 (mm)	構造
17	2.5YR ^{2/2}	SiC	(1.6) oka-1	(18.7)4	(11.4)H ₂	bl Gn
30	2.5YR ^{2/2}	SiC	-	(17.8)4	(21.0)H ₃	bl Gn
35	2.5YR ^{3/3}	SiC	-	(7.3)3	(21.6)H ₃	
	2.5YR ^{6/4}	SiC	-	(1.9)1	(24.1)H ₃	Ms
74	2.5YR ^{6/4}	S L	(72.3) oka } b } 5	(2.2)2		

豊島	色	土性	礫 (%)	腐植 (%)	ち密度 (mm)	構造
16	10.0YR ^{2/2}	SiC	-	(13.3)4	(17.3)H ₂	bl Gn
21	10.0YR ^{3/4}	SiC	-	(13.1)4	(23.7)H ₃	pd
	10.0YR ^{3/4}	SiC	-	(9.7)3	(21.9)H ₃	Ms
45	10.0YR ^{4/4}	H C	-	(1.8)1	(24.0)H ₃	Ms

古間木	色	土性	礫 (%)	腐植 (%)	ち密度 (mm)	構造
15	10.0YR ^{1/1}	S L	-	(9.3)3	(17.0)H ₂	Gn
25	10.0YR ^{1/1}	S L	-	(9.6)3	(20.7)H ₃	Gn
	10.0YR ^{2/2}	FSL	(5.8) ka'-2	(6.0)3	(19.6)H ₃	Sn
55	10.0YR ^{5/6}	LFS	(9.1) ka'-2	(2.7)2	(24.3)H ₃	
75	10.0YR ^{5/6}	FSL	-	(0.8)0	(27.0)H ₄	

奥中山	色	土性	礫 (%)	腐植 (%)	ち密度 (mm)	構造
10	10.0YR ^{3/2}	L	-	(10.3)4	(1.5)H ₁	Gn
16	10.0YR ^{3/2}	L	-	(10.3)4	(22.3)H ₃	pd
27	10.0YR ^{3/4}	LFS	-	(3.1)2	(21.0)H ₃	Ms
	10.0YR ^{4/4}	LFS	-	(2.9)2	(21.8)H ₃	Ms
65	7.5YR ^{4/6}	C L	-	(1.6)1	(18.9)H ₃	Ms
80		C L	-	(0.9)0		Ms

第2表 〔試験地土壤の理学的性質〕

	層位	深さ cm	仮比重	三相分布			PF1.6< の 大孔隙%	圃場容水量 vol %	PF3.9 の水分 vol %	有効保水 容 量 (ミリ)
				土	水	空気				
郡山	1	0-15	0.90	34.1	20.5	45.4	17.9	35.0	18.5	24.8
	2	15-30	1.03	38.7	39.9	21.4	17.3	43.6	20.8	34.2
	3	30-47	1.19	43.2	40.7	16.1	8.1			
	4	47-60	1.69	65.5	36.6		0.1			
	5	60-	1.52	59.7	39.3	1.0	2.3			
最上	1	0-17	0.67	27.5	41.7	30.8	18.9	46.3	22.4	40.6
	2	17-30	0.64	25.3	48.0	26.7	9.6	60.0	32.9	35.2
	3	30-35	0.79	30.4	51.7	17.9	7.9			
	4	35-74	1.09	41.2	47.2	11.6	4.2			
豊島	1	0-16	0.83	34.2	48.5	17.2	14.5	52.0	26.9	40.1
	2	16-21	0.82	32.4	52.5	15.2	6.0	58.7	34.2	12.3
	3	21-45	0.82	31.2	49.0	19.8	10.6	56.6	38.5	
	4	45-	1.11	40.7	53.5	6.0	3.4			
古間木	1	0-15	0.72	28.7	42.4	28.9	18.6	37.9	16.6	32.0
	2	15-25	0.80	31.5	48.5	20.0	11.1	51.3	22.4	28.9
	3	25-55	0.62	22.5	47.5	30.0	11.8	54.5	30.1	
	4	55-75	0.54	20.4	46.5	33.1	15.6			
	5	75-	0.62	24.2	55.1	20.8	11.3			
奥中山	1	0-10	0.64	25.4	36.4	38.2	14.4	43.5	19.6	23.9
	2	10-16	0.84	34.6	49.0	16.4	4.6	54.2	22.4	19.1
	3	16-27	0.58	22.0	46.6	31.4	15.4	50.6	31.4	21.1
	4	27-65	0.55	20.2	52.7	27.1	13.5			
	5	65-80	1.07	38.4	49.9	11.7	7.4			
	6	80-	1.25	44.5	45.1	10.5	5.9			

第3表 〔試験地土壌の化学性質〕

	層位	深さ cm	PH (kcl)	置換酸度 y	塩基置換 容量 m.e	置換性 塩基 m.e	塩基飽和度 %	有効態 磷酸 mg	磷酸 吸収係数
郡山	1	0-15	4.1	17.0	31.4	4.75	15.2	114.0	980
	2	15-30	4.2	17.2	29.2	3.72	12.8	118.4	920
最上	1	0-17	4.4	0.9	50.5	20.43	40.5	3.66	1850
	2	17-30	4.1	14.2	48.8	5.27	10.8	1.07	2230
豊島	1	0-16	4.2	12.0	38.2	6.44	16.9	2.06	2130
	2	16-21	4.3	13.9	42.2	6.13	14.5	0.82	1810
	3	21-45	4.2	16.3	39.3	2.89	7.4	0.82	2300
古間木	1	0-15	4.5	2.4	23.9	7.64	32.0	1.37	1910
	2	15-25	4.4	3.5	24.4	6.69	27.4	1.14	2080
	3	25-55	5.1	0.3	15.2	7.61	50.1	0.69	2390
奥中山	1	0-10	5.0	0.6	27.3	8.45	30.9	0.53	1830
	2	10-16	5.1	0.7	30.0	5.84	19.5	1.37	1890
	3	16-27	6.0	0.6	23.1	4.98	21.6	0.34	2110

2層以下は著しく磷酸に欠乏し、また酸性が頗る強く塩基に乏しい。

古間木：火山灰土壌である。2層が僅かにち密であるが他は通気透水性極めて良好である。

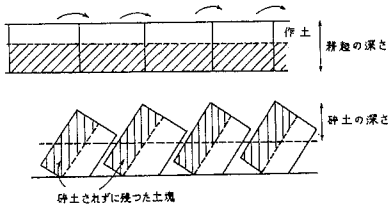
磷酸吸収係数高く有効態磷酸に乏しいが特に3層以下が著しい。酸度はあまり高くないが塩基量が少ない。

