

土壌の物理性

第 33 号

昭和51年 4 月

巻 頭 言	中 川 昭一郎	1
シンポジウム 「土壌物理からみた環境汚染」		
環境における物質循環と土壌	半 谷 高 久	2
家畜生ふんの多量施用と土壌の理化学性の変化	松崎敏英・香川義男・上原喜四郎	3
排水の土壌への循環	有 水 彊	11
水田肥料の流出 ——NとPの水田への流入と流出——	田 淵 俊 雄	16
カドミウム汚染圃場の整備と土地改良	館 川 洋	21
質疑応答と総合討論		27
報文 Calculation of Interparticle Attraction for Clay Soils from Water Retention Curves	B. P. WARKENTIN	31
相模川流域の水田・畑地の深い土層の物理性	寺 沢 四 郎	35
資料 土壌の通気性測定の評価	安 田 環	43
ワーケンチン教授滞日中の随行印象記	前 田 隆	49
土粒子	根 本 清 一	52
書 評	中 村 忠 春	53
会務報告		54

土壌物理研究会会則

- 第1条 本会は土壌物理研究会 (Association of soil Physics, Japan) 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。超過ページならび写真、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。報文のみ初稿りは著者校正とし、印刷ずみの原稿は返さない。

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

- 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

茨城県稲敷郡阿見町 (〒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

農村地域における物質循環と土壌物理

中 川 昭 一 郎*

Shoichiro NAKAGAWA

国土庁地方振興局では、昨年5月以来、農村整備問題懇談会を設け、関連分野の学識経験者によって、農村整備の基本方向の検討を行ってきた（小生も委員の一人として参加した）が、近く公表されるその中間報告によれば、今後の農村整備の目標を大要次の3つに整理している。

- ① 食料安定供給生産基地としての農村
- ② 管理された自然としての農村
- ③ 豊かな定住空間としての農村

近年、都市における産業活動の急速な活発化と急激な人口集中によって、そこから排出される産業・生活廃棄物の量は膨大なものとなり、都市内部での処理が困難となったために、その処理の場を農地・林地を主体とする農村地域に期待する風潮が強まっている。しかし、都市と農村を結ぶ物質のリサイクルシステムがまだ模索段階にある現在、毎日排出される莫大な都市廃棄物の全てを農村地域で分解・利用・処理するには多くの困難がある。

一方、前記のような今後の農村整備における3つの目標の何れの場合を考えても、都市に比べてその量、質に大きな違いはあるが、農林業を中心とする産業活動、農村住民の生活活動などに伴う廃棄物など、農村地域内部における物質循環も一層活発化するであろう。

このように考えてくると、農地・林地などの持つ物質の分解・浄化機能に対しては、都市からのみでなく、農村内部自体においてもますます期待されることになり、都市への対応は当面置くとしても、せめて農村地域内部での物質のリサイクルシステムだけは、早急に確立しなければならない。

農村地域における主な廃棄物は、米作におけるワラ・モミガラ、畑作における不良生産物、畜産における家畜糞尿、農産物加工処理場からの廃棄物、或は農村集落からの生活排水などであり、都市廃棄物に比べれば、そのほとんどが有機質であって、面積当りの量的限度を超えず、またその施用・処理の方法が工夫されれば、農地・林地等への還元利用が可能な場合が多い。そして、農地・林地等での物質循環において、最も重要な媒体が水であり、物質の保留・分解・利用の場が土壌であることはいうまでもない。

従来土壌物理学は、作物生産の立場から、主として土壌と水とのかかわりを中心に発達してきた。しかし今後は、上述のような物質循環における土壌の役割という観点からその物理性を究明することが必要であり、なかでも、かつて盛んに行われたことのある、有機質施用と土壌物理性との関係に関する研究を、新たな視点から復興すべき時に来ているのではなからうか。

* 農林省農業土木試験場

環境における物質循環と土壌

半 谷 高 久*

Soil and Material Cycle in the Environment

Takahisa HANYA

Department of Chemistry, Tokyo Metropolitan University

生産志向型科学と環境志向型科学

自然科学は価値観を含まない認識体系とみるのが常識であろうが、従来の自然科学が、環境問題の解決の技術の基礎としての役割を十分果たせないことから、私は自然科学の体系も価値観を含むものではないかと考えるようになった。従来の自然科学は生産志向型認識体系といってもよいのではあるまいか？ したがって、従来の自然科学の研究方法を金科玉条として研究をすすめることによって、環境問題解決の基礎を拡大しようとするのは本質的に無理のように思われる。環境志向型科学の体系を築くことこそわれわれに課せられた大きな課題であろう。

土壌研究の角度

私は土壌を研究の対象としたことはないが、敢て直観から暴論を吐かしていただけるなら、私は土壌学は明らかに生産志向型科学であると判断する。土壌の生産力を増大させる種々の技術の根底を体系化した認識が従来の土壌学であろう。しかし、物質循環の観点からみれば、土壌は生産の媒体であるのみならず、われわれの生命の維持に直接問題する重要な環境である。したがって環境志向型の新しい土壌学が誕生してもよいのではあるまいか？

廃棄物の蓄積場としての土壌

土壌は、そこに生育する植物体の資源供給系としては従来からも十分認識されている。しかし、土壌は、同時

に、植物体の排泄物の蓄積場でもあり、また人間が植物体に敢て資源として供給したもののうち、資源として植物にとりこまれなかったもの、すなわち廃棄物の蓄積場でもある。これらの廃棄物は、土壌の生産力を阻害すると同時に、土壌以外の環境を汚染する原因をつくる。

また土壌は、その物理的・化学的性質によって、環境汚染全般の物質の蓄積場となる運命をもつ。大気汚染物質は dry fall out, rain out によって、また他の地域の土壌汚染物も地下水を通じ、別の地域の汚染物となる。それからさらに重要なことは、種々の人間活動によって生成する廃棄物は、究極的には固形廃棄物として地球表面に棄てられ、土壌（厳密な定義ではないが）となることである。空気汚染物も、水汚染物も、それを除去するという操作は、本質的にはそれらの汚染物を固形廃棄物に転化することにはかならない。われわれは、現在毎日毎日多量の物質を地表に蓄積していついていこうと考えることができる。それらの物質がわれわれの生存を脅かすことがないようにするためには、それらを地表に棄てる技術を開発すると同時に、棄てられたあと土壌のはたらきで、それらが無害化する過程をスムーズに行なわせることが重要であろう。

人為的廃棄物処理と自然浄化作用の接点としての土壌の役割

人間はすべての廃棄物を人間の手ですべて処理することは原理的に不可能である。地球環境全体として廃棄物が蓄積してゆかないためには、土壌を通じて、人為的処理と自然的処理とが結びあわせられねばならないであろう。

土壌の役割を再認識した土壌学的发展を望んでやまない。

* 東京都立大学理学部

シンポジウム

家畜生ふんの多量施用と土壤の理学性の変化

松崎敏英*・香川義男**・上原喜四郎***

Studies on the Physical Changes of Soil by
Application of Large Amounts of Animal Wastes

Toshihide MATSUZAKI, Yoshio KAGAWA, Kishiro UEHARA

* Agricultural Research Institute of Kanagawa Prefecture

** Kanagawa Prefectural zootechnical Experiment Station

*** College of Agriculture and Veterinary Medicine, Nihon University

緒 言

近年、農耕地とりわけ畑地の地力低下が問題となり、地力の維持向上を目的とした有機物の確保や堆肥化及び施用効果の解析などが、各方面で行われるようになった。

従来、わが国の農耕地には、1作10a当り約1~1.5tの堆きゅう肥が施用されることが一般的であった。そして、この程度の施用量では、土壤の理化学性に及ぼす影響はほとんど認められないとする調査結果が多い。

しかしながら、機械依存型の農業経営が普遍化するにしがたが、農用家畜は急激に減少し、加えて農業労働力の都市への流出は、堆きゅう肥生産量の激減を招いている。

一方、畜産経営では、多頭羽飼育が定着し、ますます大型化の傾向が見られる。その結果、多量に排泄されるふん尿の処理と利用が大きな問題となり、その対策が急がれている。

わが国の家畜から排泄されるふんは、年間約4,700万tにおよび、この量は人間のそれのほぼ12倍量に相当する膨大な量である(第1表)。家畜ふん尿といえども、し尿や下水と同様に、浄化処理することは可能である。しかし、そのための施設費とランニングコストは、畜産経営にとっては、大きな負担になっており、処理と利用が適正でないため、しばしば水質汚濁や悪臭などの公害の原因になっている。

このような有機質資源の偏在を解消し、あわせて、環境の浄化と地力維持を図るため、ふん尿の農地還元には想像を絶する努力が払われている。しかし、現実には単なるふん尿の処理のみを目的とした農地に対するふん尿の多量還元が行われていることが多い。このためふんの多量施用による土壤の理化学性、とりわけ理学性の変化

第1表 人畜のふん尿排泄量 (t/年)

種 類	人口および飼養頭羽数	排 泄 量	
		ふ ん	尿
牛 { 乳牛 肉牛	1,819,000	32,558,000	13,020,000
	1,749,000		
豚	6,985,000	7,648,575	7,648,575
鶏 { 産卵鶏 ブロイラー	164,034千	6,544,195	—
	15,295千		
家 畜 計		46,750,195	20,668,575
人	107,790,000	3,942,000	43,362,000

(注) 1. 家畜頭羽数は47年2月現在
2. 人口は48年2月現在

第2表 供試土壤の理化学性

全炭素 %	全窒素 %	炭素率 %	pH		塩基置換容量 (me)	置換性塩基 (me)				置換性全塩基 (me)	塩基飽和度 (%)	りん酸吸収係数 (mg)	トルオーグリン酸	土性	最大容水量	容積重
			H ₂ O	KCl		CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O							
7.50	0.45	16.67	6.30	5.27	39.92	17.55	34.7	0.38	0.23	21.70	5.44	2,480	Trace	F. S. L	92.38	77.3

* 神奈川県農業総合研究所

** 神奈川県畜産試験場

*** 日本大学農獣医学部

に及ぼす影響に焦点をあわせて調査研究を行った。

材料および方法

1. 供試土壌

本試験は畑地に対し、家畜生ふんを一時に多量施用する、いわゆる一時多量施用と毎作連続して生ふんを施用する、連続多量施用試験を行っている土壌について検討した。前者は神奈川県農業総合研究所において、また後者は同県畜産試験場において試験中のものである。

1) 一時多量施用試験 供試土壌は鎌倉市関谷の腐植に頗る富む火山灰土壌の末耕土である。土壌の一般的性質を第2表に示した。

試験はa/629の大型土管で実施中である。試験構成は牛ふん、豚ふん、鶏ふんの各々を10a当り換算で、25, 50, 100, 200tを施用する12の処理。牛ふんの50tおよび100tが含有する有機物相当量を豚ふん及び鶏ふんで施用した4処理。牛ふんが含有する窒素、りん酸、カリ、石灰、苦土を牛ふん施用量に応じて化学肥料で施用する4処理の計20区である。

供試した生ふんは、いずれも排泄直後の新鮮物であり、

第3表 供試ふんの分析成績 (対乾物%)

項目 種類	灰分	有機物	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
牛ふん	31.01	68.99	2.06	7.80	0.89	3.95	1.67
豚ふん	27.24	72.76	4.23	8.72	0.89	8.29	1.11
鶏ふん	27.31	72.69	4.57	8.56	2.30	10.90	1.57

分析成績は第3表に示すとおりである。なお、供試生ふんの性状はつぎのとおりである。

- 牛ふん：ふん尿分離がほぼ完全に行われている牛舎で、配合飼料(含ビール粕)および飼料作物を給餌した乳牛ふん。わらの混入は少ない。
- 豚ふん：ふん尿分離がほぼ完全に行われている豚舎で、配合飼料を給餌した飼育豚ふん。
- 鶏ふん：比較的通風が良好なバタリー式鶏舎のコンクリート盤上に排泄されたふん。

生ふんは、水分を80%に換算

して施用した。生ふん及び化学肥料とも土壌処理ははじめだけで、その後は残効を調査した。

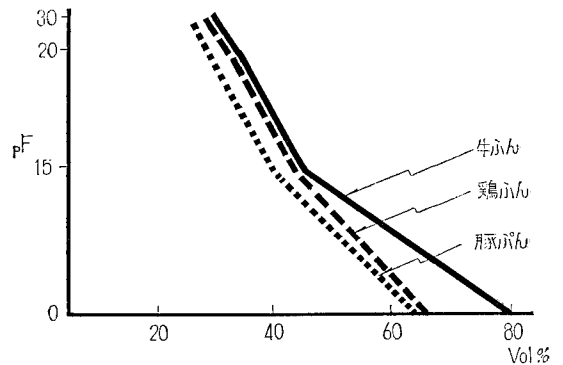
試験規模は内径45cm、深さ66cmの無底土管(629分のa)の3回反復とした。

供試作物はハウレンソウとコマツナである。

分析用土壌は毎年1回、深さ0~15cmの土壌を数ヶ所採取した。土壌分析は、風乾後2mmのふるいを通した風乾細土について実施した。

2) 連続多量施用試験 海老名市本郷の県畜産試験場内の腐植質火山灰土壌でのほ場試験である。

試験構成は牛ふんを10a当り毎作、10, 20, 40tを施用する3試験区と牛ふんは施用せず標準量の化学肥料のみを施用する対照区の4区で実施中である。



第1図 ふんの多量施用1年後の pF 水分曲線

第4表 ふんの多量施用と土壌の全炭素、全窒素含量の変化

項目 年次 処理	全窒素(%)			全炭素(%)			炭素率		
	44	47	50	44	47	50	44	47	50
標準区	0.47	0.46	0.39	7.85	7.19	7.00	16.67	15.80	17.70
牛ふん 25t区	0.47	0.44	0.42	7.23	6.27	6.48	15.41	14.28	15.61
50 "	0.56	0.46	0.46	7.57	6.70	6.55	13.62	14.57	14.33
100 "	0.58	0.51	0.46	8.06	7.06	6.75	13.87	13.82	14.84
200 "	0.66	0.55	0.51	9.03	8.42	7.10	13.79	15.45	13.87
豚ふん 25t区	0.46	0.46	0.43	7.14	6.86	6.17	15.39	15.04	14.35
50 "	0.57	0.48	0.43	7.45	7.40	6.65	13.05	15.35	15.65
100 "	0.67	0.54	0.46	8.45	6.97	6.07	12.54	12.84	13.31
200 "	0.71	0.66	0.47	9.09	8.32	6.39	13.38	12.63	13.54
鶏ふん 25t区	0.52	0.46	0.44	7.21	6.97	6.30	14.37	15.02	14.38
50 "	0.59	0.53	0.42	7.73	6.95	6.18	12.75	13.16	14.86
100 "	0.61	0.51	0.44	7.74	6.92	5.72	12.42	15.54	12.91
200 "	0.75	0.69	0.52	8.96	8.27	6.74	12.90	11.97	13.01

(注) 昭和44年8月ふん施用, 44年11月第1回土壌採取

第5表 ふんの多量施用と風乾土水分、容積重、最大容水量の変化

項目 年次	風乾土水分(%)			容 積 重			最大容水量		
	44	47	50	44	47	50	44	47	50
標 準 区	8.3	6.9	10.8	66.6	76.0	75.0	97.2	87.0	97.7
牛ふん 25 t 区	8.5	6.7	9.9	66.8	79.3	73.8	102.8	84.5	100.5
50 "	8.3	7.0	10.4	63.4	75.7	76.3	107.7	95.1	100.4
100 "	8.3	7.1	9.5	61.1	72.3	69.1	119.3	100.3	101.4
200 "	7.5	7.3	10.2	50.2	65.5	66.5	154.1	116.7	109.0
豚ふん 25 t 区	7.7	6.5	10.4	64.2	78.3	74.6	100.9	96.3	100.3
50 "	7.7	7.3	10.3	64.3	73.7	66.3	104.7	97.4	106.7
100 "	8.1	7.1	10.1	57.3	73.8	68.4	113.4	98.3	108.0
200 "	8.0	7.3	9.2	51.3	68.8	67.4	138.2	105.0	111.2
鶏ふん 25 t 区	8.2	6.8	10.1	67.2	78.3	69.2	98.6	95.9	101.8
50 "	8.5	7.0	9.8	64.1	75.7	74.0	103.0	91.1	98.7
100 "	7.0	6.6	9.0	65.4	73.7	71.1	101.0	95.7	100.3
200 "	7.9	7.2	10.8	59.3	67.8	72.0	118.1	109.4	102.9

(注) 第4表と同じ

供試した生牛ふんは、一時多量施用試験とはほぼ同様な性状のものである。

牛ふんは、全面散布後、大型ロータリーを用い耕土10~15cmにすき込んだ。

試験はイタリアンライグラス、ソルゴーおよびトウモロコシの輪作で実施中である。

分析用土壌は、深さ0~15cmについて数カ所採取して

混合し、風乾後2mmふるいを通した風乾細土について分析を行った。

2. 分析方法

土壌の分析法はつぎのとおりである。

1) 化学性

(i) 全炭素は小坂、本田、井礦法によった。

(ii) 全窒素はセミマイクロケルダール法により、アンモニアの吸収は2%ホウ酸液によった。

風乾細土を衝撃粉碎機により微粉状に粉砕したものを分析用試料とした。

2) 物理性

(i) 容積重は土壌保全調査

事業土壌分析法によった。

(ii) 最大容水量は Hilgard 法に準じて測定した。

(iii) pF 1.5 の保水性は、砂柱法により、pF 2.7 および3.0 は遠心法により測定した。

試 験 結 果

1. 一時多量施用試験

1) 全炭素及び全窒素の変化 家畜ふんの多量施用後

第6表 ふんの多量施用と pF-水分率の推移

項目 年次	pF											
	0			1.5			2.7			3.0		
処 理	S44	47	50	44	47	50	44	47	50	44	47	50
標 準 区	64.8	66.3	73.3	43.9	55.3	57.3	31.2	33.5	37.6	27.3	28.6	35.5
牛 ぶ ん 25 t 区	68.8	67.2	74.1	50.6	57.8	55.2	32.6	36.8	34.9	27.8	31.6	32.0
50 "	68.3	71.7	76.3	49.4	56.2	54.4	31.5	32.8	36.8	27.7	31.0	33.0
100 "	79.5	72.3	69.7	43.7	58.2	51.3	32.5	33.3	33.5	28.8	32.1	29.8
200 "	77.4	76.3	73.3	35.4	47.0	47.4	26.2	31.1	33.7	23.4	29.6	28.7
豚 ぶ ん 25 t 区	73.5	75.3	71.2	48.6	51.0	48.1	30.7	35.3	35.8	28.3	28.9	30.4
50 "	67.5	71.7	71.1	47.9	55.2	51.3	31.2	34.5	32.2	28.0	30.6	29.2
100 "	64.8	72.3	74.0	39.3	55.4	54.8	28.4	33.6	33.0	25.2	30.7	29.2
200 "	70.7	72.2	75.1	34.5	53.1	46.3	25.6	34.0	32.5	22.7	30.7	28.5
鶏 ぶ ん 25 t 区	66.2	75.3	70.6	41.3	56.1	52.0	32.4	36.0	33.8	28.5	31.5	29.2
50 "	66.1	68.7	72.9	47.5	54.1	44.6	31.4	34.1	36.2	27.2	30.4	29.8
100 "	65.8	70.6	72.2	42.4	50.9	47.4	32.1	32.7	32.5	28.1	29.6	29.0
200 "	69.7	74.0	74.2	45.4	50.1	55.0	27.5	32.4	37.5	26.9	28.6	31.6

(注) 第4表と同じ

第7表 ふんの多量連用と土壌の全窒素、全炭素の変化

項目 年次	全 窒 素 (%)			全 炭 素 (%)			炭 素 率		
	47	48	50	47	48	50	47	48	50
標 準 区	0.38	0.32	0.34	4.10	4.81	4.17	10.79	15.03	12.27
10 t 施用区	0.43	0.45	0.43	5.02	5.67	5.37	11.67	12.60	12.49
20 "	0.41	0.44	0.50	4.95	6.07	5.84	12.07	13.80	11.68
40 "	0.35	0.49	0.65	3.93	6.97	7.52	11.23	14.22	11.57

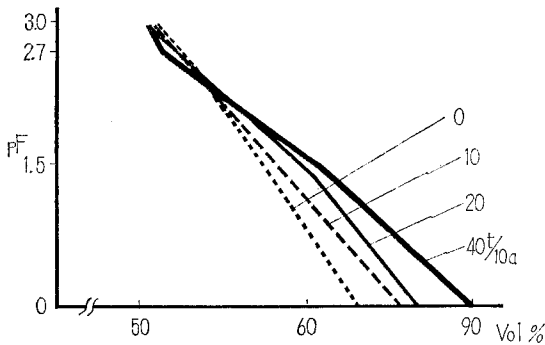
(注) 昭和44年より毎作施用

第8表 ふんの多量連用と風乾土水分、容積重、最大容水量の変化

項目 年次	風 乾 土 水 分 (%)			容 積 重			最 大 容 水 量		
	47	48	50	47	48	50	47	48	50
標 準 区	5.9	5.2	5.0	99.61	101.22	101.70	66.25	63.73	64.22
10 t 施用区	5.9	6.1	5.5	96.80	89.70	94.94	70.61	80.36	76.36
20 "	5.8	5.6	5.4	95.69	94.76	90.66	72.23	72.73	83.64
40 "	5.9	5.3	6.6	99.86	88.31	81.30	65.14	84.81	102.43

(注) 第7表に同じ

における土壌の全炭素及び全窒素含量の推移を第4表に示した。全炭素含量は、年次の経過とともに明らかに減少する。しかし、6年後においてもふん施用量の多かつ



第2図 牛ふんの連用と pF 水分曲線の変化 (毎作連用6年後)

たもほど土壌の全炭素含量が高く維持されていた。とくに牛ふん施用区に比し、豚ふんおよび鶏ふん施用区の土壌の全炭素含量の減少が著しいことが特徴的であった。

土壌の全窒素含量も年次の経過にもなって減少するが、ふん施用後6カ年を経過してもふんの施用量が多かった区ほど全窒素含量が高い傾向が見られる。また、豚ふんと鶏ふん施用区の土壌の全窒素含量の減少は、牛ふん施用区より著しく、全炭素含量とほぼ同様な推移を示していた。

炭素率については、一般にふん施用量が多いほど炭素率が低く、かつ年次の経過とともに、

低下する傾向が見られた。

2) 物理性の変化

第5表に示すごとく、ふん施用量と風乾土の水分含量との間には、一定の傾向は認められなかった。

風乾細土容積重は、ふんの施用量が多いほど少ない値を示し、かつその傾向は6年後においても持続されていた。鶏ふんの200トン施用区は6カ年間、直線的に容積重の増加が確認されたが、その他の処理区では、3年後より容積重の変化は少なくなり、5~6年後にはほとんど変化がなくなった。

ふん施用後2~3年間は、ふんの施用量が多いほど最大容水量は高い値を示した。とりわけ牛ふん施用区の前最大容水量は大きく、次いで豚ふんであり、鶏ふん施用区の前最大容水量は、最も小さかった。しかし、6年後には、ふんの種類や施用量に関係なく、最大容水量の差は少なくなった。この傾向がとくに顕著であったのは、鶏

第9表 ふんの多量連用と pF-水分率の変化

(Vol %)

項目 年次	0			1.5			2.7			3.0		
	47	48	50	47	48	50	47	48	50	47	48	50
標 準 区	70.43	68.24	68.95	53.20	53.31	52.21	37.03	39.52	37.98	32.22	33.52	33.08
10 t 施用区	72.94	74.58	76.99	48.60	58.58	54.64	35.95	35.96	37.49	32.73	30.24	32.74
20 "	73.67	73.25	80.40	50.78	62.04	59.02	34.84	38.81	35.36	31.64	33.07	30.80
40 "	69.42	69.95	89.61	44.91	58.68	61.31	38.14	36.97	34.02	33.50	33.21	30.96

(注) 第7表に同じ

ふん施用区であり、3～4年後にはほとんど差が認められなくなった。

ふん施用後、一年以内の pF 0 における土壌の水分率は、ふん施用区が無施用区よりやや高い傾向を示す。これに対し、pF 1.5 以上では、ふん施用後1年以内は、むしろふんを多用した区の土壌の含水率は低下していた。しかし、pF 1.5～3.0 の範囲では、年次の経過とともに、含水率は、ふんの種類や施用量に関係なく近い値を示すようになった。第6表にふん施用量と pF 及び水分の関係、またふん 100 t 施用区の pF 水分曲線を第1図に示した。

2. 連続多量施用試験

1) 全炭素及び全窒素の変化 ふん施用開始3年後までは、ふん施用量を増しても土壌の全炭素含量はほとんど変化しない。土壌の全炭素含量は4年後から次第に増加し、かつふんの施用量が多いほど全炭素含量は顕著な上昇が見られる。しかし、10 t 施用区における全炭素含量はほとんど増加しなかった。

土壌の全窒素含量は、ふんの施用量を増すと明らかに増加した。この傾向は全炭素と全く同じ傾向であった。しかし、10 t 施用区ではふんを施用しない標準区との間に、ほとんど差が認められなかった。

炭素率については、処理区間に特徴的な変化は認めら

れなかった。土壌の全窒素含量、全炭素含量及び炭素率の変化を第7表に示した。

2) 物理性の変化 風乾土の水分含量とふん施用量との間には、一定の傾向は認められなかった。

また3年後の土壌の分析結果では、ふん施用量と容積重との間には、一定の傾向は認められなかったが、その後は、1、2の例外を除き、年次の経過とともに、ふん施用量を増すにしたがい、容積重は小さくなる傾向を示した。すなわち、20 t 施用区及び40 t 施用区では、年々容積重は減少するが、10 t 施用区と標準無施用区との間には、有意な差異は認められなかった。

