

土壌の物理性

第77号

1998年2月

巻頭言	岩間 秀矩	1
報文		
アロフェン土壌における酸性溶液浸透時の土粒子分散, 透水係数, pHの関係	松川 進・富田平四郎・鈴木 敬・加藤 秀正	3
酸性溶液を繰り返し添加した時の土壌溶液濃度と pH	松川 進・加藤 秀正・富田平四郎・鈴木 敬	11
耕耘によるセラード・ラトソル土壌の圧密層破砕が土壌の物理性, 化学性, 作物の生育に及ぼす影響	小川 和夫・Claudio Alberto Bento Franz・Sergio Mauro Folle・Francisco Edwardo de Castro Rocha	19
黒ボク土の心土を用いた圃場造成に伴う土壌団粒構造の変化	盧 鋼・坂上 寛一・山岸 順子・田中 治夫	33
エチレングリコール水溶液を用いたテンシオメータによる冬期の畑土壌マトリックポテンシャル測定法	吉田 正則	41
資料		
メンブレン吸引法	長谷川周一	51
土粒子		
エクアドル高原列車の屋根からみえるもの	江口 定夫	53
書評		
「カオス農学入門」(酒井憲司著)	中原 治	55
「生物と自然のハーモニー」(鈴木光剛編著)	小林 政広	57
会務報告		59
編集後記		62

土 壌 物 理 研 究 会

土壌物理研究会会則

- 第1条 本会は土壌物理研究会（Research 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。
会員となるには評議員会の承認を受けなければならない。
- 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 | 5,500円 |
| 学生会員 | 年額 | 3,000円 |
| （大学院生を含む） | | |
| 賛助会員 | 1口年額 | 22,500円 |
| 購読会員 | 会誌年額 | 7,000円 |
| 広告料 | 賛助会員 | 15,000円 |
| | 賛助会員以外 | 22,500円 |
- 第6条 本会に次の役員をおく。任期は2年とする。ただし、3期連続の重任は認めない。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 正会員の中から互選する。
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。本会の会計年度は毎年4月1日に始まり翌年3月31日に終わる。
- 第10条 本会の会務執行に必要な規定は別に定める。
(1996. 9. 30改正)

「土壌の物理性」投稿規定

1. 投稿要領

- 1) 投稿は本会会員に限る。ただし共著者の場合または編集委員会が依頼した場合はこの限りではない。
- 2) 投稿原稿の採否は、編集委員会において別途定める閲読基準により決定する。なお、「報文」は2名、その他は1名の閲読者を編集委員会において決定し、閲読を依頼する。
- 3) 投稿は以下に示す種別にしたがい、その内容は土壌の物理性に主体をおくものとする。

「報文」 一編ごとに報文としての体裁を整え、独創性があり、土壌の物理性に関する研究及び技術に寄与するとみなされるもの。他誌に未発表のものに限る。

「ノート」 新しい事実や、研究方法の改良などを含む短い報告。

「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」 土壌の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など。

「その他」 土粒子、書評など。

- 4) 投稿には別紙形式の送り状を付け、正原稿1部、コピー2部の計3部を送付する。初校のみ著者校正とし、印刷ずみの原稿は返さない。別刷は30部を著者に贈呈する。それ以上希望する場合は実費を申し受ける。
- 5) 本誌に記載された論文の著作権は、土壌物理研究会に帰属する。

2. 原稿執筆要領

- 1) 原稿の執筆は、日本語原稿の場合、400字詰横書き原稿用紙を用いる。ワードプロセッサを使用する場合は、A4判で横25字、縦23行とし、上左右30mm、下端に50mmの余白をとる。英語原稿の場合は、A4判ダブルスペースで作成する。なお、最終原稿の本文をテキストファイルで提出する。

- 2) 原稿枚数は、図表を含めて刷り上がり 6 ページ以内とする（日本語原稿では、刷り上がり 1 ページは、2300 字で、ワードプロセッサ使用の場合は 4 枚が 1 ページに相当する。英語原稿では、刷り上がり 1 ページは、600 語）。上記の印刷ページを越えるときには、1 ページあたり 9,000 円を著者負担とする。ただし、編集委員長が依頼した論文・記事についてはこの限りではない。なお、カラー印刷の場合はいかなる場合でも実費を全額著者負担とする。

表題・著者名・キーワード

- 3) 表題は内容を簡潔に表すものとする。
- 4) 日本語で原稿を作成する場合には、表題、著者名の順に記す。次に英語で表題、著者名（フルネーム）、所属機関（住所）を記す。原稿 1 ページ目の脚注に、日本語で所属機関（住所）を記入し、ついで 5 個以内のキーワードを記す。
- 5) 英語で原稿を作成する場合には、表題、著者名、所属機関の順に記す。ついで 300 語程度の ABSTRACT を記し、その下に 5 個以内のキーワードを記す。

本文

- 6) 本文は、1. はじめに、2. 実験方法、3. 結果、4. 考察のように章に別けて見出しをつけ、必要に応じて、1), 2), 3) …と節に分け小見出しをつける。章・節の番号はアラビア数字を用いる。
- 7) 文体はひらがな漢字混じりの横書き口語体とし、できるだけわかりやすい表現にする。
- 8) 術語以外は常用漢字を用い、かなは現代かなづかいとする。
- 9) 句読点・括弧・ハイフンは普通 1 画を与える。数字・小数点・ローマ字は 1 画に 2 字をあてる。
- 10) 数字はアラビア数字を用い、漢数字は普通の字句にのみ用いる。
- 11) 外国人名は欧字とし、最初の文字のみ大文字とする。ただし中国人名などは漢字でよい。術語になっている外国人名は、カタカナ書きとする（例：ダルシー則、ストークスの法則）。
- 12) 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。中国等の地名は漢字でもよい。日本語の地名も周知されていないものは、ひらがなを併記する。
- 13) ゴシック、イタリック、ボールドの字体は鉛筆で指定する。ギリシャ文字、上付き、下付き文字、あるいは I (エル) と 1 (イチ) のようにまぎらわしい文字が混在するときにも、誤植防止のため鉛筆で指定する。
- 14) 術語は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。
- 15) 略語、略号を使うときは、はじめにそれが出る箇所で、正式名称とともに記す（例：液性限界 (LL)）。
- 16) 動植物の名称はカタカナ書きにし、必要に応じてラテン語学名をイタリックでつける。
- 17) 数量の単位は原則として SI を用いる。
- 18) 文献の引用は著者名、年号をつける。著者が 2 名の場合は、両者の名字と年号を記す。3 名以上の

場合は、以下の例に従う (Tanaka *et al.* (1994) は・・・; 竹中ら (1960) は・・・; (Tayler *et al.*, 1945).)。

- 19) 図・表・写真番号は図-1, 表-1, 写真-1 のように書く。図表・写真は本文中欄外に挿入位置を指定する。ただし、指定の位置に入らないことがある。
- 20) 謝辞は本文末尾につける。
- 21) 英文原稿も上記に準じる。ただし英文の適正化は、著者の責任において行うこと。また、著者からの希望があれば、英文の適正化を行う専門家に関する情報を提供することができる。

要約

- 22) 日本語報文には 300 語以内の英文要約をつける。英文要約の英文適正化も英文原稿の取り扱いに準じる。
- 23) 英文要約の下に、5 個以内のキーワードを記す。

図・表・写真

- 24) 図、表、写真は必要最少限度とし、同一事項を表と図に重複させることはできるだけ避ける。
- 25) 図、表、写真 1 つごとに、A4 判で作成する。事故を避けるために、余白に著者名を鉛筆で記す。図、写真にはその番号も鉛筆で記す。
- 26) 図はそのまま印刷するので、白紙に黒インクできれいに書く。これと同程度の鮮明さを持つ、プロッタ、プリンタによる図は受け付ける。製版に適さない図は書き直しを要求することがある。
- 27) 図は刷り上がりの大きさを指定し、2 倍くらいに大きく書く。図中の線の太さ、文字の大きさは、刷り上がりの大きさを考慮して決める。なお図および写真中の文字は希望があれば写植する。その場合には、図中の文字は鉛筆で薄く記入する。
- 28) 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。顕微鏡写真などには定尺をつけ、何倍などの拡大率を指定しない。
- 29) 日本語報文原稿の図・表・写真の表題には日本語と英語を併記する。
- 30) 図、写真の表題は別紙にまとめて記す。

引用文献

- 31) 文献は本文のあとに、著者名の ABC 順に書く。未発表・私信は引用文献として記載しない。
 - 32) 書き方の様式は以下のようにする。
- Bouma, J. and Dekker, L. W. (1978) : A case study on infiltration into dry clay soil, I. Morphological observations, *Geoderma*, **20** : 27~40.
- Cambell, G.S. (1974) : A simple method for determining unsaturated hydraulic conductivity from moisture retention data. *Soil Sci.*, **117** : 311~314.
- FAO (1988) : Revised legend of the FAO-UNESCO Soil Map of the World. p. 119, FAO, Roma.
- 岩田進午 (1970) : 土壌物理とペドロロジー, ペドロジスト **14** : 28~33.
- 山崎不二夫監修 (1969) : 土壌物理, p 55, 養賢堂, 東京.
- 竹中 肇 (1965) : 収縮挙動よりみた土の工学的性質, 農土論集, **14** : 32~35.

(1997. 10. 30 改正)

原 稿 送 り 状

受付番号 (本会で記入):

発送年月日	年 月 日	受付年月日(本会で記入)	年 月 日
種 別	報文, ノート, 論説・総説, 資料, 解説, その他 ()		
表題(和文)			
表題(英文)			
キーワード (日本語: 5ヶ以内)			
キーワード (英語: 5ヶ以内)			
著者名1 ローマ字		所属	本会 会員・非会員
著者名2 ローマ字		所属	本会 会員・非会員
著者名3 ローマ字		所属	本会 会員・非会員
連絡先氏名			
住 所 電話・FAX 番号 e-mail	〒		FAX:
	TEL:		e-mail:
	A4:() 枚) ・ 400字詰原稿用紙() 枚)		
表 枚	図 枚	写 真 枚	
別 刷 り	30部 ・ 50部 ・ 100部 ・ 150部 ・ 200部 ・ 300部		

付記: 投稿は土壤物理研究会事務局または編集幹事宛のこと

土壌物理研究会入会申し込み用紙

必要事項を記入し、このまま FAX または郵便で下記までお送り下さい。

会 員 種 別	正 ・ 学 生 ・ 購 読 ・ 賛 助
申 込 年 月 日	年 月 日
氏 名	
同上ローマ字読み	
性 別	男 ・ 女
生 年 月	年 月
勤 務 先	
同上所在地	〒
同上電話・FAX 番号・ e-mail	〒
自 宅 住 所	
同上電話・FAX 番号・ e-mail	
会 誌 の 送 付 先	勤務先 ・ 自宅
本会以外の主な所属学会	

本会記入 受付年月日：

承認年月日：

宛先・問い合わせ

中村 貴彦 (NAKAMURA Takahiko : 土壌物理研究会本部事務局/会計幹事 : 会員担当)

〒156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1 東京農業大学総合研究所

Fax. : 03-5477-2634

Tel. : 03-5477-2540, e-mail : dojo@nodai.ac.jp

編集委員会からのお知らせ

編集委員会承認 (1998. 2. 17)

「土壌の物理性」第76号で、1997年度から研究会誌は一年に3冊、そのうち1冊は英文誌で発行する方針をお知らせしました。しかし、その後編集作業を進めていく過程において、以下のような問題が発生しました。

和文投稿者が論文を受理されても、和文誌発行直後であれば、印刷まで最大8ヶ月待たなければなりません。また、欧文投稿者の場合、それが12ヶ月となります。その対策のため、受理または印刷中の証明書を発行するとしましたが、できるだけ早急に印刷物が欲しいとの要望が多くありました。さらに、この編集スケジュールのため、和文論文や英文論文の投稿がそれぞれの発行前の特定期間に集中し、閲読作業に時間が必要となり、発行が遅れる事態に至りました。

そこで、この問題を解決するため、年3回(3, 7, 11月)の定期発行をおこない、論文については和文・英文をこれまで通り区別無く「土壌の物理性」に掲載することとします。

以上の点につきましては、1997年11月7日に開催された評議員会および総会で問題を提起し、今後の方針についても了承されました。

方針を何度も変更し、皆様にはいろいろご迷惑をお掛けしますが、ご了解下さい。

また、諸外国の方々にも開かれた論文誌をめざし、投稿規定の英訳やSIの使用例を今号から添付しました。これまで以上の皆様の積極的な投稿やご意見をお待ちしております。原稿は下記編集幹事または庶務幹事までお送り下さい。

編集幹事

奥山武彦 (農業工学研究所 地域資源工学部 地域エネルギー研究室)
〒305-8609 茨城県つくば市観音台2-1-2,
TEL : 0298-38-7577, FAX : 0298-38-7609,
e-mail : okuyama@nkk.affrc.go.jp

庶務幹事

長谷川周一 (農業環境技術研究所 環境資源部 土壌管理科 土壌物理研究室)
〒305-8604 茨城県つくば市観音台3-1-1,
TEL/FAX : 0298-38-8257, e-mail : hasesh@niaes.affrc.go.jp

環境容量と土壌物理研究

岩間秀矩*

環境保全型農業の取り組み開始とほぼ時を同じくして、環境容量により施肥の在り方を見直すことが提唱され、それから数年が経過しつつある。環境容量という用語は、当時、環境問題に疎かった私にはかなり新鮮に響いたが、それ自体はかなり以前から使われており、「生態系の持つ自然の浄化能によって許容される投入負荷量の限界」という考え方を中心としたものであった。しかし、自然浄化能の定量的な把握が難しいことから、こうした環境容量から基準を決定することは困難であり、一部には死語化した概念とさえ言われてきた経緯がある。

最近になって、特に硝酸態Nの農地からの流出に関連して、環境容量が改めて登場してきたのはそれなりの理由があると思われる。すなわち、農地では負荷物質除去の主体は自然浄化能ではなく作物吸収であり、投入源である肥料や堆肥の施用も含めて、農地からの負荷発生は人為による制御可能な技術的問題であること、それ故、その解決に最も必要なことは、農業と環境の間に存在する限界への農業関係者の自覚的認識であり、環境容量はそのために適切かつ必要な用語として受け止められたのであろう。そして環境容量には現場技術と研究を、また、生産研究と環境研究をそれぞれつなぐ接点としての役割が期待されたのである。

ところで農地の環境容量、中でも土壌断面方向の環境容量は、負荷物質の地下水への流出評価が主題である。したがって、その概念の形成と明確化は、雨水の浸透と負荷物質の移動など土壌物理の理論を核として、作物根の養分吸収や土壌の浄化・固定作用等が付加される形になる必然性があったと思われる。

しかしながら、ライシメーターによる硝酸態N浸透量測定値の現実的解釈に基づいて畑地環境容量が農研センター上沢室長により提示された以降、農地からのN流出について多くのデータが蓄積されつつあるものの、土壌・気候・栽培特性から環境容量を評価する作業には、この数年間全く進展が見られていないのである。土壌物理研究の一端を担う者としてじくじたる思いに陥らざるをえない。

若干言い訳になるが、実は、環境容量を考えるベースとして、単純化された連続栽培下での溶質移動の動的平衡状態を想定すると、地下水へのN浸透量とその濃度は、毎年の養分収支の残余N量と浸透量だけで決まるといった、土壌物理としてははなはだつまらない結論となってしまい、究明すべき課題がぼやけてきたことは確かである。

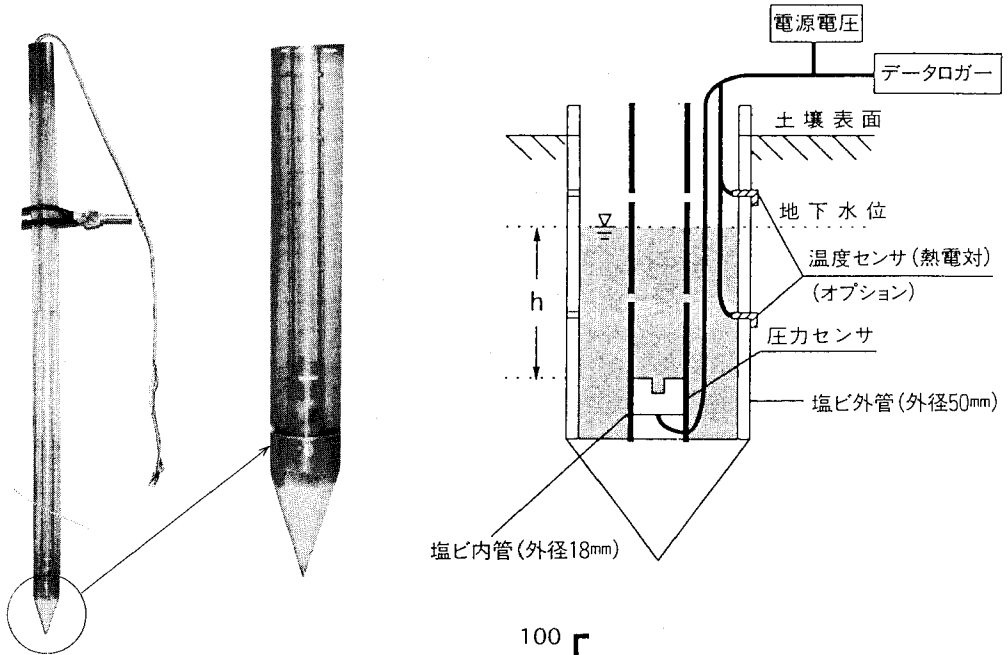
それでは土壌の物理性はN負荷発生に関わりが無いのであろうか？ 答えは明らかに否であろう。土壌の物理性は施肥成分の配分、すなわち作物吸収と溶脱への配分に関わっており、また、土壌による生物学的な浄化や固定作用に間接的に関わっている。前者の問題は土壌中に浸透した雨水の貯留分と深層損失分への配分に関連する問題であり、また、浸透水の移動に伴う水溶性成分の移動の難易、すなわち土壌の構造性と溶質分散の問題である。加えて、現場における検証には、深層への浸透量評価をはじめ土壌物理の方法と理論は不可欠である。後者、生物性との関連もまた、土壌物理側から取り組むべき重要な課題である。

現在、国内各地において、土壌と気候の特性に応じた環境容量を設定し、さらにその拡大技術への指針を示すことが現場から求められている。土壌物理研究への期待の大きさもさることながら、研究側が現場技術との接点にどう答えるのかが強く問われていると感じている。以上、現在つまづいている問題を提起したが、土壌物理からの取り組みなくして進展はありえない。会員諸氏による積極的な取り組みをお願いしたい。

地下水の動きを迅速かつ容易に見る

圧力センサ式地下水位メータ (EN-GW-501)

1. 構成



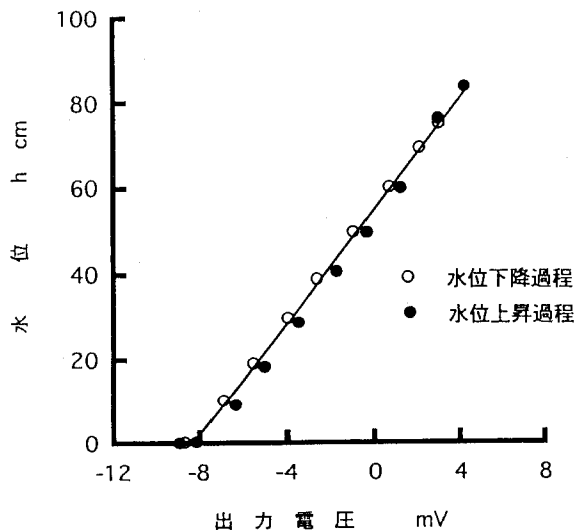
2. 圧力センサ (拡散型半導体圧力変換器)

1)仕様

定格圧力	0~9.81×10 ⁻² MPa (0~1000cmH ₂ O)
最大圧力	0.196MPa
動作精度	±0.3% FS (0~50℃)
ヒステリシス	定格圧力の1%以下
アナログ出力	
オフセット電圧	±5 mV (0 MPa)
スパン電圧	100 mV±50mV
駆動電流	1.5 [mA]

2)特性

圧力センサの出力電圧の初期値(水位0cm)によらず水位と出力電圧は直線関係を保ち、ヒステリシスは非常に小さい(直線性/ヒステリシス=±0.3%FS)



3. 地下水位メータ仕様

1)標準仕様	外管・内管 1 m 延長ケーブル 5 m
2)オプション	外管・内管 1 m以上 電源装置 埋設用オーガー

エンドウ理化

〒001 札幌市北区新琴似10条7丁目3-16

☎ (011) 763-1088

FAX (011) 763-1667

アロフェン土壌における酸性溶液浸透時の土粒子分散、 透水係数、pH の関係

松川 進・富田平四郎・鈴木 敬・加藤秀正*

Relation Between Soil Dispersion, Hydraulic Conductivity and pH of Soil Water for Allophanic Soils during Acid Solution Percolation

Susumu MATSUKAWA, Heisirou TOMITA, Takashi SUZUKI and Hidemasa KATO*

* Faculty of Agriculture, Utsunomiya University

Abstract

Dispersion of aggregates for allophanic soil was studied with nitric and sulfuric acid solutions. Aggregate dispersion was enhanced for $\text{pH} < 4$ in nitric acid solutions, whereas not significant for all pH ranges in sulfuric acid solutions.

Hydraulic conductivity of packed soil was decreased instantaneously due to aggregate dispersion when the nitric acid solutions were applied. Aggregate dispersion enlarged the apparent soil surface area which could contact with acid solutions. Increase in the surface area enhanced the buffering capacity as a result of cation exchange, aluminum solubility, anion sorption and mineral weathering. Smaller aggregate could also make the displacement by diffusion easily. These reactions could lead to pH increases for effluent solutions.

On the other hand, the hydraulic conductivity was constant when the low pH sulfuric acid solutions were applied since the aggregate dispersion did not occur.

The pH of effluent solutions, therefore, decreased because of the limited buffering capacity at the surface of aggregate. When a higher pH solution such as distilled water was applied, the hydraulic conductivity did not change as well. Although the aggregate dispersion did not occur for distilled water, the buffering capacity for the low hydrogen concentration increased the pH of the effluents.

Permeability and buffering capacity of allophanic soil were influenced by the species of acid solutions as well as the concentration of hydrogen ion of percolating acid solutions.

Key words : soil dispersion, hydraulic conductivity, pH, buffering capacity

1. はじめに

日本での酸性雨による土壌への影響に関する研究の端緒は、1983年から環境庁が開始した第1次酸性雨対策調査によるところが大きい。また、1992年の第2次調査の中間発表の結果から、玉置(1994)は日本の降水pHの平均値は4.6程度で、経年変化はほとんどないと指摘している。そして、酸性雨による土壌への影響評価は野外では長期間を要するため、多くの場合室内実験による基

礎的研究が進められた。当初は土壌の緩衝能など土壌の化学的性質への影響が主体で、佐藤ら(1991)、佐藤(1992)により中和機能の簡易測定法の提案や、酸性雨の土壌による中和機能の機構分類などが行われた。

一方、pHの変化による透水性への影響については Suarezら(1984)により、モンモリロナイトやパーミキュライトなどの永久荷電を主体とする粘土を含む土壌について、pH、ナトリウム吸着比(SAR)と透水係数との関係を求めている。しかし、日本の畑地土壌に多く分

* 宇都宮大学農学部 〒321-0000 宇都宮市峰町350

キーワード: 土粒子分散, 透水係数, pH, 緩衝能

布する火山灰土の粘土鉱物は変異荷電を示すアロフェンを主体としているため、pH変化に対する透水性への影響はより大きいと予測される。そして、アロフェン質土壌については、Nakagawaら(1994)により透水性低下の影響が指摘された。また、松川ら(1996)は酸性溶液の種類により、土壌団粒の崩落率や透水性低下が異なることを報告している。

このように酸性雨による土壌への影響を評価するためには、土壌の化学的・物理的特性、および、微生物をはじめとする生物的影響を総合的に把握する必要がある。

そこで、アロフェンを主要粘土鉱物とする黒ボク土を対象にして、土壌の物理性と化学性の相互関係を検討することとした。すなわち、土壌の物理性変化として土壌団粒の分散と透水性変化、および土壌団粒分散の有無と化学的特性である土壌緩衝機能発現の相違を比較した。

2. 測定方法

1) 供試土壌の物理的・化学的特性

土壌は宇都宮大学農学部附属農場牧草畑の深さ40cmから60cmより採土し、含水比を調整後2mm篩通過分を用いた。アロフェン以外の粘土鉱物を知るため、0.002mm以下の粘土画分を脱鉄処理しX線回折を行った。回折角と回折ピーク強度より石英、Al-バーミキュライトも含んでいた。炭素、窒素量はCNアナライザーを用い、CECはSchollenberger法でそれぞれ測定した。供試土壌の主な理化学性を表-1に示した。有機物含有率は

表-1 試料の物理・化学的性質

Table 1 Some physical and chemical properties of soil.

pH (KCl)	4.93
pH (H ₂ O)	5.37
有機物含有率	2.08%
CEC (交換性陽イオン)	22.36 cmol (+)/kg
Ca	0.88 cmol (+)/kg
Mg	0.43 "
K	0.04 "
Na	0.08 "
塩基飽和度	6.4%
真比重	2.72
粗砂 (2-0.2 mm)	4.4%
細砂 (0.2-0.02 mm)	16.6%
微砂 (0.02-0.002 mm)	36.1%
粘土 (0.002 mm 以下)	38.9%

注) CEC測定にはpH7, 1N酢酸アンモニウム液使用

約2%と低く、pH (H₂O) は5.37で弱酸性を示し、塩基飽和度も6.4%と低かった。

荷電曲線の測定はSchofieldの方法で、飯村(1966)の記載に準じ一部修正した。すなわち、HClまたはNH₄OHでpHを3~9に調整した0.2 mol/l-NH₄Cl溶液50 mlを風乾土3gの入った遠沈管に加え攪拌後遠心分離し、上澄み液を捨てる操作を10回行った。10回目の上澄み液のpHを測定し、その値を平衡溶液のpHとみなした。

次いで、処理済みの試料に0.2 mol/l-KNO₃溶液を50 ml加え、よくかき混ぜてから遠心分離し、上澄み液を集める操作を繰り返す。上澄み液を定容とし、この中のアンモニウムイオンと塩化物イオン量をそれぞれ窒素蒸留法(Keeney(1982)), イオンクロマトグラフィー法で測定し、図-1の荷電曲線を作成した。

等電位点はpH 6.5付近で、pH7の陽イオン交換容量(CEC)と陰イオン交換容量(AEC)はそれぞれ6 cmol (+)/kg, 4 cmol (-)/kgであった。pHの低下によりCECの減少とAECの増加を示し、土壌粒子間の相互作用力に変化が生じることが予測され、団粒分散の要因の1つと考えられる。

2) 団粒の分散率

土壌団粒の分散を示す指標として、小川(1981)に準じて団粒の崩落率を測定し、崩落率を団粒の分散率とみなした。内径5 cm, 高さ5 cmの亚克力管に網目間隔1 mmの金網を接着した容器を用いた。土壌試料は2 mm篩を通過し、1 mm篩残留分、すなわち、1~2 mmの団粒を供試した。なお、試料の初期含水比は0.615であった。

まず、500 ml ビーカーに酸性雨の主成分である硫酸、

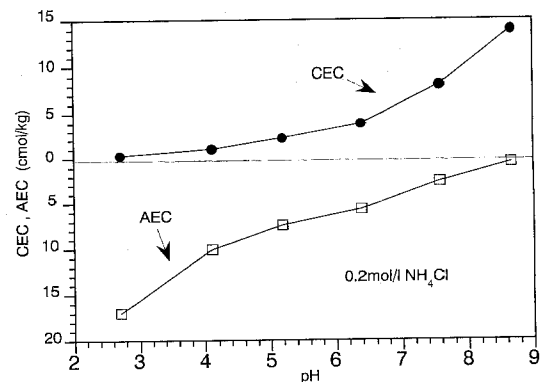


図-1 試料の荷電曲線

Fig. 1 Cation and Anion Exchange Capacity as a function of pH

硝酸溶液を pH を調整して 300 ml 入れる。そして，土壌試料 2 g を入れたアクリル容器を酸性溶液の入ったビーカーに静かに入れた。24 時間静置後，金網付きアクリル容器を静かに取り出し，容器に残留した土壌試料重を測定した。供試土壌重とともに落下した土壌重を求め，土壌の分散率を算出した。ただし，アルカリ側は水酸化ナトリウム溶液を用いて pH を調整し，同様に団粒分散率を測定した。

3) 透水係数

団粒の分散率と透水係数の関係を比較するため，酸性溶液を長時間浸透させ，その時の透水係数と供給した溶液の pH との関係を探った。土壌カラムは内径 3 cm，高さ 2 cm のアクリル管に乾燥密度 0.5g/cm^3 で充填した。カラムを小容量としたのは，硝酸溶液浸透時には土壌団粒の分散が激しく，カラム表面の土壌構造と下層の構造が大きく異なり，土層全体の透水係数を算出する際の誤差を少なくするためである。角保ら (1995) の測定した硝酸溶液浸透時の水圧ポテンシャル分布は，硝酸溶液の浸透開始後 23 時間には土壌カラム表面から 2 cm 程度まで直線分布であった。すなわち，表面から深さ 2 cm 程度までは透水係数がほぼ均一と見なせると判断した。

酸性溶液は pH の異なる硝酸溶液の入ったマリオート管より，一定水位で溶液を供給した。そして，所定の時間に排水量と給排水位差を測定し，透水係数がほぼ一定となることを確認できるまで 20~30 日間浸透を続けた。ただし，カラム長 2 cm の土壌にもダルシー則が適用できると仮定し，透水係数を算出した。

4) 排水溶液の pH 変化

酸性溶液の浸透により土壌団粒が分散すると，浸透溶液と土壌粒子との接触表面積の増加が予想される。接触表面積が増大すると，陽イオン交換や緩衝機能がより発現しやすいと考えられる。一方，土壌団粒が分散しない場合は，緩衝機能の発現が少ないと推測される。そこで，土壌団粒の分散が生じる近傍での pH 変化を測定するため，土壌試料長 1 cm のカラムに硫酸，硝酸溶液，および蒸留水を浸透させ，透水係数と排水溶液の pH 変化を測定した。

測定装置は酸性溶液と蒸留水を入れたマリオート管，土壌試料長 1 cm・内径 3 cm の土壌カラム，ビーカーを乗せた電子天秤，および，電子天秤からの排水量を一定時間で入力するパソコンより構成した。

土壌試料は乾燥密度 0.5g/cm^3 で充填し，試料下端はガーゼを 6 枚重ねたものを用いた。排水量の計測は浸透初期の 10 分から 60 分間隔と適宜増加し，パソコンに伝送した。さらに，測定開始と終了時に土壌カラムの給水位とガーゼ下端を排水位として高さを測定し，両者の平

均の水頭差を算出した。ただし，用いた電子天秤の最大秤量は 2,000 g であったため，積算排水量 2,000 g 未満の測定値について考察した。

また，排水溶液の pH はシリンジを用いてガーゼ下部より排水溶液を 1~2 滴採取し，新電元工業製 pH メータ (pH BOY-P2) で任意時刻に測定した。そして，素早く pH を測定後，シリンジで採取した溶液はビーカーに戻した。なお pH メータの再現性は $\text{pH} \pm 0.1$ である。

透水係数の算出は，試料長 1 cm の土壌カラムにもダルシー則が成立するとして取り扱った。

3. 測定結果と考察

1) 団粒分散率と透水係数

団粒分散率測定では，金網付きアクリル管を引き上げる際，土粒子の落下を完全に防止することができなかったため多少の誤差が含まれた。

団粒分散率とビーカーに加えた硫酸，硝酸溶液の pH との関係を探り，図-2 に示した。硝酸溶液に浸した場合，pH 4 以下で団粒の分散率が急増し約 20% に達し，pH 5 以上では 1% 以下の分散率であった。一方，硫酸溶液に浸した場合は pH による相違は小さく，全ての測定範囲で 1~3% の分散率であった。両酸性溶液による団粒分散率の差異について，中島ら (1996) は 1 価の陰イオンである硝酸の場合，拡散二重層の厚さが 2 価の陰イオンである硫酸より厚くなり，反発力が優勢で分散するためと推定している。

図-3 は 20~30 日間硝酸溶液の浸透を続け，透水係数の変化が少なく，ほぼ一定と見なせる時の透水係数と供給溶液の pH との関係を示した。図中には蒸留水を用いた場合の透水係数も示した。これらを図-2 の団粒の分

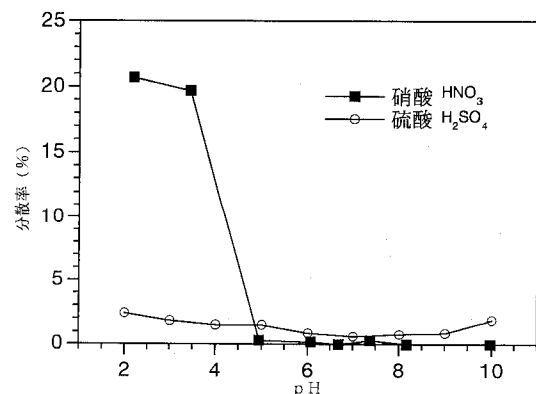


図-2 団粒の崩落率

Fig. 2 Dispersion ratio of soil aggregate as a function of pH

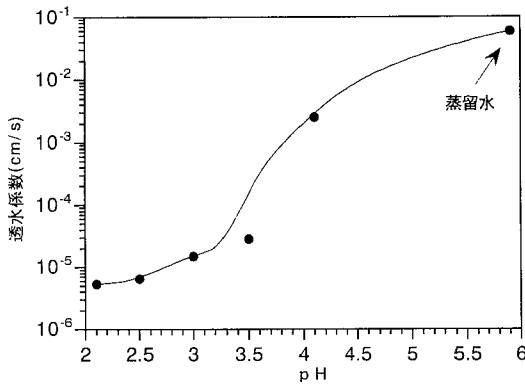


図-3 硝酸溶液の pH と透水係数

Fig. 3 Hydraulic conductivity of allophanic soils versus pH of nitric acid solutions

散率と pH の関係と比較すると、団粒の分散率が大きくなる pH 4 以下で透水係数が急激に低下していることがわかる。このように、透水係数の低下は団粒が分散し、土壌間隙が狭小化することと密接に関連しているといえる。

2) 硝酸溶液による透水係数と pH 変化

図-4 と図-5 に pH 2.1 と pH 3.1 の硝酸溶液を浸透した場合の透水係数と、排水溶液の pH の経時変化をそれぞれ示した。また、試料長が 1 cm であるので、排水溶液の pH は団粒の分散が生じる近傍の土壌溶液の pH と見なした。透水係数はいずれの場合も初期に急激に低下し、その後徐々に低下し、150 時間後には $2 \sim 4 \times 10^{-6}$ cm/s に達した。

ただし、pH 3.1 の方が透水係数の低下が大きいのは、長さ 1 cm の試料作成時の土壌構造の不均一さなどが影響したと考えられるが、原因は明確でない。

一方、排水溶液の pH は浸透初期では供給溶液とほぼ同じ pH (図-4 で約 pH 2.1, 図-5 では約 3.2) を示し、その後、pH 3.2 (図-4), pH 4.6 (図-5) まで上昇した。

透水係数の低下は団粒の分散により生じ、団粒の分散は土壌粒子と溶液が直接接触する表面積の増加をもたらす。その結果、陽イオン交換、鉱物の風化による塩基類放出 (例えば、佐藤 (1992)) などの緩衝機能、すなわち、土壌溶液中 (電気二重層外) の水素イオン濃度を上昇させない機能が促進されると考えられる。また、次式 (例えば、Reuss ら (1986)) に示すようなアルミニウム結晶の溶解やアルミニウム水酸化物の加水、脱水の可逆反応による緩衝機能や、逆にアルミニウムイオンの加水分解により H^+ を放出し、pH の低下機能も関与することなどが考えられる。

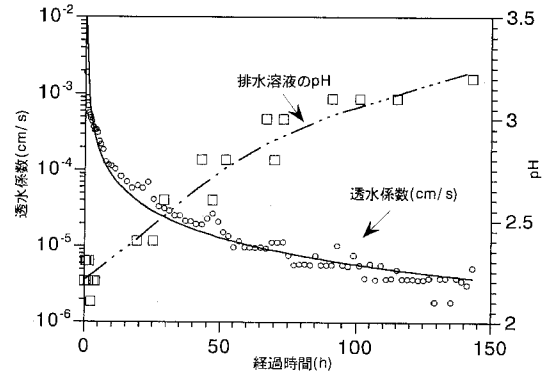


図-4 pH 2.1 硝酸溶液浸透時の透水係数と排水溶液の pH の変化

Fig. 4 Variation of hydraulic conductivity and effluent pH with time under percolation of nitric acid solutions having pH 2.1

