

土壌の物理性

第84号

2000年7月

巻頭言	渡辺 春朗	1
論文		
開放ライシメータを用いた水田土壌溶液中の鉄、マンガ、カルシウムおよびカリウム濃度の動態調査	佐々木長市・小関 恭・谷口 建・稲垣 元昭	3
黒ボク土水田の浸透型が水稻栽培条件下の物質動態に及ぼす影響	佐々木長市・稲垣 元昭・松山 信彦・江成敬次郎・小関 恭	13
軽石流堆積物客土畑における有機物施用効果		
第1報 客土と有機物施用が土壌理化学性および土壌微生物活性に及ぼす影響	竹内 晴信・東田 修司・市川 信雄・松原 一實	23
軽石流堆積物客土畑における有機物施用効果		
第2報 客土と有機物施用が土壌の作物生産力に及ぼす影響	竹内 晴信・東田 修司・市川 信雄・松原 一實	33
研究ノート		
足柄平野扇状地における不飽和帯水層の水分測定	濱田 浩正・二平 聡・宮下 雄次	43
研究紹介		
アイスレンズの成長面近傍の微視的観察とその生成モデル	渡辺 晋生	49
資料		
Soil Conservation and Farming Systems on Slope Land in Indonesia and the Philippines	S.M. MEDINA, H. NARIOKA, J.N.M. GARCIA and MASTUR	57
土粒子		
科学技術の発展と新たな平和問題—日本学術会議対外報告から—	田淵 俊雄	65
会務報告		67
編集後記		72

土 壌 物 理 学 会

土壌物理研究会会則

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

「土壌の物理性」投稿規定

1. 投稿要領

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

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

「ノート」 新しい事実や、研究方法の改良などを含む短い報告。

「論説・総説」 土壌の物理性に主眼をおき、広い視野に立って記述したもの。

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

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

「その他」 土粒子、書評など。

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

2. 原稿執筆要領

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

5. 依頼原稿として「巻頭言」(Foreword), 「講座」(Lecture series)をおく。「講座」は「解説」と本質的な違いはないが、特に編集委員会が企画して複数回にわたって行うものを指す。
6. 投稿する場合は、正原稿1部、コピー2部の計3部に原稿送り状(別紙書式)をつけて編集委員会事務局(編集幹事)宛に提出する。
7. 編集委員会は、投稿原稿を受け取ったら速やかに受付番号と受付日付を明示した電子メールまたは書状を投稿者に送る。また、掲載が決定し最終原稿を受け取ったら、受理日付を明示した書状を著者に送付する。
8. 著者に対して修正を求めた原稿が、特別な事情なく6ヶ月以内に再提出されないときは取り下げと見なす。
9. 著者校正は初校のみとする。また、特に申し出がない限り印刷済みの原稿は返さない。
10. 別刷りは30部を著者に贈呈する。それ以上を希望する場合は実費を申し受ける。
11. 本誌に掲載された論文等の著作権は土壤物理学会に帰属する。

(1999, 11, 20 改正)

「土壌の物理性」原稿執筆要領

1. 日本語の原稿の場合、A4判、25字、23行とし、上下左右に30mm以上の余白をとる。(4枚で1ページになる)。
2. 日本語の原稿は、はじめに表題、著者名を書き、そのあとに英語で、表題、著者名(フルネーム)、所属機関と所在地を書いてから本文を書き始める。また、第1ページの脚注に、日本語の所属機関と所在地、5個以内のキーワードを書く。
3. 論文および研究ノートには、英文 Abstract の下に5個以内の英語の Key words をつける。
4. 英語の原稿は、A4判、ダブルスペースで作成する(約600 wordsで1ページになる)。
5. 英語の論文および研究ノートは、Manuscript title, Full names of authors, Address of institutions of authors, 250 words 以内の英文 Abstract, および5個以内の Key words を書いてから本文を書き始める。
6. 英語原稿には日本語要旨と5個以内の日本語キーワードをつける。
7. 英語の適正化はすべて著者の責任において行うこと。自然科学論文を書いたり校正したりしたことのある英語のネイティブスピーカーによってチェックされている事が望ましい。
8. 閲読終了後に最終原稿を提出するときには、ワープロソフト名を明示したファイルまたはテキストファイルの入ったフロッピーディスクを添付する。
9. 本文は、章の見出しを、1., 2., 3., 節の見出しを、1.1, 1.2, 1.3, 項の見出しを1.1.1, 1.1.2, 1.1.3, のようにする。
10. ゴシック、イタリック等の字体や、上付き、下付き文字など、まぎらわしい文字は、誤植防止のため鉛筆で指定する。
11. 略語、略号を使うときには、はじめにそれが出たときに正式名称とともに示す(例:陽イオン交換容量(CEC))。
12. 単位の使い方は国際単位系(SI)による。

13. 図、表、写真の番号は、図1, 表2, 写真3のように書く。英語を並記する場合は、Fig. 1, Table 2, Photo. 3とする。英語の原稿では、写真はFig.として扱う。
14. 図、表、写真は必要最小限度とし、同一事項を表と図に重複して表示する事は避ける。
15. 図、表、写真は1枚毎にA4判で作成するか、またはA4判の紙に貼り付ける。余白に著者名と図表等の番号を鉛筆で記す。
16. 図と写真はそのまま製版されるので、鮮明なものを提出する。
17. 図は1/2倍などとおよその縮小率を指定し、2倍くらいに大きく書く。図の線の太さや文字の大きさは、刷り上がりの大きさを考慮して決める。
18. 地図や顕微鏡写真は定尺をつけ、縮尺や倍率はつけない。
19. 日本語の論文、研究ノートの場合、図、表、写真の題名には英語を併記する。
20. 図、表、写真の番号と題名は、別紙にまとめて一覧表とする。
21. 本文中で文献を引用する場合は、著者名(西暦)、または(著者名, 西暦)とする(例: Tanaka (1994), (Nakamura and Suzuki, 1981))。著者が3名以上の場合は第1著者名のあとに——ら、または et al. をつける(例: 山田ら (1978), (Tayler et al., 1945))。
22. 引用文献は、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。
23. 引用文献の書き方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.
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.
(雑誌のページには p. や pp. をつけない. 本の単数ページを示す場合には p., 複数ページを示す場合には pp. をつける)

【土壌物理分野のSI使用例】

国際単位系(SI)については多くの出版物で解説されているので、ここでは、土壌物理に特に関連の深い単位の使用例を示す。

	推奨される単位	認められる単位
含水比	kg kg ⁻¹	*
体積含水率	m ³ m ⁻³	
体積	m ³	L, cm ³ , mL
密度	kg m ⁻³ , Mg m ⁻³	
濃度	kg m ⁻³ , Mg m ⁻³	g L ⁻¹ , mg L ⁻¹
モル濃度	mol m ⁻³	mol L ⁻¹
力	N	
水分ポテンシャル	J kg ⁻¹	kPa, m, cm, **
透水係数	m s ⁻¹	cm s ⁻¹
イオン交換容量	mol kg ⁻¹ , cmol _c kg ⁻¹	
回転数	s ⁻¹	min ⁻¹
収量	kg m ⁻²	kg ha ⁻¹ , Mg ha ⁻¹ , t ha ⁻¹

* %表示は、原則として分母と分子の内容が同じものの場合にだけ用いる。

** cm H₂O は使わない。
その他、疑問のあるものについては意見を聞いて編集委員会で検討する。

(2000, 3, 10 改正)

土壌物理学会原稿送り状

受付番号（本学会で記入）：

発送年月日	年 月 日	受付年月日(本学会で記入)	年 月 日
種 別	論文, 研究ノート, 総説, 解説, 研究紹介, 資料, その他 ()		
表題(和文)			
表題(英文)			
キーワード (日本語: 5ヶ以内)			
キーワード (英語: 5ヶ以内)			
著者名1 ローマ字		所属	本学会 会員・非会員
著者名2 ローマ字		所属	本学会 会員・非会員
著者名3 ローマ字		所属	本学会 会員・非会員
連絡先氏名			
住 所 電話・Fax 番号 E-mail	〒 Tel : Fax : E-mail :		
原 稿 枚 数	本文: 枚		
表: 枚	図: 枚	写 真: 枚	
別 刷 り	30部・50部・100部・150部・200部・300部		

付記：投稿は土壌物理学会事務局または編集幹事宛のこと

土壤物理学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
本学会以外の主な 所属学会	

本学会記入 受付年月日：

承認年月日：

宛先・問い合わせ

石川 重雄 (ISHIKAWA Shigeo : 土壤物理学会事務局/庶務幹事)

〒252-8510 神奈川県藤沢市亀井野 1866 日本大学生物資源科学部生物環境工学科内

Fax. : 0466-80-1102

Tel. : 0466-84-3693, E-mail : sishika@brs.nihon-u.ac.jp



環境・フィールド研究と県農試の土壌物理研究をめぐって

渡辺春朗*

1999年11月、第41回土壌物理学会シンポジウム・テーマ「生態系をめぐる土壌物理の諸課題」およびポスターセッション・テーマ「土壌物理研究の最前線」が約100名参加のもとに開催された。シンポジウムでは、森林の土壌生態系と物質循環、植物の根・菌根の発達と土壌物理性、土壌動物の生態と土壌物理、土壌微生物と生態系、及び堆肥連用土壌の理化学性と作物収量について、そのテーマに相応しい、大学、国立および公立場所の実際研究に携わっている方々が話題提供し、活発な意見交換が行われた。

一方、研究の交流と学会の活性化を図るため今回から始められたポスターセッションでは、本誌第79号の足立氏の見解にしたがえばフィールド（圃場）に近いスケールでの研究、すなわち①フィールドにおける土壌物理研究が2課題、これと対極にあると考えられる②モデル・理論的研究・室内における土壌物理研究が8課題、及びその③中間スケールの研究が1課題の、計11課題が発表された。この内訳は、それぞれ土壌水（不飽和の水分移動—TDRプローブ法を主体とする測定法）4、土壌の力学性（泥炭土の排水、家畜糞尿スラリー施用）2、土壌空気（土壌微生物数—CO₂、O₂濃度）1、土層改良（耕盤破砕）1、温度・熱（塩類—熱伝導率）1、イオンの吸着（重金属Cd—モンモリロナイト）1、塩害・耐塩性（小麦の品種間差異）1課題であった。準備期間が短いこともあってか、残念ながらフィールドに近い国や公立場所の発表はなく、全て大学によるものであった。

これらの多くは地球規模での環境や土壌劣化の問題・課題であるばかりではなく、地下水や閉鎖性水域における硝酸性窒素による水質汚染をはじめ、重金属による土壌汚染や家畜糞尿、耕盤形成などの問題は身近でかつ緊急に解決を求められている環境や農業上の課題であり、フィールドにおける研究の実証によって完結する課題である。そしてこれらは、生命体である土壌生態系がつかさどる物質循環の速度、量、質的な変化と、そのメカニズムを解明すると言う土壌物理研究の恰好の課題でもある。これに加え時代の要請もあって近年は、農業・農村地域にあっては景観形成、グリーンツーリズムや、都市・都市近郊地域にあっては土地造成との関連で、県や国の地域場所以が採択できるようになった土壌物理に関する研究課題は多い。

しかしながら、足立氏と同様フィールドにおける土壌物理の研究は少なくなっている、ことと同時にフィールドに近い研究機関とくに公立場所の会員が少なくなっているように思われる。1998年4月1日現在の名簿によると、本学会の正・学生会員536名の構成は、概ね大学関係230（学生会員28）名、国立場所等約100名、公立場所70名、民間研究所・コンサルタントに所属する会員40名、その他の会員が100名である。公立場所の会員は県当たり1名強の計算となるが、0名の県もあり、2名以上の場合が多く、北海道では20名と多い。これは、土壌や栽培される作物などの地域特性のほか研究施設・設備なども関係するが、土壌物理が主題となる研究について、討論あるいは励まし合う仲間も少なく機会も少ないので、人の育成や研究の深化を図ることが難しい状況にあることを意味し、また会員が少ないことや減少につながっているものと思われる。これを乗り越えるには研究交流と人のネットワークの大切なことを、国との研究交流の一種「依頼研究員制度」の農業技術研究所土壌物理研究室への長期研修とその後の研究活動・経験などから切実に感じている。

本学会の発展のためには、創設時の学際的事であることとの主旨や会誌—Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan—に則るまでもなく、幅広い分野の研究者・技術者の参加が必要であり、ことにフィールドに近い公立場所の会員の増加とその参画が急務と思われる。そのためには、ポスターセッションのほか、大変ではあるがエクスカージョンなどを企画し、フィールド研究の実際やリモートセンシング、画像解析の状況などを現場でみたり、討論したりする機会を設けるなどして、参加しやすい雰囲気醸成するとともに研究交流の密度を高める必要があると思われます。大学や国にあっては共同研究はともかく測定法の習得など2、3日や1週間程度の研修に類するものを気楽の受け入れて頂けるよう、またOBを主体とするその他100名の会員の方々には研究に対するアドバイスのほか研究と技術の橋渡しや研究仲間のネットワーク構築に協力をお願いしたい。

* 副会長（元千葉県農業試験場、現千葉大学園芸学部非常勤講師） 〒267-0055 千葉市緑区越智町1701-194



開放ライシメータを用いた水田土壌溶液中の鉄、マンガン、 カルシウムおよびカリウム濃度の動態調査

佐々木長市*・小関 恭**・谷口 建*・稲垣元昭***

Investigation on the Removal of Soluble Elements of Iron, Manganese, Calcium
and Potassium in Soil Solution using an Open Lysimeter at Paddy Fields

Choichi SASAKI*·Kyo KOSEKI**·Ken TANIGUCHI* and Motoaki INAGAKI***

* Hirosaki University, 3 Bunkyo-cho Hirosaki-shi Aomori-ken 036-8561, Japan

** Miyagi Agricultural College, 2-2-1 Hatadate Taihaku-ku Sendai-shi Miyagi-ken 982-0215, Japan

*** Hokuriku-kosoku Co., Ltd., 3-4-40 Shimizu-cho Takaoka-shi Toyama-ken 933-0866, Japan

Abstract

This study aims to clarify the removal of four soluble element concentrations (iron, manganese, calcium, potassium) in the soil solution at 20 cm using an open lysimeter at paddy fields.

As a result of this study, the removal of iron and manganese elements were found to correspond to the redox potential in the plow layer. The concentration of calcium element was affected by that of iron. When the concentration of iron was high, the concentration of calcium element also became high. Potassium element concentrations were influenced by fertilization and that influence continued about 60 days after fertilization. These variations of those four element concentrations were found in the plow layer of 20 cm depth during the same stage of rice growth.

Key words : Paddy field, Soil solution, Iron, Manganese, Calcium, Potassium

1. はじめに

水田において水稲根周囲の土壌溶液の実態を解明することは、水稲栽培および施肥管理にとって重要な課題である。水田における土壌溶液の成分測定は、根域から100 cm³ サンプラを用い採取した試料土に、遠心力を作用させ脱水させた溶液を用いる方法(山崎, 1970, 岡島・今井, 1973)が実施されていた。従って、定点の継続測定が不可能であった。また、テンションカップを用い深度別に採水することなども実施されている(田淵・山藤, 1992, Jeffrey, 1994)が、根域の土壌溶液の成分調査という観点からは測定間隔が粗いと考えられる。かつ、減圧吸引により採水する場合は、その集水域が特定しがたいという問題もある。この他にもポットに稲を植えその灌水と排水の濃度差から根域の土壌溶液の成分を推定する方法(山崎, 1971)や暗渠排水からの採水を利用

した研究(石川ら, 1992)などが実施されている。しかし、いずれの研究も、土層の酸化還元環境を明らかにしつつ、土壌溶液の成分動態を定点で深度別に解明したものとはなっていない。なお、酸化還元環境の測定法も十分に確立されているとは言い難いようである。このような背景のもとに、徳永・佐々木(1990)の水田浸透の観測研究や佐々木(1992)の成層モデル土柱の浸透研究などの手法を応用、拡張した開放ライシメータを試作し、前報(佐々木ら, 1998)で報告した。また、この装置を用いた深度別の酸化還元電位の経時変化や土壌水の各生育ステージのポテンシャルを測定し、このポテンシャルに対して水柱5 cm程度の小張力で採水した場合の深度別酸素濃度等の動態を前報に報告した。この装置を用いると、集水範囲を限定し採水することが可能であることを明らかにしたが、酸化還元環境と土壌溶液の成分動態についての関係解明は未了であった。

* 弘前大学 〒036-8561 弘前市文京町3, ** 宮城県農業短期大学 〒982-0215 仙台市太白旗立2-2-1, *** 北陸航測(株) 〒933-0866 高岡市清水町3-4-40

キーワード: 水田, 土壌溶液, 鉄, マンガン, カルシウム, カリウム

本研究では、このような新しい装置および測定法で、深度別の酸化還元環境を明確にしつつ、同深度での土壌溶液の動態を明らかにすることを目的とした。土壌溶液の成分動態は、酸化還元に影響を受けやすい水溶性の鉄(Fe)、マンガン(Mn)および水稲の肥料分として重要なカルシウム(Ca)およびカリウム(K)とした。

2. 実験方法

1) 圃場の概要

調査水田は、前報(佐々木ら, 1998)と同じ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の水田(以後坪沼水田と記す, 面積16a)および仙台市太白区旗立の宮城県農業短期大学の学内水田(以後学内水田と記す, 面積1.4a)の2ヶ所である。測定位置および器材の平面配置の詳細は、前報を参照されたい。

水田土壌の理化学性(田植え前採土)は表-1に示すとおりである。交換性塩基類は1M酢酸アンモニウムにて抽出後、Ca, Mgは原子吸光度法で、K, Naは蛍光光度法で測定した。FeおよびMnは、6M熱塩酸溶液にて抽出後、原子吸光度法で測定した。学内水田は坪沼水田に比べ、CaおよびFeの含量が少ない傾向であった。学内水田は、開田後の作付け経過年数が短く(1981年開田)、養分蓄積が少ないためと考えられる。これに比べ、坪沼水田は江戸期以前から水田として利用しているといわれている。しかし、作土層直下には中・巨礫が存在し、実験装置の埋設深は学内水田の埋設深と異なった。地下水位は、灌漑期には両水田とも深さ30cm程度、落水期には、坪沼水田では70cm以下まで低下するが、学内水田は灌漑期と同じ傾向であった。一筆減水深は、両水田ともほぼ15mm/dであった。施肥および水管理は地区の標準で行った。施肥は、両水田ともに、元肥(化成肥料を使用)のみとし、窒素、リン、カリが成分量で各60-70kg/haとした。収量(品種:ササニシキ)は、4,800-6,000kg/haで地区の平均的な値である。なお、両水田とも暗渠は施工していない。

2) 実験装置および測定方法

実験には、図-1に示す開放ライシメータ装置を用いた。測定位置は畦から水田内へ約1m地点のところである。ライシメータ外周沿いに人間隙が作られ、そのため過大浸透が発生し、外周近傍の降下浸透が水田の実態浸透と異なりやすいので、徳永・佐々木(1990)の研究を参考にして、ベントナイトをスキ床層とライシメータ外周の間に充填した。Eh測定電極と採水フィルタの両者をほぼ同一深さで横並びに設置し、その測定深は、田面下5cm, 10cm, 15cm, 20cmを目安とした。センサおよびフィルタの設置時期は代かき時とした。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、浸透水の水质、地温、一筆減水深および地下水位である。測定方法および装置の詳細は、前報(佐々木ら, 1998)に記載しているので、ここでは概要のみを述べる。

圧力水頭は、水マンメータと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採水ガラス管を用い、その一端に吸引圧をかけ採取した。この時、フィルタ末端(土中)から箱内の三方活栓までの約15cm区間の水は捨て、分析にはその後新たに採水したものをを用いた。なお、土壌水と採水ガラス管内の蒸留水との混合を防止するため、採水ガラス管を満水した後、三方活栓から窒素ガス(管内5cm長さ程度)を注入した。採水時の吸引圧は、各測点の全ポテンシャル位置よりほぼ5cm以内の落差とした。採水速度は、図-1に示すエクステンションチューブ(医療用)末端位置を5cm以内で上下させコントロールした。上壤水が採水ガラス管内を満水(約3mL)後取り外し、直ちに室内に持ち帰り分析した。ただし、分析前にFe, Mn等の沈殿防止のために、土壌溶液中には6M塩酸を1滴加えた。採水時間は約3時間を目処に実施した。

土壌溶液の水质分析は、溶存酸素(DO)については、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および土壌の酸化還元電位(Eh)の測定は、pH/ORPメータ(本体:UC-23型, pH電極:502E型, ORP電極:702E型, セントラル科学社製)で行った。また、土壌溶液中の鉄(Fe)、マンガ

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

	土性 (国際法)	交換性塩基				全鉄	全マンガン
		CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O		
学内水田	LiC	2.08	0.39	0.12	0.16	74	1.05
坪沼水田	SiCL	4.54	0.35	0.21	0.15	109	1.30

単位: g/kg

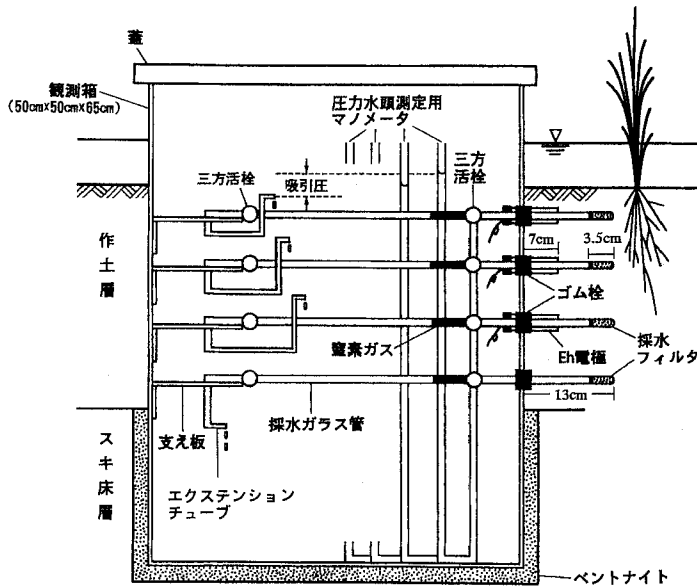


図-1 土層環境測定装置（開放ライシメータ）

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

ン (Mn)，カルシウム (Ca) については原子吸光光度法で、カリウム (K) については炎光度法でそれぞれ実施した。

水田の地温は、自記計（測定深：10 cm）および屈曲地温計（測定深：2.5 cm, 5.0 cm, 10.0 cm, 15.0 cm）を用いた。採水時には気温、水温も併せて測定した。なお、試験田の一筆減水深および地下水位の測定も実施した。降雨等の気象データは、仙台気象台の観測値を用いた。

圧力水頭、採水、Ehの調査は週1回の目安で実施した。調査期間は学内水田を1990年～1991年、坪沼水田を1992年とした。

3. 結果および考察

得られた結果は図-2～5に示した。以下にその結果について検討する。なお、学内水田の1990年の値は、1991年の値に類似していたので割愛した。

1) 圧力分布、pHおよびDO

学内水田および坪沼水田の灌漑期（中干し前と後）および落水期の測定値を図-2に示した。

① 学内水田

学内水田の圧力水頭は、各測定時のいずれも正圧を示しかつ下方ほど全ポテンシャルは低下した。日減水深は約15 mm/dであり、蒸発散量は5 mm/d程度であるから、降下浸透速度は約10 mm/dである。

降下浸透水のpHの値は、観測期間中どの深度でも

6.5前後の値となった。これに比べ、田面水の値は同観測期間中7～8の範囲となった。田面水の値が土壌溶液中の値に比べ高くなった原因は、田面水中の藻類の働きによる（田淵，1986）と考えられる。

田面水のDO値は7 mg/L以上と高く、農業用水質基準値である5 mg/Lを満たす値であった。5月の土壌溶液中のDO値は4 mg/L前後まで低下したが、7月の値に比べ高かった。この原因は、土壌中に封入された空気の影響と考えられるが、詳細は今後の課題である。7月および9月のDO値は全測定深で2 mg/L前後となった。9月のDO値は落水期の値であるが、酸素濃度の明確な上昇傾向は認められなかった。田面水に比べ、作土層中の酸素濃度が低下した原因は、微生物の酸素消費および土層内の Fe^{II} などの還元物質との反応によるものと考えられる。

② 坪沼水田

5月および7月の圧力水頭は、正圧を示しかつその分布は深さに対してほぼ45度勾配となった。層内の各測点間のポテンシャル差は学内水田に比べると小さく、ポテンシャルロスが少ない条件下の流れであると推察される。9月の落水期の圧力水頭分布は、降雨が少ないため乾燥が進み、負圧となった。

降下浸透水のpHの値は、観測期間中どの深度でも6～7の範囲の値となった。しかし、田面水の値は同観測期間中7～8の範囲となり、作土層内の浸透水の値に比

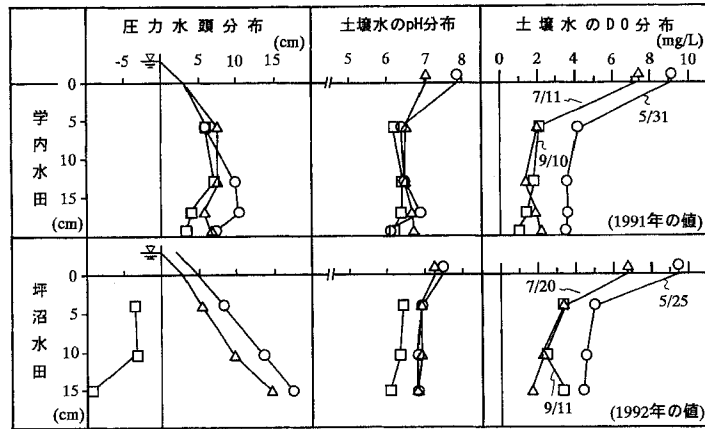


図-2 調査水田作土の圧力水頭、pHおよびDO分布

Fig. 2 Distributions of pressure head, pH and DO at two investigated paddy fields

べ高くなった。

5月の田面水のDO値は、学内水田同様5mg/L以上と高くなったが、土壌溶液中の値は4-5mg/Lとなった。7月および9月の値は、3mg/L以下に低下する傾向となった。9月の圧力水頭分布は負圧ではあるが、採水は可能であった。このDO値が上昇していない原因は、乾燥亀裂の発生などが少なく、灌漑期の環境と同じ土壌環境が維持されているためと推測された。

以上の結果は前報(佐々木ら, 1998)とはほぼ同じ傾向となり、これまでの結果が再確認されたと判断される。

2) Ehの変動

得られた結果は、図-3および4に示した。

① 学内水田

Ehの値を概観するならば、作土層においては田植え後値が低下しほぼ0mV以下となった。しかし、間断灌漑期の7月下旬には値が200mV以上に上昇し、その後花水灌漑により再び中干し前の値に近いところまで低下した。この間の値を見る限り、乾燥の影響は10cm程度まではおよぶが、19cm深までは到達しなかったと判断された。落水後の値は、降雨間隔に対応し増減する傾向となっていた。この水田は、水管理により作土層の異常還元化の防止が可能な水田と推測される。

② 坪沼水田

Ehの値は、代かき後は約200mVと弱還元状態であったが、田植え直後はさらに還元化が進んだ。その後もEhは徐々に低下し、落水期まで同じ傾向が続いた。中干し最終日(7月9日)に若干値が上昇したが、短期間で中干し前の値に戻った。しかも、酸化の影響を受けた層厚は、地表下5cm程度であった。落水期以降は降雨

も少なく、10cm程度まで400mV以上の値を示す酸化層となった。この年の秋は、降雨も少なく酸化的環境が継続していたと考えられる。なお、地表の値(約1cm深まで)は、周年400mV付近の酸化層となった。

以上の結果より、学内および坪沼水田の田植え後のEhの値は還元層であることを示し、中干し期は降雨の関係で酸化が進む場合もあるが、再湛水によりその効果は短期間となることが明らかとなった。また、落水期の値は、1992年の坪沼水田のように降雨が少ない場合は9月上旬には土層が酸化層となるが、降雨が多い場合は1991年の学内水田のように酸化層の発達を10月中旬以降となることが確認された。ただし、一旦酸化層になった場合は、落水期に還元層に戻ることはなかった。この原因は、地温の低下等による微生物活性の低下が主因と推測される。このようなEhの変動傾向は、前報(佐々木ら, 1998)の結果とも類似していた。水田の酸化還元環境は、毎年このような変動パターンで繰り返されていることが推察される。

3) Fe濃度の経時変化

Feは土層の酸化還元に対応して溶解、沈積する特性がある。水田等では集積層として断面調査時に作土層下に散見される。ここでは前節のEhの値と対比しながらその動態を検討する。

① 学内水田

田植え後から中干し期までの土層が還元的状態である期間は、4深度のいずれでもFeが土壌溶液中に検出されていた。この値は最大で50mg/Lに近い値となった(図-3参照)。しかし、落水後の土壌が酸化的環境期間になると検出量は激減し、5mg/L以下の濃度となった。

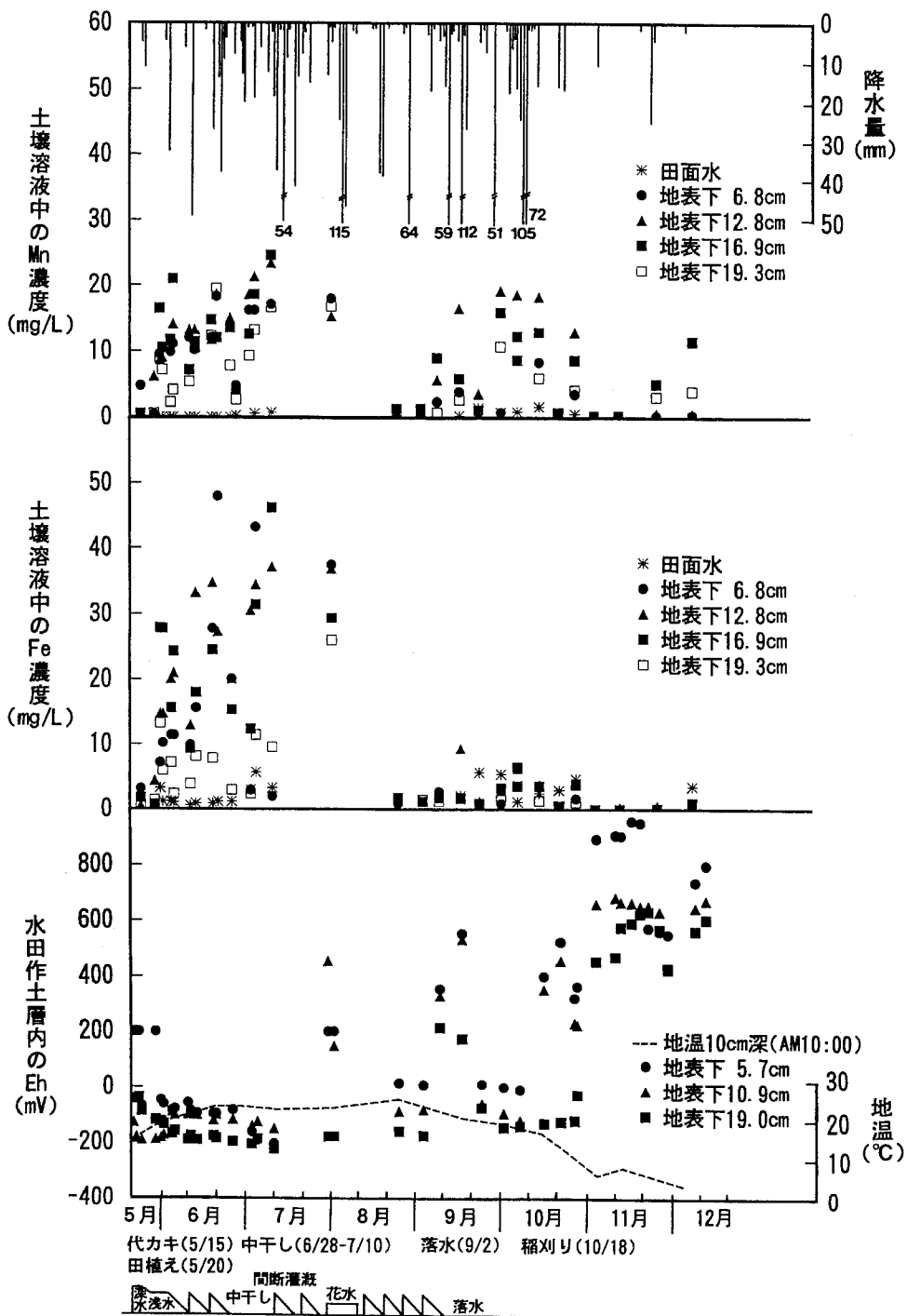


図-3 宮城県農業短期大学学内水田の Eh, 土壌溶液中の Fe, Mn 濃度および地温の変化 (1991 年)

Fig. 3 Changes of Eh values, Fe and Mn in soil solution and soil temperatures of the paddy field at Miyagi Agricultural Collage (1991)

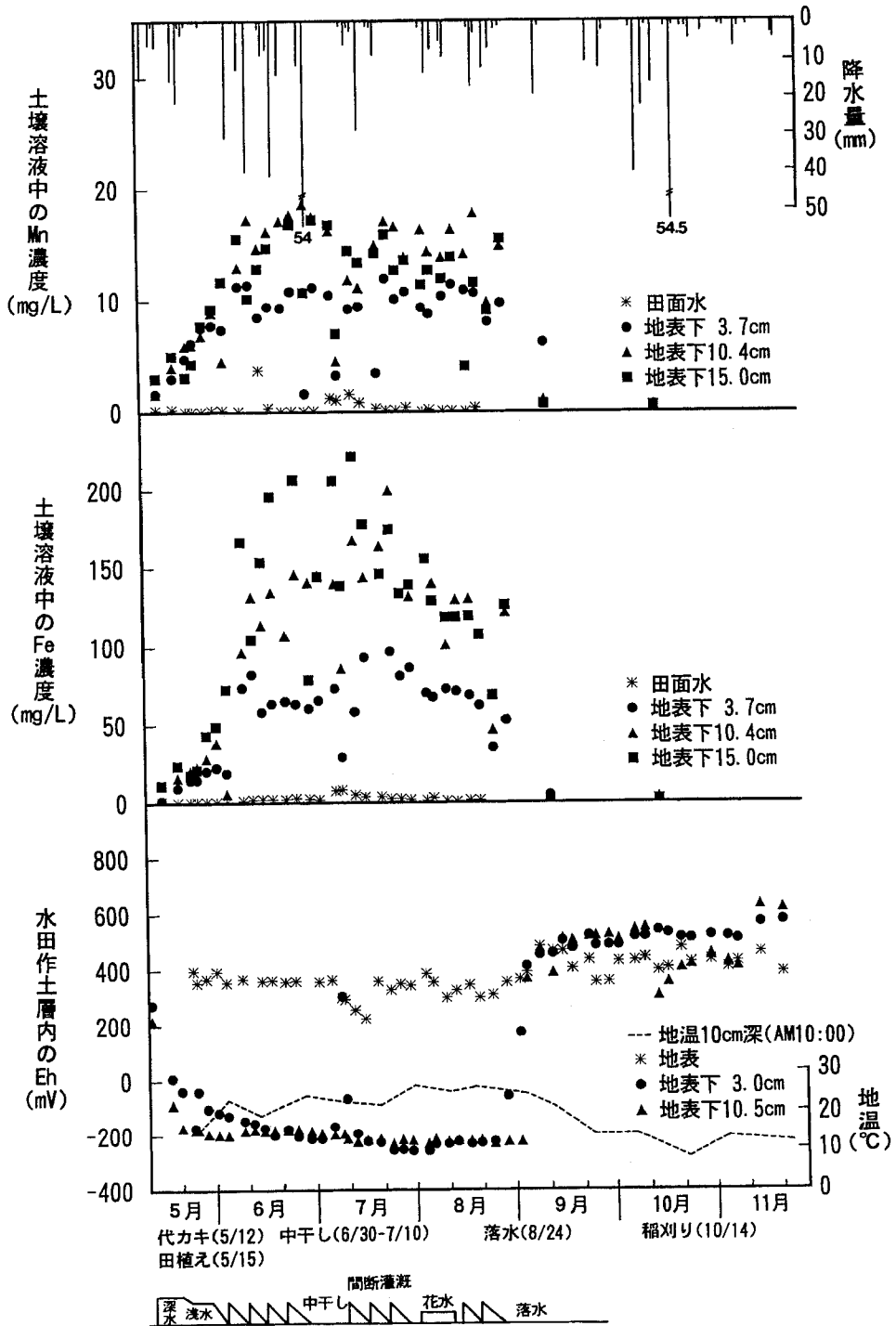


図-4 坪沼水田の Eh, 土壌溶液中の Fe, Mn 濃度および地温の変化 (1992 年)

