

# 土壌の物理性

第80号

1998年12月

---

巻頭言	宮崎 毅	1
報 文		
アロフェン質土壌への硫酸溶液の拡散にともなう pH 分布予測	松川 進・加藤 秀正	3
重粘土水田における浅層暗渠の効果	駒村 正治・成岡 市・中村 貴彦・甲斐 貴光	11
Reclamation of Gypsfiferous and Nongypsfiferous Sodic Soils by Leaching		
.....王 淑湘・北村 義信・矢野 友久		21
開放ライシメータを用いた水田土壌の酸化還元電位および土壌溶液の調査		
.....佐々木長市・小関 恭・富田 道久・小黒 仁司・谷口 健		33
資 料		
アロフェン質土壌の1次鉱物の風化による酸緩衝能	松川 進・加藤 秀正・亀山 幸司	41
農村地域小河川における水質モニタリングに関する調査事例		
.....坂西 研二・芝野 和夫・大嶋 秀雄		49
書 評		
「土の自然史—食料・生命・環境—」(佐久間敏雄・梅田安治編著)	大坪 政美	55
会務報告		57
編集後記	谷山 一郎	61

---

土 壌 物 理 研 究 会

## 土壌物理研究会会則

- 第1条 本会は土壌物理研究会 (Research Association of Soil Physics, Japan) と称する。
- 第2条 本会は土壌の物理性を中心とする試験研究の発展と農業技術への貢献を図ることを目的とする。
- 第3条 本会はその目的を達成するため次の事業を行う。
- (1) 研究発表会、討論会及び見学会などの開催
  - (2) 土壌の物理性 (Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan 会誌という) 並びにその他の印刷物の発行
  - (3) 内外の研究、技術の交流及び他の学会、諸団体との協力
  - (4) その他本会の目的を達成するため必要な事業
- 第4条 本会の会員は、正会員、学生会員及び賛助会員、購読会員の4種とする。  
会員となるには評議員会の承認を受けなければならない。
- 第5条 会員は次の会費を所定の期日までに納めるものとする。
- |           |        |         |
|-----------|--------|---------|
| 正会員       | 年額     | 5,500円  |
| 学生会員      | 年額     | 3,000円  |
| (大学院生を含む) |        |         |
| 賛助会員      | 1口年額   | 22,500円 |
| 購読会員      | 会誌年額   | 7,000円  |
| 広告料       | 賛助会員   | 15,000円 |
|           | 賛助会員以外 | 22,500円 |
- 第6条 本会に次の役員をおく。任期は2年とする。ただし、3期連続の重任は認めない。選出方法は別に定める。
- (1) 会長1名、副会長1名  
正会員の中から評議員会によって選出される。
  - (2) 評議員  
イ 15名 正会員の中から互選する。  
ロ 3名以内 会長が委嘱する。
  - (3) 会計監査 2名  
正会員の中から評議員会によって選出される。
  - (4) 幹事 若干名  
会長委嘱
- 第7条 会長は毎年1回以上総会並びに評議員会を招集する。
- 第8条 本会に次の委員会をおく。
- (1) 選挙管理委員会  
正会員の中から評議員会によって選出され、本会の評議員選挙を管理する。
  - (2) 編集委員会  
正会員の中から評議員会によって選出される委員によって構成され、会誌その他の印刷物の編集に当る。
- 第9条 本会の経費は会費その他の収入をもってあてる。本会の会計年度は毎年4月1日に始まり翌年3月31日に終わる。
- 第10条 本会の会務執行に必要な規定は別に定める。  
(1996. 9. 30改正)

## 「土壌の物理性」投稿規定

### 1. 投稿要領

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

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

「ノート」 新しい事実や、研究方法の改良などを含む短い報告。

「論説・総説」 土壌の物理性に主眼をおき、広い視野に立って記述したもの。

「資料」 既に発表した報文または発表予定の内容を各分野の参考資料となるよう書き改めたもの。

「解説」 土壌の物理性に関する諸事項の理解を計るための平易な解説ならびに研究技術の普及交換を進めるための紹介など。

「その他」 土粒子、書評など。

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

### 2. 原稿執筆要領

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

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

表題・著者名・キーワード

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

本文

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

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

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

要約

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

図・表・写真

- 24) 図、表、写真は必要最少限度とし、同一事項を表と図に重複させることはできるだけ避ける。
- 25) 図、表、写真1つごとに、A4判で作成する。事故を避けるために、余白に著者名を鉛筆で記す。図、写真にはその番号も鉛筆で記す。
- 26) 図はそのまま印刷するので、白紙に黒インクできれいに書く。これと同程度の鮮明さを持つ、プロッタ、プリンタによる図は受け付ける。製版に適さない図は書き直しを要求することがある。
- 27) 図は刷り上がりの大きさを指定し、2倍くらいに大きく書く。図中の線の太さ、文字の大きさは、刷り上がりの大きさを考慮して決める。なお図および写真中の文字は希望があれば写植する。その場合には、図中の文字は鉛筆で薄く記入する。
- 28) 地図には定尺をつけ、何万分の1などの縮尺を指定しない。顕微鏡写真などには定尺をつけ、何倍などの拡大率を指定しない。
- 29) 日本語報文原稿の図・表・写真の表題には日本語と英語を併記する。
- 30) 図、写真の表題は別紙にまとめて記す。

引用文献

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

(1998. 10. 2 改正)

## 土壤物理研究会入会申し込み用紙

必要事項を記入し、このまま FAX または郵便で下記までお送り下さい。

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

本会記入 受付年月日：

承認年月日：

宛先・問い合わせ

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

〒156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1 東京農業大学総合研究所

Fax. : 03-5477-2634

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

## 大学で土壌物理学史を語ってみた

宮崎 毅\*

土壌物理学を学ぼうとすると、最近では多くの著書が出版されており、独学でもかなり知識を得ることができ。しかし、独学ではどうしても平坦な知識になり、一つ一つの重要事項の裏に隠された歴史にまで思い至ることはなかなか難しい。専門分野の論文を読もうとすると、その著者を見たことがある、会ったことがある、話したことがある、などの体験があると、全く知らない人物の論文を読むよりはるかに理解しやすく、親しみを感じて読めるようになることは誰でも経験がある。同じ事を、歴史を尋ねることで疑似体験できるのではないだろうか。

先日、大学院の講義1コマを使って土壌物理学小史を述べたところ、思いの外好評であった。大学院生から、「土壌物理学の歴史の変遷に触れることができたのは新鮮な感じを受けた」「戦後になると様々なモデルが構築され、理論的な発展が見られ、現在に至るまで裾野が広がると同時に、物理のみでなく、他の科学分野の知識が幅広く必要になってきたと思う。これは、土壌物理学の持っている、自然を科学する学問ゆえの奥深さ、複雑さを示すものである」などの感想レポートが出た。

そもそも、土壌物理学史で有名なのは、田淵、中野らのグループ研究成果発表として本誌13号(1965)、15号(1966)、19号(1968)に連続掲載された「土壌水運動理論の諸系列」である。これらの論文に影響を受けてその後の研究指針を築いた土壌物理学者は私だけではないと思う。ただし、この論文は1968年までの総括であり、レビュー対象論文数も総数54本と、決して多くはない。そしてその後、1969年以降に公刊された土壌物理関連の論文は、レビューが行われていない。

1969年、1970年はSoil Physicsの大著が同時に発刊された年で、ChildsのThe Physics of Soil Water Phenomena (1969)、RodeのTheory of Soil Moisture (1969)、Nerpin & ChudnovskyのPhysics of the Soil (1970)は、いずれも世界中に土壌物理の理論的深化を宣言し、若手研究者にも強いインパクトを与えた。日本国内でも山崎不二夫監修「土壌物理」(養賢堂1969)が出版され、我々の書庫は一気に膨れあがった。1980年代はSpatial Variability全盛期を迎え、フィールドの不均一データをどう扱うべきかの論文数が激増した。GeostatisticsとかScaling Theoryという新しい用語が飛び交う国際学会は、どこでもずいぶん高揚していた。1990年代は、環境問題が色濃く前面に押し出され、今日に至っているが、環境問題は地域性が強く、1970年代や1980年代のような世界共通の問題追究型の研究はやや後退した観がある。現在は、環境問題と関わりの深い個別現象や地域的問題が物理的手法によって研究され、実験やフィールド測定が比較的重視されているようである。

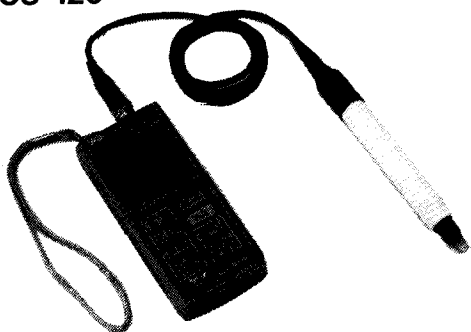
このような土壌物理学史を詳細に検討し、21世紀の土壌物理学をどのように創造するかを考えることは、興味深いことである。教室での大学院生も、このような土壌物理学史の概説を聞いた後では大変雄弁になった。彼らの意見では、「土壌圏-大気圏-海洋圏の3圏を統合的に取り扱うような学問体系を作り上げることが21世紀の課題」、「これからは土壌物理学をもっと広く産業に結びつけ、その利潤を今後のさらなる発展のために活かし、産業と学問の良い循環を作ることが可能であると思った」、「人工的な土壌を作れるのではないか」などのほか、「研究対象が多岐にわたり、発散し、衰退してしまうのではないか」という鋭い意見も出た。

こんな状況を考えると、土壌物理学史が「土壌の物理性」誌上に再び登場しても良いと思う。ただし、歴史は、ひとたび記述されると、それが権威となって異なる歴史観を封じ込める役割を果たす危険性が大いにある。特に、土壌物理学の大飛躍をめざす最前線研究者にとっては、土壌物理学史という史観そのものが“うっとうしい議論”になる危険性がある。そういう意味では、土壌物理学史を必要としているのは、教育現場でのことに限るのかもしれない。

# 土壤をそのまま測定!!

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** 土壤用硝酸イオンメーター

NOS-120



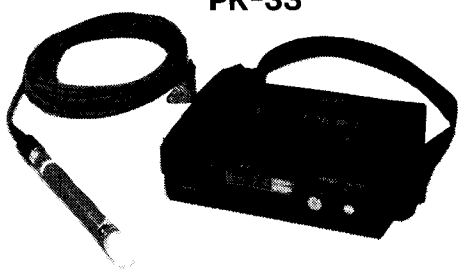
**pH** 土壤挿入式 pH 計

PHS-120



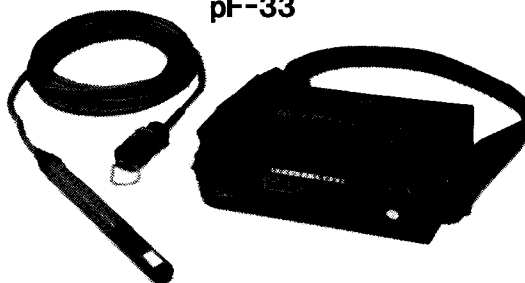
**EC** 土壤用 EC メーター

PK-33



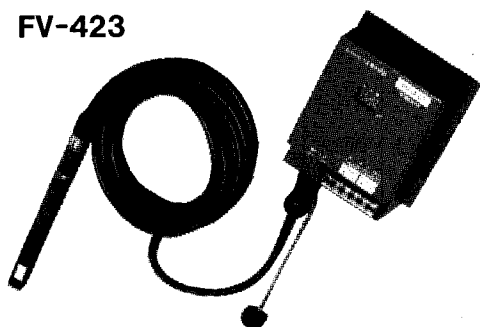
**pF** セラミックス土壤水分計

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

## アロフェン質土壌への硫酸溶液の拡散 にともなう pH 分布予測

松川 進\*・加藤秀正\*

### pH Profile Prediction Following Sulfuric Acid Solution Diffusion into Allophanic Soil

Susumu MATSUKAWA, Hidemasa KATO\*

\* Faculty of Agriculture, Utsunomiya University

#### Abstract

Sulfuric acid solution diffusions into horizontal allophanic soil column, including less than 2 mm aggregates, were measured to estimate the acid rain influences on this soil and to calculate pH diffusion coefficient. pH profile following sulfuric acid solution diffusion into this soil for 15 days was predicted by the method of mixing cell model which were combined with chemical equilibrium equations established in batch experiments. The results obtained were summarized as follows ;

1. pH profile following diffusion for 15 days was differ from smooth distributions such as water diffusion or thermal diffusion in homogenous medium. pH was changed sharply in the range of 0.3~0.7 cm from acid solution reservoir.
2. The average soil pH diffusion coefficient obtained with sulfuric acid solution diffusion was  $7 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ .
3. Effects on pH profile derived from proportion of soil that was concerned in reaction with acid solution and from degree of sulfuric ion adsorption expressed by Langmuir type adsorptive equation were analyzed. Sensitivity analysis with two parameters for pH profile gave suggestions that proportion of active soil had large influence on pH profile than that of sulfuric ion adsorption.
4. The results of simulations, with reduced proportion of active soil and sulfuric ion adsorption, for pH profile after 15 days had a sharp pH change similar to measured profile. Simulations were succeeded in error less than  $\pm \text{pH}0.1$  compared with measured value.
5. Simulation results implied that advancement of pH diffusion was restricted by the formation of new and high pH boundary conditions in the neighborhood of acid solution reservoir.

**Key words :** Allophanic soil, pH diffusion, Mixing cell model, pH prediction

#### 1. はじめに

酸性溶液の添加による土壌溶液の pH 予測モデルには、Reuss (1986) による成書や、Bloom and Grigal (1985) などの多くの研究がある。また、酸性溶液の浸透にともなう塩基性陽イオンやアルミニウムイオンの溶脱については Gaston *et al.* (1992) により測定値と計算値

の比較が行われている。そして、一連の研究は永久荷電を主要荷電とする粘土を成分に持つ土壌を対象としており、変異荷電を主体とする土壌についての研究は見あたらない。

一方、日本においては篠崎 (1983) や佐藤・大岸 (1990) により、溶出液のイオン濃度変化についての定性的研究が行われた。また、日本の畑地に広く分布する火

\* 宇都宮大学農学部 〒321-8505 宇都宮市峰町 350

キーワード：アロフェン質土壌, pH 拡散, ミキシングセルモデル, pH 予測

山灰土壌への影響については、Nakagawa and Ishiguro (1994) や松川ら (1996) により土壌粒子の分散により透水性が低下することや、酸性溶液の種類により透水性変化が異なることが明らかにされた。

さらに、松川ら (1998 a) はアロフェン質土壌に酸性溶液を繰り返し添加した場合について、化学平衡式を簡便化して pH 変化の予測を試みた。しかし、pH の測定条件は遠沈管内の土壌と酸性溶液を 18 時間振とうしたバッチ法であり、土壌と酸性溶液との反応を人為的に促進したものであった。

そこで、酸性溶液とアロフェン質土壌との反応をより実態に近似するため、硫酸溶液が拡散移動する条件について pH 測定値と計算値の比較を試みた。このため、Nye and Ameloko (1986) による pH の拡散係数の算出と、バッチ法に用いた化学平衡式、および Appelo and Willemsen (1987) の Mixing Cell モデルを適用した。

実験中に団粒が崩壊しない土壌カラムへの酸性溶液の拡散移動と、人為的に反応を促進させたバッチ法では、反応に関与する土壌の割合や反応の速さが異なると考えられる。そこで、バッチ法で用いた化学平衡式を拡散移動に適用するために、酸性溶液との反応に関与する土壌割合などを補正して比較検討することとした。

## 2. pH の拡散係数測定法

### 1) 測定装置と測定法

pH の拡散係数測定装置を図-1 に示した。装置はアクリル管土壌カラム (内径 3 cm, 長さ 10 cm, 肉厚 0.5 cm), サポートスクリーンを接着した酸性溶液供給カラム

ム、および、供給カラム内の pH を一定に維持するために酸性溶液を微量 (約 9 mL/h) 循環させる 2 段タイプのペリスタポンプより構成した。肉厚を 0.5 cm としたのは、土壌カラムと供給カラムの接触面積を大きくし、2 つのカラムを接着した場合の気密性を増すためである。また、サポートスクリーンはスリット状の開孔部があり、硫酸溶液と土壌が直接接触できる構造となっている。

また、2 段タイプのペリスタポンプを全く同一流量にセットすることは困難で流量に微量な差が生じた。このため、流量がやや大きい方を供給側にし、排水量より過剰な供給量を空気抜きから排除し、供給カラムと土壌カラムに過剰な水圧が作用しないようにした。また、空気抜きは拡散開始時に、短時間で供給カラムを酸性溶液で満たすためにも用いた。

土壌は松川ら (1998 a) と同様、宇都宮大学農学部附属農場牧草畑の深さ 40 cm から 60 cm より採土した関東ローム下層土 (軽埴土, 真比重 2.72, 有機物含有率 0.02 g/g) を用いた。含水比を約 0.6 に調整後、0.2 cm の篩通過分をアクリル管に乾燥密度  $0.5 \text{ g/cm}^3$  で充填した。

土壌充填後に土壌カラムを立て、蒸留水を用い毛管上昇により 24 時間毛管飽和の処理を行った。毛管飽和後、土壌カラム管の上部にアクリル円盤をテープで密着した。そして、土壌カラムを反転し、カラムの他端にはサポートスクリーンを接着した酸性溶液供給カラムをテープで密着した。その後ビニール袋に入れて蒸発を防止し、48 時間水平に静置し水分量の均一化を行った。

供給カラムにゴム栓をし、空気抜き孔から  $0.5 \text{ mol}$  硫酸試薬を 1/100 に希釈 (pH2 相当) した硫酸溶液を洗浄

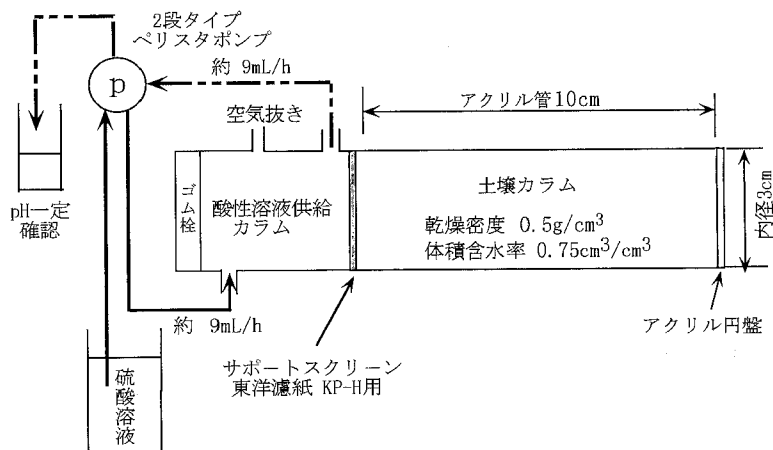


図-1 pH 拡散係数測定装置

Fig. 1 Apparatus used for measuring the pH diffusion coefficient.



びんで瞬時に供給し、同時にペリスタポンプを稼働させ拡散開始時刻とした。拡散時間は10～15日程度とし、温度は20°C±1.5°Cのほぼ一定の条件とした。

所定の拡散時間経過後、ゴム栓を静かに抜き供給カラム内の酸性溶液を排除する。次いで、サポートスクリーン、アクリル円盤と土壌カラムの接着テープ接合部をナイフで切り離し、カラム内径と同一の柄付きゴム栓で試料に定規を当てて0.2cmずつ、計2cm分（個数にして10個）押し出し、スパチラで切り取り遠沈管に入れた。また、含水比は残り8cm分の試料を用いて測定し、乾燥密度とともに体積含水率の算出に用いた。なお、乾燥密度が0.5g/cm<sup>3</sup>と小さいため試料の押し出しに伴う抵抗は少なく、比較的スムーズに行えたが、試料の厚みには±0.02～0.03cm程度の誤差が含まれていると考えられる。

土壌試料が少量のため土壌溶液を直接採取できないので、遠心分離（1万回転で約10分間）によって得た分離液をシリンジで吸引し、新電元工業製pHメータ（pHBOY-P2）でpHを測定した。使用したpHメータの測定精度は±pH0.1である。

なお、硫酸溶液の拡散にともなうpH分布測定は、pHが変化する範囲を把握するための予備実験（試料押し出

し厚さ0.5cm）1回と、押し出し厚さ0.2cmについて2回行った。しかし、予備実験は0.5cm間隔のpH分布測定であるので、細かなpH分布は得られていない。

### 2) pHの拡散係数算出法

pHと距離の関係をプロットし、グラフソフト（カレイダグラフ、株式会社ヒューリンクス）のスムーズ曲線を用い、ΔpH=0.1ごとの拡散距離を補間した。拡散係数はBruce and Klute（1962）の水分拡散係数の算出やNye and Ameloko（1986）の方法と同様、(1)式より算出した。

$$D(\text{pH}) = -\frac{1}{2t} \frac{\Delta x}{\Delta \text{pH}} \sum_{\text{pH}_i}^{\text{pH}_f} x \Delta \text{pH} \quad (1)$$

ここで、 $t$ ：拡散時間、 $\text{pH}_i$ ：初期pH、 $\text{pH}_f$ ：境界（ $x=0$ ）のpH（供給硫酸溶液のpH）、 $\Delta x$ ：ΔpH=0.1ごとの拡散距離差である。

### 3. pH分布計算の手順

#### 1) 化学平衡式

化学平衡式は松川ら（1998a）と同様、表-1のように組成した。すなわち、アルミニウムの溶解と加水分解、全塩基性陽イオン交換、炭酸塩平衡、硫酸イオン吸着と

表-1 バッチ法のpH計算に用いた化学平衡式

Table 1 Chemical equations, equilibrium constants and conditions used in batch measurements

1. アルミニウムの溶解と加水分解	
(1) $(\text{Al}^{3+}) = 4.296 \times 10^3 (\text{H}^+)^{1.9217}$	実測
(2) $\text{Al}^{3+} + \text{H}_2\text{O} = \text{AlOH}^{2+} + \text{H}^+$	$\log K = -5.02$ (Wolt 1994)
(3) $\text{Al}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_2^+ + 2\text{H}^+$	$\log K = -9.30$ (Wolt 1994)
2. 塩基性陽イオン交換	
(4) $2\text{Al}^{3+} + 3\text{ExCa} = 3\text{Ca}^{2+} + 2\text{ExAl}$	
$\text{Ca}^{2+}$ は塩基性陽イオン濃度	$\log K$ 仮定
$\text{ExCa}$ は当量分率=0.25, ただし $\text{ExCa} + \text{ExAl} = 1$	
3. 炭酸塩平衡	
(5) $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$	$\log K = -7.82$ (Wolt 1994)
4. 硫酸イオン吸着とイオンペア	
(6) $\text{SO}_4^{2-} (\text{mol/g}) = \frac{K_{\max} [\text{SO}_4^{2-}]}{K_{1/2} + [\text{SO}_4^{2-}]}$	実測
$K_{\max} = 1.644 \times 10^{-4}, K_{1/2} = 5.282 \times 10^{-4}$	
(7) $\text{Al}^{3+} + \text{SO}_4^{2-} = \text{AlSO}_4^+$	$\log K = 3.20$ (Wolt 1994)
5. 電気的中性条件	
(8) $\sum \text{C}_i + \text{Z}_i^+ = \sum \text{C}_i - \text{Z}_i^-$	
6. 質量保存則	
(9) $\text{SO}_4^{2-}$ : 混合前 = 混合後 (溶液中 $(\text{SO}_4^{2-} + \text{AlSO}_4^+) +$ 吸着 $\text{SO}_4^{2-}$ )	
(10) $\text{Ca}^{2+}$ : 混合前 = 混合後 (溶液中 $\text{Ca}^{2+} +$ 交換態 $\text{Ca}^{2+}$ )	

イオンペア種、電気的中性条件、および塩基性陽イオンと硫酸イオンの質量保存則である。

## 2) Mixing Cell の諸元

化学平衡式に示した各イオンの移動を溶質拡散式で解くには、イオンの数だけ微分方程式が必要となり、大変煩雑となる。また、多種イオン間の化学平衡を表す項を微分方程式中に導入することも困難となる。そこで、拡散係数が一定の場合について Appelo and Willemssen (1987) が示した拡散移動についての Mixing Cell モデルを適用し、Mixing Cell の諸元を (2), (3) 式より決定した。

$$f = 1 - 2D \frac{\Delta t}{(\Delta x)^2} \quad (2)$$

$$C_i = fC_i^{-1} + 0.5(1-f)(C_i^{-1} + C_i^{+1}) \quad (3)$$

ここで、 $f$ : セル溶液の最適混合因子 ( $0 < f < 1$ )、 $D$ : 拡散係数 ( $\text{cm}^2/\text{d}$ )、 $\Delta t$ : 混合の生じる時間間隔 ( $\text{d}$ )、 $\Delta x$ : セル幅 ( $\text{cm}$ )、 $C$ : セル溶液濃度 ( $\text{mol/L}$ )、 $j$ : 現在の時刻、 $j-1$ : 前時刻、 $i$ : セル番号、である。すなわち、土壌カラムを  $\Delta x$  の幅に分割した場合、 $\Delta t$  時間で (3) 式に従って各セルの溶液が完全に混合されると定義される。なお、今回用いたセル幅  $\Delta x$  は、試料に  $0.2\text{cm}$  以下の団粒を含む土壌を用いたので、最大団粒と同一とし、 $\Delta x = 0.2\text{cm}$  とした。

## 3) 計算の手順

硫酸溶液の拡散にともなう pH 分布測定値から、(1) 式を用いて pH の拡散係数を求める。次いで、(2) 式より Mixing Cell の最適混合因子  $f$  を決定する。

化学平衡式より初期濃度を算出し、各セルにメモリーする。 $\Delta t$  時間後の各セルの溶液を (3) 式に従い混合し、混合後の平衡濃度を表-1 の化学平衡式より計算する。これを所定の時間まで繰り返した。

## 4. pH 測定結果とイオン濃度計算結果

### 1) 土壌カラム中の pH 分布

水平拡散溶液として用いた硫酸溶液は市販の  $0.5\text{M}$ -硫酸試薬を  $1/100$  に希釈し pH 2 を作成したが、pH BOY-P2 で測定すると pH 1.9 であった。土壌カラム中の pH 測定も pH BOY-P2 を用いるので、供給硫酸溶液の pH を 1.9 として扱った。この硫酸溶液を拡散した後の pH 分布を図-2 に示した。図中で横軸の距離のプロット位置は、土壌厚さを予備実験 (No. 1) では  $0.5\text{cm}$ 、他は  $0.2\text{cm}$  ごとに pH を測定したので、それぞれの厚みの中央を距離とした。pH 測定間隔が粗い No. 1 を除き、拡散距離  $0.3\text{cm} \sim 0.5\text{cm}$  の間では、前後の距離に比較して pH がかなり低下していた。この分布は水分拡散に見られるような水分分布や、粒径  $0.02\text{cm}$  以下の loamy

sand を用いた Nye and Ameloko (1986) の滑らかな pH 分布とは異なるものであった。

なお、pH 分布が滑らかにならない原因については、後述の「4) pH 分布の計算結果」で、考察を加えた。

### 2) pH の拡散係数

図-2 に示した測定 No. 3 の pH 分布測定値にスムーズ曲線を当てはめたものを図-3 に示した。この曲線より  $\Delta\text{pH} = 0.1$  ごとに拡散距離 ( $x\text{cm}$ ) を補間した。pH 0.1 ごとに pH と距離  $x$  ( $\text{cm}$ ) との関係 (1) 式に適用し、pH の拡散係数を算出し図-4 に示した。ただし、滑らかでない分布についても拡散係数が求められると仮定した。

図-4 から pH の拡散係数は  $10^{-8}\text{cm}^2/\text{s}$  のオーダーで、Nye and Ameloko (1986) が loamy sand について求めたオーダーと一致したが、pH と拡散係数の関係は逆

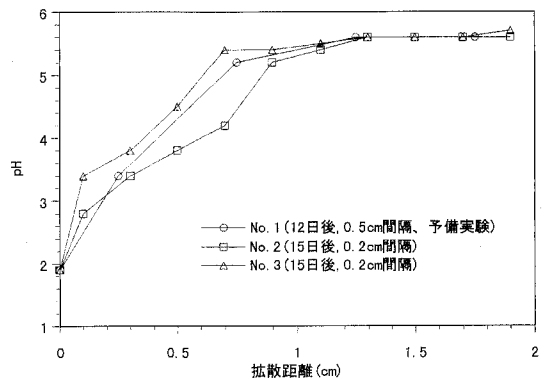


図-2 pH 1.9 硫酸溶液拡散後の pH 分布

Fig. 2 pH profiles following pH 1.9 sulfuric acid solution diffusion into allophanic soil.

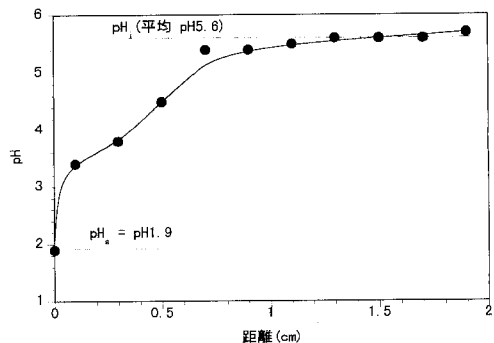


図-3 pH 1.9 硫酸溶液 15 日拡散後の pH 分布

Fig. 3 pH profile following pH 1.9 sulfuric acid solution for 15 days into allophanic soil.

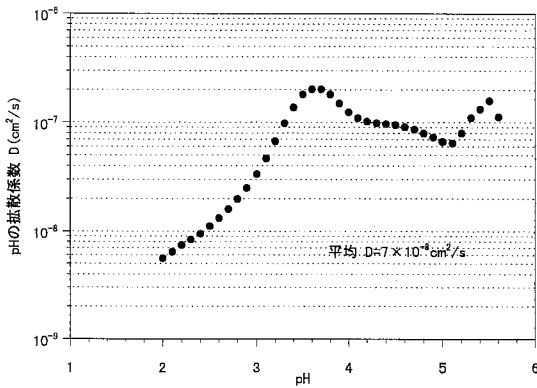


図-4 pH と pH の拡散係数との関係

Fig. 4 Relation between pH diffusion coefficient (D) and pH.