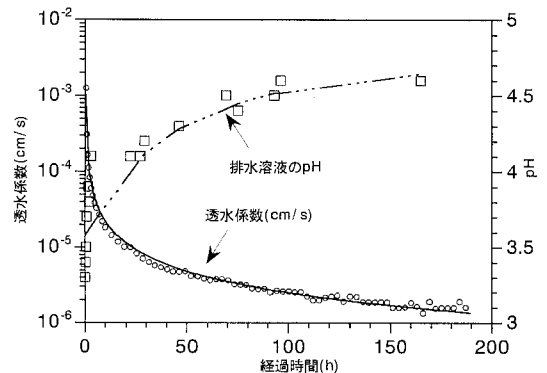
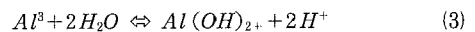
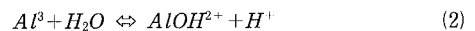
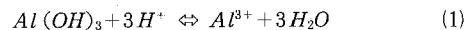


図-5 pH 3.1 硝酸溶液浸透時の透水係数と排水溶液の pH の変化

Fig. 5 Variation of hydraulic conductivity and effluent pH with time under percolation of nitric acid solutions having pH 3.1



さらに、アルミニウム水酸化物の団粒結合機能 (例えば、白石 (1979)) がアルミニウム水酸化物の溶解により抑制され、団粒の分散が促進することも考えられる。団粒の分散は、団粒内溶液から団粒間溶液への拡散を容易にすると推測され、緩衝機能を一層促進されると考えられる。以上のような機能が複合的に作用し、排水溶液の pH が上昇したと考えられる。

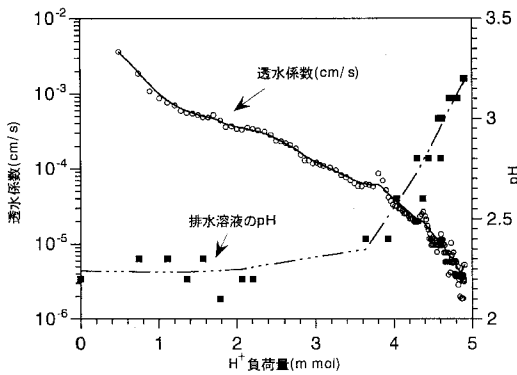


図-6 pH 2.1 硝酸溶液浸透時の水素イオン負荷量と透水係数，pH の変化

Fig. 6 Variation of hydraulic conductivity and effluent pH with hydrogen ion load under percolation of nitric acid solutions having pH 2.1

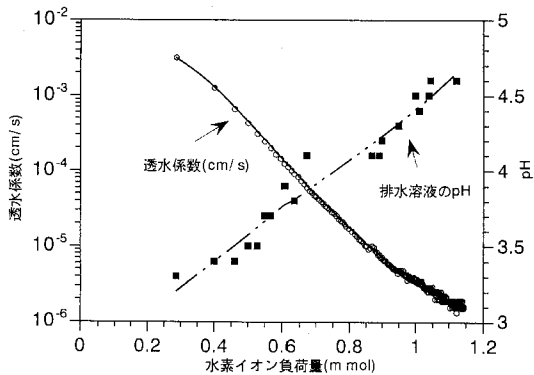


図-7 pH 3.1 硝酸溶液浸透時の水素イオン負荷量と透水係数，pH の変化

Fig. 7 Variation of hydraulic conductivity and effluent pH with hydrogen ion load under percolation of nitric acid solutions having pH 3.1

また，供給した硝酸溶液の pH から水素イオン濃度を求めた。ただし，水素イオンの活動度は 1 と見なした。そして，供給した硝酸溶液の水素イオン濃度にある時刻までの積算排水量を乗じて，水素イオン負荷量を算出した。水素イオン負荷量と透水係数，排水溶液の pH の関係を図-6，図-7 に示した。図-6 に示した pH 2.1 硝酸溶液の場合，初期の pH 上昇は図-7 の pH 3.1 より緩やかであった。これは pH 3.1 に比較して水素イオン濃度が約 10 倍であるので，緩衝機能の影響が pH 3.1 より相対的に少ないためと考えられる。pH 3.1 溶液の場合は水素

イオン負荷量とほぼ直線的に pH が上昇した。

水素イオン負荷量と透水係数の変化を比較すると，透水係数が $2 \sim 4 \times 10^{-6}$ cm/s に低下するのに要する水素イオン負荷量は pH 2.1 の場合は約 5 mmol，pH 3.1 では約 1 mmol で，約 5 倍の差があった。従って，pH 2~3 の硝酸溶液では透水係数の大きさを決定する因子は水素イオン負荷量ではないと考えられる。図-2 に示した硝酸溶液の場合の pH と団粒分散率の関係から，pH 2~3 の範囲では団粒分散率にはほぼ同様な影響を与えていることがわかる。このため，団粒の分散率がほぼ同様な pH 2~3 の硝酸溶液の場合，図-4，5 に示したように硝酸溶液の浸透時間（反応時間）が透水係数の大きさを支配する因子と考えられる。

3) 硫酸溶液による透水係数と pH 変化

土壌団粒の分散率が少ない硫酸溶液を浸透した場合の透水係数と排水液の pH 経時変化を，pH 2.0 溶液について図-8 に示した。透水係数はほぼ 2×10^{-2} cm/s の一定値で推移し，排水液の pH は 6 時間後では供給した硫酸溶液の pH に近い pH 2.5 を示した。ただし，電子天秤の最大秤量から，硫酸溶液浸透の場合は短時間の測定に限定された。

硝酸溶液を用いた場合を示した図-4，5 と比較すると，透水係数，pH とも対照的な経時変化を示している。すなわち，硫酸の場合，図-2 に示したように全 pH で団粒の分散率が小さいため，硫酸溶液浸透時には団粒の分散は少ない。このため，硝酸溶液の場合に比較し，硫酸イオンと水酸基の配位子交換による緩衝機能を含む各種の緩衝機能が十分に機能しないためと考えられる。また，

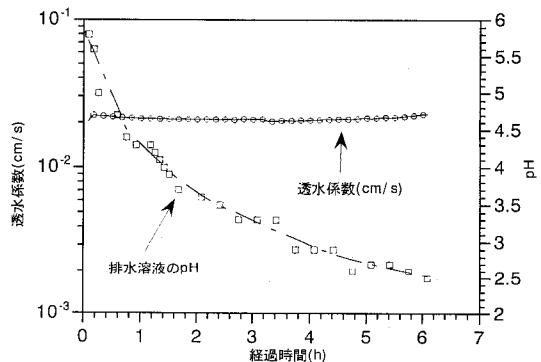


図-8 pH 2 硫酸溶液浸透時の透水係数，pH の変化

Fig. 8 Variation of hydraulic conductivity and effluent pH with time under percolation of sulfuric acid solutions having pH 2

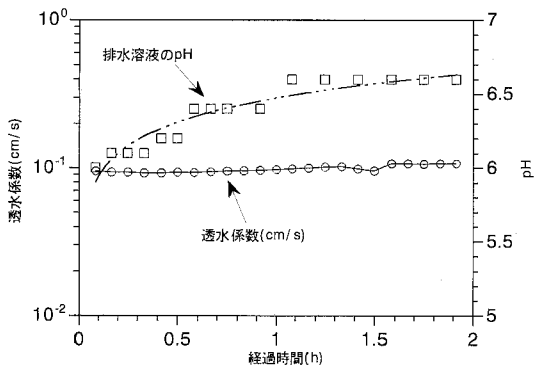


図-9 蒸留水浸透時の透水係数, pHの変化

Fig. 9 Variation of hydraulic conductivity and effluent pH with time under percolation of distilled water

硫酸溶液を浸透した場合、硝酸溶液浸透時より透水係数が大きな値で維持されるため、団粒内間隙から団粒間隙への拡散に伴う緩衝機能は相対的に小さくなると考えられる。

このように土壌団粒が分散する場合は透水性の低下と緩衝機能の増加が特徴的に見られる。一方、土壌団粒の分散が少ない溶液では、透水係数はほぼ一定値を維持し、排水溶液の pH は低下することが確認された。

しかし、土壌団粒の分散が少ない場合でも、浸透溶液の水素イオン濃度の相違により排水溶液の pH 変化が異なることが予想されるので、蒸留水を浸透溶液として用いた場合も同様に測定した。

4) 蒸留水による透水係数と pH 変化

土壌団粒の分散率を示した図-2より、硫酸、硝酸溶液のいずれも pH 5~7 の崩落率が小さいことがわかる。そこで団粒の分散率が少なく、水素イオン濃度が低い蒸留水を浸透溶液に用いた場合の、透水係数と排水溶液の pH 変化を図-9 に示した。なお、供給した蒸留水の pH は 5.6 であった。

透水係数は団粒の分散率が少ないことを反映し、ほぼ一定値で推移している。また、排水液の pH は初期の pH 6 から pH 6.5 に上昇した。pH 2 硫酸溶液浸透の場合(図-8) に比較し水素イオン濃度が約 1/10,000 と低いため、陽イオン交換などによる緩衝機能が相対的に影響したと考えられる。

4. ま と め

アロフェン質黒ボク土壌を用いて、荷電曲線、pH と団粒分散率を測定した。また、小容量の土壌カラムを用

いて浸透溶液と透水係数、透水係数と排水溶液の pH 変化を測定し、土壌団粒の分散、透水係数、および緩衝機能の相互関係を考察した。その結果、以下のことが明らかとなった。

1) 団粒の分散率は硝酸溶液の場合 pH 4 以下で急増したが、硫酸溶液の場合は pH による分散率の相違は認められなかった。

2) 硝酸溶液を長期間浸透した場合の透水係数と pH の関係は、pH と団粒の分散率の関係と対応した。従って、透水係数の低下は団粒の分散と密接に関連していると言える。

3) 団粒の分散が大きい硝酸溶液の場合には透水係数が低下するが、団粒の分散により緩衝機能がより多く発現するため排水溶液の pH は上昇した。

4) 硫酸溶液の浸透では団粒の分散が少ないため、透水係数はほぼ一定で推移し、排水溶液の pH は低下した。

5) 水素イオン濃度が低い蒸留水の場合、透水係数は一定値を維持したが、水素イオン濃度が低いため、緩衝機能が相対的に影響し排水溶液の pH は上昇した。

6) アロフェン質土壌に酸性溶液が浸透した場合、透水性と排水溶液の pH 変化は酸性溶液の種類による団粒分散の有無、浸透溶液の水素イオン濃度に依存した。

しかし、硝酸と硫酸による団粒崩壊が異なる原因、pH の拡散や変化速度、小容量土壌カラムへのダグジー則適用の可否など、今後検討を要する課題が多い。

なお、本研究の一部は文部省科学研究費(基盤研究(C)(2)、課題番号 08660286)の補助を受けて行った。記して謝する。

引用文献

- 飯村康二(1966):アロフェンおよび火山灰土壌の酸性とイオン交換, 農技研報告, B17号:107~113.
- 角保彰紀, 松川 進, 加藤秀正(1995):硝酸溶液が土壌の透水性と塩類の溶脱に及ぼす影響, 農業土壌学会論文集, 180:103~110.
- Keeney, D.R. and D.W. Nelson(1982): Steam Distillation Methods for Exchangeable Ammonium, Nitrate, and Nitrate, In A.L. Page *et al.*(ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2, Agronomy Monograph. 9: p. 649~658, USA.
- 松川 進, 富田平四郎, 鈴木 敬(1996):酸性溶液が土壌の透水性と塩類溶脱に及ぼす影響, 土壌の物理性, 73:53~58.
- Nakagawa, T. and M. Ishiguro(1994): Hydraulic conductivity of allophenic Andisol as affected by

- solution pH, *J. Environ. Qual.*, **23** : 208~210.
- 中島 伴, 石黒宗秀 (1996) : イオン種の異なる酸性溶液がアロフェン質火山灰土の透水性に及ぼす影響について, 平成8年度農業土木学会講演要旨集 : 270~271.
- 小川和夫 (1981) : 土壌団粒の安定性 (崩落率, 分散率) の測定法, *土壌の物理性*, **43** : 14~20.
- Reuss, J.O., and Johnson, D.D. (1986) : Acid Deposition and the Acidification of Soils and Waters, p. 35~36, Springer-Verlag, USA.
- 佐藤一男ら (1990) : 酸性降下物に対する土壌中和能の簡易測定法, *環境科学会誌*, **3** (1) : 37~48.
- 佐藤一男 (1992) : 酸性雨の土壌による中和一鉱物の化学的中和を中心として一, *資源環境対策*, **28** (6) : 547~553.
- 白石勝恵 (1979) : ヒドロキシャルミニウムの土壌物理性改善効果に関する研究 (第2報), *九州農業試験場報告*, **20** (4) : 347~371.
- Suarez, D.L., et al (1984) : Effect of pH on Saturated Hydraulic Conductivity and Soil Dispersion, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **48** : 50~55.
- 玉置元則 (1994) : 酸性雨の現状 (日本), *地球環境ハンドブック*, p. 233~237, 朝倉書店, 東京.

受稿年月日 : 1997年6月19日

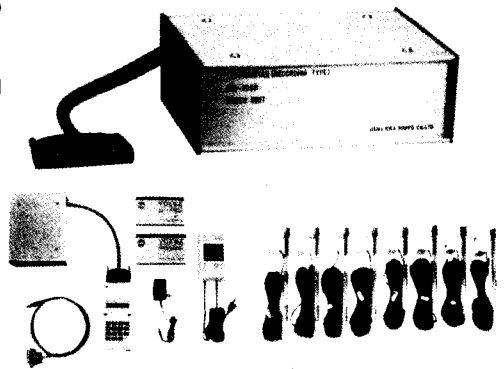
受理年月日 : 1997年12月10日

テンシオメータ 自記タイプ

DIK-3020

土壌水の吸引力の変化を刻々測定し、データロガーにデータを収録します。電源の無い野外ではバッテリーを使用します。

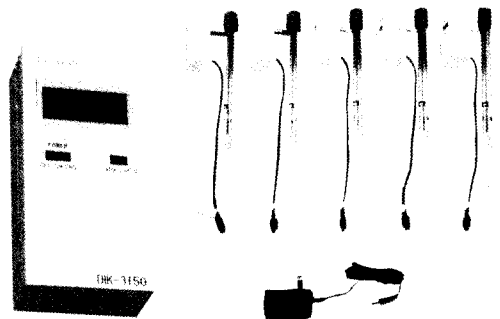
(測定点数8、測定範囲 pF 0~3)



テンシオメータ 表示タイプ

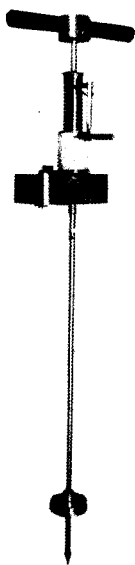
DIK-3150

現場に於ける土壌水分の吸引力を簡便に読み取る測定器です。1台の測定本体を携帯して多数の測定箇所へ順次接続しながら数値を読み取ることができます。



貫入式土壌硬度計

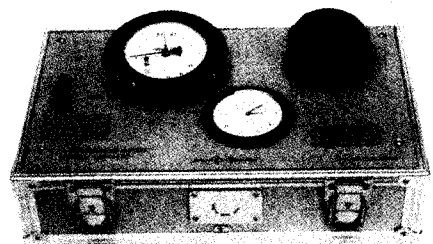
DIK-5520



土中にさし込むだけで各深さに対応した抵抗値が自動的に連続記録されます。

土壌三相計

DIK-1120



実容積(固相+液相)と全重量が現場で迅速に測れます。

SPAD[®]開発製品



ダイキ 大起理化工業株式会社

〒116 東京都荒川区西尾久7-60-3 TEL03-3810-2181

酸性溶液を繰り返し添加した時の土壌溶液濃度と pH

松川 進・加藤秀正・富田平四郎・鈴木 敬*

Ion concentrations and pH of Soil Water after Repeated
Addition of Acid Solutions

Susumu MATSUKAWA, Hidemasa KATO, Heisirou TOMITA and Takashi SUZUKI*

* Faculty of Agriculture, Utsunomiya University

Abstract

pH of soil water change with addition of acid solution is a complex physicochemical process. In this study repetitive addition of acid solution experiments were combined with chemical equilibrium model to simulate pH change for Allophanic soil. pH of soil water after added nitric acid solution was decreased rapidly than that of sulfuric acid solution. After three to six times repetitive addition of pH2 nitric and sulfuric acid solution pH was held as constant in both solutions due to buffering capacity of mineral weathering.

Ion activities and ion-pair concentrations were calculated to determine the constant of aluminum solubility and sulfuric ion sorption isotherm. Aluminum solubility in nitric acid solution was large compared with that in sulfuric solution. Sulfuric ion adsorption was described well by Langmuir equation.

Simulation model of pH in equilibrium soil water were composed of aluminum dissolution, formation of the three aluminum species, aluminum-dominant divalent base cations exchange, bicarbonate formation, sulfuric ion adsorption, charge balance and mass balance of sulfuric ion and base cations respectively.

Buffering capacities due to weathering of minerals were not negligible. Then, aluminum-base cations exchange were lumped together with mineral weathering as neutralization effects in the model. pH of soil water could estimate with standard error less than \pm pH0.2 by this model.

Key words : aluminum solubility, ion concentration, pH prediction, buffering capacity

1. はじめに

酸性雨による土壌や作物への影響について岡崎(1994)は、作物の生育に必要な Ca, Mg, K, Na 等の陽イオンの溶脱、アルミニウムの溶解による土壌溶液中のアルミニウムイオン濃度の上昇などを指摘している。特に、黒ボク土壌の場合アルミニウムの溶解度が大きく、作物根に毒性を及ぼす直接的影響とアルミニウムイオンの溶脱による地下水や河川の汚染、魚類や人間への影響も懸念されている。

そして、これらのイオンの溶脱は土壌中の水分移動・溶質移動など土壌の物理性と密接に関連した事象として

理解される。特に、酸性雨の影響を受けた土壌中の溶質移動は、従来の 2~3 成分系の溶質移動(取出ら(1991)など)のように、イオン交換に関する選択係数や分散・拡散係数などから予測できる現象より複雑と推定される。すなわち、主要な陽イオン間のイオン交換、アルミニウムの溶解やアルミニウムイオンが関与するイオンペア生成、硫酸イオンなどの陰イオン吸着、鉱物の風化による緩衝機能などを組み入れる必要がある。

このように、酸性雨の影響を受けた土壌中の溶質移動は、土壌の化学現象と物理現象を結合することにより、始めて総合的な影響評価が可能になると言える。

このため本報文では、両現象を結合させた研究の重要

* 宇都宮大学農学部 〒321-0000 宇都宮市峰町 350

キーワード: アルミニウム溶解, イオン濃度, pH 予測, 緩衝能

性を念頭において、その第1段階として化学現象の解析をおこなった。すなわち、酸性雨の主成分である硫酸、硝酸溶液を繰り返し黒ボク土壌に添加し、土壌と反応させた場合について、溶液中の各種イオン濃度とpHの予測を試みた。ただし、変異荷電の占める割合が多い黒ボク土壌への適用例は殆ど無いため、鉱物の風化過程を考慮した陽イオンの動態を表す化学平衡式のパラメータを試算的に与える等、いくつかの仮定を前提にイオン濃度やpH予測の可能性を検討した。

2. 測定方法と計算方法

1) 供試土壌の化学的特性

土壌は宇都宮大学農学部付属農場牧草畑の深さ40cmから60cmより採土し、含水比を調整後2mm篩通過分を用いた。主要粘土鉱物はアロフェン、Al-非晶質酸化物で、他にカオリン鉱物およびパーミキュライトを含んでいた。有機物含有率は2.08%、CECは22.36 cmol(+)/kg、塩基飽和度は6.37% (当量分率0.064)、pH(H₂O)は4.93であった(角保ら(1995))。

荷電曲線より等電位点はpH 6.5付近で、pH 7における0.2 M 塩化アンモニウムによるCECとAECはそれぞれ6 cmol(+)/kgと4 cmol(-)/kgであった。等電位点以下ではpHの低下によりCECの減少とAECの増加を示し、陰イオン吸着座が増加することが予測された。

2) 土壌への酸性溶液添加と濃度測定

土壌への酸性雨の降下と、それに続く排水の繰り返しを室内実験で再現することとした。測定はBloomら(1985)の方法に準じて行った。50 ml 遠沈管に風乾土5gを入れ、最初に蒸留水35 mlを添加し初期条件とした。蒸留水添加後振とう機で18時間緩やかに振とうし、遠心分離後上澄み液を注意深くピペットで30 ml採取した。採取液のうち5 mlを用いて直ちにガラス電極法でpHを測定し、残りは試料瓶に入れ4°Cの冷蔵庫で保存した。

上澄み液採取後の遠沈管にはpHを調整した硫酸溶液か硝酸溶液を30 ml添加し、18時間振とう、遠心分離、および上澄み液採取を所定回数繰り返した。ただし、硝酸溶液添加の場合、遠心分離した後に土粒子が沈殿し遠沈管中で固まりとなるため、次の振とうを行う前に固まりを良くはぐす操作を行った。試料瓶中の上澄み液は0.45 μmのメンブランフィルターを通し微粒子を除去した後、原子吸光法により、Al, Ca, Mg, K, Na濃度を測定した。また、イオンクロマトグラフィー法によりNO₃、SO₄、Cl濃度をそれぞれ測定した。ただし、HCO₃はpHと二酸化炭素分圧から計算し、10種のイオン濃度を測定

値とした。

なお、各測定は2本の遠沈管で行い、その平均値を測定値とした。また、溶液採取後の残留水量は次のように求めた。遠沈管重、乾土重(風乾土重と含水比より算出)を求めておき、溶液採取後の(遠沈管)+(水分量)+(乾土)重を測定毎に0.01 g感度の電子天秤で測定し、残存溶液重を算出した。また、酸性溶液添加量は10 mlピペットによる添加量とし、±0.1 ml程度の誤差で求めた。

3) アルミニウムの溶解度線

原子吸光法やイオンクロマトグラフィー法によるイオン濃度測定値には、各種のイオンペア濃度も含まれる。このため、アルミニウムの溶解度や陰イオン吸着曲線を求める場合、アルミニウムイオンや硫酸イオンなどの活動度を算出する必要がある。そこで、各振とう回数毎のイオン濃度測定値からイオンの活動度を加藤ら(1995)の方法により算出した。イオンペア生成の化学平衡式や平衡定数は表-1に示したような15種のイオンペアを考慮した。平衡定数は主として、Wolt(1994)、岩田ら(1980)の値を引用した。

活動度係数はディバイ-ヒュッケル式を用いた。また、各イオン濃度は各振とう回数毎に得られる測定値を初期濃度と見なし、アルミニウムイオン種、硫酸イオン種、カルシウムイオン種の含量計算値が、各振とう回数毎に得られる測定値に合致するまで計算を繰り返した。ただし、|(イオン濃度測定値-含量計算値)÷イオン濃度測定値|の相対誤差が0.5%以下を収束条件とした。

また、三枝(1995)によれば、土壌溶液中のアルミニウムの存在量を1とすると、粘土構成成分としてのアルミニウムは10万~100万倍も存在する。そこで、一連の遠沈管振とう実験で得られたアルミニウムイオンは、酸性溶液添加回数毎に新たに溶解したと見なした。アルミニウムイオンと水素イオンの活動度の負の対数をプロットし、直線回帰より硫酸と硝酸溶液添加時の溶解度線を求めた。

4) 硫酸イオン吸着曲線

2.3)で述べた方法により求めた硫酸イオン濃度と、その時の硫酸イオン吸着量の関係を次の方法により算出した。Ws: 試料乾土重(g), C1: 1回目の蒸留水35 ml添加時の硫酸イオン濃度計算値(mol/l), V1: 全溶液量(l), Vr1: 上澄み液採取後の残留溶液量(l)とする。また、Co: 添加する硫酸溶液の濃度(mol/l), Vo: 添加硫酸溶液量(l), C2: 2回目添加後の平衡硫酸イオン濃度(mol/l), V2: 2回目の全溶液量(l), Vr2: 2回目の上澄み液採取後の残留水量(l)と表す。1回目と2回目の硫酸イオン減少量は、(C1×Vr1+Vo×Co)-C2×V2

表-1 イオンペア濃度計算に用いた化学平衡式、平衡定数、条件式

Table 1 Chemical equations, equilibrium constants and conditions used in evaluation of ion-pair concentrations.

1. 測定値	
Al ³⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺ Na ⁺ K ⁺ H ⁺ Cl ⁻ NO ₃ ⁻ SO ₄ ²⁻ HCO ₃ ⁻ (H ⁺ より)	
2. イオンペア	
	log K
Ca ²⁺ + SO ₄ ²⁻ = CaSO ₄ ⁰	2.31
Mg ²⁺ + SO ₄ ²⁻ = MgSO ₄ ⁰	2.23
K ⁺ + SO ₄ ²⁻ = KSO ₄ ⁻	0.85
Na ⁺ + SO ₄ ²⁻ = NaSO ₄ ⁻	0.61
Ca ²⁺ + CO ₂ (g) + H ₂ O = CaHCO ₃ ⁺ + H ⁺	- 6.76
Ca ²⁺ + CO ₂ (g) + H ₂ O = CaCO ₃ ⁰ + 2H ⁺	-15.1
Mg ²⁺ + CO ₂ (g) + H ₂ O = MgHCO ₃ ⁺ + H ⁺	- 6.72
Mg ²⁺ + CO ₂ (g) + H ₂ O = MgCO ₃ ⁰ + 2H ⁺	-14.92
Na ⁺ + CO ₂ (g) + H ₂ O = NaHCO ₃ ⁰ + H ⁺	- 7.58
Na ⁺ + CO ₂ (g) + H ₂ O = NaCO ₃ ⁻ + 2H ⁺	-16.89
Al ³⁺ + H ₂ O = AlOH ²⁺ + H ⁺	- 5.02
Al ³⁺ + 2H ₂ O = Al(OH) ²⁺ + 2H ⁺	- 9.30
Al ³⁺ + 3H ₂ O = Al(OH) ₃ ⁰ + 3H ⁺	-14.99
6Al ³⁺ + 15H ₂ O = Al ₆ (OH) ₁₅ ³⁺ + 15H ⁺	-36
Al ³⁺ + SO ₄ ²⁻ = AlSO ₄ ⁺	3.20
3. 電気的中性条件	
$\sum C_i + Z_i^+ = \sum C_i - Z_i^-$	
4. 質量保存則	
$\sum Ca^{2+}$ (測定値) = Ca ²⁺ + CaSO ₄ ⁰ + CaHCO ₃ ⁺ + CaCO ₃ ⁰	
$\sum SO_4^{2-}$ (測定値) = SO ₄ ²⁻ + CaSO ₄ ⁰ + MgSO ₄ ⁰ + KSO ₄ ⁻ + NaSO ₄ ⁻	
$\sum Al^{3+}$ (測定値) = Al ³⁺ + AlOH ²⁺ + Al(OH) ₂ ⁺ + Al(OH) ₃ ⁰ + Al ₆ (OH) ₁₅ ³⁺ + AlSO ₄ ⁺	

で求められ、これを乾燥土壌重で除して吸着量 (mol/g) を算出した。これらの結果を Langmuir 式に適用した。ただし、Gaston ら (1992) と同様硫酸イオンの吸着のみ考慮し、硝酸イオンの吸着は省略した。また、硫酸イオン吸着に伴う交換平衡も簡易化のため省略した。

5) 酸性溶液添加によるイオン濃度と pH 予測

酸性雨が土壌に浸透した場合の pH やイオン濃度の予測については、Reuss (1980) など多数の試みがある。しかし、変異荷電を持つ黒ボク土壌への適用は殆ど試みられていない。そこで、Reuss (1986) の手法に準じて遠沈管測定データへの適用を試みた。ただし、ここでも短期間の予測を前提に化学反応のみ用い、微生物などによる生物的反応は省略した。

また、陽イオン交換は Cosby ら (1985) のように主要な陽イオン全てを考慮すると未知パラメータも多くなり、塩基類の質量保存則の充足など計算も煩雑となる。さらに、塩沈管の振とうは自然の土壌反応と異なり、鉱物の風化の影響が大きいと考えられる。

そこで、アルミニウムイオンと他の陽イオン (Ca, Mg, K, Na の合計) とのイオン交換、および鉱物の風化過程を考慮した陽イオンの動態を表す式が近似的に成り立つと仮定した。そして、これらの反応を Gaines-Thomas 式 (1953) に適用し、イオン交換 (Ca, Mg, K, Na の合計) と風化によるイオン放出含量の記号を Ca として表した。このため、Gaines-Thomas 式中の Ca 吸着量の当量分率は鉱物による風化も加味した値とし、平衡定数とともに試算的に与えることとした。

すなわち、鉱物の風化により塩基類が放出されることで一定量の供給源があるものと見なし、陽イオンの当量分率を求める際、CEC (22.36 cmol (+)/kg) を一定と仮定した。そして、陽イオン交換と鉱物の風化による塩基類放出を 1 つの式で表した。また、化学平衡式と陽イオンに関する質量保存則を満足するような当量分率を繰り返し計算法により求めることとした。計算に用いた反応式、平衡定数、条件などをまとめて表-2 に示した。

表-2 酸性溶液添加によるイオン濃度計算に用いた化学平衡式, 平衡定数, 条件式
Table 2 Chemical equations, equilibrium constants and conditions in evaluation of ion concentrations with consecutive addition of acid solutions.

1. アルミニウム結晶の溶解と加水分解		
(1)	$(Al^{3+}) = 4.296 \times 10^3 (H^+)^{1.9217}$ (硫酸)	(実測)
	$(Al^{3+}) = 1.231 \times 10^6 (H^+)^{2.3212}$ (硝酸)	(実測)
(2)	$Al^{3+} + H_2O = Al(OH)^{2+} + H^+$	$\log K = -5.02$ (Wolt 1994)
(3)	$Al^{3+} + 2H_2O = AlOH_2^+ + 2H^+$	$\log K = -9.30$ (Wolt 1994)
2. 陽イオン交換		
(4)	$2Al^{3+} + 3ExCa = 3Ca + 2ExAl$	$\log K$ (仮定)
	ただし, Ca は全塩基類, Ex は当量分率で $ExCa + ExAl = 1$	
3. 炭酸塩平衡		
(5)	$CO_2 + H_2O = H^+ + HCO_3^-$	$\log K = -7.82$ (Wolt 1994)
4. 硫酸イオン吸着とイオンペア		
(6)	$SO_4^{2-} (mol/g) = \frac{1.644 \times 10^{-4} [SO_4^{2-}]}{5.282 \times 10^{-4} + [SO_4^{2-}]}$	(実測)
(7)	$Al^{3+} + SO_4^{2-} = AlSO_4^+$	$\log K = 3.20$ (Wolt 1994)
5. 電気的中性条件		
(8)	$\sum C_i^+ Z_i^+ = \sum C_i^- Z_i^-$	
6. 質量保存則		
(9)	SO_4^{2-} : 残溶液中 SO_4^{2-} + 吸着 SO_4^{2-} + 添加 SO_4^{2-} = 平衡 SO_4^{2-} 溶液濃度 × 全水量 + 平衡吸着量 (mol)	
(10)	Ca : 残溶液中 Ca + 吸着 Ca = 平衡溶液中 Ca + 平衡吸着 Ca (mol)	

3. 測定結果と計算結果

1) アルミニウムの溶解

pH 2~4 の硫酸, 硝酸溶液を繰り返し添加した場合の, pH と $p(Al^{3+})$ の関係を図-1 に示した。硫酸と硝酸を添加した場合のアルミニウム溶解はそれぞれ次の(1), (2)式の回帰式で表すことができる。

硫酸溶液では,

$$(Al^{3+}) = 4.296 \times 10^3 (H^+)^{1.9217} \quad (1)$$

硝酸溶液については,

$$(Al^{3+}) = 1.231 \times 10^6 (H^+)^{2.3212} \quad (2)$$

硝酸・硫酸溶液全体では,

$$(Al^{3+}) = 2.882 \times 10^5 (H^+)^{2.278} \quad (3)$$

(1), (2)式の各定数の大きさから, アルミニウムの活動度は同じ水素イオンの活動度では硝酸の方が大きくなる傾向, すなわち, 硝酸の方がアルミニウム溶解度が大きくなる傾向を示した。

また, 硝酸と硫酸全体の回帰式 (3)式を他の試料と比較し図-2 に示した。本実験で用いた試料は溶解度の低

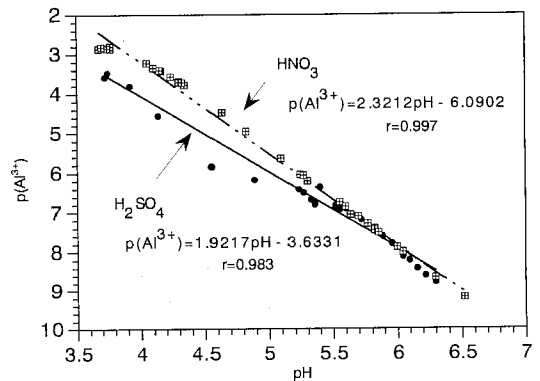


図-1 硫酸, 硝酸溶液中での pH-p(Al^{3+}) の関係
Fig. 1 Relation between pH and $p(Al^{3+})$ in sulfuric and nitric acid solutions

い Gibbsite (加藤ら (1995)) と, 溶解度の高い Amorphous (加藤ら (1995)) の中間の溶解度を示した。そして, この両者の (Al^{3+}) は水素イオン活動度の 3 乗に比

例し直線の傾きが3の例である。さらに、和田ら（1994）が求めた九州地方火山灰土のアルミニウム溶解度と比較すると、高 pH で溶解度が低く、低 pH で大きい傾向があった。そして、火山灰土壌の場合、傾きは3より小さいことがわかる。これら(1), (2)式をそれぞれ硫酸、硝酸溶液を繰り返し添加した場合のアルミニウムイオン活動度計算に用いた。

2) 硫酸イオン吸着曲線

土壌溶液中の硫酸イオン濃度と吸着量の関係に Langmuir 式を適用した結果を図-3 に示した。硫酸イオン濃度が高い範囲の測定値は少なかったが、比較的良く Langmuir 式に適合した。図中の式を硫酸イオン吸着量の計算に用いた。

3) pH 測定値と計算結果

酸性度が大きい pH 2 の硫酸と硝酸溶液を繰り返し添加した場合の pH 測定値を図-4 に示した。硝酸溶液添加

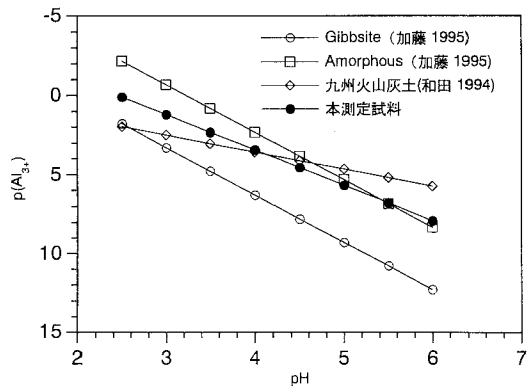


図-2 試料のアルミニウム溶解図比較

Fig. 2 Aluminum solubility daigram to some samples

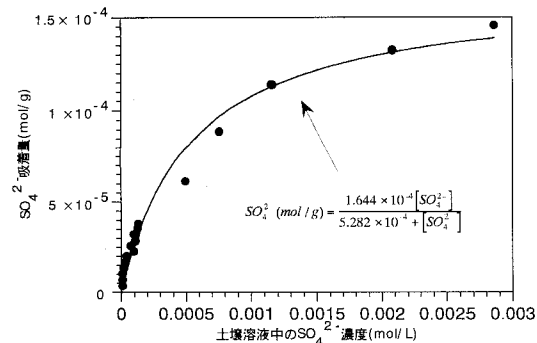


図-3 硫酸イオン吸着曲線

Fig. 3 Sulfuric ion adsorption curve

の場合、添加回数3回目以降ほぼ一定 pH で推移し、硫酸の場合も添加回数5回目以降ほぼ一定の pH を示した。

硝酸の方が pH の低下が速いのは硫酸に比較し硝酸の吸着が小さく、配位子交換による OH 放出が少ないためと考えられる (Turner ら (1991))。また、pH が一定で推移する原因の1つは、鉱物の風化によりほぼ一定割合で塩基類放出が行われているためと推定される。

