

Soil Physical Condions and Plant Growth, Japan

土壤の物理性

第3号

水田の透水性特集号

昭和35年9月

論 説

風蝕について 国分欣一 1

資 料

水田土壤の透水性について 松尾英俊・佐藤雄夫 3

水田の減水深, 浸透量 山崎不二夫 9

水田減水深についての一考察 椎名乾治 14

火山灰水田における減水深 本谷耕一 19

解 説

テンシオメーターについての覚え書き 竹中 肇 21

報 文

耐水性構造及び仮比重の時期的変化と受蝕性に及ぼす影響

風蝕に関する土壤肥料科学的研究(第4報) 国分欣一・根本清一 23

土壤水分条件がカリの有効性に及ぼす影響 木下 彰・布来秀夫 26

傾斜地の水分勾配について 箱石 正 30

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

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 100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 10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

土壌の物理性投稿規定

- (1) 投稿は本会会員に限る。ただし共著者の場合又は編集委員会が依頼した場合はこの限りでない。
 - (2) 原稿の採否は編集委員会が決定する。編集委員会は要すれば文章の加除修正を行う。ただし内容にわたるものについてはこれを著者に依頼することがある。
 - (3) 投稿には400字詰横書きの原稿用紙を用い、用語、図表等は関係学術雑誌の規定にならつて執筆すること。枚数は20枚程度(刷り上り4頁)を一応の規準とする。
 - (4) 投稿は以下に示す種別にしたがい、その内容は土壌の物理性に主体をおくものとする。
- 〔報文〕他誌に未発表のものに限る。書き方は方法、結

果、考察ならびに総括(摘要)の体裁をとり、引用を明かにし、かつ欧文要旨をつけることが望ましい。

〔論説・綜説〕土壌の物理性に主眼をおき、広い視野に立つて記述したもの。

〔資料〕既に発表した報文又は発表予定の内容を各分野の参考資料となるよう書き改めたもの。

〔解説〕物理性に関する諸事項の理解を計るための平易な解説ならびに研究技術の普及交換を進めるための紹介を含む。

(5) 原稿には下記形式の送状をつける。報文のみ初刷りは著者校正とし、印刷ずみの原稿は返さない。

発送年月日	受付年月日
種 別	原 稿 枚 数
表 題	図 表 数
著 者 名	写 真 数
所 属	別 刷 部 十 部

(6) 別刷は報文50部、その他20部を著者に贈呈する。それ以上希望する場合は実費を申し受ける。

附記：投稿及び会誌編集に関する通信は下記あてのこと
東京都北区西ヶ原 農業技術研究所化学部内
土壌物理研究会編集委員会

昭和35年度第1回評議員会議事録

4月3日 於東京駒込香川栄養短大

出席評議員 今井富藏 吉良芳夫 藤堂識 松尾英俊
美園繁 山中金次郎 以上6名

- (1) 研究討論会の件：土壌肥料学会関東支部大会の前に農技研(西ヶ原)で開く。テーマは会員へのアンケートを基にして決める。第3回研究討論会は来年4月学会の時期に東京で開く。
- (2) 編集委員会の件：編集委員会を設け、メンバーは農技研西ヶ原2、同平塚1、関東東山農試鴻巣2、東大1とする。編集については編集委員会の判断を尊重するが特に重要な問題は評議員会でとり上げる。
- (3) 会誌の性格について：当分講座的、解説的なもの続ける必要がある。又内容体裁が固すぎないような配慮も必要である。次号は研究討論会の資料として役立つ特集とする。
- (4) 松井会員(資源研)の質問書の件：投稿が会誌第2号に掲載されなかつた点に関するものがあるが、これは世話人会内で採否の意見が一致を見なかつたからである。松井氏にこの旨を伝え、今後は編集委員会の討議に委ねる。

第 2 号 正 誤 表

頁	行	誤	正	頁	行	誤	正
28	左上 1	分散状態	分散状態	28	左上 1	分散状態	分散状態
28	左下 11	昨年 7 月	昨年 (1958 年) 7 月	28	左下 11	昨年 7 月	昨年 (1958 年) 7 月
"	" 9	芸農化学科	農芸化学科	"	" 9	芸農化学科	農芸化学科
"	" 4	The stucture	The structure	"	" 4	The stucture	The structure
"	" 3	inorganic soil	inorganic soils	"	" 3	inorganic soil	inorganic soils
29	左上 16	(d)	(b)	29	左上 16	(d)	(b)
"	" 18	(C)	(c)	"	" 18	(C)	(c)
"	左下 3	安定 (stability) 性	安定性 (stability)	"	左下 3	安定 (stability) 性	安定性 (stability)
"	右上 8	(a),(d)(C)	(a)(b)(c)	"	右上 8	(a),(d)(C)	(a)(b)(c)
"	" 9	(C)	(c)	"	" 9	(C)	(c)
"	第 1 図	第 1 回	第 1 図	"	第 1 図	第 1 回	第 1 図
30	左下 8	547	574	30	左下 8	547	574
"	右上 11, 14, 17, 20	Krumel	Krümel	"	右上 11, 14, 17, 20	Krumel	Krümel
"	" 13	crumb stru	crumb stru-	"	" 13	crumb stru	crumb stru-
"	第 2 図	krümel	Krümel	"	第 2 図	krümel	Krümel
"	"	Pseudokrüwel	Pseudokrümel	"	"	Pseudokrüwel	Pseudokrümel
31	左上 1, 2	第 2 図……………	30 頁右下 1 へ	31	左上 1, 2	第 2 図……………	30 頁右下 1 へ
"	左上 2	kullmann	Kullmann	"	左上 2	kullmann	Kullmann
"	左下 10	Deboodt	De Boodt	"	左下 10	Deboodt	De Boodt
"	" 10	粒団	粒団	"	" 10	粒団	粒団
"	左下 5	未耕地よりも既耕地	未耕地よりも既耕地	"	左下 5	未耕地よりも既耕地	未耕地よりも既耕地
"	右上 15	8. 土壌構造は	8. 土壌構造を	"	右上 15	8. 土壌構造は	8. 土壌構造を
"	右下 9	京大農芸学実験書	京大農芸化学実験書	"	右下 9	京大農芸学実験書	京大農芸化学実験書
"	" 4	農林省土壌肥料全編	農林省：土壌肥料全編	"	" 4	農林省土壌肥料全編	農林省：土壌肥料全編
32	左上 21	粒団の抵抗力	粒団の抵抗力	32	左上 21	粒団の抵抗力	粒団の抵抗力
"	左下 18	Gish ら ¹¹⁾ ; 米田・河内 ¹²⁾	Gish ら ¹¹⁾ ; 米田・河内 ¹²⁾	"	左下 18	Gish ら ¹¹⁾ ; 米田・河内 ¹²⁾	Gish ら ¹¹⁾ ; 米田・河内 ¹²⁾
"	" 13	粒団の抵抗力	粒団の抵抗力	"	" 13	粒団の抵抗力	粒団の抵抗力
"	右上 4	つぎのようぢ方法	つぎのような方法	"	右上 4	つぎのようぢ方法	つぎのような方法
"	" 15	fulk sample	bulk sample	"	" 15	fulk sample	bulk sample
"	" 16	孔ゲキ量	孔ゲキ量	"	" 16	孔ゲキ量	孔ゲキ量
"	右文献 1)	Profleme, Krumelbildung Akadem e, 7~33	Probleme, Krümelbildung Akademie, 7~38	"	右文献 1)	Profleme, Krumelbildung Akadem e, 7~33	Probleme, Krümelbildung Akademie, 7~38
"	" 6)	Reports Vith Jnt. Cong. Soil Sci., Vol, B 69 (1956)	Trans. VIth Int. Cong. Soil Sci., Vol. B, 95 (1956)	"	" 6)	Reports Vith Jnt. Cong. Soil Sci., Vol, B 69 (1956)	Trans. VIth Int. Cong. Soil Sci., Vol. B, 95 (1956)
"	右文献 17)	6, 160 (1955)	6, 160 (1955)	"	右文献 17)	6, 160 (1955)	6, 160 (1955)
"	" 18)	47, 247, 286	47, 237, 286	"	" 18)	47, 247, 286	47, 237, 286
"	" 20)	29, 338	29, 337	"	" 20)	29, 338	29, 337
"	第 3 図	耗土層, 様式図	耕土層, 模式図	"	第 3 図	耗土層, 様式図	耕土層, 模式図
41	左下 8	黒島	黒島	41	左下 8	黒島	黒島
"	右下 20	山本洋次	山本洋久	"	右下 20	山本洋次	山本洋久
1	下 7	八幡俊雄	八幡敏雄	1	下 7	八幡俊雄	八幡敏雄
第 4 条	本会の会費は	本会の会員は	第 4 条	本会の会費は	本会の会員は	第 4 条	本会の会費は
1	左下 7	作用の生育	作物の生育	1	左下 7	作用の生育	作物の生育
2	左上 9	Nichos	Nicho.s	2	左上 9	Nichos	Nicho.s
3	左上 15	Keen of Haines	Keen & Haines	3	左上 15	Keen of Haines	Keen & Haines
"	左下 13	Constaut	Constant	"	左下 13	Constaut	Constant
"	右下 18	Stndies	Studies	"	右下 18	Stndies	Studies
8	左下 6	考こる	考える	8	左下 6	考こる	考える
"	右下 15	Shöne	Schöne	"	右下 15	Shöne	Schöne
"	" 1	分布曲線	分布曲線法	"	" 1	分布曲線	分布曲線法
9	左上 6	見らた事	見られた事	9	左上 6	見らた事	見られた事
"	" 14	粒径分布法	粒径分布曲線法	"	" 14	粒径分布法	粒径分布曲線法
10	右上 7	ピペット は	ピペット法は	10	右上 7	ピペット は	ピペット法は
11	右上 10	ある程の	ある種の	11	右上 10	ある程の	ある種の
"	右下 16	PO ₃ ⁻¹	PO ₃ ⁻¹	"	右下 16	PO ₃ ⁻¹	PO ₃ ⁻¹
12	左文献 8)	Fishre	Fisher	12	左文献 8)	Fishre	Fisher
"	"	by of the auto-matic	by the automatic	"	"	by of the auto-matic	by the automatic
21	上 2	八幡俊雄	八幡敏雄	21	上 2	八幡俊雄	八幡敏雄
"	右上 13	Darcy	Darcy	"	右上 13	Darcy	Darcy
"	" 14	permeability	permeability	"	" 14	permeability	permeability
"	" 19	kcc/sec	kcm/sec	"	" 19	kcc/sec	kcm/sec
"	右下 2	いただきたい	いただきたい	"	右下 2	いただきたい	いただきたい
22	左下 15	すれば便利	すれば便利	22	左下 15	すれば便利	すれば便利
"	右下 19	(回ごとにパイプ	(1 回ごとにパイプ	"	右下 19	(回ごとにパイプ	(1 回ごとにパイプ
"	" 14	cm ならば	cm ならば 0.2 cm ²	"	" 14	cm ならば	cm ならば 0.2 cm ²
"	" 8	kcm/sec	kcm/sec	"	" 8	kcm/sec	kcm/sec
"	" 8	log ₁₀ $\frac{h_1 \text{ cm}}{h_2 \text{ cm}}$	log ₁₀ $\frac{h_1 \text{ cm}}{h_2 \text{ cm}}$	"	" 8	log ₁₀ $\frac{h_1 \text{ cm}}{h_2 \text{ cm}}$	log ₁₀ $\frac{h_1 \text{ cm}}{h_2 \text{ cm}}$
"	" 7	こうした,	こうして,	"	" 7	こうした,	こうして,
23	左下 2	円筒皿にのせ	円筒を皿にのせ	23	左下 2	円筒皿にのせ	円筒を皿にのせ
"	右上 11	こうすれば	こうすれば	"	右上 11	こうすれば	こうすれば
"	右下 13	経験けん	経験	"	右下 13	経験けん	経験
24	左下 8	針入度および	針入度および	24	左下 8	針入度および	針入度および
"	右下 5	ピペット法にて	ピペット法にて	"	右下 5	ピペット法にて	ピペット法にて
25	左上 10	粒団化度は	粒団化度を	25	左上 10	粒団化度は	粒団化度を
"	" 11	算出法を	算出法は	"	" 11	算出法を	算出法は
"	右上 11	再分数が	再分数が	"	右上 11	再分数が	再分数が
26	左上 1	指標としている	指標としている。	26	左上 1	指標としている	指標としている。
"	" 3	筆者 ^{13,14)} は	筆者 ^{13,14)} は	"	" 3	筆者 ^{13,14)} は	筆者 ^{13,14)} は
"	" 15	先端を	先端を	"	" 15	先端を	先端を
"	左下 7	長さ 1 cm	長さ 1 cm	"	左下 7	長さ 1 cm	長さ 1 cm
"	" 5	水分を量定し	水分を量定し	"	" 5	水分を量定し	水分を量定し
"	右下 12	荷重の数	荷重の kg 数	"	右下 12	荷重の数	荷重の kg 数
"	左下 13	十練塑して	十分練塑して	"	左下 13	十練塑して	十分練塑して
"	" 10	を 2 分にする	を 2 分する	"	" 10	を 2 分にする	を 2 分する
"	右下 9	連結度の方,	連結度の方	"	右下 9	連結度の方,	連結度の方

風 蝕 に つ い て

国 分 欣 一 *

1. は し が き

土壌侵蝕はその原因によつて水蝕と風蝕に大別されるが、問題が普遍的であることから水蝕に対する一般の関心も深く、研究も戦後特に大きな巾をもつて展開された。

風蝕の被害地は気象や地形条件などから地域及び時期も限定されているために一般に関心もうすく、対策なども深く追求されていない現状である。

夏の台風による風害は規模も被害の程度も後者とは比較にならない程大きい、冬の季節風による風蝕は比較的小範囲で被害の進行も緩慢なことが多く、数回又は一冬を過ぎて被害に気付くこともある。

風蝕は土壌の移動すなわち飛散堆積を意味し、概念的には風の作物に対する直接の害（折損、萎凋など）とは区別されてよいだろう。

2. 受蝕性と土壌の性質との関係

風蝕をおこす原因には直接、間接の種々の条件が加わるが直接的な土壌の要因として CHEPIL¹⁾ は表土の dry aggregate 構造をあげている。風蝕は乾燥時におこり又は降雨後であつても風が吹き出すと乾燥が早いところにおこる。

逆に畑灌漑設備の整備されている所では水を与えて防止するという考え方も成立つが、実際には風蝕をおこす時期は冬期なので凍上、霜柱などによる作物への悪影響が大きいようである²⁾。

風蝕と土壌の性質との関係については、前田³⁾ は仙台市の調査において、風蝕地と同様に強力な季節風にさらされ乍ら、第3紀層の頁岩丘陵地の畑が被害を受けないことから土壌条件が関係することを認めている。

表土の dry aggregate 構造は凝集力に関係するが、二次的要因として土壌の理化学性が問題になり、さらに CHEPIL は次の7項目をあげている。

(1)土性 (2)耐水性構造 (3) 有機物、バクテリア、菌類などの種々の分解生産物 (4)土壌水分と降雨の影響 (5)炭酸石灰 (6)水溶性塩類 (7)コロイドの性質
土性についてはカンサス、ネブラスカの土壌について機械的組成、水分当量と風洞内の受蝕量との関係につい

て検討し、粘土含量27%、水分当量23%のときが最低の受蝕量を示したという。耐水性構造⁴⁾ については dry aggregate 構造との関係について取扱っているが、0.42 mm 以上と0.02mm以下の耐水性粒子は dry aggregate を増し受蝕性を減ずるとしている。又冬期の凍結によつて0.84 mm 以上の aggregate は破壊され0.02mm 以下の粒子は結合して中間的な粒径となるためにかえつて受蝕性を増すという。この粒径は或程度任意的なもので厳密な限界ではない。

石灰の影響については土壌及び添加量によつても差があり、腐植に対する働きが加わつて実験の結果は区々である。多くの土壌では炭酸石灰3%以下の添加量では clod を減少し、受蝕性を増すという。さらに石灰と有機物の多量併用の場合には受蝕性を増したという⁵⁾。関東地方の受蝕性土壌と耐蝕性土壌の固結度に対する石灰添加の影響は土壌及び添加量によつて異つている⁶⁾。

有機物添加の影響についても大団粒の破壊、0.02mm 以下の粒子の減少から受蝕性を増すとしている⁷⁾。0.05 ~0.5mm粒子は BAGNOLD による saltation⁸⁾ により運ばれる範囲で最も風蝕を受け易い粒径といわれている。

堆肥、石灰の問題は肥沃度とも関連しているので別な角度からも併せて検討する必要がある。

関東地方の受蝕性土壌とこれに近接する耐蝕性土壌を比較して、顕著な差異の認められるものは現地の自然状態の仮比重は耐蝕性土壌が大きく、又石灰飽和度が大きい。

膠質物の質的差異が見られ、耐蝕性土壌は TYULIN 法による G₁含量大きく、等電点の pH 低く、粘土の珪礫比大である⁹⁾。

このように膠質物の差異が明確で土塊の機械的安定性及び固結度にあらわれる。さらにこれらの内容と機能について追求する必要がある。

3. 風蝕の被害と防止対策

風蝕の直接の被害は土砂の飛散堆積による作物体の埋没或いは根の露出など一見して明瞭であるが、表土の土性及び肥沃度の変動を知ることは土壌保全の対策上重要である。

* 関東東山農試 昭和35年7月8日受理

その実態を調査した報告の二、三を紹介すると、DANIEL は U. S. A. の南部高原地方では風蝕の結果、堆積土は未墾地表面よりも silt 及び clay が 37.8% 少く、sand 29.3% 多くなっていることを知った。又有機物は 24.5% N 28.0% の減少を示した。そして風蝕の繰返しによつて最初の土性の如何に拘らず砂地になるという。

1950年3月の東部及び中央カンサスにおいて起つた風蝕の原因及び結果の CHEPIL¹²⁾らの報告によると、第一の理由として被覆作物の不足をあげている。1エーカー当り 1ton 以上の作物又は作物残渣のあるところは被害を受けなかつたという。又受蝕地は特定の土性や耐水性構造又は有機物含量には限定されなかつた。堆積土中には受蝕圃場の4分の3の土壌量が残り、残余は 0.1mm 以下の dust となつて大気中に失われたものと推定している。レス土壌では表土全部が除去され、土性の変動はなく、砂岩を母材とする土壌では篩別作用が行われて表土は砂質になつた。

又風蝕に関係あることを予想される土壌の性質として (1)有機物 (2)機械的組成 (3)耐水性構造 (4)dry aggregate 構造 (5)作物の量又は残渣 (6)風洞における受蝕性の比較を行つている。風蝕を受けた土壌と受けない土壌の間に有機物含量には一定の傾向なく、堆積土が原表土よりも砂が多いのは風蝕の結果であり、原因でないことを示している。又堆積土は 0.05mm 以下の耐水性粒子が極めて少くなり、0.05~0.5mm の粒子を多く含んでいた。

1954年春の風蝕についての調査の結果は応急処置として、深溝の効果をあげている¹³⁾。これも飛土によつてはもはや土性を変化しないような砂地に対してである。普通の畑においては silt, clay と腐植の減少を来して肥沃度の低下は防止しえないであろう。

那須野ヶ原における防風林下の溝の堆積土についても次の如く粗砂を増し、silt 及び clay を減少し、T-C も減少している。

土 壌	粗 砂 2~ 0.2mm	細 砂 0.2~ 0.02mm	微 砂 0.02~ 0.002mm	粘 土 <0.002mm	T-C (%)
防風林下堆積土	30.4	46.0	12.3	11.4	4.47
溝 堆 積 土	24.6	53.2	10.1	12.2	4.05
畑 表 土	17.2	50.6	17.1	15.1	7.13

飛土を捕捉するよりも飛土をおこさない対策がより重要である。

従来風蝕防止の方法としてとられて来た方法は防風林、防風垣による風の減殺のみと云つても過言ではない。農家自体で出来る方法としてその外に栽培法によるも

の、例えば畦の方向とか前作の刈株を利用することなどが行われているが根本的な対策には程遠い。

土壌の性質と受蝕性との関係の研究が進み、風蝕に関与する土壌条件が明かになれば自ら防止対策も生れて来る筈である。

先に述べたように表土の dry aggregate 構造が直接的要因であるが、二次的因子として何が本質的なものかを洗い出す必要があろう。現在の所 colloid の質的なものが最も単的に関係していると思われる。耐蝕性土壌と受蝕性土壌を比較すると、2において述べたような性質の差異があり前者の粘土は kaolin 鉱物を主体とし、後者の粘土は allophane を主体とし、等電点の pH 高く簗土質である。

dry aggregate 構造に関係をもつ土塊の機械的安定性(土塊の衝撃 impact 及び磨滅 abrasion に対する抵抗力)と固結度、連結度について見ると G₂ を分離すると甚しく低下をし、一方ベントナイトのような膨脹格子型の粘土を加えて乾燥すると顕著に増大する。

