

土壤の物理性

第 31 号

昭和50年 5 月

巻 頭 言	須 藤 清 次	1
解 説 土壤汚染についての基礎知識	飯 村 康 二	2
水田泥の攪拌沈降硬化について	藤 尾 福 蔵	9
報 文 遠心法 pF—水分測定における圧縮の影響	軽 部 重太郎	14
毛管水の負圧変化について	古 賀 潔	21
資 料 転換畑における土壤水分と土壤構造の変化	竹 中 肇	24
重粘土水田の土層改良と用排水組織に関する研究	根 岸 久 雄	29
第10回国際土壤学会から	渡 辺 春 朗	34
書 評 「八幡敏雄著 土壤の物理」を読んで	木 下 彰	38
土壤物理用語事典	長野間 宏	38
土 粒 子	早 野 恒 一	39
会 務 報 告		40

土壌物理研究会会則

- 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なう。
- 1 研究発表会、討論会及び見学会などの開催
 - 2 土壌の物理性 (Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan 会誌という) 並び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、学生会員及び賛助会員、購読会員の4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 | 2,000円 |
| 学生会員 | 〃 | | 1,500円 |
| (大学院生を含む) | | | |
| 賛助会員 | 1口年額 | | 10,000円 |
| 購読会員 | 会誌年額 | | 2,500円 |
| 広告料 | 賛助会員 | 実費 | |

- 賛助会員以外実費の5割増
- 第6条 本会に次の役員をおく。任期は2年とし、選出方法は別に定める。
- (1) 会長1名、副会長1名
正会員の中から評議員会によって選出される。
 - (2) 評議員
イ 15名 正会員から互選される。
ロ 3名以内 会長が委嘱する。
 - (3) 会計監査 2名
正会員の中から評議員会によって選出される。
 - (4) 幹事 若干名
会長委嘱
- 第7条 会長は毎年1回以上総会並びに評議員会を招集する。
- 第8条 本会に次の委員会をおく。
- (1) 選挙管理委員会
正会員の中から評議員会によって選出され、本会の評議員選挙を管理する。
 - (2) 編集委員会
正会員の中から評議員会によって選出される委員によって構成され、会誌その他の印刷物の編集に当る。
- 第9条 本会の経費は会費その他の収入をもってあてる。
- 第10条 本会の会務執行に必要な規定は別に定める。

「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また編集委員会が依頼した場合はこの限りではない。
- 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なう。ただし内容については、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、本規定および別に定める原稿執筆規定に従って執筆するものとする。
- 4) 枚数は16枚程度、図表を含めて刷り上がり6ページ以内を規準とする。超過ページならば写真、図表など、特に多額の経費を要するときは実費を申し受ける。
- 5) 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。なお、題名、著者名、所属には英文を併記するものとし、とくに報文については、300語以内の英文要約をつけるものとする。「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、引用文献を明らかにすること。「論説・総説」土壌の物理性に主眼をおき、広い視野に立って記述したもの。

- 「資料」既に発表した報文また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。
- 「その他」土粒子、書評などを含む。
- 6) 原稿には下記形式の送り状をつける。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。

発表年月日		受付年月日	
種別		原稿枚数	
表題		図表数	図表、表
著者名		写真数	葉
所属		別刷	30部+部

- 7) 印刷は30部を著者に贈呈する。それ以上希望する場合は実績を申し受ける。
- 付記：投稿及び会誌編集に関する通信は、下記宛のこと
茨城県船橋郡阿見町(〒300-03)
茨城大学農学部農業工学科
土壌物理研究会編集委員会
- なお、原稿執筆規定(裏表紙)に従うこと。

巻 頭 言

解 答 者 か ら 提 案 者 へ

須 藤 清 次*

Seiji SUDO

地盤が年20mm上昇したために、川崎で直下型地震の可能性ありとさわがれた。5月になってこの地盤変動は構造的ではなく地下水圧の上昇に起因するもので、地震の心配は薄らいだと判断された。地下水圧の上昇による隆起つまり土の体積増加は、力学的には土への抑え圧力である有効圧が減少することによって起る。その際、砂礫では偽高弾性的な体積の回復により、粘土では膨潤圧による膨脹によると、土壌物理はこの問題に解答を与えることができる。

しかしこのような個別知識だけでは、地下水に関する水収支・地盤沈下などの今日の課題についての問題提起者になるまでに至っていない。農学の関わる課題である食糧・水資源・土地保全または環境について、土壌物理をふくむグローバルな知識に基づく提言が生れることを望みたい。

科学研究はただ善であり、自然の征服は文明の指標であるという考えが自然に受入れられた戦後の状況は、経済成長・技術革新の時代を経過して変ってきた。開発による環境破壊はその一つの象徴的な例である。このような歴史的な経過のなかで、学術会議も'72年以来、科学研究のあり方を世界的な視点から転換を行ない、人口、食糧、資源、環境、国土問題などの課題に取り組んできている。

このような問題につけて想い起されるものとして、少し古い課題であるが土壌侵食・農地保全があげられる。それは土壌の側からは Middleton, 気象の側からは Thornthwaite らの研究に従って、開拓地・傾斜地の課題に多くの人びとが取り組み、今日の技術体系ができあがった。このような問題の延長上に、今日 Leopold, Maddock は河川の水利幾何学をうち立て、Langbein, Leopoldは侵食地形についてエントロピー概念の導入により地形を動的平衡の過程としてとらえている。彼等の仕事は地表物理学とも呼ぶにふさわしく、国土・環境問題に技術的な基礎となるであろう。

この場合の一つの特徴として、土壌・地表物理への時間の導入があげられる。時間が物理現象のパラメーターとして扱われるようになったのは Galilei の落体法則からであった。史家 Gillispie は、ガリレイは自分その中に生き、年をとるものとしての時間にたいする、人間の自然の生物的本能から解放されるまで20年間もこの問題に取り組んだと描いている。時間はそういうように生物と共に先づあったのである。本誌土粒子欄にみられた作物栄養・微生物などの研究者からの土壌物理への要望は、そういう意味で土に時間を持込んできているものとして受止めたい。時間の導入だけが鍵というわけではないが、土壌物理の視野を拡げるために一つの大切な観点ではないだろうか。

* 会長、茨城大学農学部

土 壌 汚 染 に つ い て の 基 礎 知 識

飯 村 康 二*

An Introduction to the Cadmium Pollution of Soil

Koji IIMURA

Hokuriku National Agricultural Experiment Station

1. はじめに

本稿では重金属等による土壌汚染をめぐる諸問題について、カドミウムを中心に概略を述べてみたい。

鉱工業排水あるいは排煙など、人工的起因による土壌の重金属汚染は全国的に非常に広汎に起こされ、昭和45年度の農林省の推定によると、汚染された、または汚染のおそれのある農用地面積は37,000haにおよんでいる¹⁾。昭和45年には富山県黒部市や福島県磐梯町、新潟県六日町など、カドミウムの汚染が全国的に問題になったのであるが、この年の秋の第64臨時国会で、公害関係法の整備が審議され、農用地土壌汚染防止法を含む14件の公害関係法案が成立した。

土壌汚染防止法は、単独の法律としては、特定有害物質が推定基準をこえたとき、都道府県が対策地域を指定し、必要な対策を実施することを骨子とする事後処理的な性格をもった法律である。特定有害物質第1号としては、周知のようにカドミウムとその化合物が、昭和46年6月の政令で指定され、翌47年10月に銅とその化合物、さらに本年4月にはヒ素とその化合物が指定された。なお鉛、亜鉛などの指定が検討中といわれる。

これらの三つの物質の指定要件は次のようなものである。カドミウムについては、玄米中1.0ppmをこえる量が検出されるか、またはそのおそれの著しい地域、銅は水田土壌中0.1N塩酸可溶銅含量が125ppm以上の地域、またヒ素は1N塩酸可溶ヒ素含量15ppm（地域の条件により10~20ppmの範囲とすることができる）の地域となっている。

これらのうち銅とヒ素は土壌中濃度によって決定される。すなわち両者とも水稲に対する被害が問題とされているのに対し、カドミウムにおいては、人間の食品として1ppm以上含有してはならないという許容基準に基づいている。カドミウムによる土壌汚染問題は、単に作物の生育の阻害だけでなく、一見正常に生育している作物中の有害物質濃度を低下させなければならないという新

しい問題を提起したわけである。

2. 汚染の現況

昭和46年から、カドミウムによる汚染地域および汚染のおそれのある地域について、実態を把握するための土壌汚染防止対策細密調査（2.5haにつき1点）が行なわれ、46年には35都道府県117地域約11,700haの土壌と米約4,600点の調査が行なわれた²⁾。この調査は国庫補助および都道府県単独事業として行なわれている。この年の調査で18都道府県28地域において玄米中濃度1.0ppm以上のカドミウムが検出されている。47年度にもカドミウムについて27県76地域合計9,562haの細密調査が行なわれ、18地域から1.0ppm以上のカドミウムを含む玄米が検出されており、また銅については7県8地域1,060haが調査され7地域で土壌中125ppm以上の銅が検出されている³⁾。48年度には31都道府県108地域10,861haの細密調査で36地域から1.0ppm以上のカドミウムを含む玄米が、また銅については18都道府県22地域3,177ha中14地域で基準以上に汚染された土壌が発見されている³⁾。48年度の調査を例にとると、富山県神通川左岸で玄米中5.20ppm、秋田県鹿角市で4.18ppmといった高濃度のカドミウム汚染がみられる。

また、47年度に83地域、48年度には119地域の休廃止鉱山附近の調査が行なわれ、47年度の調査では玄米中カドミウム濃度1.0ppm以上のもの2点、土壌中銅125ppm以上のもの35点が検出されている³⁾。

これらの地域のうち一部は土壌汚染防止法による対策地域として指定され（49年3月現在13地域⁴⁾）また指定が進められつつあるが、当面休耕されているところも多い³⁾。

汚染源としては、鉱山、精錬所周辺におけるかんがい水や大気汚染によるもののほか、電気工場、メッキ工場などからの汚染がある。最近にいたって、セメント工場やゴミ焼却場（塩ビなどによる）からの排煙によるカドミウムの土壌汚染が問題となっている⁴⁾。

第1表にカドミウムの用途別販売実績を示した。カド

* 農林省北陸農業試験場

第1表 カドミウム用途別販売量（暦年）⁵⁾

(単位 トン)

暦年	合計	メッキ	合金	顔料	塩ビ安定剤	ブラウン管	整流器	触媒	電池	その他	輸出(外数)
40	787	168	42	185	161	13	21	122	51	24	689
41	1,334	223	97	280	283	43	30	212	94	72	447
42	1,412	213	141	352	273	48	27	221	89	48	422
43	1,875	230	208	498	386	60	34	282	101	76	455
44	2,253	269	234	587	466	68	47	344	124	113	461
45	1,485	135	169	444	341	40	60	31	176	89	879
46	1,448	29	87	610	384	10	27	18	224	59	1,311

1. 日本鋳業協会資料 2. 43年、44年は一部推定

ミウムの使用量は次第に減少しつつあるが、その用途の多くは回収不能といわれる。この量を第2表の表層土中のカドミウム量とくらべてみると、日本全体におけるカ

ドミウムの環境濃度が人為的に高められている可能性が考えられる。

3. 玄米中カドミウム濃度の許容基準

第2表 日本全土の土壌および玄米中のカドミウム（非汚染地域）

	面積 万平方方	積重 億t	平均濃度 ppm	全カドミウム量* t	摂取量 μg/人・日
全土	37	500	0.40	20,000	
水田	3	45	0.45	2,000	
玄米	(//)	0.12	0.09	1.1	27

* 表層15cmの濃度が均一であると仮定して計算した。

厚生省の定めた玄米中カドミウム濃度の許容基準は1.0ppm（白米中0.9ppm）であるが、これに対してはいくつかの批判がある⁶⁾⁷⁾⁸⁾。これらの批判の骨子は、1)摂取量を求める前提が、尿中濃度30μg/lで、この基準は労働衛生規準としてさえ根拠がうすい。2) この尿中濃度からカドミウム摂取量を算出する際、尿中排出量に対する摂取量の回帰を求めるべきであるのに、摂取量に対する排出量の回帰を求めるというミスを行っている。正し

第3表 土壌および農作物中の重金属等の自然含有量（ppm）

元素	土 壤	玄 米	麦 子 実	野 菜	果 実	牧草、飼料作物
Zn	132 (50~228)	18.95 (15.5~50.80)	22.3 (13.0~38.5)	4.93 (1.4~17.0)	49.3 (~38.50)	43.7 (17.0~80.0)
Cd	0.40 (0.10~1.58)	0.09 (~0.74)	0.043 (0.00~0.17)	0.78 (0.06~1.36)	0.03 (~0.44)	0.26 (0.06~0.63)
Cu	52 (11~108)	2.87 (1.92~15.50)	4.11 (2.30~6.35)	9.4 (1.7~35)	2.13 (~26.50)	19.1 (6.2~47)
Pb	31.9 (18.0~71.7)	0.11 (0.07~0.14)	0.12 (0.07~0.35)	4.0 (1.7~10.9)		1.4 (0.6~3.6)
Ni	25 (20~30)	0.36 (0.14~0.97)	0.23 (0.14~1.07)	4.4 (2.0~13.3)		
As	9.7 (1.9~19.2)	0.20 (0.01~0.29)	0.058 (0.02~0.14)			0.05 (tr~0.09)
Hg	0.10 (0.06~0.15)	0.045 (0.01~0.09)				
Cr	45 (17~140)					
Mo	4.05 (1.5~11.3)					

(注) 1. 数値は、玄米は水分15%換算、果実は乾物当たり、その他は乾物・風乾物のいずれか表示のないものも含まれている。
 2. 引用文献¹⁰⁻²⁰⁾
 3. 玄米および果実の Zn, Cd, Cu は文献¹⁵⁾によった。
 4. 白米風乾物中 Cd 0.005~0.472、平均 0.066ppm という分析値がある²¹⁾。

い計算をすれば、尿中濃度30 $\mu\text{g}/\text{l}$ を基準にしても玄米中濃度の限界は0.23ppmでなければならない、というものである。

批判者の1人(浅見)が引用している、FAO(国連食糧農業機構)とWHO(国連世界保健機構)合同の食品添加物に関する専門家委員会(1972)は、鉛、水銀、カドミウムについて検討を行なっている⁹⁾。カドミウムについては、1)腎皮質中濃度が200ppmをこえると腎臓障害をおこすおそれがある、2)腎皮質中の正常な濃度レベル(スウェーデン人30ppm、アメリカ人25~50ppm、日本人50~100ppm)を現在以上に上げるべきではない、3)腸管における吸収率を5%、日排出量を全量の0.005%として腎皮質中濃度が50ppmをこえないであろう1日当りの摂取量を計算し、許容摂取量の暫定的提案を行なっている。その数値は体重1kg当たり1 $\mu\text{g}/\text{日}$ で、体重50kgの人ならば1日50 μg ということになる。

第3表は土壤および農作物中の重金属の天然含有量の比較的最近のデータを集録したものである。第2表の玄米中カドミウムに関するデータは第3表の数値をもとにしている。

1日の米からの摂取量27 $\mu\text{g}/\text{日}$ は全人口の平均値で1日の米の摂取量を約300gとしている。厚生省が玄米中濃度の許容基準をきめたときの計算では摂取量を500g/日としているが、これは決して過大な数字ではないであろう。すなわち、日本人は平均的にみて、すでに専門家委員会の提案した暫定的な摂取量の許容基準のレベルに近い量のカドミウムを米だけで摂取していることが推定される。そしてこれは同委員会の報告にある、日本人の腎皮質中カドミウム濃度が50ppmをすでに上回っていることと対応している。

最近カドミウムをイタイタイ病の原因物質とすることへの疑問が出されている。イタイタイ病とカドミウムの関係についてはさらに十分なとくのいく研究が必要であろう。しかし、その結果の如何に拘らず、有害物質としてのカドミウムが忘れられてはならない。

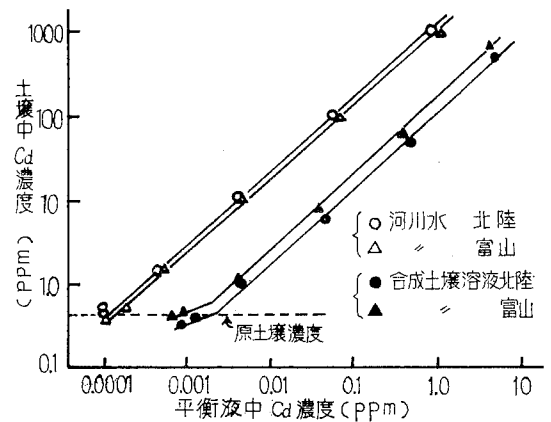
4. 対策地域指定をめぐる問題

銅やヒ素のように土壤中濃度で対策地域を決定する場合にも、境界の設定などの問題があるであろうが、ここでは玄米中濃度で決定するカドミウムの場合についてふりたい。

汚染地域でも非汚染地域でも、玄米中カドミウム濃度と土壤中カドミウム濃度の間に相関が認められないことが知られている。これは土壤条件によるもので、そのなかでも生育期間中の土壤の水管理状態が決定的な影響を及ぼす¹⁴⁾²²⁾²³⁾。第2図の例はかなり限定された条件下で

の試験であるが、それでも土壤から玄米への濃縮係数は0.01以下から2以上という変動を示している。地域を限定すればこの変動幅は小さくなるが、対策地域指定は困難で裏付けになる論理を欠いたまま指定の作業をしなければならないことになる。汚染地域で後述のような吸収抑制対策と講じている場合には、吸収抑制の効果が出れば一方において指定地域がなかなかきまらないということがおこり、逆に徹底的に落水栽培するなど吸収されやすい条件で栽培して、地域指定を行なってはどうかという意見もある。

指定から外された近接地域で、とくに0.4ppm以上の玄米が検出された水田については、法律による救済をうけられないという問題が残る。指定からとり残されても一度0.4ppm以上の玄米が検出された水田からとれる米は、政府に買上げられても凍結されるという状態がいつまでも続くのであろうか。何らかの対策——おそらくは



第1図 カドミウムの土壤—溶液間平衡²⁴⁾
(合成土壤溶液はCa 300ppm, Na50ppm)

第4表 土壤浸透水からのカドミウム吸着
(カラム法)¹⁴⁾

採水日数	北陸農試土壤		富山農試土壤	
	浸透水 Cd(ppm)	吸着率 (%)	浸透水 Cd(ppm)	吸着率 (%)
2~6	0.0021	79	0.0022	78
7~11	0.0004	96	0.0013	87
12~16	0.0004	96	0.0008	92
17~21	0.0004	96	0.0006	94
22~26	0.0006	94	0.0005	95
27~31	0.0007	93	0.0004	96

注1. 分析は浸透水5日分を合わせて分析
2. 供試液は水道水(桑取川から取水)にCd0.01ppm添加、減水深5cm/日
3. 土壤カラムの厚さ約5cm

第5表 ラインメーター用土壌中重金属含量²⁵⁾

		乾土当りppm			
地名	層位	Zn	Cd	Cu	Pb
富山	I	89.3	0.42	16.9	25.6
	II	61.8	0.22	10.4	14.2
婦中	I	288	0.73	21.0	111
	II	220	0.54	19.6	98
黒部	I	2706	33.5	126	156
	II	659	4.40	24.6	25.3

第6表 ラインメーターにおける水収支²⁵⁾

(mm, または t/10 a)

	降水量	灌水量	浸透水量	蒸発散
作付期間	701	1,285	1,435*	551
休閑期間	2,059	—	1,874	185
合計	2,760	1,285	3,309	736

* 平均2cm/日, 70日間

第7表 水田における重金属の収支²⁵⁾

(g/10 a・年)

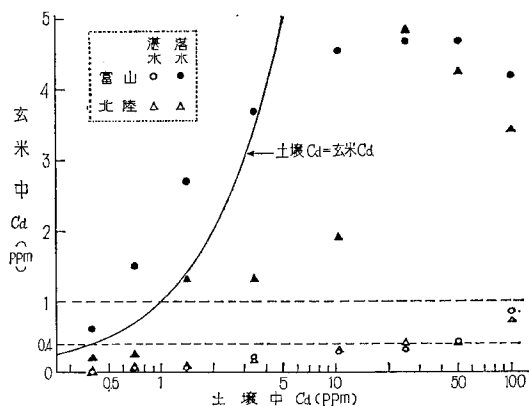
	Zn	Cd	Cu	Pb
富山	207	-0.55	-10.9	-9.8
婦中	165	-1.16	-22.6	-11.8
黒部	-3,980	-11.6	-42.1	-14.7

指定地域と同程度の——がとられて安全が確認されるまでは凍結されなければならないと考えるのが適当ようである。一方第3表にみられるように、汚染がないと考えられる水田からも0.4ppm以上のカドミウムを含む玄米が生産されることがある。表の玄米中カドミウムのデータは、国庫補助で行なわれている概況調査(1000haにつき1点)の結果であるが、この調査において0.4ppm以上の玄米が検出された場合の処置については統一見解が得られていない。汚染源を含めて周辺調査を十分に行ない、とくに玄米中カドミウム濃度が高くなりそうなどころでは、後述の水管理等の対策を行なう必要がある。

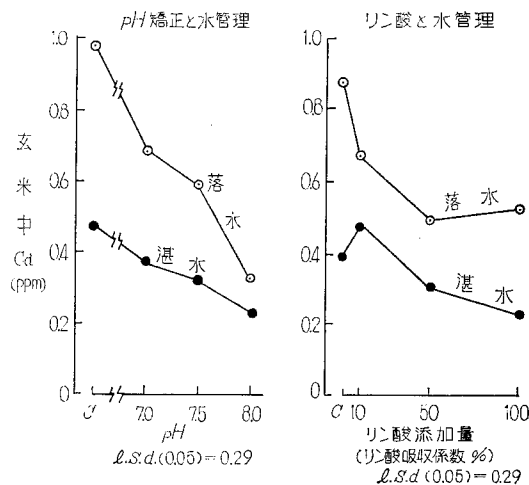
5. 土壌—植物系における重金属の挙動

(1) 土壌中のカドミウムの挙動

1) かんがい水から土壌への吸着 第1図は河川の水に含まれるカドミウムと土壌との吸着平衡を示したものである。右側の曲線はとくにカルシウムやナトリウムの塩類の濃度が高い条件での吸着平衡である。通常の河川中のカドミウム濃度は0.1ppm程度であり、これより少