Fig. 4 Changes of Eh values, Fe and Mn in soil solution and soil temperatures of the paddy field at Tubonuma area (1992)

田植え後の10日間の濃度は、10 mg/L以下でその後急激に濃度を増加させる傾向にあった。この原因は、土層内の微生物が絶対的好気性微生物から条件の嫌気性の微生物に遷移する間は Fe^{II} の生成が少ない(渡辺, 1971)が、この遷移が完了した後は Fe 還元化の能力が高まり、急激な濃度の上昇をもたらしたと推測される。しかしながら、土壌溶液中の濃度変動は、概ね土層の酸化還元環境に対応していると判断される。8月下旬は、土層が還元化しているにもかかわらず Fe 濃度が上昇しなかった。この原因は、土層内の Fe が一旦酸化沈積すると還元溶出に時間がかかるためと推測される。

6月から7月下旬までの値は、6.8 cm, 12.8 cm, 16.9 cm, 19.3 cmのいずれの深度でも濃度が上昇傾向で経過した。16.9 cmおよび19.3 cm深の濃度は、6.8 cmおよび12.8 cmの値に比べ相対的に低い値となった。この原因は、有機物の投入が作土の浅い部分のみとなり、微生物の基質が少なく鉄還元菌等の活動が不活発なためと考えられる。さらに、Ehの値で確認されたように中干し期の酸化層の広がりも19 cm深までは及ばず、乾土効果等も少ないことが予測される。地温の値は、今回10 cm深のみ記載したが、この深度より上部は3K以上温度が高くなる傾向であり、逆にこの深度より下の15 cm深では2Kほど低温になる傾向が認められた。この温度の違いも、微生物活性に差異をもたらす、ひいては Fe 濃度に影響をもたらしていると考えられる。ポット試験ではこのような温度設定はかなり困難を伴うであろう。それ故、ポット試験では微生物の深度別活性の相違が少なくなると推測される。この温度条件の相違は、圃場における栽培試験の Fe 濃度とポット栽培試験の Fe 濃度の乖離を生じさせる一因とも予想される。また、岡島・今井(1973)の根域から採取した水田土壌で得られた Fe 値(沖積土水田および火山灰土水田で調査)は、最大でも6 mg/L以下であり、本研究とはかなり異なる値となった。彼らは土壌の還元が発達しているも値の上昇が認められないとしている。本試験で得られた測定値に比べかなり低い濃度となった原因は、採取後の空気との接触等が原因で土壌溶液から Fe が沈殿したものと推測される。

落水期の Fe 濃度が、Eh低下時に直ちに高まらない一因としては、前述したように一度スキ床層などに集積した Fe は、移動しにくくなるのが佐々木(1994)の実験でも証明されている。さらに、11月以降は安定した高Eh環境となり、地温も低下し、土壌中の鉄還元菌の活動が押さえられ、 Fe 濃度の上昇は不可能になるものと思われる。

田面水の濃度は、周年5 mg/L以下で、この値が灌漑

水による水田への補給量となると考えられる。19 cm深の Fe 濃度で同成分が作土層から排出されるならば、供給を上回る溶脱のため、やがては Fe 欠乏土層となることも予想される。

6月~7月の6.8 cm深および12.8 cm深の Fe の値に比べ、19.3 cm深の値は小さくなる傾向であった。6月下旬頃は根群域の20 cm深のなかで濃度差が約20 mg/Lも生じた。15 mm/dの日減水深や圧力水頭分布(図-2)が示すように、作土内に降下浸透が発生していることから考え、この Fe 濃度差の発生は、スキ床層に近い作土下部からの Fe 溶脱とスキ床層への集積層を示唆するものと考えられる。本実験結果のように20 cm厚の作土層内でも、深度により濃度が異なる実態から判断するならば、同程度の厚さの土を充填したポット下部の排水の値で根域の Fe 濃度を推定することは妥当性を欠く場合が予測される。

② 坪沼水田

この水田は、田植え後から落水期までの期間還元状態で経過した。 Fe 濃度は、全深度でこの観測期間中土壌溶液中に検出された。7月9日には3.0 cm深におけるEh値の上昇が確認された。これに対応し、3.7 cm深の濃度もこの時低下傾向を示した。6月上旬までは濃度が20 mg/L程度となり、その直後に、急上昇が見られた。この傾向は、学内水田においても同様に確認された。3測定値とも、7月中頃まで Fe 濃度が上昇傾向を示した。逆に、8月上旬頃からは徐々に値が低下した。灌漑期の6月以降の値は、地表下3.7 cmで60~80 mg/L、10.4 cm深と15.0 cm深では150~200 mg/Lとなった。学内水田に比較し、最大値で2倍以上の差が生じている。坪沼水田土壌中の Fe 含有量および有機物含有量の相違が原因と考えられる。3.7 cm深の Fe 濃度がその他の測定値に比べ低かった原因は、水田の表層酸化層直下の位置であり、上方からの Fe の補給がないためあるいは鉄還元菌の活性が表層酸化層の影響を受けているために Fe の溶出量が相対的に少なくなったとも考えられる。しかし原因の詳細な説明は今後の課題である。9月の落水期以降は、Ehの値が急上昇し、土層が酸化的となり12月まで経過した。この環境に対応し、 Fe の溶存濃度は5 mg/L以下となった。

以上の結果より、 Fe 濃度は酸化還元電位に対応し、その濃度を増減させること、かつその濃度はわずか20 cmの層内でも大きく異なることが判明した。

4) Mn濃度の経時変化

Mnは Fe に比べ、高いEh値(約400 mV以下)で溶出する特性を持つと言われている。ここでは、 Fe 濃度と同様にEh値との関係でその特性を検討した。

① 学内水田

4深度の濃度はともに、田植え後から8月上旬までの還元的環境期間ではいずれも増加傾向にあった。8月下旬頃には、やや酸化のとなり濃度が低下した。更に、落水期である9月以降も6.8cm深の測定値より下方の測定値は高い濃度(10mg/L前後)を維持し、4深度の濃度が低い値を示すのは11月以降であった。濃度変化をみる限り、MnはEh値の低下に対応して容易に再溶解しやすい傾向が認められる。6月上旬までのMn濃度上昇速度は、それ以降より大きい傾向があった。これはFeより早く溶け易い条件に対応しているものと思われる。稲作期間の最大値はほぼ20mg/Lと判断される。この値もFe濃度と同様7月上旬頃に最大値を示すと推測される。4深度の中では地表下19.3cm深の濃度が上部3深度に比べわずかに値が小さい傾向が認められたが、Fe濃度ほど明確にはならなかった。田面水中のMn濃度は、ほぼ0mg/Lで、灌漑水からの供給は期待がうすいようである。本調査で得られた値は、岡島・今井(1973)の圃場での測定値の最大値(5.7mg/L)と比較し、2倍以上と高い値になった。

② 坪沼水田

この水田は、田植えから落水開始期までほぼ全期間還元状態を示した。これに対応し、Mn濃度はこの期間3測定深のいずれでも検出された。5月末から6月下旬まで、連続的にその濃度が増加する傾向にあった。その後は、3.7cm深で10mg/L前後、10.4cm深で17mg/L前後、15cm深で13mg/L前後の値となった。かつ、いずれの測定値もこの濃度で8月末の落水期まで経過する平頂型の傾向がみられた。また、中干し期のEh値が上昇した際のMn濃度は、明確に低下傾向が認められた。更に、その濃度回復も急速でEhの動きに即応的であった。落水後は、土層の酸化に対応しほとんど検出されなくなった。9月の3.7cm深の値は、土層の乾燥が不均一で酸化が遅れたため、ここからの溶出によりやや高めの値となったものと推察されるが、詳細は今後の課題である。

以上の結果より、Fe濃度同様Mn濃度でも、Ehの値に対応した土壌溶液中への溶出が確認された。その濃度の最大値は、学内および坪沼の両水田で20mg/L未満と差異が少ない結果となった。土壌中に含まれる量も近似しており、あまり大きな差は生じなかったと思われる。

5) Ca濃度の経時変化

土壌溶液中のCa濃度は、酸化還元環境に左右されないものの一つである。かつ、Caは、水溶性のFeと置換し、溶脱するという塩基再編成作用をもつことおよび

Caの溶脱はpHに影響を与えること(山根, 1982)などが知られている。また、土壌中に多量に存在しないと稲が必要量を吸収することのできない性質等もある。この濃度測定は、坪沼水田でのみ実施した。

得られた結果は図-5に示した。3深度の濃度は、いずれも田植え後から6月下旬頃まで増加傾向を示し、その後一定値で大きな変化もなく落水期まで経過した。7月以降の値は、3.7cm深で100~130mg/L、10.4cm深で150~200mg/L、15cm深で150mg/L前後となり、作土上部の濃度が一番低くなった。落水期の濃度は、20mg/L前後と灌漑期の1/5以下に低下した。この濃度の大小は、Feの深度別濃度の増減と一致する傾向にあった。さらに、中干し期に、Fe濃度が低下した時期においても、Ca濃度の低下が確認された。これらの結果より、前述した塩基再編成作用という観点から推察するならば、Feの濃度の増減に、Ca濃度が影響を受けていると考えられる。なお、Mn濃度とも増減傾向は類似したものとなった。このように20cm未満の作土層内でも深度により濃度が大きく異なることは、水稻根のおかかっている環境の複雑性を示唆しているものと思われる。本研究で得られたCa濃度も、岡島・今井のデータの最大値(99mg/L)に比べ、2倍程度高くなった。

6) K濃度の経時変化

この元素は三要素として、水稻生育に重要であり水稻に良く吸収される一方、洗脱されやすい成分でもある。Caに比べ電荷も小さく、粘土等による保持能力も小さい(和田・久馬ら, 1991)ことが知られている。Caと異なり、毎年施肥される成分である。

得られた結果を通覧するならば、田植え後から7月上旬までは、4mg/L前後であるが、7月中旬からは2~3mg/Lとなり、低下傾向が認められた。これは、施肥した化学肥料の溶解速度、水稻による吸収、約10mm/dの降下浸透流による溶脱、灌漑水による供給などが複雑に絡み合って、結果的にこのような動きになったものと推定される。いずれにしても、大局的にみれば土壌溶液中の濃度は次第に減少傾向を示した。水稻によるKの吸収ピークは、分けつ期(6月~7月上旬)であること(高橋・村山, 1953)を考えるならば、濃度減少が7月以降となったことはこれまでの研究成果と符合していると思われる。灌漑水中の濃度は、周年2mg/L程度であった。従って、灌水初期の田面水の濃度が高い原因は、元肥成分が田面水へ溶けだしているためとも考えられる。深度別濃度は、地表面に近い所ほど高くなる傾向であった。しかし、7月中旬以降は、ほぼ3深度の濃度が同じ値となった。このことは、施肥の効果がこの時期に切れることを意味しているものと推測される。従って、Kの追

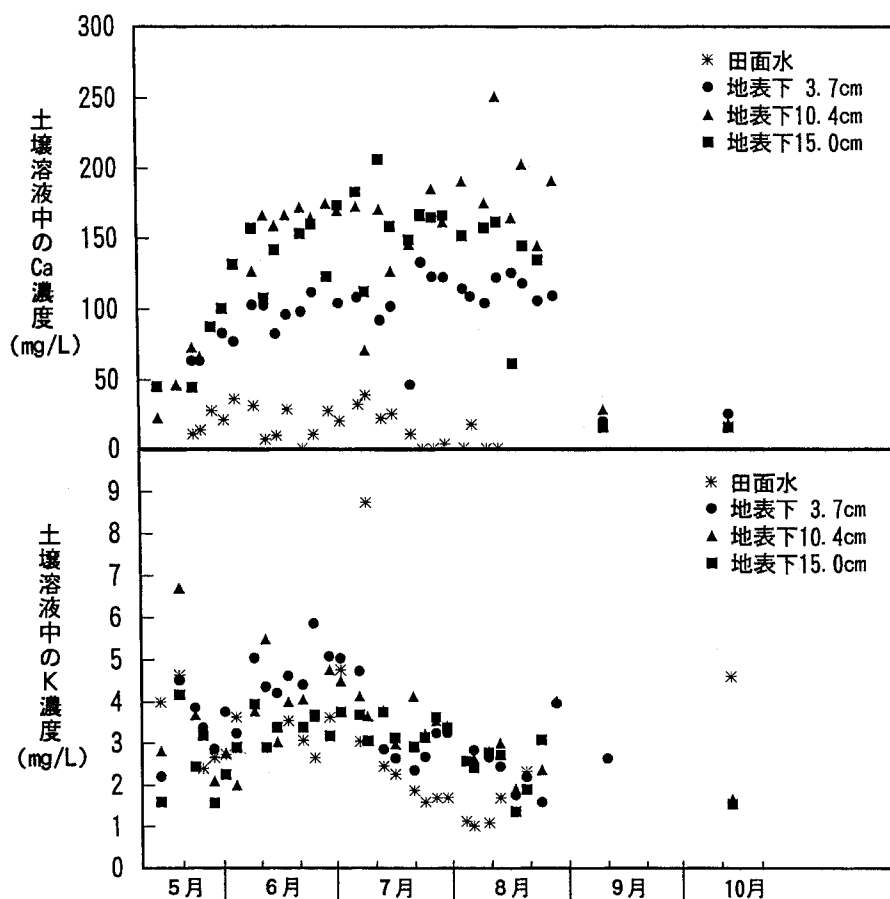


図-5 坪沼水田の土壌溶液中の Ca および K 濃度の変動 (1992 年)

Fig. 5 Changes of Ca and K in soil solution of the paddy field at Tubonuma area (1992)

肥が、この時期となっていることの妥当性を示唆されたとも考えられる。また、K は Ca と同様の Fe との塩基再編成作用による濃度上昇は明確にはならなかった。K 濃度は、岡島・今井の火山灰水田で得られた値とほぼ同じ濃度での変化となった。しかし、沖積土水田の値は、変化の傾向は同じであるが、最大値が 8.6 mg/L と本研究で得られた値より大きめであった。このことより、酸化還元あるいは Fe の濃度の増減による影響の少ない成分については、本採取法で得られた値と現地採土からの土壌溶液の濃度とは、近似する可能性が推測される。

4. ま と め

本研究では、開放ライシメータを用い、圃場レベルで作土溶液中の成分動態 (Fe, Mn, Ca, K) の究明を行った。

その結果、Fe および Mn のいずれも酸化還元電位に

対応し、作土中でその濃度を増減させることが明らかとなった。Ca の濃度は、Fe 濃度と対応し増減する特性が認められた。K 濃度は、施肥量とその濃度に影響し、かつその効果は、流速 10 mm/d 程度の降下浸透があった調査水田では、施肥後 60 日程度となることが確認された。さらに、これらの各元素の濃度がわずか 20 cm 厚という作土層内で、かなりの濃度差をもつことも明らかとなった。

今回の調査結果は、開放ライシメータの利用が、現場においてより実態に近い土壌成分動態の調査に有用であることを示唆しているものと思われる。

引 用 文 献

石川雅也・田淵俊雄・山路永司・中島淳 (1992)：暗渠浸透による水田の水質浄化試験，農土論集，159：81～89.

- Jeffery D.W. (1994): Soil solution chemistry, John Wiley & Sons, New York, p. 121~143.
- 岡島秀夫・今井弘樹 (1973): 土壌の養分吸収能に関する研究 (第2報), 土肥誌, 44: 296~300
- 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.
- 佐々木長市 (1994): 成層砂礫水田の浸透型が物質の移動集積に及ぼす影響, 農土論集, 172: 9~16.
- 佐々木長市, 小関 恭, 富田道久, 小黒仁司, 谷口 建 (1998): 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, 土壌の物理性, 80: 33~40.
- 高橋治助・村山登 (1953): 水稻の生育に伴う養分の吸収状況 (2), 農業技術, 8 (3), 17~20.
- 田淵俊雄 (1986): 水質入門, p. 21~22, 農業土木学会, 東京.
- 田淵俊雄・山藤郁夫 (1992): シロカキが水田浸透量と浸透水質に及ぼす影響, 土壌の物理性, 66, 47~54.
- 徳永光一・佐々木長市 (1990): 火山灰地における水田地盤の開放降下浸透流の観測例, 農土誌, 58: 1193~11984.
- 和田光史・久馬一剛ら (1991): 新土壌学, p. 73~81, 朝倉書店, 東京.
- 渡辺 巖 (1971): 農業と土壌微生物, p. 167~187, 農文協, 東京.
- 山崎慎一 (1970): 土壌溶液の採取法およびその化学的組成, 土肥誌, 41: 424~432.
- 山崎不二夫 (1971): 農地工学 (上), p. 69~75, 東京大学出版会, 東京.
- 山根一郎 (山根一郎編) (1982): 水田土壌学, p. 25~30, 農文協, 東京.

受稿年月日: 1999年9月22日

受理年月日: 2000年4月20日

黒ボク土水田の浸透型が水稻栽培条件下の 物質動態に及ぼす影響

佐々木長市*・稲垣元昭**・松山信彦*・江成敬次郎***・小関 恭****

The Influence of Percolation Patterns on the Removal of Soluble Elements in Stratified Paddy Fields of Kuroboku Soil, with Rice.

Choichi SASAKI*・Motoaki INAGAKI**・Nobuhiko MATUYAMA*・Keijirou ENARI*** and Kyo KOSEKI****

* Hirosaki University, 3 Bunkyo-cho Hirosaki-shi Aomori-ken 036-8561, Japan

** Hokuriku-kousoku Co., Ltd., 3-4-40 Shimizu-cho Takaoka-shi Toyama-ken 933-0866, Japan

*** Tohoku Institute of Technology, 35-1 Yagiyama Kasumi-cho Taihaku-ku Sendai-shi Miyagi-ken 982-8577, Japan

**** Miyagi Agricultural College, 2-2-1 Hatadate Taihaku-ku Sendai-shi Miyagi-ken 982-0215, Japan

Abstract

Models of stratified paddy fields of Kuroboku soil were used and composed of 3 layers. These models were planted with rice and were fertilized. The models were used to investigate the relationship between the removal of soil solution element in percolation water and percolation patterns.

Concentrations of nitrate, dissolved oxygen and redox potential in the open system percolation (subsoil) increased more than those in the closed one (plow layer and plowsole). Also, electric conductivity and the concentration of iron element and manganese element tended to invert. Potassium element provided from the conventional fertilizer increased. Potassium concentrations in both plow layer and plowsole was more than that of subsoil during the 50 days from the beginning of this test. After 50 days, the concentration of soil solution in all layers became similar.

Concentrations of total nitrogen in the drainage of this model were higher than that of inundation during the first 50 days from the beginning of the test. Concentrations of total phosphorus had a similar tendency. But that tendency only continued for about 30 days. After 50 days, concentrations of total nitrogen in inundation became higher than those of drainage. After 30 days, concentrations of total phosphorus in inundation became higher than those of drainage.

Key words : Kuroboku soil, paddy field, percolation patterns, removal of soluble elements, electric conductivity

* 弘前大学 〒036-8561 弘前市文京町3, ** 北陸航測(株) 〒933-0866 高岡市清水町3-4-40, *** 東北工業大学 〒982-8577 仙台市太白区八木山香澄町35-1, **** 宮城県農業短期大学 〒982-0215 仙台市太白旗立2-2-1
キーワード: 黒ボク土, 水田, 浸透型, 物質動態, EC

1. はじめに

水稲根周囲の土壌溶液中の成分動態解明は、水稲の生育・収量および肥培管理にとって重要事項の一つである。これまでの土壌溶液の動態研究は、ワグネルポットに稲を植えた条件の試験が主（例えば石川ら, 1992; 山崎, 1971）で、土層も作土層のみを持つ条件が中心となっていた。このようなポットからの排水の経時的濃度変化を調査し、根域の土壌溶液中の成分環境を推測していた。それゆえ、根の周囲における深度別の土壌溶液濃度の動態解明等は未了であった。また、これらの変動を酸化還元環境の詳細な変動と対比させての検討も少ないようである。現実の圃場における水稲根は約50cm深まで伸びることが報告され（佐藤, 1991）、この深さまでの水稲根の土壌溶液環境を推定する研究は少ないと思われる。このような状況の中で、松浦ら（1977a, 1977b）は作土（18cm厚）と下層土（60cm厚）からなる円筒に稲を栽培し、水田下層土の役割を調査している。その結果、下層土は鉄、マンガン等の養分吸収に役立つことを述べている。また、この研究では、大まかではあるが酸化還元電位（作土で1箇所と下層土で2箇所）と円筒下端からの排水中の無機成分動態を測定している。根域が現実の水田に近くなり、かつ浸透のある条件で実験していることは、ポット試験と圃場試験の橋渡しの研究として位置づけられるであろう。しかしながら、根域の深度別土壌溶液中の成分変動は測定していない。かつ、土層を2層構成（作土層、心土層）とし、長年営農した場合の水田の成層構成である3層構成（作土層、スキ床層、心土層）とはなっていない。さらに、浸透型という概念も見あたらない。本研究では、水稲栽培条件下で、3層構成の水田モデルを作製し、作土層から心土層までの浸透型を明確にしつつ、根域での土壌溶液中の物質動態を深度別に解明することを目的とした。浸透型は、作土、スキ床層は閉鎖浸透とし、心土層の浸透型のみを閉鎖浸透となるモデルと開放浸透となるモデルの2種類を作製した。従って、浸透型の相違による土壌溶液中の成分比較は心土層のみとなる。また、現実の栽培条件に近づけるため施肥も行った。

なお、本報告は、1995年～1997年の3カ年にわたり実施した結果を取りまとめたものである。

2. 実験方法

1) 実験計画および供試試料

成層黒ボク土水田モデルは、表-1に示すような条件で4本作製した。浸透強度は、15～25mm/dを目標とした。浸透型は、実験①では第I層（作土層）および第II

表-1 土層構成と浸透型

Table 1 The soil layer composition and the percolation pattern

実験名	土柱浸透実験	
	①	②
成層状態	10～20 mm/d*	
第I層・作土 (代かき)	閉鎖浸透・黒ボク土	
第II層・スキ床 (突固め)	閉鎖浸透・黒ボク土 透水制限層	
第III層・心土 (突固め)	開放浸透 閉鎖浸透 黒ボク土	
第IV層・支持層 (突固め)	閉鎖浸透・砂	

実験①, ②は異なる土柱を使用した。

* は実測の日減水深の範囲を示す。

層（スキ床層）は閉鎖浸透で、第III層（心土層）は地下水水位が低く開放浸透となる水田（乾田）とした。実験②では、地下水水位が高く全層（第I～III層）が閉鎖浸透となる水田（湿田）を計画した。浸透型のコントロールは、第II層の透水性を最小とし、地下水位の上下により行った。

試料は、弘前大学附属千年農場の黒ボク土を全層に用いた。ただし、実験時には第III層の支持のため砂層を第IV層として作製した。土性は砂質壤土である。

供試試料の基本的理化学性は表-2に示した。ただし、全鉄、全マンガンは、6mol/L熱塩酸溶出法（船引・青峰, 1953）で、交換性塩基は、1mol/L酢酸アンモニウムで抽出後原子吸光度法（土壌養分測定法委員会編, 1970）で測定した。全窒素は、ケルダール法、全リンはモリブデン比色法を用い、有機物含有量は、重クロム酸法（土質工学会, 1982）で定量した。

2) 実験装置および作製方法

成層水田の模型は、内径30cm、長さ75cm、肉厚1cmの円筒（ポリ塩化ビニル製）内に作製した。模型は4層構成とし、第I層を12.5cm、第II層を10cm、第III層を35cm、第IV層を10cmの厚さを目安とした。第I層の作製は、代かき状にした土（乾燥密度: 0.50 Mgm⁻³）を、突固め作製した第II層（透水制限層, 乾燥密度: 0.75 Mgm⁻³）の上に載せて行った。第III層は黒ボク土を円筒内に5cm厚ずつ突固め、35cm区間が一定密度（乾燥密度: 0.5～0.6 Mgm⁻³）となるように作製した。第IV層は、砂を用い突固め（乾燥密度1.44 Mgm⁻³）作製した。

水稲の栽培品種は、つがるおとめとし、円筒中心部に2株（各1本、中苗）植えとした。田植えは、毎年5月下

表-2 供試試料の理化学性

Table 2 Physical and chemical properties of soil

測定項目 試料	密度 (Mg/m ³)	土性	全鉄 *	全マンガン *	K ₂ O *	Na ₂ O *	T-N *	T-P *	全炭素 *
黒ボク土	2.59	SCL	57	0.92	0.16	0.08	4.4	6.0	5.8

土性は国際土壌学会区分による。*はg/kgを示す。

旬、稲刈りは10月中旬頃実施した。中干しは3カ年とも実施しなかった。肥料は、各円筒当たり成分量で1g(窒素は40.0被覆尿素LP100号を、リン酸は過燐酸石灰を、カリは硫酸カリを使用)ずつ、更に珪カル20gを施用した。窒素肥料(緩効性)は根の直下に、他の肥料(速効性)は全層施肥とした。追肥は実施しなかった。

実験装置は、ビニルハウス内にセットし、灌漑水は大学構内の地下水を用いた。

圧力水頭測定装置は、前報(佐々木ら, 1998)と同じく円筒側壁にガラスフィルタ(長さ3.5cm, 径7mm)を設置し、これにガラス管を接続して作製した。採水装置は、圧力水頭測定用と同じ寸法のガラスフィルタと厚肉採水ガラス管(長さ70cm, 内径3mm, 外径9mm)を用いた。各層の酸化還元電位測定用の電極は、円筒側壁にほぼ水平に取り付け、この電極と対称位置の円筒側壁に孔(径10mm)を設けて、円筒内への通気孔とした。なお、この通気孔は負圧浸透時には大気に開放し、正圧時には閉じることとした。

3) 測定項目および方法

測定項目は、圧力水頭、酸化還元電位および浸透水の水質である。これらの測定は根域の浸透型と水質を調査するため深度別に実施した。採水は、採水側のフィルタに吸引圧を作用させて実施した。詳細については既報(佐々木, 1992)を参照されたい。降下浸透水の成分濃度は、鉄(Fe)およびマンガン(Mn)は原子吸光光度法、カリウム(K)、ナトリウム(Na)は炎光光度法で行った。これらの分析には日立偏光ゼーマン原子吸光光度計(日立製作所, Z8200型)を用いた。窒素(全窒素, 硝酸態, 亜硝酸態, アンモニア態)およびリン(全リンおよびリン酸)はN・P自動分析装置(ブランルーベ社, AACS2型)を使用した。酸化還元電位(Eh)の測定には、ORP電極と携帯用デジタルEh測定器(セントラル科学社, 本体: UC-23型, 電極: UC-702E型)を用いた。測定は、電極内部液と土壌との液絡開始後約15分経過後に実施した。電気伝導度(EC)の測定には、導電率メータ(堀場製作所, ES-14型)を用いた。各深度の降下浸透水中の溶存酸素量(DO)の値は、隔膜式白金センサ

によるDOメータ(セントラル科学社, 本体: UC-12型, 電極: UC-203型)を用い測定した。

浸透型の判別指標である限界負圧は、大型円筒を用いた測定法(佐々木, 1992)で測定した。開放浸透を計画した第Ⅲ層の限界負圧はほぼ5cmとなった。浸透強度の測定はメスシリンダを用い、水温・地温の測定は日記計を使用した。

測定は、圧力水頭、採水、酸化還元電位および稲の生育調査を週1回の目安で実施した。

3. 結果および考察

得られた結果を図-1~図-5に示した。濃度変動等の比較検討がしやすいように、実験初期と実験終了間近の値を示した。

1) 圧力水頭分布と浸透型

実験①の圧力水頭分布は、第Ⅰ層では正圧でかつ深さに対して近似的に45度勾配を持っていた(図-1参照)。第Ⅱ層上部は正圧、下部は負圧となり、ポテンシャルロスが発生していた。第Ⅲ層の圧力水頭は負圧の-10cm前後で、同層の限界負圧-5cmより低い圧となった。ゆえに、第Ⅲ層は開放浸透層と判断される。実験②では、排水位を地表下約25cmまで上昇させ全層正圧とした。したがって、全層閉鎖浸透と判断される。

この結果より、実験①と実験②の浸透型の違いは第Ⅲ層でのみとなった。

2) 酸化還元電位(Eh)、溶存酸素(DO)および電気伝導度(EC)

① Eh

実験①の値は、第Ⅰ層では-100mV以下の値となり、強還元層と判断された。第Ⅱ層の値は、ほぼ0mV以下となった。しかし、開放浸透である第Ⅲ層では、500mV以上の値を示し酸化層となっていた。実験②では、第Ⅲ層も還元層となり、全層還元状態となった。実験②の第Ⅲ層の値は上層の値に比べ若干高かった。この原因は、水稲根等の侵入量が下層は少なかったため、根からの分泌物や根の腐朽による微生物の基質となる有機物供給量が少ないことが原因の一つと考えられる。

以上の結果より、第Ⅲ層は、開放浸透層の場合は酸化層、閉鎖浸透層の場合は還元層となったと判断される。松浦ら(1977b)は、乾田の下層土が還元層となったことが従来の説に反するとしてその理由を詳細に検討している。しかし、彼らの実験は排水位の低いことのみが乾田の条件を満たしているに過ぎず、大気疎通条件を持つ乾田とはなっていない。従って、下層土は閉鎖浸透であり経時的に酸素不足条件となり、還元層が発生したのは当然と考えられる。ゆえに、浸透型の明確化は土層の酸化還元環境を考える場合は重要な要因の一つと思われる。また、水稻根は、酸化層で活性が高まることや養分吸収が旺盛になること(山崎, 1971)から判断し、水稻の生育収量が何らかの影響を受けるものと推測される。

② DO

実験①と②の田面水の DO 値は飽和に近くなっていたが、第Ⅰ層上部で約 4mg/L と低下し、同じ値で第Ⅱ層下部まで至った。DO 値の低下は浸透水中における微生物の酸素消費および還元物の酸化に用いられた結果(渡辺, 1971)と考えられる。しかし、これらの酸素消費にもかかわらず実験①の第Ⅲ層では値が急上昇し 6mg/L 以上の値となった。実験②では、第Ⅲ層が閉鎖浸透になったため、開放浸透層に比べ低い DO 値となった。水耕栽培時における根の養分吸収は、酸素が十分にある場合に旺盛であること(山崎, 1971)などが知られている。したがって、この土層の条件は、根の養分吸収環境にとっては好ましいと推測される。

③ EC

実験①の値は、第Ⅰ層から第Ⅲ層まで 5~20 mSm⁻¹ の範囲となった。実験終了時の第Ⅲ層の値は、上層(10

mSm⁻¹ 台)に比べ若干低下する傾向(10 mSm⁻¹ 以下)であった。この原因は、降下浸透水が酸化層を通過する場合に鉄等の溶解成分を減少させること、易移動性のイオン等の濃度低下が原因と推測される。実験②の値は、第Ⅰ層では実験①と同様の値であった。しかし、第Ⅱ層下部および第Ⅲ層の値は、上層に比べ増加し 20~30 mSm⁻¹ の値となった。この原因は、還元層のため上層からの降下浸透水中の鉄およびマンガンの沈殿等が少なかったことならびに第Ⅲ層の還元化に伴う水溶性の成分の溶出によると推測される。

実験②の降下浸透水のように、作土層に比べその値を上昇させつつ排水路および河川等へ流出するならば、水域の水質悪化の原因となる可能性が予測される。水田の環境への負荷を少なくすると言う意味からも、地下水位が低く、第Ⅲ層が酸化層になる水田(乾田)は好ましいと推察される。

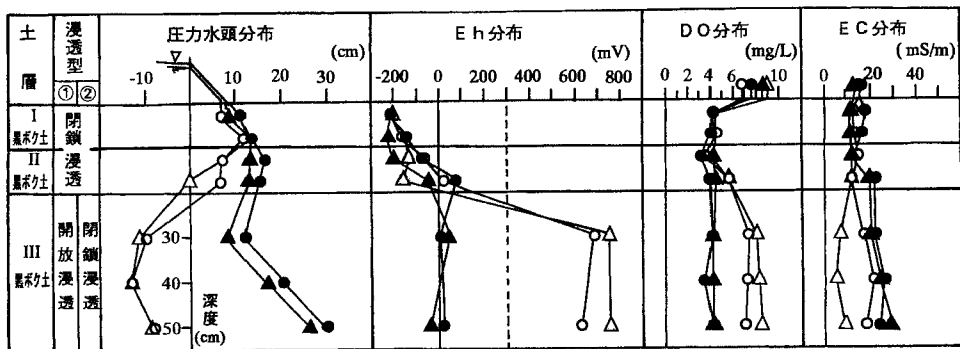
3) 降下浸透水の各種成分濃度

① Fe, Mn 濃度

Fe および Mn は土壤の酸化還元状態に対応しその溶解性を変えることは広く知られている。更に、その特性を利用して水田の土壌型の分類等に用いられている(山崎, 1971)。

i) Fe

実験①, ②の Fe 濃度(図-2 参照)は、実験初期にはその濃度が全層において 3mg/L 以下で両実験の差異はあまり明確ではなかった。しかし、実験終了時には実験②の第Ⅲ層で鉄が検出(20mg/L 前後)され、実験①ではほとんど検出されないという傾向が明確となった。実験①の実験終了時の第Ⅱ層の値は、実験②ほど上昇し