奥中山：火山灰土壌である。2層がやち密である。酸度は低いが2.3層はPHのわりに塩基量が少く飽和度は低い。磷酸吸収係数は高く有効態磷酸に乏しい。

中型トラクター プラウ ディスクハローの作業システムでは、30cm程度の耕起は容易であるが、碎土は表層10-15cm以下には及ばない。模式的に画くと第2図の如く、作土直下のやち密な土壌が碎土の深さより下に大土塊のまゝ残されるために、この部位はち密な土塊と砕かれた作土が混在し構造が不均一であるだけでなく、化学性も不均一で特に改良資材加用区ではそれが甚だしく遍在することがうかがわれる。普通耕区の作土直下の部位と深耕区のそれに相当する部位の三相分布及大孔隙量は第4表の如くであり、郡山、豊島、奥中山では固相が減じ、孔隙が増加したが他では明瞭でない。

同様に耕起された土層を上下に2分（普通耕では作土と作土直下の部位）して採取した試料について

第2図 (耕起碎土の状態)



置換性 Ca、Mg 及び 2.5% 醋酸可溶磷酸の量を調べた。これらの値も土壤の反転或いは土塊の碎け方によって異り、採取試料の反覆回数が少ないので明確な結果は得られなかったが大略次の様な傾向が指摘された。

深耕区は Ca 及 Mg の分布が一般に平均化される。従つて表層が塩基に富んでいても下層土のそれが乏しければ深耕の結果表層の塩基は少くなる。

磷酸も塩基と同様の傾向を示し、深耕では表層が著

しく稀薄となる例が多かつた。

改良資材を投入した区はどれも磷酸・塩基ともに増加したが、この程度(熔磷 100Kg/10a)では顕著な増加は認められず、土壤改良のためには不足のように思われた。

第4表 [深耕による三相分布、大孔隙の変化]
(普通耕作土直下の部位)

	処 理	土	水	空 気	PF 1.6 以下の 大孔隙量
郡 山	普通耕	34.4	35.8	29.8	18.6
	深 耕	30.0	32.9	37.3	26.2
最 上	普通耕	25.8	50.3	23.8	10.9
	深 耕	26.3	48.2	25.5	12.5
豊 島	普通耕	30.3	55.9	13.9	4.3
	深 耕	28.4	46.6	25.0	14.3
古間木	普通耕	26.7	43.8	29.8	10.9
	深 耕	25.7	45.1	29.3	8.9
奥中山	普通耕	25.9	45.7	28.4	8.6
	深 耕	23.0	42.7	34.2	14.1

馬鈴薯の生育は期間を通じて普通耕と深耕では大差がなく、深耕土壤改良区は他の2処理より良好であつた。薯収量を処理群別の平均値の指数で示すと第5表の如くであつて、これらの土壤では改良資材の効果が大きく又堆肥及多肥の効果も高いことが認められたが単なる深耕は効果が認められなかつた。

又、石膏ブロック電気抵抗法で作物生育期間中の土壤水分の変化を測定したが、馬鈴薯では何れにおいても深さ 40 cm では乾燥が認められなかつた。郡山では約2週間の寡雨期間を経て 20 cm までが急速に乾燥したが処理間に差はなかつた。

豊島では収量の高かつた区が深く且著しく乾いた。古間木、奥中山では表層より次第に乾燥して下層に

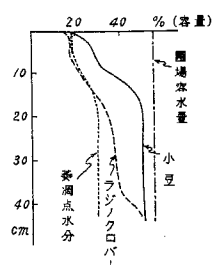
第5表 [馬鈴薯の薯収量指数]

	深耕／普通耕	堆肥／無堆肥	多肥／標肥	土壤改良資材／無
郡山	100	113	109	120
最上	98	103	105	106
豊島	97	106	108	128
古間木	99	113	104	126
奥中山	92	114	110	103

及んだが改良資材の入った区は20cmの乾き始めるのが他の区より早かった。

小麦では1961年は出穂前後より6月中旬に至る間の降水量が極めて少くどの試験地でも乾燥が認められ、表層10cm程度まではしばしば萎凋点水分に達した。又20cmが乾き始めて約10日後に40cmも乾き始め、試験地によつては乾燥の程度はかなり著しかった。而して乾燥して行く傾向及程度に処理間の差は余り明確でなかつた。

以上の結果から、これら5試験地では単なる深耕により作土直下の土層を破碎攪乱し、作土と混合することは、ち密度を減じ孔隙量を増すことになるが、本来それらの土壤断面に示される構造、ち密度の程度ではその意義が乏しく改善の必要性は少い。特に小麦で40cmの深さまで乾燥し、且処理間に差の認められなかつたことは30-40cmまでの土層が機械的な改良を必要とするほど根の展開を妨げる状態でなかつたことを示している。一方塩基、磷酸等に関する下層土の不良要素を作土に混入するため負の効果をもたらすことがあり、これらの不良要素を消去するために加えられた土壤改良資材の効果は大きく、こゝでは深耕はこれらの資材を鋤込む手段としての意義が大きい。改良資材鋤込の結果古間木、奥中山の馬鈴薯で20cmの土壤水分が他の区より早く乾き始めたことはこの部位の水の利用性を高め有効水を多くしたことを意味する。水については降水による補給と作物による消費量とその時期的分布について考慮しなければならない。たとえば牧草は施肥改善により大巾な収量増が期待される反面生育旺盛な5、6月には降雨が少く収量が水に制限される場合が少くない。岩手県九戸地方では5月の降水量は平年で70mm程度であるが1961年は平年値の $\frac{1}{2}$ で4月下旬より6月中旬にかけて著しく乾燥した。



第3図 牧草畑の土壤水分の垂直分布

6月17日に調査したラヂノクロバを主体とした牧草畑の土壤水分垂直分布は第3図の如くであつて牧草畑は表層特に0-15cmが著しく乾いており、1番刈後の生育は追肥が施されたのにもかかわらず極めて貧弱であつた。しかも40cm以下の土壤水分はあまり失われていなかった。つまり0-40cmの有効保水容量が生産を規制していたことになる。下層の水を利用しうる土壤条件を作ること(下層で容量を確保する。)がなければ寡雨年には現在以上の収量は期待出来ない。機械力による深耕と改良資材の鋤込はそのような土壤条件を作る最も有効な手段であると