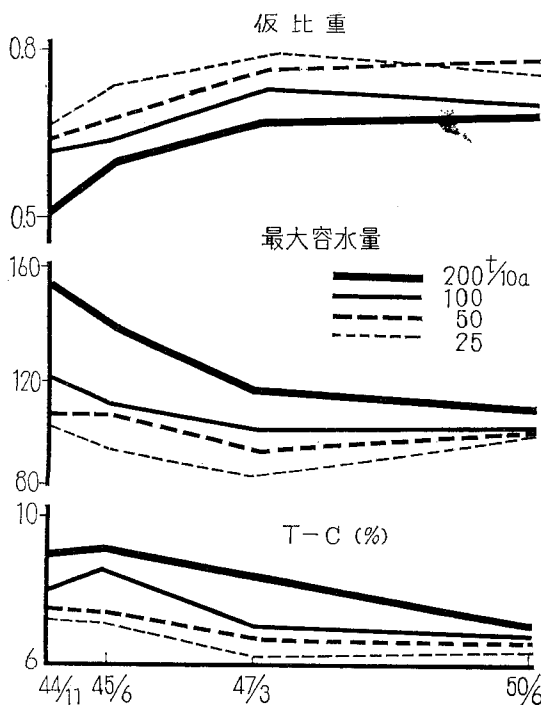
最大容水量は、ふん施用後、4年目までは、一定の傾向は認められないが、6年目には処理の影響が見られるようになった。とくに40 t 施用区の最大容水量は著しく増加した。第8表にふん施用量と容積重及び最大容水量の推移を示した。

ふんの連用による土壌の保水性は、pF の低い領域では、最大容水量と同様な傾向が見られた。ふん連用3年目においては、ふん施用量と保水性との間には、明瞭な差異は認められなかったが、年次の経過とともに特徴的な差を生ずるようになった。pF 0～1.5 の範囲では、ふん施用量を増加すると明らかに水分含量も増加するが、2.7～3.0 の pF 域では、逆にふん施用量が少ないほど、より高い水分率を示すようであった。

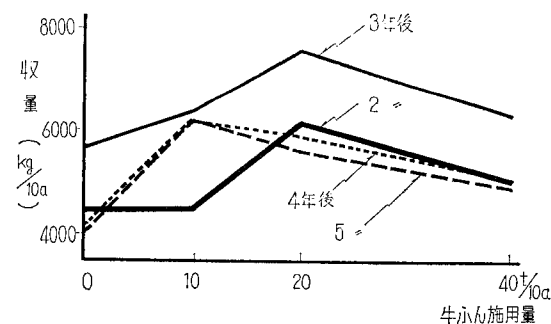
第9表にふん施用量と pF 水分率の年次変化を、また6年連用した土壌の pF 水分曲線を第2図に示した。

考 察

家畜ふん施用土壌の風乾土水分および高 pF 域における水分率に、ふん施用の影響がきわめて少ないことが分析調査の結果明らかになった。この理由については、さらに多くの調査研究にまつべきものがあることはいうまでもない。しかし、推論を交えた考察を加えるならば、その原因は施用された新鮮な有機物は、耐久腐植や土壌



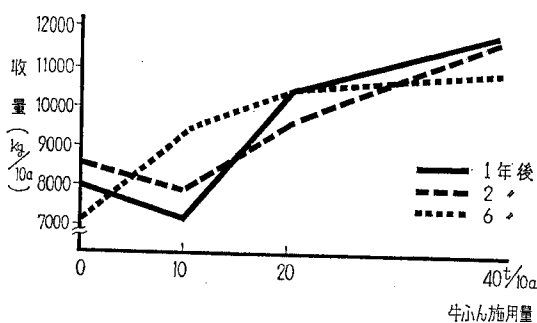
第3図 ふんの多量施用後の土壌物理性の変化



第4図 牛ふんの連用と青刈トウモロコシの収量

第10表 糞処理量が葉菜の生育収量におよぼす影響 (連年試験成績の概要)

区	名	ホーレン草の発芽率(%)				土管当たり収量 (生体重・g)							
		10日後 播種	25日後 "	第1作 46日後 播種	第2作 312日後 播種	第1作	第2作	第3作	第4作	第5作	第6作	第7作	第8作
1	牛ふん 25トン相当化学肥料施用			26	39	1,168	38	0	50	55	92	156	13
2	" 50 "			38	41	1,215	52	69	58	61	63	129	14
3	" 100 "			25	37	874	120	253	63	62	77	204	6
4	" 200 "	0	20	46	61	707	297	73	70	69	46	118	3
5	牛ふん 25トン施用			60	61	1,088	106		60	64	71	73	14
6	" 50 "			64	37	1,176	176	260	98	79	76	60	10
7	" 100 "			65	53	998	437	649	150	123	102	67	—
8	" 200 "	15	42	68	75	988	846	874	350	300	220	78	18
9	豚ふん 25 "			82	80	878	129	0	62	87	65	32	12
10	" 50 "			69	78	892	370	328	99	89	58	37	15
11	" 100 "			80	65	966	737	597	185	186	93	78	27
12	" 200 "	10	31	71	47	1,028	900	1,120	390	306	190	110	72
13	鶏ふん 25 "			73	45	1,449	154	49	59	70	58	18	11
14	" 50 "			78	57	1,007	379	183	90	108	70	19	9
15	" 100 "			76	79	872	1,023	455	152	170	79	85	15
16	" 200 "	2	16	53	90	684	1,319	853	315	286	172	148	81
17	牛ふん 50トン相当有機物豚ふん施用			59	47	1,460	252	188	70	87	103	35	9
18	" 100 "			67	68	1,426	619	502	180	119	103	29	34
19	" 50 "			45	48	1,357	161	107	65	67	65	160	24
20	" 100 "			69	44	1,459	289	148	89	87	88	57	27



第5図 牛ふんの連用とイタリアンライグラスの収量

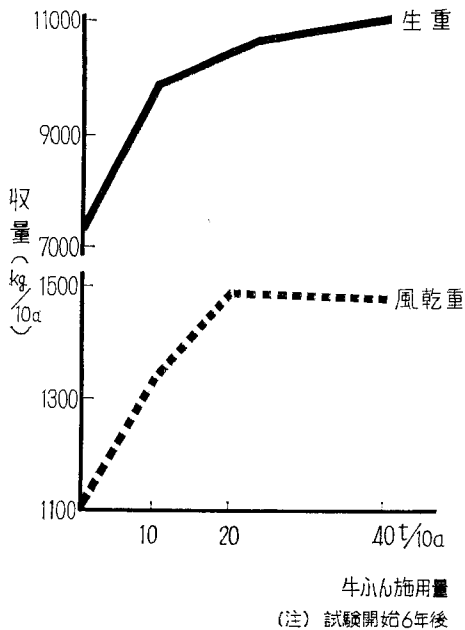
と結合しているような難分解性の有機物とは本質的な相異があることが想像される。その結果、低pF域における家畜ふん多量施用区では、少量施用区より、明らかに高い水分率を示したもののと思われる。年次の経過にともない、新鮮な有機物は分解し、安定した腐植に近づくにしたがって、低pF域の水分率の低下と高pF域の水分率の上昇が見られる。このことは、新鮮有機物の分解にともない、有機物は安定化するものと考えられる。こ

のことが、保水性に無視できない変化をもたらした要因と思われる。

一方、1作10t程度の家畜ふんの連年施用においては、土壌の保水性に大きな変化が見られないのは、この程度の有機物施用量では、分析値に差を生ずるほど、有機物が蓄積しないことを示すものであろう。また高張力下においては、ふんの施用量に関係なく、ほぼ同じ水分率を示す理由は何か。すなわち、高張力下においては、新鮮有機物に代表される粗腐植は、保水力にはほとんど関与していないことを示すものといえよう。保水力のみについて考えるならば、家畜ふんの極端な多量施用は、さけるべきである。

このような観点から、ふんの限界施用量を考えるならば、連用では1作10a当り10t以下に限界量があるといえよう。これ以上の多量施用は、乾燥時に農作物が干害を受ける危険性が大きくなる。事実、多量施用は、後で述べるように、しばしば干ばつ時に牧草が干害を受け、収量に大きな影響がある。

土壌の全炭素含量および全窒素含量は、ふん施用量と比



第6図 牛ふんの多量施用とイタリアンライグラスの収量
(注) 試験開始6年後

例関係にあり、また容積重も土壌の有機物含量、すなわちふん施用量と明らかな関係が認められる。一時多量施用では、年次の経過にともない、容積重は上昇し次第に恒状に達する。このことは、ふんを多量施用してから容積重の変化が無くなる時点で、施用された有機物の大部分が分解されることを物語るものである。BOD源となる易分解性有機物の含量は、鶏ふんが最も多く、次いで豚ふんであり、牛ふんは最も少ない。このようなふんの特徴は、ふんの有機物の分解の遅速を示す指標となりうるものであり興味がある。すなわち、堆きゅう肥としての効果や基肥としての肥効は、牛ふんが最もすぐれており、次いで豚ふん、鶏ふんの順である。BODが高く、C/Nの低い鶏ふんや豚ふんは、有機物の分解と無機成分の放出が速かであり、むしろ肥料の効果を期待すべきであろう。

連用試験の結果からは、1作10t施用では、土壌の全炭素及び全窒素の供給と消費は、ほぼ平衡しているものと思われる。また20t施用区では、窒素や炭素はやや蓄積の傾向にあり、40t施用区では、明らかに蓄積が見られる。すなわち、毎作10a当り20トン以上の牛ふん施用は土壌の有機物分解能を上回る施用量と考えられる。

これらを総合すると、土壌に明らかな変化をあたえる有機物施用量は、牛ふんの場合1作に10t程度以上の施

用量といえよう。しかしながら、この量は、あくまでも有機物に焦点をあわせて論ずる場合の、施用量である。土壌の総合的な能力を示す地力、すなわち土壌の化学性、理化学性及び生物性など、多くの要因から成り立つ複雑な性質を有機物のみで論ずることは危険といわざるを得ない。したがって、この問題を検討するにあたっては、さらにきめ細かな調査研究が望まれることはいうまでもない。

前述のとおり、土壌の物理性のうちとくに土壌水分に及ぼす有機物の影響だけについても問題は複雑である。

第3図にふんの一時多量施用後の経年変化を全炭素含量、最大容水量、容積重など代表的項目についてとりまとめた。

土壌の全炭素含量と最大容水量の間には比例関係が、また容積重と全炭素含量、最大容水量との間には、反比例の関係がある。しかしながら、有機物が多く、最大容水量が高いからといって、作物の生産が必ずしも向上するわけではなく、実際に関与するのは、pF2.7附近のほ場容水量における水分が重要な位置を占めることになる。ほ場容水量は、最大容水量とは逆に新鮮な有機物が多いほど、低い値を示すことに問題点がある。

有機物の土壌中における分解と、保水性の関係は、さらに長期にわたるきめ細かな調査研究に待たれることはいうまでもない。

一時多量施用試験の葉菜の連年収量調査成績を第10表に示した。収量の変化は、土壌の理化学性の変化ときわめてよく一致した結果が得られている。とくに施用6カ年を経過したあとに土壌においても、ふん施用量と収量の高い関連性が認められる。このことは、ふんの有機物は、初期にその多くが分解されるが、想像以上に長期にわたり徐々に分解することも意味するものである。これが6年後においても土壌の理化学性に無視できない差を生じている原因と思われる。

多量連用試験の各作物の収量の変化を第4、5図に示した。牛ふん施用量と収量の年次別の変化は、作物の種類によって異なる。青刈トウモロコシでは、2年目と3年目は、20t施用区の収量が最も高かったが、4年目と5年目では、10t施用区が最高収量をあげている。すなわち、20t施用以上では養分の過剰または、有機物の蓄積による土壌の変化が、むしろ作物生産を阻害していることを物語るものである。しかし、イタリアンライグラスは、青刈トウモロコシとは異なった性質がある。このように有機物の蓄積または養分の過剰によると思われる害作用は、作物の種類によっても異なる。第6図に昭和49年のイタリアンライグラスの生草重と風乾重の関係を示した。イタリアンライグラスの生草重は、施用量に応じて

増加するが、風乾重は20 t 施用区と40 t 施用区が劣っている。このことは、ふんの極端な多量施用は、乾物生産の低下だけでなく現在問題となっている、作物の品質、とりわけ栄養的な面から考えても、大いに検討しなければならない問題を提起しているものといえよう。

以上の試験結果を総合すると、生ふんを連用した場合は、1作10 tを限界とする。また一時多量施用は、きわめて問題のあるふん処理法であり、土壌の理化学的の変化から推測すれば、100~200 tにもおよぶふんを施用したときは、3年間は放置しなければ問題があることになる。また、生ふんの多量施用は、労力的にも容易なことではない。さらに一時に多量の生ふんを処理することは農耕地を一種の汚物の廃棄場所と考えたものであり、環境に対する悪影響も看過できない。このような見地からすれば、ふんの施用は、農耕地に対し極端な負荷をあたえることなく、かつ農作物の養分吸収とふんの肥効を考慮した施用法がとられるべきであろう。さらに望ましい農地還元法としては、何等かの方法でふんを堆肥化し、適正な量を毎作農地に還元することが、理想的なふんの農地還元法といえよう。

摘 要

1 畑地に対する家畜ふんの多量施用は、土壌の粗孔隙を増加し、農作物は干ばつ害を受ける危険性が大きくなる。

2 家畜ふんに由来する有機物と、土壌が本来もっている有機物との間には、本質的な相異があることが水分調査の結果明らかになった。

3 10 a 当り100~200 t の生ふんを土壌施用しても、有機物の大部分は2~3年間で分解する。しかし、ふんの種類と施用量は、土壌の各種の理化学的性質について、無視できない差を生ずる。

4 土壌の物理性に及ぼす影響が最も大きいのは、牛ふんであり、ついで豚ふん、鶏ふんの順である。

5 BODが高く、C/Nの低いふんほど分解が速くであり、土壌の物理性的変化も短期間に終る。

参 考 文 献

- 1) 鈴木達彦; 農業技術, 19 12 (1964)
- 2) 熊田恭一; " 19 12 (1964)
- 3) 弘法健三, 和田秀徳; 土肥誌 32 209 (1961)
- 4) " ; " 35 53 (1964)
- 5) 橋元秀教, 小浜節雄, 辻藤吾; 九州農試報, No. 16 P 25 (1971)
- 6) 高橋和司; 近代農業における土壌肥料の研究 1, P 25 (1970)

- 7) 農林省農産課; 堆きゅう肥の施用効果等に関する資料
- 8) 江川友治; 畑地の有機物管理、土壌肥料新技術 P 197~217
- 9) 10) 松崎敏英; 畜産の研究 30 1 (1976)
- 11) 橋元秀教; " 30 1 (1976)

コメント

草地試 尾形 保

有機物の投入による土壌の肥沃性の維持向上の重要性はいうまでもない。しかし、全国を平均的に見た場合、このような有機質資源の確保、投入はかなり窮屈な現状にあり、より多量の有機物の投入が強く要望されているのが一般であろう。

現在、わが国で有機物の多量投入が問題になるのは、主として畜産農家における家畜ふん尿の処理、利用がスムーズに行い難い条件にある場合である。特にある程度の飼料生産基盤をも有し、乳牛、肉牛の多頭飼養を行っている経営に多く見られる。すなわち、このような経営では、家畜の多頭化に伴った耕地面積の拡大は非常に制限されているので、ふん尿の土壌還元利用を自己経営内で行うとすれば、必然的に耕地面積当りのふん尿施用量を増大しなければならない。未熟の牛ふん尿を年間10アール当り10~30トンあるいはさらに多量を施用することも珍しくない。

このような多量施用に伴って、栽培される粗飼料の栄養組成の悪化(例えば、高蛋白一低カロリー化、K過多を中心とするミネラル組成のアンバランス、硝酸性Nの集積など)による牛の生理への悪影響や、地下水、地表水に対する汚濁問題等も危惧されている。

このような問題の検討に当たって考慮すべきは、昔のきゅう肥に比べてのふん尿の質的变化であろう。最近の多頭化の進行に伴い、飼料は濃厚飼料依存度を増し、またイナワラ等の敷料の使用量は激減し、さらにふんと尿の混合のままか、ふん尿分離が不十分のまま施用することが増大している。このような結果、最近では牛ふんといえどもそのNの無機化は早く、粗大有機物には乏しい材料となっている場合が多いのが現実である。しかし、一方では、オガクズ、バーク等のかなり難分解性有機物を多量に含んだ材料も増加の傾向にある。

したがって、ふん尿施用の効果の解明に当たっては、家畜の種類はもちろん、これらのふん尿の土壌投入に至るまでの処理方法の違いによる性状の差異は十分に把握しておくことが必要である。特に土壌の物理性に対しては、含有される粗大有機物の種類、腐熟程度、含量などの影響はきわめて大きいものと思われる。

排水の土壌への循環

有 水 疆*

Government Forest Experiment Station

Tsutomu ARIMEZU

Government Forest Experiment Station

1. 排水の範囲

ここで取大げる排水は、排水総量の三分の二を占め、しかもいかなる法的手段に訴えても規制不可能な生活排水に限定する。つまり人間の家庭生活から発生する排水をここでは意味しているが、家畜のシ尿を含めてもよい。したがって工場廃水はここでは取扱ってはいない。

2. 土壌浄化による排水の循環的再利用の歴史

人間および家畜からの排水を土壌で浄化するという汚水処理の仕方は人類が古から実行してきたものであって、それでは土地が足りなくなると河川に投入することですませしてきた。このような水処理の仕方は現在でも世界の多くの地域で実行されているのであるが、そうした処理から生ずる疫病の防止等を目的として現在われわれが知っている浄化技術は約 100 年前に既に、開発されていた。しかし河川の水質汚濁の進行を見ながら、新技術としての浄水技術、例えば撤水汙床法や活性汚濁法が取上げられたのは1908年の大英帝国第二次汚水処理委員会の報告書に始まるとされている。そしてようやく土壌処理という自然に依存する方法よりも、物理・化学および生物学的な方法に信頼が集まるようになった。

その背景として、当時の汚水の土壌処理では、今日の水処理の過程での一次処理に相当する処理すら充分に行わなかったため、土地が当時の都市の膨張により不足してきたことが基本的な原因となり、人工的な水処理に移行する段階に入ったのではある。しかしそれにもかかわらず、欧米においても人工的な水処理技術がすべて従来の自然的な方法に取って代ったのではなく、依然として昔からの土壌処理を続けてきた地域がすくなくないことに注意すべきであろう。

しかしそうした新技術の大規模な応用にもかかわらず、水質汚濁は世界的な規模で拡大しつつあって、現在の

水処理技術をもってそれを防止することに疑問を感じる人達が現われたとしても不思議ではなかった。そして古典的な土壌処理によって、大規模に進行しつつある水質汚濁防止を試みた人達が、ペンシルヴァニア大学の研究者であって、その業績は既に筆者によって報告されているので、ここでは割愛^{2,3)}する。その結果、土壌構造、地下水の理水学的性質および気候に支障のない限り、土壌処理は適切に処理された汚水の浄化方法として実用化されうるものであることが示された。

3. 最近の動向

ここで土壌処理が今世紀の初頭になり否定された原因をもうすこし考察してみると、土壌に過大な汚水の負荷を与えると、土壌が浄化能力を失うので、その浄化能力の継続期間が河川や海洋と比較して短いことが指摘されたり、同時にその結果として地下水汚染の生ずることが土壌処理に問題を生ぜしめる原因となったのであるが、それは今日においても変りはない。

さきのペンシルヴァニア大学での実験はこのような土壌処理の問題点を巧みに解決したものであるが、その成功に刺激されてアメリカ・ミシガン州マスケゴンで連邦環境庁、保健省および工兵隊の強力な支持を受けて、地方自治体による最初の二次処理水の土壌処理が事業として試みられた。この事業は別に濃州メルボルン市での長年にわたる土壌処理の成果にも刺激されたといわれている。さらにアメリカ工兵隊は洪水防止問題および航行可能な河川および港湾への不法投棄を防止する権限もっていることを利用し、水資源管理での経験を基礎として、サンフランシスコ、シカゴ、デトロイト、クリーブランドおよびボストン地区にこの技術の実験場を設置し、その有効性を誇示している。

こうした動きを背景にして1972年10月18日水質汚濁防止法の改正法 (PL 92-500) が大統領の拒否権を越えて成立した。この改正法はそれ迄に数回提出されたもので

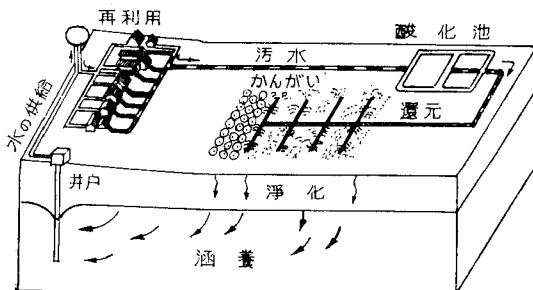
* 農林省林業試験場

あるが、その特徴は、1985年迄に航行可能な河川および沿岸に一切の汚水の放流を禁止する規制の仕方にある。したがって土壌処理が水処理の最後になるが、地下水汚染を防止する関係から水処理の在り方そのものに大きな変革を要求しないわけにはいかないのは当然の帰結であった。

元来この法案は従来の水処理技術に対する失望の所産とされているのであるが、水処理関係者の強力な反対にあって、全面放流禁止ではなく、それを目標とすることで落着いた。その改正法の特徴を極めて簡単に説明すると、土壌処理を目的とした広域地下水処理計画の策定およびその実施にあたり、実施可能にして最善の下水処理技術を用いることが要求されるが、それは土壌処理技術を中心とするものである。その場合費用と便益を基準にして評価することが要求されている。したがって土壌処理の費用-便益分析が連邦補助金を受ける意図をもつ水質汚濁防止計画の前提となった。

現在考えられている土壌処理は従来の下水道を中心とした排水処理施設を利用して二次処理迄を行い、最も費用を要する三次処理は土壌処理に委かせるという方向にあるが、そうした行き方の他に、1次から3次処理迄も全部土壌処理に頼るという方向もある。

つまり最も費用のかかる3次処理では脱塩迄を含めるとトン当たり200~300円を要する上に、汚泥という極めて処理困難な物質を生ずるのに対し、それを土壌処理による場合は処理する箇所の土壌および地下水面との関係にもよるが恐らく二百分の一ないし十分の一の費用でできるばかりでなく、汚泥が全く生じない上に、農林作物へ有機肥料を供給し、化学肥料に取って代り、その処理水は地下水として再利用できる。しかもこの型の土壌による水処理では維持管理が極めて簡単で、費用もかからないという長所をもっている(第1図参照)



第1図 排水の土壌による循環的再利用 (Journal WPCF, 1975 Vol. 47, No. 11 p. 26より)

わが国でこれを行う場合には、2次処理迄の段階で、毛管浄化法という一種の土壌処理法が発達しているの

で、すべてを土壌処理によって他の如何なる方法よりも排水を有効に処理できる点に注目すべきであろう。

4. 土壌浄化と公害

元来排水の土壌処理とは、生活排水中に含まれる栄養物を土壌微生物が利用して生存繁殖し、その際不純物を除き水質の純度を取り戻す機能に期待するものであるから、熱力学第2法則に反した作用を利用したものといえよう。このような生物的処理は他にも散水沓床法や活性汚泥法にもみられるのではあるが、それらが主として水生微生物や接触微生物を利用しているのに反し、土壌処理では土壌微生物を活用している点に根本的な相異があるというべきである。つまり土壌という環境における微生物の活動の方が、温度・pHを含む外部の環境の変化に対して、より安定し、より活発な生存繁殖が可能であることが、水処理における土壌処理の優位性を保証するものといえる。

ところで土壌微生物にとって、低いエントロピーである排水中の栄養分は貴重な資源であるが、排水の土壌による循環的再利用においてもそこで失われるエントロピーよりも大きな量の低いエントロピーをそこに付加する必要に迫られるのは当然である。つまり排水の土壌による循環的再利用は永久機関ではないので、その場合生物的処理の他に物理的あるいは化学的処理を組合せを考え、その処理方法によって低いエネルギーの量とその価格、およびその処理方法から生ずる拘束エネルギーの量と価格との関係で前者の低いエネルギーの量と価格との積と、後者の拘束エネルギーの量と価格との積との差を最小にする選択方法が求められよう。

水処理の方法別にこの差額を比較した場合土壌処理が最もエネルギー節約型の技術の筆頭になるのは当然であって、同一の土壌処理に属する各種の技術においてもこのような評価基準は尊重されるべきである。

土壌浄化を行った場合に必ず2次処理水を利用するのは、排水の悪臭を防ぎ、排水中の病原菌の伝染を予防するのが目的である。そこで撒布される2次処理水は必ず塩素滅菌を施すのが普通である。

5. 土壌物理学への課題

排水の土壌への循環では、水量のみならず水質についても同等以上に考慮されなければならないので、土壌化学および土壌微生物との関連において取扱わなければならない。しかし水質といっても水の流れに附随するものであるから、この問題については土壌物理が中心になるのは当然である。

現在のところ、土壌に撒布する方法には、スプリンクラーによる種々の方法、トレンチを利用する方法、溢水灌漑等々の方法があるが、そこでの負荷は1週30ミリから210ミリと可成りの巾にわたっている。それは処理する土壌の個別的な条件の他に、土地利用計画、地形、植生、地質、地下水面迄の距離、地下水の制御方式、地下水の運動、排水発生地点からの距離が考察される。土壌条件としては、土壌型、土壌の浸透能、土壌の深さが主として重視されるのは当然である。

元来排水が浄化されるのは地表から1メートル以内の深さをもつ表層の部分であり、しかも不飽和の土壌湿度が土壌微生物の生存繁殖のために要求されるので、そうした表層で浸透する水量をなるべく大量にしながら、水質が充分改善される方法を考えなくてはならないわけである。つまり地表から浸透した2次処理水が水質基準を満たす迄の期間、表層1メートル以内の所に不飽和状態で停留することが望ましいことになる。

その場合、期間に制約される程度が問題になり、期間が短い場合には投入される2次処理水の水質を予め改善しておく必要が生じてくる。事実そうした要求が強くなっているのが、ミシガン州で灌漑に用いるときの2次処理水の場合には

pH	7.5 ~ 9.2
BOD ₅ (mg/l)	2 ~ 30
DO (mg/l)	7 ~ 11
SS (mg/l)	5 ~ 100
NH ₃ -N (mg/l)	0.7 ~ 5
NO ₃ -N (mg/l)	0.1 ~ 2
有機N (mg/l)	2 ~ 15
T-P (mg/lP)	2 ~ 7

になっている。その結果、既存の水処理工場の処理過程の改善が要求され、現在可成り大きな問題になっているので、そうした水処理過程全体との関連で土壌浄化の方法を考える方向が不可欠になるであろう。