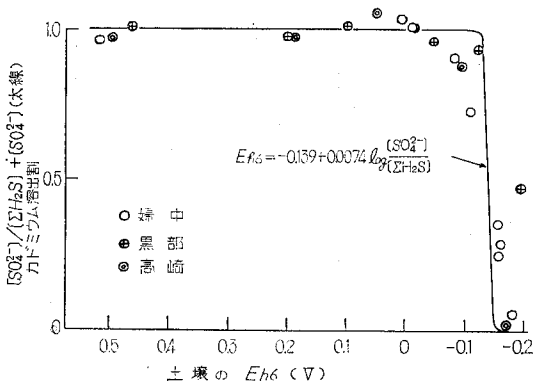
第2図 水管理と土壌中Cd—玄米中Cdの対応¹⁶⁾
(注) 落水は分けつ期以降



第3図 水管理, pH矯正, リン酸添加が水稻のカドミウム吸収抑制に及ぼす影響(2因子交互作用)²⁶⁾(カドミウムは10ppm添加)

しでも濃度が高くなると吸着がおこることがわかる。第4表は5cmの土壌カラムに水質環境基準濃度0.01ppmのカドミウムを含む河川水を浸透させた結果で、90%以上の吸着がみられる。

2) 土壌中の重金属の収支 第5表の重金属含有量の土壌を小型ラインメーターに充てんし、第6表に示した水収支(北陸地域なので降水量とくに冬期間のそれが多)のもとで水稻を作付して、かんがい水による供給と浸透水および水稻による収奪との収支をみたのが第7表である。水稻栽培は全期間湛水下で行なった。これらの土壌の作土中のカドミウム量は対照の富山で10a当り63g, 婦中で110g, 黒部で5kgと計算される。重金属の動きは非常に少ないことがわかる。富山では収支つぐなっていると仮定し、また減少量は作土中濃度に比例する



第4図 土壌の酸化還元電位とカドミウム溶出割合¹⁵⁾

と仮定して婦中および黒部の土壌中のカドミウムの半減期を試算すると、それぞれ120年および、300年という結果を得る。

汚染土壌の自然の浄化は殆ど期待できず、逆に水質環境基準濃度のカドミウムを含む水を年間1,500 tかんがいすれば、作土中 0.1ppm 程度の集積がおこることになる。土壌汚染防止の立場からは、カドミウムの水質環境基準は少なくとももう一けた下げるべきで、日本におけるカドミウムの環境濃度の高さを考えると、自然のレベル以上に濃度を上げてはならないと考えられる。

土壌への吸着のメカニズムとして、粘土表面でのイオン交換、土壌機物との錯化合物形成、土壌中の遊離の鉄やアルミニウムの加水酸化物との共沈などが考えられる。

(2) 水稻によるカドミウム吸収

第2図は水管理条件をかえて水稻をポットに栽培して玄米中のカドミウム濃度を測定して、水稻の吸収応答をみたものである。全期間湛水すれば、土壌中に 100ppm あっても玄米中濃度は 1 ppm に達しないが、生育途中で落水すると、神通川流域などで実際にみられたように 5 ppm にも達する。

第3図は北陸4県農試と北陸農試が土壌をかえて同一設計で行なったポット試験結果の1例であるが、石灰施用による pH 上昇やリン酸施用が水稻のカドミウム吸収を抑制する効果を示されている。これらの処理はとくに落水(幼穂形成期以降)区で効果が大きい。また、熔成リン肥は石灰とリン酸を併用した程度の効果があり、これらの資材中では最も有効である。

吸収抑制に関する試験は各県農試などで非常に多く行なわれているが吸収抑制のためのこれらの処理は水稻生育に目立った悪影響を与えていないようである。

(3) 土壌の酸化還元と重金属の溶解

水管理によるカドミウム吸収の著しいちがいは、土壌

第8表 土壌条件と植物のヒ素吸収

植物	土壌条件	ヒ素の施用形態	地上部乾物収量	乾物中As含量	
				地上部	根
稲	畑	ヒ酸	0.260	4.3	38
		亜ヒ酸	0.253	5.2	67
稲	湛水	ヒ酸	0.213	4.6	216
		亜ヒ酸	0.188	6.2	500
小麦	畑	ヒ酸	0.658	2.3	63
		亜ヒ酸	0.620	2.6	92

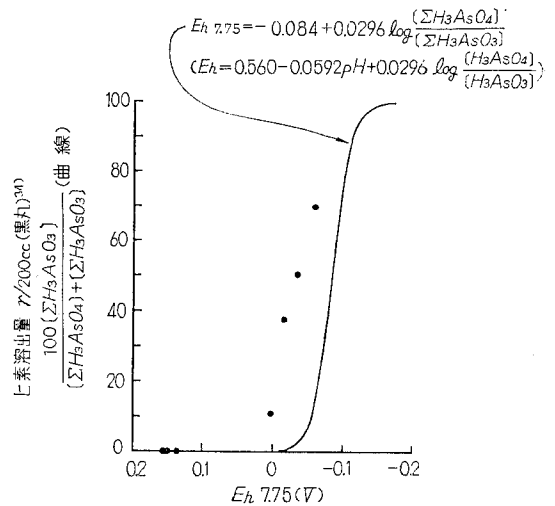
注) 旧無土壌

天正³⁵⁾

稲	水管理	土壌中濃度	玄米中濃度
	毎朝1回灌水 常時湛水	3.9 ppm	0.09 ppm 0.21

注) 小松市土壌

石川農試³⁶⁾



第5図 ヒ酸一亜ヒ酸系の酸化還元電位と土壌からのヒ素の溶出

の酸化還元によって、硫黄が硫酸⇌硫化物という形態変化を受け、硫化カドミウム溶解度が極めて低い(pKsp=27.70) ために土壌中の溶解度が激変することによって考えられる。土壌と湛水でインキュベートして酸化還元電位の低下に伴うカドミウムの溶解度の変化を追跡すると、硫酸の減少を示す理論曲線(第4図の曲線)と一致して、この仮説をうらづけている。亜鉛の溶解度変化もこの仮説と比較的よく合うのであるが、銅はより高い Eh のところで溶解度の減少を示すことがある。

石灰やリン酸の施用がカドミウム吸収を抑制する原因を求めて、カドミウムの水酸化物やリン酸塩の溶解度積

から計算した溶存量と土壤溶液中濃度の比較を行なってみると、カドミウムの難溶化がこれらの化合物の形成によるとは考えにくい。鉄やアルミニウムの加水酸化物との共沈や、土壤有機物との錯化合物の形成といった作用が考えられるが、この方面の研究はまだあまり進んでいない。落水が完全でない場合、石灰やリン酸の添加が還元を促進する効果も多く観察されており、現地ではこの効果も大きいと考えられる。

(4) 重金属の水稲体中の行動

重金属は一般に根に多く集積し、他の重金属元素や養水分の吸収を阻害して生育障害の原因となる²⁷⁻³³⁾。この作用は銅のように錯体形成能力が大きい元素で著しい。ヒ素を含めて、多くの重金属は地上部とくに穂部への移行が少なく、玄米中濃度はあまり高くならない。亜鉛は比較的地上部へ移行しやすい元素であるが、もともと正常な玄米中に20ppm前後含まれ、培地の濃度が極度に高くなっても玄米中濃度はこの数倍にしかならない。カドミウムは中間的存在とも考えられ、水耕実験では玄米濃度が最高10ppm近くまで達する¹⁴⁾。それでも亜鉛よりはずっと地上部へ移行しにくいのであるが、玄米中の自然濃度が0.1ppm位しかないことと、人間に対する毒性の深さのために問題になるわけである。水銀がこれに似て汚染によって玄米中濃度が非汚染米より著しく高くなると考えられる。水銀5ppmを含む水耕液に生育した稲の穂中水銀濃度は4.2ppmに達する²⁹⁾。

(5) 土壤の酸化還元とヒ素の挙動

カドミウムと反対にヒ素は湛水条件下で障害が大きくなり、吸収されやすく、また酸化型のヒ素とこれより還元型の亜ヒ酸をくらべると後者の方が毒性が強い(第8表)。カドミウムとの複合汚染がおこると対策が逆になるために厄介である。

ヒ酸と亜ヒ酸に着目して、亜ヒ酸の存在比と酸化還元電位との関係を硫黄の場合と同様に熱力学的に求めると第5図のような曲線を得る。インキュベーションによる溶解実験のデータをプロットしてみると、溶出のパターンと亜ヒ酸の生成量の増加が似ていることがわかる。ヒ酸は三つの解離定数がリン酸とほぼ一致する強さをもつ酸であるが、亜ヒ酸は第1解離定数が $10^{-9.1}$ で弱酸程度の弱酸である。このため還元によって亜ヒ酸が生成すると、遊離の鉄やアルミニウムとヒ酸との結合部分が加水分解して溶出するものと考えられる。

この現象は還元条件下の溶脱によってヒ素を洗滌することに利用できそうに思われるが、下層(おそらく鉄の集積層で)再集積するという³⁷⁾。しかし、鉄の集積層で酸化集積した場合(とくに集積層が深いほど)亜ヒ酸よ

り吸収されにくく毒性も弱いので、対策として有効かもしれない。

6. 汚染土壤の改良還元対策

カドミウム汚染については現在のところ、最も有効な対策として土層の入れかえ(客土または排土客土)が考えられている。土壤の層位別の濃度分布によっては天地返しも考えられる。このほかには土壤を稀酸やキレート剤で洗滌する³⁸⁾³⁹⁾、とくによく吸収する植物を利用して吸収させて除去する⁴⁰⁾⁴¹⁾、また土壤中で固定するなどの方策も考えられている⁴²⁾。客土または排土客土が最も根本的な改良方法にちがいないが、効果を確実にするためには30cm位の土層をとりかえる必要がある⁴³⁾。従って面積が広いと客土材料が問題であり、莫大な労力と費用がかかるので、効果の確実性を予測することが大切である。また、汚染源の処理を確実にするとか、下層からの吸収を防止するなど、再汚染に対する考慮も必要である。排土を伴う場合、また現在のは試験が行なわれているだけであるが、土壤洗滌や植物を利用する吸収除去の場合も、実施するとすれば、汚染物質の移動を伴うことなので、移動先の考慮もしなければならないという問題がある。

環境基準が一度定められると、この基準値とはかく、ここまでは汚染してもよい基準と考えられ、また実際に行政上はそういう風に処理せざるを得ない面がある。しかし前述のように、わが国のカドミウムの環境濃度をこれ以上高くすることは好ましくない。従って改良目標を少なくとも現在の非汚染地域のレベルにおく必要があると考えられる。

利 用 文 献

- 1) 環境庁(1973) 環境白書昭和48年版, P.265~272.
- 2) // (1974) 同上昭和49年版 P.243~252.
- 3) 環境庁水質保全局(1974) 昭和48年度土壤汚染防止対策細密調査結果のとりまとめ, 土壤汚染対策資料第5号, PP.103.
- 4) 本間慎(1974) 文部省特定研究“人間生存と自然環境”シンポジウム, 「重金属などによる環境汚染とその生物に及ぼす影響」講演要旨, P.1.
- 5) 山根啓利(1972) カドミウムの知識, カルチャー出版社(東京) P.106.
- 6) 浅見輝男(1971) 日本の科学者6, No.9, 35~39.
- 7) 富家孝(1973) 第32回日本公衆衛生学会講演要旨, 467.
- 8) 浅見輝男(1974) 日本の科学者, 9, 423~427.

- 9) FAO/WHO (1972) Evaluation of Certain Food Additives and of the Contaminants Mercury, Lead and Cadmium. 16th Rept of Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. (FAO Nutr. Meeting Rept. Ser. No.51/WHO Tech. Rept. Ser. No.505) 5~24.
- 10) 古谷貞治・篠島豊 (1965) 九大農学芸誌, 22, 45~48.
- 11) 水野直治 (1967) 北海道立農試集報, 15, 48~55, 16, 1~9.
- 12) 水野直治・平井義孝 (1969) 同上, 18, 86~97.
- 13) 金沢純 (1971) 農技研報C, No.25, 109~187.
- 14) 北陸農試 (1971) 昭和45年度水質汚濁が農作物被害に及ぼす影響の解析に関する研究, 昭和45年度研究成績, PP.70.
- 15) 農林省農政局 (1972) 昭和46年度土壌汚染防止対策調査成績, 土壌保全対策資料, No.38, PP.139.
- 16) 北陸農試 (1972) 農用地土壌の特定有害物質による汚染の解析に関する研究, 昭和46年度成績, 39
- 17) 野菜試 (1973) 同上, 昭和47年度成績書, 75~76.
- 18) 四国農試 (1973) 同上, 昭和47年度成績書, 52~55.
- 19) 九州農試 (1973) 同上, 昭和47年度成績書, 44~46.
- 20) 渋谷政夫 (1973) 近代農業における土壌肥料の研究, 第4集, 53~64.
- 21) 森次益三・小林純 (1963) 農学研究, 50, 37~49.
- 22) 大分県農技センター (1971) 土壌肥料試験成績書, 昭和45年春夏作, 28~34.
- 23) 増井正芳ほか (1971) 東京都農試研報, No.9, 1~5.
- 24) 伊藤秀文・飯村康二 (1974) 土肥誌, 45, 571~576.
- 25) 北陸農試 (1973) 農用地土壌の特定有害物質による汚染の解析に関する研究昭和47年度成績, 4~8.
- 26) 北陸農政局 (1974) 汚染土壌における作物栽培技術(カドミウムの土壌-作物関係における挙動と吸収抑制に関する試験, 北陸各県連絡試験結果) PP.109.
- 27) 茅野充男 (1967) 茨城大学術報, No.15, 105~164.
- 28) 茅野充男 (1972) 近代農業における土壌肥料の研究, 第3集, 73~80.
- 29) 石塚喜明・田中明 (1962) 土肥誌33, 421~423.
- 30) 渡辺和彦・日下昭二 (1971) 中国農業研究, 42, 60~62.
- 31) 宮崎政光 (1960) 農及園, 35, 541~542.
- 32) 糸原貞・立谷寿雄 (1965) 東北農業研究, 7, 49~51, 51~54.
- 33) 宮松一夫・板東義仁・寺島利夫 (1972) 福井農試報, No.9, 15~27.
- 34) 前田信寿・手代木智 (1957) 土肥誌28, 185~188.
- 35) 天正清 (1973) 近代農業における土壌肥料の研究, 第4集, 65~71.
- 36) 石川農試 (1973) 昭和47年度農業環境保全に関する成績書, 47~48.
- 37) 山根忠昭 (1975) (談), 土壌中のヒ素の形態変化については, 山根忠昭ほか (1973) 土肥講要集第19集, 159, 参照.
- 38) 小林純ほか (1972) 日衛誌 27, 225. 土肥講要集第20集, 137.
- 39) Takijima, Y., Katsumi, F., and Koizumi, S. (1973) Soil Sci. Plant Nutr., 19, 245~254.
- 40) 環境庁水質保全局土壌農業課 (1973) 昭和47年度土壌保全調査事業成績検討会資料, P.59~65.
- 41) 館川洋・菅野忠敬・斎藤栄 (1973) 土肥講要集第19集, 170.
- 42) 館川洋ほか (1975) 土肥講要集第21集, 138, 小田仲彬ほか (1975) 同上, 138.
- 43) 森下豊昭・穴山豊 (1974) 同上第20集, 137.

解 説

水田泥の攪拌沈降硬化について

藤 尾 福 蔵*

Rheological Properties of Paddy Soil

Fukuzo FUJIO

Tohoku National Agricultural Experiment Station

1. 結 言

第1表は、水稲移植機の開発研究と利用性能試験が全国的に開始された昭和41年の東北6県水稲移植機関係試験成績書より、水稲移植機の作業精度を集計したものである。この表によれば、全欠株率の平均はほぼ12から16%と必ずしも高くないが、その最大値は、マメトラとカンリウでは30%、ダイキンでは20%を越し、いずれの機種も全欠率の変異が非常に大きい。また、カンリウは、特に機構上の欠陥から機械的欠株が多い。最も有望視されたダイキンは、稚苗播きの培土方式であるため、浮苗欠株がやや多く、マメトラは、成苗ピンセット方式であるため、損傷欠株がやや多い傾向がうかがわれる。

第1表 水稲移植機作業精度

名柄型式	全欠株 平均値 (%)	同最大 値 (%)	同最小 値 (%)	機械的 欠株 (%)	浮苗欠 株 (%)	損傷欠 株 (%)
マメトラAT 一2型(成苗 用)	12.4	34.2	2.0	4.7	3.1	4.6
ダイキンPT 一20型(稚苗 用)	11.8	23.0	5.3	4.0	5.2	2.6
カンリウTM 1-1型(稚苗 用)	15.6	32.5	5.6	8.1	4.1	3.4

注 東北6県水稲移植機関係試験成績書より作成
昭和41年8月

以上のような作業精度の結果は、育苗法の相違に基づく苗素質、水田の代かき後移植時の水深と泥の物理的条件、移植機の構造とその作用、オペレーターの運転技術などによるものとみられたが、全欠株率の変異が大きいことには、水田泥の物理的性質としての泥の粘度と硬さおよび流動の程度が強く関係するのではないかと考察された。そこで、東北各地の農業試験場では、代かき後、植付日数をかえたり、また、植付前に落水したりして、

水稲移植機の利用試験を行なったが、水稲移植機の能率的利用に適すると考えられる見掛上流れにくい程度の硬さの泥が得られず、この試験は失敗に終わった。

十分な代かきによって水中に懸濁した土粒子は、液状(ゾル)からフォークト体(ゲル)に転移するビンガム限界($pF=1$)附近までは5日から10日以内に沈定するものと考えられるが、数日で流れにくい硬さの泥を得るには、なんらかの手段で、ビンガム限界より更に水分のすくない $pF=0$ 附近の泥、すなわち、粘性に剛性が共存するフォークト体の泥にしなければならない。

沈定泥の土粒子は、網目状あるいは蜂巢状に配列結合して、その構造内は完全に水が充され、土粒子間にはファン・デル・ワールス力が作用し、泥はある程度凝集している。このような沈定泥では土粒子が粗充填に配列され、その結合力が弱いから、なんらかの手段で泥を攪拌(練返し)すれば、土粒子間の結合が破れて、構造拘束水が自由化し、泥が一時的に軟くなる。このように泥はチクソトロピーの性質が強い。しかし、土粒子間にはファン・デル・ワールス力が作用しているから、粗充填に配列された土粒子の結合が攪拌(練返し)により破壊されれば、沈定状態における土粒子の配列よりも、密充填になりやすい状態に土粒子が配向配列されて、泥は攪拌後急に沈降硬化するものと考えた。

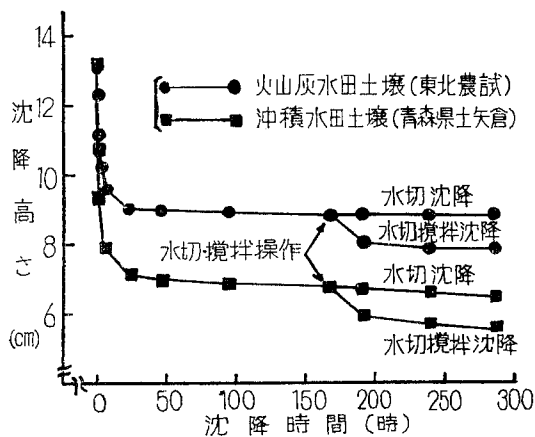
そこで本研究は、水稲移植機を有効に利用するための水田整地法を確立しようと、水中で沈定した泥を攪拌すれば、その後、泥の沈降硬化が促進されること、また、24種の東北各地の水田土壌について、沈定濃度に調整して沈降した泥の硬さを円筒沈下による粘稠度とその降伏値で捉え、実用上有効な結果を得たのでここに報告し、ご批判を仰ぎたい。

本実験での円筒沈下による軟かい泥の粘稠度とその降伏値の測定は、北海道大学理学部中川鶴太郎教授のご指導によるものであり、ここに深く謝意を表する。

2. 泥の沈降特性

第1図は、土壌孔隙の多い腐植に富む火山灰水田土壌

* 農林省東北農業試験場

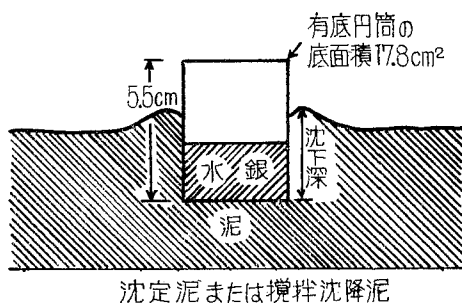


第1図 泥の沈降特性

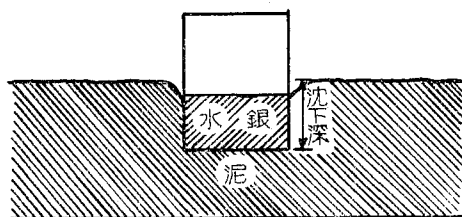
(東北農試用)と代表的沖積水田土壌(青森県田舎館村土矢倉)生土を熱乾土換算で土48.5gに水82.4gの割合に調整し、その懸濁液を内径19.4cm²のメスシリンダーに入れて沈降させた場合の土粒の沈降特性を示したものである。

いずれの供試土壌も沈降経時による泥の沈降高さは双曲線的に減少し、火山灰水田土壌の方が沈降高さが大きい。この差は、火山灰水田土壌が腐植に富み、団粒が発達しているためである。

沈定状態の泥は凝集過程にあるため、上水を切り泥を攪拌すれば、いずれの供試土壌も、同様に、沈降が促進される。これは、緒言で述べたように、沈定泥を攪拌す



沈定泥または攪拌沈降泥



攪拌泥

第2図 円筒沈下による泥の変形の様相

れば、土粒の結合が破壊されて、沈定状態における土粒の配列よりも、密充填になりやすい状態に土粒が配向配列されるためである。しかし、沈定泥と攪拌沈降泥の土粒の配列がどのように相違しているかは、今後の研究課題であるように考えられる。

3. 円筒沈下による泥の変形の様相

第2図は、円筒沈下による泥の変形の様相を、沈定泥または攪拌沈降泥と攪拌泥について、模式的に示したものである。

沈定泥または攪拌沈降泥は、円筒の側面の部分の泥が幾分かがった状態でもって、円筒の周囲に緩かな傾斜で盛上った。このようなことから、沈定泥または攪拌沈降泥の変形は、明らかに、塑性的であるといえるが、攪拌沈降泥は沈定泥より泥の盛上りが大きかった。このことからして、攪拌沈降泥は明らかに固体的性質としての剛性を有するものと見受けられた。沈定泥または攪拌沈降泥に対して攪拌泥は円筒沈下によって、外見上あかも弾性的に変形した。

