

土壌の物理性

第73号

1996年3月

巻頭言	穴瀬 真	1
報文		
耕作放棄棚田における土壌特性の経年変化	太田 健・谷山 一郎・草場 敬・森 昭憲・荒谷 博	3
地下水環境の急変が植生に与える影響	谷川 寅彦・矢部 勝彦・福田 勇治・衣斐 隆志	11
1993年5月から10月までの中国瀋陽地区の大豆畑の土壌水分変動状況について	張 玉龍・郭 玉文・加藤 誠・安富 六郎	19
寒冷地における凍結融解と土壌侵食—土壌構造の変化が雨滴による侵食過程に与える影響—	三原真智人・中川 英・安富 六郎・成岡 市・穴瀬 真	25
堆肥施与による水稲収量の増加要因の解析 —窒素の吸収パターンと土壌間隙率の増加—	平野 繁・田辺 猛	31
Influence of Slope Gradient on the Interrill Erosion of Shirasu Soil	細山田健三・張 科利	37
総説		
Na ⁺ を中心にした根のイオン吸収・移動機構について	花山 奨・中野 政詩	45
資料		
酸性溶液が土壌の透水性と塩類溶脱に及ぼす影響	松川 進・富田平四郎・鈴木 敬	53
土粒子		
南カルフォルニアでの4年間 Salinity Laboratory での滞在を振り返って	取出 伸夫	59
書評		
秋田のジュンサイ—ジュンサイ田造成と栽培・管理の実際—(土崎哲男著)	梅田 安治	63
土壌物理環境測定法(中野政詩ほか共著)	波多野隆介	64
土壌間隙のX線立体造影法(徳永光一著)	長谷川周一	65
会務報告		66
編集後記		71

土 壌 物 理 研 究 会

土壌物理研究会会則

- 第1条 本会は土壌物理研究会 (Research Association of Soil Physics, Japan) と称する。
- 第2条 本会は土壌の物理性を中心とする試験研究の発展と農業技術への貢献を図ることを目的とする。
- 第3条 本会はその目的を達成するため次の事業を行う。
- (1) 研究発表会、討論会及び見学会などの開催
 - (2) 土壌の物理性 (Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan 会誌という) 並びにその他の印刷物の発行
 - (3) 内外の研究、技術の交流及び他の学会、諸団体との協力
 - (4) その他本会の目的を達成するため必要な事業
- 第4条 本会の会員は、正会員、学生会員及び賛助会員、購読会員の4種とする。
会員となるには評議員会の承認を受けなければならない。
- 第5条 会員は次の会費を所定の期日までに収めるものとする。
- | | | |
|-----------|------|---------|
| 正会員 | 年額 | 3,500円 |
| 学生会員 | 年額 | 2,000円 |
| (大学院生を含む) | | |
| 賛助会員 | 1口年額 | 15,000円 |
| 購読会員 | 会誌年額 | 4,500円 |
| 広告料 | 賛助会員 | 実費 |

賛助会員以外 実費の5割増

- 第6条 本会に次の会員をおく。任期は2年とする。ただし、3期連続の重任は認めない。選出方法は別に定める。
- (1) 会長1名、副会長1名
正会員の中から評議員会によって選出される。
 - (2) 評議員
イ 15名 正会員の中から互選する。
ロ 3名以内 会長が委嘱する。
 - (3) 会計監査 2名
正会員の中から評議員会によって選出される。
 - (4) 幹事 若干名
会長委嘱
- 第7条 会長は毎年1回以上総会並びに評議員会を招集する。
- 第8条 本会に次の委員会をおく。
- (1) 選挙管理委員会
正会員の中から評議員会によって選出され、本会の評議員選挙を管理する。
 - (2) 編集委員会
正会員の中から評議員会によって選出される委員によって構成され、会誌その他の印刷物の編集に当る。
- 第9条 本会の経費は会費その他の収入をもってあてる。
- 第10条 本会の会務執行に必要な規定は別に定める。
(1984. 11. 22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) 投稿には下記形式の送り状を付け、正原稿1部、コピー2部の計3部を送付する。初校のみ著者校正とし、印刷ずみの原稿は返さない。別刷は30部を著者に贈呈する。それ以上希望する場合は実費を申し受ける。
- 5) 本誌に記載された論文の著作権は、土壌物理研究会に帰属する。

発年月日		受付年月日	
種別		原稿枚数	
表題		図表数	表__枚、図__枚
著者名		写真数	__葉
所属		別刷	30部+部
キーワード(和文・英文)			

付記：投稿は下記宛のこと
「土壌物理研究会編集幹事」

2. 原稿執筆要領

- 1) 原稿の執筆は、日本語原稿の場合、400字詰横書き原稿用紙を用いる。ワードプロセッサを使用する場合は、A4判で横25字、縦23行とし、上左右30mm、下端に50mmの余白をとる。英語原稿の場合は、A4判ダブルスペースで作成する。
- 2) 原稿枚数は、図表を含めて刷り上がり6ページ以内とする（日本語原稿では、刷り上がり1ページは、2300字で、ワードプロセッサ使用の場合は4枚が1ページに相当する。英語原稿では、刷り上がり1ページは、4600字）。

表題・著者名・キーワード

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

本文

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

- 17) 数量の単位は原則としてSIを用いる。
- 18) 文献の引用は著者名、年号をつける。著者が2名の場合は、両者の名字と年号を記す。3名以上の場合は、以下の例に従う（Tanaka *et al.* (1994) は・・；竹中ら (1960) は・・；・・ (Taylor *et al.*, 1945).)。)
- 19) 図・表・写真番号は図-1, 表-1, 写真-1のように書く。
- 20) 謝辞は本文末尾につける。
- 21) 英文原稿も上記に準じる。ただし英文の適正化は、著者の責任において行うこと。

英文要約

- 22) 報文には300語以内の英文要約をつける。
- 23) 英文要約の下に、5個以内のキーワードを記す。

図・表・写真

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

引用文献

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

(1993. 9. 6改定)

編集委員会からのお知らせ

「土壌の物理性」第75号(1996年10月)では、一般の原稿とともに、小特集「土壌物理と環境変化」の原稿を募集します。

小特集「土壌物理と環境変化」のねらいと原稿の募集要項

酸性雨、廃棄物放棄、森林乱伐に伴う侵食、過剰施肥に伴う硝酸汚染などによる陸上生態系の基盤環境である土壌へのインパクトの強大化が懸念されています。一方、土壌にはもともと諸物質の吸着、固定、微生物分解などの機能が備わっていて、この機能を生かす浄水システムが利用されてきました。このシステムを環境維持管理に適用して、土地利用計画を樹立する試みもなされつつあります。それは水田や湿地の浄化機能などの適用です。また、外部からのインパクトを考慮する農地の維持管理が図られなければ、農地のこれまでの豊かさを持続できないばかりか、農地自身が外部へのインパクト要因ともなってしまいます。このため、農地の「環境容量マップ」の作成も望まれています。

したがって、土壌物理の分離においても、環境変化に適応する視点から、

- 1) 土壌物理の概念の整理と新展開、
- 2) 土壌物理の測定法の整理と応用手法、
- 3) 土壌物理の環境の維持管理と保全への応用

などの基礎と実践の研究が必要と言えます。

本小特集では、これらに関わる報文、ノートおよび資料を募集します。なお、原稿は執筆規定に従って作成して下さい。

原稿の締切りは1996年7月末日とします。なお、原稿は下記へお送り下さい。多数の方々の投稿を期待します。

〒252 藤沢市亀井野 1866 日本大学生物資源科学部
河野 英一
TEL・FAX 0466-80-1103

土について考えよう

穴 瀬 真

農業は食糧という人間にとって不可欠な物質を生産し続けている。その生産の土台が土であり、食糧生産は土の大きな役割である。

生態学的に見るとかつての農業は土を主体とし、土の上で生産-消費-還元という物質循環に沿って営まれてきた。しかしながら最近はこの農業を支えてきた土の変質が顕在化してきている。生産性向上のみを追求してきた近代農業は、エネルギー、肥料・農薬の大量を消費し、生態系の調和を欠き、生態系における物質循環は途絶えてきている。昔は水田に戻されていたワラは焼かれ、手間のかかる堆肥づくりは耕耘機の発達と共に姿を消したといわれている。

技術革新で米作の作業時間は1965年以来大幅に減少し、堆肥の使用料も4分の1に減少したが、それでも化学肥料の投入で収量は維持してきた。「今の米作りは土に指を触れなくてもできる」といわれている。

経済合理化や労働生産性の目の前の追求が、農業が特徴とする物質循環を断ち切り、その結果完全に悪化、劣化してきている。

一方海外では、発展途上国における人口急増を起因として、森林の焼畑農業、農地、牧草地への転換、外国企業などによる商業的伐採が行われてきた。国連食糧農業期間 (FAO) の90年調査では南北回帰線に囲まれた地域に育つ熱帯林は年間1,700万 ha (本州面積の約7割) が消滅しているといわれている。

私もタイ国の東北地方コンケン市を調査の関係で訪れるが、乾期には荒涼とした白い地面が広がっている。この土地も第2次世界大戦前後から周辺地域からの難民の流入に伴って人口が増加し、森林が伐採され農地へと変換していった。現在東北タイに残っている森林面積はもとの面積の15パーセントに減少したといわれている。急激な森林開発、熱帯林の減少をくい止めるため処々にユーカリの植林を見ることができ、その傍ら畦畔の残っており、昔の水田地帯の跡であることを示している。run-offの増大による侵食の激しさを示すように大きなガリーがみられ、それと共に白い塩類集積地の広がりを見ると、「田圃まさに荒れなんとす」という荒漠たる風景である。この景色を見るたびに緑がいかに重要であるか思いしらされる。人間が勝手気ままに利用し、土を破壊し、生態系、環境を破壊に導いたのである。この回復は極めて困難であって、長年月を要すると考えられる。

土に根ざした農村の衰退は自然環境の破壊を招いてしまったのである。我々は今一度土について考え、その保全、回復について真剣に取り組む必要があることを痛感する。

耕作放棄棚田における土壌特性の経年変化

太田 健・谷山一郎・草場 敬*・森 昭憲**・荒谷 博***

Changes in the Soil Properties of Terrace Paddy
Fields with the Years after AbandonedTakeshi OTA · Ichiro TANIYAMA · Takashi KUSABA* ·
Akinori MORI** and Hiroshi ARAYA***

National Institute of Agro-Environmental Sciences

* Hokkaido National Agricultural Experiment Station

** Shikoku National Agricultural Experiment Station

*** National Grassland Research Institute, 768 Senbonmatsu

Abstract

In hilly and mountainous areas, many terrace paddy fields have been abandoned due to lack of the successor to the farmer, difficulty of irrigation and so on. To clarify the changes of the soils after abandoned, the terrace paddy fields that were 3, 12 and 20 years after farmers give up cultivation were investigated. The neighboring cultivated paddy fields, as the controls, were also investigated in Ohshima village, Niigata prefecture.

The soil three years after abandoned had little differences in soil morphology and property compared with the control. In the cultivated paddy fields, the soils were classified into Gley or Gray Upland soils. On the well-drained sites (dominated by *Miscanthus sinensis*), the soils 12 and 20 years after abandonment had been desiccated and classified into Brown Forest soils. The surface (plow) and subsurface (plowsole) layers of these soils had changes in soil color from reduced gley or gray to oxidized brown and had weakly developed granular structure. In contrast, the soils 12 and 20 years after abandoned on the poorly drained sites (dominated by *Phragmites communis*) were classified into the same taxa as the controls. Basic intake rate, hydraulic conductivity and macro pore were increased, and exchangeable bases were decreased with the years after abandoned in the surface and subsurface layers of the soils on the well-drained sites. There, however, were not significant differences in these properties of the soils on the poorly drained sites.

After abandoned, soil morphological features and physical properties were remarkably changed on the well-drained sites. The changes of the soils have been influenced by microtopography and drainage conditions.

Key words : hilly and mountainous area, terrace paddy field, abandoned cultivation land, soil property, soil morphology

農業環境技術研究所 〒305 つくば市観音台 3-1-1, *現北海道農業試験場 〒004 札幌市豊平区羊ヶ丘 1,

現四国農業試験場 〒765 善通寺市仙遊町 1-3-1, * 現草地試験場 〒329-27 栃木県西那須野町千本松 768

キーワード : 中山間地, 棚田, 耕作放棄地, 土壌特性, 土壌断面形態

1. はじめに

農業センサス累年統計書 (1992) によると全国の水田面積は1990年度で254万ha、そのうち、耕作放棄された水田は5万haと積算されている。耕作放棄地は大都市の周辺および中山間地に多く、その荒廃、地域の環境・景観に与える影響が問題になっている。

平地水田の休耕に伴う土壌特性の変化については、安西ら (1988) や小林ら (1972) の報告があり、安西ら (1988) は千葉県下の水田の休耕に伴う土壌特性の変化を調査し、平地の水田では一筆ごとの休耕なのでおおむね湿田方向 (グライ層あるいは斑鉄層が上昇) へ変化し、表層の固相率は減少し、ち密度、透水性は低下すること。逆に、棚田など、かんがい水の供給がなくなるところでは乾田方向に変化し、固相率、ち密度、透水性は増加すること。また、休耕によって作土の全炭素、全窒素、交換性カリ、可給態窒素は増加する傾向にあることを報告している。小林ら (1972) は北海道で泥炭、強グライ、洪積、沖積、火山性の各土壌型水田で、1ha以上まとまって休耕している水田土壌の変化を追跡し、湿田ではグライの退化、斑鉄の増加、土色の変化が顕著であるが、乾田では硬度が増加する以外は断面の変化は顕著でないこと。また、休耕により、気相率の増加、含水比の低下が顕著で乾燥が進み、粘質な土壌では亀裂や孔隙が発達すること。pHと塩基飽和度は低下する傾向にあることを報告している。

一方、中山間地の耕作放棄に伴う土壌特性の変化についての報告はほとんどない。熊谷 (1995) によれば、中山間地の耕地面積は全国の42%を占め、そのうち中間、山間地でそれぞれ4.2%、5.1%が耕作放棄地となっている。その原因として、農業生産基盤が脆弱で粗放作物の作付けが多いため、農業労働収度、生産性、そして農業所得が低いこと。また、農外雇用機会も狭く、若・壮年層は都市に流れ、残った農家は高齢化などで劣弱になったことをあげている。このような状況下、中山間地では地域社会の崩壊が懸念され、域土、国土の保全と農村らしい自然・景観・文化等環境の維持が困難になってきている。

耕作放棄棚田の有効利用など中山間地の農林業資源および環境の保全と管理のためには、耕作放棄された棚田の土壌特性や環境保全機能の変化を明らかにする必要がある。そのために、耕作放棄棚田の土壌特性の経年変化およびその土壌生成環境との関係を明らかにすることを目的とした。

2. 調査および実験方法

1) 調査地域の概要

調査地域とした新潟県東頸城郡大島村は標高200～600mの東頸城丘陵の一面で、隣接する安塚のアメダスデータ (気象庁, 1995) によると、年平均気温11.9°C、年降水量2,490mmで、夏は高温多湿、冬は積雪量が2mを超える豪雪地である。また、日本有数の地すべり地帯でもある (日本の地質『中部地方I』編集委員会, 1988)。大島村の資料によると、1990年の人口は1955年と比較して4割減少し、担い手不足や棚田へのアクセスの悪さ、あるいはかんがい水の確保が困難などの要因によって水田の35%が放棄されている。

調査地域一帯は第三紀鮮新世の砂岩泥岩の互層からなる田麦川累層 (新潟大学東頸城地域地質調査グループ, 1987) を母材とする。母材と地形、また、棚田開田前の土色を残していると考えられる耕作放棄12年対照の下層2Bwなどが黄褐色を呈することから、棚田開田以前の土壌は褐色森林土で、排水状態の悪い凹型斜面では湿性褐色森林土が、排水状態の比較的良好な凸型斜面では山地褐色森林土が分布していたと推定する。

聞き取りによると、棚田の開田は最初に切り盛りを行い、その後、漏水を防止するため大きな石を引き回し耕盤層を人為的に作る床締めを行うのが一般的だったとのことである。また、棚田の水管理の特徴として、収穫直後に灌水・代掻きが行われ非耕作期間も灌水状態とされ、乾燥し亀裂が入るのを防いでいる。

2) 調査地点および実験方法

耕作放棄後3年、12年、20年を経過した棚田と、対照として放棄棚田に近接した耕作中の棚田を調査対象とした (図-1)。放棄後の年数は農家からの聞き取りによった。また、対照とした耕作中の棚田は、放棄棚田と同じ時期、約80年前に開田された棚田であり、土壌生成環境が放棄棚田となるべく類似するように選定した。放棄3年の棚田ではヨシ (*Phragmites communis*) やヨモギ (*Artemisia princeps*) が優占し、田面の所々に水が停滞して湿った状態だった。放棄後12年と20年では、主に凸型斜面に存在し排水状態が良くスキ (*Miscanthus sinensis*) が優占する乾状態の棚田と、主に凹型斜面に存在し排水状態が悪くヨシが優占する湿状態の棚田に分けて調査した。放棄3年対照と放棄12年湿は周辺の水が集中する過湿な地点だった。それぞれ1断面を代表断面とし、断面記載後、層位ごとに化学性分析用試料、および、50mLあるいは100mL円筒試料の採取を行った。断面記載は土壌調査ハンドブック (1984) に準じた。また、断面付近のベシクインターグレー

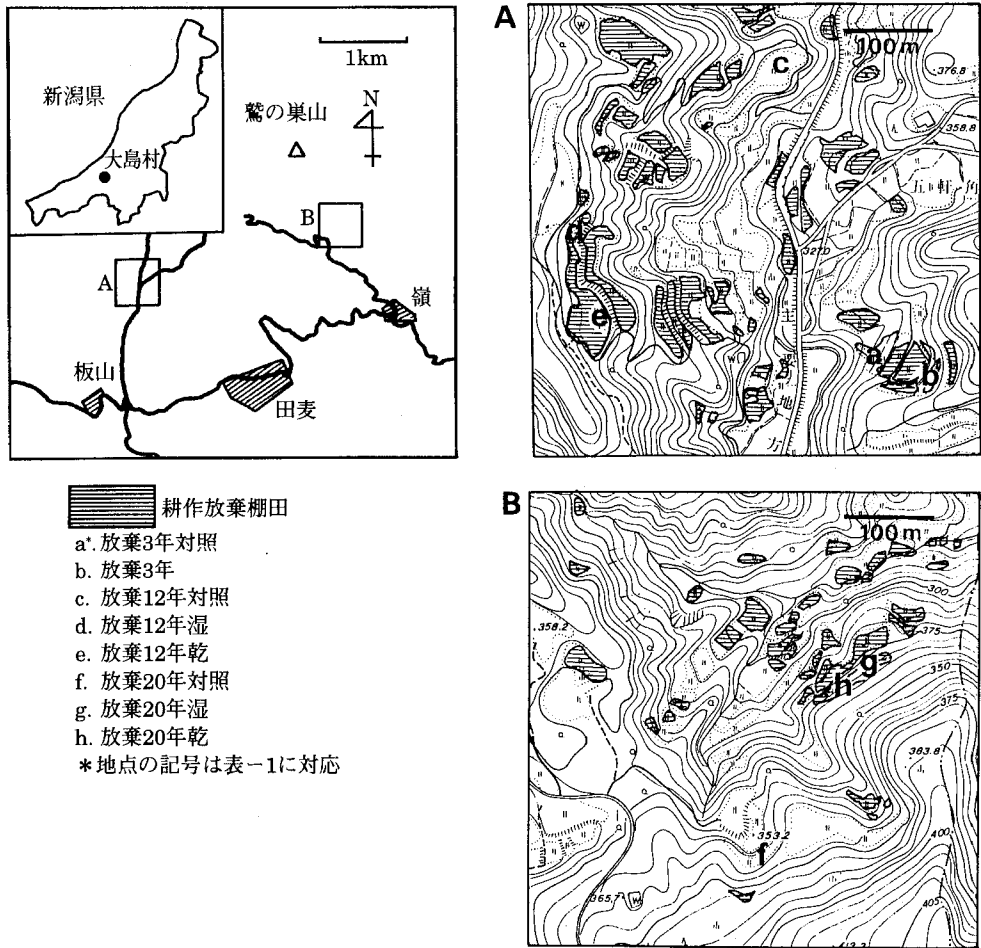


図-1 代表断面調査地点

Fig. 1 Survey sites of representative soil profiles.

トをシリンダー法（土壌標準分析・測定法，1986）で測定した。さらに，交換性塩基の分析試料として，放棄後12，20年の乾・湿状態では代表断面周辺4地点で表層（耕起層）及び次表層（耕盤層）を採取した。

採取した試料は土壌標準分析・測定法（1986）に従って，以下の項目について分析した。

- ・粗孔隙量（加圧板法：pF 0～1.8）
- ・飽和透水係数（定水位法）
- ・pH（H₂O）（ガラス電極法）
- ・交換性塩基含量，塩基交換容量（ショーレンベルガー法）
- ・全炭素および全窒素（乾式燃焼法）

3. 結果と考察

1) 断面形態の変化

代表断面の断面形態を表-1に示した。分類名は農耕地土壌分類-第3次案（1995）に従った。耕作中の水田では作土及び次表層は還元が進み，灰色化，グライ化が進んでいた。排水状態の悪い放棄3年とその対照，放棄12年湿ではグライ化は下層まで及び，停滞水グライ層あるいは逆グライ層（農耕地土壌分類-第3次案，1995）となっていた。浜崎（1993a，1993b）は下層が酸化的条件下にある低地の中粗粒灌漑水湿性水田と台地の水田化した黄色土において，作土で還元可溶化した鉄・マンガンが酸化的な下層との境界で集積することを報告している。極端に排水状態の悪い放棄3年対照と放棄12年湿を除いた他の断面は，もともと排水状態の良かった山地褐色森林土を棚田にしたと推定され，浜崎の報告と同様に，表層で還元可溶化した鉄・マンガンは酸化的な下層との境界で沈殿し集積層 Bgir あるいは Bgir_{mn} を形成してい

表-1 代表土壌断面の形態
Table 1 Morphological features of representative soil profiles

層位	深さ cm	土色	土性	斑紋・結核	構造	硬度 mm	ジビリジル* 反応
a. 放棄3年対照 礫質普通グライ台地土, 粘~砂礫質							
Apg	0- 10	10BG5/1	CL	糸根状, 膜状頗る富む	壁状	6	2+
G 1	10- 38	7.5GY4/1	(CL)**	糸根状, 膜状あり	壁状	15	3+
G 2	38- 67	5GY4/1	(CL)		壁状	17	3+
G 3	67- 88	7.5GY5/1	(CL)		壁状	14	3+
2 Ag	88-100+	2.5Y2.5/1	CL		弱粒状	7-12	2+
b. 放棄3年 礫質普通グライ台地土, 粘~砂礫質							
Apg 1	0- 12	7.5Y5/1	(CL)	糸根状富む	極弱粒状	5-10	-
Apg 2	12- 15	7.5GY5/1	(CL)	糸根状富む	壁状	16	-
G	15- 25	10GY4/1	CL	糸根状含む	壁状	20	3+
Bgir	25- 30	2.5YR4/6	(SCL)		壁状	21-32	-
Cg	30- 60	7.5GY5/1	(SCL)	糸根状, 膜状頗る富む	壁状	18	-
2 G	60- 71+	10GY5/1	CL	膜状, 管状富む	壁状	15	-
c. 放棄12年対照 礫質普通グライ台地土, 粘~砂礫質							
Apg	0- 11	2.5Y4/1	(CL)	糸根状頗る富む	壁状	7	2+
G 1	11- 20	5GY3.5/1	(CL)	糸根状, 膜状, 管状あり	極弱亜角塊	15	3+
G 2	20- 27	5GY6/1	LiC	糸根状, 膜状あり	壁状	20	3+
Bgir	27- 31	6.25YR5/8	(LiC)		壁状	20	-
2 A	31- 39	10YR2/1	CL		弱粒状	16	-
2Bw	39- 50+	10YR4/4	(CL)		極弱亜角塊	18	-
d. 放棄12年湿 礫質普通グライ台地土, 粘~砂礫質							
O	2- 0						
Ag	0- 12	2.5GY3/1	CL	膜状あり	壁状	3	ND
G 1	12- 25	10Y3/1	CL	糸根状, 膜状含む	壁状	8-16	ND
G 2	25- 35+	10Y3/1	(CL)	糸根状あり	極弱角塊	18	ND
e. 放棄12年乾 細粒質山地褐色森林土, 強粘質							
O	2.5- 0						
Apg 1	0- 13	10YR3/2	LiC		弱粒状	10	±
Apg 2	13- 17	2.5Y4/2	LiC	糸根状含む	弱角塊	19	±
Bgir	17- 18	5YR4/8	LiC			19	-
C	18- 63+	10YR4/4	LiC	点状マンガ斑あり	弱粒状	17	-
f. 放棄20年対照 礫質普通灰色台地土, 粘~砂礫質							
Apg 1	0- 12	5Y4.5/1	CL	糸根状, 膜状富む	極弱粒状	8	+
Apg 2	12- 18	10GY4.5/1	(CL)	糸根状, 膜状富む	極弱粒状	12	2+
Cg 1	18- 23	5Y4/1	(CL)	糸根状富む	壁状	20	±
CBgir 1	23- 24	5YR5/6	(CL)		壁状	21	±
Cg 2	24- 29	5Y4/1	(CL)	糸根状富む	壁状	21	±
CBgir 2	29- 30	5YR5/6	(CL)		壁状	21	±
2 B	30- 46+	10YR5/6	(CL)		極弱粒状	18	-

表 1 つづき

g. 放棄 20 年湿 礫質普通灰色台地土, 粘~砂礫質							
O	2- 0						
Apg	0- 7	10YR2/2	(CL)	糸根状あり	極弱粒状	8	±
Bg 1	7- 17	2.5Y4/1	(CL)	糸根状あり	極弱粒状	11	±
Bg 2	17- 30	2.5Y4/1	(CL)	糸根状あり	極弱粒状	11-20	±
Bg 3	30- 40	5G5/1	(L)	糸根状, 管状あり	壁状	20	±
Bgirmn	40- 46	7.5YR5/8	(LiC)		壁状	19	-
C	46- 56+	7.5YR4/4	(L)		壁状	19-27	-
h. 放棄 20 年乾 礫質山地褐色森林土, 強粘質							
O	2.5- 0						
Ap 1	0- 2	10YR3/2	LiC		弱粒状	6	ND
Ap 2	2- 12	10YR4/2	LiC		弱粒状	10	±
Ap 3	12- 21	10YR4/2	(LiC)		弱粒状	10-15	±
E	21- 23	2.5Y5/4	(LiC)	糸根状あり	壁状	18-23	-
Bgirmn	23- 32	5YR4/6	(LiC)		壁状	22	-
C 1	32- 40	10YR4/3	(SCL)		壁状	20	-
C 2	41- 61+	5Y6/2	(SCL)		壁状	30	-

* 3+ : 即時非常に鮮明に呈色, 2+ : 即時鮮明に呈色, + : 即時呈色するがその程度は弱い, ± : しばらくたつと弱く呈色, - : しばらく放置しても呈色しない, ND : 未測定。

** 礫層 (礫が断面割合で 20% 以上) であることを示し, カッコ内は礫間の細土の土性を示した。礫は主に腐朽泥岩だった。

た。

放棄棚田とその対照を比較すると, 放棄 3 年では耕作中の水田土壌断面形態がそのまま残っており対照と同じグライ台地土に分類した。放棄後 12, 20 年の乾・湿ではススキあるいはヨシの遺体が 2 cm ほど堆積し, 有機物層 (O 層) を形成していた。放棄後 12 年湿は周辺から水が集中する過湿な地点で, 水田耕作中からの変化はほとんどないと推定され, 対照と同じグライ台地土に分類した。放棄 12 年乾では, もと作土 Apg1 と耕盤層 Apg2 は土のジビリジル反応を示し, Apg2 の硬度は 19 mm で対照の耕盤層と変わらず, まだ水田の形態を残していた。しかし, 対照と比較すると乾燥が進んでおり, Apg2 より下, 17 cm 以深の層ではジビリジル反応は-だったので褐色森林土に分類した。放棄後 20 年湿では, もとの作土 Apg は酸化が進み腐植が集積して対照の 5 Y 4.5/1 の灰色から 10 YR 2/2 の黒褐色に変化し, もとの耕盤層 Bg1 も硬度が 11 mm と低下していたが, 表層から 40 cm 深までジビリジル反応が土で斑紋があり, 対照と同じ灰色台地土に分類した。放棄 20 年乾の断面ではススキの根が下層まで分布し, もと作土で 0~2 cm の Ap1 には腐植が集積していた。その下の Ap2 と, もとの耕盤層 Ap3 のジビリジル反応は土だったが, 硬度は 10-15 mm で粒状構造が弱く発達していた。Ap3 より

下, 21 cm 以深のジビリジル反応は-で, 深さ 23~32 cm に水田耕作時に出来た鉄とマンガンの集積層はまだ存在するが開田前の褐色森林土に近い状態に戻ったと推定され, 褐色森林土に分類した。

Tamura *et al.* (1991) は菅平の火山灰土で裸地から植生が回復・遷移していく時の土壌の変化を追跡している。裸地では板状構造だったが, 植生 (ヨモギ・ススキ) が回復し時間が経つにつれ団粒状構造が発達し, 6 年で 7 cm, 10 年で 30 cm 深まで団粒化したことを報告している。これに比べ, 大島村の棚田の場合は排水状態が悪いことなどのために, 構造発達・団粒化は緩慢で, 乾状態では放棄 12 年で 13 cm, 20 年で 21 cm 深まで弱度の粒状構造が発達するに過ぎず, 湿状態では 20 年経過しても極弱度の粒状構造しか発達しない。

以上のように, 放棄後, 排水の良い条件では 10 年以上経過してグライあるいは灰色層が退化し, 粒状構造が発達して, グライ台地土あるいは灰色台地土から褐色森林土に変化する。排水不良地ではこれらの変化はほとんどないか, 排水の良い地点に比べ非常に緩やかである。

2) 物理性の変化

代表断面についてベーシックインテークレートを表-2 に示した。対照では $0.1\sim 1.2\text{ mm h}^{-1}$ に対し, 放棄 3 年, 湿状態の 12, 20 年では対照と変わらなかったが, 乾状態

表-2 代表断面付近のベーシックインテークレート
Table 2 Basic intake rate at representative soil profiles

地 点	mm h ⁻¹	地 点	mm h ⁻¹	地 点	mm h ⁻¹
3年対照	1.2	12年対照	0.1	20年対照	0.1
放棄3年	0.8	放棄12年-湿	0.1	放棄20年-湿	2.3
		放棄12年-乾	8.0	放棄20年-乾	147.5

の12年は8mm h⁻¹, 20年は148mm h⁻¹と放棄年数とともに浸透能が高くなっていった。

代表断面の表層(耕起層)と次表層(耕盤層)の理化学性を表-3に示した。対照の表層および次表層の飽和透水係数は10⁻⁴~10⁻⁶cm s⁻¹だった。放棄3年では表層, 次表層とも対照と差はなかった。表層を比較すると, 湿状態の12年では10⁻⁵と対照と同じだったが, 20年では10⁻³と上昇していた。乾状態では12年, 20年とも10⁻²で普通畑程度になっていた。次表層を比べると, 12年では乾・湿状態とも10⁻⁵, 20年の湿状態も10⁻⁴と対照と変わらなかったが, 20年の乾状態では10⁻²と上昇していた。表層の粗孔隙量は対照で0.09~0.11 L L⁻¹に対し, 放棄12, 20年では乾湿にかかわらず0.16~0.23 L L⁻¹と増加していた。次表層も高い傾向にあったが, 経過年数との関係は明確ではなかった。

以上のように, 物理性は放棄後, 特に乾状態では顕著に変化し, 乾燥が進み孔隙が増加するため透水性が上昇する。これは安西ら(1988)が干葉渠下の乾田化方向へ変化している休耕中の棚田で, あるいは, 小林ら(1972)が北海道の休耕水田で認めたのと同様の結果だった。しかし, 小林ら(1972)は1年の休耕で強グライ土でも土色の変化, 亀裂の発達を認めているが, これに比べ今回の結果では放棄後3年経過してもほとんど変化が見られず, 乾燥して土色が酸化的な色に変化し孔隙が増加する速度は遅い。この理由は, この地域が多雨・豪雪地帯で乾燥が進まないためと考える。湿状態では有機物の供給があるため表層の孔隙は増加するが, 透水性に関与する連続した孔隙は発達しないと推定され, 透水性の増加はわずかである。

3) 化学性的変化

表層の炭素含量は放棄3年では変わらなかった。湿状態では12年で対照に比べ25%増加, 20年では140%も増加していた。乾状態では, 12年では対照と変わらず, 20年では表層0~2cmに対照の2.5倍の炭素が集積していたが, それより下の表層は対照と差がなかった。次表層は, 乾・湿とも対照との差は明確でなかった。窒素含量は炭素含量と同様の傾向を示した(表-3)。

表層と次表層の交換性塩基含量は, 放棄後3年ではほ

とんど変わらなかった。代表断面周辺で採取した試料も加えて交換性塩基を比較すると, 湿状態の放棄後12年, 20年では, 表層, 次表層とも対照に比べ平均でわずかに低下していた。乾状態の放棄後12年, 20年では, 表層, 次表層ともほぼ半分減少していた(図-2, 3)。この原因は, 乾状態では孔隙が増加し透水性が良くなって塩基が流亡したため。湿状態では透水性の上昇はわずかで流亡がほとんどなかったためと考える。また, 湿状態に対照より高塩基含量の地点があったが, 山林から表面流水が直接流れ込むところにあり, 山林から塩基の供給があったためと推定する。pHと塩基交換容量では一定の傾向は見られなかった(表-3)。塩基交換容量は他の理化学性に比べ母材の影響を強く受けるが, 調査地域の母材は砂岩泥岩の互層からなるため不均一で, もともと地点によるばらつきが大きかったためと考える。

以上, 耕作放棄により表層には有機物が集積し, 特に湿状態では炭素・窒素が増加する。これは, 安西ら(1988)の平地水田の結果と同様だった。また, 交換性塩基は乾状態では放棄後減少する傾向にあり, 小林ら(1972)の北海道での結果と同様だった。しかし, 湿状態では減少はわずかで, 山からの水が集まる地点では増加しており, 安西ら(1988)が湿田方向に変化している休耕田で得た結果と同様だった。微地形-排水状態の良否が放棄後の化学性的変化にも反映していた。

4. おわりに

中山間地棚田は耕作放棄によって湛水・代掻きするという人為が加わらなくなり, 特に乾状態では, 本来の褐色森林土を発達させる土壌生成環境に近い環境に戻る。そして, 有機物が地表に供給され, 土壌動物等の活動が活発になり, 土壌構造が発達し粗孔隙が増加する。耕作放棄水田の経年変化は乾状態のところでは表層(耕起層)と次表層(耕盤層)の断面形態や物理性(孔隙や透水性の増加)あるいは交換性塩基の低下などに顕著に現れる。しかし, 湿状態のところではその変化は乾状態に比べ緩やかである。山腹斜面に造成され, 耕作放棄後かんがい水の供給が停止すると, 低湿地に比べれば排水状態は良好であるはずの棚田であるが, 表流水の有無に

表-3 代表断面の理化学性
Table 3 Physicochemical properties of representative soil profiles

試料	層位名	深さ cm	pH H ₂ O	交換性塩基				CEC	全炭素 g kg ⁻¹	全窒素 g kg ⁻¹	粗孔隙 LL ⁻¹	透水係数 cm s ⁻¹
				Ca	Mg	K	合計					
				cmol (+) kg ⁻¹								
表層 (耕起層)												
3年対照	Apg	0-10	4.9	7.9	5.1	0.48	13.8	24.6	10	1.1	0.09	2.2×10 ⁻⁴
放棄3年	Apg 1	0-12	5.5	8.0	3.6	0.23	12.0	20.8	12	1.1	0.11	8.6×10 ⁻⁵
12年対照	Apg	0-11	5.2	10.0	4.4	0.47	14.9	37.5	34	3.1	0.11	1.3×10 ⁻⁴
放棄12年-湿	Ag	0-12	5.0	10.4	5.0	0.37	15.8	36.5	43	3.4	0.20	2.0×10 ⁻⁵
放棄12年-乾	Apg 1	0-13	5.3	5.5	3.0	0.36	9.1	24.5	32	3.0	0.23	1.1×10 ⁻²
20年対照	Apg 1	0-12	5.2	10.3	5.4	0.87	16.6	35.8	24	2.1	0.10	4.0×10 ⁻⁴
放棄20年-湿	Apg	0-7	5.3	7.5	8.2	0.84	16.6	39.0	57	4.9	0.16	7.6×10 ⁻³
放棄20年-乾	Ap 1	0-2	4.9	8.9	7.4	1.90	18.4	31.2	59	4.3	0.31	1.7×10 ⁻²
	Ap 2	2-12	5.1	6.6	4.2	0.36	11.4	29.3	27	2.6	0.22	2.0×10 ⁻²
次表層 (耕盤層)												
3年対照	G 1	10-38	5.2	8.0	5.0	0.50	13.9	23.2	6	0.7	0.04	6.1×10 ⁻⁶
放棄3年	Apg 2	12-15	5.3	6.7	3.1	0.20	10.2	20.8	11	1.2	0.12	4.9×10 ⁻⁴
12年対照	G 1	11-20	5.3	11.3	5.0	0.41	16.9	37.0	30	2.8	0.04	9.5×10 ⁻⁶
放棄12年-湿	G 1	12-25	5.0	8.4	3.9	0.22	12.5	37.1	35	2.7	0.12	4.7×10 ⁻⁶
放棄12年-乾	Apg 2	13-17	5.5	7.2	3.1	0.19	10.8	22.1	24	2.3	0.07	6.1×10 ⁻⁶
20年対照	Apg 2	12-18	5.4	12.1	6.3	0.93	19.5	35.7	23	2.1	0.05	2.5×10 ⁻⁶
放棄20年-湿	Bg 1	7-17	5.3	5.7	6.7	0.48	12.8	31.5	24	2.5	0.07	4.4×10 ⁻⁴
放棄20年-乾	Ap 3	12-21	5.2	6.8	3.9	0.22	11.1	28.2	22	2.2	0.10	1.3×10 ⁻²

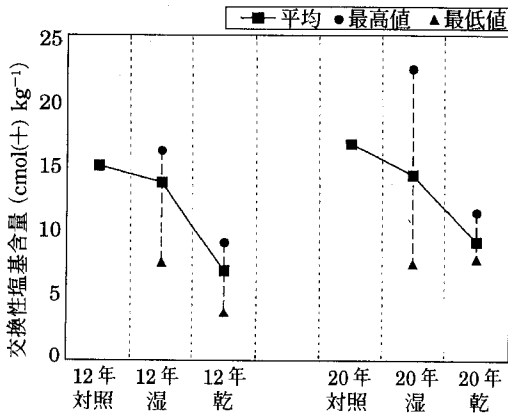


図-2 表層の交換性塩基含量の経年変化 (n=5)

Fig. 2 Exchangeable-bases content of the surface layers (n=5).