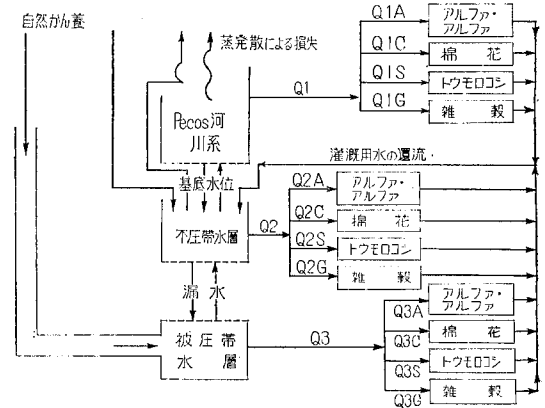
その場合、灌漑に伴うのであるから作物との関係、および地下水汚染を防止する立場を考慮する必要があるので、つぎの諸点に絞られると考えられる。

- (1) 土壌浸透速度の同定
- (2) 土壌粒子のイオン交換反応の同定
- (3) 土壌微生物の活動の変化と土壌物理的諸条件との活動の諸関係の同定
- (4) 目づまりの物理的諸関係の同定
- (5) 相対的浸透速度の最適化

ここで取上げた問題は2次処理水を土壌で浄化する地点での、ミクロの問題であるが、それを含むマクロの問題をつぎに取上げてみたい。

それは地下水学の創設者の一人である、C. E. JACOBの作った地下水資源開発の模型である。それは表流水を部分系とし、2つの連結された漏水性帯水層、つまり不圧帯水層と被圧帯水層、とその間に介在する半加圧層よりなる部分系から構成されている。それを図示すると、第2図の如く示される。その漏水の方向は局地的にはより低い水頭をもった帯水層に向かって流れる。表流水は基底水位を通じて、不圧帯水層に結びついている。

この系は農地の灌漑だけに水を供給している。そこで、アルファルファ、綿花、トウモロコシ、雑穀等4種類の作物がその対象になっている。水源の各々から供給される4つの作物の灌漑面積は既知である。JACOBの場合には12地区になっている。



第2図 JACOB 模型

不圧および主要被圧帯水層は降雨によって確率的な涵養をうける。更に不圧帯水層には漏水および灌漑から還元された浸透水の投入量がある。また不圧帯水層は河川への自然流出という型で水を失うこともあれば、河川からの自然流入によって水の供給をうける場合も生ずる。また河川は蒸発によって水を失う。この系では、2つの帯水層からの揚水と表流水からの水を灌漑に用いその水量を決定変数とし、灌漑によって収穫される作物の収益を長期間にわたり最大化する最適地下水管理の方式を求めている。地下水の運動は偏微分方程式の境界値問題になっている。

この模型の灌漑に生活廃水の2次処理水がここでの問題では加わるが、山地の林地に撒布する場合には、山地地下水の運動をこれに加えることになろう。

このように地下水盆の最適管理という立場から、排水の土壌への還元を考える必要があると思われるが、そうになると数学の問題としては多次元の偏微分方程式の極値問題と同定という技術を要することになろう。

5. おわりに

この模型に地盤沈下防止という問題を持ち込むとき、この表題の関連する範囲は更に広がる。

参 考 文 献

- 1) Z. A. Saleem and C. E. Jacob (1971) Optimal use of Coupled Leaky Aquifer, Water Resources Research, Vol. 5 No. 2
- 2) 有水 彊 (1973) 汚水再利用の循環機構のシステム化 (I) 水利科学 94号
- 3) 同 上 (1974) 汚水再利用の循環機構のシステム化 (II) 水利科学 95号
- 4) 同 上 (1974) 汚染水の循環的再利用 環境情報科学 3巻1号
- 5) 同 上 (1975) 地下水資源開発とORオペレーションズ, リサーチ 20巻11号
- 6) 同 上 (1976) 地盤沈下防止と最適地下水管理 オペレーションズ・リサーチ 21巻1号

コメント

農士試 大井 節男

土壌処理について具体的研究をしたことのない私にとって有水さんのコメントターは任が重すぎます。しかし、農林省に入室し農村の汚水処理に取組む中で土壌処理の問題を避けては通り得ないとの結論に達し、今回はその意味で、自分自身の考え方の整理も兼ねながらコメントターを努めさせて頂きます。

さて本題の「排水の土壌への循環」の考え方を、有水さんが最初に強く主張されたのは、「汚水再利用の循環機構のシステム化 (I) (II)」(水利科学, 1973~1974)であったと思います。そこでの主張の概要は、まず土壌を、その中の微生物と地上の植生を加えて、生物フィルターとしてとらえる。その生物フィルターは単に汚水処理(3次処理)だけでなく、地下水涵養と農作物や材木の生産をも目的とする。従って、水処理技術だけでなく、地下水資源開発の技術および生物制御技術が必要とされる。それをたくみに総合化することが、汚水再利用の循環機構のシステム化である。このようなものであったと記憶しています。そして特に地下水資源開発と管理に重点を置かれ、ペンシルバニア大学の研究事例を引用されながら、森林への汚水還元について詳しく論じられていたように思います。

さて、日本で土壌処理に対する関心が高まってきた背景は、富栄養化対策等から3次処理まで必要となってきた都市における下水処理の行きづまり、あるいは農村での畜産汚水対策等の行きづまりからであります。特に捨

てる場所に困った人達からの問題提起であり、土壌肥料の側からの、即ち、農業生産を發展させる側からの土壌処理の主張は弱いのが現状であります。

とにかく汚水を液肥として使ってくれなくては困るといのが本当のところですが土壌処理問題は避けて通り得ぬものと思われまます。今回は特に有水さんが1次2次処理をも土壌に頼るという事を主張されて土壌処理の内容が複雑化したので、筆者なりにその整理をさせて頂きました。これには「土壌の汚染と浄化作用」(高橋一三著:産業用水調査会)を参考とさせて頂きました。

汚水の土壌処理については大きく三つに分類して考えるのが適当でしょう。

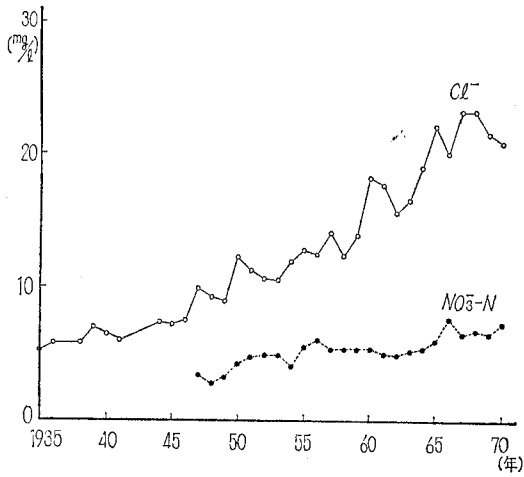
その第一は土壌微生物の分解作用そして植物の養分吸収作用を利用して汚水中の栄養分を除去する方式です。いわゆる土壌還元あるいは農地還元といったものがこれであり、汚水を利用する土地によって林地・草地・畑・水田・樹園地還元等が存在します。しかし、我国では草地還元以外はあまり普及していないのが実状です。今後、林地・畑・水田・樹園地等への汚水還元技術の確立がのぞまれます。

さて、このかんがい法の技術的問題点は、まず生汚水から利用可能な汚水に変える安定化技術、次に集まった汚水を汚水利用地まで運ぶ搬送技術、最後に液肥としての施用技術に分類されます。そして従来の清水のかんがい技術に比べ、汚水かんがい法は、より複雑な管理技術が要求されるでしょう。

又、植物による吸収を主体として汚水中の栄養分を取り除こうとするこの方式は、非かんがい期にどうするかとか、広大な面積を必要とするとかの種々の問題をかかえています。この面積の問題で行きづまって古いかんがい法が近代的処理方法に切りかえられてきた経過もあります。最後に注意すべき点は、かんがい法は、一部地下浸透するものを除き排水は系外に排出するのが原則であるということです。

第二に、地下浸透による汚水処理です。汚水を排除するために土壌の透水性を利用してはいますが、土壌の河過作用や、土壌微生物による分解・安定化作用も期待し得るものです。これは普通、沈澱池で目詰りの原因となるSSを除去してから行なわれますが、浸透水のゆくえとその水質が問題です。

地下浸透式の浄化槽は衛生的見地から、我国では普及していません。しかし、吸込み井戸にみられるような簡易施設が、家庭雑排水に対しては普及しています。これは予備沈澱させる事もなく、直接、堅穴に流入させ透さ



せるものです。しかし、吸込み井戸はあくまでも公共下水道のできるまでの暫定的なものとして位置づけられています。

最後に、地下浸透方式の問題点をあげると目詰りと地下水汚染があります。図に示す武蔵野台地の地下水の水質変化も吸込み井戸の影響と思われます。

第三に汚水処理施設の材料として土壌を利用する場合があります。これは土壌を大地から隔離して、その中で処理を行うものであり、好気性条件下で土壌表面の生物膜と汚水の接触作用を利用するものです。又、滲過作用は土壌に期待せず、SSをあらかじめ沈澱池でおとしておくのが普通です。

このような方式の例として、新見提案の毛管浄化法、あるいは尾形提案の散水汙床の変法（土壌をかごにつめそれを積みあげた形）などがあります。

ここでの問題点は、接触材に碎石等を用いる散水汙床に比べて、土壌を用いるので、目詰りや酸素不足の問題がより深刻である点であります。各々、その工夫がなされていると思いますが、これに対しては、今後、土壌物理学的・土壌化学的・土壌微生物学的検討が必要でしょう。

最後に土壌処理はこのように完全に分類され得るものではないでしょう。有水さんの主張するように、かんがい法において、汚水の浸透を強調し、水資源的立場から、アプローチする必要もあるでしょう。私の主張したかったのは、理念として、いわゆる汚水を液肥として用いる土壌還元を推進すべきであり、地下浸透方式あるいは土壌を利用した処理施設は、それを補完するものとして位置づけるべきではないかという事です。

廃棄物であった汚水を農業生産の中で資源の位置までひきあげる事はかなりむずかしい事でしょう。糞尿の農地還元方式の崩壊の過程が現在まで続いている中で、どんな技術でもって、どんな体制でもって新しい農地還元方式を還元し得るのか、土壌還元を主張される方々に、単なる可能性を主張されるだけでなく、具体的な、現実の技術体系として確立して頂く事をお願いして私のコメントを終りに致します。

水田肥料の流出

—NとPの水田への流入と流出—

田 淵 俊 雄*

Outflow of Fertilizers from the Rice Paddy Field

Toshio TABUCHI

Faculty of Agriculture, Ibaraki University

I 肥料流出問題とは

従来、肥料の流出は肥料の利用効率の観点から調べられてきた。しかし今は、水質汚濁の原因として問題にされるようになった。化学肥料中のチッソ(N)やリン(P)が川や湖に流出して富栄養化の原因となり、プランクトンの異常増殖をもたらすというのである。しかし化学肥料中のNやPが水質汚濁にどの程度影響しているかはまだよくわかっていない。

そこで、諏訪湖、琵琶湖、霞ヶ浦など、富栄養化が問題となっている地域ではかならず論争が起る。工場や下水から流入する汚水が湖の汚濁の原因だとする説にたいして、肥料だとする説がある。今まではむしろ肥料説の方が強かったくらいである。そして不確かな論議がくり返され、有効な対策がとられぬままに水質汚濁は進行してしまふ。したがって一日も早く事実を明らかにすることが必要である。

ところが、水田肥料の流出を調べるのは容易でない。単純な一枚の水田で調べるのでも難かしい。流出するルートが一つではなく、一方でかんがい用水や雨による流入もあるからである。そして各々が時期変化をする。さらに「一枚の水田」と「地域全体」の流出との間の違いもある。……等々。したがって、この問題解決には年間におたる辛棒強い調査と水田地域における水の動態に関する知識が化学的知識とともに要求される。だから土壌物理の専門の人々の協力がぜひとも必要になっている。

II. 従来の経過

肥料の流出については「チッソ30%説」が有名である。施肥したチッソの30%が水田から流出するというもので、土木学会の琵琶湖報告書¹⁾、及び浮田論文²⁾が古典である。この30%は多方面に伝わり、使われていった。その適用は安易ともいうべきほどであったが、専門の農

学者がコメントしなかったのだから、それを責めるわけにはいかないだろう。またそれで計算した結果(30%のNが流出するとして計算すればその流出量はほう大になる)も広く引用され、肥料汚濁説は強まっていった。

ところで、この30%説の根拠になったのは、他でもない土壌肥料の分野で昔行なわれたポットやライシメータ試験であった。ポットやライシメータの下から出てくるチッソやリンを測定したものであるが、この種の試験は土壌の種類、層厚、さらに水位の条件によって大きく違った値を示す。また様々な面で実際の水田とは違うので、それを直ちに水田肥料の流出とするわけにはいかないものである。だから前記の文献にははっきりと仮定値として使うと書いてあった。そして調査が進む中で毎年この係数値は同報告書の中で修正(減少)されていった。しかし、最初に出た30%がそれとは関係なしに広まっていき、一方30%以外の値も提案され使われていった³⁾。この方法はいわば係数法ともいうべきものであるが、正直な所その根拠はあいまいであり、きちんとしたデータがないから使うといった類いのものである。

その後、滋賀県農試、茨城大、鴻巣農試、及び愛知農総試など農学畑で実際の水田での研究が進んだ³⁾。その結果、「かんがい水や雨により流入する肥料分が大きいこと」「施肥期に問題があること」などがわかってきた。

また、かんがい水の負荷が大ききということとは、水田肥料の問題を流出側だけでなく流入側も一緒に調べることが必要であることを認識させ、一水系の中で水田がどのような機能を果たすのかというような点にまで研究の視点が高まっていった。そこで、一枚の水田での調査だけではなく、広い地域での物質収支をとらえるべく排水路や河川での調査もされるようになった。しかし、地域が広くなるにつれ、肥料以外の種々な排出源(工場、下水、雨水など)による負荷が混入するので、その分離が難しくなる。分離が不完全な場合は肥料以外の負荷が含まれてしまう。

* 茨城大学農学部

Ⅲ. 私達の調査結果⁴⁾

一枚の水田では図1のように色々な流入、流出のルートがある。

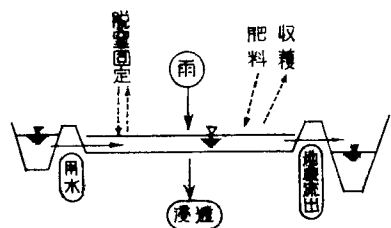


図1 Nの流出のルート

収入としては肥料、かんがい水、雨水、浸透水、地表流出水の水量と濃度をかんがい期と非かんがい期の両期にわたって48年以降調べている。

図2はS49年に粘質土の湿田で調べた結果で、田面水と浸透水のT-Nの濃度である。田面水のT-Nは5月の元肥時期と6月末の追肥の時期に高い値を示している。浸透水は元肥の後に数ppmまで上昇するが、田面

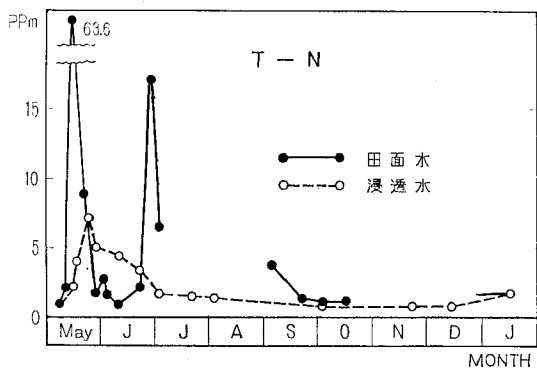


図2 水田におけるT-N濃度

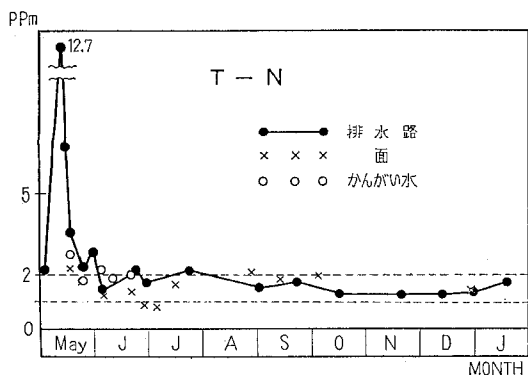


図3 T-N濃度(排水路かんがい水、雨)

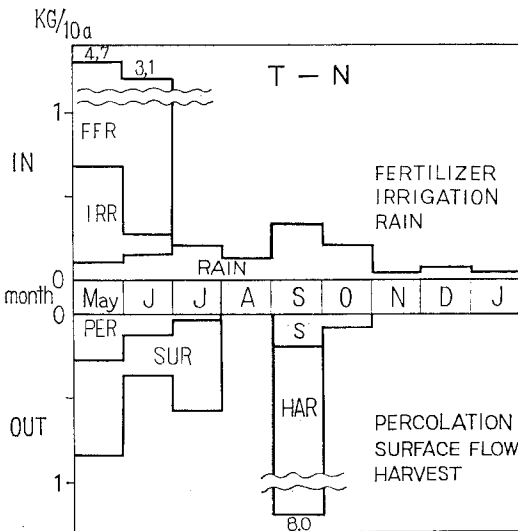


図4 T-N収支の季節変化

水ほどは上昇せず、次第に低下する。このように浸透水も田面水も施肥に強く影響される。T-Pも同様の傾向であるが、浸透水の濃度は低い。

排水路の水及びかんがい水と雨水のNの濃度を図3に示した。排水路の水も施肥の後に上昇している。かんがい水のT-Nは2ppm程度であり、雨水は1~2ppmである。非かんがい期には排水路の水と雨水の濃度はそれ程変わらない。

このような濃度に水量を乗じて求めたのが図4の負荷(チッソ量kg/10a)である。

収入側としては5月と6月の施肥によるチッソがもっとも大きい。かんがい水による収入は5月には大きいですが、6月にはかんがい水量が少なかったために減り、7月以降は揚水機場のポンプが故障したために0となった。しかし雨量が7月には多かったため生育には支障なかった。雨による収入は雨量によって左右されるが、年間を通じて存在する。

支出側では収穫物(モミとワラ)による分がもっとも大きい。次いで地表流出によるものが大きく、5~7月と9、10月に存在する。5月と7月は人為的落水によるもので、6月と9~10月は雨による溢水である。雨の時の溢水はそのほとんどが雨そのものに含まれていたNであるから仕方がないとしても、5月と7月の落水による流出分にはその直前に施された肥料中のNが含まれている。施肥直後で高い濃度になっていた田面水を人為的に落水したからである。前者は田植のために浅水にしたからで、後者は中下しである。このような肥料の面からみると一見おかしなことが生じている。浸透による流出は、浸透水量が少なかったことと濃度が低かったことから量的に少ない。

NとPの流入流出表 kg/10a

	N			P	
	S48	S49	S49 (無肥)	S49	S49 (無肥)
施肥量	6.8	6.9	0	9.6	0
用水	(0.4)	0.7	0.7	0.01	0.01
雨	(0.4)	1.3	1.3	0.01	0.01
地表流出量	(0.0)	1.6	0.5	0.01	0.01
浸透量	(0.6)	0.5	0.3	0.00	0.00
流入合計	(0.8)	2.0	2.0	0.02	0.02
排出合計	(0.6)	2.1	0.8	0.19	0.01
さし引き排出	-0.2	0.1	-1.2	0.17	0.01
施肥排出	—	1.4	—	0.18	—
排出率	9%	31%	—	2.0%	—
さし引き排出率	—	2	—	1.8	—
施肥排出率	—	20	—	1.8	—
備 考	非戸水 乾田	霞ヶ浦湖水 湿田			

S48は無機態のN

以上を一年間全体についてまとめると表1になる。Nでは雨や用水の負荷が施肥量に比べて無視できないことがわかる。一方、地表流出が浸透量の負荷よりもずっと大きい。地表流出量と浸透量を合計すると2.1kg/10aなり、これは施肥量中のNの31%に相当する(排出率)。その約半分1kgは2回の落水によるものである。一方用水や雨で流入したNが2.0kg/10aもあり、これを排出分から差引くと0.1kg/10aとなり、これは施肥量の2%(さし引き排出率)にしかない。一言でいえば「水田から排出するNはかなり大きかったが、一方でそれとほぼ同じだけの流入量があった」ということである。「排出率」をとるか、「さし引き排出量」をとるかで数値は大きく違ってしまふ。

また施肥田の隣りに無施肥田を設けたが、落水の時の流出水の濃度が低いから、排出量は0.8kg/10aにしかならず、これは流入量よりも少なく、水田はNを吸収していることになる。この無施肥田の排出量は施肥をしなくても出てくるものなので、この分を施肥田の排出量から引いた1.3kgが「施肥のために起る排出」となる。

したがって肥料流出をひと口でいくらということでは

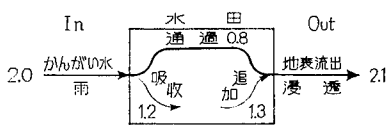


図5 Nの流入と排出の一例 kg/10a

で図5のように表示すると理解がしやすい。水田にかんがい水と雨水により2.0kg/10aのNが流入するが、流入したNは水田の中で一部が吸収脱窒され、一部が通過していく。この通過分に肥料その他にもとづく負荷が追加されて排出していく。この吸収と通過及び追加の負荷を算出するために無施肥田のデータを使う。無施肥田から排出した負荷0.8kgを肥料とかかわりなく出るという意味で通過負荷とみなす。(実際には無施肥田でも通過、吸収、追加が存在するが) そうすると全流入量2.0kgから0.8kgを引いた1.2kgが吸収であり、全排出量2.1から0.8を引いた1.3kgが肥料による追加となる。

S48年度の結果は無機態Nについてのデータなのでそのまま49年度と比較するわけにはいかないが、はっきりしているのは地表流出量がないことである。これは上述した落水をしなかったからである。したがってS49年度に比べて排出負荷は少なく0.6kgにしかならない。S50年度は目下調査中であるが、地表流出量はS48とS49年度の間間的な値に落ち着く見通しである。

このように今回の調査から、肥料流出に及ぼす地表流出(特に落水流出)の影響が大きいく、かつその値が変動することがわかった。もしも、この落水流出がなければ、水田からの排出は流入よりも小さく、かつ無施肥田からの排出とそれ程変りないといつてよい。

そしてここに示した各流入・排出量は色々な条件によって変化することが推定される。たとえば収入側の負荷は雨量やかんがい水量そしてかんがい水の水質によって変化する。汚濁した水をかんがい水として使うかどうかで収入負荷は大きく変化しよう。浸透量は水田の透水性によって変化し、漏水田では我々の結果より大きくなることが予想される。地表流出は水管理や施肥法で大きく変化する。特に施肥直後の落水の有無が問題である。今後の調査により、これらの値の変動範囲が明らかになるであろう。

ところで、次に問題なのは上述した「一枚の水田」での結果が「広い地域」全体の結果にはならないことである。ある水田から流出した肥料は単純に湖へ流出するのではなく、再び水田に入りそして流出する……といった形を一般にくり返しながら湖へ流出していく。極端な場合が図6のような田ごしに水が動く場合である。この場

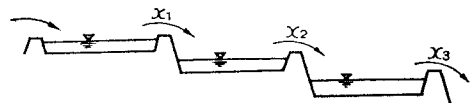


図6 反復利用

合には最末端の水田からどれだけ流出するかということが問題である。見方を変えれば、一枚一枚はどうでもよ

できない。どの係数を使うかで数値が違ってしまふ。そこ

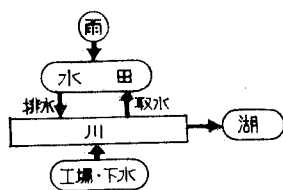


図7 水田は出して取る

場合でも一枚の水田の流出側の負荷だけをもって地域全体を論じてはいけないということを意味している。たとえば、一枚の水田の流出量を x として、地域全体の流出量を水田の枚数 n を用いて nx として求めることは許されない。それは、さし引きの流出量(y)を使って ny でなければいけない。そうすると私達の調査結果からみると、肥料の流出量はそれ程大きくはならない。場合によっては「マイナス」(流入量の方が流出量よりも大きい)にもなることがわかる。

次に私達は地域全体の流出量を川の流出負荷で調べることとし、施肥期の流出量が他の時期と比べて増えるかどうかを調べてみた⁵⁾。施肥期を選んだのは前述したように水田から大量の肥料の流出があるとすればそれは施肥期以外にはないとみてよいからである。それによると水田面積率が小さかったり又はかんがい用水が他から加わっていて、かんがい水量が潤沢にある地域の川では施肥期に流出負荷が増し、そうでない地域では他の時期よりもむしろ負荷は減った。そして、霞ヶ浦の流域の川では後者の方が支配的だった。

川の水はかんがい水量としてかんがい期、特に田植の時期には水田へ取水され、減少するのが普通だから、肥料の流出も少なくなるのである。したがって一枚の水田からは肥料が流出したとしても、どこかの水田に吸収されて地区からは流出しないということになる。流出を許すだけのかんがい水量がないということがそうさせるのである。

IV あとがき

現時点では肥料流出のある数値で表すことはできない。それは調査結果に本質的にバラツキがあるからであり、さらにその表現方法がいろいろであるからである。だから、肥料流出についてある値が示されている際には、その用語の定義や調査方法を慎重に調べる必要がある。そうでないとんでもない誤解をする。

今日紹介したのは一事例にすぎないが、次のようなことをそこから学ぶことができる。一つは「流出」だけでなく「流入」も調べる必要があることであり、水田肥料の問題は両方の側面から理解するべきである。筆者は必ずしもさし引きで肥料の流出を評価せよというのではな

く、地域全体として流入と流出がどうなるかということである。水田の一枚一枚の流出にバラツキがあるということも問題であるが、

たとえばバラツキがない

いが、流入した負荷がそのまま水田を通過する可能性があることを考えれば、流出だけでは片手落ちである。これは山林の流出の問題で雨のことを考えないことと同じである。だから工場や下水などの「出す一方の汚濁水」と同列に比較することはおかしい。「一枚」から「地域」へと拡大して考える時にもこの考えは必要である。「地域」でも川のデータからわかるように同じようなメカニズムである。従来諸説はこのような点で過大な評価を肥料流出に下している。

ただし、地表流出が大きく、かんがい水量の豊富な地域では肥料は大きな負荷になっている可能性がある。ここでは地表流出を止めるよう努力しなければならない。そのためには施肥方法や水管理を考え直さなければならないだろう。又、地域全体での用水の反覆利用も促進することが必要となろう。