そこで、酸性溶液添加回数毎に遠沈管の平衡溶液量 (l) と Ca, Mg, K, Na の濃度 (me/l) から、各平衡溶液中の陽イオンの含量 (me) を求めた。次いで、これら陽イオンの含量を単位土壌重当たりの量 (me/100 g) に換算し、1 回目から任意の添加回数までの積算値を求めた。そして、積算値を CEC (22.36 cmol (+)/kg=22.36 me/100 g) で除して陽イオンの当量分率を算出し、図-5 に示

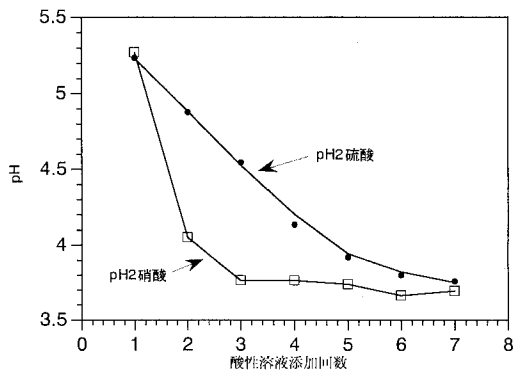


図-4 pH 2 硫酸、硝酸溶液添加回数と pH

Fig. 4 pH change with consecutive addition of pH 2 sulfuric and nitric acid solutions

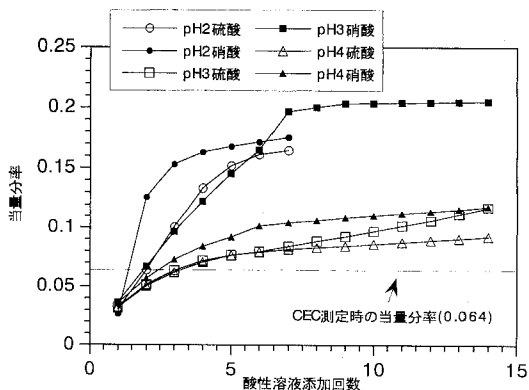


図-5 酸性溶液添加回数と陽イオン当量分率の関係

Fig. 5 Change on cation equivalent with acid solution additions

した。添加回数による当量分率の積算値は低 pH 溶液ほど大きい傾向を示し、添加回数 2~3 回目以降 CEC 測定時の当量分率を上回った。すなわち、上回った当量分率は鉱物の風化により陽イオンが放出したと推定された。そして、硝酸の方が大きい傾向を示した。

このため、Gaines-Thomas 式 (表-2 の(4)式) の陽イオンの当量分率 (ExCa) は、図-5 中の最大当量分率 0.2 を初期値とした。そして、表-2 中の(4)式の平衡定数 $\log K$ の値を試算的に与え、測定値との適合が最も良い $\log K$ を求めた。

図-6、-7 には pH3 硫酸添加では $\log K = 5.0$ とした場合、硝酸溶液では $\log K = 5.5$ とした時の pH 測定値と計算値をそれぞれ示した。硫酸添加の場合は図-6 ように初期と 14 回目で pH 測定値の低下は 0.3 であった。そし

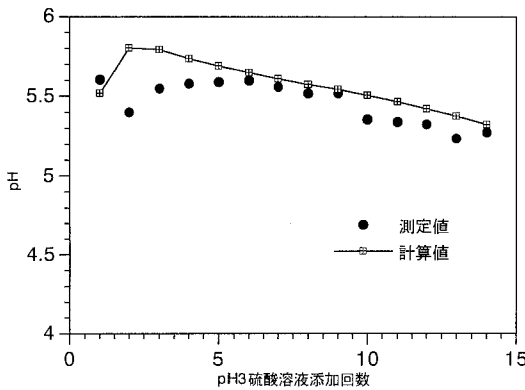


図-6 pH 3 硫酸溶液添加時の pH 測定値と計算値
Fig. 6 Measured and evaluated pH with addition of pH 3 sulfuric acid solution

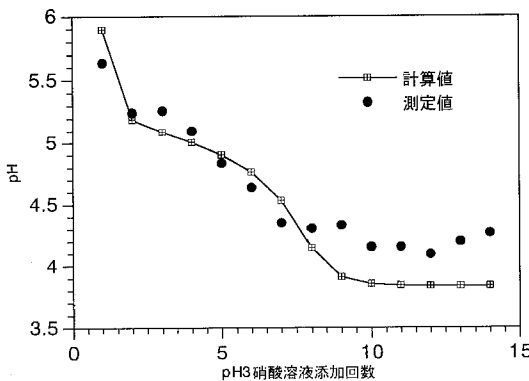


図-7 pH 3 硝酸溶液添加時の pH 測定値と計算値
Fig. 7 Measured and evaluated pH with addition of pH 3 nitric acid solution

て、計算値では初期に pH 0.2 程度増加し、その後徐々に低下する傾向が得られた。図-7 の硝酸での pH 測定値は初期の pH 5.6 から pH 4.1 まで低下したが、添加回数 10 回以降は低下の傾向は明らかでなく、ほぼ \pm pH 0.1 の変動幅で推移した。

図-8 は pH 2~4 の硫酸、硝酸溶液添加による pH 測定値と計算値の全データをプロットしたもので、pH の計算は有意水準 95% で約 \pm pH 0.2 の標準誤差で計算可能であった。

これらの結果から低 pH 酸性溶液を黒ボク土壌に繰り返し添加した場合、鉱物の風化による緩衝機能を陽イオン交換に組み入れ、簡略化して計算することの可能性が示唆されたと言える。

4) アルミニウムイオン種濃度比較

図-4 や図-6、-7 に示したように、硫酸溶液添加の場合は硝酸溶液に比較し pH の低下が少なかった。この原因は硫酸イオン吸着による配位子交換により、水酸基が溶液中に放出されることが大きいと考えられる。また、図-1 に示したような硫酸と硝酸溶液によるアルミニウム溶解の相違が影響していると言える。さらに、硫酸溶液添加の場合、硫酸アルミニウム (AlSO_4) の生成が関与していることが推定される。そこで、pH 3 の溶液を添加した場合について、水素イオンとアルミニウムイオン種の濃度変化を図-9、-10 に示した。

水素イオン濃度を比較すると、硫酸添加の場合の図-9 では 10^{-6} のオーダー、硝酸添加を示した図-10 では 10^{-5} ~ 10^{-4} のオーダーであった。図-9 の硫酸添加の場合、硫酸アルミニウムの濃度が増加し、その分だけ遊離のアルミニウムイオンを減少させる。このため、硫酸添加の場合、アルミニウムイオンの加水分解 (表-2 の(2), (3)式)

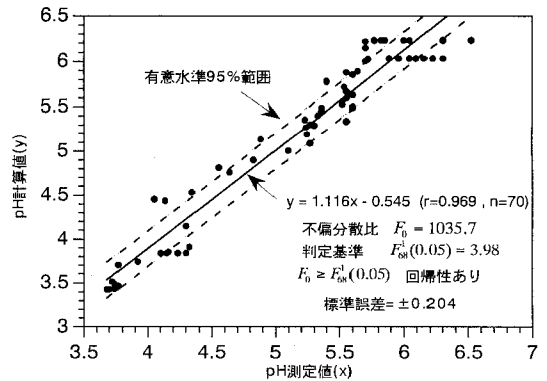


図-8 pH の測定値と計算値の比較 (全データ)
Fig. 8 Relation between measured and evaluated pH for all data

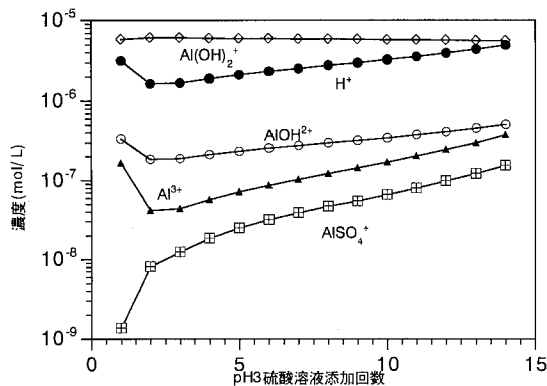


図-9 pH 3 硫酸添加時のアルミニウムイオン種の計算濃度

Fig. 9 Concentration of evaluated aluminum species and hydrogen ion with pH 3 sulfuric acid solution addition

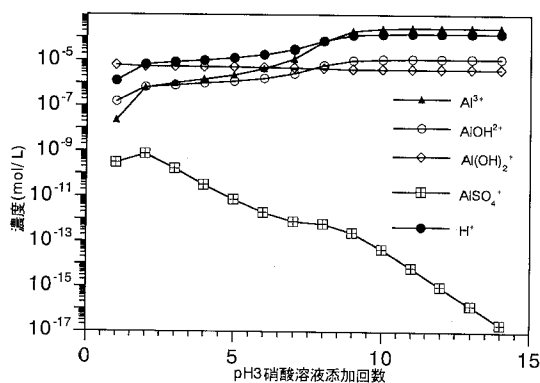


図-10 pH 3 硝酸添加時のアルミニウムイオン種の計算濃度

Fig. 10 Concentration of evaluated aluminum species and hydrogen ion with pH 3 nitric acid solution addition

により生じる水素イオンを低下させていると言える。また、図-10の硝酸溶液添加では、硫酸イオンが系外から供給されないため、硫酸アルミニウムは減少し、アルミニウムイオンと水素イオン濃度の上昇を来すと考えることができる。

4. まとめ

酸性雨が土壌中の溶質移動に与える影響把握には、化学特性と物理特性の有機的結合が必要であるとの前提に立ち、アルミニウムの溶解や pH 変化の予測を検討し

た。その結果、低 pH 酸性溶液をアロフェン質黒ボク土壌に添加した場合に、次のように要約することができる。

- 1) アルミニウムの溶解は硝酸溶液添加の場合、硫酸溶液添加より大きい傾向があった。
- 2) 硫酸イオンの吸着曲線は Langmuir 式に比較的よく適合した。
- 3) 低 pH 酸性溶液を繰り返し添加した場合、鋳物風化による陽イオン放出の影響が示唆された。
- 4) 陽イオン交換に鋳物風化の影響を加味した化学平衡式で簡便化し pH の予測を行い、±pH 0.2 程度の標準誤差で計算可能であった。
- 5) 硫酸溶液添加の場合、硫酸イオン吸着、硫酸アルミニウムの生成などにより pH の低下を抑制することが示唆された。

しかし、各陽イオンごとの交換反応式、硝酸イオン吸着や交換平衡反応、鋳物の風化の平衡式導入などにより、さらに正確な平衡式の組成が必要である。

今後、化学平衡式と水分移動を有機的に結合させるために、Mixing Cell Model (例えば、Appelo ら (1987)) を適用し、塩基類やアルミニウムの溶脱を予測する手法を検討する予定である。

なお、本研究の一部は文部省科学研究費 (基盤研究 (C) (2), 課題番号 08660286) の補助を受けて行った。記して謝する。

引用文献

- Appelo, C.A.J. and Willemsen, A. (1987): Geochemical calculations and observations on salt water intrusions, I. A combined geochemical/mixing cell model. *J. Hydrology.*, **94**: 313~330.
- Bloom, P.R. and Grigal, D.F. (1985): Modeling soil response to acidic deposition in nonsulfate adsorbing soils. *J. Environ. Qual.*, **14** (4): 489~495.
- Cosby, B.J., Hornberger, G.M. and Galloway, J.N. (1985): Modeling the effects of acid deposition, Assessment of a lumped parameter model of soil water and stream water chemistry. *Water Resour. Res.*, **21** (1): 51~63.
- Gaines, G.L. and Thomas, H.C. (1953): Adsorption studies in clay minerals. Formulation of the thermodynamics of exchange adsorption. *J. Chem. Phys.*, **21**: 714~718.
- Gaston, L.A., Mansell, R.S. and Selim, H.M. (1992): Predicting removal of major soil cations and anions during acid infiltration: Model evalua-

- tion. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **56** : 944~950.
- 岩田進午ら (1980) : 土壌の化学, p. 134~136, 学会出版センター, 東京.
- 角保彰紀, 松川 進, 加藤秀正 (1995) : 硝酸溶液が土壌の透水性と塩類の溶脱に及ぼす影響, *農土論集*, **180** : 103~110.
- 加藤秀正, 白井昌洋, 松川 進 (1995) : 酸性土壌の土壌溶液のアルミニウムの形態と濃度, *日土肥誌*, **66** (1) : 39~47.
- 岡崎正規 (1994) : 酸性雨 4, 酸性降下物によって土壌はどうなるか, *日土肥誌*, **65** (2) : 215~220.
- Reuss J.O. (1980) : Simulation of soil nutrient losses resulting from rainfall acidity. *Ecological Modelling*, **11** : 15~38.
- 三枝正彦 (1995) : 酸性土壌におけるアルミニウムの化学, 日本土壤肥料学会編, 低 pH 土壌と植物, p. 7~42, 博友社, 東京.
- 取出伸夫, 中野政詩 (1991) : Ca^{2+} - Na^+ イオン交換を伴う粘土中の溶質移動機構と特性, *土壌の物理性*, **62** : 3~11.
- Turner, L.J. and Kramer, J.R. (1991) : Sulfate ion binding on goethite and hematite. *Soil Sci.*, **152** : 22~230.
- 和田光史, 山下純一, 和田信一郎 (1994) : イオン交換体組成を異にする火山灰土壌の希酸に対する反応, *日土肥誌* **65** (1) : 1~6.
- Wolt, J.D. (1994) : *Soil solution chemistry*. p. 158~161, John Wiley & Sons Inc., New York.

受稿年月日 : 1997年 6月 19日

受理年月日 : 1997年 12月 18日

耕耘によるセラード・ラトソル土壌の圧密層破碎が 土壌の物理性、化学性、作物の生育に及ぼす影響

小川和夫・Claudio Alberto Bento FRANZ・Sergio Mauro FOLLE
 Francisco Eduardo de Castro ROCHA

Effects of Soil Compacted Layer Destruction by Tillage on Soil Physico-Chemical Changes and Growth of Crops in Cerrado Latosol

Kazuo OGAWA*, Claudio Alberto Bento FRANZ**, Sergio Mauro FOLLE**
 and Francisco Eduardo de Castro ROCHA**

* Sakurada 4-3-1-14-101, Washimiya, Saitama 340-0203, Japan

** EMBRAPA-CPAC (Cerrado Agricultural Research Center), Planaltina, DF, 73300, Brazil

Abstract

A field experiment was conducted to observe the effect of compacted layer destruction of soil by disk plow, mouldboard plow and subsoiler in a field of Brazilian Dark Red Latosol in Cerrado.

1. From the results of tilling depth and soil hardness distribution measured immediately after mechanical treatments, the destruction effects of compacted layer by mouldboard plow and subsoiler were larger as compared with the treatment of disk plow.

2. In the heavy disk harrow plot, as a control plot in which compacted layer is found, the tap roots of soybean bended horizontally on the upper part of compacted layer. On the other hand, the tap roots elongated more deeper in the mouldboard plow and subsoiler plots. And the tap roots elongation in the disk plow was relatively shallow. The roots elongation tendency of millet (2nd crop) and sorghum (3rd crop) cultivated with direct drilling after soybean was similar to the case of soybean roots in each mechanical treatment. The yields of stem of soybean and dry matter yields of top of millet and sorghum were small in the plots of heavy disk harrow and disk plow.

3. The air and water permeability and chemical properties in compacted layers were excellent. On the contrary, the soil hardness of compacted layers was more than 15 kgf/cm² at the field capacity. Accordingly, very high values of soil hardness in compacted layers were considered to be problems for root growth.

4. From the results of soil hardness distribution measured with time, the durable effect of compacted layer destruction by mouldboard plow and subsoiler was maintained at least one year and five months. The continuous measuring of soil hardness change is in the plan.

Key words : Cerrado Latosol, compacted layer destruction, soil hardness, root elongation, plow sole

* 〒340-0203 埼玉県北葛飾郡鷺宮町桜田4丁目3-1-14-101

** EMBRAPA-CPAC (Cerrado Agricultural Research Center), Planaltina, DF, 73300, Brazil

キーワード : セラードラトソル, 圧密層破碎, 土壌硬度, 作物根の伸長, 耕盤

1. はじめに

大規模な農地が広がるブラジルのセラード地域では、雨期開始期の変動や農作業可能日数の限定から、大馬力のトラクタに牽引された重ディスクハローによる簡便な耕耘整地作業が行われ (Folle *et al.*, 1994), 浅耕化 (Shioya *et al.*, 1981, Iwama 1994), 団粒破壊 (Nasser *et al.*, 1990), 土壌圧縮 (岩間ら, 1988, Nasser *et al.*, 1990) などの土壌劣化がみられる。このような問題に対し、直播栽培, 圧密層を破壊するモールドボードプラウ耕, サブソイラ耕などの導入が考えられる。

ここでは、土壌劣化の重要な内容として、とくに土壌圧密をとりあげた。一般にラトソル土壌では塊状や角柱状のようなマクロ構造の発達がきわめて弱く、粒状の無構造を示している。このことは、粘土質の土粒が細砂に近い粒径の団粒として固まっていることを示すものであり、こうした構造的特性をもつ土壌は大型機械などによって圧縮されると作物根の伸長を阻害する圧密層を生成しやすい (久保田ら, 1983)。また、ラトソル土壌は膨潤, 収縮性が小さくて (岩間ら, 1988), 土層に割れ目が生じにくく、生成された圧密層 (一般に耕盤と称される) は機械的に破壊しない限り作物根の伸長を容易にすることは困難である。

そこで、土壌圧密層をディスクプラウ, モールドボードプラウおよびサブソイラで破壊する効果を暗赤色ラトソルの圃場で土壌の物理・化学性の側面からみようとした。

本報告では、ディスクプラウ, モールドボードプラウ, サブソイラによる処理を行った後、1作目のダイズを栽培し、ついで2作目のミレット, 3作目のソルゴーを直播栽培して、耕耘による圧密層破碎効果を検討した。

本研究は、プロジェクト方式技術協力「ブラジル・セラード農業環境保全研究」において実施されたものである。なお、本研究は1995年5月11日から1997年5月6日までセラード農牧研究センター (CPAC) において実施されたものであり、1997年5月以降は本研究の成果を利用して機械処理効果の持続性が検討されている。

2. 実験方法

1) 供試圃場

CPAC (セラード農牧研究センター) 構内の暗赤色ラトソルの圃場で試験を実施した。供試圃場の土壌断面形態はAp層 (0-17 cm), A12層 (17-26 cm) は暗赤褐色 (2.5 YR 3/6) を示し、安定した粒状の構成単位からなる無構造の集合体であり、乾燥すると固くなる。B1層 (26-40 cm) およびB2層 (40-70 cm) は赤褐色 (2.5 YR 4/6-4/8) で碎易な粒状の無構造を示した。いずれの層とも土性はHC (粘土含量は44-49%) であるが、粘着性, 可塑性は弱であった。A12層には長年にわたる重ディスクハロー耕起に起因すると思われる圧密層が認められた。

供試した圃場では1989年にモールドボードによる耕起が行われ、その後は1994年まで重ディスクハローによって耕起が行われて、その間ダイズ, トウモロコシ, オオムギが栽培された。

2) 圧密層破碎処理と作物栽培法

耕起層直下に存在する圧密層を機械的に破碎する処理として、1995年の11月 (雨期はじめ) に、ディスクプラウ, モールドボードプラウ, 及びサブソイラによる耕起を行い、これらの処理の対照として重ディスクハローによる耕起を行った。重ディスクハロー処理区以外の処理区では、それぞれの処理後に中ディスクハローによる碎土が行われた。これらの機械処理時の0-30 cm層の土壌水分はpF 1.6-2.2であった。圧密層の破碎処理に用いた機械の諸元は表1に示した。

以上の処理の1区の面積は140 m² (7 m × 20 m) で、各区とも3反復とした。

1995年11月の破碎処理の直後の11月28-29日に1作目のダイズ (DOKO-RC) を畝間間隔45 cmの条播で播種し、播種時に0-20-20の複合肥料を1ヘクタール当たり400 kg施用した。ダイズの収穫は1996年4月29日に行った。

ダイズ収穫跡には、不耕起で2作目のミレット (Africano) を栽培した。ミレットの播種日は1996年5月30日で、畝間間隔は16 cmの条播とし、肥料は施さ

Table 1 Using implements

Machine	Size	Trader
Disk plow	28" × 3 disks	JAN
Mouldboard plow	14" × 3 mouldboard	LAVRALE
Subsoiler	5 chisels (Leg length : 55 cm)	STARA
Heavy disk harrow	30" × 12 disks	MARCHESAN

なかった。ミレット生育期間中は乾期であるため播種後と生育期間中に必要に応じてスプリンクラで灌水した。灌水は出穂前の8月13日にとめた。1996年9月6日にミレット地上部の収量調査を行なった。

3作目として、ミレット収穫跡にソルゴの直播栽培を行った。ソルゴの播種日は1996年12月15日で、畝間間隔は70cmとし、N、P₂O₅、K₂Oをそれぞれ1ヘクタール当り10kg、90kg、30kg施用した。ソルゴの収穫は1997年4月2日に行った。

3) 土壌の物理性と化学性の測定方法

(1) 容積重、pF-水分曲線

100ml採土円筒によるコアサンプル3連について、容積重は乾燥法で、pF-水分曲線は遠心法で測定した。全孔げき量は土壌の容積重と真比重より計算した。

(2) 土壌硬度

硬度の測定は山中式硬度計とDIK 5520コーンペネトロメータによった。土壌硬度の表示単位はすべてkgf/cm²とした。山中式硬度計の指示目盛り(mm)から貫入抵抗値への転換は $X=1.45+14.68 \log D$ の式によった。但し X: 指示目盛り(mm), D: 貫入抵抗値(kgf/cm²)である。

(3) インテークレート

円筒状の無底のシリンダーを土層に打ち込み、円筒内にタンク水して、水の浸入強度を時間の経過とともに測定した。このとき、円筒の外周部にも水を張り円筒内部の水の浸入が鉛直浸透となるようにした。

(4) 化学性の分析

交換性アルミニウム、カルシウム、マグネシウムは土壌からN-KClで抽出し、アルミニウムは0.02N-NaOHで滴定し、カルシウム、マグネシウムはEDTA法で定量した。交換性カリウム、有効態リン酸の土壌からの抽出

はMehlich-1法によった。有機物はWalkley-Blackの方法によった。有効態のアンモニア態チッソ、硝酸態チッソはN-KClで土壌から抽出後、蒸留法で測定した。交換性塩基の含有率は風乾細土の容量基準によって表示した。

3. 結果と考察

1) 各機械処理による耕起深

各機械によって圧密層を破壊処理した直後に耕起深を測定し、その結果を対照機である重ディスクハローによる耕起深とともに表2に示した。

破碎処理前の地表レベルからの実質耕起深、耕起後の盛り上がったレベルからの耕起深とも、モールドボードプラウの場合が最も深く、ついでディスクプラウであり、前者の実質耕起深は28cm、後者は26cmであった。重ディスクハローでは実質耕起深は15cmと浅くて圧密層は破壊されなかった。サブソイラによるチゼル跡の実質耕起深は約30cmであった。なお、ディスクプラウとモールドボードプラウでは、土壌の反転性は後者が優れていた。

2) 各機械処理区の土壌の物理性

各機械による破碎処理を行ってから約20日後に、土壌断面の深さ60cmまでの土壌硬度、容積重、孔げきの分布特性を測定した。

(a) 土壌硬度分布

重ディスクハロー区の土壌硬度分布(図1)をみると、耕起された深さ15cmまでは土壌硬度は比較的に小さかったが、耕起されなかった15cm-30cmに硬度15kgf/cm²以上の硬い層がみられ、これは圧密層と思われる。

ディスクプラウ区では、深さ23cmぐらまで土壌硬

Table 2 Tilling depth measured immediately after tilling treatment (Measured on 23 Nov., 1995)

Tilling depth (cm)	Block	Heavy disk harrow	Disk plow	Mouldboard plow	Subsoiling
Actual tilling depth	1	15	26	28	32
	2	15	26	25	30
	3	15	26	32	31
	Average	(15)	(26)	(28)	(31) #
Tilling depth in condition upheaved	1	21	31	41	37
	2	19	35	39	35
	3	21	35	36	36
	Average	(20)	(34)	(39)	(36) ▼

Tilling depth was measured at five or six places in each plot.

Actual depth of plowed ditch

▼ Depth of plowed ditch in condition upheaved

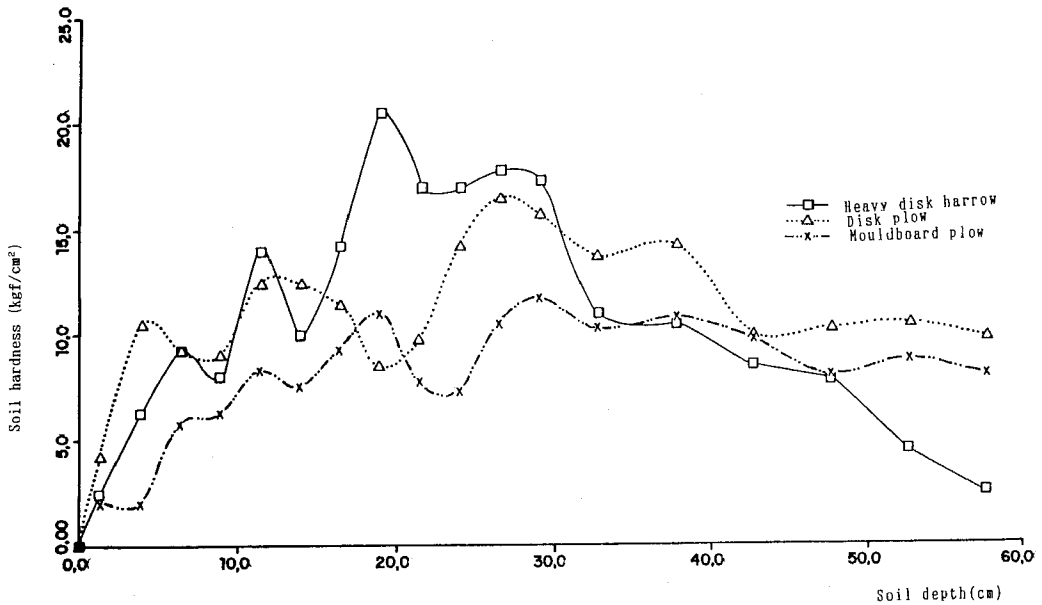


Fig. 1 Soil hardness distribution after 20 days of treatments of heavy disk harrow, disk plow and mouldboard plow

度は小さかったが、それ以下 30 cm までは土壤硬度は 15 kgf/cm² 以上を示し、作土層に圧密層が残っているのが認められた。これは、ディスクプラウによる耕起では土壤の反転性が悪く、Shioya ら (1981) が指摘しているように、ディスクプラウは作業中に浮きあがり易く耕深を浅くしたものと考えられる。

モールドボードプラウ区では、深さ 30 cm までの土壤硬度は 13 kgf/cm² 以下と明らかに小さかった。これは、モールドボードによる耕起では土壤の反転性はディスクプラウより優れている上、耕深が深くなるためと思われる。

サブソイラ区では、用いたサブソイラのチゼルの間隔が 40 cm なので、幅 60 cm、深さ 60 cm の断面の処理後の土壤硬度を測定した (図 2)。チゼルの跡は著しく土壤硬度が低下していた。また土壤硬度の低下はチゼルの両側の幅 10 cm にもみられた。しかし、チゼルとチゼルの中間部の深さ 10-25 cm には 20 cm の幅で、土壤硬度が 15 kgf/cm² 以上と硬い層がみられた。これは圧密層が破壊されていない部分である。チゼルとチゼルの中間部の深さ 25-30 cm の土壤硬度がやや小さかったが、これはチゼルの先端部にある幅 80 mm、長さ約 250 mm のショベル状剣先の破碎効果によるものと思われる。以上のサブソイラ区の土壤硬度分布と図 2 に示した対照区の重ディスクハロー区の硬度分布とを対比すると、サブソイラ処理により深さ 0-30 cm 層の 85% は膨軟化しており、

深さ 10-30 cm にみられる圧密層の約 80% が破壊されていた。

いずれの処理区も深さ 30 cm 以下の層は碎易性があるため土壤硬度は比較的に小さかった。

以上に述べた圧密層破碎処理後の耕深と土壤硬度の測定結果からみて、ディスクプラウの圧密層破碎効果は小さく、一方、モールドボードプラウとサブソイラの破碎効果は大きいといえる。

(b) 容積重、孔げき特性および有効水分

各処理区の断面の土壤の容積重、孔げき特性および有効水分を表 3-1 および表 3-2 に示した。まず、容積重をみると、重ディスクハロー区では、深さ 15-20 cm および 25-30 cm で容積重は高く (1.28-1.29 g/cm³)、ディスクプラウ区では耕起されにくい 20-30 cm 層で高かった (1.27-1.29 g/cm³)。モールドボードプラウ区では、深さ 0-30 cm の作土層全体にわたって容積重は小さかった (0.98-1.24 g/cm³)。サブソイラ区ではチゼル跡及びチゼル近辺で容積重は明らかに小さく (0.96-1.19 g/cm³)、チゼルによる破壊効果が及ばなかった部分の緻密層で高かった (1.26 g/cm³)。以上の各区における容積重の傾向は、さきに述べた土壤硬度と連動し、容積重が大きい層で、土壤硬度が大きくなった。

孔げき特性をみると、重ディスクハロー区とディスクプラウ区の耕起されなかった圧密層で、粗孔げき量が少なくなる傾向がみられた。サブソイラ区の圧密層部分で

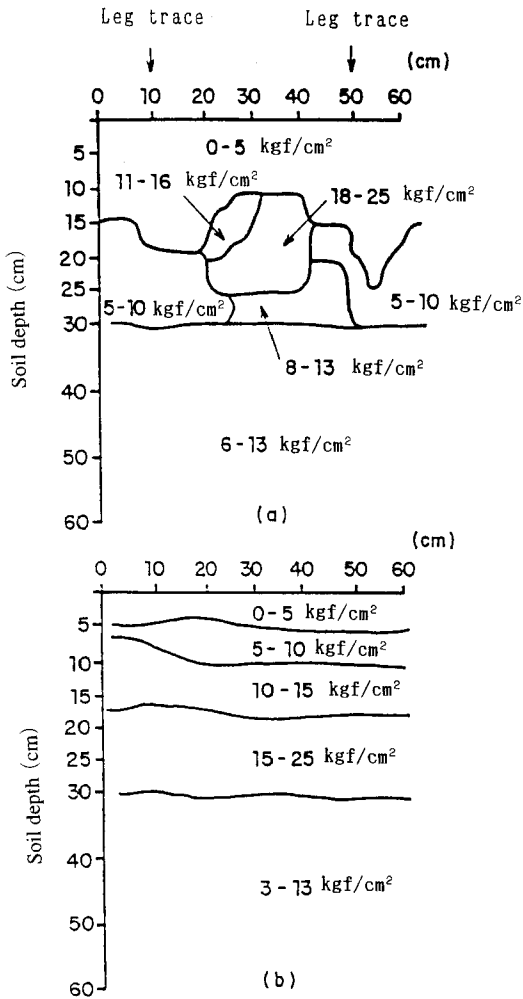


Fig. 2 Soil hardness distribution after 20 days of subsoiling (a) and heavy disk harrow (b) treatments

も同様である。しかし、これらの圧密層の粗孔径き量は20%以上であった。長谷川(1994)は相対ガス拡散係数(大気中のガス拡散係数と土壌中のガス拡散係数の比: D/D_0)が0.02の場合は土壌中の酸素濃度の低下がほとんどないことを認め、遅沢ら(1990)は D/D_0 が0.02となる気相率は10-15%であるとした。小川(1969)は作物根の伸長が阻害されない限界の気相率は10から24%の範囲にあることを認めた。また、Osozawaら(1994)の測定結果によると、CPAC構内の圧密層が存在する暗赤色ラトソルでの D/D_0 は0.02以上であった。従って、本試験圃場における圧密層が通気性に悪い影響を与えているとは考えられない。

また、圧密層が存在する試験圃場の2カ所でシリ

ダー法によってインタークレートを測定した結果、インタークレート(mm/h)はそれぞれ $764T^{0.26}$, $388T^{0.23}$ の値を示し{Tは給水経過時間(min)}, 透水性は良好であることが認められた。

深さ60cmまでの有効水分保持量をみると、易有効性水分、全有効性水分はともに重ディスクハロー区が他の区にくらべて10%程度少なく、とくに40cm以上の上層で少なくなる傾向がみられた。なお、第3作目のソルゴー栽培中に裸地部分をつくって、比較的降水量の少ない時期に土壌水分を測定した結果、深さ60cmまでの有効水分量には破碎処理試験区間で差がみられなかった。

3) 各破碎処理区における土壌硬度の経時変化

ディスクプラウ、モールドボードプラウ、サブソイラによる圧密層破碎効果の持続性をみるために、これらの処理区と対照の重ディスクハロー区で経時的に深さ30-60cmまでの土壌硬度を測定した。処理後1年目(図3)および1年5カ月目(図4)の硬度分布はすでに述べた処理後20日目のそれと同様であり、少なくとも1年5カ月目までは、これまでに述べてきた各処理相応の圧密層破碎効果が持続していた。なお、処理後1年5カ月目は第3作目ソルゴーの生育後期に当たる。

機械による圧密層破碎効果の持続性には破碎処理後の管理作業の適正化と土壌湿潤時の作業回避が関係してくるものと思われる。本試験では施肥、播種、収穫は大型機械で行われたが、第1作目のダイズ収穫および第2作目のミレットの播種、収穫はともに土壌乾燥期に行われ、また、第2作目ミレットおよび第3作目ソルゴーは作業回数を減らす不耕起で栽培されたことが圧密層破碎効果の持続に貢献したものと思われる。

4) 各機械処理区における土壌硬度と土壌水分との関係

一般に土壌硬度が 15 kgf/cm^2 になると作物根の伸長は阻害される(Taylorら1966, 小川1969)。そこで、各破碎処理区で、深さ60cmまでを、上層30cmまでは5cmごとに、下層30-60cmまでは10cmごとにくぎって、破碎処理後20日目から4カ月目まで経時的に測定した硬度と硬度測定時の土壌水分から、硬度が 15 kgf/cm^2 になる土壌水分(pF値)を求めてみた。

表4に示すように、重ディスクハロー区では、圧密層でpF 1.5-1.7の圃場容水量に近い多水分時に、すでに作物根の伸長が阻害される土壌硬度である 15 kgf/cm^2 に達した。このような傾向はディスクプラウ区作土層下部の圧密層及びサブソイラ区の圧密層部分でもみられた。このことは、圧密層の土壌硬度は常に高く、圧密層は作物根の伸長を阻害していると考えられる。

Table 3-1 Soil bulk density, macro pore and available water in heavy disk harrow, disk plow and mouldboard plow plots (Measured after 20 days of treatments)

Treatment Soil depth	Heavy disk harrow				Disk plow				Mouldboard plow			
	BD	MP	EAW	TAW	BD	MP	EAW	TAW	BD	MP	EAW	TAW
cm	g/cm ³	v%	mm	mm	g/cm ³	v%	mm	mm	g/cm ³	v%	mm	mm
0-5	1.17	27	2.5	4.5	1.20	27	4.0	5.5	1.00	30	4.5	6.0
5-10	1.25	23	3.5	5.5	1.17	27	4.0	6.0	0.98	29	5.0	7.5
10-15	1.23	22	5.0	6.5	1.25	22	4.0	6.5	0.99	31	4.0	6.0
15-20	1.28	22	3.5	5.5	1.22	25	3.5	5.5	1.15	25	4.0	6.0
20-25	1.21	25	3.0	4.5	1.29	21	3.5	5.0	1.17	25	3.0	5.0
25-30	1.29	21	3.5	5.0	1.27	22	4.0	5.5	1.24	19	4.5	6.5
30-40	1.25	20	9.0	13.0	1.20	19	13.0	17.0	1.18	21	9.0	14.0
40-50	1.24	20	9.0	13.0	1.13	24	10.0	14.0	1.11	22	11.0	16.0
50-60	1.11	25	10.0	13.0	1.16	25	8.0	11.0	1.11	23	9.0	14.0
(Total)			(49.0)	(70.5)			(54.0)	(76.0)			(54.0)	(81.0)