の結果となった。すなわち、Nye and Ameloko (1986) は pH 5.5 付近で拡散係数が最小となり、これより pH が低下、あるいは増加すると、拡散係数が大きくなる結果を得ている。

このことについては次のような原因が考えられる。

(1) 測定データが 0.2 cm 間隔と粗く、滑らかな曲線補間ではないこと。

(2) 硫酸溶液供給カラムと土壌カラムの間のサポートスクリーンを介して、硫酸溶液と土壌とが直接接触できる構造としたが、 $pH_s$  ( $x=0$  cm の pH) を供給硫酸溶液の pH と等しいとみなしたこと。

(3)  $pH_s$  を供給硫酸溶液の pH と見なしたために、図-3 に示したように pH 1.9~3.4 の間では(1)式中の、 $\Delta x / \Delta pH$  が小さくなり拡散係数が小さな値となった。

(4) 低 pH 区間では表-1 のアルミニウムの溶解、アルミニウムイオンと塩基性陽イオン交換や硫酸アルミニウムの生成が大きくなり、結果的に緩衝機能が増し、pH の拡散抑制機能が発現した。

### 3) 混合因子

拡散係数が一定である場合の Appelo and Willemsen (1987) の Mixing Cell の混合因子算出に必要な拡散係数には、平均値  $D=7 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$  ( $=6.048 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{d}$ ) を用いた。セル幅  $\Delta x$  を団粒の最大径 0.2 cm としたので、 $\Delta t$  の大きさは 2 cm の試料長 (セル数にして 10 個) 全てが 15 日後に混合すればよい。すなわち、15 日後の計算回数セル個数 10 個と同じ 10 回であればよいから、 $\Delta t=1.5 \text{ d}$  となる。従って、最適混合因子は、 $\Delta t=1.5 \text{ d}$ 、 $\Delta x=0.2 \text{ cm}$ 、 $D=6.048 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{d}$  を用い、(2)式より  $f=0.5464$  とした。

### 4) pH 分布の計算結果

遠沈管に pH 2 硫酸溶液を繰り返し添加した場合 (バッチ法) の pH 変化を松川ら (1998a) の方法で計算し、測定値とともに図-5 に示した。この計算は表-1 で唯一の未知数である塩基性陽イオン交換の平衡定数 ( $\log K$ ) を試算的に与え、測定値との適合が最も良い値を見出す手法によった。 $\log K=5.9$  とした場合、計算誤差はほぼ  $\pm \text{pH} 0.2$  程度で、松川ら (1998a) の計算した pH 3 硫酸溶液の場合と同様な精度であった。

硫酸溶液の浸透や拡散による場合では、溶液と土壌の反応を人為的に促進させたバッチ法で求めた硫酸イオン吸着曲線や、塩基性陽イオン交換に関する土壌割合などが異なることが考えられる。例えば、松川ら (1998b) は火山灰土壌の薄層に硝酸溶液と硫酸溶液を浸透させ、両者の排水溶液の pH を比較した。その結果、硫酸溶液を浸透した場合の排水液の pH は、浸透させた硫酸溶液とほぼ同一の pH となった。この原因の 1 つとして硫酸溶液では土壌粒子が分散しないため、硫酸溶液と土壌粒子との反応が団粒表面に限定されるためと推定した。

そこで、図-5 に示した pH 2 硫酸溶液の繰り返し添加処理 (バッチ法) に用いた化学平衡式の中で、Langmuir 型硫酸吸着曲線 (表-1 の (6) 式) の  $K_{1/2}$  の値と、溶液との反応に関する土壌の割合とがそれぞれ pH 分布に与える影響評価を行った。なお、1セル当たりの土壌量は、乾燥密度  $0.5 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、セル体積  $1.414 \text{ cm}^3$  であるので、 $0.707 \text{ g}/\text{セル}$  である。また、1セル当たりの水分量は、体積含水量が  $0.75 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  であるので、 $1.06 \text{ cm}^3/\text{セル}$  であった。

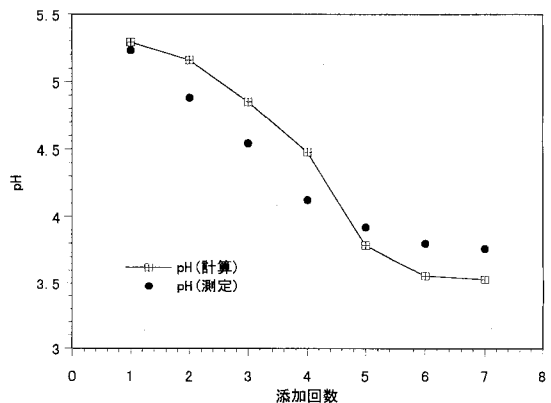


図-5 pH 2 硫酸溶液添加時の pH 測定値と計算値 (バッチ法)

Fig. 5 Measured and predicted pH with addition of pH 2 sulfuric acid solution by batch experiments.

図-6は反応に関与する土壌割合が0.2の時、 $K_{1/2}$ に乗ずる係数を変えた場合の15日経過後のpH分布を比較したものである。硫酸吸着が少なくなる(乗ずる係数が大きくなる)と、位置が0.3cmのセルのpHが低下し、上に凸の滑らかな分布とならないことが分かる。

同様に図-7は、 $K_{1/2}$ に乗ずる係数を50とし、反応に関与する土壌割合を変えた場合の15日後のpH分布を示した。図-6と同様な変化を示すが、反応に関与する土壌割合を変化させた場合、位置が0.3~0.5cmのセルのpH低下が大きく、反応に関与する土壌粒子割合がpH分布に与える影響が大きいと判断できる。

図-8は $K_{1/2}$ に乗ずる係数を50、反応に関与する土壌割合を0.15とした場合のpH分布計算値と測定値を示

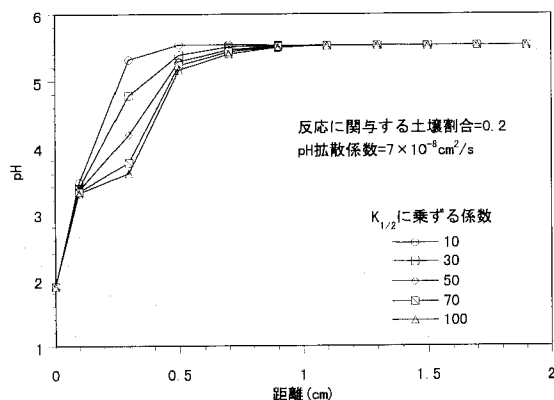


図-6 硫酸吸着式の $K_{1/2}$ に乗ずる係数によるpH分布比較

Fig. 6 Effects of multiplier for  $K_{1/2}$  on the pH profile.

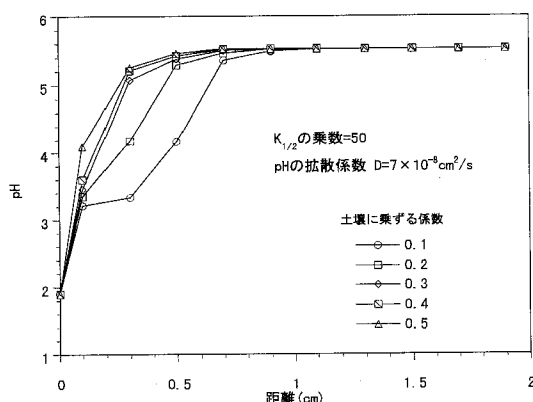


図-7 土壌に乗ずる係数によるpH分布比較

Fig. 7 Effects of multiplier of soil weight on the pH profile.

した。すなわち、硫酸の吸着量がバッチ法の条件の約1/50、塩基性陽イオン交換などに関与する土壌割合が0.15の場合に相当する。位置が0.5cmのセルでの一致は劣るが、pHの測定値と計算値の誤差は±pH 0.1程度であった。

これらを総合すると、pHが上に凸な滑らかな分布にならない原因として、つぎのように整理することができる。

(1) 酸性溶液との反応に関与する土壌割合の低下により、塩基性陽イオン交換や硫酸イオン吸着による緩衝機能が抑制されると滑らかな分布から変位する。

(2) 今回用いた関東ローム下層土は初期含水比が0.6と比較的乾燥していたため、団粒がやや堅固であったと考えられる。また、硫酸溶液の拡散測定前に、下からの毛管飽和处理を行ったため、団粒のスレーキング(土の理工学性実験ガイド編集委員会, 1983)が少なかった。このため、酸性溶液と土壌の反応が団粒表面付近に限定された可能性が高かった。

#### 5) pHの時間変化

図-9は0.1, 0.3, 0.5cmセルのpHの経時変化を示したものである。0.1cmのセルのpHは6日までは急激に低下するが、それ以降の変化は少なく、図-5に示したバッチ法のpH変化と類似している。なお、硫酸溶液を15日間拡散した場合にpHの低下が明らかに確認できるのは、図-3より0.5cm~0.7cmの位置までである。

このようにpHの変化が生じる範囲が狭いのは次のように考えることもできる。すなわち、表-1に示した塩基性陽イオン交換や硫酸イオン吸着による緩衝機能などが関与すること。次に、図-9に示したように0.1cmのセ

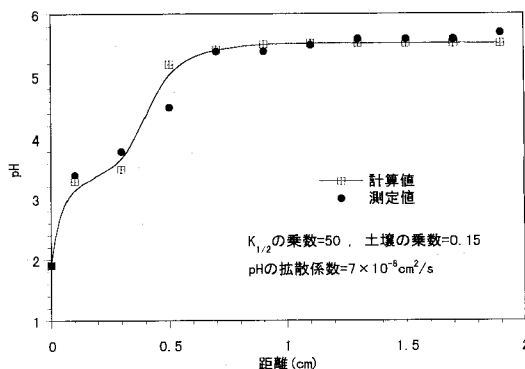


図-8 pH 1.9硫酸溶液15日拡散後のpH測定値と計算値比較

Fig. 8 Measured and predicted pH profile following pH 1.9 sulfuric acid solution for 15 days.

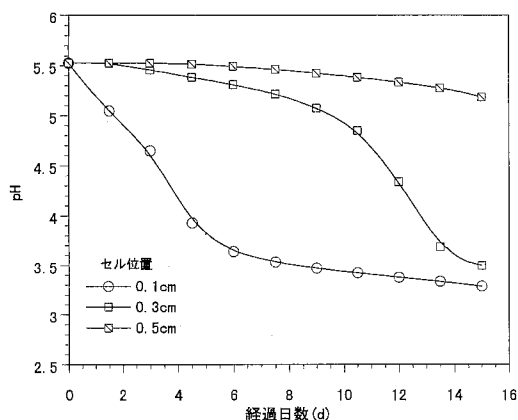


図-9 いくつかのセルの pH 経時変化

Fig. 9 pH change for some cells with time.

ルの pH が経過日数とともに変化が少なくなり、しかも供給硫酸溶液の pH 1.9 より高い pH 3.4 付近に維持される。すなわち、初期の境界値より pH の高い境界条件が新たに土壤中に生じて pH の勾配が減少し、pH の拡散を抑制していると考えられる。

バッチ法に適用した化学反応式中、硫酸吸着と反応に関与する土壤割合を補正項と見なし Mixing Cell モデルを用いて pH 分布を計算した。その結果、pH が必ずしも滑らかな曲線分布を示さないことを測定値と計算値により示した。滑らかな pH 分布を得た Nye and Ameloko (1986) は  $1\text{ g/cm}^3$  で充填した  $0.02\text{ cm}$  以下の loamy sand 使用しているので、酸性溶液との反応の程度を規定すると考えられる試料の最大団粒径や団粒化の程度、土性による緩衝機能の相違などが反映したと考えられる。

しかしこれらは、アロフェン質土壤に簡便化した化学平衡式を適用した場合の考察であり、今後詳細な化学平衡式を組成する必要がある。

#### 6) アルミニウムイオン濃度分布

実験では土壤試料が少量で濃度測定が不可能であるため、計算結果のみを示す。

図-10 にアルミニウムイオン種の 15 日経過後の分布を示した。pH が約 4.5 以下に低下すると  $\text{Al}^{3+}$  濃度は急激に上昇するので、 $\text{Al}^{3+}$  濃度が高いのは  $0.3\text{ cm}$  のセルまでである。また、硫酸溶液の供給源に近い  $0.3\text{ cm}$  のセルまでは  $\text{AlSO}_4^+$  の濃度が  $\text{Al}^{3+}$  濃度より高い。従ってその分  $\text{Al}^{3+}$  濃度が低下し、 $\text{Al}^{3+}$  の加水分解 (表-1 の (2), (3) 式) による  $\text{H}^+$  の放出が少なくなり、 $\text{AlSO}_4^+$  の生成には pH の低下を抑制する機能のあることも理解できる。

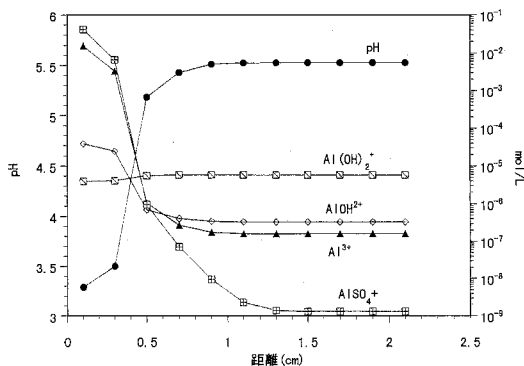


図-10 pH 1.9 硫酸溶液 15 日拡散後のアルミニウムイオン種の分布

Fig. 10 Profiles of aliminum ion species after 15 days.

## 5. まとめ

pH 2 硫酸溶液を繰り返し添加した場合 (バッチ法) の pH 変化予測に用いた化学平衡式を準用し、硫酸溶液の拡散にともなうアロフェン質土壤カラム中の pH 分布を Mixing Cell モデルと結合し予測した。

1) 最大団粒径  $0.2\text{ cm}$  のアロフェン質土壤では、硫酸溶液拡散後の pH 分布は滑らかな分布を呈さず、pH が急変する箇所が存在した。

2) pH の拡散係数の平均値は  $7 \times 10^{-8}\text{ cm}^2/\text{s}$  であった。

3) バッチ法で用いた化学平衡式中、溶液との反応に関与する土壤割合と硫酸吸着量を減少させ感度分析を行った。その結果、反応に関与する土壤割合変化の影響が大きいことが示唆された。すなわち、酸性溶液との反応が団粒表面等に限定されると、滑らかな pH 分布から変位することが示唆された。

4) 反応に関与する土壤割合と硫酸吸着を低下させると pH が急変する箇所が得られ、測定値と  $\pm\text{pH}0.1$  程度の誤差で計算可能であった。

バッチ法での土壤と溶液の反応と比較し、拡散移動では硫酸吸着が  $1/50$ 、反応に関与する土壤割合が  $0.15$  の場合、測定値と計算値の適合が良好であった。

5) pH の変化の及ぶ範囲が少ない原因の 1 つに、初期の境界条件に比較し pH の高い境界条件が、拡散により新たに土壤中に生成することが示唆された。

Mixing Cell モデルと化学平衡式を組み合わせ、硫酸溶液の拡散にともなう pH 変化の計算を試み、その有効性が確認された。しかし、拡散溶液供給境界値の pH ( $\text{pH}_0$ ) の明確化、土壤カラム中の pH 測定間隔の狭小

化, 化学平衡式の詳述化などが今後必要である。

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

### 引用文献

- Appelo, C.A.J. and Willemsen, A. (1987): Geochemical calculations and observations on salt water intrusions, I. A combined geochemical/mixing cell model. *J. Hydrol.*, **94**: 313~330.
- Bloom, P.R. and Grigal, D.F. (1985): Modeling soil response to acidic deposition in nonsulfate adsorbing soils. *J. Environ. Qual.*, **14** (4): 489~495.
- Bruce, R.R. and Klute, A. (1965): The measurement of soil moisture diffusivity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **26**: 458~462.
- Gaston, L.A. Mansell, R.S. and Selim, H.M. (1992): Predicting removal of major soil cations and anions during acid infiltration: Model evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **56**: 944~950.
- 松川 進・富田平四郎・鈴木 敬 (1996): 酸性溶液が土壌の透水性と塩類溶脱に及ぼす影響, 土壌の物理性, **73**: 53~58.
- 松川 進・加藤秀正・富田平四郎・鈴木 敬 (1998a): 酸性溶液を繰り返し添加した時の土壌溶液濃度と pH, 土壌の物理性, **77**: 11~18.
- 松川 進・富田平四郎・鈴木 敬・加藤秀正 (1998b): アロフェン土壌における酸性溶液浸透時の土粒子分散, 透水係数, pHの関係, 土壌の物理性, **77**: 3~9.
- Nakagawa, T. and Ishiguro, M. (1994): Hydraulic conductivity of allophenic Andisol as affected by solution pH. *J. Environ. Qual.*, **23**: 208~210.
- Nye, P.H. and Ameloko, A.A. (1986): A comparison of measured and theoretical soil acidity diffusion coefficients over a wide range of pH. *J. Soil Sci.*, **37**: 191~196.
- Reuss, J.O. (1980): Acidic deposition and the acidification of soils and waters. p. 93~109, Springer-Verlag., New York.
- 佐藤一男・大岸 弘 (1990): 酸性降下物に対する土壌中和能の簡易測定法, 環境科学会誌, **3** (1): 37~47.
- 篠崎光夫 (1983): 酸性雨による土壌塩基の溶脱について, 環境技術, **12** (12): 821~827.
- 土の理工学性実験ガイド編集委員会 (1983): 土の理工学性実験ガイド, p123~124, 農業土木学会, 東京.
- Wolt, J.D. (1994): Soil solution chemistry. p. 158~161, John Wiley & Sons Inc., New York.

受稿年月日: 1998年 3月 16日

受理年月日: 1998年 7月 28日

## 重粘土水田における浅層暗渠の効果

駒村正治\*・成岡 市\*\*・中村貴彦\*・甲斐貴光\*\*\*

### Effect of Field Drainage by Shallow Under-Drainage in Heavy Clay Paddy Field

Masaharu KOMAMURA\*, Hajime NARIOKA\*\*, Takahiko NAKAMURA\* and Takamitsu KAI\*\*\*

\* Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

\*\* Faculty of Environmental Science and Technology, Okayama University

\*\*\* Nagano Prefectural Government

#### Abstract

The purpose of this study is to make influence to consolidation of the paddy fields and soil physical properties by advanced technique, which contributes to promote new technique. We selected implementing advanced rice growing farmers, and investigated their growing method and soil of paddy fields.

Location of survey site in this research in the paddy fields conducted shallow Under-drainage in Fukuroi city of Shizuoka prefecture. The following items on paddy fields such as soil profile, soil physical property, water content, bearing capacity, and Under-drainage discharge, water quality were measured.

In order to examine the influence of under-drainage, the effect of shallow under-drainage was pursued with these obtained results.

As a result, it was cleared that soil dryness progresses and soil structure progresses. Also this investigated paddy field has already been constricted under-drainage, therefore the workability of agricultural machine like rice transplanter and harvest-machine like combine were improved.

In addition to the introduction new growing technique of field drainage with conversion of paddy fields into large-sized and multi-purpose one, is also being considered as significant thing.

Therefore it can be considered that shallow under-drainage with sheet pipe is efficient to field drainage.

**Key words**: Heavy clay paddy field, Shallow under-drainage, Rice husk drain, Field drainage, Soil moisture, Bearing capacity

#### 1. はじめに

近年、わが国における稲作水田農業は、米価の自由化、農業従事者の高齢化、後継者不足などの諸情勢のもとで厳しさが増している。外国産の米に価格の面から対抗するには生産コストの低減が必要であるが、飛躍的な低コスト化や労働生産性の向上には、従来の稲作手法と異なる革新的栽培技術が必要と考えられている。その対策と

して田植えに代わるべき直播栽培や不耕起栽培などの導入が考えられている。そのために、さらに進んだ機械化営農や高度利用に則した大区画圃場や用排水路などの生産基盤の整備・拡充が期待されている。

これらの時代的要請を背景にして、先進的稲作栽培を保障する水田基盤の整備について考えると、とくに問題視されているのは圃場の排水能力であり（農水省、1980）、大区画圃場の整備や水田の汎用化を進める上で、

\* 東京農業大学地域環境科学部 〒156-8502 世田谷区桜丘 1-1-1, \*\* 岡山大学環境理工学部 〒700-8530 岡山市津島中 2-1-1,

\*\*\* 長野県佐久地方事務所 〒385-0054 長野県佐久市大字跡部 65-1 佐久合同庁舎

キーワード: 重粘土水田, 浅層暗渠, モミガラ暗渠, 圃場排水, 土壌水分, 地耐力

暗渠による迅速地下排水を促進することが必要不可欠とされている(農水省, 1990)。

そこで著者らは、「浅層暗渠」の排水効果に注目し、この暗渠を施工した圃場を対象にして実地調査を行った(甲斐ら, 1995, 1996)。調査圃場は静岡県袋井市の水田であり、土壌断面、土壌の物理性、作土表層の体積含水率、地耐力、暗渠排水量およびその水質などから浅層暗渠の効果について検討した。

なお、「浅層暗渠」は、圃場の長辺方向にモールドレーナーによるポリエチレン製有孔パイプ(φ50 mm)を4 m間隔、40 cm深さに引き込み、これに直交する方向で4 m間隔、35 cm深さの弾丸暗渠を4~5年に1回の頻度で下方のパイプを破損しないように施工する方式である。

この暗渠方式については、「この浅層暗渠は組み合わせ暗渠として密な排水網を有する暗渠方式であり、また従来方式より施工深が上位にあって作土層中や地表の過剰水分を迅速に排除することができ、しかも埋め戻し部分が無いので、圃場面沈下や土層の透水性の低下が発生する確率が低く、この暗渠施工後は圃場機械の導入が容易である」と事前評価されている。

## 2. 調査方法

### (1) 調査地および圃場

本研究の対象地区は、静岡県袋井市の太田川上流の敷地川と一宮川の後背湿地(図-1)である。この地区は従来より排水不良が営農上の問題となっていた。調査圃場は同図に示すとおり太田川中流部沖積地で、地区標高約25 mに位置する粘質土水田である。本圃場は昭和30年代に最初の圃場整備を行っており、現在の圃場形状(30 a区画)になったのは、昭和63年~平成元年(1988~1989年)の圃場整備事業による。その後、仮畦畔がつけ加えられたり、暗渠(従来方式)が埋設されている。

調査圃場は、表-1にまとめて示すとおり、川会地区4圃場と見取地区2圃場の計6圃場である。なお、No. 1とNo. 2, No. 5とNo. 6は各々隣接している。

土壌に関する調査は非灌漑期間の秋(1994年10~12月)および春(1995年3~4月)に行い、それ以外の暗渠排水量および水質等に関する調査は湛水期(1995年7月;中干し前, 同年8月;中干し後)に行った。また、1994~1997年の作付一覧を表-2にまとめ、一連の土地利用状況を示す。1994年以前は全圃場とも水稲作であった。

以下本文では、各調査圃場を「No. ○水田」、「モミガラ区」、「浅層○区」などのように表記する。

なお、No. 4水田は調査後の1995年11月に浅層暗渠

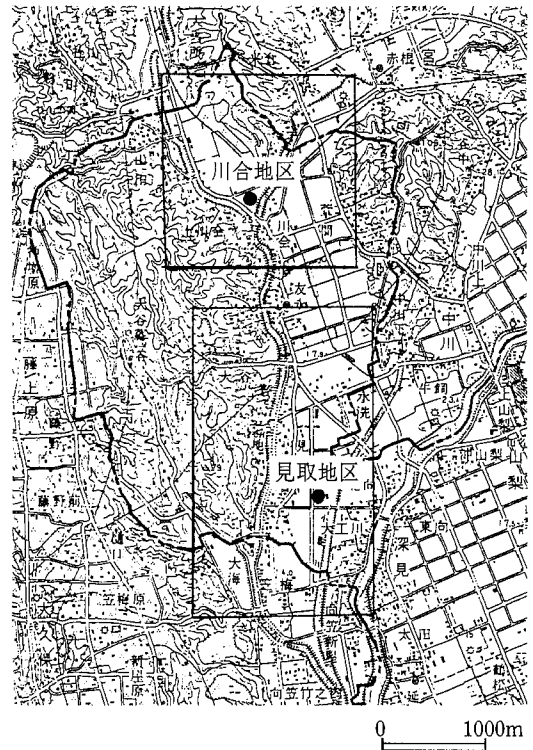


図-1 調査対象地(国土地理院1/2.5万地形図:袋井より抜粋)

Fig. 1 Location of research site.

を施工したが、本論では無暗渠水田とした。作付水稲品種はコシヒカリ、アキタコマチ、キヌヒカリおよびヒノヒカリである。転作水田として利用する場合は、冬から春にかけて小麦を、秋にはソバを栽培し、夏は作付していない。

### (2) 暗渠の施工概要

No. 1水田のモミガラ暗渠は、長辺方向に暗渠(φ50 mmの有孔ポリエチレン製コルゲートパイプ)を埋設し、疎水材としてモミガラが厚さ30 cm、幅20 cmで充填されている。埋設深さは水路側(上流部)で60 cm、排水路側(下流部)で80 cmであり、1/375の勾配で施工されている。

モミガラ暗渠は、上述のように深さ60~80 cm、間隔10 mで埋設され、田面から暗渠までの距離が長い(深い)ため、排水到達時間が遅いといわれている。また、中干しや刈り取り期の落水時および裏作期の早期排水にも問題が生じている。暗渠埋設の際に掘削や埋め戻しを伴うため、施工後暗渠の埋め戻し部で農作業機械が沈下し、走行不能になる問題も生じている。

なお、前出の表-1に示した「浅層2区」と「浅層3区」



表-1 調査圃場の概要

Table 1 Scheme of research fields

水田 No.	地区	圃 場 面 積 ・ 形 状	暗渠の種類	表 示	施工年月
No. 1	川会	24 a (75 m×40 m 台形)	モミガラ暗渠	モミガラ	91, 12 (平成3年)
No. 2	川会	30 a (75 m×40 m 長方形)	浅層暗渠	浅層1	93, 11 (平成5年)
No. 3	川会	24 a (75 m×32 m 長方形)	浅層暗渠	浅層2	93, 11 (平成5年)
No. 4	川会	20 a (90 m×45 m 三角形)	無暗渠	無暗渠1	
No. 5	見取	24 a (80 m×30 m 長方形)	浅層暗渠	浅層3	94, 11 (平成6年)
No. 6	見取	7.2 a (80 m×9 m 長方形)	無暗渠	無暗渠2	

表-2 調査圃場の作付状況

Table 1 Cropping pattern in research fields

水田 No.	暗渠の種類	1994年		1995年		1996年		1997年	
		春	秋	春	秋	春	秋	春	秋
No. 1	モミガラ暗渠	水稻		水稻	小麦		ソバ	水稻	
2	浅層暗渠1	水稻		水稻	小麦		ソバ	水稻	
3	浅層暗渠2	小麦		水稻	ソバ	水稻		水稻	
4	無暗渠1	水稻		水稻		水稻		水稻	
5	浅層暗渠3	水稻	小麦	—		水稻		水稻	
6	無暗渠2	水稻	小麦	—		水稻		水稻	

注1) 裏作(転作)の麦作は、小麦を11月下旬に播種し、翌年の6月に収穫する。ソバが、秋に播種し、年内に収穫。

注2) 弾丸暗渠は、浅層暗渠施工時に1回行い、農家によって異なるがその後営農レベルで4~5年に1回行う。

は、吸水渠が直接排水路へ達する直結型であり、「モミガラ区」、「浅層1区」は、吸水渠を1本の集水渠にまとめて排水する方式をとっている。また、浅層暗渠の埋設位置をNo.5水田の「浅層3区」を例として図-2に示す。

### (3) 調査項目および調査方法

#### 1) 土壌断面および基本的土壌物理性

各圃場のほぼ中央部において、1~1.5m四方、深さ80cmの試坑を掘り、その土壌断面を調査した。

調査断面において採取した土壌試料の基本的物理性は、真比重、乾燥密度、自然含水比、飽和透水性、pF水分特性などである。室内測定は、100cm<sup>3</sup>定容量円筒で採取した不攪乱試料について、湿土重測定→飽和透水試験→pF水分試験(加圧法)→乾土重測定の順に実施した。

#### 2) 圃場測定

圃場での調査項目は、作土表層の土壌水分(TDR土壌水分計)、貫入抵抗(コーンペネロメータ)、インテークレート、暗渠排水量、暗渠排水水質などである。圃場現場では、暗渠の埋設方向に直交する(短辺方向)暗渠直上部と中間部について、浅層暗渠区では2m、モミガラ

暗渠区では5mの間隔で排水調査を除く諸項目を測定した。なお、土壌水分の測定深はプローブ(センサー部分)の長さに対応させ、土壌表面から10cmまでの深さの平均体積含水率を測った。

コーンペネロメータによる貫入抵抗は、TDRによる測定方法と同じ位置で測定した。インテークレートは、鉄製シリンダーを土壌構造を壊さないように耕盤層以下まで打ち込み測定した。

暗渠排水量の測定は、暗渠の排水口(出口)の栓を開放し、流出量が安定した後、所定容量の容器が満水する時間を計測した。流出量(cm<sup>3</sup>/s)は水田面積で除して水深(mm/日)に換算した。

暗渠排水の水質は排水量と同時に測定した。測定項目は、水温、pH、酸化還元電位(Eh)、電気伝導度(EC)などである。

### 3. 調査結果および考察

#### (1) 土壌試験

##### 1) 土壌の基本的物理性

表-3に土壌断面調査結果を、表-4に3項目について

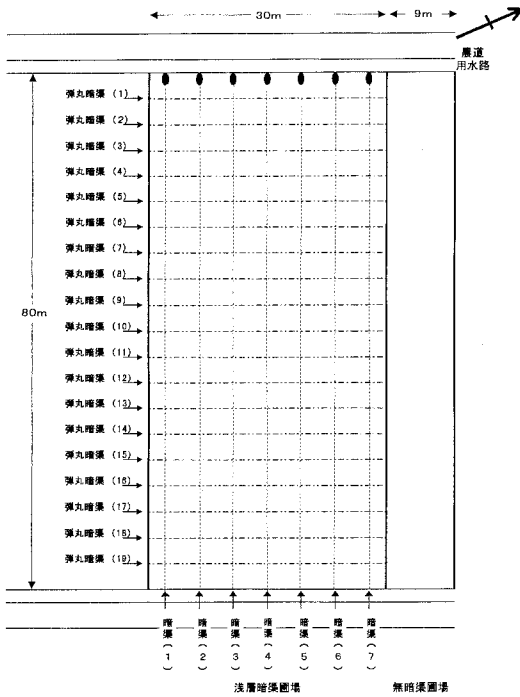


図-2 No. 5 水田「浅層3区」の暗渠位置図

Fig. 2 Outline of underdrainage system in the field No. 5 (Shallow underdrainage).