文 献

- 1) 土木学会：琵琶湖の将来水質に関する調査報告書、S44～
- 2) 浮田正夫：富栄養化の原因と対策1、公害と対策8(5) pp 82—83 (1972)
- 3) 田淵俊雄：農地排水と水質汚濁、農土誌43(8) pp 525—529 (1975)
- 4) 高村義親他：霞ヶ浦流域の水田における窒素および磷の動向と収支について、土壤肥料学雑誌投稿中
- 5) 田淵俊雄他：水田施肥期の河川水質と流出負荷、農土論、58、pp 7—13 (1975)

コメント

農技研肥料化学科 越野 正義

肥料は食糧生産に役立っているとともに、環境保全の面でもいくつかのプラスの効果がある。すなわち効率的で環境保全的土地利用法が可能になるとか、大きな根系と植物体を作ることで土壤侵食の防止、水や空気の保全に役立っている。

しかし過度の施肥や誤った施肥はマイナスの影響をもたらすことが考えられている。

- 1) 地力・微生物活動の悪化、作物品質の低下
- 2) 河川・湖沼・内海の富栄養化との関連
- 3) 地下水・野菜などでの硝酸塩の集積

このうち2, 3)は農耕地から肥料成分が流出することと関連している。

これらのマイナス面については、かなり反論が多いことも事実である。例えば富栄養化でいえば、藻類、水生植物の発生が問題であるが、窒素、リンはすでに制限因

子になり得ない場合が多い。雨水中で窒素は0.5~1 ppmはごく普通であり、この濃度は1900年頃から見出されている。東京付近では数 ppmはまれでなく、しかも常にアンモニウムが硝酸よりも多い。いずれにしても湖の富栄養化の限界濃度0.3ppmを上廻る。リンについては岩石の風化過程（土壌生成作用）での放出が多く、また農耕地から流出したとしても、施肥、無施肥の間で差がほとんどないのが普通である。藻などの発生にしても有機炭素説、ビタミン説などがあるのが現状である。

地下水の硝酸塩についても、ブルーベリーの発生との関連で飲料水中で10ppmという値が設定されたのであるが、水道水を利用する限りこの病気の発生例はないという（アメリカでは10年前にただ1例）。発生してもアスコルビン酸やメチレンブルーの注射で簡単に直り、もはや致命的なものではない。カリフォルニアでは20ppm $\text{NO}_3\text{-N}$ の水を常時飲んでいる地帯がある。ただニトロサミンの問題もあり硝酸塩の集積は関心が大きいのは事実である。

イリノイ州ではこのような環境問題から、肥料の使用制限をするための公聴会まで開いたのであるが、結局は他に食糧生産において有効な方法がないということもあって制限は見送られている。

いずれにしても環境との関連を明らかにするうえで肥料成分のバランスは重要であり、とくに実際の圃場でのデータは貴重なものである。

今回の講演でいくつかの問題点を蛇足ながら付け加える。

1) 流達率について

農耕地からの肥料成分の排出は1枚の水田からの排出率のみでは全体を明らかにできない。排出率30%として全面積から出るなどという仮説は、事実とすれば下流の水田では施肥の必要性がなくなってしまうことであり、現実とは違っている。そこで湖などへの影響としては流達率を考えなくてはならない。

ではその流達率の内容・性格はどのようなものか、河川の持つ自浄作用（といっても内容不明）あるいは反覆利用の結果なのであろうか。その大きさは、発生源や川の地理的、地形的条件で違うものなのか。もしそうだとすればその測定はどのようにすればよいのだろうか。水

田の集団、流域ごとに求め、一般化をどのようにするかが大きな問題として残るだろう。琵琶湖では土木学会が $\text{N}:0.20, \text{P}:0.13$ という値を示しているが、この数字ほどの範囲まで有効なのであろうか。

なお水田の反覆利用の際の成分の動きは数学的にモデル化が可能と考えられ、その成果を期待したい。

2) 測定値の信頼性の限界

流入量あるいは流出量は濃度と流量の積で表わされるが、各個の測定には当然誤差がつきまとう。濃度の測定の場合には、濃度の薄いほど誤差は飛躍的に大きくなる。窒素0.5ppmの測定では5%以下の誤差で測定することは困難であろう。一方、流量の測定の際の誤差がどのくらいになるのか、不詳であるが、蒸発散の推定値もあり、かなり大きい誤差が入ると考えられる。流入・流出量の合計にははたがってある程度の誤差が見込まれるであろうが、その差をとって差し引き量の議論をする場合には、その差に含まれる誤差が大きくなり（誤差の大きさは和となってくる）、結論を誤りやすく、数字の取り扱いに注意を要する。例えば、北海道の篠津泥炭地水田での推定では、開発局土木試の泉谷らによると流量の測定値の5%の違いで結論は変わり得るということである。

3) 脱窒について

今回の講演は水を通しての流入・流出にしばられている。水の汚染との関連を論議するのであるから当然である。しかし農耕地全体として窒素のバランスを考えるためには、ガスを通しての出入りは無視できない。

生物学的な窒素固定が水田ではとくに大きいことも指摘されており（公害研吉田ら）、一方、脱窒の形での損失は一般に考えられているよりも大きい。畑においてすら施肥量に対して5~40%、平均15%が脱窒するというのが通説であり、水田では30~40%、ときには50%にも達し、一般には畑より多い。たとえ肥料としてかなりの量の窒素が施用されたとしてもガスとして放出する部分が案外多く、一種の浄化のプロセスとなっている。脱窒40~50%、水稲収穫物30~40%、土壌窒素への有機化10~20%とみて行くと、とうてい溶脱が30%にもなる訳はないのであり、係数30%説は成立しないのである。

シンポジウム

カドミウム汚染圃場の整備と土地改良

館 川 洋*

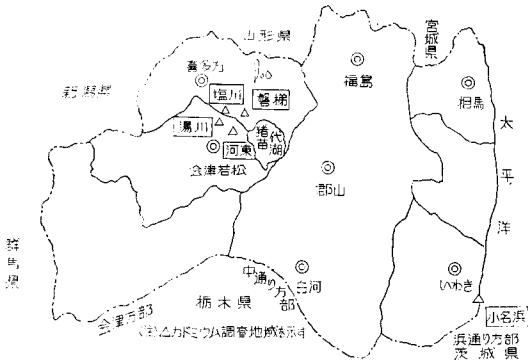
Improvement of Field Polluted with Cadmium

Hiroshi TATEKAWA

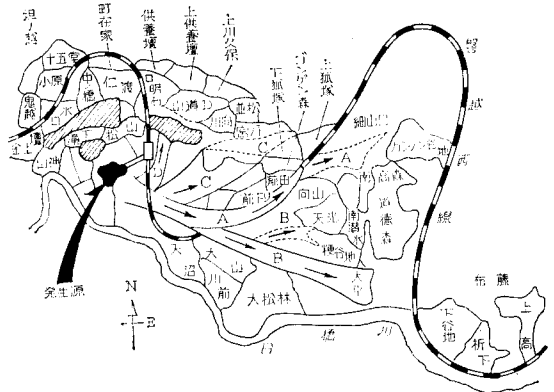
Fukushima Agricultural Experiment Station

1. 福島県におけるカドミウム汚染

県内の汚染型をみると大気型がいわき市小名浜地域と磐梯東部地域、水型は日橋川流域に大別されるが、大気と水との複合型汚染地が磐梯西部地域にみられる。(図一参照)



図一 福島県のCd汚染地域



図二 磐梯対策地域の風向

いる地域である。このCd汚染は工場から漏出するばい煙と同製錬所排水を含む用水とに由来していて、ばい煙は日橋川に沿って谷間を東西に吹く風に運ばれるため、風道に沿って汚染され、東西約6km、南北に1~2kmの幅で汚染されている。この地区の土壤汚染対策地は製錬所の東側の地域であり、工場のばい煙と亜硫酸ガスによ

磐梯地域は、磐越西線にそった山間地で、南~北西に延びる日橋川沿いの谷地で、大正5年以来操業を続けている日曹金属株式会社津製錬所のばい煙に由来し、Zn, Cu, Cd等の製錬を行なっている。工場周辺における大気汚染による被害は古く、農作物や樹木に現れる徴候は亜硫酸ガスの煙害であって、重金属による被害については調査されていなかった。昭和45年7月に昭和44年産農家保有米にCdを含むことが発見されて以来、現在はCd環境汚染要観察地域に指定されて

表一 水田土壤中の層別別重金属含量

地区	汚染型	層位	Cd		Cu		Zn		Pb	
			ppm/乾土	比	ppm/乾土	比	ppm/乾土	比	ppm/乾土	比
いわき市 小名浜	大気型	1	1.5	1	31.8	1	104.1	1	12.4	1
		2	1.5	1	22.9	0.7	86.6	0.8	10.1	0.8
		3	1.3	0.9	14.8	0.5	74.0	0.7	7.0	0.6
磐 梯	大気型	1	15.2	1	62.8	1	958.3	1	371.0	1
		2	9.6	0.6	42.0	0.7	800.7	0.8	201.7	0.5
		3	4.6	0.3	25.4	0.4	568.2	0.6	54.9	0.1
	大気 水 複合型	1	34.3	1	120.9	1	2114.1	1	711.3	1
		2	14.1	0.4	70.5	0.6	1868.7	0.9	306.2	0.4
		3	6.1	0.2	40.6	0.3	1449.9	0.7	117.3	0.2
日橋川	水型	1	7.5	1	34	1	444	1	20	1
		2	4.4	0.6	26	0.8	313	0.7	14	0.7
		3	2.8	0.4	20	0.6	154	0.3	9	0.5

* 福島農試

時期 区	分け期	幼穂形成期	出穂期	出穂後20日	成熟期	玄米Cd比
1	┌----- (0.743) -----┐					100
2	┌----- (3.013) -----┐					406
3	┌----- (1.685) -----┐					227
4	┌----- (2.771) -----┐					373
5	┌----- (2.205) -----┐					297
6	┌----- (0.807) -----┐					109
7	┌----- (2.204) -----┐					297
8	┌----- (4.080) -----┐					550
9	┌----- (4.197) -----┐					566

図-3 落水時期が玄米のCd吸収に及ぼす影響

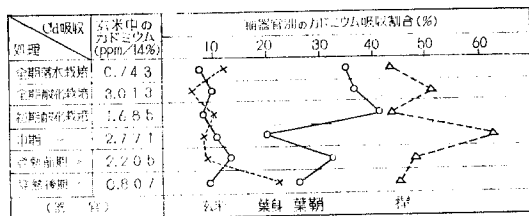


図-4 落水時期と稲器官別Cd吸収割合(%)

る大気型の汚染をこらむっている。

製錬所は、その東側に広がる起伏にとむ日橋川に沿う傾斜地を汚染している。降下cd量は風道に沿うて近く、吹きたまる地形の所に多い傾向がみられる。ばい煙には、亜硫酸ガス、Cdなどが含まれているので公害防止施設の整備をすすめている。対策地域内の風道は図-2のように4つに大別される。

水田土壌中の重金属汚染程度は表-1に示めた。地域別には磐梯<日橋川>いわき市小名浜であり、磐梯地域の複合型が最も高い値をしめている。土壌中のCd含量は作土で高く下層への移行が少なく、Cu、Pbも同じ傾向にあるが、Znは他の元素と異なり、下層への移行がみられる。

2. 水稻のCd吸収特性

(1) 水管理とCd吸収 水稻が土壌中Cdの吸収を左右する要因として還元があげられている。還元状態の調整に落水処理を行ない稲のCd吸収状況をみると図-3に示した。玄米中の含量は生育中期(幼穂形成期~出穂期)>登熟前期(出穂期~出穂後20日)>生育初期(幼穂形成期まで)>登熟後期(出穂20日以降)の順に吸収され、稲体器官別にCdの吸収割合をみると、土壌Cdの好吸収条件を与えると特異的な吸収濃縮が行なわれていることがわかる。図-4に示した。

生育初期の落水処理では葉鞘部に中期処理は程に、登熟前期処理は玄米に、登熟後期では葉身に多く吸収され

ている。従って、幼穂形成期から登熟前期の中干し~間断かん水による土壌の酸化栽培は土壌 Cdの玄米への濃縮を有利にするので、水管理に特に注意を要することになる。しかしこれは良質米生産のための根の健全化と登熟良化方策とは逆の水管理であり生産性向上の面からは好ましくない方策である。

(2) 降下Cdによる玄米汚染 大気型汚染地における降下Cdによる玄米汚染の程度を明らかにすることは、土壌改良後の再汚染防止の面からも重要であり、玄米汚染経路を判定する指標にもなる。

表-2 純降下Cdに由来する玄米のCd汚染割合(1973)

品種	稲の生育ステージ			常時灌水栽培区		酸化栽培区*			
	幼穂形成期	出穂期	成熟期	Cd濃度	降下Cdに由来比	Cd濃度	降下Cdに由来比		
1	[Bar]			0.206	0.142	100	0.335	0.280	100
2	[Bar]			0.119	0.055	39	0.150	0.095	34
3	[Bar]			0.105	0.041	29	0.140	0.085	30
4	[Bar]			0.164	0.100	70	0.234	0.188	67
5	[Bar]			0.135	0.071	50	0.148	0.093	33
6	[Bar]			0.064	—	—	0.055	—	—

注 [Bar] 汚染地: [Bar]

* 葉面吸収と一部表層根吸収を含む。

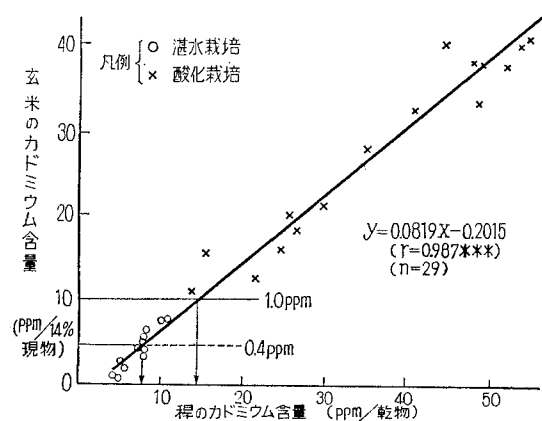
表-2に降下Cdによる葉面吸収時期が玄米汚染にどのように影響しているかを明らかにするために、ポット栽培した水稻を、生育ステージ別に非汚染地、汚染地間の交換を行なって、その反応を調べた。

純降下Cdによる水稻の葉面吸収では、葉身に多く集積し、ついで葉鞘に多く、茎、玄米、根の順に減少している。この分布の様子は経根的に吸収させた場合と異なっている。葉面吸収でも茎根吸収でもCdは吸収部位に多く、そこから遠く移動していくにつれて減少するようなパターンである。表-2に示したように、降下Cdによる玄米汚染は、全期間汚染地に栽培した場合、常時溝水栽培で0.142ppm、中干し~間断かんがい栽培(葉面及び表層根からのCd吸収を伴うものと考えられる)で0.280ppmを示した。水稻の生育時期別にCdの玄米汚染度をみると、登熟期間の汚染が約70%、それ以前が約30%となり、登熟期間の降下量を減少させることが対策として、必要になる。このことから水稻の生育時期別に純降下量を測定しておけば、大気型汚染による玄米汚染の程度を予測することが可能となることが明らかになった。

(3) 経根吸収による玄米Cd汚染の簡易予測

Cd汚染土壌から水稻が経根的にCdを吸収する場合は、稲体の各器官別Cd含量をみると、根>葉鞘>葉身>玄米の順に減少し、濃度勾配がみられる。そこで玄米Cd含

量と稈（葉鞘を含む）Cdの含量との相関が高いことを利用してCd汚染米の簡易予測の可能性を検討した。結果を図一5に示した。出穂後20日の稈中Cd含量と玄米中Cd含量とは高い相関関係が認められ、稈のCd含量が15ppmを越えなければ玄米のCd含量は1ppmに達しない。又稈のCd含量が7.5ppm以下では、玄米のCd含量は0.4ppmを越えないことが分かった。予測に使える出穂後20日の時期よりも少し早い時期についても現在現地適用性を検討しているが、出穂期でも予測できる可能性は明らかになったが、この場合の相関係数はやや劣るようである。玄米中のCd含量を早期に予測できれば、高Cd汚染米が生産



図一5 出穂後20日の稈と玄米のCd含量との関係

される可能性の水田に対して水管理などによるCd吸収抑制対策を指導し、高Cd汚染米の生産量を減少させるとなど有利な点が多い。だからといって、抜本的な改良対策を講ずる必要のあることは論をまたない。

3. 水稻のCd吸収抑制方策

Cd汚染水田土壌の改良方策としては、表一3に示したが、汚染物質の除去（排土、用水調節、植物による吸収除去、洗浄除去など）汚染物質の陰べい、希釈（客土、転圧、汚染土埋没、反転、混層など）、汚染物質の不活性化、作物吸収抑制（土壌改良資材、水管理、品種選択、土地利用変更など）などが汚染水田土壌の改良方策（多田）考えられる。又対策工法からみると区画拡大を伴うものや、現況区画に復旧するものなどがあり、用排水路の分離、取水施設などに対する処置も汚染の形態などによっても異なってくるものと思われる。

(1) Cd汚染水田土壌の改良資材による水稻の吸収抑制効果 土壌改良資材としては、りん酸資材、アルカリ資材、有機物施用によるCd吸収抑制効果を異なる水管理条件下で検討したのが表一4である。

常時湛水栽培下ではよりりん酸の多施用、珪酸多施用による土壌酸度の矯正による効果が認められるが、中干し～間断かんがい栽培下では、生育、収量は向上するが玄米のCd吸収抑制には効果なかった。このように水稻の根の健全化をはかり品質のよい玄米生産に結びつくような水管理をすれば玄米中Cd含量は著しく高まり、土壌改良資材の施用効果を期待することはできない。

(2) 反転耕深によるCd吸収抑制効果 Cd汚染田を表層から25cmと40cmにそれぞれ反転耕深を行ない作土中のCd含量を希釈し低下させた場合のCd吸収抑制に対する効果を検討したのが表一5である。反転耕によって作土中のCd含量は反転耕深が深いほど減少するが、逆に透水性の増大、pHの低い下層土が作土層に混入、などによる土壌還元未発達、かえってCd吸収を促進する結果に

表一3 Cd汚染水田土壌の改良方策（多田）

原土・表土の扱い	下層土の扱い	転圧の有無	客土後の改良資材の有無
1. 排土・客土	1. 混層（転圧）	1. 客土・汚染土有	1. 表土有
2. 上のせ客土	2. 反転（転圧）	2. 客土無・汚染土有	心土有
a 基盤切盛後客土	3. 無処理（転圧）	3. 客土有・汚染土無	2. 表土有
b 攪拌・転圧後客土		4. 客土・汚染土無	心土無
c 混層・転圧後客土			3. 表土無
d 表土じめ後・客土			心土有
3. 表土はぎ（心土じめ無客土）			4. 表土無
4. 混層			心土無
5. 反転			
6. 表土心土入換			
7. 排土・無客土			

（注）2-d, 5, 6, 7 は事業例がない工法区画整理の有無の要因によっても分類される。

表-4 土壤改良資材によるCd吸収抑制効果

区 番 号	重金屬 濃度 /14% 現物	Cd 濃度 (ppm/14% 現物)			Cu 濃度 (ppm/14% 現物)			Zn 濃度 (ppm/14% 現物)			Pb 濃度 (ppm/14% 現物)		
		澁水	酸化	酸化 / 澁水	澁水	酸化	酸化 / 澁水	澁水	酸化	酸化 / 澁水	澁水	酸化	酸化 / 澁水
1	無改良区	0.400	3.111	7.84	25.4	70	1.131	3.33	5	1.1	0.322	0.331	1.0
2	りん酸少量区	0.440	2.970	6.84	30.4	48	1.031	5.34	3	1.1	0.341	0.473	1.4
3	中量区	0.215	3.018	14.04	40.4	62	1.129	7.38	1	1.3	0.384	0.470	1.2
4	多量区	0.194	3.622	18.74	15.4	54	1.129	7.32	9	1.1	0.374	0.364	1.0
5	pH7 矯正区	0.152	4.022	26.54	01.4	39	1.131	7.35	2	1.1	0.439	0.330	0.8
6	pH8	0.217	3.672	16.92	99.4	43	1.525	7.34	4	1.3	0.487	0.578	1.2
7	稲わら少量区	0.213	3.602	16.93	44.3	89	1.129	2.31	3	1.1	0.404	0.379	0.9
8	多量区	0.665	3.259	4.93	32.4	22	1.330	2.33	9	1.1	0.352	0.408	1.2

表-5 反転耕深によるCd吸収抑制効果

区 番 号	項 目 区 分	収量(kg/a)		玄米中重金屬含量				重金屬吸収総量 (mg/m ²)			
		玄米重	ワラ重	Cd	Cu	Zn	Pb	Cd	Cu	Zn	Pb
1	無処理区	33.33	47.76	0.109	2.43	29.79	0.488	2.45	2.39	76.6	11.20
2	土壤改良区	38.92	49.22	0.197	2.37	29.79	0.493	2.59	2.50	83.0	9.96
3	25cm反転耕深区	41.07	47.65	0.162	2.03	37.05	0.537	2.66	2.84	99.8	11.58
4	40cm	34.44	43.61	0.223	2.26	35.82	0.460	2.19	2.91	65.5	10.17

表-6 客土深とCd吸収抑制効果

区名	項目 調査 地点	土壤中のCd濃度 (ppm)			玄米中の重金屬濃度 (ppm/14% 現物)				収量(kg/a)	
		新作土	旧作上	旧作上 下15cm	Cd	Cu	Zn	Pb	玄米重	ワラ重
客土25cm	A-1	0.21	36.77	19.80	0.080	3.44	23.26	0.625	58.3	85.0
	A-2	0.27	32.22	40.07	0.073	3.39	23.80	0.543	55.6	83.9
	A-3	0.20	34.75	35.91	0.097	3.89	23.85	0.543	66.7	110.5
	A-4	0.20	1.90	2.26	0.090	4.58	21.84	0.504	47.8	86.1
	X	0.22	26.41	24.51	0.085	3.83	23.19	0.554	57.1	91.4
客土30cm	B-1	0.20	21.52	31.58	0.073	4.40	23.51	0.592	46.1	6.67
	B-2	0.19	12.92	44.84	0.075	4.09	24.19	0.504	49.4	67.8
	B-3	0.21	5.70	1.67	0.083	4.08	21.40	0.460	30.0	55.0
	B-4	0.14	1.72	1.38	0.092	4.12	24.97	0.515	34.4	75.5
	X	0.19	10.47	19.87	0.081	4.17	23.52	0.518	40.0	66.3
客土40cm	C-1	0.19	25.00	40.88	0.070	4.02	23.55	0.515	60.5	82.2
	C-2	0.20	17.62	28.39	0.083	3.76	27.13	0.537	47.8	50.6
	C-3	0.21	39.30	1.36	0.080	4.19	23.21	0.482	55.0	68.9
	C-4	0.20	4.12	1.33	0.091	3.55	23.09	0.537	53.9	73.3
	X	0.20	21.51	17.99	0.081	3.88	24.25	0.618	54.3	68.8

* 1区画内の切盛土部も調査

なっている。玄米中のCd含量の3カ年間の変動をみると栽培年次によるふれが大きく持続効果が劣っている。

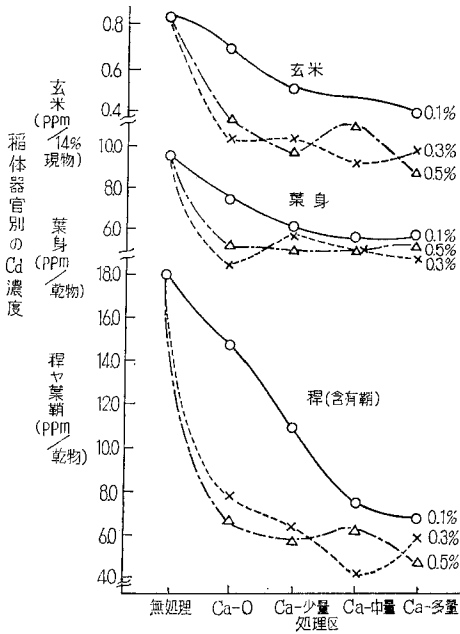
(3) Cd吸収抑制剤による吸収抑制効果 Cd汚染水田

土壤の改良方策の1つとして土壤中のCdを選択的に不活性化させる資材の開発利用が考えられる。使用したALM剤は日本曹達で開発した資材であり、黄褐色の水溶性の液体で比重1.15、pH約11、硫黄を含む有機物を主成分としている。検討した結果は図-16に示した。玄米中Cd含量は無処理区の0.832に対してALM剤0.3~0.5% (容量) 処理区でいずれも0.4 ppm以下となり顕著な抑制効果がみとめられた。又、ALM剤とCaCO₃剤を併用すればCd吸収抑制効果が更に高まる。これらの資材の開発には今後の研究に待つところが大きい。客土工事との併用とか、客土工事が地域的に場所的に困難な所とか、低Cd汚染地などでの活用が考えられる。

(4) Cd吸収抑制に対する客土量 Cd汚染土壤の抜本的な改良として客土量を検討した。結果は表-6に示した。

工事は段々の水田を15a区画に基盤整備し十分にブル転用し(山中式硬度計で約20mm以上を目標)して透水性を減少させ、客土(安山岩風化土, CL, pH5.7, CEC16.0me, P吸2130の非汚染土)を25cm, 30cm, 40cmの3段階で検討し10a当り珪酸石灰200kg, ようりん600kg施用し、水稲は一般栽培法に準じた。

その結果客土深は25cmで充分効果がみとめられ、基盤整備時に下層土のブル転用は、漏水、透水を抑制し土壤還元を促進し保持することが大切である。一作跡の根系



図一六 ALM剤によるCd吸収抑制効果

分布調査をみると、客土深より25cm以下の層には殆んど侵入していなかった。しかし、熟田化の進行と共に構造が発達し、下層土のCd汚染土部に根が侵入することが予想されるので、下層土のブル転圧程度は侵入する根量、土壤還元維持などの面から検討されるべきであり土壌の性格によっても異なる。この場合のように25cmの客土では下層土の土壤硬度(山中式硬度計のよみ)として24mm以上必要であることが明らかになり、現場含水時でのブルによる転圧回数が重要となる。

4. 汚染対策地域の土壌改良法

汚染地域は未整理の半湿田が多いので、土地改良を行なうに当たっては区画を15~20aとし乾田化して中型農業機械を導入して一般的管理、特に中干~間断かん水を行ないきれいな米を多収するようにする。そのため耕深は18~20cmでも下層汚染土が作土層に混入しないように計画した。