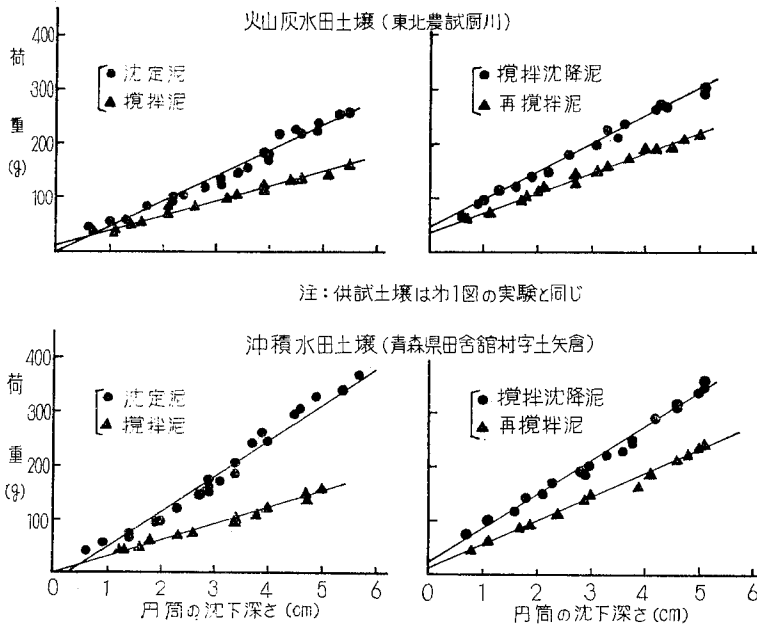
以上のような沈定泥または攪拌沈降泥と攪拌泥の変形の相違が、いかなる理由により生じたものかは、今後の土粒組立てにおける力学的研究の成果を待たなければならないと考えられる。

4. 水田泥における円筒の荷重と沈下深さとの関係

第3図は、第1図の実験と同じ濃度の土壌懸濁液を、縦60cm、横25cm、深さ15cmの容器に、第1図の実験の懸濁液の高さと同じになる量入れ、それを167.5時間沈降させた泥と沈降泥の上水を切り攪拌した泥(以下前者を沈定泥、後者を攪拌泥という)、また、沈定泥の上水を切り攪拌後72時間沈降させた泥とこの沈降泥の上水を切り攪拌した泥(以下前者を攪拌沈降泥、後者を再攪拌泥という)について、円筒の荷重と沈下深さとの関係を第2図に示したサイズの円筒により測定した結果である。

いずれの水田土壌、状態の泥とも、円筒の沈下深さは、円筒の荷重の増加に伴って、直線的に増大するが、その増大の程度は沈定泥よりも攪拌泥の方が大きく、攪拌沈降泥よりも再攪拌泥の方が大きい。これは泥にチクトロピー的性質があることを意味するものである。

また、いずれの水田土壌も、攪拌沈降泥は沈定泥よりも円筒の荷重増加に伴う沈下深さの増大が小さい。これは、明かに、泥の水切り攪拌により、その後、泥の硬化が促進されたことを証明するものである。



注：供試土壌は前1図の実験と同じ

第3図 水田泥における円筒の荷重と沈下深さとの関係

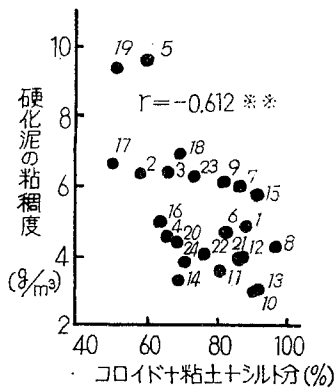
第2表 円筒沈下による泥の粘稠度・降伏値・硬度

供試土	火山灰水田土壌			沖積水田土壌			
	指標	粘稠度	降伏値	沈下深さ1cmの硬度	粘稠度	降伏値	沈下深さ1cmの硬度
沈定泥	g/cm ³	2.16	-0.18	g/cm ²	3.66	-1.04	g/cm ²
攪拌泥	g/cm ³	1.51	0.57	g/cm ²	1.68	0.02	1.70
攪拌沈降泥	g/cm ³	2.88	2.49	g/cm ²	3.54	1.17	4.71
再攪拌泥	g/cm ³	2.10	1.91	g/cm ²	2.50	0.39	2.89

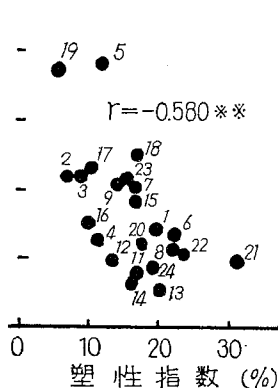
5. 円筒沈下による泥の粘稠度・その降伏値・硬度

第2表に示した粘稠度とその降伏値とは、第3図の実験について、円筒の沈下深さと荷重との一次実験式を求め、その係数項 (g/cm) と定数項を使用円筒の底面積 (17.8cm²) で除して、それぞれ粘稠度 (g/cm³) と降伏値 (g/cm²) と仮定したものである。

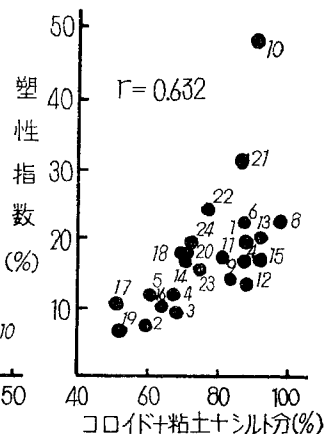
粘稠度と硬度は、いずれの水田土壌においても、沈定泥より攪拌泥の方が、攪拌沈降泥より再攪拌泥の方が小さい。つまり、泥は攪拌により粘稠度と硬度が大きく減



第4図



第5図



第6図

第 3 表 第 4 表の実験の供試土壌

土 壌 No.	採 集 場 所	JIS による土性名	JIS による粒径分布					腐植含 量	塑性指 数
			粗砂分	細砂分	シルト分	粘土分	コロイ ド分		
			%	%	%	%	%		
1	青森田舎館村字土矢倉	シルト質ローム	1.7	10.0	71.9	11.6	4.8	8.1	19.5
2	青森農試五戸支場	ローム	12.0	28.6	43.1	9.5	6.8	11.5	7.2
3	岩手農試県北分場	粘土質ローム	4.8	27.6	44.4	14.5	8.7	10.0	9.0
4	東北農試本場(火山灰)	シルト質ローム	3.0	30.0	51.5	12.5	3.0	18.7	11.4
5	東北農試盛岡試験地	ローム	5.3	33.9	49.0	7.6	4.2	7.3	11.8
6	岩手紫波町平沢字館(谷地)	シルト質粘土ローム	3.5	12.8	59.7	18.5	5.5	19.6	22.1
7	同 上(乾田)	シルト質粘土ローム	2.0	10.4	61.6	19.0	7.0	11.3	16.7
8	岩手紫波町北日詰字牡丹野	粘土	0.8	2.0	46.4	33.8	17.0	4.4	22.0
9	岩手農試県南分場	シルト質粘土ローム	5.2	11.2	57.4	16.9	9.3	4.6	14.0
10	八郎潟中央干拓地(ヘドロ)	シルト質ローム	0.8	7.7	81.7	4.8	5.0	9.5	46.9
11	秋田農試本場	粘土	4.1	14.1	49.7	23.2	9.0	7.5	17.0
12	東北農試栽培第一部	シルト質粘土ローム	0.8	11.4	58.8	19.0	10.0	7.3	13.3
13	宮城農試古川分場	シルト質粘土	2.8	4.9	56.1	29.2	7.0	8.1	20.0
14	宮城農試本場	粘土質ローム	6.6	22.6	44.8	14.8	11.2	8.3	16.4
15	山形農試最上分場(火山灰)	シルト質粘土	2.7	5.3	57.8	23.9	10.3	22.0	16.6
16	山形農試庄内分場	ローム	11.0	24.4	49.1	8.9	6.6	9.5	10.0
17	山形農試尾花沢分場(火山灰)	ローム	22.0	26.8	37.2	8.8	5.2	26.5	10.7
18	山形農試本場(熟田)	粘土質ローム	10.8	19.0	40.9	20.1	9.2	11.3	16.9
19	同 上(新田)	粘土質ローム	16.8	30.9	31.5	10.8	10.0	8.3	6.6
20	山形農試置賜分場	粘土質ローム	10.0	19.2	49.4	11.4	10.0	9.5	17.5
21	福島農試浜支場	粘土	0.6	12.1	52.5	18.8	16.0	9.0	31.2
22	福島農試冷害試験地	シルト質ローム	4.4	17.9	61.7	8.7	7.3	10.5	23.7
23	福島農試会津支場	シルト質粘土ローム	5.1	20.1	52.0	12.1	10.7	9.3	15.5
24	福島農試本場	粘土	4.0	23.6	37.6	18.9	15.9	8.0	19.0

注：塑性指数は風乾土について行なった値である。

少し、チクソトロピーの性質が強い。

また、粘稠度と硬度は、沈定泥より攪拌沈定泥の方が、攪拌泥より再攪拌泥の方が大きい。特に沈定泥と攪拌泥では降伏値の存在がはっきりしないが、攪拌沈定泥と再攪拌泥は降伏値の存在が明らかである。しかし、流れにくい泥ほど降伏値より粘稠度の方が大きくなるように観察された。

6. 沈定濃度の沈定泥の土壤別粘稠度・降伏値・含水比

第 4 表は、第 3 表に示した東北各地の水田土壌 24 種をそれぞれ沈定容積濃度に調整し、7 日間(八郎潟中央干拓地ヘドロのみ 10 日間)沈降させた泥について、第 3 図の実験で使用した円筒の荷重と沈下深さとの関係を実験し、それより、第 2 表と同様に粘稠度・降伏値・硬度を求め、また沈定泥の含水比を示したものである。

この実験において、20g/cm²以上の硬度を示した土壌は No.5, No.19 の水田土壌、これが 20 未満 15 以上の土壌は No.4, No.7, No.18 の水田土壌、15 未満 10 以上は No.1, No.2, No.3, No.6, No.9, No.10, No.15, No.17, No.21 No.23 水田土壌である。また、これが 10 未満の土壌は No.8, No.11, No.12, No.13, No.14, No.16, No.20, No.22, No.24 各水田土壌である。

一般に、沈降硬化泥の粘稠度は、第 4 図、第 5 図に示したように、コロイド・粘土・シルト分の合計値と塑性指数が小さい土壌ほど大きく、そして、コロイド・粘土・シルト分の合計値と塑性指数との間には、第 6 図のような正の相関が認められ、また、粘稠度が大きい泥は硬度も大きいことから、硬度との間にもほとんど同様の関係が認められた。腐植含量の多い土壌は、保水性が高いため、沈定泥の含水比が大きい、このことは粘稠度または硬度とはっきりした関係がないように見受けられる。

第4表 沈定濃度の沈降泥の土壌別粘稠度・降伏値・含水比

土壌 No.	沈下深さSと荷重Wとの実験式	r	粘稠度	降伏値	沈下深さ 1 cmの硬度	沈降泥の 含水比
			g/cm ³	g/cm ²	g/cm ²	(%)
1	W= 86.8S + 119.1	0.985	4.88	6.69	11.57	101.6
2	W=113.6S + 92.9	0.979	6.39	5.22	11.61	106.0
3	W=113.8S + 85.3	0.980	6.40	4.79	11.19	83.5
4	W= 81.0S + 190.5	0.961	4.55	10.71	15.26	123.2
5	W=171.9S + 188.3	0.962	9.66	10.58	20.24	85.1
6	W= 83.8S + 103.1	0.976	4.71	5.80	10.51	184.8
7	W=107.8S + 216.6	0.879	6.06	12.18	18.24	102.2
8	W= 76.5S + 77.4	0.986	4.30	4.35	8.65	91.7
9	W=109.6S + 114.2	0.976	6.16	6.41	12.57	71.6
10	W= 53.8S + 131.7	0.905	3.02	7.40	10.42	202.8
11	W= 64.2S + 88.6	0.988	3.61	4.98	8.59	103.2
12	W= 70.6S + 104.7	0.987	3.97	5.89	9.86	97.1
13	W= 55.7S + 74.2	0.990	3.13	4.17	7.30	129.2
14	W= 59.8S + 61.6	0.988	3.36	3.46	6.82	109.4
15	W=102.3S + 117.3	0.991	5.75	6.59	12.34	198.3
16	W= 89.1S + 63.4	0.985	5.01	3.56	8.57	113.3
17	W=118.4S + 104.5	0.986	6.66	5.87	12.53	199.6
18	W=123.6S + 157.7	0.990	6.95	8.87	15.82	80.4
19	W=168.2S + 260.5	0.967	9.45	14.64	24.09	48.4
20	W= 79.3S + 80.1	0.990	4.46	4.50	8.96	113.0
21	W= 70.0S + 109.8	0.993	3.93	6.17	10.10	136.6
22	W= 73.4S + 96.5	0.978	4.13	5.42	9.55	156.5
23	W=112.0S + 153.7	0.985	6.30	8.64	14.94	83.1
24	W= 67.6S + 68.4	0.990	3.80	3.84	7.64	85.7

おわりに

引用文献

これまで述べたように、沈定泥またはある程度沈降凝集した泥の上水を切りその泥を攪拌すれば、泥の沈降硬化が促進されるという本実験研究を基に、秋田県農試では、湛水ロータリー代かき3日後に落水代かきをロータリーで2回行ない、ただちに1~3cm程度湛水して、2~3日間泥の沈降硬化を図り、機械移植作業を実施した。その結果、機械移植作業に好適した泥の水田条件が得られて、作業精度の高い能率的機械移植作業が可能であったということが、東北地域の農業機械ブロック会議で報告された。

- 1) 昭和41年水稲移植機関係試験成績, 1966.8. 東北農業試験場・東北6県各地農業試験場。
- 2) 中江克巳・藤尾福蔵・木村勝一。1967. 水田の塑性・液性泥におけるレオロジーに関する研究, 第1報, トラクタ作業から見た泥田のレオロジー研究上の問題。農業機械会東北支部報 No.14: 35~41.
- 3) 藤尾福蔵, 1972, 水田の塑性・液性泥におけるレオロジーに関する研究, 第2報, 円筒沈下による攪拌硬化泥の粘稠度とその降伏値について, 農業機械学会東北支部報 No.19: 15~20.

遠心法 pF-水分測定における圧縮の影響

軽 部 重 太 郎*

The Influence of Soil Compression in Determination
of pF-moisture Curves by the Centrifuging Method,

Jutaro KARUBE

Faculty of Agriculture, Ibaraki University

Summary

An influence of soil compression on the pF of soil moisture must be considered in using the centrifuging method. Soil used is a volcanic ash soil (Kanto Loam) and the results are as follows.

1. Stress caused by centrifugal force does not hardly affect the pF-moisture of undisturbed soil but it affects that of disturbed one. Furthermore the pF-moisture of disturbed soil changes due to the methods of preparation. So experiment was done under the condition of same preparation and the effect of the compression was expressed in terms of dry density (Fig.8). The pF-moisture curves which are obtained from the soil with different dry density intersected at about pF=2.

2. A phenomenon of soil consolidation in the sample tubes of centrifuge was appeared. The more rotation velocity increases, the more expands the susceptible range of consolidation.

3. It is seemed that the upper limit of pF, which can be determined by the centrifuging method, is about 2.5 according to the experimental data which are obtained under uniform dry density. This value of pF=2.5 is equivalent to the moisture of rupture of capillary.

I. はじめに

pF の測定法として、外部から自由水面を与えないで行う遠心法の理論は、1967年岩田¹⁾の考察によって確立された。この理論の確認と測定上の問題点の整理は中村⁶⁾、須藤⁹⁾、山本¹⁰⁾、寺沢⁵⁾、湯村¹²⁾らによってなされ、遠心法は pF 測定法としてほぼ確立されてきたように思われる。しかし、遠心力場での土壌の圧縮と土壌水の水理学的連続性の問題は、多くの研究者に指摘されながらもあいまいなまま残されており、これが遠心 pF に対する批判の根拠にもなっている。

試料の圧縮は、遠心力が体積力であることから起る不可避的な現象であり、pF-含水比水に影響を及ぼすことが予想される。寺沢⁵⁾はこの影響を pF 1.8 以下で大きいとし、中村⁶⁾は砂質土の実験から実用上それほど心配ないとしているが、基準とする土壌の状態(充てん)をどれだけ反映しているかが、ここではむしろ問題になると思われる。

遠心法による pF の測定範囲としては、いくつかの文献⁹⁾¹¹⁾でおおよそ pF 2.5~4.2 としている。一方岩田により提唱された pF の計算式は、土壌中の毛管水が連続

しているという条件で意味をもつ。また土壌の毛管連絡切断含水量は pF2.7~3.0²⁾、あるいは pF2.5~2.7⁷⁾に相当するといわれているから、pF の測定限界が問題になる。これについてはいくつかの議論もあるが、毛管連絡と関連させて遠心 pF の測定限界を具体的に示したものはない。

ここでは、初めに遠心力場で起る圧縮が pF-含水比に及ぼす影響について実験した。また実験の過程で、圧縮が遠心 pF の測定限界を考えるに当って重要な意味をもっていると考えたので、その点についても検討した。

II. 実験方法

1. 計算式

試料下端を自由水面とみなして、次式によって pF を計算した。 r_1 の負圧を h とすれば、

$$h = - \int_{r_0}^{r_1} \frac{r \omega^2}{g} dr = \frac{\omega^2}{2g} (r_0^2 - r_1^2) \text{ (cm)} \quad (1)$$

$$pF = \log h$$

ここで r_0 は試料下端の回転半径(cm)、 ω は角速度(rad/sec)、pF の成分は毛管ポテンシャル。

2. 遠心機

回転中には濾過筒が水平になる swing 型の遠心機を

* 茨城大学農学部

用い、濾過筒は円筒形にした。 r_0 は11.0cmであった。

3. 回転時間

回転中の時間と含水量の関係式として次式が考えられる⁸⁾。

$$\frac{dw}{dt} = -k(w - w_\infty)^n \quad (2)$$

但し、 w_∞ は時間 $t \rightarrow \infty$ の時の含水比で、 k 、 n は定数。

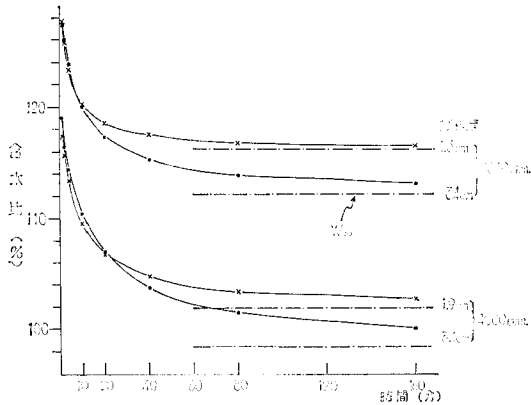
この式は $n = 1$ の時

$$w = ce^{-kt} + w_\infty \quad c: \text{定数} \quad (3)$$

$n = 2$ の時

$$w = \frac{1}{kt+c} + w_\infty \quad (4)$$

となる。これを実測値（薄層法ではない）に当てはめると、(4)式によく一致し、残差は充分に測定誤差の範囲に入った。



第1図 回転時間と含水比（関東ローム）

第1図は回転数、試料厚さ（回転後の）を変えた場合の曲線で、(4)式から w_∞ を計算して示した。遠心機の回転時間は、土壌の種類に加えて回転数、試料の厚さなどから総合的に判断すべきであるといえる。回転数を長時間安定に保つのが難しい遠心機では、回転時間が長すぎても心配が残る。

なお、粘質土では、濾過筒内の高さ方向の水分分布が中間で大きくなる（逆くの字形になる）ことがある。しかし回転時間を充分長くすれば消えるので、これは一種の waterlogging であると思われた。

4. 供試土壌

試料には、茨城県稲敷郡阿見町茨大農学部構内で採取した深さ90cm（茨大90）又は50cm（茨大50）の関東ロームを用いた。その物理性は第1表に示す。

5. 実験（A）

（茨大90）の生土を調製して次のような試料を準備した。①2mmフルイを通してゆるくつめたもの。②それを

第1表 供試土の物理性

	（茨大90）	（茨大50）	
土性	LiC	SiCL	
粒	2.0~0.2mm	3.2%	3.6%
	~0.02	32.7"	22.5"
度	~0.002	34.3"	53.0"
	0.002以下	29.8"	21.0"
真比重	2.753	2.678	
L. L.	生土	148.3%	131.5%
	風乾土	64.2"	68.2"
P. L.	生土	98.9"	83.8"
	風乾土	50.5"	58.2"

最高回転（5,000r.p.m.）で脱水圧縮させたもの。③脱水圧縮させた試料を再び2mmフルイにかけて、ゆるくつめたもの。④不攪乱のまま整形してつめたもの。以上の4通りの試料を毛管飽和させた。

回転中の水分蒸発を防ぐためにアルミ箔でふたをし、回転停止後直ちに試料の重量（または脱水量）や体積変化を測定した。試料高さは1.5~3.5cmであったが、各回転毎に高さが変わるので、回転半径 r_1 もその都度測って pF を計算した。

他の方法との連続性をみるためには、試料①と④について pF2.0 以下を吸引法で、pF2.7~4.2 を加圧膜法で測定し、これらを比較した。

6. 実験（B）

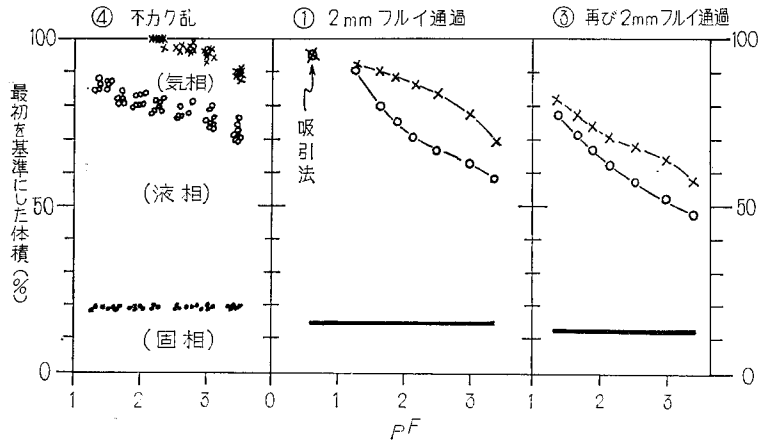
直径3cm、高さ1cmの輪切り円筒を重ね、これに（茨大50）の生土で2mmフルイを通したものをに入れて遠心脱水させた。このとき、同じ条件で2組の試料をつくり、そのうちの1組は遠心脱水後直ちに含水比と乾燥密度 (γ_d) を高さごとに測定した。他の1組は圧縮したまま再び毛管飽和させて加圧板法にかけ、前と同様に含水比と γ_d を測定した。