云い得る。

報 文

畑土壤に対するベントナイト・バーミキュライトの施用効果

特に土壤水分に及ぼす影響

池 宗 勝 三 郎 ・ 川 井 一 之 *

(広 島 農 試)

I 緒 言

西南暖地の畑作地帯土壤は一般に砂質で、腐植含量に乏しく、養分供給の点も不十分であるため、生産力の低いものが多い。更にこの地帯では、降雨の分布が不規則で晴天が続き、土壤水分の不足すること、土壤の保水力が乏しいため土壤水分の不足することなどの原因で、夏作物とくに柑きつなどの果樹類に土壤の乾燥による被害が毎年みられ、畑作振興上重要な問題となっている。この対策として、従来有機質の増施・粘土の客土・敷ワラ・敷草などが行われ、保水力を高める上に効果をあげている。しかし、この地帯は原野に乏しく砂質であるため、このような有機質或は良質粘土を大量に求めることは困難な現状にある。したがって、このような地帯ではもつと、安易に得られる土壤改良資材が必要となるわけで、例えばベントナイト・バーミキュライトなどの施用が考えられる。

ベントナイトについては、すでにその大きな膨潤性を利用して、土木関係や漏水田の浸透抑制剤として良い成績をあげているが、畑地土壤への利用はまだ十分に検討されていない。また大きな容水量をもつバーミキュライトは、一部園芸関係では利用されているが、土壤改良剤への活用は日が浅く、その効果の研究もまだ充分に行われていない。

このような観点から、畑地土壤にベントナイトおよびバーミキュライトを施用した場合に如何なる効果があるかを一、二試験したので、ここに報告する。

II 室内試験

1. 方 法 土壤・ベントナイト・バーミキュライトは第1表、第2表

第1表 供試料の理化学性

理化学性 供試料	P H (Nkc1)	腐植 (%)	仮比重	最 大 容水量 (%)	膨潤度 (cc/g)	機械的組成(%)			備 考
						粗砂 + 細砂	微砂	粘土	
ベントナイト	7.6	—	1.33	229.2	4.5	—	—	—	島根県産・150メッシュ 以下のもの
バーミキュライト	6.8	—	0.18	364.1	—	—	—	—	日宝蛭石市販・蛭石を 焼成加工したもの
原 土	6.0	1.16	1.16	41.8	—	59.1	26.1	14.8	洪積層・土性L

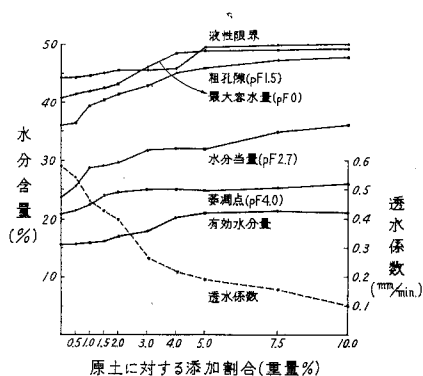
* 昭和36年2月1日受理

第2表 供試パーミュキライトの粒経組成

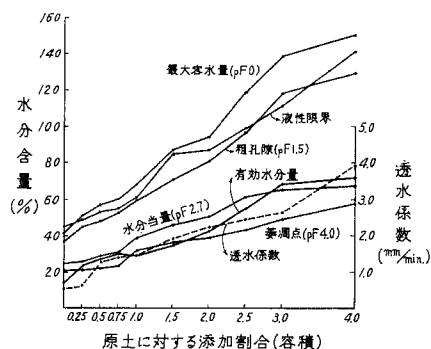
4.0mm<	4.0~2.0	2.0~1.0	1.0>	合計
6.0%	21.5	25.5	47.0	100

に示したようなものを供試した。すなわち、土壌は腐植に乏しい洪積層に由来する壤土である。ベントナイト（以下BTと略す）は、この風乾細土に重量でそれぞれ0.5%・1.0%・1.5%・2.0%・3.0%・4.0%・5.0%・7.5%・10.0%の割合で、パーミュキライト（以下VMと略す）は容積比（VMは土壌に較べ容積重に大差があるため、混合割合の表示は重量比よりも容積比が適当である）原土1に対し0.25・0.5・0.75・1.0・1.5・2.0・2.5・3.0・4.0の割合で添加し、よく混合したものを供試料とした。これらの試料を100cc容（5.1cm×5cm）の金属製の円筒に容積測定装置⁽¹⁾を利用して各処理土壌とも一定容積になるようにつめた後、最大容水量（pF0）・粗孔隙量（pF1.5）は土柱法、水分当量（pF2.7）は速心法、萎凋点（pF4.0）はアルコール当量を測定することにより決定した。また、透水係数は、真下⁽²⁾が山林土壌で使った定水位測定装置の一部を変更したものを使用した。すなわち、内面に薄くグリスを塗った前記の金属性円筒に一定量の試料をとり、これを一昼夜水に浸漬後水位差を6.5cmに調節した定水位測定装置にセットした。この場合、浸透水量は透水開始10分後のものを測定した。なお、液性限界の測定は常法によった。

2. 試験結果 これらの試験結果は第1図・第2図に示すとおりである。



第1図 ベントナイトの水分および透水係数曲線



第2図 パーミュキライトの水分恒数および透水係数曲線

BTを添加した場合、有効水分量は増加し、添加量の多いほど増大して行くが、その程度は含有率によって異なる。すなわち、5%までは含有率に応じてほぼ正比例的に増加してゆき、5%では21.3%を示し無添加のものに較べ5.4%の増加となっている。含有率が5%以上になるとその増加割合は緩まるとなり、10%の含有率では21.4%で5.5%の有効水分量の増加となっているに過ぎない。この点、BTの添加が土壌容水量に及ぼす影響においては、含有率5%のところの一つの変異点のあることが認められる。その他の各容水量も有効水分量と概ね同様な傾向を示し、2%と5%の含有率のところそれぞれ大小二つの変異点があるとみられる。つぎに透水係数は3%までは含有率に応じて反比例的に減

少してゆき、それ以上の含有率では減少の程度はゆるやかとなる。BT 3%の添加で原土の約 $\frac{1}{2}$ 、5%で $\frac{1}{3}$ 、10%では約 $\frac{1}{4}$ となっており、透水性が顕著に抑制されることを示している。