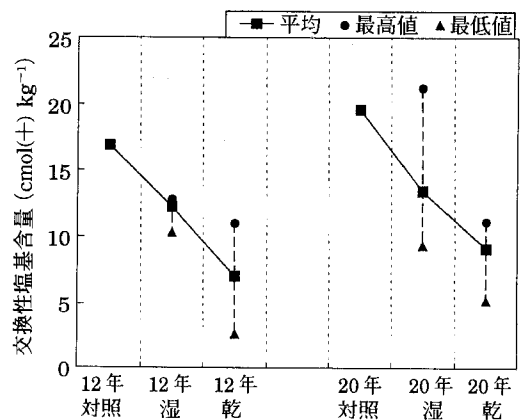


図-3 次表層の交換性塩基含量の経年変化 (n=5)

Fig. 3 Exchangeable-bases content of the sub-surface layers (n=5).

よって土壌特性は大きく異なり植生も違っていた。今後、耕作放棄圃田の利活用には微地形-排水状態を考慮する必要があり、その場合、植生の違い(ススキかヨシか)が指標となると考える。また、放棄後の土壌特性の変化の傾向や速度は、微地形-排水状態に左右されるばかりでなく、他の土壌生成環境(母材、気候など)の違いによって異なると予想する。降雨量が少ないところ、また、母材の影響で土性が粗いところでは、速く乾燥し透水性が良くなると推定する。

環境保全の見地から見る(農業環境技術研究所, 1988)と、放棄によって荒地となること、乾燥し透水性が良くなること、また、畦畔が崩壊する場合もあることなどから水涵養機能、洪水防止機能、土砂崩壊防止機能は低下し、土壌侵食量は増加していると推定する。放棄によって地域・流域の環境保全機能は、特に乾状態では低下すると考える。

5. 謝 辞

本報告は当研究所の環境立地研究室、保全植生研究室、土壌保全研究室と当土壌生成研究室が共同で行った研究の一部である。各研究室の関係各位、共同研究の取りまとめを行った福原道一(資源・生態管理科長)、また、現地での調査に御協力頂いた前大島村役場の布施一郎氏および北陸農業試験場の関係各位に記して御礼申し上げる。

参 考 文 献

- 安西徹郎・松本直治(1988):水田の休耕にともなう雑草の発生状況と土壌の変化, 千葉農試研報, 29: 93~104.
- 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, pp. 354.

浜崎忠雄(1993a):灌漑水湿性水田土壌における水分環境とその土壌生成的役割, ペドロジスト, 37: 15~27.

浜崎忠雄(1993b):台地水田土壌の水分環境と生成的特徴, ペドロジスト, 37: 28~40.

気象庁(1995):地域気象観測(アメダス)準平年値図-気温・降水量の年変化図(1979-1990), 気象庁観測技術資料, 60: pp. 228.

小林荘司・伊藤輝幸行・大西屋個(1972):休耕田の土壌変化について, 北農, 39(3): 1~12.

熊谷 宏(1995):「中山間地域」, 農村計画学会誌, 13: 65~66.

日本の地質『中部地方I』編集委員会編(1988):日本の地質4 中部地方I, 共立出版, 東京, p. 249.

新潟大学東頸城地域地質調査グループ(1987):新潟県東頸城地域の中新~鮮新統の層序, 地球科学, 41: 165~181.

農業環境技術研究所(1988):モデル流域における国土資源及び環境保全機能の維持増進方策の策定, 国土資源資料 No. 25, 農環研, pp. 172.

農耕地土壌分類委員会(1995):農耕地土壌分類 第3次改訂版, 農環研資料第17号, 農環研, pp. 79.

農林水産省経済局統計情報部(1992):農業センサス累年統計書, 農林統計協会, 東京, pp. 557.

ペドロジスト懇談会編(1984):土壌調査ハンドブック, 博友社, 東京, pp. 156.

Tamura, K., Nagatsuka, S. and Oba, Y. (1991): Development of Surface Structure of Andosol in Early Stages of Secondary Succession at Sugadaira, Central Japan, Pedologist, 35: 104~116.

(受稿年月日 1995年2月1日)
(受理年月日 1995年11月15日)

地下水環境の急変が植生に与える影響

谷川寅彦・矢部勝彦*・福田勇治**・衣斐隆志**

Effects to Vegetation Caused by Sudden Change of
Groundwater Environment

Torahiko TANIGAWA・Katsuhiko YABE*・Yuji FUKUDA** and Takashi EBI**

College of Agriculture, University of Osaka Prefecture

* School of Environmental Science, University of Shiga Prefecture

** Chuo Fukken Consultants Co., Ltd.

Abstract

This study was conducted to make clear the groundwater environment and the influences to the vegetation of forest land under the subway construction. The former was investigated by using the distributions of water table and the cross sections. The latter was investigated by using the daily fluctuations of soil moisture tension in the planting site of higher trees and the observations of growth along the subway construction.

Consequently, the groundwater environment was not influenced so much by the shield tunneling of the subway construction, but much influenced by the excavation works.

Because the excavation works are considered to cause the sudden change of groundwater environment. On the other hand, the sudden change of groundwater influences to the soil moisture environment of the vegetation, so it is found that much higher dead trees and higher weakened trees were observed along the route of the excavation works.

Key words : vegetation, groundwater, soil moisture tension, shield tunneling, excavation works

1. ま え が き

地下水環境の急変には種々の要因が考えられる。都市再開発が行われ、社会問題として取上げられる例として地下鉄工事などによる地下水環境の急変がある。この地下水環境の急変が植生地にどのような影響を与えるか未だ明らかにされている例は少ない。そこで、本研究では、地下鉄延伸工事により地下水流動が変更を余儀なくされ、工事路線の上位側と下位側の地下水位に段差が生じ、この不連続が下位側に存在する植生地に影響を与えたかどうかについて追究することにした。すなわち、調査対象地は工事路線の下位側に植物園^{8,9,10,11)}が存在し、この路線に沿った一帯にカツラ、クロマツなどの高木が植栽されており、これら高木林^{1,7)}に対して地下水環境

の急変がどのような影響を与えるかを約4年間にわたり地下水位の経時変化、地下水位分布、樹林地における土壌水分環境^{9,10,11)}などから追究し、若干の知見が得られたので報告する。

2. 調査地域の概要と調査方法

一般に地下水は雨水や地表水が地表面から浸透し、地層中の孔隙や岩盤の割れ目に貯留され、ゆっくり流動する^{2,5)}。本調査地域は図-1に示すように西側(植物園に隣接)と東側(数km離れている)に河川があり、北側数km離れた位置に山林が存在している⁹⁾。そのため地下水の流れは北西方向から南東方向に生じていると予想される。これに対して、地下鉄延伸工事が東西方向で行われ、西側の河川に近い工事路線はシールド工法(工事区

大阪府立大学農学部 〒593 堺市学園町1-1, *滋賀県立大学環境科学部 〒522 彦根市八坂町2500,

**中央復建コンサルタンツ(株) 〒532 大阪市淀川区東三国3-5-26

キーワード: 植生, 地下水, 土壌水分張力, 開削工事, シールド工事

間は河川から約 300 m) が採用され、そこから東側はオープンカット工法 (約 1,300 m) が採用されていた。このためオープンカット工法の採用された区間での地下水環境は工事に伴い急変したと言えよう。そこで、本研究では工事路線の上・下位側における地下水位の経時変化の観測、工事路線の下位側に位置する樹林地における土壤水分環境の測定などについて工事開始直後の '87 年 3 月から '90 年 12 月の約 3 年 10 か月間にわたり行った。

地下水位の観測は水圧式の水位計を使用して自記観測し、土壤水分環境は負圧センサ式のテンシオメータ (深さ 90 cm までの土層) を使用して自記計測した。観測位置および計測位置、各位置の標高は図-1 に示されるとおりである。

なお、園内の 1 か所で気象観測を行った。

3. 原況の地下水流動の推定と工事開始直後の地下水流動

調査対象地の地下水位解析の概要は図-2 (1) に解析領域、地下水断面を解析する方向 (3 方向) と位置を示し、図-2 (2) には (1) に対応して等高線で示した地形の概略を示す。地形は概ね北西から南東の方向に低くなってゆき、中央部に位置する池の水は南東方向に伸びる水路

を流下する。工事前の状況 (以後原況と呼ぶ、推定値) と工事開始後の地下水流動の状況 (以後現況と呼ぶ) は図-3 に示す。原況と現況について本研究の調査地域では工事前の地下水状況すなわち元の状況 (原況) についてはデータが得られておらず、工事開始後の結果についてのみ得られている。したがって、図-3 (実線: 地下水位等高線) に示すような工事前の状況 (工事が行われる前のオリジナルの状況) については推定する必要があった。

そこで、原況、現況とも地下水位分布について図-2 (1) に示すように検討対象とする領域に有限要素法の要素分割 (1 次元 3 角形要素) を行い解析を行った。解析領域内の個々の 3 角形要素の各頂点は節点と呼ばれ、このうち領域内部の 3 節点、外周境界辺上の 5 節点が地下水位観測井に対応している。有限要素法の定式化にはガラキン法を用いており、領域内の物理特性は一様として推定を試みた^{3,4)}。なお、外周の境界辺には全て地下水位の代入を行っている。

まず、原況 (工事前の状況) については外周のみに地下水位を代入して推定を行った。すなわち、図-2 (1) の外周境界辺の位置では工事前、工事後の期間を通じ地下鉄工事の影響が小さく地下水位の変動が小さかったと仮

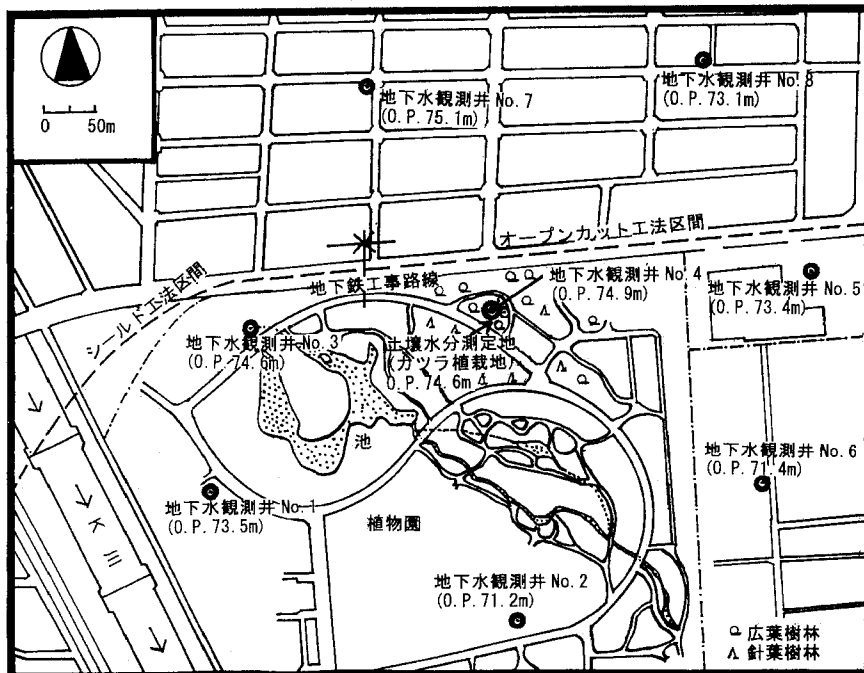
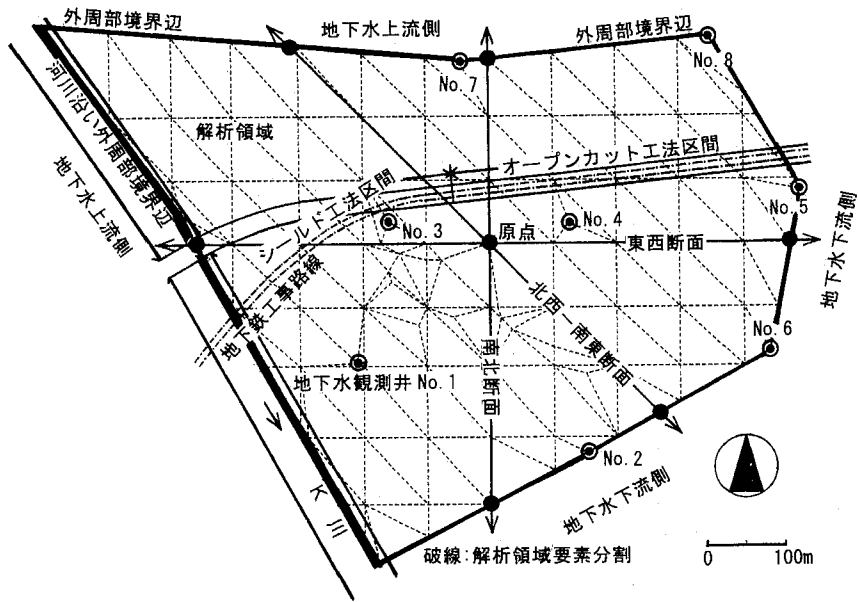
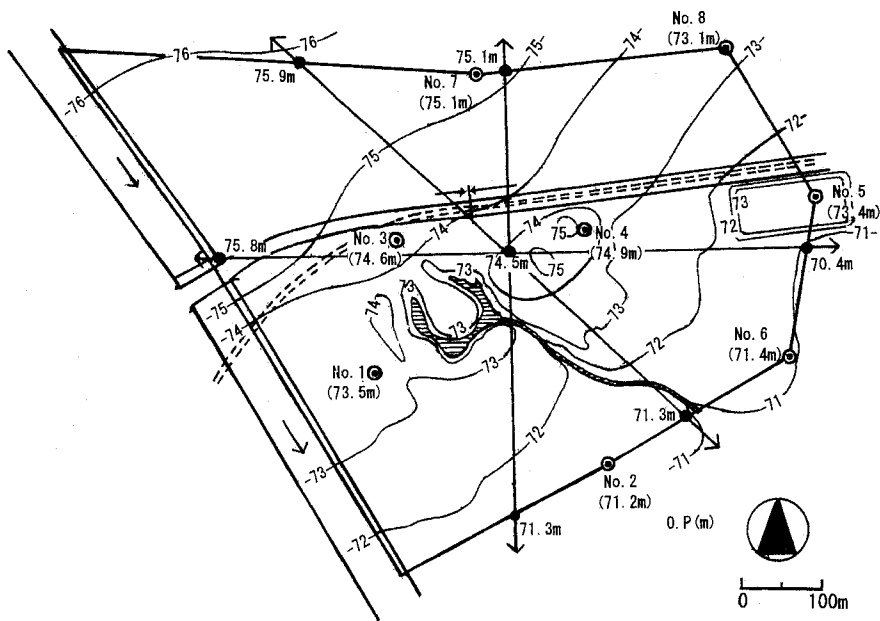


図-1 調査対象地と地下水観測井の概要

Fig. 1 General map of the area investigated showing the locations of groundwater observation well



(1)



(2)

図-2 調査対象地の地下水位解析の概要図

- (1) 有限要素法要素分割と地下水位断面設定状況
- (2) 解析領域の地形

Fig. 2 General view of the analysis area of groundwater distribution

- (1) showing mesh of finite element method and lines of cross section for analysis
- (2) showing topographical map of analysis area

定すると、原況は解析領域内で地下水を遮るものもともと無い条件なので、乱れの少ない平坦な局面状分布であったと推測し再現した。

次に、工事が進んだ現況については地下鉄工事路線沿いの地下水位の状況を考慮して、外周の境界辺に加え領域内の地下水位測定点(3節点)の水位も代入し分布を再現した。したがって、領域内の測定点における地下水位を直接反映するので工事の影響の有無が明らかな結果が得られる。さらに、原況(推定値)と現況は同じ時期の解析結果である。

これらについて作図条件を観測井番号からまとめると、原況(推定値)では図-2(1)のNo. 2, No. 5~No. 8と解析領域西側の河川(K川)に添った北西-南東に伸びた境界辺上に河川水位を代入したことになり、現況ではNo. 1, 3, 4を含めて地下水位観測井No. 1~No. 8全部と河川水位を代入したことになる。しかし、原況、現況ともに西側で河川水位をもって地下水位と仮定したのでこの河川沿いの位置では実際より地下水位が若干高く推定されていると考えられる。なお、モデリングの手法から厳しく見れば、本研究での有限要素法応用は境界辺や内部節点に地下水位を直接代入し地下水分布を再現す

る作図プログラムユーティリティとしての応用といえよう^{3,4,6)}。

地下水位分布の結果(図-3)をみると原況の地下水流動は地下水位分布から北西方向から南東方向に生じていることが予測されたが、工事開始後の地下水流動については西北西方向から東南東方向に向かっていることが分かる。そして、オープンカット工法が採用されている工事区間では歪んだ地下水位分布を示し、明らかにシールド工法区間とは異なり、影響の大きいことが分かる。すなわち、シールド工法区間では地表面に近い土層の水の流動がスムーズに行われているが、オープンカット工法区間では地表面から深さ約30mが開削されているため浅層地下水の流動が遮断される。一方、オープンカット工法区間が短いと水の回り込みが生じて工事路線の上位側と下位側で地下水位の段差を生じないと考えられるが、調査区間はある程度の距離があることから調査結果に見られるような地下水位の急激な段差が発生していることが分かる。すなわち、地下水位分布から検討し、地下水位の急激な段差発生が明らかになったので、この地下水位分布から地下水位断面図を作成し、東西方向および南北方向の地下水位の変化をつぎに検討する。

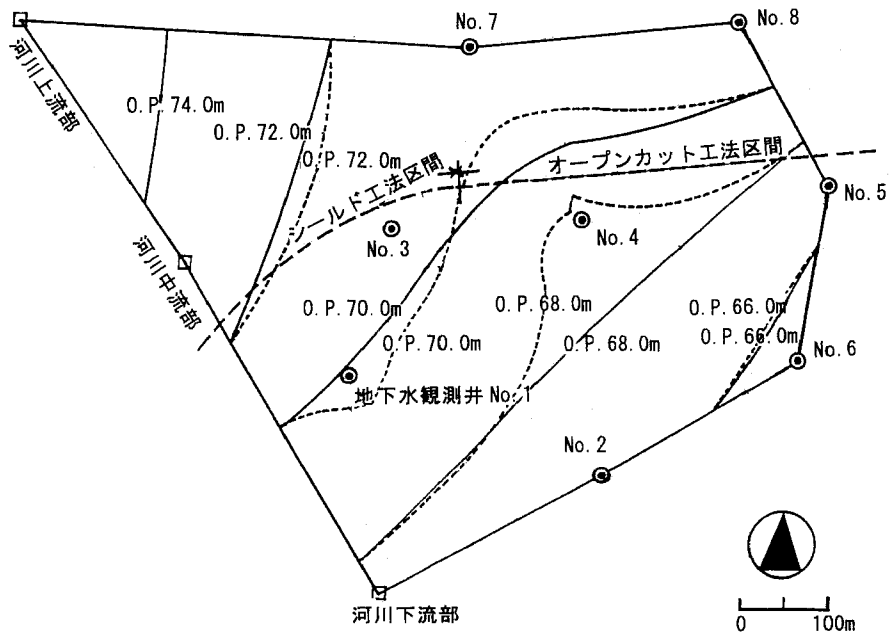


図-3 地下水位分布の現況と原況(推定値)の一例(1988年7月17日)
(破線: 現況地下水位, 実線: 原況地下水位(推定値))

Fig. 3 Distributions of groundwater table of present condition and groundwater table estimated as original condition on July 17, 1988: broken line; distribution of present condition, solid line; distribution estimated as original condition

4. 工事開始後における地下水位断面の変化

地下水位断面は、図-2 (1) に示すように南北方向、北西から南東方向、および東西方向について分析した。

得られた地下水位断面は原点を中央にして図-4 に示す。なお、破線は実測の地下水位断面を示し、実線は工事が行われなかった場合の推定地下水位断面を示す。

さらに、参考値として上流側、原点、下流側の標高を示す。

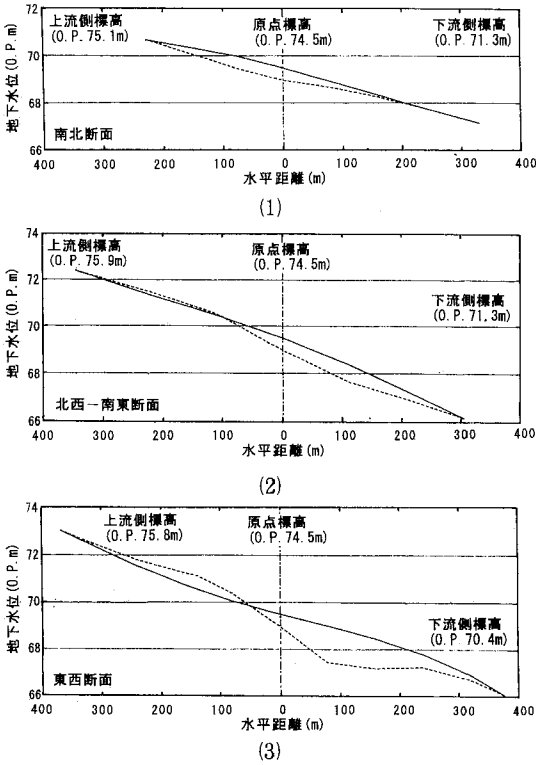


図-4 地下水位断面の一例 (1988年7月17日)
 {破線：現況地下水位断面，実線：原況地下水位断面 (推定値)}
 (1) 南北方向断面
 (2) 北西-南東方向断面
 (3) 東西方向断面

Fig. 4 Cross sections of groundwater table on July 17, 1988 : broken line ; cross section of present condition, solid line ; cross section estimated as original condition
 (1) showing cross section in direction of North-South
 (2) showing cross section in direction of Northwest-Southeast
 (3) showing cross section in direction of East-West

まず、南北方向に関して図-4 (1) においては図-2 (1) 中央に示す断面設定の原点から上流側の工事路線までを中心として実線と破線が離れ、地下水位差は0.5mに達している。つぎに、北西から南東方向に関して図-4 (2) においては原点から下流側120m (地下鉄工事路線の南側160m) で実線と破線がもっとも大きく離れ、地下水位差が0.7mに達していることがわかる。上流側においては工事路線の北側で若干破線の方が高いが差は小さい。また、東西方向に関して図-4 (3) においては原点から下流側 (東側) に80m、地下水位観測井 No. 4 の近傍で地下水位差が1.6mに達し、上流側では地下水流の方向が工事により変化したためか原点から上流側 (西側) 140m、地下水位観測井 No. 3 の近傍において破線が実線より約0.5m程度高くなっていることがわかる。これらの結果から判断して、地下鉄延伸工事においてオープンカット工法を採用すると、工事路線の上位側では地下水位の上昇、下位側では地下水位の低下が発生することを明らかにすることができた。このように地下水位の時間的変化は急激であり、工事路線に沿った下位側に存在するカツラやクロマツなどの高木が植栽されている地点では前年度と比較して地下水位が大きく低下した環境にさらされたものと判断される。

そのため、樹木の土壤水分環境などは何等かの影響を受けたものとする。そこで、一例としてカツラ植栽地における土壤水分環境に関する調査結果についてつぎに検討を加える。

5. カツラ植栽地における土壤水分環境

カツラ植栽地における土壤水分環境は土壤水分張力の経時変化に置き換えて検討する。土層の状況については既報⁸⁾で詳述されているのでここでは図-5に土層状況を図示することにとどめる。土壤水分張力の経時変化はテンシオメータを用いて深さ10, 30, 50, 70, 90cmを対象に追跡した。なお、測定は'87年4月から'90年12月まで行ったが、ここでは'87年4月から'87年12月末の9ヶ月間について図-6に示す。

4月においてはカツラ植栽地の浅い位置で約pF 2.9とかなり土壤乾燥が進み、果樹植栽地 (樹園地) などでは灌漑を必要とするほどの状態である。5月は深い位置では湿潤であるが、浅い位置では約pF 2.8以上と乾燥が進む。6月は茎葉繁茂の盛んな時期であり、深い位置までpF 2.5以上と土壤乾燥が見られる。7月は降雨の影響があるが乾燥傾向を示し、8月においては深い層まで約pF 2.8~2.9前後ないしこれ以上に土壤乾燥が進んだものと思われる (テンシオメータの測定限界以上の土壤乾燥が進展したと思われるが、参考に頭打ち状態を表示)。

9月 は 8月 と同様であり、深さ 0~100 cm の範囲では明らかに浅い位置に存在する根群⁷⁾ に対しては土壌水分不足を生じていたと言えよう。10月 は降雨により、若干乾燥が緩和されている。11月 はカツラなど落葉樹では落葉が始まるため、土壌乾燥はあまり進まないと予想されるが、測定結果からも乾燥が緩和されていることがわかる。一方、12月以降は落葉が終了し、中旬以降は休眠期

に入るため蒸発散量が極度に低下する。その結果、土壌は湿潤状態になる。さらに1~3月末では湿潤ないし過湿状態になることが予想され、実測値からも湿潤ないし過湿状態と判断された。したがって、この時期は過湿防止のための排水性を良好にする対策が必要となるであろう。

以上の結果から、カツラ植栽地では7月後半から10月上旬にかけて土壌乾燥が進むので、この時期には土壌水分環境はもちろん地下水環境に十分注意する必要があると考えている。一方、工事路線沿いの一部の土壌は保水力が小さいので土壌が乾燥し易い傾向にあり、地下水位の急変には影響されやすいと考えられる。本調査地のようにオープンカット工法で行われるような地下鉄工事に対しては工事路線下流側で大きな地下水位の低下が発生し易いことは当然考えられることであり、前述したように実際に地下水環境が急変している。そこで、このような土壌水分環境と地下水環境の下で高木が多く植栽されている樹林地では影響が無かったどうかを調査しているの、つぎに述べる。

深さ G.L.-cm	柱状 図	名称	色調	観察
10		表土	暗茶	草根混入
45		礫混り粘土	暗灰 暗茶	φ3mm位の根を細い根がとりまいて いる
62		礫混り砂	茶	マサ土主体 マサ土部分には根が見られない
80		粘土	暗緑	
120		礫混り粘土	焦茶	G.L.-85cmにφ20mmの根がある G.L.-120cmまでヒゲ根のびている

*: 土質工学会法による

図-5 高木(カツラ)植栽地の地質状況

Fig. 5 Soil profile of planting site of higher tree 'Katsura'

6. 高木植栽地における樹木の生育状況

樹木植栽地における生育調査は'88年1月から'89年8月にかけて行った。樹林地の生育調査結果は表-1、調査位置は図-1中央部凡例で示され、図-2(2)中央部No.4地点周辺の地下鉄工事路線沿いの下流側一帯を中心として広、針葉樹が植栽された地域である。

調査した結果、低木および灌木植栽地⁸⁾での枯死および衰弱したと判断される樹木は観察されなかった。

これに対して高木植栽地ではケヤキ、クロマツ、カツラなどの樹高約13~22mに生長している高木で枯死木

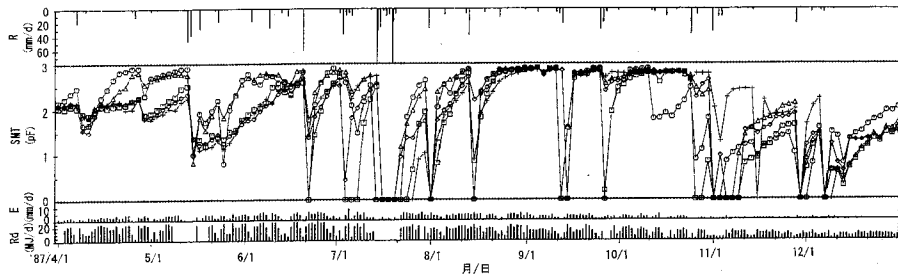


図-6 地下鉄工事路線沿いのカツラ植栽地における土壌水分張力の経時変化の一例 (1987年4月1日~12月31日)

Fig. 6 Fluctuation of soil moisture tension in the planting site of 'Katura' situated along the route of subway construction (from April 1, 1987 to Dec. 31): R; rainfall, SMT; soil moisture tension, E; evaporation, Rd; solar radiation: ○; depth of 10 cm, △; 30 cm, □; 50 cm, ◇; 70 cm, +; 90 cm

表-1 工事路線沿いの高木植栽地の生長調査例

Table 1 Observation of growth of higher trees in the site situated along the route of subway construction

番号	樹種名	枯死木	衰弱木	腕高直径(cm)	樹高(m)
1	ケヤキ		●		
2	エノキ		●		
3	ケヤキ	▲		63	18
4	クロマツ	▲		52	20
5	クロマツ	▲		75	22
6	カツラ	▲		38	19
7	カツラ	▲		40	19
8	カツラ	▲		41	19
9	カツラ		●		
10	カツラ	▲		65	20
11	カツラ		●		
12	カツラ		●		
13	カツラ		●		
14	カツラ	▲		60	19
15	カツラ	▲		59	20
16	カツラ	▲		65	20
17	チョウセンアカマツ	▲		41	18
18	チョウセンアカマツ	▲		32	16
19	ストロブマツ	▲		35	19
20	ストロブマツ	▲		28	17
21	ストロブマツ	▲		42	19
22	クロマツ	▲		43	17
23	クロマツ	▲		31	13
24	クロマツ	▲		47	18
25	クロマツ	▲		79	21
26	クロマツ	▲		85	21
27	ネムノキ		●		
28	カツラ	▲		37	16

▲：枯死 ●：衰弱

および衰弱木が観察された。すなわち、枯死した樹木についてはケヤキで樹高約 18 m の高木が 1 本、クロマツで樹高約 13~22 m の高木が 7 本、チョウセンアカマツで樹高約 16~18 m の高木が 2 本、ストロブマツで樹高約 17~19 m の高木が 3 本、カツラで樹高約 16~20 m

の高木が 8 本観察された。また、衰弱した樹木についてはケヤキが 1 本、エノキが 1 本、ネムノキが 1 本、カツラが 4 本観察された。一方、聞き取り調査結果ではこれらの樹林地は 1978 年の大旱魃に対しても全く被害は受け無かったと聞いている。しかし、結果としてオープン

カット工法による地下鉄延伸工事を行ったことにより枯死木や衰弱木にカツラとクロマツが多く観察されたことは地下水環境と土壌水分環境の変化などによる影響と言わざるを得ないと考えている。この理由については、カツラは土壌乾燥に弱い樹木（水辺に近い所に植栽）であり、クロマツでは土壌乾燥に弱い（水辺に近い所に植栽されていることが多い）ことと衰弱した樹木にマツクイムシなどの影響が作用したものと考えている。したがって、高木に対しては土壌水分環境はもちろん、地下水環境も生育に重要であり、樹木の対応し切れないような水環境の急変、悪化は出来る限り回避する地下工法上の対策が必要と考えている。

7. あとがき

本研究では地下鉄延伸工事が行われていた工事区間の上位側と下位側における地下水環境と工事路線の下位側に存在する樹林地における土壌水分環境の実態調査を行った。その結果、地下鉄延伸工事中には上位側と下位側に地下水位の段差が生じ、原況の地下水環境が急変したことが分かった。また、調査地域である植物園にある樹林地では保水力が小さく土壌乾燥が進展し易い状況にあることを明らかに出来た。さらに、これらの地下水環境の急変と乾燥し易い土壌水分環境に対して土壌乾燥に弱いカツラやクロマツなどは影響を受けやすく、枯死したり、衰弱しやすいくことがわかった。一方、このような環境に一時的にも耐えた樹木に対して筆者らの指摘もあり、直ちに高木植栽地を重点的にした灌漑施設の設置が行われており、高木植栽では樹木生長が徐々に回復したと予測される。また、最近の現地でも観察した結果では、その後新たな枯死木や衰弱木はほとんど観察されなかったし、植物園の管理者から聞き取り調査を行ったが、同様の回答を得ている。

最後に、本研究を遂行するにあたり終始懇切な指導と

助言を頂いた大阪府立大学名誉教授、手島三二博士および研究協力を頂いた専攻生、青井 潤君と上田 康君に心から謝意を表するとともに研究場所の提供と助言を頂いた木幡欣一氏ならびに多大のご協力を頂いた関係者各位に謝意を表する次第である。

引用文献

- 1) 佐藤敬二 (1973): 新造林学, 地球社, 東京. pp. 1~400.
- 2) 三野 徹他 (1978): 建設工事と地下水—5 土地利用と広域水収支—, 土と基礎, 26 (1): 83~90.
- 3) Larry J. Segerlind (1978): 応用有限要素法解析, 丸善, 東京. pp. 329~346.
- 4) 小 貫 天, 根本佐久良雄 (1983): パーソナルコンピュータによる有限要素法入門, オーム社, 東京. pp. 29~72.
- 5) 三野 徹 (1987): 地下水入門・新知識 (その8) — 農地と地下水涵養—, 農土誌, 55 (10): 55~61.
- 6) 江守一郎 (1988): 模型実験の理論と応用第2版, 技報堂出版, 東京. pp. 1~263.
- 7) 苅住 昇 (1991): 新装版 樹木根系図説, 誠文堂新光社, 東京. pp. 1~1108.
- 8) 矢部勝彦他 (1992): 市街地内の造成樹林地と樹園地の土壌特性, 農土論集, 160: 89~94.
- 9) 谷川寅彦他 (1992): 市街地内の造成樹林地と樹園地の土壌水分特性, 農土論集, 160: 95~100.
- 10) 矢部勝彦他 (1995): 市街地内の造成樹林地における季節別土壌水の動態, 農土論集, 180: 111~117.
- 11) 矢部勝彦他 (1995): 市街地内の各種植生における季節別土壌水の動態, 農土論集, 180: 119~126.