III. 実験結果

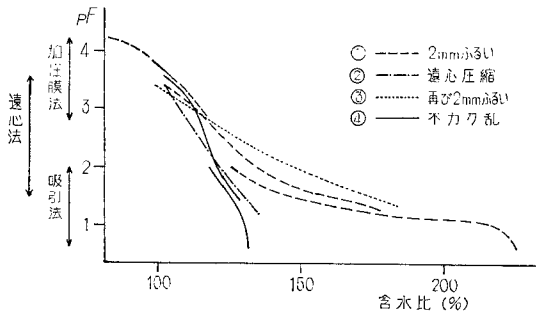
1. 三相分布

実験(A)より得られた濾過筒内の各 pF における三相分布を第2図に示す。吸引法によれば、乱した土①は5%程度体積が減少する（この時 $\gamma_d \approx 0.4$ ）まで脱水量と体積の減少量が等しく、それ以後体積は一定になる。

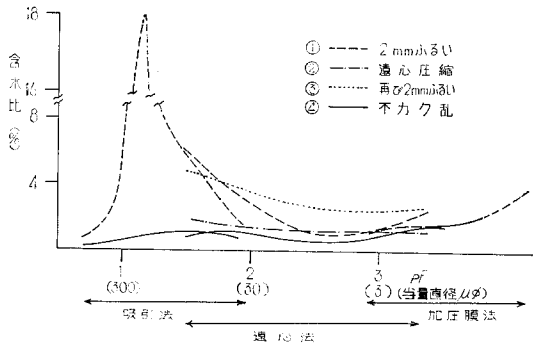
これに対して遠心法では、回転数を上げるに従って体積減少が徐々に進み、脱水量との関係で pF 2~3 のときに空気間隙の占める割合が最大になった。圧縮は pF3 を越えても進行し、空気間隙の占める割合は次第に小さくなる。



第 2 図 濾過筒内試料の三相分布 (炭大90)



第 3 図 試料の調製を変えたpF—水分曲線(炭大90)



第 4 図 pF—水分分布曲線 (炭大90)

2. 圧縮応力

遠心力場で試料に作用する体積力を f_v とすれば、

$$f_v = \int_{r_2}^{r_0} \frac{r_1 r \omega^2}{g} dr = \frac{r_1 \omega^2}{2g} (r_0^2 - r_2^2) [g/cm^2] \quad (5)$$

ここに r_2 は試料上端の回転半径 (cm), r_1 は湿潤密度 (g/cm^3)。

罐との摩擦ゼロの条件で、試料下端には f_v に等しい応力 (σ) が生じる。これから pF と圧縮応力の関係を

略算すると、試料厚 2 cm, $r_1=1g/cm^3$ が与えられたとき、pF2.5では約0.6kg/cm², pF 3では1.9kg/cm² の圧縮応力が試料下端に生じることになる。

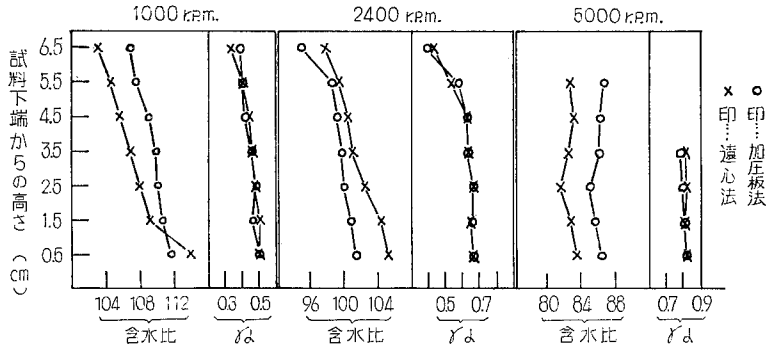
不攪乱の土では構造性のために pF 2.5 ぐらいまで体積減少が起こらない(第 2 図)。この土が初めて体積減少を起こした時の応力を (5) 式から計算した結果、 $\sigma=0.5 \sim 1.0kg/cm^2$ であった。

3. 試料の調製を変えた場合のpF—水分曲線

実験(A)で得られた pF—水分曲線を 第 3 図 に示す。吸引法、加圧法は、遠心法と同じく毛管ポテンシャルのみを測定しているの、三つの方法で得られた曲線は連続していなければならない。不攪乱の土④では、吸引法と遠心法の平均値 (8 コ) のズレは含水比にして 3~4 %, 加圧法とのズレは 2~3 % であり、曲線の連続性は一応よいといえる。これに対して乱した土①では、吸引法とのズレが 10% 前後あり、加圧法との連続性もよくない。この吸引法とのズレは、pF 1.5~2.0 に相当する孔隙が遠心法の場合に増加しているの(第 4 図)、圧縮によって孔隙分布が変わったために生じたと考えられる。

試料の調製を変えた各々の曲線は、pF 2.7~3.0 のところで交差し、その上と下で離れている。pF の低い側で離れているのは、前と同じく圧縮による孔隙分布の変化として理解できる。但し、この場合特に調製の異なる土では、孔隙の分布を r_d から推定する事ができない。例えば pF 2.0 で①と③を比較すると、 r_d は①が 0.47, ③が 0.49 で③の方が密であるのに対して、pF 2.0 に相当する孔隙量は (第 4 図から) ③の方が多。ここでは含水比も③の方が大きくなっているが、含水比は孔隙径の小さい方からの積分値に相当するものである。

低 pF, すなわち孔隙分布を考えるには、 r_d のほかに



第5図 土柱の水分と密度の勾配 (茨大50)

土のもつ構造性を考慮する必要がある。

4. 土柱の水分と密度の勾配

前述のように r_d と孔隙分布の関係は単純ではないが、他の条件をできるだけ等しくすれば、 r_d は一つの指標になるであろう。

実験(B)から遠心法と加圧板法の結果を比較して第5図に示す。遠心法によれば、含水比は一部を除いて回転軸に近い(上層)ほど小さい。遠心法についてのこの含水比の傾向は(1)式の実験的な根拠でもある⁶⁾¹⁰⁾。一方遠心法で得られたのと同じ r_d の勾配をもつ試料を加圧板法で測定した結果、pF の高い部分では遠心法のものと同様に平行した水分勾配が得られた。加圧板法では試料の pF は同一と見なせるから、加圧板法で生じた水分勾配

は pF のちがいによるものではなく r_d の差によるものである。従って、遠心法で水分勾配のできる原因の一つに r_d を上げることができる。

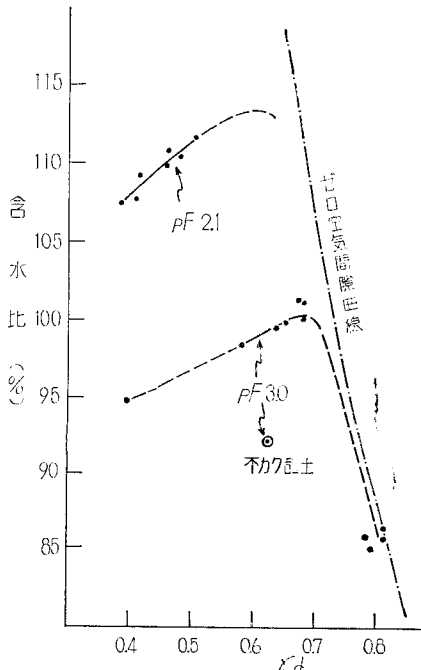
IV. 考察

1. 圧縮の補正

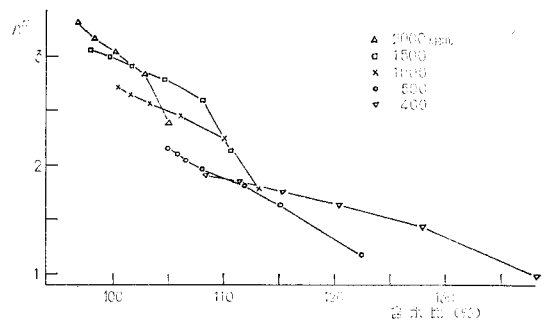
圃場における土壌の水分特性を調べるには、現場の土壌の状態を反映させる必要がある。特に毛管領域の pF 測定は孔隙分布に大きく影響されるので、圧縮を補正することが必要である⁵⁾。補正の指標としては、試料の調製を等しくするという条件で r_d を用いた。

実験(B)の加圧板法で得られた r_d と含水比および pF の3者の関係をもとに、同じ pF の点を結んで r_d と含水比の関係(第6図)を得た。次にはこれと同じ関係を、 r_d を指標として遠心法で求めた。

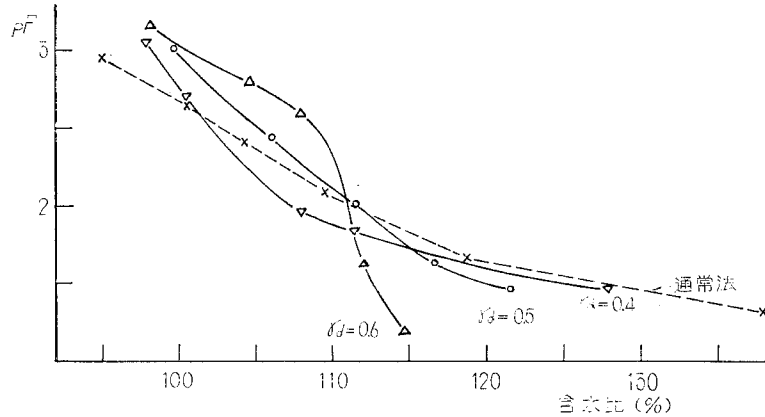
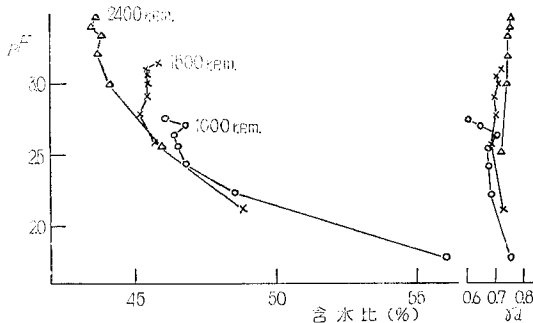
前述の輪切り円筒を用いて pF—含水比と r_d を測り、第7図のように pF—水分曲線を重ね合わせる³⁾。さらに前もって圧縮させた試料を使って、重ね合わせにおける r_d の範囲を拡げる。そうして得られた曲線群の、同じ r_d の点を結ぶと r_d がいろいろに変化した場合の pF—水分曲線(第8図)が得られた。この図から、圃場の r_d を測ることによって、遠心法でも圧縮を補正した pF—水分曲線を得ることができる。



第6図 加圧板法による r_d と pF—含水比 (茨大50)



第7図 pF—水分曲線の重ね合わせ (茨大50)

第 8 図 r_d を指標にした pF—水分曲線 (茨大 50)

第 9 図 つまみ方を調整した pF—水分曲線の重ね合わせ (関東ローム風乾土)

r_d の異なる pF—水分曲線が pF 1.7~2.1 で交差しているのは、この付近が水分特性の一つの変化点であることを示すものと考えられる。

2. 濾過筒内での圧密現象

遠心圧縮により r_d が増大すると、ゼロ空気間隙曲線に添って含水比が低下する現象(圧密)が起こる(第 6 図)。圧縮は下層から進行するので、全層で測定した三相分分布(第 2 図)からはこの現象はわからない。

実際には、試料下端では pF がゼロに近い上に圧縮応力は最大になるから、粘質土の場合は多かれ少なかれ圧密が生じているものと考えられる。回転数を増すにつれて圧密は次第に上層に及び、その分だけ含水比は過少になるであろう。

土層厚を 2 cm になるようにして、全層で測定した pF—水分曲線を第 8 図に破線で示した。試料全体の r_d は 0.4~0.6 の範囲に入るにもかかわらず、高回転になると含水比は過少な値になった。第 3 図の pF 3 付近で、構造がこわれたものほど含水比が小さい傾向を示すのは、これと同じく圧密のためと考えることができる。

圧密は、負圧と無関係な外力によって含水比を低下させる。これに対して不飽和での圧縮は、およそ pF 2 以上の含水比を増加させる役割を果たす。従ってこの 2 つの現象が濾過筒内で同時に起これば、含水比は結果的に適当な値を示す事があるといえる。

中村⁶⁾は遠心機の回転数を上げるよりも、土柱を長くしてより高い pF を測る事を提案している。この方法は、比較的高い pF でも圧縮応力を少なくすることができるから、圧密を除くためにも有効と思われる。

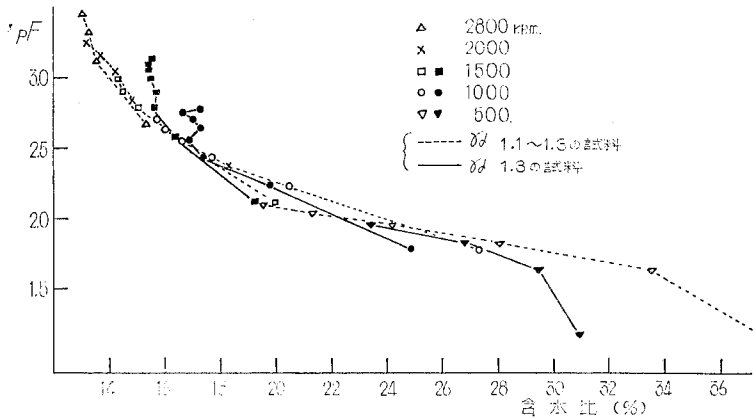
3. 遠心 pF の測定限界

今までは、pF 3 付近まで土壤水が連続することを仮定して、圧縮の問題を検討した。そして試料が圧縮や圧密を受ければ、含水比はそれに伴って変動することがわかった。今度は、圧縮を取り除いた時に(1)式がどこまで適用できるかを問題にしなければならない。

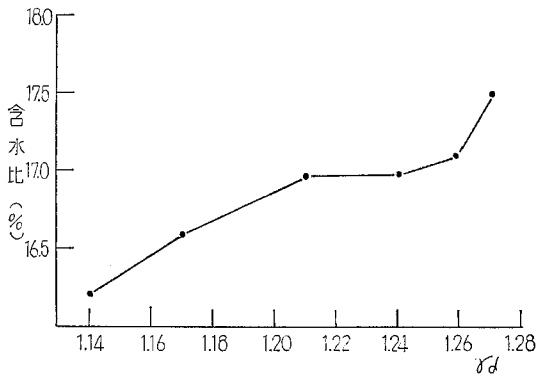
圧縮のできるだけ少ない試料としては、関東ローム風乾土が有効であった。これを輪切り円筒に一樣につめて測定し、pF—水分曲線を重ね合わせると第 9 図が得られた。pF 2.5 前後で各曲線は離れており、(1)式は適用できないことがわかる。この場合 r_d も若干ズレしているが、これは IV—1 で検討した結果から考えて、離れた曲線を近づけるものではない。

同じことを、成田層群と呼ばれる洪積砂層から採取した Loamy fine sand (粗砂 1.1%, 細砂 85.7%, シルト 9.1%, 粘土 4.1%) を用いて確かめた。机上で軽くたたきながらつめた試料では、第 10 図の破線のように pF—水分曲線はきれいに重なった。この時の r_d は 1.1~1.3 であった。次に、あらかじめ r_d を全層 1.3 程度に圧縮させたもので測定すると実線のようになり、前と同じく pF ≧ 2.5 以上で曲線は重ならない。

一方、この砂質土の毛管連絡切断含水量²⁾を測定した結果(第 11 図)、 r_d によって若干のちがいがあ



第10図 pF—水分曲線の重ね合わせ (loamy fine sand)



第11図 飽和水蒸気中で風乾土に吸水させた時の含水比 (46時間後)

含水比は16.2~17.5%となった。これは第10図では pF 2.4~2.6に相当し、前述の曲線が重ならなくなる pF と対応する。以上のことから、遠心 pF の(1)式が成立する限界は毛管連絡切断含水量にほぼ一致し、pF2.5 前後であると考えられる。

ところで、これらの限界を越えても通常はなめらかな曲線が描ける。その理由を次に考えた。

1つには前述の圧密現象が上げられる。粘質土の場合はすでに述べたが、砂質土の場合も、微視的に見れば粒子間にはさまれたシルトや粘土が圧密を受ける可能性がある。また圧密は(5)式によって進むが、これは pF の(1)式と似ているために、回転数の増大に対しては同じ傾向で脱水が進むと考えられる。しかし、飽和のまま脱水が進む現象に対しては pF を定めることができない。

第2に、毛管連絡の切れた懸垂水は、遠心力 f に抗して保持されなければならない。

$$f = m\omega^2 \quad [\text{dyne}] \quad (6)$$

(m は水塊の容積に水の密度をかけたもの)

(6)式で、回転数が大になれば m は小になり、含水比は低下する。この場合、土粒子は必ずどこかで支えられているから、懸垂水の下端にも凹のメニスカスができる可能性が大きい。その時懸垂水には遠心力の他に下向きの表面張力も働くから、懸垂水は下方に移動しやすくなる。

第3に、影響はわずかであるが、毛管凝縮が考えられる。一度毛管が切断されても、密につまっていた微細孔隙が多ければ、水蒸気が再び凝縮して含水比を増加させるものと思われる。そのとき、毛管連絡の切れた領域では、上層で r_d が小さければ含水比もその分だけ相対的に小さくなるであろう。

V. まとめ

関東ロームを用いて、遠心法で pF を測定する際の圧縮の問題を検討した。

1. 不攪乱の関東ロームでは圧縮をほぼ無視できるが、乱した土の場合は試料の調製によって pF—水分曲線が異なる。試料の調製を等しくする条件で r_d を指標に用い、圧縮を補正する方法を提案した。 r_d の異なる pF—水分曲線は pF 2 付近で交差した。

2. 濾過筒内での圧密現象を見いだした。圧密の範囲は回転数の増大に伴って拡がり、含水比の過少として表われる。

3. 試料の r_d をできるだけ等しくして測定した結果、pF2.5 付近が遠心 pF の測定限界と考えられた。これはほぼ毛管連絡切断含水量に相当した。この限界を越えた時の水分について若干の考察をした。

〔謝辞〕論文をまとめるにあたり、茨城大学須藤清次教授、同安富六郎助教授、田淵俊雄助教授の有益な助言をいただいた。また実験には久保田悦子氏の援助を得た。厚く感謝申し上げます。

引 用 文 献

- 1) 岩田進午：土肥誌 39, 3, 177 (1968)
- 2) 椎名乾治, 野中仙三郎：土壌の物理性 24, 14 (1971)
- 3) 須藤清次：土壌の物理性 22, 35 (1970)
- 4) T. J. Marshall : Relations between Water and Soil 18 (1959)
- 5) 土壌物理性測定法委員会編：土壌物理性測定法 150 (1972)
- 6) 中村忠春：研究の資料と記録 16, 30 (1967)
- 7) 中村忠春：愛媛大学農学部紀要 14, 1, 98 (1969)
- 8) 安富六郎：材料 20, 212, 129 (1971)
- 9) 山崎不二夫監修：土壌物理 95 (1969)
- 10) 山本晴雄：土壌の物理性 24, 3 (1971)
- 11) 八幡敏雄：土壌の物理 61 (1975)
- 12) 湯村義男ほか：東海近畿農試報告 26, 79 (1973)

毛管水の負圧変化について

古 賀 潔*

The Change of the Suction of Capillary Water

Kiyoshi KOGA

Faculty of Agriculture, Iwate University

Summary

It is supposed that hardening and softening of the soil by kneading are due to the water suction change of the soil (pF). So far, it has been believed, when the behavior units of soil approach owing to the external force applied, the capillary tension of the water between the units decreased.

The author calculated the curvature of capillary water between two spherical particles (Fig.2, Fig.3) and measured the capillary tension of water between two glass particles (Fig.4). The results shows that the capillary tension of water between particles increases as they approach.

