

土壌の物理性

第75号

1996年12月

巻頭言	足立 忠司	1
報文		
地下水の水みちにおける流速測定	奥山 武彦・芝野 和夫・加藤 誠	3
赤井谷地高位泥炭地の保全と水移動	笹田 勝寛・河野 英一・加藤 誠・石川 重雄	11
塩分を含んだ灌漑水が土壌水分保持特性, 土壌乾燥ストレスに与える影響 (英文)	M.M. アハマッド・安富 六郎・加藤 誠	23
粘土の分散性に対する有機物の影響—日置川造成農地の事例—	川田 麻子・伊丹 勝彦・久馬 一剛・小崎 隆	31
ボーリングコアを用いた火山性堆積軟岩の吸水率と締固めにおける最適含水比 および粒度組成変化との関係	日笠 基嘉・成岡 市	39
粘土鉱物懸濁態を含む電解質水溶液の電気伝導率測定法に関する実験 (英文)	杉江 昌・橋谷 卓成・岡崎 正規	47
ノート		
精密水頭差発生装置の開発	菊池智士・古賀 潔	59
資料		
八郎潟不耕起移植・育苗箱全量施肥稲作—新農法と環境保全に挑戦する農家の熱意—	田淵 俊雄・長谷川周一	63
土粒子		
Share, please!	森 也寸志	67
書評		
「農業リモートセンシング」(秋山 侃ほか共著)	吉野 邦彦	69
会務報告		71
編集後記		74

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収めるものとする。
- | | | | |
|-----------|--------|----------|--|
| 正会員 | 年 額 | 3,500 円 | |
| 学生会員 | 年 額 | 2,000 円 | |
| (大学院生を含む) | | | |
| 賛助会員 | 1口年額 | 15,000 円 | |
| 購読会員 | 会誌年額 | 4,500 円 | |
| 広告料 | 賛助会員 | 実費 | |
| | 賛助会員以外 | 実費の5割増 | |

- 第6条 本会に次の会員をおく。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。

(1995. 10. 3 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いが, 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) 投稿には下記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。

発表年月日		受付年月日	
種 別		原稿枚数	
表 題		図 表 数	表_枚, 図_枚
著 者 名		写 真 数	___葉
所 属		別 刷	30部+ 部
キーワード(和文・英文)			

付記: 投稿は下記宛のこと
「土壌物理研究会編集幹事」

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、4600字）。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日本語体とし、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1（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) 述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、はじめにそれが出た箇所、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・・・；・・ (Taylor *et al.*, 1945).)。)
- 19) 図・表・写真番号は図-1、表-1、写真-1のように書く。
- 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。英語報文には400字以内の和文要約をつける。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.

(1996. 4. 3改定)

第38回土壌物理研究会シンポジウム のお知らせ

- と き： 1996年9月30日（月）
- ところ： 東京農業大学世田谷キャンパス（小田急線経堂駅下車）

シンポジウムメインテーマ 「水」を考える

8:30 受付開始（非会員参加歓迎、参加費無料）

9:30 開会挨拶

I. 植物は水をどう利用する（水と植物） 司会 東京農業大学生物産業学部教授 山崎耕宇

9:40～10:10 日本大学生物資源科学部助手 瀧澤英紀「森林の蒸発と樹液移動」

10:10～10:40 東京農工大学農学部教授 石原 邦「水環境に対する植物の反応について」

10:40～10:50 休憩

II. 必要な水を集める（ウォーターハベ・スティング） 司会 東京農業大学農学部教授 駒村正治

10:50～11:20 清水建設技術研究所主任研究員 白石雅美「透過気化法による塩水かんがいの実証」

11:20～11:50 岡山大学環境理工学部教授 三野 徹「湿潤地域におけるウォーターハベ・スティング」

11:50～13:00 昼食、評議員会

13:00～13:40 研究会総会

III. 農地の下で窒素が動く（窒素の動態） 司会 農業工学研究所主任研究員 石黒宗秀

13:40～14:10 北海道農業試験場研究室長 早川嘉彦「酪農地帯の水質・植生浄化」

14:10～14:40 東京農工大学 福村一成「電気泳動による多孔体からのNO₃-N除去」

14:40～14:50 休憩

IV. 水のさまざまな質（水質改善と機能水） 司会 岩手大学農学部助教授 原道宏

14:50～15:20 農業工学研究所主任研究員 大谷敏郎「膜分離技術による施設園芸用水の水質改善」

15:20～15:50 食品総合研究所研究室長 五十部誠一郎「新しい水処理技術の農業への利用」

15:50～16:00 休憩

16:00～17:00 総合討論 司会 東京大学大学院農学生命科学科助教授 宮崎 毅

農業環境技術研究所土壌物理研究室長 長谷川周一

17:30～19:30 懇親会

適正な土壌管理が地球を救う ——実験条件を明確にした研究成果が——

足立 忠 司*

昭和45年以来顕在化してきた米の生産過剰の直接的解消策として、水稻の生産調整から始まった水田農業確立対策が各地で推し進められている。農業の中心があくまで稲作＝連作思想＝である我国では、水田の利用形態がどのような形で定着するかの予想は難しいが、恒久的な土地利用方策を樹立すべき段階にあると考えられ、その一つとして、圃場を水田および畑として周期的に交互に利用するという田畑輪換の思想が再起された（と思っている）。

田畑輪換は、土壌の理化学性が改善され、土壌微生物や雑草の制御等が可能であって、地力が高まり、水稻ならびに畑作物の増収が期待できる等の作物栽培上の有利性が発現できる。また、農産物の需給変動に対する対応、銘柄産地の形成・維持、圃場の集団化の促進などの農業経営上、土地利用上の効果も期待できる。

したがって、田畑輪換は、農地の生態的管理を通して生産力増強にアプローチしようとする持続可能な技術であり、その意味で今日的な意義があると評価できるが、これらの有利性の発現は、人間が農地に働きかけることにより生ずる土壌の理化学的性質の変化・土壌の有する機能に起因していると言うことができる。

土壌の理化学的性質の本質的な悪悪は、その土壌の母材や土性等によって決まり、普通畑や連作水田として永年使っている場合には、その年々の変化はさほど大きなものではないと考えられる。しかし、水田を畑利用すると、一般には土層の乾燥を進行させる。このため、灌漑期間中の灌水によって形成された特徴的な水田土層は変化し、この変化はまず上層内に発生する乾燥亀裂となってあらわれる。ついで、この亀裂が浸透を促進し乾燥を進め、土層の乾燥と亀裂の形成の相互作用がその他の土壌の物理性に影響し土壌構造を発達させることにつながる。また、この土壌構造の変化は団粒構造の変化として把握でき、畑利用によって土壌の団粒化が進む。この事は、還元田の用水量の増大要因とはなるけれど、土壌の理化学性の変化を通して、雑草の発生量や病害虫の発生を減少し、畑作物の生育には好ましい条件となる。畑利用後の水田利用に際しては、亀裂閉塞等逆の道をたどることになるが、乾土効果そのものは減じていても土層の乾燥効果は持続する場合が多く、水稻にも好条件を与える。

以上が、田畑輪換の有利性に寄与する土壌の構造変化に関する話しであり、耕地条件ならびに水利条件等の整備が進めば田畑輪換の効果が発現されることになり、食糧の安定化供給の一端を担えることになる。しかし、この話しのみでは十分ではない。かつて、東京大学名誉教授故山崎不二夫先生から「質的な話しも大切であるが、それを量的に把握しなければならない」とお教えを受けたことがある。上述の土壌構造変化につながる亀裂発生乾燥条件をみると、pF2程度に乾燥が進行して作土層内に亀裂が発生することは分かっているが、下層土は作土と土層の生成条件が相違している場合が多いので、下層の亀裂発生時の乾燥条件は異なることになり、pF2ではない。すなわち、条件が異なれば結果が相違することになり、量的な把握がなければ質的な話しが生きて来ないことになる。

現在、パソコンの発達により理論実験が可能であり量的評価が容易(?)にできるが、現実には土壌の特殊性・複雑性から見て、土壌の有する機能解明、動的変化解明には実験を伴う評価が重要な意味を持つといえる。ただし、この際同時に、実験条件を明確に記述した成果が求められることになる。

昨今、地球環境論華やかなりし時であるが、土壌環境抜きにして環境問題を論じることは出来ないと言っても過言ではない。人間活動に伴う土壌劣化、一方適正に管理をすれば土壌が他の資源と異なり優れた資源となることが質的にはかなり分かっている。したがって、土壌の物理性に寄せられる論文の一つ一つは限定された範囲内の成果であっても、実験条件を明確に記述した研究成果の積重ねであれば、それが地球を救うことにつながる。

* 岡山大学環境理工学部

地下水の水みちにおける流速測定

奥山武彦*・芝野和夫**・加藤 誠***

Measurement of the Flow Rate in a Groundwater Vein stream

Takehiko OKUYAMA*, Kazuo SHIBANO**, Makoto KATO***

* National Research Institute of Agricultural Engineering

** National Institute of Agro-Environmental Sciences

*** Tokyo University of Agriculture and Technology

Abstract

Groundwater flow system was investigated at a upland field in the central part of Ibaraki Prefecture. Underground temperature survey was conducted to locate the groundwater vein streams and to determine the place for test boring. The depth down to the top of the groundwater vein stream was estimated to be 2.5m from the ground surface at the boring point. Groundwater flow rate was measured by means of the groundwater surveyor and tracer test. It was also calculated using the hydraulic conductivity determined by in situ permeability test or effective grain size. The flow rate was less than 10^{-4} cm/s down to the depth of 3 m, greater than 10^{-4} cm/s at the depth deeper than 3 m. The flow rate at the depth of 3.6 m outside the groundwater vein stream was one-third of that at the same depth inside it. These results show the location and the depth of the groundwater vein stream estimated by means of the underground temperature survey were correct, and groundwater flows at higher flow rate in the groundwater vein stream than another part of the ground.

Key words : groundwater, groundwater vein stream, underground temperature survey, groundwater flow rate, boring

1. はじめに

地下水は礫質土層や断裂などの透水性の大きな個所で水みちを形成して流れ、物質移動を考える上で無視できないことはよく知られるようになった。地下水の量的な管理に加えて質的な保全が求められるようになった今日、地下水の流れの実態を解明することの重要性はますます高まった。地下水流速は、井戸の孔内水位に基いて描いた等水位線から求めた動水勾配と、揚水試験などで決定した帯水層の透水係数によって算定する方法が一般的である。しかし、限られた点の情報だけでは局所的に存在する水みちにおける流れを把握することは困難である。まず対象範囲における水みちの状態を明らかにしてから試掘、流速の算定を行うことが望ましい。水み

ち位置の調査法としては深度1mの地温を測定する地温探査が面的な展開も容易で有力な方法である。本研究では地温探査によって特定した水みち位置で試掘を行い、5種類の方法によって測定した地下水流速の比較検討を行った。

2. 調査地区の概要と水みちの存在状況

調査地区は茨城県中部、八郷町H地区の標高30m前後の台地上の畑地である(図-1)。南側には標高100m余の尾根が、北側には小河川とそれに沿った低地がある。1.5m前後の厚さのローム層の下はシルト、細砂、小礫を含む粗砂の互層になっており、地下水位は-1.5m程度にある。一帯では下末占海進期の海面上昇によって入り江ができ、砂層、泥層が堆積して形成された(池

* 農業工学研究所, ** 農業環境技術研究所, *** 東京農工大学
 キーワード: 地下水, 水みち, 地温探査, 地下水流速, ボーリング

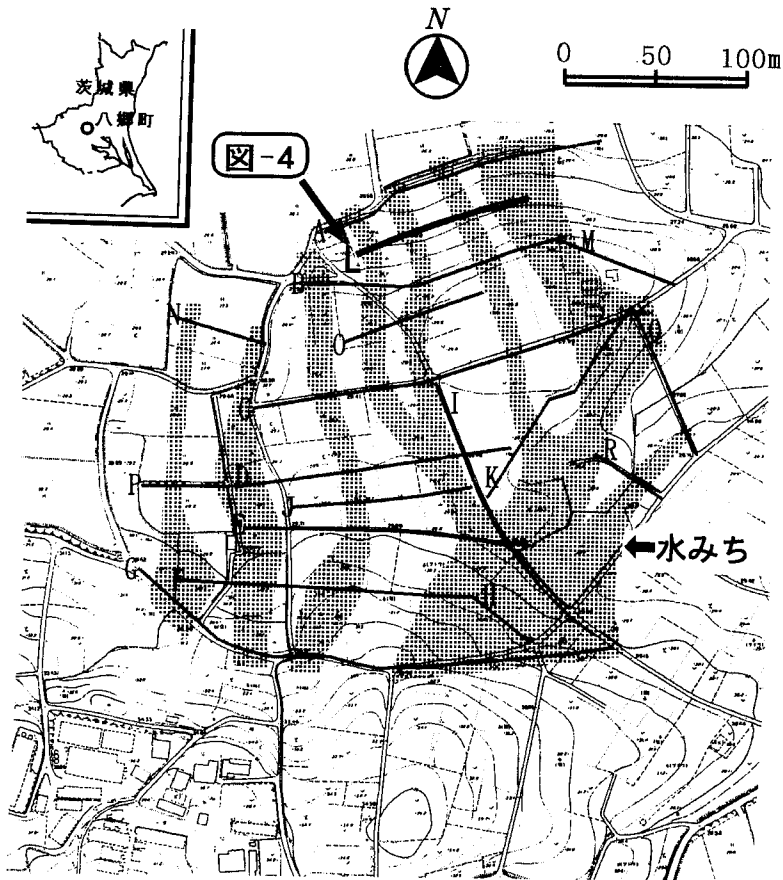


図-1 地温探査測線の配置と推定された水みち位置

Fig.1 Survey line arrangement for underground temperature survey and location of groundwater vein strams.

田・宮本 1986) とされており、河道跡が脈状に残って水みちとなっていることは十分に考えられる。

地温探査は局所的な水みちの近傍では深さ 1 m 程度の地温に異常が生じる現象を利用した方法であり、竹内 (1983) が地すべり調査での有用性を明らかにした。水みちの影響をうけていない地温 (平常 1 m 深地温) と地下水温との差によって生じる地温異常を検出するために、調査適期は夏 (8~9 月)、冬 (2~3 月) であり、水みち近傍では夏には地温低下、冬には地温上昇が生じる。対象深度は概ね 10 m 以内である。円形断面をもつと仮定した水みちの中心深度及び半径、水みちの水温と平常 1 m 深地温をパラメータとして計算した 1 m 深地温分布と実測地温分布をパーソナルコンピュータの画面に図示して、両者が良く一致するようなパラメータとしての水みちの位置と規模を決定する (奥山, 1989)。

調査は 1995 年 9 月に図-1 に示すように約 300×300

m の範囲に 18 測線を設定して実施した。1 m 深地温は各測線上 4 m 間隔でエンジンドリルを用いて直径 2 cm、深さ 1 m の孔をあけ、白金測温抵抗体温度センサーによって分解能 0.01℃で測定した。各測線上での土地利用の違いはあまりなかったため、地温の地況補正は行っていない。

各測線の低温異常部から推定した水みちの分布を図-1 中に示す。水みちは傾斜に沿って北側の低地に向かって分岐しながら流れている。測線 L の推定断面を図-2 に示す。測線西端から 9 m 付近を通る水みちは上縁深度 2.5 m、半径 7.5 m と算定されたが、地盤は地下深くなるほど圧密がすすみ、風化を受けにくくなるために水みちができにくいことを考慮して、水みちは上半円形として示してある。この地点を通る水みちの縦断面を図-3 に示す。

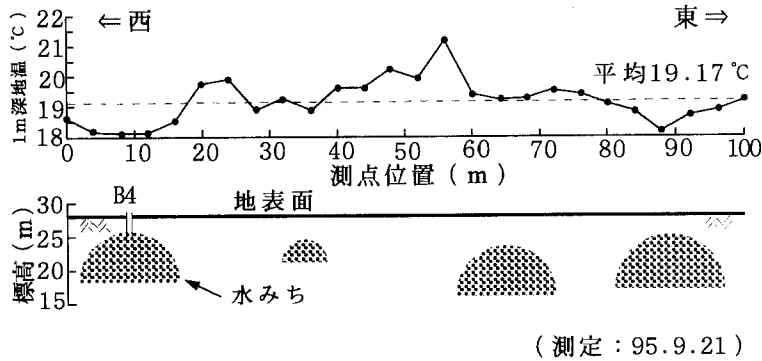


図-2 測線 L の推定断面
Fig. 2 Cross section of survey line L.

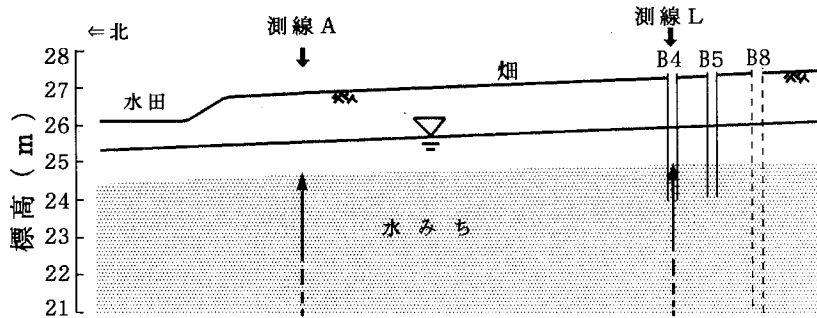


図-3 試掘地点を通る水みちの縦断面
Fig. 3 Longitudinal cross section of a groundwater vein stream.

3. 地下水流速の測定

1) 試掘・透水試験

地温探査で明瞭な地温異常が認められ、水みちの中心にあたると思われる測線 L の 9 m 地点周辺と、その西方の水みちからはずれた地点で B4~8 の 5 本の試掘を行った。各孔の位置を図-4 に、諸元を表-1 に示す。

B8 では掘削途中で深度 2, 4, 6 m で現場透水試験を実施した。透水試験は所定深度まで掘削して止水用の鋼管を打ち込み、さらに 0.5 m 掘削してから孔内水位を低下させて水位回復法で行った。7 m まで掘削後は、地下水の流出入をできるだけ阻害しないようにケーシング(保孔管)として開口率が 13.5% と大きい排水暗渠用ポリエチレン管(外径 71 mm)を挿入し、管の外側は珪砂で埋め戻して仕上げた。

2) 地下水流向流速計

1 本の孔内で水平な水の流れの方向と流速を直接的に測る地下水流向流速計は各種の形式が 1980 年代前半を中心に開発された。本調査では電位差方式である L 型

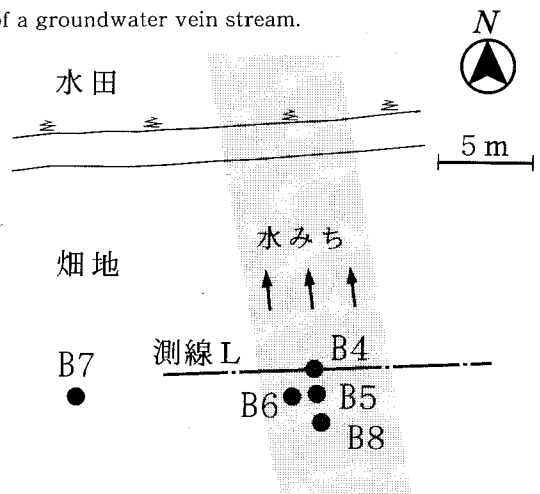


図-4 試掘孔の配置
Fig. 4 Arrangement of boring holes.

(大成基礎設計(株))を使用して B5 と B7 の孔底で 1995 年 10 月に測定した。同型は、電極をゾンデ(孔内測定装置)の開閉部内の円周上に 12 本とその中心に配置

表-1 試掘孔の諸元

位 置	記号	目 的	直径 mm	深さ m	ケーシング
水みち内	B4	トレーサ試験	66	3.3	暗渠用多孔管
	B5	流向流速測定	100	3.7	硬質塩ビ管
	B6	地下水位測定	100	2.0	〃
	B8	透 水 試 験	86	7.0	暗渠用多孔管
水みち外	B7	流向流速測定	100	3.7	硬質塩ビ管

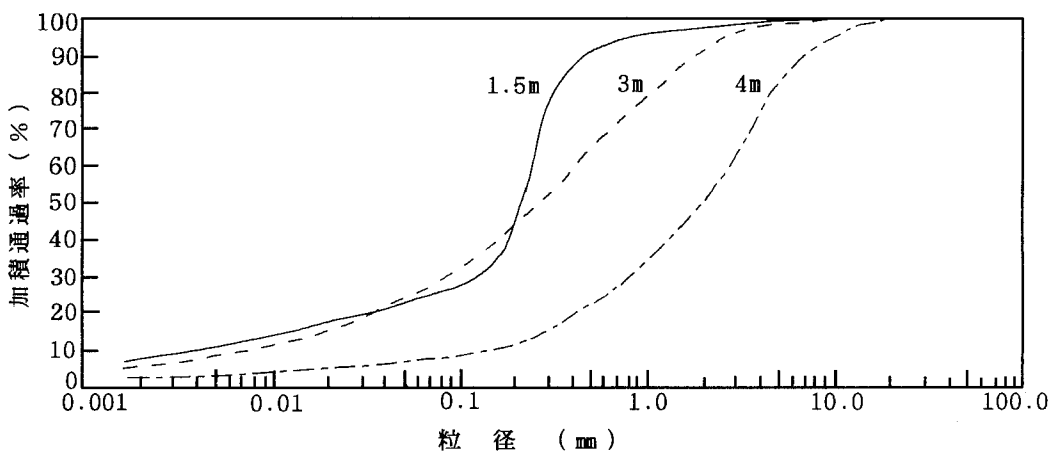


図-5 粒度分布曲線

Fig. 5 Grain size accumulation curve.

し、中心電極と対向電極対の間の電位差を測定する。ゾンデを孔底に設置後、電極群の中心から微量の蒸留水を放出すると、蒸留水塊が地下水流によって移動するにつれて電位差のバランスが変化する。この変化を解析することによって地下水流動の方向と速度を求める(加藤ら, 1988)。しかし、地盤中にボーリングのような空洞があると流線の集中によって孔内流速は地盤中の流速より大きくなる。この現象を軽減するために、電極部にはガラスビーズを充填してあり、ゾンデと孔壁との隙間には珪砂を投入する。さらに、電極部の上部に取り付けてあるバッカー(ゴム袋)をふくらませて水の動きを遮断するとともにゾンデを固定する。電極部で測定された流速から地盤内流速へ換算する係数が地盤の粒度によって求められている(平山ら, 1985)。

3) トレーサ試験

トレーサ追跡による地下水流動経路の調査では、流動経路が長くなると多量のトレーサ物質の投入を必要とし、投入孔、観測孔が水みちののっているか否かで結果が左右される。本調査では水みち上のB5とB4との間(1m)を試験区間として、B5に飽和食塩水を15l投入した。B4にはステンレス板電極を20cm間隔に取り付

けて隣接電極間の電導度を測定するための地下水検層用テープ状電極を設置して、深度別の電導度変化を1995年10~11月に経時的に測定した。

4) 地下水検層・温度検層

地下水検層は地すべり地における地下水の流動層を把握することを目的として開発された方法である(渡・酒井, 1965)。孔内水に食塩等を溶解させて比抵抗を低下させた後に、深度別に比抵抗を測定して、比抵抗変化の大きな所を地下水流動層の深度とする。本調査ではB8において孔内水量の約0.07%にあたる15gの食塩を溶解させて実施した。測定には自作のテープ状電極と電極切替器、電導度測定器を使用した。テープ状電極は電極定数の較正をしていないので、測定したものは正確に言えば電導度でなく20cm離れた電極間のアドミタンスであり、その逆数はインピーダンスになる。しかし、ここでは食塩濃度の絶対値ではなく経時変化を知ることが目的であるので、それぞれ電導度、比抵抗と呼び、食塩溶解直後の比抵抗とその後の比抵抗との比を比抵抗比とする。

温度検層はB8で孔内水を乱さないように温度センサーを降下させて、孔内水温を0.25m間隔で測定した。

地下水検層・温度検層は1996年3月に実施した。

4. 流速測定結果

1) 透水試験・粒度によって求めた透水係数

B8のボーリング記録によると深度0.75~4.5mは礫混じり粗砂、4.5~5.9mは細砂、5.9m以深はシルト質細砂層になっている。現場透水試験では以下のような透水係数が得られた。

深度 2~2.5m	2.9×10^{-3} cm/s
深度 4~4.5m	2.7×10^{-3} cm/s
深度 6~6.5m	6.1×10^{-3} cm/s

6~6.5mは細砂層であるのに大きな値になっている点が目される。

B5を掘削した際の土の粒度分布を図-5に示す。粒度から透水係数を推定するHazenの式

$$k = C_h (0.7 + 0.03t) D_{10}^2 \quad (1)$$

を用いて、 $C_h = 60$ 、温度 $t = 15^\circ\text{C}$ として計算した透水係数は、以下のとおりである。

深度 1.5m	1.1×10^{-5} cm/s
深度 3m	4.4×10^{-6} cm/s
深度 4m	1.6×10^{-2} cm/s

細粒分が多い深度1.5, 3mでは現場透水試験の結果

表-2 地下水流向流速の測定結果

地点 (深度 3.6m)	流向	測定流速 cm/s	ダルシー流速 cm/s 換算係数 $\beta = 0.25$
B5 (水みち内)	N 30°E	6.13×10^{-4}	1.53×10^{-4}
B7 (水みち外)	N 8°E	2.10×10^{-4}	5.3×10^{-5}

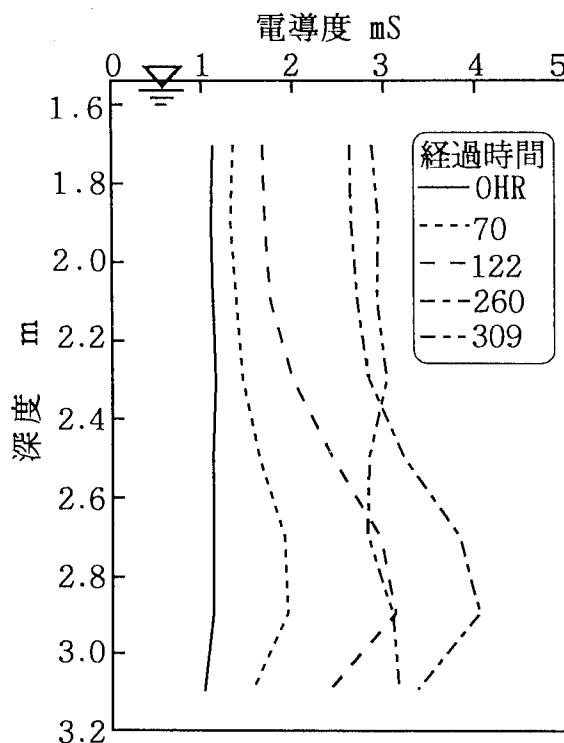


図-6 トレーサー試験におけるB4の電導度変化

Fig. 6 Change of electrical conductivity at B4 in tracer test.

より2オーダー小さな透水係数になった。粒度分布からは土壌マトリックスの透水係数を推定することはできても、水みちとなる粗大間隙の存在を表現することはできないので、柱状図や粒度分布、攪乱試料の透水試験などだけでは局所的な水みちの透水性を判断することに限界がある。

2) 地下水流向流速計

B5, B7の両孔の深度3.6mにおける流向流速計による測定結果を表-2に示す。水みちの中では水みち外より約3倍速い流速が得られた。流向は北～北東向きであるが、図-1ではB5地点における水みちの方向はN25°Wとなっていて差が生じた。地温探査は数m以上の大きさの水みちを対象とするのに対して、流向流速計は孔内での数～数十cmスケールでの測定であるために、流向流速計の周囲の透水構造の差違が流向の違いとして現れたのではないかと考えられる。

3) トレーサ試験

トレーサ試験におけるB4孔内の電導度の変化は図-6に示すように深さによる差が見られた。深度2.4～3.1mの間では70時間経過後には電導度の増大が進行し、ピーク到達時間を260時間とすると流速は 1.1×10^{-4} cm/sになる。2.4m以浅ではピーク到達時間は309時間なので、流速は 9.0×10^{-5} cm/sになる。

4) 地下水検層・温度検層

地下水検層と温度検層の結果を図-7に示す。各時点の比抵抗は食塩投入・攪拌の5分後の値に対する比（比抵抗比）として表してある。比抵抗比は深度2, 3, 3.8mで増大が大きく、これらの深度に流動層があると考えられる。3.8m付近は徐々に比抵抗が増大する、水平流の流入による回復パターンを示しているが、3m以浅では浅いほど比抵抗比の増大が著しい。このことから、孔内水面付近に周囲から地下水が流入して降下流が発生したことによる濃度低下が現れていることが考えられる。

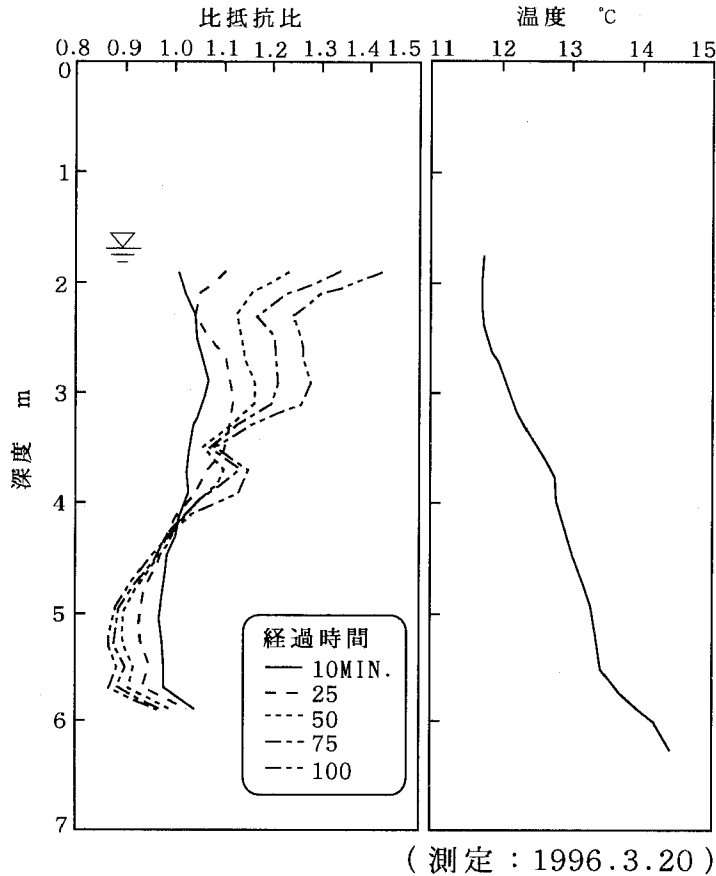


図-7 B8における地下水検層と温度検層の結果

Fig. 7 Results of conductivity logging and temperature logging at B8.

孔内のトレーサ濃度変化から地下水の流入速度を求め
る方法としてポイントディリュージョン法（以下PD法
と略記する）がある（地下水ハンドブック，1989）。同法
では，トレーサの初期濃度を C_0 ， t 時間後の濃度を C ，
井戸の直径を d とすると，断面平均流速 V は，

$$V = \pi d \ln(C_0/C) / 8t \quad (2)$$

で表される。トレーサ濃度と電導度が比例するならば，
 C を電導度 (G) で置き換えることができる。地下水の
バックグラウンド電導度 (G_b) が無視できない場合は電
導度から差し引くことによって(3)式になる。

$$V = \pi d \ln [(G_0 - G_b) / (G - G_b)] / 8t \quad (3)$$

深度 4 m 以深では比抵抗が低下する現象がみられた
ので，深度 2~4 m の区間で(3)式を適用して流速の計算
を行った。

図-7 の孔内温度分布は深度 2，3.8 m 付近で温度勾配
が小さく，深度 5.6 m 付近で温度勾配が大きくなって
いる。孔内水面に近い深度 2 m 付近では低温の地下水が流
入し，3.8 m には卓越した水みちでの流動があると考え
られる。また，地下水流動が緩慢な深部のシルト層に対
して，冬季の低温水が浸透している砂層では温度低下が
大きいことが，5.6 m 付近の温度境界として現れたので
あろう。

5. 考 察

地下水流速の表わし方には，間隙の中での実際の流速
である実流速，実流速のばらつきを平均視した平均間隙
流速，地下水浸透を定量的に扱うための浸透流速があり，
浸透流速は平均間隙流速に有効間隙率を乗じて得ら
れる。

今回試みた各方法の結果を浸透流速に統一して比較を
行った。平均間隙流速であるトレーサ流速は粒度から有
効間隙率を 0.25 と類推して浸透流速に換算した。透水試
験と粒度から求めた透水係数は 1995 年 10 月時点の試験
地点における動水勾配 0.016 を乗じて浸透流速を算出
した。また，地下水検層を行った時の動水勾配は 0.004
であったので，条件をそろえるために PD 法で計算した流
速は 4 倍した。以上の処理を行った結果を図-8 に示す。

深度 3 m までは透水試験とトレーサ法による流速は
 $2.3 \sim 4.6 \times 10^{-5}$ cm/s ではほぼ一致したが，粒度からの計算
結果は 2 オーダー小さくなった。その理由は前述のと
おりである。深度 3.5~4.5 m では流向流速計と粒度による
流速が 2×10^{-4} cm/s 前後で一致したが透水試験の結果
はそれらよりやや小さい。PD 法の結果は深度 3.5~4 m
ではほかの方法と調和的だが，それ以浅で大きな値に
なった原因はやはり孔内垂直流の発生にあると考えら
れる。PD 法は地下水検層の結果から流速を簡単に計算で

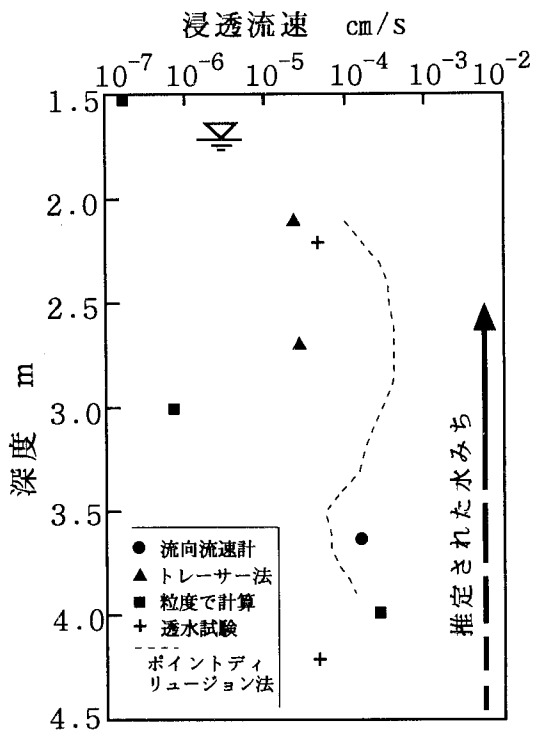


図-8 浸透流速の比較

Fig. 8 Flow rate at the boring point.