土壌の基本的物理性を示した。

「モミガラ区」は作土層の自然含水比が大きく、乾燥密度は小さく、粗い亜角塊状構造で雲状斑鉄を含んでいる。耕盤層は乾燥密度が大きく、密な角塊状構造で膜状斑鉄を含み、管状孔隙がみられる。心土層(上)はやや密な角塊状構造で、膜状斑鉄や管状孔隙が発達している。鉄とマンガンなどの集積が顕著である。心土層(下)はやや密な壁状構造で、膜状斑鉄が発達している。また、心土層(上)と同様に鉄やマンガンの集積が目立つ。

「浅層1区」は、作土層において自然含水比が大きく、乾燥密度が小さい、やや粗な粒状構造で、多数の管状孔隙がみられる。耕盤層は乾燥密度が大きく、密な角塊状構造で膜状斑鉄が発達している。心土層(上)は密な壁状構造で、膜状斑鉄を含んでいる。心土層(下)はやや密な壁状構造で、膜状斑鉄や管状孔隙がみられる。

土壌の三相割合は図-3に示すように、各水田とも気相割合が少なく、とくに下層になるに従いその傾向が強い。反対に固相割合と液相割合は多く、水田土壌の特徴を示している。

「モミガラ区」は、気相割合が作土層と耕盤層でやや多く、心土層で小さい。作土層の固相割合は小さく、気相割合が大きいので暗渠排水の影響が推察される。

「浅層2区」は、作土層の気相割合が大きく、下層でも比較的大きいことから、排水性が良好な層と判断される。これは「浅層2区」が小麦作の畑地状態を履歴し、乾燥の促進とそれに伴う土壌の収縮・亀裂などが発生し、空隙率の増加や疎水化が進んだためと推察できる。

「浅層3区」は、作土層の気相割合が大きく、下層の液相割合が大きい。これは、浅層暗渠の施工時期が調査1年前であり、弾丸暗渠の亀裂跡が残っており、作土層の空隙が発達していることが原因と考えられる。

2) 飽和透水特性と粗間隙率

圃場の排水性の指標となる飽和透水係数を表-5に示す。同表では、pF0~1.8までの体積含水率相当の粗間隙割合も示した。

各圃場の透水係数は作土層が  $10^{-4}$  cm/s~ $10^{-5}$  cm/s のオーダーに対して、心土層の透水係数は  $10^{-5}$  cm/s~ $10^{-6}$  cm/s のオーダーと、1桁低い。

表-5より、「モミガラ区」と「浅層1区」は同程度の透水係数である。「浅層2区」の透水係数は心土層でも  $10^{-5}$  cm/s のオーダーで、ほかの2圃場と比べて大きい傾向となっている。これは、暗渠施工後に転作(小麦作などの畑地期間)を経過している間に圃場土層の乾燥が進んだことによるものと思われる。

次に飽和透水係数の鉛直方向/水平方向の異方性を検討する。異方性は土壌の水平方向と鉛直方向の管状孔隙の連続性によって生じるとされている(たとえば、成岡;1989, 増島;1966)。これらの論議を踏まえて前出の表-5の異方性を表示している鉛直/水平の値でみると、1.2~1.8の範囲をとっており、全体的に鉛直方向の透水係数が大きいことがわかる。

この理由について、作土層では農業機械による耕耘、攪乱、踏圧の影響が考えられる。さらに水稻根(根跡孔隙)の影響も大きい。作土層は一作ごと耕耘により攪乱されているが、水稻根は作土層内に高い密度で発達し、水稻根の伸張と腐朽により形成される根跡孔隙の経年的蓄積を待たずに一作ごとにその物理的役割が発揮されていると考えることができる。その根跡孔隙(管状孔隙)が鉛直方向の透水性をとくに大きくさせている(成岡, 1989)こともここで確認できよう。耕盤層については、乾燥亀裂や根跡孔隙などの発達が水平方向より鉛直方向が顕著であり、鉛直方向の異方性が大きくなったとみられる。

一方、粗間隙率は一部の例外を除き、作土層において大きく、耕盤層では4%程度で、概して小さい傾向である。心土層の粗間隙率は1.4~5.5%の範囲となり、地点によって異なっている。

次に粗間隙率と透水係数の関係を図-4に示す。粗間隙

表-3 土壤断面調査結果

Table 3 Soil profiles

水田 No.	層	深さ cm	土壤硬度 mm	土性	土色	斑鉄	構造	孔隙
1	作土層	0~18	6.6~20.0	HC	7.5 YR 3/1, 3/2	雲状斑鉄	亜角塊	
	耕盤層	18~32	19.4~20.4	HC	7.5 YR 4/1, 3/3	膜状斑鉄	角塊	管状孔隙
	心土層上	32~48	18.0~18.4	HC	7.5 YR 4/1, 4/4	膜状斑鉄	角塊	管状孔隙
	心土層下	48~	12.5~18.0	HC	7.5 YR 5/1, 4/4	膜状斑鉄	角塊, 壁状	管状孔隙
2	作土層	0~18	16.6~17.4	SiC	7.5 YR 3/2		粒状	管状孔隙
	耕盤層	18~30	22.0~23.6	HC	7.5 YR 4/2	膜状斑鉄	角塊	管状孔隙
	心土層上	30~50	19.4~22.0	HC	7.5 YR 5/2, 5/6	膜状斑鉄	壁状	管状孔隙
	心土層下	50~	19.6	HC	7.5 YR 5/2, 5/6	膜状斑鉄	壁状	管状孔隙
3	作土層	0~15	12.6~15.8	LiC	7.5 YR 4/2, 5/6	管状斑鉄	粒状	
	耕盤層	15~25	24.0	SiC	7.5 YR 4/1, 4/4	管状斑鉄	角塊	管状孔隙
	心土層上	25~45	22.0~22.2	HC	7.5 YR 5/1, 5/6	管状斑鉄	角塊	管状孔隙
	心土層下	45~	20.0	HC	7.5 YR 4/3	膜状斑鉄	壁状	亀裂
4	作土層	0~16	14.2~14.6	HC	7.5 YR 4/1, 4/6	雲状斑鉄	亜角塊	管状孔隙
	耕盤層	16~29	20.4	HC	7.5 YR 4/1, 4/4	管状斑鉄	角塊	管状孔隙
	心土層	29~	16.6~20.2	HC	7.5 YR 5/1, 4/6	雲状斑鉄	壁状	
5	作土層	0~18	14.2~17.2	SiC	7.5 YR 3/2		粒状	
	耕盤層	18~30	19.2~19.6	SiC	7.5 YR 4/1, 4/4	膜状斑鉄	角塊	管状孔隙
	心土層上	30~45	17.2	HC	7.5 YR 5/1, 5/4	雲状斑鉄	壁状	管状孔隙
	心土層下	45~	19.4	SiC	7.5 YR 4/4, 5/2	雲状斑鉄	壁状	管状孔隙

水田 No. 6 は記載なし

表-4 土壤の基本的物理性

Table 4 Fundamental physical properties of the soils of the research fields

水田 No.	層位	作土層	耕盤層	心土層上	心土層下
No. 1 モミガラ	深さ (cm)	0~18	18~32	32~48	48~
	自然含水比 (%)	39.6	28.1	31.6	34.0
	乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.19	1.41	1.38	1.37
	真比重	2.62	2.69	2.64	2.65
No. 2 浅層1	深さ (cm)	0~18	18~30	30~50	50~
	自然含水比 (%)	35.2	28.7	29.2	36.5
	乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.28	1.42	1.40	1.30
	真比重	2.54	2.57	2.58	2.67

率が大きい土層ほど透水係数が大きく測定された。また同図から、同じ粗間隙率でも鉛直方向の透水係数が水平方向よりも大きいことが明らかである。前述のとおり、土壌中の粗間隙は根跡孔隙（管状孔隙）を主体として鉛直方向に連続しているため、鉛直方向の透水性が高い。すなわち、浸透水は土壌中の粗間隙を水みちとして降下することを示唆している。

(2) 圃場試験

1) 作土表層の土壤水分

TDR による作土表層の体積含水率 (v%) の測定結果を図-5 に示す。「モミガラ区」と「浅層1区」の含水率は全体的に用水路側 (図の左側) で高く、排水路側 (右側) で低くなっている。「無暗渠1区」と「モミガラ区」・「浅層1区」を比べると、暗渠圃場の含水率が無暗渠圃場に比べて30%以上も少なく、暗渠による排水促進や圃

場乾燥が進展していることが原因と考えられる。

また、「モミガラ区」と「浅層1区」の暗渠直上と暗渠中間による含水率の差について両値の平均値についてみると、「モミガラ区」では暗渠直上の含水率が暗渠中間よりも平均値で10%以上も低く、乾燥傾向にある。両値の有為差は1%水準で認められ、暗渠直上の土壤水分が少なく、圃場の排水が促進されていると判断できる。一方「浅層1区」は暗渠直上の含水率が暗渠中間よりも平均値で数%程度低く、暗渠の位置関係による圃場排水の特

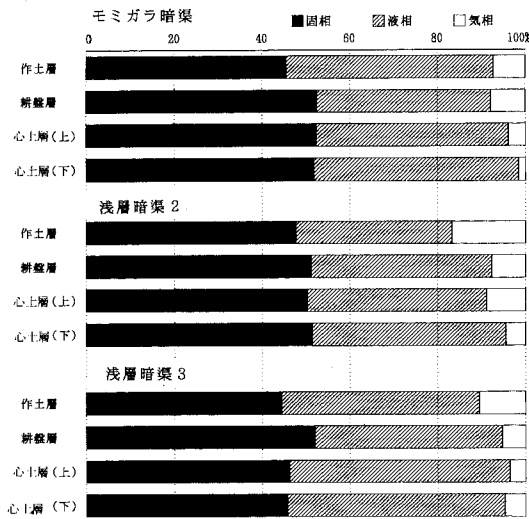


図-3 土壤の三相割合

Fig. 3 Three phases of soil.

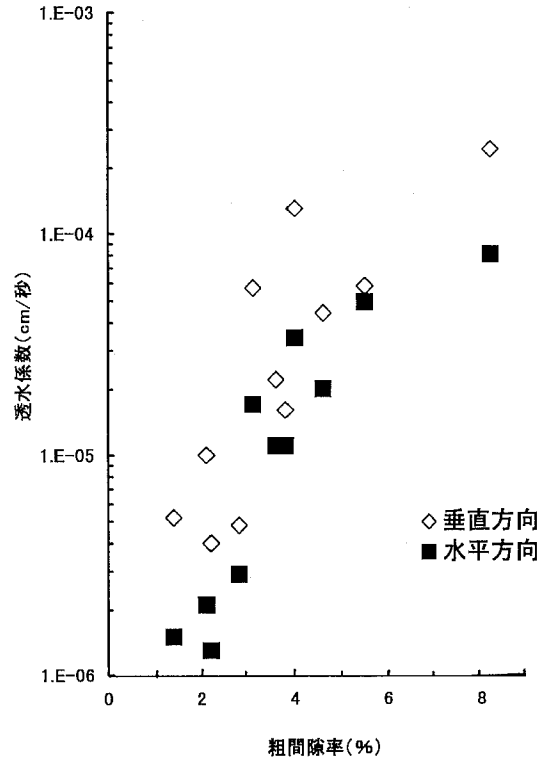


図-4 粗間隙率と透水係数の関係

Fig. 4 Relationship between macro-porosity and permeability.

表-5 透水係数および粗間隙率

Table 5 Hydraulic conductivity and macropore range

水田 No.	層位	透水係数 (cm/秒)			粗間隙率 (%)
		鉛直方向	水平方向	鉛直/水平	
No. 1 (モミガラ)	作土層	$2.4 \times 10^{-4}$	$8.0 \times 10^{-5}$	3.0	8.2
	耕盤層	$4.4 \times 10^{-5}$	$2.0 \times 10^{-5}$	2.2	4.6
	心土層上	$1.0 \times 10^{-5}$	$2.1 \times 10^{-6}$	4.8	2.1
	心土層下	$5.2 \times 10^{-6}$	$1.5 \times 10^{-6}$	3.5	1.4
No. 2 (浅層1)	作土層	$5.7 \times 10^{-5}$	$1.7 \times 10^{-5}$	3.4	3.1
	耕盤層	$2.2 \times 10^{-5}$	$1.1 \times 10^{-5}$	2.0	3.6
	心土層上	$4.8 \times 10^{-6}$	$2.9 \times 10^{-6}$	1.7	2.8
	心土層下	$4.0 \times 10^{-6}$	$1.3 \times 10^{-6}$	3.1	2.2
No. 3 (浅層2)	作土層	$4.1 \times 10^{-4}$	$1.7 \times 10^{-4}$	2.4	9.1
	耕盤層	$1.3 \times 10^{-4}$	$3.4 \times 10^{-5}$	3.8	4.0
	心土層上	$5.8 \times 10^{-5}$	$4.9 \times 10^{-5}$	1.2	5.5
	心土層下	$1.6 \times 10^{-5}$	$1.1 \times 10^{-5}$	1.5	3.8

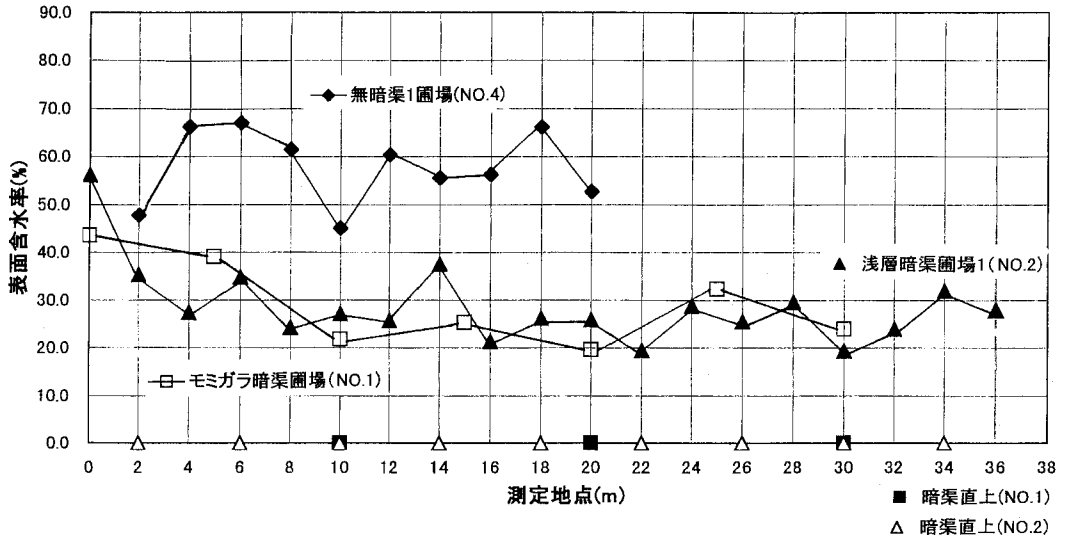


図-5 モミガラ管暗渠水田と「浅層暗渠1区」水田の含水率

Fig. 5 Volumetric moisture content of soils in the research field No. 2 (Shallow underdrainage).

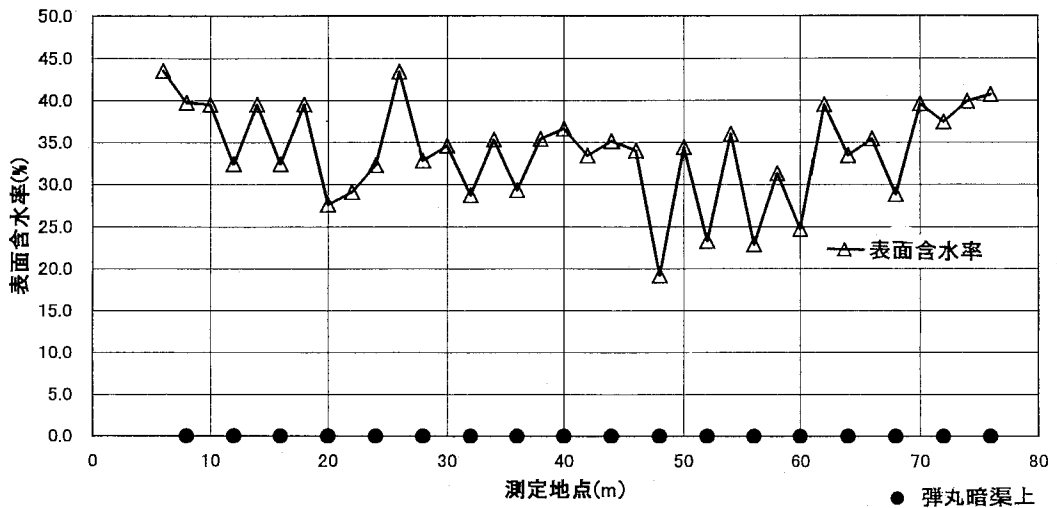


図-6 「浅層暗渠3区」水田における弾丸暗渠の影響

Fig. 6 Effect of the mole drains in the research field No. 5 (Shallow underdrainage).

徴は顕著ではなかった。

この弾丸暗渠の影響について「浅層3区」の長辺方向(弾丸暗渠に直交方向)で含水率を測定した結果を図-6に示す。含水率の変化は歯状形となり、弾丸暗渠の直上で低く、暗渠中間で高くなっており、弾丸暗渠により圃場排水が促進され、土壌が乾燥している状態が認められる。

このように暗渠施工圃場は、無暗渠圃場に比べて暗渠方式を問わず含水率が低く、圃場排水および土壌乾燥の

進展が見られる。

2) インタークレート

浸入能の測定結果を表-6に示す。これは、各圃場内の至近距離で各2カ所を測定した結果である。

「モミガラ区」のベーシックインタークレートは、暗渠直上よりも暗渠中間の方が大きい。これに対して浅層暗渠では、暗渠直上の値が非常に大きく、浸入能の大きい状況が明らかである。これは暗渠施工後に、浅層暗渠の深さ40cmまでの土層中に亀裂が生じたため、水みちの

表 6 ベーシックインテークレートの値

Table 6 Basic intake rate

(mm/hr)			
水田 No.	暗渠の種類	暗渠中間	暗渠直上
No. 1	モミガラ暗渠	23.6	11.1
No. 2	浅層暗渠1	26.6	50.1
No. 5	浅層暗渠3	47.6	—
No. 4	無暗渠1	13.4	—
No. 6	無暗渠2	11.9	—

影響が現れたと思われる。また「無暗渠区」での浸入能は、いずれも小さい値であり、暗渠施工によるインテークレートの増加や排水条件が良好になっていることが判明した。

3) 地耐力

コーンペネトロメータによる各圃場の貫入抵抗の測定結果を図-7に示す。3回の測定の平均値をプロットした。

水田整備基盤における区画拡大は、トラクターやコンバインなどの大型農作業機械を導入して、労働生産性を高めることである。軟弱な粘土質の水田に大型機械を導入する場合、その走行性が問題となり、走行性を支配する条件は、地盤条件、機械条件、作業条件、技術条件であり、これらの要因が複雑に絡み合っているといわれている(山崎, 1990)。

各圃場の地耐力は、作土表層で小さく、深さ 20 cm 付近でピークを示し、耕盤層の位置と同一となっている。それ以後の心土層は、耕盤層の値と近似した大きな値で推移している。

暗渠の種類とその有無による地耐力の特徴は、「浅層暗渠区」>「モミガラ区」>「無暗渠区」の順である。この結果からみて、浅層暗渠が土壌の乾燥に何らかの影響を与え、それが地耐力の変化に現れたものと推察できる。

4) 暗渠排水量および水質

暗渠からの排水量について、No. 1 水田のモミガラ暗渠からの排水は埋設位置が深いため、量が多く、また黒色を呈していた。No. 2 水田の「浅層暗渠区」からの排水は、量がモミガラ暗渠よりも少なく、また若干の濁りがある。以上の圃場の暗渠排水は、数本の吸水渠がまとまり集水渠を経由して排水されるため水量が多い。

「モミガラ区」と「浅層暗渠区」の水質調査結果を図-8に示す。電気伝導度は大きな変動は見られないが、酸化還元電位は「モミガラ区」で-60~-150 mV を示し還元~強還元である。また「浅層暗渠区」で-30~-60 mV と「モミガラ区」より高い値で変動しており、浅層

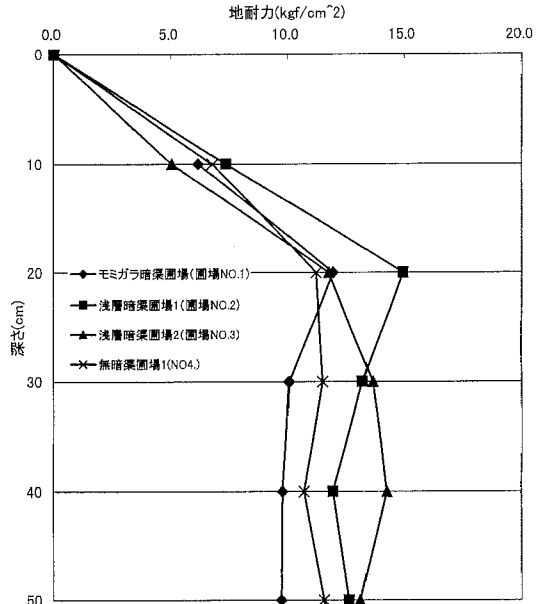


図-7 貫入抵抗測定結果

Fig. 7 Soil bearing ratios of the research fields.

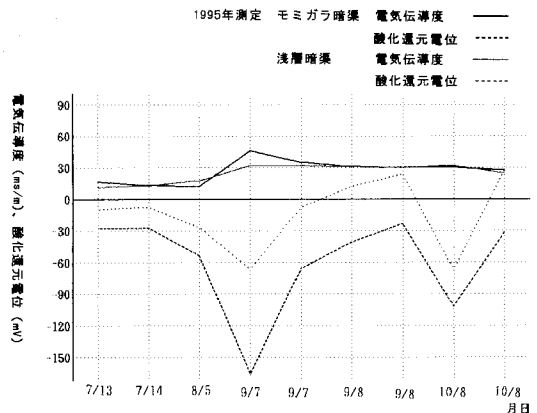


図-8 水質調査結果

Fig. 8 Result of drained water quality.

暗渠の浅い埋設位置とそれに影響を受けた酸化的環境が示唆される。

次に No. 5 水田の浅層暗渠からの排水量を図-9に示す。ここでは、各吸水渠が各々別れて排水路へ流出しているため、個々の排水量が測定できた。これによると各排水量にはバラツキがあるが、暗渠排水量から水田の浸透量相当換算値は、7月14日は6 mm、8月5日は18 mm 程度であり、8月に3倍に突出している。これは、

本地区では7月下旬から8月初旬に中干しを実施したため、土壌の浸透能が一時増加したためと考えられる。このように、わずかの中干し期間でもその効果が土壌の浸透能（排水能）に影響を与え、浅層暗渠はそれを敏感にとらえている。

(3) 圃場の排水性の評価

圃場の暗渠効果を総合評価するために、土壌実験および圃場観測結果（土壌水分、地耐力およびインテークレートなど）から暗渠と無暗渠の排水性について比較し、表-7のようにまとめた。

浅層暗渠の効果については単純な評価は困難であるが、圃場排水からみた状況から判断すると「モミガラ区」に比べて排水能力が高いことが指摘できる。

前述のように透水性について、心土層（下）が小さく、耕盤層および心土層（上）が比較的大きいことから、「モミガラ区」、「浅層区」とも透水性の改善に効果があったと判断できる。しかし、「浅層2区」でみられるように、暗渠施工と畑作期間の組み合わせによる圃場土壌の乾燥

促進、亀裂の発達、土壌の透水性の向上が顕著であることから、暗渠のみならず、土地利用の在り方も排水性の向上に関して大きな影響を与えていると思われる。

暗渠による各圃場の土壌間隙は、「浅層2区」>「浅層3区」>「モミガラ区」>「浅層1区」の順となっている。粗間隙割合の大小は、透水係数と密接な関係があり、粗間隙割合の大きい土層ほど透水係数が大きい傾向があり、暗渠による排水性の改善程度が推察される。

地耐力の特徴は、「浅層暗渠区」>「モミガラ区」>「無暗渠区」の順であった。この結果からみて、浅層暗渠が土壌の乾燥に伴って地耐力を増加させている一因となっていることがうかがえる。

また、農家の聞き取り調査によると、「浅層暗渠圃場は施工前と比べて乾燥が促進され、モミガラ暗渠圃場よりも改善された」ということである。また「以前は降雨直後に圃場内に人が入れないほど軟弱であったが、現在では排水とともに地耐力が大きくなって小麦やそばの作付が可能になった」ということでもあり、乾燥の促進がうかがえる。さらに「水田雑草についても、以前は草丈の低い水草の類（注：湿性植物）であったが、施工後は草丈の高い草種（注：湿性～乾性植物）が繁茂していた」という。

以上のような排水性の差異について、浅層暗渠とモミガラ暗渠とでは、暗渠の深さと間隔が大きなキーワードとなってくる。従来の暗渠は深さが60～80cm、間隔が10m程度とされているが、浅層暗渠では深さ40cm、間隔4mの浅い（狭い）間隔で施工され、地表水が暗渠に達する距離が短いことが最も異なる特徴とみることができる。

4. おわりに

本研究は、新しい稲作技術である直播栽培や不耕起栽培の導入を保証する水田基盤整備の在り方を主要目的とした。その鍵を握る技術は、暗渠排水による余剰水の速やかな排除、土壌水分の制御であると考えることができ、暗渠排水とくに浅層暗渠の機能と効果に関して現地調査を実施した。

浅層暗渠の効果については「浅層暗渠2区」で例示したように、暗渠施工と畑作期間の組み合わせによる圃場の乾燥促進、亀裂の発達、土壌の透水性に向上がみられた。このことから暗渠の施工だけでなく、土地利用の在り方も排水性の向上に影響していることを示唆している。一方、土壌粗間隙はその割合の大きい土層ほど透水係数が大きい傾向があり、暗渠による排水性の改善程度が推察された。

また営農においては小麦やソバの作付が可能になるよ

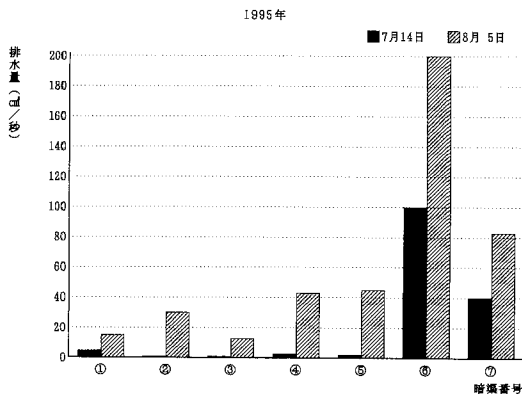


図-9 「浅層暗渠3区」水田の暗渠排水量

Fig. 9 Underdrainage discharge from field with the shallow underdrainage (Field No. 5).

表-7 圃場の排水性の評価

Table 7 Evaluation of research field drainage

項目\種類	無暗渠	モミガラ暗渠	浅層暗渠
土壌水分	多	少	少
気相割合	小	中	中
透水係数	小	中	中
地耐力	小	小～中	大
インテークレート	小	中	大
酸化還元電位	還元	還元	酸化～還元

うな浅層暗渠の著しい効果が期待される。しかし、浅層暗渠に課題も残されている。たとえばこの暗渠埋設時に生じた土壌亀裂の保存期間などである。またこの亀裂がさらに大きな亀裂を誘発する可能性、各暗渠の排水量が一定していない理由などについても今後追跡調査が必要である。本研究の対象とする浅層暗渠は勾配を付けずに田面と平行に敷設する方式であるが、田面の凹凸をそのまま反映した施工となるため、一部では逆勾配の可能性も指摘できる。

以上の点を踏まえて、新しい稲作栽培技術とそれを保証する水田の排水性を中心にする基盤整備などについて今後さらに検討する必要がある。

最後に本研究を実施するにあたり、ご助言ご協力いただいた東京農業大学の穴瀬真教授、静岡県袋井市役所関係の皆様、調査圃場を提供いただいた大場政伸氏ならびに浅層暗渠施工の中江建設工業株式会社に感謝申し上げます。また調査、実験ならびに試料整理に協力いただいた東京農業大学生産環境工学科農地環境工学研究室専攻学生に併せて感謝いたします。

## 引用文献

- 甲斐貴光、広瀬 理、成岡 市、穴瀬 真、新垣雅裕、木本凱夫 (1995) : 浅層暗渠の効果について (その4), 平成7年度農業土木学会講演要旨集 : 574~575
- 甲斐貴光・駒村正治・成岡 市・広瀬 理、穴瀬 真・新垣雅裕・木本凱夫 (1996) : 浅層暗渠の効果について (その6), 平成8年度農業土木学会講演要旨集 : 338~339
- 成岡 市 (1989) : 土壌の粗孔隙の計測法とその物理的機能に関する研究, 東京農業大学総合研究所紀要, 1 : 1~58
- 農林水産省構造改善局 (1980) : 土地改良事業計画設計基準計画 暗渠排水
- 農林水産省構造改善局 (1990) : 土地改良事業計画設計指針ほ楊整備 (大区画水田)
- 増島 博 (1966) : 水稻乾田直播栽培における降下浸透, 土壌の物理性, 15 : 12~14
- 山崎不二夫 (1990) : 農地工学上, 東京大学出版会 : 189~280

受稿年月日 : 1997年12月18日

受理年月日 : 1998年9月3日



# Reclamation of Gypsiferous and Nongypsiferous Sodic Soils by Leaching

Shuxiang WANG\*, Yoshinobu KITAMURA\*\* and Tomohisa YANO\*\*

\* United Graduate School of Agricultural Science, Tottori University  
(4-101 Minami Koyama-cho, Tottori 680-0945, Japan)

\*\* Arid land Research Center, Tottori University  
(1390 Hamasaka, Tottori 680-0001, Japan)

## Abstract

Soil reclamation (both desalinization and desodification) is frequently required in arid and semiarid regions in order to keep the irrigated agriculture sustainable. Intermittent and continuous ponding are the most widely used leaching methods in this aspect. This study examined the efficiency of these two leaching methods in desalinization and desodification of two saline and sodic soils: a gypsiferous sandy loam and a nongypsiferous clay loam. Soil columns (100 and 200 mm high) were leached with irrigation water ( $EC=1.8$  dS/m,  $SAR=3.2$ ) under both methods. Effluent from the columns was collected continuously, and its cationic and anionic composition was analyzed. Intermittent ponding was more efficient than continuous ponding in desalinization and desodification of the clay loam. By contrast, in the sandy loam, efficiency was similar under the two leaching methods in desalinization, whereas desodification was more efficient under intermittent ponding. In the clay loam where soil aggregation is higher, unsaturated water flow that occurs in micropores under intermittent ponding resulted in higher leaching efficiency on desalinization compared with continuous ponding under which condition water flow is saturated and much of the water is conducted by the macropores. Conversely in the sandy loam, unsaturated water flow prevails under both intermittent ponding and continuous ponding explains the similar leaching efficiency on desalinization observed under the two leaching methods. Soil desodification was enhanced by intermittent ponding in both soils, because Na replacement is a slow process which is controlled by intra-aggregate diffusion of  $Na^+$  and  $Ca^{2+}$  and the rate of gypsum dissolution. In the clay loam, the rate of intra-aggregate diffusion of  $Na^+$  and  $Ca^{2+}$  determines the efficiency of desodification, and in the gypsiferous sandy loam, the rate of gypsum dissolution determines the efficiency of desodification.

**Key words**: Intermittent ponding, continuous ponding, leaching efficiency, soil desalinization, soil desodification

## 1. Introduction

In arid and semiarid regions, irrigation water usually contains some quantity of soluble salts. Irrigation water of poor quality, coupled with the limited scarce rainfall and high evapotranspiration, often results in increase of soil salinity and sodicity of the irrigated land. The presence of excessive salts in the soil

profile deteriorates soil physical condition, impairs plant growth and causes reduction in crop yield (Ayers and Westcot, 1985). Therefore, desalinization and desodification related soil reclamation becomes a key role in keeping the irrigated agriculture sustainable. To reclaim saline soils, leaching is commonly commenced to remove accumulated salts from the soil profile. Leaching efficiency is defined as

the depth of leaching water per unit depth of soil required to reclaim a saline soil (Hoffman, 1986; Oster *et al.*, 1996). Leaching efficiency varies with water application mode. Field reclamation studies show that under continuous ponding, leaching efficiency decreased with increase in clay content in the soil and was lowest in peat soils (Hoffman, 1986). Under continuous ponding, saturated water flow prevails and most of the water is conveyed from macropores in sandy loams where inter-aggregate pores are negligible, thus, higher leaching efficiency can be obtained within short time. Conversely, in fine textured soils where more aggregates and soil pores of various sizes exist, bypass flow through macropores and cracks reduces leaching efficiency. However, the effect of soil texture on leaching efficiency can be reduced by intermittent application of ponded water. It was found that the leaching efficiency is independent of soil texture and is similar for silty clay loam and sandy soils when ponding water intermittently (Hoffman, 1986). High leaching efficiency in heavy soils under intermittent ponding is attributed to the unsaturated flow that prevails during the leaching and the prevention of bypass flow in macropores and cracks.

In addition to soil texture, concentration and composition of salt present in the soil are other variables that affect reclamation process. In arid and semiarid region, soil salinity usually is accompanied with sodicity. Since excessive exchangeable Na impairs the physical condition of soils (Shainberg and Letey, 1984), replacing of exchangeable Na with divalent cations (usually  $\text{Ca}^{2+}$ ) is also required in the reclamation of saline and sodic soils.  $\text{Ca}^{2+}$  can be supplied either from irrigation water, or by the presence of naturally occurring lime or gypsum in the soil, or by the addition of gypsum (Oster *et al.*, 1996; Nadler *et al.*, 1996). When gypsum or lime is present in the soil, soil solution reaches equilibrium with these sparingly soluble salts only when the contact time between an elemental volume of solution

and gypsum or lime fragment is sufficiently long (Oster and Frenkel, 1980). Also in well controlled laboratory studies, the effectiveness of gypsum or lime in reclamation of sodic soils was found to be dependent on the flow rate of the percolating solution; increasing the water flow rate decreased the gypsum or lime dissolution, and the slower the soil water flow, the higher the efficiency of replacing Na by Ca (Keren and O'Connor, 1982; Nadler, *et al.*, 1996). However, less study was conducted on such type of soils by leaching that simulate field conditions, e.g. intermittent ponding and continuous ponding.