BD : Bulk density, MP : Macro pore (pF 1.8>), EAW : Easily available water (pF 3-1.8), TAW : Total available water (pF 4.2-1.8)

Table 3-2 Soil bulk density, macro pore and available water in subsoiling treatment plot (Measured after 20 days of treatment)

Treatment Soil depth	Subsoiling (Leg trace)				Subsoiling (Next to the leg trace)				Subsoiling (Between the leg trace)			
	BD	MP	EAW	TAW	BD	MP	EAW	TAW	BD	MP	EAW	TAW
cm	g/cm ³	v%	mm	mm	g/cm ³	v%	mm	mm	g/cm ³	v%	mm	mm
0-5	1.04	26	4.5	7.0	0.96	29	4.5	7.5	1.07	24	5.0	7.5
5-10	1.01	26	5.5	8.0	1.03	25	5.0	8.0	1.03	26	4.5	7.5
10-15	1.14	25	4.0	6.0	1.19	23	3.5	6.5	1.23	21	4.0	6.0
15-20	1.01	28	5.0	7.0	1.07	27	4.0	6.0	1.26	20	4.0	6.0
20-25	1.02	28	5.0	6.5	1.15	23	4.5	6.5	1.26	19	4.0	6.0
25-30	1.08	27	4.0	5.5	1.12	24	5.0	7.0	1.16	21	5.0	7.0
30-40	1.07	28	8.0	12.0	1.11	24	10.0	14.0	1.14	25	11.0	14.0
40-50	1.05	25	11.0	14.0	1.10	24	9.0	13.0	1.14	26	10.0	13.0
50-60	1.09	24	11.0	14.0	1.17	22	9.0	13.0	1.12	22	11.0	16.0
(Total)			(58.0)	(80.0)			(54.5)	(81.5)			(58.5)	(83.0)

BD : Bulk density, MP : Macro pore (pF 1.8>), EAW : Easily available water (pF 3-1.8), TAW : Total available water (pF 4.2-1.8)

表としては示さなかったが、モールドボードプラウ区の作土層及びディスクプラウ区の作土層の圧密層のない部分では土壌水分が pF 2.3-2.6 で 15 kgf/cm² の硬度になり、サブソイラ区のきわめて膨軟であるチゼル跡では土壌硬度が 15 kgf/cm² になる土壌水分は pF 4-5 以上であった。

以上の結果から、圧密層でなくても、土壌硬度は土壌の乾燥とともに高くなることがわかる。粘土質の暗赤色

ラトソルでは乾期あるいは雨期の小乾期に土壌は著しく硬くなるものと思われる。

5) 土壌圧密層における団粒の安定性

圧密層が存在する重ディスクハロー区の土壌断面について団粒の安定性の程度をみるために、小川らの方法(1979)で団粒の崩落率を測定した。その結果、表5に示すように圧密層がみられる15-30 cm層の団粒の崩落率は非圧密層の0-10 cm層のそれに比べて著しく大き

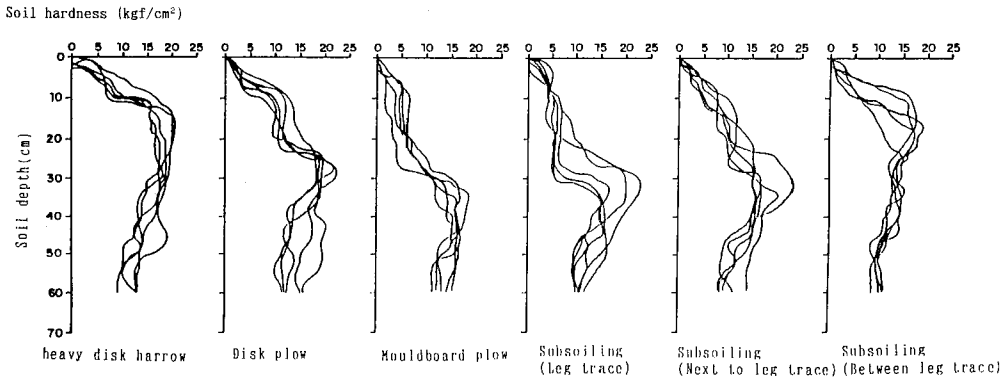


Fig. 3 Soil hardness distribution in the soil profile measured after 1 year of mechanical treatments
(Soil hardness was measured at five places in each plot)

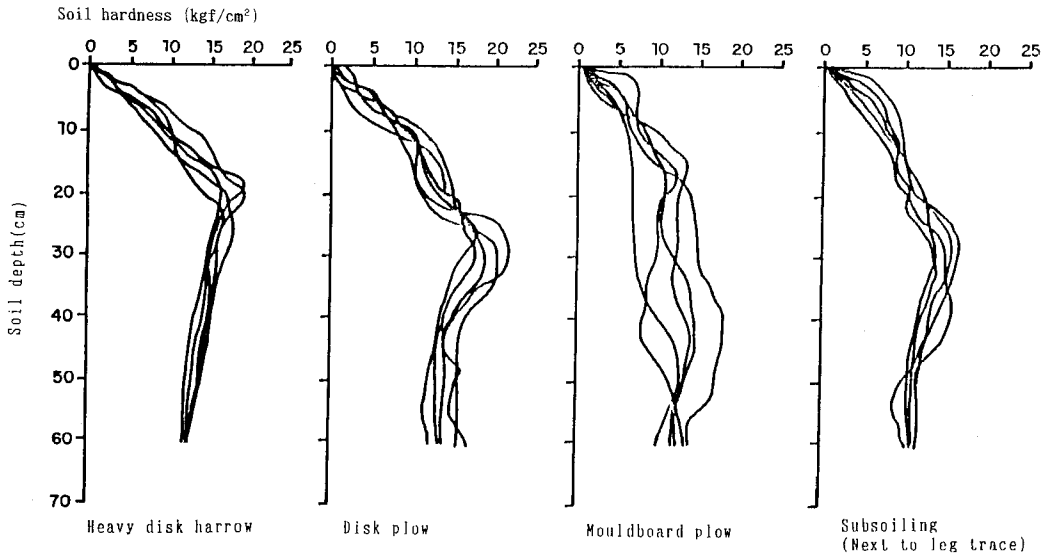


Fig. 4 Soil hardness distribution in the soil profile measured after 1 year and 5 months of mechanical treatments
(Soil hardness was measured at five places in each plot)

かった。

そこで、同じ重ディスクハロー区の前圧密層である5-10 cm層から100 mlの採上円筒に土壌を採取して、水で飽和し、円筒中の土壌を1.25 kgf/cm²と2.0 kgf/cm²の圧力で人為的に圧縮して、これらの人為的圧縮土壌と非圧縮土壌の団粒の崩落率を測定した。その結果は表6のとおりで、圧縮により団粒の崩落率は明らかに増大し、圧縮土壌の団粒の安定性が低下することを認めた。

なお、表5でB1-B2層にあたる30 cm以下の層で、団粒の崩落率が大きかったが、これはこれらの層で有機物含量が著しく少なく、安定したマクロ団粒が存在しな

いたためと考えられる。

破碎処理による圧密層膨軟化の持続性は破碎部の外力に対する構造要因が関係した抵抗性の他に、破碎部の通過水に対する耐水性に影響されるものと考えられる。圧密層で耐水性の指標となるスレーキング現象が起こり易いことを認めたことから、膨軟化を持続させるためには作業回数の減少による再圧密化の防止と有機物補給によるマクロな耐水性団粒の形成が重要と考える。

6) 作物の根の分布、生育および収量

(a) 根の分布

機械による圧密層破碎処理後に栽培した第1作目の

Table 4 Relationship between soil hardness and soil moisture tension in heavy disk harrow plot

Soil depth (cm)	Bulk density (g/cm ³)	Y=aX+b		r	pF values be equivalent to get 15 kgf/cm ² of soil hardness
		a	b		
0-5	1.17	3.0	-1.8	0.78	5.6
5-10	1.25	7.7	-4.2	0.86*	2.5
10-15	1.23	13.3	-12.9	0.92**	2.1
15-20	1.28#	19.4	-18.2	0.82*	1.7
20-25	1.21#	22.0	-23.2	0.93**	1.7
25-30	1.29#	17.0	-10.1	0.76*	1.5
30-40	1.25	10.1	-2.2	0.36	1.7
40-50	1.11	6.5	1.3	0.59	2.1
50-60	1.11	12.4	-16.9	0.87*	2.6

Y : Soil hardness (kgf/cm²), X : Soil moisture tension (pF), r : Correlation coefficient

** : Significant at the 1 percent level of probability

* : Significant at the 5 percent level of probability

: Compacted layer

Table 5 Slaking percentage of soil aggregates in heavy disk harrow plot

Depth (cm)	0-2.5	2.5-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-40	40-50
Slaking percentage (%)	1.4	8.0	18.8	53.5	65.6	63.6	76.9	66.6	40.6

Table 6 The effect of compression on slaking percentage of soil aggregates

Treatment	Slaking percentage of aggregates (%)	Bulk density of soil core (g/cm ³)
2.0 kgf/cm ² compression	36.0 a	1.48 (CV% 4.4)
1.25 kgf/cm ² compression	35.3 a	1.28 (CV% 2.0)
0.0 kgf/cm ² no-compression	23.6 b	1.20 (CV% 2.7)
LSD (5%)	6.9	

In a column, means followed by a common letter are not significantly different at 5 percent level.

ダイズの開花盛期および収穫期に深さ1m, 長さ2m, 幅1mのざんごうをつくり, 土壌断面における根の分布を肉眼および写真撮影によって観察した。その結果, 作土層の圧密層が破壊されたモールドボードプラウ区およびサブソイラ区では, 直根は30cmの深さまで伸び分枝根の分布域も広く, 一方, 圧密層破壊が不十分なディスクプラウ区では, ダイズ直根の伸長は20-25cmまでであり, 圧密層が全く破壊されなかった対照区の重ディスクハロー区では, 直根は深さ15cmあたりで水平方向に

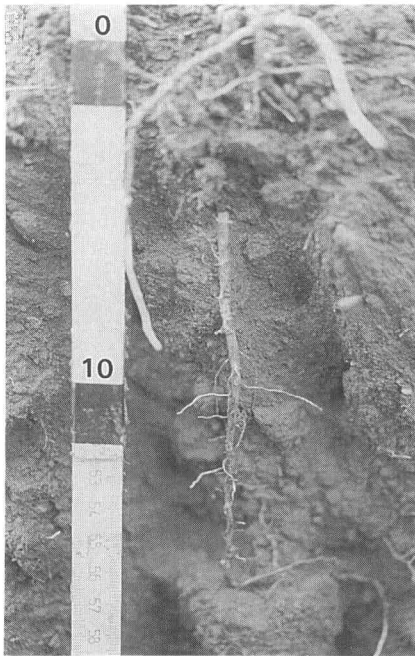
折れ曲がるのが観察された(写真1)。

また, 1作目ダイズあとに不耕起で栽培した第2作目ミレットの根の分布状況をダイズの場合と同様な方法で観察した結果, モールドボードプラウ区, サブソイラ区で冠根と細根は深くまで伸び, 重ディスクハロー区, ディスクプラウ区の圧密層では冠根の分布は極めて少なく, 圧密層及びそれ以下の層での細根の分布は少なかった(写真2)。第3作目ソルゴーの根の分布もミレットの場合と全く同様の傾向を示した。

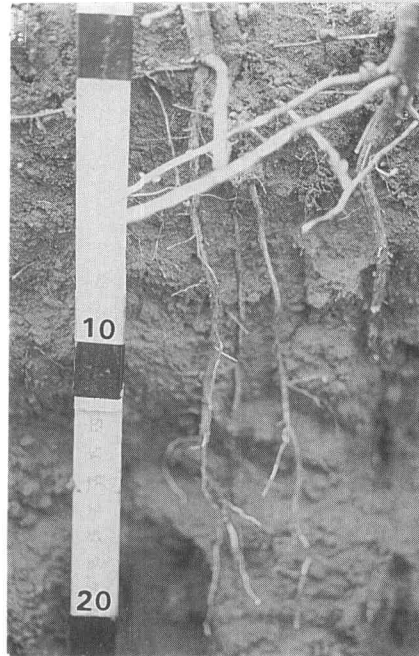
圧密層における直径が0.048mm以上の粗孔隙の量は20%以上であり, 通気性は前述したように根の伸長阻害要因にはなり得ないものと考えられ, また, この層の透水性も良好であった。一方, 圧密層の土壌硬度は圃場含水量に相当するpF1.5-1.7の時の多水分時にすでに作物根が伸長阻害される臨界硬度の15kgf/cm²を越える値を示すことから, 圧密層における根の伸長阻害要因は土壌硬度の高いことにあると考えられる。このことは, 暗赤色ラトソルの圧密層を用いた室内におけるコムギの根の伸長実験でも確かめられた(Ogawa *et al.*, 1997)。

(b) 作物の生育および収量

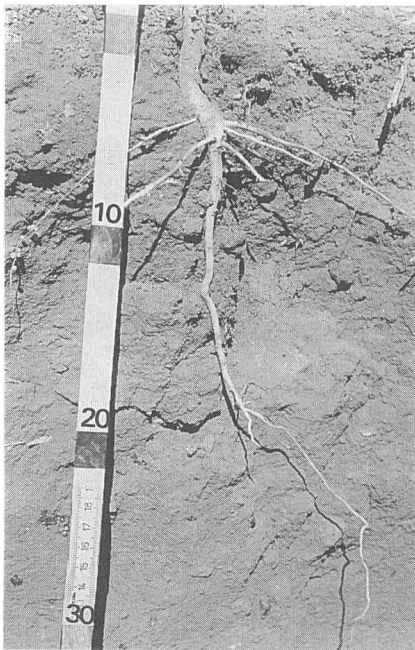
表7に示したように, 統計的な有意差はみられなかったが, 破碎処理後1作目ダイズの開花はじめに測定した草丈は重ディスクハロー区で低くなる傾向がみられ, 収穫期における茎とさやがらを合わせた質量も重ディスク



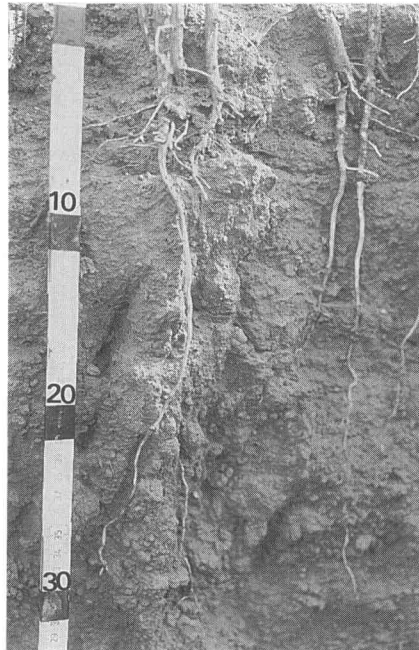
(a)



(b)



(c)



(d)

Photo 1 Soybean tap roots distribution in heavy disk harrow (a), disk plow (b), mouldboard plow (c), and subsoiler (d) plots

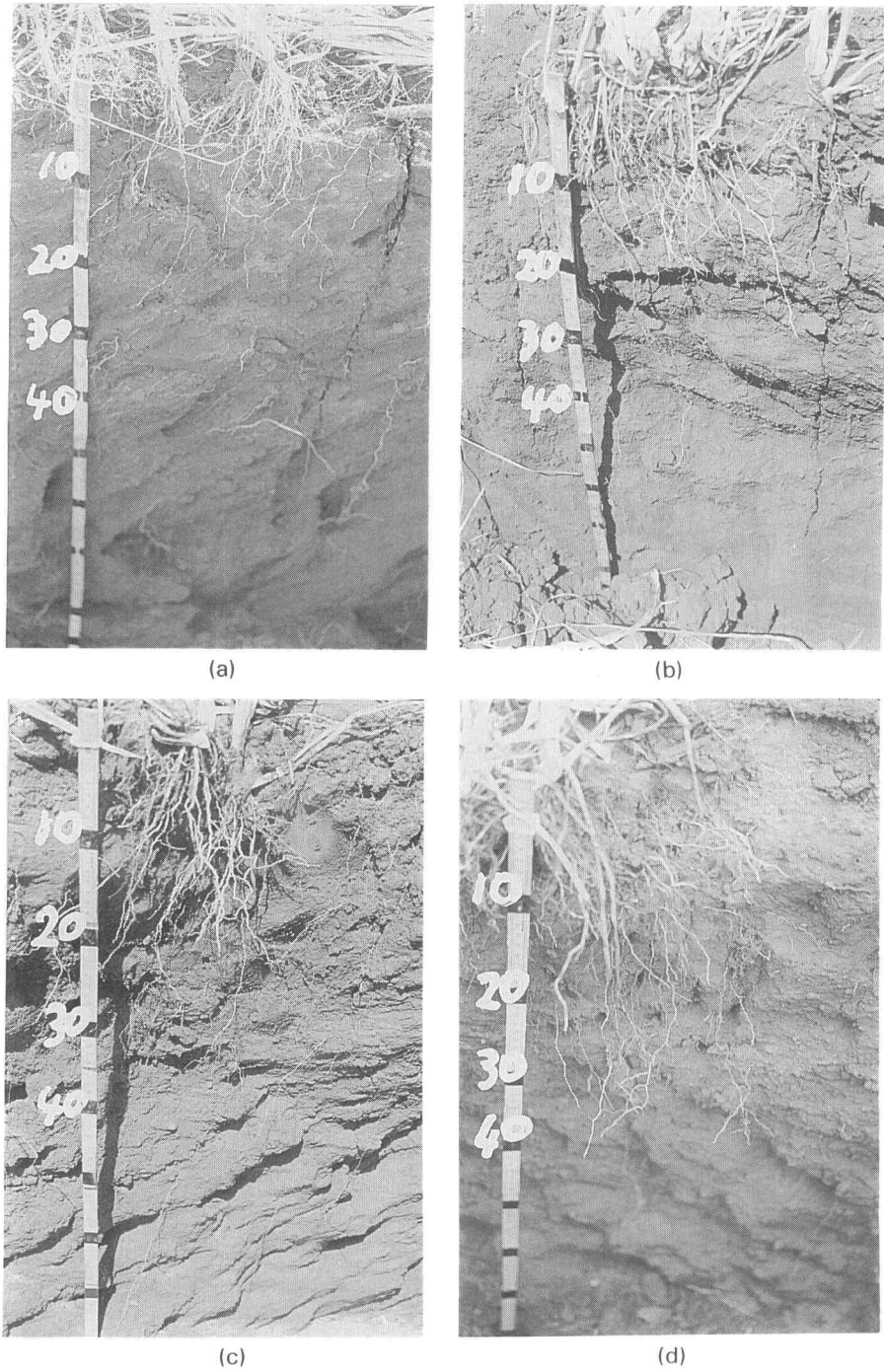


Photo 2 Millet roots distribution in heavy disk harrow (a), disk plow (b), mouldboard plow (c), and subsoiler (d) plots

Table 7 Yields and plant length of soybeans cultivated as first crop in 1995/1996

Plots	Plant length (cm) (measured at flowering)	Yields of	
		Stem + Pod (kg/ha)	Grain (kg/ha)
Heavy disk harrow	88.4	5,956	2,960
Disk plow	93.0	5,487	2,737
Mouldboard plow	94.0	6,107	2,808
Subsoiler	91.1	6,186	2,842
LSD (5%)	13.1	1,805	463

Table 8 Yields of millet cultivated as second crop in 1996

Plots	Yields of	
	Fresh matter (kg/ha)	Dry matter (kg/ha)
Heavy disk harrow	59,278 a	13,135 b
Disk plow	51,755 a	10,969 a
Mouldboard plow	70,388 b	14,323 c
Subsoiler	71,372 b	15,387 c
LSD (5%)	8,386	1,083

In a column, means followed by a common letter are not significantly different at 5 percent level.

ハロー区とディスクプラウ区でモールドボードプラウ区、サブソイラ区にくらべて少なくなる傾向がみられた。しかし、ダイズの子実収量には処理間で差はみられなかった。表8にみるように、第2作目のミレットの地上乾物収量も重ディスクハロー区とディスクプラウ区で明らかに少なかった。

第1作目ダイズあと地で測定した土壤養分含量は表9に示した。交換性マグネシウム含量が重ディスクハロー区の30-40 cm層とディスクプラウ区の20-40 cm層で他の区にくらべ少なかったが、主根群域層である0-20 cm層では処理区間で差がなかった。その他の養分の含量は処理区間で差がなかった。また、2作目のミレットは無肥料で栽培されたので、上に述べた各区間での栄養成長量の差は土壤養分含量の影響によるものではない。圧密層が存在する重ディスクハロー区とディスクプラウ区での栄養成長が圧密層が破壊されたモールドボードプラウ区とサブソイラ区にくらべて悪かったのは、これら両区で土壤硬度が常に高い圧密層が存在して、さきに述べたように根の分布が浅く、水分と養分の吸収域が狭められたためと考えられる。このことは、データとしては示さなかったがミレットによるチッ素、リン酸、カリウムの吸収量が重ディスクハロー区とディスクプラウ区で

少なかったことから伺えた。また、圧密層が存在する処理区で土層中の有効水分量がやや減少することも水分吸収に不利にはたらいたものと思われる。また、表10のように第3作目のソルゴの地上部乾物収量も、重ディスクハロー区、ディスクプラウ区でモールドボードプラウ区、サブソイラ区にくらべ明らかに少なかったのも、上記に述べた1作目ダイズ、2作目ミレットの場合と同じ理由によるものと考えられる。なお、ダイズの子実収量に処理区間で差がみられなかったのは、本試験では各処理区とも通気条件が整い、またダイズ生育期間中に降雨による水分が十分供給されたために、根の生育が制限されて茎重に若干の影響があらわれてもダイズの生殖生長には悪影響が及ばなかったことによると思われる。

本試験に供試した土壤(粘土質暗赤色ラトソル)は、表3-1および表3-2に示したように、pF-水分特性からみると、pF3以下の易有効性水分には比較的豊富が、pF3以上の高pF域の有効水分は少ない。したがって、ペラニコのような乾燥期には土壤は著しく乾燥する。このような場合には、Sanches (1977) が指摘したように、作物根を少しでも深い層に伸長させ根の吸水量を多くすることが重要になるものと思われ、本試験の結果から明らかのように、モールドボードプラウ、サブソイラによって圧密層を破壊し、根の分布を深めることが有効と考える。

なお今後は、耕耘による圧密層破壊効果持続性の検討とともに、破碎処理時におけるトラクタの牽引抵抗力、燃料消費量などを測定し、圧密層破碎効果を生産コストの面からも検討する予定である。

謝 辞

本研究の遂行に当たり、ブラジル・セラード農業環境保全研究計画のチームリーダー久保田 徹博士には多大な御教示をいただき、セラード農牧研究センターのCarlos Magno Campos da Rocha所長はじめ多くの方々の御支援をいただいた。ここに記して厚く感謝す

Table 9 Soil chemical properties in each mechanical treatment (Measured immediately after soybean harvest in 1996)

Depth (cm)	pH (H ₂ O)	Al	Ca	Mg	K	P	MO	NH ₄ -N+NO ₃
		me/100 cc				ppm	%	mg/kg
Heavy disk harrow								
0-10	6.6	0.05	4.48	1.89	0.57	29.2	2.28	45.1
10-20	6.4	0.08	4.04	1.51	0.37	41.1	2.28	27.3
20-30	6.3	0.21	3.59	1.27	0.21	4.5	1.90	16.1
30-40	5.4	0.50	2.06	0.78	0.11	1.4	1.90	21.2
Disk plow								
0-10	6.3	0.10	3.20	1.44	0.53	29.4	2.56	52.9
10-20	6.0	0.16	2.85	1.13	0.37	38.7	2.37	41.4
20-30	5.6	0.60	1.53	0.59	0.16	8.5	1.77	22.5
30-40	5.4	0.70	0.99	0.42	0.13	1.1	1.08	14.4
Mouldboard plow								
0-10	6.4	0.04	4.45	1.80	0.45	29.2	2.36	31.9
10-20	6.6	0.05	4.68	1.94	0.32	26.0	2.34	26.6
20-30	6.5	0.07	3.27	1.71	0.25	9.2	1.96	21.1
30-40	6.5	0.06	1.92	1.28	0.18	7.2	1.55	15.3
Subsoiling (next to the leg trace)								
0-10	6.5	0.05	4.50	1.77	0.47	28.6	2.22	44.3
10-20	6.3	0.12	4.17	1.64	0.22	20.6	2.20	29.6
20-30	6.4	0.15	3.75	1.50	0.19	5.0	1.74	17.6
30-40	6.3	0.30	2.68	1.12	0.12	0.8	1.23	16.7

MO : Organic matter

Table 10 Yields and plant lengths of sorghum cultivated as third crop in 1996/1997

Plots	Plant length (cm) (28, Jan., 1997)	Yields of top		Grain yields (kg/ha)
		Fresh matter (kg/ha)	Dry matter (kg/ha)	
Heavy disk harrow	115.3 a	30,630 a	11,982 a	6,528 a
Disk plow	116.4 a	31,940 a	12,934 b	6,738 a
Mouldboard plow	123.7 b	39,875 c	15,989 d	7,865 b
Subsoiler	122.6 b	36,602 b	14,720 c	7,457 b
LSD (5%)	1.1	1,859	784	321

Harvesting time : 2, April, 1997

In a column, means followed by a common letter are not significantly different at 5 percent level.

る。

引用文献

Folle, S.M.; Franz, C.A.B.; Assad, E.D. (1994) : Dias prováveis de trabalho para dimensionamento de

parques de máquinas na região dos Cerrados. Chuva nos Cerrados. ed. ASSAD E.D., EMBRAPA-CPAC/SPI, Brasília, p. 55~58, p. 296~307.
長谷川周一 (1994) : 作物の水-酸素要求に対する土壌の供給力, 土壌の物理性, 69, p. 55~66.

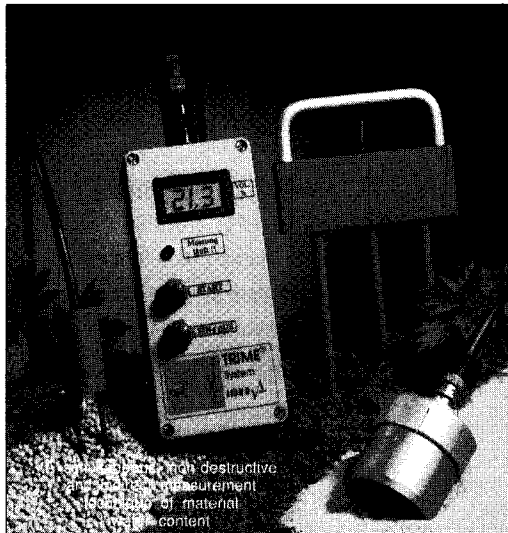
- Iwama, H. (1994) : Sustainability of mechanical agriculture and soil physical problems in Cerrados. Report of Japan Brazil Project "Sustainable Agricultural Development and Natural Resources Conservation in the Cerrados", JICA, Tokyo.
- 岩間秀矩, 中川ジュリオ (1988) : ブラジル熱帯畑土壌の肥沃度特性と土壌管理法, 熱研資料 No. 74, p. 1~113.
- 久保田徹, Branco, J.L. Castelo, 池 盛重 (1983) : セラードオキシソルの圧密層によるダイズ根の伸長阻害, 日土肥誌, 第54巻, 第5号, p. 389~395.
- Nasser, L.C.B. ; Resck, D.V.S. ; Charchar, M.J. D'Avila (1990) : Soil management, crop sequences and plant diseases in the Cerrado Region of Brazil. Proceedings of the International Workshop on Conservation Tillage Systems, Brazil, p. 190~203.
- 小川和夫, 岩間秀矩, 渡辺治郎 (1979) : 沸化作用程度の測定法の検討と二, 三の測定結果について, 北海道農試研報, 124, p. 81~94.
- 小川和夫 (1969) : 鈹質畑地土壌における地力要因の解析的研究, 東海近畿農試研報, 18, p. 192~352.
- Ogawa, K. ; Franz, C.A.B. ; Folle, S.M. ; Castro Rocha, F.D. (1997) : Soil physico-chemical observation on effect of compacted layer destruction of soil by machines. Partial report of EMBRAPA-CPAC/JICA Project : Sustainable Agriculture Development and Natural Resources Conservation in Cerrados.
- 遅沢省子, 小財 伸, 久保田徹 (1990) : [根生育非制限有効水分域] による熊本主要土壌の物理的評価, 土壌の物理性, 60, p. 6~14.
- Osozawa, S. ; Resck, D.V.S. (1994) : Improvement of compacted layers of Latosols under different plowing systems. Relatório Técnico do Projeto Nipo-Brasileiro de Cooperação em Pesquisa Agrícola nos Cerrados (1987-1992), EMBRAPA-CPAC/JICA, P. 453~461.
- Shioya, T. ; Folle, S.M. (1981) : Soil compactness and root development influenced by operation of agricultural machineries in Cerrados. Annual Report of Japan Brazil Agricultural Research Cooperation Project, Agricultural Development Cooperation Department, JICA, Tokyo, v. 2, p. 89~94.
- Sanches, P.A. (1977) : Advances in the management of Oxisols and Ultisols in Tropical South America ; in Proceedings International Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture, Tokyo, p. 535~566.
- Taylor, H.M., Roberson, G.M. and Parker, J.J (1966) : Soil strength-root penetration relations for medium to coarse-textured soil materials, Soil Sci., 102, p. 18~22.

受稿年月日 : 1997年9月3日
受理年月日 : 1998年1月16日

TRIME[®]-SYSTEM



画期的なTDR (Time Domain Reflectometry)の原理による革新的な水分計システム
 ——ドイツ ゲッティンゲン大学との森林エコロジシステム、IFUとの大気圏環境システム、カールスルーエ大学とのTDR技術開発など産学官協同研究により、開発され公的機関の実証を経て、製品化されました。すでに欧州を中心に数百台の納入実績があります。〈操作は簡単かつメンテナンス・フリーです〉



(TRIME-FM携帯型水分計と各種プローブ)

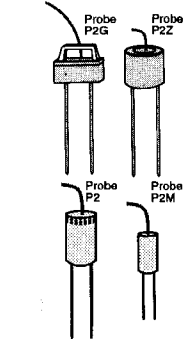
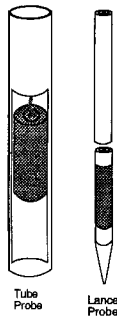
●特長

- 1)迅速、非破壊の含水測定が可能で、サンプルを採取せずに連続計測ができる。
- 2)測定時間、通常数秒～12秒と高速
- 3)これまでの方法では測定が困難なクリティカルな物質にも適用
- 4)被測定物質に影響を及ぼしたり、破壊することがない
- 5)多様なプローブ寸法と形が用意されており、各種の物質に適用可能
- 6)現場設置用システムのモジュールによる対応

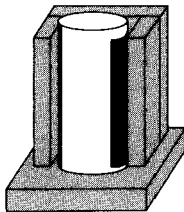
●使用分野

土壌、ケミカル物質、粉体、食料品、スラッジ、乳状液、穀物また、水による自然災害の常時モニター、予知、貯水池、ダム水門、造成地、廃棄物処理場等の構造物や土壌中の含水量のモニター、あるいは森林、水源地帯や農業計画の一環としての含水測定、モニターなど

(P3型各種プローブ)

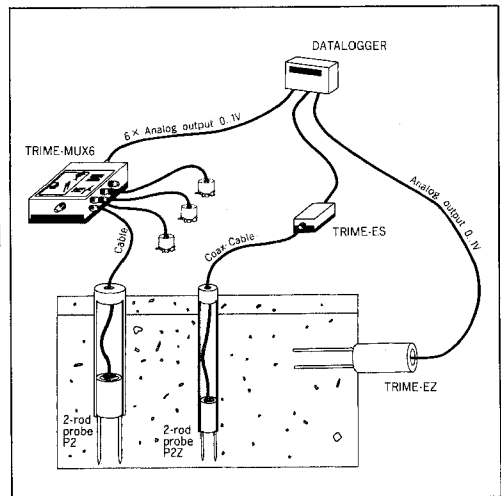


Sample Ring Probe



(標準P2型各種プローブ)

☆当社主力製品「ケミルミネッセンスアナライザー[®]」(極微弱化学発光分析装置)は国内外で使用され、その応用分野も広がっています。また、地質探査用3軸AEゾンド検出装置などユニークな製品も製作、販売しています。



現場設置用アナログシステム構築例



東北電子産業株式会社

東京支店 〒211 川崎市中原区新丸子東2-897 ラポール新丸子207
 応用計測機器グループ TEL(044)411-1263(代) FAX(044)411-1839

利府事業所 〒981-01 宮城県利府町しらかし台6-6-6
 工場営業部 TEL(022)356-6111(代) FAX(022)356-6120

黒ボク土の心土を用いた圃場造成に伴う 土壌団粒構造の変化

盧 鋼*・坂上寛一*・山岸順子**・田中治夫*

Changes of Soil Aggregation Structure in the Subsurface
 Andosols after Being Reclaimed for Arable Land

Gang Lu*, Kan-ichi SAKAGAMI*, Junko YAMAGISHI** and Haruo TANAKA*

* Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology

** University Farm, Faculty of Agriculture, University of Tokyo

Abstract

Wet-sieving test in combined with disaggregating pre-treatments (from gentle to vigorous) were applied to investigate the change in soil structure of subsurface Andosols after being reclaimed for arable land. Aggregates of subsurface soil under natural condition was utterly stable to slaking, and stable to oscillation disruption to some extent. In contrast, the aggregates in the reclaimed soils appeared to break down gradually into smaller aggregates as pre-treatment being intensified. These facts indicated that the aggregate hierarchy existed in the reclaimed soil, while in the natural subsurface soil, structure characteristic was more like clod. Soil organic C was showed to be increased with cropping and fertilization practice, while free iron oxides in the soil was decreased. Iron oxides contents in the aggregates and result of deferration experiment indicated that the iron oxides was the predominate stabilizing agent of the natural subsurface soil. However, the role of iron oxides on the stabilization was very weak in the reclaimed soil. Organic C content was constantly high for the small aggregates, which suggests the increase of smaller aggregates in the reclaimed soil may be attributed to the increase in organic matter in the soil. It was concluded that by reclamation, natural subsurface soil which contained large amount of iron oxide cemented clod could be turned into well aggregated soil.