したがつて客土などによる膠質部分の質的改良が一つの対策として成立し、今後の課題として一つの目標になるであろう。

次に作付体系とも関連するが、火山灰土地帯における畑の水田化は珪酸の富化、等電点の pH の低下をもたらして、固結度を増大し受蝕軽減の方向にある¹⁴⁾¹⁵⁾。同時に畑作物の生産力を増す可能性がある。

4. 受蝕性の推定と簡易判別法

土壌の性質と受蝕性との関係を追求するためにも、風蝕防止の具体的対策をたてるためにも受蝕性を比較し又は推定することが必要である。そのために風洞実験が行われ、受蝕性を比較する「ものさし」の役目をもっている。CHEPIL¹⁶⁾は受蝕性推定の方法として二つの方法を提案している。一つは乾式篩別と仮比重からの推定であり、

他の方法は受蝕性部分の equivalent-diameter を基礎として行われた。

関東地方の土壌について行われた結果では比重を加味した粒径の mean weight-diameter の値と風洞内の飛土開始風速との相関係数は 0.8 でかなり高かつた¹⁷⁾。

風洞内の受蝕量と dry clod の粒径分布との関係はよく一致するようであるが、現在の dry clod 自体或程度の中をもつたものである。

実際の耕地においては dry clod の構造の外の条件が加わるし、又受蝕性推定の方法としてもさらに簡便な方法

法が要求される。

先づ風蝕に係る条件として加わるものは地表面の粗さ (roughness) と作物残留物 (crop residue) である¹⁶⁾。これらは測定又は推定することが出来る。又勿論他の要素例えば地形、家屋その他の遮蔽物などがあるが、それらは適確に測定する方法はない。

5. あとがき

風蝕の問題は現象としては物理的問題であるが、その原因及び防止対策について追求して行くには物理並びに化学の両面あるいはその接点とも云うべき相互関係について取扱う必要がある。当然膠質学の応援もえなければならぬ。

したがってその関係する分野も広く、多角的に研究が進められてはじめて成果を得ることが出来るのではなからうか。

又究極の目的は農業である限り生産力の増大にある。すなわち耐蝕性を増大する土壌改良の方向が生産力の増強と一致する必要がある。その点膠質物の質的転換の方向が礫土質土壌より珪酸質へという点で一致点が見出されている。

文 献

- 1) CHEPIL, W. S. : *Soil Sci.*, 75, 473~483 (1953)
- 2) 長谷川・森田・中川：関東東山農試研究報告 8号, 92~103 (1955)
- 3) 前田：土壌侵蝕に関する研究集録II, 168~175 (1953)

資 料

水田土壌の透水性について

松尾 英俊*・佐藤 雄夫*

水田土壌の透水性に関して、現在までにまとまっている成績の概要を述べることにする。

1. 測定方法とその検討

1) 透水係数の測定方法

現地土壌の構造を破損しないように試料を採集するために、採土器ならびに採土円筒を製作した。円筒の大きさは直径7.5cm, 高さ7.5cmである。

透水係数は第1図に示すような装置で、定水位法によ

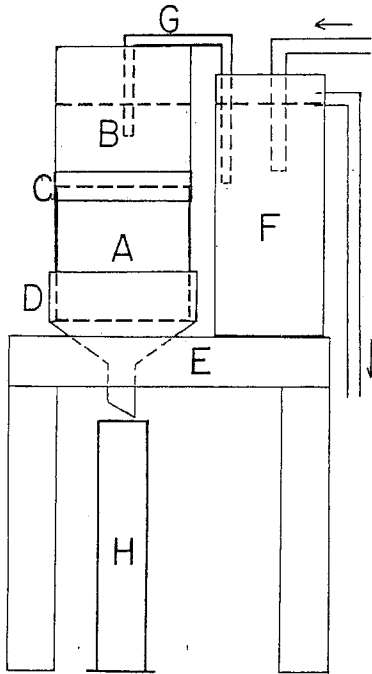
- 4) CHEPIL, W. S. : *Soil Sci.*, 55, 275~287 (1943), 76, 387~399 (1953), *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 18, 13~16 (1954)
- 5) CHEPIL, W. S. : *Soil Sci.*, 77, 473~480 (1954)
- 6) 国分・板川：土肥誌講要集, 3集 (1957)
- 7) CHEPIL, W. S. : *Soil Sci.*, 80, 413~421 (1955)
- 8) RUSSELL, E. J. : *Soil Conditions and Plant Growth*, 8th. Ed. 568~570 (1950)
- 9) 国分・板川・根本：関東東山農試研究報告10号, 107~113 (1957)
- 10) DANIEL, H. A. and LANGHAM, W. H. : *J. Am. Soc. Agron.*, 28, 587~596 (1936)
- 11) DANIEL, H. A. : *ibid.*, 28, 570~580 (1936)
- 12) CHEPIL, W. S. and ENGLEHORN, C. L. : Report on causes and effects on wind erosion in east-central Kansas in march (1950)
- 13) CHEPIL, W. S. and WOODRAFF, N. P. : How to reduce dust storms (1955)
- 14) 小林・品川：土肥講要集, 4集, 46 (1958)
- 15) 国分・板川・根本：土肥講要集, 6集, 78 (1960)
- 16) CHEPIL, W. S. : *Soil, Sci.*, 72, 387~401 (1951)
- 17) 国分・板川・根本：土肥誌, 30, 401~404 (1959)
- 18) CHEPIL, W. S. and WOODRAFF, N. P. : *J. Soil and Water Conservation*, 9, No6 (1954)

つて測定を行つている。この装置は5個の土壌試料を同時に測定できる規模で、木製の支持台、ブリキ製水槽、ガラス曲管のサイフォン、試料円筒を支えると共に通過した水を捕集するためのブフナーロート、および滴下する透過水量を計測するためのメスシリンダーなどの5部分から成つている。

土壌試料の入つた円筒をブフナーロートの底板まで静かに挿入し、ロートを支持台にのせる。試料円筒の上に別の空の円筒を重ね両円筒の境界をビニールテープで巻き、さらにテープの継ぎ目はパラフィンで封じてこの部

*九州農業試験場 昭和35年7月4日受理

分からの漏水を防止する。次に円筒内土壌の上に若干量の水を入れ、一定水位に保持されている水槽とサイフォンで連結して円筒内の水位を定水位とする。水が土壌柱



第 1 図 透水係数測定装置

A: 供試土壌の入った円筒, B: 空の円筒, C: ピエゾメーター, D: プフナーポート, E: 台, F: 水槽, G: サイフォン, H: メスシリンダー

を通過してポートの下端から滴下し始め、この滴下速度が一定に達した後、今までに捕集した水を棄てて、その時より時間と水量の計測を行う。この際水温を同時に記録しておく。このようにして得られた計測値より次の式^{2,3)}を用いて 20°C 基準で透水係数を算出する。

$$P = \frac{QL\eta_t}{ATH\eta_{20}}$$

ここでP: 透水係数 (cm/day), Q: 滲透水量 (cm³), L: 土壌柱の長さ (cm), A: 土壌柱の横断面積 (cm²), T: 滲透水量がQに達するまでに要した時間 (day), H: 水面から土壌下端までの水頭差 (cm), η_t : 測定時の水温 t°C における水の粘性係数 (dyne·sec/cm²), η_{20} : 20°C における水の粘性係数 (dyne·sec/cm²) である。透水係数の単位は水田土壌に対する実用的見地から cm/day 又は mm/day が便利なので両者のいずれかを用いることにした。

2) 湛水期間と落水期間の透水性の比較

湿田以外の水田土壌は一般に湛水と落水(乾燥)が連年交互にくり返されている。湛水と落水の交代は土壌の

物理性に大きな影響を与えるので、水田土壌の透水性も湛水期間と落水期間とでは、かなりの変化があることが予想された。両期間における透水性の変異の割合を知り、透水係数測定の時期を決定するために、乾田地帯の水田から落水期間(3日)と湛水期間(9日)に同一水田、同一層位の試料を採集して透水係数の測定を行い、これを第1表に示した。採集した層位はいずれも鋤床以下の層であつたが、落水期間の値は湛水期間の値の数倍から100倍以上となっている。この差違の大きさの程度は粘土含量の多い乾燥収縮の大きな土壌程大きい傾向にあり、湛水期間中に測定された係数の値の大きさの順位と、落水期間中に測定された値の順位の間には何等の相

第 1 表 同一土壌における湛水期と落水期の透水係数 mm/day

土 壌 名	湛 水 期	乾 田 期
長 田 LFS	97	609
矢 部 FSL	97	844
溝 口 SL	58	882
八 女 L	17	1499
羽 犬 塚 CL	317	—*

* 流速が速過ぎて計測不能

関がないようであつた。尙作土層の土壌は、湛水、落水による物理的性状の変化が最大のものと考えられ、この層位の透水性の変異を当然表示すべきであつたが、落水期間中は作土層に大きな割目が多数生成されており、供試水はこの割目を通つて急速度で流下し一定値を示すに至らないので透水係数を計測することが困難であつた。従つて作土層の透水係数の数値を示すことを見合せたが、実際には下層土以上に顕著な差違を示すものとして差支えない。

以上のことから水田土壌の透水性の測定はすべて湛水期間中の試料について行うことに定めた。

3) 透水係数と日滲透量の比較

上記の方法で得られる透水係数の値が、現地水田の日滲透量と比較する場合にどのような意義をもつかについて検討を行った。九州農試内圃場を供試し、透水係数の

第 2 表 同一土壌の日滲透量と透水係数

日 滲 透 量	透 水 係 数		
	mm/day	採 土 日	mm/day
観測期間			
7月中旬	4.8	7月11日	4.2
7月下旬	7.0	7月30日	6.2
8月上旬	6.2	—	—

測定を行うと共に、同試験区内に無底箱および有底箱を設置し、この中に水稻を栽培して $\frac{1}{10}$ 傾斜の目盛つきガラス管⁴⁾を用いて、1日毎の減水量を読み取ることによって減水深および葉・水面蒸発量を観測し、両者の差から土壌中への滲透量を算出した。透水係数の測定は、この水田の各層位の中で最も透水不良な作土層から数点ずつ採取した試料について行つてこれを平均し、日滲透量は7月中旬から1ヶ月にわたつて毎日計測して10日間毎の平均値を第2表にかかげた。尙この水田の地下水位はその当時15cm程度土壌表面より下で、灌排水溝の水位の変化により多少上下したようであつた。又同様な実験を八代砂土についても行つたが、この場合は地区内の透水係数の平均は191.6mm/dayであつたのに対して、日滲透量は-0.5mm/dayであり、湧出量が滲透量を上廻る結果となつた。尙この水田の地下水位は地表面よりやや上であつた。

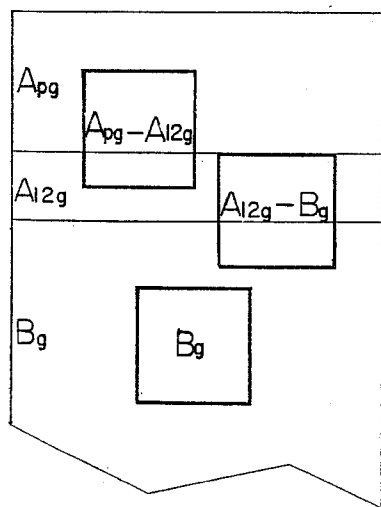
以上のように透水係数と日滲透量の関係は地下水位が極端に高い場合には不明瞭であるが、地下水位の影響が滲透量に強く反映しない範囲の場合には、透水係数の値と日滲透量の値がかなりよく一致することを認めた。

2. 現地土壌の透水性

現地水田の透水性の実態を把握するために、1956年の灌水期間中(9日)に数多くの水田の現地調査を行い、層位別ならびに土性別に検討を加えた。又同一水田土壌について透水性の時期的変化についても調査した。

1) 採土した土壌の層位とその意義

水田土壌の物理的性質は層位によつて土性、構造、組織その他が同一でない場合が多い。このような諸性質の



第2図 試料の採取位置

違いは透水性の面にも影響していることが予想され、又各層位の中で最も低い透水性をもつ層位がその水田の透水性を支配し代表するものと考えられる。このような層位は、水田土壌では経験的に鋤床附近に介在していると理解されているので、本調査においては鋤床を中心とした3つの層位を第2図のように区分して3種の試料を採取することにした。これら3種の試料の透水係数を相互に比較することによつて、各層位の透水係数の近似値を推定することができる。たとえば第3表の長田LFSの場合、試料Apg-A_{12g}の方が試料A_{12g}-Bgにくらべて透水係数が低くなつてゐるが、この事実は試料Apg-A_{12g}の作土部分が示す透水性によつてこの試料全体の透水性が支配されていると考えることが可能であり、この試料が表わす透水係数は作土層のそれに近い値であるとみなすことが出来る。同様に試料A_{12g}-Bgの透水係数の値が試料Bgのそれより低い時には、この値は鋤床層の透水係数に近い値とみなすことが出来る。

2) 透水係数の層位別変化について

透水係数の値を各水田について層位毎に比較してみると、大部分の水田が層位の変化によつて非常に違つた値を示している。採集した3層部の中で最も透水不良な層

第3表 現地土壌の透水係数、孔隙率、粘土含量

土 壤 名	層 位	透水係数 mm/day	孔隙率 %	粘 土 層位 %
長田 L F S	Apg-A _{12g}	27.5	53.4	Apg 14.6
	A _{12g} -Bg	96.6	52.8	A _{12g} 14.5
	Bg	104.0	51.4	Bg 16.9
矢部 F S L	Apg-A _{12g}	11.3	50.8	Apg 11.8
	A _{12g} -B _{1g}	97.3	50.5	A _{12g} 13.3
	B _{1g}	175.8	49.3	B _{1g} 13.4
溝口 S L	Apg-A _{12g}	2.5	56.8	Apg 19.9
	A _{12g} -Bg	57.6	52.9	A _{12g} 20.1
	Bg	101.6	54.2	Bg 18.4
八 女 L	Apg-A _{12g}	10.2	54.8	Apg 22.7
	A _{12g} -Bg	16.9	47.6	A _{12g} 20.4
	Bg	114.5	46.0	Bg 20.2
羽犬塚 C L	Apg-A _{12g}	2.2	57.7	Apg 27.0
	A _{12g} -Bg	624.1	51.3	A _{12g} 26.3
	Bg	2795.5	52.2	Bg 27.9
両 開 C L	Apg-A _{12g}	1.3	61.1	Apg 31.8
	A _{12g} -Bg	27.4	55.8	A _{12g} 32.8
	Bg	70.6	61.2	Bg 43.1
木室 S i C	Apg-A _{12g}	0.3	60.7	Apg 39.4
	A _{12g} -Bm	1.2	54.6	A _{12g} 40.9
	Bm	39.9	54.2	Bm 43.0
三 瀧 S i L	Apg-Dg	0.1	63.1	Apg 42.3
	Dg	40.1	58.6	Dg 59.8
	Dg	54.4	65.1	—

位のあり方は、各地点の土壤条件によつて一様ではなかつた。

第3表には乾田地帯の水田の透水係数が示されているが、乾田地帯の水田においては、作土層が下層土よりも透水不良となっている。乾田地帯は落水期間中に土壤が良く乾燥して相当な深さまで亀裂が入り、この亀裂が新しい水の通路を形成する。この事実は前述した落水期間と湛水期間の透水性の比較によつて明らかである。しかし作土層は田植前の耕うんあるいは代かき、その他の作業によつて、落水期間中に生成した亀裂や大孔隙は極端な破壊をうけて無構造に近い状態となり、この層位の透水性は著しく減退するものと考えられる。

第4表 現地土壤の透水係数、孔隙率、粘土含量

土 壤 名	層 位	透水係数 mm/day	孔隙率 %	粘 土 層 位 %
八 代 S	Apg-A ₁₂ G	159.3	46.6	Apg 5.2
	A ₁₂ G-G	522.0	43.1	A ₁₂ G 4.7
	G	—	—	G 3.1
昭 和 SL	Apg-A ₁₂ G	19.6	55.3	Apg 9.2
	A ₁₂ G-BG	2.9	45.9	A ₁₂ G 9.2
	BG	8.8	39.6	BG 8.1
文 政 SL	Apg-A ₁₂ G	3.4	52.8	Apg 11.4
	A ₁₂ G-BG	0.9	43.3	A ₁₂ G 11.7
	BG	223.8	41.9	BG 8.7
千 丁 CL	Apg-A ₁₂ g	0.7	56.1	Apg 26.8
	A ₁₂ g-Bg	0.0	43.6	A ₁₂ g 24.1
	Bg	102.7	43.9	Bg 31.1
木 佐 木 SiCL	Apg-A ₁₂ g	2.9	62.8	Apg 38.0
	A ₁₂ g-Bm	0.8	55.7	A ₁₂ g 36.6
	Bm-Dg	0.0	63.8	Bm 43.9

第4表は湿田および湿田類似の水田の透水係数と孔隙率を示している。このうち千丁CLと木佐木SiCLは乾田地帯に属するが、冬期間も湛水して「い草」を栽培している水田であつて、冬の期間における乾燥が進行しない点で、湿田と類似しているので特に区別して第4表に示した。湿田の土壤の透水性に関する層位別変化は、乾田土壤と比較すると非常に大きな差違が認められる。八代Sを除く他の4水田では透水性最低の層位が、作土層より下部の層に存在する。このうち昭和、文政、千丁の3土壤は、鋤床が最低の透水係数を示した。これら3土壤の鋤床は組織が特にち密で孔隙率も低く、構造の発達も微弱であつた。木佐木SiCLは前記3土壤と違って、孔隙率は高いが無構造で粘土含量が高く亀裂や大孔隙に乏しいことが透水不良の原因をなすものと思われる。八代Sでは下層土の方が作土層より高い透水係数を示しているが、下層土の透水良好な原因は第3表の乾田土壤の場

合とは質的な差違があるようである。八代Sでの下層土には乾田の場合のような構造の発達は認められず、この場合は機械的組成の差によるものであつて、下層土程粘土などの微細粒子に欠乏していた。

3) 機械的組成との関係

透水性と機械的組成(粘土含量以外は省略)の間の関係は、従来常識的に考えられているような単純なものではなく、機械的組成がほぼ同一でも構造や組織が変わると顕著な差を示していた。この事は前項で述べた透水性の層位別変化でも理解されることであり、同一水田の3層位の機械的組成がほぼ類似している場合でも、各層位の構造や組織に差があれば透水係数の値は著しく異つたものとなつてくる。

成立の条件がほぼ同様であると考えられる作土層の透水性は粒度分布と密接な関係があり、粘土含量に富む土壤程透水係数の値が低くなる、換言すれば、水田作土のように代かきその他の水中作業によつて構造が著しく破壊され無構造に近い土壤の場合には、粘土含量の高い土壤程概して透水不良であると推定することが出来る。

しかしながら、調査した土壤の中には粘土が極めて低い砂質土壤でありながら、透水性が極めて低い土壤も存在していた。昭和SL、文政SLのA₁₂G層の場合がこれであつて、両土壤共構造の発達が微弱で亀裂の生成もなく組織もち密であつた。このように砂質土壤で透水不良になる機構については後述する。

4) 同一水田の層位別、時期別変化について

羽犬塚CLについて1956年の水稻栽培期間中、生育各期にわたつて層位毎に区分して土壤試料を採集し、その透水係数を測定し、その結果を第5表に示した。

透水係数の値を層位別に比較すると、各期共作土層を含んだApgおよびApg-A₁₂gの試料が最低の値を示し、8月22日(中干直後)を除けば個体間の変異は概して少なかつた。A₁₂g-Bgの試料は低い値を示すものから非常に高い値を示すものまであり、個体間の変異も著しい。Bg層の試料はいずれも高い値で個体間変異も大きかつた。この水田の鋤床以下には直径1cm内外の虫の穴が随所に深く貫入しており、又柱構造の発達が顕著で亀裂が多い。これらの事が下層土の状水係数を高くした原因であると共に、採取位置による変動を大きくした理由である。

透水係数の時期的変化は、作土層についてはかなり明瞭であつたが下層土では判然としなかつた。作土部分を含むApg、Apg-A₁₂g試料の透水係数は、湛水して2週間後から中干前までは大きな変化を示さず、中干直後に著しく高い値となり、その後は次第に低い値となり落

第5表 透水係数の層位別、時期別変化
mm/day

月	日	層位	透水係数	月	日	層位	透水係数
7	11	Apg	3.4	8	22	Apg-A ₁₂ g	3.9
		"	5.2			"	15.9
		Apg-A ₁₂ g	3.6			A ₁₂ g-Bg	35.1
		"	6.5			"	18.0
		"	4.1				
		"	2.3				
7	30	A ₁₂ g-Bg	74.3	9	25	Apg	6.0
		"	74.5			"	8.4
		Bg	111.8			Apg-A ₁₂ g	2.2
						"	2.3
						A ₁₂ g-Bg	624.1
7	30	Apg	4.2	10	16	Apg	1.8
		"	10.6			Apg-A ₁₂ g	1.1
		Apg-A ₁₂ g	5.3			"	2.9
		"	4.9			A ₁₂ g-Bg	62.2
8	22	A ₁₂ g-Bg	189.9			"	11.3
		Apg	1335.2				
		"	76.4				
		"	70.1				

