

土壌の物理性

第74号

1996年7月

巻頭言	渡辺 兼五	1
報文		
水質が土壌構造と透水性に与える影響(英文)	福村 一成・穴瀬 真・三原真智人	3
大山クロボク土壌の透水係数推定のための二つの土壌水分特性モデルの評価(英文)	ステフェン アベニ-ミクソン・三浦 健志・四方田 穆	17
シンポジウム「乾燥・半乾燥地——現場における土と水——」		
宇宙から見た中国東部の砂漠化	今川 俊明	29
ニジェール南西部、固定砂丘地帯における裸地の分布と土地条件	南雲不二男	39
在来農法における表土管理と土壌荒廃		
——西アフリカ・マリとインドでの事例から——	田中 樹	51
持続可能な農業農村を基礎とした砂漠化防止対策		
——西アフリカ・ニジェールでの実証調査——	西田 研・名和 規夫	59
クウェートの原油による土壌・地下水汚染と松本城山トンネルにおけるトレーサー試験について	井伊 博行	69
総合討論		79
土粒子		
電子手紙と仕事(研究活動?)	西村 拓	91
火星に生命体!?	溝口 勝	93
書評		
Soil Moisture Control in Arid to Semi-Arid Region for Agro-Forestry (穴瀬 真・安富六郎編)	取出 伸夫	94
環境土地利用論 Environmental Land Use Theory-A Global Approach (安富六郎著)	鈴木 創三	95
トピックス	溝口 勝	97
会務報告		99
編集後記		101

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日年額 | 15,000 円 |
| 購読会員 | 会誌年額 | 4,500 円 |
| 広告料 | 賛助会員 実費 | |
| | 賛助会員以外 実費の5割増 | |

- 第6条 本会に次の会員をおく。任期は2年とする。ただし、3期連続の重任は認めない。選出方法は別に定める。
- (1) 会長1名、副会長1名
正会員の中から評議員会によって選出される。
 - (2) 評議員
イ 15名、正会員の中から互選する。
ロ 3名以内、会長が委嘱する。
 - (3) 会計監査 2名
正会員の中から評議員会によって選出される。
 - (4) 幹事若干名
会長委嘱
- 第7条 会長は毎年1回以上総会並びに評議員会を招集する。
- 第8条 本会に次の委員会をおく。
- (1) 選挙管理委員会
正会員の中から評議員会によって選出され、本会の評議員選挙を管理する。
 - (2) 編集委員会
正会員の中から評議員会によって選出される委員によって構成され、会誌その他の印刷物の編集に当る。
- 第9条 本会の経費は会費その他の収入をもってあてる。本会の会計年度は毎年4月1日に始まり翌年3月31日に終わる。
- 第10条 本会の会務執行に必要な規定は別に定める。

(1995. 10. 3 改正)

「土壌の物理性」投稿規定

1. 投稿要領

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

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

付記：投稿は下記宛のこと
「土壌物理研究会編集幹事」

2. 原稿執筆要領

- 1) 原稿の執筆は、日本語原稿の場合、400字詰横書き原稿用紙を用いる。ワードプロセッサを使用する場合は、A4判で横25字、縦23行とし、上左右30mm、下端に50mmの余白をとる。英語原稿の場合は、A4判ダブルスペースで作成する。なお、最終原稿の本文をテキストファイルで提出する。
- 2) 原稿枚数は、図表を含めて刷り上がり6ページ以内とする（日本語原稿では、刷り上がり1ページは、2300字で、ワードプロセッサ使用の場合は4枚が1ページに相当する。英語原稿では、刷り上がり1ページは、4600字）。上記の印刷ページを越えるときには、1ページあたり9,000円を著者負担とする。ただし、編集委員長が依頼した論文・記事についてはこの限りではない。なお、カラー印刷の場合はいかなる場合でも実費を全額著者負担とする。

表題・著者名・キーワード

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

本文

- 6) 本文は、1. はじめに、2. 実験方法、3. 結果、4. 考察のように章に別けて見出しをつけ、必要に応じて、1), 2), 3) …と節に分け小見出しをつける。章・節の番号はアラビア数字を用いる。
- 7) 文体はひらがな漢字混じりの横書き口語体とし、できるだけわかりやすい表現にする。
- 8) 術語以外は常用漢字を用い、かなは現代かなづかいとする。
- 9) 句読点・括弧・ハイフンは普通1画を与える。数字・小数点・ローマ字は1画に2字をあてる。
- 10) 数字はアラビア数字を用い、漢数字は普通の字句にのみ用いる。
- 11) 外国人名は欧字とし、最初の文字のみ大文字とする。ただし中国人名などは漢字でよい。術語になっている外国人名は、カタカナ書きとする（例：ダルシー則、ストークスの法則）。
- 12) 外国地名はカタカナを原則とするが、必要に応じて欧字を用いる。中国等の地名は漢字でもよい。日本語の地名も周知されていないものは、ひらがなを併記する。
- 13) ゴシック、イタリック、ボールドの字体は鉛筆で指定する。ギリシャ文字、上付き、下付き文字、あるいは1(エル)と1(イチ)のようにまぎらわしい文字が混在するときにも、誤植防止のため鉛筆で指定する。
- 14) 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。また、著者からの希望があれば、英文の適正化を行う専門家にに関する情報を提供することができる。

要約

- 22) 日本語報文には300語以内の英文要約をつける。英語報文には400字以内の和文要約をつける。英文要約の英文適正化も英文原稿の取り扱いに準じる。
- 23) 英文要約の下に、5個以内のキーワードを記す。

図・表・写真

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

引用文献

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

(1996. 4. 3改定)

研究会からのお知らせ

評議員会・総会承認 (1996. 9. 30)

1. 年会費が1997年度(平成9年度、1997. 4. 1～)より値上げされます

一般会員： 5,500円 (現行 3,500円)

学生会員： 3,000円 (現行 2,000円)

講読会員： 7,000円 (現行 4,500円)

賛助会員： 22,500円 (現行 15,000円)

広告料は次のようになります

賛助会員 15,000円

非賛助会員 22,500円

2. 研究会誌は1997年度から一年に3回発行されます

これまで以上の投稿をお願いします

和文誌： 2冊

英文誌： 1冊

3. 研究会創立四十周年記念事業の準備が始まります

1958(昭和33)年3月16日に設立された本会は、1998年に創立四十周年を迎え、いくつかの事業を計画しています。お気づきのことがございましたら、研究会までご連絡いただきますようお願いいたします

4. 1997年度から新組織になります

新会長 岩間秀矩 (農業環境技術研究所土壌管理科長)

新副会長 河野英一 (日本大学生物資源科学部教授)

新評議員 本誌の会務報告に掲載しました

事務局 東京農業大学総合研究所(継続)

農業機械と土壌物理

渡 辺 兼 五

私が土壌物理研究会の会員に加えていただいたのは、昭和45年であったと記憶しているので、かれこれ25年の歳月が経過したことになる。

当時、東京農工大学の農業機械学研究室に赴任した私は、上司の先生方が「耕耘用農機具への土壌付着防止に関する研究」に取り組んでおられた関係で、金属材料に対する土壌付着のメカニズムの解明のお手伝いをする事になり、農業機械と土壌の物理性との接点とも言うべき分野に首を突っ込んだ次第である。

これは大変興味深いテーマであり、土に対する認識を新たにしたばかりではなく、難しい中にも何とかして解決の糸口を見いだすという研究に対する面白さを実感したことで、非常に有意義なものであった。