きる点が魅力的であるが，孔内の垂直流などの影響につ
いての検討を要する。

地温探査では試掘地点において水みちが深度 2.5 m 以
下に存在するという結論が得られたが，この結論は深度
2.5~4.5 m の範囲で流速がその上部より 1 オーダー大き
く，水みち外の同深度より 3 倍大きいという測定結果に
よって裏付けることができた。本事例の 10^{-4} cm/s オ
ーダーの流速は地すべり地で測定された $10^0 \sim 10^2$ cm/s
という値（竹内，1983）に比べて小さいが，地すべり運
動によって亀裂などの水みちが形成されやすく，集水面
積や勾配が大きい山地との違いであると考えられる。

ボーリングや井戸で特定帯水層の水頭を測定するた
めには対象深度にだけ開口部をもつ構造が望ましいが，地
下水検層や流向流速計による測定を行うためには，裸孔
であるかケーシングの開口率が大きいことが必要である。
しかし，オールストレナ構造のボーリングによ
って水頭の異なる帯水層が連通すると孔内に垂直流が発
生し，孔内水位の意味も不明確になる。1 本のボーリ
ングを多目的に使うとするならば，開口率が大きく，か
つ任意深度で閉塞することができるような構造をもつこ
とが理想的である。

6. おわりに

地下水の流れは地盤の不均一性を最も反映している現象であろう。これからは対象が不均一であることを前提として調査・解析に取り組むことがますます重要になる。小松田(1991)は流向流速計が点での測定にすぎないという理由での過小評価と、流速流向を直接測定できないという理由での過大評価をうける傾向があることを指摘している。試験実施点が全体の中でもつ位置付けをはっきりさせた上で測定を行ってこそ、その点のデータを活かすことができる。現在のところ地下水流速の測定は試験と原位置試験によらなければならない、多数の地点や深度で測定するためには時間や経費の面での制約が大きい。従って、地上探査や孔内検層によって地下水流動の状況をできるだけ把握してから試験を行う地点や深度を絞り込んでいくように調査を計画することが合理的かつ能率的である。

現地調査を実施するにあたって、農業環境技術研究所ならびに農業工学研究所の方々から多大なご協力を頂いたことに末筆ながら深謝する。

引用文献

- 地下水ハンドブック編集委員会(1989):地下水ハンドブック, p621, 建設産業調査会, 東京.
- 平田洋一・鹿野快男・日野 努(1985):流速流向計L型の原理と特徴について, 原位置透水試験法および地下水調査に関するシンポジウム発表論文集, 土質工学会, 115~122.
- 池田 宏・宮本幸治(1986):恋瀬川流域における水循環機構の解明, グリーンエネルギー計画昭和60年度研究報告:3~11.
- 加藤 誠・鹿野快男・平田洋一・平山光信(1988):比抵抗式孔内地下水流向流速計の原理と測定例, 土壌の物理性, 58:56~67.
- 小松田精吉(1991):地下水調査における流速流向測定の意義, ハイドロロジー, 21(1):5~18.
- 奥山武彦(1989):浅部地温測定による地下水流脈調査, 農土誌, 57(4):11~16.
- 竹内篤雄(1983):地すべり 地温測定による地下水調査法, 196p. 吉井書店, 東京.
- 渡 正亮・酒井淳行(1965):ボーリング孔を利用した地下水垂直探査について, 地すべり, 2(1):1~9.

受稿年月日:1996年4月30日

受理年月日:1996年8月21日

赤井谷地高位泥炭地の保全と水移動

笹田勝寛*・河野英一*・加藤 誠**・石川重雄*

Studies on Water Flow in Akaiyachi High-Moor Peat Land for its Conservation

Katsuhiko SASADA*, Eiichi KONO*, Makoto KATO**
 and Shigeo ISHIKAWA*

* Faculty of Bioresource Sciences, Nihon University,
 1866 Kameino Fujisawa-shi Kanagawa 252, Japan

** Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and
 Technology, 3-5-8 Saiwai-cho, Fuchu-shi, Tokyo 183, Japan

Abstract

High-moor peat land has some useful function in environmental conservation involved by factors of its formation. For its conservation, it is desired to clarify water factor which plays an important part in its formation, especially water flow in peat layer. In this study, it was tried to do its flow in case of Akaiyachi high-moor peat land. The principal results are as follows.

The groundwater in shallow layer of high-moor peat land flows down through the shallow layer along the gentle slope from the top of dome. Most of the rainfall flows down through the top layer of high-moor peat land along the gentle slope. Most of the rainfall loss is due to the evapotranspiration of sphagna. Most of the groundwater is supplied by the cool water which springs directly from mountainous regions under the peat land to flows horizontally through the peat layer. This cool groundwater brings on decomposition control of plant remains which is indispensable for formation of peat land. In the future, for the conservation of Akaiyachi high-moor peatland, it is desired to conserve these water conditions. Also for the conservations of other high-moor peat lands, it will be pointed out to conserve almost the same water conditions as this peat land.

Key words : high-moor peat land, run off, water flow, wetland, environmental conservation

1. はじめに

泥炭地等の湿原はその環境の特異性から、種々の有用な機能を有しており、近年それらが再認識されている。多量の水を湛え得るという点では水資源の涵養機能、洪水の防止機能および気象の緩和機能を、そこに多くの微生物を含む生物種が生活するという点では生物種の保存機能、および水質の浄化機能を有している。また、我々に自然環境の重要性を認識させるという環境教育的な機能も有している。ラムサール条約や米国農業法の湿地罰則¹⁾などはこれらの有用な機能を維持するための法的な

保全策といえる。

これまでのわが国の泥炭地の研究は食糧の安定供給の立場から、泥炭地水田の農業生産基盤としての整備、特に泥炭地の主成因である自然的水環境の排水改良のあり方に関するものが主であった。逆に、湿原を形成する泥炭地の保全に際しては、主成因である自然的水環境の保全と回復が必須課題である。そのためには、その保全を阻む農業地域を含んだ各種の産業地域の隣接や形成がある場合が多いことから、広くに互る水環境の把握が要件とされる。本研究では、貴重な湿原を形成する高位泥炭地の自然的水環境、特に泥炭地盤における水移動特

* 日本大学生物資源科学部 〒252 藤沢市亀井野 1,866 ** 東京農工大学農学部 〒183 府中市幸町 3-5-8

キーワード: 高位泥炭地, 流出, 水移動, 湿原, 環境保全

性を泥炭地外を含む広域の水環境と密接に関連づけて把握するとともに、それを基に高位泥炭地の保全のあり方も追究してみた。

2. 調査地の概要

1) 位置・地質・植生

調査の対象地は福島県会津若松市にあって、猪苗代湖の北西岸約1 kmに位置する国指定天然記念物「赤井谷地野植物群落」の生育する高位泥炭地湿原である(図-1)。指定地の面積は43.7 haで、南北に約800 m、東西に約500 mのほぼ楕円形の広がりを持つ(以下、「赤井泥炭地」)。赤井泥炭地は、猪苗代湖西岸に平行して北流する赤井川が礫山からの火山性泥流堆積物によってせき止められた地域にあって、猪苗代湖の高水位期に湖の一部であったものが、湖面の低下に従って湿原化した降化型湿原である¹⁰⁾。

赤井泥炭地には、植物遺体からなる泥炭層が表層から3~4 mの深さで堆積し、その下位にはシルトや粘土からなる不透水性の湖成層が存在する。泥炭地内の地下水位は地表面にほぼ並行に存在し、高位に安定して変動する⁷⁾。一般に、泥炭地の残存の不可欠な要因の一つとして、泥炭地が高水分環境に置かれていることが上げられる。赤井泥炭地も含め、この高水分環境は周辺地域の水環境に支えられているものでもある。

赤井泥炭地は地表面が北西寄りに頂上を持つドーム状を呈し、ミズゴケを主とする植生に覆われる典型的な高位泥炭地である。高位泥炭地は一般的には高標高あるいは高緯度といった冷涼な条件下に見られるもので、東北地方南部で標高約520 mのこの地域にそれが発達するのは極めて珍しいとされる。赤井泥炭地に生育する高等植物のうち、特にホロムイイチゴは本来北海道以北に生育する亜寒帯性の植物で、東北地方南部での分布は非常に珍しい⁶⁾。この特異な自然環境とここに生育する植物群落が評価されて、昭和3(1928)年に天然記念物の指定地とされた。

2) 調査地周辺の水環境と土地利用

赤井泥炭地周辺地域の水利系統は図-1に示す通りである。赤井川は左岸側を背灸(せあぶり)高原およびそれに続く山地(以下、「背灸山地」)に、右岸側を猪苗代湖の湖岸線に沿った山地(以下、「湖岸山地」)に囲まれ、河道沿いに標高530 m以下の低平地(以下、「赤井川低平地」)が広がっている。河道は南側分水界の辺りの水田地帯から発し、山地および水田からの水を集めながら湖岸山地沿いの水田地帯を北へ流れる。北流した赤井川は赤井泥炭地に流路を阻まれる形で流れを東に転じ、赤井泥炭地の東南部近傍を過ぎ、再び北流した後に、阿賀野

川の支線の日橋川と合流する。

赤井川水系の分水界を概観すると、上流部は特に左岸側で広がりが大きく、下流部で急激に流域が狭められている。また、標高530 m以下の赤井川低平地の広がりを概観すると、赤井川は赤井泥炭地の東側に位置する低い丘陵地に流路を阻まれた格好になっていることがわかる。このことから、赤井泥炭地が赤井川水系の閉塞部に位置し、この泥炭地の成立が必然的なものであったこと、人為が加わる以前において赤井泥炭地周辺にも排水不良な泥炭地が広く存在していたことが容易に推察される。また、赤井川が水系地域の東側に偏って流れていること、赤井泥炭地の地表面が北西よりに頂点を持ち、東方に地表水が流出することから、赤井川自体は北流するものの、水系全体としては西から東に向かう水の流れをもっていることが分かる。

赤井川低平地への湧水としては、背灸山地とそれに続く大窪山の山裾の数地点、および赤井泥炭地縁部の東北地点におけるものが認められ、赤井泥炭地および周辺地域の水収支に影響を及ぼしている。

17世紀半ば頃から赤井川水系に人為が加わり、現在までに、赤井川水系内外の主に水田用排水のために、水路や溜め池の築造、ポンプ施設の建設、および河川改修が行われてきた。そのうちで赤井泥炭地の水環境に影響を及ぼしていると考えられるものを以下に述べる。

新四郎堀は赤井川の水を赤井泥炭地の南方約500 mのあたりから、赤井泥炭地の西側を経由し、水系外にあたる低平地の水田に分水するものである。また、この堀は赤井川の水の水系外への排水路ともなっており、非灌漑期でも一定量の水がこれを通じて排水されている。

明治初期には、赤井泥炭地北部に溜め池が築造された。現在、この溜め池の水は赤井泥炭地からの流出水で涵養されている。

戦後の緊急開拓期の昭和30年頃には、赤井泥炭地の南部および東南部で開田が実施された¹⁾。その際、赤井川の河道が現在のように赤井泥炭地に隣接するように改修された。また、赤井川の水は高水位時には、赤井泥炭地の南方約1 kmにある湖岸山地の水路トンネルを通じて猪苗代湖へ排水される。

赤井川低平地には水田が広く展開するが、水田灌漑のために赤井川水系外から占ヶ平用水路および鶴ノ浦用水路によって導水がなされている。

この地域における開田と水利系統の整備に伴い、赤井泥炭地の乾燥化遷移の進行が早められ、特に指定地西側からのササやアカマツの侵入が著しく、ミズゴケを主植生にする高位泥炭地としての特質が失われつつある。

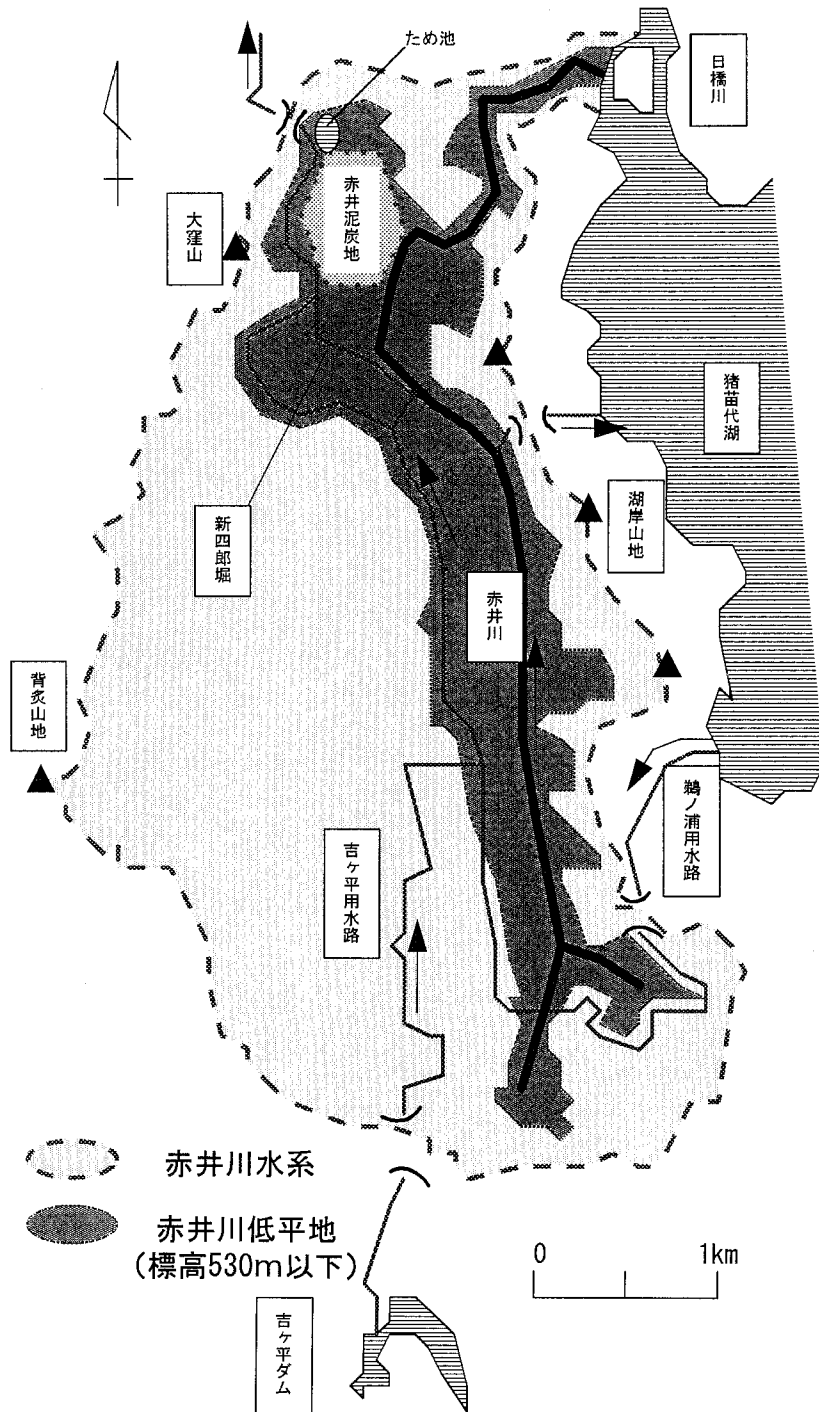


図-1 赤井川水系の水利系統

Fig. 1 Water use system of Akai river basin.

3) 高位泥炭浅層の基本的理化学性⁹⁾

赤井泥炭地の基盤をなす泥炭地盤の基本的な諸性質を明らかにする目的で、以下の理化学性試験を行った。赤井泥炭地が天然記念物指定地であることから、泥炭の採取は地点数、採取量に制約がある中で行われた。既製の土壌採取用のサンプラーでは泥炭試料の採取が困難であることから、現地での40 cmまでの泥炭を園芸用のハサミとナイフで10 cm深度ごとに4層に分けて切り出し、それらを各種実験に成形して供した。泥炭の採取は高位泥炭のほぼドーム頂部にあたるA地点と低位部にあたるB地点で行った(図-2)。各種実験の項目および方法は表-1に示す通りである。

泥炭地盤の各種の理化学性試験の結果は表-2に示す通りである。得られた結果から以下のことがいえる。

真比重は泥炭としての一般的な値であり、またこれには各層間で大きな差異はない。仮比重は低位部のB地点の第3層以深を除いて0.1以下の極めて小さい値を示している。これらの値は比較的分解の進んだ低位泥炭のものよりも小さく、A地点の全4層とB地点の第2層まではミズゴケを主とする生きた植物体、あるいはその分解未熟な繊維質分の多い遺体で形成されているといえる。また、強熱減量にA地点で90%前後の大きい値が得られていることから、泥炭地の高位部には未分解な植物繊維が堆積しており、典型的な高位泥炭地が形成されているといえる。

B地点の第3層以深においては、真比重と仮比重の値が大きくなることや、強熱減量が小さくなる傾向が見ら

れる。これらのことから、赤井泥炭地の低位部には無機質成分が多く含まれているといえる。

分解度はB地点で高く、特に第3層および第4層で83%以上であった。このことから、B地点の方が植物遺体の分解が進行していることがわかる。B地点の第3層以深には無機質成分が多く含まれており、黒泥化の進行が見られる。泥炭が酸化条件下におかれると、微生物による分解が活性化されて黒泥化が進行することから、赤井泥炭地の地表水のほぼ流木にあたるB地点では、微小な無機質成分が堆積しやすいうえに、少雨期に地下水位の低下が起り易いと推察される。

植物繊維が層状に堆積するとされる泥炭の透水性には異方性が見られ、透水係数は一般に水平方向のそれが大きいといわれる。しかし、試験の結果、水平方向と垂直方向の係数に大きな差は見られなかった。ただし、両地点とも、第1層で 10^{-1} オーダーと透水性が極めて大きいものに対して、第3層以深では 10^{-3} のオーダーと上下層間の係数に比較的大きな差が見られた。これらのことから、地下水位が高位で安定している赤井泥炭地では、表面に供給された降雨の多くは透水性のよい表層を緩勾配に従ってゆっくりと水平方向に流下していくといえる。また、第3層以深の透水係数は後述する現場における浅層地下水の流速($10^{-4} \sim 10^{-5}$ cm/secのオーダー)の値を地表面の動水勾配 $1/200 \sim 1/300$ ($= 10^{-2}$ オーダー)の値で除したものであり、この透水試験の結果は現場での水移動を表す値として妥当なものといえよう。

両地点とも、下層ほど体積収縮率が大きく、乾燥によ

表-1 理化学性試験の項目と方法

Table 1 List and method of tests on fundamental physical-chemical properties

項 目	方法および特記事項
比 重 試 験	真比重: 250 ml メスフラスコを使用 仮比重: pF 試験時の体積とが乾燥重量より計算
強熱減量試験	700°C 電気炉にて加熱燃焼
透 水 試 験	低水位法による 試料形は縦 60×横 55×試料 L (mm) の角柱形
収 縮 試 験	直読法にて体積を測定 pF 試験時の体積変化から体積収縮率 (c) を計算 体積収縮率 (c) は飽和状態の体積 (V_1) を 100% とした $c = (V_1 - V_0) / V_1 \times 100$ V_1 : 飽和時体積 V_0 : が乾燥後体積
分解度試験	水洗法による 0.25 mm フルイを使用
pF 試 験	砂柱法による pF 0~1.5 まで 試料形は縦 34×横 34×高さ 70 (mm) の角柱形

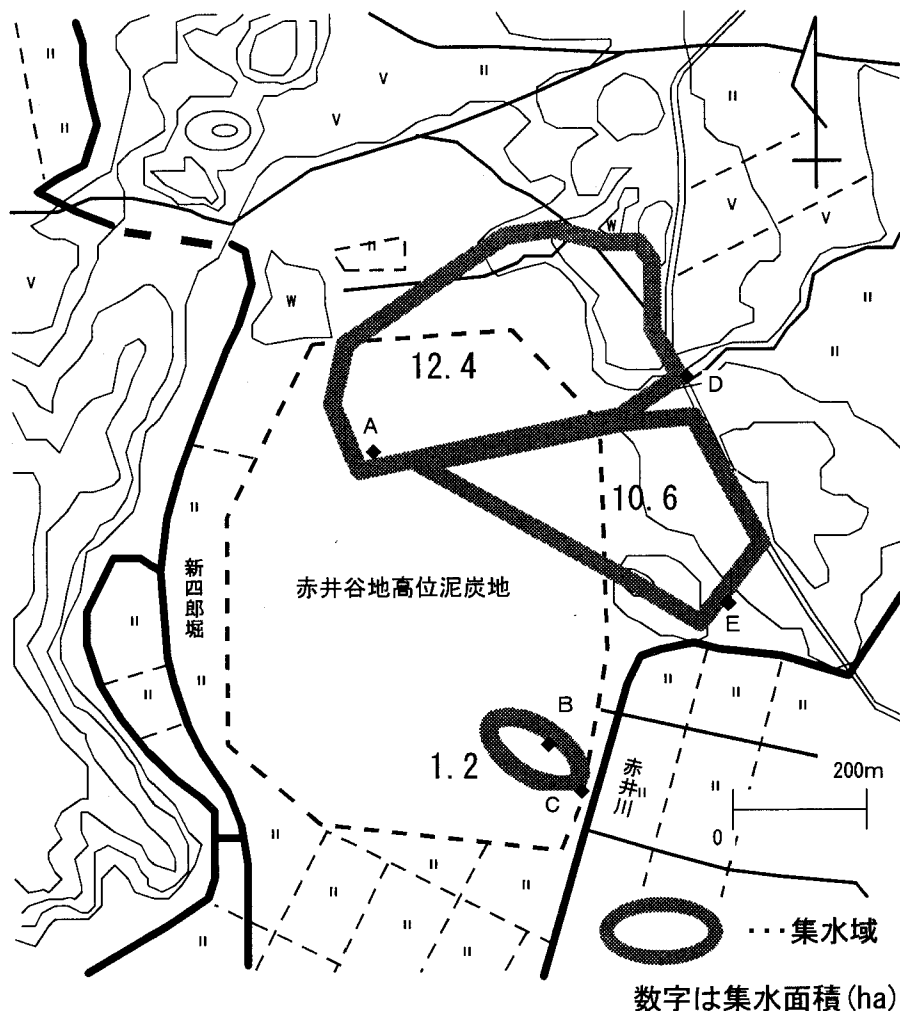


図-2 調査地点

Fig. 2 Research field.

る体積変化が生じ易いと言える。特に、B地点の第3層以深では70%以上とその値が大きく、黒泥化した泥炭が乾燥によって大きな収縮挙動を示すことが明らかである。

pF-水分試験の結果を基に、pF 1.5までで排水される大間隙の水分量を重力排水量とすると、両地点とも、表層でミズゴケを主とした植生に特有の大間隙が多く存在し、自由に移動できる水分量が多いといえる。また、図-3から透水係数の対数値と重力排水量の高に高い正の直線の相関が見られ、地下水位の高い赤井泥炭地においては、表層部が大きな透水性を示すことから、表層部における水の移動量が極めて多いと思われる。

3. 高位泥炭地の水移動

1) 浅層中の水の流向流速

地下水の流向および流速を推定する方法としてはいくつかのものが開発、提案されている。ここでは、比抵抗式孔内地下水流向流速計を用いる方法で泥炭浅層中の水の流動を明らかにすることを試みた。この方法は比抵抗が地下水のものと異なる溶液（トレーサー）の移動を孔内に固定された電極で比抵抗の変化として測定するものである⁹⁾。単一の孔で測定が可能で、測定孔が直径12cm程度であること、トレーサーとして蒸留水が使用されることにより、調査地の現状に大きな改変を及ぼさないことから、この方法は天然記念物指定地である赤井

表-2 泥炭の基本的理化学性
Table 2 Fundamental physical-chemical properties of peat layer

地点	深度 (cm)	真比重	仮比重	強熱減量 (%)	透水係数 (cm/sec)		体積収縮率 (%)	分解度 (%)	重力排水量 (体積%)
					垂直方向	水平方向			
A	0~10	1.509	0.032	95.95	1.44×10^{-1}	9.44×10^{-2}	25.77	45.69	56.10
	10~20	1.617	0.057	94.80	8.68×10^{-3}	6.33×10^{-3}	55.77	54.72	34.30
	20~30	1.551	0.065	89.46	5.52×10^{-3}	4.79×10^{-3}	59.98	78.85	26.99
	30~40	1.619	0.062	89.99	1.84×10^{-3}	2.06×10^{-3}	62.69	71.24	26.30
B	0~10	1.666	0.029	87.93	2.82×10^{-1}	6.18×10^{-1}	29.23	57.03	61.73
	10~20	1.713	0.046	80.72	4.35×10^{-2}	3.06×10^{-2}	36.10	65.15	46.01
	20~30	1.775	0.126	67.72	4.45×10^{-3}	5.49×10^{-3}	70.11	83.67	23.16
	30~40	1.837	0.175	52.62	1.82×10^{-3}	7.33×10^{-4}	77.08	95.94	13.13

※ 体積収縮率は飽和状態の体積を 100% にして算出

※ 重力排水量は pF 1.5 までで排水される量として表示

※ 分解度は水洗法により 0.25 mm フルイ通過分の質量割合を示す

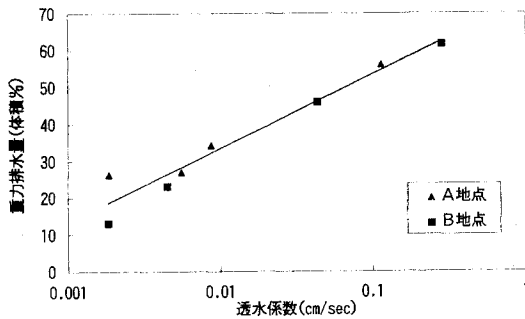


図-3 透水係数と重力排水量の関係

Fig. 3 Relation between hydraulic conductivity and gravitational drainage discharge at A and B point.

泥炭地に適しているといえる。測定地点は指定地内の 12 地点であり、測定日は平成 5 (1993) 年 9 月 30 日~10 月 2 日、平成 6 (1994) 年 11 月 19 日~22 日、平成 7 (1995) 年 9 月 1 日~2 日および 10 月 7 日~10 日であった。

測定結果は表-3 に、特に流向は図-4 に示す通りである。地点により測定深度に多少の違いがあるが、深さ 1 m 程度までの浅層中の水の流向については、泥炭地北部で北方向および西方向への流れ、それ以外の地点で南東方向および東方向の流れであるといえる。泥炭地のドーム頂上が測点 No. 2 の辺りであることから、このドーム頂上を境に北部と南部で水の流向に差異が生じているといえよう。また、浅層中の水の横方向への流速は 10^{-4} ~ 10^{-5} オーダー (cm/sec) であった。

2) 水移動の機構

赤井泥炭地に供給された水の流動を量的に把握する目

的で赤井泥炭地からの流出水量の測定を行った。降水など赤井泥炭地に供給された水は地表および地下から多くの箇所流出している。泥炭地全体の流出特性を明らかにするためには、泥炭地からの全流出量を実測する必要がある。しかし、現実的には、それが不可能であることから、現地踏査により、特に流出量が多いと思われる C、D および E の 3 地点において流出量を計測することとした (図-2)。泥炭地盤の物理性により降水は表層のミズゴケ植生の人間隙をその勾配に沿って流動していくと推察されることから、水準測量による地表面の高低に基づいて各計測地点に関する集水域および集水面積を示すと図-2 のようである。流出箇所には量水用の三角堰を設置し、そこを流下する水の越流高を自記水位計により計測した。計測した水位データ (m) を三角堰の流量公式により、流量 (m^3) に変換して日流量を求めた⁵⁾。

流出水量の計測結果は図-5 に示す通りである。E 地点では、周辺の水田の水管理や赤井川の水位の影響を受けて、連続する良好なデータが得られなかった。地点間の流出水量の差を見ると、D 地点が最も多く、C 地点が最も少ない。集水面積に大きな差がない D および E 地点での流出水量を比較すると、E 地点のものは降雨直後のピーク流出水量は大きく、その後の流出水量の減少勾配も大きい。それに対し、D 地点のものはピーク流出水量が小さく、その後の流出水量の減少勾配も比較的緩やかで小さい。

流出量の変動を特に良好にデータが得られた D 地点のものでみると、平成 6 (1994) 年の渇水期に極度の流出水量の減少があるが、それ以外の時期ではほぼ日量 $100 m^3$ 以上と安定した流出水量が見られた。D 地点の流出量に安定性が見られるのは、E 地点と比較して集水域の

表-3 浅層地下水の流向流速
Table 3 Groundwater flow direction and velocity in shallow layer

測点番号	測定年月日	測定深度 (cm)	流 向	流 速 (cm/sec)
No. 1	1993/09/30	-60	SEE	6.87×10^{-4}
No. 2	1993/10/01	-48	SSW	9.74×10^{-5}
No. 3	1993/10/02	-75	なし	0
No. 4	1994/11/19	-55	なし	0
No. 5	1994/11/21	-45	NNW	2.31×10^{-5}
No. 6	1994/11/22	-46	SSE	3.47×10^{-5}
No. 7	1995/09/01	-42.5	NNW	1.04×10^{-4}
No. 8	1995/09/02	-35	NNW	5.68×10^{-4}
No. 9	1995/10/07	-34	NW	1.04×10^{-3}
No. 10	1995/10/08	-25	NWW	1.39×10^{-3}
No. 11	1995/10/09	-35	NWW	1.79×10^{-4}
No. 12	1995/10/10	-28	NWW	4.13×10^{-4}

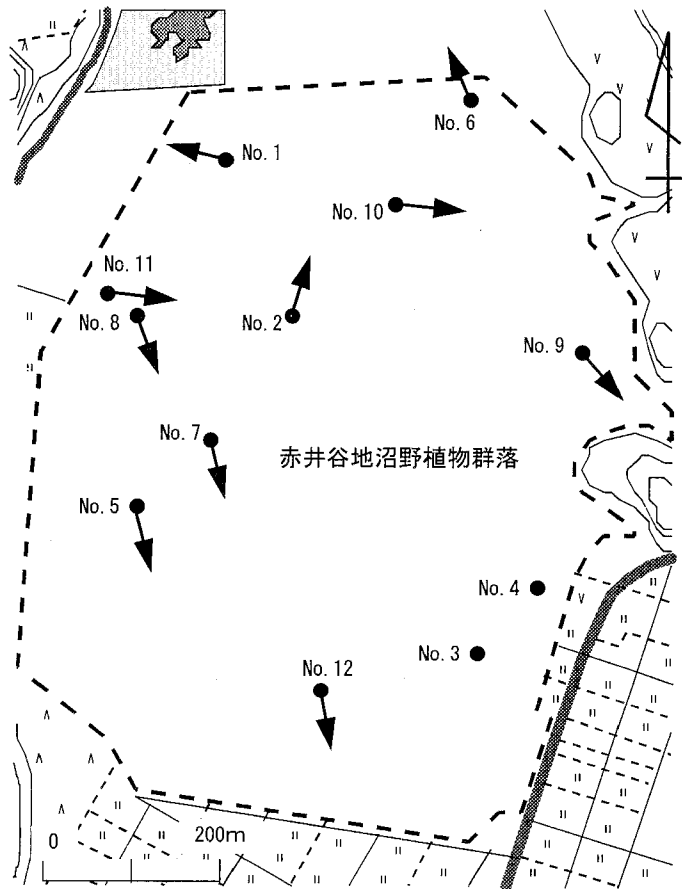


図-4 赤井泥炭地の水の流向

Fig. 4 Groundwater flow direction in shallow layer of Akai high-moor peat land.

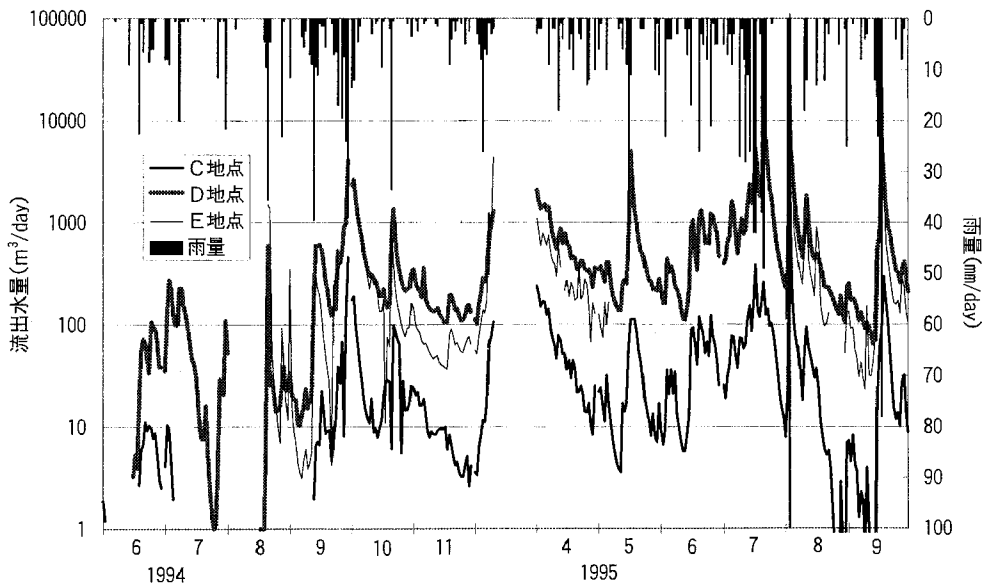


図-5 流出量ハイドログラフ

Fig. 5 Hydrograph at C, D and E point.

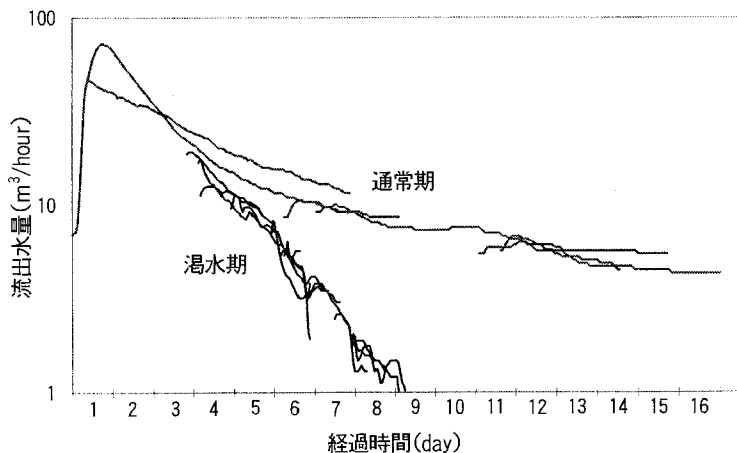


図-6 通減曲線

Fig. 6 Recession curves at D point.