In the previous study of reclamation of a highly saline soil, we examined the chemical changes of the soil during leaching by simulating field conditions in the laboratory. It proved that intermittent ponding was more efficient in both desalinization and desodification of the soil than continuous ponding (Wang *et al.*, 1998). Still, when dealing with the salt-affected soils that contain naturally occurring gypsum or lime as is often the case in arid and semi-arid regions, it is necessary to study the effect of leaching methods on these soils regarding to soil texture and chemical components for providing useful information to field reclamation works. Under intermittent ponding, soil water flow rate is much lower compared with continuous ponding, and the contact time between unit volume of soil solution and fragments of gypsum or lime is longer than in continuous ponding. We hypothesized that the efficiency of desodification of nongypsiferous soil is determined by  $\text{Na}^+$  and  $\text{Ca}^{2+}$  intra-aggregate diffusion; whereas, in the calcareous and gypsiferous soil, the kinetics of  $\text{CaCO}_3$  and  $\text{CaSO}_4$  dissolution supplementing the intra-aggregate diffusion are controlling the efficiency of desodification. The leaching efficiency of intermittent ponding was supposed to be more pronounced on desodification than that on desalinization. Therefore, the objective of this study was to compare the efficiency of intermittent ponding

and continuous ponding in the desalinization and desodification (replacement of Na by Ca) of the saline gypsiferous sandy loam and the saline nongypsiferous clay loam.

## 2. Materials and Methods

### 2.1 Experimental materials

Two soils were used for this study: a gypsiferous (and also calcareous) sandy loam from the A horizon of an abandoned field (due to high salinization) located in Kzyl-Orda region in Kazakstan, and a nongypsiferous clay loam from the A horizon of a local paddy field from Tottori Prefecture Agricultural Station. The sandy loam was formed from the alluvial plain of Syr Darya river and contained 5.4% of gypsum and 14.5% of lime. The texture of this soil is 71.2% sand, 15.3% silt and 13.5% clay. The major clay minerals of the sandy loam are mica, chlorite, kaolinite and

vermiculite. The paddy soil was originally free of any salts, and consists of 46.7% sand, 31.5% silt and 21.8% clay with major clay minerals as halloycite, kaolinite and illite. Some physical and chemical properties of the two soils are presented in Table 1. However, in order to simulate the saline conditions that prevails in Kazakstan, this soil was salinized by repeated leaching with a saline water that has an EC of 78 dS/m and sodium adsorption ratio (SAR) of 79. The major ionic concentrations of the saline water were 102.0 cmol<sub>c</sub>/L Na<sup>+</sup>, 31.2 cmol<sub>c</sub>/L Mg<sup>2+</sup>, 2.8 cmol<sub>c</sub>/L Ca<sup>2+</sup>, 58.9 cmol<sub>c</sub>/L SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, and 73.1 cmol<sub>c</sub>/L Cl<sup>-</sup>. The soil samples were air dried, crushed and passed through a 2 mm sieve and analyzed for soluble salts and exchangeable cations. Soluble ions in saturation extract were analyzed using the atomic absorption method for cations, and ion chromatograph for anions. Soil CEC and ex-

**Table 1** Some physical and chemical properties of the soils

Soil properties	Paddy soil	Kazakstan soil
Clay mineralogy	halloycite, kaolinite, illite	mica, chlorite, kaolinite, vermiculite
Saturation percentage <sup>1</sup>	51.9	20.0
CEC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	17.4	7.7
Exchangeable cation (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		
Ca	6.2	2.6
Mg	6.2	1.8
Na	4.3	2.7
K	0.7	0.7
Exchangeable sodium percentage	24.5	34.8
Major ions in saturation extract (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )		
Ca <sup>2+</sup>	2.0	2.8
Mg <sup>2+</sup>	21.0	31.2
Na <sup>+</sup>	80.1	102.0
K <sup>+</sup>	0.4	0.7
Cl <sup>-</sup>	78.0	73.1
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	51.56	14.7
EC (dS m <sup>-1</sup> )	69	143.7
SAR <sup>2</sup>	74.8	78.2

Note :

<sup>1</sup> Saturation percentage: The moisture percentage of a saturated soil paste, expressed on a dry basis.

<sup>2</sup> SAR (sodium adsorption ratio) is defined as  $SAR = Na^+ / [(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2]^{1/2}$ , ion concentration in mmol<sub>c</sub>/L.

changeable cations of the nongypsiferous soil were analyzed by ammonium acetate extraction method. The CEC of Kazakstan soil was determined by the method proposed by Polemio and Rhoades (1977). Exchangeable Ca of the gypsiferous soil was estimated by subtracting exchangeable sodium, potassium and magnesium from CEC. Irrigation water was synthesized with chemicals to simulate Syr Darya river water, and the composition is presented in Table 2.

## 2.2 Experimental procedures

Soil samples were packed uniformly into acrylic cylinders that were 50 mm in inner diameter and 200–300 mm long. Preceding the soil packing, fine glass beads (20 mm deep in the column) were placed above a bronze screen at the bottom of each cylinder. The soil depth in the cylinders was 100 mm for the sandy loam (soil weight = 274.0 g, bulk density = 1.40 g/cm<sup>3</sup>) and 200 mm for the clay loam (soil weight = 486.7 g, bulk density = 1.24 g/cm<sup>3</sup>), respectively. Filter paper was placed on the soil surface to prevent surface disturbance caused by water application.

Irrigation water was applied to the column surface by either intermittent ponding or continuous ponding. Pore volume (PV) was used to quantify the leaching water amount applied to each soil. Pore volume of a bulk soil was the total volume of voids in it (Soil Sci. Soc. Am., 1996). 1 PV was 90.7 mL for the sandy loam (46.2 mm in depth), and 201.5 mL (102.7 mm in depth) for the clay loam. In intermittent ponding, 0.1 PV of water was delivered uniformly to the soil surface through a pipette once for every 24 hr. Wax paper was used to cover the surface of soil columns to reduce evaporation after each water application.

Under continuous ponding, constant water depth was kept at 10 mm for the sandy loam and 50 mm for the clay loam through a Mariotte tank. A fraction collector was used to collect effluents in continuous ponding, while beakers were used in intermittent ponding. Effluent volume, EC and chemical composition were measured.

Experiments were terminated after leaching with 1.5 PV for the clay loam and 1.8 PV for the sandy loam. Then, the soil columns were sliced at 20 mm interval and the sections were oven dried at 105°C. Soil solutions were made at 1 : 1 (soil : water) ratio for the sandy loam and saturation extract for the clay loam. EC and soluble ions were measured in the soil solution. Exchangeable cations were calculated from selectivity coefficients for each soil following the procedure proposed by Robbins (1980). All treatments were replicated for 5–7 times and the average values were used for making all the graphs.

## 3. Results and Discussion

### 3.1 Water Infiltration and Drainage

Under intermittent ponding, each 0.1 PV of irrigation water was allowed to redistribute for 24 hours before next application, and drainage started after 8 applications of 0.1 PV in both of the soils. Under continuous ponding, collecting 1.5 PV of drainage needed 38 hr for the clay loam and 3 hr for the sandy loam. Whereas under intermittent ponding, because of the redistribution time between each 0.1 PV application, 1.5 PV of drainage took 360 hr for the clay loam and 1.8 PV needed 432 hr for the sandy loam. The effect of the water application method on the degree of saturation in the two soils is shown in Fig. 1, where the amount of

**Table 2** Chemical composition of irrigation water

	Ions concentration (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )					EC (dS m <sup>-1</sup> )	SAR	
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>			SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Irrigation water	0.5	0.6	0.8	0.01	0.7	1.2	1.8	3.2

drainage water as a function of cumulative irrigation water in the two soils is presented. In the clay loam, drainage started after 182.1 mL and 204.1 mL of irrigation water infiltrated into the soil under intermittent ponding (IP) and continuous ponding (CP), respectively (Fig. 1). The pore volume of the clay loam is 201.5 mL and water retention capacity of the glass beads is 5 mL. Thus for continuous ponding, the soil column was almost completely saturated and for intermittent ponding, the degree of saturation was only 0.88. In the sandy loam, drainage under the two leaching methods started at 78 mL, compared with the soil pore volume of 90.7 mL, the degree of saturation was 0.85. As indicated in Fig. 1, the saturation degree of each soil was constant during leaching processes under both leaching methods, because the amount of water infiltrated into the soil was equal to that drained out. The unsaturated condition in the soil profile of the sandy loam, even under ponding condition, is possibly caused by the formation of a layer with low hydraulic conductivity at the soil surface (Bodman and Coleman, 1944 ; Mullins *et al.*, 1990).

*al.*, 1990). The sandy loam is from the A horizon of Kazakstan field and is a hardsetting soil that soil structure breaks down when wetted. The mobilized silt and clay from the breakdown of aggregates form a layer with low hydraulic conductivity on the soil surfaces which causes the unsaturated condition in the soil under both water application methods (Mullins *et al.*, 1990).

### 3.2 Leaching Efficiency

Leaching efficiency is often defined as the quantity of soluble salts leached per unit volume of water applied, and quantitatively expressed as the relationship between the fraction of initial salt concentration remaining in the profile  $C/C_0$ , and the depth of water infiltrated  $D_w$ , through a given depth of soil,  $D_s$ :  $(C/C_0)(D_w/D_s)=K$ , where constant  $K$  differs with soil type (Hoffman, 1986 ; Keren and Miyamoto, 1990 ; Oster *et al.*, 1996). The relationship between the soluble salts removed and the amount of leaching water applied under continuous ponding (CP) and intermittent ponding (IP) is shown in Fig. 2. PV was used to quantify the leaching water instead of

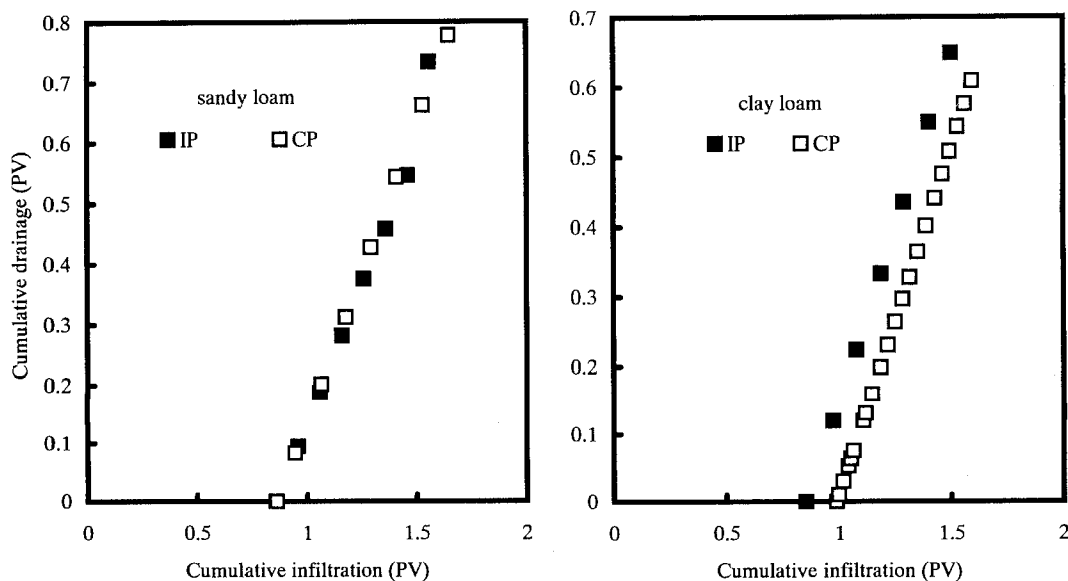


Fig. 1 Relation of cumulative infiltration and drainage in the clay loam and the sandy loam under the two leaching methods.

$D_w/D_s$ . The fraction of initial salinity remaining in the soil profile after leaching was expressed as  $(EC_f - EC_w)/(EC_i - EC_w)$ , where  $EC_f$  and  $EC_i$  is the salinity of soil solution after and before leaching, and  $EC_w$  is the EC of leaching water. It follows that when  $EC_f$  approaches to  $EC_w$  for a longer time, the ratio of above expression eventually becomes zero which means the complete reclamation is approached. The fraction of initial salt concentration remaining in the column as a function of PV was estimated from the fraction of initial salt remaining in each section. For example, in saturation condition when 1.8PV irrigation water passed through the column, the depth of water that leached the uppermost section of 20 mm was  $1.8 \times 5 = 9.0$  PV. Similarly the depth of water that leached the uppermost 2 sections (40 mm soil) was  $1.8 \times 2.5 = 4.5$  PV. In unsaturated condition, the actual water content in each soil section was used to estimate PV of irrigation water that passed through the section.

The efficiency of leaching in the clay loam depended on the leaching method, whereas no significant difference was observed in the sandy loam. In the clay loam, 1 PV of irrigation water removed nearly 95% of total soluble salt under intermittent ponding, compared with only 70% of the salt in continuous ponding. With increase in leaching volume, the effect of water application methods on the efficiency of salt removal was less pronounced (Fig. 2). Conversely in the sandy loam, leaching methods had no effect on desalinization, and 90% of the salt was removed after 1 PV. It should be noted that the EC of sandy loam remained constant at an EC value of about one tenth of the initial salinity with prolonged leaching. This is because the Kazakstan soil contains 5.4% gypsum and dissolution of gypsum accounts for the high EC ( $EC = 3.0$  dS/m) in the soil solution.

Desalinization of soil and leaching efficiency depend on water flow and salt transport processes. Assuming water flow is a simple piston flow, the initial solute can be replaced

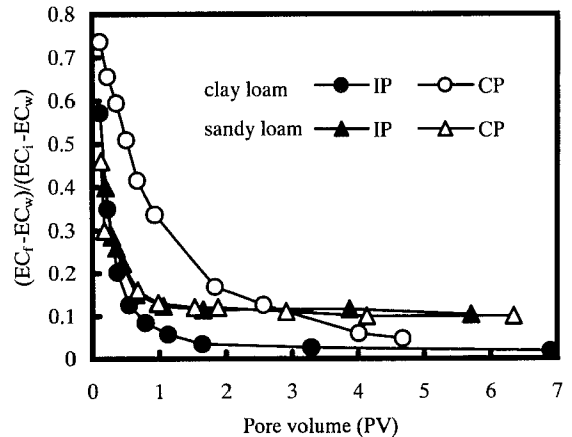


Fig. 2 Leaching curves of the clay loam and the sandy loam under continuous ponding and intermittent ponding.

completely after 1 PV of water application. However, in soil, water flow is not ideal, and 5%–30% of the initial soluble salts still remained in the soil profile following leaching with 1 PV (Fig. 2). This is due to the fact that in soils there are two populations of pores distinguished by their pore size: micropores within and between the aggregates, and macropores between aggregates. Under intermittent ponding, soil is unsaturated (Fig. 1), and water flow through micropores prevails. Whereas under continuous ponding (Fig. 1), soil is saturated and most of the water is transported by the macropores. Under saturated condition, water flow in the macropores between aggregates is fast, and salt from macropores is removed fast; conversely, flow in the fine pores is slow and salt in the fine pores is not removed efficiently. Since aggregate stability increases with clay content (Kemper and Koch, 1966), the more inter-aggregate pores exist in the clay loam, the more water conducted by the macropores, the less efficient is the leaching, as in the case of continuous ponding (Fig. 2). Under intermittent ponding, unsaturated water flow prevails and preferential flow in macropores and cracks is prevented; and with more ionic diffusion from micropores to water-conducting macropores, the more efficient is

the leaching. By contrast, in the sandy loam, due to the structure breakdown under both continuous ponding and intermittent ponding, there is less difference in water flow in soil pores, and hence there is a small difference in leaching efficiency between continuous ponding and intermittent ponding (Fig. 2).

The unsaturated soil condition during both water application methods in the sandy loam, in addition to the absence of micropores inside aggregates, explain the high leaching efficiency in the soil. In the soil with stable aggregates (the clay loam), formation of a layer with low hydraulic conductivity is less likely and saturated condition prevails under ponding. In the clay loam, unsaturated conditions are created mainly by intermittently ponding water and this is the major factor accounting for the efficient salt leaching.

### 3.2 Removal of soluble ions

#### 3.2.1 Removal of soluble anions

Figure 3 shows the changes of anion concentrations in the effluent as a function of drainage pore volume for clay loam and sandy loam soils under intermittent ponding (IP) and continuous ponding (CP) conditions. In the clay loam, no gypsum was present. In the early stages of leaching (up to 0.25 PV) of the clay loam, the concentrations of  $\text{Cl}^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  were higher for continuous ponding compared with intermittent ponding. With further leaching, the trend was reversed and the concentrations of the two anions in the intermittent ponding were higher. This phenomenon can be explained as follows. The clay loam soil is well-aggregated and electrolyte content in all the columns before leaching was the same. Under intermittent ponding, water flow is unsaturated and soil remains stable. It is plausible therefore, that the fraction of the immobile water under such condition is greater than that exists under continuous ponding where saturated water flow prevails (Fig. 1). For the same effluent volume, less salt is removed from the soil under intermittent ponding because of the fraction of the soil which is associated with

the water conductance is smaller than for continuous ponding. Therefore, in the initial stage of leaching, the anionic concentrations in the effluent for the intermittent ponding are lower than that observed for the continuous ponding. As the leaching continues under intermittent ponding, ionic diffusion from the immobile water to the water in the conducting pores becomes more pronounced, and this anionic concentration in the effluent of the intermittent ponding exceeds the concentration under continuous ponding. Whereas salt removal from micropores continues in soil under continuous ponding, the effluent is diluted by the irrigation water of low salinity that flows in the macropores. Therefore, the ionic concentrations in the effluent of continuous ponding became lower than that under intermittent ponding (Fig. 3).

The sandy loam has less clay content and less aggregation. Also, unsaturated flow prevails under both methods of water application (Fig. 2). Thus, the difference in chloride concentration between intermittent ponding and continuous ponding was not significant over the whole range of effluent volume (Fig. 3). However,  $\text{SO}_4^{2-}$  concentration behaved differently. In the first fraction of effluent (<0.2 PV), the concentration of  $\text{SO}_4^{2-}$  was similar in both continuous ponding and intermittent ponding. With further leaching,  $\text{SO}_4^{2-}$  concentration became significantly lower in continuous ponding compared with intermittent ponding. The high concentration of  $\text{SO}_4^{2-}$  in the effluent of intermittent ponding is due to gypsum dissolution. The sandy loam contains 5.4% gypsum. When intermittent ponding is applied where the average flow velocity is low and water kept in the soil is longer, there is more time for gypsum to dissolve and the concentration of  $\text{SO}_4^{2-}$  in the effluent is higher (Fig. 3). Gypsum dissolution does not contribute to the  $\text{SO}_4^{2-}$  concentration in the initial stages of leaching because of the high concentration of  $\text{SO}_4^{2-}$  in the soil solution before leaching commenced.

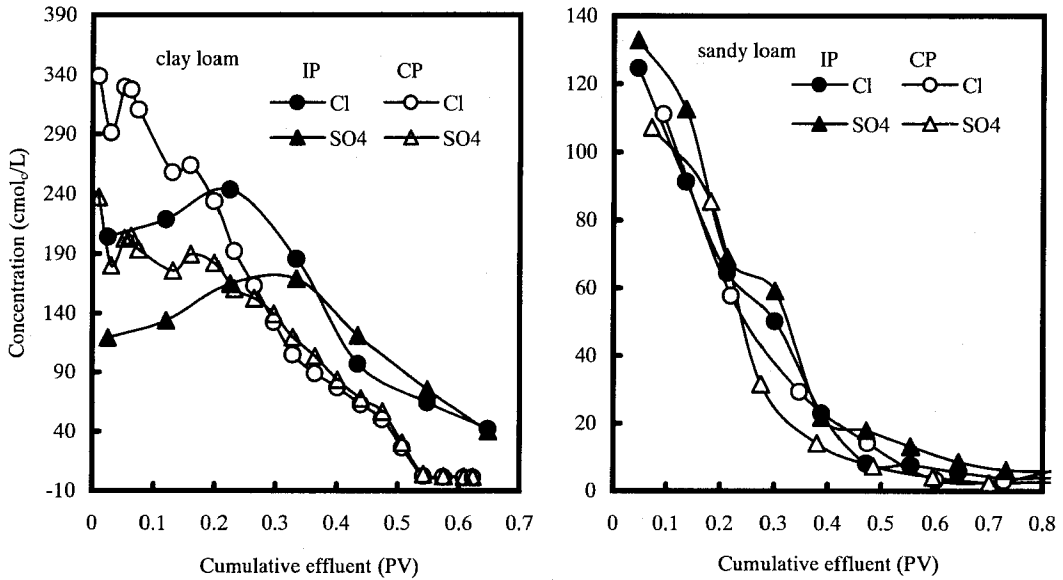


Fig. 3 Anion concentrations of the effluents from the clay loam and the sandy loam as affected by leaching methods.

### 3.2.2 Removal of cations

Figures 4 and 5 show the changes of cationic concentrations in the effluent as affected by leaching methods for clay loam and sandy loam soils, respectively. Changes in concentration of ( $\text{Na}^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$ ) in the effluents for both soils were similar to those of the anions. Concentrations of ( $\text{Na}^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$ ) in the effluent of the clay loam in the initial stage of leaching were higher in continuous ponding, compared with intermittent ponding (Fig. 4. a). With more leaching, the concentrations of these cations became lower in continuous ponding than that in intermittent ponding. The explanation that was proposed for changes in concentrations of  $\text{Cl}^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  can be applied to ( $\text{Na}^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$ ) cations.

In the nongypsiferous clay loam,  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in the effluent of continuous ponding was consistently higher than under intermittent ponding (Fig. 4. b). Lower concentrations of  $\text{Ca}^{2+}$  in the effluent imply that more of the  $\text{Ca}^{2+}$  ions were adsorbed on the clay replacing exchangeable Na. The lower concentration of  $\text{Ca}^{2+}$  in the effluent of intermittent

ponding compared with continuous ponding suggests that replacement of exchangeable Na is more efficient under intermittent ponding. This is because in intermittent ponding, flow velocity is low and there is more opportunity time for the exchange reaction to be completed. Intra-diffusion of ions within aggregates determine the kinetics of Na/Ca exchange and with low flow velocity more  $\text{Ca}^{2+}$  ions penetrate into the aggregate to exchange sites and replace exchangeable Na.

The situation is completely different in the sandy loam that contains gypsum (Fig. 5). The concentrations of  $\text{Ca}^{2+}$  of the effluent were higher in the effluent exposed to intermittent ponding than that exposed to continuous ponding at the effluent volume  $< 0.6$  PV. Whereas, the concentration of ( $\text{Na}^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$ ) was similar in the first 0.2 PV of the drainage under both leaching methods, but was higher in intermittent ponding than that in continuous ponding after 0.2 PV until the effluent volume reached 0.6 PV. In the gypsiferous sandy loam, dissolution of gypsum determines  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  concentrations in



the soil solution. More gypsum dissolution under intermittent ponding because of the low velocity of water flow and longer contact time between unit volume of water and gypsum particles caused more  $\text{Ca}^{2+}$  ions in the effluent (Fig. 5. b). Consequently, there were more

$(\text{Na}^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+)$  ions in the effluent due to cation exchange under intermittent ponding (Fig. 5. a). By contrast, under continuous ponding there was less gypsum dissolution, and thus lower ionic concentrations were observed in the effluent (Figs. 3 and 5).

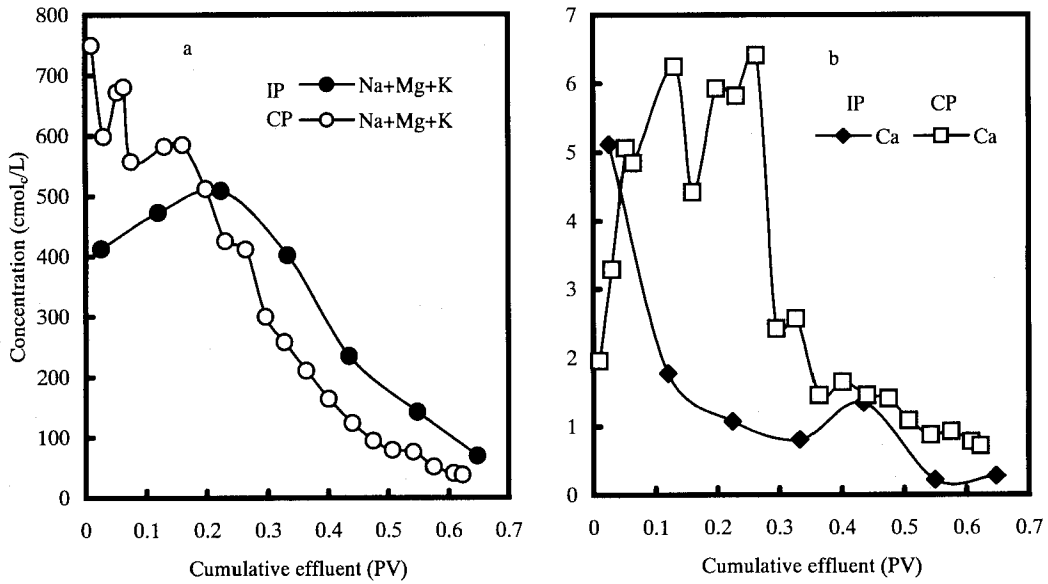


Fig. 4 Cation concentrations of the effluent from the clay loam as affected by leaching methods.

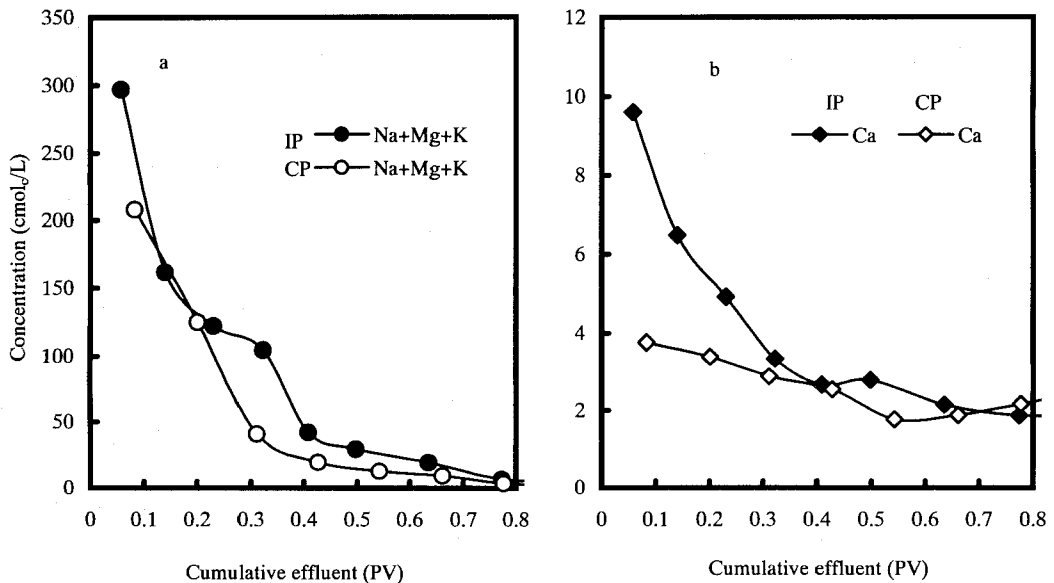


Fig. 5 Cation concentrations of the effluent from the sandy loam as affected by leaching methods.

### 3.3.3 Removal of exchangeable Na

The extent of reduction of exchangeable sodium percentage (ESP) in the soil depends upon the amount of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  in the irrigation water, the amount and dissolution of  $\text{CaCO}_3$  and  $\text{CaSO}_4$ , the CEC and ESP of the soil, and the time required to reach dissolution and exchange equilibria. With increase in  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  in the solution phase, more exchangeable Na is replaced by exchangeable divalent cations and the ESP of the soil is reduced.

Figure 6 shows the changes of ESP fraction in the two soils as a function of leaching water applied under the two application methods.  $\text{ESP}_i$  and  $\text{ESP}_f$  are the soil ESP corresponding to that before and after leaching, respectively. Under intermittent ponding, desodification of both soils was more efficient compared with continuous ponding (Fig. 6). However, the process responsible for the high efficiency of intermittent ponding was different in the two soils. In the sandy loam, soluble salt removal was not affected by leaching method (Fig. 2), whereas soil desodification was affected significantly by the leaching method. Intermittent ponding was much more effective in desodification of this soil, compared with continuous ponding. For example, following

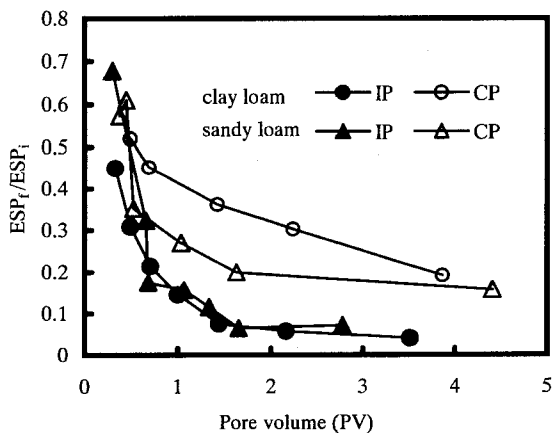


Fig. 6 Desodification curves of the clay loam and the sandy loam under continuous ponding and intermittent ponding.

leaching with 1 PV, the ESP remaining in the soil were 0.15 and 0.3 of the initial ESP in the soil profile, for intermittent ponding and continuous ponding, respectively. Since the sandy loam contains 5.4% gypsum, gypsum dissolution during leaching played a major role in desodification. The extent of gypsum dissolution depends on the composition of irrigation water, the length of contact time between gypsum particles and soil water, water velocity and soil ESP. Longer contact time between gypsum particles and water, which is the result of lower water velocity, increases gypsum dissolution (Oster and Frenkel, 1980 ; Keren and O'Connor, 1982). Similarly, high soil ESP also increases the rate of gypsum dissolution because exchangeable Na acts as a sink to soluble  $\text{Ca}^{2+}$  (exchange reaction) and more gypsum (and  $\text{CaCO}_3$ ) dissolves (Oster and Shainberg, 1979). Therefore, higher soil ESP accelerates gypsum dissolution. Under intermittent ponding, flow velocity is low, gypsum dissolution rate is high and desodification of the sandy loam is more efficient.

The effect of leaching method on soil desodification was more pronounced in the clay loam. Following leaching with 1 PV, the ESP remaining in the soil were 0.14 and 0.42 for intermittent ponding and continuous ponding, respectively. Intermittent ponding was three times more efficient in desodification of the clay loam, compared with continuous ponding. Since the clay loam does not contain  $\text{CaCO}_3$  or gypsum, dissolution of these compounds can not explain the difference. However, long residence time for water in soil not only favors gypsum dissolution, but also Ca/Na exchange reaction. In the course of Ca/Na exchange, adsorbed Na must migrate from inside of the aggregate into the solution. Simultaneously, a  $\text{Ca}^{2+}$  ion in the solution must go the other way and be adsorbed on the clay. Three processes determine the rate of exchange process : a) ion diffusion which is the intra-diffusion of the counter-ions within the aggregates, b) film diffusion which is ion diffusion of the inter-

diffusion of the counter-ions in the stationary water films around the aggregates, and c) the exchange reaction (Aharoni and Sparks, 1991). The exchange reaction is a fast process and the diffusion process controls the rate of the exchange reaction. In stable aggregates, inter-aggregate diffusion process controls the rate of exchange reaction. Thus, in the clay loam, the exchange reaction is a slow process and low flow velocity increases the efficiency of desodification. Under intermittent ponding, as  $\text{Ca}^{2+}$ -carrying solution flow is slow, there is more opportunity time for  $\text{Ca}^{2+}$  to penetrate into aggregates and replace exchangeable Na. Conversely, under continuous ponding, water velocity is fast and less exchange between Ca and Na is taking place.