以来、土壌物理研究会とのつながりは、会誌である「土壌の物理性」に何度か研究論文を掲載していただく程度で、必ずしも真面目な会員とは言えないのであるが、最近多少とも気になっていることがあるので、ここにその一端を述べて、会員諸氏のご意見を賜ることが出来れば幸甚である。

それは、会誌「土壌の物理性」に掲載された報文のタイトルおよび著者について見る限りにおいては、農業土木に関連するもの、とくに土-水との関係に関するものが殆どであり、農業機械に関連するものは皆無に近いということである。本研究会発足当初には農業機械の関係者も多数参加しており、それなりの関連報文も数多く紙上を賑わしていたものである。然るに現状は、農業機械関係の論文数や会員数も非常に少なく、甚だ寂しい限りである。何故この様なことになったのであろうか。

元来、農業機械はその対象物である作物との関連を常に念頭に置きながら研究が進められて来たのであるが、本研究会の現状が、前述のように土-水との関係に主眼を置くあまりに作物（植物生理）から掛け離れたものになっているとすれば、農業機械関係者の会員離れも致し方ないものと思われる。作物の生産環境としての土であり、水であるということを忘れてはならないのである。

しかし、幸いなことに最近の本研究会の動向を見ると、作物学を専門とする会員が増加する傾向にあり、農業機械関係者の会員離れにも歯止めが掛かることが期待される場所である。

そこで、本研究会の今後の方向として、今まで以上に土-水-作物との相互関係に主眼を置くようにシフトしてはどうであろうか。シンポジウムのテーマなどにも積極的に取り込んでいただきたい。そうなれば、農業機械の関係者も大手を振って参集できるのではないだろうか。

いささか抵抗のある向きも有ろうかとは思いますが、本研究会が活性化し、離散した農業機械関係会員の興味を呼び起こすことが、延いては会員数の増大につながる事になればと念願する次第である。

Effects of Water Quality on Soil Structure and Permeability

Kazunari FUKUMURA*, Makoto ANASE**, and Machito MIHARA**

* University of Arizona, Agriculture and Biosystems Engineering

Dept. Tucson, Arizona

**Tokyo University of Agriculture

Abstract

Uncertainty involved in estimating water quality effects on soil permeability is an obstacle in appraising water quality for irrigation. This study examined salinity, sodicity and turbidity effects on hydraulic conductivity (HC) of three Torrifluvents; Gila silt loam, Saneli clay loam and Glendale silty clay. HC was measured in laboratory columns containing initially dry aggregates (<2mm) at two bulk densities using ten saline solutions (electrical conductivity, EC of 0.4 to 4.8 dSm⁻¹, and sodium adsorption ratio, SAR of 0 to 20) with and without soil suspension. Hydraulic gradients, suspended solid concentrations of outflow, and aggregate size distributions were also measured. HC decreased at SAR less than 5 in all the tested soils, and the reduction followed an exponential form involving SAR/EC. Gila and Saneli soils developed surface seal, while Glendale silty clay that has shown swelling did not. The introduction of soil suspension into the saline solutions at a rate to form a depositional layer of less than 3mm thick caused 4 to 7-fold reduction in HC of Gila and Saneli soils, but did not accentuate water quality effects on HC. The depositional layer did not reduce HC of Glendale soil. Increasing sodicity and/or reducing salinity of saline solutions increased destruction of soil aggregates having a peak diameter of 0.18 mm, and HC was quantitatively related to the reduction in soil aggregates. Water intake into newly plowed and thoroughly disked soils may decrease at much lower SAR than commonly recognized, partly because of destruction of weak soil aggregates. The extent of reduction depends strongly on soil types. This results suggests that the soil permeability management requires the consideration of both soil properties and water quality.

Key words : Water Quality, Permeability, Salinity, Soil Column Experiment

1. Introduction

Salt leaching is an important management practice for irrigated agriculture in arid region. The available water for leaching is also limited and contains various dissolved salts in it. Effective use of the water for leaching demands the knowledge of soil permeability when those water is applied.

Quality of water used for irrigation, especially salinity and sodicity, affects soil structure and permeability. This phenomenon was identified as early as the turn of this century

(e.g., Scofield and Headley, 1921), but the mechanisms involved are still being studied. Identified mechanisms include clay swelling (McNeal *et al.*, 1966), clay particle dispersion and subsequent pore plugging (Frenkel *et al.*, 1978), destruction of soil aggregates (Abu-Sharar *et al.*, 1987), combination of the above mechanisms (Koga K, 1989) and soil crust formation (Shainberg and Singer, 1986). The quantitative description of salinity and sodicity effects on soil hydraulic conductivity and water intake rates has also been attempted (McNeal, 1968; Oster and Schroer, 1978; Cass

and Sumner, 1982; Minhas and Sharma, 1986). Also, there is an attempt to explain the soil pore clogging by the rheological behavior of percolating suspension flow. (Mihara and Yasutomi, 1992).

Many of these equations were developed based on laboratory hydraulic conductivity measurements, and their applicability to different soils and field situations have not been fully tested. This uncertainty needs to be resolved before improved assessment of irrigation water quality can be made.

This study was conducted mainly to obtain quantitative information on salinity, sodicity and turbidity effects on permeability of Torrifluvents (the soils developed from alluvial sediments). The identification of the main mechanism or processes involved was also included as a subobjective. In studying those objectives, special attention was placed on the prevailing characteristics of surface-irrigated soils; slaking of aggregates and the effect of depositional crusts. The interactive effect of soil cracks and water quality on permeability is beyond the scope of this study.

2. Materials and Methods

Three Torrifluvents; Gila silty loam, Saneli clay loam and Glendale silty clay, which widely found in southwestern US, were used for this study. Glendale silty clay is noted for low permeability. Clay minerals of these soils are mixtures of montmorillonite, vermiculite and mica. All the samples came from the sur-

face 0.15 m of the A-horizon in the fields irrigated with water from the Rio Grande river, which has electrical conductivity (EC) of 1.1 dSm^{-1} and the sodium adsorption ratio (SAR) of 3.5. The soil samples were air-dried, crushed, and passed through a 2mm opening sieve. Subsamples were analyzed for selected properties (Table 1) by the methods of the US Salinity Laboratory (Salinity Lab Staff 1954).

Eleven saline solutions were prepared by adding salts to deionized water (Table 2). Solution 1 contained CaCl_2 only, and was used as a reference. Salinities of solutions 2 through 8 are comparable to that of irrigation waters used in the Southwestern USA. Sodicities of those solutions are generally higher than that of most irrigation waters, although it is not out of the range. Solutions 9 and 10 were prepared to evaluate bicarbonate effects. Solution 11 was used to initialize the soil column to avoid the effects of previous irrigation at different sampling locations.