勾配が小さいことや、集水域に湧水が確認されているように、それによる地下水の流出があることによると考えられる。

D地点での流出ピーク後の流出水量の減少勾配を表す通減曲線を同一の図上に集めて描くと、渇水期の曲線と通常期のそれに大きな差が認められた(図-6)。このことから、平成6(1994)年の渇水は赤井泥炭地の流出特性に大きな変化をもたらしたと考えられた。

雨量と流出高の関係、すなわち流出率(f)は一つのまとまった流出中の全雨量(R)に対する有効雨量(R_E)、

すなわち流出高(Q)の比として定義される⁴⁾。

$$Q = R_E = R - L \quad (L \text{ は損失降雨})$$

$$f = \frac{R_E}{R} = \frac{Q}{R}$$

流出率(f)は土壌水分、降雨強度、全降雨量、降雨継続時間、気温、風速、植生被覆度などに依存する。

水平分離法により、ハイドログラフから基底流出を差し引き、ある期間の全雨量(R)に対応した流出高(Q) (流出水量を集水面積で除したもの)を分離した。

得られた流出水量(Q)と降雨量(R)の関係は図-7に

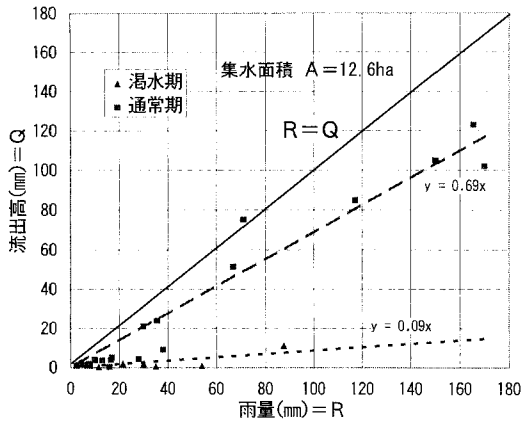


図-7 雨量と流出高 (D 地点) の関係

Fig. 7 Relation between rainfall and runoff discharge at D point.

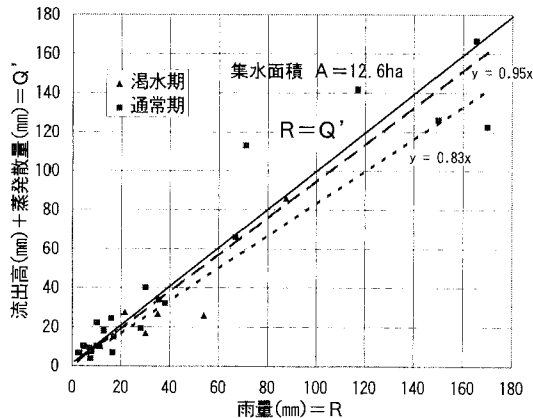


図-8 雨量と流出高 (D 地点)+蒸発散量の関係

Fig. 8 Relation between rainfall and runoff discharge at D point added to potential evapotranspiration.

示す通りである。図-7 は解析に役立つデータ量の得られた D 地点のものを示しており、その関係を見ると次のことがいえる。平成 6 (1994) 年の渇水期では流出率が 0.1 程度であるのに対し、それ以外の期間のものでは 0.69 であり、流出率に大きな差が見られ、明らかに渇水期の流出特性に大きな変異があったと見られる。

降雨量のうち、流出に関わらない水量、すなわち損失降雨の要因を明らかにすることは、今後の赤井泥炭地の水環境の整備にあたっての貴重な事項を与える。渇水期の流出率が著しく小さいことの要因として、一般の土壌では土壌水分が少なくなることが考えられる。しかし、

赤井泥炭地のように地下水位が高位で安定に推移する地盤条件の場合、渇水期に泥炭地盤中の水分の減少の影響が大きくなることとその要因とは考えにくい。すなわち、地下水位が推移する泥炭地盤での透水性が大きいことや重力排水量が多いことから考えて、降雨の多くがミズゴケの泥炭層中に保持されるとは思われにくい。降雨は、高位で推移する地下水面まで速やかに浸透し、そこで速やかに流出に関わる水量となる。これらのことから、損失降雨の主因は蒸発散と考えられる。

そこで、蒸発散量を調査地における気象観測のデータからペンマン法により推定した。なお、気象観測データは国立環境研究所の計測によるものであった。

この推定法に必要な気象観測データは日照時間、風速、気温、相対湿度の日データと観測地点の緯度、風速測定高度およびアルベド (反射率) とである。これは、流出率を規定する要因のうちの降雨、降雨継続時間、気温、風速などの気象に関する要因のほとんど、関数としてではあるが植生に関する値を含んでおり、有効性と高い精度を期待できる蒸発散量の推定法といえる²⁾。また、ペンマン法は「水分不足が生じてなく、草丈が短く完全に地表面を覆った草地からの蒸発散量を推定する式」と定義されており、赤井泥炭地のように地表面が主にミズゴケの植生で覆われ、地下水位が高位で安定する泥炭地における蒸発散量の推定には最も適合性があると考えられる。緯度としては 37°30′、風速測定高度としては 3.3 m およびアルベドとしては草地での一般的な値 0.25 を計算に用いた。

D 地点のものについて、計算された蒸発散量に流出高 (Q) を加えたもの (Q′)、降雨量 (R) との関係を示すと図-8 の通りである。特に渇水期の蒸発散量は大きく、通常期および渇水期のものとも流出率 (f) = 1 の直線上に集まり、雨量 = 流出高 + 蒸発散量の相関の高いことが分かる。このことから、損失降雨の多くは蒸発散量であり、赤井泥炭地の地表面に供給された降雨は表層移動と蒸発散によって消費されているといえる。

3) 水移動から見た高位泥炭地の成因

赤井泥炭地内外で見られる湧水の温度および 100 cm 以上の地温が年間を通じて 11°C 前後で安定している⁹⁾ ことから、赤井泥炭地内の地下水は周辺山地からの地下水に起因していると考えられている。上述の赤井泥炭地における調査の結果と考えあわせると赤井泥炭地とその周辺を含む地域の水移動は概ね図-9 のようであると考えられる。これにより、赤井泥炭地が形成されてきた要因としては、以下の事柄が指摘できる。

- ① 北流する赤井川の流末が赤井泥炭地北側での火山性泥流堆積物によって堰き止められたこと。

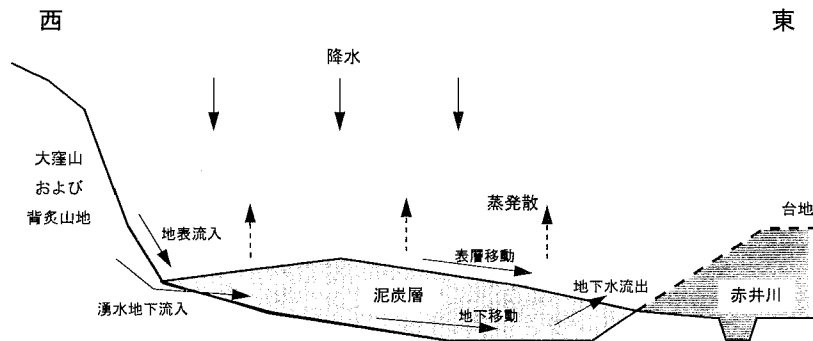


図-9 赤井泥炭地における主な水移動

Fig. 9 Outline of water flow inside and around Akai high-moor peat land.

- ② 赤井泥炭地を含む赤井川水系が西側から東側に傾斜した水の流れを持っており、その流れが東側の台地で堰き止められたこと。
- ③ 西側にある大窪山および背炙山地に降った雨がゆっくりと地下浸透し、安定した水量と低温の地下水として赤井泥炭地の周辺地盤中に湧出すること。
- ④ 赤井泥炭地中に湧出する低温の水が泥炭地の地下水量の多くを賄うとともに、泥炭地を形成させる上で不可欠な植物遺体の分解抑制をなすこと。

これらの事柄が、赤井泥炭地が形成され、これまで維持されてきた必要かつ重要な水環境条件であると考えられる。従って、今後赤井泥炭地を保全していく際には、上述の水環境を保全していくことが最優先にされなければならない。また、これらの条件は他の多くの泥炭地の成因のものとも概ね共通すると思われる。

4. 高位泥炭地の保全における課題

泥炭地の保持にとって、重要な環境要素は水環境であるといえよう。地盤の理化学的な性質の形成も水環境に支配されることは周知の通りであり、赤井泥炭地においては、分解活性を抑制する低温の豊富な水の存在により、数千年という年月をかけて植物遺体が未分解のまま堆積し、今日の泥炭層が形成されてきた。現状の泥炭地盤の理化学性を維持したり、改変されたそれを元の状態に回復させるためには、水環境の質的および量的な保全が必要不可欠の課題となる。今後は、水環境の保全策として、周辺地域の土地利用のあり方や、土木的な手法も検討されるべきであろう。

周辺地域の土地利用のあり方については、泥炭地の保全に対する周辺住民の協力と理解が不可欠なことから、慎重に議論を進めながら考えられるべきであるし、土木的な手法については、泥炭地へはもちろん、周辺地域への配慮もなしたものであることが要求される。

現在、赤井泥炭地の周辺水田の圃場整備、土層改良お

よび用排水改良といった生産基盤整備事業において、赤井泥炭地の水環境に配慮した計画が練られつつある。その成果に期待したい。

5. おわりに

本研究では、貴重な植物が生育する高位泥炭地の保全にとって、その主成因である水環境、特に泥炭地盤における水移動を明らかにする必要があることから、赤井谷地高位泥炭地を事例にしてそれを行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

高位泥炭地の深さ1 mまでの浅層中の地下水はドーム頂部から緩傾斜に沿って浅層中を流下する。降雨量の大部分は高位泥炭地の深さ20 cm以内の表層中を緩傾斜に沿って流下する。損失降雨の大部分はミズゴケを主とする湿原植物および地表面からの蒸発散に起因する。浅層および深層の地下水の大部分は周辺山地から地下で泥炭地内に湧出して泥炭層中を横流動する低温の水で賄われる。この低温の地下水は泥炭地の形成に不可欠な植物遺体の分解抑制をなす。今後、赤井谷地高位泥炭地を保全するには、これらの水環境を保全しなければならない。他の高位泥炭地においても、これらと概ね類似する水環境の保全が指摘されよう。

今後は、高位泥炭地の保全のあり方について追究していきたい。

〔謝 辞〕

最後に、本研究を進めるにあたり、会津若松市教育委員会の方々には多大な協力を戴いた。記して感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 福島県 (1983): 県営会津中田地区土地改良事業計画表 (県営かんがい排水事業)。
- 2) 畑地農業振興会 (1992): 畑地灌漑の新展開—明日の畑かんを目ざして—, 畑地農業振興会, pp. 136

- ～160.
- 3) 服部信司 (1992) : 先進国の環境問題と農業, 富民協会, pp. 50～57.
 - 4) 日野幹雄・長谷部正彦 (1985) : 水文流出解析—FORTRANとBASICによる—, 森北出版, pp. 27～41.
 - 5) 石橋 豊・田邊邦美・内藤利貞・林 弘宣(1974) : かんがい施設, 農業水利演習, 3, コロナ社, pp. 199～201.
 - 6) 檜村利道 (1984) : 日本の天然記念物 植物 I, pp. 48.
 - 7) 檜村利道 (1992) : 赤井谷地及びそれに対する近隣水田開発の影響について, 福島大学特定研究報告, 3, pp. 97～107・pp. 117～119.
 - 8) 加藤 誠・鹿野快男・平田洋一・平山光信(1988) : 比抵抗式孔内地下水流向流速計の原理と測定例, 土壤の物理性, 58, pp. 56～67.
 - 9) 笹田勝寛・河野英一・加藤 誠・石川重雄(1995) : 天然記念物指定地「赤井谷地湿原」の基盤環境と保全の課題, 第9回環境情報科学論文集, pp. 11～16.
 - 10) Yoshioka, K (1961) : Phytosociological study in the vegetation of Akaiyachi Moor. Ecol. Rew. 15 (3), pp. 163-175.

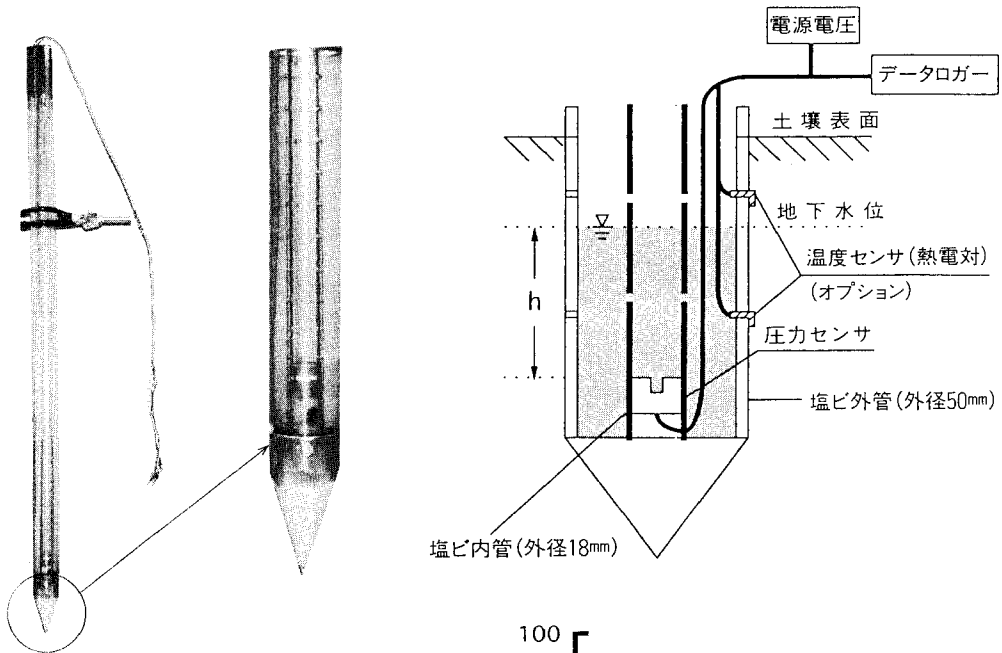
受稿年月日: 1996年5月20日

受理年月日: 1996年10月2日

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



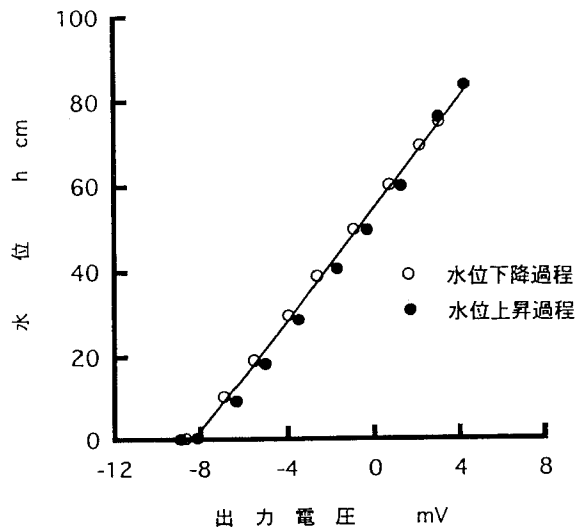
2. 圧力センサ (拡散型半導体圧力変換器)

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

Effect of Saline Irrigation Water on Soil Water Potential and Plant Water Stress

M.M. AHMAD*, R. YASUTOMI** and M. KATO***

* The United Graduate School, Tokyo University of Agriculture and Technology

** Yamazaki Research Institute Co., Ltd., Fudoson Bldg., 5, Yotsuya
3-chome, Shinjuku-ku, Tokyo, Japan

*** Land Use Engineering Laboratory, Tokyo University of Agriculture and
Technology 3-5-8 Saiwai-cho, Fuchu-shi, Tokyo 183, Japan

Abstract

Soil water retention considering matric and osmotic potentials is a prerequisite for understanding saline irrigation and water stress in arid and semi-arid regions. The experiment was conducted to study salinity effect on pF , evapotranspiration and plant water stress. It was assumed that soil water potential is the sum of the matric and osmotic potentials.

The experiment of plant water stress using Komatsuna was carried out in a growth chamber (phytotron) at 25°C temperature and a relative humidity of 70%. The results exhibit that soil salinity increased after each irrigation causing an increase in osmotic potential component of the total soil water potential. The evapotranspiration decreased as salt concentration increased which is due to higher osmotic potential component. Higher salt concentration could increase pF so that availability of water to plants decreased. The results of the experiment showed that the osmotic potential was the dominant component of the adjusted pF (including osmotic potential component) in saline water treatments. The osmotic potential component value also contributed in the wilting of the plants. The results of the study suggest that the concept of pF value including matric and osmotic potential components can be used in applying soil water retention curves of salt affected soils for the development of lands in arid and semi-arid regions.

Key words : Soil water potential, semi-arid region, soil salinity, water stress

I. Introduction

Soil salinity (osmotic potential) and soil water (matric potential) are not separable variables particularly their relation to crop response. Because no salt is transferred to atmosphere by evaporation or transpiration, therefore salts are concentrated in the soil. Letey (1984) pointed out that the presence of dissolved salts in the soil water causes the osmotic component of soil water potential be considered in the basic flow equation. The evaluation of quantitative effect of an osmotic potential gradient on water flow through soil had to established. Kaneki and Tomita (1975)

applied the osmotic stress of the medium from pF 3.1 to pF 4.5 for cucumber plants and observed the osmotic stress response.

Nozaka (1993) estimated the effect of soil water potential on transpiration under saline irrigation water. Their result showed that the transpiration ratio (the ratio between the transpiration under saline and fresh water) decreased exponentially with increase in salt concentration in the irrigation water, as the soil water potential decreased. In the field matric and osmotic potential components work in unison; as evapotranspiration occurs, the soil dries and salts are concentrated in the remaining soil water (Hoffman, 1983). Child

and Hanks (1975) demonstrated that under variable salinity (osmotic potential) relative transpiration was related to relative yield in the same manner as water stress (matric potential). Iwata (1995) pointed out that the concept of pF presented by Schofield (1935) had a weakness of neglecting osmotic potential.

An absolute shortage of rain and water resources existing in arid and semiarid zones, makes a necessity of economical water use for sustainable agricultural production. Marginal water in the area may contain large quantities of soluble salts. A knowledge of the amount of water held by the soil at various pF value in relation to salts content is required. Using pF values it facilitates to understand the amount of water that is available to plants, the water that can be taken up by the soil before percolation starts, and the amount of water that must be used for irrigation. Therefore the present research study was conducted to evaluate the effect of soil salinity on pF, evapotranspiration and plant water stress. Moreover, to confirm the hypothesis that soil water potential comprises of the matric and osmotic potentials of the soil solution in arid and semi-arid regions.

II. Experimental Procedure

1. Conditions of the Experiment

Soil samples were prepared with same density and saturated with fresh water and salt solutions. Sandy loam soil was packed in 100 cm columns for the measurement of volumetric water content and its pF values. Water having electrical conductivity (EC) of 0.32, and 2.21, 6.30 and 10.50 dS/m respectively used for the experiment (Table 1). Water contents were measured at different matric heads by pressure plate apparatus and centrifuge machine respectively varying pF from 1-4. Osmotic potential was calculated from the electrical conductivity of saline water. Matric and osmotic components were added to estimate pF values.

Komatsuna (*Brassica Campestris* L. var. *Perviridis*), a vegetable crop was planted in pots with a depth of 140 mm and diameter of 110 mm. Komatsuna was used because of easy growing and short period of growing. The temperature maintained at 25°C with relative humidity maintained 70% in the plant growth chamber (phytotron). All the pots were filled with sandy loam soil having a field capacity and bulk density 27% and 1.31 g. cm⁻³ respec-

Table 1 Characteristics of irrigation water

Treatment	Concentration		EC of water under	Osmotic pressure*
	NaCl (%)	Sorbitol (Molarity)	NaCl treatment (dS/m)	(cm H ₂ O)
T 1	—	—	0.32	—
T 2	0.1	0.053	2.21	1,355
T 3	0.3	0.151	6.30	3,856
T 4	0.5	0.252	10.50	6,426

* Osmotic pressure calculated by Eq. (3)

Table 2 Some physical characteristics of sandy loam soil

Sand <2.00*	Silt <0.02* (%)	Clay <0.002*	Bulk density g cm ⁻³	Field capacity at pF=1.5 (%)
74.2	16.9	8.9	1.31	27

* Particle size in mm based on International Soil Science Society (ISSS).

tively (Table 2). Experiment was conducted in the pots, irrigated with water of four qualities. The control treatment was fresh water (T1) having electrical conductivity (EC) of 0.32 dS/m, and three saline treatments were T2, T3, and T4 with EC values of 2.21, 6.30, and 10.50 dS/m, respectively.

2. Evapotranspiration and Soil Salinity Measurement

The saline water was obtained by adding appropriate amount of NaCl and equivalent osmosis solution with electrical conductivity was made by adding Sorbitol to fresh water for avoiding the pathological effect of salts (Table 1). The irrigation interval was three days with depth varied 4 to 12 mm/irrigation to maintain the pots at field capacity (pF=1.5) without drainage. The amount of water loss by evapotranspiration was determined by weighing the pots after the first irrigation and before each of the subsequent irrigation. Calculation was made by considering water added to maintain field capacity.

The sampling of soils were done at 0, 2, 5, and 8 cm depths before each irrigation and at wilt-point for monitoring matric and osmotic potentials by measuring soil water content and soil salinity respectively. The value of electrical conductivity ($EC_{1:5}$) is influenced by the temperature of the soil solution, therefore all $EC_{1:5}$ data were calibrated to a temperature of 25°C for a valid comparison. A temperature correction to 25°C (EC_{25}) was approximated by the following equation (Tanji, 1990).

$$EC_{25} = EC_t - 0.02 (t - 25) EC_t \tag{1}$$

where EC_t = the electrical conductivity at temper Reports on Engineering Practices No. 71, p. 48. .mate EC_e by following formula (Landon, 1984).

$$EC_e = 6.4 EC_{1:5} \tag{2}$$

III. Results and Discussions

The most important water quality parameter from the standpoint of salinity is the total salt concentration. The most important single use of total salt concentration is to estimate the osmotic potential. Electrical conductivity

(EC_e) is also a simple index to total concentration of dissolved salts in a given irrigation water and soil solution extract (Bresler, 1982). In this research study the osmotic potential was estimated from the EC_e of the soil by the following formula (Tanji, 1990).

$$\tau_o = 40 EC_e \tag{3}$$

Where

$$\tau_o = \text{Osmotic potential (kPa)}$$

EC_e = Electrical conductivity of saturat-ed extract (dS/m) at 25°C

The pF function defined by Schofield (1935) as the \log_{10} of the numerical value of negative potential of the water expressed in cm H_2O , if osmotic potential is negligible. In this study pF estimated by adding osmotic and matric potentials. It will be significant in the irrigation planning of dry lands for prevention of water stress and saline effect.

$$pF = \log_{10} (Hm + Ho) \tag{4}$$

Where

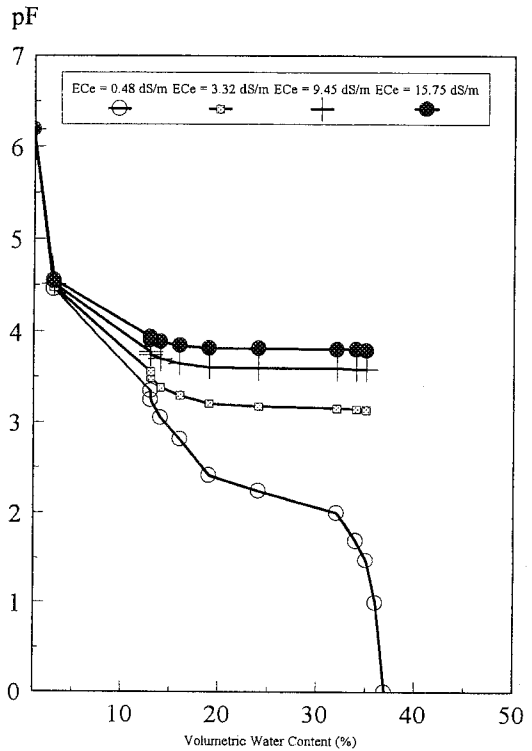


Fig. 1 Water retention curves of sandy loam soil under various salinity treatments.

H_m = matric potential in $cm H_2O$

H_o = osmotic potential in $cm H_2O$

1. Total Water Potential

Soluble salts concentration as well as sodium adsorption ratio are important parameter affecting the plant growth and soil conditions. An important use of total salt concentration is to estimate the osmotic potential. Electrical conductivity (EC_e) is a simple index to total concentration of dissolved salts in a soil solution extract, which was used in this study. Water retention curves of sandy loam soil under three salinity levels were developed and presented in Fig. 1.

pF values were 1.5 and 3.25 at 35 and 13 percent volumetric water content respectively, for no salt concentration. pF varied from 3.14 to 3.50 when EC_e was 3.32 dS/m. When EC_e increased to 9.45 dS/m, pF also increased up to 3.59 and 3.75 at 35 and 13 percent volumetric water content respectively. When EC_e was 15.75 dS/m, pF varied from 3.80 to 3.91 as shown in Fig. 1. The result showed that higher EC_e caused raising pF even though water content remained unchanged at all salinity levels. It showed that availability of water to plants decreased as salt concentration increased under saline conditions.

2. Evapotranspiration

Evapotranspiration (ET) of Komatsuna was measured for 24 days after sowing and pre-

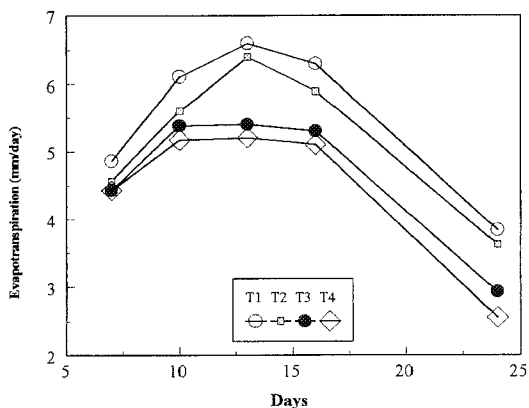


Fig. 2 Evapotranspiration (ET) of Komatsuna under various salinity treatments.

sented in Fig. 2. It increased according to the growth and decreased after two weeks. The results showed that under the control treatment (T1) ET was about 7.00 mm/day. When electrical conductivity of water increased to 2.21 dS/m, there was a little decreased in ET .

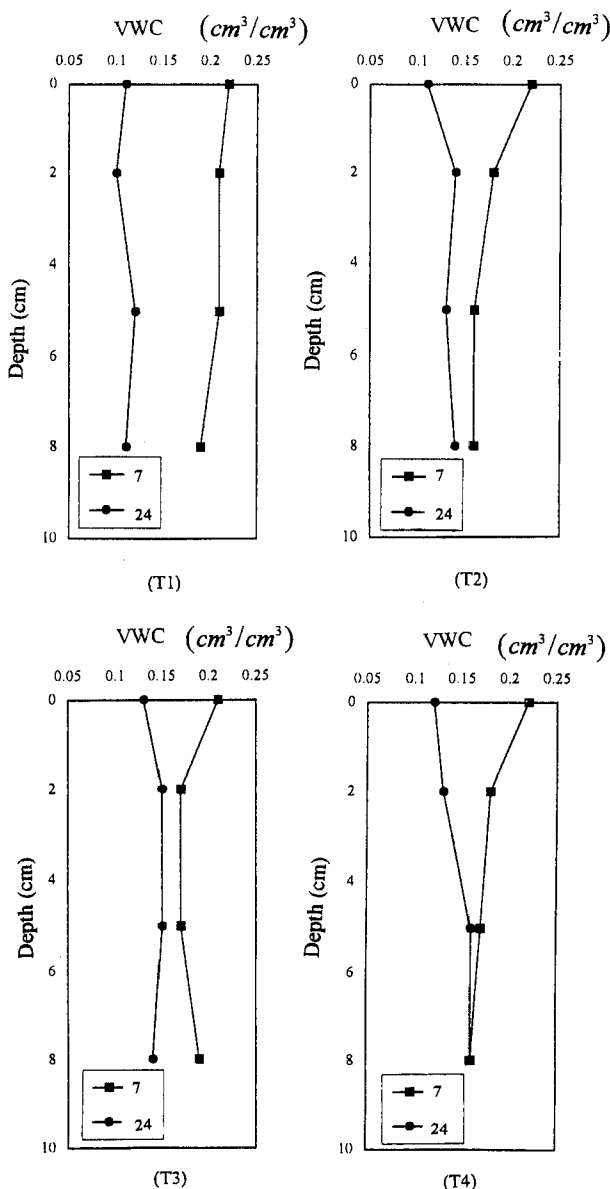


Fig. 3 Volumetric water content (VWC)-depth profile under various salinity treatment after 7 (before irrigation) and 24 (wilting stage) days sowing of Komatsuna.

However *ET* decreased down 7.00 to 5.00 mm/day when *EC* increased from 2.21 to 6.30 dS/m. There was a slight decrease of *ET* when *EC* increased up to 10.50 dS/m. This shows that evapotranspiration decreased as salt concentration increased, even the effect was rather small. Which may be due to evaporation of soil was less as compared to transpiration of the plants. The results obtained by Nozaka (1993) showed that the transpiration ratio decreased exponentially with increase in salt concentration in the irrigation water, as the soil water potential decreased. The results of this study are understandable according to the relationship.

3. Irrigation

Water content - depth profiles after 7 and 24 days sowing are shown in Fig. 3 for four treatments. These are initial and last growth stages. The water depletion patterns of soil were about similar in all saline treatments at each growing stage. Evapotranspiration during an irrigation interval results in reduced

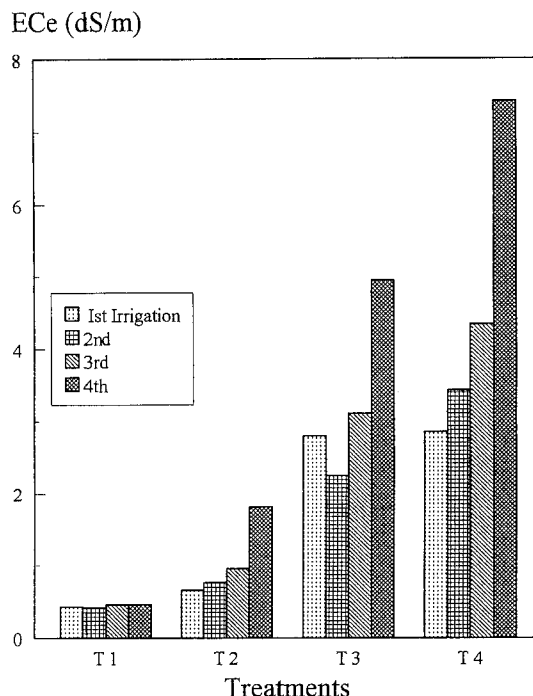


Fig. 4 Average salinity in different treatments after each irrigation.

Table 3 Matric and osmotic potential profile under various saline irrigation water treatments

Treatment	Days	Depth(cm)	Soil water potential (-kPa)									
			7		10		13		16		24	
			Matric	Osmotic	Matric	Osmotic	Matric	Osmotic	Matric	Osmotic	Matric	Osmotic
T1	▼	0	20.3	44.04	14.34	27.7	13.43	28.72	14.34	31.4	219.5	48.64
		2	21.94	13.2	14.34	14.41	13.43	11.7	14.34	15.6	219.5	15.36
		5	25.2	12.16	14.34	14.18	17.06	12.88	13.43	13.84	219.5	13.57
		8	37.91	11.8	16.15	13.36	14.33	12.26	14.34	12.84	219.5	13.06
T2		0	37.91	42.76	13.43	58.11	15.25	71.94	15.25	94.48	219.5	401.9
		2	20.3	12	16.15	18.23	15.25	22.71	14.34	27.96	153.1	29.18
		5	37.91	12.4	15.25	15	15.15	15.62	15.25	17.76	201.6	16.64
		8	63.3	10.68	17.06	14.69	15.25	12	12.53	14.64	140	14.34
T3		0	21.94	31.2	13.43	215	18.69	279	16.15	381.7	168.4	1,144
		2	50.62	13.16	16.15	23.35	18.69	42.07	16.15	67.08	85.88	103.7
		5	50.62	10.88	16.15	13.47	18.69	23.92	16.15	30.92	84.9	34.3
		8	25.2	10.76	16.15	21.21	16.15	14.77	16.15	17.24	149.5	30.46
T4		0	20.3	31.96	20.31	347.0	17.06	476.2	18.69	568.3	219.5	1,718
		2	63.33	11.56	17.06	34.58	23.57	36.92	18.69	67.84	219.5	148.5
		5	37.91	10.64	20.31	40.06	20.31	19.79	17.06	35.76	63.3	52.99
		8	50.62	11.06	20.31	34.46	18.69	15.87	18.69	22.8	63.3	46.59

matric and osmotic potentials in the soil solution ; two soil water potential components that influence plant growth. Matric and osmotic potentials as these varied with time under all treatments are shown in Table 3. Matric potential was about same at all depths in saline as well as in non saline treatments. Matric potential decreased after 16 days sowing in upper depths because irrigation stopped. Electrical conductivity of soil solution extract (EC_e) was determined after each irrigation in the pot. Average EC_e in all soil treatments after each irrigation is presented in Fig. 4. EC_e increased after each irrigation in all saline irrigation water treatments.

4. Water Stress

Figure 5 show soil water potential as affected by salinity from 7 to 24 days. In treatment T 1 (control) no osmotic effect, it remained constant with time. The osmotic potential component showed its effect with increasing time. It was the dominant component of total soil

water stress in three saline treatments. Total soil water stress decreased in treatment T 1 and even in all other treatments after 16 days because there was no irrigation after 16 days. Wilting of Komatsuna plants was observed apparently in the Phytotron. First leaves become pale and then faded, which could be observed as permanent wilting of plants. At permanent wilting moisture content and salinity in all pots were measured.