VMの添加は土壌の仮比重の減少・容水量の増加をもたらす。すなわち、仮比重は含有率1:0.25(容積比)では、原土が1.16であるに対して1.04となり、添加量の増加につれて減少し、1:1では0.74、1:2.5では0.47となっている。また有効水分量は、1:0.25の添加で49.2%となり原土に較べ約5%増加し、それ以上の添加では急激に増加し、1:1では61.5%で約17%の増加となっている。その他の容水量・液性限界も添加量の増加にともなつて急激に増加してゆくが、特にPFO~pF1.5の比較的ゆるく吸着している土壌水分の増加が大きい。以上のような傾向にはBTの場合とは異り含有率によつて変異点は認められず、ほぼ添加量の増加につれて容水量が増加するという正の相関を有している。VMの添加によつて透水係数は顕著に増加している。1:0.25の含有率では原土とほとんど差がないが、1:0.5では約2.3倍、1:1では2.5倍となり透水性の向上が著しい。

Ⅲ 圃 場 試 験

1. 方 法 試験施設は傾斜10°の洪積層土壌の圃場で、1区0.097a(1.8m×0.54m)2連制のコンクリート框を使用した。BT・VMは室内試験と同一のものを使用し、前者は1区当8Kg(混合率1.5%)後者は1区当400ℓ(1:0.3)を1959年5月に全面に散布し、均一になるようによく耕起混合した。対照区・BT区・VM区とも、1959年6月20日に甘藷を平畦のまま植えつけ、10月25日に収穫した。小麦は甘藷の収穫後10月30日に播種し、1960年6月15日に収穫した。降雨量・流去水量・流亡土砂量の観測および測定は、1959年7月9日に開始し10月8日に終了した。なお冬期間の降雨量・侵蝕量の測定は省略した。

また供試作物の施肥量は各区とも同一で、甘藷はa当N(硫安)0.56Kg・P(過石)0.38Kg・K(硫加)0.75Kg、小麦はN(硫安)0.75Kg・P(過石)0.75Kg・K(硫加)0.75Kgである。

2. 試 験 結 果 侵蝕量についての調査結果は第3表に示すとおりである。

第3表 侵蝕に及ぼす影響(区当)

流去水量(mm)			流去率(%)			流亡土砂量(Kg)		
ベントナイト区	パーミユキライト区	対照区	ベントナイト区	パーミユキライト区	対照区	ベントナイト区	パーミユキライト区	対照区
59.0 (128.7)	36.4 (79.4)	45.9 (100)	17.1 -	10.6 -	13.3 -	2.2 (71.0)	4.5 (145.1)	3.1 (100)

(註) 観測期間 7月9日~10月8日, 降雨回数6回, 総降雨量344.2mm, 10分間最下降雨量13.6mm

()は比率を示す。

まず、BT区の場合流去水量は対照区に比較して約1.3倍に増加しており、流去率で17.1%を示している。流亡土砂量は対照区の約70%と逆に少なく、a当2.2Kgの流亡量を示している。つぎにVM

区では、流去水量・流亡土砂量ともにBT区とは逆の傾向を示している。すなわち、流去水量は対照区の約80%と減少するに反し、流亡土砂量は約1.5倍と増加しa当4.5Kgの流亡量を示し、VMの施用によって土壌の流去抵抗が減少し土が流れやすくなることを示している。この場合5mm/10分間以下の降雨では土壌の流亡は殆んど皆無であるが、それ以上の強雨では侵蝕量が著しく大きくなるのが特長となっている。

甘藷の生育については、BT・VM両区とも蔓長、分枝数は対照区に比較してすぐれており、蔓重で約3割の増加となっている。藷の収量およびその内容については第4表に示す如くである。総藷重では

第4表 甘藷に及ぼす影響(区当)

区名	生育調査		蔓重 (Kg)	甘藷の収量(Kg)				
	蔓長(m)	分枝量(本)		大藷	中藷	小藷	藷計	比率(%)
ベントナイト区	3.06	7.7	29.5	7.4	9.5	5.0	21.9	145
パーミュキライト区	3.30	7.8	29.7	6.1	12.5	6.2	24.8	162
対照区	2.85	6.0	23.5	4.1	5.5	5.7	15.3	100

(註) 品種 農林1号、栽植密度 60cm×36cm、450本/a植

BT区で約5割、VM区で約6割の増収を示しているが、質的には上藷重の増加が大きな特長となっている。つぎに、小麦の生育はBT区が草丈・茎数ともに対照区より少々よく、収量もまた約2割の増収を示しているが、VM区の生育は対照区より少々良好であるが、収量では逆に僅かながら減収となっておりa当3.0Kgとなっている(第5表)。

第5表 小麦に及ぼす影響(区当)

区名	生育調査		小麦の収量(Kg)			
	草丈(cm)	茎数(本)	全風乾重	子実重	同比率(%)	1ℓ重
ベントナイト区	88.2	34.8	8.3	3.52	116	0.74
パーミュキライト区	87.7	30.5	7.4	3.00	98	0.75
対照区	87.5	22.7	7.4	3.06	100	0.75

(註) 品種 四国62号、畦巾60cm、0.48Kg/a播、

IV 考 察

BTは水による膨潤性が著しいため、この親水性を利用すれば土壌の水に対する性質をかなり変えることができる。すでに水田では、漏水過多田の浸透抑制に施用して顕著な効果をあげているが、これを畑地へ施用した場合には、保水力の乏しい土壌を改良して有効水分量の増加が期待できる。しかしここで注意しなければならないことは、BTの施用は透水性を減ずる結果、傾斜畑では表面流去を促進し、雨水の損失を助長するおそれのあることである。したがって、畑地に対するBTの施用は、水分量の増