1) Soil Column Experiments

Two separate column experiments were conducted in a laboratory at $23 \pm 2^\circ\text{C}$. In the first experiment, hydraulic conductivity was measured under ponding with the above saline solutions. Ninety two grams of Glendale, 120 g of Saneli and 155 g of Gila soils were placed in permeameters (54 mm ID) 30, 38 and 50 mm deep at the bulk density of $1.34, 1.38, \text{ and } 1.35 \text{ Mg/m}^3$, respectively, and were leached with 2.2 L (equivalent to 40 to 65 pore volumes) of solution 11. The 50 permeameters were regrouped into 10

Table 1 Some properties of three Torrifluvents used for the experiments

Soil type	Classification	Saturation extract analysis						Cation exchange capacity	Soil CaCO_3	Sat. water content
		pH	EC	SAR	Na	Ca	Mg			
		dsm^{-1}	mmol (+) L^{-1}			mmol (+) kg^{-1}	g kg^{-1}	%		
Gila silt loam	Mixed, thermic Typic Torrifluvent	8.3	1.9	5.1	10.4	6.1	2.2	139	66	32
Saneli clay loam	Montmorillonitic, thermic Vertic Torrifluvent	8.2	1.9	5.8	12.2	6.5	2.3	165	61	38
Glendale silty clay	Mixed, thermic Typic Torrifluvent	8.3	2.2	8.9	16.5	5.0	1.8	274	98	60

Table 2 The composition of saline solutions used for the experiments

Treatment	EC	TDC ¹⁾	SAR	SAR _s ¹⁾	Na	Ca	Mg	HCO ₃	Cl
No.	dsm ⁻¹	mmol (+) L ⁻¹			mmol (+) L ⁻¹			mmol (-) L ⁻¹	
1	4.8	40.0	0	0.0	0.0	40.0	0.0	0.0	40.0
2	0.37	2.5	5	1.8	2.14	0.24	0.12	0.0	2.5
3	0.69	5.0	5	2.9	3.83	0.78	0.39	0.0	5.0
4	0.71	5.0	15	4.1	4.80	0.13	0.07	0.0	5.0
5	1.2	10.0	10	6.1	8.60	0.93	0.47	0.0	10.0
6	1.3	10.0	20	7.7	9.55	0.30	0.15	0.0	10.0
7	2.5	20.0	15	10.8	17.33	1.78	0.98	0.0	20.0
8	4.8	40.0	20	16.9	34.17	3.88	1.95	0.0	40.0
9	0.65	5.0	5	3.3	3.83	0.78	0.39	1.17	3.83
10	0.62	5.0	5	3.8	3.83	0.78	0.39	2.34	2.66
11	13.2	120.0	1	1.0	8.00	75.00	37.00	0.00	120.00

¹⁾ EC : electrical conductivity at 25°C, TDC : Total dissolved cation or anion. SARs : sodium adsorption ratio of soil solution estimated by a computer model of Miyamoto *et al.*, (1975).

groups, based on the flow rate of solution 11, to form randomized complete block design. The average flow rate of each group has statistically same value. (Table 3, shown as an initial value). Hydraulic conductivity (HC) was monitored under a constant head difference of 200 mm, until the readings approached constant values after the passage of 50 to 240 pore volumes (PV, 1PV = soil vol. x porosity) for a period of 3 days in Gila, Saneli, and 15 days in Glendale soils. Thereafter, soil suspensions (of which preparation is given in the next paragraph) was introduced to the saline solutions, and hydraulic conductivity was determined with a falling head method. As soon as the sediment containing saline solutions had infiltrated, the falling-head conductivity measurement was repeated with 150 mm of deionized water, then again with the saline solutions. The entire drainage from each column was collected to analyze the electrical conductivity (EC), and the concentration of suspended solids by a filtration method.

The soil suspension introduced to the ponded saline solutions was prepared by adding 10 g of the soils (pretreated with saline solution 11, then with each of the 10 solutions) to 50 mL of each solution, then by shaking them with a wrist-action shaker for 30 min.

Ten grams of the soils make up a soil layer of approximately 3 mm in the permeameter columns or 6 to 12 g of clay content per L of the saline solutions.

The second laboratory experiment was to determine the depth of the maximum resistance to water flow through soil columns. The soil samples were packed into PVC (polyvinyl chloride) pipes (30 mm ID) to a depth of 300 mm at the same bulk density as used in the first experiment. Piezometers were inserted at 10, 20, 30, 50, 100, and 150 mm deep. Selected saline solutions (1, 3 and 6 of Table 2) to represent the range of HC change characteristics observed in the first experiment, then deionized water were applied following pretreatment with solution 11 in the same amount per cross-sectional area as those of the first experiment, and flow rates and hydraulic heads were monitored under a constant ponding depth of 145 mm. This experiment was conducted in 3 replicates for each soil.

The analysis of variance was performed by the methods described in Little and Hills (1975); a randomized block design for evaluating water quality effects on HC of each soil tested; and a split-block design analysis for evaluating the hydraulic gradient distributions over depths.

Table 3 Hydraulic conductivity (HC) of uncompacted three Torrifuvents following application of various saline solutions

soil	Saline solution		Saline suspension		Distilled water	
Sol. #	HC	%	HC	%	HC	%
	mm/hr		mm/hr		mm/hr	
Gila (Initial 19.5 mm/hr)						
1	35 a	100	15.2 a	100	7.9 a	100
2	20 de	57	2.3 d	15	2.5 c	32
3	25 c	71	3.6 d	24	2.8 bc	35
4	18 ef	51	3.5 d	23	3.0 bc	38
5	25 c	71	7.4 bc	49	3.2 bc	41
6	17 f	49	4.9 cd	32	3.0 bc	38
7	25 c	71	3.6 d	24	2.5 c	32
8	31 b	88	9.8 b	65	0.7 d	9
9	21 d	60	3.7 d	24	3.2 bc	40
10	18 ef	51	5.0 cd	33	3.8 b	48
Saneli (Initial 17.5 mm/hr)						
1	32 a	100	5.7 a	100	5.0 a	100
2	15 d	47	3.6 b	63	2.3 b	46
3	17 c	53	3.0 cde	53	1.5 c	30
4	9.5 f	30	2.7 f	47	1.4 c	28
5	14 d	44	2.9 def	51	1.1 cd	22
6	9.1 f	28	2.5 f	44	0.8 de	16
7	18 c	56	3.2 bcd	56	0.4 ef	8
8	22 b	60	3.4 bc	60	0.07 f	2
9	12 e	36	2.8 def	49	1.6 c	32
10	10 f	31	2.8 def	49	2.1 b	42
Glendale (Initial 2.4 mm/hr)						
1	1.90 a	100	1.46 a	100	0.73 a	100
2	0.31 de	16	0.27 de	18	0.22 bcd	30
3	0.45 c	24	0.45 c	31	0.26 b	36
4	0.26 de	14	0.25 de	17	0.19 d	26
5	0.35 cd	18	0.32 cd	22	0.19 d	26
6	0.18 e	9	0.17 e	12	0.12 e	16
7	0.71 b	37	0.67 b	46	0.14 e	19
8	0.64 b	34	0.61 b	42	0.04 f	6
9	0.33 cd	17	0.32 cd	22	0.25 bc	34
10	0.26 de	14	0.32 cd	22	0.21 cd	29
Gila						
F	39**	—	20**	—	23**	—
LSD. 05	2.7	—	2.5	—	1.1	—
Saneli						
F	270**	—	37**	—	98**	—
LSD. 05	1.2	—	0.43	—	0.48	—
Glendale						
F	150**	—	91**	—	110**	—
LSD. 05	0.13	—	0.13	—	0.05	—

¹⁾ The numbers followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by the Duncan's Multiple Range Test in each soil and each column. The listed LSD is for comparison between different treatments at the 5% level for a randomized block design.

²⁾ ** F values significant at the 1 and 5% levels, respectively.