Sorbitol was used to see pure effect of osmosis and to avoid the pathological effect due to Na ions on the crop. The molecular weight of Sorbitol is 182 g with formula ; $CH_2OH-(CHOH)_4-CH_2OH$. Three treatments of Sorbitol were applied to compare the osmosis effect with NaCl treatments. Table 1 shows that the same amount of osmotic pressure produced by NaCl and Sorbitol. Sorbitol was dissolved in the water and applied to the crop. The permanent wilting was observed at pF 4.25 and pF 4.21 under NaCl and Sorbitol treatments respective-

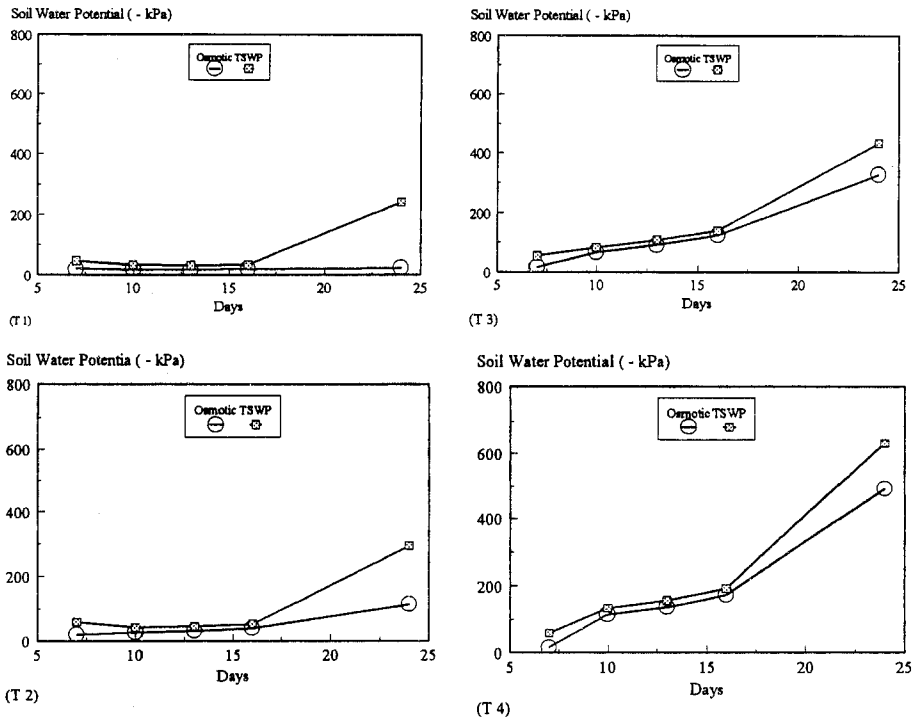


Fig. 5 Variation of total soil water potential (TSWP) and osmotic potential with time, when $EC_w = 0.32$ (T 1), $EC_w = 2.21$ (T 2), $EC_w = 6.30$ (T 3), and $EC_w = 10.50$ dS/m (T 4).

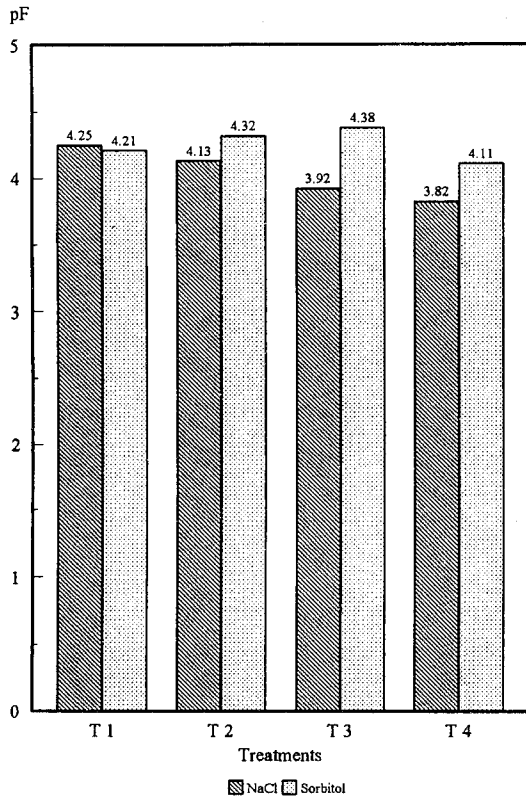


Fig. 6 pF at wilting of Komatsuna including osmotic and matric potentials.

ly, when no salts in irrigation water. When electrical conductivity of irrigation water was 2.21 dS/m, the permanent wilting was observed at pF 4.13 including osmotic potential. The permanent wilting was observed at pF 3.92 and 3.82 when EC of water was 6.30 and 10.50 dS/m respectively including osmotic potential component under NaCl treatment. The permanent wilting was observed at pF 4.32, 4.38, and 4.11 at same osmotic potentials in T2, T3, and T4 treatments respectively under Sorbitol application (Fig. 6). The osmotic potential component was a dominant component of the total soil water stress in saline irrigation water treatments. The osmotic component also contributed in the wilting of the plants. The pF values at permanent wilting point obtained under NaCl treatment were smaller than Sorbitol treatment. There may be some ions

effect on crop due to which it wilt at lower pF under NaCl treatment.

IV. Conclusions

Increasing salinity lead to increase pF without changing water content in all salinity levels. It showed that availability of water to plants under saline condition decreased by higher salt concentration. Evapotranspiration decreased down 7.00 to 5.00 mm/day when EC of water increased from 2.21 to 6.30 dS/m. Accumulation of salts effected osmotic potential component after each irrigation. The osmotic potential was a dominant component of total soil water potential in saline water treatments. It also contributed in wilting of plants.

In salt affected regions electrical conductivity is an important parameter for salinity measurement which may be used to estimate osmotic potential. pF including both matric and osmotic potential components can be used for irrigation planning to develop the salt affected soils in arid and semiarid regions. Detailed studies are needed of saline soils to further validate the effect of osmotic potential on plant growth, reclamation of salt-affected soils and water resources planning.

Acknowledgments

The authors wish to thank Dr. J. Karube for helpful suggestions and advice with respect to improve this paper.

References

- 1) Ayers, R.S., and Waistcoat, D.W. (1985) : Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29, Rome, Italy. pp.145~158.
- 2) Bresler, E., McNeal, B.L., and Carter, D.L. (1982) : Saline and Sodic Soils. Springer Verlag, New York. p.9.
- 3) Child, S.W., and Hanks, R.J. (1975) : Model for soil salinity effect on crop growth. Soil Sci. Soc. Am. Proc. Vol. 39, pp.617~622.
- 4) Hoffman, G.J., Jobes, J.A., and Alves, W.J. (1983) : Response of tall fescue to irrigation water salinity, leaching fraction, and irrigation

- frequency. *Agricultural Water Management* Vol. 7, pp.439~456.
- 5) Iwata, S., Tabuchi, T., and Warkentin, B.P. (1995): *Soil - Water Interactions, Mechanism and Applications*, 2nd Ed. Markel Decker, Inc. New York. p.9.
 - 6) Kaneki, R., and Tomita, M. (1975): Response of cucumber plants to water potential on the root hair surface, Basic studies on water movement in the soil-plant system (1). *Trans. JSIDRE* No. 57, pp.26~32.
 - 7) Landon, J.R. (1984): *Booker Tropical Soil Manual*. Booker Agriculture International Limited, England. p.163.
 - 8) Letey, J. (1984): Impact of salinity on the development of soil science. In: Shainberg, I., and Shalhevet, J. (eds.) *Soil Salinity Under Irrigation*. Springer - Verlag, Germany. pp. 1~11.
 - 9) Nozaka, J., Momii, K., and Yano, T. (1993): Estimation of transpiration under saline water irrigation. *Trans. JSIDRE* No. 164, pp. 47~54.
 - 10) Schofield, R.K. (1935): The pF of the water in soil. *Trans. 3rd Int. Cong. Soil Sci.* Vol. 2, pp. 37~48.
 - 11) Tanji, K.K. (1990): *Agricultural Salinity Assessment and Management*. ASCE Manual and Reports on Engineering Practices No. 71, p. 48.

塩分を含んだ灌漑水が土壌水分保持特性、 土壌乾燥ストレスに与える影響

M.M. アハマッド・安富六郎・加藤 誠

要 約

土壌の水分ポテンシャル特性曲線は土壌の作物に対する有効水分量を知るために重要である。実験は pF 値が毛管と浸透圧ポテンシャルの和で表されると考え、塩分水を含ませた砂壤土の pF 曲線を描いた。実験作物には水分ストレスを見るためにコマツナを用いた。コマツナ作物に対する土壌乾燥の実験には塩水処理した浸透圧を含む砂質土の標準水分保持曲線を描いた後に、温度 25°C、湿度 70% の成育栽培用のファイトトロンを利用した。灌漑の都度、土壌塩分量は増大して土壌内水分浸透圧成分の増大を招く。塩分濃度が増大するに従い、浸透圧成分が増大し、蒸発散速度は低下する。灌漑水の塩分濃度が増せば pF も増大するが、これは作物細胞が有する水分ポテンシャルと土壌水分ポテンシャルとの差が少なくなり吸水量も減少するためである。塩水灌漑における灌漑水の浸透圧ポテンシャルは全土壌水負圧増加の大部分を占め、作物のしおれ点にも関係している。

実験の結果、次のことが分かった。pF による土壌の水分管理には土壌・水分・作物系としての新しい見方が必要であり、乾燥地および半乾燥地の塩性土壌の開発には毛管ポテンシャルと浸透ポテンシャルを考慮した pF 値の概念の導入が望ましいことを示した。

受稿年月日: 1996年 6月 22日
受理年月日: 1996年 12月 14日

粘土の分散性に対する有機物の影響

—日置川造成農地の事例—

川田麻子・伊丹勝彦*・久馬一剛**・小崎 隆

The Effect of Organic Matter on Dispersibility of Clays
 —A case study of Hikigawa reclaimed agricultural land—

Asako KAWATA・Katsuhiko ITAMI*・Kazutake KYUMA**
 and Takashi KOSAKI

Faculty of Agriculture, Kyoto University,

* Faculty of Bioscience, Fukui Prefectural University,

** School of Environmental Science, the University of Shiga Prefecture

Abstract

The effect of organic matter and charge characteristics on clay dispersibility of the soils from a newly reclaimed agricultural land, Hikigawa, Wakayama Prefecture, was investigated from the changes with the passage of six years. The adjacent forest soils were examined as a comparison. In 1987 the reduced plant growth in the reclaimed agricultural land was attributed to the unfavorable physical properties of the soil induced by high dispersibility of clay. However, continuous application of a great amount of organic matter to the surface layer of the reclaimed area since 1989, resulted in an increase in total carbon content by ten times in 1993 in comparison with that of 1987, and also favorable plant growth had been obtained. In addition, during those six years, for the surface layer, clay dispersion ratio had decreased from 25% to less than 10%; other physical properties such as water-stable aggregate content, solid phase ratio and hydraulic conductivity had also been improved. Little clay dispersion after saturated by sodium ion indicated that the binding agent of clay particles was hardly-exchangeable organic matter rather than easily-exchangeable cations. In contrast, for the subsoil which remained in lower level of organic matter, such changes in physical properties as the surface soil were not observed. Charge characteristics of clay particles in the subsoil largely determined the dispersion behavior.

Key words : Reclaimed agricultural land, Clay dispersibility, Organic matter, Charge characteristics

1. はじめに

わが国の耕地面積は1965年には約600万haであったが、1994年には約508万haにまで減少した。1994年度の人為潰廃面積は年間約4.7万haであったのに対し、拡張面積は年間約0.7万haであり、耕地面積の減少はこの1年間で4.0万haにも上る(農林統計協会, 1995)。

しかも新規開墾地の質は低く、既耕地の潰廃を補っているとは言い難い。なぜなら大規模造成農地では造成過程で肥沃な表土は失われ、生物性に乏しい未熟な下層土が地表に現れるため、期待される生産力のレベルに到達しえないばかりか、物理性悪化や土壌侵食等の問題が起こることもあるからである(久馬, 1990)。

和歌山県西牟婁郡日置川町の日置川造成農地はこのよ

京都大学農学部 606-01 京都市左京区北白川追分町, * 福井県立大学生物資源学部 〒910-11 福井県吉田郡松岡町兼定島4-1-1,
 ** 滋賀県立大学環境科学部 〒522 彦根市八坂町2500

キーワード: 造成農地, 粘土の分散性, 有機物, 荷電特性

うな大規模造成農地のひとつであり、日置川開拓建設事業所並びに筆者らにより経年的に調査が行われてきた。本研究ではそれらをまとめ、日置川造成農地における土壌特性値の変化を明らかにし、さらに分散性を規定する因子として有機物および荷電特性について考察することを目的とする。

2. 調査地の概要

農林水産省近畿農政局日置川開拓建設事業所による日置川開発事業は1966年に始まり、1985年には総事業費63億円をかけて総面積170haの日置川造成農地が完成した。その中で最大の面積63haを持つ小森団地は1973年に完工し当初柑橘類が植栽されたが、3~4年後には生育不良地域が見られ始めた。

そのため1978年に日置川開拓建設事業所による調査が行われ、小森団地における生育障害は土壌の化学性ではなく物理性に起因するものであること、すなわち土壌硬度や固相率が大きく透水性が悪いため、表層水の排除が不十分で植物根の伸長を阻害していることが明らかとなった(日置川開拓建設事業所・榎日さく、1978)。その後対策として暗渠排水が行われ、柑橘類から、日置川の気候や市場の要請により適している梅への改植も始められた。しかしながら1987年の筆者らによる調査でも作

物の生育不良は改善されていなかった。

久馬(1990)はこの土壌物理性悪化の要因として、造成過程で表層に現れた下層土が高い分散性を示し、透水性を悪化させることを挙げた。またItami and Kyuma(1995)は日置川造成農地に隣接する自然植生下の土壌は、造成農地と母材を同じくするにも関わらず分散性が低いことに注目し、この土壌では難交換性のアルミニウム水酸化物が分散を抑制していることを明らかにした。

ところが1989年から1990年にかけて小森団地の入植者が入れ替わり、梅への改植を推進するとともに有機物を積極的に施用し始めた。西牟婁農業改良普及所によると、有機物の投入量は年間10aあたり1,000kgと推奨されているが、農家では自主的にもっと大量に施用していた。加えて果樹の下に生えている雑草は定期的に刈り倒され、その残渣は土壌に還元されていた。

1993年に筆者らが調査したところ小森団地での梅の植栽面積は全面積の9割以上となり、その生育も良好であった。梅は根の酸素要求度が高く、気相の多い土壌を好む(星川、1985)ことから、湿害を惹起していたような劣悪な物理性はかなり改善されたことが推察された。

3. 供試土壌

供試土壌は日置川造成農地小森団地において1987お

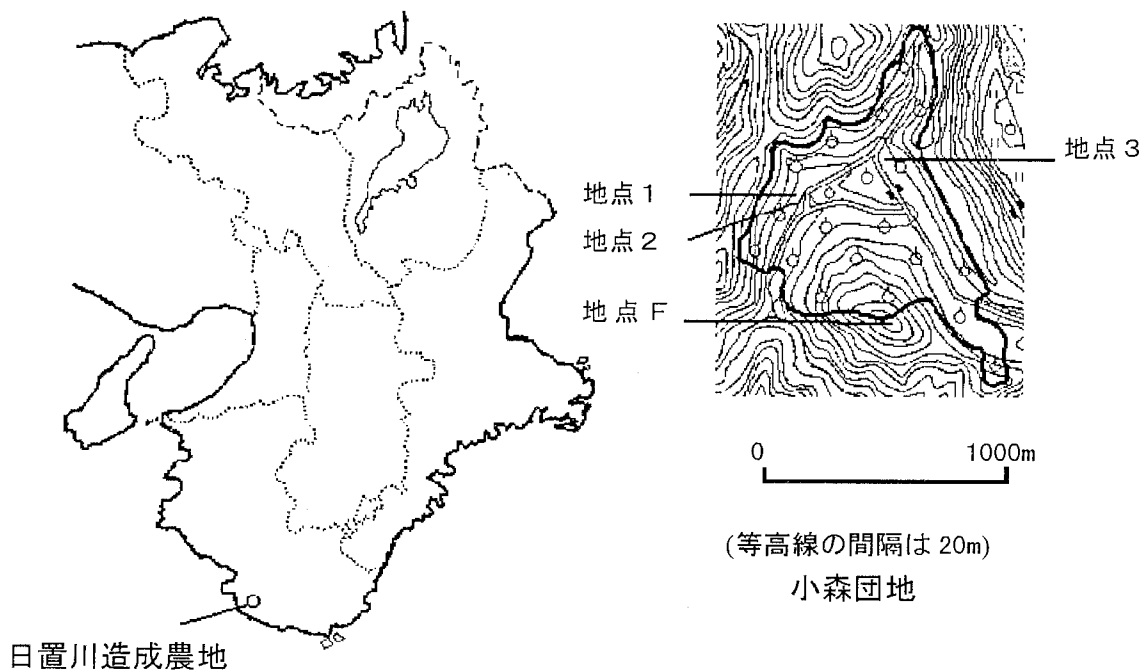


図-1 日置川造成農地の位置と小森団地内での土壌採取地点

Fig. 1 Location of Hikigawa reclaimed agricultural land and sampling sites in Komori.

および1993年に同じ三圃場(地点1, 2, 3)より採取した。対照として造成地に隣接するコナラを主とする自然植生下の土壌(地点F (Forest))からも両年に採取した。日置川造成農地の位置と小森団地内での土壌採取地点について図-1に示した。なお造成地上土壌と自然植生土壌の採取地点の標高は異なるため、同一の土壌生成環境にあるとは断言できないが、両者の母材はどちらも古第三系頁岩である。

土壌採取地点の概要を表-1に示した。小森団地は改良山成工法で造成され、地点1および地点2は盛土、地点3は切土が行われた区域である。営農不適地盤に対しては60 cm以上の表土扱いが行われたが本研究の対象となった三圃場で表土扱いが行われたかどうかは不明である。

1987年には、地点1では梅が植栽されており、小森団地で最も生育の悪い圃場の一つであった。地点2は所有者の事情により畑としては利用されておらず、雑草が繁茂していた。地点3では柑橘類が順調に生育していた。各地点とも明確な土壌層位の発達はみられなかったため、0-50 cmの土壌を混合して採取した。また非常に固い土壌で100 cm³のコアを打ちこめず、土塊を採取した。地点3は1987年には固相率以外の分析は行っていない。

1993年には地点1および地点3では梅が植栽されておりその生育は良好であった。地点3では表層における有機物の集積が少なかったため、土壌層位をBA, Bw (weathering)に分けた。地点2は1987年以来主として放棄地で、キジの養殖場として使用された経緯もあった

が、1993年には雑草が繁茂していた。土壌試料は各地点とも表層および下層から採取した。また100 cm³ コアサンプルを下層(B層またはBw層)から3連で採取した。

地点Fの土壌試料および各3連の100 cm³ コアサンプルは、1987年にはA層およびBw層から、1993年にはA層およびBC層から採取した。

各供試土壌の一般理化学性を表-2に示した。

4. 実験方法

2 mm以下の風乾細土について土壌標準分析測定法(1986)に従ってpH(ガラス電極法)、電気伝導度、交換性塩基、陽イオン交換容量、全炭素および全窒素量(乾式燃焼法)、土性、飽和透水係数(定水位法)、固相率(実容積法)の各分析を行った。1987年の造成地土壌の固相率はクロッド法(Blake and Hartge, 1986)で測定した。

交換性アルミニウムはアルミノン法(Hsu, 1963)にて定量した。結晶質および非晶質の遊離酸化物はpH 7.3, デチオナイト・クエン酸・炭酸水素ナトリウム(DCB)液(Mehra and Jackson, 1960)およびpH 3.0, シュウ酸アンモニウム(Tamm)液(McKeague and Day, 1966)により抽出し、プラズマ発光分光分析装置(SPS 1550, Seiko)で定量した。粘土鉱物種はX線回折分析法(RINT-1200, Rigaku)により同定した。塩滴定法(Sakurai *et al.*, 1988)により荷電ゼロ点(ZPC)および永久負荷電量(σ_p)を求めた。

分散性粘土は、風乾細土5gを500 ml容の振盪ビンに入れ300 mlの脱塩水を加え15分間往復振盪し、その後500 mlに定容し、ピペット法により粒径0.002 mm以下

表-1 土壌採取地点の概要
Table 1 Outline of the sampling sites

地点	造成方法	年	層位	深さ(cm)	土地利用	作物生育	有機質資材の10a当たり投入量
1	盛土	1987	—	0-50	梅	最も悪い	
		1993	A	0-25	梅	良好	牛フン 2,500 kg, 鶏フン 500 kg
			B	25-35			
2	盛土	1987	—	0-50	放棄地	—	
		1993	A	0-6	放棄地	—	なし
			B	6-30			
3	切土	1987	—	0-50	柑橘	普通	
		1993	BA	0-16	梅	良好	ナタネ粕 200 kg, カニガラ 90 kg
			Bw	16-32			
F	—	1987	A	0-24	自然植生	—	—
			Bw	50-75			
		1993	A	0-13	自然植生	—	—
			BC	32-46+			

表-2 供試土壌の一般理化学性
Table 2 General properties of soil samples

地点	年	層位	EC (dS m ⁻¹)	-----交換性塩基-----			陽イオン 交換容量 K	交換性 Al	土性	粘土含量 (10gkg ⁻¹)	
				Ca	Mg	Na cmol (+)					
1	1987	---	0.06	1.60	2.12	0.07	0.40	11.4	0.32	CL	24.4
	1993	A	0.33	8.81	5.05	0.17	1.21	24.5	0.08	CL	20.1
		B	0.04	1.88	1.81	0.14	0.32	12.2	0.65	CL	23.7
2	1987	---	0.03	1.50	2.21	0.11	0.22	10.2	0.29	CL	23.2
	1993	A	0.20	9.88	4.63	0.34	1.26	22.6	0.05	CL	20.6
		B	0.05	3.25	2.49	0.21	0.34	11.7	0.28	SCL	16.8
3	1993	BA	0.19	2.71	0.62	0.16	0.91	14.2	1.22	CL	19.6
		Bw	0.11	3.24	1.14	0.45	0.79	11.7	0.90	CL	17.4
F	1987	A	0.03	0.51	0.35	0.05	0.34	12.5	1.98	CL	24.7
		Bw	0.03	0.05	0.13	0.07	0.15	11.9	1.91	LiC	26.2
	1993	A	0.09	0.63	0.59	0.22	0.39	17.4	4.12	CL	24.7
		BC	0.05	0.00	0.06	0.16	0.07	9.8	2.29	LiC	26.1

の粘土を定量した。完全分散時の粘土量を100%として、分散性粘土の割合を分散率として表した。風乾細土を1.0 mol L⁻¹塩化ナトリウム溶液で飽和し、過剰の塩を透析によって除去した後、同様に分散率を求めた。

耐水性団粒は粒径2-4mmの団粒を圃場の水分状態で孔径2mmの篩上に供試し、振幅5cm, 1分間30往復, 5分間の湿式篩別により4連で分析した。篩上に残った団粒重量の、供試団粒全重量に対する割合を団粒化度とした。一次粒子の重量は差し引いた。

5. 結果および考察

1) 土壌特性値の経年変化

① 化学性の経年変化

1987年には作物の生育不良が起こっていたが、表-2の各分析値を樹園地の土壌改良目標値(大羽, 1984)と比較しても化学性は生育不良の要因となるほど悪くはない。

1987年と1993年を比較すると、造成地表層土で交換性カルシウム、マグネシウム、カリウム含量が増加していた。これは施肥の影響であると考えられる。畑地としては使用されていない地点2における交換性塩基の増加は、キジ養殖場の影響や雑草からの還元が関与していると思われる。土性や表-3に示した鉄およびアルミニウム遊離酸化物含量には大きな変化はなかったが、交換性アルミニウム含量は造成地表層土で減少した。

1987年から1993年にかけての特筆すべき変化は、造成地表層土において全炭素量が0.3%から3%へと、約

10倍に増加したことである(表-3)。陽イオン交換容量も表層土で約2倍となったが、これは土性や粘土鉱物性に大きな変化がなかったことから、専ら有機物含量の増加を反映していると考えられる。

② 物理性の経年変化

日置川造成農地では造成当初、固相率が約60%であり、その上透水係数が10⁻⁴~10⁻⁶cm s⁻¹程度(日置川開拓建設事業所・磯日さく, 1978)と、土壌の物理性が劣悪で湿害を惹起していた。その後の暗渠排水などの対策にも関わらず、1987年においても固相率は三地点とも70%近くあった(表-4)。しかし1993年には、三地点とも下層土においても固相率は約50%まで減少し、透水性も約10⁻²cm s⁻¹に増加した。

団粒の耐水性を表す団粒化度の経年変化を表-4に示した。造成農地土壌について1987年と1993年とを比較すると、表層土では団粒化度が約1.5倍に増加し、耐水性団粒が発達したことがうかがえる。

分散率の経年変化を表-4に示した。1987年から1993年にかけて分散率は造成地表層土では大きく減少したが、下層土ではほとんど変化していなかった。1987年と1993年の地点Fでは分散率に大きな差があった。これは両年に採取した深さが異なったこと、また1987年のBw層ではアルミニウム水酸化物含量が多く分散が抑制されていた(Itami and Kyuma, 1995)ことによると考えられる。

このように日置川造成農地では1987年から1993年にかけて、表層土で団粒の耐水性の増大と分散率の大幅な

表-3 供試土壌の遊離酸化物および有機物含量
Table 3 Content of sesquioxides and organic matter of the soil samples

地点	年	層位	遊離酸化物 ^(a)				全炭素	全窒素
			Al-d	Fe-d	Al-o	Fe-o		
			-----10g kg ⁻¹ -----					
1	1987	—	nd ^(b)	nd	0.10	0.20	0.34	0.06
	1993	A	0.18	1.01	0.10	0.15	3.23	0.40
		B	0.19	1.22	0.10	0.19	0.37	0.09
2	1987	—	0.11	1.46	0.10	0.17	0.28	0.05
	1993	A	0.16	1.02	0.06	0.14	3.51	0.40
		B	0.18	1.14	0.10	0.18	0.50	0.10
3	1993	BA	0.22	1.41	0.10	0.14	0.74	0.16
		Bw	0.20	1.41	0.08	0.13	0.46	0.12
F	1987	A	nd	nd	0.33	0.25	3.03	0.16
		Bw	0.42	1.48	0.27	0.19	0.32	0.02
	1993	A	0.30	0.82	0.24	0.25	2.73	0.22
		BC	0.23	0.94	0.13	0.10	1.38	0.06

^(a) Al-d : DCB 抽出アルミニウム, Fe-d : DCB 抽出鉄, Al-o : Tamm 抽出アルミニウム, Fe-o : Tamm 抽出鉄

^(b) not determined

表-4 物理的特性値の経年変化
Table 4 Changes in physical properties

地点	年	層位	固相率	団粒化度 (%)	分散率	Na 飽和後の
						分散率
1	1987	—	69.6	29	25.4	75.2
	1993	A	49.1	41	5.3	7.9
		B	49.8	24	24.6	61.4
2	1987	—	70.5	26	24.4	81.8
	1993	A	46.8	40	5.8	20.1
		B	50.5	37	19.4	39.0
3	1987	—	68.0	—	—	—
	1993	BA	50.3	—	10.0	22.2
		Bw	50.5	—	19.1	42.5
F	1987	A	35.5	53	6.7	12.7
		Bw	46.1	29	0.4	13.6
	1993	A	30.7	72	1.7	4.1
		BC	54.7	28	14.2	43.1

低下が起こった。その結果、透水性の増大や固相率の低下などの他の物理的性質の改善につながったと考えられた。造成地表層土の示した物理性は、自然植生土壌と比較するとその下層土程度のものであるが、湿害を惹起していたような劣悪な物理性は改善されたといえるであろう。

なお造成地下層土での物理性変化の程度は小さかった。

た。

2) 粘土の分散性

① 分散性に対する有機物の影響

土壌をナトリウムで飽和すると、分散抑制因子すなわち粒子間の結合剤が置換性のものならば分散性は増大する (Murray and Quirk, 1990)。本研究の供試土壌のナトリウム飽和後の分散率は、全て無処理試料の分散率よ

り高かった(表-4)。従って程度の差はあれ、交換性カチオン類に代表されるような易交換性物質が粒子間の結合剤の一部として働いていることが示唆された。

1987年の造成地上壌では、各地点ともナトリウム飽和後の分散率は約80%と非常に高かった。しかし、1993年にはナトリウム飽和後の分散率は、造成地下層土では依然40~60%と高かったのに対して、表層土では約20%以下となった。このことは、1993年の造成地表層土における主たる分散抑制因子が、ナトリウムでは置換さ

れない物質であることを示している。このような難置換性の物質には、鉄やアルミニウム遊離酸化物や有機物などがある。造成地表層土で有機物含量が顕著に増加したこと、遊離酸化物含量は1987年と1993年との間で差はなく、また造成地表層土と下層土でも有意な差はなかったことから、1993年の造成地表層土では主として有機物によって分散が抑制されていると考えられた。

そこで有機物含量と粘土の分散性との関係を見ると、全炭素量が多いほど分散性は低いという傾向が明らかとなった(図-2)。1987年の地点F-B^wは全炭素量が少ないにも関わらず分散率が0.4%と低かったが、前述のとおりこの土壌はアルミニウム水酸化物によって分散が抑制されているためである(Itami and Kyuma, 1995)。

有機物は、主として負荷電を持つために荷電特性の観点からは分散を促進する可能性もある(Visser and Caillier, 1988)が、団粒内への急速な水の浸潤によっておこるスレーキングを回避し(Tisdall and Oades, 1982)、また腐植粘土複合体として粘土を架橋する(Edwards and Bremner, 1967)ことによって分散を抑制する働きもある。1993年の造成地表層土では、有機物は団粒のスレーキングや粘土粒子の分散を抑制する因子として作用していたと考えられる。

② 有機物の少ない下層土の分散性

土壌中の粘土粒子の物理的挙動は、その粒子の持つ荷電特性と外液の性質に大きく影響される(Bolt and Bruggenwert, 1980)。粘土粒子は、ケイ酸塩構造内部の

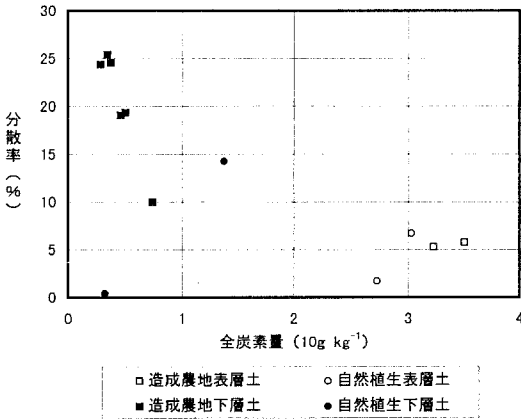


図-2 有機物含量と粘土の分散性の関係

Fig. 2 Relationship between organic matter content and dispersibility of clay.

表-5 粘土粒子の荷電特性
Table 5 Charge characteristics of clay particles

地点	年	層位	pH (H ₂ O)	荷電ゼロ点 (ZPC)	ΔpH ^(a)	永久負荷電量 (σ _p) cmol(-)kg ⁻¹	粘土鉱物種 ^(b)
1	1987	—	5.29	3.93	1.36	2.6	It>Al-Vt, Vt
	1993	A	5.61	4.25	1.36	1.0	It>Al-Vt
		B	54.6	3.60	1.86	3.5	It>Al-Vt
2	1987	—	5.58	3.97	1.61	2.3	It>Al-Vt, Vt
	1993	A	5.82	4.10	1.72	10.0	It>Al-Vt
		B	5.62	3.62	2.00	4.8	It>Al-Vt
3	1993	BA	4.46	3.45	1.01	4.0	It>Al-Vt
		Bw	4.75	3.55	1.20	3.5	It>Al-Vt
F	1987	A	4.94	nd ^(c)	nd	nd	Al-Vt
		Bw	4.90	4.21	0.69	0.5	Al-Vt
	1993	A	4.82	3.50	1.32	4.0	Al-Vt
		BC	4.57	4.20	0.37	0.4	Al-Vt

^(a) pH (H₂O) - ZPC ^(c) not determined

^(b) Al-Vt: 2:1-2:1:1 中間種鉱物 (アルミニウム-パーミキュライト), It: イライト, Vt: パーミキュライト

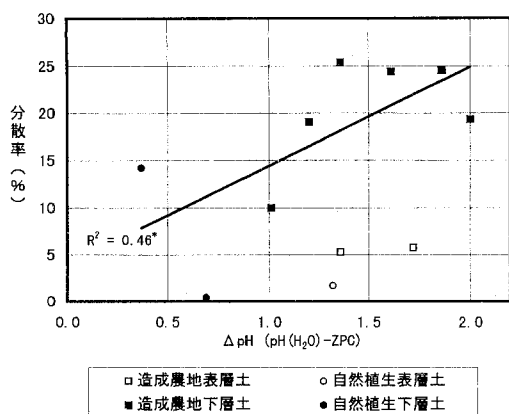


図-3 粘土の荷電特性と分散性の関係

Fig. 3 Relationship between charge characteristics and dispersibility of clay.