その対策事業の概要は次のようである。

- (1) 区画—1区画を15~20aとする。現在の汚染田を均平化しグラウンドを造る。
- (2) 転圧—均平面をブルで充分転圧し、漏水、透水を抑制する。下層土の還元化の促進
- (3) 畦畔、進入路の築立—非汚染土を用いて築立する
- (4) 客土—安山岩風化土を代掻後の厚さ25cmを保つように非汚染土を客入する。
- (5) 土壌改良資材の施用—よりんを用いてよりん酸

吸収係数の3%とするように600kg/10aを20cmに混入する。珪酸石灰は200kg/10a施し、よりん同様に20cm深さに混合する。

(6) 肥培、管理は水稲多収栽培法による。

(7) その他、道路、水路から汚染土の混入しないように考慮する。また用水不足を来たすことのないように確保するとともに用排水路を分離する。

以上のことが対策事業の概要であるが、これらの対策を実施するにあたって、次の点が問題になった。

造成された基盤は、区画整理時の切盛によって、コーン支持力、土壌硬度などに変化がみられ、特に盛土部ではホイールトラクターの進入に支障をきたすほど基盤が弱いので、土壌の性格と現場含水比を考えた転圧の方法を確立すべきである。水田への進入路、畦畔は客土を行なう前に客入土でおおい汚染土の客土への混入を防ぐこと。田区差のあるところでは暗渠排水を工事に含めて行なうことも考慮する必要がある。工事中降雨があると客土母材運搬のトラックがめり込み、客土を汚染する恐れがある。土壌改良後、年数の経過と共に土壌構造の発達、下層土の転圧と水稲根の侵入、などが客土後の耐用年数に影響を与えることになる。又仕上り精度の高い土壌改良工事が要求される点は通常の土地改良事業とおもむきを異にする。

コメント

岩手大農学部 馬場 秀和

館川氏の発表された磐梯地区は煙害による大気型Cd汚染地であり、汚染源の製錬所は今日も操業している。今後の汚染をも考えた細密な調査研究に敬意を表したい。

Cd汚染は場の更生工法として化学的にCdを洗い流したり、不溶化したり、あるいは植生を用いて選択的に吸収させたりする方法の研究も行われているが、現在可能な方法として実施されているのは汚染土の上に非汚染土を上のをせる客土方式である。

磐梯地区においても客土方式による対策工事が行われた。発表の終りに指適された問題点の中から

①は場整備により基盤を造成しその上に客土を行った場合の土壌構造の発達と耐用年数、

②水稲根の伸長と下層土の転圧の関係の2点について私達が茨城県七会村で行った工事例と関連させて述べてみたい。

当初、私達の役割は純農業土木的な「対策工事後の減水深を20mm/day以下におさえる」という点にあった。それがいろいろ勉強していくうちに「漏水防止のための破碎転圧工法によって造成された汚染土の耕盤層(約20

cmの均一な厚さをもつ)はCd対策工事として重要な役割をもつ」との考えに至った。それは汚染土の還元化とその持続性に関しきわめて有効であろうということである。

七会村の例では作村期間中における原土耕盤の $\alpha-\alpha'$ ジピリジル反応は中干期も含め全期間中Gの反応を示した。また、長期間の耕盤の耐久性については、8年前に破碎転圧工法により造成された岩手大学滝沢農場の水田の調査では、耕盤のコーン支持力は開田時と比べ変化がみられず、減水深の増大がみられないことからその永続性が保障されるものと考えられる。

水稻根の侵入は山中式硬度計の読み20以上の客入耕盤をも貫通し、硬度20~24の原土耕盤中にもみられた。この侵入根の活性は盛土部、切土部に明瞭な生育差(収穫時約1週間のずれ、収穫量において約3俵/反の盛土部における増収)を生ずる程のものであった。盛土部に於ては原土耕盤は旧表土でつくられておりチッソ分に富むものである。この層からの養分吸収が上述した程の生育の違いを生じさせた事実は明らかである。しかしこの個所から採取した玄米中のCd濃度は0.05ppmと低く、切土部の0.04ppmともほとんど変りない。又ある水田では盛土

部0.00ppm(検出されず)切土部0.02ppmとの結果も出ている。

これらの調査研究は茨城県農試と共同で行っているものであり、原土耕盤中のCdの不溶出をさらに明確にすべく、根中Cdの測定、耕盤中のCdの溶出量の測定などが行われており、その結果も上述のデータを裏づけるものであった。

七会村の更生工法としては客土厚25cm、うち10cmは客土耕盤(根の侵入防止を目的としたが、上述のようにその効果は少なかった)となっており、玄米Cd濃度は昨年の平均0.056ppm、今年は0.055ppmであり最高値もそれぞれ0.19ppm、0.15ppmと許容基準0.4ppm(準汚染米)を下まわるものであった。

秋田県雄物川流域や富山県神通川流域にみられるように、一地区の要対策汚染水田が1,000haを越す場合もあり、これらの地区については客土材の不足、客土運搬によって左右される工期の長期化などの問題が考えられる。このような現実的視点もふまえて客土厚の削減の可能性に関する研究も今後進められるべきであり、その点からも汚染土そのものをいかに処理するかについてさらに目がむけられねばならないと考える。

質疑応答と総合討論

司会 鈴木重義（農工大） 増島 博（農事試）

講演者 コメンテーター

半谷 高久（都立大）

松崎 敏英（神奈川農総研） 尾形 保（草地試）

有水 疆（林試） 大井 節男（農土試）

田淵 俊雄（茨城大） 越野 正義（農技研）

館川 洋（福島農試） 馬場 秀和（岩手大）

質疑応答

豊田（東京農大） コンポストにする材料で、木片や木皮が考えられるが、問題はないのか。リグニンが多く肥料としては不向きであると聞いているが。

松崎 一般に針葉樹より広葉樹の廃材の方がよい堆肥ができる。廃材の炭素率は、樹種によって100～1,000にもおよぶ大きな差があり、有害物質の量も異なる。

材堆肥化の問題点は、次の2つに集約される。

- (1) 炭素率が高い場合の農作物の窒素飢餓
- (2) 廃材中に含まれるフェノール性酸、リグニン、及び精油などによる農作物被害

これらの問題点を同時に解決するには、窒素源を加えて堆積し、炭素率を下げると同時に、好熱性バクテリアによる60～70℃以上の高温で、有害物質を分解する必要がある。窒素源としては、鶏ふん、尿素などが用いられている。

堆積期間は、樹種や窒素源の種類及び量などによって異なるが、2～3カ月60℃以上の温度を保ち、時々切り返しを行う。5～6カ月間堆積し、よく腐熟させれば問題はないようである。

今のところこれといった熟度の判定法はない。

非科学的なようだが最も確実な方法は、堆積物に草が生えたりミミズが住みつけば、まず安全といえる。

鈴木（農工大） 講演の主旨は、家畜の多頭羽飼育により発生する糞尿の処理施設として見た土壌の可能性についてであると思われる。作物生育基盤としての機能を期待する場合の施用可能最大量の見通しはどの位か。また、実験は、一回施用した後の経年変化を見ているが、経年施用したらどの位が限度か。

松崎 農地に対するふんの施用は、農作物にとって有害な量でありかつ生産物の品質が不良であってはならない。

ふんを農作物に対する養分の供給源と考えるならば、自らふんの中に含まれる無機成分の肥効を化学肥料と対比して、検討すべきであると思う。

ふんの化学肥料に対する肥効は、牛ふんで窒素30～40%、りん酸60%、カリ90%である。豚ふんは窒素70%、りん酸70%、カリ90%、尿は家畜の種類に関係なく、各要素とも化学肥料と同等、すなわち100%の肥効が期待できる。また元肥に対するふんの施用量は元肥の60%程度にとどめあとの40%は、化学肥料でおぎなう方が安全である。ふんは比較的速効性だからである。

この数字は、あくまでも一作のみを対象に考えたものであるから、継続して施用するときは、肥効は変わってくる。

ふんだけを継続して施用しても、ほぼ満足すべき農作物収量が得られるが、その場合の施用量は、化学肥料による農作物別施肥基準より、30～50%増施すれば、まず問題はない。

農地をふん尿の処理場所と考えた多量施用は農作物の生産を著しく不安定にし、食糧や飼料の栄養価に問題を生じる。

湯村（野菜試） 地形が複雑で下層の土壌構造が発達不十分なわが国の場合、土壌散布された生活廃水が比較的浅層で横流れて、付近の表面流水等を汚染するおそれが大きくないか。

有水 アメリカでは平地、山林原野である。投入した処理水の回収は、傾斜のある方が便利と考える。オーバフローする程まけばそうだが、スプリンクラーではだじょうぶであろう。やはり土壌の性質、植生、傾斜を考えないと意味はなかりう。

須藤（茨城大） 土壌処理を行なう場合、BOD 20ppm以下の汚水処理ではどのような結果になるか。

有水 土壌処理の大きな特徴の一つは、低濃度のBODに対して非常に有効に作用するということである。それは他の水処理技術に見られない技術であって、しかも非常に安く完全に処理することが可能である。

高倉（東京大） 排水の土壌処理というが、どの程度の規模を考えられているのか。コメンテーターの注釈と関連して説明していただきたい。また、アメリカ等でおこなわれているという事例について、すこし説明していただきたい。

有水 JACOBの論文によると、12から20マイルの幅をもち、60から70マイルの長さで、400フィートにもおよぶ帯水層の集合体よりなる地下水を実験に用いているので、現在の計算技術では関東地方位の拡がりについて計画することは不可能ではない。

熊沢（東京大） わが国では土壌処理についての認識が乏

しいといわれたが、昔からし尿を土壌で処理していることについては、どのように考えられるか。

有水 成程し尿についての土壌処理については、お説の通りであるが、私が主張していることは汚水ないし処理水であって、汚水の場合に堅穴浸透を許可しているのに、表層での浸透を許可しない行政機関がすくなくない現状を批判しているのにすぎない。

湯村 p.18の表のN浸透量ををはかるのに水を採られた深さは何cmか。

田淵 深さ20cmに埋めた採水チューブにたまった水を供試した。

山根（島根農試） 昭和48、49年の供試圃場土壌のCECとリン酸吸収係数をおしえていただきたい。

田淵 昭和49年度の水田のN吸収係数は503、リン酸吸収係数は1720で、昭和48年度は測定していない。

総合討論

小林（北里大） 糞の投与方法（試験法）について知りたい。また、糞、堆肥などの如き固型物を投与方法は、永年草地のような耕うん作業を行なわない農地では、根圏土壌の物理性を変化させうるか。

松崎 牛、豚鶏ふんとも、排泄後間もない新鮮なものを表面散布し、耕土15cmと混合し試験を実施した。

草地に対するふん尿施用については、経験がないので、何ともいえないが、尾形さんなどの研究では、フィードロットなどのふん尿多施用土壌では、作土直下に硬盤ができ、透水性に問題を生ずるといわれている。

一般的な草地では、作土中に有機物を入れるのは、難かしいと思うが、適量の有機物の施用は、微生物の活性度が高まるなどの理由で、無施用よりは、土の物理性は、良好になるものと思われる。

中村（長野農試） 御講演中の「糞の多投入とpF-水分曲線」の図表に関連して質問する。水分表示では差がなくなるか、逆に小さくなるのではないか。その場合、有効孔隙（有効保水量）として考える場合、土壌の膨軟化をどう考え、根圏の拡大をどうとらえたらよいか。測定時点によってデータが変動すると思うが、表示のデータの測定時点と、測定値の変化の状況について、教えてください。また、糞の多投入土壌のpF 3.0以上の水分曲線の検討があったら御紹介いただきたい。

松崎 含水比よりも水分率（容積%）の方が差は小さくなる。図表に%と表示したのは容積%で御指摘のとおり。また過度の土壌の膨軟化は、むしろ粗孔隙を多くすることになるので、問題がある。

測定時点の変動は十分考えられる。残念ながら今回の

土壌分析はいずれも、毎年採取した6カ年間の調整試料について実施したものである。生土については目下検討中である。

ふん多量施用におけるpF 3.0以上の水分については十分なデータのもちあわせはない。

増島（農事試） 有機物の投入が土壌の物理性に与える影響は、有機物自体のもつ性質に期待される面が強いように思われる。ハウスで有機農法を実践している農家でもそれを見聞した。

鈴木 処理施設としての土壌の性質を追求しているものと見た。肥料としての見方より処理能力であろう。その点から毎年施用できると、どの位の量が限界か。

松崎 青刈トウモロコシ、イタリアンの例はあるが、作物によって、土壌によってちがう。多量還元によってむしろマイナスになっていく面がわかってきた。水が充分やれるハウスのようなものならいいが、露地でやるとなると、農作物に対する養分の供給源の最大が、糞の施用限界と思う。何トン還元できるかはいえない面がある。

須藤（茨城大） 谷津田では地下水の反覆利用が行なわれているが、地下水質はどういう状況か。

田淵 浅層地下水の水質は水田の浸透水とほぼ同じであると考えられる。深層地下水の水質は測定していない。

増島 それに関連して、水田における肥料流出について地下水に与える影響は、水田地帯の浅井戸（10cm以内）の水質でも、田淵さんのお話にあったような施肥の影響によるNのピークが認められる。ただし、ピークの高さは小さくかつ地間的にズレが1ヶ月程おくれであらわれる。

山根 肥料の地表流出、地下流亡は河川、湖沼附近の水田のCEC、リン酸吸収係数によりパターンが異なると思うが、どのようにお考えになっているか。

田淵 リン酸の浸透部分については大きな影響をもつと思う。

熊沢（東大） 施肥時に田面水を排水溝に直ちに落すのは、一般的かどうか。次々と、田から田へと水がわたっていくケースが普通ではないか。その場合どうか。

田淵 一般的かどうかは調べてみなければわからない。しかし田植のための浅水で落水するので、農家が自然に浅水になるまで待てない労働事情を考えると、今回の結果を特殊な事例とばかりはいえないだろう。

渡辺（千葉農試） 昭和48、49年の試験の水収支について各項目毎にmmで知りたい。併せて、昭和49年の試験開始前と終了時の水田土壌中のNおよびP含量を知りたい。

田淵 昭和48年はかんがい水1,200mm、雨300mm、浸透800mm、地表流出60mm、蒸発散700mm、昭和49年は、かんが

い水200mm, 雨600mm, 浸透100mm, 地表流出300mm, 蒸発散500mm。試験開始前の作土中のT-Nは395mg/乾土100g, 終了後は819mg/乾土100gである。

村上(島根農試) 畑地における肥料の流出はどの程度か。家畜ふん等多量に施用した場合生成するNO₃の行方はどうなるか。また, これは環境汚染にどう影響するか。

越野(農技研) 畑地における溶脱量については, 茨城県農試での試験があり, 施肥量350および600kg/haであっても, いずれも溶脱量は5%と実測されている(10×25mの畑, 深さ1mの部分での測定)。この数字は, TVAのHauckが各種の試験をまとめて, 仮説として提出した畑土壌での窒素収支の中で示した溶脱一流去を4%とした値とよく一致している。

松崎 家畜ふん尿の多量農地還元で, とくに問題となるのは, 窒素の動向と思われる。ふん尿の分解の結果生ずる無機態窒素は, 比較的速かに硝酸態窒素に変化して流亡し, 地下水に達するものと思われる。

少量の場合は問題ないが, 多量施用では, 当然問題となる。

ローム層の厚さが約7~8mの畑地に, 尿汚水を継続して5カ年間浸透させた場合は, 約10mのボーリング調査を行なった。その結果, 硝酸態窒素は塩素とほぼ同様な分布が確認された。

土壌に対して, ふん尿を施用すると, 窒素の一部は窒素ガスまたは亜酸化窒素となって, 大気中に脱窒することを確認したが, 多くを脱窒に期待することはできないようである。

福士(農技研) 畜舎から出た尿汚水を畑土壌に連続浸透させている圃場で調査を行なった結果をいえば, 土壌層を約1m浸透させると無機態窒素は約半分減少するが, これには脱窒が関係していると考えられる。さらに2~3m下の地下水のN濃度は約100分の1に下がっている。これは地下水中への拡散, 地下水の移動による稀釈効果によると思われる。いずれにしても水田同様, 畑土壌中の水の動き(地下水を含め)を知ることが収支を明らかにするために必要である。

越野 硝酸の問題が有機物多量投入あるいは排水の土壌処理に影響してくるのではないかと考える。地下水中での硝酸濃度が高まったり, 野菜, 牧草中での濃度を上げることなしに, 物理性が改善されるほど有機物が入りうるものであろうか。化学的側面で制限されないだろうか。この点で堆肥化は負担を減らすであろう。排水の土壌処理にしても硝酸の問題を考えることは必要で, それが地下水に累積する条件下では困る。安易な土壌処理を考えた場合には, 地下水に硝酸が移行することが考えら

れよう。水田から硝酸の排出が少ないことは, 水田の環境保全上に果たす有利性を示すものである。

高倉(東大) 濃度と負荷という考え方, 霞が浦という具体的な地域に即してもうすこし, 具体的に説明していただきたい。

田淵 たとえば低濃度で湖の汚濁をもたらさないような水(山地流出水のような)でも負荷は大きいので, 負荷だけで論ずると汚濁層のようになってしまう。肥料の流出も負荷だけでなく濃度も一緒に考える必要がある。

茅野(東大) 排煙にともなう重金属汚染のあるところでの還元された土壌の有効年数というか, 耐用年数ほどのくいを想定されるか。現実には還元後の汚染の進歩状況はどのくらいか。還元土壌の深さ25cmというのはどのくらいの変動幅をもっているのか。

館川 カドミウムによる大気型汚染水田の還元工事については, 過去に例をみないので問題はあと思うが, 耐用年数として約30年は耐える工法を想定した。大気型の場合は還元後の再汚染の防止につとめなければならず, その意味からも排出基準値の上乗せ, 公害防止施設の整備など十分な対策が必要となる。客土は代播後の厚さ25cmを確保できる量と決め, 工事施行にあたっては±5cmの変動幅とした。あらかじめ実験的に客土母材を使って現場含水比でつきかため試験を行なって, 土量を決定した。客土後の調査では25cmをほとんど越えていた。

安富(茨城大) 客土には透水性のよい土を入れることはどうか。

館川 還元後は, 水稻生育の安定, 収量の良質多収が得られなければならないので, 生産性の面から適当な母材を検索するのが現状では困難だろう。また, 透水性を附与することによって, 土壌が酸化的となりカドミウムの吸収を助長すること是不適当である。収穫作業機の導入の面から表面排水処理が容易に出来る方法なども検討されるべきであろう。

馬場(岩手大) 酸化栽培とはどのような水管理を行なったのか。一般圃場での地盤の締め固めはどの程度行なったか。

館川 酸化栽培とは, 田植~最高分けつ期までは常時湛水栽培を実施し, 最高分けつ期以降は3日湛水し4日落水処理を行なう水管理で水稻を栽培した。区画の拡大を行ない基盤を14t湿地ブルで転圧した。転圧の目標は山中式硬度計のみめで24mm以上とした。

尾形(草地試) 最近, 各種汚泥や畜産廃棄物などの有機物あるいは汚水の処理とそのRecyclingによる資源活用の立場から, 土壌の利用が大きな注目を浴びるようになってきた。この問題は特に土壌に直接関与してない人々から大きな期待が掛けられているように思われる

が、土壤関係者も真正面から取り組むべき基本的な重要問題と思われる。

しかしこの際留意すべきは、まず土壤は「母なる大地」として人類の食糧生産に不可欠の場であることである。このことは当然何よりも優先的に考慮すべきことで、前述のような汚物処理の場として土壤を考えると、食糧への汚染防止を第一義的に重視すべきことを意味する。つぎに留意すべきことは気圏、水圏に比べての土壤の物理的量の微小なことおよびその中の物質変化の遅い事実である。気圏は全地球を少なくとも1万m以上の厚さで覆い、水圏は平均約5,000mの深さで地球表面の70%を占めている。しかし土壤は地球表面の1/3の陸地に、過大に見ても1~10mの厚さで分布するに過ぎない。

地球の規模で見た場合、土壤の物理的量がこのように微小に過ぎないのみでなく、その中の物質の移動、変化は一般に巨視的に見れば、気圏、水圏に比べて著しく遅いことは周知の通りである。

特に土壤中では各種物質変化の媒体ともなるべき水や気体の移動、存在様式は微粒子界面に囲まれた場で行われるという特徴があり、まさに土壤の物理性の関与するウェイトはきわめて大きいのである。

食糧生産基盤としての土壤を守り、生活および産業廃棄物処理の場としての土壤の合理的利用のために果すべき土壤物理研究の役割りはきわめて大きいものが感じられる。

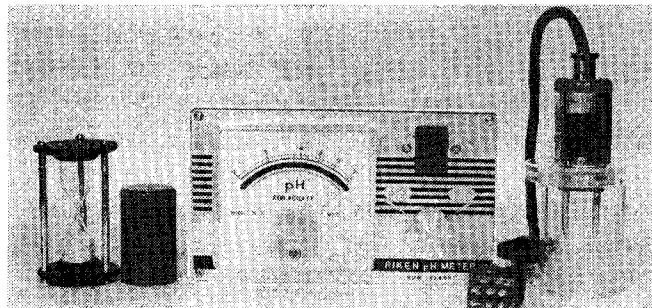
〔水分〕

理研式簡易水分計

〔pH〕

理研式簡易pH計

土壤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

CALCULATION OF INTERPARTICLE ATTRACTION FOR CLAY SOILS FROM WATER RETENTION CURVES

B. P. WARKENTIN*

ABSTRACT

The nature of the water retention curve for a clay soil is determined by interparticle forces. It is possible, with some assumptions of undetermined validity, to calculate the value of interparticle attraction from the measured water retention curve. If water retention is assumed to be the net result of interparticle attraction and repulsion, and if repulsion is measured or calculated, the attraction can be determined. The values for interparticle attraction obtained in this way are consistent with other known physical properties. Relative values of interparticle attraction were also calculated for different soils from the increase in interparticle attraction under different levels of sample compaction during preparation. It is suggested that interparticle attraction calculated from the water retention curve can become an important property for characterizing soils.

INTRODUCTION

One of the important properties of soils is that the constituent particles are held together in a porous structure. The extent to which the particles resist movement into a less porous arrangement is an aspect of aggregate stability. However, we know little about the forces which hold soil particles together. Organic matter and sesquioxides are important, but there are also interparticle bonds between clay particles. The absence of interparticle bonds for silt-size particles explains many of the undesirable physical properties of high-silt soils.

There is no direct method for measuring interparticle attraction. The various indirect methods are unsatisfactory. Aggregate stability or resistance to slaking measure interparticle attraction but are also dependent upon other factors.

In this paper an attempt is made to calculate interparticle attraction from measured water retention curves. Several methods are suggested, but they all depend upon the concept that the water retention curve has components due to attraction and to repulsion between clay particles. A separation of these components results in a calculated value of the magnitude of the force of interparticle attraction.

The strength and coherence of a clay aggregate is the net result of attraction and repulsion between clay particles. This is expected from the predicted behavior of a model of interacting clay particles, and has been shown experimentally by Emerson's (1952) method of measuring aggregate stability by gradually increasing interparticle repulsion until the aggregates break. For a saturated swelling clay soil, the water retention curve is also a volume change curve, i. e. the change in water content results in a change in volume (Warkentin, 1962). The force of attraction which limits swelling therefore also limits water retention. The volume change and water retention curves are identical if the soil remains saturated. If the present saturation decreases, the volume change is less than the water content change. The water retention curve is a fundamental property of the soil, since it is determined by the interaction between soil and water. It is, therefore attractive in principle to use the water retention curve to calculate other soil properties which depend upon soil-water interaction. Usually we use the general shape of the curve in a qualitative way to characterize soils, although the high suction end of the curve has been used for quantitative analysis of adsorbed water (van Olphen, 1963). In this paper, the water retention curve in the range of 1 to 10 bars suction will be analyzed quantitatively

* McGill University, Canada

Since the volume increase on swelling, and hence the volume of water retained, is limited by the force of attraction it is in principle possible to use the water retention curve to get a measure of an interparticle attraction. Three different approaches will be used in this paper. In the first two it is assumed that the water retention curve is the net result of interparticle repulsion and attraction. Repulsion is obtained by a theoretical calculation or by experimental measurement. In the third approach, increases in interparticle attraction are calculated from changes in the water retention curve on increasing compaction of a soil sample. All three methods have assumptions of unknown validity. Despite this, the values calculated are reasonable and appear useful in characterizing soils.

RESULTS AND DISCUSSION

1. Calculated and Measured Repulsion

For saturated clays we will assume that the measured water retention curve is the net result of repulsion and attraction between particles. This has been discussed by several authors, for example Childs (1956) and Warkentin (1962). The repulsion can be assumed to equal the measured swelling pressure, or the repulsion can be calculated. The only model for a swelling clay which can be used to calculate the amount of swelling is the diffuse ion-layer model (Yong and Warkentin, 1975). The diffuse ion-layer model is quantitatively applicable only to certain end-member systems, such as sodium or lithium saturated montmorillonite. But since it is the only model which allows a calculation, it will be used here. Any values calculated for force of attraction will be in error by the error in the calculated repulsion.

The values for interparticle (Table 1) were

Table 1 Interparticle Attraction, in bars, for Leda Clay

	Suction (bars)			
	0.01	0.1	1	3.2
Calculated repulsion	0.5	0.6	0.6	0.7
Measured swelling pressure	1.2	1.5	2.0	0.7

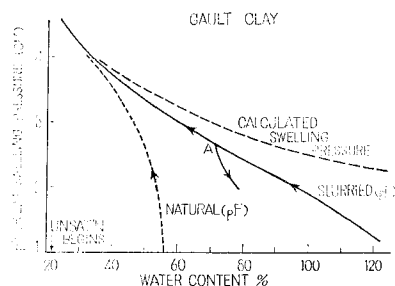


Fig. 1 Measured Water Retention Compared with Measured and Calculated Swelling Pressure for Lead Clay. (from Warkentin, 1962.)

calculated from the water retention and swelling curves shown in **Figure 1**. This figure is taken from Warkentin (1962), where the measurements and calculations of swelling pressure are detailed.

The calculation of interparticle attraction is as follows. At a given water content the measured suction from the water retention curve is subtracted from the measured or calculated swelling pressure. This was done for water contents corresponding to suctions of 0.01, 0.1, 1 and 3.2 bars on the water retention curve.