Key word : Subsurface Andosols, soil ripening, water-stable aggregate, organic matter, iron oxide

1. はじめに

有機物が多く集積している黒ボク土の黒色表土では、内部孔隙に富む団粒が形成され膨軟である。それに対して、黒ボク土下層の有機物の少ない赤褐色心土では、一般に堅密であり、土壌がしまっている。このように黒ボク土の表土と心土では物理性が大いに異なる。ところで、黒色表土が侵食によって剥奪され、心土が耕作土として使われることがある。また、近年客土として心土が利用されることも珍しくない。したがって、心土を耕作

土として利用する際の諸問題、またその熟畑に伴う土壌の変化を明確に把握することは、今後の心土の利用を考える上で重要であると思われる。ここでは、とくに土壌団粒構造の面から論議する。

土壌団粒は土粒子の集合体であり、その団粒の形状、大きさおよび安定性などは土壌の構造を規定し、更には土壌の通気性、透水性を支配し、風食、水食に対する抵抗力などにも影響を及ぼし、土壌生産性あるいは作物の生育などと密接に関わっている。団粒構造の発達した土壌では団粒階層 (aggregate hierarchy)、つまり、高次

*東京農工大学農学部 〒183-8509 府中市幸町 3-5-8, **東京大学農学部附属農場 〒188-0002 出無市緑町 1-1-1

キーワード: 黒ボク土心土, 熟畑化, 耐水性団粒, 有機物, 酸化鉄

な大団粒はより低次な小団粒から構成される構造様式がよく認められる (Kay, 1990)。一方、土塊は単なる一次粒子の集合体であり、その内部には土壌生成によって形成された団粒境界面が明瞭には認められない (Soil Survey Division Staff, 1993)。Tisdall and Oades (1982) は草原土壌の構造について論じ、低次小団粒 (直径 0.25 mm 以下) は植物の根および糸状菌の菌糸の binding によって高次大団粒 (直径 0.25 mm 以上) を形成すると指摘した。また、小団粒は腐植物質などの接着剤によって安定化され、その結合力は根、糸状菌菌糸によるものより強く、小団粒は一般に大団粒より安定性は高いと述べた。Oades and Waters (1991) は破壊強度の異なる耐水性団粒分析法を用いていくつかの土壌の構造の特徴を検討した。その結果、有機物が団粒の主要な接着剤であるアルフィソルとモリスソル土壌においては団粒階層の存在が確認でき、酸化物が主要な接着剤であるオキシソル土壌においてはその存在が認められなかった。

水中篩別法 (Yoder, 1936) は団粒の分析にもっとも多く用いられている手法である。しかし、生土或いは風乾土だけを用いて水中篩別する場合は、得られた団粒は高次の構造を持つものもあれば、単なる一次粒子の集合体 (土塊) である可能性もある。そこで、団粒分析に破壊力の異なるいくつかの前処理を用いて、耐水性団粒の安定性を多角的に検討することを試みた。ここでは前提として団粒構造の発達した土壌であれば外部負荷の増加に伴い、大きな団粒はより小さい団粒に分離・破壊することが認められるだろうと仮定している。

本研究の目的は上述の手法を用いて黒ボク土心上を耕作土とする圃場造成の前後や、造成後の施肥管理の相違などによる耐水性団粒構造の変化をより明確に把握することである。また、その団粒構造の変化は団粒接着剤とされている有機物や酸化物などの変化によるものか否かについても検討した。

2. 供試土壌および方法

供試土壌

東京大学付属多摩農場 (東京都田無市) では 1978 年に黒ボク土の黒色表土の他に、赤褐色心土 (立川ローム層の最上層、ソフトローム層に相当) を用いて耕作土とする圃場造成を行った。1979 年はトウモロコシ-大麦による均一栽培を行い、1980 年以降はトウモロコシ-大麦-大豆-大麦の 2 年 4 作付け体系を採用し、家畜糞堆肥、化成肥料を単用あるいは併用する試験区を設け、栽培試験を継続した (山岸・松崎, 1997)。本研究では試験区のうち造成後の心土無肥料区①、心土化成肥料・堆肥区② (堆肥 60 t/ha、窒素肥料は、トウモロコシ: 120 kg/ha、大

麦: 120 kg/ha、大豆: 30 kg/ha) および黒色表土の化成肥料・堆肥区③ (施肥は前記と同様) の土壌を用いた。また、圃場造成に用いた心土④も採取した。以上の試料は図表に表示するとき、それぞれ心土無肥料、心土化成肥料・堆肥、黒土化成肥料・堆肥、造成前心土の略称を使った。生土状態で大きな塊を指先で割れ目から砕き、8 mm の篩いをとおし、供試するまで低温室 (5°C) に保存した。

実験方法

1) 耐水性団粒の測定

供試土壌に対して異なった 4 種の前処理を施し、それぞれ処理後の試料について水中篩別装置 Yoder 器 (1 分間 20 回上下運動、振とう幅 3 cm) を用いて、45 分間の水中篩い分け (水道水を使用) を行った。前処理の内容は下記のとおりである。

- A 生土処理: 生土を水道水に 10 分間浸漬静置する
- B 風乾処理: 生土を風乾する (いわゆる沸化作用を受ける)
- C 振とう処理: 100 mL のポリ瓶の中に風乾土 10 g と 50 mL 蒸留水を加え、振とうする (1 分間 80 回、振幅 2.5 cm 往復振とう、2 時間)
- D 超音波処理: 100 mL のビーカーに 10 g の風乾土と 50 mL の蒸留水を加え、超音波をかける (出力 80 W, 5 分間 2 回)。

各前処理が土壌団粒に加える破壊力は $A < B < C < D$ の順に増加する。

Yoder 器による水中篩い分けでは土壌団粒を 2-8 mm, 1-2 mm, 0.5-1 mm, 0.25-0.5 mm, 0.1-0.25 mm および 0.1 mm 以下の 6 画分に分ける。105°C 乾燥重に基づいて各粒径団粒の割合を求める。4 連データの平均値によって団粒分布と平均重量直径 (Kemper and Rosenau, 1986) を算出し、団粒の安定性を論議した。

2) 各 pF 範囲における土壌水分量 ($\text{cm}^3/\text{cm}^3\%$)

採土管の不攪乱土壌試料につき加圧板法 (pF 1~pF 3) と遠心法 (pF 3~pF 4.2) により、土壌水分特性曲線を求めた (土壌標準分析・測定委員会, 1986)。各 pF 値の含水量には三連データの平均値を使った。pF 3 の含水量は加圧板法と遠心法の値はほぼ同じであるため、加圧板法の値を使った。

3) 炭素、窒素

試料の炭素、窒素含量は乾式燃焼法で NC-ANALYZER (SUMITOMO 工業) を用いて測定した (土壌標準分析・測定委員会, 1986)。

4) 鉄・アルミニウム・ケイ素

ジチオナイト-クエン酸ナトリウムおよび、酸性シュウ酸アンモニウムにより選択溶解、抽出された鉄、アルミニウム、ケイ素 (Reeuwijk, 1993) について、点滴-蛍光 X

線分析法(丸茂, 1992)を用いて測定を行った。

5) 脱鉄処理

7gの2~8mmの風乾団粒を50mlの0.4Mジチオナイト(Na₂S₂O₄)溶液中に7日間浸漬後、1)と同様に45分間水中篩別を行い、団粒分布と平均重量直径を求めた。脱鉄処理でのナトリウムの分散作用を考慮して0.4M硫酸ナトリウム(Na₂SO₄)に浸漬する対照を設けた。また、併せて蒸留水浸漬処理を設けた。

3. 結果と考察

耐水性団粒, 土壌水分特性曲線

耐水性団粒の粒径分布は前処理によって著しく影響を受け変化した(図-1, 図-2)。生土処理では造成前心土で2mm以上の大団粒が若干多く平均重量直径が大であるが、3種の造成後土壌の耐水性団粒分布および平均重量直径はほぼ同様であった。しかし、風乾処理では各土壌の耐水性団粒分布は大きく異なった。造成前心土は2mm以上の耐水性大団粒がもっとも多いが、造成後は心土無肥料区、心土化肥・堆肥区、黒色表土化肥・堆肥区の順に2mm以上の大団粒が減少し、0.5mm以下の小団粒が増加した。振とう処理では2mm以上の大団粒は

同様な傾向が認められたが、小団粒については造成後3土壌間で大差がなかった。超音波処理では供試した4土壌の団粒は大きく崩壊し、4土壌の平均重量直径はほぼ同じであった。

各処理間の耐水性団粒分布の比較から、造成後の土壌は前処理の強さが増加するとともに大団粒は徐々に崩壊し、より小さい団粒に分離する傾向が明瞭に認められた。しかし、造成前心土は対照的であり、生土と風乾処理の間では差異がなく、強い振とう処理でもなお大団粒はかなり残り、高い安定性を示した。

また、水分特性曲線(図-3)も心土の造成前後で大きく異なり、構造の相違を示した。造成前心土に比べ、造成後の心土土壌はpF 4.2以上の含水量が少なくなり、pF 1~2での含水量が多くなった(表-1)。

以上の結果から造成後心土の構造は微細孔隙が減少するとともに粗大孔隙が増加し、造成前心土のそれと大きく変化したことが判明した。ここで注目したいのは生土処理と風乾処理における造成前後心土の団粒安定性の違いである。造成前心土は風乾処理による沸化作用によっても団粒の崩壊がほとんど認められないだけでなく、振とう処理でもなお大団粒はかなり残っており、安定な構

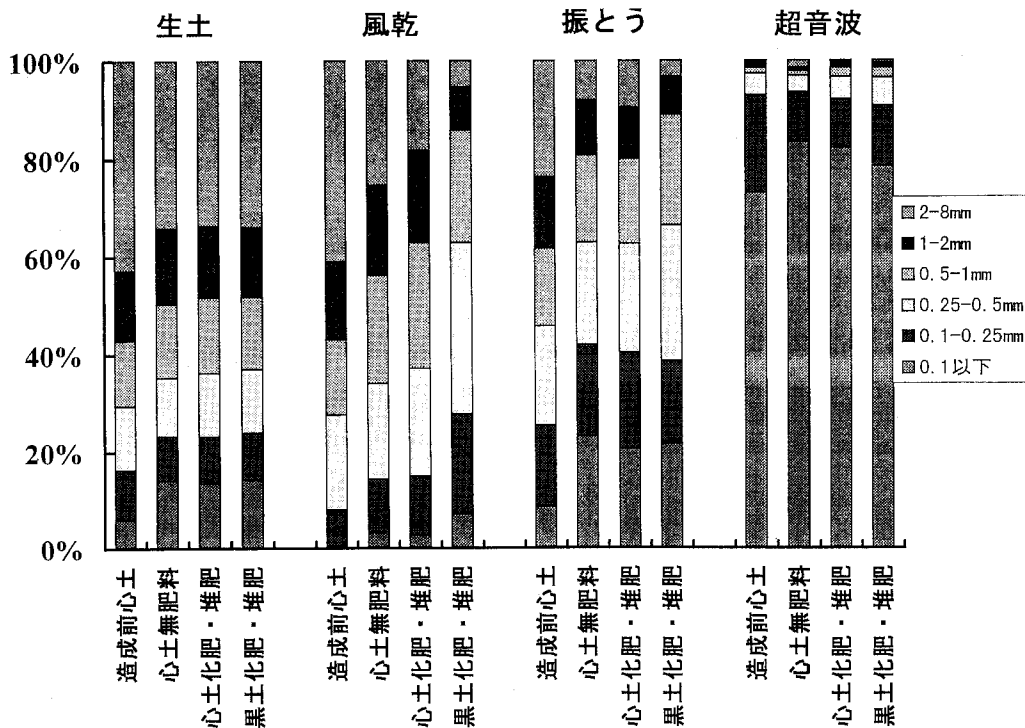


図-1 前処理に伴う耐水性団粒の粒径分布の変化

Fig. 1 Water-stable aggregate size distribution under different pre-treatment

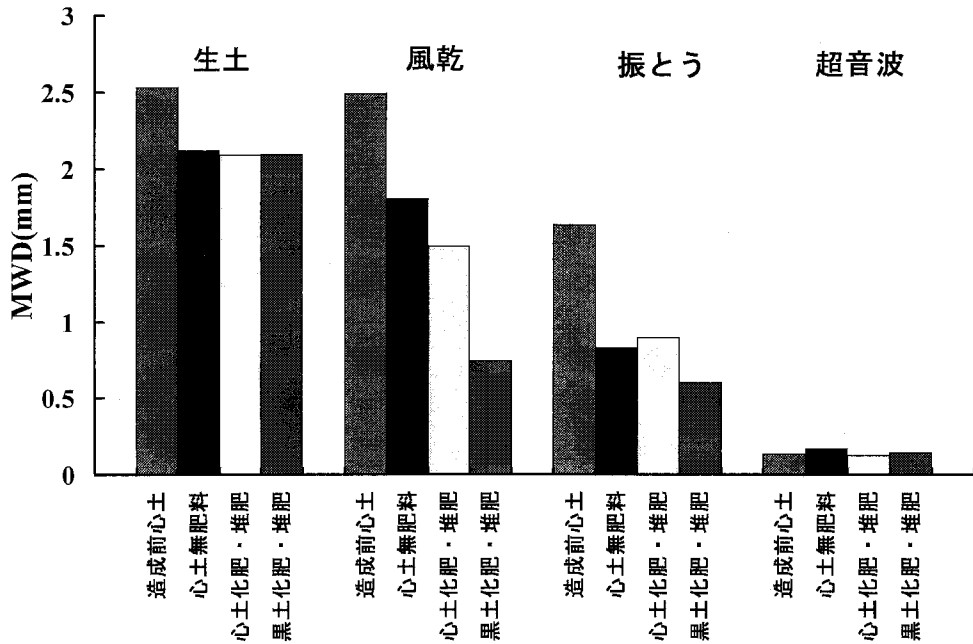


図-2 前処理に伴う耐水性団粒の平均重量直径の変化

Fig. 2 Mean weight diameter of water-stable aggregates under different pre-treatment

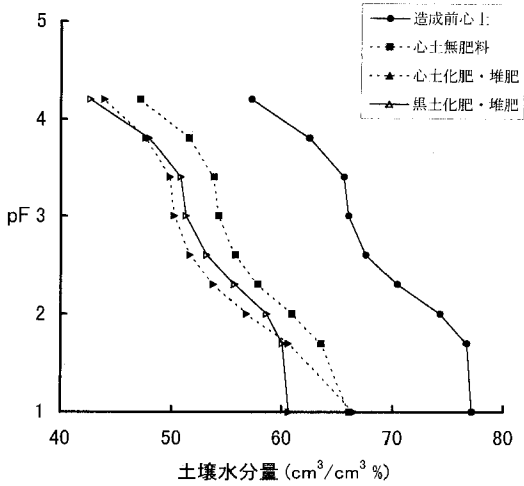


図-3 土壌水分特性曲線

Fig. 3 Soil moisture characteristic curve

造であった。一方、造成後心土では生土処理で安定した大団粒は沸化作用によって容易に小団粒に分離され、もっと強い振とう処理では団粒が更により小さい団粒に崩壊した。これらの事実では造成後の心土の大団粒は高次団粒の特徴を持っており、それに対し造成前心土の大団粒は沸化作用によって分離される団粒画分を欠き、団粒内部の構成はより簡単であることを示唆している。

火山灰土壌における団粒分布と孔隙分布との相関については古畑・林 (1980) の研究で検討されている。彼らの研究では塊状構造のある土壌には微細孔隙 (pF 3.9 以上) がより多く含まれ、微細孔隙と大団粒との相関が高いと報告した。本研究では、造成前心土に比較的多い微細孔隙はおそらくその大団粒内部に多く含まれる微細孔隙とかがわっていると推測する。一方、造成後心土では風乾処理で分離した小団粒は生土の状態では緩く結合しあって大団粒の中に留まり、高次の団粒になっている。このような構造の変化は造成後心土における微細孔隙の減少並びに粗大孔隙の増加をもたらしたと考えられる。

以上のように造成前心土の大団粒は壊れにくく緻密な集合体であり、小団粒に分離しにくいことからむしろ土壌に近いと言えよう。造成後心土では微細孔隙が少なく、粗大孔隙が多く、団粒構造の発達が進んでいると考えられる。沸化による団粒の崩壊・細粒化は黒色表土でも顕著にみられた。このことは心土が耕作土になり、熟化化によってもとの構造性を失い、団粒化が進み、構造上は黒色表土の特徴に近づいているようにみられる。

土壌有機物、酸化物の含量と団粒安定性

造成前後で団粒の安定性に大きな変化がみられたことは団粒内部結合力に変化が生じたことを示唆し、団粒の接着物質に何らかの変化が起こったことが考えられる。そこで、団粒接着物質の可能性のある有機物と酸化物の

表-1 各 pF 範囲における土壌水分量 (cm³/cm³%)

試料	重力水 (pF 1~2)	易効性水分 (pF 2~3)	難効性水分 (pF 3~4.2)	非有効水分 (pF >4.2)
心土	2.9	8.3	8.8	57.2
心土無肥料	5.2	6.6	7.1	47.1
心土化肥・堆肥	9.8	6.6	6.3	43.9
黒土化肥・堆肥	2.1	7.3	8.6	42.6

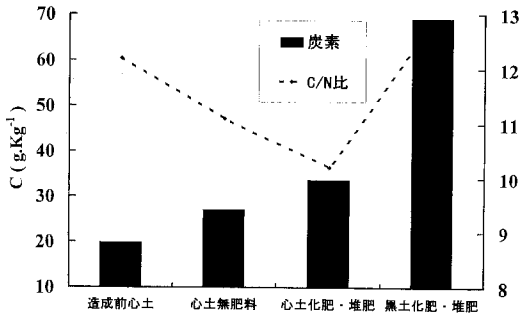


図-4 各土壌処理区の炭素量, C/N比

Fig. 4 Organic C and C/N ratio of the soils

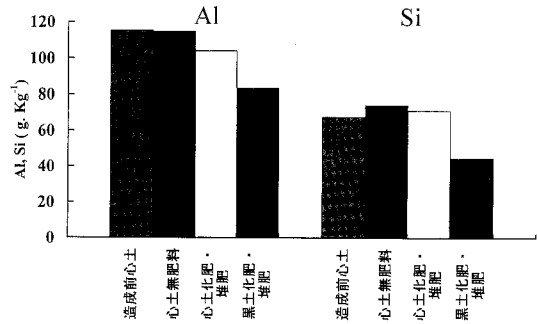


図-5 酸性シュウ酸アンモニウム可溶 Al, Si

Fig. 5 Acid oxalate extractable Al and Si in the soils

増減を調べた。

炭素量は造成前心土, 心土無肥料区, 心土化肥・堆肥区の順に多くなった(図-4)。心土では造成後作物の栽培開始とともに有機物が集積し, 堆肥や化成肥料の施用によって更に有機物が増加することを示した。一方C/N比は造成前心土, 造成後の心土無肥料区, 心土化成肥料・堆肥区の順に減少した。造成後の作物の栽培履歴(例えば大豆の窒素固定), 堆肥ならびに窒素肥料の施用による熟畑化の影響と考えられる。

シュウ酸-シュウ酸アンモニウム可溶の Al, Si の量は造成前後の心土にいずれも黒色表土より多く含まれているが, 心土三土壤の間には大きな差異はなかった(図-5)。造成後の熟畑化によるアロフェン生成量の変化はあまりないことになる。選択溶解によって抽出した遊離酸化鉄(ジチオナイト-クエン酸ナトリウム可溶, Fed) と非晶質酸化鉄(酸性シュウ酸アンモニウム可溶, Feo) の含量を図-6 に示した。造成前後心土の非晶質酸化鉄の含量はそれほど変わらないが, 遊離酸化鉄の含量は造成前の心土, 心土無肥料区, 心土化肥・堆肥区の順に減少して, 炭素量と逆の傾向を示した。酸化鉄の活性度 (Feo/Fed) は炭素量の傾向と一致し, 有機物集積に伴って, 活性度が高くなっている。このことは有機物が鉄酸化物の結晶化を妨げるためであろう (Schwertmann *et al.*, 1968)。

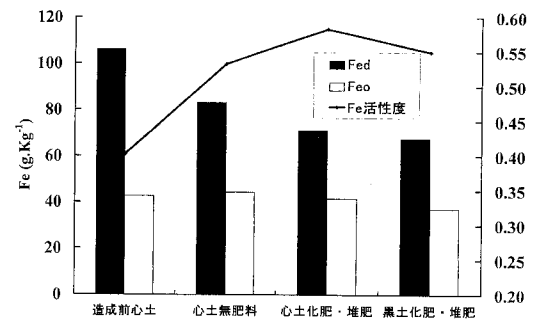


図-6 遊離酸化鉄, 非晶質酸化鉄の含量および酸化鉄の活性度

Fig. 6 Dithionite and acid oxalate extractable Fe, and Feo/Fed ratio of the soils

このように心土の造成後の熟畑化による大団粒(その多くは土塊)の減少は遊離酸化鉄含量の減少と一致しており, 安定な大団粒(土塊)の形成に遊離酸化鉄が接着剤として働いている可能性が示された。一方, 有機物は心土の大団粒の形成にはあまり関係がないようにみえる。

風乾土から水中篩別で得られた各粒径団粒の遊離酸化鉄含量と炭素を調べた(図-7, 図-8)。その結果, 接着剤

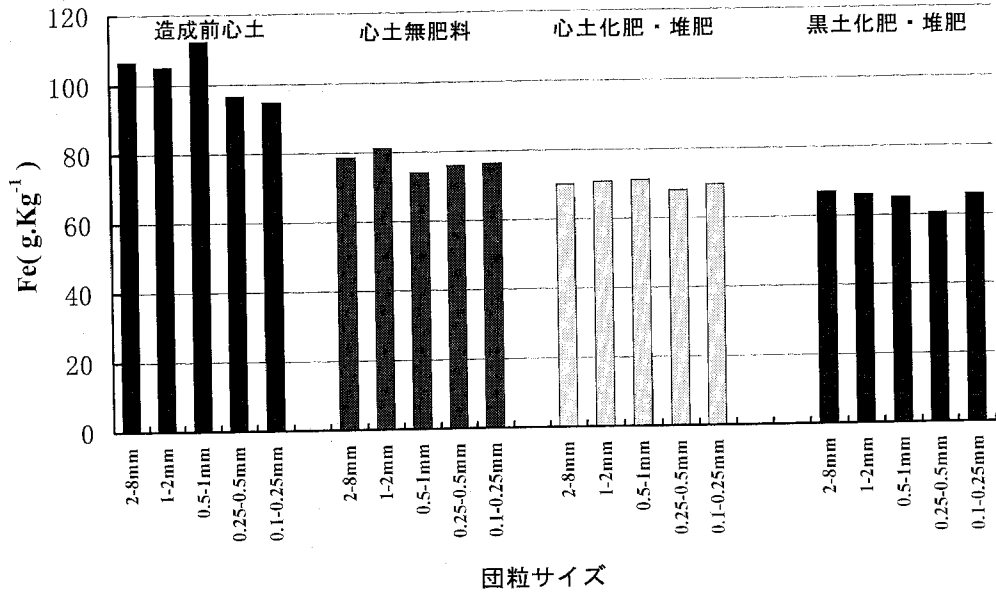


図-7 各土壌の各粒径団粒における遊離酸化鉄含量 (風乾土による水中ふるい分け)

Fig. 7 Content of Dithionite extractable Fe for aggregates of different size fractions

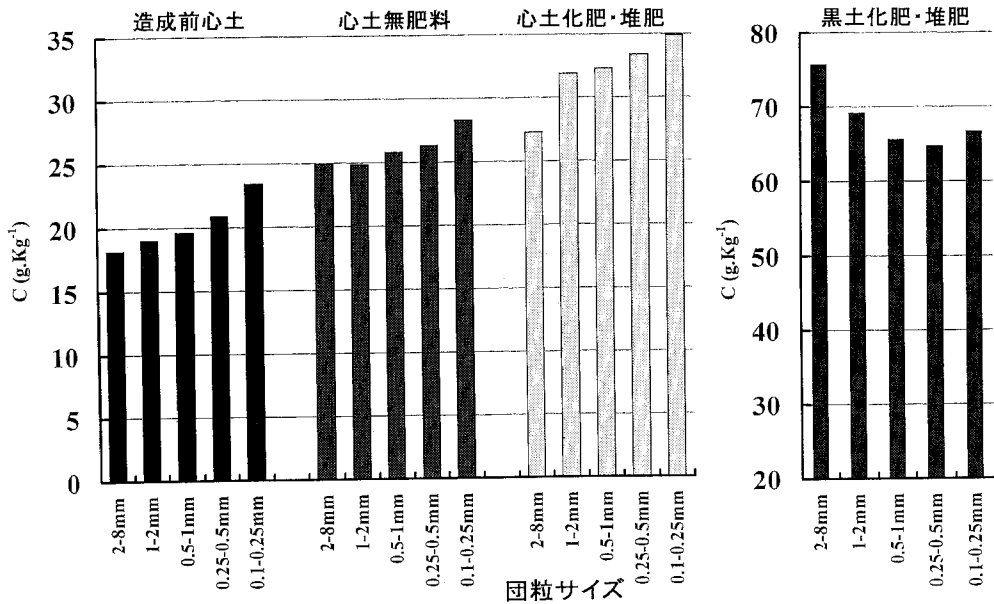


図-8 各粒径団粒の炭素含量

Fig. 8 Content of organic C for aggregates of different size fractions

としての酸化鉄の役割がより明瞭となった。造成前心土では大団粒のほうが小団粒より遊離酸化鉄の含量が多いのに対して、造成後の心土および黒色表土では大小団粒間の差異はみられない。このことは造成前心土において安定な大団粒(土塊)を形成するためにはより多くの酸化鉄の関与を必要とするが、造成後心土では安定な大団

粒の形成には酸化鉄はそれほど重要ではないようにみえる。一方、炭素量は造成前後の心土に小団粒ほど多く、有機物は小団粒の形成により重要だと考えられる。

図-9では脱鉄処理の結果を示した。造成前心土団粒の平均重量直径は対照の硫酸ナトリウム処理と蒸留水処理

表-2 抽出液中の鉄の濃度 (ppm)

試料	蒸留水 (pH 5.5)	0.4 M Na ₂ SO ₄ (pH 5.3)	0.4 M Na ₂ S ₂ O ₄ (pH 5.8)
造成前心土	sd	sd	356.0
心土無肥料	sd	sd	872.7
心土化肥・堆肥	sd	sd	673.4
黒土化肥・堆肥	sd	sd	861.8

sd：痕跡

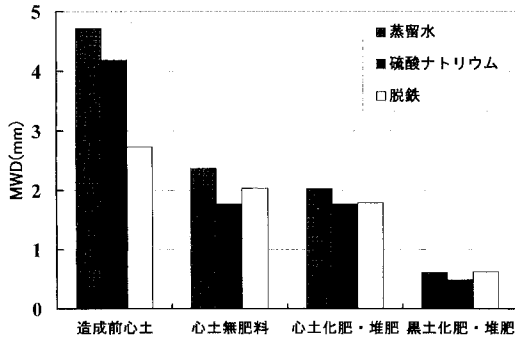


図-9 脱鉄処理後の団粒の平均重量直径

Fig. 9 MWD of water-stable aggregates after defferation

に比べ、脱鉄処理によって著しく減少した。造成前心土の団粒の安定、特に大団粒（土塊）の安定には鉄酸化物の役割が非常に重要であることが確認できた。一方、造成前心土以外の土壌では、いずれも脱鉄処理によるジチオナイト抽出液中に鉄は多く溶解している（表-2）にもかかわらず、脱鉄処理と対照処理間で団粒平均重量直径にはほとんど差異がみられなかった。造成前心土以外の土壌では酸化鉄の接着剤としての役割は小さいと考えられる。

総合考察

造成前心土では遊離酸化鉄が大団粒（土塊）を安定化する主な接着剤であると考えられるとともに、この大団粒は風乾処理（沸化）、振とう処理に対しても強い抵抗性を示すことから酸化鉄を接着剤とする結合力は強いと考えられる。一方、造成後心土では耕耘碎土作業によって心土が本来保持していた大団粒（土塊）が機械的に崩壊し、熟畑化の中で新たな団粒化が進んでいると考えられる。しかし、脱鉄処理などの実験からわかるように、熟畑化で再生した団粒では接着剤物質としての鉄酸化物の役割は小さい。一方、風乾処理でみられた造成後心土団粒の細粒化傾向は造成後有機物の増加と符号し、さらに小団粒により多くの有機物が含まれることを併せて考

えると、熟畑化による有機物の増加は小団粒の増加につながると考えられる。したがって、有機物の集積は造成後心土の団粒化にとって重要だと言えよう。

心土の熟畑化に伴う団粒構造の発達には微細孔隙の減少、粗大孔隙の増加につながり、熟畑化の一環として土壌構造の改善が実現されていると考えられる。調査した田無農場の作物収量データによると、造成後の心土区は十分量の施肥があれば、黒色表土と同程度の作物収量があった（山岸・松崎, 1997）。造成後心土は熟畑化により黒色表土の団粒構造に近似するような変化が進み、収量を保証したと考えられる。

4. まとめ

水中篩別を強さの異なる前処理と併せて行う団粒分析により、造成後の心土の構造変化をより明瞭に把握することができた。造成前心土は緩やかな生土処理と比較的強い風乾処理（沸化）において団粒の安定性はほとんど変わらないが、造成後心土は前処理の破壊強度の増加によって、大団粒は徐々に小団粒に分離したことが認められた。これらのことは造成前心土は団粒構造の発達が弱く、造成後の心土は発達した団粒構造を有すると判断できた。造成後の熟畑化により、土壌遊離酸化鉄の含量は減少した。脱鉄処理などの分析結果から造成前心土大団粒の安定には酸化鉄が重要であり、造成後心土の団粒の安定には酸化鉄はそれほど重要ではないことがわかった。一方、熟畑化は有機物を増加すると同時に有機物により多く含まれる小団粒の分布を拡大した。心土における小団粒の形成には有機物が関与することが示唆された。造成後の熟畑化によって粗大孔隙が増え、微細孔隙が減少した。このように、心土の構造は造成前の鉄酸化物によって接着された土塊から、熟畑化により有機物が関与する団粒構造に改善されたと言えよう。

謝 辞

土壌水分特性曲線の作成に際して東京農工大学農学部 加藤 誠助教授にご指導いただいた。感謝申上げる。

引用文献

- 土壌標準分析・測定法委員会 (1986) : 土壌標準分析・測定法, p. 77, 博友社, 東京.
- 古畑 哲・林 成周 (1980) : 土壌構造と孔隙組成との相互関係—十勝地方の火山性土の例—, 北海道農業試験場研究報告, **126** : 53~67.
- Kay B.D (1990) : Rate of change of soil structure under different cropping systems. *Advances in Soil Science*, **12**, p. 1-52, Springer-Verlag Inc., New York.
- Kemper, W.D. and Rosenau, R.C. (1986) : Aggregate stability and size distribution. In *Methods of soil analysis, part 1, 2nd ed.*, Ed. A. Klute, p. 425~441 *Agron. Monogr.*, **9**, ASA and SSSA, Madison, Wisconsin.
- 丸茂義輝 (1992) : 点滴—蛍光 X 線分析法の土壌抽出液への応用, 土壌構成成分分析法, p. 71~100. 博友社, 東京.
- Oades, J.M. and Water, A.G. (1991) : Aggregate hierarchy in soils. *Aust. J. Soil Res.*, **29** : 815~828.
- Reeuwijk Van L.P. (1993) : Extractable iron, aluminum, manganese and silicon. *Procedures for Soil Analysis. International Soil Reference and Information Centre, Wageningen*, 12~1, 12~2.
- Schwertmann, U., Fischer, W.R. and Papendorf, H. (1968) : The influence of organic compounds on the formation of iron oxide. *Trans. 9th Int. Cong. Soil Sci.*, **1**, p. 645~655.
- Soil Survey Divison Staff (1993) : *Soil Survey Manual*, USDA Handbook No. 18, p. 158 Washington, DC 20402.
- Tisdall, J.M. and Oades, J.M. (1982) : Organic matter and water stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.*, **33** : 141~163.
- 山岸順子・松崎昭夫 (1997) : 瘠薄心土による造成畑の肥沃化過程—17年間における収量の推移, 日本作物学会記事, **66** 巻, 別 2 号, p. 65~66.
- Yoder, R.E. (1936) : A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *J. Am. Soc. Agron.*, **28**, p. 337~351.

受稿年月日 : 1997年9月9日
 受理年月日 : 1998年2月12日

エチレングリコール水溶液を用いたテンシオメータによる 冬期の畑土壌マトリックポテンシャル測定法

吉 田 正 則*

Method for Matric Potential Measurement of Upland Soil in Winter
 by Tensiometry Using Ethylene Glycol-Water Solution

Masanori YOSHIDA

Shikoku National Agricultural Experiment Station

Abstract

Tensiometric method using ethylene glycol (EG)-water solution was discussed to enable long-term matric potential measurement of upland soil in National Institute of Agro-Environmental Sciences, Ibaraki, Japan, where water-using tensiometer has sometimes been frozen due to daily minimum air temperature lower than -10°C in winter.

Apparent matric potential measured by EG-water solution was 7.5% larger than true matric potential. Deviation of the apparent matric potential was corrected by specific gravity of the EG-water solution. Decrease in specific gravity of EG-water solution enclosed in tensiometer, resulted from EG diffusion through porous ceramic cup, was predicted from initial specific gravity, diffusion parameter, and duration day. Thus, the decrease in specific gravity is not necessary to be monitored during field measurement.

Relationship between freezing temperature and specific gravity of EG-water solution should be measured on stirred (or disturbed) condition, because decline in the freezing temperature with increasing specific gravity is affected by the presence of disturbance. Frozen cases of the EG-water solution during the matric potential measurement in the field had good correspondence with freezing conditions estimated by laboratory experiment.

It was suggested, consequently, that long-term matric potential measurement through winter season was possible, provided that the initial specific gravity of EG-water solution and replenishing period of EG into tensiometer were considered, and that specific gravity more than lower limit (critical specific gravity) corresponding to minimum air temperature was maintained.