同形置換によって生じる永久負荷電と、外液の pH と塩濃度に依存して発現する変異荷電を持つ。荷電ゼロ点 (ZPC) よりも高い pH では変異荷電は負に発現するため、 ΔpH ($\text{pH}(\text{H}_2\text{O})-\text{ZPC}$) の値が大きいほど発現している変異負荷電量も大きいと予想される。粘土の負荷電は粘土粒子間の静電的反発力の起源であり、発現している永久および変異負荷電量が多いほど反発力が増して分散が促進される。

表-5 に粘土の荷電特性を示した。1987 年と 1993 年で主要な粘土鉱物種に大きな変化はなかった。永久負荷電量は、2:1-2:1:1 中間種鉱物 (アルミニウム-バーミキュライト) 主体の地点 F の下層土では $0.4\text{--}0.5 \text{ cmol (-) kg}^{-1}$ であったのに対し、イライト主体の造成地下層土では $2.3\text{--}4.8 \text{ cmol (-) kg}^{-1}$ であった。各地点の表層土の永久負荷電量は下層土に比べて高かったが、これは有機物由来の負荷電によるものと考えられる。

図-3 に水 pH と荷電ゼロ点との差 (ΔpH) と分散率の関係を示した。有機物含量の高い表層土は ΔpH の値に関わらず分散率は低かったのに対し、有機物の少ない下層土では ΔpH が大きいほど分散性が高いという傾向があった。図中の直線は下層土のみについて回帰したものである。造成地下層土の分散性が自然植生下層土のそれに比べて高かったのは、イライト主体であるために永久負荷電量が大きく、さらに ΔpH が大きいため、発現している変異負荷電量も大きかったことによると思われる。

このように有機物の少ない下層土では、粘土の分散性は主に荷電特性によって決定されることが示唆された。

6. まとめ

1987 年の日置川造成農地における作物の生育不良は粘土の高分散性に起因する劣悪な物理性が原因であった。しかしながら 1989 年以来大量の有機物を施用するなどの営農対策により、1993 年には作物生育も良好となった。1987 年から 1993 年の間に、表層土の有機物含量は約 10 倍に増加し分散率は 25% から 10% 以下へと大きく低下した。同時に表層土では耐水性団粒、透水係数および固相率といった物理的特性値も向上した。対照的に下層土では土壌特性値に大きな変化はみられなかった。

表層土ではナトリウム飽和後にも粘土の分散率はそれほど増加しなかったことから、主たる分散抑制剤は交換性塩基などの易交換性物質ではなく、難交換性の有機物であると考えられた。有機物が少ない場合は粘土の分散性は主に荷電特性によって決定されることが示唆された。

7. 謝 辞

本研究の実施に際しては、西牟婁地域農業改良普及センターの川村実氏にサンプリングおよび農家への聞き取り調査の際に大変お世話になった。また日置川土地改良区の山崎慶子氏には参考文献を送付していただいた。記して深謝申し上げます。

参考文献

- Blake, G.R. and Hartge, K. H. (1986): Bulk density, Methods of soil analysis, pt.1, 2nd edn, Eds. A. Klute *et al.*, Agronomy, 9, 371~373
- Bolt and Bruggenwert 編 (1980): 土壌の化学, 第 3 章, p.54, 学会出版センター, 東京
- 土壌標準分析測定委員会編 (1986): 土壌標準分析測定法, 博友社, 東京
- Edwards, A. P. and Bremner, J. M. (1967): Microaggregates in soils, J. Soil Sci., 18: 64~73
- 日置川開拓建設事業所・(株)日さく (1978): 近畿農政局日置川開拓建設事業所小森団地土壌改良等補完対策調査報告書
- 尾川三郎 (1985): 果樹全書ウメ・イチジク・ビワ, p 127, 農山漁村文化協会, 東京
- Hsu, P.H. (1963): Effect of initial pH, phosphate and silicate on the determination of aluminum with aluminon, Soil Sci., 96: 230~238
- Itami, K. and Kyuma, K. (1995): Dispersion behavior of soils from reclaimed lands with poor soil phys-

- ical properties and their characteristics with special reference to clay mineralogy, *Soil Sci. Plant Nutr.*, **41** : 45~54
- 久馬一剛 (1990) : 農地開発における土壌問題—土壌悪化機構の解明と対策—, 昭和62~平成元年度科学研究費補助金 (一般研究A) 研究成果報告書
- McKeague, J.A. and Day, J.H.(1966) : Dithionite and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes, *Can. J. Soil Sci.*, **46** : 13~22
- Mehra, O.P. and Jackson, M.L.(1960) : Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate, *Proc. 7th Natl. Conf. on Clays and Clay Minerals* : 317~327
- Murray, R.S. and Quirk, J.P.(1990) : Interparticle forces in relation to the stability of soil aggregates, *Soil Colloids and Their Associations in Aggregates*, p.443, Plenum Press, New York
- 農林統計協会 (1995) : 図説農業白書 (平成6年度版), p. 13, 農林統計協会, 東京
- 大羽裕 (1984) : 新土壌学, p.203, 朝倉書店, 東京
- Sakurai, K., Ohdate, Y. and Kyuma, K.(1988) : Comparison of salt titration and potentiometric titration methods for the determination of zero point of charge (ZPC), *Soil Sci. Plant Nutr.*, **34** : 171-182
- Tisdall, J.M. and Oades, J.M.(1982) : Organic matter and water-stable aggregates in soils, *J. Soil Sci.*, **33** : 141~163
- Visser, S.A. and Caillier, M.(1988) : Observations on the dispersion and aggregation of clays by humic substances, I. Dispersive effects of humic acids, *Geoderma*, **42** : 331~337

受稿年月日 : 1996年6月27日

受理年月日 : 1996年9月25日

ボーリングコアを用いた火山性堆積軟岩の 吸水率と締固めにおける最適含水比 および粒度組成変化との関係

日笠基嘉・成岡 市

Relationship between Water Absorption of Volcaniclastic Sedimentary Soft-Rock Collected by Boring, Optimum Moisture Content and Grain Size Distribution Change in Compaction.

Motoyoshi HIKASA and Hajime NARIOKA

NODAI Research Institute, Tokyo University of Agriculture

Abstract

Fundamental properties, especially specific surface of rock, are useful in order to understand their secondary properties. In boring samples, their fine soil particles are usually lost, therefore another fundamental property instead of specific surface is needed for site investigation.

In this study, water absorption of rock, grain size distribution and compaction on volcaniclastic sedimentary soft-rock as called "Mizoguchi Tuff Brecca" were tested.

The results obtained are as follows :

1. Water absorption of rock collected by boring does not change significantly than that of test pit sample.
2. Higher value of water absorption of rock is observed in compaction as grain size distribution changes to fine side due to grain crushing.
3. As water absorption value of rock becomes higher, maximum dry density in compaction becomes lower.
4. Water absorption of rock is not only related to optimum water content but also maximum dry density in compaction, that is similar to specific surface.

Key words : Boring, Volcaniclastic Sedimentary Soft-Rock, Water Absorption of Rock, Grain Crushing, Maximum Dry Density, Water Content

1. はじめに

上木構造物の工事に際して対象地の地盤情報を得るためには、対象範囲にテストピットを掘削して試料を採取し、室内試験からこれを得る場合が一般的である。この方法は、地盤情報を得ようとする試験者がテストピットの断面を直接に観察でき、また採取された攪乱・不攪乱試料を試験に供することもできて、土(岩盤)の物理

的・工学的な性質を把握するには非常に有効な手段である。

しかし、テストピットの施工が簡単に行える深さは、掘削機械の有効作業範囲により規定されるが、深さ10mを超えることはない。これ以上の深さになると、矢板と梁により地盤の崩壊を防止する方法(支保工)を用いた調査坑の施工が必要である。この方法では、各深さで調査坑の断面を観察する際に、矢板の撤去と再設置が必

要であるため、調査に時間的、経済的な制約がある場合には問題が生じる。

これを補う方法として、ボーリングコアを採取する方法が一般に用いられている。近年、ボーリング技術にも向上が見られる。圧縮空気の中に界面活性剤を注入して、発生させた微粒な気泡を掘削泥水の代わりの掘削流体として利用する気泡ボーリングが開発されている。また、地盤を現位置の構造のまま凍結させてサンプリングする凍結ボーリングなど(保坂ら, 1993)に代表されるような砂地盤でも良質なコアリングを可能にする方法も開発されている。しかし、これらはいまだ特殊ボーリングの範疇であり、一般的には従来の方が多く用いられている。

ところで、ボーリングコアを直接に試験して把握できる物理的・工学的性質としては、コアリングの精度・採取量から考えて粒度、比重、一軸圧縮試験などである。特に、半固結～固結した火山性堆積軟岩などにおいては、通常マトリックスである細粒分が流失するため、コアの全量採取が困難であり、直接に物理的・工学的性質を把握することが不可能である。しかし、半固結～固結した火山性堆積軟岩より採取したボーリングコアを通じて大まかな物理的・工学的性質を把握することは可能である。

そこで、本研究ではボーリングコアを用いて確認できる物理的・工学的性質の中から、礫の吸水率を取り上げ、これと締め固め時の最適含水比および粒度組成変化との関係などを把握することを試みてみた。

2. 調査位置

調査位置は大山火山(主峰は弥山で標高1,711m)の火山噴出物が堆積して形成された尾根であって、ここには溝口凝灰角礫岩と呼ばれる角閃石安山岩礫(多井ら, 1984)を中心とした半固結～固結の火山性堆積岩が広く存在する。

この地層は時代区分的には新生代第四紀更新世中期に形成されたものである(大西, 1987)。周辺の露頭で見られるものは細粒分が極めて少なく、砂および礫が卓越していて、露頭表面に凹凸が目立つ様相を呈している。津久井(1984)によれば、溝口凝灰角礫岩は、大山火山体形成前期の泥流・礫層を中心とした堆積岩であり、すでに山体を構成していた噴出物が二次的に泥流等として流動・堆積したものである。このため、火山の噴出により降下した火山灰とマグマが地表近くで固結した火山岩のように成因の異なる噴出物が混在した堆積岩となっている。

調査地点と尾根続きである近傍で、道路建設のために

掘削、形成された法面での溝口凝灰角礫岩の特徴は図-1に示す通りである。鍵層となる黄灰色を呈す層(図の中央付近)より上位の層が調査対象となった溝口凝灰角礫岩であって、これは調査位置では水成堆積層が砂主体層-礫主体層-砂主体層の互層をなした厚さ2~5m程度のものと考えられる。この法面では、人頭大のものから直径2m程度のものまでの岩塊が観察されるが、多量に存在するものは直径10cm前後のものである。

3. 調査方法

ボーリング調査は溝口凝灰角礫岩で形成されている尾根の頂上付近で実施し、ボーリングによる採取コアを用いた試験と地層断面より直接採取の試料を用いたものとの比較のためにテストピットの掘削も行った。ボーリングにはφ66mmピットのものを用い、削孔深度は孔口から地下水位までの深度に相当する17mとした。削孔ではコア採取率を高めるために水を用いない無水掘進を基本とした。しかし、岩塊が多く存在して掘進が困難になる場合もあったため、注水掘進も併用した。また、ボーリング孔を利用して標準貫入試験を行い、他のデータとの関連を調べることもした。一方、テストピットはボーリング位置に隣接したところでバックホウにより掘削し、掘削深度は場所的制約と機械の作業能力上6mとした。標準貫入試験を実施する各深度では、試験用サンプルを30cm打ち込むためにコアの破壊が生じる。このため、打ち込み部分を中心とした上下10cm(合計50cm)を除外してボーリングコアの試験対象とした。掘進深度が増すにつれて注水掘進を用いる頻度が高くなって、採取コアでは予想通り細砂、シルト分などの細粒分のほとんどが流出してしまい、採取コアは細粒分に乏しく、礫分を主体とするものとなった。このため、ボーリングコアを用いた試験としては礫を対象とする比重および吸水率の物理的性質を測定することとした。礫のコアの長さに長短があるため、工学的性質としての一軸圧縮強度については実施しなかった。

ボーリングによる採取コアとそれに隣接したテストピットより採取した試料についての試験では尾根の頂上付近のみを対象とすることになるので、図-1に示したほぼ水平に堆積した水成層のうち、最上位の褐灰色中粒砂主体凝灰角礫岩層だけが吸水率に影響するのか、地表面からの深度がそれに影響するのか分からない。このため、尾根の中腹から裾部にかけてもテストピットを設けて、採取した試料を、尾根頂上のテストピットより採取した礫の吸水率と締め固め特性の関係に対比させる目的で、一連の物理試験と締め固め試験に供した。

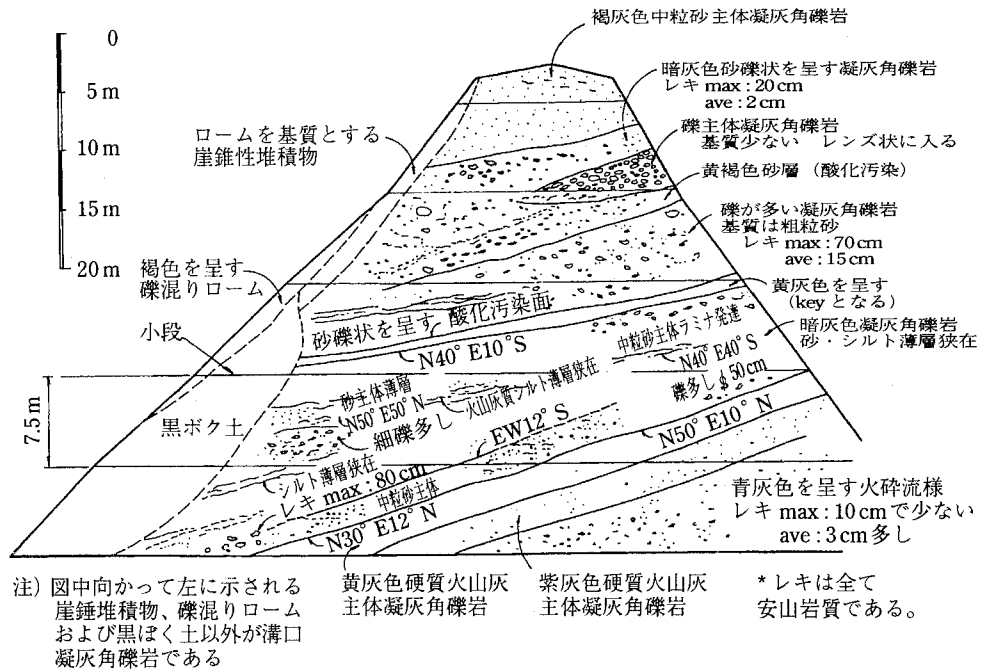


図-1 掘削法面での凝灰角礫岩の特徴

Fig. 1 The characteristic profile of Tuff Breccia at excavated slope.

4. 試験結果

1) ボーリングを用いた場合

ボーリングは合計4カ所で行われ、それぞれのボーリング位置に隣接してテストピットを設けた。それらの中から代表的なボーリングコアの採取深度と採取された礫の吸水率を図-2示す。これによると、表層近くで吸水率が高く、深くなるにつれて吸水率が低くなる事が分かる。また、図-2の中隣の隣接したテストピットから採取した礫の吸水率と比較してみると、両者での供試体の形状が異なるため一致はしないが、深さ方向にボーリングコアのものとはほぼ同様の傾向が見られる。この傾向は他の3カ所のボーリングコアのものについても同様であり、ボーリングコアの礫の吸水率の測定により、溝口凝灰角礫岩の礫の吸水率の傾向が把握できるといえる。図-3に前出のボーリングと同じ孔で実施したボーリング深度に対する標準貫入試験値を示すが、N値は表層近くの部分が深部よりも低い。

2) テストピットでの採取試料を用いた場合

中腹から山裾部分に設けられたテストピットおよび後日の工事の際のテストピット地層断面の下位に相当する掘削地層断面からそれぞれ採取した試料の層位関係は図-4に示す通りである。図中右端の試料番号1~8は後出

の各図のSAMPLE-1~8に相当する。なお、前出の図-1の鍵層となる黄灰色を呈す層は図-4に示した深度よりさらに下位の深度22mの位置で確認された。採取した各試料の上粒子の比重は2.68~2.72の値を示し、各試料間に大きな差異はない。

採取した試料の締固めでは、JIS-A-1210に相当するエネルギーで、非繰返し-非乾燥法を用いた。なお、サンプリングでは直径150mm程度までの礫も採取した。しかし、締固め試験で直径200mmのモールドを用いることとし、併せて最大粒径の統一も図るため、モールド直径の1/4程度(土質工学会, 1990a)の53mmを許容最大粒径とした。許容最大粒径を超える礫を含む場合の粒度調整試料には大きく3種類(土質工学会, 1990b)がある。それらは、許容最大粒径以上の大粒径粒子を除くせん頭粒度試料、原粒度材料の粒度分布を基準に粒度曲線上で相似形となるように人為的に粒度調整する相似粒度試料、および原粒度材料の粒度分布を基準に許容最大粒径以上に相当する粒子の重量分を、許容最大粒径からその1/5(あるいは1/10)の範囲に相当する粒子の重量を増やすことで置き換える礫補正粒度試料である。ここでは、礫の混入効果を再現する工夫をした調整方法(土質工学会, 1995)である礫補正粒度に試料を調整した。

締固め前後における粒度の変化を確認する目的で粒度

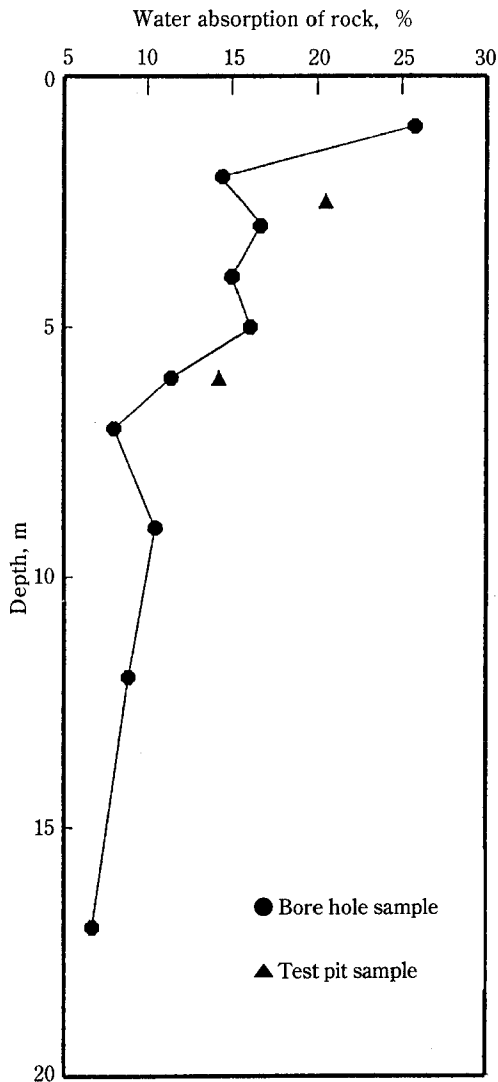


図-2 試料採取深度-吸水率

Fig. 2 Depth from the ground surface - water absorption of rock.

試験も行った。締固め前の粒径加積曲線は図-5に、締固め試験で得られた最大乾燥密度と礫の吸水率との関係は図-6に示す通りである。

各試料の採取深度は、SAMPLE-1からSAMPLE-8にかけて順次深くなるが、図-5によれば、花崗岩が現位置風化したマサ土のように、深度が深くなるに従って粗粒分が増す傾向は見られない。しかし、図-6によれば、礫の吸水率は地表から浅い位置にある地層で高くなる傾向がある。このことと先のボーリングを用いた場合の深度-礫の吸水率の関係とから、礫の吸水率の違いは地層の違いによるものよりもむしろ風化の強さの影響による

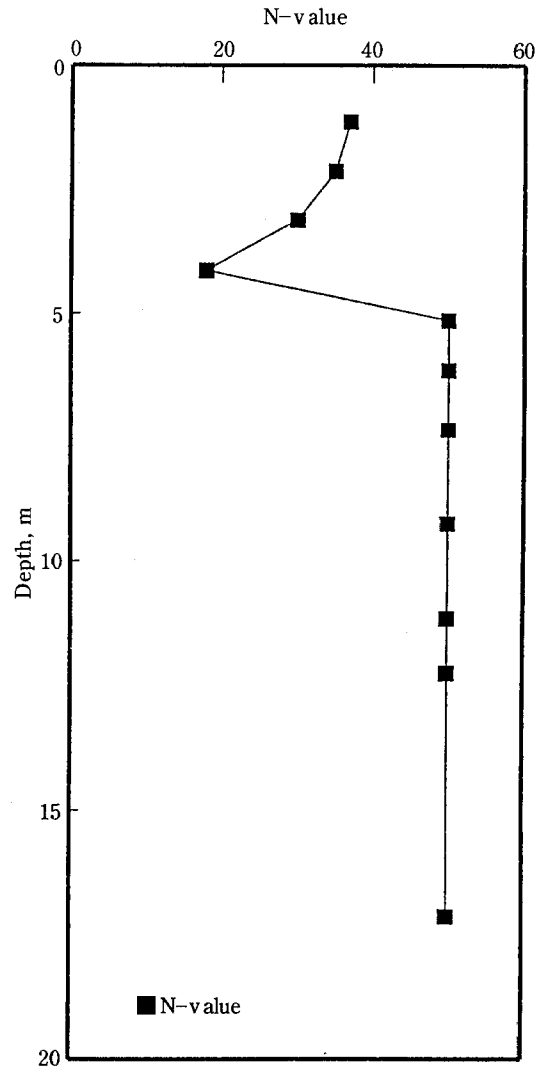


図-3 ボーリング深度-N値

Fig. 3 Depth from the ground surface - N value.

ものと推察される。なお、礫分のふるい分けでは、ナイロン製ブラシで礫の周囲に付着している土粒子をはき落す方法を用いた。これは、ふるいの上で何度も振動させる衝撃で礫が割れるのを防ぐためであった。

締固めでは、図-6のように、吸水率の増大とともに最大乾燥密度が低下する傾向にある。また、多くは粗粒分が多いほど最大乾燥密度値が高い傾向(河上ら, 1975)にある。図-6で特に注目に値するのは、採取深度は異なるが、ほぼ同程度の粒度組成を示すSAMPLE-2と6の2試料間の最大乾燥密度と吸水率との差異が見られる点である。締固め前後における粒度の変化には、SAMPLE-1と2で細粒分の増大が見られ、他のSAMPLE-3~8で

標尺 (m)	深度 (m)	層厚 (m)	柱状図	テストピット及び 工事掘削法面での状態	試料 (No.)	採取時期
	0.30	0.30		表土		
1	1.00	0.70		基質砂、シルト、レキ；AVE. 3cm	1	テストピット
2				基質細粒砂、レキ；AVE. 10cm 褐灰色	2	
3	3.00	2.00		基質粗粒砂、レキ；AVE. 10cm 暗灰色	3	
4	4.30	1.30		基質粗粒砂、レキ；AVE. 15cm 暗灰色	4	
5	6.00	1.70		基質粗粒砂、レキ；AVE. 5cm 褐灰色	5	
6	7.40	1.40		基質粗粒砂、レキ；AVE. 10cm 褐灰色	6	
9	8.90	1.50		基質粗粒砂、レキ；AVE. 20cm 暗灰色		工事による掘削
10						
11						
12						
13	13.00	4.10		基質粗粒砂、レキ；AVE. 3cm 暗灰色		
14	14.20	1.20		基質粗粒砂、レキ；AVE. 10cm 赤褐色	7	
15						
16						
17	18.10	3.90		基質粗粒砂～細礫、AVE. 30cm 赤褐色	8	
18	20.00	1.90				

図-4 試料採取地点での柱状図

Fig. 4 Material column of Tuff Breccia : each column and material, from 0m to 8.9m in depth was observed and sampled in the test pit, and from 14.2m to 20m in depth was observed and sampled during dam construction works for dam's materials excavation.

はそれが見られなかった。これらのうち、締固め前に同程度の粒度組成を示した SAMPLE-2 と 6 の 2 試料の締固め前と最適含水比における締固め後の粒径加積曲線は図-7 に示す通りである。図-7 によれば、●で示される締固め後の試料の SAMPLE-2' では細粒分が増大して

いる。

5. 考 察

- 1) 風化指標としての吸水率
農地造成、フィルダムなどに代表される盛上構造物の

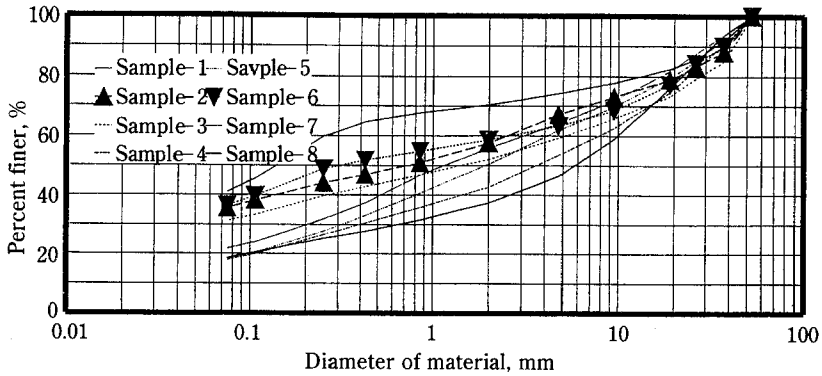


図-5 試料の粒径加積曲線

Fig. 5 Grain size distribution curve of test pit samples.

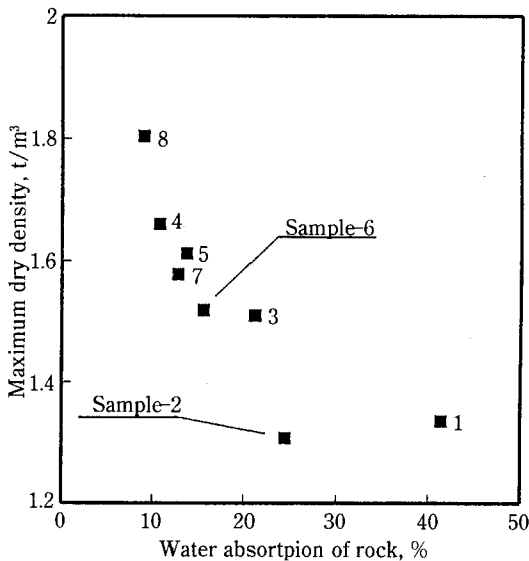


図-6 最大乾燥密度-吸水率

Fig. 6 Relationship between maximum dry density and water absorption of rock.

設計、あるいは道路設計における切上斜面の安定性の検討に際しては、事前調査として締固め特性、せん断特性を把握するための試験が通常実施される。これらは、土の二次的性質と呼ばれ、許容最大粒径、施工含水比、締固めエネルギーなどの一定の外的条件下で決まる土の三相構造に規定される。

これに対し、外的条件に左右されない一次的性質とは、比重、粒度、比表面積などに代表されるその土特有の基本的性質を言う。

上の二次的性質はその一次的性質に依存していると言われている。たとえば、締固めにおいては、細粒土は粗粒土に比べ最適含水比が高く、最大乾燥密度が低くなる

傾向(河上ら, 1975)にあり、また、三軸圧縮においては、細粒土は粗粒土に比べて内部摩擦角が低いが、見かけの粘着力が大きくなることなどはよく知られている。締固めにおける粒度と最大乾燥密度および最適含水比との関係は、前出の図-6におけるSAMPLE-1, 3, 4, 5, 7, 8の試料に関しては本研究でも細粒分の多いもので最大乾燥密度が低くなる傾向が見られるが、SAMPLE-2と6の2試料はこの傾向に適っていない。

マグマが冷えて固まった母岩が現位置で風化し、土壌化したものが風化残積土である。それらのうち、特に花崗岩の風化物であるマサ土は特殊土と呼ばれ、近畿地方を中心に広く分布すること、一般に地表に近い部分から風化が進行するため、同じ母岩でありながら深度方向に細粒土から粗粒土へと変化するなどで、一次的性質が幅広く変化することから、これに関する研究も多い。

たとえば、穴瀬ら(1990)は、マサ土の一次的性質のうちの比表面積を風化の指標として、その増加に伴って二次的性質である最大乾燥密度が減少して最適含水比が増加し、水分保持特性も増加する傾向にあることを指摘し、その主因として黒雲母を代表とした有色鉱物の風化を挙げている。

マサ土以外の風化残積土については青柳(1991)が、母岩の異なる4種類の火成岩風化残積土に関して一次的性質である比表面積を指標とした研究を行っている。この研究では、コンシステンシー特性で比表面積の増加に伴い液性限界、塑性限界および塑性指数の値が増加し、締固め特性で比表面積の増加に伴い最適含水比が高くなる傾向にあることが明らかにされている。

これらの風化残積土は、花崗岩に代表される火成岩が現位置で風化してそのまま残留したもの、あるいはそれらが崩落して堆積したものであり、試験に供した試料の生成母岩は同一である。

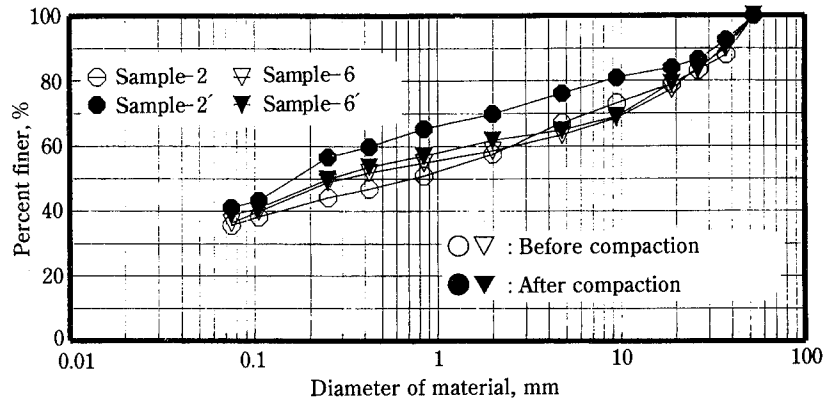


図-7 締固めによる粒度の変化

Fig. 7 Grain size distribution curve before-after compaction test.

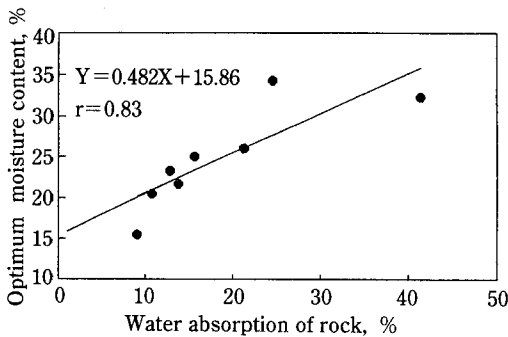


図-8 最適含水比-礫の吸水率

Fig. 8 Relationship between optimum moisture content and water absorption of rock.

一方、本研究の対象となった溝口凝灰角礫岩は、火山岩である安山岩質の礫と火山灰という成因の異なる構成物が湖沼で二次的に堆積して生成されたものであり、上述の風化残積土とは異なる。このため、溝口凝灰角礫岩の一次的性質を把握するにあたり、安山岩質の礫を対象とするか、あるいは火山灰と細粒化した安山岩とによって構成されるマトリックスを対象とするかによって、成因とともに対象粒径も異なることとなる。しかし、一般的な送水ボーリングで後者のマトリックスが流出してしまう場合が多いため、これの把握においても前者の礫を対象とせざるを得ない。

ところで、穴瀬ら(1990)や青柳(1991)の研究により、比表面積の増加に伴って保水性が増大し、また、比表面積の増加に伴い締固めの最適含水比が増加する傾向にあることが認められている。このことは、一次的性質である比表面積が二次的性質の指標となることを示しているが、本研究のボーリングコアにおけるように、土粒

子の流出がある場合には、比表面積をその指標として用いることが困難である。

比表面積は、構成上粒子の表面の凹凸の形状で、また同じ形状であれば粒径の小さいものでその値が大きくなる。礫の吸水率においては、割れ目や多孔隙により礫の内部の凹凸が多い形状で、また礫の表面に同じ厚さで割れ目や多孔質な層を持つ礫では粒径の小さいものでその値が大きくなるといえる。また、本研究では礫の吸水率の増大に伴って最大乾燥密度の低下傾向が認められた。このことから、比表面積に代わる一次的性質として礫の吸水率を用いることとし、これと最適含水比との関係を求めてみた。図-8に最適含水比と礫の吸水率との関係を示す。

青柳(1991)によれば、比表面積-最適含水比の関係に前者を対数目盛として高い正の相関($r=0.95$)が認められている。このデータの母集団が正規分布するとして、筆者は母集団の相関係数の95%信頼区間を求めてみた。これは $0.876 \leq r \leq 0.980$ となっており、高い相関を示した。一方、図-8では通常目盛ではあるが、吸水率-最適含水比の関係において正の相関($r=0.83$)が認められ、このデータの母集団の相関係数の95%信頼区間は $0.302 \leq r \leq 0.968$ となっており、比表面積と最適含水比との関係ほどは高くないものの、線形性が認められた。一次的性質である礫の吸水率が二次的性質である締固め特性を把握する一つの指標となり得ることが分かった。

2) 締固めによる粒度組成の変化

締固め前に同程度の粒度分布を示していたSAMPLE-2と6の2試料のうち、吸水率の高いSAMPLE-2では、礫分の範囲ではあるが、締固め後に細粒な礫の増加が認められた。この増加は乾燥密度の低下に影響を与えた要因の1つとして考えられる。

締固め前後における粒子破碎の影響については、松尾ら (1976) のマサ土の粒子破碎による締固め密度の増加、また谷口 (1979) の粗粒火山灰の粒子破碎による締固め密度の増加などの指摘がある。

本研究では、粒子破碎が認められた SAMPLE-2 において、これと同程度の粒度組成で粒子破碎が認められなかった SAMPLE-6 に比べ、最大乾燥密度が低くなった。この理由としては、松尾ら (1975) もマサ土と川砂との比較で指摘しているように、「突固め回数が少ない場合、突固めエネルギーの多くは土粒子の破碎に消費され、主に強さの弱い土粒子が破碎されて細粒化する」ことがあげられる。SAMPLE-2 では礫の吸水率が高いことから、礫の吸水率を高める潜在的亀裂や発泡後の空隙が多く、そのために礫は外圧に対して脆弱な骨格構造をなして、突固めエネルギーの多くが礫の破碎に消費されたと考えられる。このことが SAMPLE-2 と SAMPLE-6 との最大乾燥密度の差を生じさせた原因と推察される。

礫の中の微細な構造については現段階では詳細が把握されていない。しかし、本研究の結果から見て、礫中に存在すると考えられる潜在的な亀裂、割れ目および発泡後の空隙などは、吸水率の大小によりその多少を表現することができる。吸水率の大きい、すなわち多孔性が脆弱な礫の骨格構造が破碎されることにより、締固めエネルギーが消費され、結果として礫の細粒化と低い締固め密度がもたらされたと結論づけられる。

6. ま と め

粒子破碎を生じるような礫の微細構造については、今後研究が必要である。本研究においては、次のことが明らかになった。

水成堆積した安山岩質の礫をもつ溝口凝灰角礫岩のボーリング調査および締固め試験から、一次的性質である礫の骨格構造のうち、割れ目、亀裂および発泡後の空隙などの脆弱な部分が破碎されることにより、二次的性質である締固め密度が高まらず、JIS A 1210 でのエネルギーは礫の破碎にその多くが消費される。また、礫の脆弱な骨格構造を形成する亀裂、空隙の多少が礫の吸水率によって表現できる。

これは、締固めによる盛土構造物の施工に際し、対象とする礫層の工学的な取り扱い回数が少ない場合の事前調査で、礫層の二次的性質を把握する指標として礫の吸水率が有効であることを示すものである。

終わりに、本研究を行うに当たってご協力をいただ

いた中国四国農政局大岡山麓開拓建設事業所江府支所および(株)三祐コンサルタンツ技術第1部の皆さま、ご指導をいただいた東京農業大学総合研究所の穴瀬眞教授に対し、厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 青柳省吾 (1991): 風化残積土の比表面積と二次的性質の関係について—風化残積土の工学的性質に関する研究 (4)—, 農業土木学会論文集, No. 151, pp. 1~7
- 穴瀬 眞・全 禹亭・加藤 誠・高橋 悟 (1990): 農地造成地のマサ土の理工学的特性, 農業土木学会誌, 58-1, pp. 39~44
- 大西郁夫 (1987): 日本の地質「中国地方」編纂委員会編: 日本の地質 7・中国地方, 共立出版, pp. 103
- 多井義郎 他 (1984): 中国地方土木地質図解説書, 中国地方土木地質図編纂委員会編, 国土開発技術センター, pp. 69
- 河上房義 他 (1975): 土の締固め 3. 2 土質, pp. 22~29, 鹿島出版会
- 谷口秀男 (1979): 締固めによる粗粒火山灰の粒子破碎が締固め密度に及ぼす影響, 土と基礎, Vol. 27-6, pp. 29~34
- 津久井雅志 (1984): 大山火山の地質, 地質学雑誌, 90 (9), pp. 643~658.
- 土質工学会 (1990 a): 土質試験法, 突固めによる土の締固め試験, 土質工学会, pp. 201~214.
- 土質工学会 (1990 b): 粗粒材料の現場締固め, 2. 3. 1 室内試験粒度, 土質工学会, pp. 81~82.
- 土質工学会 (1995): 堆積軟岩による盛土の工学的諸問題に関するシンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp. 9~10.
- 保坂雅夫・小池豊 (1993): 地質調査ボーリング—その歴史と最近の技術の傾向, 土と基礎, vol. 41-9, pp. 13~18.
- 松尾新一郎・沢 孝平 (1975): マサ土の突固め試験における土粒子破碎について, 第10回土質工学会研究発表会講演集, pp. 369~372.
- 松尾新一郎・福本武明 (1976): マサ土の締固め特性に及ぼす粒子破碎の影響, 土質工学会論文報告集, Vol. 16, No. 4, pp. 93~102.