(受稿年月日 1995年 2月 1日)
(受理年月日 1995年 11月 15日)

1993年5月から10月までの中国瀋陽地区の 大豆畑の土壤水分変動状況について

張 玉龍・郭 玉文・加藤 誠*・安富六郎**

Some Observations on Soil Water Properties of
Soybeans Field in SHEANYANG Area.

Chang U RONG · KAKU U Bun · Makoto KATO* and Rokuro YASUTOMI**

Faculty of Agriculture, Shenyang Agricultural University

* Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology

** Yamazaki Research Institute

Abstract

This report describes the change of soil water properties of SHENYANG Agricultural University Experimental Farm for 6 months, from May to October in 1993.

In order to study the properties, soil moisture suction was measured in the depth of 10 cm, 20 cm, 30 cm, 50 cm and 70 cm from ground surface at 6 : 00 PM every day.

After the soil suction in the farm was measured, soil samples were obtained in the each depth from ground surface.

Soil moisture characteristic curves were determined by soil moisture external method and the soil gravity and the soil grain size distribution were measured from the samples.

By scaling the data of each soil moisture characteristic curves, scaling factors were calculated.

The following results were obtained :

(1) The water retentivity was influenced by not only the depth but also soil properties, for examples, the grain size distribution and the dry density.

(2) Rainfall during summer in 1993 was ordinary level. Rainfall of some months were very different from the normal year.

Conditions in the soil water were very good for the growth of some vegetables in the field.

(3) The soil layer in the depth of 20cm and 30cm was very important for the vegetables growth, while it was found that the soil water supply layer under the 30 cm was also important.

(4) Soil moisture extraction pattern in the field was classified in all layer soil moisture extraction pattern.

Key words : Soil moisture suction, Soybeans, Scaling, Soil moisture Characteristics Curves, Soil moisture extraction pattern

1. はじめに

東北平野の、東経 122°25'~123°48', 北緯 41°12'~42°17'に位置し、湿潤-半湿潤温暖大陸性気候型に属し、モンスーンに強く影響されている。瀋陽地方は中国の重要な

図-1 に示す中国瀋陽地区は瀋陽市を中心とし、中国の

中国瀋陽農業大学土壤農業化学系 中国、遼寧省瀋陽市東陵、*東京農工大学農学部 府中市幸町 3-5-8
 山崎農業研究所 新宿区四谷 3-5 不動産ビル

キーワード: 土壤水分サクション, 大豆, スケーリング, 土壤水分特性曲線, 土壤水分消費型

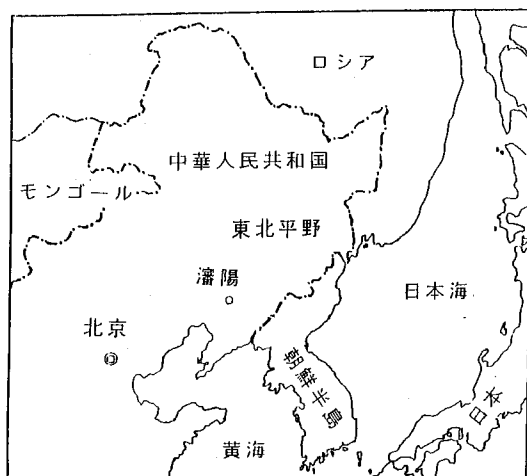


図-1 中国の瀋陽地区

Fig. 1 Location of Sheanyang area.

農業地帯として、昔から良く知られている地区である。主な作物は、トウモロコシ、コウリヤン、大豆や水稻などがある。近年来、中国では、水資源の緊迫に伴って農業用水をさらに有効的に利用し、農地の生産性を一段とアップするように努力しているところである。この要求に応じて、1993年5月から10月の間、この地域の大豆畑の土壌水分の変動状況を調べ、その土壌の保水性、土壌水分特性曲線の空間変動性と、圃場土壌の水分供給の特徴について検討した。1993年の春から秋にかけて、降雨の様子から、異常気象と思われていたが、干ばつから好運なことにも免れることができた。その時の土壌水分変動のデータが得られたのでここに紹介する。この種の研究は竹中(1964)もおこなっている¹⁾。

2. 実験方法

試験地は瀋陽農業大学附属農場の畑に設け、土壌は沖積土である。作付け作物は大豆であり、5月10日に種を蒔き、9月24日に収穫した。土壌水分のサクシジョンの変化の測定にはU型水銀柱式テンションメーターを使用した。テンションメーターのポーラスカップを10cm, 20cm, 30cm, 50cm, と70cmの深さに埋設し、それぞれの深度における土壌水分のサクシジョンを測定した。

測定は、1993年5月23日から1993年10月13日まで、毎日午後6時に水銀柱の読みを記録した。また、日降雨量をもあわせて測定した。そして、圃場における土壌水分サクシジョンの測定が終了した後、テンションメーターの素焼きカップの近傍において100cm³のコアサンプラーで同一深さに毎に各三個の土壌試料を採取した。その土壌試料を減圧脱気飽和处理の後、吸引法と加圧板法

で脱水過程の土壌水分特性曲線を求めた。

サクシジョンの測定範囲は0~100KPaである。その後、サンプラー中の土壌を取り出し、乾燥密度や粒度組成などの基本的物理性を測定した。粒度組成の測定にはピベット法を使用した。

3. 実験結果

実験地の土壌の主な物理的性質を表-1に示した。表-1から分かるように、各層から採取した十五個の試料の粒度に差がみられる。10cm, 20cmと30cmの深さの試料は比較的同じ粒度組成を示している。50cmの深さの試料は他の試料より粒径0.02-0.25mmの細砂分とそれ以下では粘土分がやや少なくなり、粒径0.02-1.0mmの砂分が多くなっている。

一方、70cmの深さの試料は他の試料と比べると、粒径>1.0mmの砂分は全くなく、粒径1.0-0.25mmの砂分はわずかで、0.05-0.25mmの細砂分が多くなっている。70cmの深さの試料の内、十四番の試料は粘土分を多く有し、全部の試料の乾燥密度は最大が1.58g/cm³、最小が1.18g/cm³と変動幅が大きい。各層の平均値と深度別に乾燥密度を比較すると、深度70cm>深度30cm>深度50cm>深度10cm>深度20cmの順になっている。

土壌の有機物含有量はその含有量の高い層として深度10cm, 20cm, 50cmのグループと、低い層として深度30cm, 70cmのグループに分けられる。

ここで述べた土壌の物理的性質のプロフィールの差は沖積母材に関してもたらされたものと考えている。例えば、沖積の過程における母材の粒度や乾燥密度などは水の流れに影響され、大きく影響をもたらすものであるからである。

また、測定期間中のサクシジョンと日降雨量の測定結果を図-2に示した。

4. 考察

1. スケーリング係数から見た土壌の保水性

測定された土壌水分特性曲線のデータはその曲線を表す各種の推定式の中から式(1)が良い近似を示すことを松川ら(1983)、張ら(1993)は前の研究で報告した³⁾。

$$S = [1 + (ah)^n]^{-m} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、Sは土壌水分飽和度、 $S = \theta / \theta_s$ 、 θ と θ_s はそれぞれ土壌水分含量 (cm³・cm⁻³)と飽和土壌水分含量 (cm³・cm⁻³)であり、hは土壌水分サクシジョン (Mpa)、a, n, mは定数である。ここで得た十五個の試料の定数や飽和体積含水率を表-2に示した。

表-2より各試料の水分特性曲線の土壌含水率の実測

表-1 土壌試料の物理的性質
Table 1 Soil physical properties

土層深 (cm)	試 料	粒 度 組 成 (mm, %)					乾燥密度 (g/cm ³)	有 機 物 (%)
		>1.0	1.0-0.25	0.25-0.02	0.02-0.002	<0.002		
10	1	2.2	12.7	47.4	20.5	17.2	1.31	2.17
	2	3.9	11.7	44.4	20.3	19.7	1.26	2.39
	3	4.5	13.6	46.8	19.7	15.4	1.40	1.68
20	4	3.1	12.5	46.9	20.5	17.0	1.32	2.65
	5	5.7	12.6	43.5	19.8	18.4	1.18	2.37
	6	3.3	12.4	46.7	20.4	17.2	1.29	2.73
30	7	6.9	14.2	42.4	20.5	16.2	1.39	1.36
	8	3.6	16.3	43.9	19.2	17.0	1.50	1.63
	9	8.9	13.3	40.7	20.4	16.7	1.58	1.48
50	10	5.3	20.5	40.8	20.4	13.0	1.37	2.60
	11	8.9	17.7	38.4	22.0	13.0	1.51	2.15
	12	4.9	17.7	43.9	19.4	14.1	1.44	1.48
70	13	0.0	6.9	57.7	20.6	14.8	1.57	1.61
	14	0.0	3.6	42.7	31.3	22.4	1.50	1.36
	15	0.0	6.3	57.5	23.0	13.2	1.58	1.56

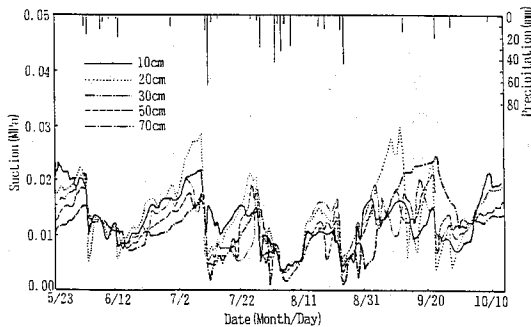


図-2 1993年の5月から10月までの中国瀋陽地区におけるサクシオンと日降雨量の観測データ

Fig. 2 Suction and the rainfall in Sheanyang area from May to October in 1993.

値と、推定式による推定値との相関係数がすべて0.99以上に達していることから、式(1)が良い近似効果を持っていることが分かる。

表-2に示したように土壌水分曲線の推定式の定数は、試料により著しく異なり、定数 a, n, m と、表-1の土壌の物理的性質のデータとの関係に対する相関分析を行った。それらの相関関係は一応直線型と推定し、得られた結果の一例を表-3に示した。表-3より土壌の乾燥密度、飽和土壌含水率と定数 a, n との相関係数が、粒径 >0.25

mmの砂の含量と定数 m との相関係数がそれぞれ1%または5%有意水準に達し、すなわち乾燥密度、飽和含水率 > 25 mm 砂の含有量が土壌水分特性曲線の形状を決定する要因であるとの結果を得た。定数 a, n, m と有機物含有量や他の粒度分との相関性を検討した結果、相関係数はすべて5%の有意水準に達していなかった。

この相関分析の結果、各深度毎の試料 a, n, m が異なることより推察して、土壌水分特性曲線は、深度の間のみならず同じ深度の間でも異なっていることより、空間変動性を有することがわかる。

そのため、土壌水分特性曲線を灌漑計画などに持ち込もうとする時、統一的な手法で妥当性のある土壌水分特性曲線を決定する必要がある。

そこで、測定した各深度毎の土壌水分特性曲線にスケールリング技法を適用して、各深度毎のスケールリング土壌水分特性曲線を求めた。

表-4にスケールリング土壌水分曲線の推定式とスケールリング係数を示した³⁾。表中の α は各深度毎の試料から得られたスケールリング係数である。

表-4の土壌水分特性曲線の推定式を使用して、求めた各深度毎の土層のスケールリング土壌水分特性曲線を図-3(a), (b)に示した。ただし、図-3(b)は横軸の土壌含水率は各土層のスケールリング土壌水分特性曲線の推定式より計算された飽和度とその三個の試料の飽和土壌含水

表-2 供試土壌の水分特性曲線の推定式の係数

Table 2 Coefficients of estimated soil-moisture characteristic curves on test pieces

土層深 (cm)	試料	推定式の定数			θ_s	$r^{(a)}$
		a	n	m		
10	1	2708.693	6.4853	0.0189	0.4627	0.994
	2	5345.081	14.4877	0.0072	0.4640	0.991
	3	2573.297	7.4188	0.0159	0.4388	0.991
20	4	1945.042	5.1759	0.0175	0.4183	0.999
	5	5496.365	14.4895	0.0078	0.4640	0.994
	6	2647.218	6.2532	0.0152	0.4490	0.996
30	7	3466.202	10.3124	0.0111	0.4305	0.996
	8	1946.406	5.2510	0.0206	0.4155	0.999
	9	1534.999	4.8401	0.0179	0.3827	1.000
50	10	1295.515	4.8412	0.0296	0.4513	0.996
	11	1994.229	5.8374	0.0248	0.4385	0.999
	12	1282.591	4.6121	0.0274	0.4221	1.000
70	13	1775.334	4.9419	0.0150	0.4031	1.000
	17	1962.267	5.5483	0.0122	0.4132	0.997
	15	2879.008	7.5127	0.0094	0.3863	0.997

a) 土壌含水率の実施値と推定式による推定値との相関係数である (n=11)。

表-3 a, n, m と土壌の物理性との相関係数

Table 3 Coefficients of correlation with parameters "a, n, m" and physical properties

	a	n	m
乾燥密度	-0.649**	-0.624*	0.229
飽和土壌含水率	0.542*	0.533*	-0.006
>0.25 mm 砂分	-0.113	-0.021	0.608*

** は 1% 有意水準, * は 5% 有意水準である。

率の平均値との積として得られた図である。

次にスケールリング土壌水分特性曲線を各深度の土層の土壌水分特性曲線としてその保水性を考察する。

図-3によると、深度が70 cmの土層から採取した試料の土壌水分特性曲線からは、サクションの変化に対し、他の試料と比較して、飽和度や土壌水分の変化が少ないことを示している。

同一のサクションに対する土壌の飽和度または含水率は、採取深度が70 cmの試料が一番大きく、採取深度が50 cmの試料が一番小さい。

サクションが100 KPaにおいて試料深度70 cmと50 cmの飽和度は、それぞれ68.2%と49.2%で、平均飽和含水率で換算して得た体積含水率は、27.3%と21.0%で

ある。すると、その他の試料の土壌水分特性曲線は、深度70 cmと50 cmの試料の土壌水分特性曲線の間にあるが、その順位は飽和度をもとにした曲線と含水率をもとにした曲線と異なっている。これは飽和含水率が大きい試料は必ずしも土壌水分特性曲線の勾配が緩くないことを示している。

一方、試料の深度が異なるばかりではなく、同じ土層深さの三個の試料の土壌水分特性曲線のスケールリング係数が異なっていることより、土壌水分特性曲線は、かなり異なる形状となることが予測される。三個のスケールリング係数の差が最大となる試料は深度20 cmの試料であり、次は、深度30 cmの試料で、深度10 cmの三個の試料のスケールリング係数の差が一番小さいことより、揃っている試料と考えても良い。このようなことから、土壌水分特性曲線をもとに土壌の保水性を考慮した灌漑計画を行う場合、土壌の三次元的に広がる土壌水分特性の変動性を考慮することが必要であると考えられる。このような空間変動性の処理には、通常、多くのデータからスケールリング係数の統計学的な平均値を取り出し、一般化する方法が取られる。最近では、コンピューターのめざましい発達のため、土壌調査を小区画毎に多数実施し、そのデータをもとにスケールリング土壌水分曲線を精度良く求められるので、妥当性のある小区画毎の灌漑水量の

表-4 層別に求めたスケーリング土壤水分特性曲線
Table 4 Scaling soil-moisture characteristic curves with soil layers

土層 (cm)	推 定 式	試 料	α
10	$S = [1 + (3.748 h)^{10.3019}]^{-0.0108}$	1	1.0721
		2	1.0562
		3	0.8717
20	$S = [1 + (4.800 h)^{8.5287}]^{-0.0114}$	4	0.3497
		5	2.1249
		6	0.5253
30	$S = [1 + (2.684 h)^{6.0895}]^{-0.0170}$	7	1.7664
		8	0.8638
		9	0.3698
40	$S = [1 + (1.849 h)^{4.7962}]^{-0.0293}$	10	0.9206
		11	1.4230
		12	0.6564
50	$S = [1 + (2.006 h)^{5.2390}]^{-0.0138}$	13	0.9560
		14	0.7824
		16	1.2616

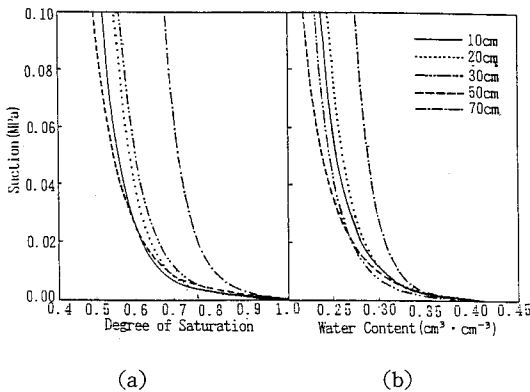


図-3 スケーリング後の土壤水分特性曲線

Fig. 3 Soil-moisture characteristic curves after scaling.

見積りが容易となると思われる。

2. 圃場の土壤水分の変化

土壤中の水分のサクシオンは、土壤表面蒸発と蒸発散と降雨に影響される。観測期間中には深度 10 cm の土層では、4~23 KPa に、深度 20 cm では、3.7~30 KPa に、深度 30 cm では、3.8~21.5 KPa に、深度 50 cm では、3~21.3 KPa に、深度 70 cm では、0.7~24.5 KPa の範囲でに変化した。

スケーリング係数と表-4 に示された土壤水分特性曲線の式より、これらの土壤水分サクシオンを飽和度に換

表-5 中国瀋陽地区における5~9月の降雨量 (mm)
Table 5 Rainfall from May to September in Sheyang area

年 度	5月	6月	7月	8月	9月
1961~1984年平均	55.9	85.1	167.7	155.2	71.3
1993年	18.4	98.2	136.2	213.3	48.7

算すれば、それぞれ深度 10 cm では、0.751~0.604, 20 cm では、0.837~0.573, 30 cm では、0.872~0.620, 50 cm では、0.860~0.585, 深度 70 cm では、0.988~0.742 となっている。

中国瀋陽地区は大陸性気候型で、四季が顕著に現れ、夏に降雨が集中している。表-5 に 1993 年 5 月から 9 月までの降雨量と 1961 年から 1984 年までの 24 年間の同時期の降雨量を示した。1993 年の降雨の状況について地元では、異常気象であると思われていたが、月別の降雨量は表-5 に示したように 5 月は明らかに平年の降雨量より少なかったに対して、8 月には多かったことが分かった。

この地区では春には雨が少なく、土壤水分の不足のため、種の発芽に影響がしばしば発生するが、1993 年にはこのような異常現象は経験されていない。

一般的に pF 1.5 から 2.0 (土壤水分サクシオンは 3 から 10 KPa に相当する) においての圃場容水量, pF 2.7

から3.0 (土壌水分サクシオンは50から100 KPaに相当する) における土壌含水量を作物生長が容易となる土壌水分量、すなわち毛管連絡切断含水量とすれば、土壌水分を観測した期間では、二週間程度降雨がなかったにも係わらず土壌水分サクシオンの最大値は、30 KPa程度であり、このような雨の少ない異常気象と思われた年においても、干ばつの被害は発生しなかった。

これは、経験的にも、この地域においては古くから畑地灌漑を行わなくても農業を行うことができたと言われていることから考えられることである。

また、図-2に示したように、五月下旬と、九月の末から十月十五日まで、深度10 cmの土壌水分サクシオンがその下層部のサクシオンより大きかった。それ以外の期間では下の土層よりも小さい時が多かった。これは六月の始めから大豆の葉が繁り、株が大きく生長し、地表面は葉で覆われていたからである。深度別に五層にわたり土壌水分サクシオンを測定したが、深度20 cmの土壌水分サクシオンの変動が一番激しく、その幅も大きかった。その次には30 cmの深度で変動が大きかった。この現象は、植物の根群が主に20から30 cmの深さに集中し、作物の吸水により土壌水分を消費したものとされる。この深度の土層は作物にとって、主要な給水層であると見なしでも良いと考える。

また、図-2から作物生育期間中では、深度70 cm程度の深さまでの土壌水分サクシオンも周期的に大きく変動していることが分かった。これは大豆の根系が直接に吸水することと、下層からの土層への毛管補給によって作物根から吸水されたもので、深度70 cm程度の土層からでも作物が消費する水の重要な供給源であることを示していると思われる。

このようなことから、この試験圃場の土壌水分消費型は、山崎ら(1977)の分類によれば全層消費型に属するものであると考える⁹⁾。

5. 結 論

1993年5月から10月にかけて中国瀋陽地区の大豆畑の土壌水分の変化の動態を観察した。そして、次のようなことが分かった。

(1) 沖積土の試験地の土壌の保水性は、土層の深度だけではなく、同一深度の土層においても変動性を持ち、試料の粒度や乾燥密度などの物理性によってその土壌水分特性曲線が変わる。

(2) 1993年の夏の降雨は例年に比較すれば、総雨量はあまり大きな差はなかったが、月別の雨量は著しく異なっていた。しかし、観測期間中における、土壌水分の状況は、大豆などの畑作物の生育にとって十分な降雨量

であった。

(3) 主な作物生育期間中は、深度が20から30 cmの土層は、作物に対し、重要な水分の供給層となっている。さらに、70 cmの深さの土層の水までも重要な給水源となっていることが分かった。

6. おわりに

灌漑計画を立てるとき、計画水分量を適切に見積もらなければならない。すると、その地区の土壌供試体の持つ土壌水分曲線を測定し、作付けされる作物が必要とする水分環境としての土壌水分の関係から計画用水量が見積られる。

本研究の結果、土壌水分特性曲線の変動は、水平方向のみならず、深度方向にも変動することがデータで示すことができた。また、作物の適切な栽培条件を把握した灌漑計画を立てるためには、土壌水分曲線の土壌中の変動のみならず、気象の条件が大きく影響をもたらす。しかし、最近では、異常気象という言葉が頻繁に聞かれる。1993年の瀋陽地区においてもそのような異常気象であったと思われる。しかし、本研究において、我々の実験圃場で大豆の生育と土壌水分に関する研究を始めたところ異常気象にも係わらず、土壌水分が作物の根域より下層からの水分補給が円滑に行われ、干ばつの被害を免れたことを知ることができた。農業にとて、気温や降雨量などの観測データは重要なデータには違い無いが、このような土壌水分の観測データは、作物栽培にとって最も直接的なデータであり、灌漑計画においては、そのデータの集積をおこない、土壌水分環境の把握が重要なことと考える。

参 考 文 献

- 1) 竹中 肇 (1964): 畑地における土壌水分張力と含水量の関係, 日本土壤肥科学雑誌, 第35巻, 第7号, 260~264.
- 2) 松川 進・相馬恒一 (1983): 土壌水分特性曲線(脱水分曲線)を表す新たな実験式, 農業土木学会 論文集, No. 104, 31~38.
- 3) 張 玉龍・加藤 誠・安富六郎 (1993): 土壌水分特性曲線のスケールリングにおける推定式の評価, 農業土木学会論文集, No. 164, 11~19.
- 4) 張忠 源ら (1989): 瀋陽土壌, 中国遼寧科学技術出版社, 9~18.
- 5) 山崎不二夫 (1977): 農地工学 (下), 東京大学出版会, 409~415.

(受稿年月日 1995年4月6日)
(受理年月日 1996年1月10日)

寒冷地における凍結融解と土壌侵食

— 土壌構造の変化が雨滴による侵食過程に与える影響 —

Freezing-Melting and Soil Erosion in Cold Region

— Effect of Soil Structural Changes on Raindrop Erosion Processes —

三原真智人・中川 英・安富六郎*・成岡 市・穴瀬 真

Machito MIHARA・Ei NAKAGAWA・Rokuro YASUTOMI*・

Hajime NARIOKA and Makoto ANASE

Tokyo University of Agriculture,* Yamazaki Research Institute

Abstract

The objective of this study is to investigate the effect of soil structural changes on raindrop erosion processes. Disturbed and undisturbed soils are sampled in embanked slope of Memanbetu, Hokkaido.

According to the results of raindrop erosion test, splash ratio decreased after the repetition of freezing-melting process. Soil saturated hydraulic conductivity increased after the repetition. It was concluded that percolation mechanism is important to understand the raindrop erosion processes.

Percolation volume was simulated on the bases of rheological properties of percolated suspension and pF-moisture distribution curves. Results of the simulation represented observed changes in permeability due to the repetition of freezing-melting process in this study.

Key words : Soil structure, Soil erosion, Raindrop, Freezing-melting, Permeability

1. はじめに

大規模畑地の造成において、大量の土砂の移動を伴う改良山成畑工が主流となっている。改良山成畑工では、斜面長の長い法面が形成される場合が多く、造成後の法面における侵食防止は農地保全上、重要な課題となっている。また積雪寒冷地においては、夏期の降雨による侵食に加えて、融雪侵食や凍結融解による土壌構造の変化を考慮する必要がある。

これまでも凍結融解が土壌の侵食過程に及ぼす影響について報告がある（長沢ら（1981）、Burney・Edwards（1993））。メディナら（1995）は凍結融解による団粒構造の変化を調べた。凍結融解の繰り返しによる浸透性や排水性の変化についてはBenoit・Bornstein（1970）、Hinman・Bisal（1973）、Benoit（1973）らの報告がある。

しかし浸透性や排水性が変化する機構については深く追求されていない。またカルシウム塩添加による保全対策について研究がなされているが（饗庭ら（1995））、造成直後の保全対策については検討すべき点が多く残されている。

本研究では人工的に雨滴を発生させ、凍結融解による飛散比の変化を調べた。また融雪期には表面流のみならず浸透流も泥寧化することが明らかとなったので、凍結融解による間隙構造の変化に加えて、懸濁状態の浸透水における流動性の変化についても検討した。さらに毛管モデルによって懸濁状態の浸透流量をシミュレーションし、透水性の実験結果と比較した。これらの結果を踏まえて、凍結融解に伴う土壌構造の変化が雨滴による侵食過程に与える影響を考察した。

2. 供試土

調査対象に北海道網走郡女満別における造成畑地の盛土斜面を選定し、表層から5cm深さまでの土壌を採取した。土壌の理工学的特性を表-1に示した。粒度分析の結果から、粘土百分率は7.1%、シルト百分率は11.6%に過ぎず、土性は砂壤土(SL)であることがわかった。分散率は74.9%で水に分散しやすく、pHは6.8であった。

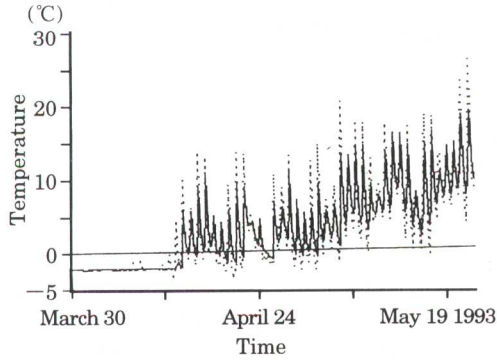


図-1 土壌表面及び5cm深さにおける温度変動
Temperature changes in the depth of 5 cm and soil surface with time
—5 cm deepsurface

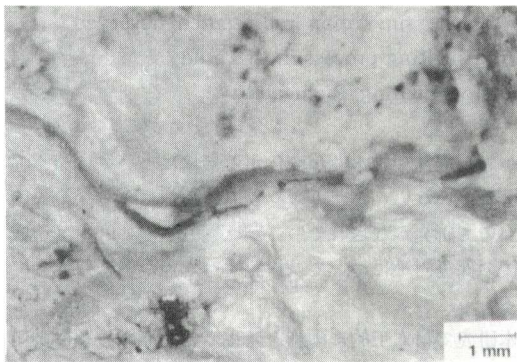


写真-1 土壌間隙に付着した粘土粒子
Clay particle deposition in soil pores

た。また盛土斜面の乾燥密度は1.1g/cm³であった。

盛土斜面の土壌表面および5cm深さにおける温度変動を調べた。積雪期に比べ融雪期の温度変動が大きく、図-1に示したように、5cm深さでは融雪期に15回前後の凍結融解を繰り返すことが明らかとなった。

また写真-1は土壌間隙中に付着したペースト状の懸濁物を実体顕微鏡で撮影したものである。これから明らかかなように、融雪期には浸透水が泥寧化して流れると考えられる。

3. 実験方法

実験室内で人工的に雨滴を発生させるため、図-2に示した簡単な実験装置を作成し、67cm高さから雨滴を落下させた。マリョット瓶で針先に作用する水圧を調整したため、気泡の位置によってわずかな水圧の変動が見られ、落下頻度にばらつきが生じた。しかし、各供試体において100滴以上の雨滴を与えたため、実験結果に及ぼす水圧変動の影響は無視して差し支えないと判断した。

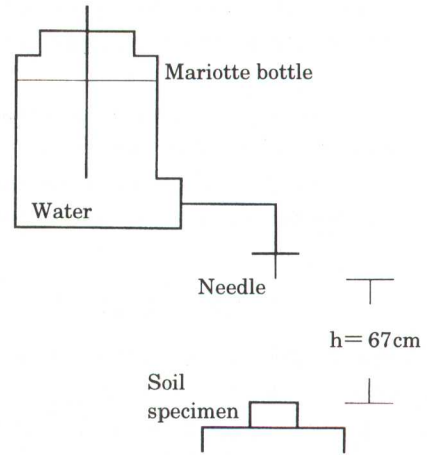


図-2 雨滴発生装置
Raindrop simulator

表-1 供試土における土壌の理工学的特性
Physical and chemical properties of soil sample

Depth (cm)	Specific gravity	Particle size distribution (%)				Dispersion ratio (%)	EC (μS/cm)	pH	Bulk density (g/cm ³)
		Coarse sand	Fine sand	Silt	Clay				
0-5	2.55	52.7	28.6	11.6	7.1	74.9	42.4	6.8	1.1

実験にあたり攪乱土を乾燥密度 1.0 から 1.6 g/cm³ の範囲内で 50 cm³ サンプラー缶に締固めた供試体と、さらに -18±2°C および 20±2°C で凍結融解を与えた供試体を作成した。1 回の凍結と融解に費やした時間は各々 12 時間である。融雪期の現場における凍結融解の繰り返し回数を考慮して、室内実験においても 15 回の凍結融解を与えた。また比較のために、盛土斜面より採取した不攪乱の供試体を用いた。雨滴を供試体中央に 1 滴づつ落下させて、雨滴による飛散比を求めた。ここでは単位体積当りの雨滴によって飛散される土壌粒子の質量を飛散比と定義した。写真撮影により算出した雨滴の落下速度と雨滴径からエネルギーを求めた (表-2)。

凍結融解の繰り返しに伴う土壌間隙の構造変化を明らかにするため、水頭型吸引法で水分特性曲線を求めた。ここで用いた供試体の乾燥密度は 1.1 g/cm³ である。さらに間隙分布特性を調べるため、水分特性曲線に基づいて水分分布曲線を求めた。また、融雪期には表面流のみならず浸透流も泥壅化する。凍結融解に伴う懸濁流の変化を調べるため、MacMichael 回転粘度計を用いて流動性試験を行った。流動性試験においては、200 mesh 篩を通過した細粒分を集めて土壌懸濁液を作成し供試土とした。

さらにこれらの実験結果に基づき、毛管モデルによって懸濁状態の浸透流量をシミュレーションし、飽和透水係数の実測値と比較した。

4. 実験結果と考察

1) 雨滴侵食における飛散比の変化

凍結融解前と 15 回の凍結融解を与えた後の供試体において、雨滴侵食による飛散比を比較した。図-3 に示したように、凍結融解前の供試体では乾燥密度 1.2 から 1.3 g/cm³ の範囲内で最も飛散比が高く、乾燥密度の上昇に伴い飛散比は低下する傾向が見られた。しかし凍結融解後の供試体では乾燥密度による飛散比の変化はほとんど見られず、飛散比は 0.3 g/cm³ 以下で低い値を示した。

さらに 1992 年 11 月 25 日に採取した不攪乱土と 1993 年 7 月 1 日に採取した不攪乱土における飛散比の比較を行った。その結果、不攪乱土における飛散比は採土年月による差は見られず、凍結融解後の供試体における飛散比と同じ傾向であった。この結果から現地より採取した

不攪乱土は既に凍結融解の履歴を受けており、実験室内で凍結融解した供試体と同様の傾向を示したと考えた。以上の結果により、凍結融解を繰り返すと雨滴侵食による飛散比が減少すると判断できた。

2) 凍結融解による間隙構造の変化

凍結融解の繰り返しが間隙特性に与える影響を調べる

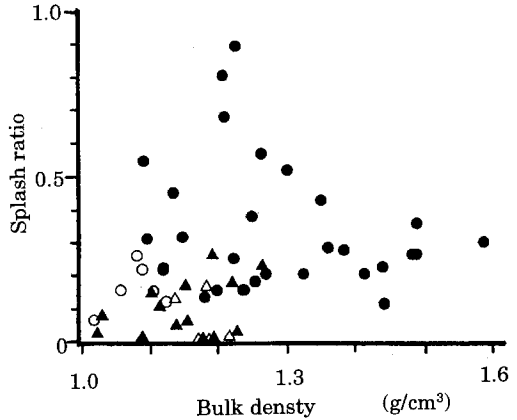


図-3 凍結融解による飛散比の変化
Changes in splash ratio due to repetition of freezing-melting process
●, ▲: Before and after repetition of freezing-melting process, respectively
○: Undisturbed soil sampled at Nov. 25 1992
△: Undisturbed soil sampled at July 1 1993

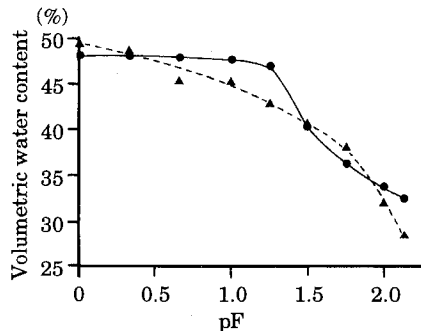


図-4 凍結融解前後における水分特性曲線
Soil moisture characteristic curves before and after repetition of freezing-melting process
●—: before ▲.....: after repetition

表-2 雨滴の落下速度とエネルギー
Raindrop velocity and energy

Diameter	Frequency	Velocity	Energy
2.86 mm	108 drops/min	4.4 m/s	1.19×10 ⁻⁴ J

ため、水分特性曲線を求めた(図-4)。ここで用いた凍結融解前後の供試体の乾燥密度はともに 1.1 g/cm^3 である。図-5に示したように、水分特性曲線を差分して水分分布曲線を求めた。その結果、凍結融解後の供試体における単位 pF 当りの体積含水率は、pF 0.5 前後で凍結融解前を大きく上回った。これは土壤が凍結することによ

り、土壤間隙中の水分が氷結して体積を増し、間隙を拡大したためと推定した。さらに pF 1.5 前後では凍結融解後の供試体における単位 pF 当りの体積含水率は凍結融解前を下回り、再び pF 2.0 前後で凍結融解前を上回る傾向を示した。

凍結融解による飽和透水係数の変化を図-6に示した。凍結融解前の供試体では、乾燥密度の上昇に伴って飽和透水係数は低下した。一方、凍結融解後の供試体にお

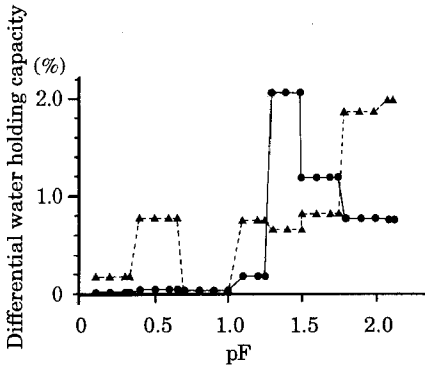


図-5 凍結融解前後における水分分布曲線
pF-moisture distribution curves before and after repetition of freezing-melting process
●——: before ▲……: after repetition

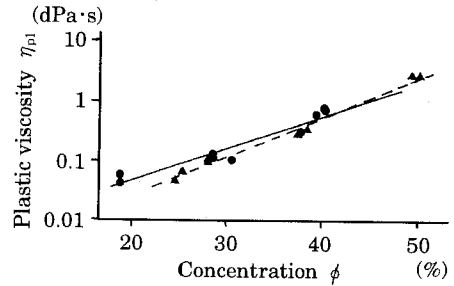


図-7 凍結融解による可塑粘性の変化
Changes in plastic viscosity due to repetition of freezing-melting process
●——: before ▲……: after repetition
—— $\eta_{pl} = \exp(0.1204\phi - 5.456)$ ($r=0.96$)
…… $\eta_{pl} = \exp(0.1505\phi - 6.763)$ ($r=0.99$)