I. はじめに

土壌の練り返しによる軟化・硬化の原因として ①土壌の行動単位間の距離が変化し、接合部の毛管水の曲率に変化する。(→軟化・硬化) ②行動単位内の土粒子間の結合が破壊され、(i)構造的非自由水が自由化する。(→軟化)、(ii)吸着可能な土粒子表面が実質的に増加して多くの水を拘束する。(→硬化) ③行動単位が、圧密されて、行動単位内の水が自由水として行動単位間の間ゲキ中に押し出される。(→軟化)などが考えられてきた¹⁾²⁾。

筆者は上記①について検討を加えた結果、行動単位の接近が接合部の毛管水の曲率の絶対値を減少させるという従来の見解¹⁾²⁾とは逆の結論を得たのでここに報告する。

II. 毛管水のモデルと負圧の計算方法及び計算結果

1. 行動単位間の毛管水のモデル

土壌の行動単位または土粒子を第1図のような球形の粒子(A, B)でおきかえる。毛管水は2球粒子間に懸垂しており、粒子との接触角は 0° と仮定する。このような毛管水の表面の形状は実際には複雑であるが、簡単のため、(i)2球の中心を結ぶ直線に垂直な平面が毛管水を切断してできる断面は円である。(ii)2球の中心を通る平面が毛管水を切断してできる断面は円弧である。と仮定する。

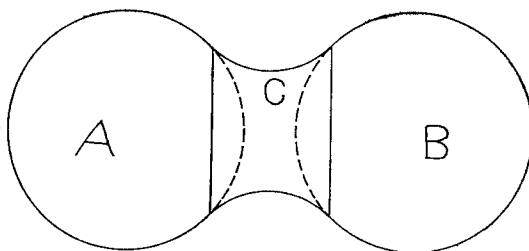
2. 計算方法

毛管水の体積を一定に保ちながら2球間の距離を変化

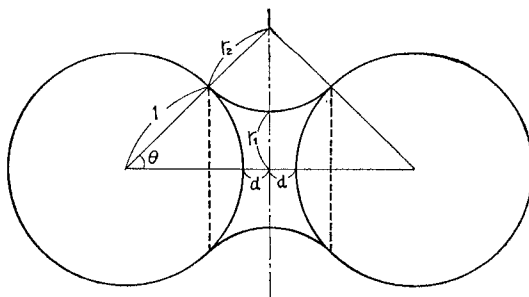
させた場合、毛管水の負圧がどのように変化するかを計算することを目的とする。

第2図のように2球の半径を簡単のため1、曲率半径の絶対値を $r_1 \cdot r_2$ 、2球表面間の距離を $2d$ 、毛管水の体積を V 、平均曲率を $1/R=1/r_1-1/r_2$ とおく。一般の場合には、2球の半径を a とすれば、 $r_1, r_2, d, V, 1/R$ は各々 $ar_1, ar_2, ad, a^3V, 1/aR$ などとすればよい。また角度 θ を第2図のように定める。

変数 r_1, r_2, d の間には $f_1(r_1, r_2, d)=0$ 、 r_1, r_2, θ の間には $f_2(r_1, r_2, \theta)=0$ などの関係が存在し、 $r_1,$



第1図 2球間の毛管管水



第2図 変数のとり方

* 岩手大学農学部

r_2, d, θ のうち2つが独立な変数である。2つの変数が定まれば、 $V, 1/R$ が計算できる。なお、 $r_1 > 0, r_2 > 0, R < 0, 0 < \theta < \pi/2, d \geq 0, V > 0$ の条件が必要である。

直接 $1/R = f(d, V)$ を求めると計算が繁雑になるため、 $V, 1/R, d$ を他の独立な2変数で表わし、2つの変数の組を各変数が定義された変域で数多く与えて、 $V, 1/R, d$ の数多くの組みあわせを得る。 $1/R, d$ を軸とするグラフ上に V の値をプロットし、 V 一定曲線を作図により求めた。 $V, 1/R, d$ は r_2, θ を用いれば次式で表わされる。

$$V = \frac{\pi}{6} \left\{ (1+r_2)[3(3r_2^2-2r_2+3)\cos\theta - (1+r_2)^2 \cos 3\theta - 12r_2^2(\frac{\pi}{2}-\theta)] - 8 \right\} \quad (1)$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{(1+r_2)\sin\theta} - r_2 - \frac{1}{r_2} \quad (2)$$

$$d = (1+r_2)\cos\theta - 1 \quad (3)$$

毛管水の水圧は次式で表わされる。(註)

$$P = P_0 + \frac{\sigma}{R} \quad (4)$$

P : 毛管水の水圧。

P_0 : 外圧 (大気圧)。

σ : 表面張力。

(註) $\sigma/R < 0$, 本稿では $|\sigma/R|$ を負圧 (の大きさ) と呼ぶ。

3. 計算結果

計算結果を第3図に示す。当然のことながら、 V が増加するのに従い $|1/R|$ は減少している。

d の変化に対しては、 $d=0$ で $|1/R|$ は極大を示し、 d の増加に伴って急激に減少することがわかる。

III. 実験

上記の計算結果、特に d の増加に伴う $|1/R|$ の変化の傾向を検証するために、簡単な実験を行なった。

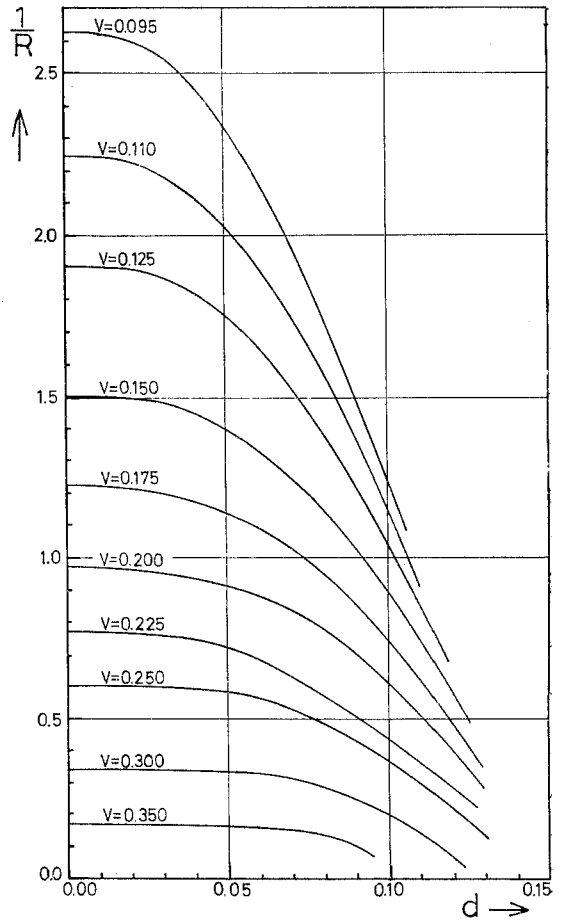
1. 負圧の測定方法

①清潔なガラス棒を加熱して先端をほぼ球形としたもの (以下ガラス球と呼ぶ) を2個作製し、うち1個は固定し、それに先端を接触させてもう1個のガラス球を半固定した。2球間に蒸留水をレンズ状に懸垂させた。

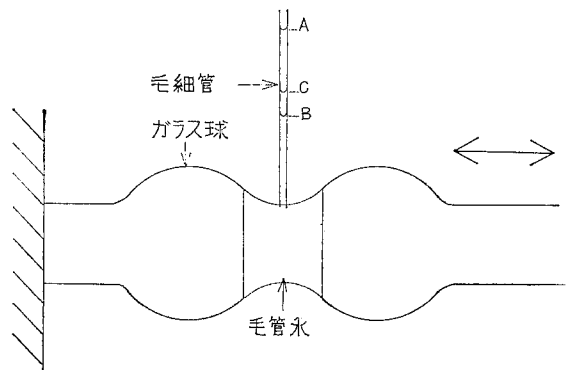
②毛細管を自由水面に垂直に立てて毛管上昇させ、平衡に達した水面の位置に印(A)をつけた。この毛細管を①の毛管水部分に挿入し、毛細管中の低下した水面の位置に印(B)をつけた。A, Bの高さの差は毛管水の負圧を表わしている。(第3図)

③②の状態のまま2球間の距離を引きはなし、毛細管中の水面の位置の変化を観察した。

2. 観察結果



第3図



第4図 毛細管による負圧の測定

2球間の距離を増加させると、毛細管中の水面はBからA方向へ上昇し、途中で静止した。(C)再び2球を接触させると水面はもとの位置Bで静止した。

以上の結果から、2球間の距離の減少に伴い、負圧は上昇することが定性的に検証された。

なお、測定中に毛細管中の水がガラス球間の毛管水中に出入りすることにより、毛管水の体積 V が若干変化するが、定性的な測定のうえでは問題ない。毛管水の負圧が上昇する場合毛細管中の水は毛管水の中に若干移動し、毛管水の体積を毛細管を挿入しない場合より若干増加させる。すなわち、毛細管を挿入したことにより、挿入しない場合とくらべてやや低い負圧が読みとられることになる。逆に毛管水の負圧が低下した場合は上昇した場合とくらべて、毛細管の挿入による誤差は小さい。したがって、2球間の距離を変化させたことによる毛管水の負圧変化の幅は、毛細管の挿入によって若干狭く測定されるが、変化の傾向をつくつがすものではないことがわかる。

IV. まとめ

2球間の毛管水についてのモデル計算及びガラス球間の毛管水の負圧変化の測定を行なった結果、2球間の距離が接近することにより、毛管負圧が上昇することがわかった。

土壌を練り返すことにより、土壌の行動単位が接近すると仮定した場合、練り返しは行動単位間の毛管水の負圧を上昇させる要因となる。

たとえば、直径0.2mmの球形粒子(比重2.65)を立方充填させ、含水比を約4.8%とした場合の毛管負圧は約9.3cmH₂Oと計算されるが、粒子を全体に10%はなした場合(粒子系全体の体積は33%増大)の負圧は約5.6cmH₂Oとなる。いっぽう立方充填させたまま負圧を約5.6cmH₂Oとするためには約6.3%の含水比が必要である。

実際の土壌では練り返しによる行動単位自体の変形・破壊が主要な要因となってpFの低下又は上昇が起ると考えられる。土壌の行動単位の性質を明らかにしてゆくことは、今後の重要な課題と考えられる。

参 考 文 献

- 1) 山崎不二夫, 須藤清次: 土の工学的挙動, 農土論集14号(1965)
- 2) 竹中肇, 安富六郎: pFの変化と軟化・硬化について, 農土論集14号(1965)

農 業 土 木 学 会 発 行 在 庫 図 書

	頒 価	
日本取入 概 説 誌	300円	(送料 150円)
農業土木ハンドブック	6,700円	(送料共) (非会員7,500円)
学会誌総目次(第1巻~第26巻)	200円	(送料 50円)
" (第27巻~第36巻)	250円	(")
機 械 施 工 (農業土木学会選書 1)	1,000円	(送料共) (非会員1,500円)
地域工学をめざして (" 2)	1,000円	(") (非会員1,500円)
八郎瀧報告書	2,000円	(")
Irrigation and Drainage in Japan	2,000円	(")
農業土木工事図譜第2集フィルダム編	4,500円	(") (非会員7,000円)
改訂農業土木標準用語事典	1,500円	(") (非会員2,000円)
土地改良事業計画設計基準改訂版コンクリートダム	500円	(送共)(一括10部以上の場合 480円)
" 海面干拓	1,000円	(")(" 950円)
" フィルダム	2,400円	(")(" 2,280円)
" フィルダム追補	80円	(")
" 水路工(その1)	1,200円	(")(" 1,140円)
" 水路工(その2)	1,900円	(")(" 1,810円)
" 水利アスファルト工(前編)	600円	(")(" 570円)
" " (後編)	700円	(")(" 670円)
" 頭首工	1,000円	(")(" 950円)
" 水温・水質	550円	(")(" 530円)
" 河口改良	400円	(")(" 380円)
" 地スベリ防止事業	500円	(")(" 480円)
" 農道舗装	1,300円	(")(" 1,240円)

上記図書の申込みは、下記をお願いします。

東京都港区新橋5丁目34-4

(社) 農業土木学会

転換畑における土壌水分と土壌構造の変化

竹 中 肇*

Soil Moisture and Structure in the Paddy Field Utilized in Dry Condition

Hajime TAKENAKA

The University of Tokyo

I. はじめに

わが国の食糧需給をみると、米は昭和42年頃より生産過剰の傾向を示している反面、畑作物は全般的に不足傾向を示し、年々、穀類を主体とする輸入量は莫大な数量にのぼっている。

このような情勢を反映して昭和45年より、稲作転換促進対策がとられている。昭和49年度には28.5万ha(米116万tonに相当)の畑地転換が行なわれている。転換作物としては、飼料作物、野菜、豆類、永年生作物などが主要なものである。このような食糧需給の面から見た畑地転換の必要性は、今後も長期的に継続するものと予想される。

一方、日本農業がもつ本質的な一面として、農家の耕地面積の狭少、耕地の分散があげられよう。農家は一般に複合経営が多い。すなわち、農業内部における労働や所得の確保、また土地利用度の向上を目指す立場からみても、水田を畑として、また、畑を水田として、自由に転換して利用しうる条件を整えておくことは有利なことと考えられる。

このように畑地転換は今後とも日本農業の土地利用の中で、重要な地位を占めるものと判断される。

一方、わが国の耕地利用率(水田、畑の合計)をみると、昭和35年の134%から年々低下をつづけ、昭和48年には100%まで低下している。とくに近年の水田の耕地利用率が低く、昭和47年には93%に落ち込んでいる。これは水田の休耕面積が大きいこと、および裏作とくに麦の作付面積が少ないこと、(昭和47年では15.5万haに過ぎない)などがあげられよう。

これらは農業生産をとりまく多くの環境条件により影響をうけた結果であるが、自然的・技術的側面としても、土地利用の向上を阻害している面があることが指摘できよう。すなわち、水田を畑地として利用する場合農地工学上、まず排水対策を確立することが前提条件となることが、各地の実例で指摘されている。

水田基盤はその機能上、平坦に造成され透水性も低く、一般の畑地と比較すると降雨時の排水が不良である。また、近接する水田や用排水路よりの浸透水の影響をうけて、過湿となる場合もある。したがって、排水対策はきわめて重要であると言える。

一方、排水を良好にして畑作物を栽培すれば、必然的に土壌の乾燥は進む。したがって、水田基盤という条件下における乾燥の進行と、土壌構造の変化の関連を把握しておくことは、畑作物の栽培にとっても、また、畑を再び水田に戻す場合の用水管理上の立場からも、極めて重要な事柄であろう。

農業土木学会では昭和46年度より畑地転換対策調査委員会を発足させ、全国、13地区を選定して、畑地転換に対する技術的対策につき、調査研究を行なっている。これまでの調査成果のうちから土壌の物理性に関連ある問題につき、ご紹介したい。

II. 排水対策

1. 隣接水田よりの浸入水の影響とその処理

これには地表水として浸入する場合と、地下水として浸入する場合とがある。前者は用排水路や畦畔を溢流して浸入するものであり、これについては地区全体としての排水を完備すると共に、畦畔を十分な高さに整備する必要がある。

地下水として浸入する場合には耕盤上より浸入する場合と、耕盤下より浸入する場合に大別される。耕盤上より浸入する場合には、畦畔を補強するとか、簡単な止水策が有効である。一方、耕盤下より浸入する場合、閉鎖浸透となっていて、地下水位が高く、透水性が大きいような場合には、遮断水路、抽水暗キヨ等が必要となる。これらについて整理した結果を第1表に示しておく。

大河川下流部の低湿地帯では、地形が平坦で、地区全体としての排水が不良であり、隣接水田のみならず、排水路自体からも影響をうける場合がある。とくに下層に砂層など透水性の大きい土層が存在するときには、浸入水の影響を強く受けるので、十分な対策が必要である。

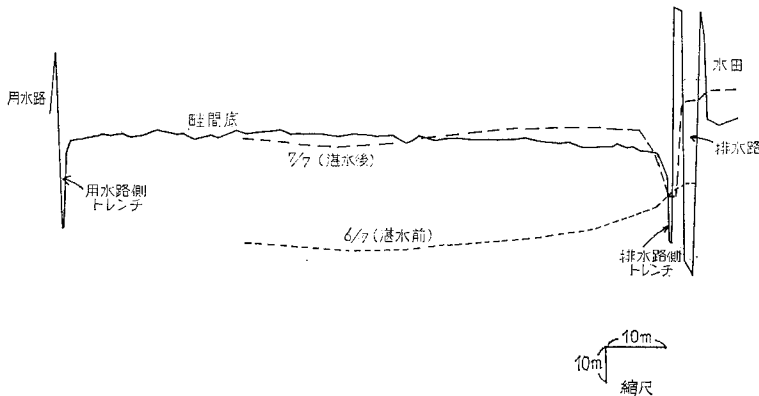
* 東京大学農学部

第1表 隣接水田からの浸入水の影響

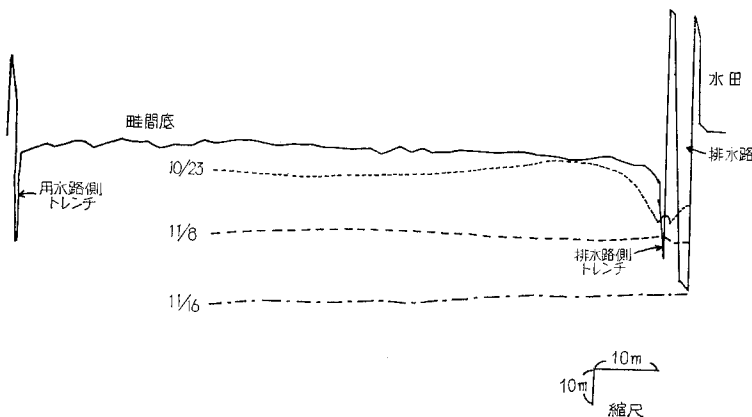
原因	対策
地表水として浸入（畦畔越流）	地区排水完備，畦畔補強
地下水として浸入 耕盤上より浸入（畦畔・作工） 耕盤下より浸入（基盤）	簡単な止水壁
開放浸透	不要
閉鎖浸透	不要
透水性小(10^{-5} cm/sec以下)	不要
透水性大(10^{-4} cm/sec以上)	不要
地下水位低（1 m以下）	不要
地下水位高（1 m以上）	遮断水路，補水暗キヨ

（京大 丸山利輔）

一例として、埼玉県騎西町（加須地区）の転換畑における地下水位の測定結果をあげておく。調査ホ場は深さ30cm付近より砂層となっていて、排水路ならびに、近接する水田の水位に影響をつよく受けているのがわかる。



第1図 地下水位の変化（加須地区昭和49年）—落水後の比較—



第2図 地下水位の変化（加須地区昭和49年）—落水後の経時変化—

（第1図）排水路に沿って、ホ場内に堀割されたトレンチも、その深さが充分でなく、周辺よりの浸入水の影響を充分に遮断する迄には到っていない。すなわち、砂層の下部にも補水暗キヨ等を併用すべきであらうと思われる。なお、落水後には、排水路水位の降下に対応し、転換畑の地下水位も、低下する傾向をうかがい知ることができる。（第2図）

一方、同一地区の近接したホ場で、下層に砂層が存在しない条件下では、一般的に地下水位は低く、浸透水の影響の仕方は弱まってくるのがわかった。

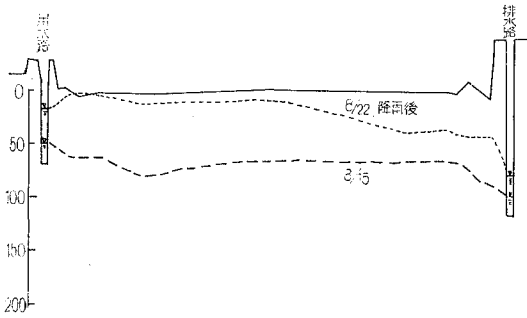
低湿地でも、排水路水位が充分な深さに管理されている場合には、地下水水面形は排水路側にむかって順調に低下する。一例として見島湾干拓地で測定された結果を第3図に示しておく。

2. 地表排水

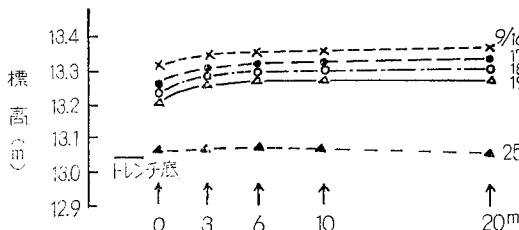
豪雨に見舞われたときは、平坦な転換畑では排水が停滞する。排水を地表における流出水としてとらえて排除することが、まず大切である。地表排水が円滑に行なわれることは、作物を湿害から守る前提条件であり、また、ホ場内での作業能率を高める上からも重要である。

地表排水を促進するために、ホ場にトレンチを掘り、たまり水を排除する方法がある。利根川沿いの低湿地の加須地区の例では、深さ30cmのトレンチの影響圏を地下水位の変化によって調べたところ、約6m程度となった。（第4図）

また、栽培上の必要から作られる畦間も、広義には一種のトレンチと解釈してもよい。豪雨のあと、排水不良の畦は、畦間の勾配が一樣でなく、凹凸や、逆勾配が存在していることが、加須地区や岐阜県糸貫町（糸貫地区）の現地調査で確かめられている。また、人力によって作畦した畦について実施した現地排水試験によると、畦の両端で排水する方が、排水所要時間が短かく有利であることが示されている（糸貫地区）。この面から考えると、水田のみの場合にくらべて、転換畑では、排水路の密度を多く要求することとな



第3図 地下水位の変化(児島湾干拓昭和47年)
(岡大 長堀金造)



第4図 トレンチの有効圏(加須地区昭和47年)
9月14~16日181.5mmの降雨があった
のちの地下水位変動

る。このほか、畦間を出来るだけ均一に、凹凸のないように仕上げることは、きわめて重要であると言える。

しかし、現実の問題としては、ほぼ平坦な転換畑において、一様な緩勾配の畦間を作りしかも、この形を維持することは、極めて困難であると言えよう。加須地区で調べたところでは、降雨後の畦間の湛水状況は、必ずしも畦間の平均勾配と明確な関連はなく、むしろ畦間の凹凸に支配されている傾向がうかがわれた。丸山らも各地の畦間の凹凸の実態と排水状況との関連を追跡し、畦間残留水量を数量的に求めることを示している。

一方、土壌構造の面から考えれば、畦間に湛水が生じても、これを迅速に排除しうる透水性を保持させることが大切である。畦間がぬかるみ易く、歩行上の支障が感ぜられる加須地区の例で、畦間にかんりの凹凸があっても、土層の透水性が良好な部分では、畦間の湛水は早期に消失し、ぬかるむ傾向はみられなかった。

3. 地下排水

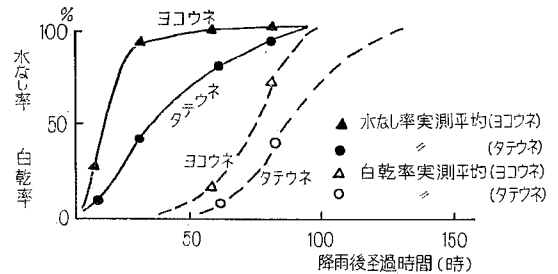
地区全体として地下水位が高く、下層に透水不良の土層が存在するような条件下では、積極的に地下排水をはかり、畑作物の栽培に適した水分環境を保つと共に、作業性の確保をはからねばならない。

土壌の透水性が不良で、従来の暗キヨ工法のみで目的が達せられない場合には、心土破砕、弾丸暗キヨなどの土層改良を組み合わせる必要がある。透水性が不良で 10^{-5} cm/sec 以下のホ場では、このような配慮が必要とな

る。

また、傾斜地でホ場整備を行なうと、水田の段差が大きくなり、上位水田に接続した法尻付近では、地下水位が高くなって過湿の害を及ぼるので、このような部分に対し、密度の高い地下排水対策がとられる必要がある。一例として、多田らによる段丘砂礫層上の城端地区の調査例をみよう。傾斜地であるため、夫々の田面差は1.5m程度であり、地表排水のみでは、転換畑は過湿であった。山側の法尻付近に礫を埋戻した暗キヨ管を敷設し、これに直交して深さ約0.4m、間隔1.5mで弾丸暗キヨを施工したところ、著しい排水効果があった。

このほか、排水を促進させるためには、暗キヨと畦の方向について検討することも大切である。畦方向を暗キヨの布設方向と直交させると(ヨコウネ)、畦方向に平行に暗キヨを布設した場合(タテウネ)にくらべて、降雨後の畦間の排水状況がいちじるしく良好で、土壤の乾燥も早いことが、滋賀県大中の干拓地で、富田らによって確認されている。(第5図)



第5図 ウネの方向と降雨後の乾燥傾向(滋賀県大
中干拓地)(滋賀短大 富田正彦)

地下排水を行なうための目標値は、作物の栽培条件、作業条件を充分勘案して設定されねばならない。このためには、地下水位と、pF の関係を、充分整理しておき、植生、作業条件との関連性を検討してゆくのが有効である。

III. 乾燥の進行と土壌構造

1. 乾燥の進行

水田を畑状態で利用した場合、乾燥が進み、土壌構造が発達してゆき、下層までキ裂が入るようになる。したがって、どの程度まで土の乾燥が進むかを明らかにすることは、転換畑における畑作物の管理上からも、また再び水田として利用する場合の用水管理上からもきわめて重要である。