受稿年月日: 1996年8月7日
受理年月日: 1997年1月31日

Experimental Study for Determining Electric Conductivity of Electrolyte Solutions Containing Suspended Clay Minerals

Masashi SUGIE, Takusei HASHITANI and Masanori OKAZAKI*

Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, Fuchu, Tokyo 183, Japan

* Graduate School of Bio-Applications and Systems Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology, Fuchu, Tokyo 183, Japan

Abstract

Ion adsorption is one of the most important characteristics of soil. There have been many studies on ion adsorption in soils which have been carried out to elucidate the adsorption mechanisms. However, few studies have been carried out to elucidate them by determining changes in electric conductivity. Determining changes in electric conductivity is a more precise method than pH determination in the adsorption mechanisms when the ionic compositions of the solution systems are known. On the other hand, the existence of charged particles disturbs the correct measurement of electric conduction in an aqueous solution. Thus accurate conductivity data for solutions containing suspended solid particles are difficult to obtain using a conventional conductivity cell and the probe of a conductivity meter.

This study deals with the development of new conductivity cells for determining electric conductivity of electrolyte solutions containing charged particles. Three types of prototype cells were developed in this study. Each of them was devised to avoid the effect of charged particles. Practical use of the above conductivity cells was also examined by determination of phosphate adsorption on clay minerals at 298.15 K. Clay minerals are one of the inorganic components in soils. Their characteristics are responsible for the chemical properties of soils. Stable conductivity data can be obtained rapidly and precisely by the three prototype cells.

This study reached the following conclusions. (i) The new procedures for determining micro changes in electric conductivity of electrolyte solutions containing suspended particles were indicated. (ii) Simultaneous determination of changes in electric conductivity and pH will become a good indicator to elucidate the mechanisms of adsorption phenomena.

Key words : changes in electric conductivity, suspension, adsorption phenomena, clay minerals, conductivity cell

1. Introduction

Information on soil clay minerals is very important for the conservation of the soil environment and for the management of agricultural systems. The characteristics of soil clay minerals can be described as follows. (i) They have large specific surface area because

all of them are very small in size (less than $2\ \mu\text{m}$ in diameter). (ii) They have surface charge due to isomorphic substitution. (iii) They are very labile and act as the solid phase that exhibits surface reactivity in soil (Saigusa, 1989).

The composition of clay minerals is responsible for the characteristics of soils. For exam-

ple, supplement of plant nutrients, mobilities of heavy metal ions and/or agricultural chemicals, consistency of soils depend on clay minerals. These characteristics of soils are also concerned with ion exchange and adsorption phenomena. There are many studies on inorganic and organic solute adsorption in soils. For example, the triple layer model offers a quantitative model of inorganic ion adsorption by soil minerals (Yates *et al.*, 1974; Davis *et al.*, 1978). However, the adsorption mechanisms of ionic species on soils have not yet been completely elucidated. Moreover, there have been few attempts to elucidate the adsorption mechanisms by determining changes in electric conductivity.

Changes in electric conductivity are a more precise way than changes in pH to analyze adsorption phenomena when the ionic compositions of the solution systems are known. For example, structural differences in the layer type of clay minerals were clearly reflected in the trend of the changes in electric conductivity. On the other hand, this phenomenon cannot be evaluated by means of changes in pH because of differences in ion sensitivity between electric conductivity and pH.

To determine the electric conductivity of electrolyte solutions containing suspended particles of clay minerals, a new procedure for examining adsorption phenomena should be studied. However, there are some prerequisites for determining electric conductivity accurately in the electrolyte solutions as follows (e.g., Robinson and Stokes, 1965).

- (1) Accurate temperature control. If an accuracy of 0.01% is sought, the temperature should be controlled ± 0.005 K or better throughout the measurements.
- (2) Avoidance of polarization at the electrodes.
- (3) Accuracy of the apparatus used for the electrical measurements.

In addition to the above prerequisites, we have to avoid the effect of charged particles in determining the electric conductivity of a sus-

pension. Several scientists tried to determine the electric conductivity of suspensions. Gu and Yu (1991) established an identification for charged suspensions in electrolyte solution and derived a formula for the effective complex conductivity of the systems. Bashir and Goddard (1990) reported on the ionic conductivity of monodisperse, neutrally-buoyant suspensions of ion-exchange beads both AC total-ion conductivity and DC specific-ion conductivity. Sonneveld *et al.* (1992) measured the conductance of conductive ceramics, graphite and metal suspensions in aqueous KOH solutions by a four-electrode cell.

However, these studies were carried out in the suspensions which compositions were completely known and the accuracy of their experimental conditions (e.g. temperature control, accuracy of the apparatus) were not enough to elucidate the adsorption mechanisms by determining the electric conductivity. It is difficult to obtain electric conductivity accurately by using a conventional conductivity cell, because charged particles disturb the conduction in an aqueous solution.

The purpose of this study was to devise new conductivity cells which can obtain stable and precise data rapidly on the electric conductivity of suspended solutions. At the same time, we attempted to examine the behavior of ionic species at the soil-electrolyte interface by the determination of electric conductivity.

2. Experimental Methods

2-1. Design for new electric conductivity cells.

Three types of conductivity cells were developed in this study. They were devised to avoid the effect of charged particles. The details of each cell are described as follows.

(a) Prototype cell-1

Figure 1 shows Prototype cell-1. This cell is developed to determine the electric conductivity of suspensions immediately after centrifugation. A centrifuge tube of polyethylene was converted into a cell. The tube was 50 ml

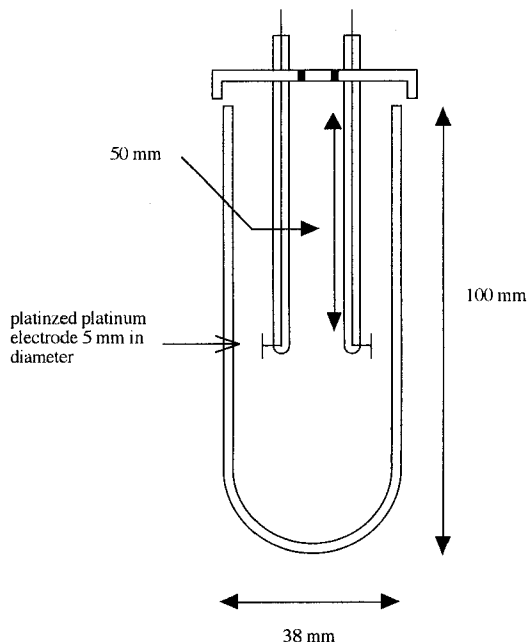


Fig. 1 Design of the Prototype cell-1.

in volume, 100 mm in height, and 38 mm in diameter. The dipping electrodes were made of platinized platinum the diameter of which was 5 mm and the depth of the electrodes was 50 mm from the edge of the tube. They were mounted in the lid of the centrifuge tube. This cell separates the supernatant from the deposition in the suspensions on centrifugation.

The adsorbent and the adsorbate were mixed in the centrifuge tube by a stirrer in the thermostated system. The tube was then centrifuged and immediately after centrifugation, the electric conductivity of the supernatant solution was determined.

(b) Prototype cell-2

Prototype cell-2 was developed by Hashitani (1978) as an apparatus for determining the solubilities of electrolytes (Figure 2). We applied the cell to separate the supernatant from the deposition in the suspensions. The cell permits the separation of the supernatant from the deposition in the suspension by means of filtering in a thermostated system. The dimensions of the cell are indicated in Figure 2.

The adsorbent and the adsorbate solution are added onto a glass filter. A vacuum and evacuation process is then repeated using a syringe. After the process, the filtrate was collected in the conductivity cell for determining the electric conductivity. The characteristics of this method include repetitions of the vacuum process to suspend the solutions and to collect the supernatant.

(c) Prototype cell-3

Prototype cell-3 is shown in Figure 3. The most striking characteristic of this cell is that determination of the electric conductivity can be carried out immediately after the filtration of the suspension. The cell of Pyrex glass is 200 mm in height and 50 mm in diameter. It consists of two separable parts. One part (A) functions for mixing the suspension and the other part (B) functions for determining electric conductivity of the supernatant. Platinized platinum electrodes whose diameter was 10 mm are mounted in (B). The details of the operation of this cell were described as follows.

The adsorbent and the adsorbate solution previously thermostated were added into (A). Filter supports of stainless steel were placed on each part of the cell. A membrane filter (pore size: $1.0\mu\text{m}$) was placed between both of the parts. Thereafter, (A) and (B) were connected tightly with rubber bands and vinyl tape.

The cell was allowed to stand for 30~720 minutes with stirring of the suspensions. After the above-mentioned time, the cell was placed upside down and suspensions were filtered by the vacuum operation from connector 1 using an aspirator. The electric conductivity of the filtrate was then determined with a conductivity bridge. All of the operations were carried out in the thermostated system.

Cell constants of the Prototype cells-1 and -3 were determined before the experiments with aqueous potassium chloride standard solutions (Robinson and Stokes, 1965).

2-2. Materials

(a) Clay Samples.

Two varieties of clay minerals were selected

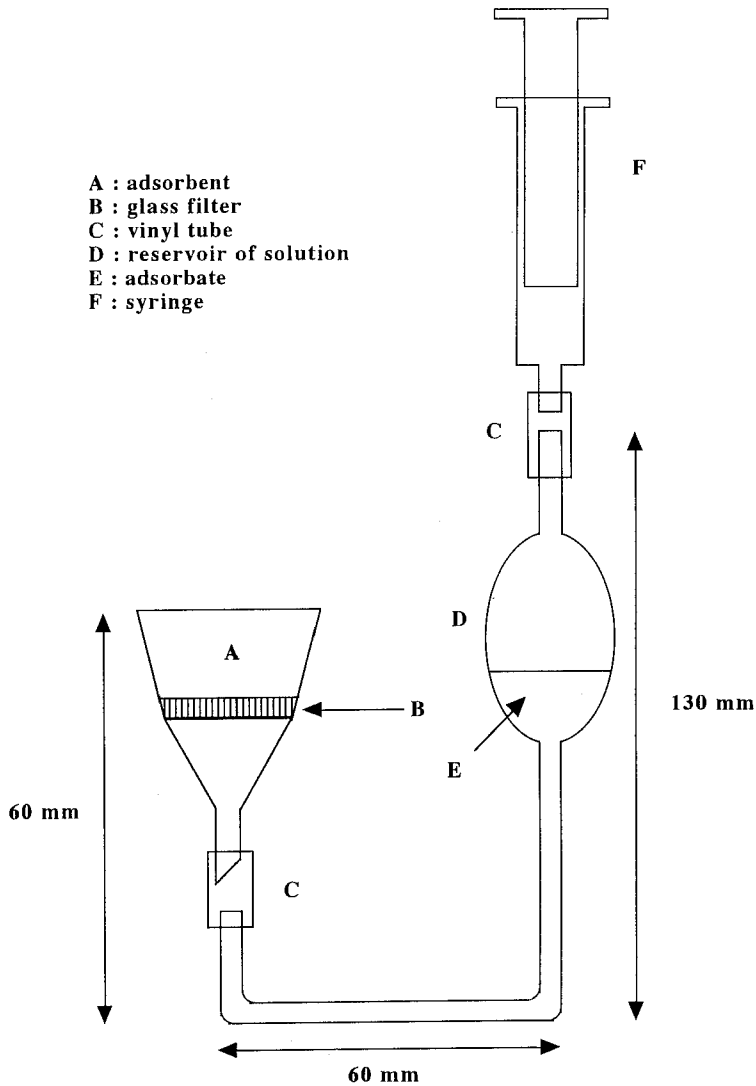


Fig. 2 Design of the Prototype cell-2.

in this study. They were tubular halloysite and protonated montmorillonite, which had been mined in Yunnan Province and Niigata Prefecture, respectively. The clay samples were washed with redistilled water before the experiments. Table 1 shows the several properties of the clay minerals used in this study. Table 2 shows the elemental analyses of the clay samples. Figure 4 and Figure 5 show the X-ray diffraction patterns of the clay samples.

(b) Reagents.

Analytical grade potassium chloride was

recrystallized from redistilled water. Potassium dihydrogenphosphate (KH_2PO_4), calcium dihydrogenphosphate ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$), and ammonium dihydrogenphosphate ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) were used as phosphate solutes in this study. They were used without further purification. The phosphate solutions were prepared by re-distilled water.

2-3. Determination of changes in electric conductivity.

(a) Comparison of the ability for practical use of the prototypes.

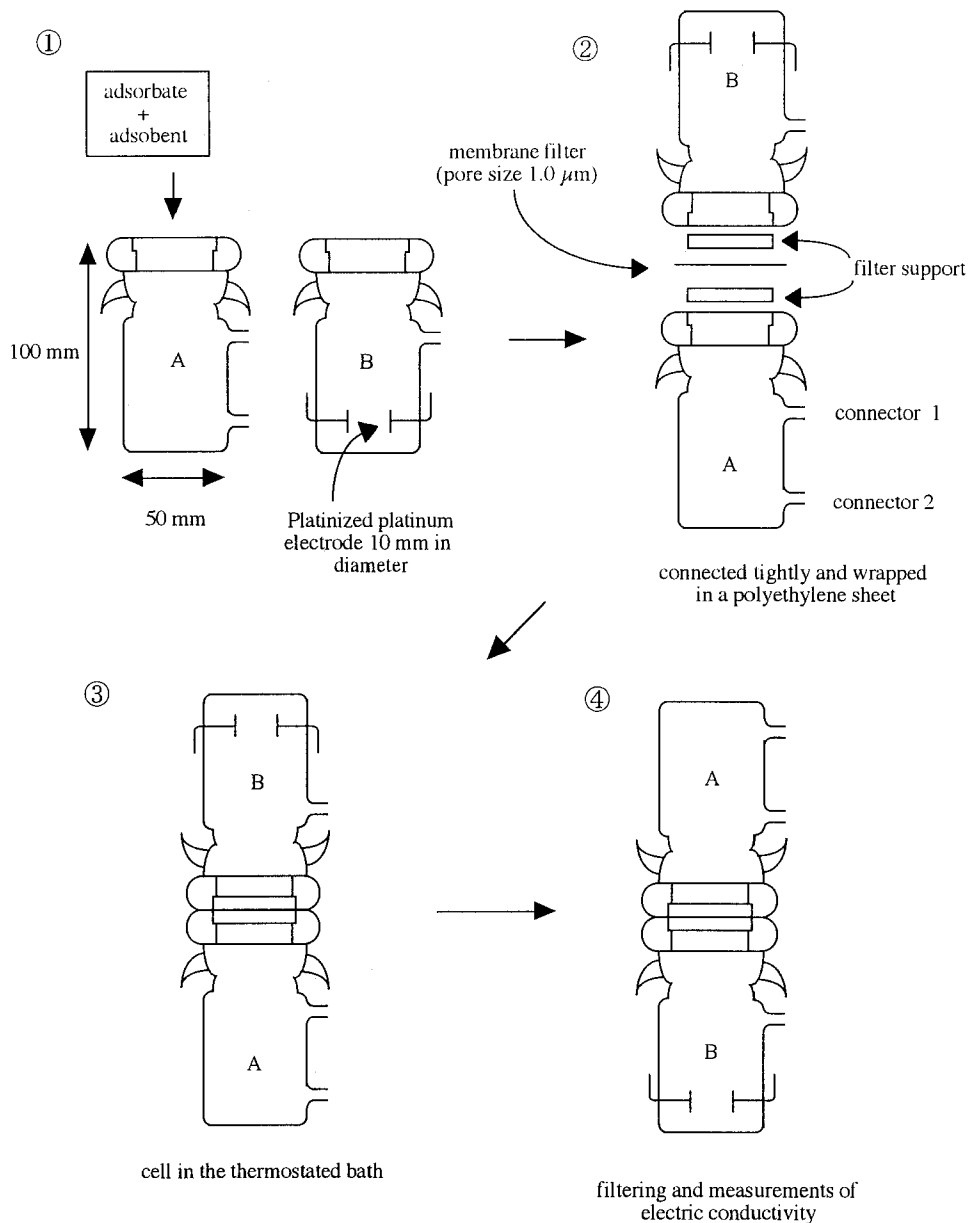


Fig. 3 Design of the Prototype cell-3.

Prototype cells-1, -2, and -3 have been determined their ability for practical use as following procedure. One gram of oven-dried clay sample was used as the adsorbent and 50.00 ml of potassium dihydrogenphosphate solutions (0.01 and 0.1 mol dm^{-3} , pH 4.50) were used as the adsorbate. The adsorbent and the adsorbate were suspended and the changes in electric

conductivity with the phosphate adsorption were determined by using the prototype cells. The operation manners of the prototypes were described in 2-1.

(b) Determinations of changes in electric conductivity and pH with phosphate adsorption on clay surface.

The adsorbates used were 0.1 mmol dm^{-3} ~

Table 1 Clay minerals used in this study

Sample name	Layer type	Moisture content (10 g kg ⁻¹)	Specific gravity (Mg m ⁻³)	Surface area (10 ³ m ² /kg) ¹⁾	pH-H ₂ O	pH-KCl	ΔpH	CEC (cmol _c kg ⁻¹) ²⁾
					a	b		
Tubular halloysite (Yunnan Prov., China)	1 : 1	7.26	2.51	87.6	5.7	3.9	1.8	6.47
H ⁺ -montmorillonite (Niigata Pref., Japan)	2 : 1	11.5	2.42	102	6.0	4.9	1.1	19.7

¹⁾ BET adsorption method (N₂ gas) was used. ²⁾ CaCl₂ was used for saturation.

Table 2 Elemental analyses of clay minerals (10 g kg⁻¹)

Sample name	H ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	(Fe ₂ O ₃)
Tubular halloysite (Yunnan Prov., China)	13.64	46.45	39.58	<0.1	0.08	0.03	0.23	1.03
H ⁺ -montmorillonite (Niigata Pref., Japan)	5.09	73.41	17.58	1.27	2.03	0.23	0.20	2.75

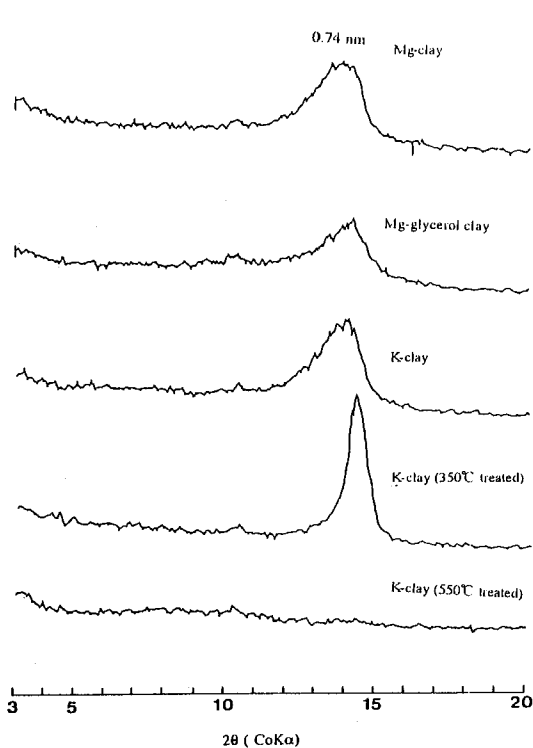


Fig. 4 X-ray diffraction patterns of tubular halloysite.

1 mmol dm⁻³ of dihydrogenphosphate ion solutions. The electrolyte solution (50.00 ml) previously thermostated was poured into the cell and wet purified nitrogen gas was bubbled in

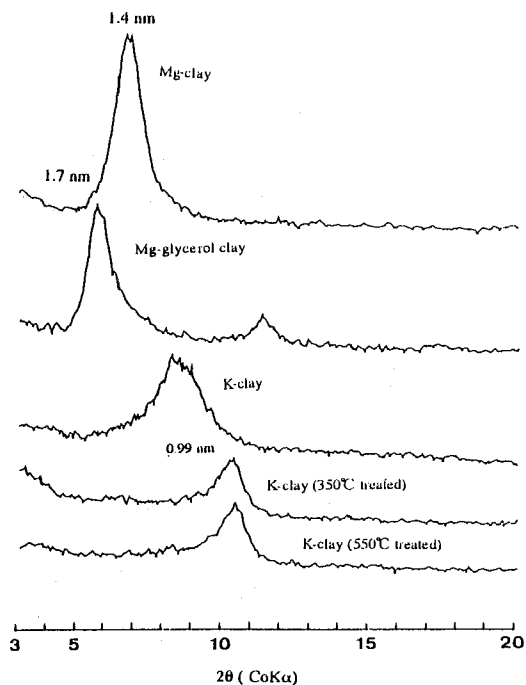


Fig. 5 X-ray diffraction patterns of H⁺-montmorillonite.

the solution for 30 minutes. Moreover, wet purified nitrogen gas had been continued to flow the upper part of the solution in the cell during the determination. Seals of the conductivity cell were gas-tight, so that a small positive pressure of nitrogen could always be

applied to completely exclude carbon dioxide from the solution. After 30 minutes of bubbling, electric conductivities of electrolyte solutions were determined as the data of initial state (reaction time of zero). Then adsorbate of clay mineral (0.1 g) was added to the solution for mixing and the adsorption was started. The cell stood for 720 minutes with stirring the suspended solution and determinations of electric conductivity of the solution had been carried out at every definite intervals (for instance 5, 10, 30, 60, and every 60 minutes).

Determinations of pH changes with phosphate adsorption on clay surfaces were carried

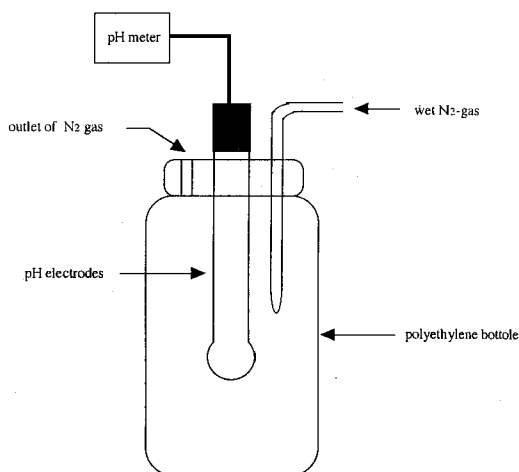


Fig. 6 The apparatus for determining changes in pH.

out by the apparatus shown in Figure 6. A determination process of pH was in the same way as that of electric conductivity.

The determinations of electric conductivity in this study were carried out by Conductivity Bridge : Type 360 B (Fuso Seisakusho LTD.) at a frequency of 1 kHz. All of the operations of the conductivity experiments were carried out in the thermostated bath (at 298.15 ± 0.0005 K). The temperature was monitored with quartz-oscillator thermometer : model 2804 A (Hewlett-Packard).

Changes in pH were determined by a digital pH meter HM-15 A (TOA Electronics LTD.). The temperature of another thermostat bath was maintained at 298.15 ± 0.001 K and the temperature was also monitored with quartz-oscillator thermometer : model 2801 A (Hewlett-Packard).

3. Results and Discussion

(a) Comparison of the abilities for practical use of the prototypes.

The results of the determinations were shown in Figure 7 and Figure 8. All of the prototypes showed a good performance for the practical use respectively. There were no significant differences in the results of conductivity data among the three prototypes. Each of the prototypes has their characteristic points as follows.

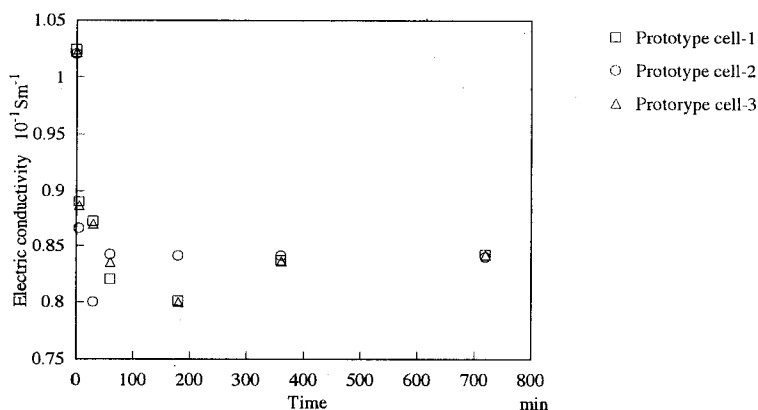


Fig. 7 Changes in electric conductivity with phosphate adsorption on tubular halloysite ($0.01 \text{ mol dm}^{-3} \text{ KH}_2\text{PO}_4$).

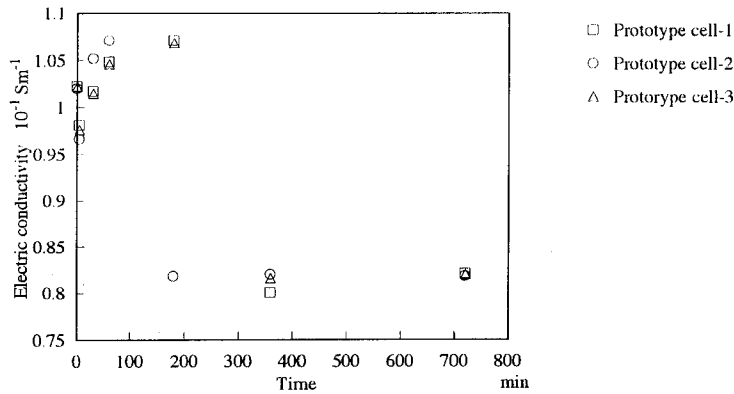


Fig. 8 Changes in electric conductivity with phosphate adsorption on H⁺-montmorillonite (0.01 mol dm⁻³ KH₂PO₄).

Table 3 Comparison of the features of the prototypes developed in this study

	Separation method of the suspended particles from solution	Possibility to maintain a temperature during determination	Optimum concentrations of electrolyte solutions
Prototype cell-1	centrifugation	possible, except the centrifugation process	$\times 10^{-4} \sim 10^{-3}$ mol·dm ⁻³
Prototype cell-2	filtration	possible, except the collection of the supernatant	depend on functions of the conductivity cell
Prototype cell-3	filtration	possible, all of operations	$\times 10^{-2} \sim 10^{-1}$ mol·dm ⁻³

With Prototype cell-1, we were able to obtain stable conductivity data rapidly when the concentrations of electrolyte solutions were low. This cell was also suitable for determining the electric conductivity of suspensions when the concentrations of clay were small.

The most striking features of the determinations by Prototype cell-2 were their rapidity to attain the adsorption equilibrium. They were required to attain the adsorption equilibria for 180~360 minutes when the determinations were carried out by Prototype cell-1 or Prototype cell-3 (Figure 7 and Figure 8). In the same condition, Prototype cell-2 was required for 60~180 minutes to attain the adsorption equilibria. The time to attain the adsorption equilibrium is owing to the repetitions of the vacuum and evacuation processes to mix the suspension. This is more efficient process for establishing an adsorption equilibrium in a short time compared with a stirring process.

Prototype cell-3 were able to obtain stable data of electric conductivity rapidly when the concentrations of the electrolyte solutions were high. This cell was the most convenient to operate for continuous determinations of electric conductivity.

The optimum concentration of the electrolyte solution for determining electric conductivity was defined by the diameter size and the interval of the electrodes. Table 3 shows the comparison of the features of the prototypes developed in this study.

(b) Determinations of changes in electric conductivity and pH with phosphate adsorption on clay surface.

Figure 9~Figure 12 show the results of changes in electric conductivity and pH with phosphate adsorption on clay surface. The data of electric conductivity were obtained by Prototype cell-1. Prototype cell-1 and Prototype cell-3 were used for these experiments.

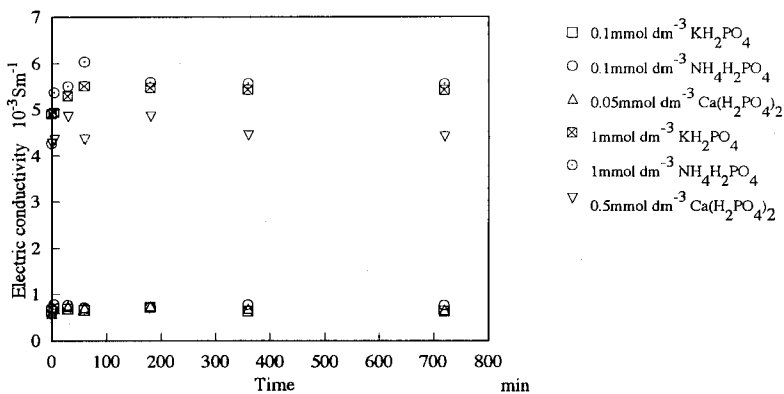


Fig. 9 Changes in electric conductivity with phosphate adsorption on tubular halloysite.

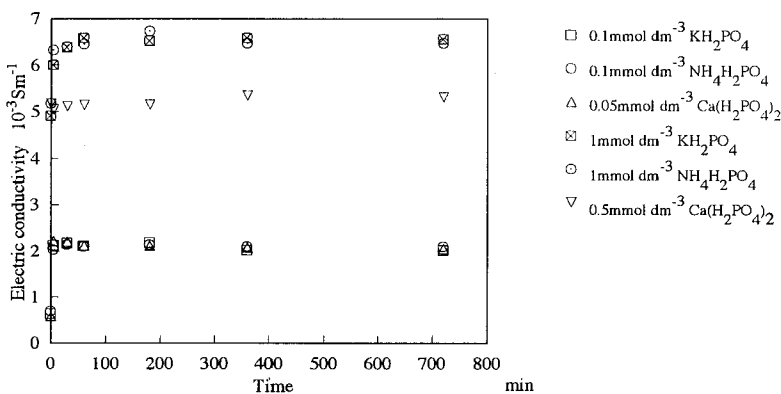


Fig. 10 Changes in electric conductivity with phosphate adsorption on H⁺-montmorillonite.

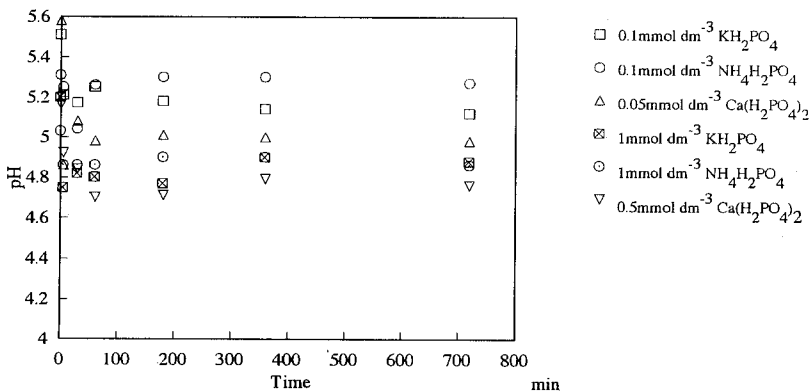


Fig. 11 Changes in pH with phosphate adsorption on tubular halloysite.

The obtained data by both cells were in agreement with ranges in the experimental error. However, Prototype cell-1 could obtain stable conductivity data more rapidly than Prototype

cell-3, because the former did not need filtration.

The obtained results are as follows. The values of electric conductivity increased with

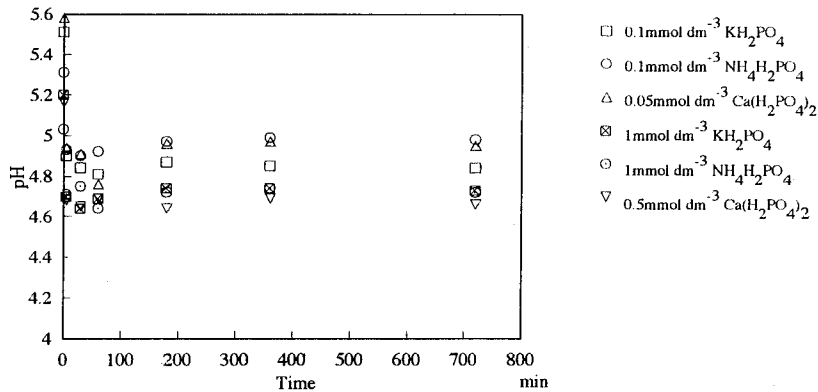


Fig. 12 Changes in pH with phosphate adsorption on H^+ -montmorillonite.

phosphate adsorption in the initial 5~10 minutes. Then the graph showed a gradual curve and reached to a plateau after 360~720 minutes. The values of pH showed a pronounced decrease at the beginning of the reaction. Then the pH began to increase and reached to a plateau at lower value than the initial pH. Changes in electric conductivity and pH were depended on following conditions, (i) layer types of clay minerals, (ii) concentrations of phosphate solutions, and (iii) counter ions of phosphate.

(i) Layer types of clay minerals.

Protonated montmorillonite (2:1 type) showed pronounced changes in electric conductivity and pH compared to tubular halloysite (1:1 type) (Figure 9~12). Protonated montmorillonite retained interlayer cations in the layer structure. Release of the cations and the cation exchange reaction would occur at the interface.

(ii) Concentrations of phosphate solutions.

The solutions of 1 mmol dm^{-3} phosphates showed pronounced changes in electric conductivity and pH compared to 0.1 mmol dm^{-3} of phosphates (Figure 9~12). These properties depended on the concentration of the ion species in the solution.

(iii) Counter ions of phosphates.

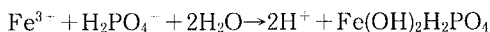
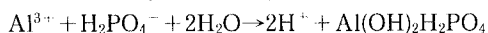
KH_2PO_4 and $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ showed similar behavior of changes in electric conductivity and $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ showed the different behavior

(Figure 9 and Figure 10). This distinction depended on the differences of counter ions of phosphates. Namely, K^+ and NH_4^+ were not strongly hydrated in the aqueous solutions, but Ca^{2+} was hydrated in the aqueous solutions. Furthermore, K^+ and NH_4^+ were trapped into hexagonal cavity that is built into layer silicate surfaces 2:1 type clay (e.g., McBride, Murray, 1994). These differences of counter cation properties could determine the changes in electric conductivity.