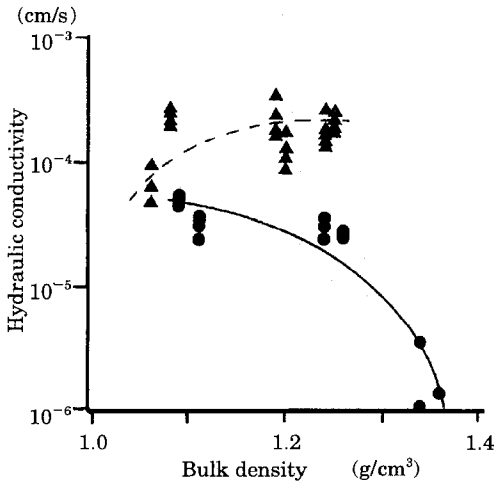


図-6 凍結融解による飽和透水係数の変化
Changes in saturated hydraulic conductivity due to repetition of freezing-melting process
●——: before ▲……: after repetition

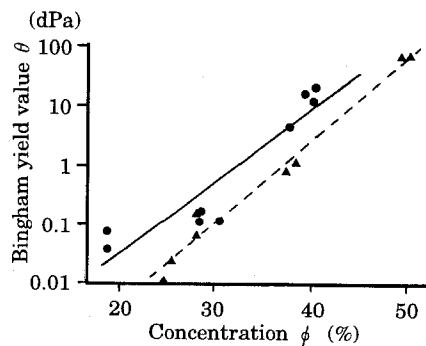


図-8 凍結融解による降伏値の変化
Changes in Bingham yield value due to repetition of freezing-melting process
●——: before ▲……: after repetition
—— $\theta = \exp(0.2767\phi - 9.017)$ ($r=0.93$)
…… $\theta = \exp(0.3166\phi - 11.747)$ ($r=0.99$)

る飽和透水係数では乾燥密度による変化はほとんど見られず、凍結融解前を上回る傾向が見られた。

3) 凍結融解による土壤流動性の変化

凍結融解前後の供試土から 200 mesh 篩を通過した細粒分を集めて、土壤懸濁液を作成した。土壤懸濁液における流動性の測定結果を図-7, 8 に示した。

凍結融解前後の可塑性において、差はほとんど見られなかったが、凍結融解後のビンガム降伏値は凍結融解前を大きく下回った。この結果から凍結融解後の土壤懸濁液においては弾性的挙動が減少し、粘性の性質が強まったと判断した。

4) シミュレーションによる浸透流量の比較

毛管モデルに基づき、懸濁状態で流れる浸透流量のシミュレーションを試みた。ここでのモデルは三原ら(1992)が多孔体中を流れる土壤懸濁液の浸透流量と閉塞現象をシミュレーションするのに用いたモデルであるが、本研究では凍結融解の影響を調べるため実際の土壤にこのモデルを適用した。

水分分布曲線から毛管モデルを仮定して、図-9 に示したように各 pF 値における積算間隙本数を求めた。毛管モデルでは間隙半径 R_j ($R_1, R_2, R_3, \dots, R_j, \dots, R_m$ ($R_{j-1} < R_j$)) に対応して、間隙本数 N_j ($N_1, N_2, N_3, \dots, N_j, \dots, N_m$) が供試体の上端から下端まで各々平行に長さ L で存在すると仮定する。間隙を流れる土壤懸濁液の栓流半径は、懸濁液に作用する圧力差 ΔP 、懸濁液のビンガム降伏値 θ 、間隙長さ L の関係から(1)式で示され、栓流半径 r_{oi} が間隙半径 R_j を上回れば閉塞を生じると考える。

$$r_{oi} = 2L\theta_i / \Delta P \text{ で, } \dots\dots\dots(1)$$

$R_j \leq r_{oi}$ の時 $q_{ij} = 0$ (閉塞する)

$R_j > r_{oi}$ の時 $q_{ij} > 0$ (閉塞しない)

栓流半径 r_{oi} は重量濃度 ($\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots, \phi_i, \dots, \phi_n$) の変化に従って、 $r_{o1}, r_{o2}, r_{o3}, \dots, r_{oi}, \dots, r_{on}$ と変化する。但し、ここでは表層 10 cm までが飽和状態と仮定し、圧力差 ΔP には 9800 dPa を与えた。

各濃度に対応する浸透流量 $q(\phi_i)$ は(2)式で表される。

$$q(\phi_i) = \sum_{j=1}^m q_{ij} N_j - \sum_{j=1}^c q_{ij} N_j = \sum_{j=c+1}^m q_{ij} N_j \dots\dots(2)$$

第1項は全間隙の浸透流量、第2項は閉塞した間隙の浸透流量を示している。また q_{ij} は間隙1本当たりの浸透流量で Buckingham-Reiner 方程式から(3)式となる。 η_{pi} は土壤懸濁液の可塑性である。

$$q_{ij} = \frac{\pi R_j^4 \Delta P}{8L\eta_{pi}} \left[1 - \frac{4}{3} \frac{2L\theta_i}{R_j \Delta P} + \frac{1}{3} \left(\frac{2L\theta_i}{R_j \Delta P} \right)^4 \right] \dots(3)$$

これらの(2), (3)式に基づいて、凍結融解前と凍結融解後における浸透流量を求めた。間隙中を流れる懸濁液の濃度によって浸透流量が変動するため、図-10 に示したように、凍結融解前の 10% 濃度における浸透流量で各値を除して無次元化した。その結果、低濃度において凍結融解後の無次元浸透流量は凍結融解前を大きく上回る傾向を示した。

透水性実験において、供試体下端より流出した懸濁液の濃度は 12% 前後であった。また乾燥密度 1.1 g/cm^3 付

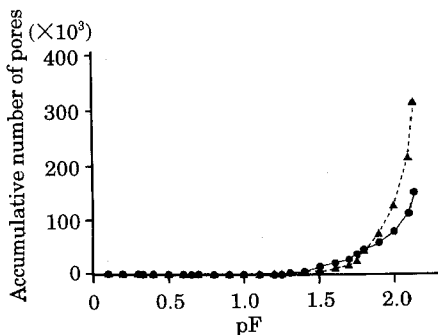


図-9 凍結融解前後における積算間隙本数
Changes in accumulative number of pores due to repetition of freezing-melting process
●——: before ▲……: after repetition

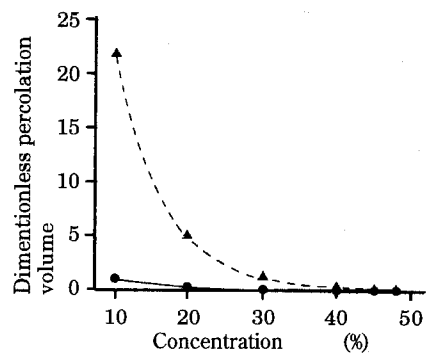


図-10 凍結融解前後のシミュレーションによる浸透流量
Changes in simulated percolation volume per unit time due to repetition of freezing-melting process
●——: before ▲……: after repetition

近における凍結融解後の飽和透水係数は凍結融解前のほぼ6倍であった。一方、シミュレーション結果に基づく、重量濃度12%付近における凍結融解後の浸透流量は凍結融解前のほぼ20倍であった。シミュレーション結果に基づく凍結融解前後の差が実験結果による差を上回ったのは、実際の土壌間隙は毛管モデルと異なり、屈曲や不連続の部分が影響したためと考察した。

これらの結果から、土壌中の間隙構造と懸濁液の流動性を考慮することで、凍結融解に伴う透水性の変化をシミュレーションによってほぼ表現できることが明らかとなった。

5) 凍結融解に伴う土壌構造の変化と雨滴侵食

これまでの結果より、凍結融解の繰り返しによってpF 0.5前後の土壌間隙が増大し、土壌懸濁液も流動しやすくなることが明らかとなった。土壌透水性の実験結果と同じく、シミュレーションにおいても凍結融解によって透水性が高くなることが明らかとなった。また雨滴による侵食特性を調べた結果、凍結融解前の供試体における飛散比は凍結融解後を大きく上回った。

これらの結果から、凍結融解前の供試体では表層に降った雨滴の浸透が容易に進まず、飽和度が上昇し、浮力の発生や凝集力の低下が生じて、同じ雨滴エネルギーによっても凍結融解後の供試体に比べてより多くの土壌粒子が飛散されたと考察した。

5. ま と め

本研究では北海道女満別における造成畑地の盛土斜面を調査対象とし、凍結融解による土壌構造の変化が雨滴による侵食過程に与える影響を検討した。

凍結融解前の供試体では乾燥密度1.2から1.3 g/cm³の範囲内で最も飛散比が高く、乾燥密度の上昇に伴い飛散比は低下する傾向が見られた。しかし凍結融解後の供試体では乾燥密度による飛散比の変化はほとんど見られず、飛散比は0.3 g/cm³以下で低い値を示した(図-3)。

水分特性曲線を差分して水分分布曲線を求めた結果、凍結融解後の供試体における単位pF当りの体積含水率は、pF 0.5前後で凍結融解前を大きく上回った(図-5)。また凍結融解前の供試体では、乾燥密度の上昇に伴って飽和透水係数は低下したが、凍結融解後の供試体における飽和透水係数では乾燥密度による変化はほとんど見られず、凍結融解前を上回る傾向が見られた(図-6)。

土壌懸濁液の流動性を測定した結果、凍結融解前後の可塑性の差はほとんど見られなかったが、凍結融解後のビンガム降伏値は凍結融解前を大きく下回った(図-7, 8)。

毛管モデルによる浸透流量のシミュレーションを行って、凍結融解が浸透流量に与える影響について検討した。モデルにおいて凍結融解に伴う間隙構造の変化と懸濁液における流動性の変化を考慮した。その結果、凍結融解による透水係数の実測値の変化をシミュレーションによってほぼ表現できることが明らかとなった。

これらの結果を踏まえると、凍結融解前の供試体では表層に降った雨滴の浸透が容易に進まず、飽和度が上昇し、浮力の発生や凝集力の低下が生じたと考えられる。そのため同じ雨滴エネルギーによっても、凍結融解前の供試体では凍結融解後に比べて、より多くの土壌粒子が飛散されたと考察した。

引用文献

- 饗庭直樹・三原真智人・成岡 市・安富六郎・穴瀬 真 (1995): 寒冷地における凍結融解と土壌侵食, スレーキング特性に与えるカルシウム添加の影響, 土壌の物理性, 71: 11~15.
- Benoit, G.R. and J. Bornstein (1970): Freezing and Thawing Effects on Drainage, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 34: 551~557.
- Benoit, G.R. (1973): Effect of Freeze-Thaw Cycles on Aggregate Stability and Hydraulic Conductivity of Three Soil Aggregate Sizes, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 37: 3~5.
- Burney, J.R. and L.M. Edwards (1993): Size Distribution of Sediment in Rill Runoff in Response to Variations in Ground Cover, Freezing, Slope and Compaction of a Fine Sandy Loam, J. Agric. Engng Res., 56: 99~109.
- Hinman, W.C. and F. Bisal (1973): Percolation Rate as Affected by the Interaction of Freezing and Drying Processes of Soils, Soil Science, 115(2): 102~106.
- メディナ, S.M.・成岡 市・三原真智人・穴瀬 真・安富六郎 (1995): 寒冷地における凍結融解と土壌侵食, 凍結融解の繰り返しと土壌団粒の配列構造に及ぼす影響, 土壌の物理性, 71: 5~9.
- 三原真智人・安富六郎 (1992): 土壌透水性の経時的変動と間隙閉塞機構, 農土論集, 162: 67~75.
- 長沢徹明・梅田安治 (1981): 土の耐水食性に及ぼす凍結融解作用の影響, 凍結・融解土の特性に関する研究 (V), 農土論集, 94: 48~54.

(受稿年月日 1995年 8月 14日)
(受理年月日 1995年 10月 4日)

堆肥施与による水稻収量の増加要因の解析

—窒素の吸収パターンと土壌間隙率の増加—

平野 繁・田辺 猛

Analysis of Yield Increase in Paddy Rice by Compost Application

— The Nutrient-Absorption Pattern and the Increase
 in Void Percent of Soil —

Shigeru HIRANO and Takeshi TANABE

Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture

Abstract

The relationship between change in soil structure induced by application of cow's compost and yield of paddy rice was investigated in 1/2000 a pot trials. Three fertilization treatment were set up by compost application at the rate of 100%, 50% or 0%, and adjusted to the total concentration of three major nutrients (NPK) with application of chemical fertilizer.

Compost application gave considerable increase in rice yield. The increase in rice yield can be explained by the following effects. One was slower mineralization of compost than chemical fertilizer, hence, the nutrient-absorption pattern of rice in this situation increased yield. The other effect was the decrease in the solid phase of the soil induced by compost application.

This study showed the difficulty of dividing the effects of compost application into chemical and physical effects.

Key words : Compost application, Change in void percent of soil, Yield of paddy rice

1. はじめに

家畜糞尿の農地への還元の必要性は、昭和30年代中頃に始まった農業の専作的規模拡大、特に、畜産部門の規模拡大によって大量の糞尿が排出されるようになった時期から注目されてきた(松崎, 1978)。また今日では、大量の糞尿処理の目的だけではなく、低化学肥料・低農薬を意図した持続型農業を目的とし、土壌の改善を目的とした堆肥としての利用が注目されている。しかしながら、畜産農家における糞尿処理を目的とした大量かつ局所的な施与による地下水汚染等の環境問題を考えると、水田をはじめとする耕種部門での広域的な家畜糞尿の利用が必要となる。

堆肥の農地への施与の効果は、①堆肥の持つ肥料成分

による土壌の化学性の向上、②有機物施与にともなう土壌の物理性の改善、③土壌の生物相を豊富にする生物性の改善の3点が知られている。作物生産と堆肥施与との関係を論じるとき、化学性と物理性は相関連して変化することから、作物生産の向上が、化学性の変化に起因するものか物理性の変化に起因するものか分離して考察することは困難となる。家畜糞尿の有効利用を積極的に推進する際、施与する堆肥を単なる化学肥料の代替としてとらえるだけではなく、作物生産に対する様々な付加価値を明確にする必要がある。

特に、土壌中の窒素の発現(無機化)量は、微生物の酵素反応としてとらえられ、地温の関数として推定される(杉原ら, 1986; 上野ら, 1990b)。したがって、気温の年次変動によって、堆肥施与による化学的な効果が変

化することから、堆肥施与の効果を単年度で評価することは難しい。

本実験は、堆肥の施与が水稻の生育・収量におよぼす影響を検討するうえで、化学肥料と三要素量が同等になるよう堆肥を施与し、肥料成分の影響を低減し、主として土壌の物理性的変化が反映されるよう考慮した。実験年の気候は、例年にならぬ高温に推移し、施与した堆肥の無機化が促進されたと考えられた。したがって、肥料成分の差による影響が小さく、堆肥施与による土壌の物理性的変化、特に土壌間隙率の増加と作物生産との関係を検討することが可能であると考えられる。

2. 材料および方法

実験は1994年に、東京農業大学農学部(東京都世田谷区)で行った。水稻品種コシヒカリを用い、4月27日に育苗箱に播種、5月23日 3.5葉期に達した稚苗を、1/2000aワグネルポットに移植し、ポットあたり1株1本2株立てとして栽培した。供試土壌は、関東ローム層心土を用いた。処理区は、化学肥料を全量施与する化肥全量区、化学肥料と窒素成分が同等の堆肥を全量加える堆肥全量区、および、堆肥全量区の半量の堆肥を加え、成分で化肥全量区と同量になるよう化学肥料を加えた、化肥堆肥混合区の3区を設けた。各区の施肥量ならびに三要素の成分量は、表-1に示した。なお、各区の供試個体数は10個体とした。

本実験では、東京農業大学富士畜産農場で生産された牛糞堆肥を用い、施肥設計をするにあたり、堆肥の全窒素をケルダール法で、リン酸とカリウムは湿式灰化後、リン酸はバナドモリブデン酸法で、カリウムは原子吸光

光度法で測定した。

移植後6週間後の6月20日から4週間ごとに出穂後期の8月15日までの3回、分けつ数・葉色(クロロフィル含量相対値)を測定した。葉色は、葉緑素計(SPAD-502, ミノルタ社)を用いた。9月29日に収穫乾燥後、個体あたりの穂重・全粒数・全粒重を測定した。土壌の三相分布は、収穫後採土円筒(100ml)により採集し、土壌三相計(DIK-1100, 大起理化工業社)を用いて測定した。土壌は、各区5ポットから1点ずつ、深さ5~10cm間より採集した。

3. 結 果

1) 堆肥施与と初期生育との関係

図-1に、移植後の分けつ数・葉色(SPAD値)の出穂期までの推移を示した。移植後6週間目の6月20日では、堆肥全量区の分けつ数・葉色のSPAD値は小さく、化肥堆肥混合区は、化肥全量区と比較して差がみられなかった。その1カ月後の7月18日では、分けつ数・葉色のSPAD値ともに、化肥全量区が最も大きく、化肥堆肥混合区、堆肥全量区の順となった。出穂期の8月15日では、葉色のSPAD値は前回の7月18日と傾向を同じくしたが、分けつ数は堆肥全量区が最も大きく、化肥堆肥混合区は、化肥全量区と比較して差がみられなかった。

2) 土壌の物理性的変化と水稻の収量との関係

土壌の固相は、堆肥全量区、化肥堆肥混合区、化肥全量区の順に大きくなった(表-2)。すなわち、土壌間隙率は、堆肥全量区>化肥堆肥混合区>化肥全量区となった。

図-2に、土壌の固相率と個体あたりの穂重・全粒数・

表-1 各施肥区分のポットあたりの化学肥料および牛糞堆肥の施与量と成分量
Table 1 Amount and concentration of applied chemical fertilizer and compost per 1/2000 a pot.

施肥区分	化肥全量区	化肥堆肥混合区	堆肥全量区
化学肥料			
硫安(N)	7.0 g (1.47 g)	3.5 g (0.74 g)	—
過磷酸石灰(P)	5.0 g (0.85 g)	3.4 g (0.57 g)	—
熔燐(P)	5.0 g (1.00 g)	3.4 g (0.68 g)	—
塩化カリ(K)	3.0 g (1.80 g)	1.0 g (0.57 g)	—
成分量合計(N-P-K)	(1.47-1.85-1.80)	(0.74-1.25-0.57)	
牛糞堆肥	—	133.9 g	267.8 g
成分量合計(N-P-K)		(0.74-0.60-1.23)	(1.47-1.20-2.46)
総成分量合計(N-P-K)	(1.47-1.85-1.80)	(1.47-1.85-1.80)	(1.47-1.20-2.46)

注) 牛糞堆肥の施与量は生重で表記した。成分量は水分65.2%、乾物あたりの成分、N=1.58%・P=1.29%・K=2.64%より算出した。

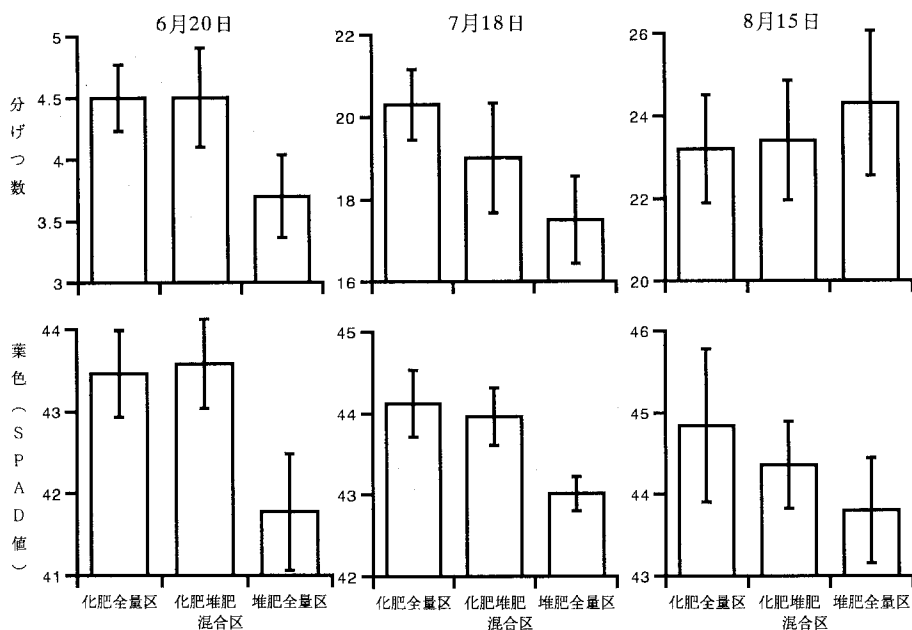


図-1 一株分げつ数と葉色の推移 (垂直線は標準誤差を示す)

Fig. 1 Change of tiller number per plant and change in leaf color.

表-2 堆肥施与量の相違と土壤の三相分布

Table 2 Effect of application of compost in three phases of soil

	固 相	液 相	気 相
化肥全量区	16.2% (±0.15)	61.2% (±2.17)	22.6% (±2.32)
化肥堆肥混合区	14.9% (±0.02)	60.8% (±0.95)	24.3% (±0.94)
堆肥全量区	14.4% (±0.23)	66.4% (±1.08)	19.2% (±1.31)

注) () 内は標準誤差を示す。

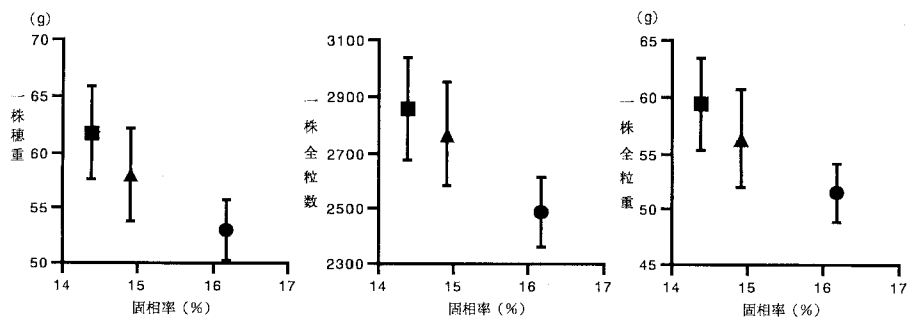


図-2 土壤の固相率と水稻の収量との関係

●：化肥全量区，▲：化肥堆肥混合区，■：堆肥全量区 (垂直線は標準誤差を示す)

Fig. 2 Relationship between solid ratio of soil and yield of rice.

全粒重との関係を示した。3形質ともに、固相が小さくなるほど増加する傾向が認められた。

4. 考 察

本実験では、堆肥施与区は三要素量を化肥全量区と同等にしたが、堆肥中の有機態の窒素・リン酸は、植物に吸収される形態になるためには、微生物の酵素反応による無機化が必要である(杉原ら, 1986; 上野ら, 1990b)。そのため、生育初期では堆肥の無機化が化学肥料に比較して遅かったことから、分けつ数・葉色が低く推移し、夏期の高温とともに堆肥の無機化が進んだ出穂期において、堆肥全量区で分けつ数の増加がみられたものと考えられた(図-1)。

水稻の収量・品質が良好となる窒素の吸収パターンは、前期吸収量がやや少なく、穂揃期以降吸収量が増加する経過をとることが理想的であることが報告されている(上野ら, 1988; 上野ら, 1990a)。本実験において、処理区の中で堆肥全量区で最大収量が得られたのは、この区の窒素吸収パターンが理想的パターンと合致していたためと考えられた。また、堆肥施与による水稻の増収要因は、三要素、特に窒素の吸収量ではなく、水稻の吸収パターンに対応した土壌中での堆肥分解速度にあることが示唆された。この結果は、前述の試験年の気象要因が大きく影響したものと考えられた。

また、水稻の収量と土壌の固相率との間には負の相関関係が認められ、固相率が小さくなる、すなわち、土壌間隙率が増加すると、水稻の収量が増加することが認められた(図-2)。土壌間隙の増加による、作物生育への影響は、直径の異なるガラス球を組み合わせた間隙の異なるモデルを用いた小林・大竹(1977)の実験の結果、間隙が大きくなるほど、地上部の生育が大となることが報告されている。

さらに、天野・森脇(1984)は、冷害を人工的に生じさせ、稲葉身への窒素吸収量別に収量・根の活性(α -ナフチルアミン酸化力)等を比較した結果、堆肥施与によって根の活性が高まり、冷害による収量低下を小さくしたことを報告している。根の活性の向上の要因については論議されていないが、活性向上が堆肥施与による土壌の物理性の改善に起因する可能性が高いものと推察される。

以上のことから、本実験でみられた堆肥施与による水稻の増収効果は、これまでの研究の結果から、土壌間隙の増加が一因であると考えられることができる。しかしながら、前節で考察したように、堆肥全量区でみられた増収効果は、堆肥無機化のパターンもその一因であることが示唆されていることから、堆肥施与による作物生産への

効果を、単純に土壌の物理性改善に起因するとは断言できなかった。このことに関し、鹿児島県農業試験場で行われた、稲作への数種の有機物の連用施与効果の報告(上村ら, 1986)では、土壌の固相率の変化と玄米収量との間には、明確な関係が得られていない。本実験同様、施与有機物の土壌化学性への影響の相違や、実験年の天候など、多様な要因が相乗的に加わり、有機物施与の作物生産への効果の要因を明確にできなかったものと考えられた。

本実験は、堆肥施与による土壌の物理性改善が、水稻の生育収量におよぼす効果を検討する目的で遂行したが、堆肥と化学肥料との肥効の相違が水稻の収量におよぼす影響を分離することはできなかった。作物生産における、堆肥施与の土壌物理的改善効果を単独で分離して検討するためには、土壌において化学的な変化をできる限り除去した上で、物理性のみを変化させる実験系が必要となると考えられた。ガラス球を用いて土壌間隙のモデルを創出した小林・大竹(1977)の実験を発展させ、作物の生育・生理に関する詳細な調査も、一つの方法であろう。

また、本実験では、多くの水田土壌と比較して固相率の小さい関東ローム層心土を用いたことから、実際的水稻栽培と実態が異なるものと考えられる。今回報告した堆肥施与による土壌の固相率の変化と作物生産との関係について一般化するためには、関東ローム以外の水田土壌を用いた更なる検討が必要と考えられた。

5. 摘 要

本実験は、堆肥施与による土壌の物理性の変化が、水稻の生育・収量におよぼす影響を検討する目的で行った。堆肥全量区・化肥堆肥混合区・化肥全量区の3区を設け、合計の三要素量が同等になるよう化学肥料で調整し、水稻の生育・収量を検討した。堆肥施与によって水稻の収量は増加し、その要因として、①化学肥料と比較して堆肥の無機化が遅れ、水稻の理想的窒素吸収パターンの肥効を示したこと。②堆肥施与によって土壌の固相率が減少し、土壌間隙が増加したこと。の2点が考察された。本実験から、堆肥施与による作物生産への効果を、土壌の化学性の変化と物理性の変化に分離することは困難であった。

謝 辞

本実験の遂行にあたり、協力いただいた作物学研究室、笠原政行、牧三津雄の両氏に謝意を表す。

引用文献

- 天野高久・森脇良三郎 (1984) : 水稲の冷害に関する栽培学的研究, 第3報 穂孕期不稔に対する堆肥施用の効果. 日作紀, **53** : 7~11.
- 上村幸廣・宇田川義夫・吉留昭夫・古江広治 (1986) : 各種有機物の施用が水稲の生育及び土壌におよぼす影響. 鹿児島県農業試験場研究報告, **14** : 21~28.
- 小林裕志・大竹良明 (1977) : イネ科牧草根の物理的な機能に関する研究. IV. 固定された間隙モデルにおける根系発達. 日草誌, **23** : 241~246.
- 松崎敏英 (1978) : 家畜ふん尿の農地還元. 土肥誌, **49** : 429~440.
- 杉原 進・金野隆光・石井和夫 (1986) : 土壌中における有機態窒素無機化の反応速度論的解析法. 農環研

報, **1** : 127~166.

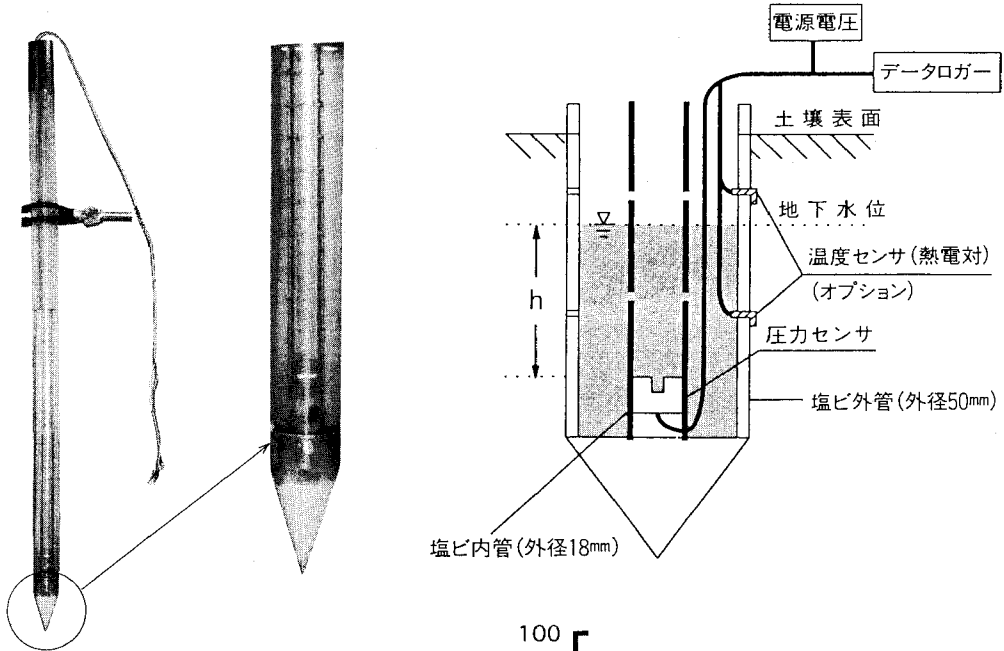
- 上野正夫・安藤 豊・藤井弘志・佐藤俊夫 (1988) : 水稲の理想的な窒素吸収パターンと土壌窒素無機化量の関係. 土肥誌, **59** : 316~319.
- 上野正夫・熊谷勝巳・佐藤之信・井上每子・田中伸幸 (1990 a) : 土壌窒素と緩効性被覆肥料を利用した全量基肥施肥技術. (その1) 水稲の理想的な窒素吸収パターンと緩効性肥料の溶出パターン特性. 農業および園芸, **65** : 828~834.
- 上野正夫・佐藤之信・熊谷勝巳・大竹俊博 (1990b) : 速度論的解析法による土壌窒素発現予測システム. 土肥誌, **61** : 273~281.

(受稿年月日 1995年 8月 11日)
(受理年月日 1995年 12月 1日)

地下水の動きを迅速かつ容易に見る

圧力センサ式地下水位メータ (EN-GW-501)

1. 構成



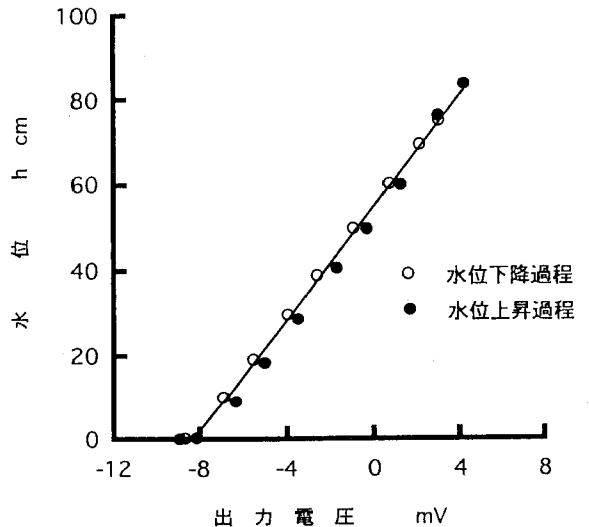
2. 圧力センサ (拡散型半導体圧力変換器)

1)仕様

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

2)特性

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



3. 地下水位メータ仕様

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

エンドウ理化

〒001 札幌市北区新琴似10条7丁目3-16

☎ (011) 763-1088
FAX (011) 763-1667

Influence of Slope Gradient on Interrill Erosion of Shirasu Soil

K.L. ZHANG and K. HOSOYAMADA*

United Graduate School of Agricultural Sciences, Kagoshima University

*Faculty of Agriculture, Miyazaki University

Abstract

A simulated rainfall study was conducted to evaluate the effects of slope gradient on interrill erosion of Shirasu, a volcanic ash soil. A simulated 30-min., 62 mm/h rainfall was applied to the slopes of 6°, 9°, 12°, 15° and 20° to measure interrill erosion and runoff. Whether runoff or soil loss rates all showed rapid increase in first ten minutes from the start of experiment except for slope 6° and 9°. Runoff became almost constant for slopes of 12°, 15° and 20°, but soil loss rates showed a different variance according to slope gradient at the latter half of 30 min run. A third-degree polynomial for the relation of gradient with runoff and soil loss rates can be established based on the result of regression analysis of data. But variance in gradient for runoff differed from that for soil loss. For runoff, under the conditions of the experiment, the maximum was 15°, and there was a decrease beyond this slope gradient. Soil loss rates increased with slope gradient within the range of steepness in the experimental conditions. But increment rates differed according to the slope gradient, rapid increase was noted for slopes from 9° to 15°, and soil loss rates flattened beyond 15°.

Key words : Shirasu, Interrill erosion, Slope gradient

1. Introduction

Soil erosion and its causes have been studied extensively. As an important factor affecting the magnitude of soil erosion, slope gradient have been studied deeply. Previous studies conclude that the relation between slope gradient and soil loss is curvilinear. Investigation by Zingg (1940) showed the relationship between slope steepness and soil erosion to be expressed by $y = ax^b$ where b is 1.48, a is 0.065, x is the present of slope gradient and y is the eroded weight of soil loss in pounds. Meyer and Monke (1965) used a variable sloping bed filled with grass beads to derive a modified power equation with a slope factor exponent b , ranging from 2.0 to 2.5. Smith and Wischmeier (1958) developed a polynomial equation to define the relationship between soil loss and gradient that used in Universal Soil Loss Equation (USLE) (Wischmeier and Simith 1978). Singer and Blackard (1982) studied the interrill erosion of two soils on slopes from 3 to 50%, interaction between slope gradient and soil properties was suggested by the results, a second-degree polynomial of the form $Dw = 0.22 + 9.37 \sin Q - 8.43 \sin^2 Q$ for silty clay loam soil and a third-degree polynomial, $Dw = -0.10 + 7.66 \sin Q + 59.49 \sin^2 Q - 101.65 \sin^3 Q$ for loam soil used in their study, where Dw is interrill soil loss, Q is slope angle.

Yair and Klein (1973) who, in an investigation on natural runoff from three ebris-covered hillslopes with slope gradient of 15°, 19° and 25°, found an inverse relation between sediment yield and slope gradient. Additional research dealing with slope gradient factor in the

Universal Soil Loss Equation has indicated that the effect of slope gradient on interrill erosion depend on the soil (Quansah 1981, Singer and Blackard 1982, and Meyer and Harmon 1989).

Soil erosion is divided into interrill, rill, and gully types. Interrill erosion soil particle detachment by raindrop impact and particle transport by splash and shallow overland flow. Models such as the Water Erosion Prediction Project (WEPP) have distinguished interrill and rill processes in the study of soil detachment and transport.

This study was conducted to determine the effect of slope gradient on interrill erosion of Shirasu soil in southern Kyushu of Japan and to show how interrill erosion is related to slope gradient.

2. Method and Materials

The soil used in this study was taken from Miyazaki, a prefecture in southern Japan. Shirasu is volcanic ash soil which is susceptible to erosion owing to its low in organic matter content, loam contents, aggregate percent and small density. Its physical properties and texture are shown in Table 1. Soil particle size was determined according to Japanese unified soil classification system.

The drop-former type rainfall simulator selected in the study was designed by Hosoyamada in 1986. It consists of a raindrop-former, two pressure water reservoirs and a timer. The features of rainfall simulator in this study have been reported by Hosoyamada (1986). The raindrop-former is consisted of 21 pipes with 13 nozzles, and raindrops are formed at 260 cm from the surface of test plot. Rainfall intensity was controlled by adjusting time for the valve left open or shut. In this study, 0.1 second for open and 0.3 second for close were selected to control raindrop-forming, and to give a 62 mm/h rainfall (a little weaker than that indicated in Tables on the same combination of open and close time, because of the senility of raindrop-former). Raindrop size distribution and terminal velocity as two important parameters in rainfall simulation are listed in Tables 2 and 3. Table 3 shows raindrop velocity to be essentially same with the terminal velocity of natural rainfall.