The interparticle attraction using the calculated repulsion (Table 1) is constant, with an average value of 0.6 bar or 6×10^5 dynes/cm². Using the measured swelling pressure gives a range of values from 0.7 to 2 bar. The uncertainties in obtaining values for interparticle repulsion from the measured swelling pressure are at least as great as those from the calculated repulsion. The force of attraction would be expected to increase only slightly with increasing suction as interparticle distance is decreased, because this is an undisturbed soil sample.

The results of a similar calculation from **Figure 2** also taken from Warkentin (1962) are given in **Table 2**. The first row gives the calculated force of attraction for the undisturbed soil using calculated repulsion. The values increase slightly with increasing suction, which is typical of swelling clays as will be discussed in the next section. The average value of 2.9 bar is considerably higher than that for the Leda clay in **Table 1**.

The third row gives the calculations for the slurried sample using calculated repulsion. There is

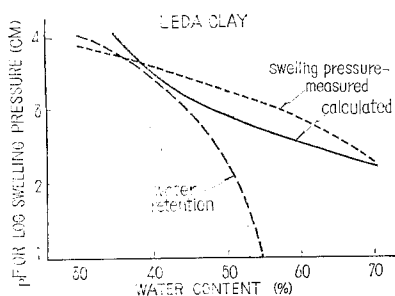


Fig. 2 Measured Water Retention of Sample with Natural Structure and a Slurried Sample Compared with Calculated Swelling Pressure for Gault Clay. (from Warkentin, 1962)

Table 2 Interparticle Attraction, in bars for Gault Clay

	Suction (bars)				
	0.01	0.1	1	3.2	10
Undisturbed -calculated repulsion	2.5	2.9	3.0	3.2	3.3
-slurried	2.3	2.7	2.2	2.1	2.0
Slurried -calculated repulsion	0.2	0.2	0.8	1.1	1.3

an increase in the force of attraction as the suction increases. This would be expected for this disturbed sample because the particles are being brought closer together as drying proceeds. On a second cycle of drying the interparticle attraction should increase again and eventually reach the average value of 2.9 after many cycles of drying. The difference between 2.5 for the undisturbed sample and 1.3 bars for the slurried sample at 10 bars is a measure of the bonds broken by slurring which remain broken after one cycle of drying.

The middle line gives the calculated attraction on assumption that slurring breaks all the interparticle bonds of attraction. These calculated values of attraction for the undisturbed soil are 10-40% lower than those obtained using the calculated repulsion. This change in interparticle attraction on slurring may be a useful measurement in characterizing soils.

The values for the slurried sample at low suction, 0.2 bar or 2×10^5 dyne/cm², are at the upper end of the range of 10^4 to 10^5 dyne/cm²

measured by Norrish et al. (1963) for sodium montmorillonite.

2. Compacted Samples

Another way of measuring differences in interparticle attraction for different soils is from water retention curves of soil samples compacted under different stresses. Four soils with different volume-change characteristics were chosen for this experiment. Air-dry samples were ground to pass through a 0.25mm sieve, and then compacted under static loading of 50, 1000, and 10,000 pounds per square inch (3.5, 70 and 700kg/cm²). The samples were wetted and the water retention curve measured. The water content-suction values from the adsorption part of the curve were then used to calculate the forces of attraction created by increased loading from 3.5 to 70kg/cm² and from 70 to 700kg/cm². The measured water retention curves for adsorption for the low-swelling Ste. Rosalie clay soil are shown in **Figure 3**. The calculated values for force of attraction due to compaction from 3.5 to 70kg/cm² are given in **Table 3**. The soils are rated for swelling behavior from lowest to highest as:—

Ste. Rosalie=Lamothe<Macamic<<Barbados

The first soil is derived from Champlain Sea sediments near Montreal, the next two from Lake

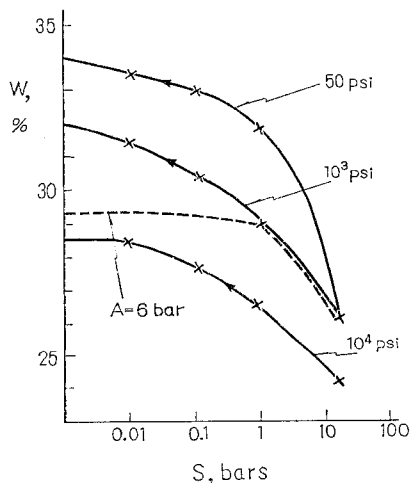


Fig. 3 Measured Water Retention Curves for Ste. Rosalie Clay Samples Compacted at 50, 10³ and 10⁴ psi (3.5, 70 and 700 kg/cm²). Dotted Curve is Calculated Water Retention Curve with Constant Force of Attraction of 6 Bar.

Table 3 Attraction Calculated from Difference between Swelling Curves for 70 and 3.5kg/cm² Compaction

Suction (bars)	Ste. Rosalie	Lamothe	Macamic	Barbados
0.01	1.8	3.6	0.3	0.4
0.1	3.2	5.0	0.5	0.9
1	6.0	7.0	1.4	2.5
3.2	6.7	8.7	2.4	3.1
10	5.0	7.8	—	3.0

Barlow-Ojibway sediments near Abitibi, Qnebec and the fourth from flysch deposits in Barbados, W. I.

The values for attraction for all soils (Table 3) decrease with decreasing suction from 3.2 to 0.01 bar. This is interpreted as indicating that interparticle bonds are broken on swelling, and hence attraction is lower at lower suction. The largest decreases are below 1 bar suction, the values between 1 and 10 bar are not too different. The values at 10 bar are lower than those at 3.2 bar. This is probably due to inaccuracy in drawing the water retention curves between the measured points.

The low-swelling Ste. Rosalie and Lamothe soils have a much higher force of attraction at all suction values compared with the Macamic and Barbados soils. Also, the decrease in attraction with decreasing suction is proportionally lower in the low-swilling soils.

The water retention curve which would result for the Ste. Rosalie clay if the force of attraction remained constant at 6 bar is shown in Figure 3. The logarithm plot usually used for water retention curves distorts a visual appreciation of the forces of attraction.

The calculated values for interparticle attraction are summarized in Table 4. For the Ste. Rosalie and Macamic soils, the compaction from 70 to 700 kg/cm² produced a larger interparticle attraction than did the compaction from 3.5 to 70kg/cm². These materials would likely form strong shales. The high-swelling Barbados soil shows only a small increased attraction between 70 and 700kg/cm² compaction. This distinguishes the Barbados soil

Table 4 Summary of Attraction Calculations

	Ave. (1-10bar)		Ratio 3.2/0.01	
	70-3.5	700-70	70-3.5	700-70
Ste. Rosalie	5.9	14.7	3.7	8.8
Lamothe	7.8	7.3	2.4	8.4
Macamic	2.4	9.2	8.0	16
Barbados	2.9	1.8	7.0	10

from the lower-swelling Macamic.

The ratio of interparticle attraction at 3.2 bar to 0.01 bar is higher for all soils for compaction from 70 to 700kg/cm² compared with compaction from 3.5 to 70kg/cm² (Table 4). This indicates the greater proportion of bonds broken on swelling.

SUMMARY

The interparticle forces of attraction calculated for the different soils are consistent with other known properties of the soils, such as swelling behavior. Whether or not such calculations will provide useful characterization of soils will be decided when the method is used widely for different soils.

Water retention curves have been measured for many soils, although usually only the desorption arm of the curve is measured. A number of these curves would likely be suitable for use in calculating interparticle attraction. The compilation of data on interparticle attraction should be useful in our study of stability of soil structure.

REFERENCES

- Childs, E. C. 1957. The Physics of Land Drainage in "Drainage of Agriculture Lands". J. N. Luthin, ed., Amer. Soc. Agron. Monograph 7, Madison, Wisconsin, U. S. A.
- Emerson, W. W. 1954. The Determination of the Stability of Soil Crumbs. J. Soil Sci. 5: 233-250.
- Norrish, K., and Rausell-Colom, J. A. 1963. Low Angle Diffraction Studies of the Swelling of Montmorillonite and Vermiculite. Proc. 10th Clay Minerals Conf. (1961). Clays and Clay Minerals. pp 123-149.
- Van Olphen, H. 1963. "An Introduction to Clay Colloid Chemistry". Interscience Pub, New York.
- Warkentin, B. P. 1962. Water Retention and Swelling Pressure of Clay Soils. Can. J. Soil Sci. 42: 189-196.
- Yong, R. N. and B. P. Warkentin, 1975. "Soil Properties and Behaviour". Elsevier Scientific Pub. Co. Amsterdam, Chapter 6.

相模川流域の水田・畑地における深い土層の物理性

寺 沢 四 郎*

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

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

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

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

1. はじめに

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

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

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

2. 供試土壌

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

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

* 農技研

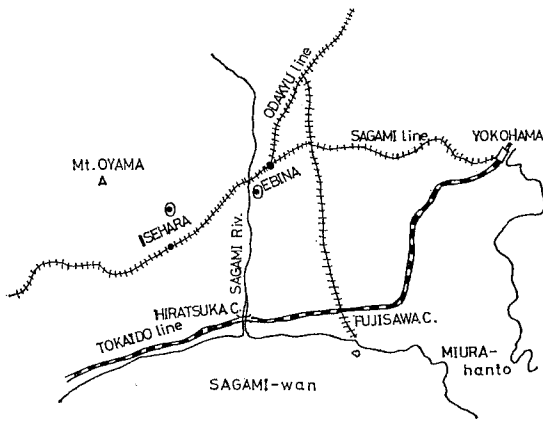


Fig. 1 Sampling site in KANAGAWA prefecture

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

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

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

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

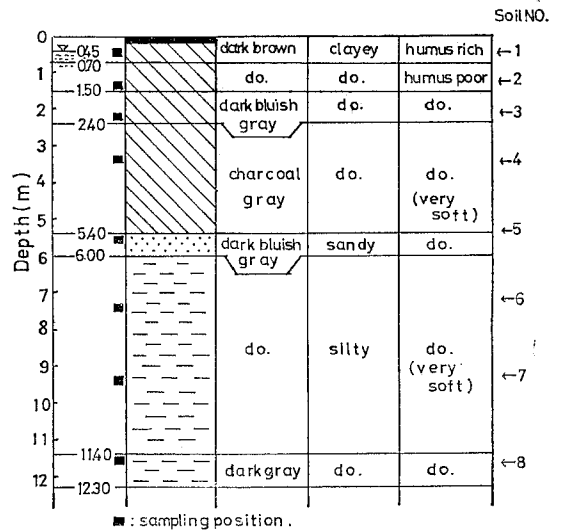


Fig. 2 Soil profile of paddy field in EBINA area

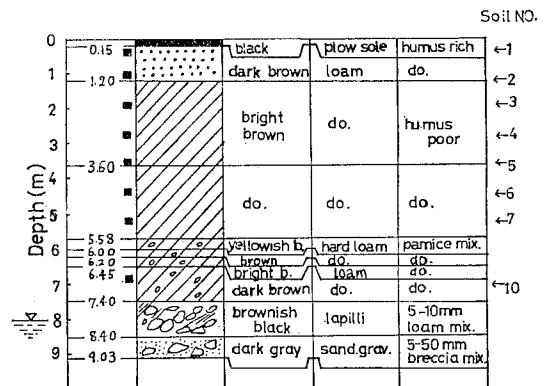


Fig. 3 Soil profile of control plot of upland soil in ISEHARA area

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

3. 物理性の測定法

(1) 3相分布

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

Table 1 Undisturbed soils collected in Situ

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

を行なった。

(2) 粒径組成

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

(3) 保水性

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

4. 測定結果と考察

(1) 3相分布

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

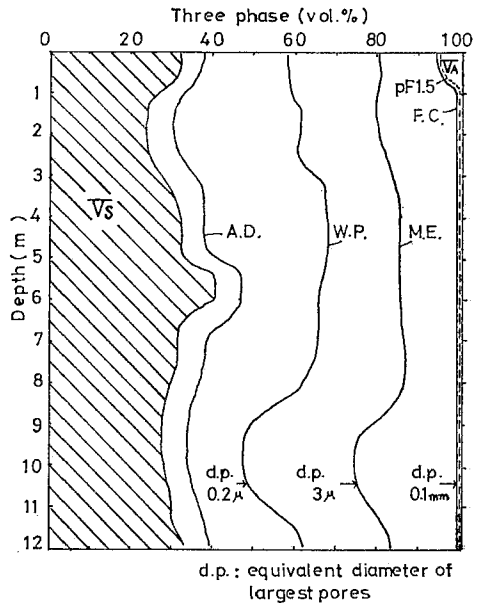


Fig. 4 Three phase distribution of paddy soil

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

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

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

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

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

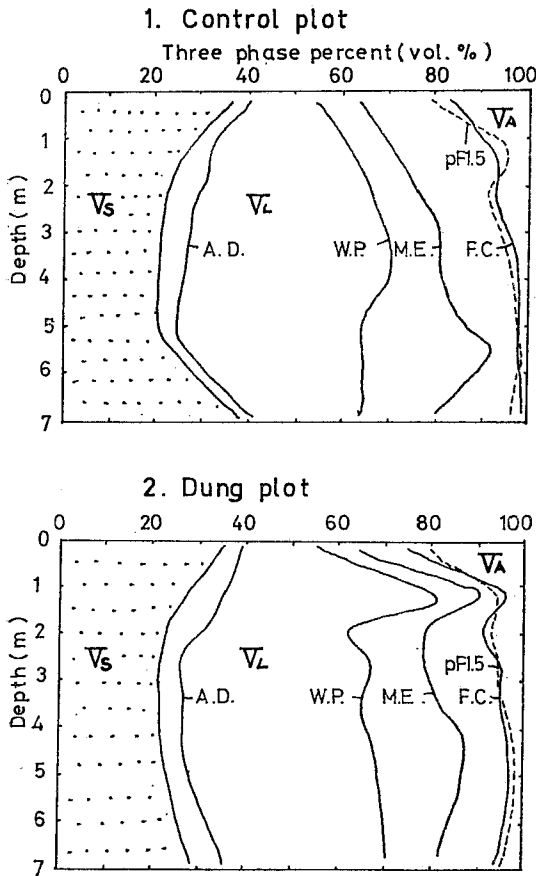


Fig. 5 Three phase distribution of upland soil

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

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

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

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

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

(2) 粒径組成

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

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

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

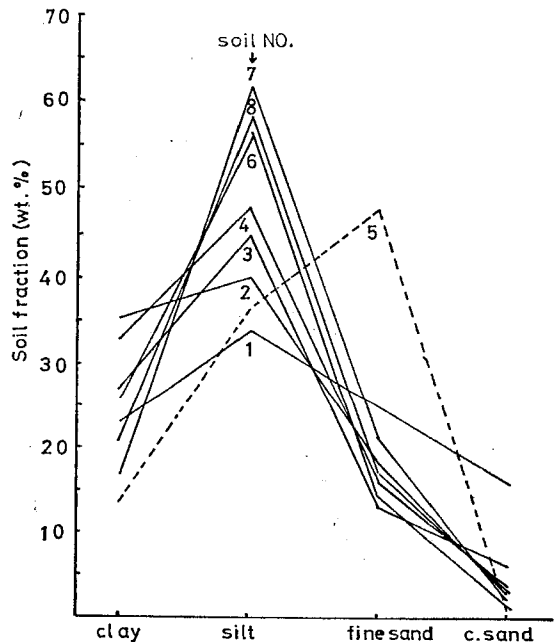


Fig. 6 Particle-size distribution of paddy soil

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

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

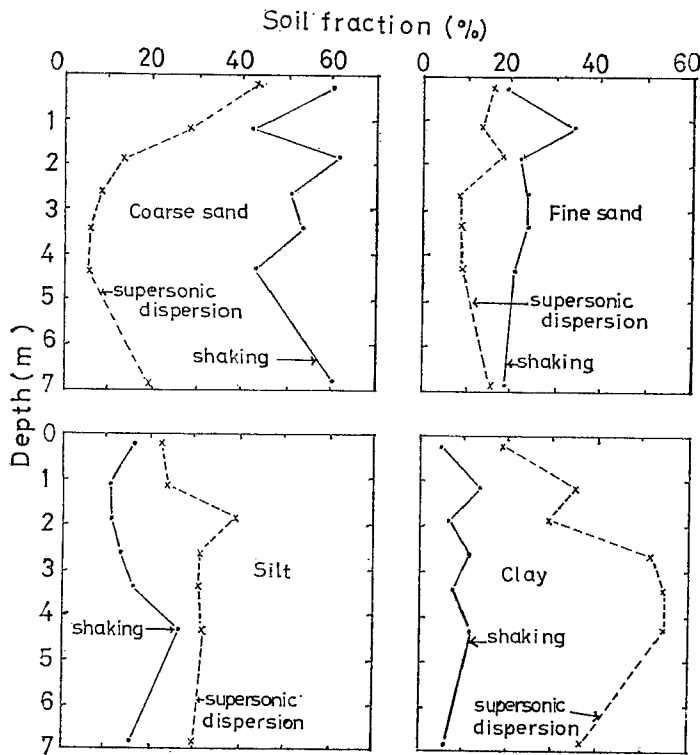


Fig. 7 Differences of soil fraction between both dispersion methods (dung plot)

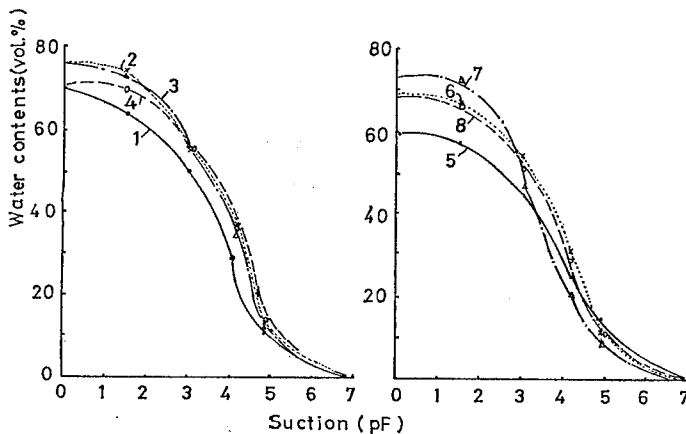


Fig. 8 Water characteristic curves of paddy soil

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

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

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

(3) 保水性

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

水分特性曲線を凝微分して得られる微分容水量の分布曲線は図9に示した。各土層の分布曲線の特徴は、pF 4 から pF 5 の間にピークをもった、凸型の曲線で示され、全般的に結合水の保持量が高い。しかも、低 pF 領域の保水力が低く、とくに pF 0~1.0 の水分は第1層を除けば、事実上ゼロであり、粗孔隙にきわめて貧しいことがわかる。さらに、pF 4 以下の自由水は、pF 0 から吸引圧が増加するに伴って、単調に増加している。また、pF 4~5 のピークを過ぎて高 pF になる

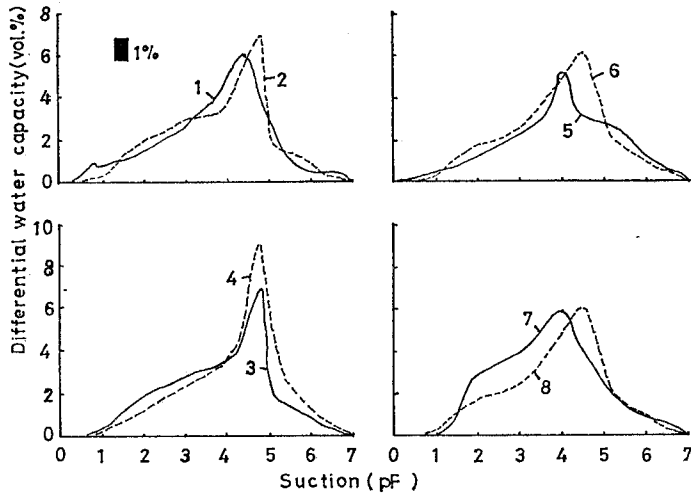


Fig. 9 Water distribution curves of paddy soil

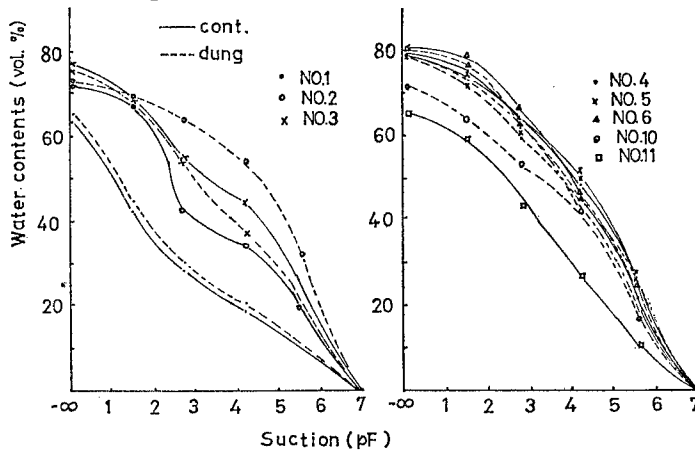


Fig. 10 Water characteristic curves of upland soil

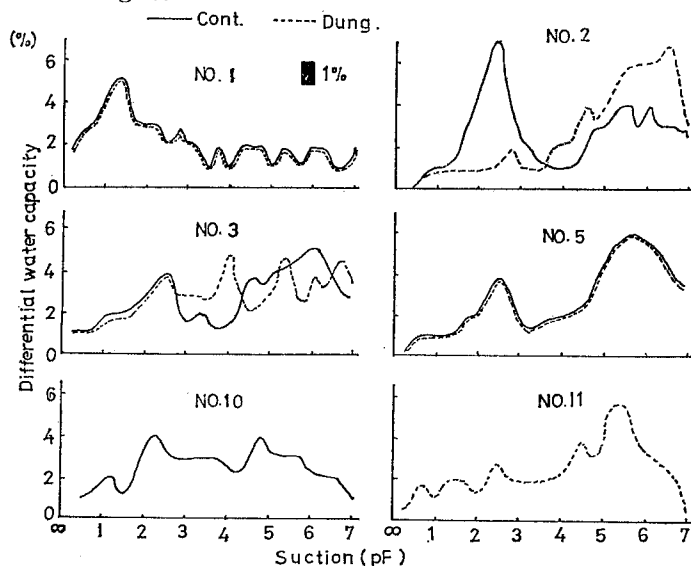


Fig. 11 Water distribution curves of upland soil

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

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

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

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

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

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

5. 総括検討

(1) 水田土壌の物理性

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

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

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

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

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

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

(2) 畑地土壌の物理性

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

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

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

6. ま と め

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

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

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

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

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

参 考 文 献

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

土 壌 の 通 気 性 測 定 の 評 価

安 田 環*

Evaluation of Measuring Soil Aeration

Tamaki YASUDA

Department of Greenhouse Cultivation

Vegetable and Ornamental Crops Research Station

1. はじめに

土壌の通気性が作物の生育と密接な関連を持っていることはいまさらいうまでもない。これに関しては、わが国に比べ諸外国において大変多くの検討がなされてきた。その理由として、わが国では水田土壌の研究に主体がおかれ、また畑では火山灰土壌が多く、これは比較的ポーラスであるため、土壌の通気性はあまり問題にならなかったものと考えられる。

ところで東海地方に分布する赤黄色土地帯は、いくつかの農業用水の完成をみるに及んで、その土地生産性の向上が急務とされるに至った。この地帯の土壌は腐植に乏しく、構造が未発達で密である¹⁴⁾。また酸性を呈し各種塩基あるいは微量元素にも欠乏しがちである。このように物理、化学性が劣悪であるが、化学性の改良については多くの成果を得ており^{15, 22, 23)}、また物理性についてもいくつかの試験が行われてきたが^{16, 29)}、なかでも通気性の改善は最も重要な因子とされている。

これらのことから、著者は土壌空気と作物生育に関心を抱き、まず土壌空気組成の実態調査、続いてその動きについて研究を進めてきた。そのなかで、通気性の改善を目的とした場合、何を規準にするかは色々の測定法によって異なっており、それら測定法をどう評価するか、またそれらの相互関連についても明らかにしておく必要性がある。

通気性の良否を判定する方法として従来から気相率を用いられてきた。また土壌空気組成の分析^{6, 7, 17)}、通気係数あるいは透過係数^{13, 25)}、拡散係数²⁷⁾の測定が行われ、白金電極法によるODR(酸素拡散速度)の測定法も紹介されている²⁶⁾。本報ではこれら各種測定法をどう評価するかを論じてみたい。