The relationship between hydraulic conductivity and salinity or sodicity was fitted after several trials to the following equation :

$$\frac{HC}{HC_0} = \text{EXP} \left(a - b \frac{SAR_s}{EC} \right) \quad (1)$$

and when deionized water was used,

$$\frac{HC}{HC_0} = 1 - a (SAR_s)^b \quad (2)$$

where HC is the hydraulic conductivity of a saline solution, HC_0 the reference conductivity, such as those obtained with $CaCl_2$ solutions, EC the electrical conductivity of saline solutions, and SARs the sodium adsorption ratio of soil solutions estimated by a computer model of Miyamoto *et al.* (1975). The computed SARs is corrected for $CaCO_3$ dissolution and, when present, sulfate ion pairs.

2) Soil Aggregate Analysis

Air-dry samples of Gila, Saneli, and Glendale soil (75, 75 and 50 g each, respectively) were leached with solution 11, then with solution 1, 3, or 6, using the solution to soil ratios comparable to those used in the first experiment. The half of leached soil samples were transferred to 1 L cylinders containing each of the saline solutions, and the rest of sample to the cylinders containing deionized water. They were analyzed for apparent particle size distribution using the hydrometer method (Day, 1975). A set of original soil samples was also analyzed after a dispersion treatment with H_2O_2 and calgon (Day, 1975). All the measurements were made in triplicate. The percentage of aggregated particles (AGP) was estimated as

$$AGP = \frac{P(\text{Dispersed}) - P(\text{Apparent})}{P(\text{Dispersed})} \times 100$$

(3)

where P stands for the cumulative frequency of particle size distribution with or without the dispersion treatment. The measurements were made in triplicate, and the analysis of variance performed for a randomized block design. The percent of aggregated particles less than 0.01 mm was then correlated to the relative hydraulic conductivity using a linear

regression.

3. Results

1) Hydraulic Conductivity

Hydraulic conductivity (HC) of Gila, Saneli and Glendale soils is plotted as a function of the cumulative depth of the passed solutions in Fig. 1. The data points shown are the arithmetic mean of the five replicates, and the coefficient of variability (CV) averaged 7%. HC after application of solution 11 (shown as an initial value in Table 3) increased over a time, except for Gila soil. The introduction of solution 1 (marked by the arrow numbered 1 in Fig. 1) caused further increases in HC in Gila and Saneli soils. Application of all other saline solutions caused substantial reduction in HC as illustrated by the data from solutions 3 and 6 in Fig. 1. The reduction was especially rapid and large in Glendale silty clay.

The saline solution treatments had highly significant effects on HC in all soils (Table 3). Increasing concentration of HCO_3 (solutions 9 and 10 as compared to solution 3) resulted in small, but a significant reduction in HC. Hydraulic conductivity normalized by the conductivity using a 0.04 N $CaCl_2$ solution (solution 1 of Table 2), hereafter referred to as relative hydraulic conductivity (RHC), was lowest in silty clay, and highest in silty loam. This trend was also observed when the HC obtained at the onset of the experiments (referred to as the initial conductivity in Table 3) was used as a reference to compute RHC.

Introduction of soil suspension into solution 1 (marked by arrows 2 in Fig. 1) reduced the HC to 57, 82 and 23% for Gila, Saneli, and Glendale soils, whereas in other solutions HC reduced to average of 77, 79 and 3%, respectively. Application of deionized water following solution 1 (marked by arrow 3) caused a reduction of 48, 12 and 50% in HC (Table 3) in Gila, Saneli and Glendale, respectively, whereas application following other saline solutions caused respective reductions of 45, 57, and 52%. The largest reduction in HC occurred in the soils previously

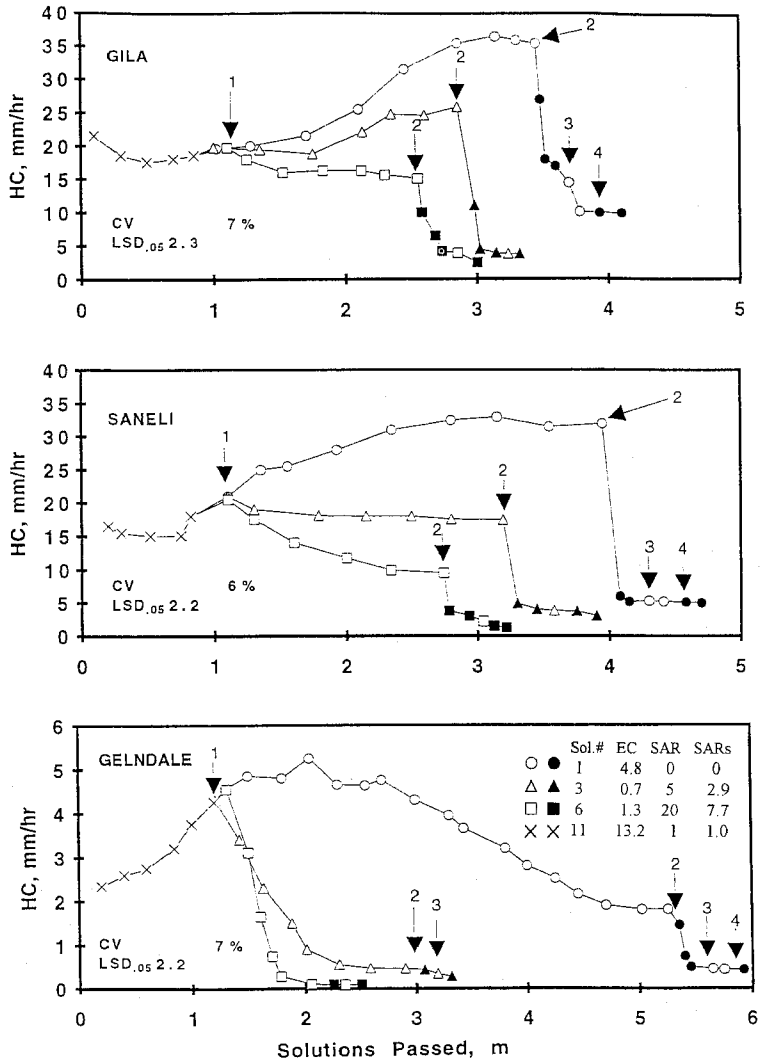


Fig. 1 Hydraulic conductivity (HC) of three Torrfluents measured with three solutions (1, 3, and 6); the first arrow indicates the introduction of saline treatment solutions, the second arrow the introduction of soil suspension, the third the conversion to deionized water, and the fourth the reintroduction of saline water.

treated with the solution 8 having high SAR and EC. The reintroduction of saline solutions after distilled water did not substantially change HC.