Following assumptions of the mechanisms of phosphate adsorption on clay surface were concluded from the above results of (i)~(iii). At the beginning of the adsorption, exchange reaction had occurred between counter cations of solutes and other cations already adsorbed on clay surfaces, rather than anion exchange. Because the mobilities of the counter cations were more rapid than that of H_2PO_4^- . Thus H^+ release had occurred and the values of pH were decreased and the values of electric conductivity were increased. After the cation exchange, the adsorption of H_2PO_4^- had begun and released OH^- made increase the value of electric conductivity and pH.

The values of electric conductivity and pH showed tendency to gradual decrease when the adsorption reactions had attained to the equilibrium. In the acidic condition, Al^{3+} and Fe^{3+} were released from the clay minerals to the suspension. These cations formed slightly

soluble salts by following reactions.



4. Conclusions.

The following conclusions were obtained in this study.

(i) This study showed the new procedures for determining the electric conductivity of electrolyte solutions containing suspended particles. The procedures include filtration or centrifugation. Moreover, we can determine the micro changes in electric conductivity of the order of $10^{-3} \sim 10^{-6} \text{ Sm}^{-1}$.

(ii) The above results show that it is possible to analyze adsorption phenomena from changes in electric conductivity. To determine both the electric conductivity and pH at the same time is a more efficient procedure for elucidating the adsorption phenomena.

References.

- Bashir, Y.M. and Goddard, J.D. 1990 : Experiments on the conductivity of suspensions of ionically-conductive spheres. *AIChE Journal*. **36** (3), 387~396.
- Davis, J.A. and Leckie, J.O. 1978 : Surface ionization and complexation at the oxide/water in-

terface. II : Surface properties of amorphous iron oxyhydroxide and adsorption of metal ions. *J. Colloid Interface Sci.* **67**, 90~107.

- Gu, Guoqing and Yu, K.W. 1991 : Electrical conductivity of a suspension of charged spherical particles in electrolyte solution. *J. Appl. Phys.* **70** (8), 4476~4479.
- Hashitani, T. 1976 : *Bulletin of the Faculty of General Education, Tokyo University of Agriculture and Technology*. **12**, 64~66. (in Japanese).
- Hashitani, T. 1978 : *Gendai Kagaku*. **88**, 48~49. (in Japanese).
- McBride, Murray. 1994 : Environmental Chemistry of Soils, p. 73, Oxford University Press, New York.
- Robinson, R.A. and Stokes, R.H. 1965 : Electrolyte Solutions. second edition, pp. 87 ~ 117, Butterworth, London.
- Robinson, R.A. and Stokes, R.H. 1965 : *ibid.*, p. 462.
- Saigusa, M. 1989 : "Clay minerals". In Soil Chemistry, Ed. Chemical Society of Japan, 50, Gakkai Shuppan Center, Tokyo (in Japanese with English abstract).
- Sonneveld, P.J., Visscher, W., Panneflek, F., Barendrecht, E. and Michels, M.A.J. 1992 : The conductance of suspensions with conducting particles. *Journal of Applied Electrochemistry*. **22**, 935~949.
- Yates, D.E., Levine, S. and Healy, T.W. 1974 : Site-binding model of the electrical double layer at the oxide/water interface. *J.C.S. Faraday I*. **70**, 1807~1818.

粘土鉱物懸濁態を含む電解質水溶液の電気伝導率 測定法に関する実験

杉江 昌・橋谷卓成・岡崎正規*

要 約

吸着現象は、土壌の物理化学性の中で最も重要な性質のひとつである。また、電気伝導率変化は pH 変化と違い、溶液中の全イオン種の移動をリアルタイムに測定することができるという特徴がある。しかしながら、電気伝導率の精密測定は、温度条件や測定ブリッジの精度などに留意しなくてはならない。さらに、土壌溶液に含まれる懸濁態粒子がイオンの移動を妨害するため、その電気伝導率の精密測定は困難である。そのため、電気伝導率の変化から吸着現象を解析した例はほとんどない。

本研究では、懸濁態水溶液の電気伝導率変化を精密に測定するためのセルを試作し、測定法の開発を試みた。また、試作セルの実用性を確かめるため、粘土鉱物に、リン酸塩を吸着させた際の電気伝導率変化の測定を行った。

本研究により、以下の結論が得られた。(1)懸濁態を含む電解質水溶液の電気伝導率の微小変化を測定することができた。(2)電気伝導率および pH の変化を併せて測定することは、吸着現象のメカニズム解明に有効であることが示唆された。

受稿年月日 : 1996 年 10 月 11 日

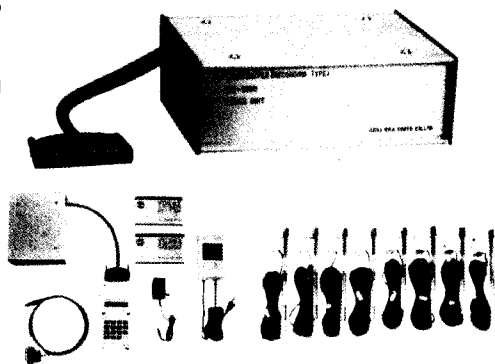
受理年月日 : 1996 年 12 月 10 日

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。

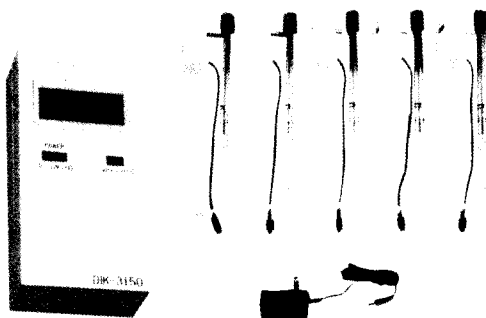
(測定点数8、測定範囲 pF0~3)



テンシオメータ 表示タイプ

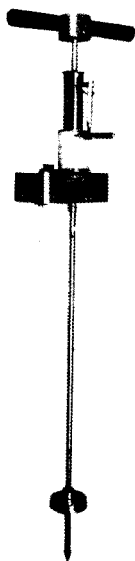
DIK-3150

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

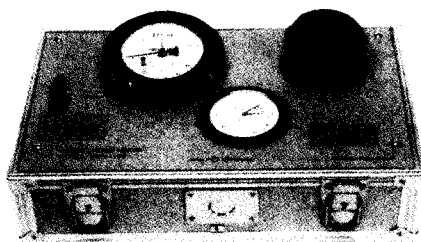
DIK-5520



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



タイキ 大起理化工業株式会社

精密水頭差発生装置の開発

菊池智士・古賀 潔

Development of a Precision Hydraulic Head Difference Generator

Satoshi KIKUCHI¹ and Kiyoshi KOGA²

¹ United graduate school of agricultural sciences, Iwate University

² Faculty of Agriculture, Iwate University, 18-8 Ueda 3 chome, Morioka

Abstract

In order to obtain accurate value of coefficient of permeability of soil in laboratory, it is necessary to measure precisely the hydraulic gradient and the flow rate. A new precision hydraulic head difference generator was developed for this purpose.

The new generator is divided into two parts. One is a water supply part which is composed of an outer tank and an inner tank floating on the water of outer tank. The other is a drain tank. When the volume of supply water stored in the inner tank is decreased as a result of percolation, the inner tank becomes light and is elevated by a buoyant force. The dimensions of these tanks were determined in such a way that the hydraulic head difference between the supply and the drain water is kept constant during percolation. The hydraulic head difference and the flow rate are measured by a precision differential pressure transducer and a load cell, respectively. These data are recorded by a computer which also control electric valves so as to enable the automatic operation of percolation test.

In order to evaluate the performance of this apparatus, the change in hydraulic head difference was observed during percolation test. A similar test with an ordinary Mariotto bottle was also carried out. The results showed that the hydraulic head difference of the new apparatus was kept in a range of 0.02 cm, whereas that of the Mariotto type fluctuated in a range of 0.5 cm.

The principle of the new generator can be applied to other kinds of apparatus which require constant hydraulic head difference.

Key words : hydraulic head difference generator

1. はじめに

透水係数を精度良く求めるためには動水勾配と透水量の精密な測定が必要である。その場合、透水係数が動水勾配に依存する可能性がある (Mitchell and Younger, 1967) ことを考えると水頭差を一定に保つ定水位透水試験が望ましい。定水位透水試験ではマリオット給水装置を用いることがあるが、この場合水頭差を精密に一定に保つことが難しい。

著者らは今回圧密にともなう土の間隙構造の変化を透

水性の変化で捉えることを目的として、透水試験装置に使用する精密水頭差発生装置を開発した。

その原理は水頭差を一定に保つ必要のある種々の実験装置にも適用できると考えられるのでここで紹介したい。

2. 定水頭差の原理

この装置の特徴は透水中に水頭差を精度良く一定に保つことである。装置の原理を図-1 に示す。供給部は内容器と外容器からなる。内容器は外径の異なる二つの円筒

¹岩手大学大学院 ²岩手大学農学部 〒020 盛岡市上田 3-18-8

キーワード : 水頭差発生装置

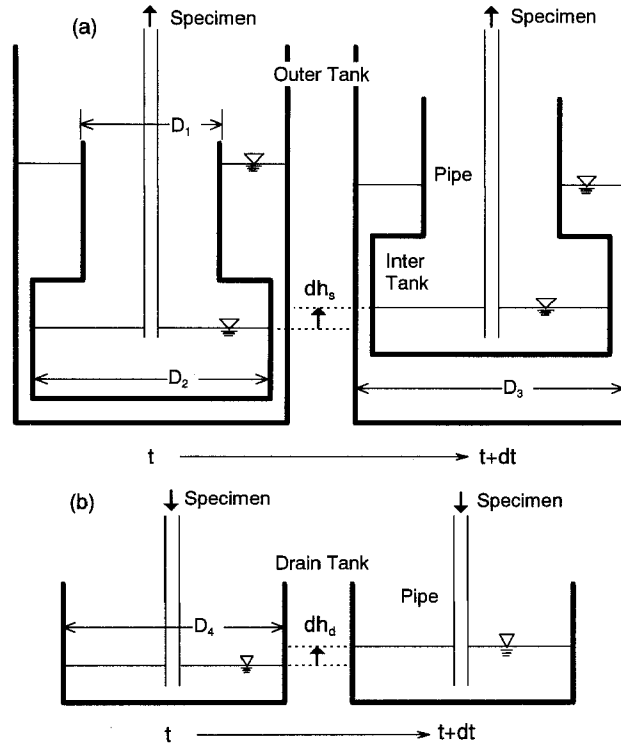


図-1 装置の原理図 (a) 供給部 (b) 排水容器

Fig. 1 Principle of the hydraulic head difference generator (a) supply reservoir (b) drain tank.

を上下に接着し、図-1 (a) に示す形状とした。内容器を外容器中の水に浮かべる。浸透水は内容器に貯留し、パイプで取り出す。土を浸透した水は排水容器にパイプで導く。パイプの先端は水没させておく。なお透水量は排水容器の重さを計量器で計測することにより測定する。

透水が始り、内容器の水が吸い込まれると内容器全体の重量が軽くなるので内容器は浮き上がる。同時に外容器の水位は低下する。この時、内容器内の水面の外容器に対する上昇量は次式で表される。

$$dh_s = \left(\frac{1}{D_1^2} - \frac{1}{D_2^2} - \frac{1}{D_3^2} \right) \frac{4 \cdot dW}{\pi \cdot \gamma_w} \dots\dots\dots(1)$$

- dh_s : 内容器内の水面の外容器に対する上昇量
- D_1 : 内容器の小さい円筒部の外径
- D_2 : 内容器の大きい円筒部の内径
- D_3 : 外容器の内径
- dW : 浸透水の重量
- γ_w : 水の単位体積重量

一方、排水容器の水面（下流部水面）は供試体からの排水で上がり、その時の上昇量は次式で表される。（図-1 (b) 参照）

$$dh_d = \frac{4 \cdot dW}{\pi \cdot D_4^2 \cdot \gamma_w} \dots\dots\dots(2)$$

dh_d : 排水容器の水面の上昇量

D_4 : 排水容器の内径

水頭差を透水中一定に保つためには式(1)と式(2)が等しく ($dh_s = dh_d$)、次式が成り立つことが必要である。

$$\frac{1}{D_1^2} = \frac{1}{D_2^2} + \frac{1}{D_3^2} + \frac{1}{D_4^2} \dots\dots\dots(3)$$

なお、下流側の水頭を一定に保つ構造とする場合には、 $dh_s = 0$ のみの条件となる。また、外容器にたたえる水を比重の異なる液体に置き換え、式(1)に相当する式を誘導することも可能である。

3. 精密透水試験装置の作製

以上の原理に基づき、装置を作製した。内容器、外容器の材質はアクリルで、各部の寸法は $D_1 = 7.7$ cm, $D_2 = 13.0$ cm, $D_3 = 15.0$ cm, $D_4 = 12.4$ cm とした。なお内容器の高さは、噴水線が内容器の小さい円筒部に保たれるように決定した。装置の製作図を図-2 に示す。

製作にあたり内容器には次のような改良を加えてあ

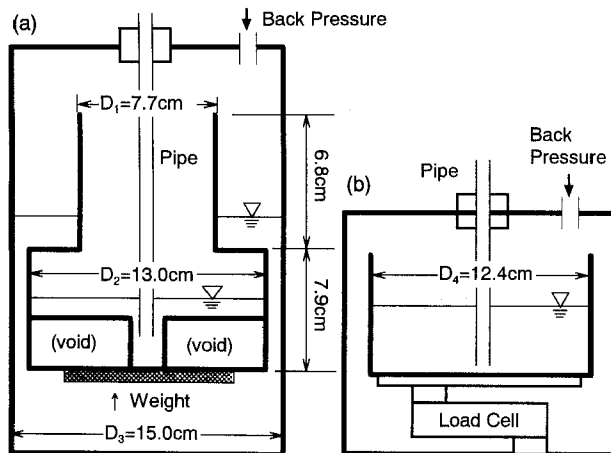


図-2 装置の設計図 (a) 供給部 (b) 排水部

Fig. 2 Design of the hydraulic head difference generator (a) supply reservoir (b) drain tank.

る。パイプを外容器に固定しているので、パイプが内容器的の上昇で内容器的の底面に接触するおそれがある。これを回避するため内容器的底部に余分な空間が必要になる。そこで図-2 (a) に示すように内容器的底部をアクリル板で仕切って空洞をつくり、その重量相当の鉛を底板下面に取り付けた。これにより死水を減らすとともに内容器的の重心をさげ安定を図っている。

透水量と水頭差はそれぞれロードセル (MINEBEA 社製, C2G1-B, 0.01 g まで計測可能) と微差圧計 (クローネ社製, 差圧トランスデューサ DP 15, 0.01 cm H₂O まで計測可能) により計測し, パーソナルコンピュータで自動記録する。また装置内の水面にはシリコンオイルの膜を張り, 水の蒸発を防止する。

今回作製した装置には, 試料の飽和度を高めるため背圧がかけられるようにした。また, コンピュータによりバルブの開閉を行い, 自動化された透水試験が可能である。この他, 供試体の圧密にかかわる応力やひずみの計測・制御機能も持つが, これについては省略する。

4. 性能の評価

精密透水試験装置の性能を確認するために水頭差の変動を経時的に計測した。水頭差を約 28 cm に設定し, 3.0 cm³/h で浸透させながら, コンピュータで 1 分ごとに水頭差を記録した。

また比較のためマリョット給水装置の水頭差の変動も微差圧計で測定した。使用したマリョット給水装置はアクリル製で, 浸透水貯留管 (外径 2.5 cm, 内径 1.9 cm) と通気管が分離しているもので, 気泡侵入部の内径は

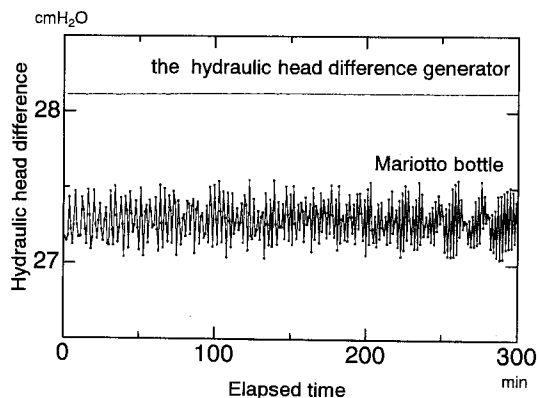


図-3 各装置の水頭差の変動

Fig. 3 Change in hydraulic head difference of the hydraulic head difference generator and Mariotto bottle.

0.46 cm である (占賀, 1987)。水頭差は精密透水試験装置と同程度にし, 浸透速度は 4.3 cm³/h であった。結果を図-3 に示した。

開発した装置では透水中水頭差はほぼ一定で, 変化幅は最大で 0.02 cm (0.02 cm/28.25 cm, 0.1%) となり極めて微小であった。一方, マリョット給水装置の水頭差は平均的には 27.4 cm 付近で一定に保たれているものの, 小刻みに脈動し, 水頭差の変化幅は最大 0.5 cm であった。これは水頭差の約 2% にあたり通常の透水試験では問題はないと思われるが, 低水頭差で短時間の測定から精密な透水係数を求めようとする場合には注意が必

要であることがわかる。

開発した装置は水頭差が一定ではあるが、供試体の上流面と下流面の水頭はわずかであるが並行して変化する。従って、不飽和の供試体を扱う場合には注意が必要である。

5. おわりに

今回、透水試験装置に使用する精密水頭差発生装置を開発した。装置の原理は単純であり、水頭差を一定に保ち、かつ脈動も非常に小さいという特徴がある。各方面で応用いただければ幸いである。

引用文献

古賀 (1987) : 透水係数の長期変動について一締固めの透水性に関する研究 (I) 一, 農土論集, **130** : 61~67.

Mitchell, J.K. and Younger, J.S. (1967) : Abnormalities in hydraulic flow through fine-grained soils, ASTM STP **417** : 106~139.

受稿年月日 : 1996年9月12日

受理年月日 : 1996年11月18日

八郎瀉不耕起移植・育苗箱全量施肥稲作

—新農法と環境保全に挑戦する農家の熱意—

田淵俊雄*・長谷川周一**

No-till Transplanting Rice Emerged in Fertilized
Seed Bed Box at Hachirogata Polder

—Farmers challenge to new technology and
environmental conservation—

Toshio TABUCHI* and Shuichi HASEGAWA**

* Science Council of Japan, Minato-ku, Tokyo, 106 Japan

** National Institute of Agro-Environmental Sciences, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan

1. はじめに

今年5月、八郎瀉を訪ねて「不耕起移植水稲栽培」を見る機会をえた。不耕起栽培は全国的に行われているが、不耕起移植となると珍しいといえる。不耕起で田植えが可能なのだろうか、漏水や雑草の問題、肥料の流出など、不耕起移植によって生じる様々な障害はどうなっているのだろうか。現地では不耕起栽培に取り組んでいる農家の方達と協力して研究を行ってられる秋田県立農業短期大学の佐藤照男、佐藤 敦両教授にお会いして色々教えていただいた。そこで見聞したことは、これらの多くの障害をひとつひとつ自分たちの力で解決していく農家の方々の姿であった。その中には土壌物理や水質保全の立場からも非常に興味あることが多いのでご紹介する次第である。

今回の八郎瀉の見学は筑波水田工学研究会の活動のひとつとして行ったものであり、参加者は田淵俊雄、長谷川周一、河野英一、安中武幸、小川吉雄、黒田久雄である。なお筑波水田工学研究会は1982年から続けている私的な研究会で、水田に関心をもつ研究者が月例会を筑波地区で行っている。今までに「Physical Measurements in flooded rice soils」をIRRI (国際稲研究所) から出版したり、パンフレット「世界の水田工学をめざして」を刊行した。また農業土木学会海外水田工学特別研究委員会と連携し、「Paddy Fields in the World」の農業土木学会からの刊行を支援した。

2. 概 要

八郎瀉で水稲不耕起移植栽培が始まったのは1989年で、農民が農水省農業研究センターの部分耕田植えを研修したのがきっかけであった。1991年には農民によってO-LISA研究会(大瀧村低投入持続型農業研究会)が発足し、不耕起栽培の研究が続けられてきた。この研究は秋田県農業試験場大瀧農場、秋田県立農業短期大学、JA大瀧村農機課、昭和地域農業改良普及センターと連携をとりながら行われたもので、その成果は立派なパンフレット「新水稲不耕起移植栽培技術マニュアル」としてまとめられている。

その中で述べられている本農法の利点は次のようである。

①省力効果、②透水性と地耐力の向上、③水稲作後の畑作物の湿害回避、④根腐れやメタンの発生抑制、⑤代かき水の流出防止、⑥もみながら暗渠への泥土の混入防止。そして本農法の基幹になるのが、改良した「田植機械による不耕起移植」と「育苗箱全量施肥法」である。

1) 不耕起移植

本農法では耕起や代かきは行わない。前年の収穫後の稲株が残った田面に田植機械で田植えを行う(写真-1)。その後の作業としては除草剤散布と収穫だけである。田植機には爪がついており、田植えの際に田面に狭い溝を作り、稲を植えていく。この田植機の改良が最大のポイントで、農家はそれを自分達の手で行った。また除草のために収穫時に稲わらを田面に均一に散布しておき、こ

* 日本学術会議 〒106 東京都港区六本木7-22-34, ** 農業環境技術研究所 〒305 つくば市観音台3-1-1

キーワード: 不耕起, 移植, 全量施肥, 環境保全, 干拓地

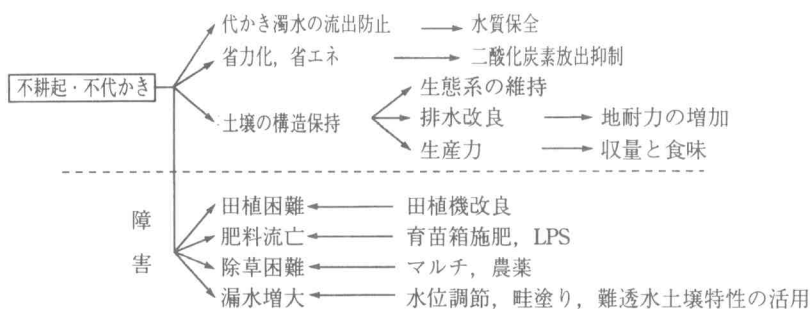


図-1 不耕起移植田の成立要因の関連

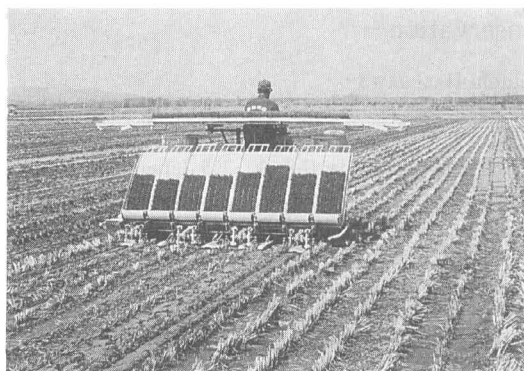


写真-1 不耕起移植

の稲わらを田植え時に土壤表面に押しつける。そのためローラーを田植え機につけることも考案した。稲わらを短くカットして地表に散布するためのコンバインの改良にも努力している。また田植え時の土壤が適度の固さになるように灌水の時期や期間には十分に注意する。

2) 育苗箱全量施肥法

「育苗箱全量施肥法」とは全稲作期間分の被覆尿素(LPS100)をあらかじめ育苗箱内に施肥し、田植え時に苗とともに水田に持ち込む施肥法である。この被覆尿素は施肥後地温25℃で約30日間の溶出は少なく、大部分はその後の約70日間で溶出する。施肥窒素量は慣行の60%程度にしているという。この施肥法により施肥作業が省力化された。また、イネの吸収率が高まるため施肥量も減少し、水田からの肥料の流出も少なくなる。

3. 生産性の立場から

耕起、代かきを行う慣行栽培に比べ、不耕起栽培では窒素の発現量が少ないので初期生育は劣る。しかし、その後は強還元にならないこと、土壤構造が発達していることなど水稲に対する生育環境が良好なため、根が深くまで伸長し、活力が高く維持されるという特徴がある。その結果、高温年、低温年とも慣行栽培より一割程度の

増収が得られている。

不耕起移植栽培の労働時間については確認出来なかったが、八郎潟全体の労働時間は全国平均の約6割の30h/haである。したがって、耕起、代かき、追肥作業が無い育苗箱全量施肥の不耕起移植では、労働時間は更に少なくなる。また、慣行栽培に比べ燃料費が85%も減り、肥料費も37%減少した。逆に除草に要する薬剤費は12%増加している(金田, 1995)。石油エネルギーの省エネ効果が著しい。

4. 土壌、排水の立場から

八郎潟土壌の主要粘土鉱物はスメクタイトであり、粘土分が5割を超える重粘土である。そのため、干陸直後から排水改良は大きな問題となってきた。代かきを行う慣行栽培では、降下浸透量はほぼゼロであり、機械収穫のためには暗渠の埋設のみならず開花期に早くから落水を行って乾燥をはかり、地耐力を増加させることが不可欠であった。不耕起移植栽培を行うと、イネの根による根成孔隙が縦横に発達して、減水深は約13mm/dに増加する。そのため、湛水期間を長くしても、コンバインの地耐力を確保出来るという大きな利点が生まれている。

八郎潟土壌の特徴として、代かきを行うと土は非常に軟らかくなって地耐力を失う一方、乾燥させると非常に硬くなる。したがって、不耕起で移植を行うときには、移植前の湛水期間をうまく調整して、田に入ったときに長靴が3cmほど沈む程度の硬さにする必要がある。また、移植溝の深さと幅にも適正な大きさがあるようで、5×5cmより大きすぎると根は溝の内部で発達し、根域が広がらず倒伏し易くなる。また、逆に溝が狭すぎると、溝の中に移植することが難しくなって移植精度が低下する。移植溝の形状と根の発達についてはまだ課題が残されているようである。

不耕起栽培では、根成孔隙の発達により透水性が増大する。したがって、用水量が過大にならないためには地

下水位や排水路水位が高いことが不可欠となる。八郎瀉の不耕起移植栽培は重粘土で地下水位が高く、冬期も湿潤で排水不良であるという一般的には悪条件とみなされる自然条件を上手に利用した栽培方法である。

最近、O-LISA 研究会の農民が茨城県の不耕起栽培農家との意見交換会に来られたが、その際、八郎瀉に比べて区画が小さい茨城県の農民は、畦畔浸透の抑制が大切であることを指摘していた。この農民はまた、不耕起栽培では慣行栽培と異なり、田面に大亀裂が発達することもないと話していた。狭い我が国でも、水田地帯の土壤、気象条件は多様である。他の地域でも、生産性を落とさず、省力、省エネ、環境保全型のそれぞれの地域に適合した稲作技術について、土壤の物理性と作物の生育の面からもっと研究を進めていくべき段階に来ていると思われる。

5. 水質保全の立場から

水田に関連した水質保全上の問題としては、肥料や農薬それに代かき濁水の流出がある。まず田植期の肥料の地表流出については田植えの時に落水しないのと被覆肥料なので防止される。また浸透排水については不耕起なので透水性がよくなり、それに応じて肥料の流出が増大する可能性がある。しかしこれも被覆肥料なので流出が抑制される。さらに代かきをしないので、代かき時の濁水の流出が防止されることは極めて大きな意味をもつ。干拓地や湖岸の水田では排水路に流出した濁水が湖や海に流出しやすいので、「代かきをしない農法」は水質保全上重要である。排水路の水を湖のほうに排水せず、極力用水路のほうへまわす「循環灌漑」の採用とともに水質保全に大きな効果をもつ。不耕起による漏水増大の問題があるので、どこでも可能というわけではないが、他の地区でも十分に検討に値する農法である。また被覆肥料を使う方法は不耕起田のみならず一般的に通用する方法である。「育苗箱全量施肥法」はそれをさらに一歩進めた方法といえよう。「側条施肥法」との比較など、普遍化へ向けての研究が期待される。

農薬、特に除草剤については、不耕起であるために使用量が大幅に増大することが懸念されたが、稲わらのマルチによって増加をかなり抑制することができるという。今後のより効果的な方法の開発を期待したい。また、省力化のところでも述べた耕起と代かきをしないことによ

る石油エネルギーの節減は水田農作業の面では大きな意味がある。それは地球温暖化防止のための二酸化炭素放出を抑制する大きな効果をもつ。

6. 課 題

今まで、当然のように行われて来た耕起・代かきを省略した不耕起移植栽培において生じる問題点としては、漏水および土壤の固化、そして雑草と均平の問題が考えられる。漏水については既に述べてきた通りであるが、土壤の固化については水稻根の活性や土壤生物との関連など、まだ多くの未解明の課題が残されている。また、雑草については、除草剤の使用量の削減が課題となる。一方、転換畑作を導入する場合は、透水性、排水性からみて、慣行田より、優位であることには違いないが、除草との関連で不耕起で田畑輪換の適切なサイクルを検討することも必要と考えられる。均平の問題とは、大区画圃場内の土壤水分の不均一性に伴う地耐力のバラツキにより、機械作業によって田面に凹凸が生じ、移植精度が低下することである。したがって、何年後かには、代かき均平が必要になるのではないかと。不耕起移植田の継続年数に注目したい。

謝 辞

今回の現地調査に際して、御協力いただきました秋田県立農業短期大学の佐藤照男、佐藤 敦、近藤 正、嶋田 浩の各位、ならびに私達の日程に合わせて不耕起田植を実施していただいた山崎政弘氏、白戸昭一氏をはじめ、O-LISA 研究会の皆様には謝意を表します。

文 献

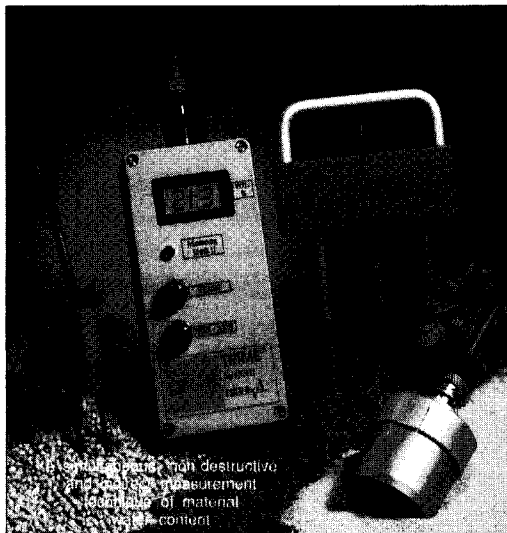
- 金田吉弘 (1995)：水稻の育苗全量施肥・不耕起移植栽培法、庄子貞雄編、新農法への挑戦、pp 203～220、博友社、東京。
- O-LISA 研究会 (1995)：新水稻不耕起移植栽培技術マニュアル。
- 佐藤 敦 (1995)：八郎瀉残存湖における水質汚濁とその発生機構、世界湖沼会議、Proceedings Vol. 2、pp 669～672。
- 佐藤照男 (1992)：不耕起栽培による低湿重粘土水田の土地改良と汎用化の展望、農土誌 60：723～728。

受稿年月日：1996年11月2日
受理年月日：1996年12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 ゲットイ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)

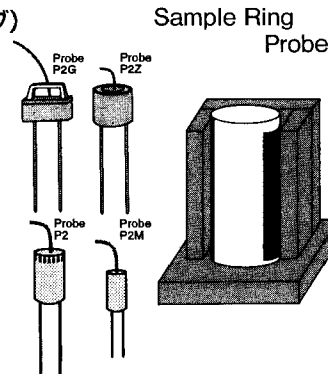
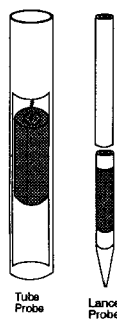
●特長

- 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出来る。
- 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

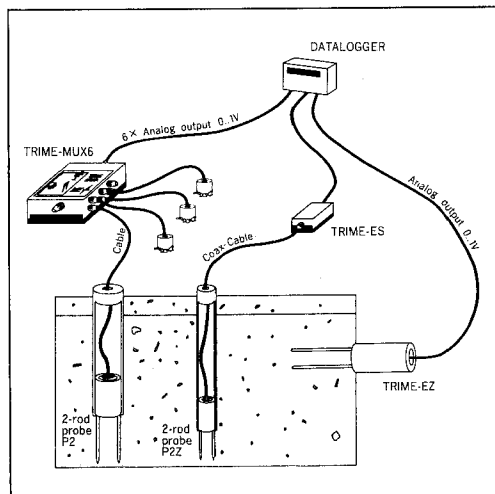
土壌、ケミカル物質、粉体、食料品、スラッジ、乳状液、穀物また、水による自然災害の常時モニター、予知、貯水池、ダム水門、造成地、廃棄物処理場等の構造物や土壌中の含水量のモニター、あるいは森林、水源地帯や農業計画の一環としての含水測定、モニターなど

(P3型各種プローブ)



(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 宮城県利府町しらし台6-6-6
 工場営業部 TEL(022)356-6111(代) FAX(022)356-6120

Share, please !