2. 実験方法

1. 土壌空気組成

小川ら¹⁷⁾の方法に従いガスクロマトグラフを用いて分析した。

2. 透過係数

Evans ら³⁾の方法によった。その概略を図-1に示した。透過係数は次式から求める。

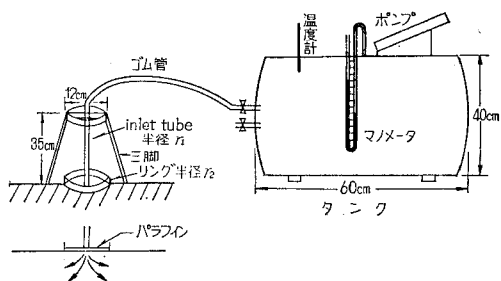


図-1 現場通気性測定装置の模式図

$$K = \frac{\mu V}{APt} \ln \frac{y_0}{y_1}$$

ここで K : 透過係数, ダーシー

μ : 空気の粘性, ポアズ

V : タンク容積, cm^3

A : $4r$ (r = inlet tube の半径), cm

P : 大気圧

t : 測定時間, 秒

y_0 : 測定開始時のタンク内部圧, (水柱) cm

y_1 : 測定開始 t 秒後のタンク内部圧, (水柱) cm

K の次元は L^2 である。

3. 通気係数

長田¹³⁾の方法によった。その概略を図-2に示した。通気係数は次式から求める。

* 野菜試験場施設栽培部

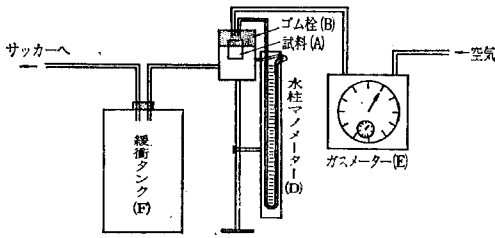


図-2 室内実験法の通気性測定装置模式図

$$q = A \cdot K_a \cdot \frac{\Delta P}{L}$$

ここで q : 空気平均容積流量, cc/sec

A : 試料の断面積, cm^2

K_a : 通気係数

ΔP : 試料両端の圧力差, 水柱 cm

L : 試料の長さ, cm

今 ΔP を水柱の高さの差 Δh として K_a について求めると

$$K_a = \frac{q}{A} \cdot \frac{L}{\Delta h}$$

となり, LT^{-1} の次元をもつ速度の単位として表示される。

4. 拡散比

図-3 に示した装置を用い, 次式から拡散比 (空気中におけるガス拡散係数に対する多孔質物体中におけるガス拡散係数の比) を求める²⁷⁾。

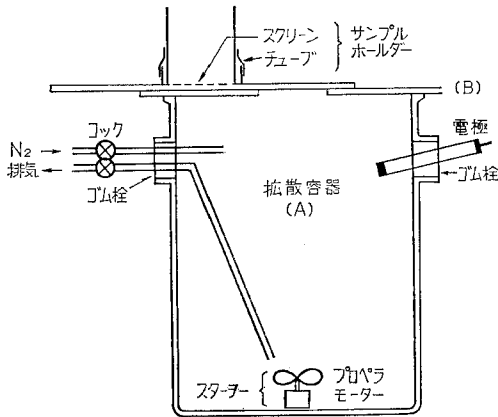


図-3 拡散速度測定装置

$$V \frac{dc}{dt} = D_0 a \frac{C_0 - C}{L}$$

ここで V : 拡散容器の容積, cm^3

C : ガス濃度, mol/cm^3

t : 時間

D_0 : 空気中におけるガスの拡散係数

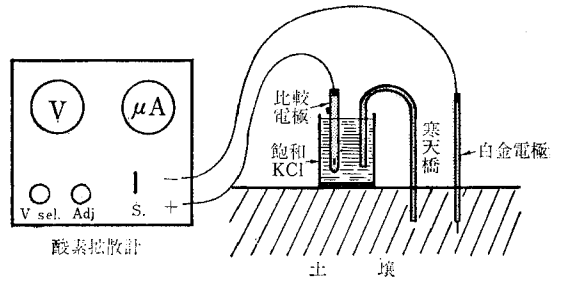


図-4 ODRの測定装置

a : 拡散比

A : 拡散可能なホルダー部の断面積, cm^2

L : 試料の長さ, cm

5. ODR

装置の概略を図-4 に示した。白金電極とカロメル電極の間に流れる電流値から ODR を求める。

$$i \cdot 10^{-6} = nFfA$$

ここで i : 電流, μA

n : 酸素 1 分子を還元するに要する電子数

F : ファラデー恒数

f : 電極表面へ拡散する酸素の流量すなわち ODR, $\text{mol} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ (一般には $\text{g} \cdot 10^{-8} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ で表わす。以下 ODR の単位は省略する)

3. 測定例と問題点

1. 透過係数

表-1 は土性の異なる畑土壌で透過係数を測定した例である。一般に気相率と通気性は比例すると考えられ, またそれを前提として論議される場合が多い。しかし

表-1 透過係数の測定例

地名	土性	K ダルシー	気相率%	
武 豊	作 土	SCL	10.7	33.3
	作土下	LiC	1.2	4.8
扶 桑	作 土	LS	24.1	49.0
	作土下	LS	14.8	40.2
各 務 原	作 土	CL	17.7	29.5
	作土下	CL	10.5	24.4
美濃加茂	作 土	HC	63.0	35.7
	作土下	HC	tr.	7.5

表-1 の結果は両者が必ずしも比例関係にない。すなわち美濃加茂における作土の気相率は35.7%で K は63を示したが, 武豊では33.3%の気相率で K が10.7, 扶桑では49%の気相率で K が24.1であった。また作土下では美濃

加茂でほとんど通気が行われなかったのに対し、それよりも気相率の少ない武豊で1.2を示した。これらのことから土性あるいは土壌の構造によって本測定法の値が変るものと推察した。つまり土性層序が均質で、しかも粒状構造の発達した土壌では K と気相率との間に比例関係が求められるようであるが、土性が細かく、塊状構造の土壌ではそれら土塊のすき間あるいは粗度が影響すると思われる、本法の適用はむずかしいと考えられる。

測定上の問題点として、タンク内気温の変化がある。殊に K の値が低い場合、タンク内気温の変化によって、内部圧力が変わることは大きな誤差の原因となる。またパラフィン溶液を溶かす必要があるなど、現場で測定するには不便な点が多い。

2. 通気係数

図-5は武豊土壌で測定した例である。図中白丸は採土後そのまま測定したものであり、黒丸は一旦飽水し、

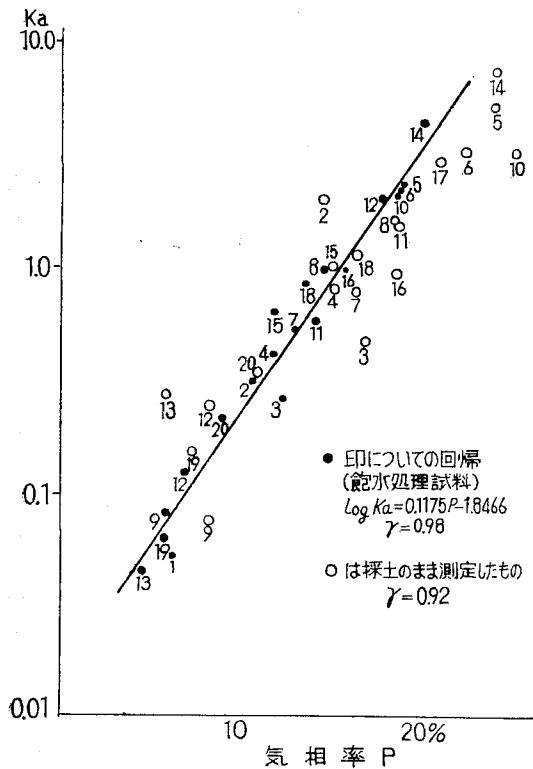


図-5 採土のままと飽水処理の比較

吸引法で pF 1.7~2.5にまで脱水して測定したものである。なお数字はサンプル番号を示す。両者について通気係数 K_a と気相率 P の相関関係を求めると、

$$\log K_a = 0.1175P - 1.8466$$

が得られ、相関係数は採土のまま0.92、飽水したもので

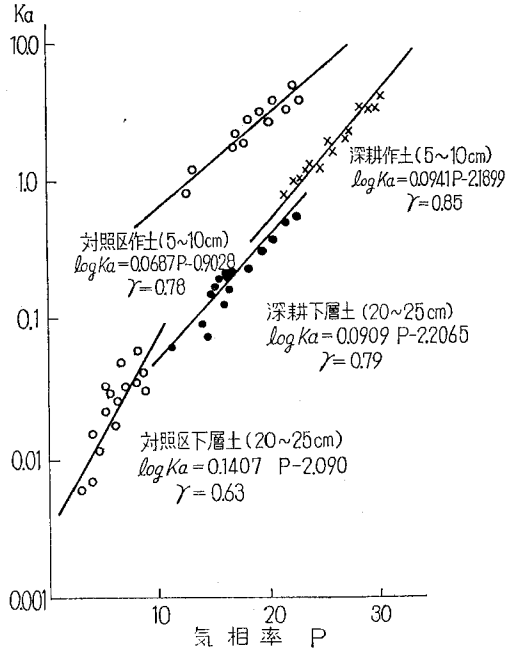


図-6 土層攪乱と通気係数

で0.98であった。つまり採土のままではバラツキが比較的大きく、一旦飽水すると回帰直線上ののってくる。このバラツキの原因として、閉鎖空隙あるいは採土管壁の間隙などが考えられるが²⁵⁾、effective pore space⁸⁾と、採土のままの気相率が多少異なることを示唆するものである。

次に洪積層から成るも密な鈣質土壌をぼろ軟にし、通気性を高めようとのねらいから、武豊土壌を深さ1mまで深耕し、全層を攪乱した。そこで測定した K_a を図-6に示した。ここで4本の回帰直線が画かれているが、白丸の場合は未攪乱状態であって、(a)が作土、(b)が作土下である。これら(a)、(b)、両直線はこう配がやや異なり、作土の方がゆるやかである。つまり作土は気相率が低くても K_a は同一気相率の作土下よりも高いことを示している。

一方土層攪乱した作土及び作土下の K_a はほぼ同一線上に並び、また攪乱区の方が気相率はかなり高まっているが、逆に K_a は低くなっている。

以上のことから、 K_a が気相率と高い相関関係にあるが、条件によって異なる回帰直線を画くものと考えられる。この条件とは恐らく構造的性によるものであろう。長田¹³⁾は同一試料でも回帰直線に折れ点のあることを認め、空隙半径の差異に基づくものであろうと推論している。土層攪乱は上下層の土性を均一化すると共に、その構造の面でも平均化する。従って攪乱地の作土及び作土

下とも K_a はほぼ同一線上にプロットされたものと考えられる。すなわち土性あるいは構造の発達いかんが K_a の値を支配するものであり、単に気相率の比較で通気性の良否を決定することに疑問を抱かせるものである。

なお測定上の問題点として、試料採取時の壁はがれ、き裂の有無が大きな誤差をまねき、また予措として一度飽水処理を加える必要があり、条件規制を厳密に行うことなどがあげられる。

3. 拡散比

Penman¹⁸⁾ によれば、多孔質物体中におけるガス拡散は孔隙に比例するが、空気中におけるよりかなり遅くなるという。

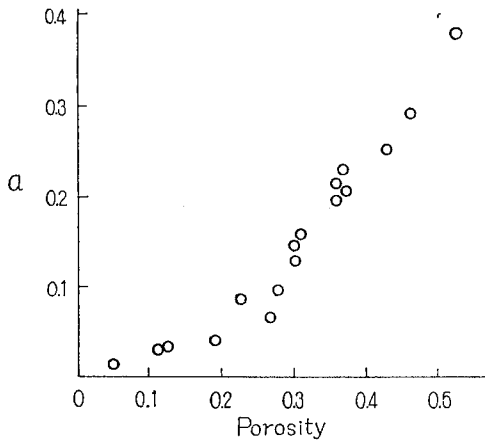
すなわち $D/D_0=0.66S$

ここで D : 多孔質物体中のガス拡散係数

D_0 : 空気中におけるガス拡散係数

S : 孔隙率

その後 Bakker ら¹⁾ がまとめたところによれば、研究者によって、あるいは試料の種類によって比例常数はかなり異なる。著者²⁷⁾ が武豊土壌を用いて行った結果は図一七に示した通りで、 S が 0.2 より大きいときは $D/D_0=S-0.15$ 、0.2 より小さいときは $D/D_0=0.27S$ となった。



図一七 孔隙と a (PENMANの D/D_0) の関係

4. ODR

以上三つの測定法は気相中におけるガスの動きをみたものであるが、ODRは直接植物根に供給される酸素の量を測定するものである。すなわち微少な白金線を植物根と仮定し、その表面にある被膜水に溶けてくる酸素を電氣的に還元することによって生ずる電流から、酸素の供給量を知ろうとするものである。この方法は Lemon ら⁹⁾ によって土壌の分野で紹介されたもので、その後

表一 土層攪乱と通気性の比較

区	No.	気相率 %	通気係数 K_a	拡散比 a
対照区	1	12.9	0.095	0.037
	2	13.5	0.345	0.037
	3	16.4	0.445	0.043
	4	20.1	2.133	0.064
	5	24.6	3.339	0.064
	平均		17.5	1.271
攪乱区	1	13.0	0.024	0.033
	2	13.6	0.027	0.033
	3	15.8	0.024	0.043
	4	18.2	0.246	0.050
	5	21.0	0.914	0.060
	平均		16.3	0.247

van Doren²¹⁾, McIntyre^{11), 12)} によっても検討されている。著者²⁶⁾ も実験条件や作物生育との関係を報じた。

表一は前述の土層攪乱ほ場において測定した例である。梅雨時の土壌水分が極めて多い条件を選んだが、対照区に比べ攪乱区ではいずれの深さにおいても高い値で経過している。ODRは現地でもあるいはまた実験室でも比較的簡単に測定できる利点を持っている。しかし白金電極が折れ易いとか、同一場所に何本かの電極をそう入しておく必要があるなど、まだ技術的な面で問題は残っている。

4. 各測定法の相互関連

通気性の良否を判定する方法として、いくつかの測定法をあげたが、それらの相互関連について述べてみたい。

すでに指摘したように、透過係数測定は適用範囲が限定され、また測定法上も問題があり、比較対象としない。

通気係数は土性によって異なることを図一六から推定した。そこで通気係数と土性、さらに拡散比との関係を明らかにするため、前記攪乱ほ場の作土を用いて両者の測定を試みた。その結果が表一である。対照区の気相率は平均 17.5%、攪乱区は 16.3%、通気係数は前者で 1.27、後者で 0.25と後者が著しく低い。一方拡散比は前者で 0.049、後者で 0.044と気相率と同じ変化を示した。土性は対照区の作土が SC、攪乱区が LiC であった。つまり未攪乱状態では作土下の土性が LiC~HC であるが、これが攪乱によって全層に混合され、土層全体が均質化したものである。

このように土性が変化したため、通気係数が同一気相

表一三 粒径と通気性 (石英砂)

メッシュ	通気係数	拡散比
10~15	—	0.360
20~30	20.8	0.359
80~150	0.298	0.366
150~200	0.013	0.366

率でも攪乱区で低くなったものと推定したが、さらにこれを確認するため、粒径の異なる石英砂を用い、同一気相率の条件で通気係数と拡散比を測定した。その結果が表一三である。

このように通気係数は粒径が小さくなるにつれ低くなるが、拡散比にはほとんど変化が認められないのである。

このことは表一二を裏付けるものであり、通気係数は土性の違いに基づく孔隙の大きさに左右されるが、拡散はその影響が少ないと結論される。

以上のことからわかるように、気相率に基づいて考えた場合、通気係数を通気性の良否を表わす指標とするには疑問が残る。一方拡散比は Bakker ら¹⁾が示したように、材料によって若干の相違はあるにしても、従来からいわれているように、土壌通気の主体が拡散現象によるものであり¹⁸⁾、それが気相率と最もよく対応するとすれば、気相率のみで通気性を表わしてもよいことになる。

さて土壌中では各種小動物、微生物、植物根などが呼吸を行っており、従って酸素は消費され、炭酸ガスが放出されている。もし大気とのガス交換がなければ、炭酸ガスが極端に蓄積するはずである。土壌空気組成の分析はこの実態を把握するうえで意味がある。これまで土壌空気組成の測定例は多い^{6,7,17,20)}。著者も東海地方の二・三の畑土壌で経時的に測定した^{24,28)}。それらによると重粘な土壌で、しかも降雨直後に炭酸ガス濃度が数%になり、酸素濃度は10%以下になることはあるが、それは一時的な現象で、一般には18%以上の酸素濃度を保っていた。従って土壌空気組成からみて作物が酸素不足あるいは炭酸ガスによる障害をうける条件は極めて少ないと考えられる⁴⁾。しかしガス組成の分析は静的な一面をとらえているにすぎず、作物根は気相中にあるわけではなく液相によってとりかこまれており²⁾、この液相中の酸素濃度が問題視されねばならない。殊に気相率が少ない場合、根の被膜水中の酸素濃度が気相中の濃度と平衡状態にある保障はない。すなわち気相中と液相中でのガス拡散速度は1万倍の差があり⁵⁾、液相の多い条件下では根のまわりが局部的に酸素不足になる可能性が強い。従ってこの局部的な酸素条件を知ることがより合理的と考え

表一四 土層攪乱とODR*

区	深さcm	6/8	6/9	6/10
対照区	10	11.3	12.9	16.1
	20	7.7	19.3	17.5
	30	5.4	6.5	9.9
攪乱区	10	45.7	45.0	47.8
	20	42.6	35.6	44.4
	30	24.4	22.2	34.8

* $g \cdot 10^{-8} \cdot cm^{-2} \cdot min^{-1}$

降水量 7日42mm, 8日47mm

られる。ODRはこの条件を満たしており極めて有効な手段と考えられる。表一四は降雨後土層攪乱は場で測定した例である。対照区では降雨後2日経ても20以下であるが、攪乱区では30cmの深さで降雨直後でも20以上を示している。このことは対照区では停滞水があって空気の流通が著しく阻害されているのに対し、攪乱区では速やかに排水され、それに伴って大気との移動がスムーズに行われた結果と考えられる。このようにODRは直接酸素供給条件を測定することができる。ODRと作物生育については、Letey ら^{16,19)}の総説があり、また著者も検討を行っている²⁶⁾。それらによれば、野菜類では30以上が望ましいといわれ、そのときの気相率はおよそ25%以上であるという。

このようにODRは酸素供給の指標として優れているが、元来白金線が水膜で覆われていなければならないので、かなり多水分条件下でなければ適用できない。従って直接拡散比と比較することはむずかしい面がある。この検討は残されているが、現時点でいえることは、いわゆる通気(空気交換, ガス交換)は拡散現象によるものが主体であり、それは気相率で代表してもよさそうである。また作物根に対する酸素供給条件を知る方法としてはODRが適していると考えられる。

おわりに

以上現在測定されている通気性の良否を判定する方法として、いくつかあげそれらの応用例と問題点をあげてきたが、データ不足あるいは説明不足を否めない。この方面への助言を期待したい。

参考文献

- 1) BAKKER, S.W & A.P.HIDDING: Neth. J. Agric. Sci., 18, 37~48 (1970)
- 2) BIRKLE, D.E., J.LETEY, L.H.STOLZY & T.E.SZUSZKIEWICZ: Hilgardia, 35, 555~566 (1964)

- 3) EVANS, D.D. & Don KIRKHAM: Soil. Sci. Soc. Am. Proc., 14, 65~73 (1949)
- 4) GEISLER, G.: Plant Physiol., 42, 305~307 (1967)
- 5) GRABLE, A.R.: Adv. Agron., 18, 57~106 (1966)
- 6) 位田藤久太郎: 三重大学農学部学術報告, 4, 37~46 (1952)
- 7) 木下彰: 土肥誌, 29, 545~548 (1959)
- 8) KOHNKE, H.: Soil Physics p.p. 160~170, Mc Graw Hill, New York (1968)
- 9) LEMON, E.R. & A.E. ERICKSON: Soil Sci. Soc. Am. Proc., 16, 160~163 (1952)
- 10) LETEY, J. & L.H. STOLZY: Hilgardia, 35, 545~554 (1964)
- 11) McINTYRE, D.S.: Aust. J. Soil Res., 4, 95~113 (1966)
- 12) McINTYRE, D.S.: Soil Sci., 103, 118~125 (1967)
- 13) 長田 昇: 農業土木研究別冊第7号, 37~42 (1963)
- 14) 野本亀雄: 東海近畿農試研報, 栽培第2部, 2, 15~57 (1960)
- 15) 野本亀雄, 岸田達男: Ibid, 2, 58~67 (1960)
- 16) 小川和夫: 東海近畿農試研報, 18, 192~352 (1969)
- 17) 小川和夫, 森哲郎, 安田環: Ibid, 19, 81~97 (1970)
- 18) PENMAN, H.L.: J. Agric. Sci., 30, 437~462 (1940)
- 19) STOLZY, L.H. & J. LETEY: Hilgardia, 35, 567~576 (1964)
- 20) 梅林正直: 土壌の物理性, 26, 38~46 (1972)
- 21) VAN DOREN, D. M. Jr. & A. E. ERICKSON: Soil. Sci., 102, 23~28 (1966)
- 22) 山本毅, 戸田敏郎, 高橋和司, 松本猛: 愛知農試彙報, 13, 39~63 (1958)
- 23) 山本毅, 高橋和司, 松本猛, 沖村逸夫: Ibid, 13, 65~77 (1958)
- 24) 安田環, 荒木浩一: 土肥誌, 41, 413~417, (1970)
- 25) 安田環, 大崎玄佐雄: 東海近畿農試研報, 24, 94~104, (1972)
- 26) 安田環, 土肥誌, 43, 223~230 (1972)
- 27) 安田環, 土肥誌, 45, 543~545 (1974)
- 28) 安田環, 未発表
- 29) 湯村義男, 石原暁: 東海近畿農試研報, 22, 84~97 (1971)

植物栄養土壌肥料大事典

編集委員長 東大教授 高井康雄博士
 同副委員長 農技研肥料化学科長 早瀬達郎博士
 編集幹事 東大教授 熊沢喜久雄博士

ほかに専攻家 224 氏共著

目次大略

第I編 植物栄養 1. 植物の栄養, 2. 植物体の組成, 3. 植物の物質代謝 4. 主要無機元素の生理作用, 5. 植物の養分吸収, 6. 植物体内における物質の転流, 7. 乾物生産, 8. 植物の栄養と生産物の品質, 9. 植物の組織培養と無菌栽培, 10. 植物栄養における同位元素の利用。

第II編 土壌 1. 土壌学, 2. 土壌の生成, 分類及び調査, 3. 土壌構成成分質, 4. 土壌物理, 5. 土壌の生物, 6. 土壌の物理化学

第III編 土壌肥沃度と施肥 1. 土壌肥沃度の原理, 2. 施肥法の原理, A 水稻 1. 水田の肥沃度, 2. 水稻の施肥法, B 畑作物, C 野菜・花卉, 1. 野菜栽培と土壌管

理, 2. 野菜の施肥, 3. 花の施肥, D 果樹, 1. 園地の肥沃度, 2. 果樹の施肥 E 茶, F 桑, G 牧草・飼料作物, H 林木, I 水系

第IV編 肥料 1. 肥料, 2. 配合と化成, 3. 土壌中での変化, 4. 肥料の反応, 5. 肥料取締り, 6. 窒素肥料, 7. リン酸肥料, 8. 加里肥料, 9. カルシウム(石灰)肥料, 10. マグネシウム(苦土)肥料, 11. ケイ酸肥料, 12. 微量要素肥料, 13. 複合肥料, 14. 農薬肥効調節, 肥効増進肥料, 15. 販売有機肥料, 16. 自給肥料, 17. 特殊肥料
 第V編 土壌—大気—植物系の物質循環と環境汚染, 3. 環境汚染, ○索引

○関係付表 (17頁) ○索引 (30頁)

株式会社

養賢堂発行

東京文京区東大正門前 (〒 113-91)
 振替・東京2-25700・電話(814)0911

B 5 上製1370頁・図1000個

定価 1万4千円 720円

ワーケンチン教授滞日中の随行印象記

前田 隆*

Prof. Warkentin's Profile in Japan

Takashi MAEDA

Faculty of Agriculture, Hokkaido University

1. はじめに

Warkentin 博士は筆者が1668~1970年の1年半のカナダ McGill 大学 Macdonald カレッジに留学中に指導を受けた教授であるが、「Introduction to Soil Behaviour」や最近の「Soil Properties and Behaviour」の著者としてとくに前者の訳本を通して、日本でも御存知の方が多いと思う。

かねて来日の希望を持っていたので、日本学術振興会の外国人招へい研究者(短期)の制度に応募し、多くの人の御協力により、幸い採用された。はじめ4カ月滞日の予定で申請し、許可されたが、教授の都合でわずか1カ月の滞日となり、スケジュールの作成に当って、本人の希望も入れたので、非常にきつい日程となった。

講演の日程は「土壌の物理性」32号の32頁に記載の外に、九大でも講演したので合計9回になった。

講演以外に訪問、見学したおもな場所は、北海道大学低温研究所、同工学部土質工学教室、北海道開発局土木試験所、苫小牧市植苗の樽前系火山灰断面、支笏湖、洞爺湖、昭和新山、有珠系火山灰断面、登別温泉地獄谷、滝川畜産試験場、北上市村崎野の火山灰断面(イモゴライト)、函館市根崎の土壌断面、北農試験作部(芽室)の土壌断面、釧路副港(魚市場)、摩周湖、計根別の摩周系火山灰断面、根釧農試、阿寒湖、屈斜呂湖、層雲峡、阿蘇火山など火山灰断面、火山およびカルデラ湖を主とし、他に東京、京都、大分の神社仏閣を見学した。滝川畜試を除き全部同行したので、教授の見学物に対する感想やまた筆者の教授についての様々の印象を得たが、思い出すままにそのいくつかについて述べる。

2. 精力的な活動

滞在中3日、終り3日休息日をかねて、北大で研究指導も少しして貰う積りが、東北、九州にも旅行したい旨希望したので、遂に一日も休息なしの日程を組んだ。筆者がカナダで得ていた印象から、果してこのハードなスケジュールに耐えられるかと思ったが、楽々とこなしたばかりでなく、飛行機、ホテルでも講演原稿、スライド



の整理、筆者が人から依頼された英文論文の閲覧訂正など極めて精力的に活動した。とくに9月17日農技所で午前講演、午後ルームクーラーのきかない30℃以上の部屋で火山灰のパネルディスカッションを長時間熱心にやったこと。9月26日帰国寸前まで、朝8時から行動を起し、カナダ大使館、京王プラザホテル、秋葉原の電気店、寛永寺、都立美術館で一水会展見学、その間日本最後の昼食を1時間楽しむという風に、時間を極めて有効に使用し、しかも楽しむことは楽しむという態度には感心させられた。

3. 見学態度

北農試験作部では宮沢室長に土壌断面を見せてほしいと前以て頼んでいたが、土のことだけでなく肥料その他あらゆる試験成績のことを聞くので迷惑をかけてしまった。他の見学地や車中でも種々のことについて議論をした。その広範な知識に改めて感心すると共に、機会を捕えてあらゆる知識を深めて行く態度は立派というより外ない。私などは写真をとる時、無造作に写すが、ワーケンチンは天候、構図などを慎重に考えて撮影し、時には

* 北海道大学農学部

断念し一枚も無駄にしないという態度で時間がかかるので急いでいる時にはいらさせられた。とくに阿蘇見学で通常の展望台で写真をとらず、中岳に向う途中から反対側の大カルデラを写したのは、カルデラが最もよく写る構図を探していたことを示している。

神社仏閣の見学では、この方面の知識にうとい筆者は、神社仏閣は嫌だから質問しても答えられないと予め断っていたが、それでもどンドン質問してきて全く弱ってしまった。大分の富貴寺では岩田進午さんの奥さんの説明に鋭い質問をして、奥さんに迷惑をかけた。京都みたいな国際的な寺などではもっと詳しい外国語の案内板を立ててくれないと困ると思うのは筆者のみのひがみであろうか。