The soil was packed into 150 cm long, 40 cm wide and 20 cm deep wooden-boxes with holes on the bottom, and adjusted to reach a bulk density of 0.83 g cm^{-3} (Fig. 1). Splashed particles were collected using three tin plate of 50 cm height mounted vertically on the plot box sides (see photo. 1). The lower splash collector was rested on the sides of the front runoff spout,

Table 1 Physical properties of soil used in the experiment

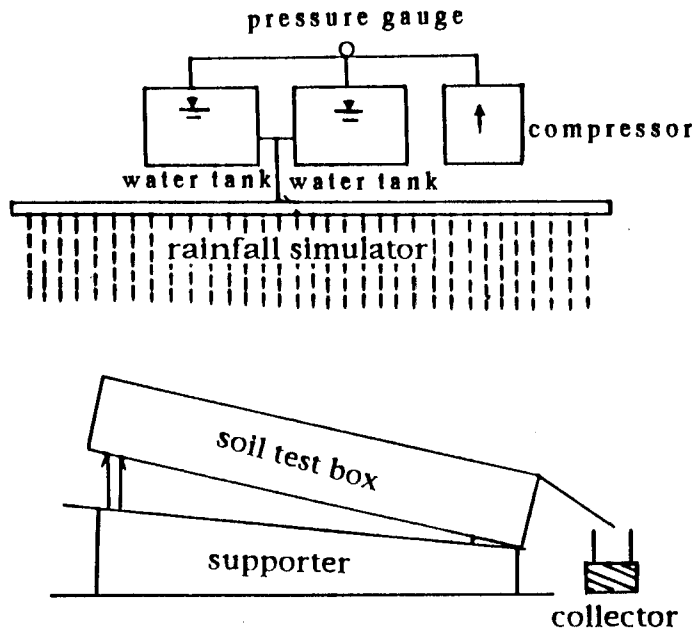
Soil density	Aggregate percent	Infiltration parameter	Soil grade		
			Sand	Silt	Clay
2.529 (g/cm^3)	4.4%	$1.42 \times 10^{-2} \text{ cm/sec.}$	76.7%	14.8%	8.5%

Table 2 Raindrop distribution of the rainfall simulator

Pressure (kg/cm^2)	Electromagnetic valve		Rain intensity (mm/hr)	Raindrop size (mm)	
	Open (sec.)	Close (sec.)		Mean	Range
0.20	0.10		83	1.79	1.2~3.3
	0.15	0.30	107	1.88	1.2~4.4
	0.20		142	1.80	1.2~4.4
	0.25		202	1.75	1.2~2.2

Table 3 Raindrop velocity of the rainfall simulator

Pressure (kg/cm ²)	Electromagnetic valve		Rain intensity (mm/hr)	Raindrop velocity (m/s)	
	Open (sec.)	Close (sec.)		Mean	Range
0.20	0.10		83	8.7	8.0~10.5
	0.15		107	8.0	6.9~ 9.6
	0.20	0.30	142	7.8	6.4~10.8
	0.25		202	7.5	6.1~ 9.5

**Fig. 1** The illustration of rainfall simulated test.

leaving 5-mm-wide gap between the splash collector and the top of the lower side in order to let runoff and soil pass through. Splash samples were collected at four different sites at a two minutes interval for washed- and splashed-off material throughout each 30 minutes run. All sampled were washed off each splash board into a lower channel and then into four separate containers. Surface flow erosion samples were collected simultaneously. The soil was saturated as fully as possible with a sprinkler before the beginning of tests in order to keep a same surface situation.

3. Results and Discussion

Slope gradient is a factor affecting raindrop detachment, infiltration and energy of runoff. Thus, not only the magnitude of soil loss, models of runoff and soil erosion is also affected by slope gradient. The influence of slope gradient on interrill erosion was thus examined by analysis of variance of the soil loss process, runoff, and soil loss amount.

1) Soil loss process

Fig. 2 shows soil loss process on different slopes. Soil loss rate was small and slight fluctuation with time on the slopes of 6° and 9°, but was considerable for slopes of 12° and 15°.

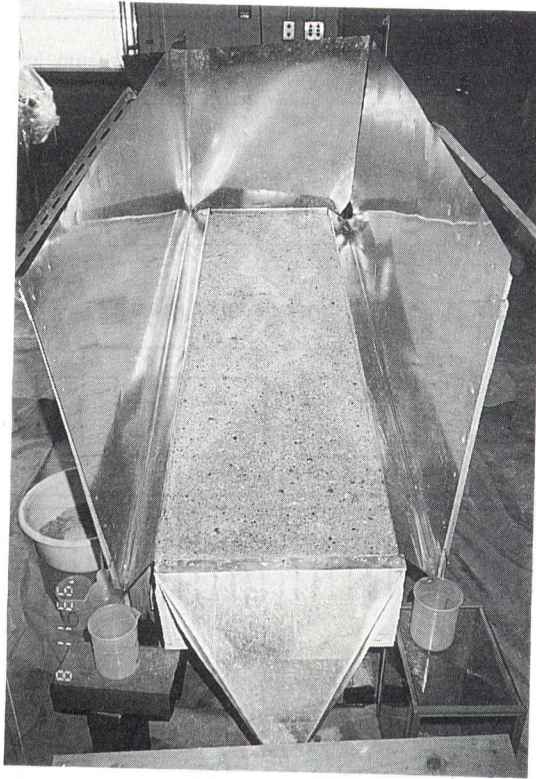


Photo. 1 Soil test box, upslope, downslope, and side splash collectors.

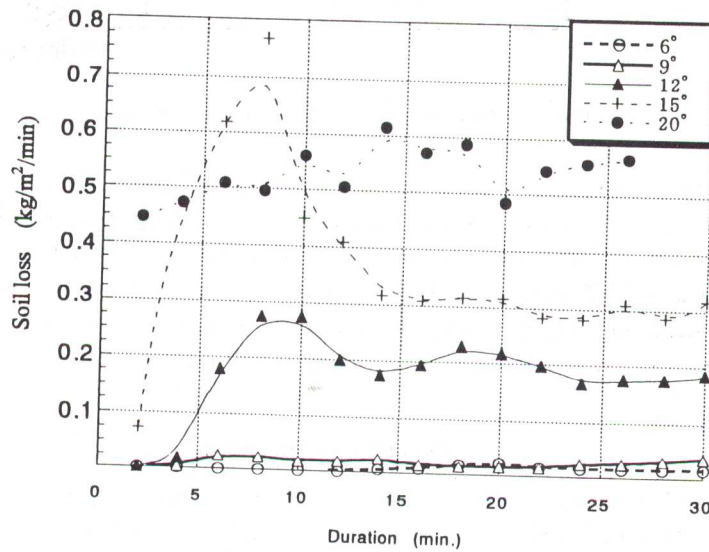


Fig. 2 Variance of soil loss rate with test time.

In such cases, soil loss rate increased quickly during the first ten minutes, and then decreased slightly becoming almost constant. On the slope of 20°, soil loss rate was always much and tend to increase slightly.

Runoff rate increased quickly in the first ten minutes, and then hardly changed for slopes of 12° and 15° (Fig. 3). On the slope of 20°, trend of runoff was greater throughout experiment and similar with soil loss. Runoff rates, on slope of 12° and 15° exceeded that of the 20° slope during the last fifteen minutes. Runoff rates on slopes of 6° and 9° increased throughout the study. These results show that runoff rates is affected strongly by slope steepness.

To determine soil loss and runoff with time simultaneously, sediment concentration was calculated as shown in Fig. 4. Fig. 4 shows that the steeper the slope, the more quickly sediment concentration becomes maximum. Sediment decreased slightly in the last twenty

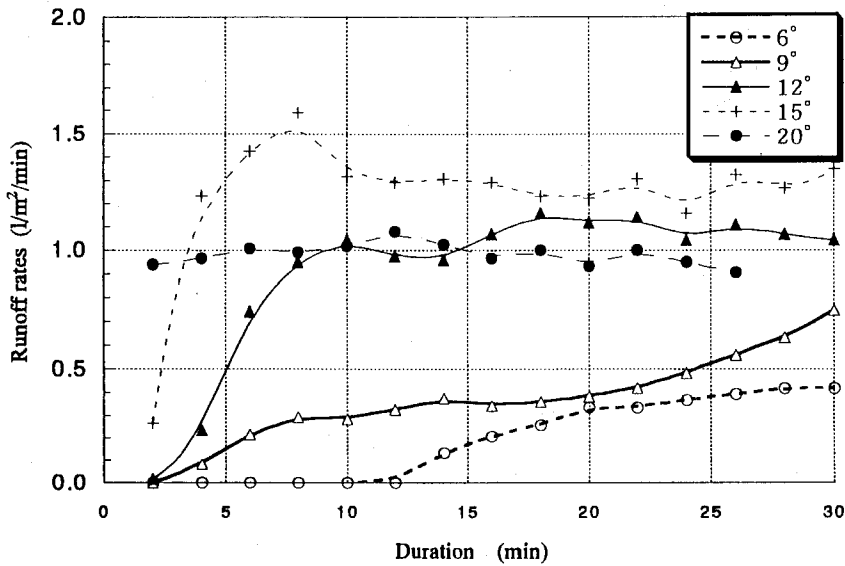


Fig. 3 Variance of runoff rates with experiment duration.

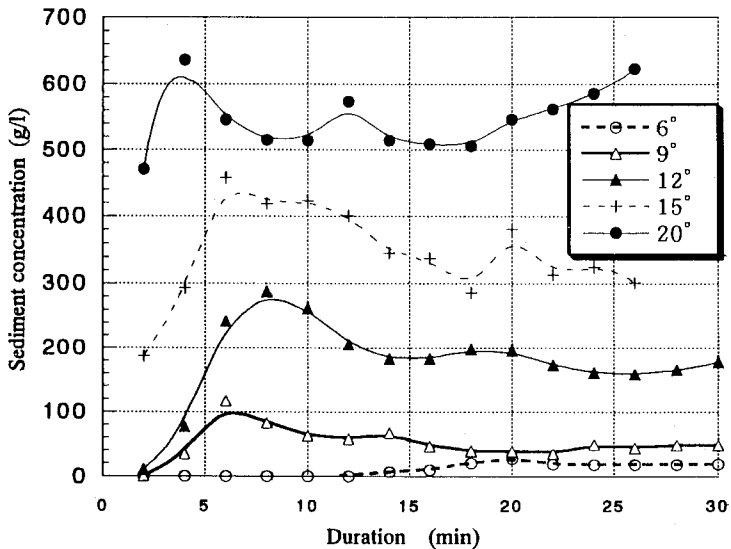


Fig. 4 Variance of sediment concentration with experiment duration.

minutes on all except the slopes of 6° and 20°, where it increased slightly in the last half of the test since runoff erosivity was greater.

2) Runoff

The effects of slope on runoff have been studied in detail. Yair and Klein (1973) found no clear relationship between slope angle and runoff on arid soils. Duley and Hays (1932) report runoff under a 25 mm/h rainfall runoff increased from 69% of rainfall at a 5% slope to 86% of rainfall at a 20% slope on silt loam. Parsons and Abrahams (1992) found a gradual increase of runoff as slope gradient increases to 12° and rapid decrease in runoff beyond 12°. Grosh and Jarrett (1993) noted that for slopes except the 5% slope, runoff increase gradually to nearly a constant rate in 10 min. As reasons for the above, (1) soil used for test was different, and (2) slope ranges and test scale were not same, should be considered.

In this study on the effects of gradient on runoff on a slope of volcanic ash soil, findings are the same as those of Parsons and Abrahams (1992) on the relationship of slope steepness to runoff, as shown in Fig. 5. The runoff rates increased gradually on slopes from 6° to 9°, and then rapidly with slope gradient increase to 15°, followed by decrease with slope gradient increase beyond 15° under the conditions of this study (length of soil-box, constant, but slope length only decrease 6% with slope gradient from 0 to 20°. Effects of slope length on runoff not shown here). The gradient at which runoff reached maximum was greater (about 15°) than that found by Parsons and Abrahams (12°).

Results from regression analysis suggested that relationship of runoff rate and slope gradient is best fitted with the following a third-degree polynomial :

$$R_r = a + b \sin Q + c \sin^2 Q + d \sin^3 Q \quad (1)$$

R_r = runoff rate

Q = slope angle

a, b, c, and d = fitted constants, and given the best fit ($r = 0.9936$)

3) Soil loss

Zingg (1940) and Smith and Wischmeier (1957) conclude that overall soil loss increases with

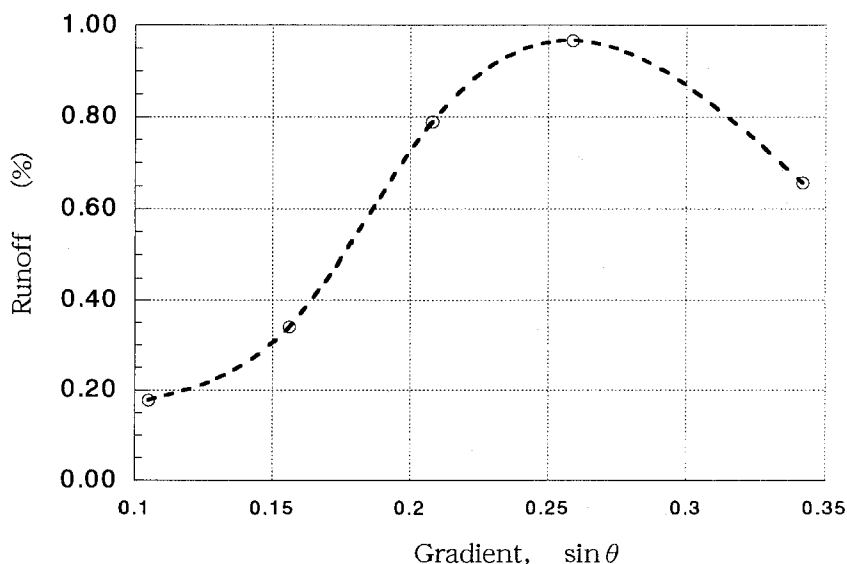


Fig. 5 Runoff rates with slope steepness.

slope gradient. Parsons and Abrahams (1992) found increased sediment yield with gradient for hillslopes gradients of as much as 12° , but for gradients steeper than this, sediment yield decreased with gradient, thus demonstrating a convex-upward relation with a vertex at 12° . Foster *et al.* (1977) and Grosh and Jarrett (1993) suggest linear relationship of interrill erosion to slope steepness. The best known relation is that of slope steepness in the Universal Soil Loss Equation (USLE). However, the relation is based in data for soil-covered hillslopes gradients $\leq 25\%$ (Smith and Wischmeier, 1957).

The present data show that soil loss increase with slope gradient, and fluctuation according to slope gradient was shown in Fig. 6. Soil loss increase slightly on slopes from 6° to 9° . Then there is rapid increase with slope gradient to 15° , beyond which soil loss with slope gradient becomes flat. These results was different with Parsons and Abrahams (1992) who found erosion rates to be maximum on a slope of 12° .

Regression analysis indicated the same equation with runoff-gradient for the relationship of soil loss and gradient, and is best fitted by the following a third-degree polynomial :

$$S = 1.211 - 21.98 \sin Q + 119.6 \sin^2 Q - 178.9 \sin^3 Q \quad (2)$$

where S=soil loss rate

Q=slope angle

$r=0.999$

This is supported by the findings of Singer and Blackard (1982), but the fitted constants differ. The regression curves are not very fitted with measured soil loss on flatten slopes in the condition of this experiment.

4. Summary and Conclusions

Interrill erosion and runoff of volcanic ash soil under a simulated 30-min., 62 mm/h rainfall, were measured for slopes of 6° , 9° , 12° , 15° , and 20° . Splashment loss, runoff, and wash loss were determined every 2 min. Runoff and soil loss rates all increased rapidly in the first ten

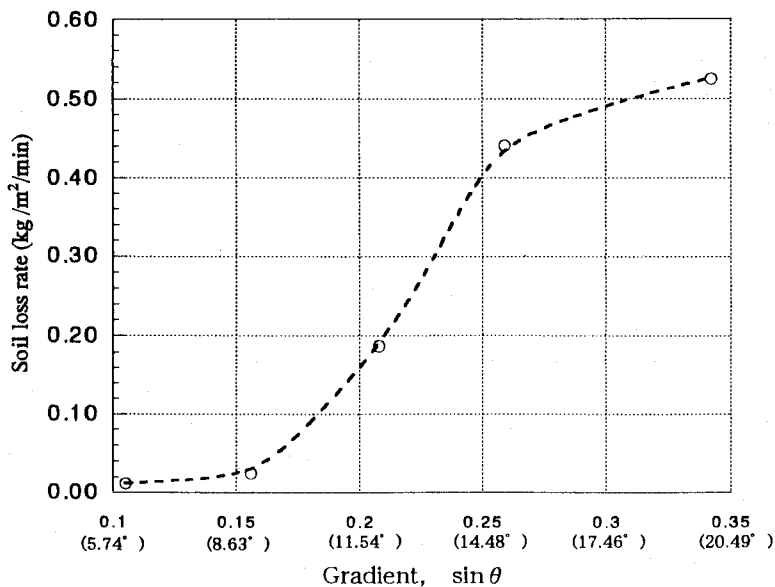


Fig. 6 Soil loss rates with slope steepness.

minutes for all except the 6° and 9° slope, and then runoff became constant for slopes of 12°, 15° and 20° gradients. Decrease in soil loss rates for all except the 20° slope was noted.

Regression analysis suggested a third-degree polynomial for the relationship between slope gradient and runoff rates and soil loss. Runoff showed a maximum at a 15° gradient, and decrease was noted beyond this. However, soil loss increased with slope gradient, rapid increase for slopes of 9° to 15° was observed, and flattened beyond 15°.

Analysis of soil loss and runoff rates indicated that on slopes with gradients beyond 15°, slope gradient affects erosion much more than runoff. For example, runoff rates was on the 20° less than 15° slope, but soil loss was greater.

References

- Duley, F.L. and O.E. Hays. (1932) : The effect of the degree of slope on runoff and soil erosion. *J. Agric. Res.* **45**(6) : 349~360.
- Foster, G.R., L.D. Meyer and C.A. Ontad. (1977) : An erosion equation derived from basic erosion principles. *Transactions of the ASAE* **20**(4) : 678~682.
- Grosh, J.L. and A.R. Jarrett. (1993) : Interrill erosion and runoff on the very steep slope. *Transactions of the ASAE* **37**(4) : 1127~1133.
- Hosoyamada K. *et al* (1986) : Experiments on the Pressed Downward Rainfall Simulator, (In Japanese), Publication in the Report Conf. of JSIDRE, 494~495.
- Meyer, L.D. and E.J. Monke. (1965) : Mechanics of soil erosion by rainfall and overland flow. *Transactions of the ASAE* **8**(4) : 572~580.
- Meyer, L.D. and W.C. Harmon. (1989) : How row-sideslope length and steepness affect sideslope erosion. *Transactions of the ASAE* **32**(2) : 639~644.
- Parsons A.J. and A.D. Abrahams. (1992) : Field investigations of sediment removal in interrill overland flow. *Overland flow*. 307~334. UCL Press.
- Quansah, C. (1981) : The effect of soil type, slope, rain, slope, rain intensity and their interactions on splash detachment and transport. *J. Soil Sci.* **32** : 215~224.
- Smith, D.D. and W. H. Wischmeier. (1957) : Factors affecting sheet and rill erosion. *Transactions of the American Geophysical Union* **38**, 889~96.
- Singer, M.J. and J. Blackard. (1982) : Slope angle-interrill soil loss relationships for slopes up to 50%. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **46**(6) : 1270~1273.
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. (1978) : Predicting rainfall erosion losses : A guide to conservation planning. USAD, Science and Education Administration, Agr. Handbook No. 537.
- Yair, A. and M.klein. (1973) : The influence of surface properties on flow and erosion processes on debris covered slopes in an arid area. *Catena* **1**, 1~8.
- Zingg, A.W. (1940) : Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. *Agric. Eng.* **21**, 59~64.

要 約

本研究では、人工模擬降雨の実験のもとに、傾斜度がシラス土におけるリル間侵食に及ぼす影響が検討された。リル間侵食の変動および表面流出の発生を評価するために、強度が62 mm/hrである降雨を実験槽に30分間与え、斜面傾斜度は6°, 9°, 12°, 15°, 20°の5種類の実験を行った。結果として、6°の斜面の他は、いずれの斜面においても、流亡土、流出水ともに降雨実験の最初の10分間に急に増加し、実験経過時間の後半では、12°, 15°, 20°の傾斜度において、流出水が実験の経過にはほぼ無関係に一樣に発生するが、流亡土の方は傾斜度によって異なることが認められた。流亡土および流出水と傾斜度の関係を見ると、いずれも三次元の関係式が導かれ、変動の傾向が異なることが指摘された。ここでを行った実験条件の場合では、流出水は15°付近でピークに達して、更に増加すると、減少することがみられた。しかし、流亡土が傾斜度の増大に伴って増加し、特に9°から15°までの間に顕著な増加の傾向があり、15°を越えると、流亡土の増加は減衰する傾向が現れた。

(受稿年月日 1995年 9月 3日)
(受理年月日 1995年 11月 29日)

Na⁺ を中心にした根のイオン吸収・移動機構について

花山 奨・中野政詩*

Mechanism of Na⁺ and Other Ions Uptake and Transport in Plant Root.

Susumu HANAYAMA and Masashi NAKANO*

Faculty of Agriculture, Yamagata University

* Faculty of Agriculture, The University of Tokyo

1. はじめに

世界の総人口は増加の一途をたどり、食糧増産の要求は高まるばかりである。しかし、耕地面積の増加は見込めず、逆に、作物生育に不適当とされる土壌の増加が急速に進み、不良土壌での作物栽培を考える必要が生じつつある。不良土壌の一つに、塩集積土壌があげられる。塩集積土壌は、Na⁺、Mg²⁺、Ca²⁺、Cl⁻およびSO₄²⁻といったイオンを多量に含んでおり、なかでもNa⁺が最も多く存在する(但野, 1987)。

このような土壌で作物生育を可能にするために土壌物理学のなすべきことは、土壌改良と改良土壌の管理法を確立することである。この課題を解決するにあたっては、土壌-根-茎葉-大気といった一連のつながりの中で物質移動、特に水とイオンの移動を把握することが重要である。なかでも、過剰塩類を含んだ土壌における根によるイオンの吸収・移動機構の解明が大切である。

根にはイオンの吸収を制御する機能が存在するが、過剰のイオンが土壌溶液中に存在した場合、イオンの体内への侵入を止めることができない。これらイオンは細胞のイオン濃度を上昇させ、酵素反応を阻害し、また細胞の生理機能を阻害する(間藤, 1990)。

例えば、山内(1989)は、NaCl, KCl, CaCl₂, ポリエチレングリコールのそれぞれを、同じ浸透圧(157 mOsmol kg⁻¹)になるよう水耕液に添加し、その調整された水耕液で栽培したイネの生育状態を調べた。その結果、ポリエチレングリコール添加による生育低下が無添加区に比べ20%であるのに、他の三つの塩類による生育低下はそれぞれ約40%にものぼることを示した。

過剰に植物体内に侵入したNa⁺は葉に蓄積されることによって障害をもたらす(山内, 1989, 山内ら, 1989)。Munns *et al.* (1986)は、葉へのNa⁺、Cl⁻の蓄積速度は生体中の蒸散流からそれぞれのイオンを取り除く根の排除能に依存すると指摘した。

Läuchli *et al.* (1979)は、NaCl濃度を10~100 molm⁻³の範囲で調整した水耕液で、品種の異なる2種類のダイズ、LeeとJacksonを栽培したとき、生長量と根、茎+葉柄、葉のそれぞれの器官にNa⁺、Cl⁻がどのように分布するかを調べた。その結果、NaCl濃度の増加に伴ってすべての器官でNa⁺およびCl⁻の含有量は増加し、茎+葉柄と葉ではJacksonよりLeeで各イオンの含有量は多かった。しかし、根のNa⁺およびCl⁻の含有量はLeeよりJacksonの方で上回った(図-1)。このことから、彼らは、葉へのNa⁺およびCl⁻の輸送調整は根でなされるという見解を示した。

土屋ら(1992)は、耐塩性の異なる2種類のイネについての蒸散とNa⁺吸収・移動の関係に注目した。彼らは、Na⁺の分離排除効率を表す指標として蒸散流濃度係数(TSCF)を用い、その係数を次のように定義した。

$$\text{蒸散流濃度係数} = \frac{\text{地上部へ移動したNa}^+ \text{量} / \text{蒸散量}}{\text{培地のNa}^+ \text{濃度}} \quad (1)$$

図-2は蒸散量と蒸散流濃度係数の関係を表すが、両品種とも、蒸散量の増加に伴い蒸散流濃度係数は低下した。ゆえに、彼らは、2種類のイネの耐塩性程度の差異に、蒸散速度の大小にもとづく根部でのNa⁺の分離排除の効率の違いが関与していると示唆している。

そこでここでは、Na⁺を中心とした根のイオン吸収・

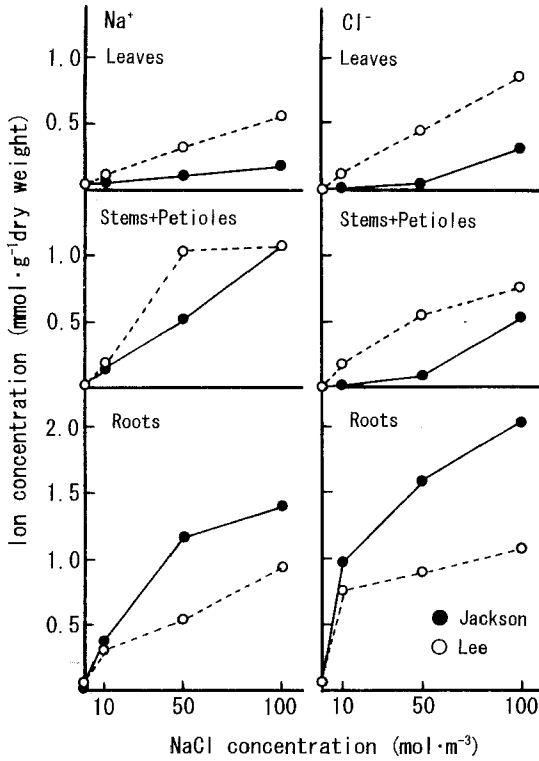


図-1

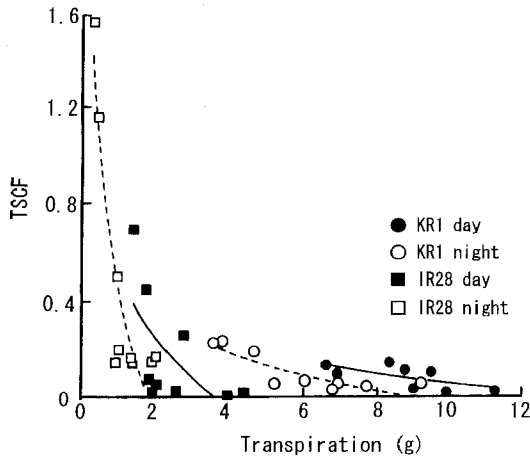


図-2

移動に関する機構について整理してみた。

2. 根のイオン吸収機能

1) 根の各部位におけるイオンの吸収

一本の根において、その各部位によるイオンの吸収速度は異なる。Eshel *et al.* (1973) は、20 molm⁻³ の NaCl

溶液にオオムギの根を浸し、根端から8 cm にかけての各部位における Na⁺ の吸収速度について調べた。実験に使用された根は2種類あり、一つは0.5 molm⁻³ CaSO₄の水耕液で生育された根 (low salt root)、もう一つはホーグランド水耕液に3×10⁻³ mol の NaCl を含んだ水耕液で生育された根 (high salt root) である。図-3 はその結果であり、low salt root の場合、根端部で吸収速度が小さく、根端から1-2 cm の部位で最も吸収速度が大きくなり、そして再び5-8 cm の部位で吸収速度は小さくなった。high salt root の場合、根端部で吸収速度が一番大きく、2-3 cm の部位で減少し、5-7 cm の部位で再び増加した。また、根の生育過程によっても、吸収部位のみならず吸収速度の大きさに違いがあることも指摘した。Moritsugu *et al.* (1993) は、部位によって吸収速度の違いが生じるのは根の各部位における根の表面から木部へのイオンの移動速度の違いによるものとし、また、根の各部位で吸収されたイオンの移動機構は維管束の発達と関連していることも示唆した。

2) 根のイオン吸収機構

根のイオン吸収は膜透過現象の一種であり、その膜透過は物理的プロセスにより調節されているのではなく、代謝活性と関連がある。

膜のイオン透過に関する理論から、電荷をもつイオンは電気化学ポテンシャルの勾配に従って移動すると考えられる。電気化学ポテンシャル勾配が0、つまりイオンの正味の移動が起こらないとき、次のような Nernst 方程式が与えられる。

$$E = (RT/zF) \ln(C_o/C_i) \quad (2)$$

ここで、 E は膜内外の電位差、 C_o 、 C_i はそれぞれ膜の内と外のイオン濃度、 R 、 T 、 F 、 z はそれぞれ気体定数、絶

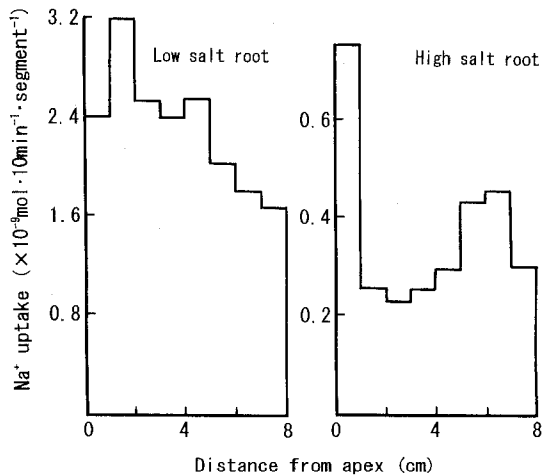


図-3

対温度, ファラデー定数, 原子価である。(2) 式より, 細胞の内外の電位差がわかれば細胞内のイオン濃度を計算することができる。Higinbotham *et al.* (1967) は, エンドウを用いて, 外液と根内部間の電位差を測定し, (2) 式を適用して Na⁺を含む各種イオンの根内濃度を予測し, その予測値と実測値を比較したところ, K⁺の根内濃度と予測値はほぼ一致するのに対し, Na⁺の場合, 実測値と予測値は大きく異なり, Na⁺は根から能動的に排除されることを見出した。Bowling *et al.* (1972) は, ヒマワリを試料として, 水耕液と根の組織, 根の組織と木部樹液, および水耕液と木部樹液のそれぞれの間に生じる電気化学ポテンシャル勾配を計算した。その結果, 水耕液と根組織間, および根組織と木部樹液間のそれぞれの電気化学ポテンシャル勾配に逆らって, Na⁺は水耕液および木部樹液の両方から能動的に根の組織に蓄積されることがわかった。そこで, 水耕液から木部への Na⁺移動は, 水耕液から根組織に向かって作用する駆動力と, 木部樹液から根組織に向かって作用する駆動力の大小関係によって制御されるとした。

膜電位差によるイオンの吸収は, 基本的にはイオンの電荷の差にのみとづくものである。実際に植物がイオンを吸収する際には, イオン種によって吸収速度に大きな差異があり, その吸収に選択性が存在する。このことを考慮したのがキャリアー説である。キャリアー説は酵素反応における酵素および基質をそれぞれキャリアーおよびイオンといいかえて, イオン吸収速度は Michaelis-Menten 式で表わすものである。すなわち,

$$v = V_{\max} S / (K_m + S) \quad (3)$$

ここで, v はイオン吸収速度, V_{\max} はキャリアーが飽和されたときの最大イオン吸収速度, S は培地のイオン濃度, K_m は Michaelis 定数である。

キャリアー説では, 培地のイオン濃度が低い場合 (1 molm⁻³ 以下) と高い場合 (1 molm⁻³ 以上) で, それぞれ異なった K_m を示す (図-4) (Rains *et al.*, 1967 a)。同様な結果が, K⁺についても, Epstein (1966) によ

て示され, これらの異なる二つの吸収特性について, 低濃度段階の吸収をシステム 1 といひ, 高濃度段階のそれをシステム 2 という。システム 1 の吸収は, イオンとキャリアーの結合の親和性が高く, さらにイオン選択制が高い吸収であり, システム 2 の吸収は, その親和性や選択性が小さい吸収であると考えられている (茅野ら, 1989)。図-4 において, 培地の Na⁺濃度に対する Na⁺吸収量から Na⁺の濃縮率を見ると, システム 2 よりシステム 1 で高い濃縮率を示し, システム 1 において Na⁺の選択的な吸収がなされていることがわかる。さらに, Rains *et al.* (1967 b) は, システム 2 の濃度範囲 (1~50 molm⁻³) において, Na⁺と K⁺が混在しているときのそれぞれのイオンの吸収特性を検討したところ, Na⁺はシステム 2 によって吸収され, K⁺はシステム 1 によって吸収されることを示した。

3) 根の耐塩機能

実験によって根から地上部へのイオンの吸収・移動特性を研究するとき, 地上部を切り離した根系や根系からさらに切り離された単根を用いて, 切断面から分泌する木部樹液の量やイオン濃度を測定するという方法がとられる。

植物を数 molm⁻³ の K⁺, NO₃⁻ および PO₄³⁻ の濃度に調整された培地で育てるとき, 木部樹液の K⁺, NO₃⁻ および PO₄³⁻ 濃度は培地のそれより高くなる。他方, Bowling *et al.* (1972) によれば, Na⁺の場合, 培地の Na⁺濃度が 1 molm⁻³ 以下のとき, 木部樹液の Na⁺濃度は培地のそれより高くなるが, 培地の Na⁺濃度が 10 molm⁻³ 以上のときは, 木部樹液の Na⁺濃度は培地のそれより低くなる。さらに, 培地の Na⁺濃度が 20 molm⁻³ 以上の場合も, Munns (1985), Tuchiya *et al.* (1994) がそれぞれオオムギ, イネについて, 花山ら (1994) がダイズについて, 木部樹液の Na⁺濃度を測定したところ, 培地の Na⁺濃度より低くなることを明らかにした。これらの結果は, 根に Na⁺の吸収・移動を制御する機能が存在することを意味する。

Jacoby (1964) は, インゲンマメの根は Na⁺移動に対する特有の障壁を有してはいないが, Na⁺を保持する機能を持っていることを報告した。Pearson (1967) は, 代謝機能を阻害する 2, 4-ジニトロフェノールによって根に保持される Na⁺の量が減少することを示し, 根の Na⁺保持機能は代謝依存性であることを見出した。細胞内に入った Na⁺を液胞に取り込んでそこに蓄積させる機能 (但野, 1987) がこの保持機能の一部と考えられている。

根には Na⁺を保持する機能がある一方で, Na⁺を排除する機能が存在することが報告されている。Davis *et*

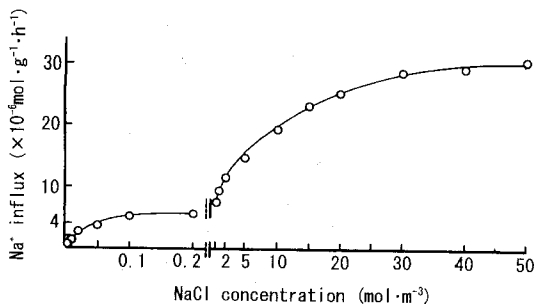


図-4

al. (1979) は、動物細胞や藻類で Na^+ 吸収ポンプを阻害することで知られているウワバインを用いて、トウモロコシの Na^+ 排除機能の存在を確認した。Tuchiya *et al.* (1994) は、イネの Na^+ 排除は外皮および内皮を通過する際に行われていると推察し、 Na^+ 排除機能は非代謝的な機能であり、逆浸透に類似した機能であることを示唆した。

また、導管に隣接している木部柔組織細胞は導管中を流れる木部樹液から Na^+ を再吸収する機能 (山内ら 1989, Yeo *et al.* 1977) があり、小畑らは、「導管壁はイオン交換能をもつため、その中を流れるイオンに対し、イオン交換クロマトグラフィー的な影響を及ぼす」と示唆している (物質の輸送と貯蔵, p. 83, 1991)。