The relationship between RHC of soils and SARs/EC conformed to Eq.(1) with the standard error of estimates less than 0.05 in HC/HCo (Fig. 2 A and Table 4). However, the intercept did not converge to unity. The application of

soil suspension caused the coefficient of regression to decline and some became insignificant at the 5% level (Table 4). The empirical coefficient *b* also declined with application of soil suspension indicating that RHC became less dependent upon a ratio of SARs to EC. The conversion to deionized water increased the dependence of RHC on SARs, and the relationship conformed to Eq.(2). (Fig. 2 B and Table

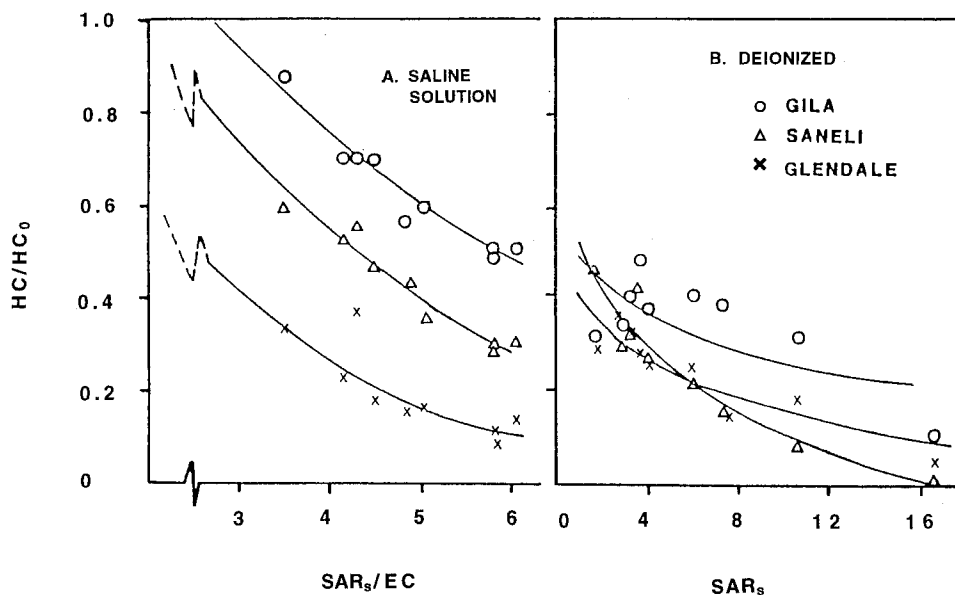


Fig. 2 Hydraulic conductivity (HC) of three Torrfluvents normalized by that of 0.04 N CaCl₂ solution (HC₀) as related to SAR_s/EC, (Fig. 2A), and HC normalized by that of deionized water (Fig. 2B) following 0.04 N CaCl₂ solution application as related to SAR_s, the sodium adsorption ratio of percolating solutions. Refer to Table 4 for regression analyses.

4)

2) Hydraulic Gradient Distribution

The hydraulic gradient measured upon completion of pretreatment with saline solution 11 (shown by the long dashed lines in Fig. 3) was fairly uniform throughout the depth in Gila and Saneli soils. The average gradient was about 1.4, a theoretical overall gradient of the flow system employed. In Glendale soil, the gradient near the soil surface was initially close to unity, then decreased with increasing amounts of saline solution application. The gradient at the time of completing pretreatment was greater with depth as illustrated in Fig. 3.

After the application of solutions 1, 3 and 6, the gradient increased rapidly at the soil surface in Gila and Saneli soils, and peaked right at the soil surface (solid lines in Fig. 3). Application of deionized water further accentuated the development of high gradients at the soil surface. The water level in piezometer disappeared except the one close to the surface,

which shows the hydraulic head below the surface became negative. The hydraulic gradient distribution in Glendale soil remained higher at deeper depths from the inception of solution application through the 1.0 to 1.3 m equivalent depth of solution applied. Thereafter, the gradient distribution pattern has gradually shifted toward having higher values at the soil surface.

3) Suspended Solids and Aggregate Size Distribution

The outflow from the soil columns used for hydraulic conductivity measurements with saline solutions was free from suspension. Application of deionized water caused the suspended solids to appear in the outflow from Gila and Saneli soils which were previously leached with solutions having SARs greater than about 5 (Fig. 4). At the highest SARs (16.9), the outflow from the columns was muddy (48 and 36 mg/L in Gila and Saneli soil, Fig. 4). The suspended solids in the outflow from Glendale soil were, however, minimal.

Table 4 Empirical coefficients and statistical parameters for the relationship between relative hydraulic conductivity (HC/H_{C_0}) and the sodium adsorption ratio of percolating solutions (SARs) or its ratio to the electrical conductivity (EC). Hydraulic conductivity of 0.04N $CaCl_2$ solution or distilled water following 0.04N $CaCl_2$ application is taken as a reference value.

SALINE SOLUTIONS ; $HC/H_{C_0} = \text{Exp} [a - b (\text{SARs}/\text{EC})]$			
	Gila	Saneli	Glendale
a	0.63	0.66	0.59
e intercept H/H_0	1.87	1.94	1.80
b	0.22	0.32	0.47
r coeff. of correlation	-0.99**	-0.95**	-0.87**
SE standard error	0.023	0.042	0.055
SALINE SUSPENSIONS ; the equation same as above			
a	-0.34	-0.095	0.48
e intercept H/H_0	0.71	0.91	1.61
b	0.18	0.19	0.39
r coeff. of correlation	-0.36	-0.71	-0.79*
SE standard error	0.15	0.05	0.10
DISTILLED WATER ; $HC/H_{C_0} = 1 - a (\text{SARs})^b$			
a	0.53	0.48	0.58
b	0.12	0.27	0.16
r coeff. of correlation	0.54	0.93**	0.89**
SE standard error	0.02	0.051	0.043

*** Significant at the 1 and 5% levels.

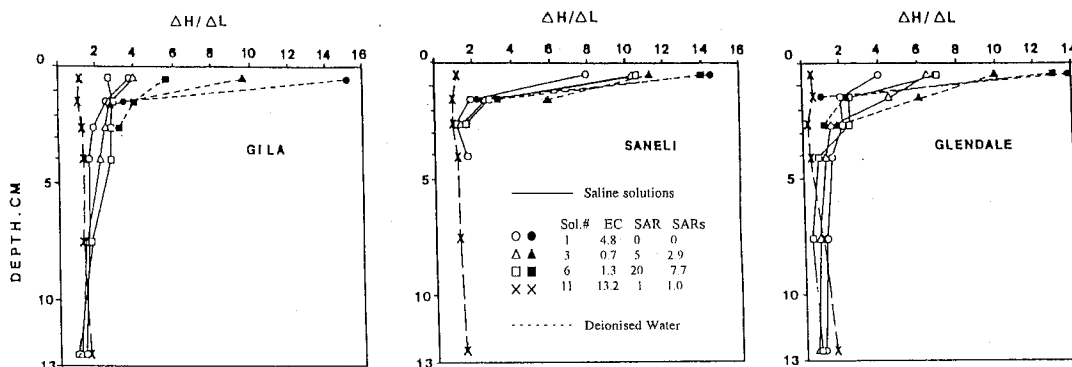


Fig. 3 Hydraulic gradient distribution in soil column leached with high saline solution (X symbol with long dash lines), after application of three different saline solution (open symbols) and deionized water (dotted lines with closed symbols).

The EC of the outflow from the above soil columns was higher by 0.15 to 0.2 dSm^{-1} than those of the inflow. The EC of the outflow when deionized water was used in excess of several pore volumes was also in the same

range, 0.15 to 0.2 dSm^{-1} .