水前には最も低い値となつた。中干によつて透水係数が高くなるのは、乾燥によつて土壌が収縮して亀裂が生成し、水の通路が新しく出来たためである。鋤床以下の下層土では試料の採取位置による透水係数の変異が著しいために、透水係数の値を時期的に比較することは困難であつた。3層位の中で作土層が最低の透水性を示すことから、この水田各層を通じての時期別変化は、作土層の透水性の時期別変化によつて支配されることになる。

3. 砂質土壌における透水性の検討

現地調査によつて砂質土壌の中にも極めて透水不良な土壌が存在することを認めたので、人工的に砂質土壌を合成して、砂質土壌における透水性の変化について検討した。

1) 実験方法

粒径の異なる砂土あるいは壤質砂土を海岸や川畔から10種類程採集し、これらの材料を適宜組合せて粒度分布の状態を異にする砂質土壌を多数合成した。合成する際に留意した点は粘土含量を一定にして、粒度分布曲線のピークの位置およびその位置における粒子の量を規則的に変化させたことである。

合成土壌に水を満し、30°C で3日間放置して粘土の吸水を促した後、土壌を攪拌して泥状にする。泥状の土壌を透水性測定円筒に移し、余剰の水が排除されて土壌が自然に沈下するのを待ち、沈下して生じた空所には再び同一土壌を入れる。これらの操作を行う時、空気を排除することと土壌の分級を防ぐことに注意した。かくして円筒内土壌の透水係数を前述の方法で測定する。透水係数測定後の土壌について容積重を測り、孔隙率を算出

した。

2) 粒度分布の変化と透水性

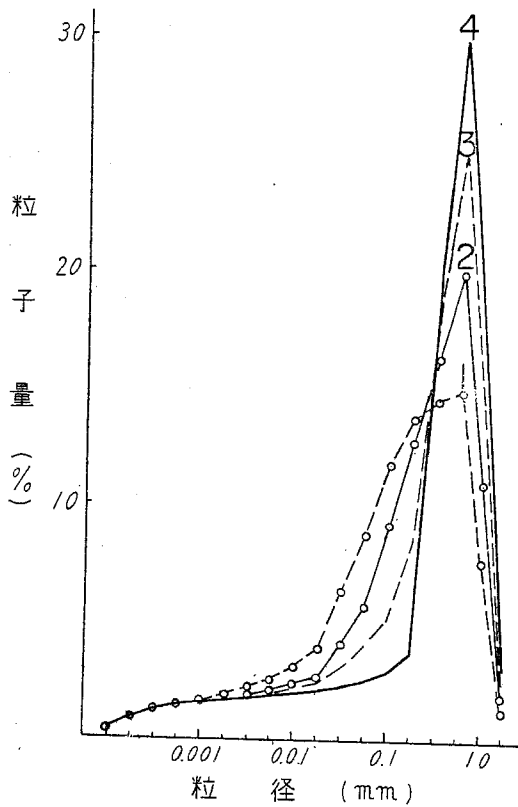
上記の実験によつて得られた透水係数と孔隙率の値を第6表に示した。この表にかかげた土壌を粘土含量、粒度分布曲線のピークの位置、その位置における粒子量の3者によつて分類し、同一系列の土壌群毎に粒度分布曲線を作図し、それぞれの土壌の透水係数と孔隙率を同図の下に併記した。

第6表 合成土壌の透水係数と孔隙率

土壌名	透水係数 mm/day	孔隙率 %	土壌名	透水係数 mm/day	孔隙率 %
1 A-c	82.1	39.6	4 A-b	2.3	45.3
d	59.7	38.0	c	1.4	43.1
e	125.1	38.2	d	2.0	42.5
f	855.4	40.4	4 B-c	3.0	45.9
1 B-c	83.4	41.4	d	2.9	45.5
1 C-c	216.8	44.3	e	2.6	46.5
			4 C-b	8.9	49.3
2 A-c	5.8	39.0	c	4.2	48.1
d	4.5	37.4	d	3.6	48.3
e	14.2	38.2	e	3.4	47.6
2 B-c	13.8	42.8	f	2.6	47.0
2 C-c	32.7	44.5	4 D-c	6.2	50.3
2 D-c	40.4	48.1			
3 A-b	6.7	43.7	5 A-a	2.1	51.4
c	2.5	41.1	b	1.6	50.1
d	2.4	39.4	c	1.4	48.4
e	5.2	40.6	5 B-b	2.0	52.4
3 B-c	5.4	45.5	c	1.9	50.1
3 C-c	14.6	46.2	d	2.0	51.1
d	10.1	45.9	5 C-b	3.2	52.3
e	8.6	46.1	c	2.1	52.0
f	8.3	45.9	d	1.8	51.3
3 D-c	14.8	50.1	e	1.3	50.7
d	28.8	54.3	f	2.0	51.6
			5 D-c	2.5	54.8

土壌名の記号の意味：1, 2, 3, 4, 5は粘土含量が3, 5, 7.5, 10, 15%。A, B, C, Dは粒度分布曲線のピークの粒径が0.562, 0.316, 0.178, 0.1mm。a, b, c, d, e, fはピークにおける粒子量が11, 15, 20, 25, 30, 35%

始めに粘土含量と粒度分布曲線のピークの位置が一定で、ピークの高さを変えた場合について検討する。第3図は粘土量が7.5%で曲線のピークの位置が0.562mmになる4種の土壌に関して粒度分布曲線と透水係数および孔隙率を比較した図である。この図は、曲線のピークの高さすなわち同一直径の粒子量が高くなるに従つて、透水係数は次第に低くなり、粒子量が或限界（この場合は25%）を越えると、透水係数の値は逆に高くなることを示している。孔隙率の変化も透水係数と同様な経過をたどるようである。粘土量が同じ7.5%でピークの位置を0.178mmに移動させた場合も類似した傾向をみる事ができる。さらに粘土含量を10%, 15%と増加し、又は5%, 3%と減少させたいずれの場合も、第3図と同



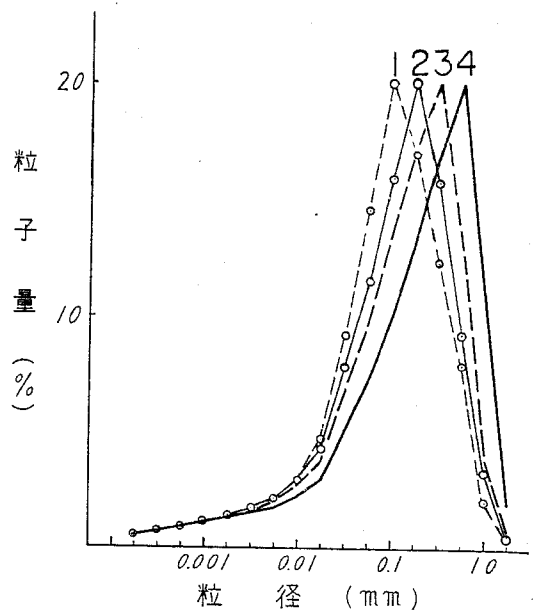
第 3 図

	透水係数 (mm/day)	孔隙率 (%)	
1	3 A-b	6.7	43.7
2	3 A-c	2.5	41.1
3	3 A-d	2.4	39.4
4	3 A-e	5.2	40.6

様な傾向を示した。

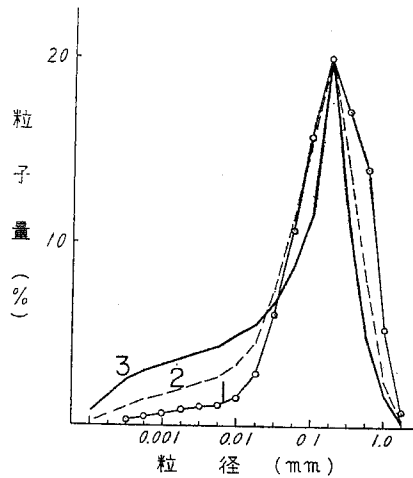
次に粘土含量とピークの高さが一定で、ピークの位置を変化させた場合を第4図で検討する。第4図は粘土が5%で曲線のピークの高さが一定で、ピークの位置が異なる4種の土壌について、粒度分布曲線と透水係数、孔隙率を比較したものである。この図によると、粘土含量とピークにおける粒子量が同一であっても、曲線のピークの位置が粒径の大きな方向に偏るに従って、透水係数と孔隙率は次第に低くなる傾向を見ることが出来る。粘土含量を15%まで順次に増加させた場合も3%に減少した場合も全く同様であった。

さらに曲線のピークの位置と高さを一定にして、粘土含量を変化させた場合は第5図であつて、粘土が少なくなれば透水性は高まるが、孔隙は逆に減少することを示している。しかし粒度分布の状態如何によつては、粘土



第 4 図

	透水係数 (mm/day)	孔隙率 (%)	
1	2 D-c	40.4	48.1
2	3 C-c	32.7	44.5
3	2 B-c	13.8	42.8
4	2 A-c	5.8	39.0



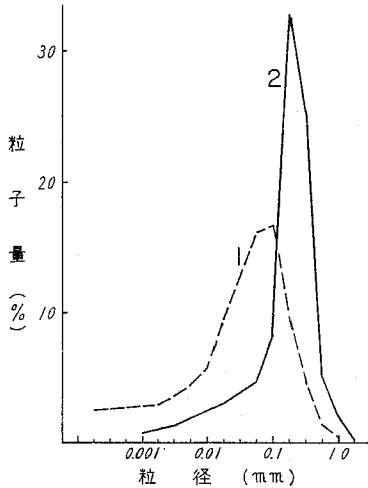
第 5 図

	透水係数 (mm/day)	孔隙率 (%)	
1	1 C-c	216.8	44.3
2	3 C-c	14.6	46.2
3	5 C-c	2.1	52.3

含量の低い土壌が粘土含量の高い土壌よりも透水不良になる場合もある。例えば粘土5%の2A-c、2A-d土壌は粘土10%の4C-b、4D-c土壌よりも透水係数の値が低

くなっている。

前章で、粘土含量に乏しい砂質土壌でありながら、極めて透水不良な土壌が実在したことを述べたが、この事実は上記実験によつて説明し得る。すなわち前章の供試土壌の中から透水不良な土壌として昭和SLA₁₂G、透水可良な土壌として長田LFS Apgを選んで粒度分布曲線を図示（九州農試彙報第5巻、274頁のFig. 3中の土壌番号に誤りがあり、1を3に3を1に訂正する）した



第 6 図

- 1 長田LFS Apg 27.5mm/day
- 2 昭和SL A₁₂G 2.7 "

のが第6図である。前者の透水係数が低いのは合成土壌による本実験結果と同様に、粒度分布曲線のピークが粒径の大きな方に偏り、ピークの高さも高いことによるのである。

粘土含量が一定の条件で、粒径の大きな砂が或限

界まで多くなるに従つて、透水係数が低くなる詳細な理由は省略するが、大孔隙を少なくする方向に粒子の配列がなされるためであろう。

この試験の応用面としては、水田の漏水防止あるいは透水促進を目的とした客土を行う場合などに客土材料選定に当つて有力な目安として活用し得ることなどが考えられよう。

引用文献

- 1) 松尾英俊・佐藤雄夫：水田土壌の透水性について、第1報 測定方法とその検討、第2報 現地土壌の透水性、九州農試彙報、5、259~276 (1959)、第3報 合成土壌による試験結果、ibid.、6、105~113 (1960)
- 2) BLOODWORTH, M.E. and COWLEY, W.R. : The use of undisturbed soil cores for permeability and infiltration determination. *Agron. Jour.*, 43, 4~9 (1951)
- 3) WENZEL, L. K. : Methods for determining permeability of water-bearing materials with special reference to discharging-well methods. Geological Survey, U. S. D. I. Water-Supply Paper, 887 pp. 192 (1942),
- 4) 佐藤正一・船橋義成：暖地水田用水量の実用的研究 (1), 九州農試彙報, 2, 161~177(1953)

水田の減水深, 浸透量

山崎不二夫*

1. 水田の減水深

水田にタン水した水は、イネの根の吸水、水面蒸発、土中への浸透によつて次第にタン水深を減少してゆく。この水深の減少を減水深とよび、「この水田は日減水深何mm」というように、水田の用水量をあらわす一つの方法として用いている。

イネの根の吸水量**は、イネが生育するために生理的に必要な水量で、その値はイネの品種や生育段階によつてちがひ、また気象条件や土壌条件によつても変化する

* 東京大学農学部 昭和35年7月27日受理

**根の吸水量と葉面蒸発量とは大差ないので、葉面蒸発量を減水深の構成要素とする場合が多い。

第1表 水田葉水面蒸発量 (mm/日)

地域	6月			7月			8月			9月			10月		
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
北海道	—	4		5			6~7								
青森		4~5				5~6			3~4						
北陸			3~5			5~7		5~6							
神奈川				5		6~7		5~6							
近畿中国			4~6			8~9		6~7							
九州				4~6		6~7		5~6					4~5		
全国			3~5			4~6		6~8				4~6			4~5

備考 水資源と農業用水 (科学技術庁資源局) より引用

る。

水面蒸発量は水田のタン水面から蒸発する水量で、風・温度・湿度などの気象条件と、イネの茎葉が水面を被覆する程度、つまりは生育段階に支配される。

イネの根の吸水量と水面蒸発量とは、このように種々の要因に左右されるが、その合計量は3~8 mm/日程度の値である。各地域の旬別平均値の例を示すと第1表のようになる。

浸透量は土の性質、土層構造、地下水位、開田後の歴史などに左右され、水田によって千差万別である。ほとんど無浸透のものから浸透水深1日何十cmというものまでである。

したがって減水深を構成する要素のうち浸透量がいちばん問題で、この内容を究明することが減水深をコントロールするキポイントである。

浸透量は水田の耕盤を通つて降下浸透する量と、アゼの内ノリ面を通つて隣接する水面や排水路などへ浸透する量とに分けることができる。前者を耕盤浸透量、後者をアゼ浸透量とよぶことにする。* (第1図)

そうすると水田の減水深はつぎのように書ける。

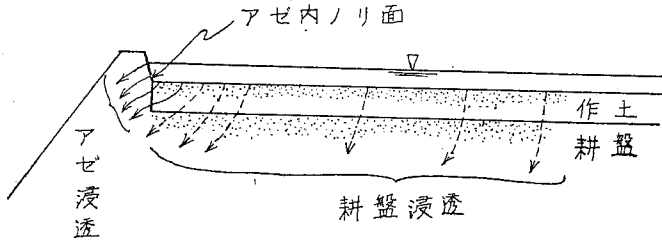
$$\text{減水深} = \text{根の吸水量} + \text{水面蒸発量} + \text{耕盤浸透量} + \text{アゼ浸透量} \dots\dots(1)$$

ただし右辺の各項は、水量を田面積でわつて水深であらわす。

減水深の測定にはフックゲージを使う。数時間で測定を完了させたい場合には0.1mmまで読めるバーニア付きのフックゲージが必要である。

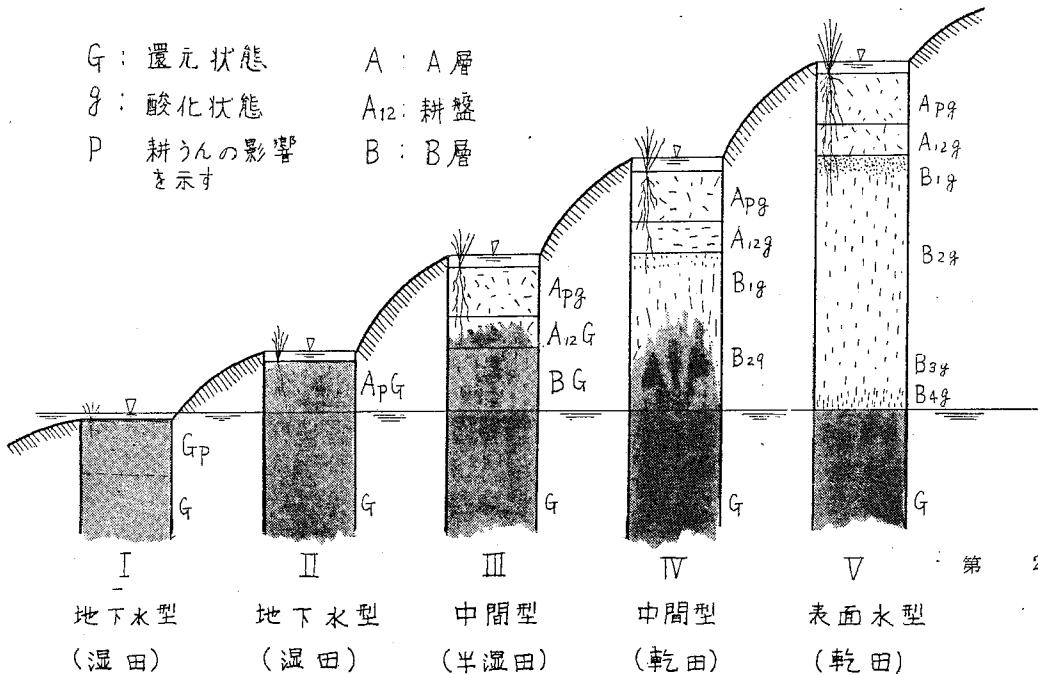
2. 耕 盤 浸 透 量

耕盤浸透は、耕盤を通じて鉛直下方、またはななめ下



第 1 図

* 従来、鉛直浸透、横浸透、アゼ浸透などの語がはつきり定義されないままに使われ、混乱を生じている。実際の水田の浸透は鉛直でも横でもなく、斜め下方へのものが大部分であるから、ここでは鉛直浸透、横浸透という語を使わず、浸透の方向いかんにかかわらず耕盤を通過する水量を耕盤浸透量、アゼの内ノリ面を通過する水量をアゼ浸透量とよぶことにした。



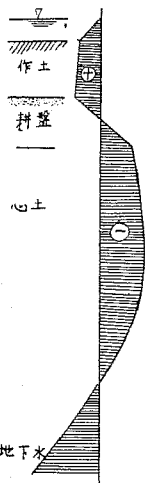
第 2 図

方への浸透である。

耕盤浸透は、地下水が地表面すれすれにあるような湿田では、ほとんど行われぬ。菅野²⁾は水田を地下水面との関係で5種の型に分類したが、耕盤浸透が問題になるのはその分類のⅢ型(中間型、半湿田)、Ⅳ型(中間型、乾田)、Ⅴ型(表面水型、乾田)の水田である(第2図)。特にⅤ型は、非かんがい期の地下水が1m以上深いところにある乾田で、かなりの耕盤浸透があるため、その土層断面は地下水の影響によつてではなく、水田タン水の影響によつてきまる。

乾田は一般に耕盤がよく発達するが、心土が浸透性で耕盤浸透が大きい場合には、これをへらすために客土や床締めなどが人工的に不透性の盤をつくることもある。

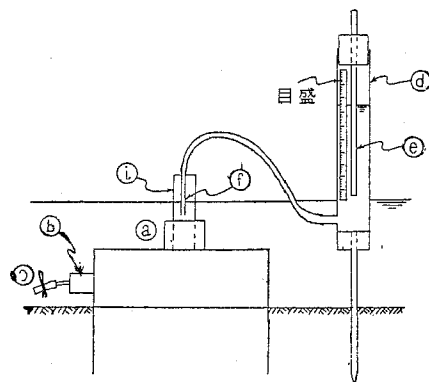
耕盤は一般に下層に比し密度が大きく浸透性が小さいので、タン水が降下浸透するさい、盤の下の層は負圧を生ずることが多い。この場合の浸透水の圧力分布は第3図のようになると考えられる。筆者が宇都宮大学の洪積台地上の水田、および秋田県六郷町の扇状地の水田で試験した結果は、この考えの正しさを実証した。



第3図 管を、直径の2~3倍の深さまで土中へうちこむことによつて、円管内部の土が圧縮され、浸透量が変化しはしないかということである。土の種類によつて、このおそれは十分あると思われる。

つぎに、この方法は測定にかなり長時間を要し(水もちのよい水田では少なくとも1昼夜)、その間に水温がかなり幅広く変化し、その影響を合理的に処理しにくいこと、円管内外の水位に差ができて誤差の原因となること、などの欠点がある。

従来の測定法にはこのような欠点があるので、筆者は新しい測定装置を考案し、試用してみたが、なかなか結果がよい³⁾。測定器の本体は径13~15cm、高さ10~15cm、無底の鉄製円筒で、上面に④、側面に⑤の口をつけてある(第4図)。ガラス管をはめたゴムせんを⑥には