3. 水透過係数からみた根の膜特性

Dalton *et al.* (1975) や Fiscus (1975) は、根の表皮と木部導管に挟まれる組織を一枚の膜と考え、非平衡の熱力学より、水フラックスを次式で表した。

$$J_v = L_p (\Delta P + \sigma \Delta \pi) \quad (4)$$

ここで、 J_v は水フラックス、 ΔP と $\Delta \pi$ はそれぞれ培地と木部間の静水圧差と浸透圧差である。 L_p は水透過係数、 σ は反発係数である。 L_p および σ の持つ意味については次のようである。 L_p は成長している細胞に水を供給する組織の能力を表す (Joly, 1989)。 σ は膜が溶質と水との透過を選別する性質の程度を示し、 $0 \leq \sigma \leq 1$ の値をとって、完全な半透膜に対しては 1 となる (鈴木ら 1982)。

L_p および σ は根の膜特性を表す係数であり、特に、 L_p は生物学的に重要な係数として数多く調べられており (Huang *et al.* 1994), (4) 式をもとに過剰塩類下での L_p 値の算出も行われた。

Shalhevent *et al.* (1976) は、高濃度の NaCl を添加した培地と NaCl を添加していない培地でトマトとヒマワリを生育させたとき、それぞれの作物の L_p は、両条件において差異が見られず、 L_p 値はトマトで $0.360 \text{ ml g}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ bar}^{-1}$ 、ヒマワリで $0.167 \text{ ml g}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ bar}^{-1}$ であることを報告した。Joly (1989) は、NaCl の添加による培地の浸透圧変化と L_p の変化をダイズを用いて詳しく調べた。図-5 はその結果であり、NaCl 無添加の培地の浸透圧 (-0.10 MPa) に対して 0.03 MPa 低下しただけで L_p は 6.7 から $4.4 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$ となり、NaCl 無添加区に比べて 30% 以上低下した。その浸透圧が -0.26 MPa のとき、 L_p は $1.9 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$ で、NaCl 無添加区に比べ 70% 以上の低下を示した。Munns *et al.* (1984) によると、オオムギとルピナスについて、培地の NaCl 濃度を 25 から 150 mol m^{-3} の範囲で設定したと

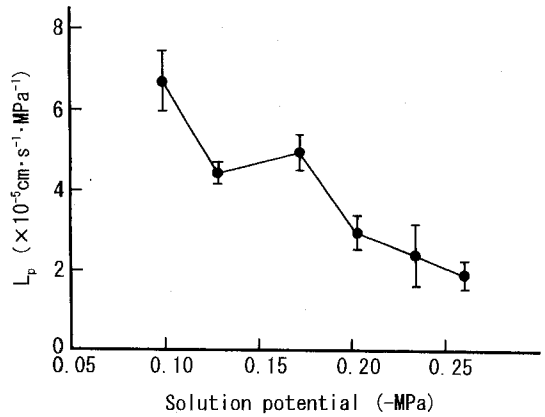


図-5

き、オオムギの L_p は NaCl の影響を受けなかったが、ルピナスの場合、NaCl の増加に伴ってその L_p は減少した。彼らは、この違いはそれぞれの作物の耐塩性の程度から生じているとした。また、O'Leary (1969) は、高濃度 NaCl 培地でインゲンを生育させたときの L_p の低下は、生育過程において根内部の形態が変化するが、この形態変化と関連しているとした。これに対して、Munns *et al.* (1984) は、インゲンと同じく非耐塩性のルピナスにおける L_p の低下の原因は、根の生化学的変化にあるという見解を示した。

σ に関しては、Shalhevent *et al.* (1976) は、トマトで 0.941 から 0.973、ヒマワリで 0.814 から 0.900 となり、1 に近い値であると報告している。

4. 根におけるイオン移動と水移動の関係

Dalton *et al.* (1975) や Fiscus (1975) は、前節の水フラックス式を提案したとき、同時にイオンフラックスに関する式も提案した。

$$J_s = \omega RT (C_o - C_x) + C_o J_v (1 - \sigma) + k \quad (5)$$

ここで、 J_s はイオンフラックス、 ω は溶質透過係数、 R は気体定数、 T は絶対温度、 C_o および C_x はそれぞれ培地と木部樹液のイオン濃度、 J_v は水フラックス、 σ は反発係数、 k は生理作用によるイオンフラックスである。(5) 式の右辺の各項はそれぞれ拡散作用、移流作用そして生理作用を表現している。

Pitman (1977) は、イオンが根の表皮細胞から内皮層にまで達する放射方向移動の過程には、互いに並列的な関係をもつ二種の経路があることに注目したモデルを提案した。根内におけるイオン移動の二種類の経路とは、シンプラストとアポプラストである。茅野によれば、シンプラストとは、「細胞内を原形質流動によって運ばれ、細胞間は細胞間連絡を通して拡散する経路」であり、ア

ポプラストとは、「皮層細胞層のフリースペース（細胞壁）を通過する経路」である（植物と金属元素, p 105~106, 1982）（図-6）。

そこで、提案されたイオンフラックス式は、

$$J_s = J_{VM}(1 - \sigma_M) C_M + J_{VB}(1 - \sigma_B) C_B + J_{pass} + J_{act} \quad (6)$$

ここで、 J_s はイオンフラックス、 J_{VM} 、 J_{VB} はそれぞれシンプラストおよびアポプラストを通過する水フラックス、 J_{pass} 、 J_{act} は電気化学ポテンシャル勾配に対して受動的小よび能動的に移動するイオンフラックス、 C_M はシンプラスト内の平均イオン濃度、 C_B は培地のイオン濃度である。 σ_M 、 σ_B はそれぞれシンプラストとアポプラストの経路に対する反発係数である。 σ_B がほぼ 1 に近い値をとるため、培地のイオン濃度が高濃度の場合には、(6)式の右辺第 2 項が全イオンフラックスに大きな影響を与える。(5)式および(6)式は、水フラックスの増加に伴ってイオンフラックスも増加することを表している。

Katou *et al.* (1986 a, b) は、アポプラストがイオンの輸送と水の輸送の共役の場として重大な役割を担っているという考えを軸にしたカナルモデルを提唱した。Taura *et al.* (1988) は、トウモロコシをモデルとして、カナルモデルを表皮・下皮および中心柱に適用したダブル・カナルモデルを提案した。ダブル・カナルモデルを用いた計算値と実測値はよい一致を示すが、このモデルでは多数のパラメータを設定する必要があった。

花山ら (1994) は、高濃度 NaCl 培地 (50 mol m⁻³) におけるダイズの切断根系を用いて、根系切断面に作用させる吸引圧によって水フラックスを調整し、水フラックスと Na⁺、Cl⁻ フラックスの関係を調べ、各イオンフラックスと水フラックスは線形関係になることを報告した。さらに、Na⁺、Cl⁻ の蒸散流濃度係数と (5) 式における三つの係数 ω 、 σ 、 k の関係を導き出し、蒸散流濃度係

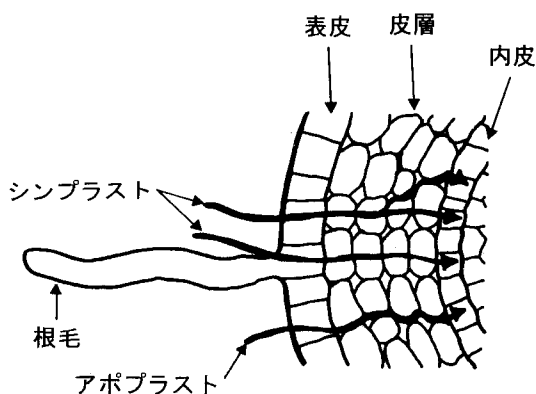


図-6

数を用いて (5) 式を変形して、イオンフラックスが水フラックスに比例することも示した。

$$J_s = \mu C \alpha J_v \quad (7)$$

ここで、 μ は Na⁺、Cl⁻ の蒸散流濃度係数である。

他方、Munns (1985) は、高濃度 NaCl 培地下のオオムギの切断根系に加圧して生じる Na⁺、Cl⁻ フラックスと水フラックスの関係について調べ、その結果を (5) 式と対比させてイオンフラックスと水フラックスの関係について検討した。実験結果は、培地の様々な NaCl 濃度に対して Na⁺、Cl⁻ フラックスと水フラックスの間に非線形の関係が生じ (図-7)、木部樹液の Na⁺ と Cl⁻ 濃度は外液の NaCl 濃度の高まりと共に高まるという変化はしなかった (表-1)。この結果から、彼は、Na⁺、Cl⁻ フラックスは水フラックスの影響を余り受けないと判断した。この結果は花山ら (1994) の結果と異なるものであり、このような差異が生じた理由については不明である。

ところで、Singh *et al.* (1977) によると、オオムギの単一根において、各部位の吸収サイトから Na⁺、Cl⁻ などを吸収させたとき、それぞれのサイトから吸収されたイオンは根基部に向かって移動する。その一方で、水は根端および根基部の両方向に移動する。これらはイオンと水の移動には相関がないことを示しており、水とイオンの関係は独立しているとした。小畑らは、「土壌や水耕培地中のイオンが根に吸収されて地上部にまで達する過程には、水の移動と深く関連する段階と互いに独立な段階とがある」と述べている (物質の輸送と貯蔵, p. 75, 1991)。また、根のイオン吸収で、根の代謝機能にあまり

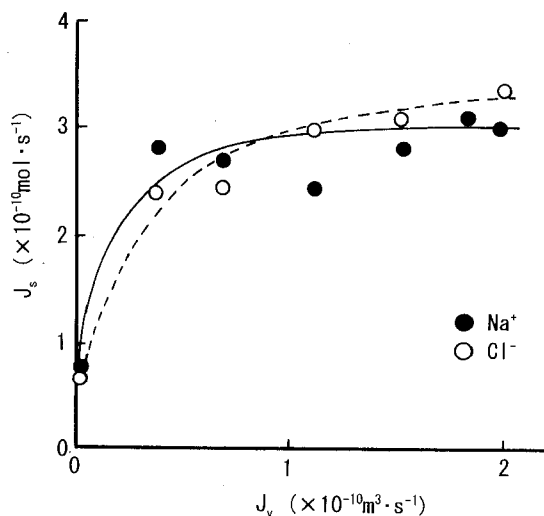


図-7

表-1

External NaCl (molm ⁻³)	Na ⁺ (molm ⁻³)	Cl ⁻ (molm ⁻³)
0	0.2±0.1	1.0±0.2
25	3.6±0.6	4.5±0.8
50	3.2±0.5	4.7±0.7
100	4.5±0.7	7.0±0.9
150	3.6±0.5	5.7±1.1
200	6.8±0.6	6.8±0.8

影響されずに吸収される Ca²⁺ や Mg²⁺ は水の吸収・移動と相関性を示すことが多いが、代謝機能に依存して吸収される K⁺ や PO₄³⁻ は水の移動との相関性は小さいといわれている (小畑ら, 1991)。

5. 今後の展望

本論では、Na⁺ を中心にして根のイオン吸収・移動機構について整理してみたが、根から地上部へのイオン移動を解明する上で、残された問題点がいくつか浮かび上がった。以下にその問題点を整理し、今後の展望を述べてみる。

まず第一に、根の各部位におけるイオン吸収は異なり、Na⁺ もまた例外ではない。一般に、単根の各部位の吸収特性を調べるとき、側根の吸収特性は考慮されていない。例えば、Lazof *et al.* (1992) は、各部位からの NO₃⁻ の吸収・移動について調べ、その結果をもとに NO₃⁻ の吸収・移動モデルを提案した。彼らの実験結果とモデルから、側根の NO₃⁻ 吸収は、根系の全 NO₃⁻ 吸収量のうち 60% を占め、NO₃⁻ の吸収・移動に大きな役割を果たしていることが明らかにされた。Glass (1989) も、過剰塩類下の側根のイオン吸収量は無視できないことを指摘している。Na⁺ についても側根のその吸収特性を調べる必要がある。

第二に、イオン吸収に関する定性的な研究においては、分子生物学の発展により様々な進展がみられる。Na⁺ 吸収機構の特に排除および移動制御機能については、様々なことが明らかにされてきており、今後もさらに細胞レベルでのこれらの機能の解明がなされていくと予想される。その一方で、Na⁺ の吸収に伴う随伴イオンの挙動についての研究は余り見受けられない。NO₃⁻ や SO₄²⁻ については、Na⁺ 吸収に対するそれらの抑制効果が確認されているが (茅野ら, 1989)、そのメカニズムは明らかにされていない。随伴イオンの吸収特性の解明は、Na⁺ の吸収のさらに詳細な把握にも貢献するものと考えられる。

第三に、イオンの吸収・移動特性をパラメータを用い

て数値で評価することは、その特性を理解する上で大事である。培地の NaCl 濃度変化と L_p の関係は、過剰塩類下の根の膜特性の一端を示すものであるが、このような条件における根の膜特性を数値で評価した研究は少なく、この研究のさらなる検討が望まれる。

第四に、根から地上部へのイオン移動と水移動の関係は、現状では十分に理解できていない。培地のイオン濃度が高濃度の場合、イオンのアポプラストを通過する輸送が多いこと (Glass, 1989) から、イオンと水の移動の相関性は高いものと考えられ、従来のモデルの物理的な解釈とも対応する。しかし、無傷植物においてはイオンと水移動の非線形性が示されており (Pitman, 1965, Salimet *et al.*, 1984)、従来のモデルではこの現象を説明できないことも明らかにされた。根から地上部へのイオン移動を、移動論的視点から解釈する上では、根の特異な膜特性の理解が重要であると推察される。

この問題を解決するための今後の研究の発展において、本節で指摘した点を明らかにすることはその一翼を担うものと思われる。

引用文献

- Bowling, D.J.F., Ansari, A.Q. (1972): Control of sodium transport in sunflower roots, *J. Exp. Bot.*, **23**: 241~246.
- Dalton, F.N., Raats, P.A.C., Gardner, W.R. (1975): Simultaneous uptake of water and solutes by plant roots, *Agron. J.*, **67**: 334~339.
- Davis, R.F., Jaworski, A.Z. (1979): Effects of ouabain and low temperature on the sodium efflux pump in excised corn roots, *Plant Physiol.*, **63**: 940~946.
- Epstein, E. (1966): Dual pattern of ion absorption by plant cells and by plants, *Nature (London)*, **212**: 1324~1327.
- Eshel, A., Waisel, Y. (1973): Variations in uptake of sodium and rubidium along barley roots, *Physiol. Plant.*, **28**: 557~560.
- Fiscus, E.L. (1975): The interaction between osmotic and pressure-induced water flow in plant roots, *Plant Physiol.*, **55**: 917~922.
- Glass, A.D.M. (1989): *Plant Nutrition — An introduction to current concepts* Jones and Bartlett Publishers, Inc., Boston.—, p. 111, 113.
- 花山 奨・中野政詩 (1994): 水耕下のダイズ根の Na⁺ および Cl⁻ の通過現象, *農土論* **173**: 85~92.
- 原 襄著 (1994): *植物形態学*, p. 50, 朝倉書店, 東京.

- Higinbotham, N., Etherton, B., Foster, R.J. (1967): Mineral ion contents and cell transmembrane electropotentials of pea and oat seedling tissue, *Plant Physiol.*, **42**: 37~46.
- Huang, B., Nobel, P.S. (1994): Root hydraulic conductivity and its component, with emphasis on desert succulents, *Agron. J.*, **86**: 767~774.
- Jacoby, B. (1964): Function of bean roots and stems in sodium retention, *Plant Physiol.*, **39**: 445~449.
- Joly, R.J. (1989): Effects of sodium chloride on the hydraulic conductivity of soybean root systems, *Plant Physiol.*, **91**: 1262~1265.
- Katou, K., Furumoto, M. (1986a): A mechanism of respiration-dependent water uptake in higher plants, *Protoplasma*, **130**: 80~82.
- Katou, K., Furumoto, M. (1986b): A mechanism of respiration-dependent water uptake enhanced by auxin, *Protoplasma*, **133**: 174~185.
- Läuchli, A., Wieneke, J. (1979): Studies on growth and distribution of Na⁺, K⁺ and Cl⁻ in soybean varieties differing in salt tolerance, *Z. Pflanzenernaehr. Bodenk.*, **142**: 3~13.
- Lazof, D.B., Ruffy Jr, T.W., Redinbaugh, M.G. (1992): Localization of nitrate absorption and translocation within morphological regions of the Corn root, *Plant Physiol.*, **100**: 1251~1258.
- 間藤 徹 (1990): 農業資材多投に伴う作物栄養学的諸問題 4 カルシウム, マグネシウム, 微量要素などの過剰と生理機能, *土肥誌*, **61**(4): 417~422.
- Moritsugu, M., Shibasaka, M., Kawasaki, T. (1993): Where is the most important and efficient site for absorption and translocation of cations in excised Barley roots?, *Soil Sci. Plant Nutr.*, **39**(2): 299~307.
- Munns, R. (1985): Na⁺, K⁺ and Cl⁻ in xylem sap flowing to shoots of NaCl-treated barley, *J. Exp. Bot.*, **36**: 1032~1042.
- Munns, R., Passioura, J.B. (1984): Hydraulic resistance oh plants. III. Effects of NaCl in barley and lupin, *Aust. J. Plant Physiol.*, **11**: 351~359.
- Munns, R., Termaat, A. (1986): Whole-plant responses to salinity, *Aust. J. Plant Physiol.*, **13**: 143~160.
- 小畑 仁・茅野充男他 (1991): 物質の輸送と貯蔵, 朝倉書店, 東京. p. 61~88.
- O'Leary, J.W. (1969): The effect of salinity on permeability of roots to water, *Israel J. Bot.*, **18**: 1~9.
- Person, G.A. (1967): Absorption and translocation of sodium in beans and cotton, *Plant Physiol.*, **42**: 1171~1175.
- Pitman, M.G. (1965): Transpiration and the selective uptake of potassium by barley seedlings (*Hordeum vulgare* cv. Bolivia), *Aust. J. Biol. Sci.*, **18**: 987~998.
- Pitman, M.G. (1977): Ion transport into the xylem, *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **28**: 71~88.
- Rains, D.W., Epstein, E. (1967 a): Sodium absorption by barley roots: Role of the dual mechanisms of alkali cation transport, *Plant Physiol.*, **42**: 314~318.
- Rains, D.W., Epstein, E. (1967 b): Sodium absorption by barley roots: Its mediation by mechanisms 2 of alkali cation transport, *Plant Physiol.*, **42**: 319~323.
- Salim, M., Pitman, M.G. (1984): Pressure-induced water and solute flow through plant roots, *J. Exp. Bot.*, **35**(155): 869~881.
- Shalhevet, J., Maas, E.V., Hoffman, G.J., Ogata, G. (1976): Salinity and the hydraulic conductance of roots, *Physiol. Plant.*, **28**: 224~232.
- Singh, C., Jacobson, L. (1977): Polar movement of ions in barley roots, *Physiol. Plant.*, **39**: 73~78.
- 鈴木泰三・星 猛・鈴木裕一訳・Schultz, S.G. 著 (1982): 生体膜輸送の基礎, 東京化学同人, 東京. p. 74.
- 但野利秋 (1987): 植物の耐塩性, *熱帯農研集報*, **59**: 1~14.
- Taura, T., Iwaikawa, Y., Furumoto, M., Katou, K. (1988): A model for radial water transport across plant roots, *Protoplasma*, **144**: 170~179.
- 茅野充男他 (1982): 植物と金属元素—その吸収と体内挙動—, 博友社, 東京. p. 105.
- 茅野充男・篠崎泰子他 (1989): 養液栽培と植物栄養, 博友社, 東京. p. 85~102.
- Tuchiya, M., Miyake, M., Naito, H. (1994): Physiological response to salinity in rice plant III. A possible mechanism for Na⁺ exclusion in rice root under NaCl-stress conditions, *Jpn. J. Crop Sci.*, **63**(2): 326~332.
- 土屋幹夫・内藤 整・江原 宏・小谷龍夫 (1992): 塩分濃度に対するイネの生理反応に関する研究 第1報 蒸散とNa⁺の吸収移行の関係, *日作紀*, **61**(1):

16~21.

山内益夫 (1989) : 稲における耐塩性の品種間差の発現機構, 土肥誌, **60** (3) : 210~219.

山内益夫・須崎静香・湧嶋俊史・藤山英保 (1989) : アズキにおける耐塩性の品種間差の発現機構, 土肥誌, **60** (4) : 325~334.

柳沢宗男訳, Bowling, D.J.F. 著 (1980) : 植物によるイ

オン吸収, 産業図書, 東京. p. 94.

Yeo, A.R., Kramer, D., Lauchli, A. (1977) : Ion distribution in salt-stressed mature zea mays roots in relation to ultrastructure and retention of sodium, *J. Exp. Bot.*, **28** : 17~29.

(受稿年月日 1995年 5月 15日)
(受理年月日 1995年 7月 4日)

酸性溶液が土壌の透水性と塩類溶脱に及ぼす影響

松川 進・富田平四郎・鈴木 敬

Effects of Acid Solution on Soil Permeability and Salts Leaching

Susumu MATSUKAWA, Heishirou TOMITA, and Takashi SUZUKI

Faculty of Agriculture, Utsunomiya University

1. はじめに

環境庁を中心に第1次(1983),第2次(1988)酸性雨対策調査が実施され,日本の土壌の酸性雨に対する耐性分類や植生への影響が検討されている。従来,酸性雨の土壌への影響は,酸中和能の評価を中心とした化学的側面からの研究が主流で,土壌の透水性変化などの物理性や力学性への影響についての研究例は少ない。

特に,変異荷電を主要な粘土鉱物として構成されている土壌はpH変化により荷電量が変化し,土壌粒子の分散凝集現象を伴う。土壌粒子の分散凝集は土壌間隙構造を変え,透水性の変化をもたらす。また,土粒子の分散は土粒子と土壌溶液が直接接触する面積を増加させ,イオン交換を促進すると考えられる。

一方,土壌有機物は多量の塩基類を吸着し酸中和に寄与すること,土壌団粒の結合材の一つとして機能することなど,透水性低下や塩類溶脱を軽減することが予想される。また,酸性側で陽荷電が発現する土壌では陰イオンを吸着し酸吸着による中和能が生じるが,陰イオンの選択特性により中和能に相違が生じる。すなわち,酸性雨の陰イオン主成分である硫酸,硝酸,塩酸の構成比率により酸中和やそれに伴う透水性などへの影響が異なる。そこで,これらの影響要因を念頭に,酸性溶液を土壌カラムに浸透させ,酸性溶液や粘土鉱物の種類,および,有機物含量の相違が,土壌の透水性や塩類溶脱に及ぼす影響を室内実験により検討した。

2. 試料と実験方法

1) 試料

土壌試料は次の基準で選定した。①畑地土壌として広く分布していること。②主要粘土鉱物が異なること。③酸中和能が異なること。④有機物含量が異なること。以上の基準により,関東ローム表土(黒ボク土),心土,及

び,黄色土を選定した。黒ボク土は日本の畑地の約50%,赤黄色土は約7%を占めている。また,環境庁(1990)による酸性雨の土壌への影響予察図によれば,黒ボク土は土壌酸性化耐性が強く,黄色土は弱い土壌に分類される。また,関東ロームの主要粘土鉱物はアロフェン,黄色土はカオリン鉱物を主体としている。そして,有機物含量の相違は関東ローム表土と心土を用い比較することとした。

関東ロームは宇都宮大学付属農場の飼料畑より,表土は深さ10~30cm,心土は40~60cmから,黄色土は浜松市大久保町の普通畑の深さ40~60cmからそれぞれ採取した。

採取した試料の生土2mm篩通過分をよく混合し密閉容器に入れ,室温20°Cで保存した。

2) 土壌の物理・化学性

主な項目は以下の方法により測定した。①土壌溶液のpHはガラス電極法により,生土10gに蒸留水あるいは1mol/l-KClを25ml加えて測定した。②土壌有機物は高感度CNアナライザー(住友化学分析センター製)により炭素,窒素量を測定し,炭素量に1.724を乗じて算出した。③有機物の分解量は50ml三角フラスコ中の風乾土壌10gに,pHを調整した硫酸,硝酸,塩酸,および水酸化ナトリウム溶液30mlを加え,1時間振とうの後,24時間静置後濾過し,濾液中の有機物量を過マンガン酸カリウム酸性法により求め,単位土壌重当たりの分解量で表した。④陽イオン交換容量(CEC)はSchollenberger法により測定した。⑤試料の結晶性粘土鉱物の同定は0.002mm以下の粘土画分を沈降法により採取し,脱鉄処理後X線回析を行った。

また,⑥粒度分析はピペット法を用い,分散剤に関東ロームは1mol/l-HCl,黄色土は0.4mol/lヘキサメタリン酸ナトリウムを使用した。⑦pHの変化による土粒子の分散の程度を知る指標として,団粒の崩落率を小川

(1981)の方法に準じて測定した。すなわち、内径5 cm、高さ5 cmの亚克力管に網目間隔1 mmの金網を接着した容器を使用し、pHを調整した硫酸、硝酸、塩酸、および、水酸化ナトリウム溶液300 ml中に1 mm以上2 mm未満の団粒2 gを金網に乗せ、24時間静置後容器を静かに取り出す。そして、全土壌重に対する金網を通過し落下した土壌重の割合を団粒崩落率とした。⑧酸性雨の主成分である硫酸、硝酸、塩酸の相違による土壌の緩衝能を簡便的に知るため、開畑地の土壌改良に用いられる炭酸カルシウム散布量を求める方法に準じて緩衝能曲線を求めた。50 ml三角フラスコ中の土壌10 gに、pH1の硫酸、硝酸、塩酸溶液を0, 1, 4, 8, 16 ml加え、溶液量が25 mlになるよう蒸留水を加えた。1時間振とうの後、24時間静置後のpHを測定した。⑨硫酸イオン吸着量は、50 ml三角フラスコ中の風乾土壌10 gに、pH1~5の硫酸を30 ml加え1時間振とう24時間静置後濾過し、濾液と添加液の硫酸イオン濃度をイオンクロマトグラフィで測定し、両者の差から硫酸イオン吸着量を推定し、単位土壌重当たりの吸着量で表した。

3) 土壌の透水性変化

図-1に示したような内径2.9 cm、長さ14 cmの亚克力管に、1~2 cm間隔にテンシオメータ（ビニール管の先端に脱脂綿を充填）を挿入し、試料を10 cm所定の密度に灌水充填する。蒸留水のマリオットから酸性溶液のマリオットに切り替えた時刻からの排水量の時間変化、水圧ポテンシャルを測定し、土層全体と深さごとの透水性変化などを算出した。

4) 塩類濃度とpH分布

図-1と同様な装置を用いた。ただし、テンシオメータは取り付けず、内径4.9 cm、試料長さ14 cmの亚克力管を土壌カラムとして使用した。蒸留水から酸性溶液に切り替え所定の浸透量を与えた後、湛水が消滅してからカラム中の土壌を2 cmずつ押し出し遠心分離し、分離液のpHとCa, Mg濃度をそれぞれガラス電極法、原子吸光法で測定した。カラムは4本用意し、1本は酸性溶液に切り替える前のpH, Ca, Mgを2 cm間隔に7点測定し、この平均値を初期pH, 初期Ca, Mg濃度とした。他の3本は所定の酸性溶液量が浸透した後、試料を押し出し、Ca, Mg濃度、及び、pHを測定した。そして、酸性溶液浸透後のCaとMgの濃度を初期濃度で除して、

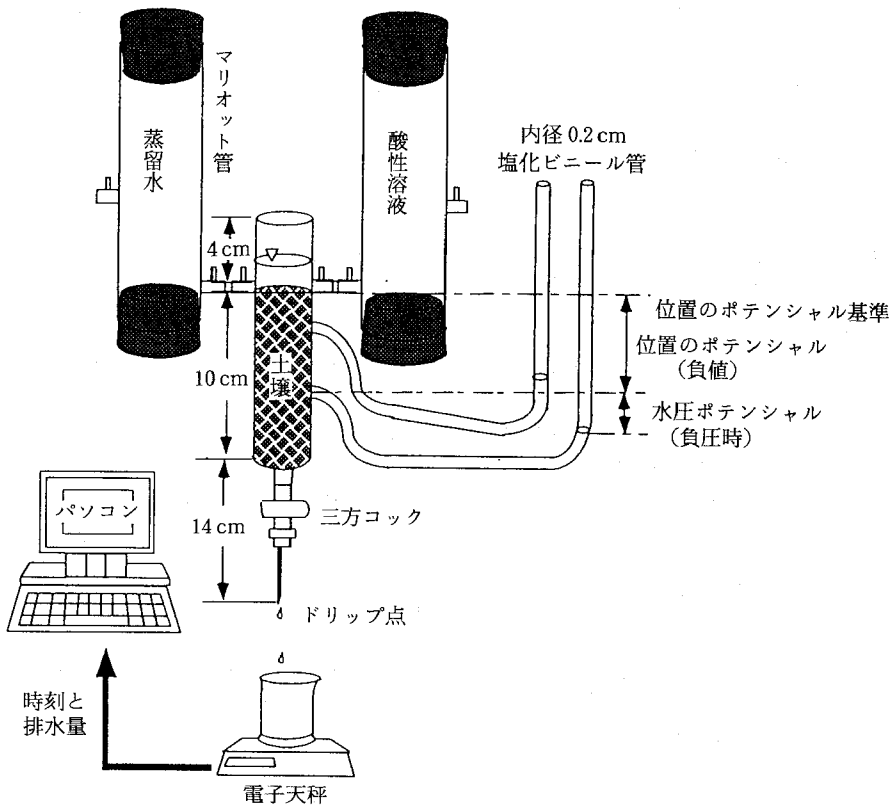


図-1 透水性と水圧ポテンシャル測定装置

濃度比として表した。

3. 実験結果

1) 土壌の物理・化学性

主な物理・化学性の測定結果を表-1に示した。主要粘土鉱物は関東ロームがアロフェンをはじめとする非晶質成分、黄色土はカオリン鉱物が主体であった。土壌溶液のpHは関東ロームより黄色土が低く、黄色土は酸性度の強い土壌であることがわかる。また、黄色土は関東ロームに比較し、有機物含有率が0.5%と低い。関東ロームのCECは表土で約40 cmol(+)/kgと黄色土に比較し大きく、アロフェンが主要粘土鉱物であることと有機物含量が大きいことによる。また、関東ローム心土の塩基飽和度は6.3%で、交換性陽イオン含量は著しく低い。

2) 有機物の分解量

図-2は添加溶液のpHと、単位土壌重当たりの有機物分解量(mg/g soil)の関係を、有機物含量が大きい関東ローム表土について示した。pH1では分解量がやや増加するが、pH2~5の範囲では中性付近の分解量との差は少ない。pH2~5では硝酸、塩酸、硫酸の順に分解量が大きい傾向を示した。しかし、pH13に比較し分解量

は非常に少なく、3 mg/g soil以下であり、酸性側での分解量は無視できると言える。

3) 緩衝能曲線と硫酸イオン吸着量

図-3に関東ローム表土と心土について、酸性溶液の添加量と平衡溶液のpHとの関係(緩衝能曲線)を示した。硫酸を加えた場合pH低下が最も少なく、硝酸と塩酸の場合は表土の方が心土に比較しpHの低下が少ない傾向を示した。また、添加した硫酸溶液のpHと硫酸イオンの吸着量(mg/g soil)との関係を、関東ローム表土、心

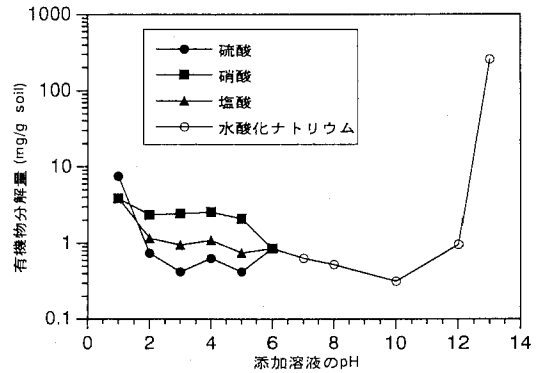


図-2 添加溶液のpHと有機物分解量

表-1 土壌の物理・化学性

測定項目	関東ローム表土	関東ローム心土	黄色土	測定数	
pH(KCl)	4.94	5.37	3.76	3	
pH(H ₂ O)	5.36	4.93	4.59	3	
有機物含有率(%)	9.76	2.08	0.50	3	
CEC(cmol(+)/kg)	39.21	22.36	10.18	2	
交換性塩基	Ca(cmol+)/kg)	15.47	0.88	2.67	2
	Mg "	2.68	0.43	0.85	2
	K "	0.94	0.04	0.54	2
	Na "	0.02	0.08	0.02	2
塩基飽和度(%)	48.71	6.37	40.17	2	
主要粘土鉱物	アロフェン	アロフェン	カオリン	2	
カラム充填密度(g/cm ³)	0.61~0.67	0.53~0.58	0.84~0.91		
真比重	2.25	2.72	2.59	5	
粗砂 (2-0.2 mm) %	16.6	4.4	11.8	3	
細砂 (0.2-0.02 mm) %	15.8	16.6	24.4	3	
微砂 (0.02-0.002 mm) %	32.2	36.1	19.3	3	
粘土 (0.002 mm 以下) %	35.4	38.9	44.5	3	

備考：測定数に示した数の平均値を示した。(X線回析, カラム充填密度を除く)

土について図-4に示した。pH 3付近から硫酸イオンの正味の吸着が生じ、pHの低下とともに直線的に吸着量が増加した。従って、関東ロームでは硫酸イオンの吸着がpH低下を抑制していると言える。なお、この機構は吉田ら(1988)の緩衝機能分類によれば、第Ⅲ段階に相当する。

4) 土壌団粒の崩落率

硝酸と水酸化ナトリウムを用い、関東ローム表土、心土、黄色土について平衡溶液のpHと団粒崩落率の関係を図-5に示した。硝酸の場合pH4以下で関東ローム心

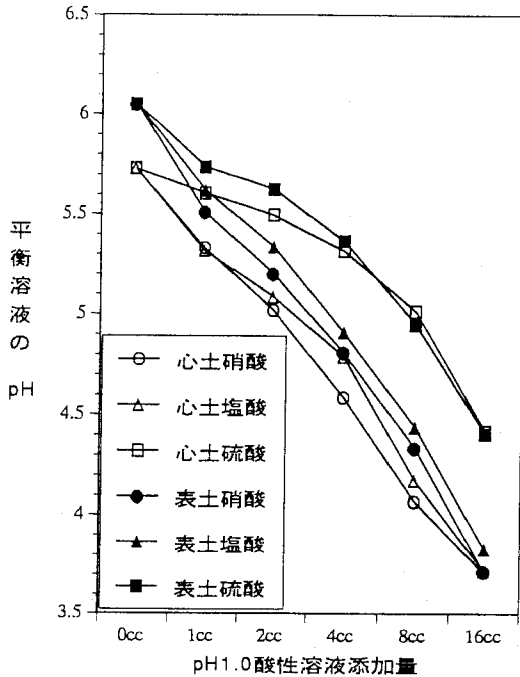


図-3 関東ローム表土、心土の緩衝能曲線

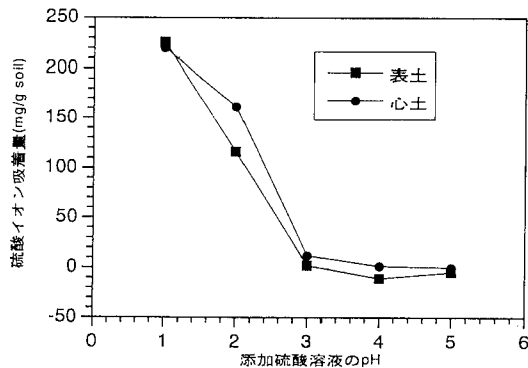


図-4 添加硫酸溶液のpHと硫酸イオン吸着量(関東ローム)

土の崩落率が急増し、表土の増加は少ない。また、黄色土は酸性側では崩落率は極めて少なく、アルカリ側で著しく大きい。ここで、有機物含量が大きい関東ローム表土と少ない心土を比較すると、平衡溶液のpH2~3.5の範囲で、崩落率には15%程度の差異が生じている。硝酸溶液を用いた場合の崩落率の相違は、有機物の分解量が酸性側で少ないため、団粒を結合する機能が表土で維持されていることの効果によると思われる。