Results of the particle size analysis indicated that silt and clay particles remained mostly aggregated after the treatments with various saline solutions (the cumulative frequency

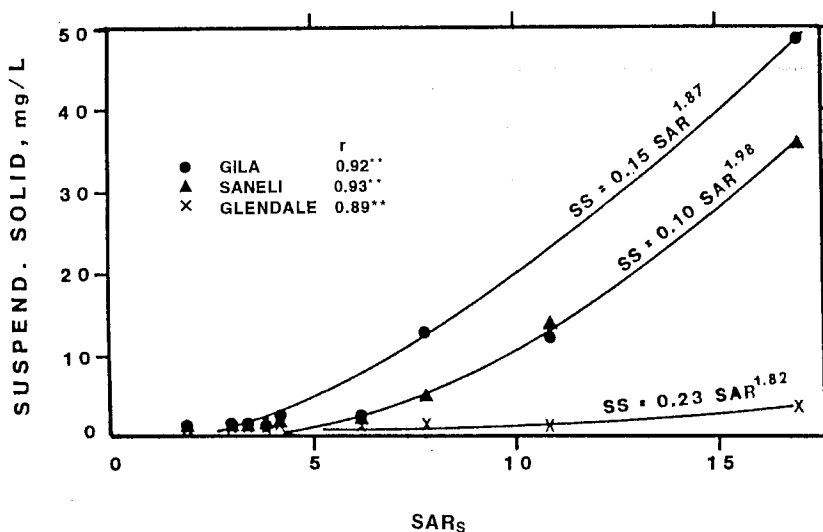


Fig. 4 The concentration of suspended solids in the outflow from soil columns previously treated with saline solutions having various sodium adsorption ratios then leached with deionized water.

curves of Fig. 5). The size distribution in solution 11 was similar to that in solution 1 and the data from solution 3 are not shown in Fig. 5 for simplicity. The aggregated percentage of particles less than 0.002 mm (clay fraction), estimated by Eq(3) using the data shown in the upper cases of Fig. 5, ranged from 72 to 85%, independently of the saline treatments. The percent of aggregated silt and clay particles (< 0.05 mm) ranged from 25 to 50%, irrespective of the saline treatments. The highly significant effects of water quality on the percentage aggregation occurred in size fraction less than 0.01 mm (Table 5).

The differential form of size distribution (the lower cases of Fig. 5) indicates that "apparent" particle size in solution 1 (and solution 11) centered around about 0.018 mm in all the tested soils. This size peak has shifted to about 0.008 mm in solution 6. In all other cases, the size distribution curves shifted toward the pattern observed in the dispersed samples. This shifting occurred even in solution 1 having SAR of zero through reducing electrolyte concentration by dilution with deionized water.

4) Relationship between aggregation and hydraulic conductivity

A highly significant correlation was obtained between the percentage of aggregated particles less than 0.01 mm and the relative hydraulic conductivity (Fig. 6). The plots are inclusive of three experimental soils. The data from soil suspension and deionized water application after the suspension application were excluded, because these data included the effect of depositional layer on HC. The relative hydraulic conductivity decreased as the percentage of aggregates less than 0.01 mm decreased. No significant correlation was obtained from the other size fractions.

4. Discussion

Breakdown of soil clods and aggregates and formation of depositional crusts are common features of surface-irrigated soils. Simulating these features in laboratory columns is a difficult task, but the conditions of the present experiment were meant to simulate the steady water flow through the soils plowed and thoroughly disked.

Results of the first column study suggests

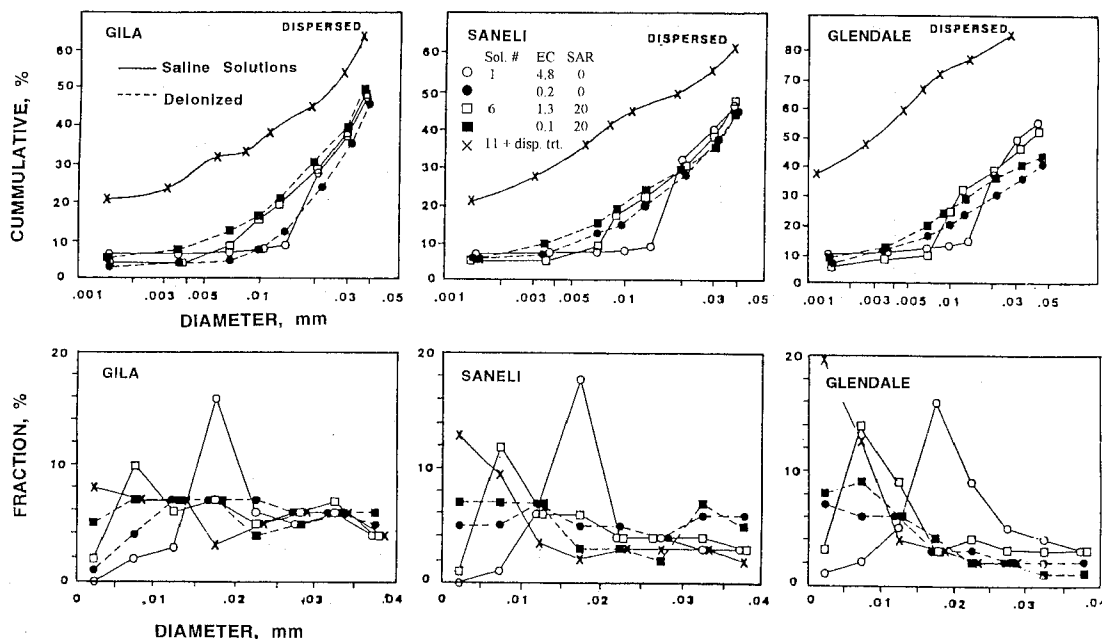


Fig. 5 The particle size distribution of three Torrfluvents measured after H_2O_2 -Calgon dispersion treatment (dispersed), with saline solutions 11, 1 and 6 (solid lines), then with deionized water (dashed lines). The upper figures are for cumulative and the lower figures the differential distribution.

that the steady intake rate into such soils is likely to be reduced at lower sodicity than previously believed, such as, FAO sodicity hazard criterion states the $SAR=5$ cause no significant reduction of soil permeability. In fact, hydraulic conductivity (HC) of these soils declined as much as half at SAR of zero by reducing salinity from 4.8 to 0.2 dSm^{-1} (Table 3). At SAR of 5 in water (or SAR 1.8 to 2.9 in soil solution), the reduction in HC ranged from 50 to 80% at EC of 0.37 to 0.69 dSm^{-1} . These findings are contrary to most earlier reports where a significant reduction in HC was observed only at considerably higher SAR in water, e.g., 10 to 15 (e.g., McNeal *et al.*, 1966; Frenkel *et al.*, 1978; Felhendler *et al.*, 1974). Our data are in agreement with the later work conducted by Abu-Sharar *et al.* (1987) using three California soils; Haplic Durixeralfs, Typic Haploxeralfs and Mollic Durixeralfs. HC in our study also declined when high saline solutions, e.g., solution 8 having EC of 4.8

dSm^{-1} were used. This finding also contradicts earlier observations that high salinity can adequately counteract the adverse effect of sodicity.

The reason for this sharp reduction in HC at low SAR is probably related to aggregate destruction as postulated earlier by Abu-Sharar *et al.* (1987), and supported by the highly significant correlation between aggregate stability and water quality (Table 5) and between HC and aggregate stability (Fig. 6). However, this interpretation can not explain why HC of Glendale soil but not of Gila or Saneli soil declined so abruptly following application of solutions 3 and 6 (Fig. 1). Neither does it explain why HC has actually increased in some cases with increasing application of saline solutions such as shown in Fig. 1. These points are discussed below.