森 也寸志

昨年11月3-8日に米国インディアナポリスで開催された1996 American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America Annual Meetingに参加、発表をしてきた。海外で研究発表をするのは初めてのことであり、発表だけでなく、米国での研究事情、教育のあり方にも大に関心を持って渡米した。特に私は今回シミュレーションモデルに関心を持っていた。これはそのときに抱いた感想である。

学会の前にはReactive Transport Workshopなるセミナーが開かれており、各人に与えられたコンピューターを利用して土壤中で環境負荷物質が移動、拡散していく様子をシミュレートした。米国では現在深刻な土壤汚染が進んでおり、早急に環境負荷物質の移動の様子を知り、それを今後の対策に役立てるよう要求されている。研究者は何年かの内に結果を出さなければならず、そのためシミュレーションが欠かせないようである。ある政府の役人曰く「圃場での長期実験を10年も待ってられない」そうである。インターネットをよく使う方ならご存じであろうがこの国のServerにはたくさんのシミュレーションソフトウェアが公開されている。例えば代表的なEPA (Environmental Protection Agency) のCenter for Subsurface Modeling Support (<http://www.epa.gov/ada/csmos.html>) には、地表面近くでの物質移動を扱うソフトウェアが公開されており、例えば96年9月には三次元での農薬の移動を予測するBIOSCREENが新たに公開されている。学会発表の中でもどこかが開発したシミュレーションソフトウェアを研究に役立てた例も多かった。地下水汚染、農薬の移動・拡散など、特に実用になるデータを欲する人には有効な研究手段であると考えられた。もちろん、環境への影響をあらかじめ知っておくための手段であり、基礎研究が今後も欠かせないことは当然である。

一方、日本ではなぜだかこのようなソフトウェアにあまりお目にかからない。見かけたとしても目の出るような価格で販売されており個人ではすぐには手でのない商品として存在する。もちろん米国にも非常に高価なソフトウェアは存在する。しかしながら、米国でこれらのシミュレーションソフトウェアは日本に比べ広く利用されている。米国の事情はどうなっているのだろうか。

理由の一つには研究成果の一部をソフトウェアとして公開し、ものによってはフリーで皆に使用してもらおうという精神にある。「公開してみんなに使ってもらおうとか言うけど、これ生半可な努力じゃできないんだよ。」とは実際に米国でこれを公開した方の意見である。「でもその評価はととも高く、論文としてはカウントされないけど充分その人の研究業績の評価対象になる」そうでもある。これは集団で何かを開発する際に非常に有効な手段で、実際あるプログラムのソースコードをのぞいてみると誰かが開発しフリーで配布されたプログラムをサブルーチンとしてメインプログラムに組み込んであるものが存在する。もちろん引用をきちんとつけ、原作者が誰であるかを明示してあることは言うまでもない。このように公開されたソースコードを利用し、また誰かがそれを使ってさらに良いもの、または別のプログラムに利用することでソフトウェアの開発が非常に速く進む。日本ではプログラム自体が評価されることが少なく、優秀なプログラマーがいたとしても「他人のために作ったって時間の無駄にしかならない」と考えられることが多い。プロとして自然な意見であるがせっかくの才能が皆に知られずに論文の部分しか評価されないのはもったいない気がする。また、単独の成果で終わってしまうのも非常に惜しい。

他の理由の一つに、違う分野で学位を取ってきた研究者との共同研究が成功していることもあげられよう。餅は餅屋で、数学またはコンピュータを専攻してきた研究者は私たちよりコンピュータプログラムの開発が早い。私たちは土壤の本質的な部分を担当し、彼らがプログラムとして作り上げていく。むろん深い理解を促すために彼らにも「土壤の人」にある程度なってもらう必要がある。

ここでこれらを我々が利用することを考える。

なにに使うのか？

一つ有効な利用方法として教育にこれを利用することが考えられる。多くの場合、学生は偏微分方程式や有限要素法の学習で苦労する。中には理解するレベルにならないために単純な実験しかできず解析は教官が作成したプログラムを走らせるだけで学生時代を終える学生も多いに違いない。このような場合、比較的簡単に利用できるソフトウェアは学ぶべき式が何を表しているのか、例え

ば拡散はどのように起こるのか容易にイメージを学ぶ者に与えてくれる。難しい方程式を学ぶことも重要であろうがそこを飛び越して、道具としてそれらのソフトウェアから土壌中の水・物質移動について学ぶことの方が有効な場合もある。土壌物理研究会の多数の会員が所属すると思われる農業上木学分野では、4年で卒業しすぐ就職するほうが良いとされる風潮があり、特に地方大学ではその傾向が強い。ここでシミュレーションくらい当たり前に「使える」ことが業界の前提になれば、もう少し基礎研究と実際の施工や管理が結びついて大学での教育が有効に機能するのではないと思われる。また、それくらいの教育をしたいと考えている。基礎知識だけならば専門高校でも教えてくれるし、透水実験やら粒度分析だけではなんのために大学があるのか、時々考えてしまうことがある。

他になにに使うのか?

ある実験計画を立てたとする。文献を参考にしながら自分の実験ではカラムのサイズをいかほどにすべきか色々思案される方も多いに違いない。ここで二次元の物質移動をシミュレートするソフトウェアがあれば(実際に存在する。), 簡単なシミュレートができ, 例えば高価なポーラスストーンは最低で径何cmあればよいのか調べることも可能である。私も「ここから先は試行錯誤で」とする場合が多いが, ものによっては試行錯誤に大変な労力やお金を伴う場合もある。そのような場合これらのプログラムは有効に作用するであろう。言うまでもないが実際の実験とシミュレーション結果は一致しないことも多い。「参考になる」ということである。なお, この実験計画法は絵空事でなく実際にそれで計画を立てている人がいることを注記しておく。

さらに何に使うのか?

もちろん自分の研究に役立てたいのである。良いものが皆に利用される方が学会全体のレベルが上がるはずだし, 個人の研究の進展にも大きく役立つに違いない。米国では環境に対する影響評価という形でこれらを利用している。先に書いたが「圃場での長期実験」を待たられない事情があるからである。日本でもこのような形

での利用が学生にもできるもの, 地方大学の一教官でも手が届くものとして普及すれば, 今後の活動の進展, 拡大にプラスに働くに違いない。サルまねは嫌いだが良いものはどんどん取り入れたい。

私はコンピュータプログラミングのセンスがあまりなく希望的な観測にすぎないところが多々あるかもしれない。ただ全くナンセンスな意見ではないと考えている。なお, 本内容は現在の当分野における優秀なプログラマーのあり方を批判するものでは決してない。こうなればもっといいものができはしないかという希望である。皆が考え, それに向かって少しずつ努力していくことが何より大切なことであろう。

最後に, 話ばかりでなく実際の情報の方が役に立つと思うので, いくつかのServerのアドレスを載せる。これらはReactive Transport Workshopの中で紹介されていたものである。

1. The Groundwater Remediation Project of the National Water Research Institute of Environment Canada maintains a Web site at : <http://gwrp.cciw.ca/gwrp/software/software.html>
2. The International Ground Water Modeling Center at the Colorado School of Mines maintains a gopher site at : <gopher://igwmc.mines.colorado.edu:3851/1>
3. The U.S. EPA Center for Subsurface Modeling Support maintains a Web site at : <http://www.epa.gov/ada/csmos.html>
4. The American Society of Civil Engineers (ASCE) maintains a Web site at <http://www.et.byu.edu/~geos/faculty/jonesn/asce/geotech/software/home.html>
5. The Scientific Software Group, the largest distributor of environmental software, maintains a Web site at : <http://www.scisoftware.com>
6. The Water Information Center (a subsidiary of Geraghty and Miller, Inc.) maintain a Web site at : <http://www.waterweb.com/>

農業リモートセンシング

—環境と資源の定量的解析—

秋山 侃・福原道一・斉藤元也・深山一弥 編著

養賢堂 1996 年刊

A4 版 166 ページ 7,500 円

最初の地球資源探査衛星ランドサット1号が1972年に打ち上げられて以来、20数年が経過し、得られた衛星リモートセンシング画像データから地球の広域な地表面についての様々な新しい知見が得られて来ている。さらに、最近の地球環境問題についての関心の高まりとともに、衛星リモートセンシングデータの一層の活用が期待されている。

しかしながら、ごく最近までは、リモートセンシングは高価な画像処理システムとソフトウェアを持つ幸運に恵まれた一部の研究者グループしか使えないものとされてきた。ところが、今日のコンピューター科学の進歩、ハードウェアの低価格化、画像処理ソフトウェアの高度化、そして衛星画像データの高分解能化等のいろいろな条件が改善されており、衛星リモートセンシング画像解析は、一般の研究者でもいつでも手がけられるほど身近なものとなってきた。

こうした状況の中、本書は農学分野の若い研究者や農業実践者を対象にした農業リモートセンシングに関する啓蒙書として、企画・出版されたものである。原色口絵16頁というようにふんだんに美しいカラー写真を使っており、写真だけ眺めていても、最近の衛星リモートセンシング技術が、どれだけ進歩しているかがわかる。

本書の内容には、1992年11月に農業環境技術研究所が主催した第12回農業環境シンポジウム「農業リモートセンシングの現状と展望」における農林水産省の各研究機関で農業リモートセンシングの研究に携わっていた20人の研究者が発表した研究トピックに最新情報を加えてある。本書で取り上げられている研究トピックは、農学・農業分野におけるリモートセンシングデータの利用に関するものでまとめられているため、リモートセンシングに日頃接していない農学分野の研究者にも、難なくリモートセンシングの概要が理解されるものと考えられる。

本書の目次構成は、以下のようである。

第一章 リモートセンシングと農業 (12 頁)

1 リモートセンシングの原理

2 衛星リモートセンシングの特徴

第二章 作物資源調査と栽培管理情報 (44 頁)

1 作物資源の分布と定量化

2 作物の診断と栽培管理

3 草地の診断と管理

第三章 環境の特性解明と定量的把握 (34 頁)

1 土壌の特性

2 熱・水資源の分布

第四章 環境変化と人間活動の影響 (30 頁)

1 地球環境モニタリング

2 開発と保全

第五章 リモートセンシング・データの取扱い (29 頁)

1 データ入手と画像処理

2 リモートセンシングの将来動向付録

この目次構成と各章のページ数からもわかるように、本書は、他の成書が力点をいれがちなりリモートセンシングの原理・解析方法については、第一章で、極力、簡潔に扱っているのに対して、農業分野の研究者の関心が高い作物資源調査、環境解析、環境変化に関しては十分な頁数が割かれている。第二章では、農作物自体（農作物の収量推定、生育状態把握、気象災害程度の推定、病虫害の発生予測等）のリモートセンシング、第三章では、植物の生育環境（土壌図作成、肥沃度把握、土壌水分量推定、熱環境評価（熱収支・蒸発散評価）、水資源把握（雪量推定、水質環境）等）のリモートセンシング、そして、第四章では、植生の状態モニタリングを通じての環境変化把握（砂漠化、炭素循環、災害）と農業開発（農業開発適地評価、表土流出、湿原環境悪化、森林破壊等）のリモートセンシングについて、扱われている。そして、読者のリモートセンシングデータの解析に対する興味が高まった最終章では、リモートセンシングデータの解析方法と将来のリモートセンシングの展望について扱っている。心憎いばかりの構成である。

さて、本書はリモートセンシングの啓蒙書として企画されたにもかかわらず、取り上げられている研究は高水

準の研究が紹介されている。リモートセンシングの研究
者ばかりか、環境問題に関心がある研究者にとっても、
ぜひ、座右に置いておくべきテキストと言えるであろ
う。特に、第五章第二節で、植生・農業研究に今後必要
なリモートセンシング・センサーについて取り上げられ
ているが、近い将来、次世代リモートセンシングデータ
の解析を試みたいと考えている研究者は、この節を一読
して、各々の研究テーマに相応しいセンサーについて、

その概要を知っておくべきであろう。

本書のように、データの解析具体例を示すことによ
り、リモートセンシングの農学分野や地球環境問題への
適用可能性を示した成書は、他に見ない。本書によって、
農学分野の多くの研究者がリモートセンシングデータを
各自の専門領域に活用するようになることを確信してい
る。

吉野邦彦 (筑波大学社会工学系)

I. 評議員選挙 ('97/'98 年度, '97 年 4 月 1 日~'99 年 3 月 31 日任期)

選挙管理委員会(中石克也(茨城大学)委員長)は次期評議員選挙の開票を行い、次の結果を報告しました。この結果は 9 月 30 日開催の評議員会および総会にて承認を受けましたので、ここに告示いたします。

当選者(敬称略) 1996 年 9 月 12 日開票

区分	定数	
北海道	3	波多野隆介, 佐久間敏雄(再), 石渡輝夫(再)
東北	1	藤井克己(再)
関東	5	長谷川周一, 軽部重太郎, 長野間宏, 塩沢昌, 駒村正治
中部	1	天谷孝夫
近畿	1	久馬一剛
中・四国	2	三野徹(再), 赤江剛夫(再)
九州	2	井上久義(再), 取出伸夫
合計	15 名	

(再)は 2 期再選

II. '96 年度第 2 回評議員会/'96 年度総会

日時: 1996 年 9 月 30 日(月)

評議員会 11:50~13:00, 総会 13:00~13:40

会場: 東京農業大学農学部 1 号館

議長: 穴瀬会長

評議員会出席: 穴瀬会長, 足立副会長, 河野編集委員長, 中石選挙管理委員長

[評議員] 石渡, 藤井, 柏淵, 岩間, 宮崎, 溝口, 三野, 原, 渡辺, 矢沢

[事務局] 東城, 平野, 成岡

以下評議員会の承認事項は総会においても承認された。

議題:

- (1) 入・退会者について報告があり、承認された
- (2) 「土壤の物理性」投稿規定改正について会誌 74 号から実施されたことが報告された
- (3) 「土壤の物理性」査読内規について会誌 74 号から制定年月日('96.4.3)が明示されたことが報告された
- (4) 「土壤の物理性」複写権委託契約について会誌 74 号から掲載されたことが報告された
- (5) 評議員改選結果について選挙管理委員会から報告があり、承認された
- (6) 次期会長等(1997.4.1~1999.3.31)について推薦があり、承認された

- 1) 新会長: 岩間秀矩氏 農業環境技術研究所土壤管理科長
- 2) 新副会長: 河野英一氏 日本大学生物資源科学部教授(40 周年記念事業担当)
- 3) 事務局: 東京農業大学総合研究所(継続)
- 4) 会計監査: 次回評議員会に持ち越し
- 5) 編集委員会: 次回評議員会に持ち越し
- 6) 幹事等: 新会長委嘱, 次回評議員会持ち越し
- (7) 研究会の今後の方向について

- 1) 40 周年記念事業: 養賢堂「土壤物理用語事典」の改訂について提案があり、改訂委員会を発足することが承認された
- 2) 会誌発行: 1997 年度(1997.4.1 からの事業計画)から、1 年度につき、和文 2 誌および英文 1 誌(計 3 誌)を発行することが承認された
- 3) 会費値上げ: 平成 9 年度から開始することが承認された(一般: 5,500 円, 学生: 3,000 円, 購読: 7,000 円, 賛助: 22,500 円)
- 4) 学会名変更: 次期事務局が引き続き検討することが承認された
- 5) 会員数拡大: 引き続き努力することが報告された

(8) その他

第 17 期日本学術会議会員選出に係る学術団体の登録申請結果について報告があった関連研究連絡委員会優先順位回答について確認された(土壤物理研究会が第 17 期登録団体であることが確認された)

III. 第 38 回シンポジウム

大課題 「水」を考える

日時: 1996(平成 8)年 9 月 30 日(月)

会場: 東京農業大学農学部

参加者数: 延べ 100 名

プログラム

8:30 受付開始

9:30 開会挨拶

1. 植物は水をどう利用する(水と植物)

司会 東京農業大学生物産学部 山崎耕字

9:40~10:10 日本大学生物資源科学部 瀧澤英紀, 東京農工大学農学部窪田順平「樹木の蒸散過程における気孔開閉および樹体内の水移動」

10:10~10:40 東京農工大学農学部 石原邦「水環境に対する植物の反応について」

10:40~10:50 休憩

2. 必要な水を集める(ウォーターハーベスティング)

司会 東京農業大学農学部 駒村正治

10:50~11:20 清水建設技術研究所 白石雅美
「透過気化法による塩水かんがいの実証」

11:20~11:50 岡山大学環境理工学部 三野 徹
「湿潤地における Water Harvesting」

11:50~13:00 昼食, 評議員会

13:00~13:40 研究会総会

3. 農地の下で窒素が動く(窒素の動態)

司会 農業工学研究所 石黒宗秀

13:40~14:10 北海道農業試験場 金澤健二, 早川嘉彦, 寶示戸雅之(道立根釧農試), 宮地直道, 草場 敬「地形連鎖の中での地目の変化に伴う地下水水質の変動」

14:10~14:40 東京農工大学 福村一成「電気泳動による多孔体からのNO₃-N除去」

14:40~14:50 休憩

4. 水のさまざまな質(水質改善と機能水)

司会 岩手大学農学部助教授 原 道宏

14:50~15:20 農業工学研究所 大谷敏郎「膜分離技術による施設園芸用水の水質改善」

15:20~15:50 食品総合研究所 五十部誠一郎
「新しい水処理技術の農業への利用」

15:50~16:00 休憩

16:00~17:00 総合討論

司会 東京大学大学院 宮崎 毅
農業環境技術研究所 長谷川周一

17:30~19:30 懇親会

IV. '96年度第2回編集委員会

日時: 1996年11月28日(木) 14:00~17:00

会場: 東京農業大学総合研究所

出席: 河野委員長, 安中, 軽部, 平澤

〔事務局〕 東城, 中村, 平野, 三原, 成岡
議題:

(1) シンポジウム・総会(9月30日開催)の報告(75号に掲載分)

(2) 研究会の今後の方向と編集委員会の対応について

1) 40周年記念事業の対応について(「土壌物理用語事典」の改訂)

・改訂委員会発足について

・委員長指名について

2) 会誌発行回数について

・1997年度(1997.4.1からの事業計画)から実施

・1年度につき, 和文2誌および英文1誌を発行

3) 編集委員グループによる持回り制について

4) 会員数の拡大について

5) 会誌発行の遅延解消について

6) 学会名変更の対応について

(3) 74号発行についての反省

1) 全体的体裁

2) 投稿規定改正

3) 査読内規について制定年月日('96.4.3)が明示された

4) 複写権委託契約

5) 超過ページに関する措置について

(4) 75号発行について

・目次, 掲載論文の決定など

・巻頭言執筆者

・編集後記執筆者

・土粒子執筆者

・書評執筆者

(5) 76号発行について(発行予定日:'97年4月)

・特集論文(シンポジウム特集)の読者の決定

・その他

(6) 会誌の安定的発行について

年間スケジュールに合わせた発行をするために, 発行月を毎年同じにしたい。

〔理由〕

・選挙用の名簿の発送/シンポジウムのプログラムを会誌発送と同時に行うことがある。

・研究会の大きな行事: 評議員会(4月), 役員選挙(9月), シンポジウム/評議員会/総会(10月)に同調させる。

・土壌の物理性の内容: 通常の和文誌, シンポジウム特集号, 英文誌(新規)を定期的に発行する。

・上記カテゴリーを合わせて, 4カ月ごとの発行スケジュールを決めると, 経費節約にもなると考える。

〔具体的案〕

1案としては, 5月・9月・1月の3回の発行とし, 5月には4月の評議員会の結果を, 9月には選挙用の名簿とシンポジウムの案内を載せる。

〔補足〕

会計幹事の立場からは, 発行時期が大きくずれ込む

会員数(1996. 9. 30現在)

正・学生会員	563	北海道	90 (7)
		東北	
		関東	51 (1)
		中部	193 (6)
		近畿	56
		中・四国	41
		九州	71
		海外	58 (2)
購読会員	61		
賛助会員	12		

※ () 内は1995. 10. 1. ~1996. 4. 1. の新規会員

と、購読会員の会費支払いに年次の誤解が生じ、支払いに対して理解が得られない場合が出てくる可能性がある。

V. 会員動向

1. 新入会員

(正会員 15, 学生会員 3, 賛助会員 1: 1996. 4. 2~9. 30)

井上 茂雄(正) 〒050 室蘭市高砂町 1-46-4(財)日本気象協会室蘭支部

久保田富次郎(正) 〒861-11 菊池郡西合志町須屋 2421九州農業試験場資源評価研究室

小林 政広(正) 〒305 稲敷郡荊崎町松の里 1 森林総合研究所

田中 優子(正) 〒305 稲敷郡荊崎町松の里 1 森林総合研究所

田村 憲司(正) 〒305 つくば市天王台 1-1-1 筑波大学応用生物科学系

Charlchai Tanavud(正) Faculty of Natural Resources Prince of Songkla Univ. Hat Yai Songkhla Province 90110 Thailand

釣田 竜也(正) 〒305 稲敷郡荊崎町松の里 1 森林総合研究所土壌物理研究室

中田 摂子(正) 〒160 新宿区四谷 3-5 太陽コンサルタンツ

登尾 浩助(正) Agriculture and Agri-Food Canada Research Centre Harrow, Ontario,

Canada NOR 1 G0

林田 至人(正) 〒856 大村市鬼橋町 1370 長崎県果樹試験場

平瀬 巧(正) 〒011 札幌市北区屯田 4 条 8 丁目 45

松岡 直基(正) 〒064 札幌市中央区北 4 条西 23 丁目(財)日本気象協会北海道本部応用調査課

丸谷 聖一(正) 〒080 帯広市東 1 条南 3 丁目 14-2(財)日本気象協会帯広支部

八木 史郎(正) 〒093 網走市台町 2 丁目 69-20(財)日本気象協会網走支部

山村 祐二(正) 〒070 旭川市東 4 条 2 丁目 36-2(財)日本気象協会旭川支部

岡澤 宏(学) 〒156 世田谷区桜丘 1-1-1 東京農業大学農業工学科

菊池 智士(学) 〒020 盛岡市上田 3-18-8 岩手大学大学院連合農学研究科

小林 伸行(学) 〒060 札幌市北区北 9 条西 9 丁目北海道大学大学院農学研究科

アツベ科学(賛) 〒160 新宿区大京町 29

2. 退会 (1996. 4. 2. ~9. 30)

正会員 6名

今井弘樹氏・美園繁氏・田原虎次氏の 3 氏は死去による。

—編集後記—

本号は、「土壌物理と環境変化」について小特集を組む予定でしたが、がしかし、現実には応募状況の足並みが揃わず6報の報文に見るような一般投稿号になってしまいました。

そこで、予定していました小特集の意としたところについて少し触れて見ましょう。

“SOS”，いうまでもなくこれは、船（Ship）が緊急時に発する無線の救助信号です。いろいろ考えると土壌の世界にもいえそうです。近年の土壌環境を展望すると、SOSをSoilに置き換えても過言でないような気がいたします。いわゆる土壌環境として、土壌を荒廃させる要因をグローバルに見ると、先ずもって土壌侵食が上げられます。この土壌侵食を引き起こす素因には、牧畜の過剰放牧、休耕期間の短縮に伴う過剰耕作、また森林の過剰伐採…があり、裸地化、不毛化などのプロセスによって引き起こされるといえます。また、人間とともに土壌をも脅かす環境因子に化学肥料の多投化、工場からの重金属やロシアなどに見る原発事故の放射能による土壌汚染、

さらには、近年の人間活動によって工場や自動車から発生する深刻な酸性雨の問題など枚挙に遑がありません。

土壌は、もともと吸着機能や緩衝能があり、微細な粘土粒子を含むものほどその機能が大きいとされていますが、物理的、化学的および生物的作用を受けると、次第に土壌基盤としての機能を失い、強いては地力の低下をきたし、土壌の荒廃を招くとされています。無論、自然の猛威による干ばつや豪雨などは大きくかかわってきます。

今期、編集委員会で携わりました本誌には、シンポジウムの中で、一部環境関連の報告も見られます。アフリカの干ばつに伴う「農業農村を基礎とした砂漠化防止対策」、中東の重油放出による「土壌・地下水調査」などです。

今や土壌物理の内容も環境変化に適用した視点からの研究も必要といえましょう。今後とも会員の皆様の投稿を期待しています。

＜編集委員 青木正雄（日大・生物資源科学部）＞

土壌物理研究会

事務局構成	会長	穴瀬 真（東京農業大学）		
	副会長	足立 忠司（岡山大学）		
編集委員会	会計幹事	平野 繁（東京農業大学）、	三原真智人（東京農業大学）	
	編集幹事	東城 清秀（東京農工大学）、	中村 貴彦（東京農業大学）、	
		西村 拓（東京大学）		
	庶務幹事	成岡 市（東京農業大学）		
	会計監査	藍 房和（東京農業大学）、	安富 六郎（山崎農業研究所）	
	委員	委員長	河野 英一（日本大学）	
		委員	青木 正雄（日本大学）、	安中 武幸（農業工学研究所）
			加藤 誠（東京農工大学）、	軽部重太郎（茨城大学）
			駒村 正治（東京農業大学）、	竹迫 紘（明治大学）
		平澤 正（東京農工大学）		

土壌の物理性 第75号（会員配布） 1996年12月1日発行

発行 土壌物理研究会

〒156 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

振替口座 00150-2-17794

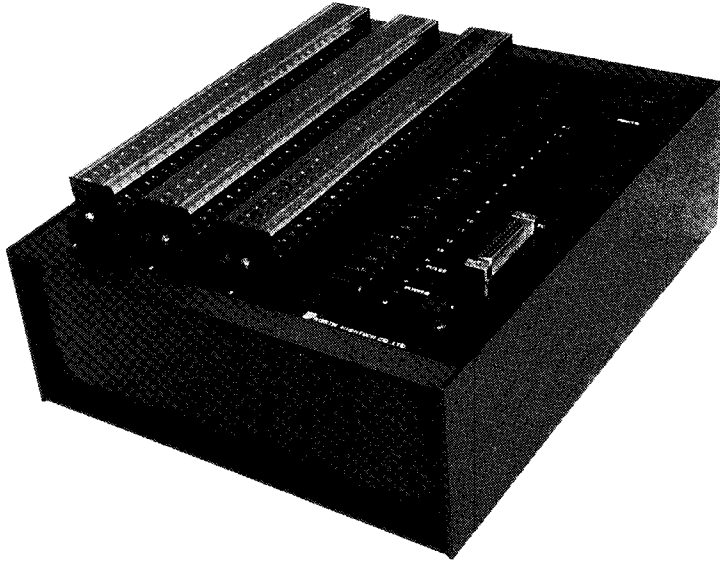
銀行口座 さくら銀行世田谷通支店（店番号199）

口座番号（普通預金）6367846「土壌物理研究会代表 穴瀬真」

印刷 創文印刷工業株式会社

〒116 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 数値積算 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

各種センサ



D220 ターミナルボックス

- L810B/L840との接続用ターミナルボックス。
- 頻繁に配線が変わるアプリケーションに便利です。



D200A 熱電対アンプユニット

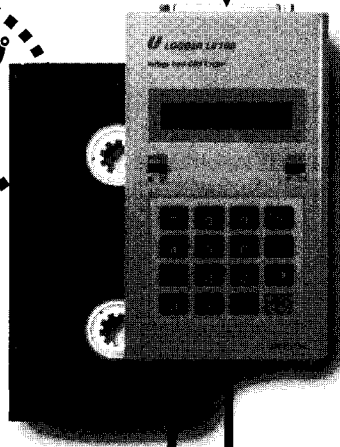
- 熱電対をL810BまたはL840に接続するためのアンプユニット。
- 熱電対7ch、デジタル4bit入力。
- K/T 2タイプの温度が直読できます。

各社
シグナル
コンディショナ

ダイレクト接続



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

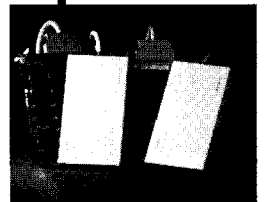
データロガーLシリーズ

- 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/測温抵抗体入力・温度記録タイプ
- L835/温湿度センサ入力・温湿度記録タイプ



メモリカード

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

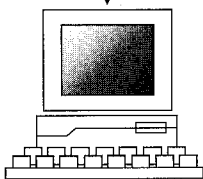


RW98A RWAT RW98AN

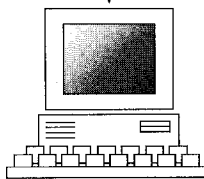
メモリカードドライバ

- PC9801シリーズ、PC/AT互換機、PC98noteシリーズ専用のメモリカードドライバです。
- メモリカ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。

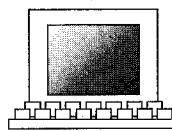
RS-232C



PC9800シリーズ



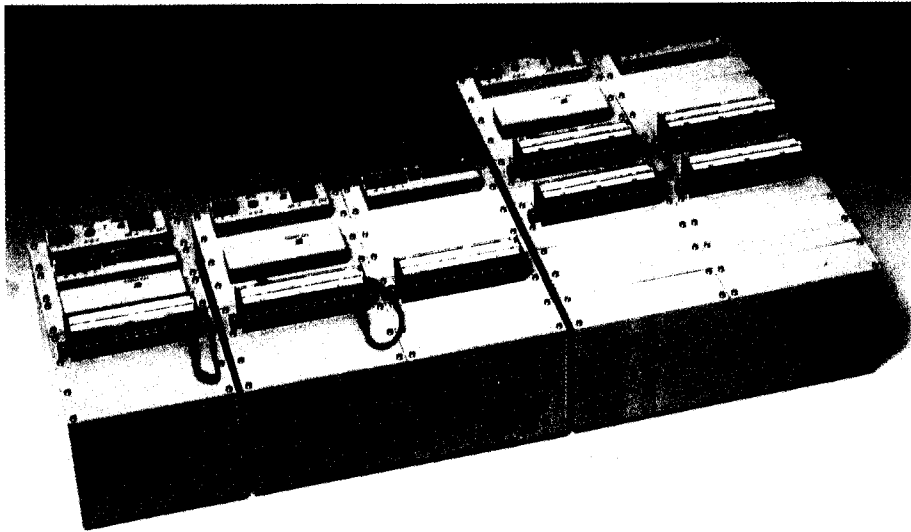
PC/AT互換機



PC98noteシリーズ

多機能・多チャンネル データロガー

FreeSlot-68KDシリーズ



▶優れた拡張性

16bitCPU(68000)、MCUバスラインにより、フリースロットを実現、汎用4チャンネル・メモリ・各演算ボード等豊富なオプションを簡単に増設できます。(オプションを自由に組み合わせて使用できます)

▶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。標準でパルス入力を2ch装備しており、雨量計等のパルス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。(受注生産)

▶多様な測定インターバル機能

チャンネル単位、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・テキスト変換等ができます。(オプション追加でデータ処理ソフト「グレードアップ」可)

▶RS-232C通信機能

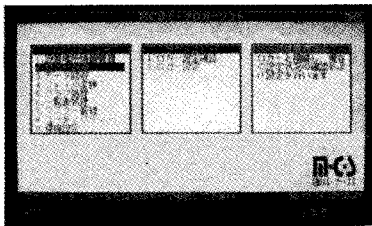
モデム(オプション)を使用し、NTT回線でパソコンと通信ができます。

▶3電源方式

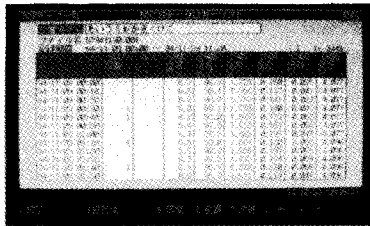
AC100V、外部電池(DC12~24V)、内蔵電池(オプション)で動作可能です。

FreeSlot-68kD 基本ソフト例

メニュー画面

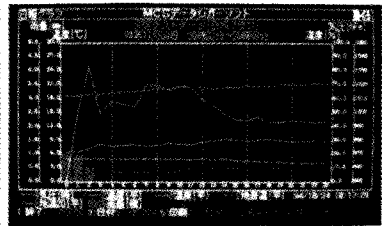


測定データ表示



FreeSlot-68KD オプションソフト例

グラフ表示(オプション)



製造・発売元



有限会社 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!!

NO₃⁻ 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



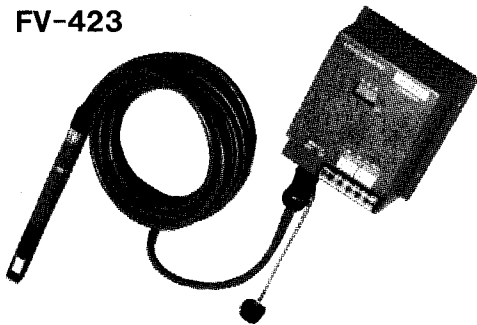
pF セラミックス土壤水分計

pF-33



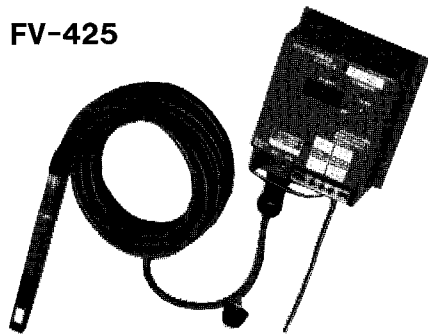
土壤 pF を連続測定及び自動灌水!!

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

「土壌の物理性」査読に関するお願い

本誌は広い学問分野の横断的学会を目指す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。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。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。

1. 査読者

(1) 査読者は、著者と意見が違っても、それを論文等の不採用の理由にしてはならない。新しい概念や事実として考察したことは、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ようなことは避けるべきである。

(2) 査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、査読者はその意見を「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) 査読期限を厳守し、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査読不可能な場合は、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) 査読者

査読は、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共に、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、よりよい誌面を作るためのものである。報文の査読は、編集委員会が依頼した2人の査読者によって行われる。

(2) 査読後の取扱い

査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) 担当したすべての査読者の判定が判定 A 「無条件適」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 「要修正再査読不要」の場合は、査読者の意

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、査読者また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。また、著者から反論があれば、他の査読者を依頼することもある。

3) 判定 C 「修正後再査読の要有り」の場合は、査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、修正後に再度査読を行う。また、著者から反論があれば、他の査読者を依頼することもある。

4) 判定 D 「不適」、E 「他の専門誌の方が適している」の場合は、さらに他の査読者を依頼し、同様に「不適」の場合は、不適の理由を付して著者へ返稿する。意見が分かれた場合には、更に他の査読者に依頼することもある。

(3) 掲載不適のもの事由

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

- ・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は資料とする。
- ・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. 資料、総説、土粒子、書評などについて

資料、総説については、査読者1名とし、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。査読の基準や取り扱い、報文に準ずる。

(1996. 4. 3 制定)

Ⓜ <学協会著作権協議会委託>

本誌（書）からの複写許諾は、学協会著作権協議会（〒107 東京都港区赤坂9-6-41、電話 03-3475-4621、Fax 03-3403-1738）から得てください。

Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan

No. 75

December 1996

Contents

Forward	T. ADACHI	1
Originals		
Measurement of the Flow Rate in a Groundwater Vein Stream	T. OKUYAMA, K. SHIBANO and M. KATO	3
Studies on Water Flow in Akaiyachi High-Moor Peat Land for its Conservation	K. SASADA, E. KONO, M. KATO and S. ISHIKAWA	11
Effect of Saline Irrigation Water on Soil Water Potential and Plant Water Stress	M.M. AHMAD, R. YASUTOMI and M. KATO	23
The Effect of Organic Matter on Dispersibility of Clays —A case study of Hikigawa reclaimed agricultural land—	A. KAWATA, K. ITAMI, K. KYUMA and T. KOSAKI	31
Relationship between Water Absorption of Volcaniclastic Sedimentary Soft-Rock Collected by Boring, Optimum Moisture Content and Grain Size Distribution Change in Compaction	M. HIKASA and H. NARIOKA	39
Experimental Study for Determining Electric Conductivity of Electrolyte Solutions Containing Suspended Clay Minerals	M. SUGIE, T. HASHITANI and M. OKAZAKI	47
Note		
Development of a Precision Hydraulic Head Difference Generator	S. KIKUCHI and K. KOGA	59
Miscellanea		
No-till Transplanting Rice Emerged in Fertilized Seed Bed Box at Hachirogata Polder —Farmers challenge to new technology and environmental conservation—	T. TABUCHI and S. HASEGAWA	63
Readers Column	Y. MORI	67
Book Review	K. YOSHINO	69
Announcements		71
Editor's Comment		74

Published by

Research Association of Soil Physics, Japan

NODAI Research Institute (NRI)

Tokyo University of Agriculture

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

President Makoto ANASE