また、図-6には関東ローム表土、心土に硫酸と水酸化ナトリウムを用いた場合の添加溶液のpHと団粒崩落率の関係を示した。酸性側の崩落率は2%以下で、硝酸の場合の5~20%に比較し少なく、アルカリ側のpH12で急増した。しかし、硝酸の場合のように酸性側で表土と心土に明確な崩落率の相違は認められなかった。

このように、粘土鉱物、有機物含量、酸性溶液の種類により土壌団粒の崩落や土粒子の分散が異なることが推定でき、これらの要因が土壌の透水性変化や塩類の溶脱に差異を生じることが考えられる。

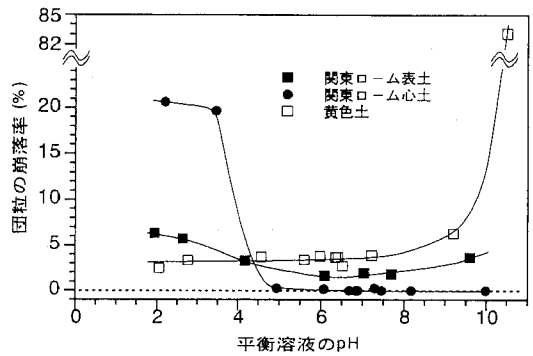


図-5 関東ローム表土、心土、黄色土の平衡溶液のpHと団粒崩落率(硝酸溶液)

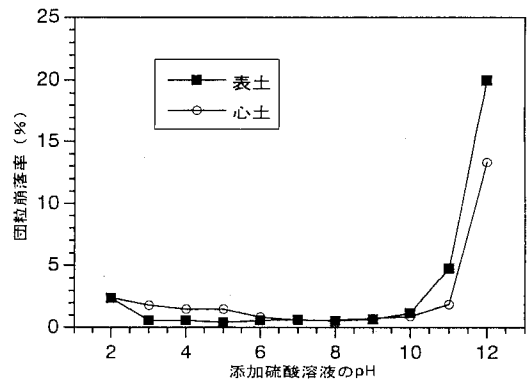


図-6 関東ローム表土、心土の添加硫酸溶液pHと崩落率

5) 透水性の変化

pH3の硝酸溶液を浸透させた場合の透水係数の変化を、硝酸溶液に切り替える前の透水係数 (k_0) に対する比 (無次元化透水係数 k/k_0) で図-7に示した。酸性側で団粒の崩落率が大きい関東ローム心土の透水性低下が最も大きく、約40時間で1/100に低下した。しかし、有機物含量の大きい関東ローム表土や、酸性側で団粒の崩落率の小さい黄色土の低下は緩慢であることがわかる。

また、pH2の硫酸、硝酸、塩酸を関東ローム心土に浸透させた場合の水圧ポテンシャル分布を図-8～図-10に示した。図-8の硝酸の場合、浸透開始後2時間頃から水圧ポテンシャルの低下が生じ、19.2時間後には深さ1cmで-1.8KPaまで低下した。この分布は、地下水水位が存在し、透水係数が表層で小さく、下層で大きい場合の成層浸透と同様な水圧ポテンシャル分布を示す。すなわち、表層での団粒の崩落、土粒子の分散により、表層の透水係数が低下したためと考えられる。

一方、pH2の硫酸の場合の水圧ポテンシャル分布を

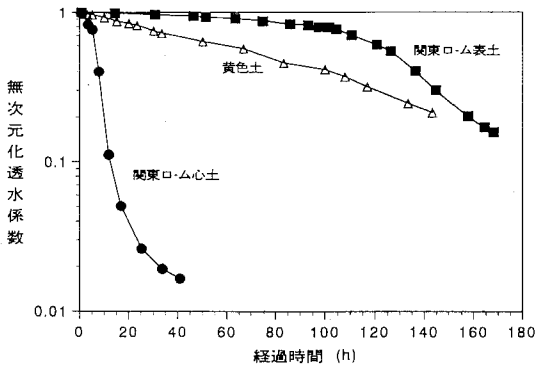


図-7 無次元化透水係数 (k/k_0) の時間変化 (硝酸 pH3)

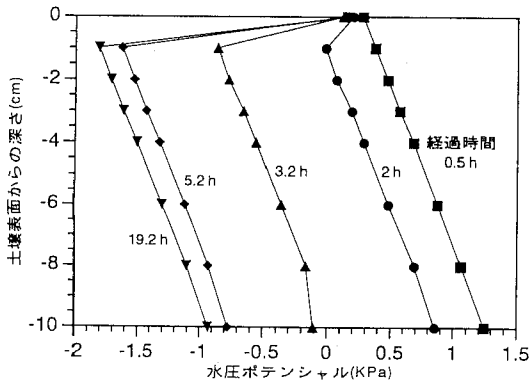


図-8 関東ローム心土の水圧ポテンシャル分布 (硝酸 pH2)

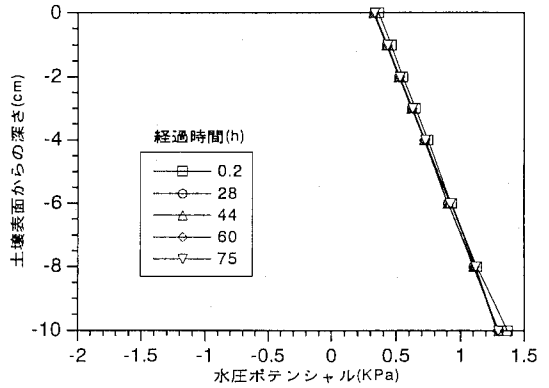


図-9 関東ローム心土の水圧ポテンシャル分布 (硫酸 pH2)

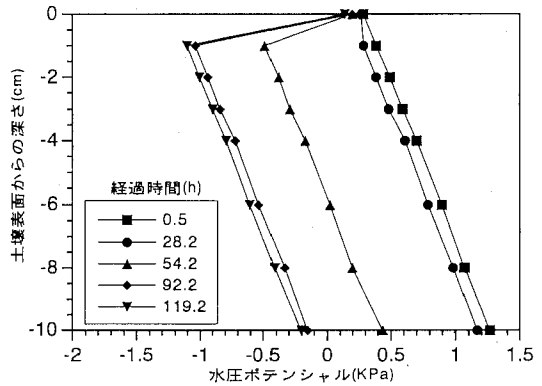


図-10 関東ローム心土の水圧ポテンシャル分布 (塩酸 pH2)

図-9に示した。水圧ポテンシャルは75時間の範囲ではほとんど変化せず、ほぼ直線分布であることから硫酸の場合、透水性の低下は硝酸に比較し非常に小さいことがわかる。この原因の1つに、硫酸イオンの吸着による酸中和能が関与していることが推定される。

図-10は塩酸の場合を同様に示したもので、54.2時間後には明らかに負の水圧ポテンシャルを示した。経過時間119.2時間でも最大負圧は-1.2KPaで、図-8の硝酸の場合より低下が小さく、硝酸と硫酸の中間の分布を示した。

これらのことから、硝酸や塩酸の場合、表層1cmまでの土壌団粒が分散し、間隙径が小さくなり透水性が低下し、土壌カラム全体の透水性低下の原因となっていることが理解できる。一方、硫酸の場合にはほぼ初期状態の直線分布を示し、表層での土粒子分散が少なく、透水係数の低下が極めて少ないと言える。

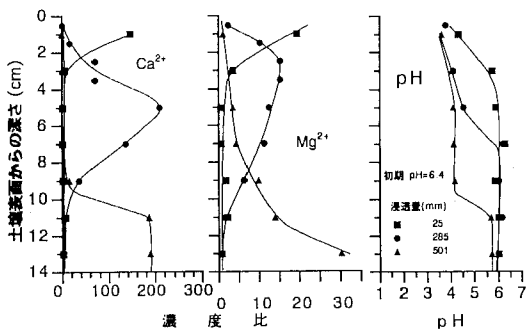


図-11 関東ローム心土の Ca, Mg 濃度比と pH 分布 (硝酸 pH2)

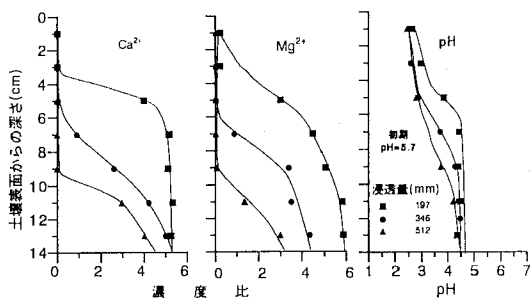


図-12 黄色土の Ca, Mg 濃度比と pH 分布 (硝酸 pH2)

6) pH と塩類濃度分布

土壌団粒の崩落率が大きい pH 2 の硝酸溶液を用いた場合の土壌カラム中の pH 分布と Ca, Mg の濃度比分布を、関東ローム心土と黄色土について図-11, 図-12 に示した。図中には初期土壌溶液の pH, 浸透量をカラム断面積で除し雨量 (mm) に換算した値を示した。また、関東ローム心土の初期 Ca, Mg 濃度はそれぞれ 5×10^{-6} , 1.5×10^{-5} mol/l, 黄色土は 5.5×10^{-4} , 2.9×10^{-4} mol/l であった。

関東ローム心土 (図-11) の場合、濃度比ピークが明瞭であり、浸透量の増加に従って次第にピークが下方に移動している。また、濃度比ピークの値も Ca で約 200 倍, Mg が約 20~30 倍を示した。また、濃度比ピークを示す位置の pH は 4 のオーダを示している。これを図-5 に示

した団粒の崩落率と比較すると、pH 4 付近から崩落率が増加する傾向と対応し、濃度比ピーク付近で団粒の崩落、分散が生じ、水素イオンとのイオン交換が活発化していると考えられる。そして、ピークより上層では pH 5 を示していることから、佐藤ら (1990) によれば塩類による酸中和機能は消失していると判断される。

一方、黄色土 (図-12) の場合には濃度比ピークの形成が無く、濃度比の値も 3~6 倍で、関東ローム心土と比較し小さい。すなわち、ピークが存在しないのは、団粒の崩落・分散によりイオン交換が盛んに行われる部位が少ないためと考えられる。

しかし、pH の初期値が 5.7 であることを考え合わせると、少量の硝酸溶液の浸透で急激に pH が低下したこととなり、酸中和能が低い土壤に該当する。

4. おわりに

酸性溶液を用いて、団粒の崩落率や透水性の変化、pH や塩類の濃度比分布を測定した。その結果、土壌粒子の分散現象が透水性変化や塩類の溶脱に影響を及ぼすことを示した。また、酸性雨の陰イオン主成分の相違によっても影響に差異が生じることが判明した。そして、自動車の増加にともない、窒素酸化物の放出の減少が将来とも期待できないことから、硝酸を中心とした陰イオンの相違による影響把握も重要となる。

室内実験による僅かな測定結果であるが、酸性雨の土壤への影響を推定する場合、土壤の分散・凝集現象などの土壤の物理性に着目した研究が重要であると言える。

引用文献

環境庁水質保全局土壌農薬課監修 (1990): 酸性雨 土壌・植生への影響, p.154, 公害研究対策センター。
 小川和夫 (1981): 土壌団粒の安定性 (崩落率, 分散率) の測定法, 土壌の物理性, 43: 14~20。
 佐藤一男ら (1990): 酸性降下物に対する土壌中和能の簡易測定法, 環境科学会誌, 3 (1): 37~48。
 吉田 稔ら (1988): 酸性雨の土壤による中和機能, 日土肥誌, 59 (4): 413~415。

(受稿年月日 1995 年 5 月 30 日)
 (受理年月日 1995 年 7 月 13 日)

南カリフォルニアでの4年間 Salinity Laboratoryでの滞在を振り返って

取 出 伸 夫

私は1991年2月から約4年間、南カリフォルニア、Riversideのアメリカ農務省の研究所であるU.S. Salinity Laboratoryにてポスドク(Postdoctoral fellow)として研究に従事する機会を得た。なおポスドクとは、博士取得後の者が、通常はパーマネント職を見つけるまでの期間(2年程度)に、特定の研究プロジェクトによって雇われる研究員である。「土壤の物理性」の読者には、すでに日米の研究システムの違い等よくご存知の方も多と思われる。そこで今回は、私が様々な出身地、バックグラウンドを持つ研究仲間とともにRiversideで過ごした4年間に、日本社会と少し距離をおきながら感じたことを中心に、わが国の土壤物理の国際化という点に焦点を当てながら述べてみたい。もちろん先輩諸氏にも、土壤物理の分野の国際化に貢献されている方々が多々いらっしゃるので、あくまで私個人の経験に基づく考えであることを、はじめにお断りする。

土壤物理、あるいはもう少し広く土壌科学、水文学という分野は、全世界に広げて考えても研究者の数が限られており、またそれぞれの地域に根づいたテーマも多い。そのため我々の分野の国際交流は、巨大科学の分野と異なり、あくまで個人レベルの草の根的な交流が中心となろう。私の知る限り多くの土壌物理関連の研究者は、難しい問題に孤軍奮闘して取り組んでいるので、世界を広げて情報を交換しあうことは、今後ますます重要になっていくと思われる。そうした共同研究や研究交流を押し進めるにあたって、もっとも大切なことは、お互いをよく理解し合うことである。

私の所属していた研究所のsoil physicsのグループは、常勤の研究員3名とその他ポスドク、技官等からなる小さな集団であったため、リーダーのDr. Rien van Genuchtenを中心とした家族的雰囲気を持っていた。金曜日の夕方は皆でビールを飲みに行ったり、それぞれの家でパーティーを開くなど家族同士でつきあう機会も多かったように思う。そしてある意味で日本的である”同じ釜の飯を食う”的な感覚をグループ内、あるいはかつて同じグループに滞在していた人たちとに共有していたように思う。これは、欧米人は何事も合理的に考えるのではと考えていた滞在当初の私には、むしろ驚きでも

あった。実際、共同研究を行うときでも、お互いを良く知っている上で成り立つ信頼関係には助けられ、また帰国した今でもその恩恵を受けていると感じている。

もちろん、異なる文化、習慣を持つ人間同士で信頼関係を築くことは、容易ではない。特に母国語が異なるもの同士は、通常英語によるコミュニケーションとなるが、辛抱強く相手のいうことを聞き、またこちらの話を聞いてもらう作業が必要なことは言うまでもない。何となくそれぞれが欲求不満を残したような関係にならないためには、お互いが相手に対し興味を持ち続けることが肝要のように思う。

一般的に、特に日本人は、外から眺めると非常に理解のしにくい対象のようである。その要因には、やはり英語の障壁や、文化の違いなどをあげることができるであろう。私も帰国当初、渡航前には疑問に思わなかったことでも、違う文化の観点から見ると、非常に不思議に感じるものが少なからずあった。このような、日本の国際化が抱える問題は、我々の土壌物理の世界においても共通する問題であると思う。そこで我々は何から始めるべきか、何ができるかというのか今回のテーマである。

まずはじめに文化の問題であるが、我々自身ができるだけ早い時期に海外において研究、教育に従事するなかで、異文化体験をすることは必要不可欠であると思う。我が国の多くの土壌物理の研究者は、私自身も含め、学部から大学院を通じ同じ大学に在籍することが多い。私は、できれば大学院在学程度の年代にチャンスを見つけることができれば良いと思っている。アメリカの大学院は修士、博士課程とも広く門戸を開いているのであるが、就職の問題等日本国内の事情が、若い人が海外で勉強することを難しくしているようである。指導教官と綿密な連絡を取るよう心がけるなどして、こうした問題はある程度解決できるのではと思う。たとえ修士や博士終了後、日本に帰国しないでもさらに海外で活躍したいという選択をしたとしても、それはそれで立派な日本の国際化への貢献であろう。大切な点は、異文化体験を日本社会の否定とせず、違いと認識して、我々の社会を見直すべききっかけとすることである。

次に言葉の問題であるが、これは自己弁護にもなるのだが、特に話す、聞くはアメリカに長期に滞在しても、上達は難しいようである。ヨーロッパ系の人たちが、よほど才能のない人を除いて短期間に英語をほぼ完璧に習得するのと対照的に、20才台以降の中国、韓国、日本の漢字圏の人たちは、特に才能のある人を除きほとんど進歩しないようである。私の場合、何か議論した後などに、仲間からおまえは本当に英語を上達する気があるのかと尋ねられ、返答に窮することが度々あった。私自身の努力不足以外の何ものでもないで内心とても傷つくのであるが、言ってもらえるだけ幸せなのだと考えたりもした。フランクに意見を言ってくれる友人が、私の財産なのだろうと今は思っている。

これは前述の文化の違いに関連した余談なのだが、アメリカでは通常履歴書に生年月日を書かない。年功序列が大切な日本との大きな違いなのだが、そんな社会でも、外国から年輩の研究者が訪ねてきた時には、言葉遣いから態度まで皆がとても気を使っていた。今から思えば、私の場合、毎日恥をかくことでいくらかでも自分自身がたくましくなったのではと思う。こんなことも、できるだけ体力と気力のある若い時期に苦勞をすることを勧める理由である。

という次第で、私の研究所での立場は、私と同室であった中国人ポスドクと共に、いつまでたっても耳と口の不自由な人たちというものであった。しかし何か話す度に皆が一瞬静かになる”あの”空白に耐えながらも、私とその中国人の友人が何とか研究所で生き延びられたのも、やはり毎日いろいろな文章を書く中、ある程度書くことに慣れたことにあると思う。幸い我々日本人でも、読み書きは話す聞くとは異なり、毎日の蓄積が進歩につながるようである。もちろん突然英語で論文を書こうと思ってもその障壁は大きい。最近論文にEメールのアドレスが示してある場合が多いので、論文の感想や質問をメールに書いて著者に送ってみるのも、良いきっかけになると思う。もちろんこの世界でも著名な人たちは多忙な生活を送っているのだから、できるだけ若い研究者を相手に選ぶ方が充実した議論ができる確率が高い。こうしたインフォーマルな議論は、将来共同研究や人材交流へと発展することも多いので、是非とも勧めたい。また英語と日本語の構造の違いのためか、日本語の原稿を書いてから翻訳するのは極力避けた方が無難なようである。英語の持つリズムになれるためにも、日頃比較的読みやすいニュースなどを読み親しんでおくことも大切であろう。

もう一点、英語の問題に関連して、漢字圏以外の人たちにとって漢字というのは我々の想像以上に接しにくい

ものだということを改めて感じた。私の友人の一人がRiversideを日本から訪ねてセミナーを開いたとき、チェコ出身の私の仲間は、スライドに書かれていた土壌の“壤”は、porous mediaを形で表現するのかとスライドの内容や話以上に関心を示していた。もちろんこれはいささか不真面目な話ではあるが、日本に長くいると忘れがちな視点でもあると思う。国内でもこれだけ留学生が増えている今日、たとえ日本語の発表や論文であっても、図や表は日本語を混ぜずに英語で準備したいものである。

ところでここで確認しておきたいのだが、私は日本の土壌物理の研究レベルが低いとは決して思っていない。もっと広く知られるべき研究が多くあると思う。アメリカの土壌物理関連の大学や研究所に滞在した人の多くが感じることだろうが、アメリカでも日本以上に限られたスタッフと資金によって研究が行われている。ただうらやましい点は、たとえばAgronomy meetingといったアメリカ国内の学会には、世界中の研究者が、そして情報が集まっている点である(他方、国際土壌学会は近年ますますお祭りとしての色彩が強まっているように思う)。そうしたアメリカ国内の学会に参加して思うことは、やはり日本からの参加者の少なさである。ヨーロッパやオーストラリア等の研究者が、毎年とはいかないまでも隔年程度参加して、情報を交換し合っている姿をよく見かけた。何とかあの議論の輪に食い込みたいというのが今の私の願いである。最近三重大学の溝口さんが土壌科学メーリンググループ(sssj@bio.mie-u.ac.jp)を設立して、アメリカの学会への参加や、またより広く土壌科学に関する情報交換の場を提供しているので、是非利用したい。数人のグループで力をあわせて十年がんばれば、必ず世界から注目される研究グループになり得ると思っている。

私がRiversideに滞在中に感じたことに、海外にいると日本国内の研究活動に関する情報の入手が困難であることがある。これは前述の通り、土壌物理を含めた環境関連の研究は、地域に根ざしたものが多くこともあり、論文の多くが国内の雑誌に日本語で書かれていることが主な原因である。しかし、この地域性というのはなかなか説明することが難しい問題である。たとえば乾燥地の研究を行っている人たちに、年降水量が2m近くに達するわが国の自然環境を理解してもらっただけでも容易でない。まして水田を見たことが無い人に水田の研究を説明するのは、至難の業である。

私は、これは個人で抱えるには大きすぎる問題だと思っている。せっかく英語で論文を書いても、引用文献の大半が日本語でかかれたものにならざる得ない場合も

多い。最近は、たとえば農業土木学会が世界の水田の解説書を英語で出版するなど、学会としての取り組みも行われ始めた。さらに一層努力して、皆が少なくとも研究論文は英語で書くよう心がけて、少しずつでも風土や環境の違いを書きためていく必要があると思う。ましてわが国の研究者の対象地域が、国内のみならず東南アジア諸国等国外へと広がっている現在、こうした努力はますます重要になってきていると思う。

繰り返しになるが、英語で論文を書く習慣も、その障壁を大きくしないために、できるだけ早い時期に身につける必要がある。正直なところ、私自身も遅すぎたと思っている。もちろん「土壌の物理性」を含め、どの国内の学会誌でも英語の論文は投稿できるし、また土壌肥料学会には英文誌もあるのだが、土壌物理関連の国内の英文誌があればと思う。大学院生や留学生が投稿しやすい英文誌を国内に持つことは、より国際化を推し進めるためにも、また我々が英語で論文を書く習慣を身につけるためにも有用であろう。これは「土壌の物理性」の将来の編集方針にも影響することなので、是非会員の皆さんにも検討していただきたいと思っている。

以上私の日頃感じていたことを思いつくまま述べてみた。アメリカでの滞在中に参加した学会で、国内にいたときはほとんど交流の無い分野の日本人研究者が、非常に近い研究をしているのに会うことが度々あった。これは学際領域の研究と旧来の研究区分とが合わなくなってきたためである。土壌物理の国際化を進めることが、周辺分野も取り込んださらなる発展へとつながると確信している。情報、交通手段がますます発達して地球が小さくなってきている今、あらためて皆で土壌物理の国際化について考えたいと思っている。

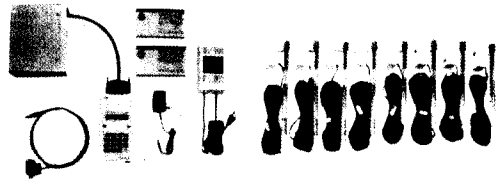
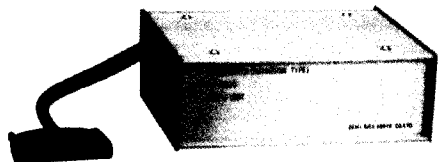
最後に私がとても充実した4年間を過ごすことができたのも、常に私を励ましてくれた友人、先輩諸氏に負うところが大きい。この場を借りて感謝したい。アメリカはとても広く、私が経験したのはその本当に一部の世界であるが、私の体験が何かの役にたつことがあればと思っている。特に思い切って海外に飛び出して勉強したいという若い人には、是非協力したいと思っている。皆さんのご意見等を気軽に nobuo@cc.saga-u.ac.jp まで連絡いただければ幸いである。あの南カリフォルニアのまぶしい太陽が無性になつかしい今日この頃である。

テンシオメータ 自記タイプ

DIK-3020

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

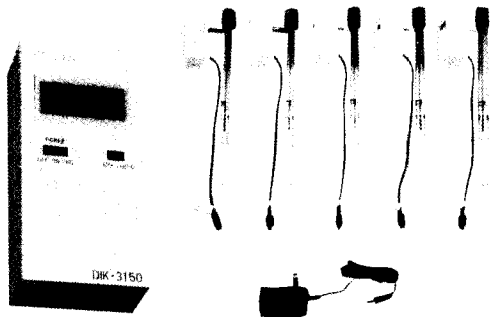
(測定点数8、測定範囲 pF 0~3)



テンシオメータ 表示タイプ

DIK-3150

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



貫入式土壌硬度計

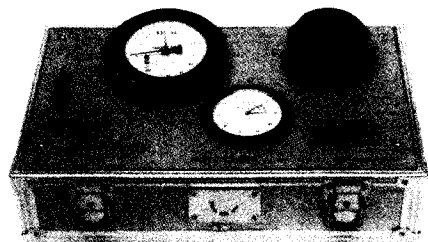
DIK-5520



土中にさし込むだけで各深さに対応した抵抗値が自動的に連続記録されます。

土 壤 三 相 計

DIK-1120



実容積(固相+液相)と全重量が現場で迅速に測れます。

SPAD[®]開発製品



ダイキ 大起理化工業株式会社

秋 田 の ジ ャ ン サ イ

— ジュンサイ田造成と栽培・管理の実際 —

土崎 哲男 著

秋田魁新報社 1995 年刊

B5判 294 ページ ¥1,800

本書は著者も「あとがき」で述べているように、先に発表していた「農業技術体系」(農文協, 1989)の野菜編ジュンサイの項を元に、栽培農家向けに体裁を整えたものである。それらは、いずれも著者の約20年間にわたる科学技術的な研究の成果を基幹としたものである。それらは、

「特殊田の造成に関する調査試験」

(I) ジュンサイの分布と水理条件

農土誌: 50 (6) 1982

(II) ジュンサイの季節別茎伸長と成長曲線

農土誌: 52 (2) 1984

(III) ジュンサイの茎伸長と水深

農土誌: 53 (6) 1985

(IV) ジュンサイの茎伸長と水温

農土誌: 54 (12) 1986

(V) ジュンサイの採取条件と採取量の実績

農土誌: 56 (2) 1988

(VI) ジュンサイの生育と水温および水深との関係

農土誌: 57 (12) 1989

(VII) ジュンサイ田の調査事例と造成・整備の方向

農土論文集: 160号 1992

(VIII) ジュンサイ田の畦畔の侵食と法面保護

農土論文集: 160号 1992

(IX) ジュンサイ田の造成実験

農土論文集: 170号 1994

である。実に着実に一步一步調査を進め、未知部分を説明するという手法を取った研究である。そしてそれは、ジュンサイへの愛情と特殊田造成への熱意によって裏打ちされたものなのであった。それだけに単なる普及書とは異なり、こんなに必要かな(むしろ理解が困難になるのではないか)、と感じさせる厳密な表現も散見される。

なお、著者はこの研究実施の秋田農業短大勤務の以前に、農地開発機械公団に勤務されていて、1973年には「レキードーザによる抜根と排根に関する実験的研究」

で農学博士の学位を取得されている好学の士で、農地整備・土木施工の権威である。

いま、ジュンサイ田の土壌条件の項をみると基本的事項として、

『ジュンサイ栽培の実績を持つ秋田県山本町志戸、橋野台地一帯は、淡色黒ボク土壌、多湿黒ボク土壌、黄色土壌、細粒グライ土壌が混在している。一般に、灌漑用溜池は、粘土質で構成され、底土が軟泥で中央部ほど深い。ジュンサイ田は、稲作水田を改造したものが多く、表土扱いがおこなわれる。また透水性については、稲作水田と同程度が多い。』

と記している。この一連の研究が実態調査を基礎としていことから、また、ジュンサイ田と水稲水田の評価差を考えると、これは必ずしも期待(設計値)的条件ではなく、下限状況とみるべきだろう。ただ、他の多くの条件も加味して評価するときの土壌条件を示しているともみるべきなのである。それ故に基本的事項としながらも地域を限定しての表現にとどまっている。他の課題に関してもこのような表現にならざるを得なかった部分が見受けられるが、この種のローカルの課題の特徴なのである。それが「特殊田の造成に関する調査試験」という科学技術の報文をベースとしてはいるが、具体的な農業技術との関係となると「秋田の……」と限定したものになっている。そこに設計諸元的数値を求めることはこの種の地方(ジカク)の技術をこわすことになりかねないのである。私達が演繹的技術(時には軽薄とまで思われる)を高度な技術とし、それぞれの地域の諸特性の中で安定定着している帰納的技術を軽視し、ときには抹殺してきたことを反省させられる書である。土を取り扱うものとして、それぞれの土を究めつつ、具体的事例からの脱出・一般化を最高の目標としている部分もあるが、着実な地方技術への還元が極めて重要なことを認識させられる書である。

(北海道大学農学部 梅田安治)

土 壌 物 理 環 境 測 定 法

中野政詩・宮崎 毅・塩沢 昌・西村 拓 著

東京大学出版会 1995 年刊

B5版 p236 3,914円

本書が、土壌物理環境測定法と題されているのは、著者を代表して中野政詩先生がまえがきに記されているように、土壌を自然物としてとらえ、その利用と保全のシナリオを書くための、基礎データの収集を皆に呼びかけているからである。土壌物理現象を土の堅さ、水、溶質、ガス、熱の挙動として位置づけ、それを支配する土の固相、液相、気相におけるパラメータを測定する方法を提示している。

土壌環境を測定するのだという哲学を明確にするために、土壌断面調査法の項目をたて、写真を示し、調査表を示している。惜しむらくは、調査表を埋め尽くす方法も記載されれば良かったように思う。

基本要素測定法は、土の3相の特徴の測定方法が丁寧に示されている。土の基本概念がスムーズに理解できる。しかし、私だけかもしれないが、なぜ孔隙を空隙と呼び、土性を土の分類名と呼ぶのであろうか。孔隙と空隙は英語でも pore と void に区別されており、生物生成と自然分散による生成と説明できるのであろうが、土性 (texture) を土の分類名と呼ぶのは土壌生成分類を基礎とする一般土壌学者には、なかなか理解しがたいものである。

水分特性測定法は、従来の吸引法、土柱法、加圧板法に加えて、サイクロメータ法を提示し、また単位換算法、保水形態の説明は丁寧にわかりやすい。

飽和透水係数測定法では、豊富なデータが提示され、理解が深まる内容になっている。マリOTT管の使い方など、細かい点に注意をはらわれていることがうれしい。

不飽和透水係数測定法は、塩沢氏の尽力により容易でかつ広範囲な測定法とその実測例が提示されている。データ整理のための表も、心が尽くされており、著者の皆に測定してもらいたいという気持ちが伝わってくる。

さらに本書は、土壌物理研究者が今後積極的に研究すべきである溶質輸送について、その基礎としての土壌溶液特性、陽イオン交換容量、および固液反応の測定法を

提示している。さらに溶質分散・拡散係数の測定法を丁寧な解説とともに示している。この章では、塩沢氏による分散係数、拡散係数を求めるための Basic プログラムも示され、誰もが容易に実験結果を整理できるようになっている。

ガス拡散は、土壌からの温室効果ガスの放出量を知る重要な基礎知識である。これまでチャンパー法がおもに使われてきたが、そのデータだけでは今後を予測できない。従来チャンパー法の測定法に加えて、ガス放出を支配するガス拡散係数測定と、濃度勾配を知るための野外でのガス濃度測定法が提示されている。

最後の測定法は、熱特性測定法とされている。熱的特性は、主に熱収支項目として測定されてきたが、そもそも植物反応を規制する要因であり、今後はガス放出をおこす微生物活性との関連が重視されよう。比熱、熱容量、熱伝導率測定法、が提示されている。

本書の最後には、測定値のばらつきと誤差について、正確なデータを得るための注意が述べられている。

ここまでの測定法を整理されたことに、心からお礼を申し上げたい気持ちでいっぱいである。しかし最後に一つ著者らにお願い申し上げたいことは、最適サンプリングサイズについてである。本書の最初に、不攪乱試料のサンプリングサイズにあたっての注意が述べられ、それは極力大きく、かつ小さい方がよいと述べられている。これは最適サンプリングサイズを決定する必要があることを述べているのである。「およそ1m四方のサンプルでなければ、真の透水係数は測定できない」などのごとき、できないことを言っても無意味であるが、土壌をめぐる物質循環を基礎として、地球環境の今後のシナリオを描くためには、土壌環境の特徴を端的に表すパラメータ値を得なければならない。それには100mL採土管では可能なことと不可能なことがある。ご一考いただければ幸いです。

(北海道大学農学部 波多野隆介)

土壌間隙の X 線立体造影法

徳永 光一 著

畑地農業振興会 1995 年刊

B5 版 250 ページ, 4,500 円

黒ボク土や灰色低地土の下層土の土壌調査をしていると、植物の根穴跡と思われる円管状の間隙が多いのに気がつく。しかし、本書の中にも述べられているが、長い間根穴に対してこれ以上の評価はなかった。1984年に、この本の著者らによって土の孔隙が X 線写真により写し出され、その形態が根張りそのものであるという事実は大きな驚きであった。以来、この 10 年間に鮮明な立体写真が次々出されるようになり、土壌中の孔隙についての私たちの従来からの考え方も大きく変化してきた。

本書は、土壌中の孔隙を X 線を用いて可視化する方法を確立した著者が、土の採取から孔隙写真の現像までの一連の作業を詳細に紹介している。この本の表題に、X 線、立体、造影というキーワードが 3 つ入っている。前 2 者はすでに確立された測定手法であり、著者が強調しているのは第 3 の造影法である。

この本には 2 とおりの読者が想定されている。一つは、いうまでもなく X 線で土の孔隙を見たい人である。もう一つは、不攪乱土壌の採取に興味をもつ多くの人たちである。本書の約 4 分の 1、前半の数 10 ページは不攪乱土壌の採取と成形の記述に費やされている。良い実験試料を取るには良い道具と考える頭が必要であるということ痛切に感じさせる。これは使えそうだという道具は料理用の小物から大工道具に至るまで広く使われており、それでも不十分な作業にたいしては自ら工夫し作製した道具・器械を用いている。工程の一つ一つに写真と説明があり、たいへん分かりやすい。完全な試料を採取することに対する著者の妥協を許さない姿勢が見られる。

本書の約半分は、造影剤を土壌間隙に入れて X 線写真写すというメインテーマである。なかでも、間隙の水を重液造影剤で置換させていくために、上面を除く試料の周囲を粘土ペーストで固定し、そこからの蒸発を利用するという独創的な「乾燥法」の手順を詳細に説明している。X 線写真しか見ていない人にとっては、一枚の写真写すためにこれほど周到な準備が必要であることは思いもよらないことであり、X 線写真そのものが一つの貴重なデータであることを強く印象づけられる。本書の最後には、土壌孔隙の X 線写真にくわえ透水係数のデータをとるために、むき出しの土壌ブロックの透水係数を測定する方法を紹介している。土壌ブロック側面を粘土ペーストで覆って透水装置に固定し、負圧をかけて飽和透水係数を測定するところに特徴がある。

この本は、筆者の思い入れが強く感じられる。そのため、最初から順に読み進むと少しくどく感じられる。実際に X 線撮影を始めようとする人を除けば、むしろ、実験書的な感覚で興味のあるところを目を通すとよい。すると、そこには実験が上手になる秘訣が隠されていると思うのは私だけではないだろう。一方、X 線撮影に興味を持っている人には、土壌標本の大きさが、不都合が生じないという理由から、一辺が 4 cm の立方体になっているが、X 線写真に写し出された根穴孔隙の本数（量）と試料の厚さに対する考え方や、乾燥法以外の水と造影剤の置換法にたいするコメントも欲しいのではないかという気がする。

(農業環境技術研究所 長谷川周一)

1. 第3回編集委員会開催

日時：9月19日（火）15:00～17:30

場所：日本大学農獣医学部東京校舎

出席：河野，青木，安中，加藤，軽部，竹迫，成岡，西村，東城

- (1) 第72号について（新規体裁，新規別刷り表紙について，発行作業）
- (2) 第73号の原稿について（作業項目，閲読者，依頼原稿）
- (3) 小特集について「土壌の環境維持管理」の小特集を組むこととした。
- (4) 第74号の編集方針について（シンポジウムの講演者と題目，講演要旨，原稿依頼）
- (5) その他の原稿について
- (6) 総会・シンポジウムについて
- (7) その他
 - 1) 英文の適正化について：本文および英文要約について文章を付加して改正し，評議員会にはかることを決めた。
 - 2) 学協会著作権協議会への加盟について：会誌「土壌の物理性」の著作権に関し，学協会著作権協会への加盟手続きを進めることに賛成し，評議員会にはかることを決めた。