○, △: 実験①の結果 ●, ▲: 実験②の結果
○, ●: 観測日数約60日目 △, ▲: 観測日数約110日目

図-1 黒ボク土水田の圧力水頭, Eh, DO 及び EC 分布

Fig. 1 Distribution of hydraulic head profile in downward water, Eh, DO and EC in stratified kuroboku soil paddy fields

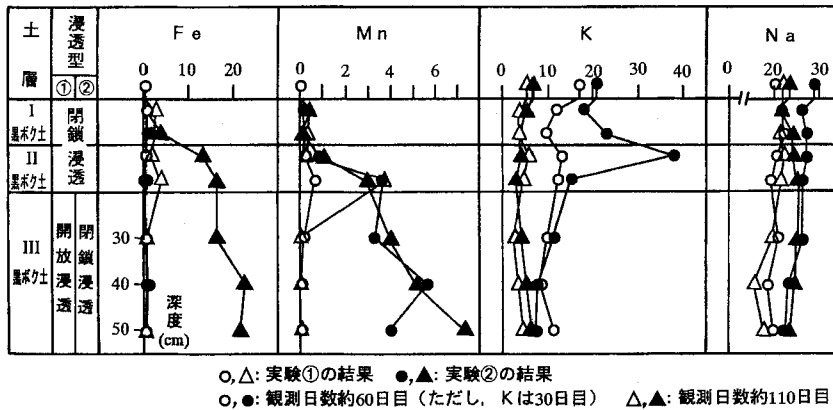


図-2 降下浸透水中の Fe, Mn, K, 及び Na 濃度 (mg/L)

Fig. 2 Concentrations of Fe, Mn, K and Na elements in downward water in the model columns of kuroboku soil paddy fields (mg/L)

なかった。この原因は、第Ⅲ層から上方への酸素供給の影響等によると推測されるが、詳細は今後の課題である。また、実験②では、第Ⅱ・Ⅲ層の下方の部位ほど濃度が上昇する傾向となった。

この結果は、実験①では第Ⅱ層下部とⅢ層上部の境界部で Fe が沈殿集積する現象が発生していることを示唆している。心土層の濃度の違いは、浸透型によりもたらされ、水稲根の周囲に鉄 (Fe^{II}) がある場合とない場合ではその生育・収量へ影響を及ぼす可能性が考えられる。因みに、実験終了後に円筒を解体し断面を観察した結果、開放浸透層に伸張した根の色は白く生き生きしている感じであった。これに対し、閉鎖浸透層に伸張した根の色は赤褐色となっていた。赤褐色根は一般の圃場でよく観察され、根が放出した酸素と浸透水中の鉄の反応が水稲根表面で発生したためと推測されている。しかしながら、開放浸透層では、根周辺の土壤溶液中に鉄がほとんど存在しないため、鉄錆色の鏝ができず白色根となったと推察される。

ii) Mn

実験①の Mn 濃度は、第Ⅰ層で 1 mg/L 以下、第Ⅱ層で 0.5~4 mg/L の値で検出された。かつその濃度もこれらの層の下層ほど大きくなる傾向であった。しかし、酸化層である第Ⅲ層では Mn はほとんど検出されなかった。全層閉鎖浸透で還元層となっていた実験②では、第Ⅰ・Ⅱ層の濃度は実験①と同様であったが、第Ⅲ層では Mn の濃度が 3~7 mg/L となり、第Ⅰ・Ⅱ層に比べ濃度の増大が明確に認められた。

以上の結果より、作土層から心土層までの水稲根域の Fe および Mn の降下浸透水中の濃度実態、およびこれ

らの成分が酸化還元に対応し移動集積する特性が判明した。

② K および Na 濃度

肥料の三要素の一つである K とこの元素と価数が同じ Na は、土壤コロイドによる保持力も類似している (川口ら, 1974)。それゆえその動態も類似していると推測された。

i) K

速効性の肥料として用いた K 濃度の動態を明確にするため、図-2 には実験開始 30 日目の値を記載した。実験初期の K 濃度は、実験②の第Ⅰ層が 20 mg/L 前後、第Ⅱ層が 15~40 mg/L となった。第Ⅲ層 (心土層) では、10 mg/L 前後と上層に比べ濃度が低下した。第Ⅰ・Ⅱ層が第Ⅲ層に比べ濃度が高まる傾向は、約 50 日間にわたり確認された。実験①の初期の第Ⅰ・Ⅱ層の濃度は 10~15 mg/L、第Ⅲ層ではやや低下し 10 mg/L 前後であった。実験初期の実験①と実験②の第Ⅰ・Ⅱ層における濃度の相違は、顆粒施肥のために分布が不均一になり、採水部に拡散が不十分なためとも考えられるが、詳細な検討は今後の課題である。また、両実験とも実験開始 50 日目頃からは、110 日目の値 (第Ⅰ~Ⅲ層まで 5 mg/L 前後) とほぼ同じとなった。作土・スキ床層で K 濃度が高いと言うことは、水稲根に有効に利用される可能性が高いことを示唆しているものと思われる。

松浦ら (1977b) の円筒下端からの排水の濃度と比較するならば、実験①および②の第Ⅲ層下部の値は、彼らの報告した値の約 2 倍となった。また、実験開始 50 日目からは第Ⅰ~Ⅲ層までの値がほぼ同じ値となり、かつ以後変化がほとんどないという結果は、追肥の時期が稲

作開始後 50 日目頃が妥当とする稲作指針を裏付ける結果と推察される。なお、初期には両実験とも田面水中の濃度が灌漑水の濃度(約 10 mg/L)に比べ高くなる傾向が認められた。この原因は、作土層から田面水への K 肥料の溶出によるものと推測される。

ii) Na

得られた結果を通覧するならば、実験①および②の値は、ほぼ田面水から排水部まで同じ値かやや第Ⅲ層で低下する傾向となった。なお、詳細に値を見るならば、初期の実験①の値は、第Ⅰ～Ⅲ層まで 20 mg/L 前後となったが、実験②の第Ⅰ～Ⅲ層の値は 25 mg/L 前後となった。本実験における供試水の Na 濃度は、20 mg/L 前後であった。それゆえ、土壌への供給は主に灌漑水からのみであると考えられる。しかし、実験①に比べ実験②の第Ⅲ層の値が高い傾向であった。

筆者らは、既報(佐々木ら, 1998)で Fe 濃度が高まればこれに対応して K および Na 濃度が高まることを報告した。今回の第Ⅲ層について Fe との関係でその濃度を検討してみるならば、Na については同じような関係が認められるようである。ただし、今回は K については傾向が明確には認められなかったといえよう。

③ 窒素, リン濃度

肥料の三要素であり、かつ水域の富栄養化をもたらす原因物質の一つである窒素, リン濃度について以下に検討する。

i) 窒素濃度

窒素濃度は、全窒素(T-N)、硝酸態窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)、亜硝酸態窒素($\text{NO}_2\text{-N}$)、アンモニア態窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)について測定した。実験①および②の結果(実験開始後約 30 日目と 110 日目の値)の一例を図-3 に示した。測定値を概観するならば、いずれの形態の窒素濃度も、30 日目の値に比べ 110 日目の値は低下傾向が認められた。むしろ、110 日目の値は両実験間で測定値に明確な差異は認めがたい。施肥および乾土効果により窒素濃度が高い傾向は、初期に明確であり、後期になるにしたがいその効果が低下したためと推測される。そこで閉鎖・開放浸透という浸透型を明確にしつつ、これらの成分動態を検討した。ただし、T-N の値(図-4 参照)は田面水および排水のみとした。

a) $\text{NH}_4\text{-N}$

実験①では、実験初期と終了時の第Ⅰ・Ⅱ層の濃度はほぼ同じ値(0.1 mg/L 前後)であった。実験初期の第Ⅲ層の値は、上層に比べ急上昇(1~2 mg/L)を示した。この原因は、同層が酸化層で乾土効果が実験②に比べ大きいことなどが考えられる。第Ⅲ層の濃度が第Ⅰ・Ⅱ層に比べ高まる傾向は、約 40 日間にわたり観測された。

その後は第Ⅰ・Ⅱ層と同じ値となった。実験②の第Ⅰ・Ⅱ層では、初期に比べ実験終了時に濃度が低下する傾向が認められた。しかし、第Ⅲ層ではこの傾向が明瞭とはならなかった。また、実験②の第Ⅰ～Ⅲ層の濃度が実験①の同層に比べ高い傾向となった(ただし、実験①の初期の第Ⅲ層の値を除く)。この原因は、実験①に比べれば少ない量であるが乾土効果があり、この時に生じた $\text{NH}_4\text{-N}$ が還元的环境において安定で、かつこの溶出が緩やかに進み実験①の値に比べ実験終了時には高い濃度となったと考えられる。これに対し、実験①の第Ⅲ層は、酸化層が継続し、アンモニア態窒素が酸化層で安定な硝酸態窒素等へ変わっていったと考えられる。それゆえ、実験①の第Ⅲ層の値が実験終了時には実験②の第Ⅲ層の値より低い濃度となったものと推測される。なお、実験②の第Ⅲ層の値も実験開始後約 20 日間は濃度が高まる傾向が認められた。この一因は、排水位を上昇させ第Ⅲ層を飽和させたため、封入空気除去が不十分で第Ⅰ・Ⅱ層に比べ酸化的であり乾土効果が発生したためと推測される。また、実験初期には、田面水の値が 0.5~1.6 mg/L と高く、灌漑水の値(約 0.2 mg/L)より高い傾向であった。この原因は、土壌および肥料からの田面水への溶出によるものと推察される。

b) $\text{NO}_3\text{-N}$

硝酸態窒素濃度は、実験①および②の第Ⅰ・Ⅱ層では全観測期間 0.1 mg/L 未満の値であった。しかし、実験初期の実験①の第Ⅲ層(酸化層)ではこれに比べ 10 倍ほどの値(0.8~1.7 mg/L)を示した。更に下部ほど濃度が上昇する傾向が認められた。アンモニア態窒素の一部および乾土効果により生じた窒素が硝酸態に変化したものと推測される。しかし、この値も 50 日目頃でほぼ 110 日目の値に近似したものとなった。実験②の第Ⅲ層は、実験初期の方が終了時に比べ濃度が高い傾向となった。この原因は、易移動性の成分の流出によるものと考えられる。

水田の下層が酸化層であるかあるいは還元層であるかの相違(浸透型の相違が規定)は、降下浸透水中の硝酸態窒素濃度の増減に影響を及ぼすと判断される。さらに、下層の環境は地下水や排水路の硝酸態窒素濃度を考える上で重要な要因となると思われる。

c) $\text{NO}_2\text{-N}$

実験①の初期の濃度は、第Ⅰ層から第Ⅲ層まで 0.015 mg/L 前後となった。第Ⅲ層における濃度の上昇傾向は認められなかった。実験終了時の実験①の第Ⅰ～Ⅲ層の値は、0.01 mg/L 以下の値となり、実験初期に比べ濃度が低下傾向となった。実験②の観測初期の値は、第Ⅰ層から第Ⅱ層まで実験①とほぼ同じ値となった。実験

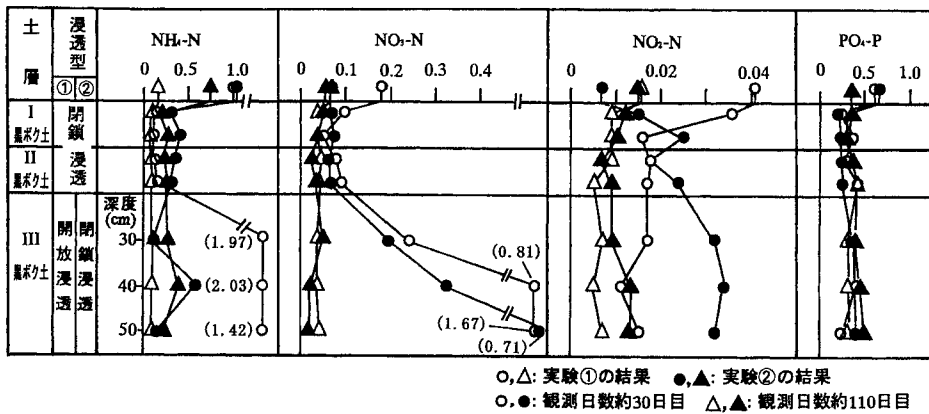


図-3 降下浸透水の窒素及びリン酸濃度 (mg/L)

Fig. 3 Concentrations of nitrogen and phosphate ions in downward water in these model columns (mg/L)

②の第Ⅲ層の値が実験①より高くなった原因は、実験②の土層が初期には酸化的であったことが亜硝酸態窒素への変化を促したためと考えられる。なお、亜硝酸態窒素濃度は、硝酸態窒素濃度に比較するならば1/10程度であった。この原因のひとつは、伊藤(1993)が述べているように「アンモニア態窒素から亜硝酸態窒素そして硝酸態窒素への反応は速やかでほとんど亜硝酸態窒素の検出がなされない」ことや脱窒現象によると推察される。

d) T-N

実験①、②の田面水中の濃度は、実験開始から終了まで2mg/L前後の一定値となった(図-4参照)。しかし、排水の値は、両実験とも実験開始後12日目の値は10mg/L以上となり、その後30日目まで急激に濃度が低下した。30日目以降は緩やかに濃度が低下する傾向となった。排水中の濃度は、田面水に比べ50日目までの濃度が高くなった。この原因は、施肥および乾土効果によると推測される。50日目以降の排水中と田面水中の関係を詳細に検討すると、田面水の値が2mg/Lで排水の値1mg/Lに比べ高い傾向を示していた。この原因は、作土層内に施肥した緩効性の肥料の一部が田面水に長期にわたり溶けだしたためとも考えられる。また、降下浸透水中の成分は、土壌による濾過、土粒子への吸着および植物による吸収により、田面水に比べ低下傾向となったと考えられる。

以上の結果より、窒素濃度は実験開始50日目頃まで排水中の濃度が高まること、浸透型に対応し硝酸態の窒素濃度の増減が発生することが明らかとなった。なお、本実験結果は、松浦らの実験(1977b)の排水のT-N濃

度が50日目までは高く、それ以降は一定値となった結果と類似していた。

ii) リン濃度

リン濃度は、全リン濃度(T-P)とリン酸濃度(PO₄-P)の2種類について検討した。

a) PO₄-P

得られた濃度(図-3参照)は、実験①も実験②も第Ⅰ～Ⅲ層まで0.2～0.5mg/Lの範囲となった。その値も両実験で観測初期と観測終了時ではほぼ同じであった。しかし詳細に見るならば、実験②の実験終了時の第Ⅰ～Ⅲ層の値は、実験開始に比べ濃度が若干上昇する傾向が認められた。この原因は、鉄の溶出に伴い鉄型のリン酸が有効化(三好ら, 1983)してきているものと考えられる。この第Ⅲ層下層の値は、松浦ら(1977b)の円筒下層土からの排水水の濃度にほぼ一致した経時変化となった。

b) T-P

実験①と実験②の田面水の値は、全観測期間0.2～0.4mg/Lの範囲となった(図-5参照)。これに対し、排水中の初期の値は、両実験とも1.3mg/L前後となった。このように高い値は、実験開始30日目頃まで続いた。その後は、田面水が排水に比べ多少大きな値となって実験終了時まで経過した。速効性の肥料を施肥したために、短期間にその濃度が低下していったものと推測される。松浦ら(1977b)も排水中のリン酸濃度を測定しているが、下層土からの排水中で濃度が高まる傾向は認められなかったとしている。この相違の原因は、供試土壌の違い等が影響していると予想される。

以上のT-NおよびT-Pの測定結果より、その初期浸

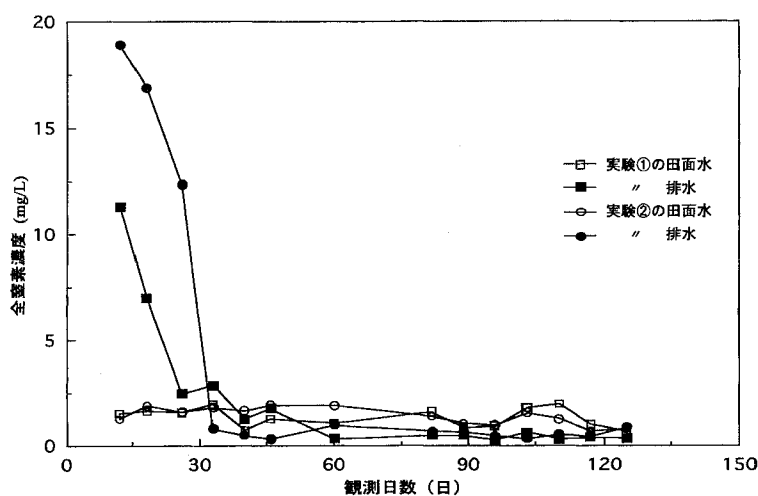


図-4 田面水中及び排水中の全窒素濃度

Fig. 4 Concentration of total nitrogen in surface water and drainage water of paddy field model

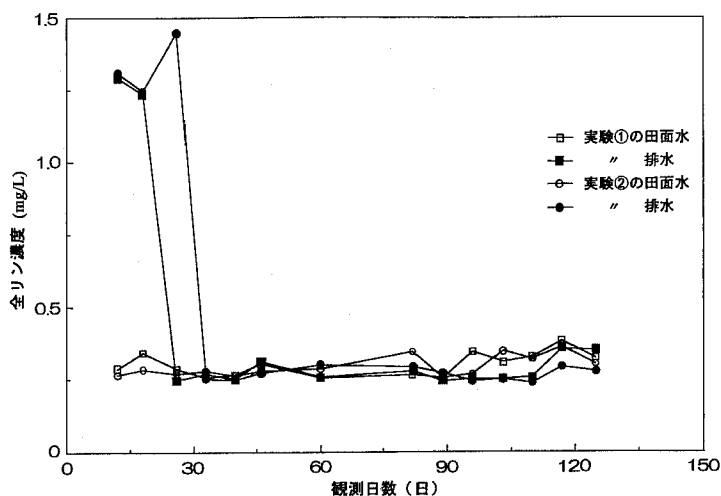


図-5 田面水中及び排水中の全リン濃度

Fig. 5 Concentration of total phosphorus in surface water and drainage water of paddy field model

透水の濃度は、浸透型の如何によらず高く、水田下層からの排水は河川や湖沼を富栄養化させる可能性が高いと判断される。また、佐々木ら (1998) は、本研究と同じく成層水田模型 (4 層構成) を作製し、本研究の第Ⅲ層 (酸化層) の下に第Ⅳ層 (還元層) を設け、硝酸態窒素濃度を測定している。その結果、第Ⅳ層を浸透した土壌水の硝酸態窒素濃度が 1/100 以下に低下することを実証している。このように、心土の酸化層の下に還元層をもつ

ような環境が存在するならばその濃度の軽減等がなされるであろう。

鉛直方向の浸透水の水質浄化については、田面水と暗渠排水の値を比較し、この 2 つの値をもとに、土の鉛直浄化機能有りとする場合もあれば (増島, 1982)、浸透水の水質浄化が明確にならない (朴ら, 1998) とする場合もある。このように相反する報告がなされている原因の一つには、浸透水がどのような酸化還元環境の中を流下

していたのか、つまりこのような酸化還元を規定するどのような浸透型の土層中を浸透したのかということの明確化がなされていないことなどが考えられる。

この得られた一連の結果より、水稻根周辺の窒素、リン濃度等の実態および施肥（緩効性および速効性肥料）の肥効期間等が明らかとなった。

4. おわりに

本研究では、黒ボク土水田地帯を想定した水田模型を作製し実験に供した。模型は、作土、スキ床層および心土層の全層が閉鎖浸透で、かつ全層還元層となるもの（実験②）と心土層のみが開放浸透で、かつ酸化層となるもの（実験①）の2種類とした。この水田模型には、稲を付付けし、緩効性の肥料（窒素）と速効性の肥料（カリ、リン）を施肥し、この模型内を降下する根域の土壌溶液中における物質動態を深度別に検討した。

全層閉鎖浸透の模型の DO 値は、作土、スキ床層および心土層の値が約 4 mg/L、心土層が開放浸透の場合は 6 mg/L 以上に増大した。Fe 濃度は、閉鎖浸透である作土、スキ床層では全観測期間ほぼ 3 mg/L 以下となった。心土層では、閉鎖浸透の場合は 1~20 mg/L となったが、同層が開放浸透となった場合は全期間ほとんど Fe 濃度が検出されなかった。Mn 濃度は、作土層では全期間ほぼ 1 mg/L 以下となるが、スキ床層は 0.5~4 mg/L の範囲となった。心土層が開放浸透時にはほとんど検出されなかった。心土層が閉鎖浸透層の場合は 3~7 mg/L となった。閉鎖浸透層で Fe、Mn 濃度は、下層ほど濃度が増大する傾向となった。

カリ濃度は、作土、スキ床層で実験開始から約 50 日間 10~40 mg/L となった。心土層は閉鎖・開放浸透の双方で同期間 10 mg/L 前後となった。観測終了時には、全層 5 mg/L 前後の値となった。Na 濃度は、全観測期間全層で 15~30 mg/L の値となった。実験開始時に比べ濃度が多少低下傾向であった。K 濃度には、浸透型に対応した濃度の相違は明瞭とはならなかった。

NH₄-N 濃度は、全層閉鎖浸透層である場合は全観測期間 0.5 mg/L 以下となった。心土層が開放浸透の場合の実験初期には 2 mg/L へ濃度が高まった。上層に比べ濃度の高まりは、実験初期から約 40 日間に渡り観測されたが、それ以降は閉鎖浸透の値と類似したものとなった。NO₃-N 濃度は、全層閉鎖浸透の場合は全観測期間 0.1 mg/L 以下となった。心土層が開放浸透の場合は 1 mg/L 前後の値が実験開始から 50 日間にわたり観測された。しかしそれ以降は、閉鎖浸透層の値と近似した。NO₂-N 濃度は浸透型の如何にかかわらず実験初期には全層 0.01~0.02 mg/L の範囲となった。実験終了時には

同様に全層 0.01 mg/L 前後となった。PO₄-P の濃度は観測期間中第 I~III 層まで、0.2~0.5 mg/L の値で、浸透型による明確な差は認められなかった。

排水中の T-N 濃度は、実験初期には 10 mg/L 以上と高くなったが、その後減少し、50 日目を降は 1 mg/L 前後の値となった。T-P 濃度は、実験初期は 1 mg/L 以上の値であったが 30 日目を降は 0.3 mg/L 前後となった。以上の傾向は心土層の浸透型の如何にかかわらず認められた。

EC の値は、閉鎖浸透層である作土、スキ床層では全期間 10~20 mSm⁻¹ の範囲となった。心土層は、実験初期には浸透型の如何を問わず上層と近似した値であった。しかし実験終了時には、心土層が開放浸透層の場合には上層より値が低下（10 mSm⁻¹ 以下）し、閉鎖浸透層の場合には逆に増加傾向（20 mSm⁻¹ 前後）となった。

以上の結果より、稲の生育環境下で根域の浸透型を明確にした場合における物質動態の実態が判明した。また、施肥後の排水路等への浸透水の T-P および T-N 濃度は、富栄養化をもたらす目安の値（T-N : 0.2 mg/L, T-P : 0.02 mg/L）より高く、環境への影響が懸念される（田淵, 1986）。なお、試験終了後、円筒を解体してみると、根は 50 cm 深までも伸長していた。今後は、稲の養分吸収への浸透型の影響等を報告する予定である。

[謝 辞]

本研究は、弘前大学農学生命科学部工藤啓一助教授および東北工業大学土木工学科齊藤孝市助手の協力により遂行できた。記して厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 土質工学会編（1983）：土の試験実習書，p. 95~102，土質工学会，東京。
- 土壤養分測定法委員会編（1970）：土壤養分分析法，p. 335~341，養賢堂，東京。
- 船引眞吾・青峰重範（1953）：土壤実験法，p. 91~98，養賢堂，東京。
- 石川雅也・田淵俊雄・山路永司・中島淳（1992）：用水濃度と浸透量が水質浄化と水稻生育に与える影響について，農土論集，159：91~99
- 伊藤豊彰（久馬一剛他編）（1993）：土壤の事典，p. 2~3，朝倉書店，東京。
- 川口桂三郎ら（1974）：土壤学，p. 102~107，朝倉書店，東京。
- 増島 博（1982）：水界環境としての水田，山根一郎編，水田土壤学，p. 308~341，農文協，東京。
- 松浦勝美・福永明憲・坂上行雄（1977a）：水稻の生育と

- 無機養分吸収に及ぼす下層土の役割に関するモデル実験, 土肥誌, 48: 19~24.
- 松浦勝美・福永明憲・坂上行雄(1977b): モデル実験による透水期間中の水田下層土の酸化還元電位および水稻養分の動態, 土肥誌, 48: 25~34.
- 三好 洋・嶋田永生・石川昌男・伊達昇(1983): 土壌肥料用語事典, p. 102~103, 農文協, 東京.
- 朴 光来・日高 伸・熊澤喜久雄(1998): 埼玉県櫛引台地の湧水により灌漑されている水田表面水の硝酸態窒素濃度および δ^{15} 値の変化, 土肥誌, 69: 287~292.
- 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.
- 佐々木長市・江成敬次郎・小関 恭・中山正与(1998): 開放浸透層を心土層にもつ水田モデル土層における物質動態, 土壌の物理性, 78: 3~10.
- 佐藤照男(1991): 不耕起田の土壌孔隙構造とその意義, 農業技術体系『作物編』追録, 13: 1~10.
- 田淵俊雄(1986): 水質入門, 46~52, 農業土木学会, 東京.
- 和田秀徳(1978): 湛水土壌の酸化・還元と水稻の存否, 川口桂二郎編, 水田土壌学, p. 67~71, 講談社, 東京.
- 渡辺巖(1971): 農業と土壌微生物, p. 202~208, 農文協, 東京.
- 山崎不二夫(1971): 農地工学(上), p. 50~75, 東京大学出版会, 東京.

受稿年月日: 1999年9月22日
受理年月日: 2000年4月20日

軽石流堆積物客土畑における有機物施用効果

第1報 客土と有機物施用が土壤理化学性および
 土壤微生物活性に及ぼす影響

竹内晴信*・東田修司**・市川信雄***・松原一實****

The Effect of Simultaneous Application of Organic Matter with
 Soil Dressing of Pumice Flow Deposit

(I) Changes of Soil Physicochemical Properties and Microbial Activities.

Harunobu TAKEUCHI*・Shuji HIGASHIDA**・Nobuo ICHIKAWA*** and Ichimi MATSUBARA****

Hokkaido Pref. Kitami Agric. Exp. Stn.

Yayoi, Kunneppu, 099-1496 Hokkaido, JAPAN

(Present : * Central Stn. ** Tokachi Stn. *** Kamikawa Stn. **** Tenpoku Stn.)

Summary

Soil dressing with Pumice Flow Deposit (PFD) has been widely practiced in Abashiri district of Hokkaido. Soil physical properties was improved in this operation, but concentration of nutrients in soil were declined because of dilution. To solve this problem, we studied the effect of simultaneous application of organic matter with soil dressing of PFD.

Application of 80 Mgha⁻¹ barnyard manure increased CEC, available phosphorus, and exchangeable cations. The available nitrogen value also increased, but these values were still under the value recommended.

α -glucosidase activities in PFD as an index of soil microbial activities was very low in PFD, therefore this activities declined in the soil dressed with PFD. However, decrease of α -glucosidase activities were less than the value estimated by soil dilution ratio when the soil physical properties were well improved by dressing.

α -glucosidase activities recovered to the same level of original soil with simultaneous application of barnyard manure. As a result, we can quickly recover soil chemical and biological properties in the dressed soil by simultaneous application of organic matter with PFD.

Key words : Soil dressing, Organic matter, Soil microbial activities, Decrease of fertilities, Recovery

1. はじめに

北海道網走地域では、更新世の火山噴出物である軽石流堆積物を客土とした土層改良事業が広く行われている。この客土に期待されることは、1) 融雪後や降雨後にも速やかに圃場に入ることができ早期播種、適期防除、

適期収穫が可能になる、2) 土壤の粘着性低下や砕土性向上で、播種精度が良くなり発芽率の向上につながる、3) 根菜類の収穫に際して土離れが改善され、葉茎菜類への土壌付着が少なくなるなど作業能率と収穫物の市場価値が向上する、4) 土壤物理性の改善により作物の収量が向上する、ことなどがあげられる。これらの客土効果は、

北海道立北見農業試験場 〒099-1496 北海道常呂郡訓子府町字弥生 52, 現在 * 中央農試 (〒069-1395 夕張郡長沼町東 6 北 15), ** 十勝農試, *** 七川農試, **** 天北農試

キーワード : 客土, 有機物, 土壤微生物活性, 肥沃度低下, 回復

表-1 試験に用いた客入土(軽石流堆積物)の理化学性

Table 1 Soil physical and chemical properties of PFD used for the experiment

区分	PFDの 産地	風乾土 容積重 Mg m ⁻³	国際法粒径組成 (相対比)					腐植 mgkg ⁻¹	リン酸 吸収 係数	有効態 リン酸 ³⁾ mgkg ⁻¹	pH (H ₂ O)
			粗砂	細砂	シルト kgkg ⁻¹	粘土	土性				
土取場 ¹⁾	置戸町	1.23	0.45	0.35	0.13	0.07	SL	7	290	115	6.1
	留辺蘂町	1.10	0.28	0.45	0.17	0.09	SL	7	460	185	6.0

客入土	置戸町	CEC ¹⁾ cmol (+) kg ⁻¹	交換性陽イオン			全炭素 kgkg ⁻¹	熱抽 ²⁾ 窒素 kgkg ⁻¹	腐植 mgkg ⁻¹	リン酸 吸収 係数	有効態 リン酸 ³⁾ mgkg ⁻¹	pH (H ₂ O)
			CaO	MgO mgkg ⁻¹	K ₂ O						
客入土	置戸町	2.1	580	60	190	0.002	13	3	220	53	6.5
	留辺蘂町	3.6	810	120	180	0.002	7	3	140	185	6.9

¹⁾ 陽イオン交換容量 ²⁾ オートクレーブ法による熱水抽出性窒素 ³⁾ Truog法による P₂O₅ mg ⁴⁾ 試験で用いた客入土と同じ土取り場であるが同一の試料ではない。

客土する圃場(原土)の性質によって差が認められたため、その主たる効果を土壌の種類別に検討・整理した上、適切な客土量の指針として公表され(北海道農政部, 1992), その概要を報告した(竹内ら, 1994)。

一方、この地域で産する軽石流堆積物には、地点によってその噴出源や堆積年代が異なるものがあり、各々の理化学性には多少の差異が見られる。しかし総じて軽石質であることと、粒径 0.02 mm 以上の画分が過半を占め、腐植や窒素や塩基養分が極めて少ない特徴を持っている(表-1)。このため、客土を行うことにより土壌肥沃度が低下し生産力が落ちる例のあることが、客土面積の広がりと共に問題点として表面化してきた。客土による減収の危険性を生産者は経験的に理解しており、客土施工後は堆肥施用などの肥培管理に意を使っている例が多い。このことから、客土により生産力の低下が想定される場合の対策として有機物の補填が有効であると考えられるが、その効果について十分な検討はなされていない。そこで本試験では、軽石流堆積物の客土により土壌生産力がどのように変化するのかについて、土壌理化学性と微生物活性の変化を基に検討した。また、有機物の施用で土壌の生産力がどのように回復するのかについて検討した。試験地の選定にあたっては、原土の窒素肥沃度が高く、土壌物理性に問題点が少ない褐色低地土と、逆に土壌物理性が劣悪でより重粘質な褐色森林土の計2圃場を選定した。これは両土壌により、火山性土を除く網走地域の主要な耕地土壌を代表できると考えられ、また性格の異なる土壌での試験結果を比較検討することで要点がより明確になることを期待した。

2. 試験方法

(1) 圃場試験

礫質褐色低地土(留辺蘂町大富)と細粒褐色森林土(置戸町北光)の各農家圃場に、1993年秋に客土を施工し、1994~1996年に作物栽植条件下で試験調査を行った。

試験区は、無客土区と客土厚を5, 10, 15 cm とする客土処理を行った。また、客土10 cm に堆肥(麦稈、敷わらと牛糞の混合堆肥)、パーク堆肥、緑肥を施用した有機物処理区を設けた(表-2)。施工は、所定量の客入土を敷き均し、各有機物をその上に散布した後、ステアアップ・ロータリで深さ約0.3 mまで攪拌混和・整地した。緑肥区については、細粒褐色森林土では客土後にエン麦を播種、栽培してすき込んだが、播種期が遅れ乾物生産量が充分ではなかったため、不足分を試験区外から搬入した。礫質褐色低地土では、他の圃場で栽培したエン麦を刈り取って搬入しすき込んだ。

(2) 土壌分析

各試験区において、作土の分析用試料を収穫跡地で採取した。物理性測定には0.1 L採土管で未攪乱土壌を採取し、化学性用には攪乱土を供試し、共に定法(土壌標準分析・測定法委員会, 1986)にて分析を行った。-6.23 kPa (pF 1.8)以下のポテンシャルにおける水分の測定は加圧盤法で行った。なお可給態窒素は、オートクレーブ法による熱水抽出性窒素をもってこれにあてた(道立中央農試・道農政部, 1992)。土壌微生物活性の評価指標として α -グルコシダーゼ活性(東田, 1996)を測定した。

(3) 土壌断面調査

表-2 有機物施用区のすき込み量およびすき込み養分量

Table 2 The amount of applied organic matter and inorganic composition

土 壤	区 名	有機物 種 類	すき込み量 (Mgha ⁻¹)		付加された養分量 (kg ha ⁻¹)				
			現物	乾物	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
細粒褐色 森林土 (置戸)	堆肥 4t	牛糞麦稈堆肥	40	6.18	99	226	75	166	46
	堆肥 8t	牛糞麦稈堆肥	80	12.32	198	452	150	332	92
	パーク 4t	パーク堆肥	40	11.60	179	393	84	94	167
	緑肥 3t	エンバク緑肥	30	5.55	124	61	244	21	12
礫質褐色 低地土 (留辺藪)	堆肥 4t	牛糞麦稈堆肥	40	6.45	105	227	104	160	48
	堆肥 8t	牛糞麦稈堆肥	80	12.90	210	454	208	320	96
	パーク 4t	パーク堆肥	40	11.88	189	399	83	96	178
	緑肥 3t	エンバク緑肥	30	6.00	82	59	179	18	10

試験最終年度の収穫跡地において土壌断面の調査を行った。深さ 0.40 m, 幅 0.56 m の断面を設定しスケッチを行った。またこの断面に 0.08 m 間隔でメッシュを切り、各メッシュ内で山中式硬度計による土壌硬度の測定を行った。