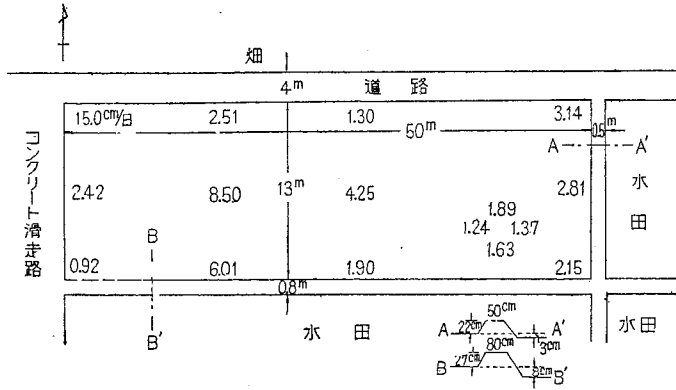
第4図

め、ガラス管にはめたゴム管をピンチコック⑥でとめるようにする。④に径1~1.5cmのガラス管④をはめる。この測定円筒を図のように作土へおしこむ。⑥のピンチコックは開いておく。④は径2cmくらいのマリョット管で、ガラス管④の下端が水田のタン水面より2~3mm高くなるように測定円筒のそばにたてる。マリョットの給水管の先端⑦を①の中へさしこんでおく。⑥のピンチコックをしめ、マリョット管の目盛を読むと同時にストップウォッチをおす。t秒後にふたたび目盛をよめば、t秒間の浸透量qccがもとまる。これを24時間の浸透水深Dに換算するには、円筒の径13cmの場合、次式によればよい。

$$D = 651 \frac{q}{t} \text{ (cm/日)} \dots\dots\dots(2)$$

この測定器による測定はきわめて短時間でよく、1日1cm程度の浸透水深なら10分、1日5cmをこえるような場合には2~3分でよい。したがって測定時間中のタン水深も水温も一定とみなしてよく、これを記録しておけば浸透条件が明確になり、各地の水田の耕盤浸透の比較や分析を合理的に行うことが可能になる。

耕盤浸透量の測定について、つぎに問題となるのは、一枚の水田で何か所測定すればその水田全体の浸透量を知ることができるかという点である。一枚の水田の各部分の浸透が一様であれば、任意の1カ所に測定器をすえつけて測定すればそれですむわけであるが、はたしてそうゆくであろうか。この点について筆者は上述のマリョット式降下浸透量測定器を使つて、数種の水田で試験してみた。第5図はその一例である³⁾。試験田は洪積台地上にある宇都宮大学清原農場の水田で、土は関東ロームである。地下水は深い。水田の一边は道路に、一边は旧飛行場のコンクリート滑走路に接し、他の二辺は水田につらなっている。この一枚の水田の16カ所で測定を行なつた。図中の数字はcm/日単位で示してある。これを



第 5 図

ると、最小 0.92cm/日 から最大 15.0cm/日の間にわたって分布し、そのバラツキの幅の大きいことにおどろく。もつともこの水田は昭和30年に開田した新しい水田であるから、その点特殊である。そのうち種々の水田で測定した結果、(a)熟田になるにしたがい、浸透量のとびぬけて大きい個所はなくなる。(b)アゼに接した耕盤部の浸透量は、水田中央部の耕盤浸透量にくらべて、一般に大きい、ことなどがわかってきた。

とにかく、どんな水田でも場所によつて降下浸透量に多少の差異があることは否定できない。そうとすれば1カ所の測定によつてその水田全体の耕盤浸透量をうんぬんすることは危険である。一枚の水田を方眼に区分し、各交点で測定を行ない、浸透量の分布図をつくれればいちはん完全であるが、いちいちの水田についてこれを行なうのはたいへんな労力を要し、言うべくして行ないがたい。したがつて「これこれの条件の水田では中央部何カ所、縁辺部何カ所で測定しその平均をとる」というような基準をつくり、それにしたがつて測定するようにすればよい。ところがこういう基準ができていないばかりでなく、その必要性についてさえほとんど考えられたことがない。

上述のような問題をふくんでいるので、水田の1カ所に円管をうちこみ測定した耕盤浸透量は、卒直にいつて信頼がおけない。

最後に、耕盤浸透量は根の吸水量によつて変化する点に注意しておきたい。根の吸水が全くない場合の耕盤浸透量を「固有耕盤浸透量」とすると、(1)式は厳密にはつぎのようになる。

$$\text{減水深} = \text{水面蒸発量} + \Sigma \left(\frac{\text{根の吸水量} \times \text{土層下端から吸水カ所までの距離}}{\text{土層厚}} \right) + \text{固有耕盤浸透量} + \text{アゼ浸透量}$$

ここに Σ は一本一本の根について総計する意味であり、根群域内の根の吸水量の分布がわかればもとめられる。土層厚は、たとえば田面からある深さまで土層が一様で、その下にレキ層があり、浸透水はレキ層まで鉛直に降下し、レキ層に達したのち水平に流動してゆくような場合には、田面からレキ層までの厚さをとる。

3. アゼ浸透量

アゼ浸透がいちはん問題になるのは、傾斜地のタナ田である。しかし平地の水田でも、排水路に接しているアゼからは、排水路に向つてアゼ浸透が行われる。水田の用水量をきめる場合、アゼ浸透は従来あまり考慮されなかつたが、現実には相当量のアゼ浸透量が存在するのであるから、その実態を明らかにし、それにもとづいて正当のとりあつかいをしなければならない。

アゼ浸透量が水田浸透量のうち大きな割合をしめることが、数字的にはつきりしてきたのは、ここ数年来のことである。富士岡⁹⁾は京都府新庄村の水田(面積804m²、作土は砂壤土、耕盤層は壤土)で実験を行ない、アゼ浸透量が耕盤浸透量の約7倍に達すると報告している。浸透をおこすアゼの長さを約80mと採定して計算するとアゼ1m当りの浸透量 Q_A は 302l/m/日となり、耕盤1m²当りの浸透量 Q_K は 5l/m²/日である。両者の比をとると $R_0 = Q_A/Q_K = 60$ となる。

筆者が前述の宇都宮大学農場で実験した結果では $Q_A = 123$, $Q_K = 48$, $R_0 = 2.6$ となつたし、早川¹⁰⁾が広島県のタナ田(作土は壤土、草生階段高75cm)で調査したデータを使つて推算すると $Q_A = 5.1$, $Q_K = 10$, $R_0 = 0.5$ となる。

この3例は耕盤浸透量をワク内の水位低下で測定している点に多少の不安があるので、筆者は最近岩手大学農場の水田(洪積台地上にある、明治年間に開田した熟田、土は黒ボク、面積1225m²)で、まず減水深をはかつたのち、水をおとしてアゼの内ノリ先を耕盤まではり、ビニール布をさしいれアゼ内法をすつかり被覆し、ベントナイトをまぜながら土をうめもどし、ふたたびタン水して減水深をはかつてみた。その結果は、耕盤浸透量とアゼ浸透量とはほぼ同量で、 $Q_A = 394l/m/日$, $Q_K = 34l/m^2/日$, $R_0 = 11.6$ となつた。

以上の4例からだけでも、(a)単位アゼ浸透量のフレの幅が非常に広いこと、(b)水田によつては耕盤浸透量の数倍ものアゼ浸透量があること、がわかる。

単位アゼ浸透量のフレの幅が広いのはなぜであろうか。筆者は宇都宮大学の水田で、前述のマリオット式降下浸透測定器をななめにアゼにおしこみ、60cm 間隔に6カ所でアゼの浸透量を実測してみたが、最小値は30l/m/日、最大値は225l/m/日で、その比は7.5となった。八幡・田淵⁷⁾の八ヶ岳山ろくの水田における試験も、早川⁸⁾の広島県における調査も、アゼの漏水の場所的なフレの大きいことを示している。アゼ浸透の特徴の一つはこの不規則性にあるといえよう。

アゼは風化のほかに、モグラ・ザリガニなど小動物の穿孔によつて損傷をうける機会が多いので、毎年アゼヌリや補修をしても、目に見えぬ水みちがで、局部的漏水をおこす。アゼの外ノリ面からアゼの内部に一定の深さに針状のサーミスタ温度計をさしこんで温度をはかってみると、地温の特に低い個所を見いだすことがある。これは漏水の多い個所である。つまり地温分布の異状からアゼ浸透の異状を発見することができる⁹⁾。

アゼ浸透の場所的バラツキが大きいこと、ことにそれがアゼヌリ後、日がたつにつれて目だつてくること、などから考えて、アゼの維持管理がたいせつであることがわかる。単位アゼ浸透量 Q_a が著しく大きい場合、それは局部的な水みちによる漏水がかなりあると考えてよいであろう。

4. 適正浸透量

戦後10年にわたつて行なわれてきた米作日本一の競作で6石、7石というような多収穫を実現した水田は、いずれもかなり浸透のよい水田であつて、浸透の極端に大きい水田や小さい水田はふくまれていない。ほとんどどの多収穫田も、ほぼ2日間くらい水もちする程度である。これから考えてイネの収量と水田の浸透量との間には密接な関係があり、イネの収量を最大ならしめるような適正浸透量が存在すると思われる。ただしアゼ浸透量はその水田の作物の生育にはほとんど関係がないから、適正浸透量から除外し、適正浸透量という語は適正耕盤浸透量と同意義であるとする。

適正浸透量は主としてつぎの諸条件によつて決定されるものと考えられる⁹⁾。

(a) 浸透によつて現われる作土内のアンモニアの量とその濃度の大小、これらのイネ生育期間中の増減の状態、などがイネのアンモニアの理想的必要量を満足させる程度

(b) 浸透による2価鉄その他の流亡

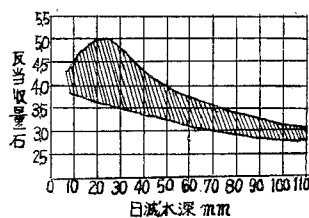
(c) 浸透による有機態窒素の肥効の低下、地力の低減

(d) 作土中に生成される有害物質の浸透水による稀釈

と流下

(e) 浸透による地温の変化

適正浸透量は以上のような種々の因子に規制されているが、各因子と浸透量との関数関係は不明のものが多く、また各因子は相互に密接な関連性をもっているから、各因子の影響度を他の因子との関連のもとに評価し、それらを総合して適正浸透量を定めることは、今の段階ではとうてい不可能である。現実にある地域の適正浸透量を定めるには、浸透量と収量との関係を統計的にしらべるほかはない。五十崎¹⁰⁾は昭和30年に岐阜県本巣郡の長良



第 6 図

・揖斐両川にはさまれた扇状地でこの調査を行なつた。扇状地であるから上流部は浸透が大きく、下流へゆくほど浸透が小さくなり、比較的近接して浸透量の変化にとんでいるので、浸透量と収量の関係をしらべるには好適の地区である。調査結果は第6図のとおり。最多収量を示す減水深は20~30mmの間にあり、この間にあつては比較的多収穫ではあるが、収量にある程度の偏差があり、減水深以外の因子がこの間において作用すると考えられる。20~30mm/日を頂点として、減水深がこれより小あるいは大になるにしたがつて収量は低下する。50mm/日以上になると収量がいちじるしく減ずるが、20~30mm/日の水田のように収量の偏差が大きくない。20~30mm/日の水田は多収穫の可能性が大きいのにに対し、50mm/日以上の水田は相当多量の肥料を施しても、多収穫をうることはむずかしいといえる。

5. 減水深、浸透量のコントロール

ある水田地域に供給しうる農業用水の分量は、水源や他種の用水との関係で限定される。したがつてその面から水田の減水深にワクがはめられ、その範囲内におさまるように実際の減水深をコントロールしなければならぬ。

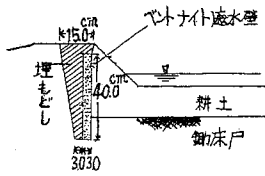
減水深をコントロールするには、(1)式の右辺のどの項をコントロールすればよいか。第1項と第2項はその和が3~8mm/日の程度で、あまりコントロールの対象にならない。ことに第1項はイネの生理的必要水量であるから、コントロールの余地はほとんどない。第2項も水面に蒸発を防ぐ薬品を流す方法など考えられないこともないが、実用的には問題になりそうもない。けつきよく減水深のコントロールは耕盤浸透とアゼ浸透のコント

ロールの問題になる。

実際の減水深の大きい水田では、まずアゼ浸透量が大きいのか耕盤浸透量が大きいのかを明らかにし、それに応じて対策を講じなければならない。

アゼ浸透はその水田のイネの生育にほとんど役立つばかりでなく、下の田に冷水となつてわきだして害を与える場合もあるから、水経済の上からも米生産の上からも、できるだけ減らすことがのぞましい。

アゼ浸透をへらすには、アゼの内部に粘土刃金を入れるとよいが、実際にはあまり行なわれていない。モグラやザリガニなどの穿孔による局部的漏水をふせぐため常に



第 7 図

管理に気をつけること、アゼをいねいにすることもたいせつである。富士岡⁹⁾はベントナイト遮水壁を第7図のように施工すると、アゼ浸透はほとんどなくなると

いつている。ビニール布の利用も場合によっては考えられよう。コンクリート畦畔は、壁面にそつて水が浸透するおそれがあるから注意を要する¹⁰⁾。

耕盤浸透はアゼ浸透のように減らせるだけへらせばよいというわけにはいかない。耕盤浸透量が過大または過小の場合、供給水量のゆるしうる範囲で、できるだけ適正浸透量に近くなるようにコントロールする必要がある。

浸透量が過大の場合、(a)床じめ、盤ねり、(b)粘土・ベントナイトなどの客入、(c)シロカキ、(d)青刈ライムギのすきこみ、などで耕盤浸透を抑制する。火山灰土の洪積台地や扇状地などの開田では、ブルドーザを用いると

履帯のしめかため作用によつて比較的水もちのよい水田ができる。

重粘土地や低湿地などで浸透量が過小の場合には、(a)暗渠排水 (b)砂質土の客入 (c)心土耕による盤層の破碎、などによつて浸透を促進することができる。

このように耕盤浸透をコントロールする方法はいろいろあるが、所望の浸透量へうまくあわせるようなコントロールは、まだとうていのぞみ得ない段階である。この部面でも土地改良の研究の立ちおくれが痛感される。

文 献

- 1) 菅野一郎：無機質水田土壌の基本的断面形態，土肥誌，27，10 (1956)
- 2) 農業土木ハンドブック，p. 483
- 3) 山崎，ほか：水田の降下浸透量の新しい測定法，農業土木研究，27，6
- 4) 山崎不二夫：イネの根の吸水は水田の浸透にどんな影響を与えるか，研究の資料と記録第8集
- 5) 富士岡義一：畦畔浸透，農業土木研究，25，1
- 6) 早川千吉郎：広島県における棚田の漏水に関する研究，シロカキの研究，p. 158
- 7) 八幡敏雄・田淵俊雄：ある棚田の実態，研究の資料と記録第7集
- 8) 内山修男：水田の透水性に関連する土壌の諸問題，農業及び園芸，32，7，8，9，10
- 9) 五十崎恒：適正浸透量について，農業土木研究，24，6
- 10) 富士岡義一：畦畔浸透について(II)，農業土木研究，26，1
- 11) 行方文吾，ほか：コンクリートブロック畦畔の浸透について，昭和35年度農業土木学会講演要旨，p. 63

水田減水深についての一考察

椎 名 乾 治 *

1. ま え が き

一枚の水田の総消費量(純用水量)は湛水深の減少量すなわち減水深で示される。最近水田の水利用に関連して、用水量の問題が各方面で大きく取り上げられ研究が進められてきている。勿論用水量は水田における、水、土壌、イネの3つの複雑にからみ合った相互関係について研究を進めなければならないもので、作物生理、土壌

化学、土壌物理、水田水利等各分野で問題の解明をせまられていることがらが多い。ここでは最近農業土木方面で研究、調査が進められている、浸透水量とイネの吸水の物理的關係、それから必然的に派生してくる水田減水深の表示法及びその測定法の問題について若干の考察と私見を述べてみたい。

2. 浸透量とイネの吸水の關係

この問題については、ここ数年来田辺¹⁾、富士岡²⁾、山崎³⁾、吉良・椎名・竹中⁴⁾、狩野・古木・中川⁵⁾等の

* 農業技術研究所 昭和35年7月20日受理

くの研究があるが、ここでは減水深の表示法に直接関係をもつ、イネの吸水が浸透量に与える影響についての山崎の理論的な報告とこの理論を証明する、実際の水田土壌について行なわれた筆者等及び狩野、古木等の実験について紹介し、その概要を説明することにす。

1) 山崎の所論

第1図のように、土壌表面に定水頭を保って浸透させ、途中のある断面で一様な吸水を行なう場合を考えてみる。

土壌の透水係数をK, 途中から全く吸水のない場合の流量, 動水コウ配を Q_0, J_0 , とする。また途中から Q' だけ吸水した場合の吸水個所より上部および下部の流量, 動水コウ配をそれぞれ Q_1, Q_2, J_1, J_2 であらわす。 l_1 の部分で消費する浸透ポテンシャルは h_1 , $l_2 (=h-l_1)$ の部分のそれは $h_2 (=h-h_1)$ でしめす。

DARCY の式から

$$Q_0 = A \cdot K \cdot T_0 \cdot t$$

浸透断面積 A と浸透時間を t と考え

$$Q_0 = KJ_0$$

$$Q' = Q_1 - Q_2 = KJ_1 - KJ_2 = K \left(\frac{h_1}{l_1} - \frac{h-h_1}{l_2} \right)$$

$$\text{これから } h_1 = \frac{1}{l_1} \left(hl_1 + \frac{Q'l_2}{K} \right)$$

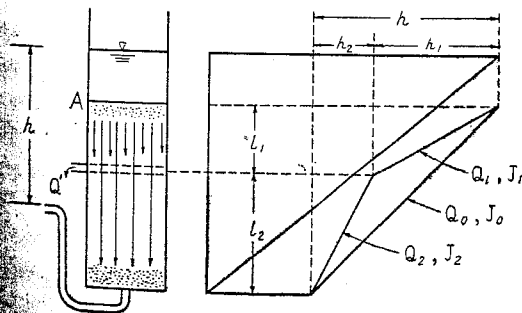
したがって

$$Q_1 = K \frac{h_1}{l_1} = \frac{1}{l_1} (Kh + Q'l_2) = KJ_0 + Q' \frac{l_2}{l_1}$$

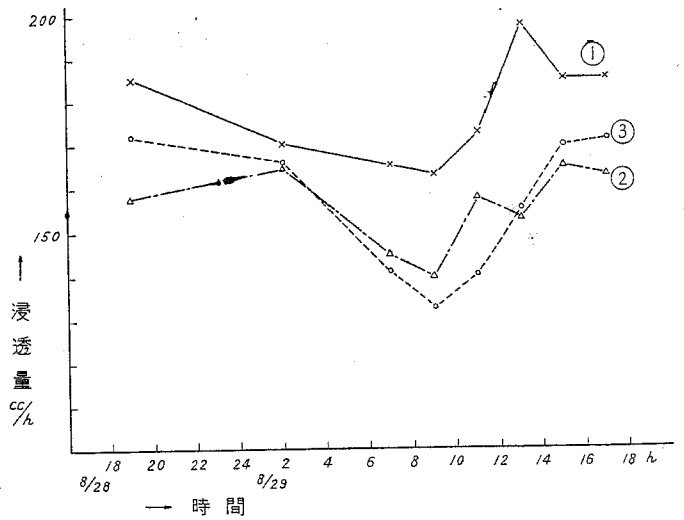
$$= Q_0 + Q' \frac{l_2}{l_1}$$

$$Q_2 = Q_1 - Q' = Q_0 - Q' \frac{l_1}{l_2}$$

吸水が2カ所以上の断面から行なわれるとすると



第1図 イネの吸水と浸透量の関係



第2図 浸透量の変化

$$Q_1 = Q_0 + \sum Q_n' \frac{l_n}{l_1}$$

ただし Q_n' : 各個所の根の吸水量

l_n : 土層下端より各吸水個所までの距り

以上の関係は砂を用いた室内実験では明らかに成立することが実証された。

2) 筆者等及び狩野、古木等の実験

筆者等は1958年にポットに水田土壌を填充して浸透が土壌及び作物に及ぼす影響について実験を行なつたが、そのうち8月28日~29日にかけて時間観測を行なつた結果を第2図に示した⁶⁾。図の折線①はその時測定した透水係数から計算した理論的浸透量であり、山崎の式の Q_0 に相当する。折線②は実際にポット下端より排出した浸透量で Q_2 に相当する。この2つの量の間には明らかに開きがあり、イネの吸水の影響が大きいことがわかる。そこで、同時に測定した各時間毎の蒸散量(イネの吸水量 Q')を、山崎の $Q_2 = Q_1 - Q' = Q_0 - Q' \frac{l_1}{l_2}$ の式に代入して計算した結果は折線③となる。折線②と③はほぼ等しい値となり、山崎の式は実際の水田土壌についても成立つものと思われる。

また狩野、古木等はさらに大きい 50cm×50cm×100cmのライシメーターに水田土壌をつめ、田面下6cm, 12cm, 18cm, 24cm, 36cm, 48cm, 60cm, 72cmにおのおのマノメーターを挿入し、イネの吸水が動水コウ配に与える影響について実験を行なつた。その結果田面下0~6cmの動水コウ配は水稻生育に伴い次第に増大し、出穂期前において最大となり、その値は葉面蒸発をおさ