2. 1995年度第2回評議員会開催

日時：1995年10月3日（火）12:00～12:30

会場：東京農工大学農学部会議室

出席：穴瀬，足立，河野，粕淵，矢沢，岩間，三野，溝口，原，井上，渡辺，宮崎，古賀，藤井，事務局（成岡，東城，西村，平野）

- (1) 評議員・事務局・編集委員会体制について（報告）
- (2) 入会者および現会員数について（報告）
- (3) 1994・1995年度事業について（承認）
 - 1) '94年度（1994年11月1日～1995年3月31日）事業経過
 - ・評議員会：'95年4月7日東京にて開催した（'94・'95年度同時開催）
 - ・会誌発行：「土壌の物理性」第70号（'94.11），第71号（'95.1）を発行した
 - 2) '95年度（1995年4月1日～1996年3月31日）事業計画
 - ・第1回評議員会：1995年4月7日東京農大にて開催（'94・'95年同時）した
 - ・第2回評議員会：1995年10月3日東京農工大農学部にて開催した
 - ・総会：1995年10月3日東京農工大学農学部にて開

催

- ・シンポジウム：1995年10月3日東京農工大学農学部にて開催
 - 第37回「乾燥・半乾燥地—現場における土と水—」[講演者5名，司会者4名]
 - ・会誌発行：「土壌の物理性」第72号（'95.4）を発行した
 - 第73号（'95.10）を発行する
 - (4) 1994年度・1995年度会計について（承認）
 - 1) '94年度決算
 - 2) '95年度予算
 - (5) 事業年度変更に伴う会則改正について
 - (6) その他
 - 1) 編集委員会
 - ・会誌72号：体裁の一部改善等（報告）
 - ・会誌73号：原稿受付数等（報告）
 - ・学協会著作権協議会への加盟について（承認）
 - ・会誌の英文の適正化について（次回まで保留）
 - 2) 研究会名称変更および所在地固定について（報告）
 - '95.4.7評議員会決議に基づき事務局が検討し評議員会に答申することにした
 - 3) 国際会議・他学会研究会との連絡，機関紙への会告掲載（報告）
 - 4) 会費徴収，会誌広告拡大，会員拡大について（報告）
 - 5) 会員所在地・連絡先の変更・登録について（報告）
 - 6) 受け入れ図書について（報告）
3. 1995年度総会開催
- 日時：1995年10月3日（火）13:00～13:30
- 会場：東京農工大学農学部本館講堂
- 座長：穴瀬会長
- (1) 評議員・事務局・編集委員会体制（報告）
 - (2) 入会者および現会員数（報告）
 - (3) 1994・1995年度事業（承認）
 - (4) 1994年度・1995年度会計（承認）
 - (5) 事業年度変更に伴う会則改正について（承認）
 - (6) その他（報告，承認）
4. 第37回シンポジウム開催
- 日時：1995（平成7）年10月3日（火）
- 会場：東京農工大学農学部本館講堂
- 参加：約100名（受付登録者）
- テーマ：「乾燥・半乾燥地—現場における土と水—」
- セッションI座長：溝口 勝（三重大学）
- (1) 「中国東部の砂漠化をリモートセンシングで観た」

今川俊明

(農業環境技術研究所環境管理部)

- (2) 「裸地の教えてくれること—西アフリカに風をかついで土壌調査」南雲不二男

(北海道大学大学院地球環境科学研究科)

- (3) 「在来農法に学ぶ土と人間のつきあい方—西アフリカ・マリとインドでの事例から」

田中 樹(京都大学農学部)

セッションⅡ座長:石田智之(香川大学)

- (4) 「農業農村開発と砂漠化防止—西アフリカ・ニジェールで進めている実証調査」名和規夫(農用地整備公団)

- (5) 「トレーサを用いて地下水の歴史を調べる」井伊博行・大塚義之

(清水建設(株)技術研究所)

セッションⅢ座長:波多野隆介(北海道大学)・古賀 潔(岩手大学)

総合討論

5. 第4回編集委員会開催

日時:1月18日(木)15:00~17:30

会場:日本大学農獣医学部東京校舎

出席:河野,青木,安中,成岡,平野,西村,東城

- (1) 平成7年度シンポジウムの報告
- (2) 第73号の発行について(論文投稿, 閲読状況)
- (3) 第74号の発行について(シンポジウム特集論文状況, 閲読者決定)
- (4) 編集関係の会計について
 - 1) 閲読者への謝金(1編あたり, 内部2,000円, 外部3,000円とする)
 - 2) 依頼原稿への謝金
 - 3) 別刷り代金
 - 4) 広告料について(1頁あたり賛助会員15,000円, 非賛助会員22,500円とする)
 - 5) 研究会規約の改正(依頼原稿, 超過ページおよびカラー印刷料金についての規定を投稿規定に追加することを評議員会に提案する)
 - 6) その他(予算が逼迫していること, 英文適正化費用の捻出を考慮して, 投稿料などについての話題を評議員会に出すこととした)
 - 7) 編集体制について(編集幹事追加に東京農業大学中村貴彦氏を推薦した。編集委員追加に東京農工大学平沢正氏を推薦した)
 - 8) 事務局連絡
 - 9) その他
 - 1) 英文の適正化について(評議員会で異論が出されたので, 英文チェックの方法と費用について調査し

て, 再度検討することとした)

- 2) 閲読方針について(編集幹事から閲読事務を円滑に進めるため閲読方針を作成したいとの提案があり了承された)

- 3) 英文原稿について(英文論文に対して日本語要旨を付け加えることについて執筆要領改正案を評議員会に提出することとした)

- 4) フロッピー原稿について(印刷業務の円滑化のために受理された投稿原稿をFDで提出してもらおうようにしたいとの提案があり了承された。なお, 執筆要領を改正するか否かについては, 後日検討することとした。)

6. 会員の動向

会員数(1995. 9. 30現在)

正・学生会員	559	北海道	85 (1)
		東北	48 (1)
		関東	205 (21)
		中部	43
		近畿	42
		中・四国	74
		九州	59 (1)
	62	海外	3 (2)
購読会員	11 (3)		
賛助会員			

※()内は1995. 4. 4. 7. ~1995. 9. 30. の新規会員

新入会員(正会員9 学生会員17 賛助会員3 1995.4.7 ~1995.9.30)

- 青木 正雄(正) 〒252 藤沢市亀井野1866 日本大学農獣医学部
- 赤司 和隆(正) 〒045-01 岩内郡共和町宮丘261 北海道原子力環境センター
- 富永 重敏(正) 〒856 大村市鬼橋町1370 長崎県果樹試験場
- 鳥山 和伸(正) 〒943-01 上越市稲田1-2-1 北陸農業試験場土壌管理研究室
- 野口 正二(正) 〒305 稲敷郡茎崎町松の里1 森林総合研究所
- 朴 昌榮(正) 韓国慶尚南道密陽市内二洞1085 嶺南農業試験場
- 平沢 正(正) 〒183 府中市幸町3-5-8 東京農工大学農学部
- 横田 啓(正) 〒960-21 福島市荒井字壇ノ腰30-5 農試宿舍403-1 農水省東北農業試験場畑地利用部
- 渡邊 文雄(正) 〒156 世田谷区桜丘1-1-1 東京農業大

学農学部農業工学科
 粟生田忠雄(学) 〒950-21 新潟市五十嵐 2 の町 8050 新潟大学農学部
 愛宕 徳行(学) 〒156 世田谷区桜丘 1-1-1 東京農業大学総合研究所
 岩田 幸良(学) 〒156 世田谷区桜丘 1-1-1 東京農業大学農学部農業工学科
 甲斐 貴光(学) 〒156 世田谷区桜丘 1-1-1 東京農業大学農学部農業工学科
 神谷 貴文(学) 〒113 文京区弥生 1-1-1 東京大学農学部農業工学科
 黒田 武史(学) 〒113 文京区弥生 1-1-1 東京大学農学部農業工学科
 斎藤 広隆(学) 〒113 文京区弥生 1-1-1 東京大学農学部農業工学科
 杉 修一(学) 〒182 府中市幸町 3-5-8 東京農工大学連合農学研究科
 鈴木 伸治(学) 〒156 世田谷区桜丘 1-1-1 東京農業大学農学部農業工学科
 関 勝寿(学) 〒113 文京区弥生 1-1-1 東京大学農学部農業工学科
 中川 英(学) 〒156 世田谷区桜丘 1-1-1 東京農業大学農学部農業工学科
 中野 恵子(学) 〒113 文京区弥生 1-1-1 東京大学農学部農業工学科
 福村 一成(学) Agricultural & Biosystems Engi. Shantz Building, Tucson Arizona USA.

南 健二(学) 〒950-21 新潟市五十嵐 2 の町 8050 新潟大学農学部
 望月 秀俊(学) 〒113 文京区弥生 1-1-1 東京大学農学部農業工学科
 山岸 昭仁(学) 〒156 世田谷区桜丘 1-1-1 東京農業大学総合研究所
 吉田 大文(学) 〒156 世田谷区桜丘 1-1-1 東京農業大学総合研究所
 東北電子産業東京支店(賛) 〒211 神奈川県川崎市中原区新丸子東 2-897
 藤原製作所(賛) 〒114 東京都北区西ヶ原 1-46-16
 ユニパルス株式会社(賛) 〒434 越谷市千間台西 2-7
 本会会員高橋竹彦氏(神戸大学農学部)は、平成7年6月30日逝去されました(享年54才)。謹んでお悔やみ申し上げます。

7. 土壌物理研究会会則(1995年10月3日、一部改正)

現 行	改 正
第9条 本会の経費は会費その他の収入をもってあてる。	第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。

土壌科学メーリンググループへようこそ!

(sss@bio.mie-u.ac.jp)
 (http://www.bio.mie-u.ac.jp/ml/sss/)

(参加資格)

土壌科学に関心のある方ならどなたでも自由に sssj に参加できます。

(参加方法)

インターネットやニフティサーバなどからお気軽に上記のアドレスにメール(内容はなんでも良い。Subject や本文が空白でも可)を下さい。その時点か

ら自動的に sssj に登録されます。

(活動内容)

SSSJ では特別に組織的な活動は行っていません。今のところは、土壌に関連する事項の公開 Q&A の場と考えています。今後の活動方針も含めて自由に意見交換が行われることを望んでいます。

(グループ名の由来)

SSSJ は Soil Science Society of America (SSSA) をまねて

Soil Science Society of Japan の略のつもりです。

公開講演会「産業空洞化問題を考える」開催さる

平成7年9月 日本学術会議広報委員会

今回の日本学術会議だよりでは、7月に開催された日本学術会議主催公開講演会「産業空洞化問題を考える」の概要について紹介します。

日本学術会議は、学術の成果を市民に直接還元するための活動として、日本学術会議会員が講師となって、市民を対象に年2回、日本学術会議主催の公開講演会を開催しています。

日本学術会議のグローバリゼーションと社会構造の変化特別委員会は、いわゆるグローバリゼーションの進展によって我が国の経済・社会が受ける諸種の影響と、それに伴う様々な問題点を吟味し、今後、我が国がとるべきそれらへの対応策の在り方を検討することをその任務とし、特に、現在の我が国にとっての最も重大な危機的事態とも言うべき「産業空洞化」の問題の分析に最重点を置いて、審議を進めつつあります。

今回の公開講演会では、この特別委員会によるそのような分析・審議の成果を踏まえて、3人の講演者によって、まず、(1)我が国の経済を全体として見てマクロ的に考察するという経済学的な視点からは、現在の長期不況と異常な「円高」に伴って余儀なくされつつある我が国産業の「空洞化」という事態をどう捉え、また、それに対応するべき経済政策はどうあるべきか、そして、次に、(2)技術工学的な観点からすれば、このような現在の状況はどのように把握され、また、それについて、どのような問題点が指摘されるべきか、そして、さらに、(3)企業経営の面から見た場合、このようなグローバリゼーションのインパクトはどのような意味を持ち、我が国の企業はどのようにそれに対応しつつあるのか、という3つの視角からの分析が行われました。

この講演会は、平成7年7月14日(金)の午後1時20分から、日本学術会議講堂において約200名の聴講者を集め開催されましたので、その概要をお知らせいたします。

◇次 第

- | | |
|--------|------------------|
| ○ 司 会 | 吉田 民人(第1部会員) |
| 1 開会の辞 | 利谷 信義(日本学術会議副会長) |
| 2 挨拶 | 吉田 民人(第1部会員) |
| 問題提起 | |
| 3 講 演 | |

- | | |
|--------------------------|------------------|
| (1) 日本経済再生の方途 | 丹羽 春喜(第3部会員) |
| (2) 技術移転と空洞化 | 富浦 梓(第5部会員) |
| (3) グローバリゼーションと日本企業の多国籍化 | 岡本 康雄(第3部副部長) |
| 4 質疑応答 | |
| 5 閉会の辞 | 西島 安則(日本学術会議副会長) |

◇問題提起

吉田 民人(第1部会員、中央大学文学部教授)

空洞化という言葉は、英語でフォローイングアウトと言われ、これが最初に問題になったのは1960年代のアメリカであり、当時ECにアメリカの自動車あるいは電機産業が出て、アメリカの労働組合が、ジョブ、つまり仕事の輸出であるということでもかなり反対したといったようなところから始まって、日本でも、1960年代の後半には東南アジアに直接投資が開始されていた。もちろんこの種の問題は、経済のグローバリゼーションという、まさにグローバリゼーションと社会構造の変化特別委員会が担当しているテーマの一つであるが、その空洞化が特に最近、円高の状況の中で国際競争力の著しい低下を招くということで、ますます加速されるというふうにもみられているわけで、この種のテーマをグローバリゼーションと日本の社会構造の変化の中でも最も緊急のテーマの一つとして取り上げることになった。

空洞化といっても産業の空洞化、金融の空洞化、技術の空洞化、あるいは産業の空洞化も生産の空洞化、経営の空洞化あるいは雇用の空洞化といったさまざまな側面があるわけで、主としてその辺の問題を「産業の空洞化」という一言である意味でラフに総括させていただいた企画である。

中身は三つあり、(1)日本経済をマクロ的な角度から見た空洞化の原因とその対策について、(2)技術の空洞化に関して、(3)ミクロ的な企業がグローバリゼーションの中で国際化していく。まさにそういう意味で言えばミクロ的であると同時にグローバルな、その意味

でマクロ的な観点から、それぞれ講演が行われる。

ここで出る問題は多岐にわたるが、基本的には空洞化の原因の究明と、それに対する対応策という二つの側面からの講演となるが、例えば大蔵省の立場あるいは日銀の立場、あるいは地方公共団体の立場、あるいは企業の立場、それぞれの立場によって微妙に特殊利益が反映せざるを得ないような問題構造になっているが、研究者というのはそういう特定の、つまり職業的な集団の利益から比較的解放されて、非常に客観的な判断をすることができる職業集団に属していることから、できるだけ客観的に、一般的に特殊な利害にとらわれない角度からの検討をさせていただくことになっているので、研究者としてはこういう見方をしているんだということをぜひお聞きいただきたい。

◇日本経済再生の方途

～円高と産業空洞化問題をどう考えるべきか～

丹羽 春喜

(第3部会員、グローバリゼーションと
社会構造の変化特別委員会委員長)

- ・ ケインズ 対 反ケインズ
 - ・ 経済学の50～100年の退歩
——ベトナム後遺症のニヒリズム——
 - ・ 政策の不合理性と長期経済停滞
 - ・ 三重の悪循環的ジレンマによる不況の永続化
 - ・ 「信賞必罰」システムのフロート制と「円高」の責め苦、そして産業空洞化
 - ・ 「低成長→低税率→財政赤字→緊縮財政→不況永続化」の悪循環
 - ・ 「リストラ不況」の危険性
 - ・ 20年以上もの超長期不況
 - ・ 結果としての「近隣窮乏化」政策（対外経済摩擦の根本的原因）
 - ・ 「正常な」国際分業と「異常な」空洞化とを混同するな
 - ・ ミスリーディングな「成熟経済」パラダイム
 - ・ 歴大なデフレ・ギャップ
——それを直視しようとしな「経済白書」の危険性——
 - ・ 「規制緩和」、「リストラ」、「行革」、「市場開放」、等々の限界と欺瞞性
 - ・ 「合成の誤謬」の問題をまじめに直視しようとしな風潮
 - ・ 朝野をあげての幼児化現象
 - ・ 必要な「最善のシステム」ビジョン（市場経済+国民経済予算）への回帰
——むしろ、デフレ・ギャップこそ「真の財源」——
 - ・ 震災復興と被災者支援の政策はどうあるべきか
——国家の本質的な機能とは何か——
 - ・ 混迷からの脱却へ
- およそ、上記のような諸項目について、問題点を解

きあかし、日本経済再生の方途について、国民経済予算制度を現在の市場経済をベースにしている経済体制に組み込むべし等の提言を行いました。

◇技術移転と空洞化

富浦 梓(第5部会員、新日本製鐵(株)常任顧問)

製造業は全て技術の発明と、その移転によって、拡大、発展を成し遂げてきた。鉄鋼業における技術移転の歴史を振り返ってみると、一般的に技術の個人依存性が高いものほど移転が困難であり、技術の表象可能性の高いものほど移転が容易である事に気がつく。

技術の完全な表象には多くの困難が存在し、それ故に未だ経験に依存するところが多い。技術の表象可能性を高めるには、製造に伴って生ずる現象を分析して、基本過程を取り出し、それ等を統合して新たなシステムを発現するという行為の繰返しが必要とされる。

このような経験の科学化を継続的に行われないとすると、技術の空洞化が生じやすくなる。

このような点について着目し、技術移転と空洞化について、生産技術としての工学から社会技術としての工学へのシフト等の具体的提案としてまとめました。

◇グローバリゼーションと日本企業の多国籍化

岡本 康雄(第3部副部長、青山学院大学国際政治経済学部教授)

日本の製造企業は、1960年代後半東南アジアに生産拠点を軸とした海外直接投資を始めた。そして70年代に入ると、貿易摩擦回避がらみで米国向けの海外直接投資が、電機・電子、さらに乗用車といった分野において大規模に行われるにいたった。EUにも同じ様な分野での生産拠点の形成が進められた。この間、日本企業の競争優位資源の海外移転が果たしてどのように行われうるか、が重要な課題であった。

他方、世界規模では、各国、特に先進国間の所得水準の平準化と市場の同質化技術水準の均等化と革新の同期化が進み、情報通信技術の急速な進歩とそれによる伝達コストの低下、各国制度の自由化がこれに加わって、80年代国境なき経済——グローバリゼーションが急速に進展し、グローバル規模での競争が重要な課題であった。

そして80年代後半からは、アジアN I E S、90年代にはアセアンが台頭し、東アジア全体がグローバルな注目を浴びるにいたっている。そして日本は、急速な円高によりアセアンへの生産移転を急テンポに進めざるをえなくなっている。それは、日本国内の空洞化を誘発している。

これら三つは、今現在、同時解決を求められている課題である。このトライアドについて考察しました。

※ なお、この講演会の模様については、前回の講演会と同様、日学双書No.24「産業空洞化問題を考える」として、(財)日本学術協財財団より刊行予定です。

一編集後記一

本号は、全ての編集が新編集委員会によって手掛けられ、この委員会の第1号とも呼べるものです。本号では、委員一同、微力ながら、よりよい内容、よりよい体裁、よりよい活字となるように努力した積もりです。また、今後もそうなるように一層努力します。本号は耕作放棄、大豆作、堆肥投入、地下水変化などの人為的あるいは自然的な影響と土壌の物理性との関係について4報、土壌侵食について2報、計6報文を主体とする構成となっています。まずは、本号については如何でしょうか。

本号には、当初、応募原稿による小特集「土壌の環境維持管理」を掲載する予定でした。しかし、本会会員の皆様にあっては遠慮深い方々ばかりで、数報のみの応募に終わってしまい、一般投稿号としました。当特集は、テーマと募集要項を多少改め、再度原稿を募集して第75号に掲載します。遠慮なく、奮ってご応募下さい。

我々人類は地球環境は壊れないもの、その一部の土壌

も傷まないものとして、農地を開き、農業を営んできました。日本では、農業は環境と調和している産業であるとの思い込みのもとで、極めて集約的な農業が特に多肥料、多農薬の体系で永らく展開されてきました。その結果、農業・農村で多くの環境問題が発生することとなりました。これは少しく土壌への思遣りや労りを忘れていたからではないでしょうか。今や、土壌の肥沃度とは何か、特に本会会員の皆様にはその一部を司る土壌の物理性とは何かを問い直さなければならない時と言えましょう。すなわち、持続的な生物生態系の環境要因としての視点から、物質の存在と移動およびそれらによる自らの変化をも規定する土壌の物理性の把握手法と内容を検討しなければならない時にあると言えましょう。今後、この点に関する投稿を大いに期待しております。

<編集委員長 河野英一(日大・生物資源科学部)>

土壌物理研究会

事務局構成	会 長	穴瀬 真 (東京農大)
	副 会 長	足立 忠司 (岡山大)
	会計幹事	平野 繁 (東京農大), 三原真智人 (東京農大)
	編集幹事	東城 清秀 (東京農工大), 中村 貴彦 (東京農大), 西村 拓 (東京大)
	庶務幹事	成岡 市 (東京農大)
編集委員会	委 員 長	河野 英一 (日本大)
	委 員	青木 正雄 (日本大), 安中 武幸 (農工研)
		加藤 誠 (東京農工大), 軽部重太郎 (茨城大)
		駒村 正治 (東京農大), 竹迫 紘 (明治大)
	平沢 正 (東都農工大)	

土壌の物理性 第73号 (会員配布) 1996年3月15日発行

発行 土 壌 物 理 研 究 会

〒156 東京都世田谷区桜丘1-1-1 東京農業大学農学部総合研究所内

電 話 03-5477-2540 FAX 03-5477-2634

振替口座 00150-2-17794

銀行口座 さくら銀行世田谷通支店 (店番号199)

口座番号 (普通預金) 6367846「土壌物理研究会代表 穴瀬真」

印 刷 創文印刷工業株式会社

〒116 東京都荒川区西尾久7-12-16

TRIME[®]-SYSTEM



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



(TRIME-FM携帯型水分計と各種プローブ)

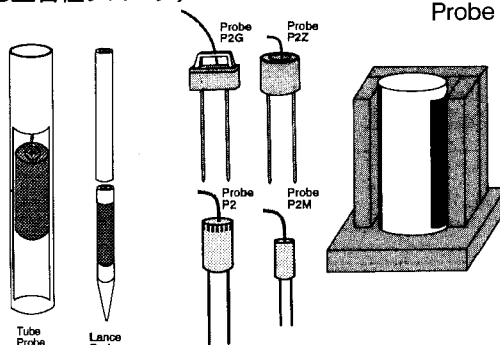
●特長

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

●使用分野

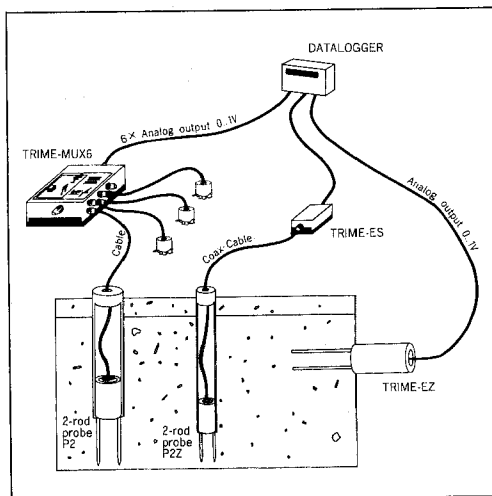
土壌、ケミカル物質、粉体、食料品、スラッジ、乳状液、穀物また、水による自然災害の常時モニター、予知、貯水池、ダム水門、造成地、廃棄物処理場等の構造物や土壌中の含水量のモニター、あるいは森林、水源地域や農業計画の一環としての含水測定、モニターなど

(P3型各種プローブ)



(標準P2型各種プローブ)

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



現場設置用アナログシステム構築例



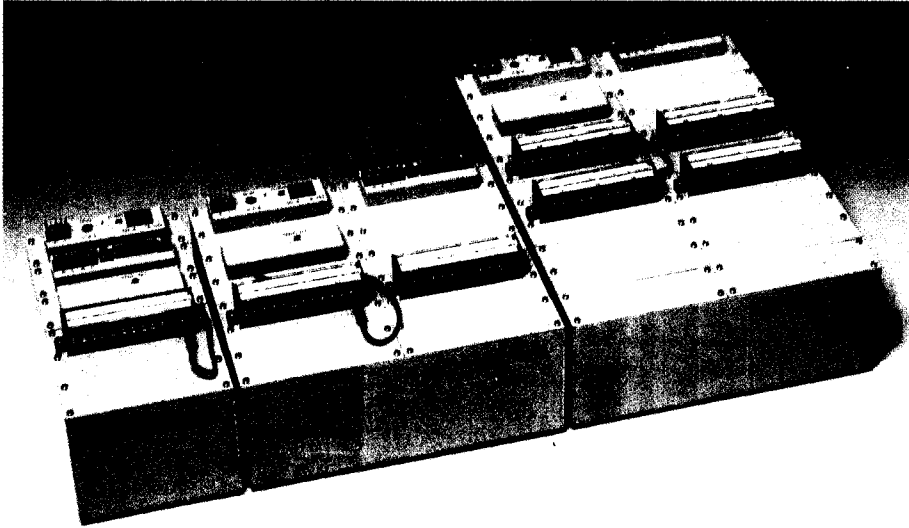
東北電子産業株式会社

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

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

多機能・多チャンネル データロガー

FreeSlot-68KDシリーズ



▶優れた拡張性

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

▶多様なセンサ出力に対応

電圧(8Vレンジ)・電流・温度・歪みが入力できます。標準でパル入力を入力を2ch装備しており、雨量計等のパルス出力タイプのセンサを接続することができます。

▶広い動作温度範囲

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

▶多様な測定インターバル機能

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

▶パソコンで簡単にデータ回収

付属の基本ソフトでデータ回収・データ表示・テキスト変換等ができます。(オプション追加でデータ処理ソフト「グレートアップ」可)

▶RS-232C通信機能

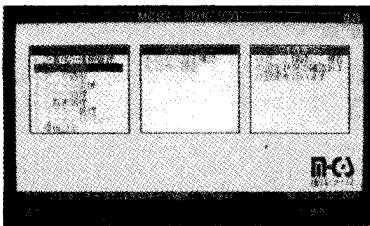
モデム(オプション)を使用し、NTT回線でパソコンと通信ができます。

▶3電源方式

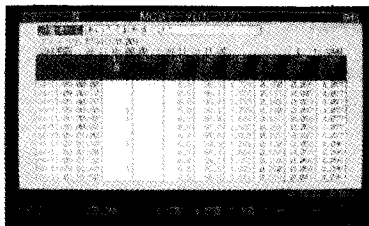
AC100V、外部電池(DC12~24V)、内蔵電池(オプション)で動作可能です。

FreeSlot-68kd 基本ソフト例

メニュー画面

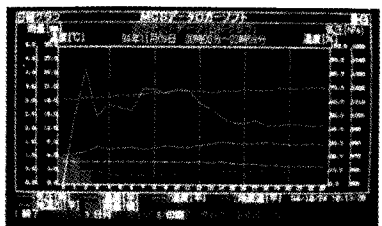


測定データ表示



FreeSlot-68KD オプションソフト例

グラフ表示(オプション)



製造・発売元

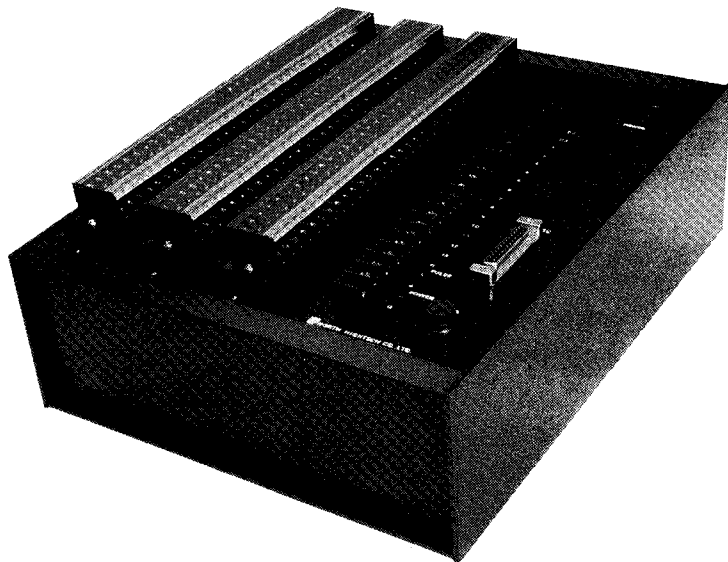


有限会社 エム・シー・エス

〒064 札幌市中央区南4条西10丁目1004番1
南4条ユニハウス

TEL 011-562-5547 FAX 011-563-2555

最も進んでいるパソコン時代のロガー「IDL-3200」



センサ対応がマルチ

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

センサ電源を供給

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

多チャンネル

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

12Vバッテリー動作

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

ネットワーク

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

マイナス温度に強いマシン

-25℃~45℃動作機器は標準 -40℃から動作機器も出荷します

ロガーの機能を高める演算機能

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

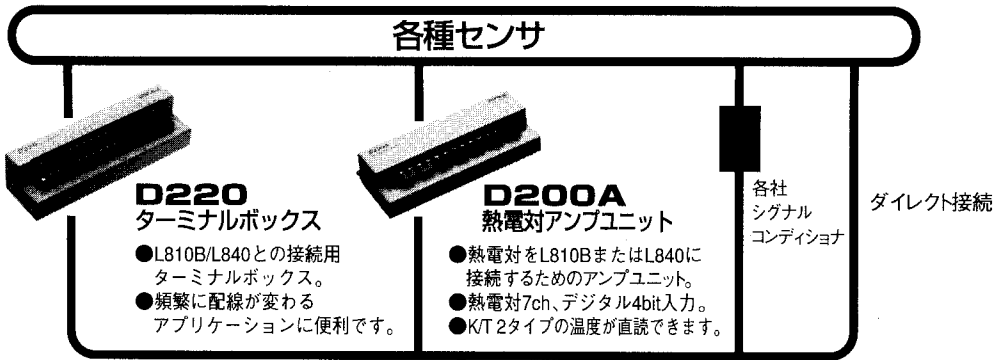


計測の未来をひらく

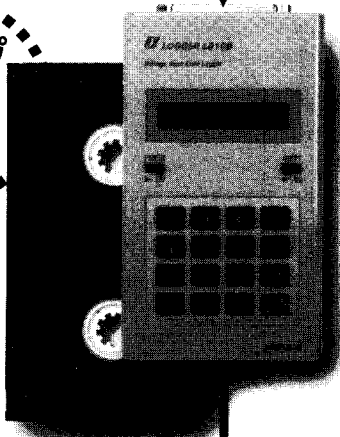
株式会社

ノース・ハイテック

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



ビデオテープ
サイズが
うれしい!



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

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

DATA LOGGER

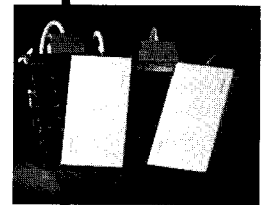
データロガーLシリーズ

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

RS-232C

メモ리카ード

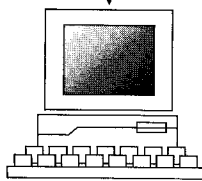
- L810B、L840で使用できます。
- JC128、JC256、JC512、JC1024、JC2048



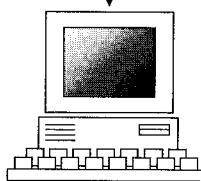
**RW98A
RWAT
RW98AN**

メモ리카ードドライバ

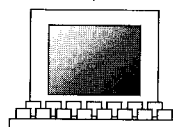
- PC9801シリーズ、PC/AT互換機、PC98noteシリーズ専用のメモ리카ードドライバです。
- メモ리카ードに記録したデータをパソコンに高速送信するのに最適です。



PC9800シリーズ



PC/AT互換機



PC98noteシリーズ

UNIPULSE

ユニパルス株式会社

※資料請求・お問い合わせは、本社宛お気軽にどうぞ
本社・工場 / 〒343 埼玉県越谷市千間台西2-7 TEL.0489-77-1235 FAX.0489-76-5200

営業所 / 東京・横浜・名古屋・大阪・広島・福岡

土壤をそのまま測定!!

NO₃⁻ 土壤用硝酸イオンメーター

NOS-120



pH 土壤挿入式 pH 計

PHS-120



EC 土壤用 EC メーター

PK-33



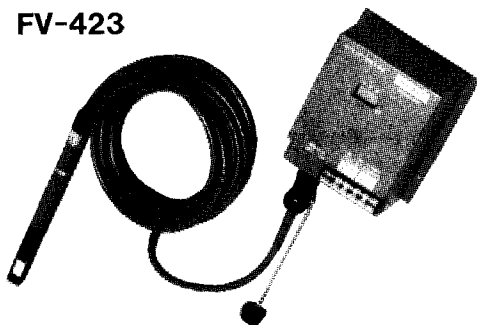
pF セラミックス土壤水分計

pF-33



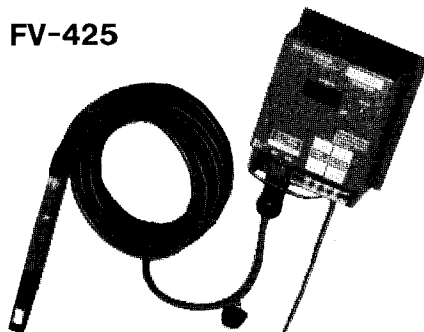
土壤 pF を連続測定及び自動灌水!!

FV-423



指示を見ながら出力(4~20mA)で
データとりも行える

FV-425



指示を見ながら設定 pF で灌水信号
を出せる(データ用に0~1V出力付)



株式会社 藤原製作所

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

「土壌の物理性」査読に関するお願い

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

1. 査読者

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

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

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

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

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

2. 報文について

(1) 査読者

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

(2) 査読後の取扱い

査読結果は次のように処理して、最終的に委員会で掲載の可否を決定する。

1) 担当したすべての査読者の判定が判定 A 「無条件適」の場合は、特別の異議がなければそのまま受理する。

2) 判定 B 「要修正再査読不要」の場合は、査読者の意

見を勘案し、委員会意見として著者に伝達し、加筆、訂正を要求する。原稿修正の確認は、査読者または編集委員会で行い、適切な修正が確認された時点で原稿を受理する。また、著者から反論があれば、他の査読者を依頼することもある。

3) 判定 C 「修正後再査読の要有り」の場合は、査読者の意見を勘案し、委員会意見として著者に伝達し、加筆、訂正を要求し、修正後に再度査読を行う。また、著者から反論があれば、他の査読者を依頼することもある。

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

(3) 掲載不適のもの事由

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

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

3. 資料、総説、土粒子、書評などについて

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

Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan

No. 73

March 1996

Contents

Forward	M. ANASE	1
Originals		
Changes in the Soil Properties of Terrace Paddy Fields with the Years after Abandoned	T. OTA, I. TANIYAMA, T. KUSABA, A. MORI and H. ARAYA	3
Effects to Vegetation Caused by Sudden Change of Groundwater Environment	T. TANIGAWA, K. YABE, Y. FUKUDA and T. EBI	11
Some Observations on Soil Water Properties of Soybeans Field in SHEANYANG Area	U.R. CHANG, U.B. KAKU, M. KATO and R. YASUTOMI	19
Freezing-Melting and Soil Erosion in Cold Region—Effect of Soil Structural Changes on Raindrop Erosion Processes—	M. MIHARA, E. NAKAGAWA, R. YASUTOMI, H. NARIOKA and M. ANASE	25
Analysis of Yield Increase in Paddy Rice by Compost Application—The Nutrient-Absorption Pattern and the Increase in Void Percent of Soil—	S. HIRANO and T. TANABE	31
Influence of Slope Gradient on Interrill Erosion of Shirasu Soil	K.L. ZHANG and K. HOSOYAMADA	37
Reviews		
Mechanism of Na ⁺ and Other Ions Uptake and Transport in Plant Root	S. HANAYAMA and M. NAKANO	45
Miscellanea		
Effects of Acid Solution on Soil Permeability and Salts Leaching	S. MATSUKAWA, H. TOMITA and T. SUZUKI	53
Readers Column		
Soil Physics in Japan	N. TORIDE	59
Book Review		63
Announcement		66
Editor's Comment	E. KOHNO	71

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