#### 4. Conclusions

In this column study, we compared the efficiency of intermittent ponding and continuous ponding in desalinization and desodification of two soils, the natural gypsiferous sandy loam and the nongypsiferous clay loam. Water application method greatly affected the efficiency of desodification of these two sodic soils compared with that of desalinization. In the clay loam, intermittent ponding was more efficient than continuous ponding in both of desalinization and desodification of the soil. Whereas in the sandy loam, efficiency of desalinization was similar under the two leaching methods, and intermittent ponding was more efficient only in desodification of the soil.

Salt leaching efficiency is determined by the uniformity of soil porosity, which is a function of soil clay content. In the clay loam, there are more aggregates and more macropores between aggregates, and more micropores within the aggregates. Water flow in the macropores reduces leaching efficiency. Under continuous ponding, soil is saturated and much of the water is conducted by the macropores, therefore, leaching efficiency is low. Whereas under intermittent ponding, soil is unsaturated, most of water flow occurs in micropores

and leaching efficiency increases. In the sandy loam, unsaturated water flow prevails under both continuous ponding and intermittent ponding, and inter-aggregate porosity is negligible. Thus, the efficiency of desalinization in the sandy loam is similar under both leaching methods.

Removal of adsorbed Na from soil (desodification) is determined by the following four mechanisms: 1) the exchange rate between  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Na}^+$  on the clay platelets; 2) supply of soluble Ca and removal of soluble Na which are determined by salt leaching; 3) intra-aggregate  $\text{Na}^+$  and  $\text{Ca}^{2+}$  diffusion, and 4) the rate of dissolution of  $\text{CaCO}_3$  or  $\text{CaSO}_4$ . In the clay loam, desodification rate was controlled by particle diffusion, and that of the sandy loam was controlled by the rate of dissolution of gypsum. Both of these processes are slow and determine the Ca/Na exchange rate. Under intermittent ponding, water flow velocity in soil is low which is favorable to both particle diffusion and gypsum dissolution, therefore, the efficiency in desodification of the two soils is higher compared with continuous ponding.

#### Acknowledgement

This research was supported partly by the Global Environmental Research Fund from the Environment Agency. The authors extend their thanks to Dr. I. Shainberg and Dr. R. Keren from the Volcani Center of Israel, from whom they received many sincere and scientific comments on this study.

#### References

- Aharoni, C. and Sparks, D.L. (1991) : Kinetics of soil and chemical reactions—a theoretical treatment. In Sparks, D.L. and Suarez, D.L. (ed.) : Rates of Soil Chemical Processes. Soil Sci. Soc. Am., Inc., Madison, WI, USA. pp : 1-18.
- Ayers, R.S. and Westcot, D.W. (1985) : Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1, FAO, Rome, pp. 15-57.
- Bodman, G.B. and Coleman, E.A. (1944) : Moisture and energy conditions during downward entry of water into soils, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **8** : 116-122.

- Hoffman, G.J. (1986) : Guidelines for reclamation of salt-affected soils, *Appl. Agr. Res.*, **1** : 65-72.
- Jury, W.A., Jarrel, W.W. and Devitt, D. (1979) : Reclamation of saline-sodic soils by leaching, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **43** : 1100-1106.
- Kemper, W.D. and Koch, E.J. (1966) : Aggregate stability of soils from Western U.S. and Canada. USDA Tech. Bull. 1355. U.S. Government Printing Office, Washington DC.
- Keren, R. and Miyamoto, S. (1990) : Reclamation of saline, sodic and boron-affected soils. In Tanji, K.K. (ed.) *Agricultural Salinity Assessment and Management*. Am. Soc. Civil Eng., NY., USA. pp : 410-431.
- Keren, R. and O'Connor, G.A. (1982) : Gypsum dissolution and sodic soil reclamation as affected by water velocity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **44** : 726-732.
- Mullins, C.E., MacLeod, D.A., Northcote, J.M. and Young, I.M. (1990) : Hardsetting soils : Behavior, Occurrence, and Management. *Adv. Soil Sci.* **11** : 37-99.
- Nadler, A., Levy, G.J., Keren, R. and Eisenberg, H. (1996) : Sodic calcareous soil reclamation as affected by water chemical composition and flow rate. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **60** : 252-257.
- Oster, I.D., Shainberg, I. and Abrol, I.P. (1996) : Reclamation of salt-affected soil, In : Agassi, M. (ed.) *Soil Erosion, Conservation, and Rehabilitation*. Marcel Dekker, Inc., New York, pp : 315-351.
- Oster, J.D. and Frenkel, H. (1980) : The chemistry of the reclamation of sodic soils with gypsum and lime. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **44** : 41-45.
- Oster, J.D. and Shainberg, I. (1979) : Exchangeable cation hydrolysis and weathering as affected by ESP. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **43** : 70-75.
- Oster, J.D., Willardson, L.S. and Hoffman, G.J. (1972) : Sprinkling and ponding techniques for reclaiming saline soils. *Trans. ASAE*, **15** : 1115-1117.
- Polemio, M. and Rhoades, J.D. (1977) : Determining cation exchange capacity : a new procedure for calcareous and gypsiferous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **41** : 524-528.
- Robbins, C.W., Jurinak, J.J. and Wagenet, R.J. (1980) : Calculating cation exchange in a salt transport model. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **44** : 1195-1200.
- Shainberg, I. and Letey, J. (1984) : Response of soils to sodic and saline conditions. *Hilgardia* **52** : 1-57.
- Soil Science Society of America. (1996) : Glossary of Soil Science Terms. Soil Sci. Soc. Am. Inc., Madison, WI. USA. pp : 82.
- Wang, S., Kitamura, Y. and Yano, T. (1998) : Leaching Efficiency, Desalinization and desodification processes in highly saline soil reclamation. *Trans. JSIDRE*. **196** : 59-67.

受稿年月日 : 1998年5月11日

受理年月日 : 1998年11月2日

## 開放ライシメータを用いた水田土壌の酸化還元電位 および土壌溶液の調査

佐々木長市\*・小関 恭\*\*・富田道久\*\*・小黒仁司\*\*・谷口 健\*

Investigation on the Redox Potential and Soil Solution Using a  
 Open Lysimeter at Paddy Field

Choichi SASAKI\*, Kyo KOSEKI\*\*, Michihisa TOMITA\*\*, Hitoshi OGURO\*\* and Ken TANIGUCHI\*\*

\* Hirosaki University

\*\* Miyagi Agricultural Collage

### Abstract

A new method that can measure dissolved oxygen (DO) in soil solution and redox potential (Eh) and others in several constant depths was developed. This method was used at two paddy fields, with different organic content, under farming conditions over three years.

Findings are listed as follows.

① The installation was made up of a simple box (50 cm×50 cm×60 cm) and other instruments. Filters for sampling soil solutions and several electrodes of redox potential were set horizontally at the observation box (open lysimeter).

② Concentrations of DO in inundation were 5-8 mg/L during the ponding irrigation period. After translation of rice plants, DO in soil solution of plow layer(at 3-4 depths) became about 2 mg/L during the irrigation period. DO in soil solution increased to 5-8 mg/L during the non-irrigation period.

③ The value of Eh in plow layer decreased gradually after inundation and became a reduction layer (about -150 mV) until mid-summer drainage. If the period of mid-summer drainage did not received rain for seven days, the plow layer became oxidation layer. But the higher Eh values in the plow layer would return to similar low Eh before mid-summer drainage when inundation continued over two weeks. After the ponding water was released the values of Eh gradually increased and became the oxidation layer (over 400 mV).

As the above results show, the new method clarifies that DO and Eh values of plow layer at constant depths show seasonal fluctuation.

**Key word** : Paddy field, Redox potential, Soil solution, Dissolved oxygen, Lysimeter

### 1. はじめに

水田の酸化還元環境および根の周囲の土壌溶液の実態の解明は、水田における諸現象を考える上で重要性が高い。特に、地球温暖化の原因物質の一つとして知られている水田からのメタン等の発生を考えるうえで、実際の土層の酸化還元状態を把握することは意義が高いと思わ

れる。

しかしその測定法は、十分確立されているとは言い難いと推測される。土壌の酸化還元の測定は、地表面からの電極の挿入による方法（長谷部ら、1986）がとられ、かつ現場における測定深は電極の長さ及び内部液の補充口等に規定されている。現場の土壌溶液の採取は、不攪乱採土した試料から遠心力を用い脱水する方法（山崎、

\* 弘前大学農学生命科学部 〒036-8561 弘前市文京町3, \*\* 宮城県農業短期大学 〒982-0215 仙台市太白区旗立2-2-1  
 キーワード：水田、酸化還元電位、土壌溶液、DO、ライシメータ

1970) やテンションカップを利用する減圧法 (Jeffrey, 1994) などが知られている。遠心機による採水は採水地の土壌構造を乱し定点経時観測が困難となる。テンションカップ等を用いる場合は、土壌水とカップ内の水の平衡時間やテンションカップ立ち上がり部周囲に隙間ができやすく、この部分を通じた浸透が発生するなどの危険がある。このような原因が複雑に絡み、現地での土壌水の採取には困難性が伴う。

現場における採水は、真空圧で吸引する装置や真空ポンプを用い吸引圧を作用させるため、その集水範囲が大きくなる。ゆえに、吸引圧の大小は易移動性の溶質の収集域に影響し、深度別の濃度変動を考えるとときには重要な要素と考えられる。現場における経時的な土壌水のポテンシャル変動を考慮し、この値に対し僅かな吸引圧で採水する事例はないようである。また、水田等における定点の土壌溶液の水質の経時的な変動の測定は皆無に近い。本研究では、現場で簡易に測定できる装置を考案し、土層の酸化還元状態と降下浸透水の酸素濃度 (DO) 等のデータを得たので報告する。

## 2. 実験方法

### 1) 圃場の概要および土壌

観測は宮城県仙台市太白区坪沼の宮城県農業短期大学附属農場水田 (以後坪沼水田と記す、面積 16 a) および仙台市太白区旗立の宮城県農業短期大学学内水田 (以後学内水田と記す、面積 1.4 a) の2ヵ所で実施した。坪沼水田は連綿として水田利用であるが、学内水田は、1981年に開田され試験田として利用されている。

これらの土の理化学性は表-1に示すとおりである。作土層の土性 (国際法) は坪沼水田がシルト質埴壤土、学内水田が軽埴土である。坪沼水田作土層直下には中・巨礫が多数存在し、実験装置の埋設深は学内水田に比べ浅くなった。有機物含有量は、坪沼水田が学内水田に比べ多い。学内水田の地下水位は周年地表面下 30 cm 前後である。坪沼水田の地下水位は湛水期は学内水田と同じような地下水位であるが、落水期には 70 cm 以下まで低下する。減水深は、どちらの水田でも 15 mm/day 前後であった。作付け品種はササニシキで、施肥および水管理等は地区の標準的管理とした。収量は約 500 kg/10 a で地区の平均的な値である。

### 2) 測定装置および作製方法

降下浸透水の採水及び酸化還元電位の測定には、図-1に示す装置を用いた。各測定装置の平面的配置は図-2に示す。

測定装置は、錆止め加工 (内外とも3回塗り) を施した鉄箱 (縦 50 cm, 横 50 cm, 深さ 60 cm, 鉄板厚 3.2 mm, 総重量約 37 kg, 以後観測箱と呼ぶ) を水田にセッ

表-1 調査田作土の理化学性

Table 1 Physical and chemical properties of plow layer at the investigated paddy field

	真比重	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	土性 (国際法)	有機物含有量 (%)
学内水田	2.672	47.8	31.3	LiC	2.2
坪沼水田	2.640	84.2	42.3	SiCL	5.8

1986年10月採土。有機物含有量は重クロム酸法による。

トして、その中に取り付けた。浮力による浮き上がりの防止のためにはこの程度の重量が必要となる。なお、必要に応じて観測箱底面には荷重を増加するために鉄板を置いた。今回は、作土層を中心に測定を計画したので観測箱の深さは 60 cm とした。埋設深は約 40 cm とし、地上部に 20 cm 飛び出ることにより低温時の深水管理等に対応できるようにした。観測箱の埋設は、予め箱の寸法より 5 cm ほど大きな穴を設けた後に行い、埋設した観測箱の底部および側面には周囲からの漏水防止のためベントナイトを充填した。なお、箱の水平安定をはかるため、箱底面には杭 (長さ約 50 cm, 杭頭部は同じ高さ) を4隅に打ち込んだ。観測箱側面には径 30 mm の穿孔を開け、採水及び酸化還元電位測定装置を取り付けた。

これまでのライシメータによる研究は、現地の土壌を採取して充填し、この充填容器内の物質収支を調査するのが通例だった。ゆえに気候や土の構造の再現性が不十分であった。しかし、本報告のような装置を現地に設置することにより、より現場に近い条件で土壌溶液等の採取・分析が可能となり、水稻の生育ステージ毎の変動を調査できるものと考えられる。本研究では、この装置のことをこれまでの閉鎖系の物質動態を調査するライシメータに対し「開放ライシメータ」と呼ぶ。

採水装置は、厚肉毛細ガラス管 (内径 3 mm, 外径 9 mm, 長さ 16 cm) の両端に三方活栓をつけ、土中側にはフィルタが取り付けられている。ただし、毛細ガラス管は予めゴム栓を貫通させておく。フィルタの作製 (佐々木, 1992) は、ガラス粉末 (G4) を用い燐等の濃度に影響を及ぼさないものとした (久馬ら, 1993)。なお、接合部にはシリコン系のボンドを塗布し漏水の有無をチェックした。採水時以外は、採水装置の一端の三方活栓を箱内のマンメータに接続させ、各深度の圧力水頭を測定した。採水フィルタの位置 (土中へ水平挿入) は、今回は稲の株から 8 cm 地点とした。箱から水田内へは 18 cm ほど突き出たところにフィルタの中心部がある。測定目

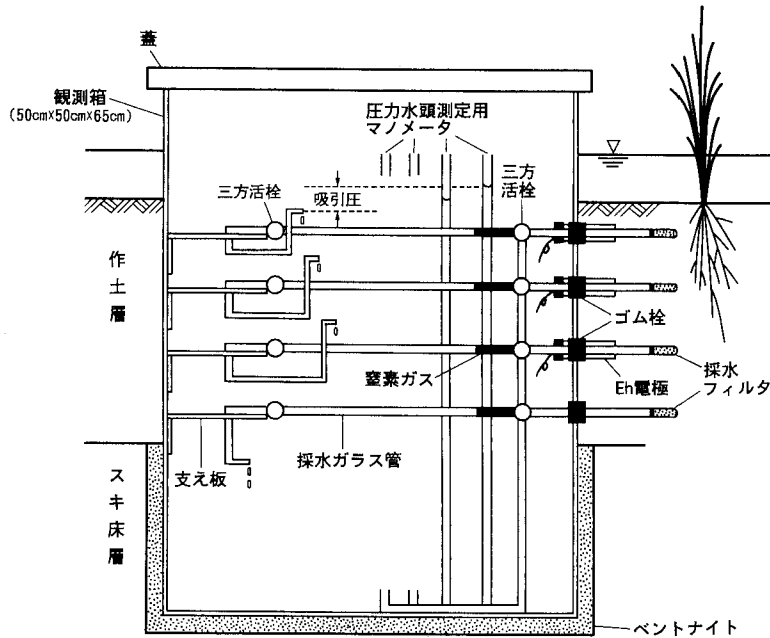


図-1 土層環境測定装置（開放ライシメータ）

Fig. 1 Simple box device for measurement of soil condition (Open lysimeter).

的により、フィルタ位置はコントロール可能である。測定深は、作土層を中心とし、5 cm 間隔で4点を計画した。今回は最上位の位置が地表下2.5-4.5 cm となった。この位置も、目的に応じて任意である。

酸化還元電位 (Eh) 測定用のガラス電極は、予めゴム栓を貫通させておき、このゴム栓部を箱の穴に差し込みセットした。電極先端部は、箱からの土中へ水平挿入距離が8 cm 程度となるようにした。

以上のように各センサおよびフィルタを水平方向に土中へ挿入することにより、水稻根の任意の部位の採水が可能で、かつ鉛直方向からの水移動の影響が少なくなるものと考えられる。

なお、電極およびフィルタは、予定埋設部の作土層を除去したのちにセットした。その後代かき状にした作土層を戻した。

### 3) 測定項目および方法

測定項目は、深度別の降下浸透水の圧力水頭、酸化還元電位、浸透水の水質、地温、一筆減水深および地下水位等である。

圧力水頭は、水マノメータを用い、水頭の変化は物差しを用いて測定した。

採水は、開放ライシメータに取り付けた厚肉ガラス管（長さ約50 cm、内径3 mm、外径9 mm、25 cm 部より直角に曲げライシメータ内にセットできるようにしている。以後採水ガラス管と記す）を用い、吸引圧を作用さ

せ実施した（図-1 参照）。

最初にガラス管内を蒸留水で満水し、その後、土壌側の三方コックから窒素ガス（土壌水の成分に影響しないように目的によりガスの種類を変更する）を注入し、土壌水と蒸留水を分離する。最初の採水1 cm<sup>3</sup>（フィルタ末端から箱内の三方コックまでの15 cm 区間の水）は捨て新たに採水を開始した。このときの吸引圧は、各測点の全ポテンシャルに対しほぼ5 cm 以内の負圧とし、採水による集水範囲を限定するようにした。なお、各測点の全ポテンシャルの測定は採水開始前に必ず実施した。採水速度は、エクステンションチューブ末端を上下させコントロールした。採水は、土壌水が採水ガラス管内を満したら終了とした。採水ガラス管は両端の三方コックを閉じた後観測箱から取り外し、直ちに室内に持ち帰り水質分析に供した。採水時間はほぼ3時間を目処にした。このようにして、大気酸素・二酸化炭素の影響を受けないように土壌水との接触を極力少なくした。

土壌溶液の水質分析は、降下浸透水のDO、pHについて行った。DO測定は、DOメータ（本体：UC-12型、電極：UC-203型、セントラル科学社製）を用いた。pH測定は、pH/ORPメータ（本体：UC-23型、電極：UC-502E型、セントラル科学社製）で行った。

酸化還元電位の測定は、pH測定本体と同じ機械を用いた（ただし電極はUC-702型）。

地温は、自記計（測定深：10 cm）および屈曲地温計





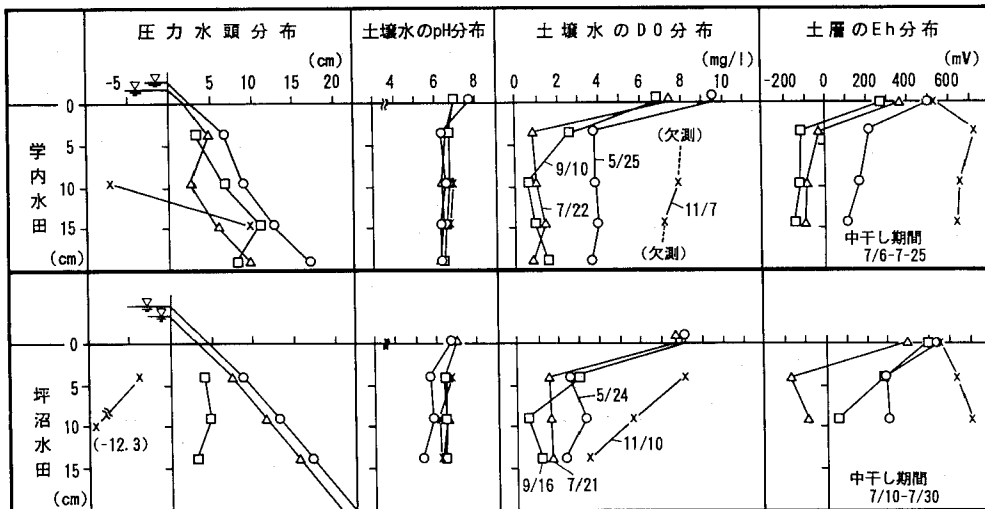


図-3 調査田作土の環境変動 (1988年)

Fig. 3 Fluctuation of plow layer condition at two investigated paddy fields (1998).

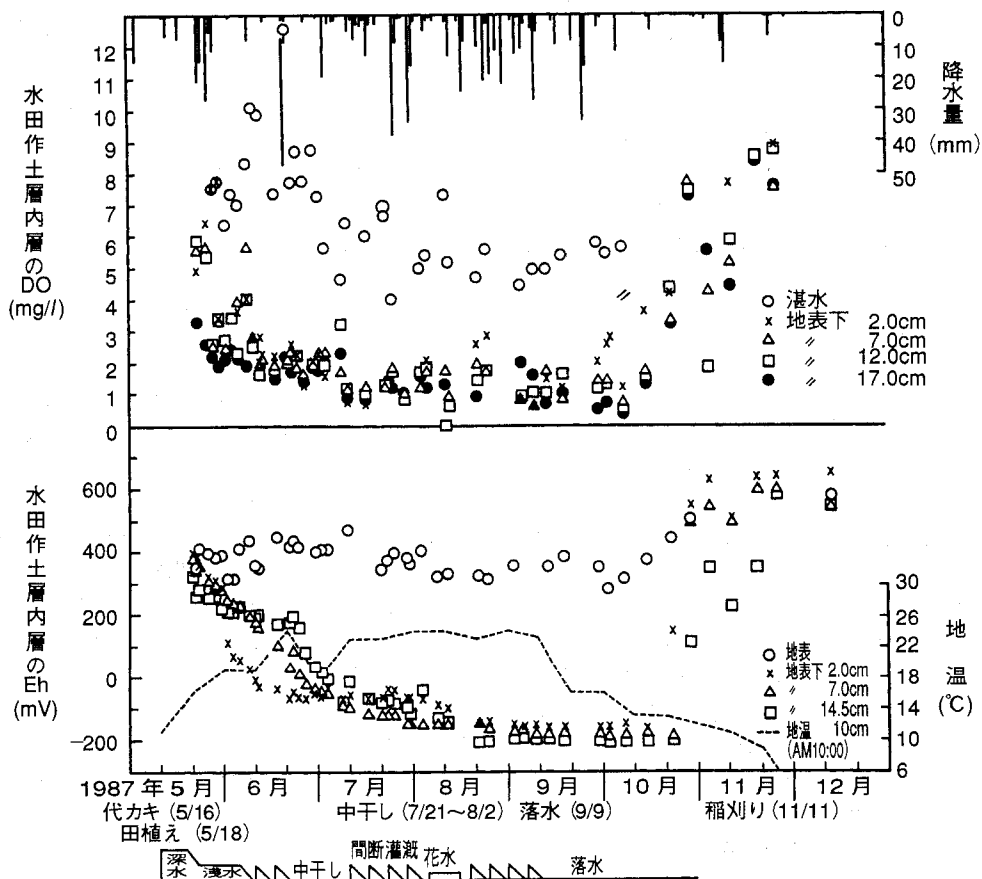


図-4 学内水田のDO・Eh変動 (1987年)

Fig. 4 Fluctuation of DO and Eh values in the paddy field at Miyagi Agricultural College (1987).

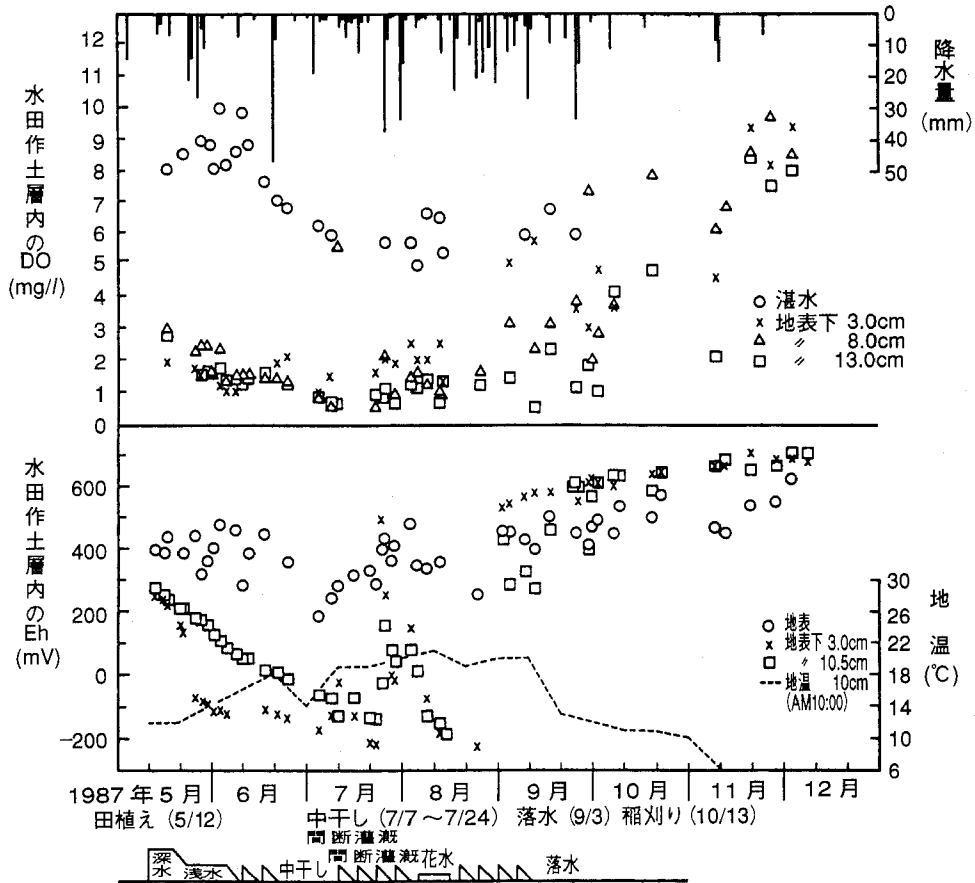


図-5 坪沼水田の DO・Eh 変動 (1987年)

Fig. 5 Fluctuation of DO and Eh values in the paddy field at Tubonuma area (1987).

なったと考えられる。しかし、地表下2cm程の点では降下浸透水中の酸素濃度は著しく低下し、2mg/L前後となる。この原因は、作土層中の微生物の酸素消費量が大きいと考えられる。渡辺(1971)によると降下浸透水中の酸素濃度は、減水深が100mm/dayでも作土層内の2価鉄の酸化に使われる量が多く、作土層の酸化領域は2mm前後であると試算している。しかしながら、降下浸透水中の酸素濃度が0とならなかった。この原因は、この測定法において酸素との接触による濃度上昇等が考えられる。しかし、ケロシン等の中に採取した降下浸透水を注入し、大気と接触しないようにして濃度を測定した場合でも値は0とはならなかった。この原因の解明は今後の課題である。

測定深が4cm, 9cm, 14cm, 19cmのDO値は、ほぼ一定になっていることから考えるならば、湛水の引き込みによる酸素濃度の増大は少ないと推測される。5月の値は全般的に高く、作土層内の封入空気の影響が考えら

れる。11月には、その濃度が再び7mg/L以上となり酸素消費が低下するものと考えられる。この原因は地温の低下や水分環境の変動が微生物等の酸素消費活動を低下させたことによると推測される。

圃場におけるDOの周年変化の詳細を図-4に示した。1987年の値を用い検討する。湛水の値は、変動はあるが5mg/L以上の値を示すものと推定される。農業用水の水質基準が5mg/L以上であることを考えるならば、妥当な値と考えられる。この値は、湛水初期に7mg/L前後と値が高く、その後9月下旬頃まで緩やかに値が低下し、10月以降再び値が上昇する傾向にある。この値の変動は、地温の変動と逆の傾向にあると考えられる。つまり、温度が高くなれば酸素消費が増し、湛水のDO値は低下するが、温度が低下すると消費が低下し湛水の値が上昇すると推測される。落水期の湛水とは降雨等の田面における溜まり水である。

地表下2-17cmのDO値は、ほぼ類似した値となって

変動している。5月の田植え直後は多少高い値を示している。しかし、6月上旬からはほぼ2mg/L前後の値となり、この値のまま10月の中旬まで経過する。その後値が上昇し11月下旬頃は7mg/L前後の値となっている。この変動傾向は湛水と類似している。中干しの期間は7月の下旬から2週間ぐらいであるが、この期間に降雨がありそのためDO値にはほとんど変動をもたらさないと判断される。その後の間断灌漑期も同じくDO値の変動には大きな影響をもたらしていないと考えられる。しかし、落水期以降の値は、降雨間隔の長短により生じる田面亀裂等が影響し値が高まると推測される。

② 坪沼水田 図-3に示す圧力水頭分布は、灌漑期は正圧であるが、各深度のポテンシャル差はほぼ0に近くなっている。このことより、日減水深は畦畔浸透量が支配的であると推測される。

降下浸透水のpHの値は、観測期間中どの深度でも6前後の値となる。しかし湛水の値は同観測期間中7前後となり、降下浸透水に比べ高くなる。以上の数値傾向は学内水田とほぼ類似している。

湛水のDO値を通覧するならば、5mg/L以上と高く、農業用水の水質基準を満たす水が供給されていると考えられる。地表下2cm深以下の値は、ほぼ3mg/L以下となる。灌漑期にはその変動は少ないようである。しかし落水期には、その値が8mg/L以上となり土中における酸素消費が低下するものと判断される。この原因は、落水後の不均一な亀裂の発生が原因となり、このような部分を流下する土壌水はその濃度が高いまま下方に至るためと推測される。ゆえに、落水時におけるDO値変動は、地温等のほかに降雨間隔の長短が素因となる亀裂の存在が重要な原因となると予測される。

圃場におけるDO値の周年変動を図-5(1987年)で詳細に検討する。湛水の値は、多少変動はあるが学内水田同様5mg/L以上の値を示す。これらの周年変動は、湛水初期に8mg/L前後と値が高く、その後8月下旬頃まで緩やかに値が低下し、9月以降再び値が上昇する傾向にある。この変動は、学内水田と比べ時期的なズレ等が少し見られるが、変動傾向は同じと考えられる。

地表下3-13cmのDO値は、ほぼ類似した傾向で変動している。すなわち、5月の田植え直後は多少高い値を示しているが、6月からはほぼ2mg/L前後の値となり、この値のまま8月下旬まで経過する。その後値が上昇し11月下旬頃は7mg/L以上の値となっている。この変動傾向は湛水と類似している。中干しの期間は7月7日から24日までであるが、この期間の最終日にはDO値が多少上昇する傾向が見られる。その後の間断灌漑期には再び中干し前のDO値に戻るようである。しかし落水後

は、再びDO値を上昇させていく傾向(浅い測点ほど早い)が認められる。

このDO濃度の上昇勾配は、降雨間隔が長くなりかつ降雨量も少なくなる10月下旬がさらに大きくなるようである。9月下旬には田面亀裂も顕著になり、DO値上昇へ亀裂の存在と地温低下の相乗効果も推測される。現実の水田では、微生物の活性や有機物の存在等の酸素消費作用の影響が加味されて値が変動しているものと推測される。根穴の腐朽によるフィルタ周辺へのバイパス的通水によるDO上昇を懸念していたが、その影響は現段階では明瞭とは言えないようである。

以上の結果より、DO値は湛水直後よりほとんどその濃度を消費限界まで低下させ、中干し時に作土上層のDO値が多少上昇するが、その後再び中干し前の値となる。落水期には、降雨等による田面水が無くなるにしたがい、再びDO値を上昇させる。また、中干しは、7日間以上降雨が無い条件で田面を乾かし、初めて1mg/L程度のDO値上昇をもたらすのみである。仙台の降雨間隔が、この時期は7日より短いこと(1977年~1986年の10年間で7日以上回数は6回)から考えるならば、中干しによる層内への酸素供給による根腐れ防止効果は2年に一度位の目安で期待できるものと思われる。さらに、これらの効果を上げるためには、湿田等の土層環境を還元層が薄い乾田になるように排水性を改良するか、あるいは中干し時には暗渠の水甲等を開き地下水位を低下させる対策等を取る必要があると判断される。