えた場合の1.6倍程度になる。一方12~18cm以下においては逆に水稻生育とともに減少し、出穂前において最少の値となり、登熟につれ再度増加の傾向をたどっている。またこれらの実験結果より降下浸透量の変化をみると、水稻生育の成長とともに0~6cmの間では増加するが、18cm以下では逆に減少する。すなわち蒸散により根の吸水位置までは浸透量が増加するが、それ以下では減少することを示している。

以上のことから、イネの根は土壌表面より降下浸透する水の中から必要なだけの吸水を行ない、この結果吸水のないとしたときの浸透量（一応水田土壌固有の浸透量と呼ぶ）に比べて、イネの根の吸水のあるときは、吸水個所までは浸透量が増加し、根群域以下の浸透量は減少し、その増減量は吸水個所の深さによつて定まることは、理論的にも実際的にもほぼ明らかになつたと考えてよい。

3. 水田減水深の表示法

従来水田の減水深は次式で示されるとしていた。

$$\text{減水深} = \text{浸透量} + \text{葉面蒸発量} + \text{水面蒸発量} \dots\dots(1)$$

この式の浸透量の定義はまことに不明確であるが、実際の取り扱いの上では、“水田土壌固有の浸透量”として考える場合がほとんどであつた。

そこで、(1)式の浸透量を“水田土壌固有の浸透量”とすると、前述のように葉面蒸発量（イネの吸水）は浸透水中で行なわれるのであるから、上式は当然修正されなければならないことになる。これについて富士岡は1958

年にこの関係を始めて指摘し、次式を用いるべきことを提案した。

$$\text{減水深} = \text{水田土壌固有の浸透量} + \text{水面蒸発量} \dots\dots(2)$$

しかし、この式はすでに述べた山崎の所論及び筆者等の実験から明らかなように、イネの吸水により、動水コウ配が変化し浸透水量が増減することを考慮していない点で欠陥をもっていると考えられる。

山崎は前述のように、この間の関係を Darcy の式をもとにして明らかにし、減水深の表示は次式によるべきであることを示した。

$$\text{減水深} = \text{水田土壌固有の浸透量} + \Delta \text{根の吸水量} \\ \times \frac{\text{土層下端から吸水個所までの距り}}{\text{土層厚}} + \text{水面蒸発量} \dots\dots(3)$$

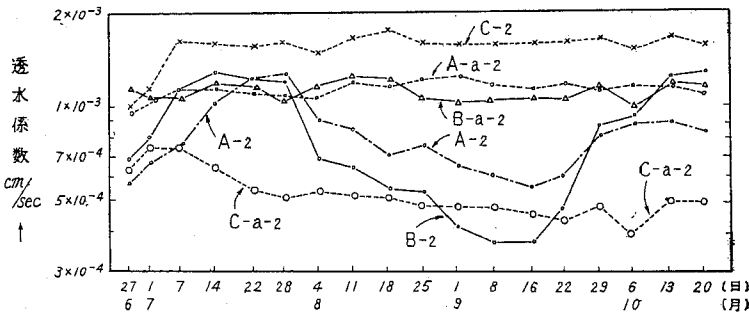
(3)式は水田土壌固有の浸透量なるものを基礎にして考えた場合には理論的に正しい形であると思われるが、実際水田の減水深を取り扱う場合、多くの問題点を持つている。

例えば山崎も報告の中で指摘しているように、(3)式右辺で明らかに存在した直接実測可能な量は水面蒸発量のみである。

水田土壌固有の浸透量についていえば、これはあくまで仮定の量であつて、時間的、空間的には存在しない量である。例えば第3図等に筆者等がポットを用いてカンガイ期間中の水田土壌の透水係数の変化を測定したものを示した⁹⁾。これをみると無植生区の透水係数はカンガイ期間中、ほぼ一定であるが、植生区の透水係数は著しい変動を示している。植生区の透水係数は水稻根の活力

の盛んになる、8月上旬より漸次低下し9月下旬には再びカイ復している。しかし植生区でも浸透量が多量であれば透水係数は変動しなかつた。この実験はポットの下端から相当多量の水量を排出させ短時間で測定を行なつたもので、得られた透水係数には、イネの吸水の影響はほとんど含まれていないと考えられる。

したがつて土壌の透水係数の低下は、土壌の透水構造の変化によるもので、同時に行なつた E_h の測定、土壌の理化学的分析からおして、透水構造の支配的因子は還元状態の進行に伴うガスの発生による有効孔ゲキの減少、及び団粒の破壊によるものと推論された。



第3図 カンガイ期間中の透水係数の時間的变化

試験区番号	植生	垂直浸透
A-2	あり	なし
B-2	"	約20mm
C-2	"	約70mm
A-a-2	なし	なし
B-a-2	"	約20mm
C-a-2	"	約60mm

土壌は平塚水田土壌、透水係数はすべて20°Cに補正した値

このほか、シロカキ、中耕除草等の操作も透水構造の変動の大きな要因となることが考えられるし、また透水構造は変らなくても浸透量そのものは、温度、地下水位によつて変化することは明らかである。

このように実際水田の浸透量は、土壌固有のものではなくして、作物、土壌、水、地形、気象等の諸因子によつて定まるもので、まったく同一の浸透量というものも存在しないといつても過言ではない。したがつて、ある条件下の浸透量からイネの吸水の影響を除いたものを、“水田土壌固有の浸透量”として減水深の基礎にするのは、少なくとも現実の技術的問題に対しては無効だといえる。

このほか、(3)式の右辺第2項についても、山崎も指摘しているように土層の厚さをどうとるか、根の吸水量を積算する操作が可能であるかどうか、大きな問題点を有しているといえる。

このようにしてみると、一見極めて簡単にみえる水田減水深の表示法もなかなか難かしいもので、(1)、(2)式では理論的に誤りであるし、(3)式では理論的には正しいが、実際の問題解決にはあまり役立たないということになる。

そこで筆者は水田減水深の表示式には、“水田土壌固有の浸透量”のような本質論的段階の値は用いず、実際水田に実体として存在する諸量を基礎にした次式を採用すべきであると考えている。

$$\text{減水深} = \text{根群域以下への浸透量} + \text{葉面蒸発量} + \text{水面蒸発量} \dots\dots\dots(4)$$

これは、(1)式の浸透量を土壌表面を基準にして考えず、根群域の最下端の断面を基準にし、これより下方または側方への移動量として規定するものである。

このように考えれば、まず理論的に水の収支量の関係については誤りはなくことになる。すなわち土壌表面よりの浸透水量は、(4)式右辺の1項、2項の和であり、これは前に述べた水田土壌固有の浸透量よりは大きい量であり、その内容は、(3)式の“水田土壌固有の浸透量 + 根の吸水量 × $\frac{\text{土層下端より吸水箇所までの距り}}{\text{土層厚}}$ ”に相当している。

次に(4)式によれば、各量は実存する量であり、測定も可能である。ちなみに最近作物生理、および栽培の分野で水田の透水性の生育に及ぼす影響について多く論じられているが、このような問題解明の点でも明らかにされなければならない量は、(4)式1項、2項であると考えられる。さらに大切なことは、後でも少しふれるが、最近のイネ作にみられるように節水、間断カンガイ等を行なうことにより、水田でも湛水しない場合が多くあるが、

このような状態での減水深は(1)~(3)式ではまったく取り扱いが困難になり、どうしても(4)式の考え方を必要とする。(4)式は畑地カンガイの場合の用水量(減水深で示す)の考え方と同一であり、今後の水田、畑を通じての水利利用の立場からも、この考え方に立つて、その内容を深めて行く必要がある。

4. 水田減水深の測定法

水田減水深の測定は従来いろいろの方法で行なわれているが、ここで問題にするのは、一枚の水田の減水深は勿論、その構成諸要素である、浸透量、葉面蒸発量、水面蒸発量の各値も同時に求めようとするものである。筆者等は現在“水田用水量測定方式に関する研究”のテーマに取り組み、上述の目的のある程度は達成しているが、まだ完全なものとはなっていない。そこで、ここでは、これらの測定法確立のための基本的な考え方及び得られた結論についての若干の紹介を行なうことにする。

1) 基本的な考え方

水田の減水深は前述のように、“根群域以下への浸透量 + 葉面蒸発量 + 水面蒸発量”で示されるが、この中で(根群域以下への浸透量 + 葉面蒸発量)の値は土壌表面より下方に浸透降下する量であり、また水面蒸発量は株間から蒸発する量で、いずれも直接測定可能量である。これらをまず正確に測定する方法が必要である。この場合、これらの2つの量は、一枚の水田の減水深は比較的簡単に精度の高い値を得ることが出来るから、この値に対応して、一枚の水田全体の平均量を示すことが大切である。

次に土壌表面よりの降下浸透量 (= 根群域以下への浸透量 + 葉面蒸発量)の値が求められたならば、さらに“根群域以下への浸透量”または葉面蒸発量を正確に測定する方法が必要となつてくる。この場合葉面蒸発量はあくまで、実際水田のイネについて行なわれる必要がある。従来の有底箱による方法は、筆者等の試験では、あまり信用できない値となつている。(この点については近い将来発表する予定である)また根群域以下への浸透量については、これの流動方向についての究明と合わせて行なう必要がある。

このようにして、水田減水深を構成する諸量が得られたならば、はじめてこれらの量の生産力的意義についての検討が可能になるわけである。

2) 水田全体の減水深の測定法

これは一枚の水田に湛水された全水量を基準にして、総消費水量を求めるには直接的であり、かつ測定値も水管理さえ慎重に行なうならば相当の精度を持つことが可

能である。フックゲージ、自記水位計、流入、流出量計等によつて測定できる。

3) 水面蒸発量の測定

減水深を構成する各要素の中で比較的簡単に直接測定できるのは水面蒸発量であり、まずこの量を測定して減水深から除くことが必要である。測定は株間蒸発計を用いて行なう。なおこの測定にあつての最大の困難は雨量の補正で、このためには精密な株間雨量計が必要である。

4) 土壌表面よりの降下浸透量の測定

この測定法には、いろいろ考えられるが、次の条件をそなえることが必要である。

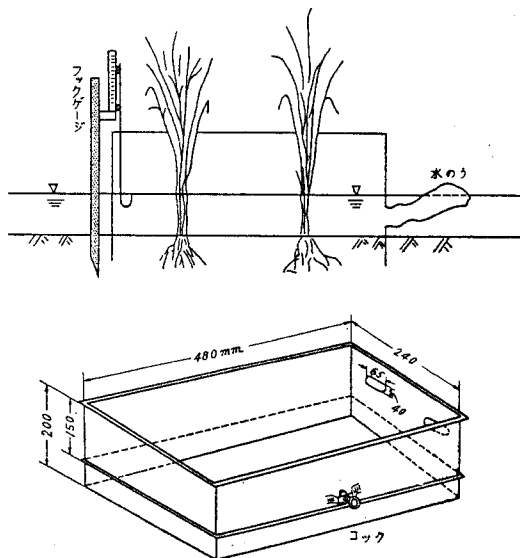
(イ) ワクを打ち込む場合が多いが、ワク内の水位と水田の水位を常にレベルに保つことが必要である。

(ロ) ワクの打ち込み深さをなるべく浅くして、側壁による漏水、水の流れの攪乱を少なくすることが大切である。

(ハ) ワクは一枚の水田に対して、平均に稲株、株間水面を含む必要がある。

(ニ) 測定値は時間的変化が大きいため、普通の目的のためには日単位で精確に求められることが大切である。

筆者等は、以上の条件を満足する測定器具として、第4図に示すような型のものを試作し、その精度を確認して使用している。なおこれらのワクを用いる場合ぜひ注意しなければならないことは、水田土壌の透水性は一枚の水田でも非常にバラツキの大きいことである。ワクの大きさは、これらのバラツキを平均に含む大きさでな



第4図 新型測定器

ければならないし、また場所による浸透量に傾向がみられれば、数個を同時に使用しなければならない。

5) 根群域以下への浸透量の測定

この測定方法について、筆者はまだ確定的な方法を見出していないが、ほぼ2つの方向が考えられる。1つは葉面蒸発量を測定して、土壌表面よりの降下浸透量から差引いて求めるものであり、1つは直接測定する方法である。直接測定する方法の中には、JOFFE⁹⁾が畑地の土壌を攪乱しないで浸透する水量を計るために考案した、浸透計のようなものを設置して直接降下浸透する水量を計る方法と、土壌表面より2本のマンメーターを根群域以下に差し込み、その水圧をはかり、あらかじめ測定しておいた根群域以下の透水係数より計算で求める方法の2つが考えられる。

いずれの方法にしろ、これらは早急に確立する必要があるもので、筆者等は実験を継続中である。

5. あとがき

以上で水田におけるイネの吸水と浸透量の関係、水田減水深の表示式の問題、減水深の測定法の諸問題等について述べたが、勿論実際水田における複雑な諸要素のからみ合った減水深の現象論についての問題のみである。

減水深、水田の透水性等の問題は各学問分野の境界領域にぞくする事項が多く、生産力にとって直接結びつきの多い事項があるにもかかわらず、比較のおくれた分野にぞくしている。今後各方面の知識を寄せ合つて、発展させる必要があるであろう。

参考文献

- 1) 田辺邦美：水田における水稻蒸散力の浸透速度に及ぼす影響 (I), (II), 農土研, 25, 4号, 5号
- 2) 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, 農土研, 25, 5号
- 3) 山崎不二夫：イネの根の吸水は水田の浸透にどんな影響をあたえるか, 研究の資料と記録 8集, 東大農学部土地改良研究室
- 4) 吉良芳夫・椎名乾治・竹中肇：浸透が土壌、作物に及ぼす影響について(I), 農土研, 25, 6号
- 5) 狩野徳太郎・古木敏也・中川昭一郎：水稻の蒸散が浸透に及ぼす影響について(第1報), 農業土木学会大会講演要旨(昭和35年度)
- 6) 吉良芳夫・椎名乾治・竹中肇：浸透が土壌、作物に及ぼす影響について(II), 農土研別刷1号集録予定
- 7) 狩野徳太郎・椎名乾治・中川昭一郎・小菅孝利：水田用水量測定方式に関する研究(第1報), 農業土木学会大会講演要旨(昭和35年度)
- 8) JOFFE: Lysimeter studies (1), Moisture percolation through the soil profiles, *Soil Sci.* 34 (1932)

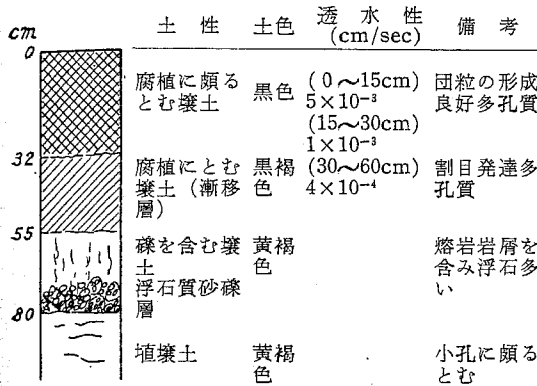
火山灰水田における減水深

本谷 耕 一 *

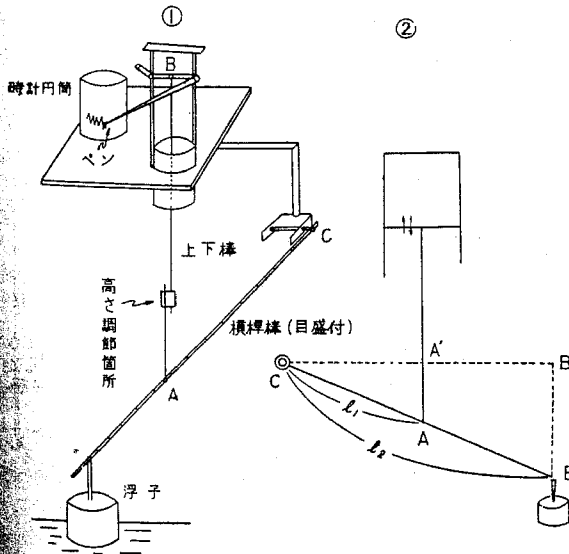
火山灰水田の稲作改良上漏水の激しいことは種々の問題を提起するので、畑地より水田化した当初の水田を供用し数年にわたり減水深を測定して来たが、ここにその測定法、測定上の問題及び測定結果を記し参考に供したい。

1. 土 壤

第1図のごとく下層に砂礫層のある透水性良好な土壌を供試し、これに第2図のごときコンクリート框を

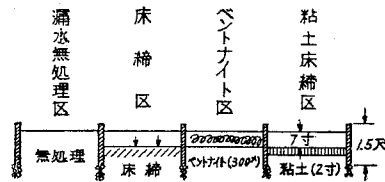


第1図 土壌断面



第3図 減水深測定装置の概要

50cmまで打込み4処理区を作つた。床縮区は表層20cm以下をタコにより床縮し、ベントナイト区は床縮後約1トンの200メツシユベントナイトを表層に混合、粘土客



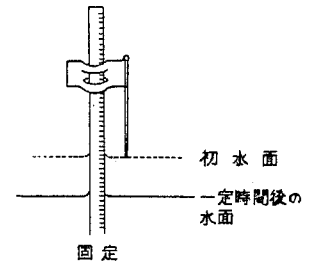
第2図 土壌処理法

入区は表層20cm下に6cmの厚さに頁岩風化粘土をしき一様に床縮したものである。水田面積は1区128m²である。

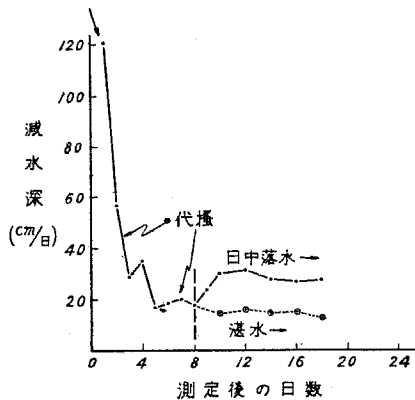
2. 減水深測定法

ウイジン工業社製自記水位計を用いたがその構造及び原理は第3図の通りである。図のごとく本水位計はC点を支点として固定し、

浮子の上下動によりAが上下し、これがBに伝わりBの上下動によりペンが時計仕掛けの記録紙を上上下下するようになっていた。またモノサシを用いた場合のものは第4図の通りであるが、測定はある深さまで田面水を満した後水の出入を止めて行つた。



第4図



第5図 灌水初期の減水深(無処理区)(1954)

* 東北農業試験場 昭和36年7月2日受理

3. 測 定 結 果

測定にあたり第1回目の代播時には畦畔の周囲より著しい漏水があるのでこれを十分防止した後に測定に入った。

1) 灌水初期の減水深: 作土に飽水せしめた後測定したが、無処理水田における結果は第5図のごとくであり、ほぼ一定となるのに7日以上を要し、代播作業、昼夜湛水により減水深が低下している。また日中のみの落水により土壤に亀裂を生じその後の漏水を著しくしている。なおこの場合作付はない。

2) 水稻移植後の減水深: 上述の様に灌水当初の減水深は120~160mm/日程度を示しているが、水稻の移植後の(6月17日移植)値は第1表の通りである。この結果より測定値にはかなりの変異の幅があるがほぼある値

に近づいているものと解される。

3) 減水深の経年変化: 以上は1954年度の値であるが、その後の経過を示すと第2表の通りである。測定値はモノサンによつた。6月中における値のかなりふれている理由としては、①湛水までの土壤の乾燥程度、②代播回数、③不時の落水などに強く影響された結果と解される。

なおコンクリートでなく土の畦畔で、かなり固く締つていない場合は火山灰土では横への滲透があり、ことに一區面積がある程度大きくない場合は変異の幅が大きく現われ易いようである。その例として第3表を示しておく。この場合1區面積10m²であり4、5区ではペントナイトを混合した区の内は漏水は少いにかかわらず周囲よりもれて一部高い値を示している。

第1表 減水深の推移 (1954)

月 日	天 候	粘 土 客 入 田	漏 水 無 処 理	蒸 発 計 蒸 発 量	降 水 量
		mm	mm	mm	
7. 9	曇	30.0		1.2	0.3
13	晴	25.5		6.0	0
16	曇	24.4	96.0	4.3	1.6
18	晴	25.1		4.3	0
20	晴		68.8	5.5	0
21	晴		109.5	6.2	0
22	晴	19.0	65.0	5.9	0
23	晴	19.5	94.7	6.3	0
26	曇	15.2	78.0	2.8	6.1
28	曇	30.3	121.0	4.6	1.1
30	曇	29.8	89.0	1.4	10.9
8. 1	晴		96.2	3.6	0.1
2	晴		82.1	6.5	0
3	晴	23.3	83.1	5.3	0.7
5	曇	18.8	62.0	5.3	0
6	曇	19.2	93.0	6.2	0
7	曇		54.0	4.6	0.2
9	晴		36.0	6.1	0
12	晴	36.0		5.3	0.2
13	曇	15.4		5.9	0
15	晴		75.8	6.1	0
16	曇	21.2		4.6	0
17	曇	21.7	55.5	6.9	0
19	曇	24.2	77.2	3.2	13.7
20	曇		66.5	1.7	1.2
22	晴	21.0	83.0	5.8	0
23	晴		59.0	2.7	0.2
26	晴	15.7		5.2	0
27	晴		72.5	4.6	1.1
28	曇		58.2	1.9	3.1
29	曇	14.5		4.5	0.2
30	曇		77.5	2.5	1.3