3. 試験結果

(1) 客入土と有機物の土層内での分布

客土施工後 3 年を経過した時点での、客入土と有機物の土層内での分布状況を図-1 に示した。

細粒褐色森林土では、もともと作土の厚さが 0.35 m 程度で、その下に明黄褐色の堅密な下層土が続く土壌断面であった。客土量の多い 15 cm 区では、深さ 0.20 m までが客入土と原土がよく混合しており、その下にあまり混ざらない客入土の塊が分布していた。客土量が少ない区ほど、0.20 m までの層の土色がより原土に近く、0.20~0.30 m 土層に見られる未混合の客入土の量が少なかった。堆肥 8t 区では、断面に堆肥由来と思われる黒色の有機物片が認められた。堆肥 4t 区およびパーク 4t 区でも、量的には少ないが堆肥由来と思われる有機物片が認められた。しかし緑肥 3t 区の断面に見られた有機物片は、有機物無施用区と同程度の量であったため、これは明らかに作物残渣によるものと思われた。

礫質褐色低地土では、原土の作土は円礫を含有する壤土で暗褐色を呈し、部分的に黒褐色の粘土塊を含み、地表下 0.35 m 以深は砂礫層であった。客土区では、深さ 0.25 m 程度までが客入土と原土がよく混合された層で、それ以下への客入土の混入は少なかった。客土量が増えるに従って、深さ 0.25 m までの土層の明度が高まり彩度が薄くなる傾向であった。また、客土 15 cm 区では客入土と原土が混合した層と客土を含まないそれ以下の層

との境界が不鮮明であった。細粒褐色森林土では良く混合されていない客入土の塊が断面に分布したが、本圃場では観察されなかった。これは礫質褐色低地土の原土が砕土性が良いためと思われた。堆肥 8t 区では、堆肥由来と思われる黒変した有機物片が散見されたが、緑肥 3t 区で観察された有機物片の数及び量は、客土 10 cm 区と大差なかった。パーク 4t 区では、パーク堆肥由来と思われる黒変した有機物片が広く散らばって分布していた。

(2) 客土と有機物施用が土壌理化学性に及ぼす影響

両土壌における土壌物理性の測定値を表-3 に示した。細粒褐色森林土では、客土量が多い区ほど容積重や固相率が小さかった。すなわち、無客土区でそれぞれ約 1.2 Mg m⁻³ と 0.45 m³ m⁻³ であったものが、客土 10 cm 区ではそれぞれ 1.0 Mg m⁻³ と 0.40 m³ m⁻³ 程度となった。無客土区の有効水孔隙量は 0.05 m³ m⁻³ 程度と少なかったが、客土 15 cm 区では 0.12 m³ m⁻³ となり、土地改良事業における改善目標値 (10~15%) (農水省, 1984) をほぼ達成した。また、客土量を増やした区ほど気相率は大きかった。礫質褐色低地土では、無客土区の容積重や固相率が細粒褐色森林土と比較して低く、客土区でも容積重や固相率の低下が明確に認められず、気相率の変化も明らかでなかった。有効水孔隙量は、細粒褐色森林土と同様に客土区で増加しており、客土 5 cm 区で改善目標値を確保できた。

有機物施用が土壌物理性に及ぼす影響は、礫質褐色低地土では明瞭でなかったが、細粒褐色森林土では堆肥の施用により容積重や固相率が増える傾向が見られた。しかし、緑肥やパーク堆肥区ではそのような傾向は見られず、元々試験区の土壌 (原土) 自体に物理性の差が生じていた可能性が大きいと推測した。

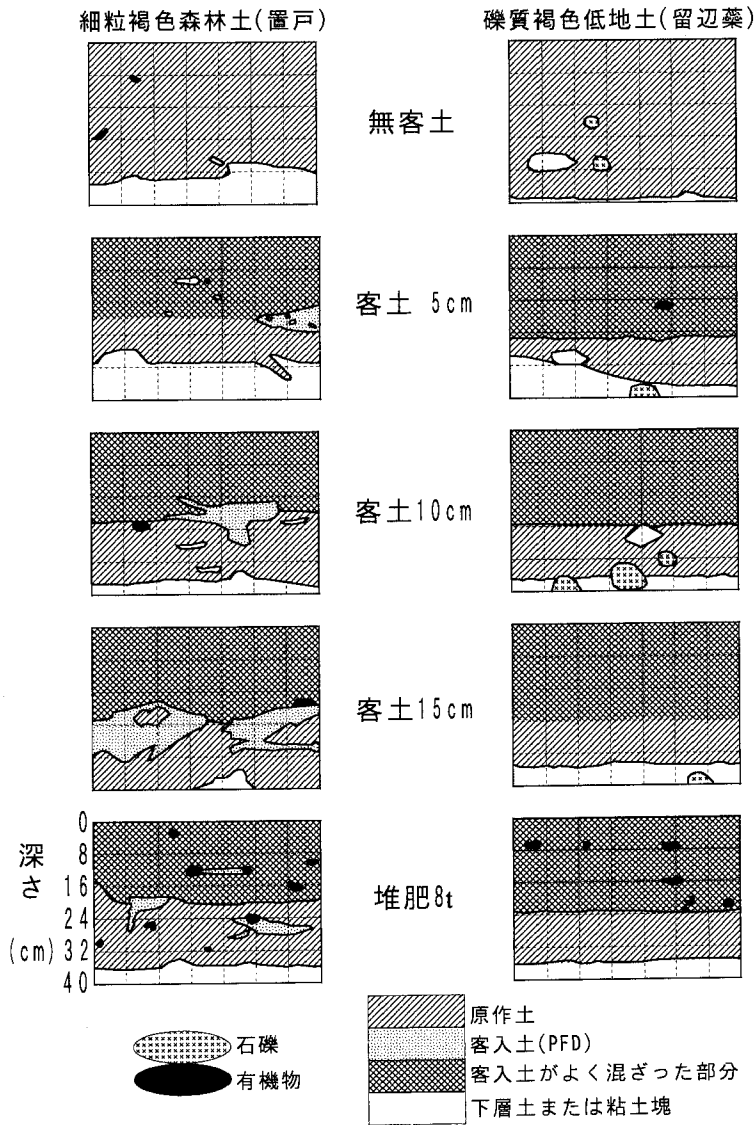


図-1 試験区の土壌断面

Fig. 1 The soil profile in the experiment plots.

次に、土壌断面を0.08 mメッシュに区分して測定した土壌硬度を表-4に示した。細粒褐色森林土では、無客土区の0.16 m以下の土層では硬度25を越える部分があり、下層土はかなり堅密なことが伺われる。客土10 cm以上では、深さ0.16~0.24 mと0.24~0.32 m層で顕著に硬度が低下した。0.16~0.24 m土層は、客入土と原土が良く混合した部分、客入土、原土の3つの部位間の界面は不均一で崩れ易い状態で、この部位の硬度が著しく低下していることが認められた。客土15 cm区では、深さ

0.08~0.16 mの土層でも硬度の低下が認められた。客土5 cm区での硬度低下は各層位とも小さかった。礫質褐色低地土では、土壌断面に礫が多く存在するため硬度の測定が困難であったが、測定可能なメッシュのみで平均した。無客土区の硬度は最大でも20程度であり、細粒褐色森林土に比べて低かった。このため客土区でも、深さ0.16~0.24 mと0.24~0.32 mの土層の硬度の低下は明らかでなかった。

両土壌において、客土によってほとんどの土壌化学性

表-3 各試験区の作土の土壤物理性

Table 3 Soil physical properties of surface layer at the experiment field after treatment.

土 壤	処理区	容 積 重 Mg m ⁻³	三 相 分 布 ¹⁾			孔 隙 率		
			固相	液相 m ³ m ⁻³	気相	全	有効水 ²⁾ m ³ m ⁻³	高張力水 ³⁾
細粒褐色 森林土 (置戸)	無客土	1.23	0.448	0.345	0.207	0.552	0.052	0.293
	客土 5 cm	1.10	0.442	0.320	0.238	0.558	0.064	0.256
	客土 10 cm	1.04	0.404	0.341	0.256	0.596	0.075	0.266
	客土 15 cm	1.03	0.400	0.341	0.259	0.600	0.120	0.221
	堆肥 4 t	1.13	0.465	0.341	0.194	0.535	0.103	0.238
	堆肥 8 t	1.16	0.437	0.350	0.213	0.563	0.066	0.284
	パーク 4 t	1.05	0.388	0.321	0.291	0.612	0.085	0.236
	緑肥 3 t	1.06	0.417	0.303	0.280	0.583	0.085	0.218
	礫質褐色 低地土 (留辺藁)	無客土	0.86	0.362	0.503	0.135	0.639	0.072
客土 5 cm		1.04	0.417	0.444	0.139	0.583	0.131	0.119
客土 10 cm		1.07	0.432	0.464	0.104	0.568	0.114	0.153
客土 15 cm		0.95	0.382	0.463	0.156	0.619	0.129	0.246
堆肥 4 t		1.09	0.428	0.430	0.142	0.572	0.163	0.144
堆肥 8 t		1.05	0.424	0.448	0.129	0.576	0.150	0.132
パーク 4 t		1.03	0.415	0.409	0.176	0.585	0.152	0.112
緑肥 3 t		1.14	0.459	0.406	0.135	0.541	0.140	0.135

¹⁾ -6.23 kPa における値 ²⁾ -6.23~-98.8 kPa (pF 1.8~3.0) ³⁾ -98.8 kPa 以下 (pF 3.0 以上)

表-4 試験跡地で測定した土壤断面の硬度

Table 4 Soil hardness estimated by Yamanaka type hardnessmeter on the soil profile

土層深さ (m)	細粒褐色森林土 (置戸)				礫質褐色低地土 (留辺藁)			
	無客土 区	客土 5cm 区	客土 10 cm 区	客土 15 cm 区	無客土 区	客土 5 cm 区	客土 10 cm 区	客土 15 cm 区
0.08~0.16	22	23	20	18	20	19	20	18
0.16~0.24	24	23	17	20	20	20	17	21
0.24~0.32	25	23	20	19	17	20	20	18
0.32~0.40	24	23	23	22	14	17	—	17

の測定値が低下することが認められた(表-5)。その程度は客土量の多い区ほど大きかった。特に細粒褐色森林土では、交換性マグネシウムが客土により土壤診断基準値(250~450 mgkg⁻¹) (北海道農政部ほか, 1999) を大きく下回った。熱水抽出性窒素は、客土 10 cm 及び 15 cm 区では 50 mgkg⁻¹ 以下まで低下し、窒素肥沃度がかなり低いレベルになるものと思われた。また、土性が粗粒化したことにより CEC が大きく低下した。一方、客入土の pH は原土よりも高かったが、それ自体の pH 緩衝力が小さいため、客土後の土壤 pH にはほとんど影響しなかった。有効態リン酸は、礫質褐色低地土では少量の客土では原土区より増えていたが、客土量の増加に伴い急

激にその濃度を低下させた。

客土 10 cm 区に対して、有機物併用による化学性の回復効果は、CEC、交換性マグネシウム、同カリウム、有効態リン酸、熱水抽出性窒素、全炭素などの項目で、無客土区並には至らないものの数値が回復する傾向が認められた。特に、堆肥 8 t 区ではその効果が大きいと思われた。またパーク 4 t 区も堆肥 4 t 区と同等かそれ以上の効果が認められた。緑肥 3 t 区では熱水抽出性窒素の回復量がやや小さかった。

客入土、原土及び両者の混合された土層それぞれの理化学性の分析値から、客土 15 cm 区における客入土と原土の混合割合はほぼ 0.5 m³m⁻³ 程度と推定された(表-

表-5 各試験区の作土の土壌化学性

Table 5 Soil chemical properties of surface layer at the experiment field

土 壤	処理区	pH (H ₂ O)	CEC ¹⁾ cmol (+) kg ⁻¹	交換性陽イオン			有効態 リン酸 ²⁾ mgkg ⁻¹	リン酸 吸収 係数	熱抽 窒素 ³⁾ mgkg ⁻¹	腐植 mgkg ⁻¹	全炭素 ¹ mgkg ⁻¹
				CaO	MgO mgkg ⁻¹	K ₂ O					
細粒褐色 森林土 (置戸)	無客土	6.19	14.8	2530	245	398	262	530	56	24	14
	客土 5cm	6.23	14.0	2440	234	347	218	540	52	23	13
	客土 10cm	6.06	11.8	1990	181	283	166	510	47	20	11
	客土 15cm	6.30	8.4	1570	129	202	175	360	38	14	8
	堆肥 4t	6.15	10.5	1750	201	324	210	470	43	16	9
	堆肥 8t	6.12	10.9	1930	218	465	379	450	54	19	11
	パーク 4t	6.08	10.4	1810	207	467	210	440	53	19	11
	緑肥 3t	6.02	11.4	1790	178	335	184	460	45	18	10
礫質褐色 低地土 (留辺藁)	無客土	5.30	25.4	2750	375	242	381	770	123	77	43.5
	客土 5cm	5.18	18.6	2050	345	303	513	530	72	37	20.8
	客土 10cm	5.56	10.3	1540	220	226	419	300	46	14	8.2
	客土 15cm	5.45	10.9	1340	375	211	195	350	36	10	5.8
	堆肥 4t	6.03	9.8	1430	291	322	288	350	48	15	8.3
	堆肥 8t	5.67	14.5	1950	392	238	288	430	54	22	12.5
	パーク 4t	5.38	13.1	1630	312	271	557	400	52	24	13.8
	緑肥 3t	5.73	13.2	1800	359	271	278	400	37	13	7.5

¹⁾ 陽イオン交換容量 ²⁾ Truog 法による P₂O₅mg ³⁾ オートクレーブ法による熱水抽出性窒素

表-6 客土 15 cm 区での土壌特性の変化から見た客入土混合割合の推定 (礫質褐色低地土)

Table 6 Mixed ratio of the original soil and PFD estimated by change in soil chemical properties (at Gravelly Brown Lowland soils)

		CEC	有効態 リン酸	リン酸 吸収係数	熱抽 窒素	全炭素
分析値	原土	15	262	530	56	14
	客入土	2	53	220	13	3
	客土 15 cm 区	8	175	360	38	8
客土推定混合率 (m ³ m ⁻³)		0.50	0.38	0.55	0.42	0.55

6)。

(3) 客土と堆肥の施用が土壌微生物活性に及ぼす影響
土壌の微生物活性は畑地の生産力に密接に関連する。また、微生物活性は有機物の質と量、それに土壌物理性の影響を受けることが知られている(東田ら, 1996)。客土と有機物の施用によってそれらの条件が大きく変動することから、土壌微生物活性にどのような影響が及ぶのかについて検討した(表-7)。

細粒褐色森林土では、無客土区の作土の α -グルコシダーゼ活性は 400 pmol g⁻¹ min⁻¹ (以下単位を省略す

る)程度であり、東田(1996)が示した十勝地方の火山性畑土壌における標準値(550~750)に比べて低かった。下層土は土壌物理性が劣悪で、かつ作物根の影響(残渣の存在など)が少ないため、 α -グルコシダーゼ活性は32と極めて低かった。客土 15 cm 区、客入土と原土が良く混合した 0~0.20 m 土層の α -グルコシダーゼ活性は340程度であった。軽石流堆積物には土壌微生物の基質となる有機物がほとんど含まれないため、微生物活性は皆無に近い。表-6から、この土層での客入土の混合比は 0.5 m³m⁻³程度であると推定されたので、単純に考える

表-7 試験区の土壤微生物活性

Table 7 The α -glucosidase activities in soils

処理区	部 位	α -グルコシダーゼ活性 (pmol g ⁻¹ min ⁻¹)	
		細粒褐色森林土 (置戸)	礫質褐色低地土 (留辺藁)
無客土	作土	399	314
	作土 (根の密な部分)	—	576
	作土内有機物片	1492	1492
	作土内黒色粘土塊	—	226
	下層土	32	57
客土 5 cm	原土と客入土の混合部	—	179
	客入土の混入が少ない作土	—	268
	作土内有機物片	—	1029
	作土内粘土塊	—	33
	下層土	—	27
客土 10 cm	原土と客入土の混合部	—	217
	客入土が混入しない原土	—	440
	下層土	—	29
客土 15 cm	原土と客入土の混合部	343	172
	よく混ざらない客入土塊	127	—
	客入土が混入しない原土	363	—
	下層土	24	—
堆肥 8 t	原土と客入土の混合部	429	397
	よく混ざらない客入土塊	214	—
	客入土が混入しない原土	431	—
	作土内の有機物片	760	1076
	下層土	108	—

とこの層の α -グルコシダーゼ活性は200程度まで低下しても良いはずだが、実際はそこまで大きく低下しなかった。これは、客土による物理性改善の影響が、有機物含量の希釈効果を補った結果であると推察した。堆肥8t区では、客入土と原土が混合した部位の α -グルコシダーゼ活性は430であり、無客土区に比べ劣らずむしろ上昇していた。本区では、堆肥由来と思われる有機物片が土層内に散見され、その部位での α -グルコシダーゼ活性は土壌よりもかなり高かった。また、有機物片中及びその周囲ではコムギ根が活発に生育することが観察された。

礫質褐色低地土では、無客土区の作土の α -グルコシダーゼ活性は300を上回る程度であり、下層土の微生物活性も57と、細粒褐色森林土と同様に極めて低かった。一方、堆肥8t区では、作土の微生物活性が低下しなかった。さらに堆肥施用区の断面に散見された黒色の有機物では、かなり高い α -グルコシダーゼ活性が示され

た。このような活性の高い部分が作土に混合されることによって、全体の微生物活性が押し上げられたものと推定された。作土内に見られる粘土塊の α -グルコシダーゼ活性は膨軟化した作土層よりも低かった。

以上から、軽石流堆積物の客土で物理性の改善効果が大きければ、微生物活性はそれほど大きく低下しないことが明らかとなった。また、堆肥の施用により客土が混合した部分でも微生物活性が高まること、さらに局部的に存在する有機物塊では微生物活性が非常に高いことが示された。

4. 考 察

(1) 客土の土壤理化学性への影響程度

軽石流堆積物は多孔質の軽石砂を主体とするため、可塑性・粘着性は無く、一般に容積重が1.0 Mg m⁻³前後で保水性が高い。従ってこれを客土・混合することで、土壌を膨軟にし、作土の三相分布を適正に保ち、表面排

水を促進する効果を期待している。一方、軽石流堆積物の肥沃度は低いことから、客土後の作土の土壌化学性を低下させるデメリットも抱えている。これらの効果は、本試験においても程度の差はあるが、従来行われてきた試験と同様の傾向が認められた。

ここで、客土混合比との関係を考えてみたい。施工時の混合深は約30 cmであるが、図-1から平均すると深さ25 cm程度までがよく混和されていることが推定できる。客入土が層として残らず全量よく混和されたとすれば、客入土の体積混合割合は客土10 cm区で $10/25=0.4$ となる。同様に客土15 cmでは0.6となり、表-6で全炭素やリン酸吸収係数から推定された値とほぼ等しい。従って、少なくともこれらの化学性については原土と客入土の体積混合割合にほぼ比例して変化することが推定される。一方、有効態リン酸や熱水抽出性窒素などの可給態無機養分は混合比よりやや多めの値を示した。これはpHの変化や土壌物理性の変化に伴う微生物活性の変化が影響していると考えられる。また、客土5~15 cm区の処理間差から、細粒褐色森林土のように原土と客入土の容積重や孔隙特性の差が大きい場合は、これらの土壌物理性も体積混合割合にほぼ比例した変化があると考えられる。しかし礫質褐色低地土のように、固相率が $0.35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ 以下、容積重が 0.80 Mg m^{-3} 程度で、土壌診断基準値(北海道農政部, 1999)に収まるような良好な場合は、客入土と土性が異なっても、容積重や孔隙特性の差が小さいため客土混合比よりも土層内でのバラツキの影響がより大きくあらわれ、土壌物理性の変化に一定の傾向は見られなくなったと考えられる。

(2) 従来の客土指針との関係

一方、従来示された客土量の指針では、客土の対象とされる原土の土壌タイプによって、同一の客土量でも土壌理化学性に与える影響の程度が異なることを示し、結果として大きな減収を引き起こさない観点から、それぞれの土壌タイプで適切な客土量を設定している(北海道農政部, 1990)。

しかし上で述べたように、客土後の土壌理化学性の変化は、土壌化学性は客土混合比に、土壌物理性は客土混合比と原土の土壌物理性の程度(どれだけ重粘質であるか)によって影響されるので、客土効果をより明確に予測するには土壌タイプの把握だけでなく、原土の理化学性評価を行う必要がある。土壌物理性に阻害要因が少ないような場合は、客土を行うことにより肥沃度低下のみが卓越し、客土後の収量低下の危険性が大であると予想されるので、以下で述べるような有機物併用による対策を必要とする。すなわち、従来の客土指針では土壌分類区分によって客土の効果を大雑把な傾向を示すだけで

あったが、個々の圃場の実態に合わせた適切な客土を行おうとするなら、まず原土の土壌物理性の把握が必要であり、また客土に何を期待するかを明確にする必要がある。

(3) 客土が土壌微生物活性に及ぼす影響

試験を行った両土壌の無客土区の作土において、 α -グルコシダーゼ活性の値は、標準値として示されている十勝地方の火山性土壌と比較してかなり低い値であった。これは、気相率や微生物の基質となる腐植の絶対量が少ない影響と考えられ、この地方の一般的な非火山性土壌の傾向と推定できる。従って、 α -グルコシダーゼ活性の絶対値ではなく、客土前後の値の変化を比較することによって、客土処理に伴う土壌生産力の変化を相対的に評価することが必要と考えた。

軽石流堆積物の客土では、微生物の基質たる有機物の希釈を反映して、客土後の作土の微生物活性が低下すると想定される。実際には、礫質褐色低地土では客土量にほぼ対応して微生物活性が低下したが、細粒褐色森林土ではあまり低下しなかった。これは、客土によって通気性が向上するなど、微生物の生息環境が良好となり、微生物活性にも効果的に作用した結果と考えられる。また、こうした結果の差をもたらしたのは、上で述べたように原土の土壌物理性の程度が影響し、土壌物理性の改善効果が明らかであったか否かによる。さらに、堆肥を併用すると微生物活性の低下が回避され、逆に増大する場合もあることが明らかとなった。パーク堆肥区や緑肥区での測定は行っていないが、微生物に対する基質の供給という機能から考えると、程度の差はあっても堆肥区と似た傾向になるものと予想される。従って、微生物活性を評価手法として用いることで、客土による物理性の改善と腐植や養肥分の希釈、有機物の施用などの影響を総合的に評価することが可能と考えられる。この応用場面として、圃場基盤整備技術の土壌生産性に対する総合的評価法として用いることも可能であろうが、そのためにはさらなる事例の積み重ねを必要とする。

(4) 有機物施用による土壌機能の回復

客土圃場で有機物を併用する価値は、短期的には客土によって低下した土壌化学性の回復にある。事実、有効態リン酸、交換性カリウム等の無機養分については、有機物施用による回復効果が明らかであった。また、一般に有機物施用は窒素供給面での補足効果がうたわれている。本試験では有機物施用処理によりNで $100\sim 200 \text{ kg ha}^{-1}$ が付与されており、十分な窒素の補填が行われたと見ることができる。ところが、両試験地の作土分析値では、窒素供給力の指標である土壌の熱水抽出性窒素が、最大 10 mg kg^{-1} 程度の増加に留まっており、大きな

増加とは言えず、また原土のレベルまで回復はしていない。すなわち、付与した多量の窒素は、その多くの部分が土壌中に有機態のまま存在していることになる。

一方、 α -グルコサダーゼ活性が有機物施用で回復、向上していることは、窒素無機化の速度も高まる可能性があり、作物に対する窒素供給機能が、熱水抽出性窒素による評価値より実際は高いことも考えられる。従って、土壌分析値のみで、堆肥 80 Mg ha^{-1} の施用が客土による生産力低下をカバーするに十分な量であるか否かを判断するのは不十分と考えられる。有機物の種類による回復効果の優劣についても同様である。

堆肥施用により土壌微生物活性が高まったことは、施工と同時に（あるいは施工直後に）有機物を補給することで、かなり短期的に元の生物的活性の状態まで回復することが可能であることを示している。客土後の経年が土壌生産力を回復させるといふ経験則は、営農段階での有機物投入や作物残渣の付加が、ここで示した堆肥と同様の効果を示した結果であると推定できる。逆に、客土直後に土壌病原菌などが土壌に持ち込まれた場合、これらの菌が急速に増えて、土壌病害の被害を増す危険性まで想定できる。従って、客土にあたっては、良質の有機物（腐熟の進んだ堆肥など）を客土と同時にあるいは客土後の早い時期に投入することが重要と考えられる。

以上に示した、客土と有機物施用による土壌環境の変化が、結果として作物生産にどのような影響を及ぼすの

かについては続報で検討する。

引用文献

- 竹内晴信・大山 毅 (1994) : 北海道網走地域の畑地における軽石流堆積物客土の効果と問題点, 土壌の物理性, 70, p. 55~65.
- 土壌標準分析・測定法委員会編 (1986) : 土壌標準分析・測定法, 博友社, 東京.
- 農水省構造改善局 (1984) : 土地改良事業計画設計基準, p. 24, 農業土木学会, 東京.
- 東田修司・田村 元・山神正弘 (1996) : 畑土壌の微生物活性とその規制要因, 道立農試集報, 70, p. 17~26.
- 東田修司 (1996) : 土壌酵素活性による畑地生産力の評価, 土と微生物, 48, p. 17~23.
- 北海道立中央農試・北海道農政部農業改良課 (1991) : 土壌および作物栄養の診断基準—分析法 (改訂版) 一, p. 80~81.
- 北海道農政部 (1991) : 平成3年度普及奨励ならびに指導参考事項, p. 371~373.
- 北海道農政部・北海道立農試・北海道農試 (1999) : 北海道土壌診断基準と施肥対応—改訂版—, p. 5~6.

受稿年月日: 1999年11月8日

受理年月日: 2000年3月18日



軽石流堆積物客土畑における有機物施用効果

第2報 客土と有機物施用が土壌の作物生産力に及ぼす影響

竹内晴信*・東田修司**・市川信雄***・松原一實****

The Effect of Simultaneous Application of Organic Matter with
 Soil Dressing of Pumice Flow Deposit

(II) The Responce of Crop Yield

Harunobu TAKEUCHI*・Shuji HIGASHIDA**・Nobuo ICHIKAWA*** and Ichimi MATSUBARA****

Hokkaido Pref. Kitami Agric. Exp. Stn. Yayoi, Kunneppu, 099-1496 Hokkaido, JAPAN

(Present : * Central Stn. ** Tokachi Stn. *** Kamikawa Stn. **** Tenpoku Stn.)

Summary

We studied the effect of soil dressing on crop productivities to establish an desirable management of organic matter in the field dressed with Pumice Flow Deposit (PFD).

In the frame experiment, a decrease of crop yield may be mainly caused by dilution of soil chemical fertilities. The application of 40 Mgha⁻¹ barnyard manure and green manure simultaneous with dressing recovered a decrease of crop yield. In the field experiment, changes of crop yield after dressing was influenced by the both of soil chemical and physical properties. The crop yield might not decrease in the field when the soil physical properties were well improved enough to compensate dilution of nutrients and in case that α -glucosidase activities did not decrease to the value estimated.

In order to recover a decrease of crop yield, the application of 40 Mgha⁻¹ barnyard manure would be recommended. More significant effects were obtained in case that 80 Mgha⁻¹ of barnyard manure was applied. Green manure should be additionally cultivated after dressing for the recovery of primary yield downfall. These effects of barnyard manure has continued at least for 3 years.

Key words : soil dressing, barnyard manure, green manure, crop yield recovery

1. はじめに

前報(竹内ら, 2000)では, 畑地への軽石流堆積物客土に伴う土壌理化学性および微生物活性の変化を明らかにし, 化学性や微生物活性の低下に示される地力の低下が, 有機物の施用で回復することを示した。本報告では, こうした土壌特性の変化が作物生産力に及ぼす影響を作物の生育・収量と糖分やでんぷん濃度などの内部品質の変化から検証した。また, 客土効果がより大きく発現す

る条件を明らかにし, 客土施工畑で作物生産性を回復・向上させるためには, どのような有機物管理が望ましいかについて検討を行った。

2. 試験方法

(1) 枠試験

道立北見農業試験場内に設置されたコンクリート製大型無底枠(3m²)に, 1992年春, 表層多腐植質黒ボク土の表土を深さ0.3mまで充填した。ここに軽石流堆積物

北海道立北見農業試験場 〒099-1496 北海道常呂郡訓子府町字弥生 52, 現在 * 中央農試 (〒069-1395 夕張郡長沼町東 6 北 15),
 ** 十勝農試, *** 上川農試, **** 天北農試
 キーワード: 客土, 堆肥, 緑肥, 収量回復

表-1 枠試験における処理の内容

Table 1 The treatment in the frame experiment

処理区	処理内容	(* 現物重)
無客土		
客土 10 cm	軽石流堆積物を 10 cm 深施用後, 原土 20 cm 深と混合。以下の区も同じ。	
客土+堆肥	客土施工時に「敷藁・作物残渣・牛糞混合堆肥」を 4 kg m^{-2} 施用	
客土+緑肥	初年目収穫後にアカクローバ 170 g m^{-2} 施用	
客土+N 増	基肥に $\text{N} 2 \text{ g m}^{-2}$ 増施 (バレイショは 4 g m^{-2})	

表-2 枠試験における有機物施用区の乾物すき込み量およびすき込み養分量

Table 2 The amount of applied organic matter and inorganic compositions in the frame experiment

有機物	乾物鋤込み量 (g m^{-2})	付加された養分量 (g m^{-2})				
		N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
堆肥	800	12.9	6.8	7.0	8.5	2.5
緑肥	484	11.2	2.4	4.0	8.3	2.1

表-3 圃場試験における有機物施用区の処理内容

Table 3 The treatment of organic matter and supplement N application in the field experiment

処理区名	客土量 cm	有機物種類と現物施用量 (Mgha^{-1}) または N 追肥量 (N kg ha^{-1}) (該当する作物と追肥した月/日)
堆肥 4t	10	牛糞麦稈堆肥
堆肥 8t	10	〃
バーク 4t	10	バーク堆肥
緑肥 3t	10	エン麦緑肥
N 追肥	10	置戸: N 63 (テンサイ 7/14) N 30 (バレイショ 7/18, コムギ 4/26) 留辺藁: N 30 (テンサイ 7/18) N 50 (アズキ 7/18)

を 0.1 m 置き土し, スコップで地表面から深さ約 0.3 m まで混和した。また, 客土に加えて, 堆肥, 緑肥を施用した処理区, および毎年の作付け時に窒素増肥する区を設けた (表-1, 2)。供試作物としてインゲンマメ, バレイショ, 秋コムギ, インゲンマメの順で毎年に作付けした。土壌分析の方法は, 前報の圃場試験と同様に行った。

(2) 圃場試験

礫質褐色低地土 (留辺藁町大富) と細粒褐色森林土 (置戸町北光) の各農家圃場に, 1993 年秋に客土を施工し, 1994~1996 年に作物栽培試験を行った。試験区は, 無客土区と客土厚を 5, 10, 15 cm とする客土処理を行った。また, 客土 10 cm に堆肥, バーク堆肥, 緑肥を施用した処理区, および窒素を追肥する区を設けた

(表-3)。施工方法は前報を参照されたい。両圃場における客入土と原土 (無客土区) の土壌分析値を表-4 に, 栽培作物は表-5 に示した。

(3) 根の分布調査

細粒褐色森林土において, 客土施工 3 年目 (1996 年) の夏に土壌断面における根の観察を行った。深さ 0.40 m までの土層断面を 0.08 m メッシュに切り, 根の密度を以下のように相対的に 5 段階で評価した。無客土区を基準として, 根量が極めて多かった 0~0.08 m と 0.08~0.16 m の層を「5」, 0.16~0.24 m と 0.24~0.32 m 土層を「2」, その下の 0.32~0.40 m 土層を「1」とし, これとの比較により各区の根張りを相対的に評価した。

表-4 圃場試験における処理区の土壤理化学性

Table 4 Soil physical and chemical properties in the field experiment

土壤 (圃場)	試料 または 処理区	pH (H ₂ O)	CEC ¹⁾ cmol (+) kg ⁻¹	交換性陽イオン			有効態 ²⁾ リン酸 P ₂ O ₅ mgkg ⁻¹	リン酸 吸収 係数	熱抽 ³⁾ 窒素 Nmgkg ⁻¹	腐植 ⁴⁾ mgkg ⁻¹
				CaO	MgO mgkg ⁻¹	K ₂ O				
細粒褐色 森林土 (置戸)	客入土	6.5	2.1	580	60	190	53	220	13	3
	無客土区	6.2	14.8	2530	245	398	262	530	56	24
	客土 10 cm 区	6.1	11.8	1990	181	283	166	510	47	20
礫質褐色 低地土 (留辺藁)	客入土	6.9	3.6	810	120	180	185	140	7	3
	無客土区	5.3	25.4	2750	375	242	381	770	123	77
	客土 10 cm 区	5.6	10.3	1540	220	226	419	300	46	14

土壤 (圃場)	処理区	容積重 Mg m ⁻³	三相分布 ⁴⁾			孔隙率		
			固相	液相 m ³ m ⁻³	気相	全	有効水 ⁵⁾ m ³ m ⁻³	高張力水 ⁶⁾
細粒褐色 森林土 (置戸)	無客土区	1.23	0.448	0.345	0.207	0.552	0.052	0.293
	客土 10 cm 区	1.04	0.404	0.341	0.256	0.596	0.075	0.266
礫質褐色 低地土 (留辺藁)	無客土区	0.86	0.362	0.503	0.135	0.639	0.072	0.064
	客土 10 cm 区	1.07	0.432	0.464	0.104	0.568	0.114	0.153

¹⁾ 陽イオン交換容量 ²⁾ Truog 法 ³⁾ オートクレーブ法による熱水抽出性窒素

⁴⁾ -6.23 kPa における値 ⁵⁾ -6.23~ -98.8 kPa (pF 1.8~3.0) ⁶⁾ -98.8 kPa 以下 (pF 3.0 以上)

表-5 圃場試験における供試作物と品種

Table 5 A crop type and variety cultivated in the field experiment

試験年	細粒褐色森林土(置戸)	礫質褐色低地土(留辺藁)
1994	テンサイ「スターヒル」	アズキ「エリモショウズ」
1995	バレイショ「男爵イモ」	テンサイ「スターヒル」
1996	秋コムギ「チホクコムギ」	インゲンマメ「大福」

3. 試験結果

(1) 黒ボク土(梓試験)

施工後4年目の収穫跡地の土壤分析値を表-6に示した。客土区は原土(黒ボク土)に比べて腐植含量や交換性カルシウム、CECが大きく低下した。熱水抽出性窒素も低下したがその程度は小さかった。有効態リン酸はむしろ増加した。