The hydraulic gradient data (in Fig. 3) indicate that the soil surface became a flow-limiting layer with increasing application of the

Table 5 The percentage of the specified size fractions that are estimated to be aggregated by Eq (3)

Soils Soln	Saline solutions			Deionized water		
	< .002	< .01	< .04 mm	< .002	< .01	< .04 mm
%						
GILA						
12	76 b ¹⁾	79 a	24 a	—	—	—
1	76 b	74 a	21 a	78 a	71 a	24 a
3	79 a	67 b	23 a	76 a	56 b	22 a
6	78 ab	53 c	19 a	76 a	47 c	23 a
SANELI						
12	78 a	86 a	23 a	—	—	—
1	72 b	81 b	22 a	78 a	61 a	23 a
3	73 b	65 c	25 a	74 a	59 a	25 a
6	73 b	57 d	23 a	74 a	48 b	23 a
GLENDALE						
12	86 a	90 a	41 a	—	—	—
1	80 b	82 b	37 a	82 a	72 a	54 a
3	81 b	72 c	38 a	81 a	62 b	48 b
6	83 ab	64 d	38 a	80 a	65 b	49 b
Gila						
F	3.0	34 ²⁾ **	.48	1.5	106**	1.8
LSD.05	2.7	6.5	10.8	4.7	4.4	4.4
Saneli						
F	4.1	212**	.52	2.7	16**	0.19
LSD.05	3.3	3.1	9.5	7.3	5.6	6.7
Glendale						
F	5.0*	45**	.84	0.03	9.6*	5.1
LSD.05	3.6	5.0	8.6	3.8	3.5	5.2

¹⁾ Numbers followed by the same letter are not significantly different at the 5% level within the same soil and column.

²⁾*** Significant at the 1 and 5% levels.

saline solutions, especially in Gila and Saneli soils. Soil aggregates were probably destroyed preferentially at and near the soil surface, since aggregates there are exposed to the maximum hydraulic pressure as well as unavoidable disturbance during solution application. The hydraulic pressure below the surface decreased with the development of surface seal in Gila and Saneli soils. This low pressure might have permitted the shrinkage of Gila and Saneli below the soil surface, leading to some boundary flow along permeameter walls. The initial increase in HC observed with solution 11 may also have been caused by soil

shrinkage induced by the high electrolyte concentration of the solution and subsequent development of boundary flow. The removal of entrapped air is another possibility.

The hydraulic gradient measured in Glendale soil during the pretreatment period increased with depth. This soil was high in clay content, and vertically expanded its volume upon solution application. The vertical expansion of the soil may have lowered the bulk density and the hydraulic gradient near the soil surface, and probably have contributed to the increased flow rate during the pretreatment period. The rapid reduction in HC fol-

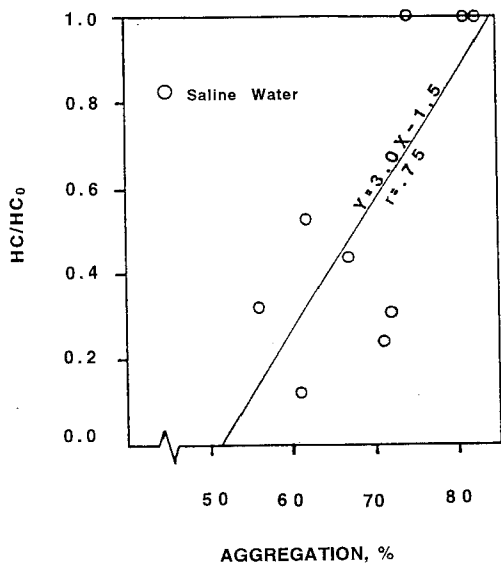


Fig. 6 The relationship between the relative hydraulic conductivity (HC/HC_0) and the aggregated fraction of particles less than 0.01 mm in three Torrifuvents.

lowing application of solutions 3 and 6 (Fig. 1) has occurred when the hydraulic gradient was fairly uniform throughout the depth. The surface-seal which is caused by the introduction of soil suspension was not the cause of flow reduction in Glendale soils, but aggregate destruction was. Slaking of soil aggregates, which causes the loss of large pores once existed among aggregates, would bring about a rapid reduction in flow, especially which occurs throughout the flow path length of clayey soils. The swelling of clay particles is probably not involved in this process, because it does not usually occur unless the exchangeable Na percentage (which would be approximately equal to SARs) exceeds about 15 (e.g., McNeal *et al.*, 1966), which is larger than the present cases, except for solution 8.

Surface irrigation methods usually causes soil erosion, especially at a point of water check-in, and increases the concentration of suspended solids in water. As the sediment laden water infiltrates, a thin depositional layer is formed at soil surface, typically 1 to 3 mm

thick. This depositional layer, in spite of its limited thickness, is known to substantially reduce HC (e.g., Shainberg and Singer, 1986). The present study shows that this assessment is correct in silt loam and clay loam, but not in silty clay, coinciding with the earlier discussion on the flow limiting process. The surface seal was the dominant process in Gila and Saneli soils, but not in Glendale soil. The large reduction in HC occurred after sediment application to Gila and Saneli soils may have included plugging of some boundary flow spaces along the permeameter walls by the sediments.

In conclusion, the present study indicates that permeability of plowed and thoroughly disked soils can be affected greatly by such factors as aggregate slaking and the formation of depositional layers. Reducing salinity and/or increasing sodicity of irrigation waters causes the destruction of weak soil aggregates and can reduce permeability even at zero SAR. The extent of permeability reduction is, however, strongly dependent of soil types, and is likely to be most extensive and damaging in clayey soils. The maintenance of adequate infiltration of saline irrigation water as well as rain water requires the consideration of the relationships between soil properties and irrigation water quality.

5. Acknowledgement

We thank Dr. S. Miyamoto of Texas A & M University, for his valuable support and suggestion. The experiments of this research were conducted at Texas A & M University, El Paso Agricultural Research Center and supported in part by Expanded Research Fund of the Texas Agricultural Experiment Station as well as the JOCV (Japan Overseas Cooperation Volunteers) ex-volunteer research support fund by Mitsubishi International Exchange Foundation.

References

Abu-Sharar, T.M., F.T. Bingham, and J.D. Rhoades.

1987. Reduction in hydraulic conductivity in relation to clay dispersion and disaggregation. *Soil Soc. Amer. J.* **51** : 342~346.
- Cass, A. and M.E. Sumner. 1982. Soil pore structural stability and irrigation water quality. I. Empirical sodium stability model. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **46** : 503~506.
- Day, P.R. 1965. Particle fractionation and particle size analysis. In "Method of Soil Analysis" Agronomy No 9 Part I.
- Felhendler, R.I. Shainberg, and H. Frenkel. 1974. Dispersion and hydraulic conductivity of soils in mixed solution. *Intr. Congr. Soil Sci. Trans. 10th (Moscow)* **1** : 103~112.
- Frenkel, H., J.O. Goertzen, and J.D. Rhoades. 1978. Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage, and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **42** : 32~39.
- Koga, K. 1989. Some phenomena in prolonged water percolation through soils. *Soil Physical Condition and Plant Growth* **59** : 17~27 (in Japanese)
- Little, T.M. and F.J. Hills. 1975. Statistical methods in agricultural research. University of California, Davis.
- McNeal, B.L. 1968. Prediction of the effect of mixed-salt solutions on soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **32** : 190~193.
- McNeal, B.L., W.A. Norvell, and N.T. Coleman. 1966. Effect of solution composition on the swelling of extracted soil clays. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **30** : 313~317.
- Mihara, M. and R. Yasutomi. 1992. Change in soil permeability with time and mechanism of pore clogging. *Transaction of the Japanese society of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering. (Trans. JSIDRE)* **162** : 67~75 (in Japanese).
- Minhas, P.S., and D.R. Sharma. 1986. Hydraulic conductivity and clay dispersion as affected by application sequence of saline and simulated rain water. *Irrig. Sci.* **7** : 159~167.
- Miyamoto, S., R.J. Prather and J. L. Stroehlein. 1975. Sulfuric acid for controlling calcite precipitation. *Soil Sci.* **120** : 264~271.
- Oster, H.D. and F.W. Schroer. Infiltration as influenced by irrigation water quality. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **43** : 444~447.
- Scofield, C.S., and F.B. Headley. 1921. Quality of irrigation water in relation to land reclamation. *J. Agric. Res.* **21** : 265~278.
- Shainberg, I., and M.J. Singer. 1985. Effect of electrolytic concentration on the hydraulic properties of depositional crust. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **49** : 1260~1263.
- Shainberg, I. and M.J. Singer. 1986. Suspension concentration effects on depositional crusts and soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **50** : 1537~1540.