第2表 減水深の経年変化 (mm/日)

	漏 水 無 区	床 締 区	ペ ン ト ナ イ ト	粘 客 土 入 区	備 考
1955 7月25日(晴)	150	85	40	19	自記水位計による
1956 6月29日	120	100	52	20	モノサンによる
1957 7月20日	100	58	28	40	#
8月5日	52	40	28	28	#
8月15日	116	96	32	28	#
1958 6月10日	140	140	120	70	#
6月15日	130	130	85	80	機械除草の翌日
6月21日	96	96	48	—	モノサン
6月25日	108	68	100	64	モノサン
7月1日	90	58	81	60	#
7月21日	90	51	30	30	#
1959 6月13日	135	130	105	95	#
6月25日	102	94	83	63	#
7月6日	86	80	60	45	#
8月6日	71	45	25	20	#

第3表 ペントナイト用量試験における減水深 (cm/日)

混 合 量	6月13日	6月21日	6月29日	7月8日	7月25日
1. 無添加区	22.4	22.0	19.2	22.4	20.0
2. 250貫区	16.8	14.4	9.6	9.6	7.2
3. 500貫区	12.0	7.2	7.2	4.8	4.8
4. 1000貫区	7.2	4.8	12.0	4.0	4.8
5. 2000貫区	9.6	14.4	9.6	2.4	2.4

ペントナイトは 貫/反 水稻移植は 6月6日

解説

テンシオメーターについての覚え書き

竹 中 肇*

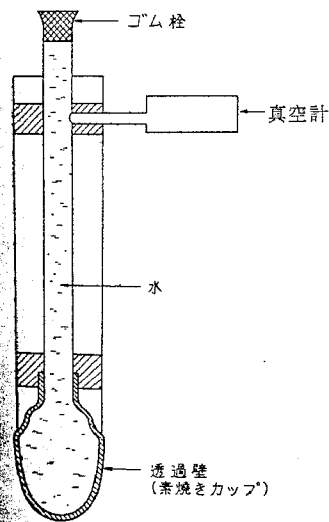
不飽和状態における土壌水のエネルギー状態を知ろうとする場合その吸引圧が1気圧以下ならば、テンシオメーターは有効な手段の一つであることはすでに多くの事例について明らかにされている¹⁾。

最近各方面からその使用についていろいろ問い合わせを受けることが多いが、ここでは測定の実理についての理解を深めるため、しばしば疑問の対象となる諸点を列挙してみた。ごく常識的な問題ではあるが、これが試験研究を前進させる一助となれば幸いと思う。

1. 測定される吸引圧はテンシオメーターの透過壁の性質により影響されるか

最もよく受ける質問であるが、土壌と透過壁の接触が保証され、平衡に達した状態について論じれば、測定される吸引圧は透過壁の性質が異なってもそれによる影響

は受けない。若し透過壁の性質によつて圧力計指度が変化するとすれば、この事実を用いて第一種永久運動を行うことが可能となり、熱力学第一則は成り立たなくなってしまうことに注目しなければならない。したがつて当然のことながらテンシオメーターによつて不飽和のみならず飽和の場合の土壌水の圧力をも測定出来ることがわかる。



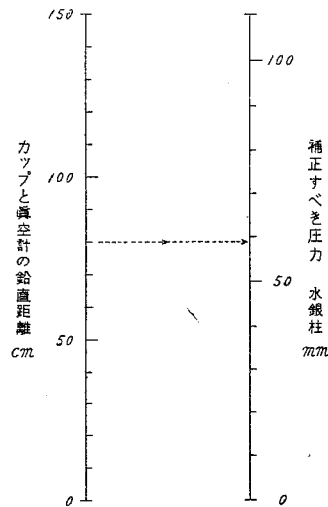
第1図 テンシオメーターの縦断面図

2. 透過壁に接触している土壌水のエネルギー状態が部分的に異なる場合にはどのような事態が起るか
このような場合には主として透過壁を通じて水分の移

動が起り、平衡状態においては透過壁周辺の吸引圧は等しくなつてしまふ。(より厳密にいえば透過壁の各部分の位置のエネルギー差をも問題としなければならぬので、吸引圧はごくわずかではあるが、透過壁の各部分で異なることとなる。)したがつて土壌水分のエネルギーの位置的変動が大きいような場合には、測定のスケールに応じた透過壁を選ぶことが必要となつてくる。

3. 圧力計を連結する位置によつて圧力計指度は変化するか

テンシオメーター内に水を満した場合、その栓を密嵌しなれば、カップにはテンシオメーター内の水深に相当するだけの水圧が加わつてカップの壁を通して水が流出する。もし栓を密嵌すれば、蒸発を阻止した平衡状態においては、カップ表面での圧が大気圧に等しくなつて



いるわけであるから、カップと圧力計の位置の差に相当するだけ圧力計部分に負圧を生じている筈である。したがつて圧力計で読みとつた指度は土壌の実際の吸引圧とは異なるわけで、これについての補正を常に加えておかねばならぬ。(第2図参照) 筆者が見聞した

第2図 補正図表

例 カップと真空計の鉛直距離が80cmであるとき補正すべき圧力は、水銀柱表示で59mmとなる。カップが真空計より下方にあれば、この値を実際に読み取つた真空計指度より減じる。又カップが真空計より上方にあればこの値を加えたものが土壌水の吸引圧を示す。

* 農業技術研究所 昭和35年7月26日受理

3, 4の事例ではこれについての補正が加えられていない。テンシオメーターの長さが数十 cm に達するようなときには相当の誤差を伴うこととなるので注意しなければならぬ。

なお圧力計にブルドン管真空計を用いると、真空計の個体差や指度の経年的変化があり、機構上この種の圧力計自体のヒステリシスが起るので精密な測定のためには水銀圧力計を使用することが望ましい³⁾。

4. 水を満し栓を密嵌し飽和大気中に置れたテンシオメーターのカップのどの部分が大気圧に等しくなっているか

カップと圧力計が第1図のような設置条件で平衡に達したときには、カップの下端が大気圧に等しくなるようカップ各部分の細孔隙中に空気-水界面が形成される。このカップ下端部はカップと土壌とを最も密接に接触させることが可能な部分であり、また各水平面内において土壌との接触面積が最大の部分である。従つてカップ下端を圧力測定の場合の基準原点として採用する方がよいと思われる。

5. 不飽和大気中に水を満し密嵌したテンシオメーターを置きカップ表面より蒸発を起させてテンシオメーターの機能をテストするのは適当な方法であろうか

テンシオメーターの均一性を調べるための簡便法として行われる方法の一つであるが、この場合、大気蒸発力が均一性を調べようとする各テンシオメーターに対し同一であつたとしても、テンシオメーター内に満されている水量の差異によつて圧力計の指度は異なる。(水が圧力の変動及び温度の昇降に対し完全な非膨張非収縮性の液体ではないからである。)このほか水銀圧力計を用いるとすれば水銀が上下するガラス管の内径によつても指度の

変化の様子は異なる。したがつてこの方法は大気蒸発力、テンシオメーター内部の水の容積、圧力計の構造など多くの因子による影響をうけるので、必ずしも適当ではない。むしろ透過壁の透水性、漏気圧、あるいは圧力計の性能などを別個の試験でテストするべきであろう。

以上ごく常識的な問題について触れたわけであるが、平衡に達した状態を前提としなければ、水分張力の測定結果の処理は甚だ厄介なものとなつてしまう。しかし圃場における土壌——水分系は常に変動している動的なものであるから、水分張力を測定するときの time lag が大きいということは変化の様相を把握するための重大な障害となる。したがつて現在用いられている素焼きカップは機械的強度が大で半永久的使用にたえる利点はあつても透水性が劣るのは大きい欠陥と考えられる。今後は躍進目覚ましい高分子化学の成果により生み出されつつある多孔性合成樹脂膜を活用することを提案したい。測定に必要な漏気圧を保証する多数の微細孔隙を有して透水性がすぐれ、理化学的に安定な多孔性プラスチックを用いることにより、time lag が減少するのみならず⁴⁾、土壌に接触する透過壁の外表面も小さくすることが出来る利点がある。

文 献

- 1) 椎名乾治・竹中肇：畑地保留水の消費機構，(第1報)，昭和35年農業土木学会大会発表
- 2) 吉良芳夫・竹中肇：畑地かんがいにおけるかん水量とかんがい開始時期の決定について(1)，土地改良，9，(2) (1959)
- 3) SEDGLEY, R. H. and MILLINGTON, R. J. : A rapid equilibrating soil moisture tensiometer, *Soil Sci.*, 84, 215 (1957)

報 文

耐水性構造及び仮比重の時期的変化と
受蝕性に及ぼす影響

風蝕に関する土壌肥料的的研究(第4報)

国分欣一*・根本清一*

風に対する土壌の受蝕性は直接には乾燥状態の表土の構造によつて決まるが、この乾燥状態の構造に及ぼす耐水性構造の影響については区々のことが云われている。

CALDWELL&ELLIS¹⁾は clay とアルカリ可溶腐植の結合力と耐水性団粒の粒径分布との相関を見出し、clayと腐植が風蝕に対する掘抗力を増すとしている。

同様に CHEPIL²⁾は粒径0.42mm以上のもの及び0.02mm以下の耐水性団粒の増加により土塊を増し受蝕性を減ずると云っている。

又一方 HARDT³⁾は Bavaria における黒泥土の研究から耐水性団粒及び腐植の質と量のいづれも風蝕に影響しないと結論している。

耐水性構造の風蝕に及ぼす影響を知る前程として、栃木県那須野ヶ原の受蝕性土壌と耐蝕性土壌について耐水性構造と仮比重の季節的变化について調査を行い、受蝕性との関係について検討した。

1. 方 法

供試土壌は栃木県那須野ヶ原の受蝕性土壌とこれに近接している耐蝕性土壌の6地点の表土10cmを採集し

第1表 耐水性粒子の粒径分布

土 壤	土 性	採 集 年 月	耐 水 性 粒 子 (粒径mm)						
			>2.5	2.5~1.0	1.0~0.5	0.5~0.28	0.28~0.1	計	>1.0
小 滝°	LiC	1954年 8月	9.4	16.8	16.6	13.7	21.3	77.8	26.2
		1955年 4月	8.1	17.0	19.0	14.5	15.3	73.9	25.1
		1957年 5月	4.0	12.1	17.5	18.3	18.4	70.3	16.1
		1957年 11月	5.6	11.3	14.1	12.2	16.4	59.6	16.9
		平 均	6.8	14.3	16.8	14.7	17.9	70.4	21.1
四 ッ 谷×	C L	1954年 8月	11.2	10.8	10.1	12.8	22.3	67.2	22.0
		1955年 4月	5.1	8.5	8.6	12.8	21.1	56.1	13.6
		1957年 5月	5.7	8.7	10.5	13.8	24.0	62.7	14.4
		1957年 11月	5.2	9.9	11.8	12.4	18.8	58.1	15.1
		平 均	6.8	9.5	10.2	13.0	21.6	61.0	16.3
沓 掛°	C L	1954年 8月	10.1	12.2	12.4	12.7	14.6	62.0	22.3
		1955年 4月	4.5	12.9	16.5	14.9	14.7	63.5	17.4
		1957年 5月	9.9	13.5	13.2	10.2	16.8	63.6	23.4
		1957年 11月	10.4	12.9	13.6	13.8	17.8	68.5	23.3
		平 均	8.7	12.9	13.9	12.9	16.0	64.4	21.6
佐 野×	LiC	1954年 8月	11.8	12.1	12.1	13.1	21.8	70.9	23.9
		1955年 4月	13.8	13.0	12.2	13.1	19.9	72.0	26.8
		1957年 5月	13.0	13.0	12.5	13.8	19.8	72.1	26.0
		1957年 11月	10.3	11.5	11.9	13.8	24.7	72.2	21.8
		平 均	12.2	12.4	12.2	13.5	21.6	71.8	24.6
箭 坪°	C L	1954年 8月	14.8	15.9	13.1	16.0	13.5	73.3	30.7
		1955年 4月	7.4	12.2	15.8	19.4	17.5	72.3	19.6
		1957年 5月	4.1	11.6	17.4	25.1	16.5	74.7	15.7
		1957年 11月	5.3	8.6	16.4	22.0	15.4	67.6	13.8
		平 均	7.9	12.1	15.7	20.6	15.7	72.0	20.0
戸 田×	SCL	1954年 8月	3.2	4.3	13.0	38.4	26.2	85.1	7.5
		1955年 4月	3.5	5.2	12.5	31.3	28.7	81.2	8.7
		1957年 5月	5.0	8.6	14.1	33.9	25.4	87.0	13.6
		1957年 11月	4.5	7.1	11.6	38.3	22.9	84.4	11.6
		平 均	4.1	6.3	12.8	35.4	25.8	84.4	10.4

備考 一次粒子と団粒を分離していない ° 耐蝕性 × 受蝕性

た。

団粒分析⁴⁾は原土を5.16mmの篩を通過させた後、振巾2.5cm、振盪速度毎分20回転の団粒分析器中で1時間水中振盪を行った。

仮比重は100cc容採土円筒を用いて表土を採集し自然状態の仮比重を測定した。

* 関東東山農試 昭和35年7月8日受理

2. 結果及び考察

1954年8月, 1955年4月, 1957年5月, 1957年11月の4回にわたって測定した一次粒子をも含めた耐水性粒子は第1表のとおりである。

受蝕性である戸田は土性も比較的粗く, 1mm以上の耐水性粒子は他の土壌に比較して少ないが, 受蝕性である四ツ谷は耐蝕性である小滝に比較してわずかに少く, 受蝕性である佐野は耐蝕性の沓掛よりも多く他のいずれの耐蝕性土壌よりも多い。この耐水性粒子と冬期の表土の土塊⁵⁾のmean weight-diameter⁶⁾の値は第2表に示すとおりである。

冬期の dry clod の mean weight-diameter は耐蝕性である沓掛, 箭坪が大きく, 次いで小滝であつて受蝕性土壌はいずれも小さいのに対して, 耐水性粒子では受蝕性である佐野が最も大きく, dry clod の場合と傾向は一致しない。

CHEPIL^{7,8)}は>0.84mm耐水性粒子が乾燥状態の clod の増加及び受蝕性の減少に大きな影響を及ぼすとしているが, これらの供試土壌の1mm以上の耐水性粒子についても受蝕性である佐野は多いにも拘らず, 乾燥状態の

第2表 mean weight-diameter と飛土開始風速

土 壌	mean weight-diameter		
	耐水性粒子	乾 燥 土 塊	風洞内の飛土開始風速
小 滝	0.734mm	2.40mm	12.5m/sce
四ツ谷	0.609	1.84	8.5
沓 掛	0.757	3.35	8.9
佐 野	1.672	0.70	5.3
箭 坪	0.750	3.07	11.0
戸 田	0.549	0.56	5.3

clod は極めて少い。又風洞における飛土開始風速も小さい。受蝕性である四ツ谷, 戸田は耐蝕性である小滝, 箭坪に比較して夫々耐水性粒子は少ないが, 小滝と四ツ谷の差はわずかである。

さらに一次粒子を分離した時期別の耐水性団粒の値は第3表のとおりである。

CHEPIL^{7,8)}によると>0.84mm耐水性団粒は春よりも秋に多く, 冬季には霜柱と凍結によつて大きな耐水性団粒は破壊され, 細い粒子を中庸な耐水性団粒に結合する傾向があるという。

これらの土壌間には時期的変化に一定の傾向は見られなかつた。耐蝕性との関係が深いと云われている1.0mm以上の団粒についても四ツ谷, 沓掛, 箭坪において1955年4月よりも1954年8月がわずかに多かつたが, それ以外には顕著な差異は見られなかつた。

現地の自然状態における仮比重の時期的変化は第4表のとおりである。いずれの土壌についても春よりも夏又は秋の方が大きかつた。春には冬季間の凍結又は霜柱の発生によつて融解後粗鬆になり, その後も暫らく降雨が少なくて乾燥しているためにそのままの状態を維持しているものと思われる。夏から秋にかけては降雨量が多いので雨滴の衝突, 或いは微細粒子の分散及び移行によつて孔隙をつめてち密になるものであろう。

第3表 時 期 別 の 耐 水 性 団 粒

土 壌	土 性	採 集 年 月	耐 水 性 団 粒 (mm)						
			>2.5	2.5~1.0	1.0~0.5	0.5~0.28	0.28~0.1	計	>1.0
			%	%	%	%	%	%	%
小 滝	LiC	1954年 8月	9.4	16.6	16.0	12.7	16.1	70.8	26.0
		1955年 4月	8.0	16.8	18.9	14.1	12.9	70.7	24.8
		1957年 5月	3.7	11.7	16.9	17.1	14.1	63.5	15.4
		1957年 11月	5.1	11.0	13.6	10.8	12.3	52.8	16.1
四ツ谷	CL	1954年 8月	11.2	10.8	10.1	12.4	19.8	64.3	22.0
		1955年 4月	5.1	8.2	8.4	12.4	19.0	53.1	13.3
		1957年 5月	5.7	8.5	10.3	13.1	20.5	58.1	14.2
		1957年 11月	5.0	9.7	11.4	11.4	15.8	53.3	14.7
沓 掛	CL	1954年 8月	9.4	11.4	11.5	11.7	8.4	52.4	20.8
		1955年 4月	4.1	12.6	16.0	13.5	9.5	55.5	16.7
		1957年 5月	9.6	13.0	12.4	8.3	8.1	51.4	22.6
		1957年 11月	10.3	12.5	13.0	12.0	9.7	57.5	22.8
佐 野	LiC	1954年 8月	11.8	12.0	11.5	11.8	17.4	64.5	23.8
		1955年 4月	13.5	13.0	11.3	11.3	16.1	65.2	26.5
		1957年 5月	12.6	12.8	11.9	11.7	14.9	63.9	25.4
		1957年 11月	10.3	11.3	11.1	11.7	19.8	64.2	21.6
箭 坪	CL	1954年 8月	14.3	15.2	11.0	10.2	7.2	57.9	29.5
		1955年 4月	7.1	11.6	13.5	10.7	7.3	50.2	18.7
		1957年 5月	3.6	10.2	11.9	12.1	5.8	43.6	13.8
		1957年 11月	5.0	7.5	11.4	11.7	6.5	42.1	12.5
戸 田	SCL	1954年 8月	2.4	2.1	5.0	12.2	4.6	26.3	4.5
		1955年 4月	3.2	4.8	7.1	7.3	8.4	30.8	8.0
		1957年 5月	2.9	4.8	5.1	8.1	8.0	28.9	7.7
		1957年 11月	1.8	3.0	3.7	10.3	4.6	23.4	4.8

第4表 現地表土の仮比重

	1954年8月	1955年4月	1957年5月	1957年11月
小滝	0.73	0.56	0.57	0.68
四ッ谷	0.54	0.40	0.48	0.47
沓掛	0.99	0.80	0.82	0.97
佐野	0.45	0.35	0.37	0.41
箭坪	0.91	0.66	0.70	0.75
戸田	0.63	0.49	0.59	0.62

第5表 ベントナイト添加による耐水性団粒の変化

処理	粒径(%)					計
	>2.5	2.5~1.0	1.0~0.5	0.5~0.28	0.28~0.10	
無処理	2.8%	5.4%	7.8%	10.1%	13.3%	39.4%
石灰	2.8	5.0	7.0	11.0	19.0	44.8
ベントナイト多量	2.9	3.5	5.4	6.8	10.0	28.6
ベントナイト少量	2.0	4.1	5.0	7.1	24.9	43.1

又耐蝕性土壌の仮比重は受蝕性土壌よりも大きい、火山砂礫を含み腐植の少ない場合や海岸の砂質土の場合には必ずしも受蝕性土壌の仮比重は小さくないことは既報⁹⁾によつても明かである。

風蝕防止対策としてはベントナイトの如き膨脹格子型の粘土が乾燥にしたがつて土壌の凝集力を増して受蝕性を減ずるのに有効であることがうかがわれる⁹⁾。

試験圃場において10アール当りベントナイト多量区 2268kg、ベントナイト少量区 756kg、消石灰区 113kg を夫々施用した場合の耐水性団粒の変化は第5表のとおりである。この土壌の性質は全炭素6.7%、全窒素0.43%、PH5.2、塩基置換容量 23.1me./100g である。土性は砂質植壤土であつて火山灰質である。処理は1955年10月におこない、1956年5月に表土を採集した。粒径2.5mm以上の団粒には差が見られない。2.5mm以下では無処理区、石灰区間に顕著な差がないがベントナイト区は多量区、少量区共に2.5~0.25mmの団粒が減少している。ベントナイトは受蝕性の軽減の可能性があるが耐水性

団粒は増さずむしろ減少している。この点は更に検討されねばならないと思われるが、ベントナイトの膨潤及び分散性の大きいことと共に腐植に対する影響⁹⁾も考慮されねばならないだろう。

3. 摘 要

耐水性構造と仮比重の時期的変化と風に対する受蝕性に及ぼす影響を知るために栃木県那須野ヶ原の受蝕性土壌とこれに近接する耐蝕性土壌について検討した結果は次の如くである。