客土区の作物収量と窒素集積量を表-7に示した。客土区の収量は、無客土区に比べて施工後1,2年目には20%前後、3,4年目には約7%減収し、作物の窒素集積量も1,2年目は大幅に低下した。緑肥を施用した区では初年目のみ無客土区なみの収量が得られた。堆肥4t区では初年目に無客土区以上の収量が得られ、2~3年目には

も無客土区の収量には及ばないものの客土のみの区に比べて増収する傾向が見られた。

これらのことから、客土によって肥沃度が低下した圃場では、有機物を施用することで作物収量の低下を回避する可能性が示された。また、窒素の増肥によっても収量性が無客土区並に回復したことから、堆肥の効果の大きな部分が窒素の肥効に由来すると考えられた。

(2) 細粒褐色森林土(置戸)

細粒褐色森林土における3年間の生育・収量調査結果を表-8に示した。客土5cm及び10cm区では、初年目のテンサイの生育が抑制されたが、収穫期の茎葉がやや増収する傾向があった。2年目のバレイショと3年目の秋コムギの収量は無客土に比べ10%程度高まった。これは、前報で示したような土壤物理性の改善が、養肥分

表-6 黒ボク土 (枠試験) における処理区の土壌化学性

Table 6 Soil chemical properties in the frame experiment

分析時期	試料 または 処理区	pH (H ₂ O)	CEC ¹⁾ cmol (+) kg ⁻¹	交換性陽イオン			有効態 ²⁾ リン酸 P ₂ O ₅ mgkg ⁻¹	熱抽 ³⁾ 窒素 Nmgkg ⁻¹	腐植 mgkg ⁻¹	全窒素 mgkg ⁻¹
				CaO	MgO mgkg ⁻¹	K ₂ O				
施行時	客入土	6.5	5.0	300	97	96	110	—	—	0.25
	原土	5.6	38.7	1830	147	153	150	—	—	4.27
3年目 跡地	無客土	5.2	23.1	2060	148	345	200	126	90	—
	客土10cm	5.2	14.2	1350	142	333	286	103	52	—
	客土+堆肥	5.3	16.0	1560	167	372	384	113	59	—
	客土+緑肥	5.2	16.0	1510	150	370	338	101	58	—

¹⁾ 陽イオン交換容量 ²⁾ Truog 法 ³⁾ オートクレーブ法による熱水抽出性窒素

表-7 黒ボク土 (枠試験) における作物収量と窒素集積量

Table 7 Crop yield and the amount of N accumulation in the frame experiment

処理区	作物収量 ¹⁾ (g m ⁻²)				N 集積量 ²⁾ (g m ⁻²)		
	1年目 インゲンマメ	2年目 バレイショ	3年目 秋コムギ	4年目 インゲンマメ	1年目 インゲンマメ	2年目 バレイショ	3年目 秋コムギ
無客土	199	213	380	136	5.2	7.6	11.3
客土10cm	164	169	353	127	4.4	5.7	10.5
客土+堆肥	242	186	375	158	7.3	6.6	11.8
客土+緑肥 ³⁾	—	217	349	144	—	7.5	12.4
客土+N増	200	204	349	162	5.8	7.9	11.4

¹⁾ 収量は、インゲンマメと秋コムギは子実重、バレイショは上イモ重。

²⁾ N 集積量は、インゲンマメは子実+莢莖、バレイショは塊茎、秋コムギは子実+莖葉での値。

³⁾ 緑肥施用効果を経年で見ると、他の区より1年遅れで比較すること。

の希釈による負の影響をカバーしたためと考えられる。客土15cm区では、各年とも収量の増加が見られず、無客土区と同等かあるいは下回った。表-9には3年目の秋コムギの根の相対的な密度を示した。客土15m区では、客入土および客入土と原土が混合した土層と、客入土をほとんど含まない0.20m以下の土層との界面で根の伸長が密な部分があった。これらの界面では土壌が膨軟で崩れ易い状態で、根が伸長しやすい条件であったと考えられる。このため、0.16~0.32m土層の根密度は他の区よりやや多くなったと判断された。

表-8の有機物施用処理について見ると、堆肥4t区では、客土10cm区と比べて増収効果が明らかでなかった。テンサイと秋コムギでは生育後半の伸びが見られず、バレイショは6月末の早い時期から客土10cm区を下回る生育となった。収穫期におけるテンサイの根中糖分含有率、バレイショでん粉価も堆肥4t区がやや低かった。

堆肥8t区では、2年目のバレイショを除いて増収となった。堆肥施用でバレイショの生育が停滞した要因は明らかではないが、一般にバレイショでは窒素の過剰施用により倒伏が早まり、塊茎の肥大が阻害される例がある。バレイショのでん粉価は堆肥8t区で明らかに低下しており、このことから2年目においても当初施用した堆肥由来の窒素を過剰に吸収した可能性が強い。初年目のテンサイも糖分含有率が若干低下しており、堆肥由来の過剰な窒素供給が品質に悪影響を及ぼしたと考えられる。土壌断面調査の結果では、堆肥8t区では堆肥由来と思われる黒色の有機物片が認められ、その部分で作物根の密度が高いことが観察されており、0.24~0.32m土層の根の発達が無客土よりも良好であった。

パーク4t区では、客土による減収を補償する効果が小さく、堆肥4t区はもとより、客土10cmのみと比較してもテンサイや秋コムギの収量が劣った。パーク堆肥は養分補給効果が一般に低いといわれており、施用量が

表-8 細粒褐色森林土（置戸）における作物の生育と収量・品質および窒素集積量
Table 8 Crop yield and N uptake in the field experiment (the field of Fine-textured Brown Forest soils)

テンサイ (1994年)	8月1日		10月20日			
	乾物重 Mgha ⁻¹	茎葉重 Mgha ⁻¹	根重 Mgha ⁻¹	根中糖分 %	糖量 Mgha ⁻¹	N集積量 kg ha ⁻¹
無客土	10.3	32.6	55.4	15.7	8.67	177
客土5cm	7.6	33.5	55.6	16.1	8.95	193
客土10cm	7.3	35.1	55.4	16.1	8.99	230
客土15cm	6.9	29.9	51.1	15.6	7.99	161
堆肥4t	11.0	32.8	54.1	14.8	8.00	205
堆肥8t	11.3	51.6	61.9	13.7	8.45	318
バーク4t	7.2	27.2	46.7	16.3	7.61	142
緑肥3t	8.2	24.1	60.6	16.0	9.69	225
N追肥	7.4	35.4	62.5	15.6	9.75	210

バレイショ (1995年)	6月28日		9月1日		
	茎長 cm	乾物重 Mgha ⁻¹	上イモ重 Mgha ⁻¹	でん粉価 %	でん粉重 Mgha ⁻¹
無客土	15.9	0.45	45.0	13.9	5.80
客土5cm	14.7	0.38	52.5	13.6	6.61
客土10cm	17.1	0.43	50.6	14.1	6.62
客土15cm	18.2	0.50	46.3	15.3	6.61
堆肥4t	14.5	0.37	51.8	13.6	5.28
堆肥8t	16.2	0.36	42.5	12.4	4.83
バーク4t	24.0	0.46	51.0	13.9	6.57
緑肥3t	15.1	0.42	52.0	14.4	6.99
N追肥	19.5	0.53	54.1	14.1	7.07

秋コムギ (1996年)	4月26日	6月20日	8月7日			
	乾物重 Mgha ⁻¹	乾物重 Mgha ⁻¹	茎葉重 Mgha ⁻¹	子実重 Mgha ⁻¹	穂数 本 m ⁻²	N集積量 kg ha ⁻¹
無客土	0.48	3.53	5.01	3.05	533	93
客土5cm	0.51	4.04	5.66	3.39	546	117
客土10cm	0.46	3.71	5.75	3.37	524	118
客土15cm	0.48	3.42	4.83	2.88	511	94
堆肥4t	0.52	3.66	5.00	3.40	533	111
堆肥8t	0.53	3.90	6.65	3.84	581	142
バーク4t	0.41	3.78	5.51	3.21	502	109
緑肥3t	0.50	3.55	5.25	3.13	537	101
N追肥	0.49	3.76	6.07	3.61	530	118

40 Mgha⁻¹では充分な上壤生産力の回復ができなかった可能性がある。このため、客土畑の肥沃度低下対策としては、麦稈や敷わらを主体とした一般の堆肥の方がより好ましいと考えられる。

緑肥3t区では、初年目に10%以上の増収をもたらした

が、その効果は年次を経るに従い急速に低下した。緑肥は易分解性の有機物を多く含むため分解が比較的速やかに進み、効果が持続しないと考えられた。

(3) 礫質褐色低地土（留辺蘂）

礫質褐色低地土では、表-10に示したように、客土区

表-9 細粒褐色森林土(置戸)の断面観察による土壌中コムギ根の相対的密度

Table 9 The relative index of wheat root density on the soil profile estimated by observation at the field of Fine-textured Brown Forest soils.

深さ (m)	無客土 (基準)	客土 5cm 区	客土 10cm 区	客土 15cm 区	堆肥 8t 区
0.00~0.08	5	5	5	5	5
0.08~0.16	5	5	5	5	5
0.16~0.24	2	2	2	3	2
0.24~0.32	2	2	2	3	3
0.32~0.40	1	1	1	1	1

の作物収量が3年間を通して無客土区より低下しており、その程度は客土量が多い程大きく、特に初年目のアズキで減収が最も激しかった。2年目の客土5cm区では、テンサイの根重は無客土区並に回復する傾向を示したが、3年目のインゲンマメでは明らかでなかった。このことから、客土による養肥分希釈の影響は、根圏の浅い豆類がより受けやすいと推察された。また、客土区では、作物生育の後半の伸長量が少ないことや、窒素集積量が大幅に低下していることから、窒素肥沃度の低下による影響が大きいと判断された。

有機物施用の効果について見ると、堆肥4t区でも初年目の大幅な減収は回避されたが、2~3年目には客土のみの区より改善されたものの無客土区の収量には及ばなかった。窒素集積量についても同様であり、窒素肥沃度の十分な回復が成されていないと推定された。堆肥8t区では初年目の数値が得られていないが、堆肥4t区を上回る収量回復効果を示し、3年目には無客土と比較しても10%程度増収する結果となった。また窒素、リン酸の集積量も高まっており、根張りが良くなったことを反映すると考えられる。パーク4t区での回復効果は堆肥4t区と比較して小さく、緑肥3t区の収量回復効果が初年目のみであったことは細粒褐色森林土と同様の傾向である。窒素の追肥は収量を高めたが、その程度は堆肥施用に比べ小さいと判断された。また、具体的データはないが、3年目のインゲンマメ(大福)の根を生育盛期に観察した結果、根全体の発達程度は、客土量が多くなるに従って根量が減っていると思われた。堆肥8t区やパーク4t区では根の生育が促進される傾向があった。

以上の結果から、客土畑に対する堆肥の施工時80 Mgha⁻¹以上の多量施用は、窒素を中心とする土壌の養分供給量を増加させ、作物の根系を発達させると共に生育を促進し、その効果は少なくとも施用後3年目までは持続することが明らかとなった。

4. 考 察

(1) 客土効果の土壌間差異

軽石流堆積物には無機養分や有機物はほとんど含まれていない。このため、前報で示したように、客土後の単位土壌重量当たりの養分量は希釈により明らかに低下する。しかし、作土全体に存在する養肥分の総量は客土によっても変わらないはずである。枠試験では一般に根張りが良好となり、希釈された作土全体に根が張られていると考えられるが、それにもかかわらず客土区で減収したことは、養分希釈の影響が大きかったことを示す。枠試験では黒ボク土の表土を用いたので、物理性の改善効果はほとんど期待できないことから、土壌化学性低下の影響、特に窒素肥沃度の低下が大きく影響し、20%もの減収を招いたと考えられる。これに対して、細粒褐色森林土のように、原土の容積重が1.20 Mgm⁻³、有効水孔隙量が0.05 m³m⁻³程度、土壌硬度が25と、物理性がかなり劣悪な土壌では、有機物施用を併用しなくとも客土のみによって増収が得られた。一方、礫質褐色低地土では、有効水孔隙量は小さいものの、水分供給が作物生育を規制する状況になっておらず、土壌硬度や排水条件が細粒褐色森林土よりも良好であることなど、土壌物理性が比較的良好なため、客土による増収効果が得られなかったものと考えた。

客土が作物の生育・収量面で良い影響をもたらすかどうかは、主に原土の土壌物理性がどの程度まで生育を規制しているかによって決まる。言い換えると、客土によって肥沃度が低下しても、物理性の改善効果が大きければ、作物生育に対してプラスの効果を得られることになる。試験を行った土壌間の物理性の比較から、作物の増収をもたらす客土効果が得られるか否かは、原土の物理性で、容積重が1.20と0.80 Mgm⁻³、固相率が0.45と0.30 m³m⁻³、土壌硬度が25と20の間に、その分岐点が

表-10 礫質褐色低地土（留辺藁）における作物の生育と収量・品質および窒素集積量
 Table 10 Crop yield and N uptake in the field experiment (the field of Gravelly Brown Lowland soils)

アズキ (1994年)	7月7日	8月3日	9月22日				
	乾物重 Mgha ⁻¹	乾物重 Mgha ⁻¹	茎葉重 Mgha ⁻¹	子実重 Mgha ⁻¹	莢数 ヶ 株 ⁻¹	百粒重 g	N 集積量 kg ha ⁻¹
無客土	111	259	1.76	4.69	74.6	13.3	174
客土 5cm	142	245	1.50	3.88	74.2	13.6	153
客土 10cm	143	242	1.71	2.72	57.8	13.6	124
客土 15cm	142	219	1.76	3.00	81.9	13.3	103
堆肥 4t	107	293	3.03	4.82	106.9	13.6	203
バーク 4t	160	332	1.97	1.88	57.4	11.6	80
緑肥 3t	151	234	1.62	3.87	78.1	14.7	151
N 追肥	148	237	1.37	2.72	53.4	14.6	110

バレイショ (1995年)	6月28日	8月21日	10月20日				
	乾物重 Mgha ⁻¹	乾物重 Mgha ⁻¹	茎葉重 Mgha ⁻¹	根重 Mgha ⁻¹	根中糖分 %	糖量 Mgha ⁻¹	N 集積量 kg ha ⁻¹
無客土	2.30	9.57	20.1	53.8	18.3	9.85	148
客土 5cm	2.64	11.18	19.6	55.3	18.1	10.01	139
客土 10cm	2.42	9.30	14.9	47.8	18.1	8.65	120
客土 15cm	2.21	9.58	10.5	36.4	18.2	6.63	80
堆肥 4t	2.74	12.80	18.2	49.2	18.9	9.30	126
堆肥 8t	2.80	13.99	20.0	53.8	18.3	9.85	148
バーク 4t	2.73	10.93	16.4	52.5	18.4	9.66	131
緑肥 3t	2.89	13.56	15.8	47.6	18.1	8.61	135
N 追肥	2.60	12.14	14.3	50.1	18.0	9.02	129

インゲンマメ (1996年)	7月15日	9月25日				
	莖長 cm	茎葉重 Mgha ⁻¹	子実重 Mgha ⁻¹	莢数 ヶ 株 ⁻¹	百粒重 g	N 集積量 kg ha ⁻¹
無客土	155	1.76	3.49	135	89.1	105
客土 5cm	151	1.57	3.12	116	82.9	93
客土 10cm	142	1.51	3.18	101	86.0	99
客土 15cm	129	1.30	2.72	93	86.1	82
堆肥 4t	148	1.53	3.30	119	90.7	101
堆肥 8t	160	1.72	3.80	120	89.8	120
バーク 4t	151	1.54	3.11	121	84.9	92
緑肥 3t	140	1.44	2.81	116	82.2	81

注) 1994年の堆肥8t区は虫害のため調査不能。1996年のN追肥区は処理を設定せず。

であると推定したが、具体的な改善指針として示すには至らなかった。

ところで、従来客土の施工に当たっては、客土材をできるだけ原土と均一に混合することが望ましいとされてきたが、それに対し、置戸試験圃の断面調査結果（前報）から、良く混じらない客入土と原土の界面が土壌硬度の

低下に効果的であり、かつ、その位置で作物根の伸長が盛んであった。この部分が水路として機能することも予想され、適度に混ざらない部分のあることが物理性改善の効果をより大きくする可能性が考えられた。客入土を完全に混合せず、「不均一性」と「界面」を維持することの有効性についても、今後目を向ける必要がある。

(2) 客土施工畑への有機物施用の意義

礫質褐色低地土のように、客土によって肥沃度が低下し、ひいては生産性低下に結びつく恐れの大い土壤条件下では、収量低下を回避するためには少なくとも堆肥 40 Mgha⁻¹ 程度の施用が必要と考えられるが、長期的に見れば堆肥 80 Mgha⁻¹ の施用がより効果的である。一方、客土単独で増収が得られた細粒褐色森林土では、堆肥 40 Mgha⁻¹ 施用では明確な増収効果が見られない。通常の畑条件では堆肥 40 Mgha⁻¹ の施用で窒素 40 kg ha⁻¹ 程度の肥効が期待できるとされるが、客土区での窒素 30~63 kg ha⁻¹ 程度の追肥では十分な増収効果が見られなかったことから、堆肥 40 Mgha⁻¹ の施用では不十分とも考えられる。大塚ら(1994)が報告しているように、有機物をほとんど含まない新期の火山灰では当初有機物の集積が急速に進むという考えから、軽石流堆積物と混合された有機物は安定腐植として土壤に蓄積される割合が高く、堆肥の窒素肥効を小さくする方向で働いた可能性もある。従って、堆肥 40 Mgha⁻¹ 程度の施用は、客土に伴う肥沃度低下を補填する対症療法的な対策と位置づけ、北海道施肥標準(北海道農政部, 1995)に示されているような減肥対応を行わないことが適当と考えた。ただし、堆肥 80 Mgha⁻¹ の施用では2年目までテンサイの糖分やバレイショのでん粉価を低下させたので、40 Mgha⁻¹ を越える量については減肥の対象とする必要がある。

施用する有機物としてのバーク堆肥の効果は、堆肥と比較して小さく、特に初年目には客土単独施用よりも減収する傾向があった。このことは、C/N比が高いなどバーク堆肥そのものの品質面に問題を抱えていたことも考えられるが、バーク堆肥が分解する過程で窒素が利用され、施用年においては窒素飢餓のような状態になった可能性が高い。施用後2年目には、バーク堆肥の分解が進むことによって収量低下は回復したものと判断された。ただし現地試験の結果(表-8, 10)では、施用後3年目には作物収量や窒素集積量が客土のみの区と比較してそれほど高まっていなかったことから、バーク堆肥の効果持続年限、特に施用後3年目以降についてさらに検討を続ける必要がある。

緑肥については、枠試験および圃場試験の結果で明らかのように、鋤込んだ初年目のみ効果が大きく(表-7, 8, 10)、その効果は堆肥 40 Mgha⁻¹ よりも高いと思われる。しかし2年目以降はその効果が判然としておらず、赤クローバやエンバクが共に易分解性の有機物として速やかに分解し、即効的な窒素養分として利用された結果であると考えられる。

一方、前報で示したように、本試験圃場での土壤微生物

物活性(α -グルコシダーゼ活性)は、客土のみでやや低下したが、堆肥の施用でより高まっており、各試験区の作物収量の変化傾向と一致する。東田ら(1996)は、土壤酵素活性は土壤の環境を総合的に反映したもので、作物、特にテンサイ収量との関連も認められると報告しており、有機物を施用した客土圃場で作物生産力が向上していることは疑いないと言える。

以上の結果から、客土に伴う肥沃度低下の影響を補償する対策として、40 Mgha⁻¹ 程度の堆肥施用が望ましく、80 Mgha⁻¹ では更に大きな効果が継続的に期待できる。また、施工初年目の収量の大きな落ち込みを回避するためには、施工直後の緑肥作物の導入が望ましい。堆肥の入手が困難な場合にも緑肥での対応が強く望まれるが、客土の施工は晩秋になることが多いので緑肥の生育量を確保することは難しく、この点で緑肥の利用は限られたものとならざるを得ないであろう。またバーク堆肥の利用は、作物生産の安定性から見て避けた方が良く判断される。これらの有機物による対策は、基本的に土壤(原土)の性質によらず一律に適応できると考えるが、特に客土による土壤物理性の改善効果が明らかでなく作物収量の低下が見込まれるような上壤では、多めの堆肥投入がより有効であると考えられる。

有機物施用による効果持続年限については、本試験では、施用後3年を経過しても上層内に堆肥由来と思われる有機物片が認められ、その部位では作物根の伸長が旺盛であった。また、施用後3年目でも堆肥の増収効果が認められた。三木(1993)は、北海道北部の灰色台地土と褐色森林土において、堆肥 100~200 Mgha⁻¹ の施用効果が7年目でも継続することを報告している。これは毎年耕起されない草地での研究であるが、本試験の場合でも作土の下層に存在する堆肥の分解は、それが数年で消滅するほど速いものではないと思われる。加えて、堆肥が存在する部位では根張りが良く、その根が分解して翌年の作物の根が伸びる膨軟な部位を提供するようなサイクルがあれば、堆肥の効果はかなり長い間期待できると考える。しかし、作土部分に施用された有機物は比較的速く分解されると推定されるため、客土施工時に40 Mgha⁻¹ 以上の堆肥を施用した場合でも、北海道施肥標準に示される毎年10 Mgha⁻¹ 程度の堆肥施用が特に望まれる。

以上の客土による作物収量の変化と有機物施用対策を、土壤タイプと土壤物理性の一般的な関係に対応させ、模式的にまとめて図-1に示した。土壤の作物生産性維持の面から大まかに判断するなら、台地土では客土時に40 kg ha⁻¹、火山性土では80 kg ha⁻¹の堆肥施用が望まれ、低地土では土壤物理性のレベルに応じて堆肥投入

土壌タイプ	原土(作土)の土壌物理性 ¹⁾	客土による作物増収効果	客土時に望まれる有機物施用対策	
台地土	悪 ↑ ↓ 良	増収 ↑ ↓ 減収	(堆肥)	(緑肥)
低地土			40Mgha ⁻¹ 程度 ²⁾	一律に必要
火山性土			80Mgha ⁻¹ 程度	

¹⁾ 作物生育に対する作土の容積重、固相率、土壌硬度、粘着性、砕土性、保水性等から見た総合的な物理性。

²⁾ 増収効果のある場合でも80Mgha⁻¹程度を施用することでさらに土壌生産力を高めることができる。

図-1 土壌特性に対応した客土後の作物増収効果と有機物施用対策

Fig. 1 Effect of soil dressing with PFD on crop yield at different soil types and a recommendation of manure application.

量を判断すべきと考えた。

5. おわりに

軽石流堆積物の客土は、オホーツク沿海の畑作地帯ではかなり普遍的に施工されている基盤整備の一つである。この背景には、劣悪な土壌物理性を示す畑土壌が広く分布していることが挙げられる。しかし、客土が一つのブームの如く行われる中で、客土によって必然的にもたらされることの多い施工後の生産力低下は、客土時に堆肥 40 Mgha⁻¹以上を施用することによって安定的に肥沃度低下の影響をカバーできることが明らかとなり、施工当年については緑肥の効果も認められた。一方、本試験の結果から客土による根圏の環境の変化と有機物施用の影響を、単に土層の理化学性変化や窒素収支から見

るのではなく、土壌微生物活性を用いて不均一な根圏環境の土壌を総合的に評価できる可能性が示された。堆肥の施用は従来より営農範疇での「土づくり」として行われてきたが、客土施工時の施用によって、客土のメリットを生かしつつ、生産性を維持・向上させる方向が見いだされた。こうした技術の確立で一層効率的に耕地生産力の向上を図ることが期待される。

謝 辞

本試験の実施にあたり、試験圃場を提供して下さった置戸町の森篤史氏と留辺蘂町の加藤昭義氏、並びに試験に協力いただいた両町の関係者と北海道網走支庁の皆様には心より感謝申し上げます。また、本稿の御校閲をいただいた中央農試農業土木部長前田要博士、同環境化学部長沢口正利博士、同奥村正敏研究員、並びに図作成に協力いただいた中央農試の北川巖研究員には、記して厚く謝意を表します。

引用文献

大塚雄雄・君和田健二・上原洋一 (1994) : 新鮮火山灰においてススキ、ササ、カシワの植物遺体から無菌的環境下で生成される腐植酸の生成過程, 土肥誌, 65, p. 629~636.

竹内晴信・東田修二・市川信雄・松原一實 (2000) : 軽石流堆積物客土畑における有機物施用効果 第1報 客土と有機物施用が土壌理化学性および微生物活性に及ぼす影響. 土壌の物理性, 84, p. 21~29.

東田修司・田村 元・山神正弘 (1996) : 畑土壌の微生物活性とその規制要因, 道立農試集報, 70, p. 17~26.

北海道農政部 (1995) : 北海道施肥標準

三木直倫 (1993) : 寒冷地における草地土壌の有機物並びに窒素の経年的動態とそれに基づく窒素施肥管理法に関する研究, 道立農試報告, 79, p. 62~65.

受稿年月日: 1999年11月8日

受理年月日: 2000年3月18日

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イシステム、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共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〉



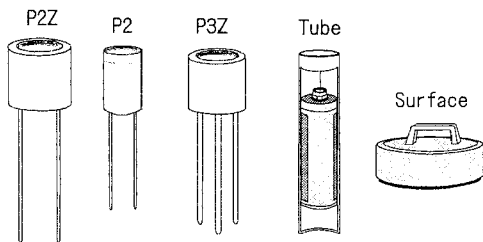
●特長

- 1) 迅速、非破壊の水分測定が可能で、サンプルを採取せずに連続測定が出来る。
- 2) 測定時間が約 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) 非測定物に影響を及ぼしたり破壊することがない。
- 5) 多様なプローブが用意されており各種物質に適用可能
- 6) 現場設置用システムのモジュールによる対応

●使用分野

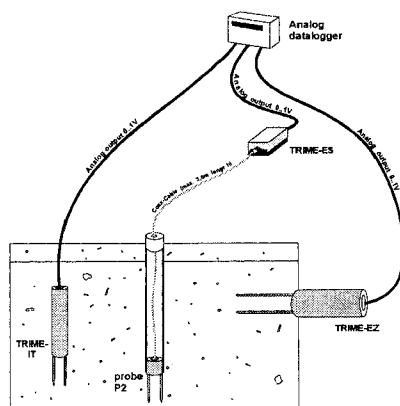
土壌、石材、穀物、また水による自然災害の常時モニタ、構造物や土壌の含水量モニターあるいは森林、水源地帯や農業計画の一環としての含水測定、モニターなど

【各種プローブ例】



☆当社主力製品 “ケミルミネッセンスアナライザー” (極微弱化学発光分析装置) は国内外で使用され、その応用分野も広がっています。また、表面エネルギー測定システムなどの製品も販売しております。

【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 応用計測機器グループ

〒211-0004 川崎市中原区新丸子東 2-897 ラボール新丸子 207
 TEL:044-411-1263 FAX:044-411-1839

★利府事業所 営業部

〒981-0134 宮城県利府町しらかし台 6-6-6
 TEL:022-356-6111 FAX:022-356-6120

足柄平野扇状地における不飽和帯水層の水分測定

濱田浩正*・二平 聡*・宮下雄次**

Measurement of Water Content in Unsaturated Aquifer in the Ashigara Alluvial Fan

Hiromasa HAMADA*・Satoshi NIHIRA* and Yuji MIYASHITA**

* National Research Institute of Agricultural Engineering

** Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

Abstract

Most of irrigated water in paddy fields infiltrates underground. This process, however, has not been clarified. In the case that groundwater table is deep, the measurement of water content in unsaturated aquifer has not been reported. We measured water content in unsaturated aquifer in the Ashigara Alluvial Fan using neutron moisture meter. As a result, there was no difference in the water content between in irrigation period and in non-irrigation. It was revealed that the infiltrated water from the paddy fields goes down, not increasing water content in unsaturated aquifer in the Ashigara Alluvial Fan.

Key words : Unsaturated Aquifer, Water Content, Neutron Moisture Meter, Groundwater

1. はじめに

扇状地は水資源が豊富なことから水田地帯が広がり、地下には良好な帯水層となる厚い砂礫層が発達している。水田にかんがいされた水の多くは地下に浸透し地下水をかん養するが、その浸透過程は明らかにされたとは言い難い状況である。特に、地下水面が地表から数 m の深さにある場合、地表から地下水面までの水分分布の測定例すらない。そこで、本研究では、地下水面が 10 m より深い扇状地で、中性子水分計を用いて、地表から地下水面下までの水分測定を実施した。その結果について報告する。

地表から 10 m 以深の深度までの水分分布を測定した例として、中野ら (1981) の研究がある。彼らはシラス地帯で地表から 15 m までの三相分布を測定しているが、扇状地での測定例や同一地点でかんがい期と非かんがい期に水分測定を実施した例はまだない。

2. 方 法

2.1 中性子水分計

中性子水分計は線源と検出部から構成され、水素が地層の主要元素に比べて 100 倍以上も高い中性子減速能をもつことを利用している。線源から放出された中性子は地層中の様々な元素の原子核と衝突し減速を繰り返して最後に熱中性子となるが、水素の原子核の減速効果は他の原子に比べて大きいため、線源から放出された中性子が熱中性子になる割合は地層中に含まれる水素原子の割合、すなわち水分率に支配される。この熱中性子を検出器で計測することにより地層中の水分の割合を測定し、土壌水分の深度分布を調べる方法を中性子水分検層という。

中性子水分計を使う場合、計数値と水分率の関係をあらかじめ求めておかなければならない。このキャリブレーション作業は、55 ガロン (約 200l) 入りのドラム缶に井戸と同じ口径と材質のパイプをたて、まわりに一定の水分状態に調整された試料を詰めた後、中性子水分計をパイプに挿入して熱中性子を計測する。試料には粘

* 農業工学研究所 〒305-8609 茨城県つくば市観音台 2-1-2, ** 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586
キーワード : 不飽和帯水層, 水分分布, 中性子水分計, 地下水

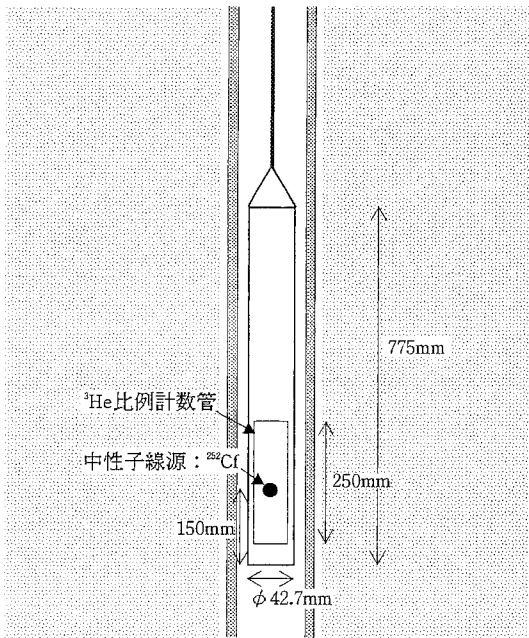


図-1 中性子水分計の構造

上、砂、礫が用いられる。解析には、線源の減衰を補正するために、計数値を標準計数スタンドによって得られた標準計数値で割った計数率が用いられる。試料の水分状態を変化させ、計数率と体積含水率の関係を図化しキャリブレーション式を求める。この式によって、現地で得られた計数率を体積含水率に換算することができ

る。キャリブレーションの作業はすでに確立されており、その手順に従って実施した(例えば、今泉 1996)。

今回の調査で使用した中性子水分計は、ソイルアンドロック社の挿入型 RI 水分計 (SRM-1 d×3) である。水分計の構造を図-1 に、計数率と体積含水率の関係を図-2 に示す。

2.2 試験地の概要

試験地として神奈川県足柄平野を選定した。足柄平野は神奈川県西部に位置し、酒匂川によって形成された長さ約 12 km、幅約 4 km の北西から南東にのびる長方形をした沖積平野である。平野には多くの水田が存在し、地下には豊富な地下水が胚胎されている(小沢ら、1982)。

図-3 に試験地の概要、図-4 に地質断面図を示す(神奈川県温泉地学研究所、1991)。足柄平野は礫層が広く分布し、それが良好な帯水層となっている。観測井は水田地帯で集落が点在している足柄平野の上流部に設定した(図-3)。観測井は、材質が塩ビパイプの VP75 (口径 75 mm) で、長さは 70 m、スクリーンの深度は、18~22 m、42~46 m、60~70 m である。観測井周辺の地質は 1 m 足らずの表土の下には数十 m の厚さの礫層が存在している。図-5 に観測井における地下水位の年変化の例を示す(開成町、1994)。地下水位は 3 月から上昇に転じ、かんがいが始まる 5 月以降急上昇する。8 月から 9 月に最高水位となった後は、水位が低下し 3 月に再び上昇する。地下水位の変化には降雨の影響は見られず、かんがいによる水位の上昇がみられる。地下水位の年変化は 30 年前から同じ傾向で推移しているの、不飽和帯水層の測