加と透水性の減少という農業的に相反する効果をもたらすため、その土壤に適した量をうまく施用することが効果を高める上に大切になる。本試験に供試した洪積層土壤の例では、有効水分量は5%の含有率のとき約5%の増加を示しており、またここにその増加割合の変異点のあることから、この点附近が保水量を高める意味では一つの施用適量と考えられる。一方この場合、透水係数は原土の約 $\frac{1}{3}$ に低下しており、わずかに1.5%の含有率で行った圃場試験では、流去水量が対照区より約3割増えており、5%の施用では更に大きな流去水のみることが予想される。これに対しBT 3%の含有率では、有効水分量の増加は約2.7%であるが、透水係数は約 $\frac{1}{2}$ になるに過ぎず、流去水の発現はかなり減少するものと考えられる。したがって、壤土程度の畑地土壤に対するBTの施用量は、3%内外が適量のようなのである。なお、圃場試験でBTの施用は、流去水量とは逆に流亡土砂量の減少をもたらしたが。これは第6表に示す如く、BTの施用により仮比重は対照区に較べ大きくなり土がよくなると、国分⁽³⁾らが指摘している如く、一旦膨潤したBTは乾燥した場合収縮して土壤の凝集力を高め、流去抵抗を大きくすることなどの結果と考えられる。このことから、BTは砂質土壤・火山灰土壤のように、土粒が分散しやすいか或は軽鬆なために受食性の高い土壤への施用が侵蝕抑制上効果が大きいものと考えられる。

VMはつぎのような一般的特長をもつといわれる。⁽⁴⁾すなわち、水に対する膨潤が認められないこと、急激な熱降下で著しく容積が膨張すること、 NH_4 を固定することなどである。したがって、VMの添加による土壤容水量の増加は、著しく大きな表面積と孔隙をもつため、その表面に水が吸着水の形で吸われる結果とみられる。このため添加するその量に正比例して各容水量と増加してゆくが、とくに吸着程度の弱い最大容水量(PF0)・粗孔隙量(PF1.5)の増加割合が大きくなっている。このようなVMのもつ性質は、これを畑地に施用した場合、多量の水分を保持し土壤の急激な水分の変化を防ぐ上に役立つし、また膨潤性をもたないこと、著しく多くの孔隙量をもつ性質は第6表でみる如く、仮比重の低下となつてあらわれ、粘土質土壤で起り易い土壤の固結化を防ぐ上にも効果がある。しかし、VM自身の

第6表 圃場試験区の仮比重

月 別	ベントナイト区			パーミュキライト区			対 照 区		
	I 層	II 層	III 層	I 層	II 層	III 層	I 層	II 層	III 層
1959年7月	1.18	1.18	1.22	1.01	1.13	1.21	1.13	1.18	1.24
8月	1.28	1.26	1.35	1.07	1.13	1.24	1.23	1.25	1.26
9月	1.29	1.28	1.36	1.04	1.19	1.31	1.19	1.26	1.38

(註) I層 0~10cm、II層 10~20cm、III層 20~30cm

仮比重が0.18と非常に軽鬆であるため、これを傾斜畑に施用した場合、液性限界は高まるにも拘らず圃場試験の結果にみる如く流亡土砂量の増加となつてあらわれており、単独使用よりも有機質・敷ワラなどとの併用が必要であることを示している。またVMの NH_4 を固定する性質は、施肥した窒素質肥料の有効化を抑制し、これがVM区の小麦収量を少々不良にした原因と一応考えられるが、この点については尚検討する必要がある。

以上のようなVMのもつ特性は、粘質土壤或は保水力の乏しい地帯のとくに樹園地や永年牧草地に対

して、顕著な土壤改良効果を見出す可能性をもっているが、比較的多量に施用する必要のあること、農業資材としては高価なことなどの経済的理由から、現状では実用上の難点がある。

Ⅶ 摘 要

ベントナイト・パーミユキライトを洪積層に由来する畑土壤に添加し、その場合の理化学性とくに土壤水分および侵蝕量に及ぼす影響について試験し、つぎの結果を得た。

- 1) ベントナイトの添加は、土壤の有効水分量を高め透水係数を低下さす。5%の含有率までは添加量に応じて前者は正比例的に、後者は反比例的な傾向をとる。それ以上の含有率での増減は緩まんとする。
- 2) ベントナイトの施用は流去水量を増加し、流亡土砂量を抑制する。この場合、前者は透水性の低下が、後者は土壤が固結すること、凝集力の高まることなどがその原因となる。
- 3) パーミユキライトの添加は、土壤の有効水分量とくに最大容水量を高め、透水係数を大きくする。この場合いずれも添加量に正比例して増加する。
- 4) パーミユキライトの施用は流亡土砂量を増加し、流去水量を抑制する。前者は仮比重の減少による流去抵抗の低下が、後者は透水性・容水量の増加がその原因となる。
- 5) ベントナイト・パーミユキライトとも、その施用により、甘藷の収量は5~6割増加した。小麦の収量はベントナイトは約2割の増収であつたがパーミユキライトは少々減収を示した。

Ⅷ 参 考 文 献

1. 農林省振興局研究部監修； 土壤肥料全編（養賢堂）770（1958）
2. 真下育久； 日林誌 38, 2（1956）
3. 国分欣一； 土肥誌 31, 4（1960）
4. 須藤俊男； 粘土鉱物（岩波書店）237~239（1958）

報 文

水田土層の物理的性質とその浸透量との関係について

山崎 不二夫* 八幡 敏雄 田淵 俊雄
多田 敦 田淵 公子

(東京大学農学部)

I はしがき

われわれは先に秋田県六郷地区の機械開田地域において開田方法や開田後の年数による水田浸透量の相異を問題にしたが、⁽¹⁾それはいわば水田浸透を表面的に扱ったのであつて、その水田土層の内部構造にはほとんどふれなかつた。こゝでは前報⁽¹⁾で述べた水田群の中から土層が平面的に均一な水田を2枚えらんで、浸透量測定と同時(35年7月)に土層の物理的性質の測定をおこなつた結果にもとづき水田土層の物理的性質とその浸透量との関係を究明する。

II 浸透量を規定する要因

まず最初に単位断面積当りの浸透量(q)を規定する要因について考えてみると、それには水頭勾配(J)と呼ばれるポテンシャルの項と透水係数(K)と呼ばれる抵抗係数の項がある。前者は境界条件であり後者はその土層のもつ特性である。これを式に表わすと $q=KJ$ といわゆるDarcy式である。

水頭勾配。水頭勾配は水の土層への流入点と流出点が決まれば、その間を流線がたどる長さ L と流入流出两点の水頭差 Δh により $\frac{\Delta h}{L}$ で表わされる。これを図1のような下端に飽水したレキ層がある水田を