- 1) 耐蝕性土壌は必ずしも耐水性粒子が多くはなく、乾燥状態の土塊の場合とは一致した傾向を示さない。
- 2) 耐水性団粒の時期的変化については一定の傾向を示さないが、自然状態の仮比重については春よりも夏又は秋に大であつた。
- 3) ベントナイト添加により火山灰土壌では耐水性団粒は増加していないことから風蝕に対する耐水性団粒のもつ意義は直接的ではないことがうかがわれた。(本報文の一部は昭和31年9月土肥学会関東支部大会に於て講演し、要旨は講演要旨集、第3集、91頁に掲載された)

引用文献

- 1) CALDWELL, O.G. & ELLIS, H.: *Soil Sci.*, 55, 276 (1943)
- 2) CHEPIL, W.S.: *Soil Sci.*, 55, 275~287 (1943)
- 3) HARDT, G.: *Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenk.*, (A)45, 216~238 (1936)
- 4) 美園・木下・須藤・寺沢: 農技研報告, B2, 126 (1953)
- 5) 国分・板川・根本: 関東東山農試研究報告10号, 107~113 (1957)
- 6) YOUKER, R.E. and MCGINNESS, J.L.: *Soil Sci.*, 83, 291~294 (1957)
- 7) CHEPIL, W.S.: *Soil Sci.*, 76, 389~399 (1953)
- 8) CHEPIL, W.S.: *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 18, 13~16 (1954)
- 9) 国分: 土肥誌, 31, 4号, 155~158 (1960)
- 10) 弘法: 東大立地研報告, 第9号, 1~5 (1951)

土壤水分条件がカリの有効性に及ぼす影響

木下 彰* 市来 秀夫*

1. 緒 言

土壤の種類が異なつていて生産性に差があるばあい、肥料の量を変えたり施肥方法を改善しても生産性の差を消去することはできない。生産性の差をもたらす原因が単に養分的因子に基くならば、土壤中の養分を同量になるように補給すれば同一収量を挙げうるはずであるが、現実にはこの仮定は成り立たない。

現段階の土壤学においては、土壤の肥沃度の大小を判定するのに、土壤に含有する養分の一定溶媒によつて溶出、あるいは置換抽出される量の多少によつてゐるが、このような方法はある程度肥沃度の大小を判定する目安となりうることを認めるがきわめて不備なものといわざるをえない。

現実の土壤の生産性の高低は、いわゆる有効態養分の含量に依存しているが、これはあくまで低次の段階でいいうることであつて、有効態養分が作物に吸収さ

れるか否かのような高次の段次の段階において作物の生育は支配されることが多いと思われる。

土壤学における“有効態養分”は“作物によつて吸収利用されることが可能な形態の養分”であつて、決して“作物によつて吸収可能な状態にある養分”でないことに注意すべきであらう。

第1表 供試土壤の化学的性質

供試土壤	PH		酸度 (y ₁)		T-N %	T-C %	C/N	CEC me	置換性塩基		
	H ₂ O	KCl	置換-	加水-					CaO me(%)	MgO me(%)	K ₂ O me(%)
野々島	5.6	4.3	1.8	32.0	0.40	4.31	10.8	24.8	7.6(30)	1.0(4)	0.92(3.7)
黒石	5.3	4.7	0.8	48.9	0.55	6.80	12.4	38.3	13.2(34)	0.8(2)	0.25(0.7)
若原	5.3	4.5	2.5	42.5	0.74	10.75	14.5	39.4	3.0(8)	0.4(1)	0.52(1.3)

() は飽和度を示す

第2表 試験設計

試験処理		施肥量 (pot 当り)			処理後における 土壤の塩基含量(飽和度)			土壤水分条件
水分レベル	Kの量	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O**	
高水分	多	30me	0.5g (0.5)*	2g	30%	6%	6~9%	有効水分の 10%増
	少	0	# (#)	#	#	#	1~4	
低水分	多	30	# (#)	#	#	#	6~9	有効水分の 50%減
	少	0	# (#)	#	#	#	1~4	

備考 (1) *印は追肥とする。(2) **印においてKの多量区は夫々の土壤にCECの5%相当量のK₂Oを施用し、少量区は原土のままとした。(3) 肥料の形態: N→(NH₄)₂SO₄, P₂O₅→NaH₂PO₄, K₂O→K₂SO₄

第3表 水分恒数、水分処理および乾土重

供試土壤	水分当量 (PF2.7)	萎凋点 (PF4.2)	有効水分	調節水分		1 pot 当り	
				高レベル	低レベル	CEC	乾土重
野々島	46.0%	24.2%	21.8%	48.2%	35.1%	600me	2.42kg
黒石	59.0	31.2	27.8	61.8	45.1	#	1.56
若原	77.0	36.4	40.6	81.6	56.7	#	1.52

備考 高水分レベルは、有効水分の10%増⇒PF2.5

低水分レベルは、有効水分の50%減⇒難効性有効水分の始点 PF3.5~3.6

作物に吸収可能な状態の養分の量によって作物の生育が支配され、その量を規定する因子として土壤水分条件が大きく関与する、という想定に立つて行つたものである。

2. 実験方法

火山灰土壤の生産性の高・中・低の野々島、黒石、若原の土壤について、作土を供試して、土壤水分レベルを高・低の2段階、これにカリの施用の有無を組合せて、裸麦をポット栽培した。

1) 供試土壤の性質

供試土壤の化学性は第1表に示す通りである。

2) 試験処理の設計

試験処理の設計は第2表に示す通りである。水分恒数ならびに水分調節についての数値をさらに第3表に示した。

3) 栽培内容

供試品種：裸麦赤神力
 規模：1/5000 aポット, 4連
 栽培管理：34年12月7日播種,
 12月13日発芽, 2月
 15日間引して2本立
 2株, 35年6月2日収穫
 水分調節：蒸散による減量をポットの全重量より求め、上部より注水した。

4) 調査項目

生育調査, 収量調査, 作物体の化学組成分析, ならびに土壤の化学分析(土壤カリの浸出実験)

3. 実験結果

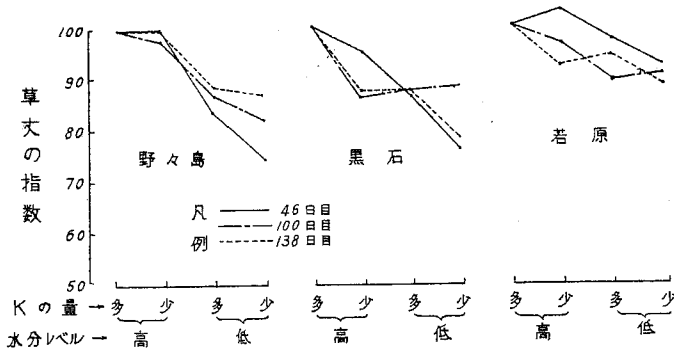
1) 裸麦の生育

草丈, 分けつについての生育調査の結果を第4表に示した。また草丈ならびに分けつの処理別比較をそれぞれ第1図と第2図に図示した。

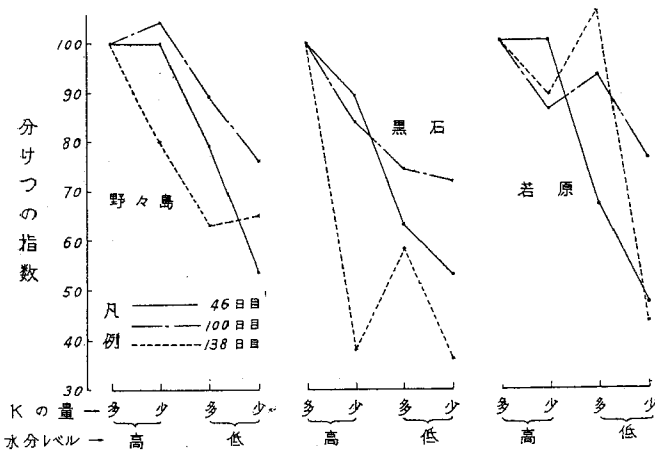
第4表 生育調査結果(4連 平均値)

生育経過日数	調査項目	水分レベル	Kの量	実数			指数		
				野々島	黒石	若原	野々島	黒石	若原
				高	低	多少	高	低	多少
46日	草	高	多少	10.9	15.9	10.2	100	100	100
				10.9	15.1	10.5	100	95	103
	丈	低	多少	9.0	13.7	9.9	83	86	97
				8.0	12.1	9.4	74	76	92
	分けつ数	高	多少	1.9	1.9	1.5	100	100	100
				1.9	1.7	1.5	100	89	100
	低	多少	1.5	1.2	1.0	79	63	67	
			1.0	1.0	0.7	53	53	47	
70日	草	高	多少	17.7	22.0	15.1	100	100	100
				16.9	21.0	14.8	95	95	98
	丈	低	多少	15.1	20.2	13.2	85	82	87
				14.5	19.5	12.8	82	89	85
	分けつ数	高	多少	6.4	6.3	5.0	100	100	100
				5.9	5.3	4.8	92	84	96
	低	多少	4.8	4.7	3.5	75	75	70	
			4.0	3.0	2.8	63	48	56	
100日	草	高	多少	40.2	39.2	36.9	100	100	100
				39.2	33.9	35.2	98	86	96
	丈	低	多少	34.8	34.0	32.9	87	87	89
				32.9	34.6	33.3	82	88	90
	分けつ数	高	多少	11.3	10.4	8.5	100	100	100
				11.8	8.7	7.3	104	84	86
	低	多少	10.1	7.7	7.9	89	74	93	
			8.6	7.5	6.5	76	72	76	
120日	草	高	多少	62.3	59.1	56.9	100	100	100
				61.6	49.1	50.6	99	83	89
	丈	低	多少	51.3	52.1	53.1	82	88	93
				51.6	47.6	37.2	83	81	65
	分けつ数	高	多少	11.8	12.2	9.2	100	100	100
				12.8	8.3	7.8	108	68	85
	低	多少	8.2	8.7	9.3	70	71	101	
			9.5	7.0	6.8	81	57	74	
138日	草	高	多少	70.0	64.6	68.0	100	100	100
				69.7	53.1	62.5	100	82	92
	丈	低	多少	58.4	56.5	64.1	83	87	94
				61.0	50.7	59.7	87	78	88
	分けつ数	高	多少	12.3	12.5	8.8	100	100	100
				9.8	5.8	7.8	80	46	89
	低	多少	7.8	7.3	9.3	63	58	106	
			8.0	4.5	4.8	65	36	55	

註 草丈の単位 cm, 分けつは株当たり



第1図 草丈の処理別比較



第2図 分けつの処理別比較

第5表 播種後70日目の幼植物体の化学的組成 (2月15日採取)

	水分レベル	K ₂ O量	新鮮物量 (20株分)	Base (me/100g乾物)					SiO ₂	P ₂ O ₅	T-N	風乾物重
				CaO	MgO	CaO+MgO	K ₂ O	Total				
野々島	高	多少	44.5g 35.5	34.9 41.3	14.1 15.2	49.0 56.5	138.1 115.3	187.1 171.8	0.95% 1.15	0.49% 0.43	5.95% 5.97	7.5g 6.2
	低	多少	27.0 21.0	30.4 38.7	16.0 15.3	46.4 54.0	138.1 113.0	184.5 167.0	0.09 0.85	0.45 0.44	5.84 5.84	5.0 4.0
黒石	高	多少	66.0 61.0	35.6 44.4	17.2 20.6	52.8 65.0	150.0 47.8	202.8 112.8	0.55 0.60	0.48 0.53	5.65 5.71	10.7 9.5
	低	多少	37.0 29.0	34.0 43.2	16.8 24.2	50.8 67.4	138.1 62.2	188.9 129.6	0.50 0.50	0.50 0.49	5.83 5.73	7.5 5.0
若原	高	多少	33.5 32.0	38.8 44.4	16.7 24.2	55.5 68.6	150.0 95.5	205.5 164.1	0.75 1.10	0.37 0.33	5.64 5.81	5.5 5.4
	低	多少	28.5 16.0	32.4 34.9	15.8 27.1	48.2 62.0	132.6 85.0	180.8 147.0	0.50 0.40	0.37 0.34	5.89 5.71	3.4 2.7

草丈についてみると、各土壌とも水分レベルの高低の影響が明瞭に表われているが、生育時期の推移によってみると表われ方に土壌間差を生じている。

べルの影響が明らかに認められる。すなわち、高水分レベルでは SiO₂ 含有率が大きく、この差は土壌Kの量によって影響され、土壌Kが少ないばあいに差が顕著

三土壌を通じての傾向を求めると、生育の初期にはK施用の有無にかかわらず高水分が低水分より常にすぐれているが、後期に至ると土壌間に差が表われて野々島土壌では初期の生育の差のまま推移するが、黒石、若原土壌では生育の増大に伴ってK施用の有無の影響が表われてくる。

この理由としては、野々島土壌は土壌Kの絶対量が多いことに基いて、K施用の有無の影響がないが、黒石、若原土壌では土壌Kの絶対量は少ないが、生育の初期には作物のK要求度が少ないので水分条件によって生育が支配されているが、後期に至ってKの要求度が増大してくるとKが制限因子となつて水分の影響が消えるためであると考えられる。

分けつについてみると、草丈においてみられた傾向と同様であるが、さらに拡大された状態で表われている。

2) 裸麦茎葉の化学的組成

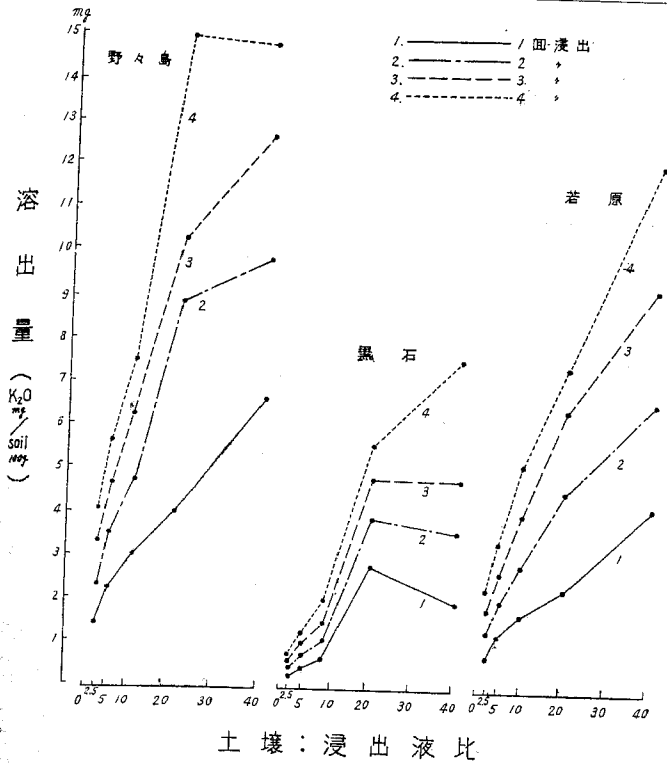
生育後70日目 (2月15日採取) の茎葉の化学的組成を分析した。結果を第5表に示す。

第5表でみる通り、K₂O含量は土壌Kの多少に比例しているが、水分レベルの高低による影響はみられない。しかし、表には

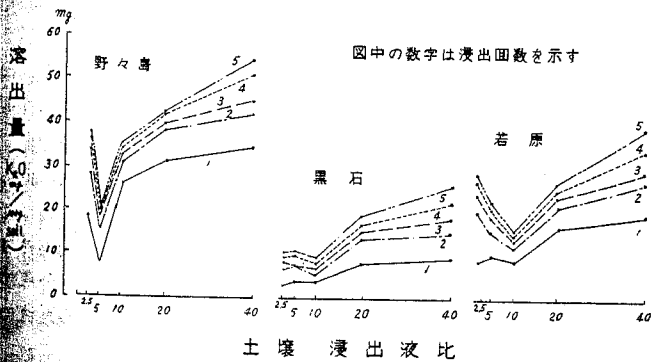
示していないが吸収の絶対量では高水分レベルの方が明らかに多い。

CaO, MgO の含有率は水分レベルの高低による影響はくみられないといえてよい。しかし、土壌Kの多少による抗作用による影響明瞭に表われている。

SiO₂ 含有率は土壌の種類によって極めて差があるが傾向としては水分



第3図 水による浸出 (積算値)



第4図 n-酢安による浸出 (積算値)

ポット栽培に供試した三土壤(原土)について、水および $n\text{-CH}_3\text{COONH}_4$ (PH 7.0) によるKの溶出状況を、浸出液：土壤比をかえ、また浸出回数(連続)による変化をしらべた。

土壤：浸出液比を土壤1に対して、2.5、5、10、20、40として、浸出液を注加して24時間時々攪拌して放置し、のち遠心分離機で上澄液を分離し(3000rpm, 30分)、上澄液のKを定量し、以後これと同じ操作を繰返した。

水浸出の結果を第3図に、n-酢安の結果を第4図に示した。

第3図、第4図において、土壤：浸出液比を増すとKの溶出量は増加するが、この増加率は水による浸出がn-酢安よりも大きい。黒石土壤の浸出液の最大の1：40が1：20よりも溶出量が少いが、これはこの土壤が9年間K無施用のものであるために少いことと、浸出液を多くすると攪拌の際の土壤粒子の衝突による粒団の破壊が不完全のためにKの浸出が十分に行われないためと考えられる。

n-酢安によるKが置換態として存在するならば浸出液比を増しても溶出量の増加率が小さいことは当然なことであろうが、液量比によつて変ることは吸着強度の小さなKが存在し、自然条件下の土壤においても土壤溶液への release に差を来すことを想定させようであろう。

また、浸出回数を重ねてもKの溶出は連続的に行われる。

以上より供試した土壤のKは土壤水分条件によつて変動し易い状態で存在していることを推定しうる。

4. 考察ならびに結論

この実験において採用した土壤水分レベルは、高水分を PF2.5、低水分を PF3.5 としたのであるが、この水分レベルは現実の圃場において起りうる条件である。とくに低水分の PF3.5 は畑地の作付土壤においてしばしば惹起されるので、さほど乾燥した条件ではない。このような水分条件においても裸麦の生育に重大な影響を与えることは、前記の結果で分るように明らかである。このことから、現実の圃場においては土壤水分が不足の状

されている。いいかえれば、水分が多くて土壤のKが低い条件下で SiO_2 含量が大きいことがみられる。このK少量のばあいには蒸散が盛んとなつて、非選択吸着である SiO_2 は余計に吸収されるためであろうと推定される。

SiO_2 含有率は土壤間差違はみられるが、処理間では認められない。

SiO_2 含有率は土壤間にも、処理区間にも全く差異がみ

土壤からのKの溶出

態にあり、作物の生育が抑制されているとみてさしつかえないであろう。

土壌Kの有効性が土壌水分によつて影響されることは土壌水分の作物への生理的作用と土壌Kの作物生育への必要量および作物への供給速度の影響を区別することが出来ない設計のために断定しえないが、一応肯定してもよいと考える。

筆者らは土壌養分の作物に最も有効な形態は水溶性の形態のものであり、有効性は土壌溶液に放出された状態のものが最も効率がよいとの見地に立つ。

土壌溶液についての T. B. BURD および T. C. MARTIN¹⁾ は極めて示唆に富むデータを提供している。すなわち、土壌溶液中の養分のうち NO_3^- は多量に存在し、K は中量、 PO_4^{3-} はごく微量にしか存在しなく、そして作付や季節の変動に基く量的変化は絶対量の多少に比例していること、および変化が極めて大きいということである。このことから土壌中のKは土壌溶液の放出される際に土壌固相と液相との界面の吸着特性に影響され、また土壌条件、とくにここで取扱つた土壌水分条件の変動に基く濃度平衡に支配されることが考えられる。

置換態として吸着されるような陽イオンは土壌水分条件によつて、土壌溶液への放出に差を生じ、作物体中の

含有率に差をもたらすことが考えられるが、本実験における作物体の含有率では、N, PO_4 , K, Mg においては全く影響が認められず、ただ SiO_2 が影響をうけることがみられた。これに関する既往の研究結果において、低水分レベルでは、MILLER と DULEY はトウモロコシの N, P, K 含量は高くなり Ca は逆に低くなるとし、EMMERT はトマトでは N, K, 含量が高く、P は低いことをみ、その他の多くの研究での傾向は N 含量は増加し K は減少し、P, Ca, Mg 含量には一定の影響を与えないことが示されている。

いづれにしても本邦の土壌の土壌溶液の濃度、組成に関する研究はみるべきものがない現状においては、養分有効性に土壌水分条件が関与するという結論は土壌溶液に関する研究の進展まで保留せざるをえないが、土壌水分条件をより湿潤に保つことによつて土壌Kが少いばかりでもより乾燥条件でKが多いばかりよりも裸麦の生育は良好である、という事実をつかみえた。

文 献

- 1) 谷田沢道彦訳：ホーランド、植物の無機栄養、13~18 (1955)
- 2) 谷田沢道彦訳：トルオーグ、植物栄養新説、364~7 (1958)