4. コミュニケーション

英語は一つの単語で色々な言葉を表わすので日本語に書く時困ってしまう。九大の黒田正治氏にワーケンチンが日本人はコミュニケーションの言語としてどういう風に考えるかと質問し、大分論争したが、この時は情報伝達の手段としての言語のことであるし、私は今回日本で多くのコミュニケーションを得たと言った時のこの語は、多くの人と交際し知人を得たと解すべきであろう。前者の場合、現在最も広く理解されるのは英語であって、日本人の学問水準は非常に高いのだから、もっと英文で外国雑誌に論文を投稿し、世界の人に知らせる義務を日本人は持つという見解であった。後者では、日本の多くの研究者と知合いになったことを非常に喜んでいて。要するにコミュニケーションは非常に大切にすべきであるということであろう。

5. 酒席でのこと

カナダで女性がサービスしてくれる酒場など無いに等しいので、来日したら必ず連れて行こうと思っていた。8月30日北農試の講演見学終了後、札幌のオリンピック施設を見せ、夕方早く筆者の行きつけの小料理店に上りこんだ所、時間の早かったことと土曜日ですいていて5人の女性で歓待してくれた。しゃみせん入りで歌をいろいろやって貰ったが、この時のワーケンチンの感想は「生れてこの方、女性にこんなにもなして貰ったのは初めての経験である」ということであった。

この外4回ほど飲む機会があったが、議論をするか女性に質問をするかのどちらかであった。カナダでパーティなどの時、議論していることなどなかったの、不思議に思い、飲んだ時議論するのは好きか、カナダ人やアメリカ人で飲んだとき皆議論するのかと聞いたところ、私は飲んだとき議論するのが好きだが、こういうこ

とをするのは少数であると言う返事であった。また女性に結婚したら子供を何人つくるか、両親と一緒に暮らすかなどと一生けん命聞いているので、何でそのようなことを聞くのかと問うと、これから世界はどう変わっていくかの判断材料にするのだということであった。宿舎では夕食前か食事中、大体ウィスキーを飲んだが、日本酒も好んだ。ただし日本酒は大量に飲むと頭が痛くなるとのことで、チャンポンに飲むことは気にしなかった。酒類は食事の消化を助けるために飲むという話で、昼はビール、夜はウィスキーというのがカナダでの習慣で日本でも大体実行した。

6. 食物のこと

釧路に着いた時、魚の水揚げをみたいというので、副港に連れて行くと、一時間半もうろうろと見学していて、外人は魚のにおいが嫌いな筈だと聞いた所、私は魚が好きだということで、そのあと生鮓を大変喜んで食べた。

その他えびや魚の天ぷら、フライをとくに好んで食べ、ほとんど日本の通常の食事で間に合ったのには助かった。ただ朝食はコーヒーにトーストという習慣を守ったので、ホテルなどではアメリカ風の薄いコーヒーが出るのでよいが、喫茶店ではコーヒーは強いので、以後喫茶店ではコーヒーを注文しなくなった。

7. 日本旅館のことなど

ワーケンチンは一度だけ日本旅館に泊りたいと希望していたので、弟子屈温泉で一晩泊った。温泉の大浴場には多分入らないと思ってその前夜はバス付きの旅館に泊ったが、バスなど使わず、佐々木教授と私と同様、朝晩2日も温泉の大浴場を好み、スリッパ、浴衣を好んだ。しかし他の外人ではこうはいかないかもしれない。何せ好奇心が強くて福岡のホテルではマッサージを頼んでくれというので、言葉も通じないのにうまくいくかと思ったが、翌朝聞くと、ちゃんとやって貰って疲れがとれたとさっぱりした顔をしていたのには恐れ入った。

8. 英会話のことなど

ワーケンチンの英語は非常にきれいで判り易い。もっとも学振の阿部美哉人物交流課長との会話のように、両者がものすごいスピードでいろいろな話をしてしていると、小生など判らなくなってしまう。阿部課長のような英会話のよくてできる日本人がいるのに感心した。カナダ大使館で科学参事官との会話に同席したら、この人のいうことがほとんど判らない。後で聞くと南部オンタリオンの代表的な発音であるというので、貴方の英語はどこのも

のだと聞いたら、北米の標準語とのことであった。滝川畜試に北大農学部教授と同行して、意外に英会話のできる人が多いと言っていたが、これは私がカナダに行った時、ほとんどしゃべれなかった時の印象が残っていたため、筆者の責任である。筆者は今でも聞く方は何とか判るが、しゃべるのは大変下手なので、とくに英会話のできる日本人のいる所では、いよいよしゃべれず、多くの方に迷惑をかけた。誌上を借りてお詫びします。

9. その他思い出すま

北大の岡島教授はワーケンチンに冗談を言ったり、ひにくったりするので、すっかり好きになって帰国前にまた会談した。適当に冗談などを言ってリラックスしてつき合った方がいいということであろう。また大体一日つき合ると、その人の人物について適格な判断を下すので油断がならないと感じた。小生も飲んで議論をすると不思議に下手な英語で論争するが、環境破壊の話で、大雪縦貫道の話になった時、道路を通すと全部そこに車が集ってくる。他に道路があるのだから観光地には行き止まりの道だけ作ればよいという見解であった。またすべての講演をきいて、講演のうまさに感心した。日本の高度成長はいつまでも続く筈はない。何処の国でも必ず限界がくるし、高度成長はいろいろの点で良くないと批判していた。滅多に怒ったことがないが福岡からの婦札

のときから、航空機の荷物チェックでワーケンチンの荷物になると、警報が鳴り、帰国時千歳空港では厳重に調べられて、遂に彼は大声で怒った。

拙文を閉じるに当り、ワーケンチン教授滞日中にとくに御世話になった方々の名前を列記して深く感謝の意を表したい。日本学術振興会、東京大学の竹中肇教授、足立忠司博士、地水学講座の方々、農技研江川友治所長、寺沢四郎室長、岩田進午博士夫妻、北川靖夫氏、久保田徹氏、井上隆弘氏、北陸農試飯村康二室長、東京農工大浜田竜之助助教授、八幡敏雄農業土木学会長、須藤清次土物研会長、京都大学丸山利輔教授、同教室の方々、岡山大学長堀金造教授、九州大学田辺邦美教授、黒田正治助教授、和田光史教授、北農試出井嘉光部長、仁紫広保室長、志賀一一室長、宮沢教雄室長、山崎慎一氏、北海道大学工学部の北郷繁教授、土岐祥介助教授、三田地利之助教授、同低温研究所木下誠一教授、同農学部佐々木清一教授、岡島秀夫教授、森樊須教授、梅田安治助教授、佐久間敏雄助教授、相馬尅之氏、北海道開発局土木試験所阿野文弘所長、佐々木晴美室長、久保安室長、岸洋一主任研究員、日本工営松野正博士、矢田部権治郎氏。その他名前漏れで失礼した方もあると思うが、非常に多くの人々に御世話になった。また拙稿を書くことをすすめて下さった安富六郎編集委員長や編集委員の方々に感謝します。

土 壌 物 理 用 語 事 典 付 デ ー タ 集

土壌物理研究会編

目 次

- | | | |
|----------|-----------|---------------|
| 1. 土壌一般 | 6. 土壌の色 | 11. 灌漑・排水・干拓 |
| 2. 土壌構造 | 7. 土壌の力学性 | 12. 土壌改良・土層改良 |
| 3. 土壌水 | 8. 水文 | 付データ集 |
| 4. 土壌空気 | 9. 土壌侵蝕 | 1. 土壌群別物理性 |
| 5. 土壌の温熱 | 10. 機械作業 | 2. 土地利用別物理性 |
| | | 3. 特殊土壌の物理性 |

A-5判 上製206ページ
定 価 1,600円

発 行 所 株式会社 養 賢 堂
振替東京25700 電 話 (814) 0911

土 粒 子 農 業 環 境 の 変 化 と 風 蝕

——関東地域の概況今昔——

根 本 清 一

風蝕に対する関心は、昭和20年代に戦後の食糧増産や入植者受け入れに伴って緊急開拓が行われて、平地林が伐採され、飛行場跡の畑地化がすすめられるなど風衝地における風蝕問題の関心が高まった。そのため地力保全の一環として風蝕に関する試験研究がとりあげられた。関東地域を対象とした風蝕に関する既往の研究についてみると、防風林、防風垣の防風機能および栽培面からの防止対策については田中らの研究があり、風蝕の機構並びに防止対策として土壌肥料的に行なった国分の研究報告、また那須野ヶ原における現地試験では古野らの研究報告などがある。

近年、関東では都市化が急激にすすみ、人口のドーナツ化現象で宅地が農耕地に接近し、工場用地などで農耕地の蚕食化がすすんでいる。そこで環境保全の一環として再び農耕地における風蝕問題をとりあげることになった。関東地域における風蝕の実態についてはすでに昭和27年に田中らが調査を行なっているが、今回はこれらの既往の調査報告の時点から、現在進行している都市化および農業自体の変化が耕地における風蝕とどのように影響し合っているかを知るために栃木・群馬・茨城・千葉4県の風蝕地帯で現地聞取調査を行なったのでその感想を述べる。

風蝕防止対策にかかわる農業環境として、従来から残されていた平地林や耕地の防風林が、都市化など開発によって減少しているといわれている。その点を概観すると、群馬県赤城山南麓地帯は栃木県那須野ヶ原、茨城県常陸台地・行方台地・千葉県北総台地に比べて防風林・防風垣（茶樹・ヒノキ・ウツギなど）は昔から少なかったが、古来養蚕地帯として小区画の畑地でも周囲桑をめぐらし、畑内にはわら・笹枝・樹枝を立てたり、不耕起まき、切立まきまた陸稲・トウモロコシなどの前作物を高刈して残すなどキメ細かな風蝕防止対策や栽培法がとられていた。しかし現在は、どの畑作地帯でも麦作が減少し、冬期間は裸地状態で放置されているところが多い。したがって上記のようなキメ細かな風蝕防止対策はみられなくなった。また、機械化に伴う区画拡大などもすすみ、さらに機械作業の障害から周囲桑や防風垣なども減少している。

一方、茨城県、千葉県の風蝕地帯では、台風の頻度も

多いということもあって、畑地は厚い平地林に囲まれており、防風林を保安林登記（千葉・富里村）したり、防風林の間には茶垣などが残されている。

次に風蝕による被害の実態であるが、前述したように、麦作の減少により冬期間裸地状態になるため作物の被害もほとんどない。飛土についても、自分の畑地の土が飛んでも同じように風上から補なわれるため、農民はその土地に永住して自然現象だとする「なれ」もあって、風蝕が発生すると飛土が激化しているにもかかわらず以前に比べ、農民の被害意識は全体に低下していることがらうかがえる。

しかし、群馬県赤堀村香林地区では、構造改善事業で桑畑が減少して、ごぼうの産地化が進みトレンチャーによるごぼうの収穫跡地の風蝕は激しいといわれ、同じような被害は千葉県富里村三区でも聞かれた。また、群馬県尾島町の利根川べりにある沖積畑では昭和45年頃からヤマトイモの栽培が盛んになり、現在約200haに達しているといわれる。この地区でもヤマトイモをトレンチャーで収穫するが、後作は畦間に連作するために、掘上げた作条の土が山脈状に盛上げられたまま冬期間放置される。そのため飛土が激しく、たまたまこの産地の風下に隣接して分譲住宅団地ができてから飛土に対する住民の被害苦情が大きな問題になって、目下役場には風塵対策委員会がつくられ対策中だといわれる。このように、深根性作物の機械化、産地化によって風蝕が激化しているところもみられる。さらに近年はビニールハウス利用の施設栽培も盛んになっているが、風蝕時にはビニールハウスの汚染とハウスの隙間から入った風塵による作物汚染も問題になりつつある（茨城県竜ヶ崎）。

また茨城県・千葉県の台地上の風蝕地帯でも道路の拡張・舗装がすすんだが、春一番など風蝕の激しいときには、飛土によって視界が悪くなり、かつ道路上への吹溜りができて自動車などはたびたび徐行するとの話は各所で聞かれた。またこの地帯の宅地業者は風蝕の発生しやすい1～3月頃までは意識的に取引をひかえているようだと話がでるなど、栃木・群馬に比べて茨城・千葉県下の風蝕が激しく、被害規模の大きさがうかがわれる。このように、風蝕被害は耕地の浸蝕や農作物への被害だけでなく、生活環境への影響も大きく、被害意識も農民

よりも周辺住民のほうが強くうけとめている。

次に開拓地が多い栃木県那須野ヶ原は生産力の低い火山灰土壌が大部分を占めており、風蝕の頻度も多い。したがって農民は、多労型で不安定な畑作農業から水田作農業へと大きな努力を払った。しかし従来の疎水は水利権がぎびしく、開田に対するかんがい水は電気揚水に依存したが、何分扇状地のため地下水位が低く、水量も乏しく、そのうえ開田工事は手作業とあって床締が不十分なため漏水がひどく、水田化も思うようにすすまなかつた。

その後ようやく30年代半ばからブルドーザなどによる機械施工に変わり、そのため漏水は減少するなど水田化の条件がそろい、開田化が急速に進み昭和37~50年の間に畑地および平地林約2万haが水田になったといわれている。さらに昭和41年度から国営総合開拓パイロット事業として既存の那須疎水などの改修と新設がすすみ、畑かん施設の計画も地元との検討に入っている。したがって、これらが完成すると那須野ヶ原畑地帯における風蝕問題は少なくなるとみてよからう。(農事試)

書 評 コリンズ「浸透理論—多孔性物体中の流体の運動」を読んで

中 村 忠 春

Tadaharu NAKAMURA

地下水を水理学的に研究するとか、多孔性物体中の流れの研究とかは、他の土壤物理の研究と同様、主として米ソ両国を中心に研究が展開されている。

まとまった著書としても、米国では Muskat (1937), Scheidegger (1957) およびこの Collins (1961) のものがあり、ソ連では Polubarinova (1952), Aravin & Numerov (1953), Krimentov & Pixatev (1961) のものがある。最後のクリメントフとパイハチェフの著書はすでに訳本が出版されているから、ここにコリンズの訳本が出版されたので、1960年頃までの米ソ両研究分野の代表著書が容易に読めることになった。

1970年頃よりは上述の基礎にたつて J. Bear, DeWiest, Childs などの著書が出版されているが、これら1960年頃までの基本が開花しつつあるものであろう。このようにコリンズの著書は浸透問題の体系書・入門書として長年の評価に耐えているものである。それが故富士岡義一教授一門の方々の手により容易に読めるようにしていただいたのは有難い。

内容を見ると次のようである。

- 第1章 多孔性物体の構造と特性
- 第2章 多孔質物体中の流体の静力学
- 第3章 流れの物理的および数学的理論
- 第4章 均質流体の定常・層流
- 第5章 均質流体の非定常平面流
- 第6章 非混合性流体の同時流
- 第7章 移動境界問題、置換、固体粒子の沈積
- 第8章 混合性流体の同時層流
- 第9章 モデル理論
- 第10章 相の変化する流れ

章を進めるにしたがつて理解が深まるようになって、きわめて体系的であり理解し易い。なお第6章以下になると、研究者にとっても新鮮な視野や知見を与えてくれるものが少くない。したがって大学院生のような初学者にとっては、現在は理解し易い入門書であり、将来は座右を離せぬ引用書になり得るものと考えられる。また研究者にとっても今一度理解を整理し、新鮮な視野を開くのによい本と考える。

畑地農業振興会, B 5, 237頁, 3,000円
昭和49年12月発行

* 愛媛大学農学部

会 務 報 告

(昭和50年10月1日～昭和51年3月31日)

第5回事務局会議 50.10.16 於・茨城大

〔出席者〕 軽部, 塩, 須藤, 寺沢, 安富 (アルファベツト順)

〔議 題〕

- 1 第17回シンポジウムのプログラム作成
- 2 総会資料の作成
- 3 評議員会について

第17回シンポジウム運営委員会 50.10.20 於・農技研

〔出席者〕 足立, 荒川, 陽, 塩, 高橋, 寺沢, 須藤

〔議 題〕

- 1 シンポジウム運営の任務分担
- 2 アルバイト及び当日の予算について

第2回評議員会 50.11.13 於・農技研

〔出席者〕 岩田, 前田, 須藤, 多田 (中川代理), 寺沢, 横井, 湯村各評議員, 安富編集委員長, 塩幹事

〔報告および議題〕

- 1 一般経過報告
- 2 編集委員会報告, 会誌の略記号について
- 3 会計報告
- 4 第18回シンポジウムの方針について

第17回シンポジウム 50.11.14 於・東大

テーマ: 土壌物理からみた環境汚染

司 会: 鈴木重義 (農工大)

増島博 (農事試)

講 演:

- 1 環境における物質循環と土壌
半谷 高久 (都立大)
- 2 有機物多量投入と土壌の物理性
松崎敏英 (神奈川総農研)
コメンテーター 尾形 保 (草地試)
- 3 排水の土壌への循環
有水 彊 (林 試)
コメンテーター 大井 節男 (農土試)
- 4 水田肥料の流出
田淵 俊雄 (茨城大)
コメンテーター 越野正義 (農技研)
- 5 カドミウム汚染圃場の整備と土地改良
館川 洋 (福島農試)
コメンテーター 馬場 秀和 (岩手大)

質疑応答と総合討論

昭和50年度土壌物理研究会総会 50.11.14 於・東大

シンポジウムの休憩時間を利用して総会が開かれた。

議長: 多田 敦 (農土試)

経過報告: 1 一般事務報告

2 編集委員会報告

3 会計報告

4 会計監査報告

議題: 1 研究会の英名, 会誌の略記号について (会則一部変更)

2 昭和50年度予算について

経過報告, 議案が承認され, 会則第1条は次のように変更された。

第1条 本会は土壌物理研究会 (Research Association of Soil Physics, Japan) と称する。

会誌の略記号については編集委員会に一任することが了承され, 編集委員会では「土壌物理」, 「SPCPG」とすることになった。

尚, 承認された予算・決算は次の通り。

	項 目	49年度決算額	50年度予算額
収	繰 越 金	384,946	230,910
	賛 助 会 費	10,000	160,000
	購 読 会 費	45,000	170,000
	一 般 会 費	436,500	1,964,550
	広 告 料	6,000	18,000
	出 版 物 売 上	42,200	40,000
	雑 収	79,011	6,000
入	計	1,003,657	2,589,460
支	会 誌 製 作 費	382,000	1,500,000
	総 会 費	134,090	200,000
	通 信 費	66,071	250,000
	文 具 費	15,125	30,000
	賃 金	14,000	100,000
	交 通 費	82,250	200,000
	会 議 費	7,891	30,000
	役 員 手 当	31,400	120,000
	編 集 委 員 会 費	29,620	100,000
	予 備 費	10,300	59,460
出	次 年 度 繰 越 金	230,910	
	計	1,003,657	2,589,460

第2回編集委員会 50.12.11 於東大

〔出席者〕 雨宮, 江崎, 陽, 根本, 堤, 安富

〔議 題〕

- 1 会誌32号の反省

2 会誌33号の編集方針について

(バックナンバー在庫状況)

第6回事務局会議 51.3.5 於・茨城大

〔出席者〕 軽部, 塩, 須藤, 寺沢, 安富

〔議 題〕

- 1 第3回評議員会開催について
- 2 評議員選挙の準備と会員名簿作成について
 - 47年度以前の会費滞納者は名簿から除外する。但し、当事者には督促状を出し、期限までに納入された者については選挙に間に合うように追加名簿を発行する。
- 3 第18回シンポジウム案について
 - 前回総合的なものだったので次回は基礎的なものにした。
 - 水分物性, 粒子間関係, 移動論を含めて, テーマ(案)を「土壌物理の基礎」とする。
 - 期日は11月19日(金), 場所は農技研(西ヶ原)を予定する。
- 4 会誌第33号発行, 予算執行状況等。

号	冊 数	号	冊 数
No. 13	80	No. 23	176
14	214	24	172
15	245	25	136
16	213	26	130
17	217	27	176
18	211	28	178
19	118	29	192
20	117	30	179
21	184	31	230
22	196	32	215

第3回編集委員会 51.3.8 於東大

〔出席者〕 雨宮, 江崎, 粕淵, 陽, 根本, 堤, 安富

〔議 題〕

- 1 会誌33号の編集について
- 2 会誌34号以降の編集方針について
土壌物理の測定法を一編は掲載する。

土壌肥科学研究所連絡会委員の推せんについて

昭和50年10月に開かれた第69回日本学術会議総会で議決された, 農学研究連絡委員会土壌肥科学研究所連絡会の委員に, 当研究会より1名推せんされるよう須藤会長あて, 依頼がありました。については, 本件の委員に農研寺沢二郎氏を推せんしたので, お知らせします。

研究連絡委員会の機能は, 第61回総会申合せにより, 次の三点があげられます。①国際的に対応する学会連合又は学会等を通じて世界の科学者と連絡を行う。②国内的に専門的に関連している学会等を通じて, 国内科学者の研究活動の連絡の場となる。③研究条件の整備, 将来計画の樹立などにあたる。

〔新入会員〕

- 安 部 征 雄 〒153 目黒区駒場2-19-1 東京教育大学
 日 高 伸 〒360 埼玉県熊谷市大字久保島1372 埼玉県農試
 岩 波 悠 紀 〒980 仙台市米ヶ袋1-1-34 東北大学農学研究所
 袴 田 勝 弘 〒898 鹿児島県枕崎市別府14041 農林省茶業試験場枕崎支場
 伊 藤 純 雄 〒514-01 津市一身田大古曾670 野菜試験場(土肥研)
 江 口 義 弘 〒319-03 茨城県東茨城郡内原町内原1392 (国際協力事業団内原訓練所)
 兼 田 裕 光 〒069-13 北海道夕張郡長沼町北長沼 道立中央農試
 古 屋 忠 彦 〒812 福岡市東区箱崎6丁目 九州大学
 鈴 木 進 〒320 宇都宮市峰町350 宇都宮大学
 中 林 三和輝 〒601 京都市南区上鳥羽上調子町2-2 積水化学工業KK
 福岡大学工学部事務室 〒814 福岡市七隈11番地
 千葉大学園芸学部図書館 〒271 松戸市戸定648
 専修大学北海道短期大学図書館 〒079-01 北海道美瑛市美瑛1610の1

〔逝 去〕

小 橋 英 夫 岡山大学教授

お 知 ら せ

第18回土壌物理研究会シンポジウム

テーマ: 土壌物理の基礎 ——水分物性, 粒子間関係, 移動論——

期 日: 昭和51年11月19日(金)

場 所: 農林省農業技術研究所(北区西ヶ原2-1-7)

土壤物理測定器

実容積測定装置（孔隙率装置）

土壤透水性測定装置

土壤団粒分析装置

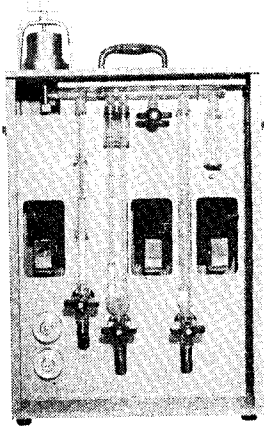
土壤 pF 測定装置

土壤通気性測定器（Gasometer）

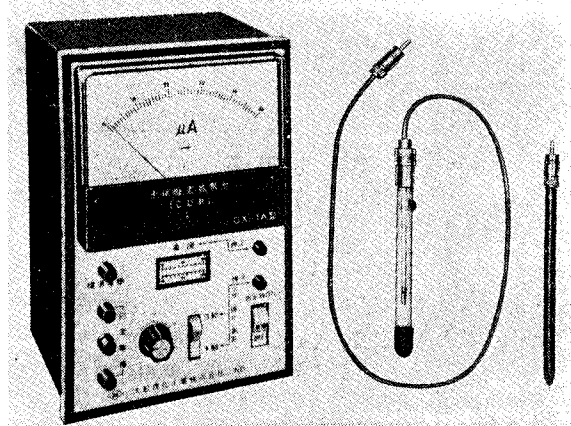
土壤酸素拡散計（Oxygen Diffusion Rate Meter）

土壤圧膜装置

テンシオメーター



実容積測定装置



土壤酸素拡散計

その他、土壤物理性測定、土壤水分測定に関する製品を各種取り揃えています。

大起理化工業株式会社

東京都荒川区町屋2～16～2

電話 03 (892) 2191(代表)

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、ハイフンには一画を与える。数字・ローマ字は一画に一字を充てる。
- 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、I—I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。トレースに適さ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—1」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 —

私共編集委員会の役目をおおせつかって3冊目の発行となりました。

今回の編集にあたっての最大の問題は、昨年11月に開催されたシンポジウム「土壌物理からみた環境汚染」に対する取り扱いでした。従来は1年遅れて掲載されるのが慣例のようでしたが、これでは記憶も薄れ、極端な表現を使うと間が抜けてしまうことにもなりかねないので、今回からシンポジウム開催後の直近号に掲載する方針に変えました。

さらに、今回はシンポジウム特集号とはいえ、報文、資料も同時に掲載することにして、内容の充実をはかりました。とくに今回の圧巻は昨年来日されたワーケンチン教授からの投稿です。

さて、次号は皆さんの自由投稿だけで編集する方針ですが、それにしても、会員からの自発的投稿が非常に少ない現状につきまして、編集委員一同頭をかかえております。皆さんふるって御投稿下さい。(江崎・根本)

土壌物理研究会

事務局構成	会長 須藤 清次
	副会長 寺沢 四郎
庶務幹事	軽部重太郎 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

土壌の物理性 第33号(会員配布) 1976年4月1日発行

発行 土壌物理研究会(〒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. 33

April 1976

Contents

Foreword	S. NAKAGAWA	1	
Symposium "Soil Physical Approach to Environmental Pollution"			
Soil and Material cycle in the Environment	T. HANYA	2	
Studies on the Physical Changes of soil by Application of Large Amounts of Animal Wastes.....	T. MATSUZAKI, Y. KAGAWA, K. UEHARA	3	
Land Treatment of Wastewater as Optimal Groundwater Basin Development.....	T. ARIMIZU	11	
Outflow of Fertilizers from the Rice Paddy Field	T. TABUCHI	16	
Improvement of Field Polluted Cadmium	H. TATEKAWA	21	
Discussion		27	
Originals	Calculation of Interparticle Attraction for Clay Soils from Water Retention Curves.....	B. P. WARKENTIN	31
	Physical Properties throughout Deep Soil Profile in the Alluvial Paddy and Volcanic Upland Field along Sagami River.....	S. TERASAWA	35
Notes	Evaluation of Measuring Soil Aeration.....	T. YASUDA	43
	Prof. Warkentin's Profile in Japan	T. MAEDA	49
Reader's Column.....		R. NEMOTO	52
Recent Books.....		T. NAKAMURA	53
Announcement			54

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