Key words : tensiometer, matric potential, ethylene glycol-water solution, prevention of freezing, specific gravity

1. はじめに

マトリックポテンシャルは、体積含水率や不飽和透水係数、土壤水の移動方向や駆動力を推定する上で欠かせない情報である。テンシオメータ法は、現場土壌中のマトリックポテンシャルを測定する有力な手法のひとつであり(唐ら, 1990), 土壤水分のモニタリング

(Hasegawa *et al.*, 1994) や用水計画の策定(凌・安養寺, 1996), 肥料成分の流出解析(大田ら, 1995)などに広く応用されてきた。

従来、テンシオメータの負圧測定には水銀マンオメータが用いられたが、現在では、圧力トランスデューサやパーソナルコンピュータなどを組み合わせることにより、高精度かつ高感度のデータが自動的に取得できるよ

* 四国農業試験場 〒765 香川県善通寺市生野町 2575

キーワード: テンシオメータ, マトリックポテンシャル, エチレングリコール水溶液, 凍結防止, 比重

うになっている(谷川ら, 1992)。しかし, 圧力媒体として水を用いる通常の方法では, テンシオメータの上端部が地上に現れているため, 冬の間テンシオメータ内部の水が凍結し, 測定が中断したり, 圧力トランスデューサが破損する, などの欠点がある。このことは, 土壌水分が液体状態を維持しているにも関わらず, 地表付近の気温が一冬に幾度も氷点下を記録するような地域においては深刻である。

この問題を解決するための一案として, テンシオメータ全体を土壌中に埋設する方法が考えられる(例えば, 井上, 1994)。しかしこの方法では, テンシオメータを土壌中から回収しない限り, テンシオメータ内の水をチェックしたり補給することはできない。夏期の畑上層では, 地表付近のマトリックポテンシャルが著しく低下してテンシオメータ内の水が失われるため, 周年観測に支障をきたす。

また, テンシオメータの圧力媒体を地上部のみデカリン(Decahydronaphtalene, $C_{10}H_{18}$)で置換する方法が試みられたが(元木, 1971), デカリンがテンシオメータやそこに接続されたチューブを痛めることがあり, 長期間の計測には不適切であるとされた(元木, 1972)。

その他, テンシオメータ内の水で満たされている部分を地下まで下げることににより地上部の凍結を回避する方法が考えられる。しかしこの方法では, テンシオメータ地上部の気相体積変化により圧力トランスデューサの反応が鈍くなるのに加え, 水位が地下に隠れることによりマトリックポテンシャルの水柱高補正ができなくなる, などの問題が生じる。

上に述べたようなテンシオメータ法の問題点を克服し, 冬期のマトリックポテンシャル測定を可能にするためには, 圧力媒体が1) 液体であり, 2) 氷点下で凍結せず, 3) テンシオメータを侵さないこと, が重要である。McKim *et al.* (1976)は, このような特徴を備えた物質としてエチレングリコール(Ethylene Glycol, $HOCH_2CH_2OH$, 以下EGと略す)水溶液を選び, 凍結融解過程におけるマトリックポテンシャルの解析を行っている(Schmugge *et al.*, 1980)。

EGの代表的な物性を表-1に示す(日本化学会,

表-1 エチレングリコールの物性
Table 1 Physical properties of ethylene glycol

分子量 Molecular weight	沸点 Boiling point (°C)	凝固点 Freezing point (°C)	比重 Specific gravity	表面張力 Surface tension (dyn/cm)
62	198 (1 atm)	-13	1.116	48 (20°C)

1980)。EGは, 分子量が比較的小さく, 分子内にふたつの極性OH基を持つため, 水との親和性が強く, いろいろな濃度の水溶液をつくることのできる。そのため, EGと水との混合割合により, 凝固点降下の程度を調節することができる。また, 比重が大きいため, 水と混合したときのEG濃度と比重との関係をあらかじめ調べておけば, 比重を測定するだけで任意のEG濃度を知ることができる。さらに, EGは, 沸点が高く不揮発性であるから, 短時間であれば水溶液を空気にさらしても比重は変化せず, 取り扱いが容易である。

以上のことから, EG水溶液は, 凍結を防止するためのテンシオメータ用圧力媒体として有効であると考えられる。そこで本研究は, テンシオメータの圧力媒体としてEG水溶液を用いたときのマトリックポテンシャルの補正法や凍結回避の条件などを明らかにすることにより, 冬期のマトリックポテンシャル測定を可能にすることを目的とした。

2. 試験方法

1) 室内実験

(1) EG水溶液がマトリックポテンシャル測定値に与える影響

農業環境技術研究所(農環研)畑圃場(表層腐植質黒ボク土)内の表層土壌を, 内径5cm, 長さ7cmの試料円管により不攪乱採取する。この土壌円管に, 比重(25°C)1.001, 1.024, 1.037, 1.049, 1.055, 1.062のEG水溶液を満たしたテンシオメータ(全長29cm, 直径1.8cm)のポーラスカップ(日本化学陶業製)を挿入し, 素焼板に静置する。素焼板に接続した水だめ内の自由水面の高さを調節することにより円管内の土壌に所定の負圧水頭(真のマトリックポテンシャル)を与える。一方, ハンディマノメータ(コパル電子製PG100-101V)で測定したテンシオメータ上端の気相中の圧力(負値)にテンシオメータ内EG水溶液の高さと比重との積(正值)を加えることにより, 円管内土壌の負圧水頭を求め, みかけのマトリックポテンシャルとする(図-1a)。そして, みかけのマトリックポテンシャルを真のマトリックポテンシャルと比較することにより, EG水溶液を用いた場合のマトリックポテンシャル測定値への影響を調べた。なお, ポーラスカップから漏れ出たEGが測定に影響するのを防ぐため, 土壌および素焼板の水は負圧段階毎に交換した。

(2) EG水溶液の凍結温度

直径2.5cmの試験管に, 比重を1.002から1.070まで17段階に調製したEG水溶液20cm³を入れ, 低温恒温水槽(トーマス製TRL-112)に浸す。水槽の温度を一

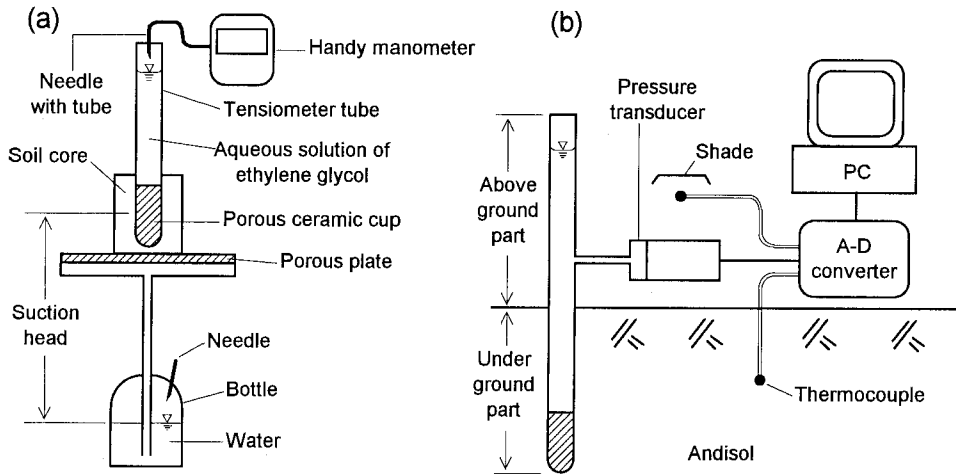


図-1 (a) EG 水溶液のマトリックポテンシャル補正および (b) マトリックポテンシャル、気温、土壌温度の圃場測定のための装置

Fig. 1 Apparatus for (a) matric potential correction of EG-water solution, and for (b) field measurement of matric potential, air temperature (30 cm high), and soil temperature (20 and 90 cm deep)

20℃まで下げたときのEG水溶液の凍結温度を、試験管に挿入したサーミスタ温度計（宝工業製 D611）で測定する。

水などの液体は、凝固点（水の場合 0℃）以下になっても凍結しないことがある（過冷却現象）。この状態にある液体は、外から振動などが加わると瞬時に凍結する。圃場のテンシオメータ内 EG 水溶液についてもこれと同じことが生じると予想される。そこで本実験では、EG 水溶液を攪拌しなかった（過冷却を維持した）ときの凍結温度と攪拌した（過冷却を起こさなかった）ときの凍結温度を求め、それぞれ、圃場のテンシオメータ内 EG 水溶液の凍結温度下限値および上限値とみなすことにした。

なお、本実験では、低温恒温水槽の能力限界である -20℃まで冷却試験を行ったが、この段階でもなお、比重 1.042（EG 原液の体積：水の体積=0.4：1、EG 水溶液を攪拌しなかった場合）ないし比重 1.054（EG 原液の体積：水の体積=0.6：1、EG 水溶液を攪拌した場合）の EG 水溶液が液状を維持することが確認された。このことから、EG 水溶液の比重を 1.042 ないし 1.054 以上にするにより、凍結温度をさらに -20℃以下に下げることが可能と考えられる。しかし、EG の凝固点は -13℃となっているから（表-1）、EG の割合を増やしていくと、やがて凍結温度は極小点に達し、その後上昇に転じるとみられる。すなわち、EG と水が適当な割合で混合していることが凝固点を降下させるうえで重要であり、EG

の割合を大きくし過ぎると、かえって凝固点を上昇させる結果につながるので注意が必要である。

2) 圃場試験

(1) ポーラスカップからの EG 拡散

農環研畑圃場内深さ 50 cm の土壤中にテンシオメータを 7 本埋設し、1994 年 6 月 3 日に初期比重 1.051 の EG 水溶液を投入した。それから 4, 9, 14, 26, 34, 49, 62 日後の EG 水溶液をそれぞれ 1 本ずつ採取し、その比重を測定した。ポーラスカップからの EG の拡散過程はつぎのように記述できると仮定した。

$$J(t) = D \{S(t) - S_0\} \tag{1}$$

$$\frac{dS(t)}{dt} = AJ(t) \tag{2}$$

J: 単位時間の EG 拡散量

S: EG 水溶液比重

S₀: 土壌水比重

t: 経過日数

D, A: 定数

(1)式を(2)式に代入して整理するとつぎようになる。

$$\frac{dS(t)}{dt} = aS(t) - b \tag{3}$$

ただし a=AD, b=ADS₀。とおいた。t=0 のとき S=S₁ として(3)式を解くと次式を得る。

$$S(t) = (S_1 - S_0)e^{at} + S_0 \tag{4}$$

S₁: EG 水溶液初期比重

EG 水溶液の比重実測値に(4)式を適用すれば、非線形最小二乗法により定数 a を求めることができる。

(2) マトリックポテンシャル, 気温, 土壌温度の測定

1993年11月15日から94年3月31日にかけて、農環研畑圃場の深さ20, 30, 40, 55, 75, 95 cmにおけるマトリックポテンシャル, 高さ30 cmにおける気温(地表気温), 深さ20, 90 cmにおける土壌温度を, それぞれ, テンシオメータ, T型熱電対により測定した(図-1b, 土壌温度は94年2月19日~3月31日のみ測定)。

93年11月15日に比重1.041のEG水溶液をテンシオメータに投入後, 94年1月31日にその一部を採取し比重を測定した。翌2月1日, EG原液をテンシオメータに直接投入し, 残留液と混和したときの比重を測定した。そして, 3月31日にふたたびEG水溶液を採取し比重を測定した。

テンシオメータの負圧は, 圧力トランスデューサ(バルコム製VPRN)により測定し, 地表気温, 土壌温度とともに, A-Dコンバータを経てパーソナルコンピュータにより1時間毎に自動記録した。

3. 結果と考察

1) EG水溶液がマトリックポテンシャル測定値に与える影響

テンシオメータの圧力媒体としてEG水溶液を用いることが, マトリックポテンシャルの測定にどのような影響を及ぼすかを, 理論的に予測することは難しい。そこで, 所定の負圧水頭(真のマトリックポテンシャル)とテンシオメータで求めた負圧水頭(みかけマトリックポテンシャル)との関係を, いろいろなEG水溶液比重について実験的に調べてみたのが図-2である。EG水溶液比重の増加にともない, みかけマトリックポテンシャルが真のマトリックポテンシャルよりも高い値を示すようになることから, EGの溶解がテンシオメータの負圧を上昇させる働きのあることがわかる。その度合いは, 比重1.061(EG原液の体積:水の体積=1.25:1)のとき約7.5%であった。さらに, みかけマトリックポテンシャルと真のマトリックポテンシャルとの間に回帰直線を引いたときの勾配をEG水溶液比重に対してプロットすると(図-3), 両者の間に比例関係が成立していることがわかる。これらの結果は, つぎのように表すことができる。

$$h_t = G(S)h_a \quad (5)$$

$$G(S) = -0.220 + 1.231S \quad (6)$$

h_t : 真のマトリックポテンシャル

h_a : みかけのマトリックポテンシャル

G : 回帰直線の勾配

(6)式を(5)式に代入すると次式を得る。

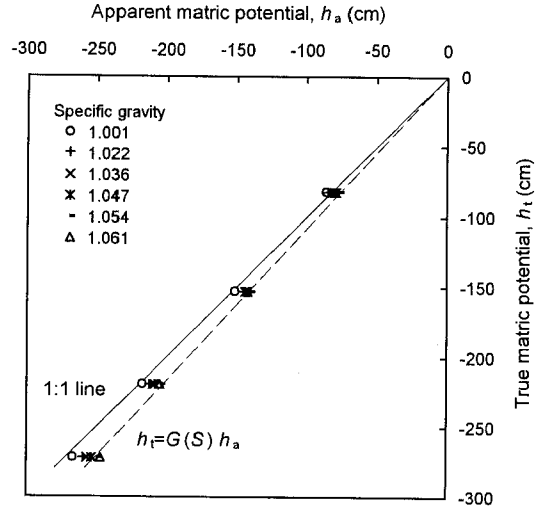


図-2 みかけマトリックポテンシャルと真のマトリックポテンシャルの関係

Fig. 2 Relationship between apparent matrix potential and true matrix potential

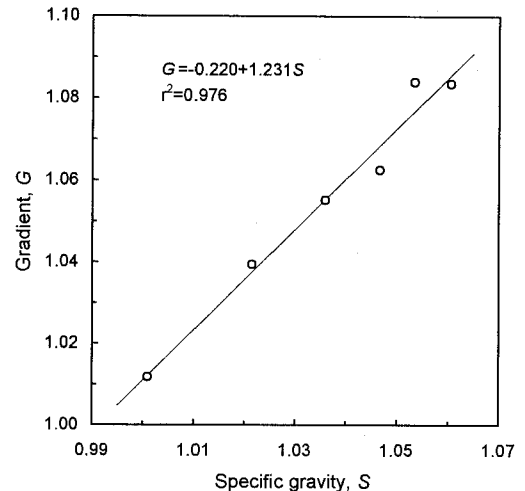


図-3 比重の関数として表した回帰直線の勾配

Fig. 3 Gradient of regression line between apparent and true matrix potential as a function of specific gravity

$$h_t = (-0.220 + 1.231S)h_a \quad (7)$$

(7)式を用いれば, 任意比重のみかけマトリックポテンシャルから真のマトリックポテンシャルを求めることができる。

2) ポーラスカップからのEG拡散

テンシオメータ内のEG水溶液はポーラスカップを通

じて土壌水と連続しているため、EG成分の土壌中への拡散とそれともなう比重低下は避けられない。一般に、土壌中の溶質拡散は流体力学的分散係数と濃度勾配に支配されるが(中野, 1991), ここでは簡単のため、濃度勾配の代わりにEG水溶液比重と土壌水比重との差をとり、テンシオメータ内のEG水溶液比重が時間とともにどのように変化するかを検討した(図-4)。その結果、

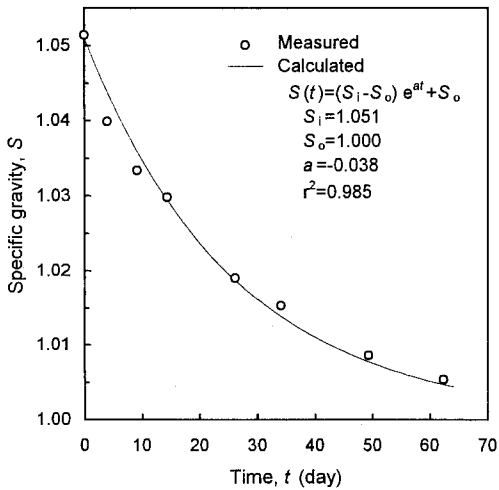


図-4 EG 拡散による EG 水溶液比重の低下

Fig. 4 Decline in specific gravity of EG-water solution due to EG diffusion through porous ceramic cup

試験開始時に 1.051 あった比重は、62 日後には 1.005 まで指数関数的に減少することが明らかになった。 $S_1=1.051$, $S_0=1.000$ において(4)式を実測値に適合させたところ、 $a=-0.038$ を得た ($r^2=0.985$)。パラメータ a は EG の土壌中への拡散強度を示す値で、ポーラスカップの孔隙率や面積、EG 水溶液の量などに依存すると考えられる。

S_1 に 1993 年 11 月 15 日および 94 年 2 月 1 日の初期比重を与え、圃場マトリックポテンシャル測定期間中のテンシオメータ内 EG 水溶液の比重を計算すると図-5 のようになる。図中の点は比重の実測値を示す。ただし、11 月 15 日は同じ比重の EG 水溶液を各深さのテンシオメータに与え、1 月 31 日は各深さのテンシオメータ内 EG 水溶液の混合液の比重を測定した。3 月 31 日に深さ別の対応がよくなかったことを除けば、1 月 31 日、3 月 31 日とも計算値が実測値を再現していることがわかる。このことは、測定期間中の比重変化が、初期比重 S_1 、拡散強度 a 、経過日数 t によって与えられることを示している。なお、3 月 31 日に深さ別の比重対応がよくなかったのは、EG 水溶液量の深さによる違いが a の大きさに影響したためと考えられる。

3) EG 水溶液の凍結温度

観測地点の気象条件に適した EG 水溶液比重を求めるためには、比重と凍結温度との関係を明らかにしておくなければならない。図-6 のふたつの曲線(攪乱凍結曲線、非攪乱凍結曲線)は、いろいろな比重において EG

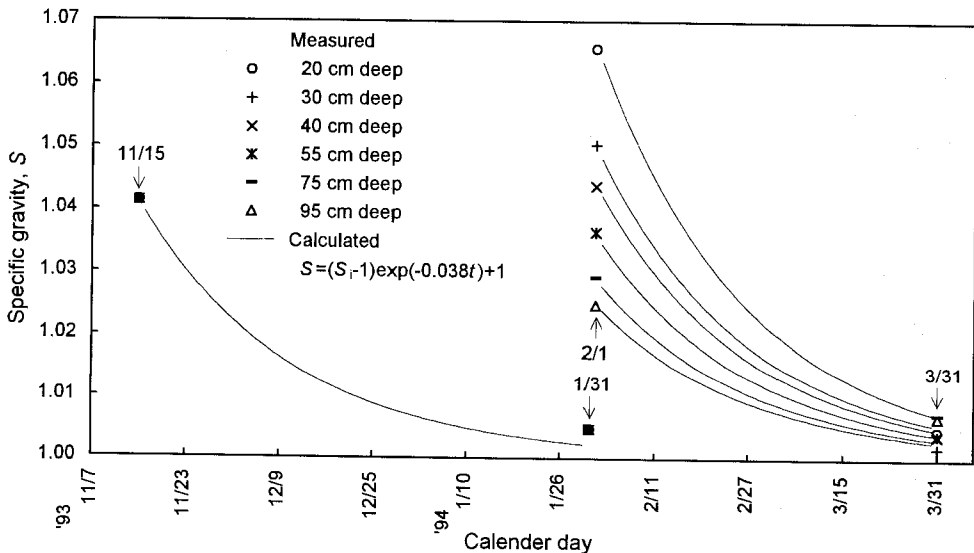


図-5 マトリックポテンシャル測定中のテンシオメータ内 EG 水溶液比重の推移

Fig. 5 Variation in specific gravity of EG-water solution in tensiometer during matrix potential measurement

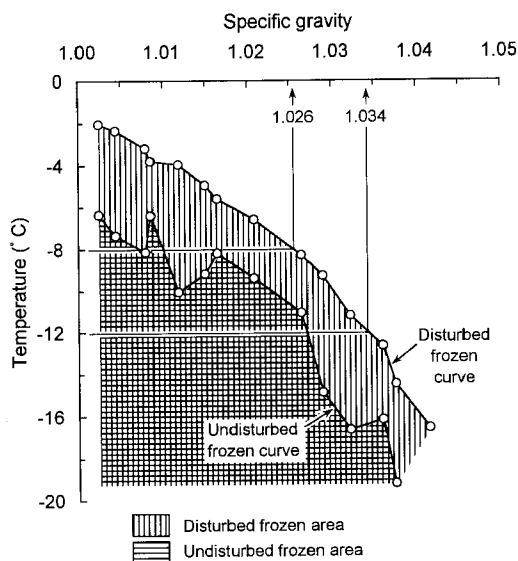


図-6 室内実験で求められたEG水溶液の凍結温度
Fig. 6 Freezing temperature of EG-water solution under laboratory experiment

水溶液が凍り始める温度を、水溶液を攪乱した場合と静置した場合とで求めた結果である。これらの曲線より下の領域は、EG水溶液が凍結していることを示す。

図-6の結果は、凍結温度が比重の増加によって低下することを明らかにするとともに、攪乱が凍結温度を約4°C高くすることも明らかにした。このことは、ふたつの曲線に挟まれた領域にあるEG水溶液が、外乱の有無によって凍ったり凍らなかつたりすることを示している。圃場に設置されたテンシオメータの地上部は、風などに揺すられて振動することがある。このようなとき、EG水溶液の凍結温度は、非攪乱凍結曲線から攪乱凍結曲線の方にずれると考えられる。したがって、圃場におけるEG水溶液の凍結温度は、図-6のふたつの曲線で挟まれた領域に分布すると予想される。

4) 土壌中の温度状況

本研究は、地表気温が氷点下になっても土壌温度が0°C以上を保つことを前提としている。農環研畑圃場がこの条件を満たしていたかどうかを知るために、1994年2月19日から3月31日にかけての地表気温と土壌温度との関係をプロットしてみた(図-7)。ただし深さ20cmの土壌温度は、地表気温との位相のずれをなくすため4時間前の気温と対応させた。また、深さ90cmの土壌温度に関しては、その変化が気温の変化に比べ非常に小さく、位相のずれによる相関係数の改善がほとんどみられなかったため、位相差は0時間と仮定した。その結果、1) 地表気温が-6°Cまで低下しても土壌温度はなお4°C

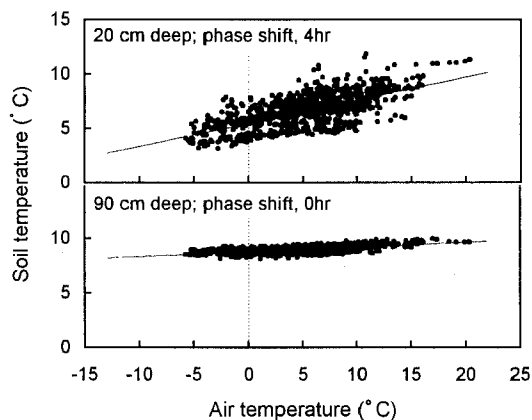


図-7 地表気温と土壌温度の関係
Fig. 7 Relationship between air temperature and soil temperature

以上を保ち続けること、2) 地表気温に対する土壌温度の変動はきわめて緩やかであること、3) 下層土が概して高い温度を維持していること、が明らかになった。これらの事実から、マトリックポテンシャルの測定期間(1993年11月15日~94年3月31日、この間の地表最低気温は94年1月31日午前4:00の-12.0°C)を通じて、深さ20cm以深の土壌が0°C以上を維持していたことが推察される。深さ20cmより浅い土壌に関して凍結の可能性は否定できないが、マトリックポテンシャルの測定深度が20cmより深かったことを考え合わせると、先に述べた条件は実質的に満たされていたと判断される。

5) テンシオメータの凍結履歴

$S_0=1.000$, $a=-0.038$ とおいて(4)式を(7)式に代入するとつぎのようになる。

$$h_t = 1.231 h_a (S_t - 1) \exp(-0.038 t) + 1.011 h_a \quad (8)$$

したがって、初期比重 S_t 、経過日数 t 、そのときのみかけマトリックポテンシャル h_a を与えれば、(8)式から真のマトリックポテンシャル h_t を計算することができる。図-8は、このようにして求めた畑土壌中のマトリックポテンシャルと地表気温の推移を、1994年1月19日から31日にかけて示したものである。地表の冷却が進行する夜半から早朝にかけて、マトリックポテンシャルの値が不連続に振動する現象がみられる。この振動は、地表気温がおよそ0°C以下に下がるときに上に大きく振れ、およそ0°C以上に上がるときに下に大きく振れていることから、凍結・融解にともなうEG水溶液の膨張・収縮に起因すると推察された。このように、テンシオメータ地上部がほぼ連日わたり凍結を繰り返したのは、夜間の冷え込みが厳しかったうえに、拡散によるEG水溶液比重の低下がかなり進行していたため(図-5参照)とみ

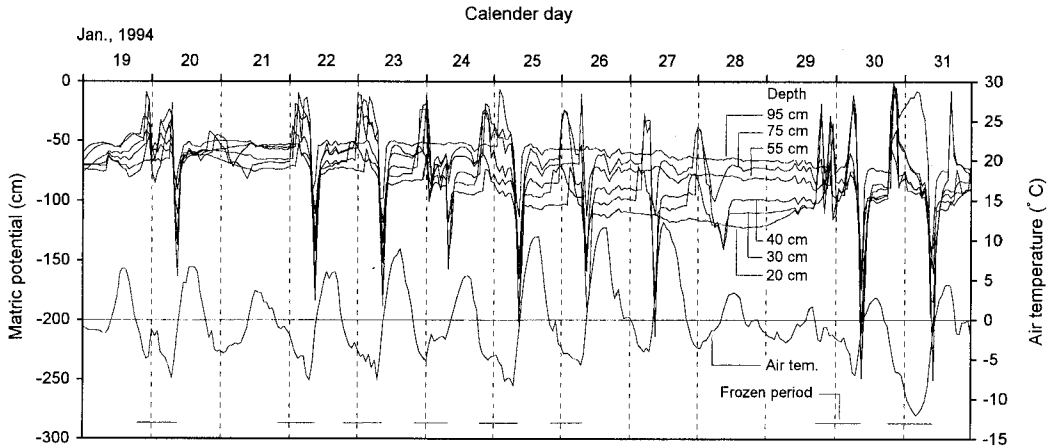


図-8 マトリックポテンシャルと地表気温の推移

Fig. 8 Variations in matric potential and air temperature in field

られる。

図-9は、1993年11月15日から94年3月31日の日最低気温とEG水溶液比重との関係を、マトリックポテンシャル値の挙動から判断したテンシオメータ凍結の有無とともにプロットしたものである。図中には、テンシオメータ地上部のEG水溶液温度が地表気温に等しいとみなしたうえで、室内実験から求めたEG水溶液の凍結温度(図-6)を合わせて表示した。深度の浅いテンシオメータほど比重分布が広範囲にわたっているのは、94年2月1日のEG原液投入によって深度の浅いテンシオメータほど初期比重が大きくなったためである(図-5参照)。

テンシオメータの凍結事例に注目すると、ほとんどすべての点が攪乱凍結曲線よりも低温側に位置していることがわかる。逆に、非凍結事例の多くが攪乱凍結曲線よりも高温側に分布していることも明らかである。先に、攪乱凍結曲線と不攪乱凍結曲線とに囲まれた領域では、気象条件によって凍結の有無が分かれる可能性があることを述べた。図-9にみられる凍結・非凍結事例の分布はこの考え方を支持するものであると同時に、テンシオメータ内EG水溶液の比重予測法ならびに凍結の有無の判定法が妥当なものであったことを示唆している。

その他、テンシオメータの凍結を防止するためには、一冬の地表最低気温に見合った限界比重を維持することが不可欠であることがわかる。ここで限界比重とは、ある温度でEG水溶液を凍らせないための比重下限値を意味する。また、地表気温が -3°C を下回らない限り、EG水溶液の代わりに水を用いても凍結のおそれがないことが明らかである。

6) EG水溶液の比重管理

長期にわたって限界比重を維持するためには、1) EGの拡散損失を見越した上で大きめの初期比重を与え、2) 比重が低下してきたらEGを補給すること、が重要である。そこで、初期比重とEG補給をどのように組み合わせれば合理的な比重管理が行えるかを、1993年から94年の冬を例にして考えてみる。

一冬の地表最低気温 -12°C (94年1月31日午前4:00)に対応する限界比重は1.034である。また、一冬に2回程度の凍結を許すとすれば、地表最低気温は -8°C になるので限界比重は1.026となる(図-6、図-9参照)。これらの限界比重を基準にして、EG水溶液の比重経過を想定したのが図-10である。ケースIとケースIIは初期比重を1.05とした場合、ケースIIIは初期比重を1.07とした場合である。実線と破線は、それぞれ、拡散による比重低下($S_0=1.000$, $a=-0.038$ とにおいて(4)式により計算)とEG補給による比重回復を示す。

各ケースの特徴は表-2のようにまとめられる。どのケースにも長所と短所があるから、どの項目を優先するかによって選ばれるケースは異なる。例えば、EGの補給回数を少なくしたいとすればケースIIかケースIIIを選ぶことになるし、一度も凍結を許したくないとすればケースIかケースIIIを選ぶことになる。ただし、ケースIIIを選んだ場合、初期比重が大きいため大量のEG原液を必要とするほか、土壤汚染の心配もでてくるので注意しなければならない。

以上の議論から、凍結を防ぎたい温度とそのときの限界比重を決めたうえで、可能な限り小さな初期比重と少ないEG補給回数とを組み合わせるのが最も合理的な方法といえる。

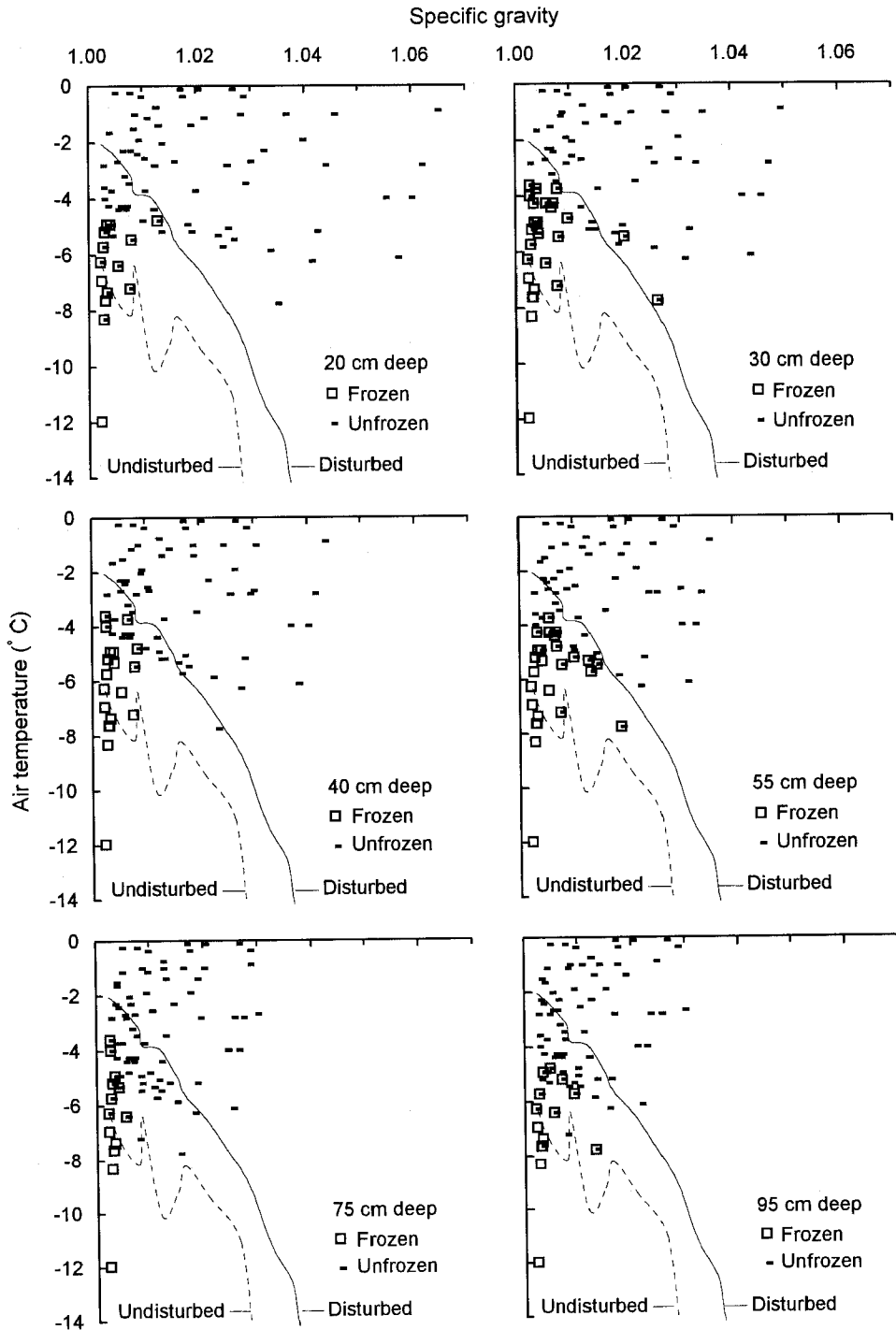


図-9 EG 水溶液の凍結と日最低気温および比重の関係

Fig. 9 Distribution of frozen EG-water solution in tensiometer on specific gravity-daily minimum air temperature diagram. Curves in the diagram show freezing temperature obtained by laboratory experiment.

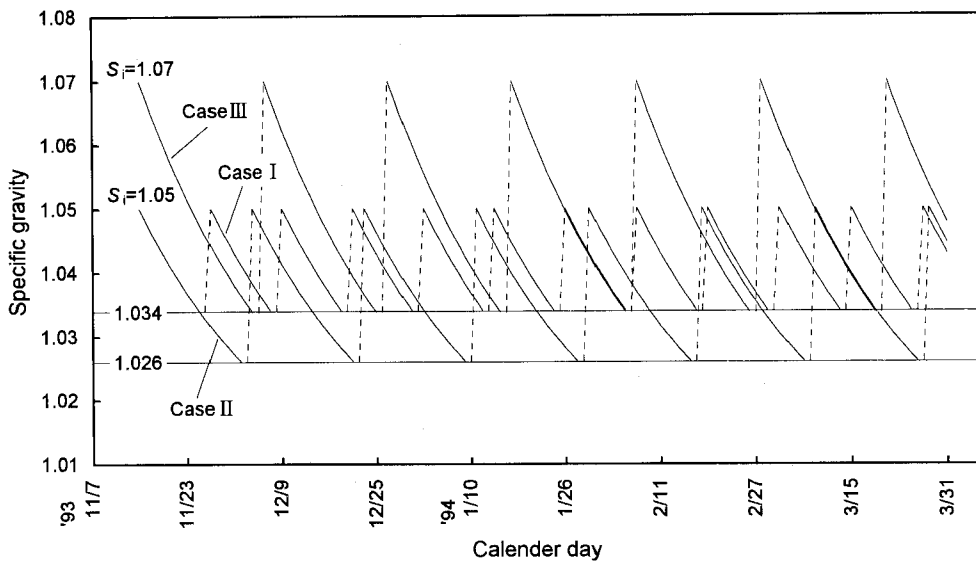


図-10 想定されたEG水溶液比重

Fig. 10 Hypothetical specific gravity of EG-water solution

表-2 想定されたケースの特徴

Table 2 Features of hypothetical cases

	初期比重 Initial specific gravity	凍結 Frozen case	補給回数 Number of replenishment
ケース I Case I	小さい Small	無し Not exist	多い Many
ケース II Case II	小さい Small	有り Exist	少ない Few
ケース III Case III	大きい Large	無し Not exist	少ない Few

逐次測定する必要はない。

比重の増加にともないEG水溶液の凍結温度は低下するが、その関係は攪乱の有無によって異なっている。EG水溶液の凍結を防止するためには、攪乱を与えた条件のもとで凍結温度と比重との関係を求めておく必要がある。

圃場観測期間中のテンシオメータの凍結事例は、EG水溶液の凍結温度実験から予想した凍結の条件によく対応していた。すなわち、EG水溶液の初期比重とEGの補充期間を適切に管理して地表最低気温に対応した限界比重を維持することにより、冬期のテンシオメータ凍結を回避しつつマトリックポテンシャルの長期観測が可能であることが示された。

4. ま と め

圧力媒体としてエチレングリコール (EG) 水溶液を用いることにより、冬期のテンシオメータ凍結を防止する方法について検討した結果、以下の知見を得た。

みかけのマトリックポテンシャルは、EG水溶液の比重が1.061 (EG原液の体積：水の体積=1.25：1) のとき、真の値に対し約7.5%過大な値を示したが、このずれは、比重を考慮することにより補正可能である。

ポラスカップからのEG拡散によるテンシオメータ内EG水溶液の比重低下は、初期比重 S_i 、拡散強度に関するパラメータ a 、経過日数 t を用いることにより予測可能である。したがって、圃場観測期間中の比重変化を

謝 辞

本研究を行うにあたりご指導、ご助言をいただいた農業環境技術研究所の長谷川周一室長、北海道農業試験場の加藤英孝氏ならびに香川県環境研究センターの石原暁氏に対し、厚く感謝の意を表する。

引用文献

Hasegawa, S., Osozawa, S. and Ueno, H. (1994) : Measurement of soil water flux in Andisols at a depth below a root zone of about 1 meter. Soil Sci. Plant Nutr., 40 (1) : 137~147.
Hillel, D. (1980) : Fundamentals of soil physics. p. 47,

- Academic Press, New York.
- 井上光弘 (1994) : 埋設型土壌感圧水分センサー, 日本砂丘学会誌, **41** (2) : 74~79.
- McKim, H.L., Berg, R.L., McGaw, R.W., Atkins, R.T. and Ingersoll, J. (1976) : Development of a remote-reading tensiometer/transducer system for use in subfreezing temperatures, Proceedings of the second conference on soil-water problems in cold regions. Edmonton, Alberta, Canada : 31~45.
- 元木征治 (1971) : 畑地かんがいのための土壌水分に関する研究, 東海近畿農試依頼研究員報告, **10** : 1~16.
- 元木征治 (1972) : かんがい畑における土壌水分の利用向上に関する研究, 東海近畿農試依頼研究員報告, **11** : 1~23.
- 中野政詩 (1991) : 土の物質移動学, p. 48~52, 東京大学出版会, 東京.
- 日本化学会 (1980) : 化学便覧応用編, p. 607~610, 丸善, 東京.
- 大田弘毅・大場和彦・塩野隆弘 (1995) : 畑地における降雨の浅層地下水までの移動モデル, 生態系からみた畑生産技術体系の確立, 九州農業試験場, 研究成果 : 28~38.
- Schmugge, T.J., Jackson, T.J. and McKim, H.L. (1980) : Survey of methods for soil moisture determination. Water Resources Res., **16** (6) : 961~979.
- 凌 祥之・安養寺久男 (1996) : 土壌水分張力とLAIを用いた蒸発散量と作物係数の推定法, 農土論集, **185** : 15~22.
- 谷川寅彦・矢部勝彦・千家正照・西出 勤 (1992) : 負圧センサーを用いた自記テンシオメータシステムの試作, 土壌の物理性, **64** : 53~58.
- 唐 常源・平田健正・村岡浩爾 (1990) : シリコンオイルを用いた自記テンシオメータの開発と森林土壌への応用, 地下水学会誌, **33** : 7~14.