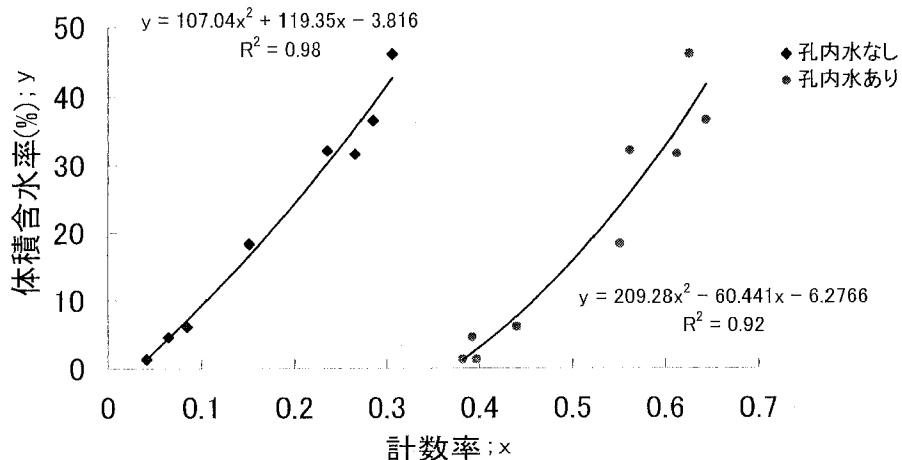


図-2 計数率と体積含水率の関係

孔内水なしは地下水面より上、ありは水面下での関係を示す。

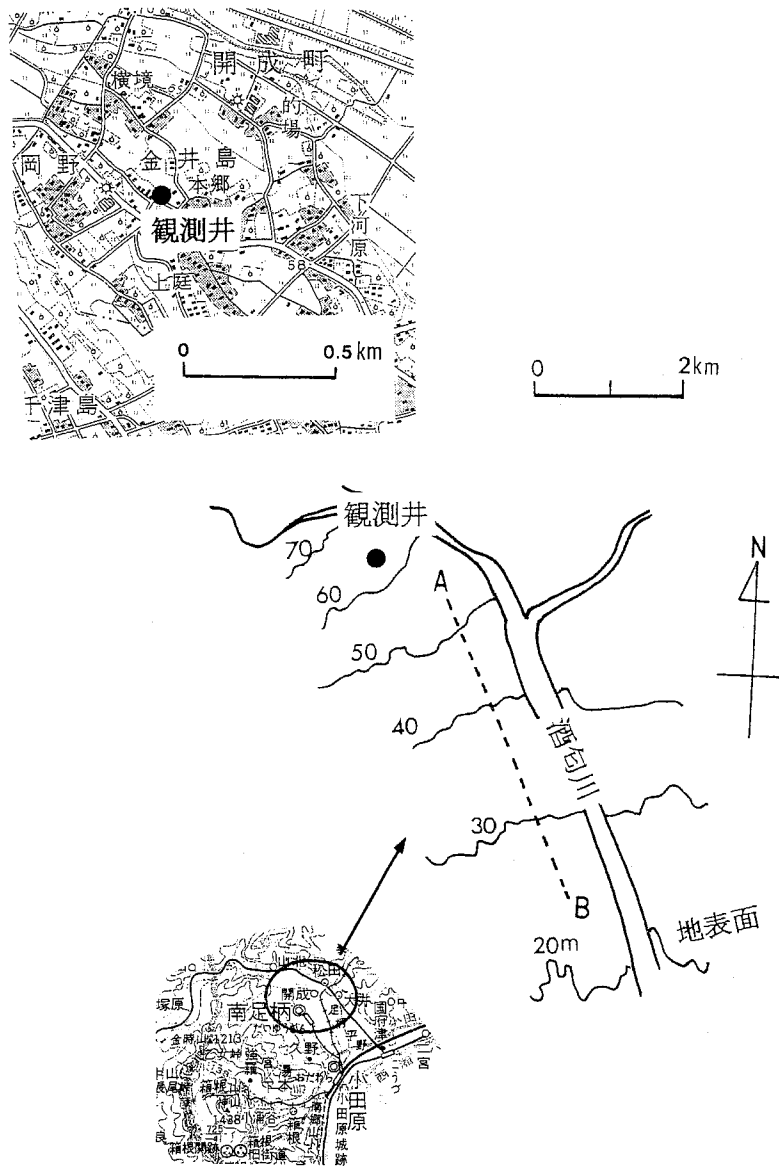


図-3 試験地の概要

定結果は年にかかわらずその季節の水分変化を反映しているものと考えられる（宮下，1999）。

水分測定は、この観測井に中性子水分計を挿入し実施した。調査は、かんがい期（1998年7月27日）と非かんがい期（1999年1月25日）に行った。水分測定は20mの深度から地表に向かって20cmごとに実施し、計測時間は1分間とした。

3. 結果および考察

図-6に調査結果を示す。深度は井戸の管頭から水分計の中心までの距離を表している。かんがい期の地下水位である13mより上では、地層中の水分分布には、かんがい期と非かんがい期で差が見られない。従って、水田からの浸透水は間隙中の水分率を増やすことなく、降下していることがわかる。中野（1991）は、厚く堆積した地層中で地下水面が深く上層から常に水のフラックスが

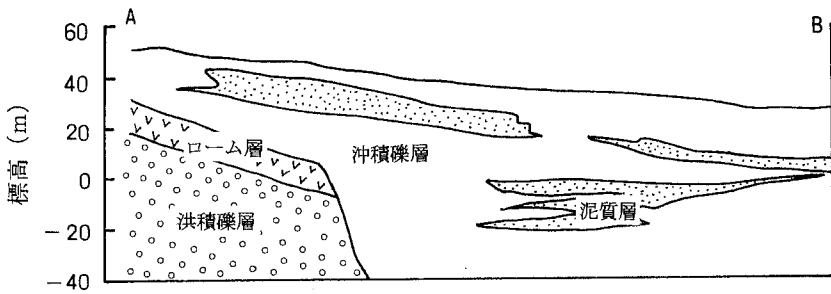


図-4 地質断面図

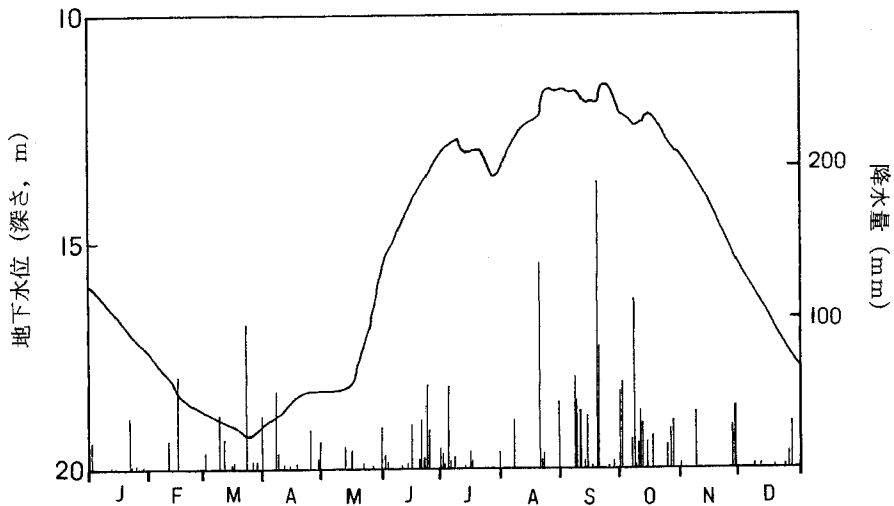


図-5 観測井における地下水位の変化(1991年)

与えられている時、体積含水率の年変化はせいぜい数%程度であるとしている。今回の調査では、表層からの水の供給の有無にかかわらず、体積含水率には変化が見られなかった。

また、13mよりも上部の体積含水率はかんがい期、非かんがい期ともに約20%で推移しているのに対して、13mから17mまでの層では非かんがい期に約30%で推移している。これは13mよりも上部が地下水面下になることはほとんどないが、13mから17mでは毎年かんがい期には地下水面下になり飽和状態となる。土壌は、同じポテンシャルでは吸水過程よりも脱水過程の方が、水分量が多いことから、地下水位低下期には13mから17mではヒステリシス現象によって、体積含水率が約30%になっているものと考えられる。

地下水面下では体積含水率が約50%であることから、この値が地層の間隙率であると考えられる。不飽和帯の体積含水率が20~30%なので、飽和度は40~60%と算

出され、かなりの不飽和状態であることがわかる。一般に、砂礫などの透水性の良い土壌の上に透水性の悪い土壌が載っている場合、下層は不飽和状態になることが知られている(山崎, 1971)。水田土壌の飽和透水係数は $10^{-5} \sim 10^{-6}$ cm/s、下層の礫層の透水係数が 10^{-1} cm/sのオーダーであることから(横山ら, 1975)、下層が不飽和状態であることは十分に考えられることであり、今回の中性子水分検層によって、それが確認された。

また、かんがい期と非かんがい期で上層から礫層へ供給される水フラックスが異なっているにもかかわらず、礫層の水分分布がほぼ等しかったことに関しては以下のように考察した。下方への水移動が定常状態であったと仮定すると、礫層は下方への水フラックスに等しい不飽和透水係数を有する水分分布になるものと考えられる。一方、礫などの粗粒土はごくわずかの水分率の変化で不飽和透水係数が大きく変動することが報告されている(中野, 1991)。このことから、礫層を通過する水フラッ

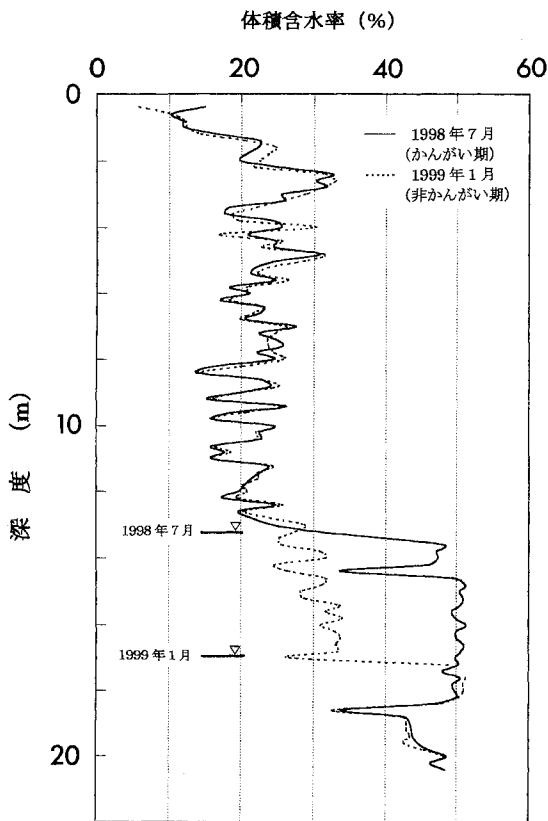


図-6 体積含水率の深度分布

クスが異なっていたにもかかわらず、かんがい期と非かんがい期で水分分布には差がなかったものと思われる。

今回の調査によって、上層の透水性が悪く下層の透水性が良い扇状地では、地下水水面が深い時、上層からの浸透水は地層中の水分率を増やすことなく降下している実態を明らかにすることができた。

4. まとめ

足柄平野の扇状地の不飽和帯水層において、かんがい期と非かんがい期に、中性子水分検層を実施した。得られた結果は、次の通りである。

1) 地下水水面より常に上にある不飽和帯では、かんがい期と非かんがい期で、体積含水率に差が見られなかつ

たことから、水田からの浸透水は地層中の水分率を増やすことなく浸透していることが明らかになった。

2) かんがい期には地下水水面で、非かんがい期には不飽和状態になる地層の体積含水率は、常に水面よりも上にある層よりも値が高かった。この原因に土のヒステリシス現象が考えられた。

3) 表土とその下の礫層の透水係数から礫層の飽和度は低いことが想定されたが、中性子水分検層によってそれが確認された。

5. 謝 辞

今回の調査を実施するに当たりまして、神奈川県温泉地学研究所の横山尚秀博士のご協力を得ました。また、農業工学研究所の原口暢朗博士には、貴重なご助言をいただきました。記して感謝の意を表します。

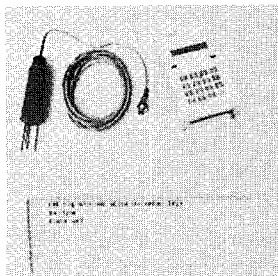
参 考 文 献

- 今泉眞之 (1996) : 中性子水分検層による第三紀層泥岩地すべり地のすべり面の判定方法, 地すべり, 32-4: 9~18.
- 開成町 (1994) : 開成町史自然編, p. 370.
- 神奈川県温泉地学研究所 (1991) : 平成2年度地下地質資料一県西地域一, 神奈川県.
- 宮下雄次 (1999) : 足柄平野および大磯丘陵における過去30年間の地下水位観測結果, 神奈川県温泉地学研究所報告, 31-1: 57~73.
- 中野政詩・雨宮 悠・武藤 勲・塩沢 昌・中村忠春 (1981) : 宮崎県東諸県郡塚原シラス台地の水文地質構造, 農土論集, 93: 7~12.
- 中野政詩 (1991) : 土の物質移動学, p. 15~44, 東京大学出版会, 東京.
- 小沢 清・荻野喜作・横山尚秀 (1982) : 足柄平野の地質 (その1), 神奈川県温泉地学研究所報告, 13: 193~200.
- 山崎不二夫 (1971) : 農地工学 (上), p. 82~84, 東京大学出版会, 東京.
- 横山尚秀・荻野喜作・加藤 浩・大木靖衛 (1975) : 足柄平野の地下水 (その2), 神奈川県温泉地学研究所報告, 6: 133~140.

受稿年月日: 2000年2月22日

受理年月日: 2000年4月24日

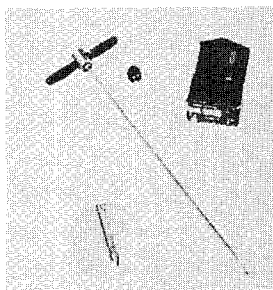
DIK-321A FDR水分計 自記タイプ



本機はプローブ（水分センサ）、パワーユニット、データロガーからの構成からなり、土壌の体積含水率を長期間連続してデータを記録することができます。また電源の無い場所でもバッテリーにより長期間無電源でご使用頂けます。

DIK-500A 土壌酸素計（携帯型）

土壌ガス調査用



深さ80cmまでの土壌中の酸素量を測定します。ガス採取管を測定する深さまで押し込み、その後少し引き上げ採取口を開きます。次に酸素測定器をガス採取管につなぎ付属のポンプを使って酸素を測定器に送り計測します。本器は土壌酸素の他、土壌中の汚染ガス調査にも最適です。

DIK-100A ハンドオーガー

土壌汚染調査用



土壌の特長（例：砂質・粘土質・硬質・軟質）に合わせた各種の刃先を用意しています。調査場所に合わせたオーガを使用する事が出来るので、簡単にサンプリングやボーリングが行えます。継柄を使用することにより5m～8m程度までの調査も行えます。



ダイキ

大起理化工業株式会社

〒116-0011 東京都荒川区西尾久7-60-3 TEL. 03-3810-2181

アイスレンズの成長面近傍の微視的観察とその生成モデル

渡辺晋生*

Microscopic Observation Near Growth Surface of Ice Lens and the Ice Lensing Model.

Kunio WATANABE

Faculty of Bioresources, Mie University, 1515 Kamihama Tsu, Japan

1. はじめに

上が冷やされ凍結しつつあるとき、未凍土中の水が凍結面付近に集まりレンズ状の氷として析出することがある。この凸レンズ状をした析出氷をアイスレンズという(図1)。アイスレンズの特徴の一つに、発生と成長を繰り返し、とびとびに層をなすことがある。アイスレンズの成長は地表を数十cmも隆起させることがあり(凍上現象)、農地の灌漑排水系や道路、建物の基礎に深刻な被害を与える。また、アイスレンズの生成にともなう地表付近への土中水の移動は、地盤の軟弱化や塩の集積を引き起こすこともある。こうした凍結害を防ぐためにアイスレンズの生成機構の解明が求められている。またアイスレンズは、土だけでなく多くの多孔質体中(例えば、広井・水崎, 1991; Willen and Dash, 1995)にも生じる。このため、アイスレンズの生成機構の解明は物理化学、生物(Mazur, 1970; Wisniewski *et al.*, 1997)、材料工学、食品加工(Thyholt and Isaksson, 1997)、医学、宇宙開発など様々な分野からも求められている。

アイスレンズの生成による凍上現象に関する研究は、Conte (1850) や Taber (1929) の先駆的な研究に始まり、今日までも数多くなされている。現在、提唱されている主なアイスレンズの生成理論には毛管理論(Sill and Skapski, 1956; Penner, 1966)、二次凍上理論(Miller, 1972)、氷晶析出能概念(Konrad and Morgenstern, 1980)を用いた理論などがある。中でも、Miller (1972) の二次凍上理論は、アイスレンズのとびとびな層の生成を扱える数少ない理論であり、多くの研究例や改良が報告されている(例えば Miller and Koslow, 1980; Gilpin, 1980)。二次凍上理論は、アイスレンズと凍結面の間に部分的凍結領域(フローズンフリ

ンジ)が存在するとし、この領域の各相の応力を計算することで、アイスレンズのとびとびの生成を説明している。しかし、このフローズンフリンジの存在は実験的には確認されておらず、また計算に用いる応力分配関数も理論的には説明されていない。

現在、アイスレンズの生成に関する研究の問題点として、次の二点があげられる。第一に、凍結面近傍の微細構造、つまりフローズンフリンジ中の水の状態を明らかにすることである。次に、とびとびに発生と成長を繰り返すアイスレンズの動的な生成機構を説明することである。これらの問題点を解明するために、筆者らは種々のアイスレンズ生成実験を行い(渡辺ら, 1997; Watanabe *et al.*, 1997; 武藤ら, 1998; Mutou *et al.*, 1998; 渡辺ら, 1999a; Muto *et al.*, 1999; Watanabe and Mizoguchi, 2000; 武藤ら, 2000)、アイスレンズの生成モデル(渡辺ら, 1999b; Watanabe *et al.*, 2000)を考えてきた。本報では、これらの研究を紹介し、現在までに得られた成果と問題点をまとめる。

2. 一方向凍結実験

2.1 試料と装置

土粒子はその大きさや形、電気的性質などが不均一である。またアイスレンズの成長は、水分移動を伴う複雑な結晶成長現象である。アイスレンズの生成機構を理解するには、こうした不均一性や複雑さをとりのぞいた理想的な試料の凍結を、連続的かつ微視的に直接観察することが有効である。そこで、筆者らは一方向凍結装置を作製し、藤森土と粒径が均一なガラス粉粒体、およびガラス粉粒体混合試料を用いて凍結実験を行った。

藤森土は凍上性に富むことで知られる実際の土、均一粒径ガラス粉粒体(図2)は直径の揃った(直径=2.2,

*三重大学生物資源学部, 〒514-8507 津市上浜町1515

キーワード: アイスレンズ, 凍上, その場観察, 一方向凍結, 多孔質体

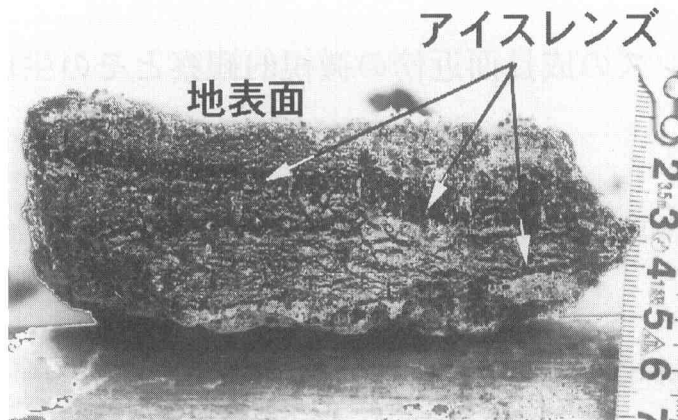


図-1 土中に見られるアイスレンズ。

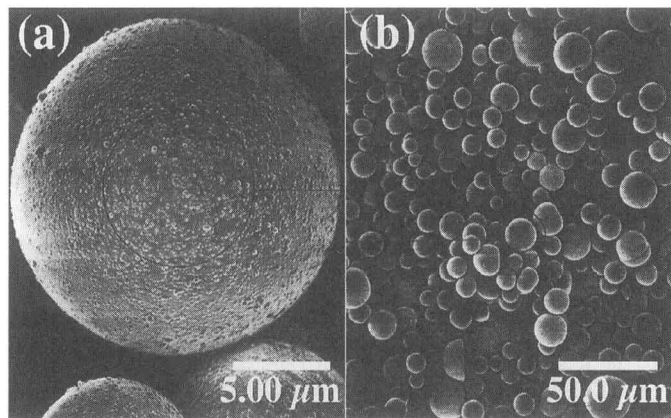


図-2 均一粒径ガラス粉粒体（平均直径 $9.7\mu\text{m}$ ）の電子顕微鏡写真。

(a) は (b) を高倍率で観察したもの。(Watanabe and Mizoguchi, 2000 より引用)

5.3, 9.7, 50, 200 μm) 単分散性の真球状ガラス微粒子、ガラス粉粒体混合試料は、各均一粒径ガラス粉粒体を混ぜ合わせ、藤森土と同様の粒度組成を持つように調整した試料である。なお、使用したガラス粉粒体は $120\text{m}^2\text{g}^{-1}$ 以上の比表面積を持ち、 0°C 以下に冷やされても十分な不凍水を持つことが核磁気共鳴装置による測定から確認されている(渡辺・溝口, 1997)。

図3に一方向凍結実験法の概要を示す。まず、薄い(厚み3mm)板状のセルに、純水で飽和させた試料を詰める。このセルをある一定の温度勾配の中におくと、低温側より凍結が進行する。このとき、セルを高温側から低温側へ一定速度で強制的に平行移動させると、凍結面は同じ速度で反対方向に移動することになる。すなわち、この方法では温度勾配と凍結速度を実験条件として

自由に与えることができる。また、固定された温度勾配に対し凍結面の空間的な位置は移動しないので、アイスレンズや間隙水の成長の時間変化を顕微鏡(例えば、渡辺ら, 1997; 武藤ら, 1998)やRaman分光器(Watanabe and Mizoguchi, 2000), X線散乱装置などを用いて観察することが可能である。さらに、セルに熱電対や圧力センサを組み込みアイスレンズの成長による温度(渡辺ら, 1997; Watanabe *et al.*, 1997)や間隙水圧(武藤ら, 2000)の変化を同時に測定したり、観察後の試料を用いて試料内の含水比分布の変化を測定(Muto *et al.*, 1999)することもできる。

2.2 土とガラス粉粒体中のアイスレンズ成長面近傍の顕微鏡観察

アイスレンズがどのように発生と成長を繰り返してい

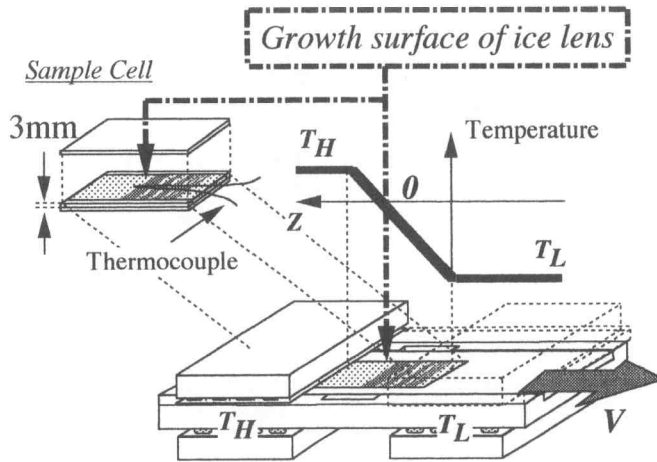


図-3 一方向凍結装置と試料セルの模式図。
一方向凍結装置により、試料の温度勾配と凍結速度を独立に制御でき、また、凍結面近傍の様子を連続的且つ微視的に観察できる。(Watanabe and Mizoguchi, 2000 より引用)

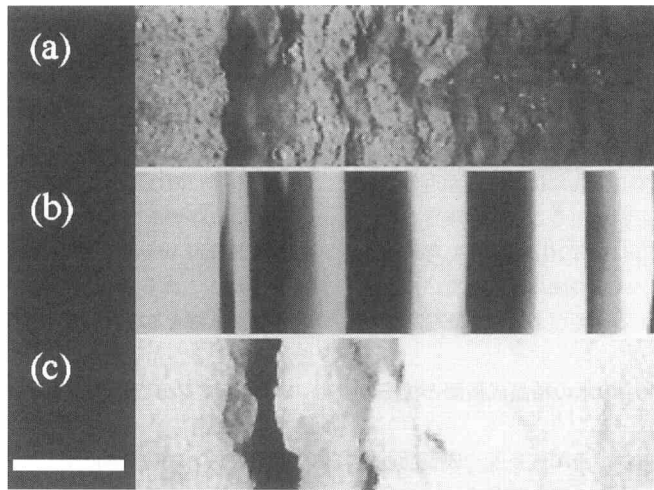


図-4 試料の凍結面近傍の様子。
(a) 藤森土, (b) 均一粒径ガラス粉粒体, (c) 粉粒体混合試料。図右側が低温側, 左側が高温側。左下のスケールは1mmを示す。

るのか、アイスレンズの生成に影響を及ぼす要因は何かを調べるために、まず、顕微鏡を用いてアイスレンズ成長過程の様子を直接観察した(渡辺ら, 1997; Watanabe *et al.*, 1997; 武藤ら, 1998; Mutou *et al.*, 1998; 渡辺ら, 1999a; Muto *et al.*, 1999; 武藤ら, 2000)。図4に藤森土, 均一粒径ガラス粉粒体, ガラス粉粒体混合試料中に見られたアイスレンズの様子を示す。図中、黒く見えるところがアイスレンズである。アイスレンズは低温側(図中右側)より発生と成長を繰り返し、

とびとびな層をなした。アイスレンズの形状や試料との境界の様子は、均一試料, 混合試料, 土試料の順で乱れた。このことから、試料の不均一さがアイスレンズの形状に影響を与えていることがわかる。また、均一粒径ガラス粉粒体を実験に用いることで、生成機構を考えるのに理想的なアイスレンズを作成できることがわかる。

これらの実験により、アイスレンズの生成について以下の結果が得られた。(1)アイスレンズの成長量は凍結速度に依存する。(2)アイスレンズの成長速度は成長面の過

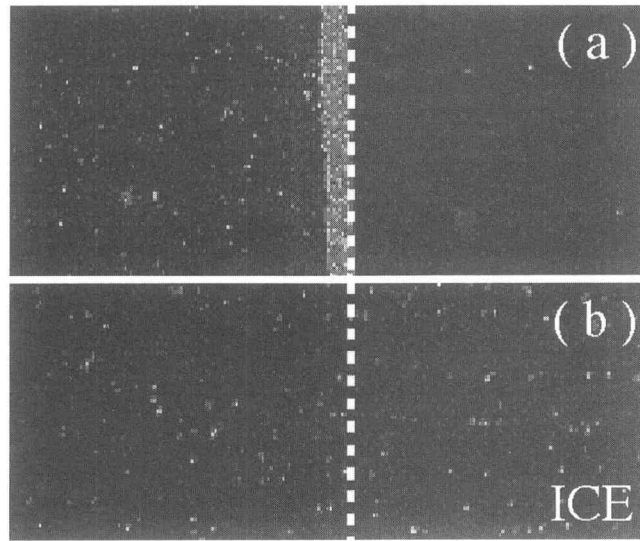


図-5 ガラス粒子分散水中の氷結晶の成長の様子。
 (a) は温度勾配 $0.3\text{ (}^\circ\text{Cmm}^{-1}\text{)}$ 、凍結速度 $1.5\text{ (}\mu\text{m s}^{-1}\text{)}$ 、
 (b) は温度勾配 $0.3\text{ (}^\circ\text{Cmm}^{-1}\text{)}$ 、凍結速度 $2.0\text{ (}\mu\text{m s}^{-1}\text{)}$ 。
 図右側が低温、左側が高温。白色の点はガラスビーズ粒子（粒径 $9.7\mu\text{m}$ ）
 である。点線は氷の成長面を示す。（武藤ら，1998 より引用）

冷却度による。(3) アイスレンズの発生温度は凍結速度による。また、アイスレンズの生成には、成長面近傍の粒子の動きやつまり具合の影響があることが示唆された。これらの結果は、アイスレンズの生成機構を考える場合、凍結速度とアイスレンズ成長面の過冷却度、成長面近傍の粒子の様子に着目する必要があること意味している。

2.3 ガラス粒子分散水中の氷の結晶成長面と粒子の挙動の観察

アイスレンズの成長に伴い、その成長面や成長面近傍の粒子一粒一粒がそれぞれどのような挙動を示すのか、またこれらの挙動に影響を与える要因は何かを調べるため、ここでは、ガラス粒子分散水中で成長している氷結晶の成長界面と、その近傍の粒子の様子を観察した（武藤ら，1998；Mutou *et al.*, 1998）。図5に氷結晶の成長面近傍の様子を示す。図中、凍結は右側より進行しており、ガラス粒子は白い点として観察される。また、氷の結晶成長面は図中に点線で示した。ガラス粒子分散水中では2種類の結晶成長が観察された。図5aでは、氷は成長界面で粒子を押しつけながら成長した。このとき、粒子は氷の成長面近傍に集積した。こうした氷の成長は土中におけるアイスレンズの成長と同じ現象と考えられる。一方、図5bでは氷は成長界面で粒子を結晶内に取り込みながら成長した。こうした氷の成長は土中における間隙

氷の形成と同じ現象と考えられる。この実験の結果、氷が粒子を押しつけるあるいは、取り込む臨界の凍結速度は粒径に依存することがわかった。また、この臨界凍結速度は Köber *et al.* (1992) の理論で説明できることがわかった。これらの結果から、アイスレンズの発生やジャンプを考える場合、この臨界凍結速度に着目する必要があることが示唆された。

2.4 ラマン分光法によるアイスレンズ近傍の粒子間隙水の測定

アイスレンズ成長面近傍の水の状態を実験的に明らかにするため、ここでは、ラマン分光装置を用いてアイスレンズ近傍の水の分布を $1\mu\text{m}$ の精度で測定した（Watanabe and Mizoguchi, 2000）。

氷から得られるラマンスペクトルには、 225 cm^{-1} 近傍に水分子間の格子振動を示すピークが現れる（図7-R_{LN}）。一方、水から得られるラマンスペクトルにはこのピークは現れない（図7-R_{room}）。そこで、アイスレンズ近傍の間隙から得られるラマンスペクトルを測定すれば、そこにある水の状態が判別できる。図6は、ラマン分光装置のモニターで観察された、アイスレンズの成長面近傍の様子である。図の右側の黒色部がアイスレンズであり、左側へ成長している。白い丸はそれぞれガラス粒子である。この解像度では粒子（直径 $9.7\mu\text{m}$ ）一つ一つ、粒子間隙そのものが観察できる。図中の十字はレーザー

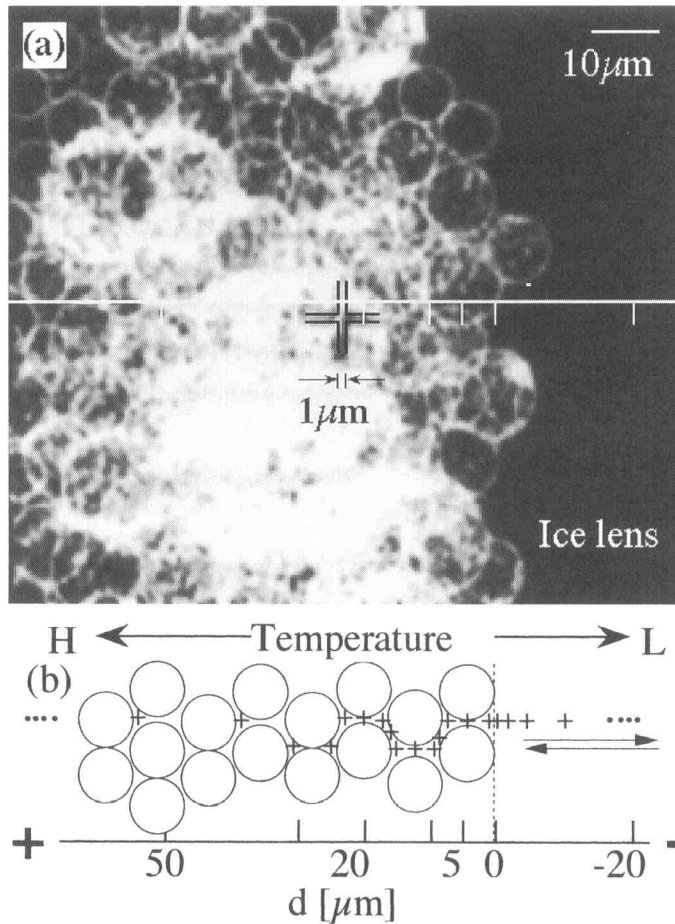


図-6 ラマン分光装置による観察画像。
 (a) アイスレンズ近傍の観察画像を画像処理したもの。白丸はガラスビーズ（粒径 $9.7\mu\text{m}$ ）、右側の黒色部はアイスレンズ。
 (b) (a) の模式図。照準を図のように $0.4\mu\text{m}$ 刻みで動かし、各粒子間隙の水の状態を調べた。 d (μm) はアイスレンズ成長面からの距離。 d は成長面より高温側で+、低温側で-をとる。(Watanabe and Mizoguchi, 2000 より引用)

光の照準であり、 $0.4\mu\text{m}$ ステップで動かせる。レーザー光はこの照準の中心の一辺 $1\mu\text{m}$ の四角内に照射される。

図7にアイスレンズおよび、その近傍の粒子間隙から得られたラマンシフトを示す。 d はアイスレンズの成長面からの距離 (μm) である。アイスレンズ内 ($d < 0$) やアイスレンズの成長面直上 ($d = 0$) では水の存在を示すピークが確認されるものの、アイスレンズの成長面より高温側の粒子間隙 ($d > 0$) には水の存在を示すピークは見られなかった。つまり、アイスレンズより高温側のいかなる粒子間隙にも、 $1\mu\text{m}$ 以上の水は存在しないことがわかる。この実験の結果、骨格構造を持たない、均一

粒径の多孔質体中でアイスレンズが成長する際には、二次凍上理論で仮定されたフローズンフリッジは存在しないことが明らかになった。

3. アイスレンズ生成モデル

2章で紹介した各実験の結果をもとに、水で飽和した均一粒径の粉粒体について、アイスレンズ生成モデルを考えた(渡辺ら, 1999 b; Watanabe *et al.*, 2000)。このモデルの主な構成は以下のものである。(1)アイスレンズは、凍結速度が変化することにより、発生する。(2)発生したアイスレンズは、その成長面の過冷却によって成長する。(3)アイスレンズが成長すると、成長面近傍の粒子

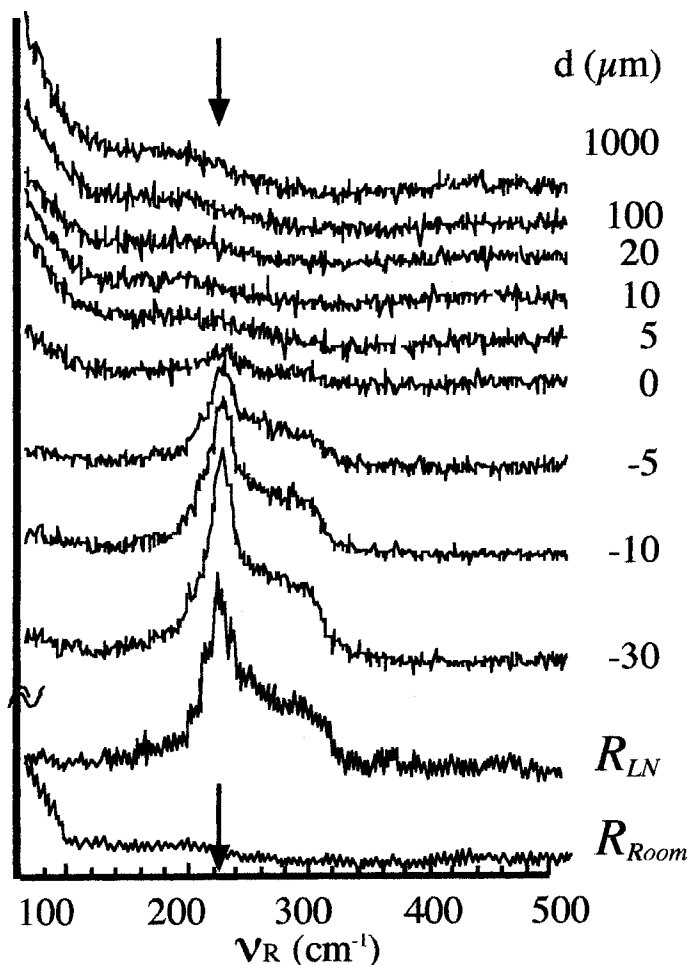


図-7 アイスレンズ近傍の間隙からえられたラマンスペクトル。(Watanabe and Mizoguchi, 2000 より引用)