## 2) Ehの周年変動

① 学内水田 Ehの値を田植え後、中干し中、落水後の時期別に図-3に表示した。このように表現することにより、その周年変動傾向がより明確になると考えた。地表面の数mmはいずれの時期も酸化層となり、これまで指摘されているような表層酸化層を形成している(久馬ら, 1984年)。しかし、その下の作土層は、田植え後は15cm深まで100~200mVの高い値であるが還元層となっている。この原因は、耕起、代かきにより作土層内へ供給された酸素残存効果と推測される。その後値は低下し、中干し終了後から9月下旬までは還元層を呈している。浸透水中のDO値は、田植え直後からほとんど表層の数mmで消費限界まで低下し、作土層への酸化作用の可能性はなくなっていると考えらる。また、中干しの効果は十分に発揮されなかったことを意味する。さらに、この水田は、根腐れの危険性はあるがメタン等が発生すると言われているEhの値(-200~-300mV)には、中干し効果が不十分でもその値まで達しないことを意味していると考えられる。11月頃になるとEhの値も600mV前後まで上昇し、再び層全体が酸化層とな

る。この頃の降下浸透水の DO 値は約 7 mg/L と高くなっている。ゆえに、浸透水が酸化層を拡大する可能性があると判断される。

周年変動を示した図-4 (1987年) を見る限り、中干しはよほど気象条件に恵まれない限り、酸化層の形成に寄与する可能性が低いと思われる。さらに、落水後における作土における酸化層の形成も、中干し同様降雨間隔等に左右されると判断される。

② 坪沼水田 作土層の Eh の値 (図-3 参照) は、田植え後はやや酸化的で、その後還元化が進行することを示している。落水後には再び値が上昇し酸化層を形成する。これらの変動傾向は、学内水田とほぼ同じである。

図-5 の Eh の値の周年変化を見る限り、中干しの効果が認められるようである。中干し最終日の 3.0 cm 及び 10.5 cm の 2 点の値が 200 mV 以上上昇している。しかし、8月8日頃には中干し前の値に戻っている。酸化的効果はあるが、その持続期間は今回は2週間程度と判断される。この酸化が作物に与える影響およびメタン発生等との関係は今後の課題である。

以上の結果より、水田作土層の酸化還元は、周年変化をもち、かつ土性等の土壌条件及び地下水位等の水理条件が層内の酸化還元状態発生の遅速を規制すると判断される。さらに、これらの変動と降下浸透水の DO 値にも対応関係が認められるようである。

#### 4. ま と め

本研究では、現場で簡易に深度別の浸透水中の酸素濃度と土層の酸化還元電位等を定点で測定する装置を考案した。この装置を有機物含有量の異なる2地点の水田 (坪沼水田, 学内水田) に設置し、3ヵ年にわたり現場観測を行った。以下に、得られた結果を述べる。

① 新装置 (開放ライシメータ) は、観測箱 (50 cm × 50 cm × 60 cm, 鉄製) を水田にセットし、この箱から水田土壌中へ土壌水を採取するフィルタおよび酸化還元電位を測定するセンサを水平に挿入し作製した。この装置により、各深度の土壌の酸化還元の判断および土壌溶液の採取が可能となった。さらに、土壌溶液の採取は降下浸透水中のポテンシャルを測定し、この庄に対し吸引圧を 5 cm ほど作用させ採水する簡便な方法を考案した。

② 湛水期の両水田作土層の圧力水頭は、鉛直変化が小さくかつ正圧を示した。同じく pH の値は、湛水で約 7 と高いが作土層内 (層厚 15~20 cm) では 6 台の値と

なった。

③ 水田の湛水および土壌水 (ほぼ 3 cm, 8 cm, 13 cm および 19 cm の 4 点で採取) の DO 分析を周年実施した。その結果湛水期の湛水は、5~8 mg/L と高い値を示すが、田植え後の土壌中の DO 値はどの深度もほぼ 2 mg/L 台の値を示し、酸素濃度の消費限界まで値が低下傾向となった。中干しの効果は多少認められたがその効果は2週間程であった。落水期には、土壌中の DO 値は上昇する周年変動が認められた。

④ 作土層の Eh の値は、湛水後徐々に低下し還元状態になり、中干し期まで経過した。この中干し期に7日間ほど降雨がなければ土層が酸化状態になるが、その値も再湛水後2週間程度で、中干し前の還元値に戻った。落水期には、徐々に値が上昇し酸化状態になる。

以上の結果より、簡便な方法で土層の定点における環境の変化の一部を明らかにした。すなわち、Eh および DO の値は、周年変動をもつことである。また、水田からのメタン等の発生については、有機物含有量が5%以下の水田では可能性が低いと予想される。今後は、水稻根の周囲における土壌水中の肥料成分の深度別変動等を経時的に検討する予定である。

#### 引用文献

- 長谷部亮・関矢信一郎・飯村康二 (1986) : 水管理条件が酸化還元層の分化発達に及ぼす影響, 土肥誌, 57 (6) : 544~550.
- Jeffrey D.W. (1994) : Soil solution chemistry, New York, John Wiley & Sons, 121-143.
- 久馬一剛ほか (1993) : 土壌の事典, 349~350, 朝倉書店, 東京.
- 佐々木長市 (1992) : 成層モデル土柱における開放・閉鎖浸透水の DO 値について, 農土論集, 159 : 65~71.
- 田淵俊雄 (1986) : 水質入門, 21~22, 農業土木学会, 東京.
- 内藤幸穂・藤田賢二 : 上水道工学演習, 12~15, 学献社, 東京.
- 渡辺 巖 (1971) : 農業と土壌微生物, 201~212, 農文協, 東京.
- 山崎慎一郎 (1970) : 総説 土壌溶液の採取法およびその化学的組成, 土肥誌, 41 (10) : 424~432.

受稿年月日 : 1998年5月19日

受理年月日 : 1998年11月10日

## アロフェン質土壌の1次鉱物の風化による酸緩衝能

松川 進\*・加藤秀正\*・亀山幸司\*\*

### Acid Buffering Capacity of Primary Minerals Weathering in Allophanic Soils

Susumu MATSUKAWA, Hidemasa KATO\* and Kouji KAMEYAMA\*\*

\* Faculty of Agriculture, Utsunomiya University

\*\* Graduate School of Agriculture, Utsunomiya University

#### 1. はじめに

土壌による酸緩衝機能について吉田・川畑(1988)は、①炭酸塩・重炭酸塩、②交換性塩基、③二次鉱物、④岩石および造岩鉱物の風化に伴う塩基の放出、の4つの中和機能に分類した。そして、中和機能は①から④の順序で発現するが、鉱物の風化による中和機能は容量的に最も大きい(例えば、佐藤(1992))とされている。

酸性雨が土壌に与える影響評価では、野外での測定は長期間を要することから、例えば、佐藤・大岸(1990)のようにpH3前後に相当する水素イオン負荷を短時間に与えた室内実験が多く行われている。このため、室内実験では鉱物の風化による緩衝機能が、自然状態に比較して顕著に発現すると考えられる。

そこで、日本の畑地土壌面積の約半分を占める火山灰土壌であるアロフェン質土壌について、次の4種の室内実験を行い、アロフェン質土壌中に含まれる1次鉱物の風化による緩衝機能を評価した。

測定項目は、①土壌と酸性溶液との反応を人為的に促進したバッチ法、②土壌カラムへの酸性溶液の浸透、③風化速度測定、④主要な1次鉱物の分類と構成割合、である。

#### 2. 測定方法

##### 1) 供試土壌の物理的・化学的特性

土壌は宇都宮大学農学部付属農場牧草畑の深さ40cmから60cmより採土し、生土の含水比を調整後、0.2cm篩通過分を用いた。主な物理的・化学的特性を表-1に示した。粒径区分はピペット法を用い、国際土壌学会法に従った。土壌のpHは生土10gに蒸留水、あるいは1mol-KCl溶液を25mL加え、ガラス電極法で測定し、それぞれpH(H<sub>2</sub>O)、pH(KCl)と表した。また、CEC

と交換性塩基量は、Schollenberger法によった。有機物含有率は炭素と窒素を高感度CNアナライザー(住友化学分析センター製)を用いて測定し、炭素量に1.724を乗じて(土の理工学性実験ガイド編集委員会(1983))有機物量とした。有機物含有率は0.021g/gと少なく、塩基飽和度も0.094で塩基類の溶脱が進んだ土壌である。

##### 2) バッチ法

50mL遠沈管中の風乾土5g(含水比0.15, 乾土4.3g)に蒸留水35mLを添加し、振とう機で18時間緩やかに振とうした。振とう後、遠心分離し上澄み液を注意深くピペットで30mL採取した。採取液のうち5mLを用いて直ちにガラス電極法でpHを測定し、残りの溶液で塩基性陽イオンとアルミニウムイオン濃度を原子吸光法で測定した。そして、上澄み液採取後の遠沈管にはpH2硫酸溶液を30mL添加し、18時間振とう、遠心分離、および上澄み液採取、pHとイオン濃度測定を所定回数繰り返した。バッチ法でpH2硫酸溶液を用いた理由は、1回の硫酸溶液添加量が乾土4.3gに対して30mLと少量であるため、他の実験の単位土壌当たりの水素イオン総負荷量との均衡を考慮したためである。ただし、硫酸溶液と土壌との反応形態や、反応時間はそれぞれの実験により異なっている。

##### 3) 硫酸溶液の浸透実験

内径3cm、長さ13cmのアクリル管に、乾燥密度0.5g/cm<sup>3</sup>で試料を10cm充填し、蒸留水で毛管飽和させた。2段タイプのペリスタポンプで土壌カラムに蒸留水を約126mL/h(ダルシー流束で、 $4.95 \times 10^{-3}$  cm/s相当)で供給し、定常状態を確認後pH3硫酸溶液に切り換え、流出液をフラクションコレクター(試験管1本当たり17.5mL)で分割採取した。なお、土壌表面には厚さ0.4cm、最大孔径160~250 $\mu$ mのガラスフィルターを敷き、溶液が土壌カラム中を均等に浸透するよう配慮し

\* 宇都宮大学農学部, \*\* 宇都宮大学大学院, 〒321-8505 宇都宮市峰町350  
 キーワード: アロフェン質土壌, 1次鉱物, 2次鉱物, 化学風化, 酸緩衝能

た。

総浸透水量を約 5,500 mL と多量に与えたので、試験管の本数は、315 本となった。このため、分割採取液は試験管 10 本ずつ混合し、10 本毎の pH と塩基性陽イオン濃度、アルミニウムイオン濃度を測定した。なお、実験終了後試料中の含水量を測定した結果、1 ポアボリュームは 54.96 mL であった。

4) 鉱物の風化速度

鉱物の風化速度は Sato and Takahasi (1996) の方法を用い、図-1 に示した装置により測定した。東洋濾紙製ポリサルホンホルダー (容量 300 mL) 内の土壌 (乾土 5 g) に、250 mL の硫酸溶液添加後、インペラーにより攪拌し、2 段タイプベリスタポンプにより流量約 7 mL/h

で pH3 と比較のために pH2 硫酸溶液を供給した。フィルターを通過した溶液をベリスタポンプで送液し、フラクションコレクターで 9.8 mL ずつ分割採取した。分割採取液は試験管 3 本毎に混ぜ pH を測定した。塩基性陽イオンと  $Al^{3+}$  イオン濃度は、試験管 9 本を混合して測定した。

なお、反応容器内の土壌を多くするとメンブランフィルターの目詰まりが生じたため、溶液量 250 mL に比較して土壌重を 5 g と少なくした。また、2 段タイプのベリスタポンプの流量に微量な相違があったため、流量が少ない方を硫酸溶液の供給側に用いた。流量差は約 6 mL/d であったので、1 日に 1 回不足量を反応容器に補充し、ほぼ 250 mL の液量を維持した。また、測定は室温 20 ± 1.5°C の恒温室で行った。

5) 主要な 1 次鉱物の構成割合

バッチ法、硫酸溶液の浸透や風化速度測定で、鉱物の風化により溶出してくるイオン種の主な給源を推定するため、主要な鉱物の種類と構成割合を求めた。供試土壌を水中篩い分けにより、粒径 0.012 ~ 0.0425 cm の粗砂ないし細砂に相当する 525 粒を採取した。これらの 1 次鉱物を双眼実体顕微鏡の観察により 8 種の鉱物に区分し、それぞれの粒数を求め、簡便的に構成割合を算出した。

表-1 供試土壌の物理・化学的特性

採土地: 宇都宮大学付属農場草畑	40~60 cm
粗砂	2~0.2 mm 0.044 g/g
細砂	0.2~0.02 mm 0.166 g/g
微砂	0.02~0.002 mm 0.401 g/g
粘土	0.002 mm 以下 0.389 g/g
pH (KCl)	4.93
pH (H <sub>2</sub> O)	5.37
有機物含有率	0.021 g/g
CEC	22.36 cmol (+) /kg
交換性 Ca <sup>2+</sup>	0.62 cmol (+) /kg
Mg <sup>2+</sup>	0.73 cmol (+) /kg
K <sup>+</sup>	0.57 cmol (+) /kg
Na <sup>+</sup>	0.18 cmol (+) /kg
塩基飽和度	0.094

3. 測定結果

1) バッチ法における鉱物の風化

pH2 硫酸溶液を繰り返し添加した場合の pH と塩基性陽イオン濃度の変化を図-2 に示した。添加回数が増加とともに pH は急激に低下し、6 回目以降は添加した pH2 より高い pH3.7 付近の一定値を維持した。Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> の濃度は 3 回目まで上昇しているので、この間に

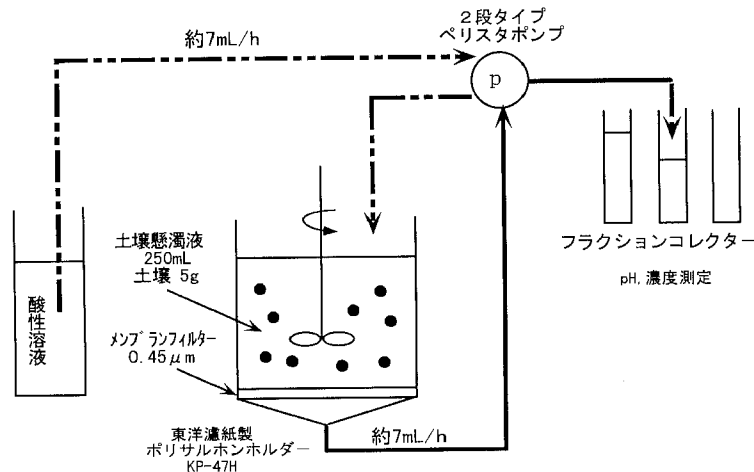


図-1 室内実験による 1 次鉱物の風化速度測定装置

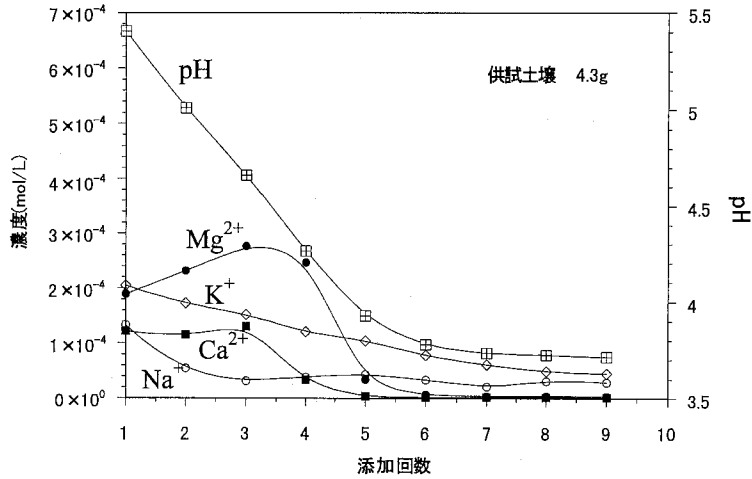


図-2 バッチ法における pH2 硫酸溶液添加回数と pH, 陽イオン濃度の変化

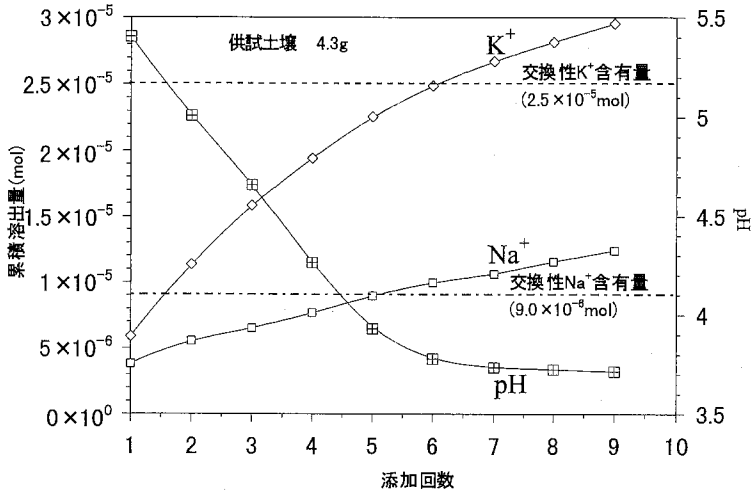


図-3 バッチ法における pH2 硫酸溶液添加回数と K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> の累積溶出量

イオン交換により迅速に溶液中に溶出したと推定される。一方 K<sup>+</sup> と Na<sup>+</sup> の濃度は一様な低下傾向を示した。

図-3 は各添加回数毎の溶液量とイオン濃度より、累積溶出量を K<sup>+</sup> と Na<sup>+</sup> について示したものである。pH の変化が少なくなる添加回数 6 回目以降の累積溶出量は、土壌が当初保持していた交換性陽イオン量を上回り、明らかに 1 次鉱物の風化により溶出したものと判断できる。

すなわち、主要な粘土鉱物をアロフェンと仮定すれば、逸見 (1988) が示したアロフェン球壁の化学構造が示すように、球壁構造の中に塩基類は含まれていない。従って、pH の低下により 2 次鉱物であるアロフェンの構造が破壊されても塩基類は放出されないと考えられ

る。このため、土壌が当初保持した交換性 K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> 量を上回る両イオンの給源は、1 次鉱物と判断される。従って、添加回数 6 回以降に pH の変化が少なくなるのは、鉱物の風化による緩衝機能の影響を受けたためと言える。

また、アロフェン質土壌に硫酸溶液を添加した場合に用いた化学平衡式の計算結果 (松川ら (1998)) から判断すると、1 次鉱物の風化や陽イオン交換以外による緩衝機能の 1 つとして次のことが考えられる。pH の低下によりアルミニウムが溶解し、Al<sup>3+</sup> が放出される。そして、遊離の Al<sup>3+</sup> は加水分解により Al 水酸化物と H<sup>+</sup> を生成し、pH を低下させる。しかし、添加された比較的高濃度の SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> と遊離の Al<sup>3+</sup> が AlSO<sub>4</sub><sup>+</sup> を生成するため、

その分  $\text{Al}^{3+}$  濃度が低下し加水分解による  $\text{H}^+$  の放出を抑制する。

さらに他の要因として、 $\text{SO}_4^{2-}$  とアロフェン表面の  $\text{OH}^-$  との配位子交換により  $\text{OH}^-$  が溶液中に放出され pH を上昇させること、などが予測される。

従って、硫酸溶液の添加回数6回目以降は、1 鉱物の風化による塩基類の放出、 $\text{AlSO}_4^+$  の生成、 $\text{SO}_4^{2-}$  と  $\text{OH}^-$  との配位子交換などが複合された緩衝機能が発現していると言える。

## 2) 浸透法における鉱物の風化

pH3 硫酸溶液を浸透させた場合の溶出液の pH、イオン濃度変化を図-4 に示した。pH の変化から、次の3つ

に区分できる。① 40 ポアボリュームまでは陽イオン交換による塩基性陽イオン濃度の上昇と pH の微少な低下。② 40~70 ポアボリュームでは、陽イオン交換の減少による塩基性陽イオン濃度と pH の低下。③ 70 ポアボリューム以降は pH の一定値維持と塩基性陽イオン濃度の微減。そして、③ の区間は pH3 硫酸の浸透に関わらず、約 pH4.8 に維持されるので、バッチ法と同様鉱物の風化による緩衝機構が影響していると考えられる。

ここで、濃度上昇が最も大きかった  $\text{Na}^+$  の累積溶出量と pH、アルミニウムイオン濃度との関係を示図-5 に示した。 $\text{Na}^+$  の累積溶出量は 20 ポアボリューム付近で、供試土壌 35.4 g が保持していた交換性陽イオン量を上回

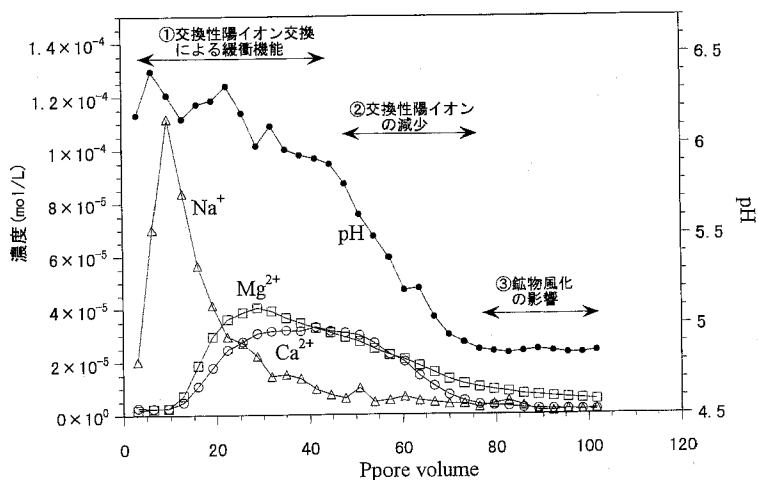


図-4 pH3 硫酸溶液浸透時の pH と溶出イオンの濃度変化

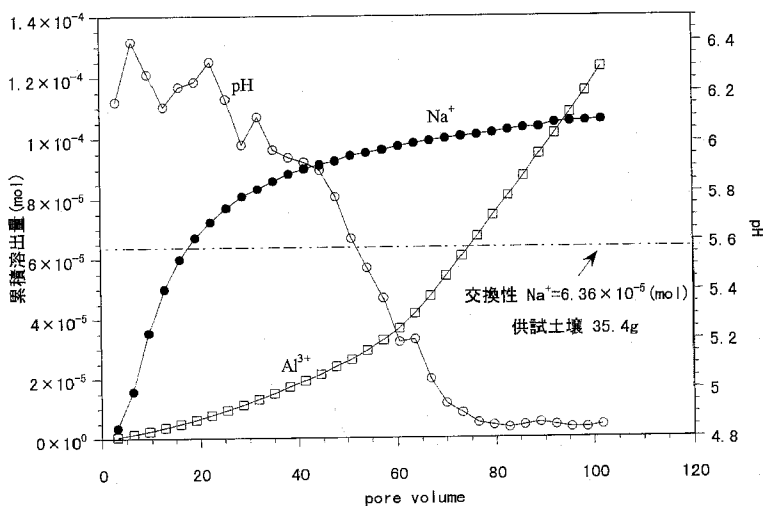


図-5 pH3 硫酸溶液浸透による pH と  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Al}^{3+}$  の累積溶出量



り、浸透初期の段階から鉱物の風化により  $\text{Na}^+$  が溶出したと言える。また、 $\text{Al}^{3+}$  の累積溶出量は、60 ポアボリューム以降急激に増加した。これは、pH の低下により1次鉱物や粘土鉱物の風化が進行し、アルミニウムの溶解が増加し、溶出したためと考えられる。

3) 鉱物の風化速度

図-1 に示した測定装置により、鉱物の風化速度を求めた。鉱物の風化による塩基性陽イオンの累積溶出量は一國 (1989) によれば、模式的に図-6 のように示されている。そして、鉱物の風化速度は累積溶出量曲線が直線的变化に移行した部分の傾き、すなわち、累積溶出量の時間変化率と定義されている。鉱物の風化を示す化学平衡式は例えば、カルシウム長石がカオリナイトに風化する場合 (一國 (1989)) は、

$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  のような反応が進行する。すなわち、負荷された水素イオン ( $2\text{H}^+$ ) と当量な塩基類 ( $\text{Ca}^{2+}$ ) が交換することを示している。従って、塩基類の総溶出量は水素イオンの総消費量に等しく、鉱物の風化による緩衝能を表すことになる。

pH 3 硫酸を用いた場合の pH と塩基性陽イオン、 $\text{Al}^{3+}$  濃度の経時変化を図-7 に示した。乾土 5g に対して硫酸溶液 250 mL と溶液量がかなり多いため、pH は測定開始から低下を続け、200 時間以降はほぼ一定値で推移した。また、 $\text{Al}^{3+}$  は pH が 4.5 程度に低下する時刻から急激に増加したが、200 時間以降は pH の変化が少ないため、濃度はほぼ一定で推移した。

塩基性陽イオン濃度は初期の陽イオン交換により、塩基類が反応液中に離脱し増加したが、陽イオン交換の減少とともに濃度も 50 時間ころから低下し、150 時間以降はほぼ一定値で推移した。

また、塩基性陽イオン毎の累積溶出量の経時変化を図-8 に示した。各イオンの累積溶出量は 100 時間以降直線的に変化している。従って、図-6 の風化速度の定義を図-8 に適用すると、鉱物の風化が生じていると判断できる。そこで、100 時間以降の傾きを求め、風化速度を単位土壌重当たり ( $\text{mol/g} \cdot \text{s}$ ) で算出した。図-8 より、 $\text{K}^+$  は初期時刻から累積溶出量が多く、 $\text{Na}^+$  の累積溶出量は  $\text{K}^+$  より少ないものの直線部の傾き、すなわち風化速度は  $\text{K}^+$  とほぼ同じ値であった。一方、 $\text{Ca}^{2+}$  の 300 時間までの累積溶出量は少なく、また風化速度も  $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$  より小さかった。従って、供試土壌中には  $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$  を風化

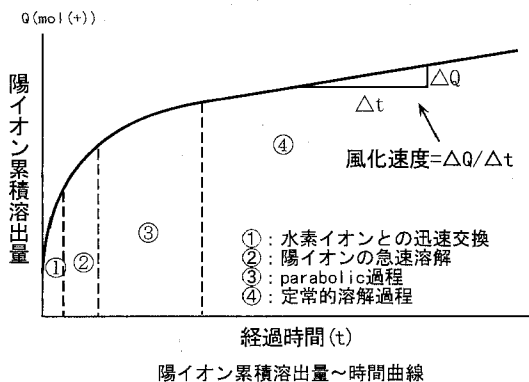


図-6 風化速度の定義 (一國, 1989)

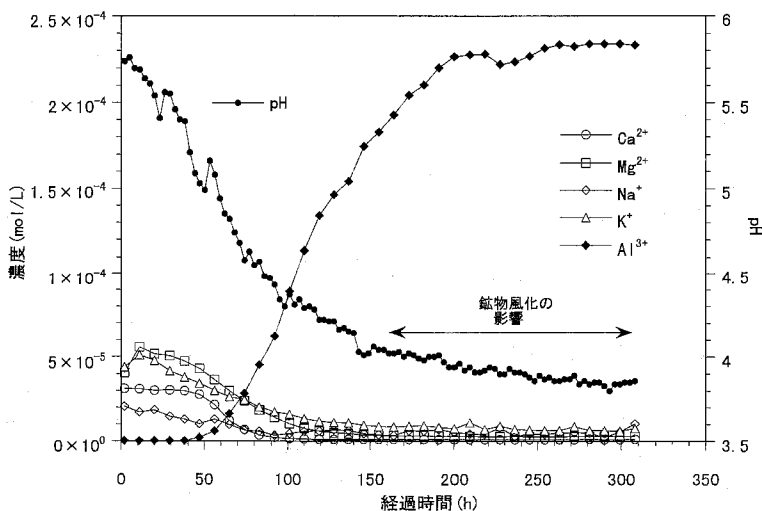


図-7 風化速度測定時 (pH 3 硫酸溶液) の pH, イオン濃度の経時変化

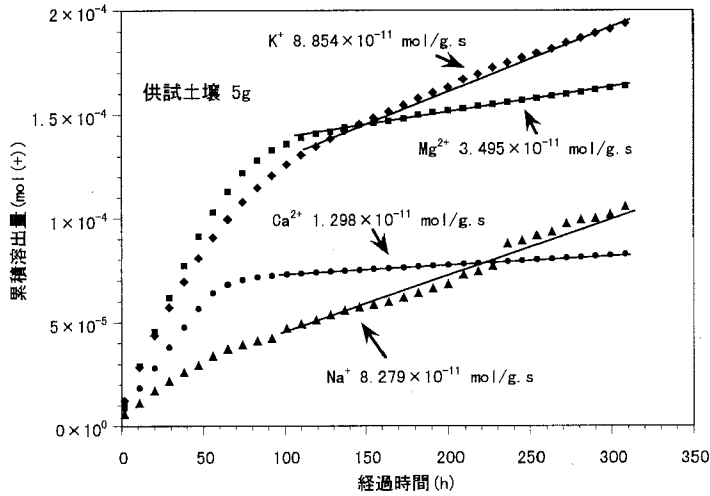


図-8 風化速度測定時 (pH3 硫酸溶液) の陽イオンの累積溶出量と風化速度

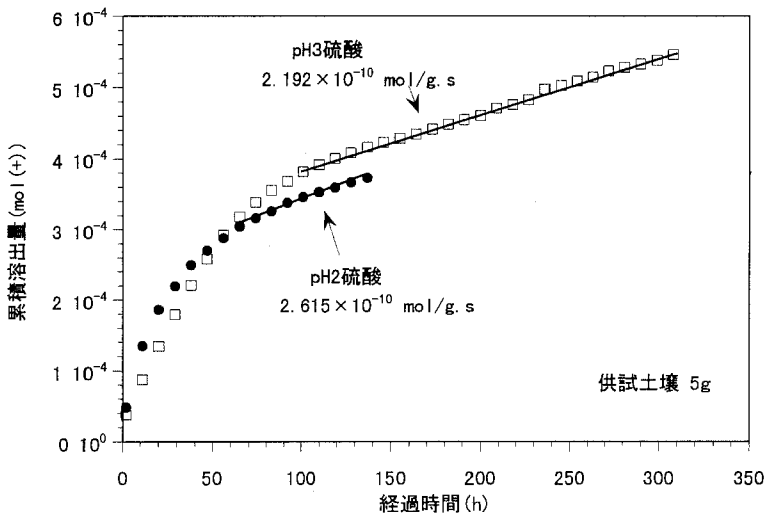


図-9 風化速度測定時 (pH2, 3 硫酸溶液) の塩基性陽イオン全体の累積溶出量, 風化速度比較

により放出しやすい1鉱物が多く含まれていると考えられる。

図-9には pH2 と pH3 の硫酸溶液を用いた場合の塩基性陽イオン全体の累積溶出量曲線を示した。pH2 から pH3 の範囲では、鉱物の風化速度に大きな相違は認められなかった。

4) 主要な1次鉱物の構成割合

バッチ法, 浸透法, 風化速度のいずれの測定でも, K<sup>+</sup> や Na<sup>+</sup> の累積溶出量は供試土壌が保持していた交換性陽イオン量を上回ったことから, 1次鉱物の大まかなな分類と構成割合を算出した。

粒径 0.012~0.0425 cm の 525 粒を用い, 双眼実体顕微鏡の観察により 8 種の鉱物に種類分けし, 構成割合を算出した。なお, 構成割合は薄片中の各鉱物種の面積割合 (都城・久城 (1972)) から求めるべきであるが, 各鉱物の粒数割合から簡便的に構成割合を求めた。また, 1次鉱物の X 線回折などは行っていないので, 粒径 0.012~0.0425 cm の 1次鉱物は鉱物組成が同じと仮定した。

主要な鉱物の構成割合を求めると, 図-10 のようであった。長石と輝石類で約半数を, 次いで, 火山ガラスが 6.4% を占めていた。庄子 (1983) によれば, 火山ガラスは非晶質で表面積が大きいため風化しやすいとされて

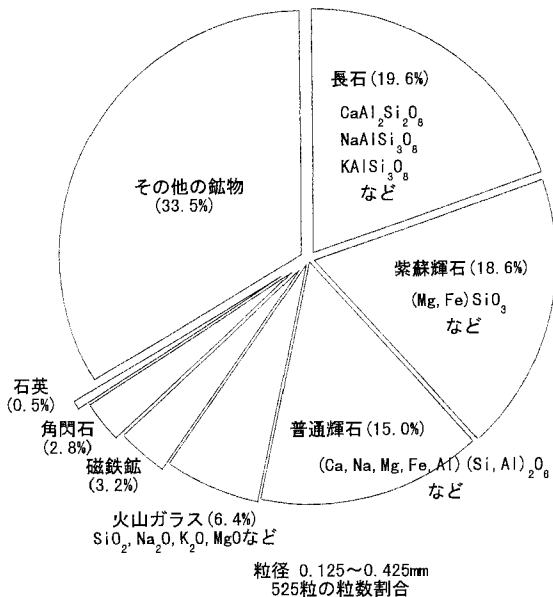


図-10 主要な1次鉱物の割合と化学式

いる。火山ガラスは、石英 (SiO<sub>2</sub>) を除き塩基性陽イオン種を構成成分としているため、K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> の給源として重要な1次鉱物であると推定される。ここで、一國 (1989) による「風化に対する鉱物の安定性」を参照すると、風化の程度はカルシウム長石や紫蘇輝石が大きいが、これらに含まれる主要な塩基類は Ca や Mg である。一連の測定で Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> の溶出は少ないことから、火山ガラス中の K、Na の放出による影響が大きいと考えられる。

今後、長石や輝石類の細分類や火山ガラスの主要な成分を測定し、K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> の給源を特定する必要がある。

#### 4. おわりに

酸性雨が土壌に及ぼす影響を評価する場合、測定期間の関係で多量の水素イオンの負荷を与える室内実験が主として行われている。そこで、火山灰土壌を用いた幾つかの室内実験を行い、鉱物の風化による緩衝機能の影響を評価した。

その結果、土壌と硫酸溶液との反応を人為的に促進したバッチ法、土壌と硫酸溶液との反応がバッチ法より少ないと考えられる浸透法においても鉱物の風化による影

響が確認された。そして、風化速度の測定から、K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> の溶出量や風化速度が大きく、これらを溶出しやすい鉱物が含まれていると推定された。

また、主要な鉱物の構成割合から、火山ガラスの風化による影響が大きいことが示唆された。

今後、鉱物種の特定や、風化反応の平衡定数が既知の鉱物種などを用い、鉱物の風化を加味した化学平衡式を組成することが重要と考えられる。

〔謝 辞〕 アロフェン質土壌中の1次鉱物の種類と構成割合の測定については、農学部地学担当の生物生産科学科相田吉昭助教授のご指導を受けた。記して感謝申し上げます。

#### 引用文献

- 逸見彰男 (1988) : アロフェン中空球状粒子の球壁の化学構造, 土壌の物理性, 56 : 47~50.
- 一國雅巳 (1989) : 土の化学, p6~18, 日本化学会編, 学会出版センター, 東京.
- 松川 進, 加藤秀正, 富田平四郎, 鈴木 敬 (1998) : 酸性溶液を繰り返し添加した時の土壌溶液濃度と pH, 土壌の物理性, 77 : 11~18.
- 都城秋穂, 久城育夫 (1972) : 岩石学, 偏光顕微鏡と造岩鉱物, p213~216, 共立出版, 東京.
- 佐藤一男, 大岸 弘 (1990) : 酸性降水物に対する土壌中和能の簡易測定法, 環境科学会誌, 3 (1) : 37~47.
- 佐藤一男 (1992) : 酸性雨の土壌による中和 一鉱物の化学的風化を中心として一, 資源環境対策, 28 (6) : 55~66.
- Sato, K. and Takahasi, A. (1996) : Acidity neutralization mechanism in a forested watershed in central japan. Water, air, and soil pollution., 88 : 313~329.
- 庄子貞雄 (1983) : 火山灰土, p39~42, 日本土壌肥料学会編, 博友社, 東京.
- 土の理工学性実験ガイド編集委員会 (1983) : 土の理工学性実験ガイド, p83~90, 農業土木学会, 東京.
- 吉田 稔, 川畑洋子 (1988) : 酸性雨の土壌による中和機構, 日土肥誌, 59 (4) : 413~415.