受稿年月日: 1997年9月12日
 受理年月日: 1998年1月16日

メンブレン吸引法

長谷川 周 一*

Suction Membrane Method

Shuichi HASEGAWA

National Institute of Agro-Environmental Sciences

1. はじめに

土の水分保持特性を調べるときに使う装置は、水ポテンシャルが高い順に、砂柱法、吸引法、加圧板法（サイクロメータ法）が一般的である。ここで紹介するメンブレン吸引法は、毛管飽和から-200 cm 程度までのマトリックポテンシャルを測定し、加圧板法の測定に移行することができる。原理は吸引法である。

2. 装置の概要

アメリカ農学会から出版されている Method of Soil Analysis-Part 1 には、0~-200 cm までの水ポテンシャル測定法として、吸引-加圧法が紹介されている。メンブレン吸引法は、この方法を単純に吸引法として使ったものである。

普通に使われている加圧板は直径が 26~27 cm あり、大体 15 個の 100 mL のコアサンプルが同時に測定できる。そこで、メンブレン吸引法でも、直径 29.3 cm のメンブレンフィルターを用い、加圧板への移行を容易にする

ようにした。装置の略図を図 1（横から見た）と図 2（多孔板をはずして上から見た）に示す。材料は、ボルト、“O”リング、タケノコを除いてアクリル製である。本体の底部が僅かにすり鉢状になっているのは、後述の気泡除去を目的としているが、平らでも差し支えない。メンブレンフィルターは多孔板の上に載せ、“O”リングとドーナツ状の円盤で挟み、12本のボルトで周囲を固定する。多孔板は、3.5 mm 程度の方眼に直径 2 mm の穴をあけた、厚さ 3 mm のアクリル板である。この板は、直径の割に厚さが 3 mm と薄いので、多くの試料を載せたときにたわむのを防ぐため、図 2 に示すような 5 枚の支持板を放射方向に配置した。タケノコの大きさは任意で、既製品でよい。図 1 には本体を支える足は示していないが、直径・高さとも数 cm の円筒等を底面 3ヶ所に接着すればよい。

メンブレンフィルターには多くの製品があるが、ここでは米国ゲルマン社製のパーサポア 1200 (1.2 UM) を用いた。このメンブレンは丈夫であり、繰り返して使うことができる。パーサポアには 800 (0.8 UM), 450 (0.45

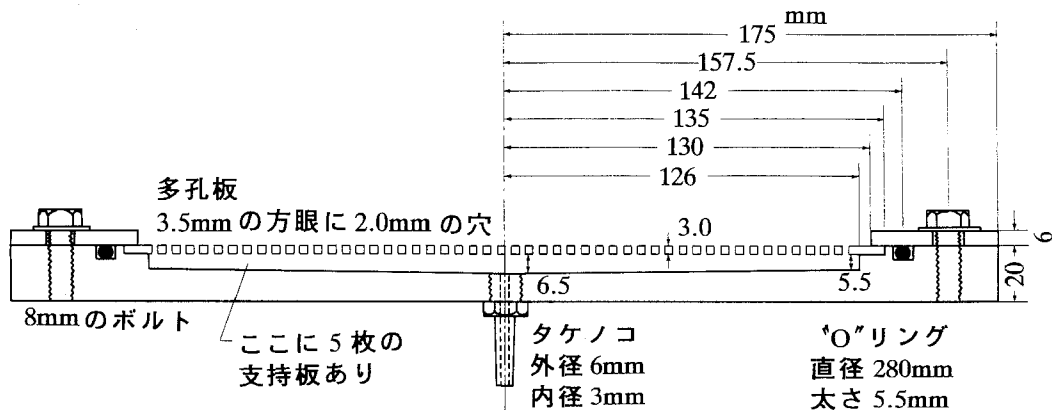


図-1 メンブレン吸引装置の諸元

* 農業環境技術研究所 〒305-8604 つくば市観音台 3-1-1
 キーワード：測定法，吸引法，メンブレンフィルター

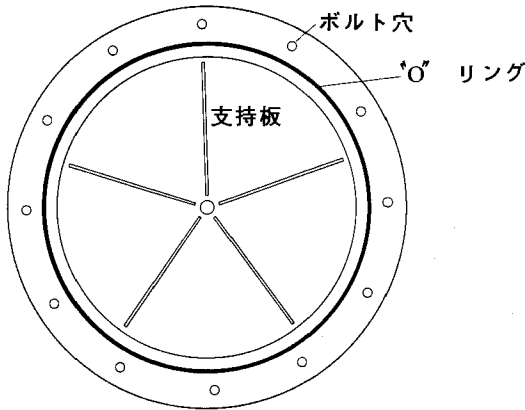


図-2 上から見たメンブレン吸引装置

UM) というより孔隙径の小さな製品もある。いずれも、素焼板に比べると透水性は格段に良好である。ただし、吸引圧 200 cm で長期間放置すると、いずれもメンブレンを通して気泡の析出が見られる。

3. 器具のセット

水の入った容器にメンブレンフィルターを入れ、真空乾燥機等で脱気する。メンブレンは直径が大きいので、折り目のつかないように丸めて円筒状の容器に入れて脱気させても良い。タケノコの先に 2.5 m 程度のビニールチューブを付け、本体に水を張り、チューブ内も水で満たす。次いで、多孔板を置き、その上にメンブレンを敷いてボルトで固定する。このようにしてセットした場合には、多少空気が残ってしまう。空気の除去は、ビニールチューブの先を本体より数 10 cm 下にし、本体を逆さまにして、洗浄瓶等でメンブレンの下から水を掛け、気泡をビニールチューブを通して追い出す。気泡の除去が

終わったら、ビニールチューブの先端は水の入ったビーカーの中に入れておく。これで、測定準備は終了である。脱水過程の水分特性曲線を得る場合には、試料をメンブレンの上に載せ、ビーカーの水位を常にメンブレンの高さに調節しながらしばらく放置する。ビーカーの水位が変化しなくなった状態が、100 mL コアサンプルの場合、毛管飽和である。後は、測定したい吸引圧にビーカーの水面を設定し、脱水-平衡の操作を繰り返す。吸引圧が 1 m を超える場合には、ビーカーの位置を下げるばかりでなく、本体を棚の上に置くなどして、吸引圧を与える工夫をする。各吸引圧で平衡に達したら重さを測定するが、上がコアサンプルからずり落ちるような場合には、本体を斜めにして試料を外すと良い。試験中に試料表面やメンブレンからの蒸発を防ぐには、家庭で使う植木鉢の下に敷く皿、9号深皿を逆さにして本体にかぶせておく。

おわりに

本方法の利点は、非常に水通しの良いメンブレンを使っているため、砂柱法を使わなくても済むこと、多くの試料の同時測定が可能なことである。また、植物培地の水分調整などにも利用出来ることである。製作費は本体が数万円であり、バーサボア (25 枚入り) は約 4 万円である。

引用文献

Klute, A. (1986) : Water retention : Laboratory methods ; in Methods of soil analysis, Part 1, ed. A. Klute, p. 635~662, American Society of Agronomy, Inc., Publisher, Madison, U.S.A.

受稿年月日: 1997年9月10日

受理年月日: 1997年11月27日

エクアドル高原列車の屋根から見えるもの

江口 定夫*

エクアドル共和国は、南米大陸太平洋岸赤道直下に位置する人口約1100万人、面積は日本の約四分の三という小国である。ガラパゴス諸島、バナナの輸出量世界一などが有名であり、また面積当たりの維管束植物の多様性は世界最大といわれ最近では植物遺伝資源の面から注目されている¹⁾。山間部はいわゆる熱帯高地と呼ばれる地域であり、トウモロコシ、小麦、インゲン、牧草等が作付けされ、ジャガイモ畑は標高3,500m以上にまで広がる。これらはパッチワーク状の美しい模様を成してアンデス高原丘陵地のなだらかな曲面を覆っている。

エクアドルは列車の旅が面白い。このとき車内に乗っても構わないが、多くの乗客は屋根に乗る。その方がスピード感があって気持ち良く、何より眺めがいい。山あり谷ありのアンデスの景観を360度欲しいままにすることが出来る。自分の知る限り屋根に乗れる列車は中南米ではエクアドルだけである。車掌さんも切符を切るため屋根に登る。屋根の上では列車の揺れは勿論、木の枝やトンネルにもぶつからないように注意しなければならず車掌さんは命がけである。路線は単線なので幅が狭く、列車は小さい林やサボテン、畑作物の間をすり抜けるように走る。同じ山間部であっても気候は様々であり、年間降水量が1,000mmを超えるところもあれば数百mm余りの乾燥地もある。乗客はアンデスの風を全身に受けて温度・湿度そして気圧の変化を体感し、地形・植生さらには停車駅の街並み・人々・生活の変化を視覚し、言語の変化を聴覚して、多民族国家であるエクアドルの高原列車（低地行き）の旅を堪能する。毎時およそ数十キロ程度の比較的ゆっくりとした速度で列車は走る。畑作地帯では作物種は勿論、整地状況、土壌表面の水分状況、敵の形態、農作業状況等が屋根の上からの俯瞰により手に取るように見える。作業中の人は休んでこっちに手を振ってくれる。こちらからも振り返す。このコミュニケーションはバスにはない列車の楽しさである。

エクアドルアンデスには傾斜地畑が多い。山間部の大都市はオジャ（スペイン語で“鍋”の意）と呼ばれる盆地の底に分布し、東西をアンデス山脈の山腹斜面に挟まれている。列車やバスの路線は山間部の各都市を結んで走り、鍋の底を南北に縦断する。農地は都市の近郊から

郊外へ向かって広がり、さらには鍋の外側へ向かうように山腹斜面を這い上がる。実際、鍋の縁の浅いところではその外側へ這い出ている。1964年、農地改革によってそれまでの大土地所有制が見直され、農園労働者達はそれぞれ独立して数ヘクタール以上の土地を手に入れた。しかし分け与えられた農地は高所の山腹斜面ばかりであり、やがて相続を経て更に細分化された土地では土壌保全のための十分な対策も講じられぬまま、過度に集約的な農地の使用を余儀なくされた²⁾。わずかな期間で肥沃な表土は傾斜農地から失われていった。エクアドル山間部における土壌侵食速度については土地利用条件等で大きく異なり、 $0.04\sim 83\text{ t ha}^{-1}\text{ y}^{-1}$ といった範囲で報告されている³⁾。エクアドルを南北に縦断するアンデス山脈のほぼ中央に位置するチンボラソ州の標高約2,800mのリオバンバ駅から2,500mのアラウシ駅へ向かう路線では、やや浅めの鍋の縁の現状が見える。線路脇には見ただ目で肥沃そうな土地とそうでない土地が交互に現れる。列車は小さな盆地のひっそりとした農村を通り抜け、やがて大きな湖の前に出る。湖の後方には畑を一枚一枚つぎはぎして作った張りぼてのような山がそびえ、湖面にその姿を映している。山の中腹から頂上へかけてのやや複雑な凹凸地形を成す斜面の稜線ではかなりほころびが目立ち、修繕を必要としている。この州はエクアドルの中でもインディヘナ共同体が多いことで知られる。

エクアドルでの主要な交通手段はバスである。バスによって大抵どこへでも到達できるように道路網は発達している。バスは大都市間を結び、物資の運搬に重要な役割を果たしている。大都市郊外ではアシエンダと呼ばれる大規模農場を目にすることが多い。バスは速く列車の2倍以上である。バス路線と列車が並行する部分は少なくない。そして列車がバス路線から離れるにつれて列車の旅が面白くなり、その地域の生の生活・文化が見えてくる。この路線では、それは列車が山間部から低地へ向かって徐々に鍋の縁を越えていく付近で始まる。列車はまだ比較的緩やかなアンデスの斜面をゆっくりと走る。高原の丘陵地はパッチワーク模様の波を幾重にも並べている。ときおり小さな集落が見える。人が線路から離れるように列車は警笛を鳴らす。列車は週に1回、多い路

* 青年海外協力隊として平成3年7月より6年3月までエクアドル国立自治農牧業研究所にて活動。現在、農業環境技術研究所。

線でも日に1回だけの運行であり、線路は通常一本の通路あるいは子供の遊び場としての役割を担っている。線路は列車の路線であると共に、徒歩で他の集落へと移動するための手段でもある。集落は小さな農村である。民家を取り巻く畑は比較的小さく区画されており、家庭菜園規模程度の場合もある。侵食の激しい斜面は集落からやや離れたところで見えてくる。火山灰土壌の赤褐色の下層土の露出した傾斜地畑が所々で見られ、黒褐色の表層腐植とのコントラストが印象的である。両者の境界は明確であり、互いに混じり合う時間がない程の大きな速度で侵食の進行していることが推察される。草地あるいは無耕作地となっている斜面が少なからず見受けられる。深い裂傷のような侵食溝が何本か斜面上部より下部へ向かってのび、それらは斜面下方で合流すると共にその幅を広げている。下層土が露出し腐植層がほとんどないような斜面では、植林によるユーカリと思われる幼木が寂しく並んでいる。16世紀以降、400年間は農園労働者としての労役を強いられ、農地改革では条件の悪い土地へと追いやられていったインディヘナの歴史がこれら傾斜農地の現状に重なって映る。列車はやがて深く急峻なアンデスの谷間の壁に貼り付くようにして一気に高度を下げて行く。やがて、濃厚な空気と熱を帯びた湿気が肌にまとわりつくようになり、乗客は列車がバナナ・プランテーションの広がる低地に入ったことを体感する。

スペインによる植民地時代、インカの時代までに築き上げられてきた共同体による集団営農体系が崩壊した。農地改革は個人による傾斜農地の細分所有化を決定付け共同作業体系の復活を困難なものとした。この体系は植民地化以前の二千年間に渡る持続的農業の中で培われてきた経験的技術であり、急傾斜農地を保全的に利用する上では非常に効果的であったと考えられる。ペルーアンデスを中心に分布する階段耕地 (agricultural terraces) は、インカ帝国時代を除けば、家族単位または小さな家族集団によって少しずつバラバラに建設されてきたものでありその維持管理は村落共同体より高くないレベルの

集団によって行われたという⁴⁾。『土壌の保全は、何か高度な科学技術的で手の込んだ実験に基づくような体系的な方法である必要はなく、農家の共同体の歴史的経験の中で役立つ着想が得られるもののように考えられる²⁾。』『農地保全に必要な技術は決して特殊なものではなくありふれた工夫や知見の組み合わせであり、それは陳腐ではあるが水と土を守る技術である⁵⁾。』研究職として仕事をしする際には、研究者の役割について本当によく考えながら仕事をしなくてはならないと思う。

今回のエクアドル滞在中、自分の目でそれを見る機会はなかったが、16世紀以前の階段耕地はエクアドルにも残っており、まだ利用されているものもあるという。今度エクアドルを訪れる際には是非見に行きたいと思う。

引用文献

- 1) 菊池文雄・坂口 進 (1996): エクアドルにおける植物遺伝資源研究活動の現状, 国際農林業協力情報, 19: 18~27.
- 2) De Noni, G. (1986): Breve visión histórica de la erosión en el Ecuador, Documentos de investigación, No. 6, La erosión en el Ecuador, Centro ecuatoriano de investigación geográfica, Quito, Ecuador. 15~23.
- 3) Tayupanta, J. and Córdova, J. (1990): Algunas alternativas agronómicas y mecánicas para evitar la pérdida del suelo, Publicación miscelánea No. 54, Estación experimental Santa Catalina, Instituto nacional de investigaciones agropecuarias, Quito, Ecuador.
- 4) Mujica, E. (1995): Terrace culture and pre-hispanic tradiciones, CIP circular, Vol. 21, International potato center, Lima, Peru. 11~18.
- 5) 倉部明彦 (1996): コロンビア国アンデス傾斜地域における土壌侵食と農地保全, 農土誌, 63: 1237~1242.

カオス農学入門

酒井 憲司 著

朝倉書店 1997年刊

A5版 121ページ ¥2,369円

土壌のもつ「複雑」という特徴は、長く土壌科学を悩まし、その一方で、土壌科学を甘やかしてきた。多くの場合、例えば、ある数理モデルが実験データを定性的にしか再現しない時、その研究者は「複雑性が原因であろう。」と結論し、けっして「その食い違いの中にこそ、土壌の真実があるに違いない！」とは主張しなかった。

「そんな状況が、変わりつつあるかもしれない……。」、そう思わせるのが「複雑性の科学」である。複雑性の科学は、70年代に大ブレイクしたフラクタルやカオスに次いで、Santa Fe研究所を中心に80年代に発展した学際分野である。対象とする系は様々だが、臨界現象の物理学に共通性を求めている点で一致している。

本書を一言で表現すれば、「カオスを中心に、新しい理論的武器を農学に適用した研究例を、様々な分野から集めてきた事例集」と言える。だから、新しい研究テーマに関するインスピレーションを、本書のあちこちに感じることが出来る。

この書評の目的は、複雑性の科学（これ以降、この言葉のカオスとフラクタルも含む用語として用い、本文の内容もカオスに限定しない）に興味を持ち、それを土壌科学に応用したいと考える若い学生に対し、微力ながらも、道しるべを示すことを目的としている。本書も必須である。現時点での農学への応用が「大体こんなもの……。」という感覚を与えてくれる点と、多彩な参考文献が、本書の最大の利点である。しかし、入門や勉強には向いていない。

入門には一般読者向けの本がよい。カオスを再発見した E. Lorenz の “The Essence of Chaos” (University of Washington Press 社)、遺伝的アルゴリズムの創設者 J.H. Holland の “Hidden Order—How Adaptation Builds Complexity” (Addison-Wesley 社)、自己組織化臨界を提唱した P. Bak の “How Nature Works—The Science of Self-Organized Criticality” (Copernicus 社) が読みやすく、知的好奇心に富み、しかも洋書屋で 5,000 円程度で購入できる。また最近、クオークの名付け親の M. Gell-Mann の “The Quark and the Jaguar—The Adventures in the Simple and the Complex” (Freeman 社) の翻訳がクオークとジャガー/た

ゆみなく進化する複雑系”として草思社から出版された。それから、複雑性の科学の理解には、相転移や臨界現象の物理学の基礎知識が必須である。そこで、若干古いが、優れた入門書として現在でも評価の高い H.E. Stanley の “相転移と臨界現象 (松野訳) ©” (東京図書) と、近年の進展を他分野の研究者に向けて書いた J.M. Yeomans の “Stastical Mechanics of Phase Transitions ©” (Oxford 社) が欠かせない基礎となる。複雑性の科学は「臨界現象の物理学のアイデアが、複雑なシステムに応用可能かもしれない！」と主張している。その意味で、臨界現象の普遍的な理論、繰り込み群を勉強しておく、いつか役に立つはずである。入門には、雑誌「日経サイエンス」の 79 年 10 月号 p. 46 - 69, D. Stauffer の “浸透理論の基礎 (小田 垣訳)” (吉岡書店) の第 4 章、雑誌「パリティ」の Vol11, No. 6, p. 11-20, 雑誌「数理科学」の 97 年第 4 号の特集記事、などがよい。繰り込み群は「物理学者が自然を見る見方を根底から覆してしまった。」と評され、この理論を完成させた K.G. Wilson は 1982 年のノーベル賞を受賞している。その Wilson 自身が「繰り込み群を適用するのが適切と考えられながら、それで解きうる様な形に表されていない問題に、土壌中を移動する水の問題がある。」と書いている。しかし近年、この分野にも進歩があった (Rev. Mod. Phys., 67, 545-604 (1995) 参照)。

入門の次には、サンプルプログラムが豊富な良書で、複雑性の科学の発見を体験するのがよい（かりに入門を飛ばしても、決してハードルは高くない）。G.L. Baker の “Chaotic Dynamics—An Introduction, 2nd ed.” (Cambridge University Press 社) は、カオスの基礎を教えてくれる。H. Gould & J. Tobochnik の “An Introduction to Computer Simulation Methods—Applications to Physical Systems ©” (Addison-Wesley 社) は、コンピュータ物理の基礎を豊富なサンプルプログラムで分かり易く解説した入門書である（なんと、この本に取り組むには、プログラミングの知識も、高レベルの物理学の知識も必要としない！）。しかし、読んだ後には相当の力がつく！。もちろん、カオスや複雑性の科学も守備範囲に入っている。そこで絶対に、買って損のない

書籍である)。この2冊はともに True BASIC を用いている。True BASIC はアメリカの理系学生用の入門用言語として普及しているようである。構造化言語で、書きやすく読みやすく、プラットフォームに依存せず、学習が容易である。購入は <http://www.truebasic.com/index.html> から可能である。もう一つのお奨め書籍は R.J. Gaylord & K. Nishidate の “Mathematica 自然現象の計算モデル化 (西館&西川訳) ©” (トッパン) である。この本は、セル・オートマトンを中心話題としている。自然現象の記述は、従来から微分方程式が一般的であるが、セル・オートマトンを使えば、さらに実際の、しかも拡張容易な記述が可能であることを、この本は示している(その基本的な精神は、雑誌「ASCII」の Vol. 17, p. 230-236 の S. Wolfram のインタビュー記事で読むことが出来る。Wolfram は Mathematica の開発者であり、セル・オートマトンのカオスの縁の第一発見者でもある)。そして何より、この本の至るところから、サイエンスをする喜びと、プログラミングの楽しさを感じることが出来る。

この3冊をしっかりと読むには、そのことだけに集中した最低3カ月以上が必要である。これは決して短期間ではない。しかし、それさえ修了すれば、コンピュータの力を最大限に利用して自然に立ち向かう、最低限の基礎を手に入れたことになる。

なお、フラクタル幾何学の様々な分野への応用は、A. Bunde & S. Havlin (eds.) の “Fractals and Disordered Systems ©” (Springer-Verlag 社) と、同編者による統編 “Fractals in Science” (Springer-Verlag 社) に紹介されている。この2冊は膨大な文献リストと、沢山の美しいカラーの図が特徴で、理論物理以外の研究者を対象としている。やはり、絶対に買って損はない。

本題に戻る。ここまで勉強すれば、本書「カオス農学」の大半の事例は、どこかで一度は作ったサンプルプログラムの、ちょっとした応用例にしか見えないであろう。読者は「なんだこの程度か……。まだまだやるべき事が山積みだな……」と感じるかもしれない。そう、まだまだ課題は山積みなのである。最大の問題は、この新しい学問の上っ面を適用できそうなところに、とりあえず適

用してみたものの、その先に一步も進めていない点である。一体その先に、具体的な展望と戦略があるのか？、自然とつき合うための技術を生み出す可能性があるのか？、大体そんな研究に本当に意味があるのか？、といった疑問に明確に答えるには、まだまだ多くの努力が必要である。

どこかの大学の、どこかの研究室に、「指導教官に与えられたテーマなんかやりたくもない。」と考へ、「まったく新しいことに挑戦して、まったく新しい地平線を、自分の力だけで開拓したい」と、真剣に考へる大学院生がいないであろうか？。評者の勘では、土壌科学の場合、大ブレイクの発端となる可能性のあるキーワードは、繰り込み群、パーコレーション、自己組織化臨界……、そのあたりである。最低限揃えておくべき書籍は◎印をつけた6冊である。de Jennes の “高分子の物理学—スケーリングを中心にして (久保監訳)” (吉岡書店) も参考になるかもしれない。3年か5年、もしくはそれ以上、死にもぐるいで努力し続ければ、信じられないような発見をする可能性が、この分野には、必ずある。必要なのは頭の回転の速さではなく、孤独と絶望感にも耐える強さである。そして、目指すべきものは、気の利いた工夫ではなく、現時点では誰にも言い当てることの出来ない、本質的なアイデアを生み出すことである。

多分、パーマメントの職を手にした研究者には期待できない。これだけの大きな問題に立ち向かうには、何年間もその事だけに集中し、食べてる間も寝てる間も休日も、その事だけを考へ続けるための、絶対的な時間が必要だからである。今の日本の制度で、何かでっかい事をやってのける可能性があるのは、博士課程の学生か、ポストドクの研究者だけだろう。

おそらく数年後、「複雑性の科学」の一過性の流行が過ぎた後では、土壌の「複雑さ」に対する我々の認識は、今までと何も変わっていないままで終わってしまう可能性が高い。我々は相変わらず、「複雑さ」という言葉を隠れみのに、低レベルなサイエンスに甘んじる以外に道はないのかもしれない。

誰かが、この状況を、何とかしなくてはならない。

中原 治(九州大学農学部)

生物と自然のハーモニー

鈴木 光剛 編

産調出版 1997 年刊

A5 版 278 ページ ¥2,900

人類が地球上に誕生したとき、そこには多種多様な生命が気の遠くなるような時間をかけて作り上げた極めて精巧な共生のしくみが存在していた。すべての生物は、他の多くの生物と相互に関連し合い、調和を保ちながら一定の秩序の下に生存していた。人類も、つい最近までは、この生物界の共生のしくみを破壊するだけの影響力は持っていなかったため、秩序は維持されてきた。しかし、今世紀に入ると、人類のくらしは大量のエネルギーを消費し、生物の共生の場である自然環境に大きな負荷を与えるようになり、短時間のうちにそれまでの秩序に深刻なダメージを与えてしまった。その結果として今、私たちは地球規模の環境汚染など、人類存続の危機につながる問題に直面している。

本書において執筆者は、この問題を解決し、人類を含めた生物を持続的に維持するために必要なものは、自然との秩序ある調和であると主張している。この「調和と秩序」こそ本書の最も重要なキーワードである。そして、土と水が生物生命の共生を支える基礎であり、その機能と役割を正しく理解し、保全することの重要性が述べられている。また、私たちの生存は、自然の利用なしには成立しないが、本書では、水利用や作物生産等を中心に自然との調和を図りつつ行うか、木材や微生物等の新しい機能を秩序ある自然の利用にいかにか活かしていくかについても述べられている。

本書の目次構成は以下の通りである。

PART 1 生物圏の調和と秩序

CHAPTER 1: 生物圏と生命 CHAPTER 2: 自然の攪乱と調和 CHAPTER 3: 生物の多様性の保全と有効利用 CHAPTER 4: 生物資源の生産性

PART 2 生物を育む水—水の調和と秩序

CHAPTER 1: 大気運動と水循環 CHAPTER 2: 水資源の利用 CHAPTER 3: 水の過剰と不足への対応 CHAPTER 4: 水利用と水質 CHAPTER 5: 水利用計画—水の有効利用のために

PART 3 生物を育む土—土の調和と秩序

CHAPTER 1: 生命を育てる土 CHAPTER 2: 土壌生成のメカニズムと分布 CHAPTER 3: 土の健康・保全と物質循環 CHAPTER 4: 生産基盤をめぐる秩序と

調和

PART 4 生物を育む緑—緑の調和と秩序

CHAPTER 1: 地球生命圏の中の森林 CHAPTER 2: 消えていく原生林と高まる保護運動 CHAPTER 3: 山地森林の保全 CHAPTER 4: 木々の会話 CHAPTER 5: 生命材料 CHAPTER 6: 魚を育む森

PART 5 生物とその優れた機能—食の開発と調和

CHAPTER 1: 快適な「細胞の家」づくりとその利用 CHAPTER 2: 微生物の機能—食物連鎖上に並ぶ微生物の機能 CHAPTER 3: 海と漁業

PART 1 では、まず生物および自然の概念の変遷の歴史が概説される。ここでラブロックのガイアモデルが引用され、地球は個々の生命の共生に基づく相互作用の巨大な集積として、一つの生き物のように自己を調節するシステムと見なせることが説明される。そしてこの自己調節機能は、攪乱に対して調和を維持する緩衝機構であり、そこには限界が存在し、その限界を予測して具体的対策を立てることが重要課題であることが述べられる。また、生物圏における共生の条件は生命の多様性の保全にあること、生物資源の生産性を持続的に有効利用して行くには土と水を媒介とした自然の物質循環を活かした方法を確立する必要があることが述べられる。

PART 2 では、大気運動と水循環が概説され、日本における水利用の現状と今後のあり方へと内容が進む。現在水資源は限界状態にあり新たな水利開発の余地はほとんどなく、将来の深刻な水飢餓に対処するには、水質の悪化を防いだ上での徹底した反復利用に基づき、かつ農業用水と都市用水を横断的に扱う、効率的な水管理システムの創出が不可欠であることが述べられる。

PART 3 では、まず生物の生命を支える土壌の性質と機能および土壌生成のメカニズムと分布が概説される。次いで、物質生産機能と環境保全機能を持続的に発揮できる「健康な土」の条件を、森林土壌を一つの理想に据えて考えている。そして、現代の世界的な地力低下の問題を解決する鍵ともなるその条件とは、安定した物質循環の下で、腐植に富み幅広い孔隙分布を持ち高い緩衝機能を有する状態にあることであり、伝統的な農法では農地から奪った物質を有機物の施用などで戻す努力により

この条件が満たされていたことが述べられる。

PART4では、森林の持つ、人類を含む生命の生存に適した安定した環境を形成するはたらきについて述べられている。続いて、人口増加と経済活動の拡大にともなう森林の劣化または消失による、環境調節機能、生物生産機能の低下の問題に触れる。そして、一度荒廃した森林の回復には極めて長い時間と多大な労力を要することを、日本における明治以降のはげ山緑化の例を示して説明している。以下、樹木の化学通信の話題が紹介され、森林からの生産物であり、製造および廃棄時の環境負荷が小さい木材の特性と利用に関する内容が続き、溪流生態系と森林の関係に関する内容で終わる。

PART5では、はじめに微生物学の発達と遺伝子工学の登場までの歴史が概説され、倫理上の問題等多くの問題が未解決である遺伝子工学に安易に走らずとも、従来からの混合培養法の改良により微生物の諸機能の利用に

大きな可能性が与えられることが述べられる。次いで、食物連鎖上における分解者としての微生物を利用した廃棄物の処理について解説される。最後に海における食物連鎖と水産物生産能力について解説され、富栄養化の進む海でのこれからの漁業のありかたが考えられる。

本書には、5つのPARTにわたり非常に多くの内容が盛り込まれ、「調和と秩序」というキーワードが時々見えなくなるなど、若干全体の見通しがよくない印象を受ける。しかし、研究分野の細分化が進み、とかく視野の狭くなりがちな研究者にとって、本書が訴える「すべての生命は他の生命との相互関係の下に成立し、全体として存在する」という観点からものを見る姿勢は非常に重要であると思われる。また、問題の指摘にとどまらず、今後のあり方を示す努力がなされていることもうかがわれ、この点も評価できる。

(小林政広 森林総合研究所)

1. 第2回編集委員会

日時: 1997年7月10日 14:00~17:00
 会場: 農業環境技術研究所 261号室
 出席者: 谷山(編集委員長), 委員: 在原, 小林, 中石, 長野間, 西村, 白戸, 麓, 幹事: 安中, 奥山, 坂西, 長谷川

- (1) 会則の改定について
- (2) 投稿規定の改定について
- (3) 「閲読に関するお願い」の改訂について
- (4) 英文投稿規定の作成について
- (5) 「土壌の物理性」77号, 78号の編集方針について
- (6) その他

2. 第3回編集委員会

日時: 1997年10月30日 14:00~17:00
 会場: 農業環境技術研究所 157号室
 出席者: 谷山(編集委員長), 委員: 小林, 東城, 中石, 西村, 白戸, 幹事: 安中, 奥山, 坂西, 中村

- (1) 投稿規定の改定について
- (2) 投稿規定の英文化について
- (3) SI例について
- (4) 英文投稿規定の作成について
- (5) 「土壌の物理性」77号, 78号の原稿について
- (6) 「土壌の物理性」78号(英文)の編集方針について

3. 事務局会議

日時: 1998年2月10日 13:30~16:00
 会場: 農業土木学会事務局会議室
 出席者: 岩間会長, 河野副会長, 幹事: 長谷川, 成岡, 中村, 安中

- (1) 1998年度事務局体制について
- (2) 40周年事業について
- (3) 学会名称について
- (4) 1998年4月2日開催の評議員会議案
- (5) 会員動向
- (6) 編集委員会報告
- (7) 1998年秋開催のシンポジウムについて
- (8) その他

4. 第4回編集委員会

日時: 1998年2月17日 15:00~16:30
 会場: 農業環境技術研究所 272号室
 出席者: 谷山(編集委員長), 委員: 小林, 白戸, 幹事: 安中, 奥山, 坂西, 長谷川

- (1) 「土壌の物理性」77号掲載原稿の承認
- (2) 「土壌の物理性」78号の原稿及び編集方針について
- (3) その他

5. 会員の動向

- (1) 新入会員 (1997. 4. 1~1997. 10. 31)
 (正会員 10名, 学生会員 3名)

[正会員]

小柳 敦史	茨 城	農業研究センター
川本 健	埼 玉	埼玉大学工学部建築工学科
笹田 勝寛	神奈川	日本大学付属藤沢高等学校
坂上 寛一	東 京	東京農工大学農学部
佐藤 幸夫	千 葉	(株)三祐コンサルタンツ
白戸 康人	茨 城	農業環境技術研究所
梅田 幹雄	京 都	京都大学農学部
堀野 治彦	京 都	京都大学大学院農学研究科
陣内 文仁	佐 賀	佐賀県農業試験研究センター
菅原 和夫	沖 縄	国際農林水産業研究センター沖縄支所

[学生会員]

飯山 一平	東 京	東京大学大学院農学生命科学研究科
中矢 哲郎	埼 玉	明治大学大学院農学研究科
小野 浩一	大 阪	大阪府立大学農学部環境情報工学研究室

- (2) 退会者 (1997. 4. 1~1997. 10. 31)
 (正会員 11名)

[正会員]

田村 昇市	北海道	田村農業環境研究所
野村 栄吉	北海道	北海道開発コンサルタント
坂本 年秋	青 森	青森県農業試験場
東山 勇	山 形	生物環境工学研究所 (10/7 逝去)
内田 文雄	栃 木	
石井 和夫	東 京	日本合同肥料株式会社 (逝去)
竹内 真司	東 京	動力炉・核燃料開発事業団
上田 和夫	大 阪	大阪府立大学農学部
手島 三二	大 阪	(7/29 逝去)
品川 昭夫	鹿児島	
野口 純隆	鹿児島	

(3) 現会員数 (1997. 10. 31. 現在)

		4.1 現在	入会	退会	異動	10.31 現在
正会員	512 北海道	82		2		80
	東北	47		2		45
	関東	184	6	3	-1	186
	中部	41				41
	近畿	38	2	2		38
	中・四国	67				67
	九州	51	2	2		51
	海外	3			+1	4
合計		513	10	11		512
学生会員	30 北海道	4				4
	東北	1				1
	関東	17	2			19
	中部	2				2
	近畿	2	1			3
	中・四国	1				1
	九州	0				0
合計		27	3			30

購読会員 61

賛助会員 12

6. お知らせ

事務局の所在地および連絡先

〒156-8502 世田谷区桜丘 1-1-1 東京農業大学総合

研究所内

電話番号 03-5477-2340 (中村貴彦会計幹事直通)

FAX 03-5477-2634

Eメール dojo@nodai.ac.jp

土 壤 物 理 研 究 会

(1997年4月1日～1999年3月31日)

事 務 局

会 長	岩 間 秀 矩	(農業環境技術研究所環境資源部)
副 会 長	河 野 英 一	(日本大学生物資源科学部)
庶 務 幹 事	長谷川 周 一	(農業環境技術研究所環境資源部)
	成 岡 市	(岡山大学環境理工学部)
会 計 幹 事 (財務担当)	坂 西 研 二	(農業環境技術研究所環境資源部)
会 計 幹 事 (会員担当)	中 村 貴 彦	(東京農業大学農学部)
編 集 幹 事	安 中 武 幸	(農業工学研究所農地整備部)
	奥 山 武 彦	(農業工学研究所地域資源工学部)
会 計 監 査	足 立 忠 司	(岡山大学環境理工学部)
	増 島 博	(東京農業大学農学部)

編 集 委 員 会

委 員 長	谷 山 一 郎	(農業環境技術研究所)
委 員	在 原 克 之	(千葉県農業試験場)
	小 林 政 広	(森林総合研究所)
	塩 沢 昌	(筑波大学農林学系)
	東 城 清 秀	(東京農工大学農学部)
	中 石 克 也	(茨城大学農学部)
	長野間 宏	(農業研究センター)
	西 村 拓	(東京農工大学農学部)
	平 沢 正	(東京農工大学農学部)
	平 野 繁	(東京農業大学農学部)
委 員 補 佐	白 戸 康 人	(農業環境技術研究所)
	麓 多 門	(農業環境技術研究所)

評 議 員

委 嘱	足 立 一 日 出	(北陸農業試験場)
	鈴 木 創 三	(神戸大学農学部)
	山 田 一 郎	(九州農業試験場)
北 海 道	石 渡 輝 夫	(北海道開発局開発土木研究所)
	佐久間 敏 雄	(北海道大学)
	波多野 隆 介	(北海道大学農学部)
東 北	藤 井 克 己	(岩手大学農学部)
関 東	軽 部 重 太 郎	(茨城大学農学部)
	駒 村 正 治	(東京農業大学農学部)
	塩 沢 昌	(筑波大学農林工学系)
	長野間 宏	(農業研究センター)
	長谷川 周 一	(農業環境技術研究所)
中 部	天 谷 孝 夫	(岐阜大学農学部)
近 畿	久 馬 一 剛	(滋賀県立大学環境科学部)
中国・四国	赤 江 剛 夫	(岡山大学環境理工学部)
	井 上 久 義	(四国農業試験場)
	三 野 徹	(岡山大学環境理工学部)
九 州	取 出 伸 夫	(佐賀大学農学部)