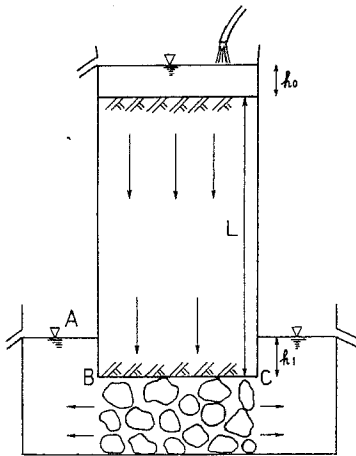


図-1

仮想して考えてみよう。レキ層の透水係数が土層の透水係数よりも非常に大きければ、レキ層の中の水頭損失は0とみなすことができるから、土層の下端B-Cでは水頭はすべて等しい。そして土層中の水の流れはすべて鉛直下方に向つて生じ、その土層下端B-Cは流出面とみなすことができる。この場合には流入面と流出面の水頭差は $h_0 + L - h_1$ で水頭勾配は $\frac{h_0 + L - h_1}{L} = 1 + \frac{h_0 - h_1}{L}$ である。ところがレキ層の中の水頭損失が0でない場合には浸透層の中にレキ層を含めて考えなければならないから、土層の下端B-Cは流出面とみなすことができず、流出面としては排水面Aをとらなければならない。そして流れも鉛直方向ばかりでなくなるから、その解析には複雑な流線網を画くことが必要となつてくる。実際の水田において流出面と考えられるのは不飽和なレキ層、暗キヨ、排水路水面、地下水面(偽地下水面⁽²⁾)ではない)等であるが、このような水田浸透水の流出先をも含めて考えた水田土層内の水の運動に関する研究はまだほとんどおこなわれておらず、いろいろと不分明のことが多い。

透水性。これには大別して2種類あり、第一はかなり太い根や動物のあけた穴やキレツから成るもので、それが流入面から流出面まで連続的につながっていればその浸透量に対する影響は決定的に大きい。第二は透水係数によつて一般に表示されている土壌間ゲキの性質である。これはDarcy式の係数とし

* 昭和36年6月22日受理

て定義されて古くから研究の対象となつている。(たゞしこれら2種類の透水性は土壤構造的にも浸透の機構の上からも明確に二分されるものではない。)こゝでは研究の対象を後者の透水性にしばり実験水田もキレツや大孔ゲキのないと思われるものをえらんだが、今後、前者のような非平均的な透水構造の水田の研究もおこなう必要がある。

透水係数と飽和度。透水係数には飽和透水係数と不飽和透水係数の2種類がある。正確には透水係数は土壤含水量の関数であつて、その値は含水量によつていろいろに変化する。しかしながら透水性の指標として一般に用いられているのは飽和透水係数 K_0 、すなわち間ゲキの中が水ですべて飽和されている時の透水係数である。この値が大きければその土の透水性が良いといふ、小さければ透水性が悪いといふ。ところがAB2つの土柱をとり上げてAの K_0 がBの K_0 より大きいからAの方がBよりも常に透水性が良い状態にあるといふことはできない。それは透水係数が含水量によつて変化するためであつて、この場合にAの含水量が小さくBの含水量が大きければ、たとえ K_0 が $A > B$ であつてもその時の透水係数 K が逆に $A < B$ になることもありえる。このように透水係数が含水量によつて変化する例として表2の飽和透水係数 K_0 と準飽和透水係数 K_0' をあげることができる。準飽和透水係数は土柱試料の下端から水を試料内に浸みこませた後に測定した値であつて、どの試料も含水量が飽和に達しておらず、その値は K_0 より低い。

含水量分布。以上のように透水性には含水量が影響するから、実際の水田の透水性を判断するためには水田土層の各深さの K_0 だけを測定しただけでは不十分であり更に各土層の含水量を知る必要がある。しかし含水量は変動するものであるから、詳しくは時期的な変動状態や変動をおこす要因について知らねばならない。含水量分布の変動は大別すれば次の2段階に分けて考えることができよう。第一は浸透がおこるまでの経過によつて定まる含水量で、水が土層に浸入する時に第一次的に定まるものである。この際にはその土層の成層状態や含水量分布、水の浸入条件等が影響しよう。第二は浸透がおこつた後に生じる二次的な変化である。この際には土壤の化学的組成、有機物、微生物などが影響を及ぼすであろう。

III 実験結果の検討

浸透量。表1に示したように土層の物理的性質測定時(35年)にはNo.1の水田で 6mm/day ($7 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$) No.2の水田で 30mm/day ($35 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$)であつた。

表-1

水 田	開 田 方 法	mm/日			
		減 水 深		平均浸透水深	
		34年	35年	34年	35年
No. 1	30年人力開田 35年ブルドーザ開田仕直す	127	9.5	86	6.0
No. 2	29年人力開田	75	38	108	30

この平均浸透水深は東大式降下浸透量測定器⁽³⁾で水田内16ヶ所を測定した値の平均である。この値を降下浸透量(流れは鉛直と仮定する)として以下の話を進めてゆく。これによるとNo.1の浸透量とNo.2の浸透量の比は1:5であり、その原因はNo.1の水田がブルドーザ開田をしたことにあることがわかつ

ている。(1)

(註) No. 1, No. 2の水田の概況については文献1を参照されたい。No. 1及No. 2の水田は文献1の中の水田D及Bに相当する。

飽和透水係数の分布。thinwall sampler で深さ10cmごとに構造を乱さない試料を2ヶづつ採取して実験室にもちかえり、真空減圧下で飽水させ飽和透水係数 K_0 を測定した。表2の結果は2

表-2

水田	深さ cm	三相分布%			Eh6 mV	pH	腐植 %	真比重	土性	飽和透 水係 数 K_0 $10^{-3}cm/sec$	準飽和状態			自然状態				記 号
		Vs	Va	Vw							飽和 度%	K_0 $10^{-3}cm/sec$	K_0/K_0	飽和 度%	水頭 勾配	K $10^{-3}cm/sec$	K/K_0	
1	10-20	25	7	68	+108	7.0	16.5	2.3	CL	0.1	94	0.07	0.7	91	1.9	0.004	0.04	A
	20-30	26	9	65	+431	6.3	10.8	2.4	SL	0.1	92	0.09	0.9	88	1.9	0.004	0.04	B
	30-40	26	12	62						2	89	0.2	0.1	85	1.6	0.005	0.003	C
	40-50	26	11	63	3	91	0.3	0.1	85	1.3	0.005	0.002	D					
	50-60	33	10	57	+353	6.1	4.0	2.6	SL	2	93	1	0.5	85				E
2	10-20	23	3	74	+413		15.6	2.4	SL	0.05	92	0.04	0.8	92	2.3	0.02	0.4	a
	20-30	23	14	63						3	89	0.5	0.2	82	1.0	0.04	0.01	b
	30-40	25	15	60	+472		6.8	2.6	LiC	2	89	0.4	0.2	81	0	∞		c
	40-50	26	14	60	+512	6.2	4.9	2.6	SL	3	90	0.6	0.2	81	0.2	0.2	0.07	d
	50-60	32	14	54	+474	6.0	1.1	2.7	SL	4	89	0.8	0.2	80				e