受稿年月日: 1998年3月16日

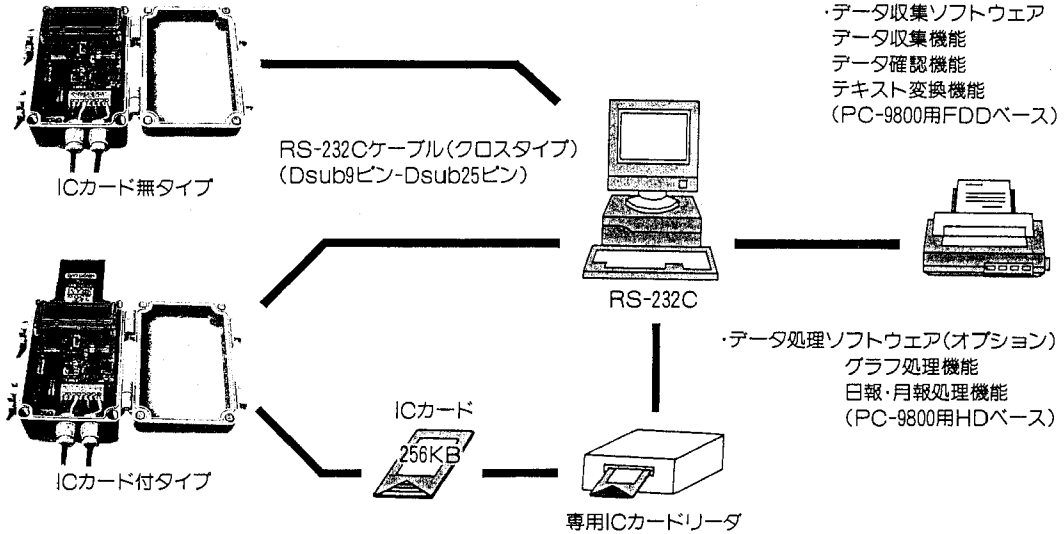
受理年月日: 1998年8月5日

# 野原計蔵 F80シリーズ

## <特 徴>

1. 設置環境を選ばない
2. カンタン開閉
3. 長期間測定が可能
4. カンタン操作
5. 低価格を実現
6. 豊富な機種

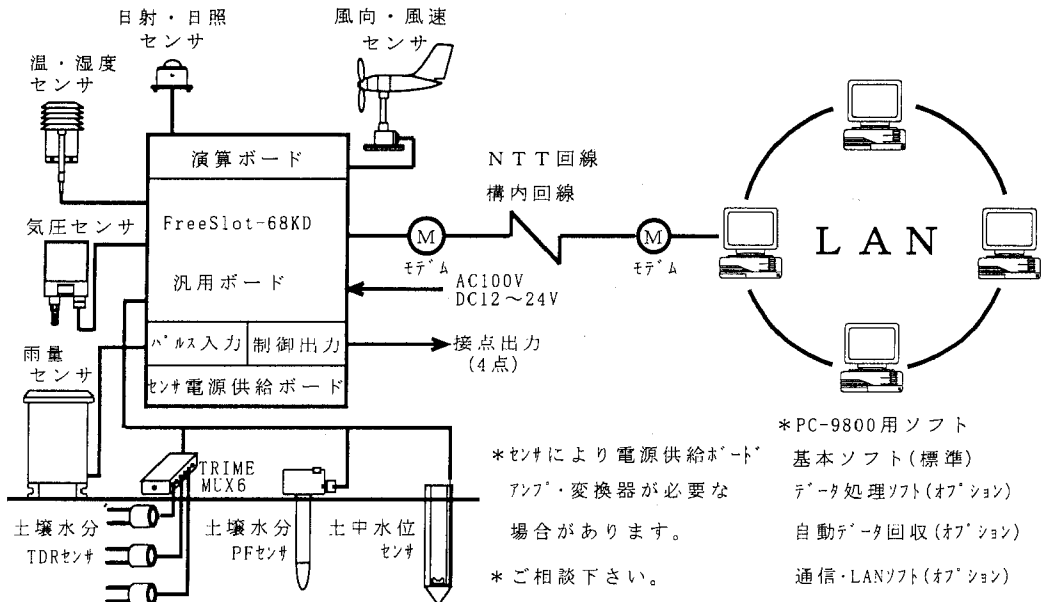
## <データ収集とデータ処理方法>



## 多機能・多チャンネル データロガー

# FreeSlot-68KDシリーズ

## <気象観測システム例>



※ F80・FreeSlot-68KD用Windows95対応ソフトウェア (オプション)

## 農村地域小河川における水質モニタリング に関する調査事例

坂西研二\*・芝野和夫\*・大嶋秀雄\*

### Study on Water Quality Monitoring in Stream of Rural Basin

Kenji BANZAI\*, Kazuo SHIBANO\* and Hideo OSHIMA\*

\* National Institute of Agro-Environmental Sciences, Tsukuba, Ibaraki, 305-8604 Japan

**Key words** : flow measurement, water sampling device, water quality survey, nitrogen and phosphorus

#### 1. はじめに

流域における河川流量とその水質は、地形、土壌、植生などの自然要因に加え、農業など二次自然要因や人間活動要因を総合的に反映しており、地域的および長期的な環境モニタリングとして最も重要かつ最適な項目である。

小河川の流水を構成する流出は、渇水時では基底流出といって浅層地下水流出、農業排水、家庭雑排水が混合した流水であり、降雨時にはこれに表面流出および中間流出が加わり、水質が大きく変動する要因となる。降雨時に増加が見込まれる物質として、土壌であり、土壌面に散布した化学及び有機物肥料の一部であり、また農林地に過度に投入した畜産ふん尿やその他農業資材や一般のゴミ等の廃棄物の一部である。水系への負荷流出には、上記の何種もの流出が混合した状態になると見られ、この複雑な流出過程と水質負荷量の変動は、流域の土壌物理性や土壌化学性に依拠するものと考えられる。

次に、流域の負荷流出を精度よく測定するには、連続して採水できる装置と常時流量測定が不可欠である。しかしながら、上記装置は高額であり、AC電源の確保、遠距離で交通不便なこと等観測の障害も多い。その観測を軽便にするために試料の持ち帰り分析を前提に簡便な自動連続採水装置を製作し、さらに水位計を一体化させ、価格の低減を図った。本報告は、小河川の流量・水質の簡便で精度良い観測データを得る手法の解説とデータ解析による小流域規模の環境負荷量を推定するものである。

#### 2. 試験研究方法

##### 1) 調査対象地の概要

茨城県真壁郡八郷町H流域を対象とする。およその位置は、筑波山の東麓、八郷町の南西部にあり、標高は19mから253mまで、流域面積は291.7ha(流域A)であり、さらに流域A内の上流部に流域B(74.3ha)を設ける(図-1)。流域の土地利用では、林地が全体の45%を占め、山地はスギの植林が多く、広葉樹は集落の周辺と山地の一部で見られる。農耕地の土地利用は、水田が全体の22%、野菜畑が7.5%、ナシを主体とする果樹園が7.4%、放棄地(一部地域で不熟な家畜糞尿の投入)が6.4%である。宅地・道路・畜舎・事業所・学校他が12.6%である。本地区水田のかんがい用水は、山地からの流出を水源としているが、さらにかんがい期(4月~8月)には霞ヶ浦用水からも供給されている。

##### 2) 流量測定

調査地の中央を流れる農業用小河川(用排兼用)でモニタリングを行うため、採水装置と水位計のセットを2カ所(中流地点B、最下流地点A)に設置し、河川水位を常時測定する。降雨による出水時には採水装置で河川水を採水する。

流出水中における負荷量の測定に言うまでもなく流量の連続測定が必要であり、そのためには水位計を設置する。水位の測定にはフロート式と圧力センサー式を比較検討し、安定した応答が得られるフロート式を採用した。圧力センサー式は、泥に埋没してしまうと感知不能になった。

河川断面形状と流速分布測定値から求めた実測流量と水位の関係を水位・流量曲線にする(図-2)。流速の測定

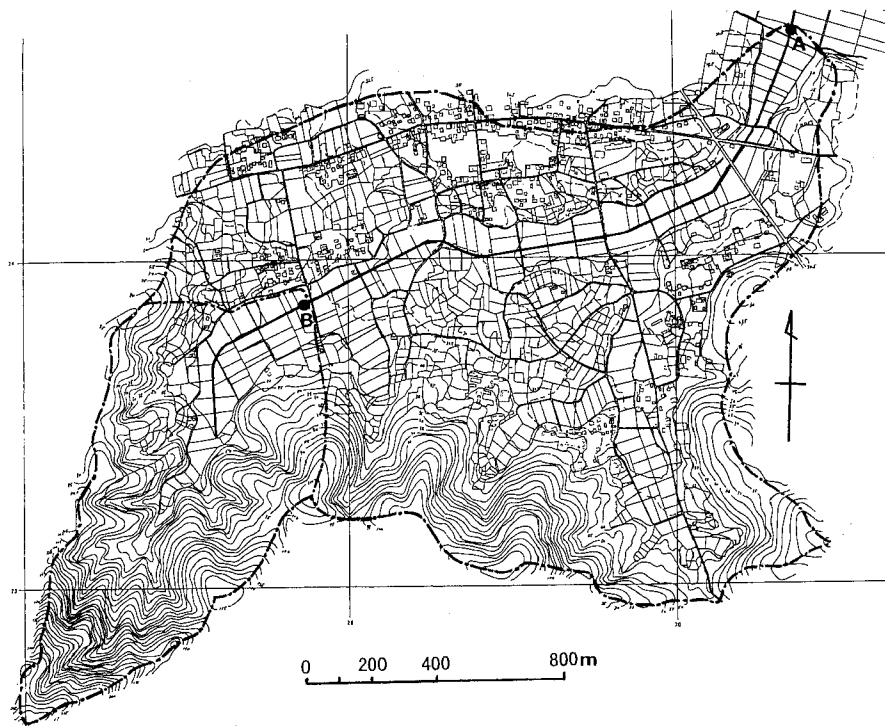


図-1 調査流域

については、多くの実測結果を平均した図-3が参考になる(渋谷, 坂西, 1985)。また、平均流速を示す水深は、水面より  $0.6h$  ( $h$ =水深)である(野村, 1979)。

本報告では、これらデータに適合する式を求め、水位から流量を計算した。一般に水位・流量曲線による推定誤差は、およそ5~10%になる。

### 3) 自動連続採水装置

採水は、人力で直接に採水する場合と装置による連続採水とがある。前者が基本であるが人力では限界があり、大雨時に変化する水質を採水するために採水装置は各種製作されているが、農環研で試作された簡便な装置を一例として示す。

図-4のように小河川に隣接して設置し、バッテリー電源で水質変動が著しい洪水時の流水の自動連続採取ができる。採水装置が作動すると、10分~5時間間隔でポンプアップにより250ccのポリ瓶24本に採水するものである。

採水装置のスタートにはポケットベルを用いた遠隔スイッチを考案した。これは、天気予報により雨が降り出しそうなとき、予め装置を作動させることができる。

自動採水装置の採水位置は、水路の岸側30cmの距離、底から3cm(常時水位約10cm)深さで固定した。この位置の採水が、流水を代表するかどうかは、採水装

置での試料値と人力採水による平均値と比較して調べた。流域Aの測定結果は、T-Pで平均値の10%以内の差であった。流水における水質平均濃度は、図-2の数字1.0の平均流速の付近であれば濃度も平均に近いし、岸近辺にも平均流速の位置は見いだせる。

### 4) 水質分析

本装置により採水した河川水を持ち帰り分析する。水質測定的项目は全窒素(T-N)、 $\text{NO}_3\text{-N}$ と全リン(T-P)である。分析方法は、工業用水試験方法(JIS K 0101)に従った。T-N、T-Pは懸濁態を含む濃度及び負荷量である。年間を通じた流量の観測と降雨時の経時的な水質変化が観測された。

## 3. 降雨と流出について

### 1) 時間雨量と流出

流域下流端A地点の時間雨量と流量を図-5に示す。降雨に対する流量の応答もよく取れている。霞ヶ浦用水の流入が始まる4月中旬以降、水田の耕耘、代かき、かんがい水の増減等により流出が降雨に対応しない場合もあった。雨量の少ない8月、また、かんがい用水を使用しない9月では、一日の内に8時~12時まで家庭排水と見られる周期性の流量増加が見られた。本地区流域に降った降雨の河川到達時間は、角屋(1980)の方法を用



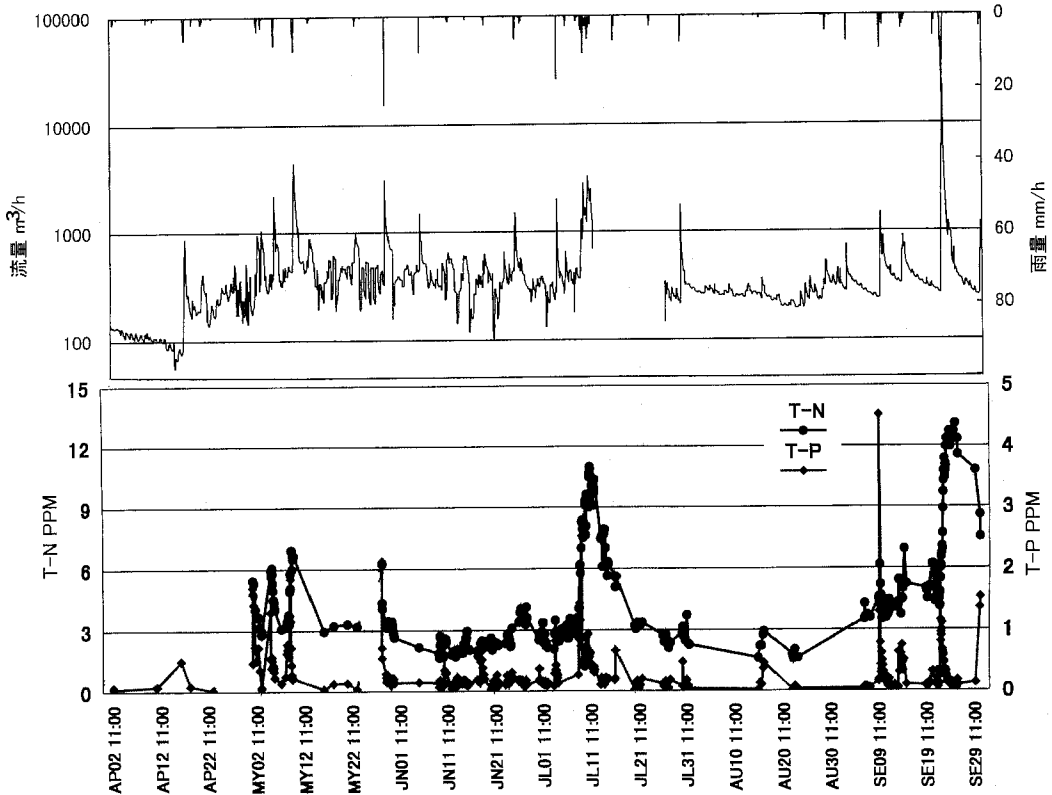


図-5 H川流域A地点の降雨-流出, T-N及びT-P濃度(1996年4月~9月)

表-1 流域A, Bの月別雨量・流出量(1996年)

単位: mm

		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計	
流域A	流入量 雨量	16.0	36.0	85.5	64.5	149.0	63.5	175.5	16.0	295.5	98.0	104.0	55.0	1,158.5	
	霞ヶ浦用水				14.6	42.5	22.5	17.5	20.9					118.0	
	流出量	(16.2)	39.3	38.1	43.6	139.7	97.4	(76.8)	68.2	163.6	105.4	111.3	76.5	975.9	
	蒸発散量 (ハモン式)	5.8	15.5	22.9	36.8	60.8	76.0	48.2	107.0	55.3	33.6	18.5	16.5	496.9	
流域B	流入量 雨量	流域Aと同じ													1,158.5
	霞ヶ浦用水				11.4	33.3	17.6	13.7	16.4						92.4
	流出量	(28.1)	66.0	69.7	93.2	125.9	94.5	(109.5)	116.3	140.0	74.6	74.7	76.5	931.4	
	蒸発散量	7月除き流域Aと同じ							78.3						527.0

\* ( ) 内の値は欠測あり

\* 蒸発散量の1月と7月は, 流出量の欠測期間を除いた値である

を見ると(図-6), 流出の急上昇に応じてT-N濃度は穏やかに, T-Pは急激に上昇する。降雨時には河床の沈殿物や地表面の堆積物が洗い流されるので, 濃度が高くなると言われているが, この流域はそれに相当する。

流出がピークから低減していく間も, T-N濃度は上昇し続け, 持続する傾向であり, 他方, T-P濃度は, 流

出の低減に比例し急激に低下した。

表面流出が終了した後の河川流出は, 土壌の粗間隙を流下する中間流出やそれより小さい細間隙を流下する地下水流出水で占められ, 流出水の濁りは小さく, 窒素は溶存態で流出する割合が大きい。このことに関して土壌を通過する流出水は, 高強度の雨でも土壌内で貯留さ



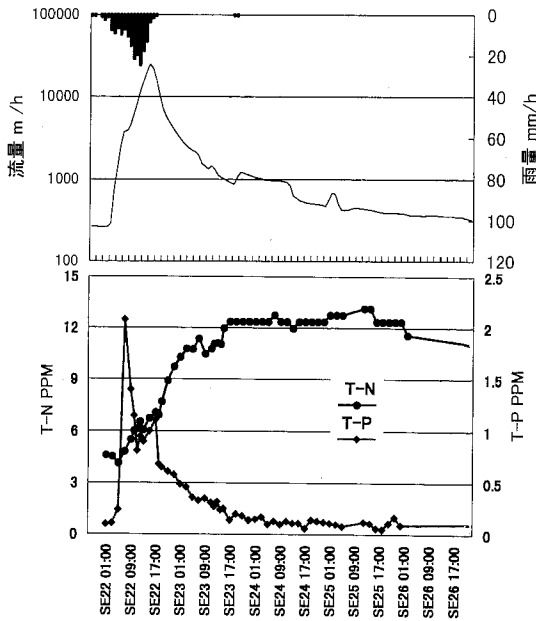


図-6 台風時流域 A 地点の降雨-流出, T-N 及び T-P 濃度 (1996 年 9 月 22 日~26 日)

れると徐々に流出し、平準化が進む。また、雨量の大きさにより流出個々の低減過程の初期値は異なるが、徐々にどの流出も近似した量を示すようになる。この間、土壌内の間隙経路からの溶脱窒素量も、変動の小さい低減が考えられる。

T-P については、リンが土壌に吸着されやすいことが理由となる。土壌の侵食や移動が起こり、その土壌が懸濁態として河川に流入する表面流出時において、リンの流出が最も大きいという結論になる。

2) 負荷量と流量 (L-Q) の関係

流域 A において 1996 年 4~9 月の L-Q 関係を示したのが図-7 である。Q と T-N の相関は、一般に言われているように良い。濃度において Q の増加に対する T-P は、鋭敏な応答を示した。Q と T-P の負荷量関係では変動幅が大きく、相関係数も低い、流量の大小以外にも要因が考えられる。例えば、季節により変化する農林地の植生、作物、耕耘作業が挙げられる。

3) 降雨時の負荷量

平時に比較して、降雨時にどれだけの割合で窒素とリンが流出しているかを流域 A の負荷量で計算した。始めに、1996 年 4 月~9 月の半年間において T-N、NO<sub>3</sub>-N と T-P について、負荷量の総量を計算した。次に、この期間における降雨時負荷量の計算は、流出量の増加する期間の T-N、NO<sub>3</sub>-N と T-P の負荷量を合計し、その値から基底部分の負荷量 (降雨前の時点と降雨後流出量

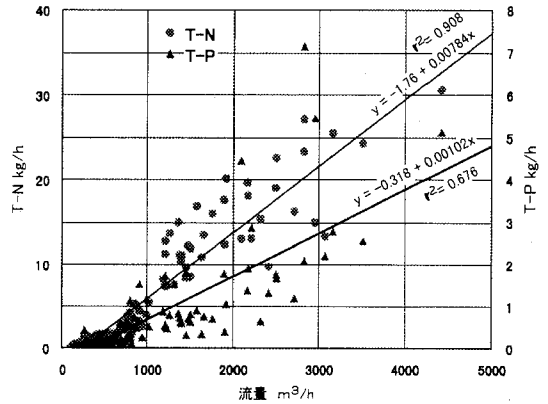


図-7 流域 A の負荷量と流量 (L-Q) の関係

表-2 流域 A の半年間と降水時の T-N、NO<sub>3</sub>-N、T-P の総量と割合

	96 年 4 月~9 月	T-N	NO <sub>3</sub> -N	T-P
総量	kg/ha	28.4	23.1	2.1
降雨時	kg/ha	15.0	12.6	1.5
"	%	52.8	54.6	69.9

の低下した時点をつなぐ負荷量) を差し引いた。その結果、表-2 に示す通り T-N、NO<sub>3</sub>-N と T-P の降雨時の割合は、各々 52.8、54.6 と 69.9% であった。参考に鈴木、田淵 (1984) の霞ヶ浦近辺の純農村小流域における 1 年間の結果は各々 68、55、81% であった。降雨期間の負荷量は平時に比して、期間が短くても大きな割合を示すが、それら割合も流域毎に異なることから、何らかの類型化も考えておく必要があり、今後の検討課題とした。

5. 測定に関する留意点

(1) 農業用排水路等の小河川への水位計や採水装置の設置は、地元土地改良区または河川管理者の許可が必要である。

(2) 測定開始 1 年目は圧力水位センサーを用いたが、水路の泥やゴミの付着による不調、あるいはバッテリー切れによるデータ欠測などが生じた。2 年目はフロート式水位計に改修し、それまでの圧力式センサーに比較して安定していた。

(3) 河川からの採水口は、泥・ゴミにより直ぐに目詰まりするため、サンプリングが終了した時点で必ず点検する。

(4) バッテリーの電圧低下は、水位計及び自動採水装置の作動停止や誤作動を招くので注意が必要である。

## 引用文献

- 角屋 睦 (1980) : 流出解析手法 (その8), 農土誌, 48 (6) : 39~44
- 中野秀章 (1976) : 森林水文学, 共立出版, 114~115
- 野村勝美 (1979) : 流量計測法, 篁源亮編, 森北出版, 15~55
- 澁谷勤二郎・坂西研二 (1985) : 電磁流速計による河川・排水路流量の自動計測, 国土資源資料 (農環研), 13 : 57~62
- 鈴木誠治・田淵俊雄 (1984) : 農業地域小河川における流出負荷量の季節変動と年間総量について, 農土論集, 114 : 33~38

受稿年月日 : 1998年5月11日

受理年月日 : 1998年9月18日

## 土の自然史

—食料・生命・環境—

佐久間敏雄・梅田安治 編著

北海道大学図書刊行会 1998 年刊

A5 版 241 ページ 3,000 円

現在の世界の食料事情を一口でいうならば、途上国での飢餓と先進国での飽食が混在している世界といえるだろう。年間世界で生産される穀物は約 20 億トン、家畜にまわす餌を差し引いても一人あたりの穀物は生存するのに十分な量である。にもかかわらず、途上国では毎年実に 1,500 万人もの人々が栄養失調のため亡くなっている。これは、富める国には食料が集まり、貧しい国には食料が届かないという、市場経済の宿命かもしれない。だが、この不平等な分配の問題を改善し、食料生産を向上させるために政治や科学技術が一定程度の役割を果たしたのも事実である。しかし、1980 年代の半ばになって、土壌の塩類化、砂漠化、土壌侵食、森林伐採による災害、地下水汚染などが、可耕地の拡大に大きな障害となることが認識されるようになった。これら諸問題は、その国の政治・経済・社会状況と密接に関係しており、自然科学的手法が問題解決にどの程度貢献できるかを予想することはむずかしい。とはいえ、土の科学の研究成果が、土壌環境問題に対処するための政策を立案する際重要な情報発信源となることも事実である。そのような意味で、土に関係する専門家が高度な内容を話題別に整理して解説している本書は、土をめぐる環境や災害に興味をもつ人々には最適の入門書となる。また、適切な文献が紹介されているのもありがたい。

内容は、第 I 部 土を科学する-土の科学を築いた人々、第 II 部 土の分類学-土を分ける、第 III 部 土と農業-農業の基盤としての土、第 IV 部 土と人間-生活の場としての土、第 V 部 土の健康-より良い環境のために、からなっている。第 I 部は、土についての研究史を解説している。第 II 部は、土のなりたちと、世界の土、日本の土からなる。土壌学を専門としない人にとって粘土鉱物は理解しにくい項目の一つであるが、ここでは粘土鉱物について厳密かつ、わかりやすく説明している。土の生成過程は地域の自然条件によって大きく左右されるため、土壌分類体系は国により異なる。そこで現在、国際的な統一分類体系の確立にむけての努力が行われているという。土壌学と土質工学の交流がうまくいかないのは、複雑な土壌分類体系も一つの理由かもしれないと考

えている筆者にとって、このような努力は朗報である。

第 III 部は、土と植物の関係、土壌動物、焼畑の現状、土の劣化、土の保全、農耕地の耕うん、水田を扱っている。土は生きている。これは土壌に生きる莫大な量の動物を抜きにしては語れない。土壌動物は土壌生成や肥沃度の維持に役だっており、1m<sup>2</sup>あたりの個体数は、トビムシやダニで数万~20 万、ヒメミミズで数千~数万にも達するという。レタス栽培の大型団地で連作障害をおさえるために輸入ミミズを大量に土にもどす、という話を聞いたことがある。近代農業も、健全な土壌なしにはたちゆかないということだろう。近代農法の対局にあるのが焼畑。近年その功罪が論じられてはいるが、本来これは自然の理にかなった伝統的農法である。著者曰く、「焼畑は土地の環境を映す鏡」「焼畑を研究することによって、そこに蓄積された在来の知恵が発掘される」。まさに的をえた言葉である。一方、集約的農業は土を劣化させ、土壌侵食や砂漠化を引き起こしてきた。土の劣化による被害面積をみると、アジア、アフリカが最も大きい。途上国での耕地面積の減少は、食料の絶対的不足に拍車をかけることになるだろう。土の劣化の中で乾燥地にみられるのが土壌の塩類化。これは、近代的な大規模灌漑農業がもたらす土壌荒廃の典型である。一方、乾燥地での伝統的農業形態（ドライファーマーミング）の農業技術は、砂漠という風土のなかで数千年にわたり培われた技術、思想である。この農業技術だけでは飛躍的な増収は望めないが、「地域農業の振興にあたってはこの土着の技術をわれわれは学び、安定した技術を確立すべきである」という著者の言葉は傾聴に値する。もちろん、土の劣化や荒廃を防ぐためにさまざまな取り組みもなされている。例えば中国の黄土高原では、平坦部の農地の生産性を向上させ、その分、土壌保全がむずかしい傾斜面を林地に改変していこうとするものがある。

第 IV 部は、生活者のための国土計画、地盤、崖崩れの脅威とその対応、の 4 章からなる。4 全総の「多極分散型国土の形成」という目標とは裏腹に、中央の相対的優位性が強化され、農村の人口減少と荒廃が深刻になった。土地神話に群がった金はバブルの崩壊とともに不良債権

化し、日本が危機に直面しているのはご承知の通り。「美しい国土」をつくる主体は地域住民である。住民はその決意をもたねばならない」と著者は説く。災害は忘れた頃にやってくる。兵庫県南部地震をはじめ、日本列島を襲った大地震では液状化により大きな被害がでた。液状化とは、地盤の振動により間隙水圧が上昇し、砂質土層があたかも液体のように振る舞う現象である。臨海部の軟弱地帯では、地下水のくみ上げによる地盤沈下が深刻であり、沈下の程度は圧密理論により予測される。豪雨の季節になると、土砂災害が日本列島を襲う。斜面崩壊の機構についてはかなり説明されているが、崖崩れ災害の予防となるとむずかしい。ここでは、災害の事前予知や軽減の方法について、工学的側面と避難という立場から解説している。