の数密度と臨界凍結速度が局所的に変化する。(4) 臨界凍結速度が局所的に変化したことにより、アイスレンズがジャンプする。(5) 凍結の進行により(1)~(4)が繰り返され、結果としてアイスレンズはとびとびな層構造を形成する。

このモデルを用いて、直径 $9.7\mu\text{m}$ のガラス粉粒体中におけるアイスレンズの生成を計算した(図8)。まず、初期温度 2°C の直方体試料両端に温度差を与え、800 分間凍結させた(図8a)。試料内の温度勾配が一定 ($0.2^\circ\text{C mm}^{-1}$) となった後、試料に一定の凍結速度 ($0.6\mu\text{m s}^{-1}$) を与え、120 分間凍結させた(図8b)。図中の黒丸は実験により測定されたアイスレンズの成長量を、実線はこのモデルによって計算された成長量をそれぞれ示す。図8のように、モデルは実際のアイスレンズの発生・成長・ジャンプをよく再現した。このモデルを用いることで、

水で飽和した骨格構造をもたない多孔質体中に生成するアイスレンズの生成が計算できる。

4. おわりに

一方向凍結実験によるアイスレンズ近傍の観察から、今までブラックボックス的に扱われてきたアイスレンズ近傍の微細構造が実験的に明らかになった。この結果、骨格構造をもたない均一な多孔質体中では、既往の理論で仮定されたフローゼンフリッジは存在しなくてもアイスレンズが生成することが明らかになった。一方向凍結実験の結果、アイスレンズの生成に影響を与えるいくつかの要因とその相互関係が明らかになった。また、凍結速度や過冷却度を基に、均一な粉粒体中で不連続な層構造を形成するアイスレンズの生成機構を説明できるモデルが構築された。これらの成果は、土壌や粉粒体の凍結

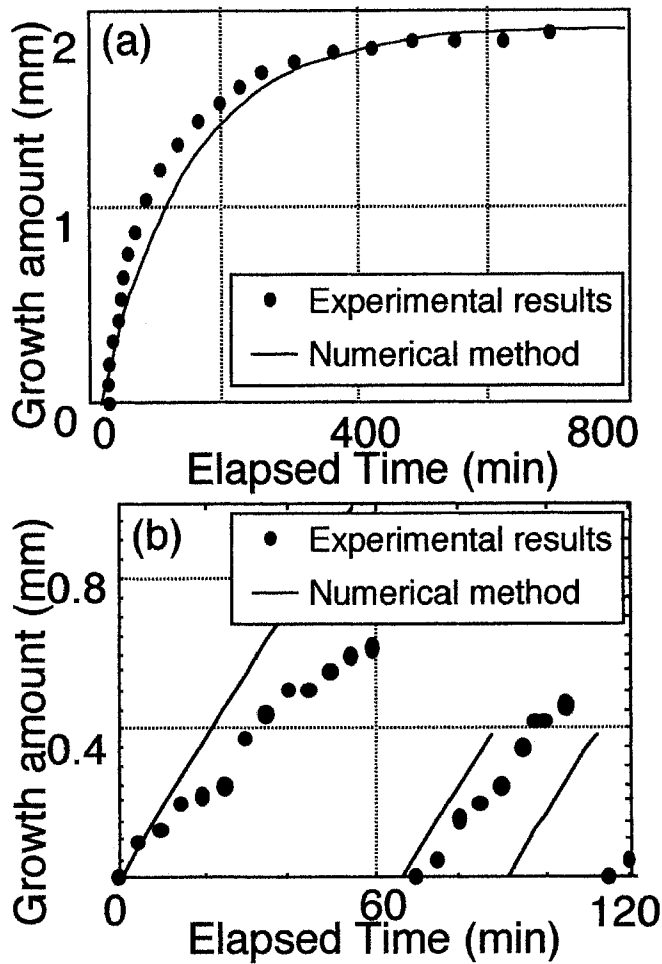


図-8 アイスレンズの成長量。

- (a) 試料両端に温度差を与え、温度勾配が一定になるまでの800分間、
 (b) 試料に一定の凍結速度を与えた120分間。(渡辺ら、1999より引用)

に関する分野において大いに貢献できると思われる。

本研究はアイスレンズの生成機構の一部を明らかにしたものである。ここで提案されたモデルは理想的な多孔質体の凍結を扱えるだけであり、実際の土の凍結すべてを扱えるものではない。今後、土中のアイスレンズの生成機構を解明していくためには、以下のようなことを考えていく必要があるだろう。まず、ここで明らかになった理想的な試料や状態における現象を、実現象に拡張する際の問題点がある。つまり、モデルを拡張する際に、溶質、電場、粒子種など様々な不均一性や非等方性をいかに評価すべきか、また様々な凍結条件、水分供給条件をどう扱うかを考えていく必要がある。また、実際に水の結晶成長がどうなっているかという、基本的かつ本質的な問題がある。微粒子が水の成長面近傍に集まること

によって、その粒子間隙の不凍水の挙動や水の融点はどんな影響をうけるのか。アイスレンズの生成時に、界面カインティック過程、輸送過程、圧力場などはどうなっているのか、このとき微粒子の存在はどんな影響を与えているのかといったことを明らかにしていく必要がある。

最後に、この研究は著者以外に、三重大学大学院生物資源学研究所の武藤由子氏、東京大学大学院農業生命科学研究科の溝口勝助教授、東京国立文化財研究所の石崎武志博士によるところが大きいことを付け加え、謝辞としたい。

引用文献

Conte, J.L. (1850): Observation on a remarkable exu-

- dation of ice from the stems of vegetables, and on a singular protrusion of icy columns from certain kinds of Earth during frosty weather. *Philosophical Magazine*, **36** : 329.
- Gilpin, R.R. (1980) : A model for the prediction of ice lensing and frost heave in soils. *Water Resources Research*, **16** : 918~930.
- 広井政彦, 水崎隆雄 (1991) : He (4) の凍上現象. *結晶成長学会誌*, **18** : 217~223.
- Konrad, J.M. and Morgenstern, N.R. (1980) : A mechanistic theory of ice lens formation in fine-grained soils. *Canadian Geotechnical Journal*, **17** : 473~486.
- Körber, C., Lipp, G., Kochs, M. and Rau, G. (1992) : Ice crystal growth in aqueous solutions and suspensions. *Physics and Chemistry of Ice*, ed. Maeno, N. and Hondoh, T., Hokkaido University Press, Sapporo : 291~298
- Mazur, P. (1970) : Cryobiology : The freezing of biological systems. *Science*, **168** : 939~949.
- Miller, R.D. (1972) : Freezing and heaving of saturated and unsaturated soils. *Highway Research Record*, **393** : 1~11.
- Miller, R.D. and Koslow, E.E. (1980) : Computation of rate of heave versus load under quasi-steady state. *Cold Regions Science and Technology*, **2** : 243~252.
- 武藤由子・渡辺晋生・石崎武志・溝口 勝 (1998) : ガラスビーズ中におけるアイスレンズ形成過程の顕微鏡観察. *農業土木学会論文集*, **194** : 97~103.
- Mutou, Y., Watanabe, K., Mizoguchi, M. and Ishizaki, T. (1998) : Microscopic observation of ice lensing and frost heaves in glass beads. *Permafrost*, ed. Lewkowicz, L.A. and Allard, M., International Permafrost Association : 783~787.
- Muto, Y., Watanabe, K., Mizoguchi, M. and Ishizaki, T. (1999) : The relationship between ice lens growth and water conditions. *EOS transactions, American Geophysical Union*, **80** : 427.
- 武藤由子・渡辺晋生・溝口 勝 (2000) : 凍結過程にある多孔質体中の間隙水圧の測定. *農業土木学会大会講演要旨集* : 印刷中
- Penner, E. (1967) : Heaving pressure in soils during unidirectional freezing. *Canadian Geotechnical Journal*, **4** : 398~408.
- Sill, R.C. and Skapski, A.S. (1956) : Method for the determination of the surface tension of solids, from their melting points in thin wedges. *Journal of Chemical Physics*, **24** : 644~651.
- Taber, S. (1929) : Frost heaving. *Journal of Geology*, **37** : 428~461.
- Thyholt, K. and Isaksson, T. (1997) : Differentiation of frozen and unfrozen beef using near-infrared spectroscopy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **73** : 525~532.
- 渡辺晋生・溝口 勝・石崎武志 (1997) : 凍結過程における土の凍結面近傍の微視的構造についての実験研究. *農業土木学会論文集*, **191** : 53~58.
- Watanabe, K., Mizoguchi, M., Ishizaki, T. and Fukuda, M. (1997) : Experimental study on microstructure near freezing front during soil freezing. *Ground Freezing 97*, ed. Knutsson, S., A.A. Balkema, Rotterdam : 187~192.
- 渡辺晋生・溝口 勝, 1997, バルス型 NMR 法による塩を含む土の不凍水量測定. *農業土木学会大会講演要旨集* : 112~113.
- 渡辺晋生・武藤由子・溝口 勝 (1999 a) : 不均一粒径ガラスビーズ中のアイスレンズの生成. *農業土木学会大会講演要旨集* : 786~787.
- 渡辺晋生・武藤由子・溝口 勝 (1999 b) : ガラス粉粒体中の層状氷生成モデル. *日本雪氷学会誌 雪氷*, **61** : 207~214.
- Watanabe, K. and Mizoguchi, M. (2000) : Ice configuration near a growing ice lens in a freezing porous media consisting of micro glass particles. *Journal of Crystal Growth*, **213** : 135~140.
- Watanabe, K., Muto, Y. and Mizoguchi, M. (2000) : A model for the formation of ice lenses in an unconfined, water-saturated, porous medium consisting of spherical particles. *Ground Freezing*, A.A. Balkema, Rotterdam : in press.
- Wilén, L.A. and Dash, J.G. (1995) : Frost heave dynamics at a single crystal interface. *Physical Review Letters*, **74** : 5076~5079.
- Wisniewski, M., Lindow, S.E. and Ashworth, E.N. (1997) : Observations of ice nucleation and propagation in plants using infrared video thermography. *Plant Physiology*, **113** : 327~334.

受稿年月日 : 2000年4月7日

受理年月日 : 2000年4月24日

Soil Conservation and Farming Systems on Slope Land in Indonesia and the Philippines

Simplicio M. MEDINA*, Hajime NARIOKA**, Jose Nestor M. GARCIA* and MASTUR***

* Farming Systems and Soil Resources Institute, College of Agriculture, University of
the Philippines Los Banos, College, Laguna 4031, Philippines

** Faculty of Environmental Science and Technology, Okayama University,
3-1-1 Tsushima-naka, Okayama 700-8530, Japan

*** Research Center for Tobacco and Fiber Crops, Karangploso Street PO Box 199,
Malang East Java, Indonesia

Abstract

The role of soil conservation in slope land farming systems in Indonesia and the Philippines is very important. In a visit by the authors to some areas in both countries, they observed that many farmers were practicing soil conservation in their agricultural land in response to the land condition and socio-economic environments. The agricultural land was characterized by sloping farmlands and low soil fertility. Soil condition and land topography have great influence in the farmers' adoption of soil conservation practices for sustainable agricultural production.

Key Words : soil conservation, farming system, sloping farmlands, Indonesia, Philippines

Introduction

Racially and culturally, Indonesia and the Philippines are related. Indonesia, particularly Java and Bali islands is quite similar to Philippines. They are characterized by active volcanism and are located in the humid tropic region. Volcanic areas are mainly dominated by sloping lands and volcanic ash soils. High precipitation, sloping topography and volcanic ash soils are factors promoting high erosion rates and land degradation. The problems of land degradation particularly soil erosion beset both countries which is more common in the fragile environment of the uplands and slope lands and cause decreasing land productivity. Moreover, the poverty of farmers and high population in these countries lead to annual crop cultivation moving onto sloping land. Appropriate method of soil erosion control on slope land is needed. Farmers in both countries are already aware of the importance of adopting soil conservation measures in their farming

systems, as such appropriate soil conservation strategies and farming system will control soil loss and improve productivity.

This report focuses on the slope land ecosystem in East Java and Bali islands in Indonesia and in the provinces of Davao del Sur and Cebu in the Philippines. The aims of this research are to describe land characteristics and the different soil conservation strategies to achieve sustainable farming system.

Materials and Methods

To ascertain the different soil conservation practices of the farmers at the study areas in Indonesia and Philippines field observation and reconnaissance survey were conducted. In addition, interview with local farmers to assess their perceptions regarding the adoption of soil conservation practices as well as gathering of secondary data from the available literatures were done. In each site, farming system components and land characteristics such as slope, soil texture, soil color, etc. were examined.

Results

Land Characteristics

Land characteristics of the study sites in Indonesia and the Philippines are shown in Table 1. Six villages were studied in Indonesia while there were two in the Philippines. The location of the study sites in Indonesia and the Philippines are shown in Figures 1 and 2, respectively.

East Java, Indonesia

In East Java, particularly in the district of Malang, the villages of Gubuk Klakah, Ngadas, Bendosari and Donomulyo were visited and studied. In general, the soils in the four villages have low soil moisture content due to long dry season. Due to higher elevation, the villages of Ngadas, Gubuk Klakah and Bendosari have relatively cooler temperature than the low-lying village of Donomulyo. Ngadas and Gubuk Klakah soils were developed from volcanic ash material while Donomulyo soil was from limestone.

Bali, Indonesia

The study sites in Bali were the villages of Pancasari and Candikuning, both highland villages with steep topography. Udayana University in Bali, has a research site in Candikuning.

Davao del Sur, Philippines

Pananag, village was the study site in the province of Davao del Sur in the Philippines where the Mindanao Baptist Rural Life Center (MBRLC), a non-government organization (NGO), developed and promoted the adoption of the Sloping Agricultural Land Technology (SALT). The village is located on a ridgeline descending from the peak of Mt. Apo. The topography in the area is characterized by moderately dissected footslopes, sideslopes, crests and ridges (Garcia *et al.*, 1995 b).

Cebu, Philippines

Tabayag village occupies a watershed whose streams are tributaries of the Argao River. The village is part of the study site in the island of Cebu which is an extension site of the Maguugmad Foundation, Inc. (MFI). This is an NGO dealing with the promotion of soil and water conservation technologies in upland

Table 1 Land characteristics of study sites in Indonesia and the Philippines

Location	CHARACTERISTICS						
	Elevation (m)	Annual Rainfall (mm/yr)	Ave. T (°C)	Soil Type	Soil Texture	Slope (Degrees)	Soil Color
Gubuk Klakah, East Java, Indonesia	1,200	—	24	Andosol	Sandy clay	—	10 YR 4/3
Ngadas, East Java, Indonesia	2,070	1,900	21	Andosol	Sandy loam	34	—
Bendosari, East Java, Indonesia	930	1,500	25	Regosol, Andosol	Sandy loam	38	10 YR 4/3
Donomulyo, East Java, Indonesia	215	—	28	Mollisol	Clay loam	35	10 YR 2/3
Pancasari, Bali, Indonesia	1,218	1,600	23	Regosol	Sandy loam	—	10 YR 5/4 10 YR 5/3
Candikuning, Bali, Indonesia	1,240	1,000	22	Andosol	Sandy loam	—	10 YR 5/3 10 YR 4/3
Pananag, Davao del Sur, Philippines	300-800	1,750	27	Ultisol	Fine loam to fine clay	5-10	—
Tabayag, Cebu, Philippines	240-700	1,500	28	Entisol	Heavy clay	15-27	10 YR 3/3

— : unknown



Fig. 1 Location map of study sites in Indonesia

communities.

Farming Systems and Soil Conservation Practices in the Study Areas

East Java, Indonesia

The dominant crop in the village of Gubuk Klakah is apple usually planted on bench terrace to prevent soil erosion. The major outlet for the apple produced in the village is the local market. The important annual crop in the area is corn and planting of grass strips is common.

In Ngadas, a village with relatively higher elevation, vegetables, especially potatoes and

onions are the most suitable crops for the local climate. These vegetables are planted up and down the slope on short vertical ridges with contour ditch for each row of plots (Fig. 3). As soil conservation measures, farmers practice grass strips and hedgerow planting with perennial crops planted mainly at the farm boundaries.

In the Bendosari area, the dominant dry season crop is corn planted on terraced mountain slopes and inter-cropped with perennial crops such as avocado, coffee, *Agathis* and *Caliandra*. The terrace riser (Fig. 4) is generally

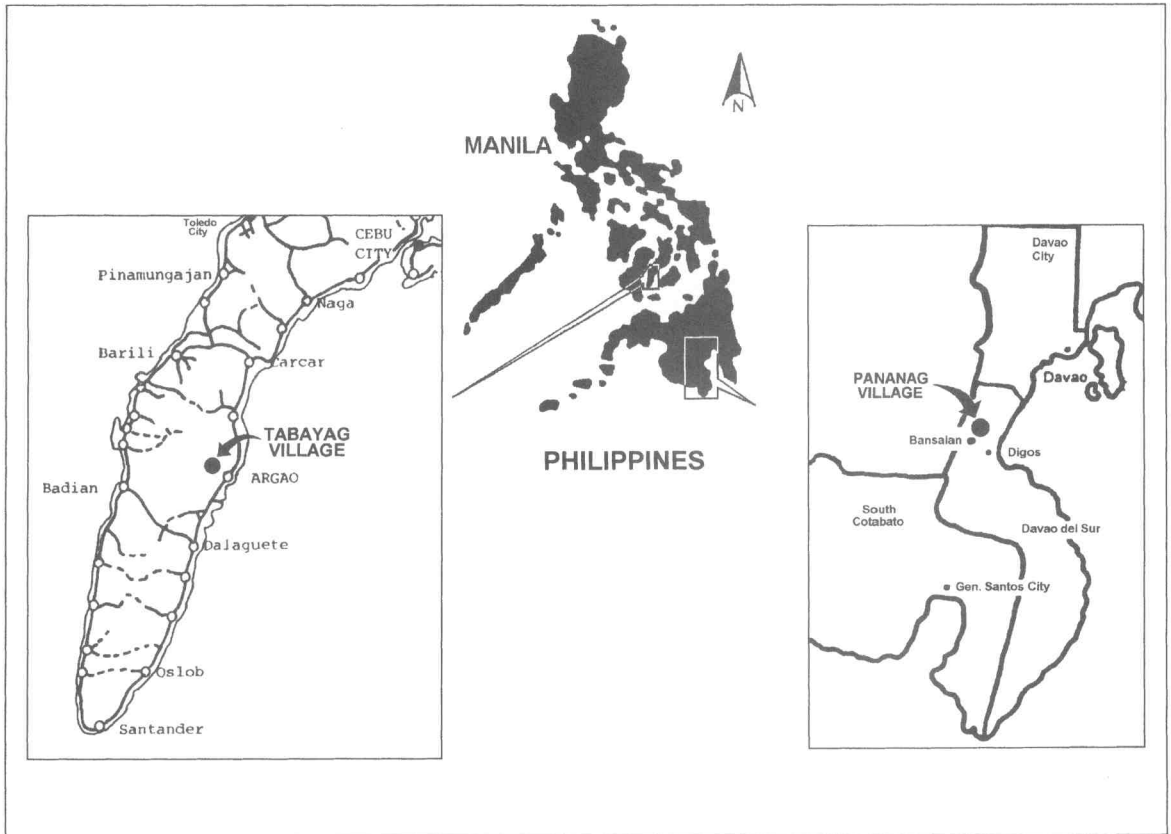


Fig. 2 Location map of study sites in the Philippines

planted with elephant grass. Drainage ditches are constructed in some portions of the farm lots to discharge excess surface runoff. The Local Forestry State Company (PERHUTANI) assists the farmers in implementing the above-mentioned soil conservation measures. Some areas are under the social-forestry program. This land use type is referred to as multistorey agroforestry system.

Soil in Donomulyo is shallow due to steep slopes and past erosion. The soil's parent material is limestone. Soil conservation in this area is practiced by constructing stone walls along the contour. Farmers grow leguminous species such as *Leucaena* and/or *Gliricidia* below the stone wall to strengthen the structure (Fig. 5). Beside the stone walls, stalks of cassava are also piled up which are effective in controlling the velocity of surface runoff. Dry season in

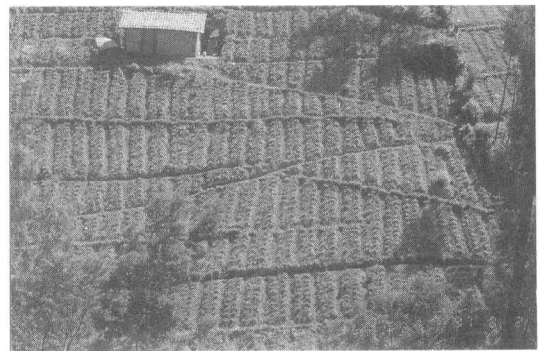


Fig. 3 Potato plots oriented up and down along a vertical ridge in Ngadas village, Malang, Indonesia

Donomulyo is quite long and there is only one cropping season in a year. During the cropping season, farmers also intercrop corn with soybean and cassava. Mahogany trees are pre-



Fig. 4 Terraced mountain slope planted to corn in Bendosari village, Malang, Indonesia



Fig. 6. Terraced slope with legumes as alley crops in Candikuning village, Bali, Indonesia



Fig. 5 Limestone walls together with *Leucaena* and *Gliricida* in Donomulyo village, Malang, Indonesia



Fig. 7 Terraced slopes with corn and other vegetables as alley crops in Pancasari village, Bali, Indonesia

dominant in the area and are also planted as a soil conservation measure. Similar to Bendosari area, agroforestry system under the social forestry program is also practiced with teak as the dominant tree species.

Bali, Indonesia

The villages of Pancasari and Candikuning have similar farming systems and soil conservation practices. Farming system in both areas is generally mixed cropping where the main crops are tomato, potato, legumes, cabbage, chili, onion and corn. The slopes in both areas are terraced with napier grass planted along the terrace embankment (Figs. 6 & 7). In the Pancasari area, it was noted that the steep slopes had trees and generally not cultivated.

This practice could be a soil conservation strategy by the farmers.

Davao del Sur, Philippines

In the village of Pananag corn is the most widely grown annual crop although some areas are planted with tuber crops. The most common perennial cash crops are coconut and coffee. In the past, farmers did not have traditional soil conservation practices. The introduction of the Sloping Agricultural Land Technology (SALT) led the majority of the farmers to establish hedgerows in their farms devoted to maize production (Fig. 8). Leguminous hedgerow species being grown are *Flemingia*, *Desmodium*, *Leucaena*, *Gliricidia* and *Acacia*.

Similar to the village in Davao del Sur, the

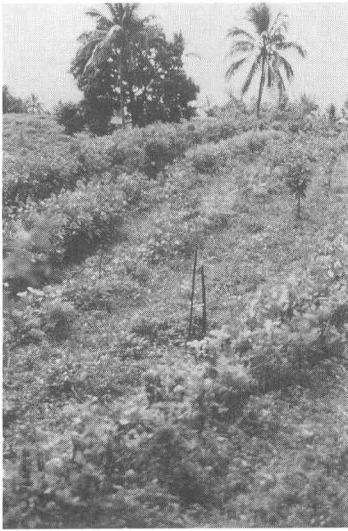


Fig. 8 Sloping agricultural land technology (hedgerow intercropping) in a farmer's field in Pananag village, Davao del Sur, Philippines

farming system in Tabayag village, Cebu is subsistence farming with corn as the dominant crop. Coconut and vegetables are also grown in the area. Soil conservation was introduced by the Mag-uugmad Foundation Inc. (MFI) by planting contour hedgerows and constructing contour bench terraces, check dams, drainage canals and stone walls (Fig. 9).

Discussion

This section focuses on the effect and importance of the soil conservation practices on the farming systems and crop production in the study villages. The bench terraces in Gubuk Klakah which is one of the major apple producing areas in Malang, East Java can support sustainable farming by controlling soil erosion. It means that land productivity will be maintained and the economic situation in the village can be improved. Without soil conservation practices, apple production as the main source of income by the local farmers may be threatened due to increased soil erosion. Steep slopes, high precipitation and highly erodible soils cause accelerated erosion problems in this



Fig. 9 Contour stone walls with corn and legumes intercrop in Tabayag village, Cebu, Philippines

area.

Compared with the soil in Gubuk Klakah, which contains higher clay, soil texture in Ngadas is coarser. Volcanic ash from Mt. Semeru still fall continually in the area. This combined with the parent material (volcanic ash) causing high sand content of the soil in Ngadas. High content of sand makes the soil to have high erodibility and low stability. Previous studies support this finding. Shibuya *et al.* (1981), in comparing soil erosion on sandy and loamy soils, observed that loam had a greater resistance than sand to the erosive power of rainfall and surface runoff. Also, Bruce-okine and Lal (1975) observed that erodibility varies directly with sand and inversely with clay content. Bench terrace is not suitable in Ngadas due to instability of the soil. As such, short vertical ridges combined with contour and drainage canals are the typical conservation measures. While there is no impermeable layer in the soil, the combination of the vertical ridges and drainage canals can convey excess water during high rainfall events outside of the planted area and is more effective in controlling soil erosion.

Potatoes and onions require intensive soil cultivation in addition to the fact that soil in Ngadas is very loose which may accelerate the rate of soil erosion although soil aeration is enhanced (Mastur *et al.*, 1996). Fertilizer effi-

ciency is better when placed in ridges than when there are no ridges (Mastur *et al.*, 1996). The combined conservation practice may assure the farmers of long term productivity.

Similarly in Bendosari, terracing allows the farmers to pursue a sustainable farming system. In this area, intensive farming is established by combining both annual and perennial crops. Bendosari and Donomulyo are both under the Social Forestry Program and farmers can produce food crops during the early stages of establishing forestry trees. Since the main forestry trees take a long time to establish before the canopy becomes dense and thick, the land can still be planted with other perennial crops such as coffee, avocado, durian and *Agathis*. In Donomulyo, which has different soil type, the construction of stone walls promote two benefits. The farmers get their farms cleared for planting and soil erosion is controlled as well. In addition, the piling of cassava stalks along the stone walls will also improve the soil organic matter content through decomposition. Moreover planting of *Leucaena* or *Gliricidia* not only strengthen the stone walls but also supply nitrogen through green manure.

Terraces in combination with grass strips is a common conservation strategy practiced in both Pancasari and Candikuning. In these areas, the main farming system is multiple vegetable cropping system. The soil in the study village is also loose and sandy, but it is more stable than the soil in Ngadas. Soil in these areas is deep and the slope more gentle than in Ngadas. Basically, bench terrace is suitable on deep soil and gentle to moderate slope. Terracing has been found to be very effective in controlling soil erosion.

In the province of Davao del Sur in Philippines, the effect of hedgerows is very evident as perceived by the farmers. Increase in the yield of maize was realized by majority of farmers. Moreover, the benefits of soil conservation practices to the farmers was increase in soil fertility and soil moisture holding capacity

due to mulching with hedgerow trimmings (Garcia *et al.*, 1995 b).

Even in qualitative terms, farmers in the study area in Cebu, the Philippines recognize the effect and importance of the various soil conservation strategies in their farm land by improving soil fertility. Furthermore, contour hedgerows planted at the base of stone walls reinforce the walls as well as supplying green manure and fodder for livestock (Garcia *et al.*, 1995 a). Because of the benefits realized from the conservation practices, majority of the farmers in the community continue to adopt the soil conservation measures.

Looking at the various soil conservation strategies being practiced in the study sites, some differences can be noted. While all the areas have a generally sloping topography, the practices differ.

One factor that could have influenced the difference is the soil. In the village of Gubuk Klakah, Indonesia for example, bench terrace was adopted and found suitable because the soil was deep and has high clay content. Terracing is not possible in Ngadas village because the soil is extremely coarse with high sand content. Hence, the soil conservation practice being adopted is the construction of short vertical ridges and contour canals to control soil erosion.

Another factor is the availability of local materials useful in establishing a soil conservation measure. The example here is the village of Donomulyo where limestone is abundant and cassava is a major crop. Using these materials, the farmers in the area had limestone walls with cassava stalks piled along the walls. In the villages where these materials are not available, such soil conservation strategy will not most likely be established.

The two study sites in the Philippines have also differences in soil conservation strategies. In Pananag village, majority of the farmers adopt the Sloping Agricultural Land technology (SALT), an alley cropping system while Tabayag village has bench terraces, check

dams and rockwalls. The identifiable reason for this difference is that different groups promoted the soil conservation strategies. In Pananag village, it was the Mindanao Baptist Rural Life Center while in Tabayag village, it was the Mag-uugmad Foundation, Inc. It cannot be discounted however, that the difference could also be due to soil, topography, available resource and farmer's preferences.

Conclusion

Food production is a natural and inherent activity of farmers. However, whether this is on a large scale or at subsistence level the adoption of soil conservation practices is vital for sustainable farming system through erosion control and improvement of soil fertility. The combination of agronomic and mechanical methods is effective to control soil erosion and improve land productivity.

References

Bruce-Okine, E. and R. Lal (1975) : Soil Erodibility

as Determined by Raindrop Technique, Soil Sci., 119 (2), pp. 149-157.

Garcia, J.N.M., R.V. Gerrits, R.G. Bernardo, J.J. Conchada, R.A. Cramb, A.S. Perez, G.C. Saguiguit, Jr. and R.T. Yao (1995 a) : Soil Conservation in an Upland Farming System in Cebu : A Socio-Economic Survey. SEARCA-UQ Uplands Research Project, Survey Report No. 1. Los Banos. pp. 18-68.

Garcia, J.N.M., R.V. Gerrits, R.A. Cramb, G.C. Saguiguit, Jr., J.J. Conchada, R.T. Yao, R.G. Bernardo and A.S. Perez (1995 b) : Soil Conservation in an Upland Farming System in Davao del Sur : A Socio-Economic Survey. SEARCA-UQ Uplands Research Project, Survey Report No. 2. Los Banos. pp. 28-74.

Mastur, H. Narioka, M. Anase and T. Mandang (1996) : The Role of Ridges in Environmental Management. In : Rehabilitation and Development of Upland and Highland Ecosystem. M. Anase, T. Mandang, R. Lasco (eds.). Tokyo University of Agriculture. pp. 40-62.

Shibuya, K., H. Kamimura and K. Banzai (1981) : An Experimental Study of Water Balance and Soil Erosion With Sloping Lysimeters, Bull. Nat'l. Res. Inst. Agric. Eng'g. Japan, 21 (1), pp. 1-48.