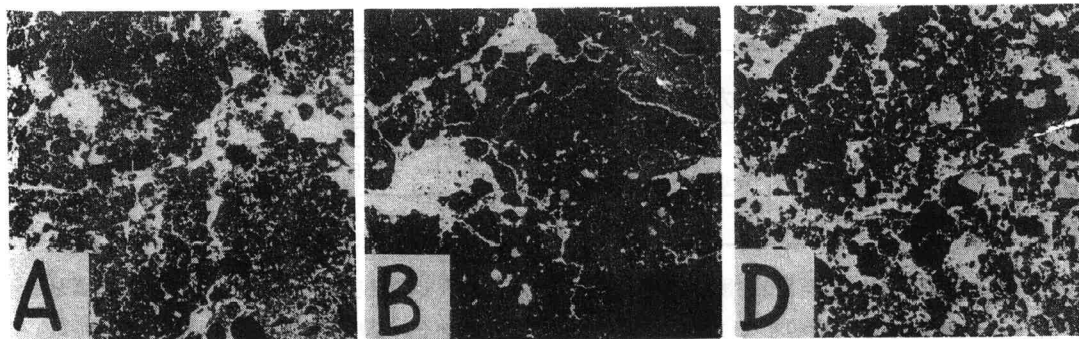
Vs : 土の固体部分の容積率%

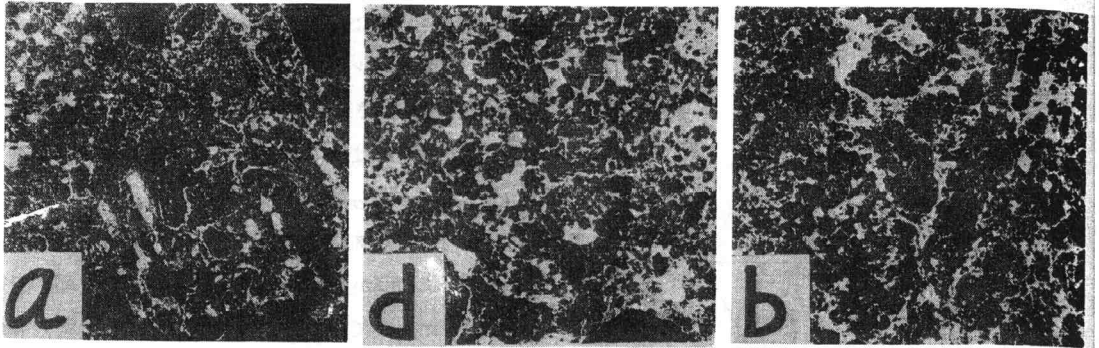
Va : 土の空気含有率

Vw : 土の含水率

ヶの試料の平均値である。この両水田の土層の透水係数の分布をみると特徴的なことが2つある。第一は透水係数の値によって土層が上と下の2つのグループに分けられることであり、第二は同じ20-30cmの深さの層でNo. 1とNo. 2の値が違うことである。これはNo. 1がブルドーザで転圧された結果であろう。またNo. 2ではその土層が手で触れた感じではいわゆる盤らしくなっているにもかかわらず、 K_0 の値がその下層とほとんど同じなのは興味深い。

プレパラート構造。乱さない試料をそのまま風乾してからバルサムで固定してプレパラートを作り土壌構造を拡大(10倍)してみたところ、次のようなことがはつきりした。(写真ABD, a b d)





No. 1 (写真 A, B, D), No. 2 (写真 a, b, d)とも上層の透水性の小さいグループに属する土では大きな間ゲキは存在するが地肌はべつたりして間ゲキの数は少ないし、下層の透水性の大きい土では大小様々な間ゲキが縦横に存在し、固体部分は地肌というよりは粒子のように分散している。特に深さ20-30cmの層におけるNo. 1 (B)とNo. 2 (b)の間ゲキ状態が相異している。このようにプレバレート構造によつて分けたグループ区分は飽和透水係数によつておこなつたグループ区分と良く一致するようである。

このようにプレバレート構造は透水係数と密接な関係にあるが、透水係数を規定する一要因と考えられている間ゲキ率はまったく関係がないようにみえる。(図2)さらに真比重、土性、腐植含量なども

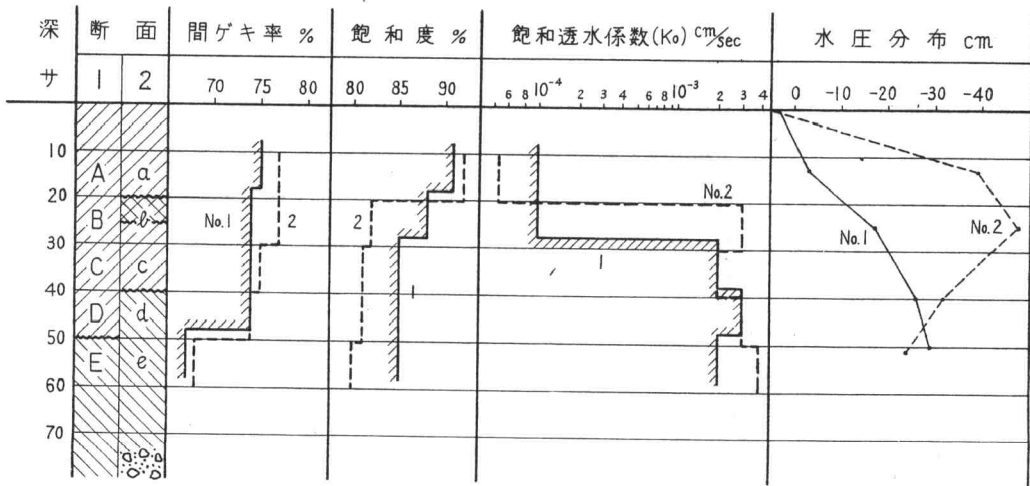


図-2

測定したが、これらによつても土層の上層と下層の差がはつきりしている。しかしながらこれらと透水係数がどの程度関係しているかということはこれだけのデータからでははつきりしない。特にNo. 1の水田のように人為的に締固めた場合には、その関係は薄くならざるをえないであろう。