—編集後記—

97年度からの「土壌の物理性」3号化に伴い、編集委員会でもそれに向けた具体的な作業に着手しています。まず、「土壌の物理性」和文投稿規定の改訂と投稿規定の英文化をおこないました。その主な改正点は、次のとおりです。

送り状において、投稿者 (corresponding author) を明確にしました。規定にあるように投稿者は、例外を除き本会員に限ります。ただし、投稿者はトップネームである必要はありません。論文受付後の編集委員会から連絡は、投稿者に対しておこなうこととなります。また、英文においては閲読結果を英文または和文にするかの選択ができます。和文投稿規定における英文についての項目と英文投稿規定の和文関係のものを削除しました。さらに、図表の挿入位置を指定するようお願いいたします。いままでは、この規定がなかったために、ゲラ刷りの段階で著者から図表の位置についての校正依頼があり、時間や経費がかかっていました。また、図中の文字を写植する場合は文字を鉛筆で記入するという、いままでの規定

をお守り下さい。

SIの使用について、農業土木学会と日本土壌肥料学会では使い方に若干の相違があるため、投稿者と閲読者の間で混乱があるので、両者で使用可とされているSIの例を掲載することにしました。何か不都合なことに気がつかれたときは編集委員までご連絡下さい。

76号の編集後記で触れられていた本誌の英語名称の変更については、他の学会の例を参照しながら、編集委員会で論議されました。しかし、これには会則の変更を伴うため、全会員による本格的な議論をおこなうための時間を必要とします。また、3号化が定着し、土壌物理研究会の名称変更が論議されるようになった時点で、それに合った形で変更することが望ましいとの結論に達しました。それまで、継続課題として、折に触れ編集委員会で論議し、その結果を編集後記等でお知らせする予定ですので、会員のみなさまの御提言をお待ちしております。

<編集委員長 谷山一郎 (農業環境技術研究所)>

土壌物理研究会

事務局構成	会 長	岩間 秀矩 (農業環境技術研究所)	
	副 会 長	河野 英一 (日本大学)	
編集委員会	庶務幹事	長谷川周一 (農業環境技術研究所) 成岡 市 (岡山大学)	
	会計幹事	(財務担当) 坂西 研二 (農業環境技術研究所) (会員担当) 中村 貴彦 (東京農業大学)	
編集委員会	編集幹事	安中 武幸 (農業工学研究所) 奥山 武彦 (農業工学研究所)	
	会計監査	足立 忠司 (岡山大学) 増島 博 (東京農業大学)	
	委 員 長	谷山 一郎 (農業環境技術研究所)	
	委 員	在原 克之 (千葉県農業試験場)	小林 政広 (森林総合研究所)
		塩沢 昌 (筑波大学)	東城 清秀 (東京農工大学)
		中石 克也 (茨城大学)	長野間 宏 (農業研究センター)
		西村 拓 (東京農工大学)	平沢 正 (東京農工大学)
	補 佐	平野 繁 (東京農業大学)	
	白戸 康人 (農業環境技術研究所) 麓 多門 (農業環境技術研究所)		

土壌の物理性 第77号 (会員配布) 1998年2月20日発行

発行 土 壌 物 理 研 究 会

〒156-8502 東京都世田谷区桜丘1-1-1 東京農業大学農学部総合研究所内

電 話 03-5477-2540 FAX 03-5477-2634

E-mail dojo@nodai.ac.jp

振替口座 00150-2-17794

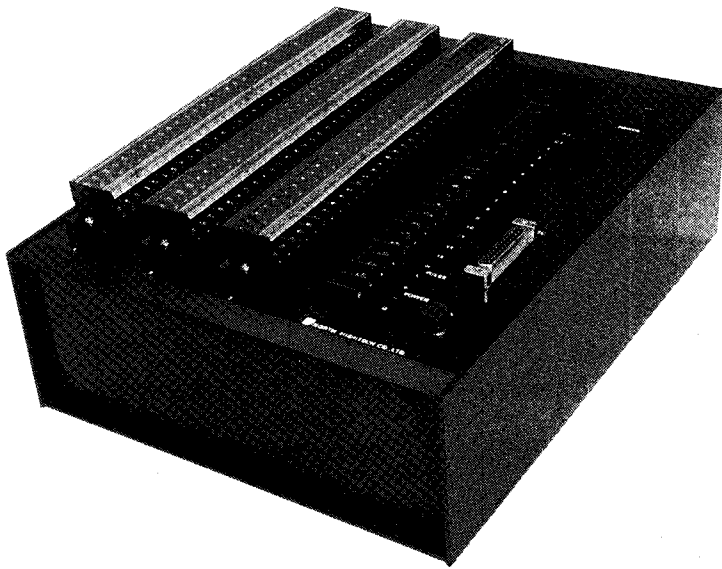
銀行口座 さくら銀行世田谷通支店 (店番号199)

普通 6367846 「土壌物理研究会」

印 刷 創文印刷工業株式会社

〒116-0011 東京都荒川区西尾久7-12-16

最も進んでいるパソコン時代のロガー「IDL-3200」



センサ対応がマルチ

±5mV, ±50mV, ±500mV, ±1V, ±5V, Pt100, 熱電対, 歪みゲージのマルチシグナルコンデショナ内蔵。センサを個別に各点に指定, 混在できる。センサ変換器を必要としないから計測コストが抜群

センサ電源を供給

センサ電源を必要とするセンサにはサンプリング10秒前からDC12V 200mAが供給されます

多チャンネル

アナログセンサ入力は8チャンネル単位で最大256チャンネルまでのデータロガーを供給します。各機には転倒折雨量パルス入力が1ヶ付いています

12Vバッテリー動作

経済的な12V バッテリー動作。8Vまで低下しても動作。-温度の低温時はリチウム電池を推奨。アルカリ電池単1(約8AH)は常温の環境に推奨

ネットワーク

回線にモデムで接続するとパソコンとのテレメータ。多数のRS-232C機器とフィールドのLAN構築及び構内LANイーサネットともネットワークを構築

マイナス温度に強いマシン

-25℃~45℃動作機器は標準 -40℃から動作機器も出荷します

ロガーの機能を高める演算機能

専用演算回路による平均 積算 ピーク 敷きい値積算 コンパレータアナログ出力 パルスカウント

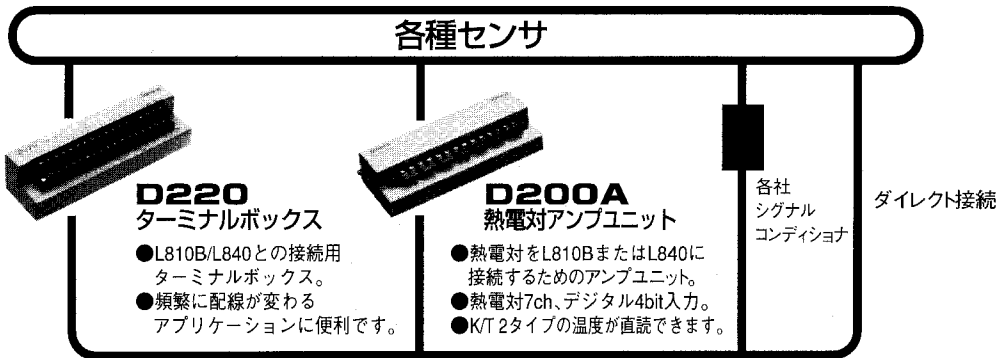


計測の未来をひらく

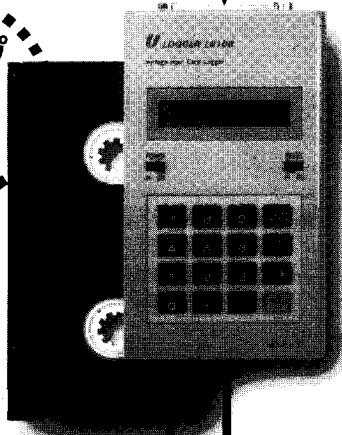
株式
会社

ノース・ハイテック

〒062 札幌市豊平区美園1条8丁目1-28
TEL. 011-833-4386 FAX. 011-833-4387



ビデオテープ
サイズが
うれしい!



**さまざまな分野の現場計測に機動力を発揮。
データ収集の新しい流れが、ここにあります。**

温度・湿度・水位・微小変位・衝撃など、現場での様々なデータ収集を手軽に行える携帯型データロガーです。小型ながら、豊富なロギングモード、省電力化設計、大容量メモリによる長期間データ収集など、フィールドでの応用範囲を広げる充実のスペックです。

DATA LOGGER

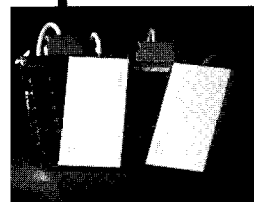
データロガーLシリーズ

- L810B/電圧入力・長期間タイプ ●L840/電圧入力・超高速タイプ
- L822/熱電対入力・温度記録タイプ ●L830/测温抵抗体入力・温度記録タイプ ●L835/温湿度センサ入力・温湿度記録タイプ

RS-232C

メモ리카ード

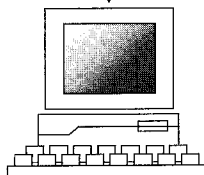
- L810B、L840で使用できます。
- JC128、JC256、JC512、JC1024、JC2048



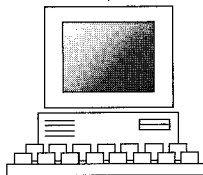
**RW98A
RWAT
RW98AN**

メモ리카ードドライバ

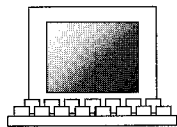
- PC9801シリーズ、PC/AT互換機、PC98noteシリーズ専用のメモ리카ードドライバです。
- メモ리카ードに記録したデータをパソコンに高速送信するのに最適です。



PC9800シリーズ



PC/AT互換機



PC98noteシリーズ

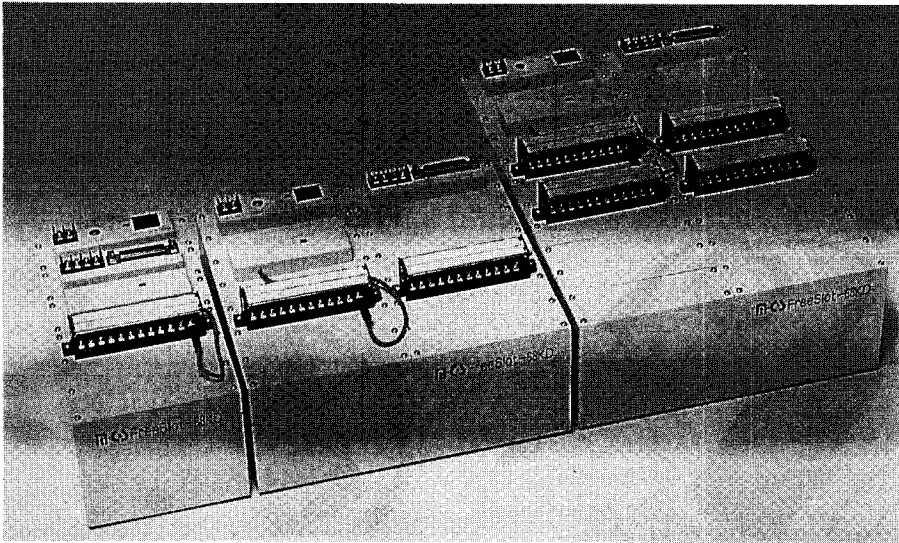
UNIPULSE

ユニパルス株式会社

※資料請求・お問い合わせは、本社宛お気軽にどうぞ

本社・工場 / 〒343 埼玉県越谷市千間台西2-7 TEL.0489-77-1235 FAX.0489-76-5200 営業所 / 東京・横浜・名古屋・大阪・広島・福岡

FreeSlot-68KDシリーズ



特 徴

●優れた拡張性

16bitCPU(68000)、M-Cバスラインにより、フリースロットを実現、汎用4チャネル・メモリ・各種演算モード等豊富なオプションを自由に組み合わせ簡単に増設できます。

●多様なセンサ出力に対応

電圧(8レンジ)・電流・温度・歪みが入力できます。標準でアナログ入力を2ch装備しており、雨量計等のアナログ出力タイプのセンサを接続することができます。

●広い動作温度範囲

広い温度範囲で(-20℃~+60℃)動作できます。-40℃~+80℃仕様・防水筐体(防水コネクタ)仕様もお客様の希望により承ります。

●多様な測定インターバル機能

チャネル単位、測定期間により二段階の測定インターバルを設定でき多様な測定ができます。

●パソコンで簡単にデータ回収

付属の基本ソフトでデータ回収・データ表示・テキスト変換が簡単にできます。(オプションソフト追加でデータ処理ソフトへグレードアップ可)

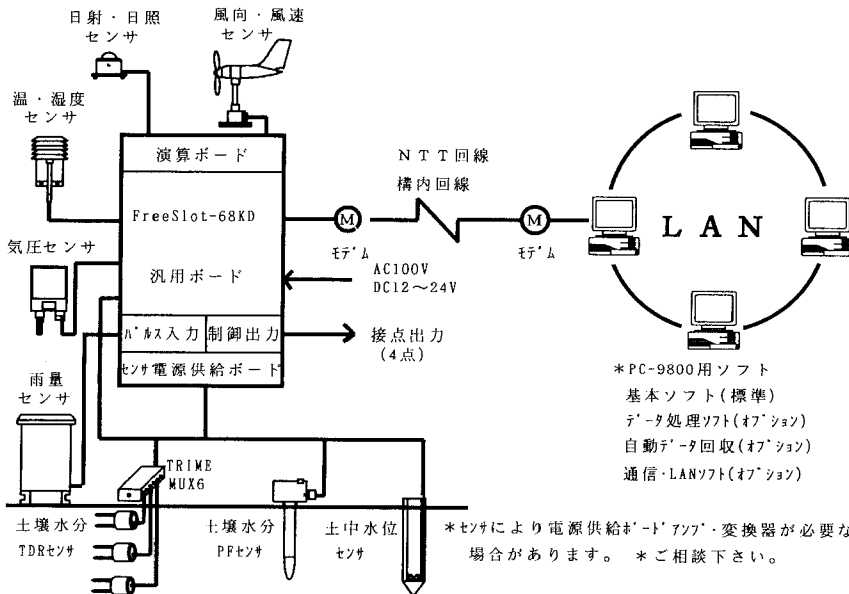
●RS-232C通信機能

モデム(オプション)を使用し、NTT回線でパソコンと通信ができます。

●3電源方式

AC100V、外部電池(DC12V~DC24V)、内蔵電池(オプション)で動作可能です。

システム例



*PC-9800用ソフト
基本ソフト(標準)
データ処理ソフト(オプション)
自動データ回収(オプション)
通信・LANソフト(オプション)

*センサにより電源供給モード'アップ'・変換器が必要な場合があります。*ご相談下さい。

開発・製造元 **M-C** 株式会社 **エム・シー・エス**
〒064 札幌市中央区南4条西10丁目1004番1 南4条ユニハウス
TEL 011-562-5547 FAX 011-563-2555

土壤をそのまま測定!!

NO_3^- 土壤用硝酸イオンメーター

NOS-120



pH 土壤挿入式 pH 計

PHS-120



EC 土壤用 EC メーター

PK-33



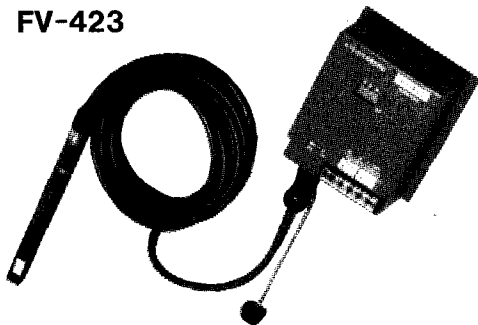
pF セラミックス土壤水分計

pF-33



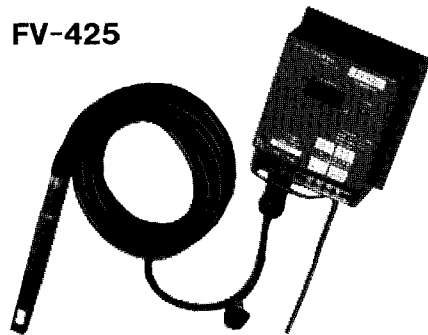
土壤 pF を連続測定及び自動灌水!!

FV-423



指示を見ながら出力(4~20mA)でデータとりも行える

FV-425



指示を見ながら設定 pF で灌水信号を出せる(データ用に0~1V出力付)



株式会社 藤原製作所

〒114 東京都北区西ヶ原1-46-16
TEL 03(3918)8111(代)
F X 03(3918)8119

REGULATIONS OF RESEARCH ASSOCIATION OF SOIL PHYSICS

- I. The association is named Research Association of Soil Physics, Japan.
- II. The scope of the association is to promote research on soil physics and related areas and to transfer the knowledge into agricultural technology.
- III. The association serves the scientific community through following activities.
 - 1) Symposium, meetings and excursion.
 - 2) Publication of Soil Physical Condition and Plant Growth, Japan and other scientific books.
 - 3) Exchange of research and technology with internal and external organizations, and affiliation of related societies and groups.
 - 4) Other service to accomplish our scope.
- IV. Memberships of the association are regular, student, supporting and library. Membership application must be approved by the council.
- V. Memberships must pay following annual membership fee by the designated date.

Regular member	5,500 yen
Student member	3,000 yen
Supporting member	22,500 yen
Library member	7,000 yen (subscription fee)
Advertise rate	15,000 yen for supporting members
Advertise rate	22,500 yen for non-supporting members
- VI. The association has following boards. The term is two years and three consecutive terms is not allowed. Election of boards is specified separately.
 - 1) President and Vice president
The council members nominate them from regular members.
 - 2) Council members
 - a. Fifteen members are elected from regular members by vote.
 - b. President assign members not more than three.
 - 3) Auditors
Two auditors are nominated by the council members from the regular members.
 - 4) Secretaries
President nominate a few Secretaries
- VII. The president must convene general assemblies and councils annually.
- VIII. The association constitute following committees.
 - 1) Election board
Council members nominate the board members from regular members. The board of election oversees the election of coming council members.
 - 2) Editorial board
Board members are nominated by the council from regular members. Editorial board edit the journal and other printed materials.
- IX. Expenses of the association is funded from the membership fees. A fiscal year starts on 1 April and ends 31 March.
- X. Operational rules of the association is specified separately.

Effective since 30 September 1996

Instructions to Contributors

1. General Requirements

1.1 The author(s) of an article who is contributing as an individual must be a member of the Research Association of Soil Physics, Japan (RASPJ), except when a contribution is invited by the Editorial Committee on Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan (SPCPGJ).

1.2 Manuscripts (MSs) submitted as research papers or reports are referred to two reviewers, and other types of MS to one reviewer, to be selected by the Editorial Committee. Based on reviewer's approval, the Editorial Committee decides whether to accept a paper or report for publication.

1.3 Contributions are classified as follows and content should focus on soil physics and related subjects :

Original research. Papers must not have been published previously nor submitted for publication elsewhere. The MS must be research-oriented and present an original, noteworthy academic contribution to soil physics fields.

Note. This brief report presents new findings or improvements in experimental methods, etc.

Review. This paper focuses on soil physics from a broad view point.

Miscellaneous. This report is rewritten from an original MS for reference by soil physics study field.

Lecture. This easy to understand commentary contributes to the understanding of soil physics or introduces new or improved research methods.

Others. These articles include letters to the editor, readers columns and book reviews, for example.

1.4 One original and two copies of the MS be sent using the order form below. The author of a MS published in the SPCPGJ will receive 30 offprints free of charge. Additional copies can be ordered for a nominal price.

Date of submission :

Name of author(s), institution(s), and member of RASPJ or nonmember :

Author's name, address, phone, fax, and/or e-mail address concerning correspondence :

Type of contribution :

Title of MS :

Number of text pages :

Number of tables :

Number of figures :

Number of photographs :

Reprint order request : 30, 50, 100, 150, 200, or 300

Reviewer's comments in : English or Japanese.

1.5 The copyright of an article becomes the property of RASPJ after publication.

2. Preparation of MS

2.1 The MS must be typed double-spaced on A4-size forms (30×21 cm). A substantial margin should be left at both sides. Finalized MSs must be sent as text files on floppy disk.

2.2 The MS must not exceed 3,600 words (about 6 printed pages). No charges is made for publication within the range of pages allowed. ¥9,000 will be charged for each additional page. Extra charges for printing on special paper, (e.q., art paper) will be billed to the author.

3. Title, Authors and Keywords,

3.1 The MS title must be as brief as possible while still accurately identifying and describing contents.

3.2 The MS of first page must include a title, a name of author(s), and institution(s), institution address, an abstract of about 300 words, and keywords not including more than five words or phrases.

4. Text

4.1 The text must be separated under subtitles such as ; 1. Introduction, 2. Materials and Methods, 3. Results, 4. Discussion, and 5. Conclusion.

- 4.2 Words printed in Gothic, Italic, Greek, or other special script must be clearly indicated. Characters must be printed so as to indicate the difference between the letter 'x' and multiplication sign, the letter 'o' and zero, the minus sign and the dash, or hyphen, and small letter and subscript.
- 4.3 Spell out abbreviations or acronyms the first time they appear and enclose in parentheses, e.g., liquid limit (LL).
- 4.4 The Latin binomial or trinomial and authority must be used for plants, insects, animals, and microorganisms when first used in both the abstract and text.
- 4.5 The International System of Units (SI) must be used for all data whenever possible.
- 4.6 For each in-text reference, provide the author(s) and year in parentheses and separated by a comma, e.g., Cambell (1988) found that ~ or ~ (Kemper, 1996). Note that references for papers with only two authors mention both, separated by an ampersand '&', e.g., Bouma & Dekker (1978) ~ ; references for three or more authors state only the first author, followed by 'et al.'. Several references together are arranged chronologically, then alphabetically. More than one paper by the same author(s) in the same year are differentiated by adding 'a', 'b', etc., after the year.
- 4.7 Acknowledgments must appear at the end of the text, preceding reference.
- 4.8 The writings of MSs should be checked by a native English.
5. Figures, Tables, and Photographs
 - 5.1 Do not use figures that duplicate information in tables.
 - 5.2 Each table and figure must be arranged individually on a separate A4-size sheet, must be numbered in the sequence in the text. Using a soft lead pencil, the preferred position of each table and figure must be written in the margin of text.
 - 5.3 Figures are drawn with both diagrams and lettering in Indian ink or using printed labels suitable for direct reproduction. Typewritten material is not acceptable. Computer printouts must be prepared carefully. Using a soft lead pencil indicate the figure sequence in the bottom margin together with the senior author's name.
 - 5.4 Figures will be reduced to approximately 50% of their original linear dimensions. They must be prepared for reduction taking into account the journal page size.
 - 5.5 A scale must be used in maps or microscope photos instead of a reduced scale or magnifying power.
 - 5.6 Captions for all figures and photographs must be typed on a separate sheet.
6. References
 - 6.1 All published works referred to in text must be presented in a list of references and arranged alphabetically by author, without serial numbering. The author-year system is used in text. For publications in a language other than English, a notation such as "(in Japanese)" or "(in Japanese with English summary)" must be added.
 - 6.2 Examples of reference citation are as follows ;

Bouma, J. and Dekker, L.W. (1978) : A case study on infiltration into dry clay soil, I. Morphological observations. *Geoderma*, 20 : 27-040.

Cambell, G.S. (1974) : A simple method for determining unsaturated hydraulic conductivity from moisture retention data. *Soil Sci.*, 117 : 311-314

FAO (1988) : Revised legend of the FAO-UNESCO Soil Map of the World. p119, FAO, Rome.

Effective since 31 October 1997

MSs must be sent to :

OKUYAMA , Takehiko

Address : National Research Institute of Agricultural Engineering

2-1-1 Kan-nondai, Tsukuba, 305-8609

TEL : 0298-38-7507, FAX : 0298-38-7609, e-mail : okuyama@nkk.affrc.go.jp

SI 単位の使用例

(農業土木学会, 日本土壤肥料学会, American Society of Agricultural Engineers, Soil Science Society of America で使用が認められている単位)

使用が認められる接頭記号

10^{12} : T (テラ), 10^9 : G (ギガ), 10^6 : M (メガ), 10^3 : k (キロ), 10^2 : h (ヘクト), 10^1 : da (デカ)

10^{-1} : d (デシ), 10^{-2} : c (センチ), 10^{-3} : m (ミリ), 10^{-6} : μ (マイクロ), 10^{-9} : n (ナノ), 10^{-12} : p (ピコ)

使用が認められる表記法: m/s, $m \cdot s^{-1}$, ms^{-1} , Nm, $N \cdot m$ 認められない表記法: ms^{-1} , mN

分類	量	SI 単位または組立単位	併用してよい単位記号	使用が推奨されない単位
空間 および 時間	平面角	rad (ラジアン)	mrad, ° (度), ' (分), " (秒)	
	立体角	sr (ステラジアン)		
	長さ	m (メートル)	km, cm, mm, μ m, nm	Å
	面積	m^2	km^2 , cm^2 , mm^2 , ha (ヘクタール), a (アール)	
	体積	m^3	cm^3 , mm^3 , L (リットル), mL,	cc
	時間	s (秒)	ms, μ s, y (年), d (日), h (時), min (分)	
	速度, 速さ	m/s	m/h, m/min	
	角速度	rad/s		
	加速度	m/s^2	cm/s^2	
	角加速度	rad/s^2		
周期 現象	周期	s	ms, μ s	
	波数	m^{-1}		
	波長	m	cm, mm	
	周波数, 振動数	Hz (ヘルツ)	MHz, kHz	
	回転速さ, 回転数	s^{-1}	min^{-1} , rpm, $r \cdot min^{-1}$	
力 学	質量	kg (キログラム)	g, mg, μ g, t (トン)	
	密度	kg/m^3	g/cm^3 , t/m^3 , kg/L	
	比体積	m^3/kg		
	濃度	kg/m^3	g/cm^3 , mg/L, g/mL, ppm, ppb	
	運動量	$kg \cdot m/s$		
	力	N (ニュートン)	MN, kN, mN, μ N	dyn, kgf
	力のモーメント	$N \cdot m$	MN \cdot m, kN \cdot m, mN \cdot m	
	圧力	Pa (パスカル)	MPa, kPa, hPa, mPa, μ Pa	bar, atm
	応力, 弾性係数	N/m^2 , Pa	GN/m^2 , MN/m^2 , kN/m^2 , GPa, MPa, kPa	
	仕事, エネルギー	J (ジュール)	TJ, GJ, MJ, kJ, eV (電子ボルト)	erg
	仕事率	W (ワット)	kW, mW	
	流量	m^3/s	cm^3/s , m^3/min , m^3/h , L/s, L/min, L/h	
粘性係数	$Pa \cdot s$	$mPa \cdot s$		
熱	熱力学温度	K (ケルビン)		cal
	セルシウス温度	°C (セルシウス度)		
	温度差	K または °C		
	熱量	J	TJ, GJ, MJ, kJ, mJ	
	熱流	W	kW	
	熱伝導率	$W/(m \cdot K)$	$W/(m \cdot ^\circ C)$	
	比熱	$J/(kg \cdot K)$	$J/(kg \cdot ^\circ C)$	
	エントロピー	J/K	kJ/K	

分類	量	SI 単位または組立単位	併用してよい単位記号	使用が推奨されない単位
電気および磁気	電流	A (アンペア)	kA, mA, μ A, nA	
	電荷, 電気量	C (クーロン)	kC, mC, μ C	
	電位, 電位差, 電圧	V (ボルト)	MV, kV, mV, μ V	
	静電容量, キャパシタンス	F (ファラッド)	MF, kF, mF, μ F	
	誘電率	F/m	μ F/m	
	磁束	Wb (ウェーバ)		
	インダクタンス	H (ヘンリー)		
	電気抵抗	Ω (オーム)	M Ω , $\mu\Omega$	
	コンダクタンス	S (ジーメンズ)	MS, kS, μ S	
	導電率, 電気伝導度	S/m	dS/m, mS/m	mmho/cm
	電力	W	TW, GW, MW, kW, mW, μ W, nW	
電力量	J	TJ, GJ, MJ, kJ, mJ		
物理化学	物質質量	mol	kmol, mmol, μ mol	
	モル濃度	mol/m ³	mol/dm ³ , kmol/m ³ , mol/L	
	質量モル濃度	mol/kg	mol/g	
	拡散係数	m ² /s		
	化学ポテンシャル	J/kg	J/g	erg/kg
土壌物理学分野	粒径	m	mm, cm, μ m	
	透水係数	m/s	cm/s, m/min	
	土壌水分吸引圧	Pa	pF, cmH ₂ O	
	温度伝導度	m ² /s	cm ² /s	
	乾燥密度	kg/m ³	Mg/m ³ , t/m ³ , g/cm ³	
	比表面積	m ² /kg	m ² /g	
	水分ポテンシャル	J/kg	J/g	
	水分ポテンシャル	m	cm	
	吸着量	mol/kg	mmol/kg	
	陽イオン交換量	mol(+)/kg	cmol (+)/kg	meq/100 g
	陰イオン交換量	mol(-)/kg	cmol (-)/kg	meq/100 g
	酸化還元電位	V	mV	
	体積熱容量	J/(m ³ ·K)		
	湿潤熱	J/kg		
	吸着熱	J/mol		
含水比	kg/kg		%	
質量分率, 含水率	kg/kg		%	
体積分率	m ³ /m ³		%	
質量濃度	kg/m ³	mg/m ³ , g/L, mg/L	%	
その他	放射能	Bq (ベクレル)	MBq, kBq, mBq, Ci (キュリー)	
	吸収線量	Gy (グレイ)	MGy, kGy, mGy	rad
	照射線量	C/kg	MC/kg, kC/kg, mC/kg	R
	施肥量	kg/m ²	kg/ha	kg/10 a
	収量	kg/m ²	Mg/ha, t/ha, kg/ha	kg/10 a, t/10 a
	光度	cd (カンデラ)		
	照度	lx (ルクス)		

その他については、「農業土木分野での SI 単位の使用一覧表 (案)」(1995): 農土論集, 175, 付録および「日本土壌肥科学会発行の雑誌で使用が推奨される単位の例」: 土肥誌執筆規定付録を参照のこと。

「土壌の物理性」 閲読に関するお願い

本誌は土壌物理に関連する広い学問分野の研究者及び技術者が、各分野の情報を速やかに交換できることを目的に発行されている。委員会としては、投稿された原稿を極力掲載したいと考えている。このお願いは、編集作業を円滑に進めるために作成されたものである。

1. 閲読者

(1) 閲読者は、著者と意見が違っていても、それを論文等の不採用の理由にしてはならない。新しい概念や提案された理論が、将来、間違いであることが証明される場合もあるが、現時点ではその適否の判断は難しい。完全な証明がないことを理由に論文を受理しないということは避けるべきである。

(2) 閲読者は共著者ではなく添削者でもないので、原稿には必要以上の書き込みをせず、誤字、疑問点および意味不明・説明不足の箇所の指摘のみにとどめること。

(3) 著者の主張を尊重し、過度の修正を要求しないこと。著者と意見が異なる場合、閲読者はその意見を「討論」「資料」等として投稿し、誌上で討論されたい。その「討論」等が他の読者に価値の高い情報を与えることがある。

(4) 閲読期限を厳守し、論文等の公表を必要以上に遅らせないこと。急用等で依頼期限内に閲読不可能な場合は、至急、原稿を編集委員会まで返却のこと。

(5) 論文等の印刷前に、無断で原稿のコピーを取ったり、結果の利用、引用等はしないこと。

2. 報文について

(1) 閲読者

閲読は、原稿が本誌に掲載するに適しているかどうかを判断するとともに、原稿内に誤りがないか、読みやすいものであるかどうかを検討し、よりよい会誌を作るためのものである。報文の閲読は、編集委員会が依頼した2人の閲読者によって行われる。

(2) 閲読後の取扱い

閲読結果は次のように処理して、最終的に委員会で掲載の可否を決定する。

1) 担当したすべての閲読者の判定が判定 A「このまま掲載可」の場合は、特別の異議がなければそのまま受理する。

2) 判定 B「指摘の点が修正されれば掲載可」の場合は、閲読者の意見を勘案し、委員会意見として著者に伝

達し、加筆、訂正を要求する。原稿修正の確認は、編集委員会で行い、適切な修正が確認された時点で原稿を受理する。

3) 判定 C「指摘の点が修正を要し、再閲読の要あり」の場合は、閲読者の意見を勘案し、委員会意見として著者に伝達し、加筆、訂正を要求し、修正後に再度閲読を行う。

4) 2人の閲読者の判定が D「掲載不可」の場合は、不可の理由を付して著者に返稿する。意見が分かれた場合は、他の閲読者を依頼し、Dの場合には著者に返稿する。

5) 閲読結果に対して著者から反論があれば、他の閲読者に依頼することがある。閲読者の意見が分かれた場合には、その対応を編集委員会で判断する。

(3) 総合判定 D「掲載不可」のもの事由

以下のような事由に抵触するものは、閲読の総合判定 D にあたり、掲載不可の理由となる。

- ・内容が本誌より他の専門誌に適しているもの。
- ・原稿の根幹に重大な誤りがあるもの。
- ・理論的または実証的でない論文、あるいは事実に基づいた報告ではなく、単なる主観が述べられているに過ぎないもの。
- ・通説が述べられているだけで、新しい知見が全く無いもの。
- ・修正を要する根本的な指摘事項をあまりにも多く含んでいるもの。
- ・明らかに既発表とみなされるもの。
- ・研究等が論文報告とする段階まで進展していないことが明らかな場合。
- ・現象の解析にあたり、明らかに不相応な理論を当てはめて、論文が構成されているもの。
- ・他人の研究成果をあたかも本人の成果のごとく記述することで論文の基本が構成されているもの。

3. ノート、資料、論説・総説、解説、土粒子、書評などについて

ノート、資料、論説・総説、解説については、閲読者1名とする。閲読の基準や取り扱いは、報文に準ずる。土粒子、書評、巻頭言、広告、会告などは、受理ならびに掲載を編集委員会において検討する。

(1997.10.30 改定)

複写される方に

本誌（書）に掲載された著作物を複写したい方は、著作権者から複写権の委託を受けている次の団体から許諾を受けて下さい。

学協会著作権協議会

〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3F

TEL/FAX : 03-3475-5618

ただし、アメリカ合衆国における複写については、下記へ

Copyright Clearance Center, Inc. (CCC)

222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, USA

Phone : (978) 750-8400, FAX : (978) 750-4744

Notice about photocopying

In order to photocopy any work from this publication, you or your organization must obtain permission from the following organization which has been delegated for copyright for clearance by the copyright owner of this publication.

Except in the USA

The Copyright Council of the Academic Societies (CCAS)

41-6 Akasaka 9-chome, Minato-ku, Tokyo 107-0052, Japan

TEL/FAX : 81-3-3475-5618

In the USA

Copyright Clearance Center, Inc. (CCC)

222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, USA

Phone : (978) 750-8400, FAX : (978) 750-4744

Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan

No. 77

February 1998

Contents

Forward	H. IWAMA	1
Originals		
Relation Between Soil Dispersion, Hydraulic Conductivity and pH of Soil Water for Allophanic Soils during Acid Solution Percolation	S. MATSUKAWA, H. TOMITA, T. SUZUKI and H. KATOH	3
Ion Concentrations and pH of Soil Water after Repeated Addition of Acid Solutions	S. MATSUKAWA, H. KATOH, H. TOMITA and T. SUZUKI	11
Effects of Soil Compacted Layer Destruction by Tillage on Soil Physico-Chemical Changes and Growth of Crops in Cerrado Latosol	K. OGAWA, C.A.B. FRANZ, S.M. FOLLE and F.E. de CASTRO ROCHA	19
Changes of Soil Aggregation Structure in the Subsurface Andosols after Being Reclaimed for Arable Land	G. LU, K. SAKAGAMI, J. YAMAGISHI and H. TANAKA	33
Method for Matric Potential Measurement of Upland Soil in Winter by Tensiometry Using Ethylene Glycol-Water Solution	M. YOSHIDA	41
Miscellanea		
Suction Membrane Method	S. HASEGAWA	51
Readers Column	S. EGUCHI	53
Book Review	O. NAKAHARA	55
.....	M. KOBAYASHI	57
Announcements		59
Editor's Comment		62

Published by

Research Association of Soil Physics, Japan

NODAI Research Institute (NRI)

Tokyo University of Agriculture

1-1-1 Sakuragaoka Setagaya-ku, Tokyo 156-8502, Japan