インドネシアおよびフィリピン両国の傾斜畑における 土壌保全と農法との関係

S. M. メディナ*・成岡 市**・J. N. M. ガルシア*・マストゥル***

* フィリピン大学農学部, ファーミングシステム・土壌資源研究所

** 岡山大学環境理工学部, 環境管理工学科

*** インドネシア国タバコ・繊維作物研究所

要 旨

インドネシアとフィリピン両国では、傾斜地の土壌保全に対して各々適切な農法を行うことが極めて重要とされている。著者は両国のいくつかの地域を調査し、土壌条件および社会経済条件等の環境に対応して、多くの農家が農地の土壌保全を実践していることに気づいた。農地は、傾斜畑の性質や肥沃度などによって特徴づけられていた。土壌条件と地形は、持続的農業生産にとって最も必要な土壌保全方策に強い影響を与え、農家の伝統的農法の実践によってその制御が行われている。

本論は、両国の傾斜畑現場の実践的実例を観察し、傾斜地農業の在り方について考察したものである。

キーワード : 土壌保全, ファーミング・システム, 傾斜畑, インドネシア, フィリピン

受稿年月日 : 1998年10月2日

受理年月日 : 2000年5月31日

科学技術の発展と新たな平和問題

—日本学術会議対外報告から—

田 淵 俊 雄*

昨年秋、日本学術会議の「科学技術の発展と新たな平和問題特別委員会」（委員長北野弘久日本大学法学部教授）が対外報告を行った。それは近年大きくクローズアップされてきた「戦争」という形をとらない「新たな平和問題」を討議したものである。すなわち飢餓・貧困、社会的差別、非衛生・健康破壊、地球環境破壊、人間破壊などの問題である。本特別委員会は人文・社会科学から自然科学にわたる多分野の委員で構成されており、筆者は委員の一人として参加したので、その内容を対外報告から抜粋して紹介する。21世紀を目前にして科学者として考えるべき多くの内容を含んでいると思う。

本報告書は5章からなり、1章では本委員会の目的が述べられ、2章では「伝統的な平和問題」と「新たな平和問題」の意義が記され、両者の関係が検討されている。3章では「新たな平和問題」の具体例が紹介されている。取り上げられた事例は、地球温暖化・エネルギー問題、核問題、食料問題、水環境・湖沼流域問題、ゴミ廃棄物問題、遺伝子問題、内分泌攪乱物質問題、コンピュータの発達に伴う情報化社会の問題であり、いずれも現在大きな社会的問題になっているものである。

4章では「新たな平和問題に関する科学と科学者の社会的責任」が検討された。科学技術（自然科学）の発展がかえって、地球規模において人間の尊厳、私たちの命の安全を害しつつあるという認識の上に立って、研究対象を諸科学の統合的視点からとらえる統合科学の方法の重要性が指摘されている。また科学と科学者の社会的責任が討議され、下記のようなことが指摘された。

(1) 科学者自身の側において自己の研究が新たな平和問題をもたらす危険性のあることを絶えず自覚し、反省して研究することが大切である。そして科学技術（自然科学）の発展が新たな平和問題の解決に積極的に貢献するものになるようにしなければならない。(2) 自然科学と人文・社会科学との共同による研究が行われなければならない。たとえば食料問題については、今後も砂漠化などの耕地の荒廃や環境汚染などをもたらさない新たな農業技術の開発のための努力が必要である。同時に食糧問題が世界戦略の手段となることを抑制することが大切であり、そのための国際機構の確立、地球レベルでの

国際協定などの整備が検討されなければならない。社会的責任はひとり自然科学のみならず、人文・社会科学も共有しなければならない。

(3) 新たな平和問題が起こりつつある現実に鑑みて、人々の多くが科学技術がもたらす便利よりも「土に還る。自然に生きる」という価値観、人生観を重視するようになれば、人々は「物質文明」依存をさして望まなくなるようになることもありうる。「物質文明」依存よりも、よい意味で「精神文明」を重視するという人々の意識改革を行うことも人文・社会科学の課題とされなければならない。

(4) 新たな平和問題の解決のために、人々による社会運動としての新たな平和運動の意義は大きい。この種の社会運動に科学的根拠を提示し、運動を科学者が支援することも、これからの科学と科学者の社会的責任である。またこの種の運動の意義、新たな平和問題に関する科学情報などを社会に伝えるジャーナリズムの使命の重要性も指摘されなければならない。

(5) 教育の在り方も問われねばならない。研究者の一人ひとりが、自然科学と人文・社会科学の双方への理解をもつことが望まれる。自然科学の専攻者自身が同時に人間や社会についてあたたかい理解と配慮をもつことが大切である。一方、人文・社会科学の専攻者が幅広く自然界、自然科学についての教養を身につけることが大切である。正しい意味でのプラクティカルなりベラルアーツに配慮した大学等における教育のあり方が構築されるべきである。

最後の5章では3章で紹介された新たな平和問題の具体例について、若干の提言などを含めて各論的に記述されている。

以上、「新たな平和問題」についての学術会議の特別委員会報告の内容を簡単にご紹介した。この他「教育と環境問題」、「食問題」、などの特別委員会が設けられて熱心に活動している。学術会議の活動への理解を深めていただければ幸いである。

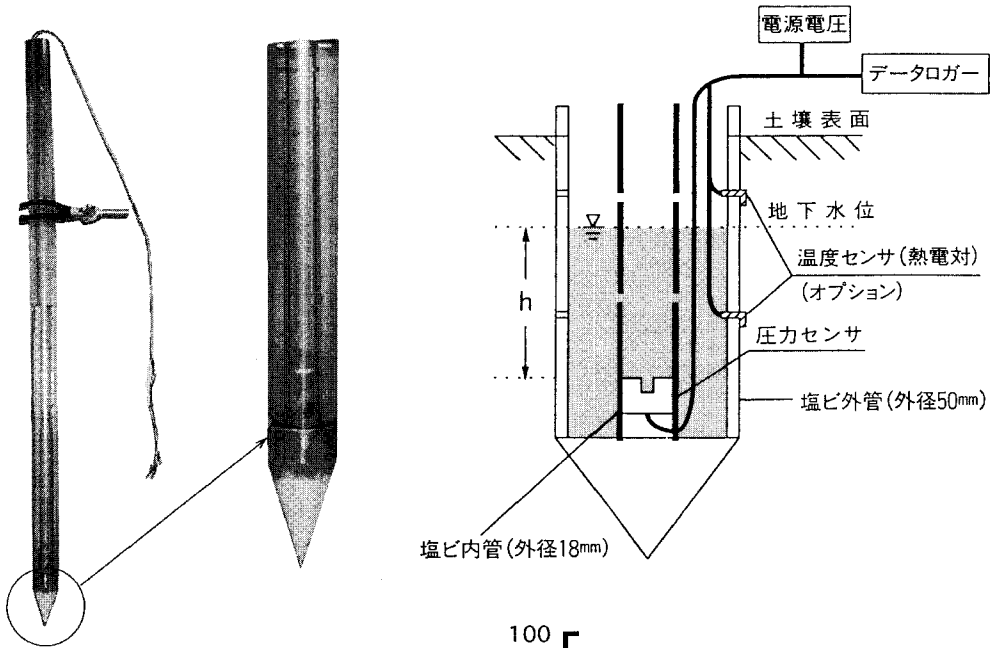
(本対外報告についての問い合わせは日本学術会議事務局学術課の三神雅子氏、電話 03-3403-5706 まで。)

* 日本学術会議会員

地下水の動きを迅速かつ容易に見る

圧力センサ式地下水位メータ (EN-GW-501)

1. 構成



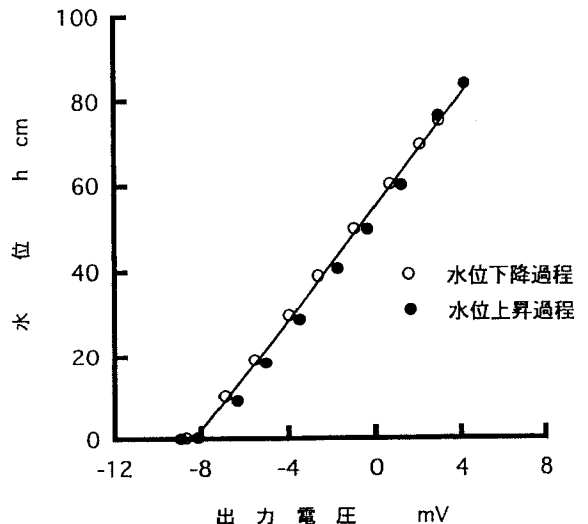
2. 圧力センサ (拡散型半導体圧力変換器)

1) 仕様

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

2) 特性

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



3. 地下水位メータ仕様

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

エンドウ理化

〒001-0910 札幌市北区新琴似10条7丁目3-16

☎ (011) 763-1088
FAX (011) 763-1667

I. 1999 年度第 2 回評議員会

開催日時：1999 年 11 月 20 日（土）11：25～12：25
 開催場所：日大生物資源科学部東京校舎 6 号館 3 階第 2 会議室

出席者：河野，渡邊，佐藤，粕淵，軽部，宮崎，塩沢，長谷川，松川，成岡，井上，大塚，吉川，事務局（鈴木，重松，青木，石川），他（委任状 6）

議題

- 1) 会員入退会者について（報告）
- 2) 現在会員数について（報告）
- 3) 1998 年度事業報告（報告，承認）
- 4) 1998 年度決算報告（報告，承認）
- 5) 1999 年度事業計画（報告，承認）
 - ・評議員会 2 回開催（1999.8.5 および 1999.11.20）
 - ・研究会誌「土壌の物理性」82，83，84 号発行
 - ・第 41 回シンポジウムおよびポスターセッション開催（1999.11.20）
- 6) 1999 年度予算（承認）
- 7) 日本学術会議学術研究団体登録申請の件について
 会長より，学会名称変更に伴っての日本学術会議学術研究団体への登録が許可された旨の報告がなされた。
- 8) 編集委員会
 - ・「土壌の物理性」編集・発行状況について報告された。
 - ・投稿規定および執筆要領の改訂する旨について報告された。

- 9) 40 周年記念事業について（進捗状況報告）
- 10) その他

II. 1999 年度総会

開催日時：1999 年 11 月 20 日（土）13：05～13：50
 開催場所：日大生物資源科学部東京校舎 6 号館 3 階第 1 会議室

出席者：約 100 名
 総会議長：粕淵辰昭

議題

- 1) 会員入退会者について（報告）
- 2) 現在会員数について（報告）
- 3) 1998 年度事業経過報告（報告・承認）
- 4) 1998 年度決算報告（報告・承認）
- 5) 1999 年度事業計画（報告，承認）
- 6) 1999 年度予算（承認）
- 7) 本会名称変更に伴う会則変更・学会英名変更・学会誌英名変更に関する件
 学会名称変更に伴う会則改正（学会英名称・学会誌英名称，その他会則）について報告され承認された。
- 8) 編集委員会報告
 「土壌の物理性」編集・発行状況（報告）
- 9) 40 周年記念事業について（作業中間報告）
- 10) 日本学術会議学術研究団体登録について（報告）
- 11) その他（報告，承認）

III. 1998 年度決算と会計監査報告

1. 1998（平成 10）年度 決算

自 1998.4. 1
 至 1999.3.31

収入の部					
項目	予算額	決算額	増減	内 訳	
繰越金	3,772,515	3,772,515	0		
正会員費	2,639,400	2,476,500	▲162,900	98 年度，約 320 人	1,790,000
				滞納分	626,000
				99 年度分	60,500
学生会員費	96,600	62,000	▲34,600	98 年度，14 人	42,000
				滞納分	20,000
購読会費	748,500	549,500	▲199,000	98 年度	231,000
				滞納分	318,500
賛助会費	322,500	322,500	0	98 年度，12 社	272,500
				滞納分	50,000
出版物売上	100,000	269,340	169,340	別刷，超過頁他	
雑収入	100,000	378,375	278,375	広告掲載料他	
合計	7,779,515	7,830,730	51,215		

▲：収入減

支出の部

項 目	予 算 額	決 算 額	増 減	内 訳
会誌製作費	4,250,000	2,721,866	1,528,134	77～80号, 4号分
総会費	300,000	212,542	87,458	
通信費	300,000	96,526	203,474	
文具費	150,000	73,067	76,933	
賃金	150,000	0	150,000	
交通費	150,000	14,000	136,000	
会議費	100,000	15,280	84,720	
幹事手当	75,000	65,000	10,000	
編集委員会費	200,000	96,700	103,300	
40周年記念事業費	400,000	42,213	357,787	
選管委員会費	350,000	118,755	231,245	
予備費	1,354,515	27,120	1,327,395	
次年度繰越金	—	4,347,661	—	
合 計	7,779,515	7,830,730	▲51,215	

▲：支出増

次年度繰越金の所在

郵便振替口座	504,435
郵便貯金口座	1,612,097
銀行口座	2,190,472
現 金	40,657
合 計	4,347,661

2. 会計監査報告

土壌物理研究会

1999年3月31日

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

1998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、1999年3月31日、厳正に監査を行った結果、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。

IV. 1999年度予算案

土壌物理学会 1999（平成11）年度 会計予算（案）

自 1999.4. 1

至 2000.3.31

収入の部

項 目	予 算 額	備 考
繰越金	4,347,661	
正会員費	2,471,700	(99年度分 2,711,500 + 滞納分 819,500) ×0.7 = 2,471,700
学生会員費	81,900	(99年度分 75,000 + 滞納分 42,000) ×0.7 = 81,900
購読会費	444,150	(99年度分 413,000 + 滞納分 221,500) ×0.7 = 444,150
賛助会費	204,750	(99年度分 292,500 + 滞納分 0) ×0.7 = 204,750
出版物売上 雑収入	100,000 100,000	
合 計	7,750,161	

支出の部

項 目	予 算 額	備 考
会 誌 製 作 費	4,520,000	会誌 81, 82, 83, 84 号発行 幹事 6 人 会誌査読料 土壌物理標準用語辞典出版関係費
総 会 費	350,000	
通 信 費	300,000	
文 具 費	150,000	
賃 金	150,000	
交 通 費	200,000	
会 議 費	100,000	
幹 事 手 当	60,000	
編 集 委 員 会 費	200,000	
40 周年記念事業費	400,000	
予 備 費	1,320,161	
合 計	7,750,161	

(補足資料)

収入の部	単 価	人 数	99 年度分	滞納分
正 会 員 費	5,500	493	2,711,500	819,500
学 生 会 員 費	3,000	25	75,000	42,000
購 読 会 費	7,000	59	413,000	221,500
賛 助 会 費	22,500	13	292,500	0

支出の部

前年度同様に、予備費が全支出の17%を占めており、やや大過ぎるという意見が出された。これに関しては、事務処理（例えば、会員の入会および退会届け、会費の徴収、請求等、etc）の一部を外注することも踏まえ、継続検討することとした。

V. 会員動向 1999.11.20

1. 入会希望者：正会員 5 名（1999.04.01～1999.10.31）

<正会員>

諸泉 利嗣 岡山県 岡山大学 環境理工学部

保井 聖一 北海道

丹羽 勝久 北海道 (株)ズコーシャ

蝦名 春三 青森県 青森りんご試験場

加藤 哲郎 東京都 東京都農業試験場

2. 退会希望者：正会員 5 名、購読会員 1 機関（1997.11.01～1998.03.31）

<正会員>

久保 博 東京都 大林組技術研究所

越野 正義 茨城県

二見 敬三 兵庫県

古江 広治 茨城県 農業研究センター

三輪 晃一 鹿児島県 鹿児島大学 農学部

<購読会員>

秋田県立農業短期大学部 図書・情報センター

3. 現会員数（1999.04.01.現在）

会 員 種 別	会 員 数	
正 会 員	北 海 道	72
	東 北	46
	関 東	187
	中 部	37
	近 畿	35
	中・四国	63
	九 州	49
	外 国	4
小 計	493	
学 生 会 員	北 海 道	5
	東 北	1
	関 東	16
	中 部	0
	近 畿	1
	中・四国	2
	九 州	0
小 計	25	
購読会員	59	
賛助会員	13	
合 計	590	

4. 異動（20 名）（括弧書きは旧住所、所属）

荒木 誠 茨城県 稲敷郡荻崎町松の里 1 森林農業研究所

(京都府 森林総合研究所関西支所)

荒木 陽一 福岡県 久留米市御井町 1823 野菜茶試研場

(京都府 中国農業試験場)

- 石幡 信 岩手県 江刺市岩谷堂字根岸 116 岩谷堂
農林高等学校
(岩手県 県立花巻農業高校)
- 臼澤 茂明 北海道 中川郡美深町字敷島 119 上川北
部地区農業改良普及センター
(北海道 石狩北部地区農業改良普及所)
- 小倉 力 茨城県 つくば市大わし 1-2 国際農林水
産業研究センター
(茨城県 農業工学研究所農地整備部)
- 陣内 文仁 佐賀県 佐賀市内 1-1-59 佐賀県農林部
農村整備課
(佐賀県 佐賀県農業試験研究センター)
- 菅原 和夫 茨城県 つくば市観音台 3-1-1 農業環境
研究所
(沖縄県 国際農林水産業研究センター沖
縄支所)
- 杉江 昌 東京都 小金井市中町 2-24-16 東京農工
大学 BASE 岡崎研究室
(東京都 東京農工大学)
- 加藤 邦彦 北海道 札幌市豊平区羊ヶ丘 1 北海道農
業試験場
(茨城県 農業環境技術研究所)
- 中辻 敏朗 茨城県 つくば市観音台 3-1-1 農業研究
センター
(北海道 北海道立天北農業試験場)
- 浜崎 忠雄 茨城県 つくば市大わし 1-2 国際農林水
産業研究センター
(茨城県 農業環境技術研究所)
- 濱田 洋平 茨城県 つくば市天王台 1-1-1 筑波大学
大学院
(茨城県 筑波大学, 学生会員)
- 坂西 研二 沖縄県 石垣市真栄里町川良原 1091-1 国
際農林水産業研究センター
(茨城県 農業環境技術研究所)
- 福原 道一 栃木県 那須郡西那須野町千本松 768 草
地試験場
(茨城県 農業環境技術研究所)
- 福本 昌人 茨城県 つくば市観音台 2-1-2 農業工学
研究所
(北海道 北海道農業試験場)
- 松元 順 鹿児島県 肝属郡串良町細山田 4938 鹿児
島県農業試験場大隈支場
(鹿児島県 鹿児島県農業試験場)
- 横井 義雄 北海道 滝川市東滝川 735 北海道立花・
野菜技術センター
(北海道 北海道立中央農業試験場)
- 横田 啓 神奈川県 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7
横浜国立大学環境科学研究センター土壤環
境生物学研究室
(福島県)
- 吉田 正治 東京都
(新潟県 新潟大学農学部)
- 渡辺 治郎 北海道 札幌市豊平区羊ヶ丘 1 北海道農
業試験場
(長野県 草地試験場山地支場)

VI. 第 41 回土壤物理学学会シンポジウム

開催日時: 1999 年 11 月 20 日 (土)

開催会場: 日大生物資源科学部東京校舎 6 号館 3 階
第 1 会議室

参加者数: 97 名 (受付登録者数)

1. テーマ: 「生態系をめぐる土壤物理の諸課題」

セッション I 座長: 西村 拓 (東京農工大学大学院農
学研究科)

(1) 「森林の土壤生態系と物質循環」 生原喜久雄
(東京農工大学農学部)

(2) 「植物の根, 菌根の発達と土壤物理性」 磯部勝
孝 (日本大学生物資源科学部)

セッション II 座長: 加藤英孝 (農業環境技術研究所)

(3) 「土壤動物の生態と土壤物理」 中村好男 (東北
農業試験場)

(4) 「土壤微生物と生態系」 太田寛行 (茨城大学農
学部)

(5) 「堆肥連用土壤の理化学性と作物収量」 加藤哲
郎 (東京都農業試験場)

総合討論 司会: 小林裕志 (北里大学獣医畜産学
部)・粕淵辰昭 (山形大学農学部)

2. ポスターセッション: 「土壤物理研究の最前線」

(1) 「DISTRIBUTION OF MINERAL IONS IN
ROOT AND LEAF TISSUES AND THEIR ROLE
IN SALT TOLERANCE OF WHEAT VARIE-
TIES UNDER SALINE CONDITIONS」

Maqsood Ahmed Kamboh (Graduate School Nat.
Sci. & Tech., Okayama University),
Yoko Oki and Tadashi Adachi (Fac. Environ. Sci.
& The., Okayama University)

(2) 「定水位浸潤計を用いた逆解析による原位置の水
分特性値の推定」

井上光弘 (鳥取大学乾燥地研究センター), Jirka
Simunek (米国農務省塩類研究所), 森井俊弘 (新潟
大学農学部)

(3) 「作物の根系発達からみた細粒質褐色低地土の耕

盤層破碎方法の検討」

丹羽勝久・菊地晃二（帯広畜産大学），大淵清志（(株)ズコーシャ）

- (4) 「TDR を用いた簡易 pF 試験法の開発」
諸泉利嗣（岡山大学環境理工学部），佐藤裕一・佐藤幸一（北里大学獣医畜産学部）
- (5) 「不飽和土壌における毛管水の圧力的連続性について」
栗生田忠雄（新潟大学農学部），金沢千明（新潟大学大学院自然科学研究科）
- (6) 「TDR プローブを用いた土壌物理性の推定に関する基礎的研究」
本田澄恵（東京農工大学農学部），西村 拓（東京農工大学大学院農学研究科），加藤 誠（東京農工大学農学部）
- (7) 「泥炭土の排水収縮挙動とそれに伴う圧縮応力分布変化について」
飯山一平・井本博美・宮崎 毅（東京大学大学院農学生命科学研究科）
- (8) 「モンモリロナイトに吸着した Cd の表面錯体」
高松利恵子・宮崎 毅（東京大学大学院農学生命科学研究科），中野政詞（神戸大学農学部），朝倉清高（北海道大学理学部）
- (9) 「田畑輪換圃場における土壌微生物数分布と CO₂、O₂ ガス濃度分布の相関について」
藤川智記・宮崎 毅・関 勝寿・井本博美（東京大学大学院農学生命科学研究科）
- (10) 「土壌の熱伝達率の塩類依存性の相対湿度を用いたモデルについて」
望月秀俊・宮崎 毅（東京大学大学院農学生命科学研究科）
- (11) スラリーと一次粒子結合体の力学的強度および耐水性—スラリー施用による土壌物理性改善効果に関

する研究—

加藤 巨・小林裕志・杉浦俊弘・馬場光久（北里大学獣医畜産学部）

VII. 1999 年度第 3 回編集委員会

日 時：2000 年 3 月 10 日（金）15：00-18：00

場 所：日本大学生物資源学部東京校舎第 3 会議室

出席者：軽部重太郎（編集委員長），加藤 誠，原口暢朗，関 勝寿，青木正雄（編集幹事）

議事

1. 会誌第 83 号の構成・発行について
 - ・ 3 月 1 日に原稿を印刷所に渡したとの報告があった。
 - ・ 表紙，目次の外国人著者名はカタカナでなく英語で表示することにした。
2. 会誌第 84 号の編集と取り扱い原稿について
 - ・ 閲読状況について報告があった。
 - ・ 84 号に向けて，研究紹介を三重の渡辺氏に依頼すること，編集後記を原口氏が担当することなどを決めた。
3. 「土壌の物理性」原稿執筆要領 の改訂について
 - ・ 量記号，単位記号，および化学記号の書き方の項は，投稿のし易さを考慮して削除した（主に印刷の仕方の問題であることと，JIS Z 8202 が入手しにくい会員がいるため）。国際単位系（SI）についても，JIS Z 8203 の部分を削除した。
 - ・ 「推奨されない単位」は記載しない事にした。
 - ・ 引用文献のページの記載の仕方について一言付記する事にした。
4. その他
 - ・ 閲読報告書の書式について次回に検討する。
 - ・ 次回（第 85 号の編集に向けて）は第 84 号の編集が一段落したところを開く。

一編集後記一

本号は、新たな編集委員会の体制が変わってから3冊目にあたる。編集委員会のメンバーが変わった当初には、取り扱っている原稿の数があまり多くなかった。しかし、会員諸氏のご努力のおかげで、その後続々と原稿が寄せられ、この傾向は現在も続いている。編集委員会として心強い限りである。この場をお借りして、編集委員の一人として会員諸氏に感謝申し上げる。現在、発行のペースがやや遅れているが、すぐに遅れを取り戻せると私個人は感じている。

昨今のめまぐるしい社会情勢を反映して、短期間で研究成果を挙げることを要求される機会が多くなった。しかし、過去に未解決の問題や中途半端に解決された問題

を置き去りにしたまま、短期間で研究成果が挙がるとは思えない。本雑誌のカバーする研究対象は、「水・溶質移動現象の定量化、作物生産と土壌の物理性との関わり」から「土壌の物理的側面のみならず、土壌の化学的・生物学的な諸現象」に拡大されてきたが、現在でもなお土壌物理学の基礎的問題や測定法の改良を扱った報文を本雑誌に見出すことができる。今後とも、土壌物理の学際領域に関わる問題に加えて、土壌物理学における未解決の基礎的問題や労力のかかる測定を伴う問題を扱った論文の活発な投稿を期待して止まない。

〈編集委員 原口暢朗（農業工学研究所）〉

土壌物理学会

事務局	会長	河野 英一（日本大学生物資源科学部）	
	副会長	渡辺 春朗（千葉県農業化学検査所）	
	庶務幹事	鈴木 創三（東京農工大学農学部）	
	〃	石川 重雄（日本大学生物資源科学部）	
	会計幹事	重松 智範（千葉県環境財団）	
	編集幹事	青木 正雄（日本大学生物資源科学部）	
	会計監査	松川 進（宇都宮大学農学部）	
	〃	小川 吉雄（茨城県農業総合センター）	
	編集委員会	委員長	軽部重太郎（茨城大学農学部）
		委員	加藤 英孝（農業環境技術研究所）
加藤 誠（東京農工大学農学部）			
駒村 正治（東京農業大学地域環境科学部）			
島田 清（東京農工大学農学部）			
関 勝寿（東京大学大学院農学生命科学研究科）			
原口 暢朗（農業工学研究所）			
平野 繁（東京農業大学農学部）			

土壌の物理性 第84号（会員配布） 2000年7月15日発行

発行 土壌物理学会

〒252-8510 神奈川県藤沢市亀井野 1866
 日本大学生物資源科学部 生物環境工学科内
 電話 0466-84-3696 Fax 0466-80-1103
 E-mail: kohno@brs.nihon-u.ac.jp
 振替口座 00150-2-17794
 銀行口座 東京三菱銀行藤沢支店（店番 257）
 普通 1495164「土壌物理学会」

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

土壌をそのまま測定!!

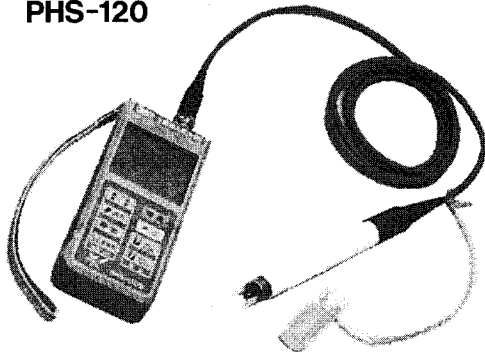
NO₃⁻ 土壤用硝酸イオンメーター

NOS-120



pH 土壤挿入式 pH 計

PHS-120



EC 土壤用 EC メーター

PK-33



pF セラミックス土壤水分計

pF-33



土壌 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

〒114-0024 東京都北区西ヶ原1-46-16

TEL 03(3918)8111 (代)

FAX 03(3918)8119

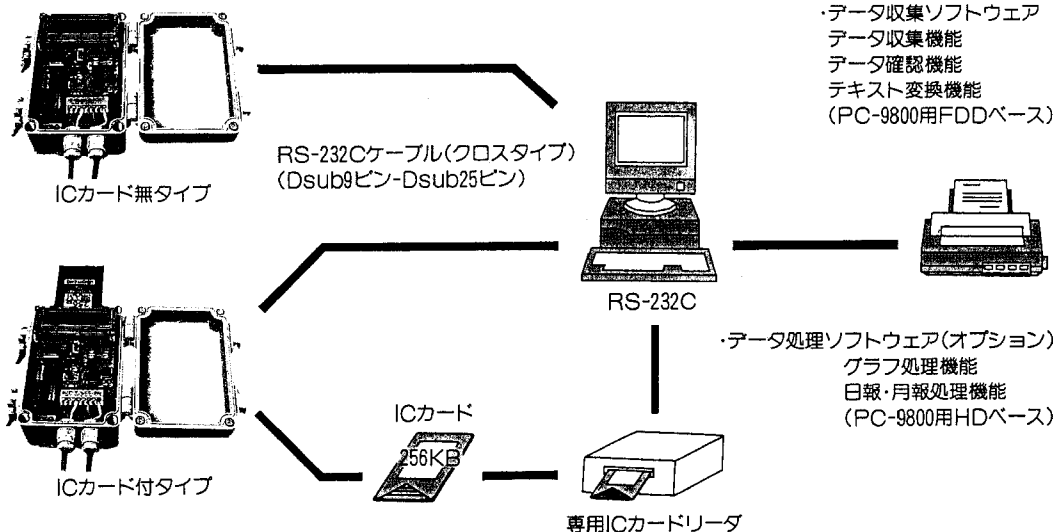
センサ入力固定型フィールドデータロガー

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

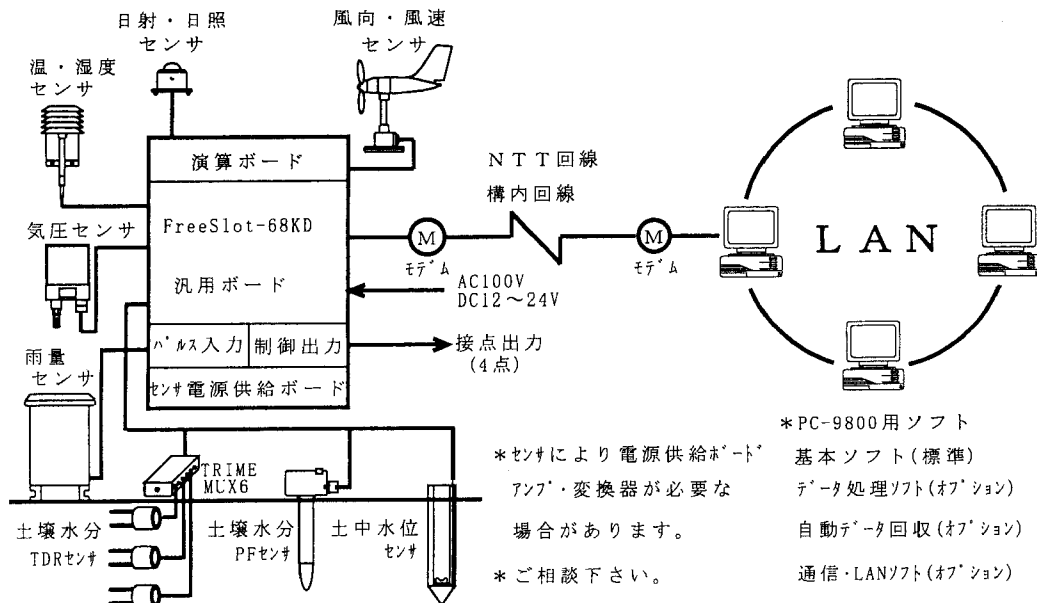
<データ収集とデータ処理方法>



多機能・多チャンネル データロガー

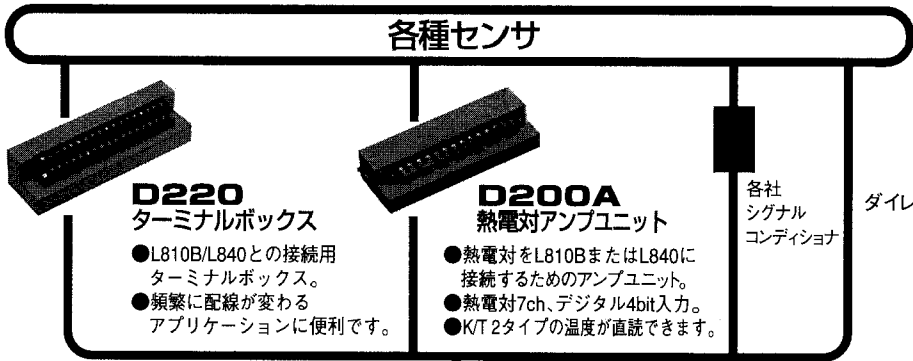
FreeSlot-68KDシリーズ

<気象観測システム例>

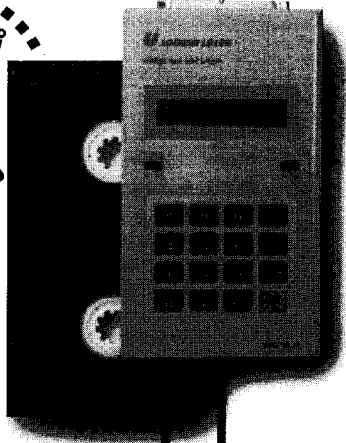


※ F80・FreeSlot-68KD用Windows95対応ソフトウェア (オプション)

開発・製造元 **M-C** 有限会社 **エム・シー・エス**
 〒064-0804 札幌市中央区南4条西10丁目1004番1 南4条ユニハウス
 TEL 011-562-5547 FAX 011-563-2555



ビデオテープ
サイズが
うれしい!



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

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

DATA LOGGER

データロガーLシリーズ

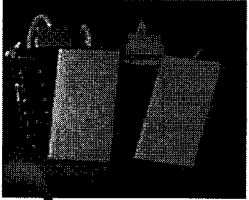
- L810B/電圧入力・長期間タイプ
- L840/電圧入力・超高速タイプ
- L822/熱電対入力・温度記録タイプ
- L830/測温抵抗体入力・温度記録タイプ
- L835/温湿度センサ入力・温湿度記録タイプ

RS-232C



メモ리카ード

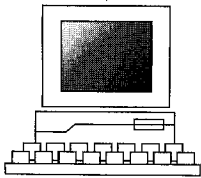
- L810B、L840で使用できます。
- JC128、JC256、JC512、JC1024、JC2048



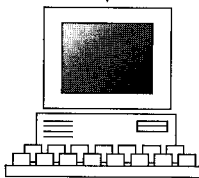
**RW98A
RWAT
RW98AN**

メモ리카ードドライバ

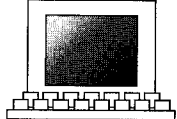
- PC9801シリーズ、PC/AT互換機、PC98noteシリーズ専用のメモ리카ードドライバです。
- メモ리카ードに記録したデータをパソコンに高速送信するのに最適です。



PC9800シリーズ

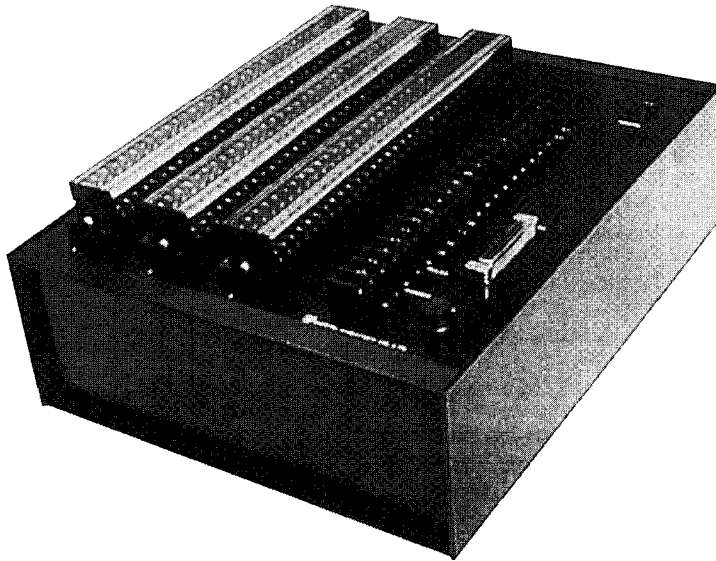


PC/AT互換機



PC98noteシリーズ

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ィショナ内蔵。センサを個別に各点に指定, 混在できる。センサ変換器を必要としないから計測コストが抜群

センサ電源を供給

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

多チャンネル

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

12Vバッテリー動作

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

ネットワーク

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

マイナス温度に強いマシン

-25℃~45℃動作機器は標準 -40℃から動作機器も出荷します

ロガーの機能を高める演算機能

専用演算回路による平均 積算 ピーク 数値値積算 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**

〒062-0001 札幌市豊平区美園1条8丁目1-28
TEL. 011-833-4386 FAX. 011-833-4387

複写される方に

本誌に掲載された著作物を複写したい方は、(社)日本複写権センターと包括複写許諾契約を締結されている企業の従業員以外は、著作権者から複写権等の行使の委託を受けている次の団体から許諾を受けて下さい。著作物の転載・翻訳のような複写以外の許諾は、直接本会へご連絡下さい。

〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 学術著作権協会

TEL : 03-3475-5618 FAX : 03-3475-5619 E-mail : kammori@msh.biglobe.ne.jp

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.

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)

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

TEL : 81-3-3475-5618 FAX : 81-3-3475-5619 E-mail : kammori@msh.biglobe.ne.jp

Journal of the Japanese Society of Soil Physics

No. 84

July 2 0 0 0

Contents

Foreword	H.WATANABE	1
Original Papers		
Investigation on the Removal of Soluble Elements of Iron, Manganese, Calcium and Potassium in Soil Solution using an Open Lysimeter at Paddy Fields	C. SASAKI, K. KOSEKI, K. TANIGUCHI and M. INAGAKI	3
The Influence of Percolation Patterns on the Removal of Soluble Elements in Stratified Paddy Fields of Kuroboku Soil, with Rice	C. SASAKI, M. INAGAKI, N. MATUYAMA, K. ENARI and K. KOSEKI	13
The Effect of Simultaneous Application of Organic Matter with Soil Dressing of Pumice Flow Deposit (I) Changes of Soil Physicochemical Properties and Microbial Activities	H. TAKEUCHI, S. HIGASHIDA, N. ICHIKAWA and I. MATSUBARA	23
The Effect of Simultaneous Application of Organic Matter with Soil Dressing of Pumice Flow Deposit (II) The Responce of Crop Yield	H. TAKEUCHI, S. HIGASHIDA, N. ICHIKAWA and I. MATSUBARA	33
Notes		
Measurement of Water Content in Unsaturated Aquifer in the Ashigara Alluvial Fan	H. HAMADA, S. NIHIRA and Y. MIYASHITA	43
My Research		
Microscopic Observation Near Growth Surface of Ice Lens and the Ice Lensing Model	K. WATANABE	49
Miscellaneous		
Soil Conservation and Farming Systems on Slope Land in Indonesia and the Philippines	S.M. MEDINA, H. NARIOKA, J.N.M. GARCIA and MASTUR	57
Reader's Column		
Developments in Scientific Technology and New Threats to Peace —Report of Science Council of Japan—	T. TABUCHI	65
Announcements		67
Editor's Postscript		72

Japanese Society of Soil Physics

Department of Bioenvironmental and Agricultural Engineering
College of Bioresource Sciences, Nihon University
1866 Kameino, Fujisawa-shi, Kanagawa 252-8510, Japan