飽和度の分布。これも表2, 図2に示したように K_0 と同様にかなりはつきりと2つのグループに分

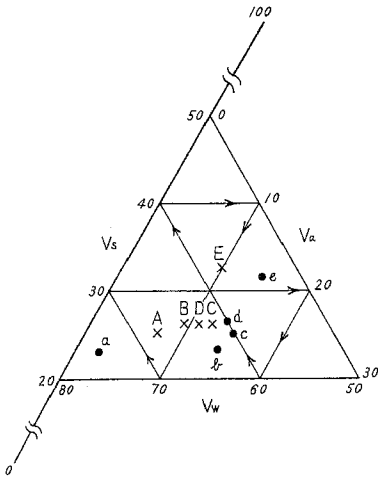


図-3 三相分布

ちに水田土層の浸透へ持ちこむだけの知識をわれわれは残念ながらもつていない。

透水係数Kの分布。以上のように飽和度が100%でなくしかも不均一であるから、先にえたK₀の分布がそのまま浸透時のKの分布になってはいないことが推察される。そして透水係数の大きいグループは飽和度が低く、透水係数の小さいグループは飽和度が高いという飽和度分布の特徴から判断されることは、各深さの透水係数Kの差が均と透水係数K₀の差ほど大きくはないということである。すなわちちみつな上層の透水係数と粗しような下層の透水係数とが飽和度の違いによつて実さいにはかなり近接した値になっているということが推察される。また上層はタン水の下にありながら意外なほど不飽和で、せいぜい90%程度であるから、その部分でさえKとK₀とは一致せず、KはK₀よりかなり小さいというのがむしろ一般のようである。

そこで実際の透水係数を知るために水頭測定⁽⁶⁾をおこなつて水頭勾配Jを算出し、 $K = \frac{q}{J}$ の式からKを算出した。この際、下層の値も算出したが、含水量がかなり低いから開放浸透⁽⁴⁾や部分的流れ⁽⁵⁾といった場合も考えられ、上層と同じように計算することはかなりの危険を含んでいる。この値をK₀と比較してみると予期したとおりかなり小さい。そして各深さのKの大小関係はK₀ほどの開きはなく、かなり均一化している。たとえばNo.1の20-30cmの層と30-40cmの層の比がK₀では $\frac{0.1}{2} = \frac{1}{20}$ であつたのが、Kでは $\frac{0.004}{0.005} = \frac{1}{1.3}$ になつており、上層の透水性の悪いグループと下層の透水性の良いグループが飽和度の媒介によつて大幅に近寄つたことを示している。またこのことはNo.1とNo.2の土層の最も特徴的な違いだつた深さ20-30cmの透水性に関してもいえることで、K₀では

$$\frac{0.1}{3} = \frac{1}{30} \quad \text{であつたものが} \quad \frac{0.004}{0.04} = \frac{1}{10} \quad \text{にまで変化している。}$$

以上、水田浸透と土層の物理性の関係について土層の1m深くまでめぐりこんで調べることを試みたが、水田浸透量の予知というような目標達成のためには予期したように多くの問題が未解決のまゝに残されており、ここではそれらの問題点を並べただけに終つてしまつたようである。今後、水田浸透水の

かれる。すなわち飽和に近い上層(90%台)と飽和度の低い下層(80%台)である。ただしNo.1の20-30cmの層は中間的な値、88%を示し、No.2の20-30cmの層は下層のグループの値82%を示している。このように飽和度が深さによつて不均一なので、土層の透水性を推定する時にはK₀の分布とともに飽和度分布もとり上げなければならない。

しかしながらタン水時の水田土層内の含水量分布、特にカンガイ初期からの含水量変化といった方面の研究はなおざりにされてきており、簡単な砂による室内実験的なことさえもまだほとんどおこなわれていない。たとえば砂に関して得られた「開放浸透」⁽⁴⁾や「部分的流れ」⁽⁵⁾の知識は「密-粗の成層状態における下層のかんりの不飽和状態」を一応説明してくれそうであるが、それを直

追跡、水田土層の含水量分布の変化、等について更に研究を進めていかなければいけないと痛感している。

終りに実験調査を熱心に手伝って下さった岩手大、石川武男、長崎明両氏、宇大、伊藤精延氏、東大沢野佐知子嬢に厚く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 下層に砂レキ層をもつ浅耕土漏水田の浸透について、山崎、八幡、田淵、石川、長崎、農土研 29.1
- 2) 半湿田の土壤断面の物理的性質と浸透、山崎、八幡、長田、田淵、農土研 28.4
- 3) 水田の降下浸透量の新しい測定法、山崎、八幡、長田、岩田、田淵、農土研 27.6
- 4) 成層土壤の降下浸透に関する研究、山崎、研究の資料と記録 6集(東大土地改良研究室)
- 5) 浸潤とそれに続く浸透Ⅱ、田淵、農土研別冊 2号
- 6) 台地水田の降下浸透 山崎、八幡、田淵、農土研 28.3

1) 5号の印刷にすぐとりかゝり、2月中に発行できるようにする。

2) 6号の内容は、深耕問題を中心とし、7人の方に原稿を依頼する。締切は2月末日とし、編集委員会を3月1日に開いていただき、3月中に6号を印刷、発行する。

3) シンポジウムについては、準備が不十分であるので、10月頃開催することにし、テーマならびに正式な日時は、4月の評議委員会で決定していただく。

3) 松尾庶務幹事の転任にともない、4月まで美園評議員に代理をしていただく。

以上

評議員氏名

錦木豪夫、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 会計報告

昭和36年2月1日以降～37年1月31日現在

収入の部		
会費		69,900
広告料		10,000
賛助会費		9,000
寄附		19,000
雑収入		17,800
繰越金		19,959
合計		145,659

支出の部		
4号誌印刷代		50,000
通信発送費		6,276
文房具費		1,569
編集委員会費		2,961
討論会費		7,075
評議員会費		1,200
幹事会費		1,974
幹事手当		2,000
雑費		7,300
合計		80,355
差引残額	=	65,304

土壤物理性 第5号

(会員配布)

1962年2月 日発行

発行 土壤物理研究会

東京都北区西ヶ原農業技術研究所化学部内

印刷 東京工芸社

東京都千代田区西神田2-13

TEL (332)4561