一般に、乾燥の進行は、天候、土性、地形、地下水位、作物等の諸条件等により変化する。このうちでもとくに地下水位の影響は重要であり、地下水位が高い場合の乾

燥の進行はゆるやかである。

水で飽和したゆるい土は、キ裂が入り始めるときの pF 値が1.5~2.0付近にあることが確かめられているので、とりあえず pF 2 以上に乾燥した日数を、各地の土壤条件、地形条件にてらして検討した。

粘質で地下水位が高い条件下の城端地区では、深さ20cm以下は、ほとんど乾燥していないことが知られた。これに対し、砂礫質のハンラン原上に20cm程度の作土層をもち、地下水位が比較的低い和田山地区の例では、乾燥がよく進み、4~9月のうち、半数以上の日数が、pF 2.0以上を記録した(昭和47年)。なお、乾燥の進行は、同一ホ場でみると、排水路寄りの乾燥が良好であった。

また、傾斜地水田では、基盤整備を行なうに当たり、盛土部、切土部で土壤条件に差異があり、乾燥の進行状況もまた異なる。段丘上の火山灰土で、地下水位が低い波田地区の調査事例では、全般に乾燥がよく進むが、しかし盛土部の方が切土部にくらべ、深い層まで乾燥する傾向がうかがわれた。水田より転換された直後の畑の切土部では、下層上の乾燥はほとんど進行しない。

畑作経過後の経過年数のちがいによっても土壤構造の変化の程度に差異が生じ、乾燥状況にも反映する。たとえば、波田地区における昭和49年度の夏期のスイカ畑の水分張力測定値(作土層深さ10cm)を検討すると、畑地転換後、1年目の畑では、pF2.7以上に乾燥した日数は1~5日と少なく、全般に湿潤であった。これに反し、畑地転換後4年目の同一地区の近接した畑では、これが19~24日と多く、全般に乾燥し易い傾向であった。すなわち、水田土壤が乾燥経験を重ねて行く中で、畑地土壤としての構造にうつりかわり、通気性、透水性を向上させて行くことを反映したものと考えられよう。

2. 土壤構造の変化

まず、地下水位が低い波田地区を例にとり、河野らによって行なわれたキ裂の発達調査結果を中心に検討しよう。中干し時期に作土層にキ裂が入り始めるときの pF 値は、略々 pF 2.0 付近にあることが知られている。しらかきされた作土は、ゆるくかつ飽和している。このような土では、最初、団粒間の水が脱水され、脱水量と変形量が略々一致した段階を経過する。(正規収縮の段階)のち pF 2.0 付近に到り、脱水量が変形量を上回り(残留収縮の段階)土壤内に内部応力が発生し、キ裂の発生につながるものと考えられよう。

波田地区では、造成された直後の一作目の水田では土がぬかるみ、営農機械の導入に困難がみられる場合があった。作土の土壤構造の発達の程度を調査した結果を第2表に示す。すなわち、一作経過後の時点において、キ

第2表 土壤断面の発達状況(波田地区昭和46年)

部 位	調査点数	土壤断面の発達程度		
		良	中	不良
盛土部	8	3	2	3
切土部	7	7	0	0

注) 良……作土層におけるキ裂の発達が顕著に認められ、作土層の硬度が比較的大で、肉眼で判定した土湿が少ない。
 不良……作土層におけるキ裂がほとんど認められ、作土層の硬度が比較的小さく、肉眼で判定した土湿が多い。
 中……良、不良の中間段階のもの

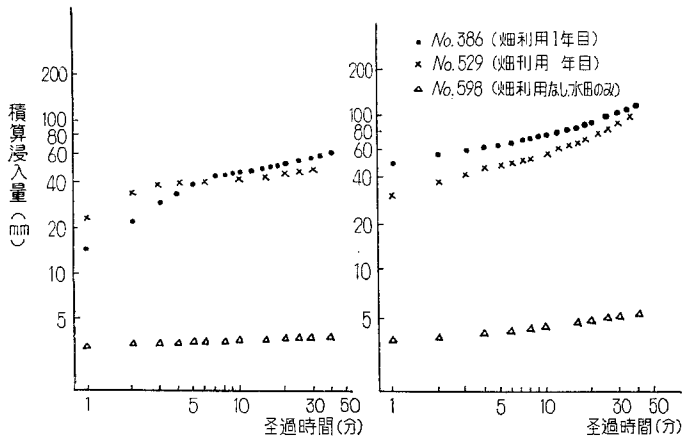
裂の発達状況、硬度の大小、土湿の多少など総合的に判断して、3段階に整理してみると、盛土部では、排水不良状態を示す土壤断面が、8例中3例認められるのに反し、切土部には7例中全部が、排水状況は良好な断面を示した。なお、盛土部、切土部のキ裂発達の様相は、地下水位の高低と密接な関係がある。同じ傾斜地水田でも、地下水位が高い谷津田で千葉県東金市の事例では、逆に切土部は過湿でキ裂は発達せず、盛土部で顕著なキ裂の発達をみた。

一作経過の段階では、キ裂の発達は、作土層が主体となっている。年月の経過と共に、土壤断面中のキ裂の発達が下層へ進んでいく傾向が、各地の調査で示されている。下層土は、作土とは土壤構造の生成条件が相異している場合が多い。例えば傾斜地の基盤造成では、大型の施工機械により不飽和状態の土が締固められるわけであるから、その時の水分状態、締固め外力によって充填状態が異なることとなる。このような土では、締固められた当初の水分状態付近で、水分が変動する範囲では、顕著な体積減少は生じないと思われる(構造収縮の段階)。水分が当初の水分状態を下回って始めて土の構造変化をとまなり収縮を生じ、キ裂の発生につながるものと考えられよう。したがって、キ裂発生時の pF 値は締固め時の水分状態さらには締固め外力により規定されることとなる。波田地区で、下層土において、キ裂が発生する時点の pF 値は作土より大で、かつ pF 2.0~2.5 の範囲で変動した。

しかし、下層上でも、湖底土のように湿潤な条件下で生成したままの場合には、キ裂発生機構は作土の場合と大差はないものと考えられよう。例えば八郎溝干拓地における干陸当初の乾燥段階におけるキ裂発生時の pF 値は略 pF 2.0 付近であることが観察されている。

3. インテクレート、水田用水量の変化

まず、地下水位が低い台地上の水田について検討してみよう。畑状態を経験することにより、土壤構造が発達し、キ裂が下層に向かって入ってゆくことは、すでに明



第6図 インテークレート (波田地区昭和49年度)

っかにしたとおりである。このとき、畑状態を経験する期間が長いほど、その傾向は顕著である。これらの事実を反映し、波田地区で測定したインテークレートは、水田の場合にくらべて大差が認められた。

転換畑を再び水田として利用すると、しろかき用水量、減水深とも顕著に増大する。この傾向は畑状態を終了した時点から、水田として利用されている経過時間とも密接に関連している。すなわち、畑作経験期間が長いほど、かつ、再び水田として使用された期間が短いほど、用水量の増大は大きい。なお、畑地化したことの影響は相当期間、残存するものと思われる。少なくとも、3～4年間程度での水田再使用では、水田のみに使用した場合にくらべて、畑地化の影響はきわめて明確に残っていて、用水量は大きい。すなわち、畑地化により、一旦発達した下層土のキ裂は、かなり安定なことを示しているものと考えてよいと思われる。

一方、低湿地の条件下では、土壌構造の変化は激しくは進まず、畑状態を経過しても、水田用水量には、必ずしも明瞭な差異があらわれない場合が多いと思われる。すなわち、地区全体としての地下水位が高いため、キ裂が発生している、このために顕著な降下浸透が発生する余地が乏しいからである(加須地区昭和49年度の例)。

IV. むすび

水田を畑地として利用する場合、農地工學上、まず排水対策の確立が重要であることを明らかにした。

すなわち、隣接水田よりの浸入水の影響の仕方を、浸透経路、土壌条件の両面より整理し、その処理対策の基本を明らかにした。ついで、作物を湿害から守り、作業能率を高める立場から、地表排水工法、地下排水工法を、土壌の物理性等との関連において論じた。

ひきつづき、乾燥の進行状況を土性、地形、地下水位等の諸条件により検討し、これをキ裂の発生状況と関連づけて論議し

た。また、畑地化により生じた土壌構造の変化は、長期間持続するようであり、インテークレート、水田用水量にも影響することを示した。

(謝辞) 本稿を草するに当り、有益な御意見と資料を提供していただいた農業土木学会、畑地転換対策調査委員会の委員各位に厚く御礼申し上げる。また、研究逐行上、足立忠司、堤聡、河野英一の諸氏からは、とくに多くの協力を得たことを記し、謝意を表わします。

引用文献

1. 日本農業土木コンサルタンツ：畑地転換調査委員会報告書、昭和47年3月
2. 農業土木学会：畑地転換対策調査委員会報告書(昭和47年度)、昭和48年3月
3. 同上：同上(昭和48年度)、昭和49年3月
4. 同上：同上(昭和49年度)、昭和50年3月
5. 竹中肇、江崎要：ヘドロ地盤のホ場面沈下について、農土前会論文集43号、P.12～18、1973年1月
6. 河野英一：畑地転換に伴う土壌水分と土壌構造の変化——段丘上水田を例として——、農業土木学会雑誌、投稿中

重粘土水田の土層改良と用排水組織に関する研究

根 岸 久 雄*

Soil Reclamation and the System of Irrigation and
Drainage in the Area of Heavy Clayey Paddy Fields.

Hisao NEGISHI

National Research Institute of Agricultural Engineering

1. はしがき

この研究は、「農林水産技術会議が特別研究としてとりあげ、昭和43年度から昭和45年度までの3カ年間、農業土木試験場、農業技術研究所、農事試験場、北海道農業試験場、北陸農業試験場および九州農業試験場において実施した共同研究の成果である。

……重粘土地帯水田は、その透水性が小さいためにホ場排水が悪く、また地耐力が弱いために大型機械の導入や適正な水管理、田畑輪換などが困難な場合が多く、この乾燥促進や透水性改良などの整備技術については、いまだ体系化されるに至っていない。本研究はこれら整備技術のうちとくに遅れている重粘土地帯水田に必要な排水、土層改良と合理的用排水組織について、全国の代表的重粘土地帯水田を対象とした現地調査・試験を中心に解明し、ホ場排水の計画・施工基準の早期確立に役立てようとしたものである。」(農林水産技術会議事務局、研積成果重粘土地帯水田の土層改良と用排水組織に関する研積)の序文より)

すなわち、特定対象(重粘土地帯水田)の技術(ホ場整備)の確立を目的とした共同研究である。

共同研究では最終の研究成果はもちろん、研究過程の知見も共同研究者の助力を受けることが多いので分離しがたいが、紙数の関係からここでは主として農業土木試験場が分担した研究を中心にのべる。詳細は農業土木試験場報告第10号(昭和47年3月)「重粘土地帯水田の土層改良と用排水組織に関する研究」(I)~(IV)をご覧ください。

2. 研究の進め方と研究対策

研究は次の3つに分けられる。第1は「重粘土」の物理性の研究、とくに重粘土の性状変化に伴う透水性の変化の研究と、「排水不良水田」発生の気象・立地的要因および技術的要因の解明である。第2は改良目標の設定

であり、第3は改良技術の実証的研究である。これら3つの研究は段階的に進められるべきであるが、限られた期間の研究であり、並行して進めた。

ここでいう「重粘土」は土壌分類や土性分類と直接対応するものでなく、「粘土含量が多く湿潤な環境下では軟弱で、透水性が低いか、または、低くなりやすい土」の呼称とした。したがって、土性区分からはHCのみならずSiC, LiC, およびSCをも含み、強グライ土壌、グライ土壌のほか、灰色、灰褐色、黄褐色土壌および黒泥、泥炭質土壌等の土壌群中に分布する。

農業土木試験場が主として担当した試験地の土壌は次のとおりである。

福島県安積地区；洪積台地，土性 LiC~HC，黄褐色土壌，主要粘土鉱物，7Åカオリン鉱物，パーミキュライト

新潟県潟東地区；沖積河成・湖成低地，土性 LiC~SiC，強グライ土壌，主要粘土鉱物，モンモリロナイト。

新潟県高田地区；沖積河成低位台地，土性 HC，強グライ土壌，主要粘土鉱物，モンモリロナイト。

水田の「排水不良」は土壌の性質(主として透水性)以外の要因によってもひきおこされる。この研究では排水不良の要因を土壌的要因、水理的要因および人為的要因に分けた。

水理的要因とは、かんがい取水、降水、地表・地下流水等、ホ場排水必要の発生原因および、地表排水における排水路の水位、土層中の降下浸透(地下排水)がダルシー則 $V = k \cdot h/l$ によるとする場合の動水勾配 h/l 等を水理的要因とした。ここで、透水係数 k が土壌的要因である。また、用排水施設の運用、ホ場用排水の管理等にもとづくものを人為的要因とした。

3. 土壌物理性に関する研究成果

1. かく乱土の透水係数

重粘土の透水係数は、試料作成の条件によって異なり、試料作成時の含水比の低いもの、密度の小さいものの透水係数が多い。また、同等の密度では酸化の進ん

* 農林省農業土木試験場

だ土の透水係数が大きいのが、試料水浸期間の経過にしたがって還元状態の試料との差が縮小する。しかし、「重粘土」の透水試験は再現性が低い。

透水係数 10^{-7} cm/sec を一つの指標値とすると、液性限界前後の含水量でこねかえした「重粘土」の透水係数は、すべて指標値以下で、土壤生成過程の相違、粒度組成の相違、土壤の酸化・還元状態の相違による差がみとめられない。この指標値以上となる土はシルト分以下（71 μ 以下）の含量が30%未満で、粘土分以下（2 μ 以下）の含量が10%未満の土であった。

2. 動水勾配と透水係数

ダルシー則では透水係数は動水勾配にかかわらない。しかし、動水勾配を小さくしていくと、透水係数の小さくなる現象がみとめられる。標準砂や砂質ロームの上では、動水勾配0.01前後を界として透水係数が低下する。火山灰質ロームでは、動水勾配0.1前後から低下し、土の精度が細くなるにしたがって、この境界点が大きくなる傾向を示す。「重粘土」についての測定は再現性の低さから十分でないが、ロームの値より大きいものと判定された。

また、動水勾配が傾きをもつ場合（例えば暗キヨ周辺での縮流部分等）の実験では、時間経過にしたがう透水係数の低下がいちじるしい。ただし、これは試料作成直後の試験成績であって、試料作成後十分な時間を経過し安定した試料についての試験は未了である。

3. 水田土層の透水係数

かく乱試料の透水係数にくらべ、水田土層の透水係数は広い範囲に分布する。とくに作土層では季節変化が大きい。潟東地区の測定によれば、春の耕起前では 10^{-4} cm/sec.以上、代かき～中干し前は 10^{-7} cm/sec.以下、中干し後では 10^{-6} cm/sec.域と変化した。下層土の透水係数は作土層より小さく、かつ、大きな季節変化はみとめられなかった。しかし、キ裂をさけて採取した小さい試料の透水係数と、現場土層で測定した透水係数では、1桁以上の差があり、「重粘土」水田では透水性のバラツキが大きく、それが土層のキ裂にもとづくことが明らかにされた。

水田土層は透水性からも作土層と下層土に区別されるが、作土層の直下に透水係数の大きい薄層の形成されることが観察された。潟東地区の例では、地表から12～20cmの深さに厚さ4～6cmの透水性の高い層がみとめられた。この層は中干し時の測定で $1 \sim 3 \times 10^{-6}$ cm/sec.、落水後では $2 \sim 4 \times 10^{-5}$ cm/sec.となるが、暗キヨ等によりこの層の耕水が増強された場合は、 $1 \sim 2 \times 10^{-3}$ cm/sec.の大きさになり、降雨の排除を早め、作土層の乾燥を促進するとともに、層自体がますます拡大強化するこ

とが認められた。

4. 環境による土の性状変化と透水性

砂は水分環境の変化による性状変化が少ない。したがって、透水性の変化も少ない。「重粘土」は水分による性状変化がいちじるしく、透水性が変化するとともに自らの環境条件を変える。

重粘土は水分の供給をうけると、吸湿膨潤化して排水を不良にし、湿潤的環境を助長する。初期水分をpF4.2とした安積地区の下層土試料は、吸湿による膨潤圧5.2kg/cm²を示し、非拘束状態では60%以上の体積膨脹を示した。この現象は沖積の密度の低い「重粘土」でも認められた。

乾燥的な環境におかれた「重粘土」は水分を失い収縮固結する。初期含水量の多い場合は、失った水分容積にちかい収縮量を示す。現場土層の収縮は初め垂直方向のみであるが、含水量がpF1.3～1.8になると水平方向にも収縮し、垂直方向のキ裂を生ずる。キ裂はより下部の乾燥を促進するとともに、水みちとなって排水性を高めて、より、乾燥的な環境となる。

「重粘土」は一度の乾燥によっても性質が変化する。生土と風乾土のpF--水分、アッターベルグ限界値等の相違にもみられる。

乾湿が反復する環境におかれた土は、湿潤環境におかれた土と異なる性状のものに変化する。

乾燥初期のキ裂は、含水比の多い強度の低い部分を起点として数10cmの間隔に生ずる。キ裂面は蒸発による乾燥と、内部から水によって運ばれた物質を集積して不均質な部分となる。このため湿潤状態となってキ裂が閉じても、再び乾燥するときのキ裂の再発部分となりやすい。キ裂面に集積される物質のうち、特に顕著なものは3種の鉄化合物である。乾燥がより進むと、キ裂によって形成された土塊に更にキ裂が生ずる。しかし、キ裂の増殖は乾燥土塊の吸湿時の崩壊が主要であり、乾湿の反復により土塊は細分化し、酸化して、新しい土壤構造となる。土壤構造の変化の及ぶ深さは、乾燥の強さ、乳湿の周期の長さ、土壤の毛管伝導速度等によって制約されるので、成層状となる。

5. 水田下層土の変化

下層土は表層土の被覆により、乾燥の進み方が緩慢で、かつ、強い乾燥状態とならない。このため、表層のようなキ裂の増殖や土壤構造の急速な進展はない。しかし、水平方向の拘束が垂直方向の拘束より大きいので、長周期の乾燥、湿潤を繰り返すときは、垂直方向にキ裂が生成発達して柱状構造となる。

実際の水田では作土層、すき床層など成層の形成による毛管切断と、かんがい、降雨による乾湿の周期の短い

ことから、下層土の乾燥する条件は不良で、土壌面蒸発による乾燥キ裂はすき床層を越えない。

植生は根の伸長によって下層土中に異質部分をつくるとともに、蒸散によって土層の水分を吸収減少させる。土壌の透水性が低い場合は、田面に湛水があっても、根域部に pF1.5 という状態が生ずる場合もある。中干しや落水期の地表湛水が消失した場合は、深さ30~40cmまで pF1.8~2.0 となり、土壌面蒸発では達しにくい下層土の水分低下がはかれる。しかし、通常の水稲栽培では強い乾燥は減収をまねくので、土壌乾燥の促進を目的とする場合は、特殊な栽培様式、例えば北陸農試で開発された無湛水栽培や、畑かん栽培、または、畑作物を導入する。しかし、これらの方法によってもキ裂の生成は30cmを越えることは困難である。また、洪積台地等密度が高い重粘土は、土壌面蒸発や植生の蒸散による程度の乾燥では、下層土にキ裂を生じさせることができない。

6. 心土研砕、弾丸暗キヨ施工による工層の変化

ある含水量領域の土層に弾丸暗キヨを施工すると、土が塑性変形して、きれいなキヨ孔ができる。含水量がこの領域より多い場合は、キヨ孔は閉塞する。また含水量が少ない場合は土層の破砕が周辺および、いわゆる心土破砕の状態となる。

弾丸暗キヨのキヨ孔が維持される下限の土壌状態は、コーン指数1.5~2kg/cm²であった。また、安積地区のようなかたい土層で破砕が十分に行なわれる条件は、土のかたさが山中式硬度20~23mm以上であった。

弾丸暗キヨ施工の効果はキヨ孔の排水効果はもちろんであるが、「重粘土」の場合はスタンダート（弾丸保持板）の切断跡や、キヨ孔周辺にできるキ裂が排水の水みちとなり、土壌変化の起点となる効果が大きい。

キヨ孔の保存寿命と土壌の関係は明らかにしえなかったが、キヨ孔にもみから等を頒充することで、キヨ孔の寿命延長がはかれた。排水機能が持続する暗キヨでは、キヨ孔直上部分からの土壌変化が逐次周辺に拡がるのが認められた。

3. 水田「排水不良」の原因解明に関する成果

1. 土壌的要因の究明

「重粘土」はその規定からも透水性の低いことを特徴とするが、乾裂的環境条件のもとでは、十分高い透水性を示す。したがって、重粘土水田が「排水不良」となっているのは土壌そのもののほかに、環境条件の不良が付加されている。排水改良の計画および排水不良原因究明の調査では、土壌調査に併せて環境条件の調査が重要である。しかし、環境条件の改善による土壌透水性の向上について、適確な推測を確立するまでに至らなかったの

で当面、実験的な方法、または、類似地の事例から推定することとした。

2. 水理的要因の究明

水分供給条件；水田は水不足の惨状にくらべ、水分の供給過剰は問題にならない。このため、用水の確保が最重要であって、自然の水分供給は安全側の条件とされ、重視されることはなかった。しかし、土壌の透水性が低く、一度供給された水分の排除が容易でない重粘土水田では、かんがい水のほか、降雨分布、地表・地下流入等の水分供給実態を明らかにすることが重要である。とくに、従来無視されてきた、非かんがい期における実態把握の重要性を指摘し、調査法と対策方法をのべた。

排水条件；水田の区画拡大ともなって、水田の排水をすべて地下排水によるりする傾向がある。重粘土水田は、地下排水の強化はもとより重要であるが、重粘土水田では地表水は可及的地表排水とすることの重要であることを指摘し、その対策を示した。

また、重粘土水田の暗キヨは排水機能のほかに、土壌構造改善の効果をもつことから、なるべく密なことが好ましく、このため、通常暗キヨに弾丸暗キヨを併用することの有効性を実証した。

3. 人為的要因と対策

ホ場整備；水田の型態や水利型態が湿田型で、水田の高度利用を阻害している場合等、基盤整備のおくれも人為的要因といえる。

ホ場整備のおこなわれたホ場で、計画、設計が「排水不良」の原因となっている例は少ないが、地形、土壌条件等との適合不良の場合がある。とくに施工では、施工期、施工法の不適、施工管理の下良により、事業効果が低下している例がある。