傾斜地の水分勾配について

箱 石 正*

1. はしがき

畑土壌生産力に関する研究のとりまとめの段階——生産力の土壌区分——で、数m乃至十数mの小起伏による軽度の地形の高低及傾斜について論議された。吾々の対象地区ではこの様な地形が一般的であり、且そこではかなりの生産力の差が認められる。生産力の差を構成する要因として有効土層の厚さ、土壌水分等の問題が指摘されるが、ここでは吾々が調査期間に得た生産力乃至土壌水分の測定結果より傾斜に関したものの一部を掲げ、移動の問題を含めた土壌水分についての論議の過程を述べ各位の御教示を仰ぐ次第である。尙この問題は畑土壌生産力に関する研究協会における東北農業試験場の課題であることを付記しておく。

2. 地区の概要

岩手山麓地域は岩手火山を中心とし、北から東、南に亘つて広く扇状に分布している新期火山噴出物によつて構成されている地域で、その東麓 2,000ha が調査の対象になつた。この地域の土壌は石塚教授によれば降灰年次及堆積様式により3土壌統に分けられる。調査地区の北半の表層は最も新しい時代の火山堆積物と認められ、15~35cm の深さに礫層を有する土壌断面を持つA統に属する地帯で、その南に礫含量の少いA統よりも古い時代の火山堆積物であるとみなされるB統が分布している。

土壌水分に関する測定はA統に属する刈屋とB統に属する上郷、南部及調査区域外であるC統に属する厨川で実施した。各地点の断面の概要は第1表の如くであつた。

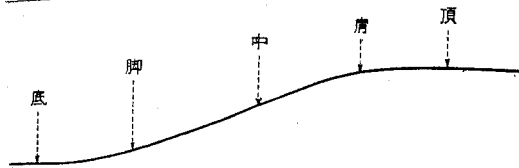
以下の論議のため傾斜面上の地点を第1図の如く規定する。

3. 地形と生産力

* 東北農業試験場 昭和35年7月15日受理

第 1 表

刈屋(未混層)	第1層0~15cm, 腐植を含み礫に頗る富む CoSL, 第2層15~38cm, 火山砂礫層, 以下埋没土, 地下水位低
混層	混層耕一50cm, 第1層0~22腐植に富む LCoS, 作土, 第2層作土直下のためやや密, 第3層30~50cm 以下埋没土, 2, 3層は埋没土と礫が団塊状に混合, 地下水位低
上郷	礫なし, 第1層腐植に富む CoSL, 作土直下ややちみつ, 以下下層に漸変第6層(50乃至80cm)に厚さ10~15cmの固結した砂層, 地下水位低
南部	上郷に類似, 固結した砂層を欠く。



第 1 図

栽培試験の結果から地形に関するものを抽出すると第2表の如くであり, 要約すると肩<中<脚, 及び肩<頂<底であつたことが指摘される。このことから生産力的区分で, 斜面を挟んで位置する高距数m乃至10数mの上下両面の間ではあまり差がなくて, 挟まれた斜面の肩より脚にかけて, 生産力の傾斜が問題になることがうかがわれる。而してこの傾向は次項以下で述べる土壤水分に関する測定結果と一致した。

第2表 33年度小麦肥料試験子実収量 (kg/10a)

	頂	脚
3要素区	274	270

33年度馬鈴薯均一栽培試験 (kg/10m²)

	頂	肩	中	脚	底
例 1	26	23			28
例 2		23	26	28	

4. 土 壤 水 分

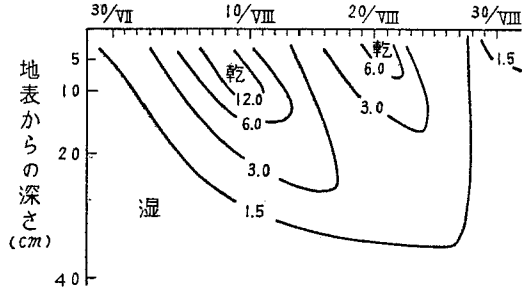
- 刈屋及厨川で石膏ブロック電気抵抗法で測定した結果, 両地区共作付(植生による水の消費)がなかつた場合, この方法で測定し得る範囲では乾燥が認められなかつた。即ち表層数cmを除き土層の大部分は大略PF2.3以下の土湿状態に保たれた。

このことは, これらの地区の表土が礫に頗る富むか或は粒団が発達し, それらの間にかかりの量の大孔隙が保たれるため, 降雨等により一時大孔隙を充たした水は急速に空気と入れ換り, 水の移動は粒団或は礫の接点のみに限られるので, かなり短い時間で事実上の平衡点に達する(圃場含水量)。この状態になると地表面蒸発によって水を失いつつある地表面への毛管伝導による水の補給は急速におとろえ, 表層数cmが風乾状態になつたときには, これが soil mulch を構成し上述の機作による水の消失が事実上無視しうる段階に達したと考えるべきであろう。

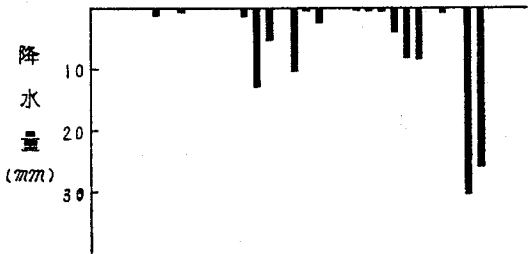
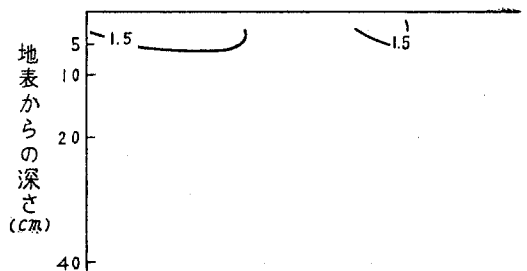
結論を繰返すと本地区の土壤の水分垂直分布は植生と降雨の量及分布によつてのみ規制されると云うことである。

- 吾々は土壤水分を静的な量の面からのみ検討した。即ち圃場含水量と萎凋点水分の差をもつて有効保水

(肩 部)



(脚 部)



第 2 図

容量とみなして、それと生産力の関係について論議した。A, B 両統間の差 (表土 20cm で刈屋混層 34ミリ, 上郷 49ミリ) 或は A 統の混層耕実施の有無についてはこれで充分であつたが、傾斜面に関してはこの方法は充分でなかつた。上郷地区及厨川で石膏ブロック電気抵抗法で測定した結果、取量の低かつた (水消費の少なかつた) 肩部が脚部よりもかなり乾いたことを認めた。厨川大豆畑の測定結果を第 2 図に示す。結果を遠観するため横軸に時間を、縦軸に深さをとり測定値 (水分量或は水分張力) に読みかえてない抵抗値 $K\theta$ をそのまま用いた) を plot し, isopleth diagram で表現した。

肩=乾, 脚=湿の水分勾配を作る要因として (1)地表流去による脚部への水の集中, (2)土層内での肩→脚への水の移動, (3)脚の方が地下水面からの補給に恵まれる, (4)肩の方が植生による水消費が多い等が指摘される。撤播牧草畑である上郷, 充分な保全耕作が行われている厨川ではいづれも地表流去の発生が認められない, 地下水位はいづれも低くそこからの補給は問題にならない, 植生は肩<脚である筈の事実は(1)(2)(3)が水分勾配の原因でないことを証明していると同時に(4)の可能性を示唆する。

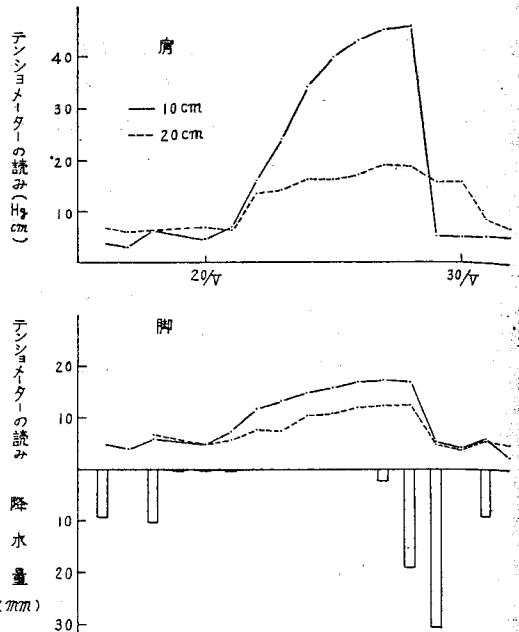
3) 植生の影響を除いて前項の事実を確認するため,

第 3 表

	圃場容量		現地水分	
	%	PF	%	PF
頂	26.4		17.1	2.1
脚	28.6		24.0	1.9

1959年10月

無作付区で (降雨24時間後の圃場水分を規定した) 圃場容量に達した後の現地水分の消長をみた。刈屋 (混層) の結果を第 3 表に, tension meter で得た厨川の結果を第 3 図に示す。尚いづれにおいても測定期間に地表流去は認められなかつた。刈屋では圃場容量と現地水分の差が脚では少いが頂ではかなり大きいことが認められた。厨川の例はここに図示した 16/V, 18/V を含めて前後 5 日間に 42ミリの降雨があり其の後乾燥が続いた経過を示している。ここに示された示度 5~6cm は圃場容量の状態と思われる, その後無降雨が数日続いて脚では 17, 12cm で大略安定したが肩では 40cm 以上 (これは平衡したのか測定



第 3 図

の限度を示すか明確でない) 及 18cm で平衡した。

これらの結果のみでは充分でないが, 過剰に存在した土壌水分は PF 2.0 以下と考えられる圃場容量で一旦平衡した後, かなりの量のものが緩慢な速度でなお移動し, 数日を経過して第 2 の平衡点に至ることが推察される。

4) 2), 3) 項で推察した様な水の移動が発生するためには, これを支える土壌の状態がなければならない。即ち(1)表土がかなり高い透水性を有すること, (2)その下に表土よりかなり透水性の低い層があること, 3) 下層土の湿潤抵抗等が考えられる。

第 4 表 水柱 40cm の負圧で排水された大孔隙量

	第 1 層	第 2 層	第 3 層	第 4 層	第 5 層	第 6 層
刈屋 (未混層)	26.6	49.0	11.6	3.3		
(混 層)	30.5	—	—	9.6		
上郷	13.2	4.6	6.9		3.7	1.8
厨川	11.0	2.2	3.3	7.6		
透 透 係 数						
刈屋 (未混層)	2.3×10^{-2}	2.5×10^{-1}	5.5×10^{-3}	1.2×10^{-3}		
(混 層)	1.6×10^{-2}			2.3×10^{-3}		
上郷	6.9×10^{-3}	2.3×10^{-3}				1.4×10^{-4}
厨川	7.6×10^{-3}	3.1×10^{-3}	1.2×10^{-3}	9.2×10^{-3}		

調査地点の各土層の透水性及大孔隙量は第4表の如くであつた。刈屋未混層の2層と3層、3層と4層、刈屋混層の1層と4層、上郷の1層と2層、5層と6層、厨川の1層と2層はそれぞれ(向)の関係を備えており、これらの面に沿うて流出が生じたことがうかがわれる。

5) 土層内流出の事実を確認するため斜面上方及下方に窓有、窓無し簡易ライシメーターを設置し、その滲透水の量とライシメーターの位置、窓の有無及方向の関係を検討することは有効な手段である(特に刈屋では)。この実験は目下実施中であるが未だ充分な結果を得ていな

い。

5. あとがき

以上傾斜地の生産力の勾配を水分勾配と関係づけ、その原因として土層内水分流出を指摘しその可能性を推論した。この水の移動は単に水の移動であるだけでなく、養分保持力と関連して考察すれば肥沃度の変動であり、erosion の chemical な面の一半を担うものであるとも考えられる。

学会だより

関係学会の現況を紹介するページを設けました。夫々専門の方に順次執筆を依頼する予定ですが、本号では日本土壤肥料学会をとり上げました。

日本土壤肥料学会春季大会だより

昭和35年度大会は4月3日～6日にわたり開催された。会場の豊島区駒込、女子栄養短期大学において、3日～5日まで研究発表、6日は3コースにわかれて、埼玉県農耕地及び東京都内試験研究機関の見学会がおこなわれた。講演数は272題にのぼり、下記の7部門にわかれて活発な研究発表がおこなわれた。

第1部 土壤物理

第2部 土壤化学

第1分科会 土壤無機成分

第2分科会 土壤有機成分

第3分科会 土壤鉱物および膠質複合体

第3部 土壤微生物

第4部 作物栄養

第1分科会 特殊成分

第2分科会 養分吸収

第3分科会 体内代謝

第5部 土壤肥沃度

第1分科会 水田土壤の肥沃度

第2分科会 畑土壤の肥沃度

第6部 土壤の生成、分類および調査

第7部 肥料、肥効試験

講演題数は年々増加の傾向をしめし、講演申込は演者1人1題にかぎられている。特別講演として、農学会および土壤肥料学会賞受賞者講演が次の三氏によりおこなわれた。

(1) 作物の養分吸収に関する動的研究……

……東大農 三井進午

(2) 東北地方の腐植質火山灰水田における稲作改良に関する研究………東北農試 本谷耕一

(3) 水田土壤の微生物代謝に関する研究……

……東大農 高井康雄

なお、新学会評議員が選出され、その投票に依て新学会会長三井進午氏、副会長高橋治助氏が就任された。当学会は近年とみに会員数の増加をしめし、春季大会のみでは研究発表が十分消化できないために、2年毎に支部担当でおこなわれる臨時大会および例年の各支部大会で研究発表の機会が得られるようにつとめている実状である。一方学会誌に対する投稿論文も年々増加し、約1年分が保留されている有様で、この打開策として会費値上も止むをえないだろうとみられている。

現在和文誌(第31巻)は月刊として年に12冊、欧文誌(第6巻)が年に4冊の発行になつている。(寺沢四郎)



D.I.K 土壤実容積測定装置

—特許番号第259846号—

本装置は、農技研土壤物理室の御指導によつて弊社が完成せるもので、土壤の実容積（固、液容積の和）を極めて短時間（2分以内）且精密（誤差1/1000）に測定し、それに基づいて他の物理的諸量（真比重、水分含量、孔隙率、空気実容積等）を統一的に決定し得る装置であります。

◎特 徴

- 1) 携行型であり、圃場でも簡単に使用し得る。
- 2) 測定時間が2分以内で終るため圃場の実際と合致する。
- 3) この測定に使用した試料は、物理化学的变化がないから、他の測定に統一的に使用出来る。
- 4) 土壤以外のあらゆる粉、粒、塊状物質の実容積測定に使用出来る。

—土壤物理測定には—

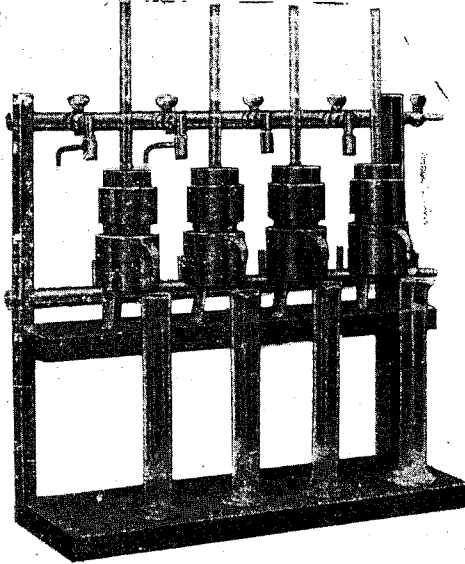
同一資料で統一的に

D.I.K 透水性測定装置（特許出願中）

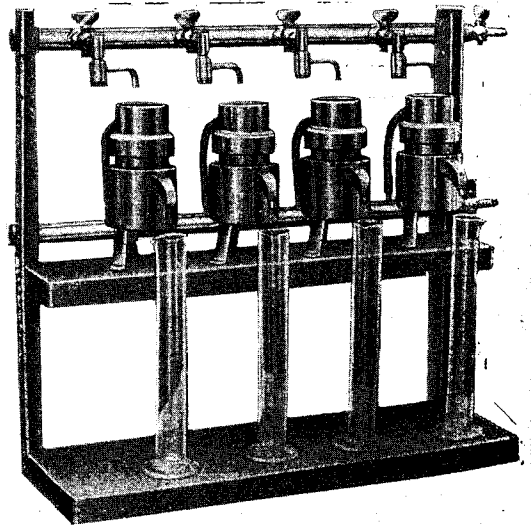
4連型、2連型、変水位、定水位兼用



（変
水
位）



（定
水
位）



本 器 の 諸 特 徴

- (1) 変水位、定水位、いずれの測定も容易に出来ます。 (2) 実容積測定をした試料が使用出来ます。 (3) 透水性測定を終つた試料をそのまま D.I.K.P.F 測定装置、D.I.K 団粒分析装置に使用出来ます。 (4) 全金属性ケース入携行型で圃場での測定が可能です。

製造発売
実容積測定装置
P.F 測定装置
団粒分析装置

大起理化工業株式会社
東京都荒川区町屋2-342 TEL (801) 1760

編集委員会発足

評議員会の決定に基づき、下記6名の委員により編集委員会が発足した。

滝島康夫 寺沢四郎 四方俊一 小中俊雄 椎名乾治
八幡敏雄

7月27日の委員会で別記の投稿規定が決められた。

第2回研究討論会予告

先に行つたアンケートの結果を参考にして次のように開催されることに決つた。

期日 昭和35年9月30日(金)午前9時—午後4時

場所 東京都北区農業技術研究所3階講堂

討論テーマ 水田の透水性について

問題提出者(予定)山崎, 富士岡, 松尾, 椎名, 沼尾, 坂上の諸氏

アンケート集計結果 (69枚回収)

A討論テーマ: 水田の透水性42, 畑水分測定法33, 土壤侵蝕の試験研究法26, 粒径分析, 土性判定法35, その他3

Bテーマの数: 1テーマ30, 2テーマ39

C問題提出者の推せん: 水田の透水性 山崎, 富士岡, 松尾, 内山, 坂上畑水分の測定法 福田, 美園 粒径分析法関係 山崎, 山中, 菅野

D意見: 学会前後に開くのがよい。水田, 畑に限定しない。討論会の内容を会誌に詳しくのせてほしい。

新入会員

新田一彦(北海道農試畑作部) 高山和雄(同農芸化学部)

富岡悦郎(同) 天野洋司(同) 千葉豪(同) 平島利昭

(北海道立農試宗谷支場) 佐々木清一(北大農) 佐久間

敏雄(北海道開発局土木研) 佐藤智男(東北農試) 小出

進(岩手大農) 浪瀬信義(同) 菅原(岩手農試) 土屋功

位(山形大農) 穂波信雄(同) 山谷孝一(林試東北支場)

若生松兵衛(宮城農試) 安尾正元(関東東山農試) 藤井

晴信(同) 高畑滋(同) 沢田正(東京農試江戸川分場)

茂見輝男(東大農) 稲垣実夫(東京教育大) 土山豊(栃

木農試) 佐藤末男(富士平工業) 多田敦(東京農工大)

重房和(同) 川尻美智子(農技研化) 中村充(平塚水利

試験場) 小川篤(山梨農試) 山崎伝(北陸農試) 宮下明

治(信大農) 清井敏博(長野農試) 木内一巳(同) 県富

美夫(静岡林試) 早坂猛(蚕試中部支場) 渡辺哲夫(新

潟林試) 西川光一(石川農試) 寺島利夫(福井農試) 勝

夏太(同) 徳永美治(愛知農試) 熊田恭一(名大農) 樽

本(京大農) 徳永宗平(岡山県苫田高校) 加甲艶照

(広島農試) 鳥取農試 岩崎勇作(林試四国支場) 安藤
嘉教(香川大農) 藤川武信(九大農) 島中洋(福岡農試)
近野薫(熊本農試)

移 動

岐部利幸(関東東山農試→四国農試) 今井富蔵(東海近
畿農試→農地局計画部) 八田貞夫(関東東山農試→東京
農地事務局) 虎谷博一(兵庫農試→大阪府立放射線中央
研) 佐々木茂(林試好摩分場→同木曾分場)

退 会 者

中山兼徳(関東東山農試) 田辺市郎(農技研化) 遠山良
樹(宮崎農試) 長谷川満良(同) 山崎芳信(同) 大崎明
(同) 大賀敏男(同) 猪股久和(同)

昭和35年8月26日現在

正会員 423名 賛助会員 9

会 計 報 告

(昭和35年2月26日~同8月25日)

収 入 の 部

繰 越	50,784
会費(正会員)	58,910
賛助会費	18,000
広告料	12,000
雑収入	800
計	140,494

支 出 の 部

2号誌印刷費	65,170
3号誌印刷費(一部)	2,000
通信発送費	7,694
文房具費	330
評議員会費用	960
編集委員会費用	1,665
幹事手当	3,000
雑 費	1,050
計	79,869
差引残高	60,625

次号原稿募集

発行予定 昭和36年3月

原稿締切 昭和36年1月末日

投稿規定参照

土壌の物理性 第3号

(会員配布)

1960年9月25日発行

発行 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

印刷 日本理化学器械新聞「印刷部」