第V部は、土は生化学的廃棄物処理場、母なる大地、フィルタとしての土、土壌圏と大気圏、土は人間・環境系の「要」という5章からなる。まず、「突然、土中の生物がいなくなったら、地球は、そして土はどうなるかと」と問いかけ、地球規模での土中生物の役割、土壌中の炭素、窒素の存在形態と循環過程における土中生物の役割

を述べている。次に、土壌の特性を地球温暖化や酸性降水物などの環境問題との関わりで論じ、さらに物質循環における土壌の重要性を説いている。3章では、浸透水が土壌中を移動するとき、イオン交換やフルイ作用により、汚濁水がろ過される機構、さらには土中における水の下降移動の形態について説明している。4章では、土壌の呼吸作用、土壌のガス組成とガス代謝のメカニズムを解説し、ガス代謝が地球環境変動とどのように関連しているか、さらに大気を保全するために土壌ガス代謝をどのように管理すべきかについて解説している。最後の章では、全体の流れを整理し、土の浄化機能と環境容量について考察し、土が物質循環の要であることを再確認している。そして、人は都市に住みつつも、田園から隔絶しては生きられない、食を守り、公共財としての土と緑を守るとは農業者だけの利益ではなく、都市住民を含めた幅広い議論をかさね、合意形成をはかる必要がある、と結んでいる。

このように幅広い話題を提供している本書をぜひとも一読されたい。

大坪政美（九州大学農学部）

Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn.  
 土壤の物理性  
 No. 80, p. 57~60 (1998)

1. 第7回編集委員会

開催日：1998年11月26日 15:00~17:00

会場：農業環境技術研究所会議室

議題：(1) 80号の掲載原稿の確認

(2) 81号原稿および編集方針

現在取り扱い中の原稿(報文および資料等：13編)

(3) 「土壤の物理性」英語名の改訂について(経過確認)

(4) SSSJの土壤物理研究会ホームページのデザインについて

(5) 「土壤の物理性」A4判化について(経費、可能性検討)

(6) その他(次期編集委員会体制について、82号シンポジウム特集号について、受理証明書発行について、その他)

付 今後のスケジュールについて

12月：第80号発行

2月：第8回編集委員会

3月：第81号発行

2. 予算・決算について

(1) 1997年度会計決算

自1997.4.1  
 至1998.3.31

収入の部

項目	予算額	決算額	増減	備考
繰越金	1,016,543	1,016,543	0	
一般会費	2,916,900	3,088,750	171,850	
購読会費	503,500	282,250	△221,250	
賛助会費	210,000	225,000	15,000	
出版物売上	100,000	129,893	29,893	別刷り、バックナンバー
雑収入	10,000	288,073	278,073	広告、預金利子
合計	4,756,943	5,030,509	273,566	

△：収入減

支出の部

項目	予算額	決算額	増減	備考
会誌製作費	2,500,000	827,946	1,672,054	76号発行
総会費	300,000	75,505	224,495	
通信費	300,000	112,570	187,430	
文具費	150,000	71,519	78,481	
賃金	150,000	26,311	123,689	
交通費	150,000	53,000	97,000	
会議費	100,000	0	100,000	
幹事手当	50,000	60,000	△10,000	幹事1名増
編集委員会費	100,000	31,143	68,857	
40周年記念事業	400,000	0	400,000	
選管委員会費	0	—	0	
予備費	556,943	0	556,943	
次年度繰越金	—	3,772,515	△3,772,515	77, 78号発行
合計	4,756,943	5,030,509	△273,566	

△：支出増

## (2) 次年度繰越金の所在

郵便振替口座農大	1,335,493
郵便貯金口座農大	49,519
銀行口座 農大	2,221,630
同上 つくば	151,114
現金 農大	0
同上 つくば	14,759
合 計	3,772,515

## (3) 会計監査報告

1998年3月31日

土壌物理研究会  
会長 岩間秀矩 様

土壌物理研究会  
会計監査 増島 博 印  
足立忠司 印

## 会計監査報告書

1997年度、土壌物理研究会会計の収入支出決算書ならびに関係帳簿類について、1998年3月31日、厳正に監査をおこなった結果、それらの執行は適正であり、提出のとおり相違ないことを確認した。

## (4) 1998年度会計予算

自1998.4.1

至1999.3.31

## 収入の部

項 目	予 算 額	備 考
繰 越 金	3,772,515	77, 78号未払い
正 会 員 会 費	2,639,400	(98年度分2,706,000+未回収分1,064,500)×0.7≒2,639,400
学 生 会 員 費	96,600	(98年度分90,000+未回収分48,000)×0.7≒96,600
購 読 会 費	748,500	98年度分427,000+未回収分321,500=748,500
賛 助 会 費	32,250	98年度分270,000+未回収分52,500=322,500
出 版 物 売 上	100,000	
雑 収 入	100,000	
合 計	7,489,265	

## 支出の部

項 目	予 算 額	備 考
会 誌 製 作 費	4,250,000	会誌, 79, 80, 81号発行, 前年度77, 78号含む
総 会 費	300,000	
通 信 費	300,000	
文 具 費	150,000	
賃 金	150,000	
交 通 費	150,000	
会 議 費	100,000	
幹 事 手 当	70,000	幹事6人, 幹事補佐2人
編 集 員 会 費	200,000	会誌査読料
40周年記念事業	400,000	用語集出版関係費
選 管 委 員 会 費	350,000	
予 備 費	1,069,265	
合 計	7,489,265	

## 3. 歴代会長および編集委員会

## (1) 歴代会長

歴代	任期(西暦年月日) (yyymmdd)-(yyymmdd)	会長名(所属)	副会長(所属)
1	580301-621031	山中金次郎(農業技術研究所)	不在
2	621101-641031	川口桂三郎(京都大学)	美園 繁(農業技術研究所)
3	641101-661031	吉良 芳夫(東京農業大学)	美園 繁(農業技術研究所)
4	661101-681031	八幡 敏雄(東京大学)	国分 欣一(農事試験場)
5	681101-710331	美園 繁(農業技術研究所)	須藤 清次(山形大学)
6	710401-731031	国分 欣一(農事試験場)	田淵 俊雄(東京大学)
7	731101-741031	木下 彰(北海道農業試験場)	佐久間敏雄(北海道大学)
8	741101-761031	須藤 清次(茨城大学)	寺沢 四郎(農業技術研究所)
9	761101-781031	手島 三二(大阪府立大学)	岩田 進午(農業技術研究所)
10	781101-801031	湯村 義男(農水省野菜試験場)	西出 勤(岐阜大学)
11	801101-821031	横井 肇(農業技術研究所)	多田 敦(筑波大学)
12	821101-841031	岩田 進午(農業土木試験場)	久保田 徹(中国農試)
13	841101-871031	前田 隆(北海道大学)	小川 和夫(北海道農試)
14	871101-890930	中野 政詩(東京大学)	岩間 秀矩(農業技術研究所)
15	891001-901031	久保田 徹(農業環境技術研究所)	軽部重太郎(茨城大学)
16	901101-930931	長堀 金造(岡山大学)	東 順三(神戸大学)
17	931001-950331	佐久間敏雄(北海道大学)	堀口 郁夫(北海道大学)
18	950401-970331	穴瀬 真(東京農業大学)	足立 忠司(岡山大学)
19	970401-現在	岩間 秀矩(農業環境技術研究所)	河野 英一(日本大学)

## (2) 「土壌の物理性」発行記録

号	発行日 (yyymmdd)	頁 数	事務局	編集委員長(所属)	号	発行日 (yyymmdd)	頁 数	事務局	編集委員長(所属)
01	590316	56	農業技術研究所	岩田進午(農業技術研究所)	22	700825	52	農業技術研究所	三好 洋(千葉農業試験場)
02	600331	42	同上		23	710225	31	同上	
03	600925	33	同上		24	710425	39	農事試験場	横井 肇(農業技術研究所)
04	610325	48	農業技術研究所	吉良芳夫(東京農業大学)	25	710925	50	同上	
05	62029—	48	同上		26	720725	84	同上	
06	6204—	50	同上		27	721125	43	同上	
07	630131	67	京都大学	喜田大三(京都大学)	28	731101	44	北海道農業試験場	前田 隆(北海道大学)
08	630527	35	同上		29	740701	42	同上	
09	631027	46	同上		30	741115	43	同上	
10	640310	56	同上		31	750531	42	茨城大学	安富六郎(茨城大学)
11	650327	118	東京農業大学	安富六郎(山形大学)	32	751031	32	同上	
	+12				33	760401	55	同上	
13	650927	62	同上		34	761001	46	同上	
14	660325	34	同上		35	770430	46	大阪府立大学	四方田穆(大阪府立大学)
15	660930	42	東京農業大学	寺沢四郎(農業技術研究所)	36	771030	38	同上	
16	670325	47	東京大学	増島 博(農事試験場)	37	780531	58	同上	
17	671025	24	同上		38	781130	40	同上	
18	680825	48	同上		39	790428	66	農水省野菜試験場	長田 昇(三重大学)
19	681025	43	同上		40	791031	58	同上	
20	700325	27	農業技術研究所	横井 肇(農業技術研究所)	41	800430	105	同上	
21	700825	36	同上		42	801030	64	同上	

号	発行日 (yyymmdd)	頁 数	事務局	編集委員長 (所属)
43	810430	56	農業技術研究所	古畑 哲 (農業技術研究所)
44	811030	66	同上	
45	820430	58	同上	
46	821030	50	同上	
47	830430	52	農業土木試験場	
48	831030	55	同上	
49	840430	65	同上	
50	841030	139	同上	
51	850531	73	北海道大学	斉藤万之助 (北海道開発局)
52	851231	58	同上	
53	861031	75	同上	
54	870630	64	同上	
55	871230	78	東京大学	河野英一 (日本大学)
56	880920	58	同上	
57	881008	56	同上	
58	881210	74	同上	
59	891020	72	農業環境 技術研究所	石井和夫 (農業研究センター)
69	900320	55	同上	
61	900801	62	同上	
62	900801	96	同上	

号	発行日 (yyymmdd)	頁 数	事務局	編集委員長 (所属)
63	910801	77	岡山大学	足立忠司 (岡山大学)
64	920301	72	同上	
65	920701	70	同上	
66	921201	85	同上	
67	931030	74	北海道大学	波多野隆介 (北海道大学)
68	931230	90	同上	
69	940531	100	同上	
70	941130	90	同上	
71	950130	70	同上	
72	950430	83	東京農業大学	河野英一 (日本大学)
73	960315	71	同上	
74	960701	101	同上	
75	961201	74	同上	
76	970501	87	東京農業大学	谷山一郎 (農業環境技術研究所)
77	980220	62	同上	
78	980331	50	同上	
79	981110	68	同上	
80	981218	60	同上	



## 一編集後記一

第7回の編集委員会において「土壌の物理性」誌の英語名の改訂とA4判化について議論されました。

これまで、英語名「Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan」のJapanは不要という意見や雑誌と認識されないという意見が多くありました。このため、前編集委員会から英語名の改訂に取り組み、学会名称の変更時期に合わせて発議することとしてきました。1998年10月の総会で土壌物理研究会の名称変更が承認されたのに伴い、従来から懸案であった英語名の改訂に本格的に取り組むことになりました。

前回の評議員会・総会で岩間会長から、雑誌の日本名は、「土壌の物理性」に関連する各分野の横断的な交流を大切にするという背景があるために変更しないとの説明があり、これに対する異議はありませんでした。そこで、「土壌の物理性」を生かした英語名とし、名前は区別ができれば短いほどよいことから、委員長原案として「Journal of Soil Physical Conditions」を提出しました。しかし、Plant GrowthあつてのSoil Physical Conditionsであり、それだけでは意味不明であり、いっそうのこと

Journal of Soil Physicsのほうがわかりやすいという意見が出されました。英語を母国語とする外国人に問い合わせたところ、やはりConditionsをつけるのと何のことかよく分からないとのことでした。そこで、委員長案として「Journal of Soil Physics」を提案いたします。

また、最近、いくつかの雑誌（農業土木論文集など）がA4判化しています。A4判化のメリットは、図表が大きくなり見やすくなること、文字ポイント数が同じで字数や行数が増えれば制限字数が多くなるので、超過ページが少なくなり投稿者にとって経済的負担が少なくなることなどです。デメリットは、印刷費、郵送費を含めた経費が10%弱上昇すること、本棚に入りにくいなどが考えられます。委員の大勢はA4判化に賛成でした。

これらの改訂には評議員会や総会の承認・確認を必要とするので、もし改定するならば1999年秋以降になります。会員の皆様のご意見をお待ちしております。

<編集委員長 谷山一郎（農業環境技術研究所

TEL/FAX : 0298-38-8270,

e-mail : erosion@niaes.affrc.go.jp)>

### 土壌物理研究会

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

土壌の物理性 第80号（会員配布）1998年12月18日発行

発行 土 壌 物 理 研 究 会

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

電 話 03-5477-2340 FAX 03-5477-2634

E-mail dojo@nodai.ac.jp

振替口座 00150-2-17794

銀行口座 さくら銀行世田谷通支店（店番号199）

普通 6367846「土壌物理研究会」

印 刷 創文印刷工業株式会社

〒116-0011 東京都荒川区西尾久7-12-16

## 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。
- KT2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

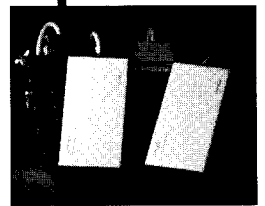
データロガーLシリーズ

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

RS-232C

### メモ리카ード

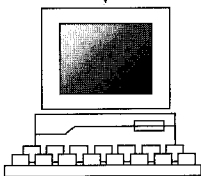
- L810B、L840で使用できます。
- JC128、JC256、JC512、JC1024、JC2048



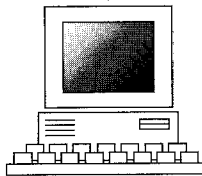
### RW98A RWAT RW98AN

メモ리카ードドライバ

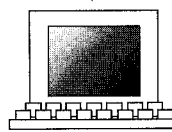
- PC9801シリーズ、PC/AT互換機、PC98noteシリーズ専用のメモ리카ードドライバです。
- メモ리카ードに記録したデータをパソコンに高速送信するのに最適です。



PC9800シリーズ



PC/AT互換機



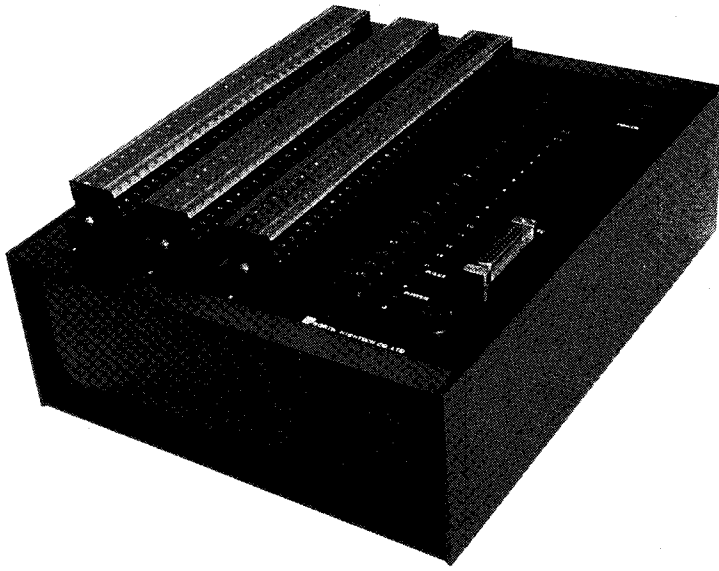
PC98noteシリーズ

**UNIPULSE**

ユニパルス株式会社 ※資料請求・お問い合わせは、本社宛お気軽にどうぞ

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

# 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 数きい値積算 コンパレータアナログ出力 パルスカウント



計測の未来をひらく

株式会社

ノース・ハイテック

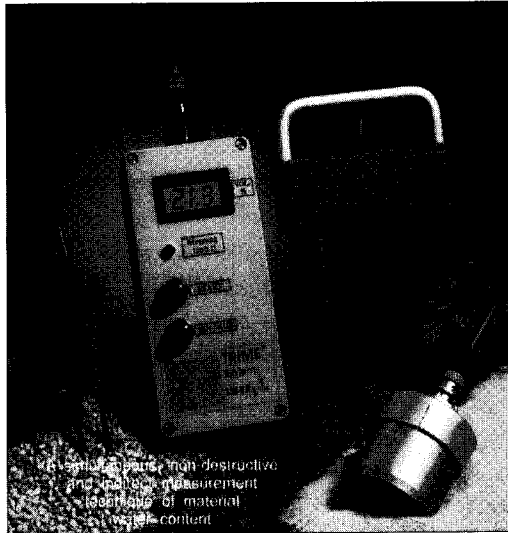
〒062 札幌市豊平区美園1条8丁目1-28

TEL. 011-833-4386 FAX. 011-833-4387

# TRIME<sup>®</sup>-SYSTEM



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



(TRIME-FM携帯型水分計と各種プローブ)

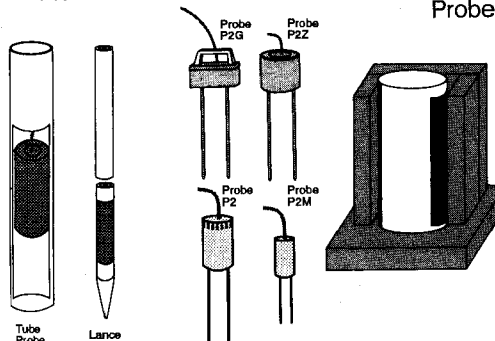
## ●特長

- 1)迅速、非破壊の含水測定が可能で、サンプルを採取せず  
 に連続計測が出来る。
- 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  
 質に適応可能
- 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

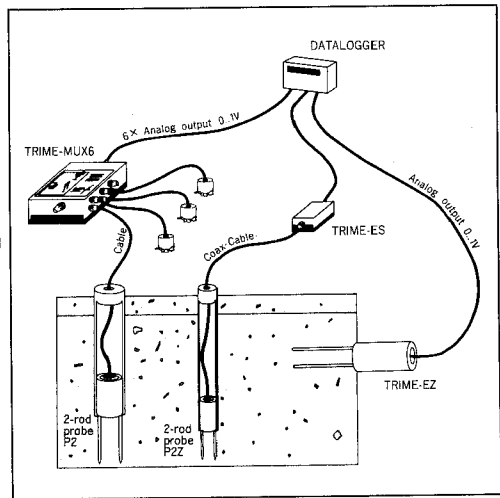
土壌、ケミカル物質、粉体、食料品、スラッジ、乳状液、  
 穀物また、水による自然災害の常時モニター、予知、貯  
 水池、ダム水門、造成地、廃棄物処理場等の構造物や土  
 壌中の含水量のモニター、あるいは森林、水源地帯や農  
 業計画の一環としての含水測定、モニターなど

(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<sup>®</sup>(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ソンド検出装置な  
 どユニークな製品も製作、販売しています。



現場設置用アナログシステム構築例



## 東北電子産業株式会社

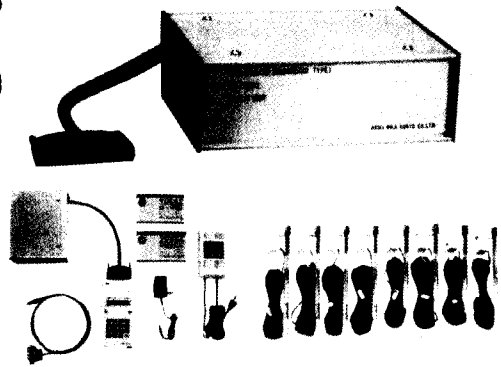
東京支店 〒211 川崎市中原区新丸子東2-897 ラポール新丸子207  
 応用計測機器グループ TEL.(044)411-1263(代) FAX.(044)411-1839

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

## テンシオメータ 自記タイプ DIK-3020

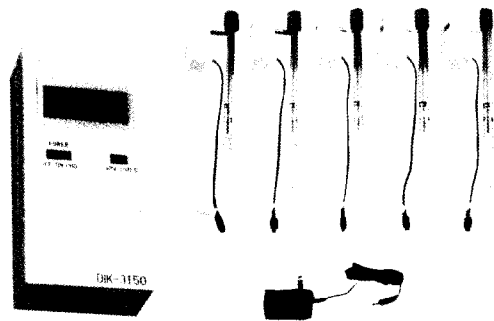
土壌水の吸引力の変化を刻々測定し、データロガーにデータを収録します。電源の無い野外ではバッテリーを使用します。

(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。

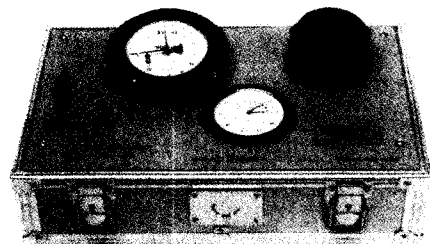


## 貫入式土壌硬度計 DIK-5520



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<sup>®</sup>開発製品



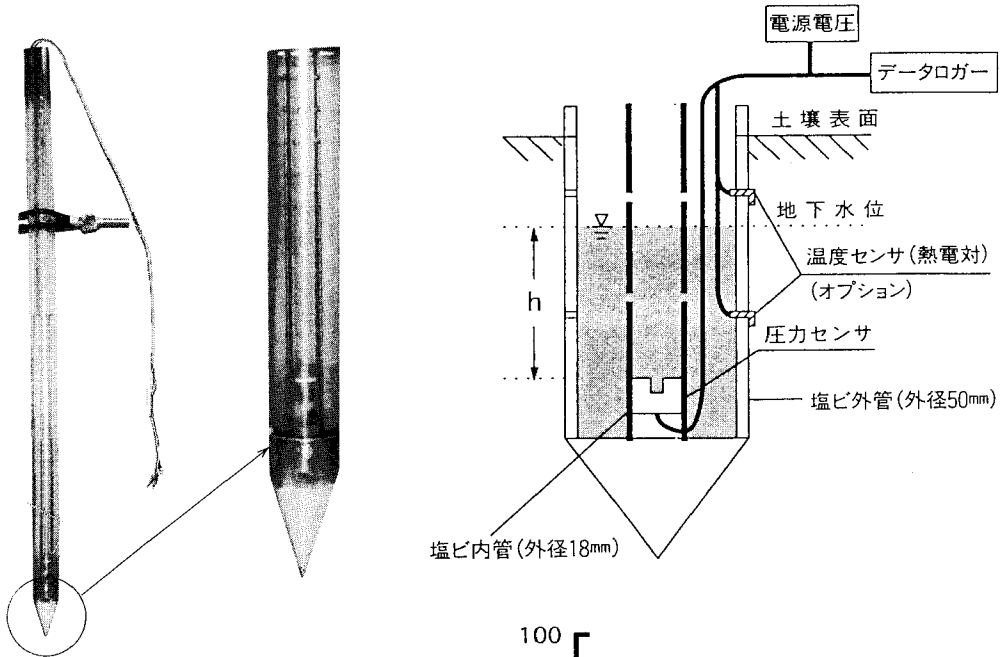
タイキ  
大起理化工業株式会社

〒116 東京都荒川区西尾久7-60-3 TEL.03-3810-2181

# 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



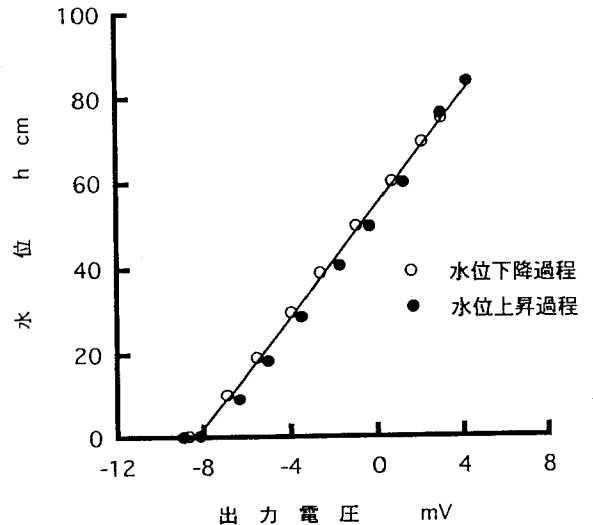
### 2. 圧力センサ (拡散型半導体圧力変換器)

#### 1)仕様

定格圧力	0~9.81×10 <sup>-2</sup> MPa (0~1000cmH <sub>2</sub> 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 (0MPa)
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<br>延長ケーブル 5 m     |
| 2)オプション | 外管・内管 1 m以上<br>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

## REGULATIONS OF RESEARCH ASSOCIATION OF SOIL PHYSICS

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

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

Effective since 30 September 1996

## Instructions to Contributors

### 1. General Requirements

- 1.1 The author(s) of an article who is contributing as an individual must be a regular or student member of the Research Association of Soil Physics, Japan (RASPJ), except when a contribution is invited by the Editorial Committee on Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan (SPCPGJ).
- 1.2 Manuscripts (MSs) submitted as research papers or reports are referred to two reviewers, and other types of MS to one reviewer, to be selected by the Editorial Committee. Based on reviewer's approval, the Editorial Committee decides whether to accept a paper or report for publication.
- 1.3 Contributions are classified as follows and content should focus on soil physics and related subjects :
  - Original research.* Papers must not have been published previously nor submitted for publication elsewhere. The MS must be research-oriented and present an original, noteworthy academic contribution to soil physics fields.
  - Note.* This brief report presents new findings or improvements in experimental methods, etc.
  - Review.* This paper focuses on soil physics from a broad view point.
  - Miscellaneous.* This report is rewritten from an original MS for reference by soil physics study field.
  - Lecture.* This easy to understand commentary contributes to the understanding of soil physics or introduces new or improved research methods.
  - Others.* These articles include letters to the editor, readers columns and book reviews, for example.
- 1.4 One original and two copies of the MS be sent using the order form below. The author of a MS published in the SPCPGJ will receive 30 offprints free of charge. Additional copies can be ordered for a nominal price.

Date of submission :

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

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

Type of contribution :

Title of MS :

Number of text pages :

Number of tables :

Number of figures :

Number of photographs :

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

Reviewer's comments in : English or Japanese.

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

### 2. Preparation of MS

- 2.1 The MS must be typed double-spaced on A4-size forms (30×21 cm). A substantial margin should be left at both sides. Finalized MSs must be sent as text files on floppy disk.
- 2.2 The MS must not exceed 3,600 words (about 6 printed pages). No charges is made for publication within the range of pages allowed. ¥9,000 will be charged for each additional page. Extra charges for printing on special paper, (e.g., art paper) will be billed to the author.

### 3. Title, Authors and Keywords,

- 3.1 The MS title must be as brief as possible while still accurately identifying and describing contents.
- 3.2 The MS of first page must include a title, a name of author(s), and institution(s), institution address, an abstract of about 300 words, and keywords not including more than five words or phrases.

### 4. Text

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



- 4.2 Words printed in Gothic, Italic, Greek, or other special script must be clearly indicated. Characters must be printed so as to indicate the difference between the letter 'x' and multiplication sign, the letter 'o' and zero, the minus sign and the dash, or hyphen, and small letter and subscript.
- 4.3 Spell out abbreviations or acronyms the first time they appear and enclose in parentheses, e.g., liquid limit (LL).
- 4.4 The Latin binomial or trinomial and authority must be used for plants, insects, animals, and microorganisms when first used in both the abstract and text.
- 4.5 The International System of Units (SI) must be used for all data whenever possible.
- 4.6 For each in-text reference, provide the author(s) and year in parentheses and separated by a comma, e.g., Cambell (1988) found that ~ or ~ (Kemper, 1996). Note that references for papers with only two authors mention both, separated by an ampersand '&', e.g., Bouma & Dekker (1978) ~ ; references for three or more authors state only the first author, followed by 'et al.'. Several references together are arranged chronologically, then alphabetically. More than one paper by the same author(s) in the same year are differentiated by adding 'a', 'b', etc., after the year.
- 4.7 Acknowledgments must appear at the end of the text, preceding reference.
- 4.8 The writings of MSs should be checked by a native English.
5. Figures, Tables, and Photographs
  - 5.1 Do not use figures that duplicate information in tables.
  - 5.2 Each table and figure must be arranged individually on a separate A 4-size sheet, must be numbered in the sequence in the text. Using a soft lead pencil, the preferred position of each table and figure must be written in the margin of text.
  - 5.3 Figures are drawn with both diagrams and lettering in Indian ink or using printed labels suitable for direct reproduction. Typewritten material is not acceptable. Computer printouts must be prepared carefully. Using a soft lead pencil indicate the figure sequence in the bottom margin together with the senior author's name.
  - 5.4 Figures will be reduced to approximately 50% of their original linear dimensions. They must be prepared for reduction taking into account the journal page size.
  - 5.5 A scale must be used in maps or microscope photos instead of a reduced scale or magnifying power.
  - 5.6 Captions for all figures and photographs must be typed on a separate sheet.
6. References
  - 6.1 All published works referred to in text must be presented in a list of references and arranged alphabetically by author, without serial numbering. The author-year system is used in text. For publications in a language other than English, a notation such as "(in Japanese)" or "(in Japanese with English summary)" must be added.
  - 6.2 Examples of reference citation are as follows ;
 

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

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

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

Effective since 2 October 1998

**MSs must be sent to :**

OKUYAMA , Takehiko

Address : National Research Institute of Agricultural Engineering

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

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

## SI 単位の使用例

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

使用が認められる接頭記号

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

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

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

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

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

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

## 「土壌の物理性」読読に関するお願い

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

### 1. 読読者

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

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

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

#### (2) 読読後の取扱い

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

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

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

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

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

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

#### (3) 総合判定D「掲載不可」のものの事由

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

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

### 3. ノート、資料、論説・総説、解説、土粒子、書評などについて

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

(1997. 10. 30 改定)

### 複写される方に

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

学協会著作権協議会

〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3F

TEL/FAX : 03-3475-5618

ただし、アメリカ合衆国における複写については、下記へ

Copyright Clearance Center, Inc. (CCC)

222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, USA

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

### Notice about photocopying

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

Except in the USA

The Copyright Council of the Academic Societies (CCAS)

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

TEL/FAX : 81-3-3475-5618

In the USA

Copyright Clearance Center, Inc. (CCC)

222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, USA

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

# Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan

No. 80

December 1 9 9 8

---

## Contents

<b>Forward</b> .....	T. MIYAZAKI	1
<b>Originals</b>		
pH Profile Prediction Following Sulfuric Acid Solution Diffusion into Allophanic Soil .....	S. MATSUKAWA and H. KATOH	3
Effect of Field Drainage by Shallow Under-Drainage in Heavy Clay Paddy Field .....	M. KOMAMURA, H. NARIOKA, T. NAKAMURA and T. KAI	11
Reclamation of Gypsiferous and Nongypsiferous Sodic Soils by Leaching .....	S. WANG, Y. KITAMURA and T. YANO	21
Investigation on the Redox Potential and Soil Solution Using an Open Lysimeter at Paddy Field .....	C. SASAKI, K. KOSEKI, M. TOMITA, H. OGURO and K. TANIGUCHI	33
<b>Miscellanea</b>		
Acid Buffering Capacity of Primary Minerals Weathering in Allophanic Soils .....	S. MATSUKAWA, H. KATOH and K. KAMEYAMA	41
Study on Water Quality Monitoring in Stream of Rural Basin .....	K. BANZAI, K. SHIBANO and H. OSHIMA	49
<b>Book Review</b> .....	M. OTSUBO	55
<b>Announcements</b> .....		57
Editor's Comment .....		61

---

Published by  
**Research Association of Soil Physics, Japan**  
NODAI Research Institute (NRI)  
Tokyo University of Agriculture  
1-1-1 Sakuragaoka Setagaya-ku, Tokyo 156-8502, Japan