施設管理・ホ場管理；ホ場の利用・管理が個別的であることと、用排水施設の共用的機能は一つの矛盾でもある。用排水管理や水利慣行はこの矛盾を補うものである。したがって、用排水施設の大規模化やホ場整備、水利用技術の進展に伴って用排水管理体制、管理技術も発展させなければならない。これらが遅れていて、過剰な取水にもかかわらず、用水の不十分な部分があるとともに、排水負担を増大し、排水不良な部分を発生させて、施設と水の利用効率を低めている例がある。とくに非かんがい期の施設管理、排水管理の不良な例が多い。

これらの管理不良にもとづく排水不良対策として、小ブロック排水方式とその管理体制を示した。

4. 重粘土水田の排水に関する目標値の設定

重粘土水田の排水について当面の目標値を次表のように設定した。

重粘土水田の排水に関する目標値

項目	タ ン 水 期	非 タ ン 水 期		参 考 (転 換 畑)
	(移 植 栽 培 中 干 し) 期 まで	湿 潤 期 (表 日 本 刈 取 期 まで) (裏 日 本 秋 冬 期)	乾 期 (表 日 本 秋 ~ 春 期) (裏 日 本 春 期)	
減 水 深	10~20mm/day	25~50mm/day		
タン水(降雨)消費速度		50mm/2日	60mm/1日	50~100mm/1日
降下浸透速度	5~15mm/day	25~50mm/day	50~60mm/day	50~100mm/day
土 壌 透 水 係 数	10 ⁻⁵ cm/sec.	5 × 10 ⁻⁵ cm/sec.	10 ⁻⁴ cm/sec.	10 ⁻⁴ cm/sec. <
降 雨 後 2 日 目 の 地 下 水 位	{20cm 土 壌 水 分	pF 0.7	pF 1.2	
	30cm		40cm	40cm
降 雨 後 7 日 目 の 地 下 水 位	{20cm 土 壌 水 分	pF 1.5	pF 1.7	
	50cm		60cm	60cm
表層20cmの土壤強度		S R - II 型 コ ー ン 3 ~ 3.5 kg/cm ²	5 kg/cm ²	

目標値の設定の基礎は次のとおりである。

① 水稲作の機械作業が効率的、かつ、安定して行なえること。

② 機械荷重によって、下層土中の水みちが破壊されないこと。

③ かん水・排水の水管理が迅速、容易なこと。

④ 乾田直播・田畑輪換および畑地転換の場合に要求される、土壤乾燥状態となしうること。

稲の収穫期は地表水、降雨を迅速に排除して、収穫機械の作業を制約しないこと。秋播き作物の初期生育に障害を与えないこと、および、土壤物理性を悪化させないことを目的として、降雨の排除、降雨後の地下水位降下の速さ、土壤水分等の目標値を定めた。

春期の目標値は主として、土壤の透水性向上を目的としたもので、耕起作業の地盤条件はもちろん、畑作物の必要とする土壤条件を十分に越える値とした。

以上の2つから決まる土壤透水係数では、湛水時の降下浸透が過大となるので、代かきや地下排水の抑制によって、減水深を調節することが必要である。

5. 排水改良技術の実証成果

この研究で重粘土水田の排水改良について、実証を含めて具体的な技術的方法を提示した。

① 重粘土水田の排水改良は施設的な整備だけでは不十分で、土壤透水性を高めるための諸対策の併用が必要であることを明らかにした。

② 重粘土層の透水性の向上は、大きなキ裂(水みち)の造成と、乾燥による土壤の性状変化による。

暗キヨ排水、弾丸暗キヨの施工は地下排水組織の造成であるとともに、心土破碎と同様土層にキ裂を造る手段

でもあり、土壤条件に適した暗キヨの工法と、施工、管理方法を示した。

③ 重粘土水田の土壤乾燥は非かんがい期によるが、稲作期間中の中干し、間断かんがいは、植生の蒸散機能も加わって、土層にキ裂をつくり落水期の排水とその後の土壤乾燥に貢献する。このため、中干しを土層のキ裂発生に好適な気象時期に合わせることを提起するとともに、稲の生育・収量からの中干し強さの許容範囲を明らかにした。

④ 重粘土水田の用排水施設とホ場の形状では過剰な水の流入防止と迅速な排水に適したものとする。とくに、暗キヨからの排水不良や暗キヨから逆給水を起こさない用排水組織形式を検討した。

⑤ 用排水施設の機能を十分に発揮するために、管理体制を整備強化する。排水が不良になりがちなところでは、ブロック化した排水管理組織を基礎とする管理体制をとることを提起した。

⑥ 水田の排水改良にともなって不良化する土壤がある。泥炭質土壤に砂層がまじる土壤で、乾田化により泥炭の分解と、機械の踏圧によって土壤がち密化し、湿田状態の水田よりも透水性が低下した。同じ土壤で畑地状態が継続されたところが、最も生産力が高かった等の例により、土地利用方法の選択の重要性を示した。

研究成果として以上のようなまとめをした。しかし、同時に多くの不完全さが指摘される。成果の多くは定性的な解明と判断にとどまるものが多く、定量的な解明に達したものが少ない。このため、重粘土水田改良の計画一般の参考にはなるが、具体的な設計への寄与は不十分である。

また、重粘土水田の排水改良の方法について一連の解明をしたが、これらの方法によるホ場整備および管理に関する経費、所要労力に関する調査を欠いている。水田の排水改良乾田化は、当然土地の生産力に変化を及ぼす

が、生産の推移についての検討が不十分である。

これらの指摘事項は今後の研究によって補わなければならないが、同時にこのような段階で一応終了とされる研究の進め方も、問題として考えなければならない。

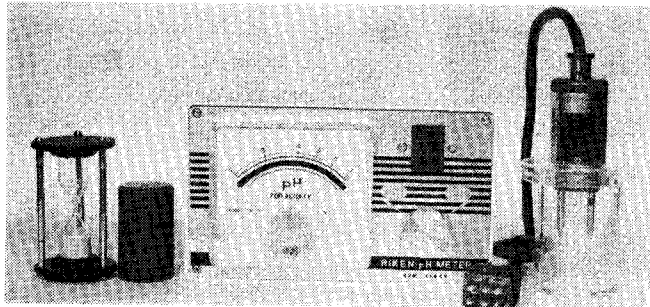
〔水分〕

理研式簡易水分計

〔pH〕

理研式簡易 pH 計

土壌調査と農産加工に最適



◎本器は現場的であり、実用向であるので欧米各国にも広く輸出され好評を得ております。

◎携帯用で、いつ、どこでも、だれでも利用できます。

理研科学測定器研究所

東京都足立区伊興町前沼1254

〒121電話899-4874・897-8860

第 10 回 国 際 土 壤 学 会 か ら

渡 辺 春 朗*

Impression of the 10th International Congress of Soil Science in U.S.S.R.

Haruo WATANABE

Chiba Agricultural Experiment Station

1974年8月モスクワで第10回国際土壌学会が開催され、筆者も大会およびエクスカージョン（モスクワ～ヤルタ）に参加する機会を得ました。この期間中に私（県農試で主に土壌調査に従事し、土壌物理に少々興味をもっている）なりに見聞しそして感じたこと、印象を書かせて頂きます。

§ 国際土壌学会

8月8～11日、学会受付、モスクワ大学8～20時、大学はモスクワ郊外のレーニン丘にあり34階建の総大理石の壮麗なものであり、キャンパスも非常に広く緑も多く美しい限りである。なおその規模は14学部、学生約3万人、教員4,000名、特筆に値するのは土壌学部が学部として設置されている点である。

12日中央コンサートホールにおいて開会式が行われ正装3,000名が参加した。殆んど外国の研究者は婦人同伴であった。講演およびシンポジウムは12～20日にモスクワ大学で行われ、10:00～14:00と16:00～18:30休憩は2時間でホテルに帰ってゆっくり昼食がとれる様に配慮されている。なお日曜は休みであった。

閉会式（20日）終了後8コースのエクスカージョンが準備されており、それぞれタイガーボドソル、ステッパーチェルノジョムへと多数の人が参加した。

学会の部門 I : Soil physics (50), II : Soil Chemistry (51), III : Soil Biology (27), IV : Soil Fertility and plant nutrition (56), V : Genesis, Classification, Geography and Cartography of Soils (88), VI : Soil Technology (32), VII : Soil mineralogy (22) 計348題。

以上の他各部門および2部門共同でのシンポジウムがもたれた。I : World Soil map (18), II : Nitrogen in Soil formation and Agriculture (23), III : Systems of Soil-Protecting Farming and Soil Erosion Control (15), VI : Scientific and Technological Progress and Rational Utilization of Soil Resources (19), V : Changes in the Soil under the Impact of Reclamation (11), VI : Soil micromorphology (11) 計107題。

* 千葉県農業試験場

大会参加者は約3,000名、内訳はソビエト1,800名（ソ連の国内学会もかねて行われた）、外国人1,200名、日本人52名（発表者12名）であった。

一般講演は10分、討論5分、シンポジウムは30分、討論10分、英、独、仏、西、ロシア語で行われ、それぞれが同時通訳された。

講演会の雰囲気などに関しては、第1部門土壌物理でChairmanは確かW.A. Gardnerの時と思いますが、講演が終るとChairman自ら拍手々々と非常に和やかに行われ、国内の学会とは対照的であった。しかし、ディスカッションではかなり突っ込んだ強烈的な質問が多く活発な意見交換がなされたのが印象に残った。これらは部門および座長によって異なり、シンポジウムのWorld Soil mapのConvenerであるV.A. Kovda氏は時間切れでマイクをドンドン叩いて演者を降してしまったのには正直なところ驚きました。

講演は部門ごとにテーマがあり一概には言えないが、必ずしも純学問的なものばかりではなく、現場に近い技術的な問題も多数報告されていた。土壌の物理性に関する発表は非常に多く前述のように全体に占める割合も高く最も活気のある部門と思われた。この内容等に関しては別に農技研の岩田氏から詳しい報告がされると聞いておりますので、主なテーマと私が興味を持った点をお伝へ致します。土壌と水の関係（土壌水分）について動的・静的な観点から熱力学、統計力学の手法で解析が行われた。他の重点課題はアルカリ土壌・塩類土壌の成因と改良法、沼沢地における土地改良、土壌水分および空気の状態、土壌侵蝕のメカニズムと防止法などで、これらが重点的に論議された。不飽和状態での水の移動構造と空気、水の関係およびエロージョンに興味のある発表があった。特に日本は火山灰土壌も多く、多雨で傾斜地も多い割には、エロージョンに対する感心が我々技術者も農家も少ないのが現況と思われまふ。最近の傾向として都市化による農地の減少を考えますと、食糧確保および地力維持などの問題に対応するためにも、作土の維持（作物の生産には作土が一番重要と考えています）

を含めたエロージョン防止土壌保全に万全を期す必要があると改めて考えさせられました。

§ Soil Excursion : The East-European Plain—
Forest-Steppe and Steppe Zones

8月21~29日 Moscow-Tula-Orel-Kursk-Kharkov-Zaporozhye-Simferopol-Yalta モスクワからソ連の穀倉地帯であるウクライナを通りヤルタまでは直線で1,300kmある。バスで総走行距離2,250kmを走破したと言う感じで土壌、研究所などを見学した。

このコースのタイトルおよび目的は参加案内では確か

次のようであった。森林ステップ帯とステップ帯における成帯土壌の断面観察と題し、チェルノジョームなど成帯土壌の成因、肥沃度およびかんがい地と非かんがい地における農業的利用体系の違いを知ることが目的であった。前者は各種の土壌をみる機会も時間も充分ありほぼ満足できた。しかし、後者はその機会も走行中のバスでしか得られなく、乾燥地帯におけるかんがいの状況を現場でつぶさに見られなくて残念でした。

自然景観、土壌などの概略は表のとおりである。ポドソルはソ連科学アカデミーの都合でみることができな

自然景観・土壌などの概略

	気象条件	景観	土壌(土性) 粘土鉱物 母材	栽培作物など (日についた)	標高、地下水位、 湿潤程度、 土壌凍結深	pH(水)表土 CO ₂ 反応など	土壌の色、腐植層層、 乾湿
モスクワ 北緯56° 東径38° (カムチャッカ半島の中央部に相当)	冷帯気候 月平均気温 -10.3℃/1月 17.8℃/7月	タイガ 沼沢地多い	ポドソル	リンゴ、白樺、 ヒマワリ、バラ、 馬鈴薯、クレマチス、ライ麦			
ツウラ	(冷帯気候) 年平均気温 3.9℃ 降水量 520mm ≧ 蒸発量 520mm/年 ※湿度係数 ≒1.0	森林ステップ ハンノキ、 ポプラ	灰色森林土 (LiC) 主に2:1型 モンモリロナイト レス、レス様	人参、キャベツ 一河の沖積面 ライ麦、小麦 一帯地	オカ川河床より 100m、地下水位 7m、最大凍結深 120cm	pH 6.0前後 CO ₂ 反応 150cm以下	暗褐色、腐植層 10cm以下、 適湿
クルスク	乾燥気候 年平均気温 6~7℃ 降水量 550~600mm <蒸発量 湿度係数 0.8/年 同上 0.4/夏	ステップ 見渡す限り 平坦な耕地 エロージョンあり	チェルノジョーム 各種(LiC~ CL) 主に2:1型 モンモリロナイト レス、レス様	洋梨、ウクライナ メイプル、小麦、 カンナ、牧草、 ポプラ、ビート、 トウモロコシ、 スイカ	海拔180~200m、 地下水位20m位、 降雨による湿潤は 3m	pH 北一南 6.0~8.0 CO ₂ Ppt 100~50cm CaSO ₄ ppt	黒色~黒褐色 腐植層 100~30cm 干(表土ひび割れ)
クリミア半島のつけ根	乾燥気候 月平均気温 (-3~-4℃/冬 23~24℃/夏) 降水量 340~360mm <蒸発量 900mm	乾燥ステップ	ソロネエツ (LiC) ソロド(LiC) 栗色土(LiC) 1:1型 イライト レス・レス様	アカンヤ、耐干性、 短程イネ科、植物など	標高100m以下、 最大凍結深100cm、 降雨による湿潤は 100~150cm	pH 7.6~8.0 Mn-Fe核あり	褐色~栗色 腐植10~0cm 極干
ヤルタの山脈(ヤルタ) 北緯45° 東径34° (稚内の少し南に相当)	(乾燥気候) 月平均気温 (0.1℃/1月 26.4℃/8月 …(ヤルタ)) 降水量 550~900mm ≧ 蒸発量 550~1000mm	山岳林 ブナ ハンノキ	褐色森林土 内桂色土 1:1.2:1型 イライト、バ ンミキエライト、 長岩、石灰岩	殆んど樹園地、 糸杉、ブドウ多 い、黄桃、キョ ウチクドウ、乾 燥による萎凋目 立つ	海拔 750~800m	pH 7.3 CO ₂ 反応 100cm位 ↓ 肉桂色土	褐色~淡赤色 腐植5cm以下 干

※: IVANOV's coefficient of humidity

ったので、その他の代表的な2・3種の土壌について感じたことを書きます。

一灰色森林土一

タイガ(ポドソル)とステップ(チェルノジョーム)の中間に細長く分布する平地林下に発達した洗滌型の成帯土壌であり、日本の灰褐色土壌に対比される。B₁層が灰色(10YR 3.5/2)で構造の余り発達していない粘質の土壌で、これを微地形により凸地の乾燥型と凹地の湿潤型に分けている。

一チェルノジョーム一(ロシア語で黒い土)

溶脱型から塩類型まで6種のタイプがある。南に下るにしたがい腐植層およびCO₂反応(HClによる)の出現位置が浅くなるとともに土壌は塩類化する。

典型的なヴァージンステップの乾草重は6 ton/ha。1年で450kgの灰分と100kgのNが供給される肥沃な土壌である。断面形態は10cm位まで草の根の非常にきん密なバンド帯であり、以下70cm位まで根が密に入っ腐植層(10 YR 2/1~2/2, 8~10%)で土性はLiC~Clである。構造は腐植層で非常に発達しており団粒の70%は0.25~10 mmの区分で占められ、透水係数10⁻³のオーダーで透水性もよく、粘土鉱物の主体はモンモリロナイトであるために保肥力も高い。その構造から耕耘しやすくさらに上記の理化学性から非常に肥沃な土壌であると思われた。ちなみにこの地帯の耕地の作物収量は冬小麦3.3、大麦4.7、ビート14.2 ton/haとのことである。ビートの糖含量は北海道の1.5~2倍である。

腐植層と構造の発達には安定した気候が関与している。すなわち、春の雪どけによって草が一勢に生えこの状態が夏の乾燥期にも維持され、冬の低温で地上部も地下部も一度にバサッと枯死するために腐植層が一様にできる。また水分が充分ある時は低温であり、温度が高い夏は乾期のため微生物による腐植の極度な消耗も少なく、乾湿のくり返しによって構造が発達したと考えられる。さらに母材がレスで塩基含量も高く、その安定した気候条件とあいまって粘土鉱物が2:1型の膨潤性のモンモリロナイト、ハイドロマイカなどが生成しやすいためにより構造が発達したと思われる。腐植の大部分はCa型、CO₂反応は漸移層直下に認められ、この位置はほぼ降雨による湿潤の深さに一致する。

レス(黄土)は粒径0.01~0.05mmの区分が50%近くを占める黄褐色の無層理の上層を言い、通常2~3mの厚さで堆積している。触感土性はLiC~SiCLである。その成因は寒冷気候のもとで乾燥地域(周米期地域)に風積により生成したとされている。しかし、I. I. KARMA-NOHVによるとソビエットでは水成説もかなり有力と

のことである。

一栗色土一 一ソロネエツおよびグライソロチー

乾燥ステップにある動物保護区で半径1 km以内で上記土壌断面を観察した。特に栗色土とソロネエツは10m位の同一試坑断面内に3 m位の距離で隣り合せて存在するのには、いくら微地形によって異なるとはいえ驚きました。

栗色土は本当に栗実状の土塊一構造一をなしている。ソロネエツおよびグライソロチはともにpH 8位のアルカリ土壌であるが、前者の平板状構造と後者のNa-コロイドの乾湿による角柱構造は本で見ただけよりも非常に見事だった。

一肉桂色土および褐色森林土一

両土壌ともに本家のものを見る機会を得られただけで満足で、注意深く観察しないと日本の赤色土、赤黄色土および褐色森林土との対比は難しいと思われた。

上記土壌見学旅行に際して特に感じたこと。

1. 土壌断面は小さくても15名位が一度にゆっくり観察できる大きさで、深さは最低2 mはあり母材まで完全に観察できるように配慮されている。またデーターもその深さまで明示されている。

2. 試坑地点での説明およびガイドブックには断面の説明、化学性の他、必ず物理性、微生物フロア、気象条件が明記されている。

植生、気象条件：気温、地温、降水量、蒸発量、土層内の水分変化—水収支—

断面形態：一般的特徴・微細形態

粘土鉱物組成：

化学性：一般的性質、全分析、微量要素など、特に腐植の形態別組成と水溶性塩類の項、ちなみに腐植と塩類、アルカリの問題に重点が置れていた。

微生物：有機N—バクテリア、無機N—バクテリア、アクチミセス、フンギでマイクロフロア(個/g)を表している。

物理性：特に注意を引いたのは団粒組成と水分関係の項目が必ず入っていることであった。粒径組成、真比重、容積重、全孔隙%、最大吸湿度、シオレ含水量、最小容水量、飽和容水量(Total moisture Capacity, 以上全て対乾土)、透水性(mm/hr)

3. ベドロジー的には平坦な地形、安定した気象条件と分布状態(例えば2日走っても同じ土壌型の普通チェルノジョーム200~300km)を考えるとマクロ的な見方だけで充分な気がするが、微地形を重視した数m単位のミクロ的な立場もおおざなりにしていない点に感心した。

4. 当地域における農業上最も重要な問題は次の2点

につぎと説明、会話および土地利用の状況からうかがわれた。その一つは主に融雪によるエロージョン、他の一つは水の効果的な利用である。後者に関しては耕作の時期および方法などが研究され実用化されている。また構造の水分保持に対する重要性、水分恒数としての最大吸湿度、シオン含水量、毛管連絡切断含水量の意義、水分の運動、状態に関する懸垂水、薄膜状移動、蒸気による移動などの意義が本ではなく実感としておぼろげながら理解できたのは収穫であった。

§ 試験研究機関などについて

モスクワ大学土壌学部、チミリヤエフ農業大学附属ウィリアムス土壌博物館、ソ連邦科学アカデミーブシノ農芸アカデミー研究所（生物物理、生化学、数学、土壌学、農芸化学研究所からなり若いスタッフの多い新研究学園都市）、ウクライナ国立農試圃場、中央チェルノジョーム保護区および研究所、ウクライナ国立動物保護区および試験場、ニキータ州立植物園などを見学した。

それぞれの機関によってスタッフの多少、施設および機器の充実の程度は異なるが、次の点は共通している。

1. 必ず気象、植物、動物、土壌もしくは地質のスペシャリストが配置されている。独自に仕事は進められているが、相互の信頼関係は強く研究はスムーズに行われているようにうかがわれた。
2. 研究基盤である土壌、植物、動物を含めた全ての自然を保持する事に全力をつくしている。またその地域の気象、自然景観、モノリスが完備展示され、一般の人にも分かり易く解説されておりまた公開されているのが特徴であった。（公開についてはモスクワ大学は不明）
3. 女性の研究者が殆ど以上と非常に多いこと、研究補助者はほとんど女性である。
4. 農業関係の技術者、研究者は非常に誇りをもって仕事に当っており、日本では考えられない程実味で息の長い研究が多い。また一般社会もよく理解（これを高く評価して実際に）活用されている様子であった。

§ おわりに

モスクワ・ヤルタの21日間で感じたことをメモ形式で書せて頂きます。

モスクワは川、沼、森、公園がいたる所にあり、公害のない美人と緑の多い美しい町である。治安と物価は日本より安定している。

印象に残るもの、延々たるタイガ、ウクライナの地平

線に沈む夕陽、ヤースナヤポリヤーナの落ちついた白樺林の下に何の記念碑もなく花に埋れて静かに眠るトルストイ

驚いたこと チェルノジョーム保護区の管理状態のよいこと、土壌断面がコンクリートで保存されていることおよびその坑の大きさ 5m×3m×3m、日本ベドロジストの断面に対する執念

困ったこと 英語、ロシア語での食事での会話、水が飲めないので炭酸水で喉の渴きを癒すこと。

残念だったこと、農作業の実際およびかんがいの実態をこの目でみられなかったこと、講演に際しスライドが1～2枚でこれも小さいうえに鮮明でなく、さらに言葉の問題もあってほとんどその場では理解できなく国際学会の雰囲気しか味わえなかったこと。

考えさせられたこと、チェルノジョームの構造、腐植を破壊、消耗、塩類化を防ぎながらかんがいの効果があげられるか否か、振返って日本のように恵まれた条件下での土壌物理の研究方向と意義の検討（重粘地、排水の問題を除く）

良かったこと 念願の夢であった大草原に寝そべてスカイブルーの天空を心ゆくまで眺められたこと。チェルノジョーム・ソロドの断面に手を触れて観察したこと。ソビエト土壌学、特にベドロジー部門におけるドクチャエフ派およびロージェなどの土壌物理の研究のバックグラウンドおよびその一端をかいま視る事ができたことは幸せであった。また、A. A. ロージェ、ローズなどの土壌物理の著名な研究者と少ない時間ではあるが話す機会をもてたこと、日本の研究者とより一層親密になれたこと等、さらにソビエトの人々をはじめ諸外国の人が温く迎えてくれたことである。

酒と会話に明け暮れる毎日ではあったが、形は分らないが仕事と人生にプラスになる旅であったと思うのがいつもの心境である。

以上始めて国際学会に出席した印象を書せて頂きましたが、この拙文を読んで一人でも1977年東京で開催されるInternational Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agricultureに参加してみようと考えて下されば望外の幸せです。

最後に楽しい旅をとともに過させて頂き無事日本へつれ帰って下さった土壌物理研究会、日本ベドロジスト懇談会、土壌肥料学会の皆様へ感謝します。

書 評

「八幡敏雄著 土壌の物理」を読んで

木 下 彰*
Akira KISHITA

◇ 総評として——

「日本にも、やっと土壌物理の本格的な本が誕生したナ」という感じの本である。

日本における土壌物理の教本は、古くは、WOLLNYの本であり、近くはBAVERの本であった。これらを基にして日本の土壌物理は大きく飛躍して、日本の風土に合った独自の新しい道を歩もうとしている。新しい分野へ志向している現在の頂点に立って、この本は書かれている。

著者の研究体験を通して、きわめてわかり易く、深い内容をもった教本である。著者は「入門書」とっておられるが、決してそんなものでなく、理論的な事項をすべて入れてあり、それを理解しやすいように平易に述べている。土壌物理を専攻する人にはもちろんであるが、土壌学一般の方々にとくにすすめたい本である。

◇ この本の特長

この本の一番の特長は、土壌を機能の面から採り上げて、わかり易く書いていることである。従来の本の多くは、学説の羅列的記述であったが、この本はちがう。

たとえば、保水機能の章では、水をエネルギー論で統一して記述しているが、吸湿水から自由水までの保持を、熱力学的なエネルギー、化学ポテンシャル、毛管ポテンシャルなどで巧みに説明し、水のエネルギーの測り方や演算の仕方まで述べてある。

重ねて特長をいうと、土の機能の学理をわかり易く説明してあり、そのうえ量的表示までできるように計算の仕方まで書いてある。

いま一つの特長は、日本の風土に立脚して記述してあることで、引用した文献はほとんどが日本のものであり、しかも最新のものであることである。

◇ 内容

8章に分れている。章の区切りが従来にない形であるが、新奇をてらったものでなく、前にも述べたように、土の働き（機能）によって分けて、全編を一貫した流れで書いてある。内容はつぎのとおりである。

1章序論／2章物体収容機能構造について／3章吸着

機能—固相の表面積、吸着について／3章保水機能—固相表面に保持されている水のエネルギー、間ゲキに由来する保水、水のエネルギーの測り方など／5章通気・通水機能—浸透、不飽和状態での水、水蒸気の動き、ガス拡散／6章熱の伝達機能—熱伝導の式、熱収支、測り方／7章滲過機能—滲過のメカニズム、他／8章形体変化機能—乾湿、温度低下、外力による形体変化／索引。なお、章毎に文献の記載がある。頁数は181ページ。

◇ 発行所

(〒113) 東京都文京区本郷 東大構内
財団法人 東京大学出版会
(振替 東京59964)
価格 1,800円

土 壌 物 理 用 語 事 典

長野間 宏*

Hiroshi NAGANOMA

土壌物理用語事典は、土壌物理研究会の15周年記念事業として、昭和47年秋から編集にかかられたものである。当時、会計幹事をしていたのでふりかえってみると、物価上昇が激しく、研究会費を値上げしても、2年間しか持ちこたえられないような状況であって、編集委員の方への旅費も、本当の実費しか払えなかった。このような中で本書を立派に完成されたかげには土壌物理研究会とともに歩んできた日本の土壌物理学の発展と底辺の拡大をさらに願う気持ちがあったからだと思う。また、外くの学会で用語の統一の仕事が進められており、この面からも時機を得ていたと思われる。

この事典の見出し語は、265語であり、これに関連語がついて、和文、英文索引がぼう頭についている。土壌物理と関連の深い土壌肥料、農業土木、農業機械、作物栽培などの諸分野の用語のうちからも関連する用語を選んである。水、空気、温熱、力学性などの基礎的項目の他に、土壌を理解するための土壌一般の項、また、土壌物理的な現象が大きな位置を占めている応用面、たとえば耕起などの機械作業、灌排水、土層改良などについても記述してあり、巾広く利用できる。関連分野の簡単な用語集としても役立つと思える。また、まえがきに「用語の解説は簡潔な説明を加えて理解し易くした。」とあるように、図と具体的な事例を示す表が多く、理解を一層助ける。データ集が付いていることが、本事典の新しい試みであるのだが、紙数の制限があつてか、多分当初のねらいより縮小されているのではないかと思われる。データ集は、全国の代表的土壌と地域特殊土壌の

* 農林省東北農業試験場

* 農林省農業試験場

性格を知るためということで、主に、容積重、三相分布、透水係数、有効保水量、アッタベルグ限界について掲載されている。各種土壌の水分特性（吸引圧—水分曲線）、代表的水田地帯、畑地帯での用水量など、今後改訂の機会に各分野の研究者の要望を取り入れてさらに充実して欲しいと思う。

見出し語について、各項目別の比率をみると、土壌一般に続いて、土壌水、土壌構造、力学性が、それぞれ10%を越えている。土壌水の項では、最大容水量という用語がなく、作物関係者の利用ということも考えると、飽和容水量の関連語としてでも加えるべきであったと考える。また、土壌水のエネルギー状態の表現としては、化学ポテンシャルに統一され、さらにその中で各成分につ

いて記述してある。pFについては、有益ではあるが、国際的には廃語になっていると述べてある。しかし、pFという表現は、pF—水分曲線という形でも使われているので、pFという表現を使う際の留意点について明らかにして欲しかった。

最後に、これは懲りなこともかもしれないが、重要な見出し語について、総説的な文献の紹介が、巻末にあった方がよかったと思う。

◇ 発行所

(〒113) 東京都文京区本郷五丁目30番15号

株式会社 義賢堂

(振替 東京25700) 価格 1,600円

土 粒 子

土壌の生化学的活性におよぼす環境要因の中で物理的な要因も大きな影響をもっている。土壌の微生物構成が土壌の物理的要因によっても大きく影響を受ける事は今さら多言を要さないが、土壌におけるブドウ糖の代謝ひとつを例にとっても土壌中の微生物構成や酸素の有無によって異なった消長をたどる。嫌気的な環境では解糖系によって代謝されて有機酸やアルコール類または炭化水素系化合物などに変換するが、好気的な環境では五炭糖リン酸経路やTCサイクルも働いて炭酸ガスと水に変換する。どのような経路をとるにしても土壌微生物はこのような化学反応から自由エネルギーを引き出して、それをATPのような高エネルギーリン酸結合の形で一時的に貯蔵しながら利用する。ブドウ糖1グラム分子が無酸素的に代謝されてエタノールまたは乳酸に変化するとき放出される自由エネルギーは約58,000カロリーで、その際には差引2グラム分子のATPが生成するので、細胞によって利用されるエネルギーは24,000カロリーと

いうことになる。グルコース1グラム分子が呼吸によって完全酸化して炭酸ガスと水に変化する時の自由エネルギーの減少は約690,000カロリーである。この過程で生成するATPの数は約38前後なので456,000前後のカロリーが細胞によって利用可能なエネルギーに転化したわけで、その差引されたカロリーは細胞の系外に流れ出たはづである。このようなエネルギーが土壌の温度にどの程度寄与しているかは不明であるが、堆肥などの発酵熱には相当に寄与しているかも知れない。

土壌のような不均一な系においては、その生化学的活性に影響する物理的要因はミクロンオーダーの微視的な環境の状態が実際に効いているのであろう。このような微小環境の温度、水分、pH、気体組成および物質やエネルギーの拡散速度などに関するデータや法則性に関する情報は、土壌の生物活性を研究する分野にとっても重要な知見となるであろう。

(農技研・土壌微生物研・早野恒一)

会 務 報 告

(昭和49年10月1日～昭和50年5月31日)

第16回シンポジウム運営委員会

49.10.30, 於 農技研

昭和49年4月4日の評議員会(東京農大開催)において、第16回シンポジウムは農技研で11月21日に開催することが決定された。農技研に在京運営委員会が組織され、下記のメンバーで、運営方法と事務分担などが検討された。

〔運営委員〕寺沢四郎, 岩田進午, 陽捷行(以上農技研), 根本清一(農事試), 中野政詩(東大農)

〔議題〕

1. 新評議員会(11月21日)開催について。(農技研来賓室)
2. シンポジウム(11月22日)と総会の会場準備について。(農技研講堂)
3. 機械器具展示開催について。(農技研中会議室)
4. 懇親会(農技研食堂)について。

第16回研究討論会

主題: 農林地の水収支

日時: 昭和49年11月22日(金) 9:30~17:30

場所: 農業技術研究所講堂

講演:

- | | |
|----------------------|------------|
| 林地の水収支 | 有光一登(林試) |
| 草地の水収支 | 梅田安治(北大農) |
| 水田の水収支 | 丸山利輔(京大農) |
| 樹園地の水収支 | |
| 1)地形改造を実施した大規模ホ場の水収支 | 長谷嘉臣(果樹試) |
| 2)有効土層の差異と水収支 | 小畑 仁(三重大農) |
| | 関谷宏三(果樹試) |
| 砂丘地のかんがいと水収支 | 矢野友久(鳥取大農) |
| 座長 | 湯村義男(野菜試) |
| | 中野政詩(東大農) |

総合討論

総会報告

第16回シンポジウムの途中(11:30~12:30)に、総会(議長, 粕淵辰昭)が開かれ、経過報告, 会計報告, 次期新役員紹介などがおこなわれ、48年度決算, 49年度予算案が下記の通り承認された。

会 計 報 告

48年度 決算(48.7.6~49.10.31)

		項 目	決 算 額	予 算 額
取	繰 起 金		482,387	482,387
	賛 助 会 費		120,000	80,000
	購 読 会 費		78,100	64,000
	一 般 会 費		1,092,400	1,534,000
	廣 告 料		—	80,000
入	出 版 物 売 上		34,000	40,000
	雑 収		98,095	50,000
	計		1,904,982	2,340,387
支	会 誌 製 作 費		1,258,600	1,610,000
	討 論 会 総 会 費		106,043	200,000
	通 信 費		49,387	85,000
	文 具 費		47,884	32,000
	賃 金		29,820	30,000
	交 通 費		7,300	100,000
	会 議 費		13,002	30,000
	役 員 手 当		8,000	120,000
	編 集 委 員 会		—	100,000
	15周年記念出版委員会		—	20,000
出	予 備 費		—	13,387
	次 年 度 繰 越 金		384,946	
	計		1,904,982	2,340,387

予 算 案

49年度 予算案(49.11.1~50.10.31)

		項 目	金 額			項 目	金 額
取	繰 越 金	384,946		会誌製作費	1,200,000		
	賛 助 会 費	80,000		総 会 費	150,000		
	購 読 会 費	60,000		支 通 信 費	250,000		
	一 般 会 費	886,000		文 具 費	30,000		
	過 年 度 未 収 会 費	600,000		賃 金	50,000		
入	廣 告 料	18,000		交 通 費	150,000		
	出 版 物 売 上	50,000		会 議 費	30,000		
	雑 収	50,000		役 員 手 当	120,000		
	計	2,128,946		出 編 集 委 員 会 手 当	100,000		
				予 備 費	48,946		
			計	2,128,946			

昭和49年度注)より本会の事務局は茨城大学農学部に移転し、昭和50年1月29日に新旧事務引継ぎを行なった。

注)現在、会計年度が6ヵ月遅れており、昭和50年10月までは「49年度」となります。

第1回事務局会議 (50.1.29, 於 茨城大学)

〔出席者〕 (旧) 吉野, 竹内, 寺沢 (旧・新)
(新) 須藤, 安富, 軽部, 塩, 陽

〔議 題〕

1. 事務局の構成および事務引継
2. 編集委員会の構成
3. 会計監査委員の構成
4. 会誌, シンポジウムについて

○会長委嘱評議員 (3名)

増島 博 (農事試)
中川昭一郎 (農士試)
田原 虎次 (農工大)

○事務局構成

会長 須藤 清次 (茨大農)
副会長 寺沢 四郎 (農技研)
庶務幹事 軽部重太郎 (茨大農)
会計幹事 塩 光輝 (茨大農)
編集幹事 堤 聡 (東大農)
編集幹事 陽 捷行 (農技研)

○編集委員会

委員長 安富 六郎 (茨大農・農工)
委員 雨宮 悠 (東大農・農工)
土井 淳多 (東大農・農械)
江崎 要 (農士試・農工)
粕淵 辰昭 (農技研・土壤)
根本 清一 (農事試・土壤)

○会計監査委員

小松鋭太郎 (茨園試)
中野 政詩 (東大農)

第1回編集委員会 50.2.12 於 農技研

〔出席者〕 須藤, 寺沢, 安富, 根本, 江崎, 雨宮, 粕淵, 陽, 堤

〔議 題〕

1. 第17回シンポジウムのテーマの検討
2. 会誌第31号の編集方針について

第2回事務局会議 50.4.11 於 農技研

〔出席者〕 須藤, 寺沢, 安富, 陽

〔議 題〕

1. 第17回シンポジウムについて (原案作成)

第1回評議員会 50.5.16 於 東大農学部

〔出席者〕 岩田, 須藤, 竹中, 寺沢, 前田, 増島, 八幡
各評議員, 安富, 根本各編集委員, 堤, 軽部, 塩, 陽各幹事

〔議 題〕

1. 経過報告 (事務局庶務・会計)
2. 編集委員会報告および討論
 - (1) 「土壌の物理性」No. 31, 32 の編集方針について
 - (2) 投稿規定の一部変更について, 報文に英文 summary をつけることが了承された。
 - (3) 裏表紙に英文でタイトル, ページをつけることが了承された。その場合, 会の名前は総会で承認されるまで「土壌物理研究会」の直訳として, 「Research Association of Soil Physics, Japan」 と記入することになった。
 - (4) 新入会員, 会員の移動は会誌に載せるが, 退会者は載せないことが了承された。賛助会員の広告料についても話し合われた。
3. 第17回シンポジウムについて
事務局からテーマと日時が提案された。報告者の選び方について討論され, 提案は大方承認された。なお報告者公募の提案も出されたが, これは懸案事項となった。テーマと日時は次のように決定した。
仮 題「土壌物理からみた環境汚染」
開催日 昭和50年11月14日 (金) 9:00~17:00
場 所: 東大農学部 (または農技研)
4. その他
カナダの B. P. Warkentin が近く来日するので講演会を開きたい。その際, 主催者として本会の名前を使わせて欲しいとの提案が, 前田評議員から出された。本会会則第3条の3に適合するというので承認された。

第3回事務局会議 50.5.31 於 農技研

〔出席者〕 須藤, 寺沢, 安富, 粕淵, 陽

〔議 題〕

1. 第17回シンポジウムの具体化について
開催日は, 国際環境保全科学会議 (H E S C) の開催日程と重なるので, 11月21日を11月14日に変更する。

〔新入会員〕

49.	10月	高橋 義明 (農技研)	〒114	東京都北区西ヶ原 2-1-7
	"	長谷 嘉臣 (果樹試安芸津支場)	〒729-24	広島県豊田郡安芸津町三洲352-1
	11月	阿部 和雄 (農技研化学土壌3科)	〒114	東京都北区西ヶ原 2-1-7
	"	有光 颯 (林試経営部経営研)	〒153	東京都目黒区下目黒 5-37-21
	"	雨宮 悠 (東大農学部)	〒113	東京都文京区弥生 1-1-1
	"	高木 東 (東大農院生)	〒113	"
	"	植田 勉 (")	〒113	"
	"	五島 康 (野菜試)	〒470-23	愛知県知多郡武豊町大字南中根45
	"	伊藤 一幸 (")	〒470-23	"
	"	角具 政栄 (静岡農試)	〒437-14	静岡県小笠郡大東町大阪2993
50.	2月	諸遊 英行 (農事試)	〒365	埼玉県鴻巣市字鴻巣1227
	"	宮城県農業短大図書館	〒982	仙台市山田字旗立 1の16
	"	埼玉県農業試験場 (作物部)	〒360	埼玉県熊谷市久保島1372
	3月	塩 光輝 (茨大農学部)	〒300-03	稲敷郡阿見町中郷
	5月	逸見 彰男 (愛媛大農学部)	〒790	松山市樽味三丁目 5-7
	"	熊本農試化学第1部	〒861-41	熊本市上の郷町字林501

〔住所変更〕

及川 慶一	〒980	仙台市桜ヶ丘 6丁目16-8
木下 彰	〒020-01	盛岡市下厨川赤平四 (東北農試)
吉田 勲	〒840	佐賀市床庄町佐賀大学農学部農業土木学科
美園 繁	〒833	筑後市和泉496 九州農試西宿舎
今井 富蔵	〒191	東京都日野市南平1860-46
国分 欣一	〒765	香川県善通寺市仙遊町 (四国農試)

原稿執筆規定

- 1) 文体 平かな漢字混じりの横書き口語文として、できるだけわかりやすい表現にする。
- 2) 術語以外はなるべく当用漢字を用い、かなは現代かなづかいとする。
- 3) 句読点、括弧、ハイフンには1画を与える。数字・ローマ字は1画に2字を充てる。
- 4) 数字 アラビア数字を用い、漢数字は普通の字句についてのみ用いる。
- 5) 外国人名は欧字とする。最初の文字のみ大文字とする。
- 6) 外国地名はカタカナを原則とするが、必要に応じて欧字を用いる。
- 7) 字体の指定は、ゴシック、イタリック——のように鉛筆で下線を書く。紛らわしい文字は誤植防止のための指示を鉛筆で記入する。(例: l —エル, 1—イチ, I—アイなど)
- 8) 術語 原則として文部省編: 学術用語集による。普通に用いられる外国語の術語、物質名などはカタカナで書く。
- 9) 略字、略号を使うときは、はじめにそれが出る個所で正式の名称とともに記す。例: 液性限界 (LL)
- 10) 数量の単位は原則としてCGS制を用いる。
- 11) 表・図・写真などは必要最小限とし、同一事項を表と図に重複して示すことは避ける。
- 12) 表・図・写真は本文のあとに1枚ごとに原稿用紙あるいはこれとほぼ同大の別紙に書き、またははり付ける。1枚ごとに著者および表題を鉛筆で略記して事故の発生を避ける。本文中欄外に挿入位置を指定し空白はあけない。ただし指定の位置にはならないことがある。
- 13) 空欄の多い表は避け、注を使うなどして紙面の節約をはかる。
- 14) 図は上質白紙または淡青色方眼紙に黒インキで明確に書く。トレースに適しない図は書き直しを要求することがある。図中の文字は鉛筆でうすく記入することにとどめる。
- 15) 図は刷り上がりの大きさを指定し、1.5~2倍長ぐらい大きく書く。ただし必ずしも指定の大きさにならないことがある。図中の字の大きさおよび線の太さは刷り上がりを考慮して定める。
- 16) 表の番号は「表一」のようにし、説明とともに表の上に記入する。
- 17) 地図には定尺をつけ、何万分の1などの縮尺を指定しない。
- 18) 文献は本文のあとにまとめて通し番号順に書く。通し番号は引用の順序または著者名のABC順とする。本文の引用個所の右肩に番号を片括弧で小さく入れる。判文名は記載しない。

— 編集後記 —

今年の1月から研究会の事務は茨城大学農学部に移りました。編集の事務関係は主に農技研の陽(みなみ)さん、東大の堤さんと茨大の私がやることになりました。皆、はじめての仕事なと、今年から編集スタイルがやや変わったなどで、事務も予定通り進まず、出版時期がおくれてしまいました。

いままでと変わったのは、「巻頭言」から「土粒子」まで項目別に表紙に印刷したこと、Soil physics and plant growth など英語文字はすべて裏表紙にまわり、各タイトルの英訳が付いたことです。内容的にも一段と充実を期すよう、報文など、2人以上の閲読する体制にしました。

報文には英文要旨も加わって、今後国際的な役割りを果たす雑誌になると思っています。一方かたぐるしくない雑誌にするよう心がけていますので、原稿も読者から広く、気がるに、おもしろいものを期待しています。また編集への助言はぜひお寄せ下さい。編集委員一同、よりよい雑誌に行きたいと願っています。皆様のご健闘をお祈りします。

(安富六郎)

— 土壤物理研究会 —

事務局構成	会長 須藤 清次
	副会長 寺沢 四郎
庶務幹事	縣部重太郎 会計幹事 塩 光輝 編集幹事 堤 聡、陽 捷行
編集委員	安富六郎(委員長)、雨宮 悠、土井淳多、江崎 要、粕淵辰昭、根本清一

土壤の物理性 第31号(会員配布) 1975年5月31日発行

発行 土壤物理研究会(〒300-03) 茨城県稲敷郡阿見町 茨城大学農学部 農業工学科内

電話 02988-7-1261 振替口座 東京5-17794、銀行口座 常陽銀行阿見支店 口座番号 501399

Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan

No. 31

May 1975

Contents

Foreword.....	S. SUDO.....	1
Explanation	An Introduction to the Cadmium Pollution of Soil	K. IIMURA..... 2
	Rheological Properties of Paddy Soil	F. FUJIO..... 9
Originals	The Influence of Soil Compression in Determination of pF-moisture Curves by the Centrifuging Method	J. KARUBE.....14
	The Change of the Suction of Capillary Water	K. KOGA.....21
Notes	Soil Moisture and Structure in the Paddy Field Utilized in Dry Condition	H. TAKENAKA.....24
	Soil Reclamation and the System of Irrigation and Drainage in the Area of Heavy Clayey Paddy Field.....	H. NEGISHI.....29
	Impression of the 10th International Congress of Soil Science.....	H. WATANABE.....34
Recent books		38
Reader's Column		39
Announcement		40

Research Association of Soil Physics, Japan
c/o Faculty of Agriculture, Ibaraki University
Ami-machi, Ibaraki-ken. 300-03 Japan
President Seiji Sudo