水質が土壤構造と透水性に与える影響

福村一成・穴瀬 真・三原真智人

要 約

米国の3土壤 (Gila silty loam, Saneliciay loam と Glendale silty clay) について、浸透水中の塩類濃度、成分 (電気伝導度 EC 0.4~4.8 dSm⁻¹, SAR 0~20)、懸濁土粒子の有無が透水係数 (HC) に及ぼす影響を室内土壤カラムを使い実験的に考察した。

浸透水 SAR 値が0以外の場合、全3土壤で HC が減少し、減少量は SAR/EC の指数関数で表現された。浸透水に懸濁土粒子を加えた時、Gila と Saneli では HC が 1/4~1/7 に減少したが、Glendale では顕著な減少はなかった。高 SAR と低 EC の組み合わせが土壤団粒の直径 0.18 mm 付近の崩壊を引き起こし HC の減少をまねいていた。

以上の結果から、播種前リーチングで重要な耕起直後の圃場透水性管理は土壤と水質の両面から行われる必要がある事がわかった。

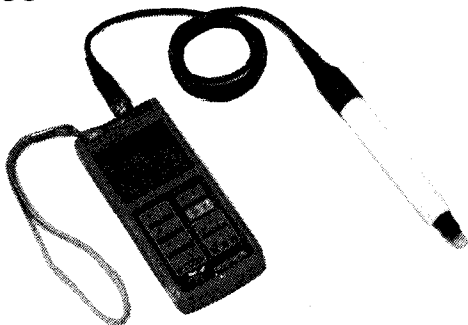
受稿日:平成7年7月18日

受理日:平成8年3月18日

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



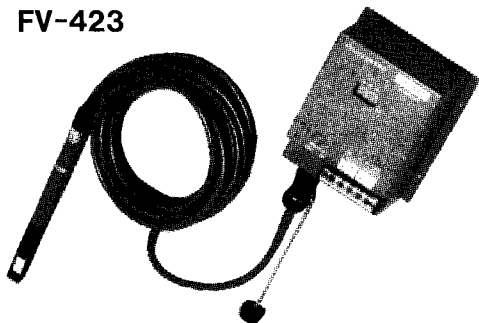
pF セラミックス土壤水分計

pF-33



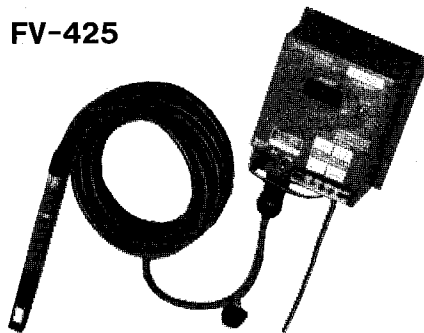
土壤 pF を連続測定及び自動灌水!!

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

Evaluation of Two Soil Water Retention Models for the Prediction of Hydraulic Conductivity of Daisen Kuroboku (Volcanic Ash) Soil

S. ABENNEY-MICKSON, T. MIURA* and A. YOMOTA*

Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University.

*Faculty of Environmental Science and Technology, Okayama University.

Abstract

It is known that soils of volcanic origin are generally well-aggregated. To describe their retention characteristics with the unimodal model of van Genuchten (1980), and subsequently predicting the hydraulic conductivity from it can lead to some errors. In this paper both the multi-porosity water retention model of Durner (1992) and the van Genuchten model are used to describe the retention characteristics of some samples of Daisen Kuroboku soil (Andosol). The two types of retention models are then combined separately with the conductivity model of Mualem (1976) to estimate the hydraulic conductivity of the samples. Estimated hydraulic conductivity using the two retention models differed by orders of magnitude. The disagreement between the estimated conductivities may be due to inadequate description of the retention data by the van Genuchten model.

Key words : Soil water retention, Hydraulic conductivity, Unimodal retention model, Multimodal retention model, Kuroboku soil.

I. Introduction

Volcanic ash soils are found extensively in all parts of Japan and cover an area of about 60,641 km², i.e., about 16.4% of the total land area (Adachi, 1971). The soils have generally a well-developed soil structure and abounds in many loose voids. For instance, Tabuchi *et al.* (1963) established that for a Kanto loam (Andosol) percolation through such voids is about one-sixth of total porosity. They postulated that the loose voids constitute comparatively a uniform channel in which permeability was in the order of 10⁻² cms⁻¹. Contrasting with the above is the water channel in the lower layers of soil which contain little organic matter and have tubal passages composed of a complicated massive structure, with permeability in the order of 10⁻³ cms⁻¹. According to Takenaka (1973), even if volcanic ash soil is

compacted, its permeability does not deteriorate but remains high, in the order of 10⁻³ cms⁻¹. However, in the lower soil layer with small amounts of organic matter, compaction lowers the permeability to the range of 10⁻⁵–10⁻⁶ cms⁻¹. In recent years some researchers (e.g., Tokunaga, *et al.*, 1984, 1986; Soma, *et al.*, 1983; Mori, *et al.*, 1992) have used soft X-ray and stereoscopic techniques to confirm the existence of large pores (macro-pores) in especially the topsoil of volcanic ash soils.

Of all soil hydraulic properties, the unsaturated hydraulic conductivity K is the most difficult to measure. Prediction methods are frequently used where the shape of the conductivity function is estimated from the more easily measured water retention characteristic. Errors in the conductivity can arise either from an invalidity of the prediction model for a given soil, or from an incorrect description of

the retention data. According to Durner (1994) the second error source is particularly important for soils with heterogeneous pore systems that cannot be adequately described by the usually used retention functions. To describe the retention characteristics of such soils, they proposed a flexible soil moisture retention function $\theta(h)$, by superimposing unimodal retention curves of the van Genuchten (1980) type (Fig. 1). This retention model was then combined with the Mualem (1976) conductivity prediction model to estimate the conductivity of soils with heterogeneous pore systems.

Durner (1994) stated that undisturbed soils frequently have pore systems that are different from the unimodal, approximately normal distributed type (see Fig. 1). Consequently, attempts to fit their retention data with a simple sigmoidal curve lead to unsatisfying results. The deviations that occur from using the unimodal model are assumed to be within the confidence interval of the corresponding measured values. However, if such deviations are not within the confidence interval, they would then be relevant and cannot be ignored. Based on this, Durner (1994) defined the term 'heterogeneous' with respect to hydrological properties. They designated a pore system as heterogeneous if the pore-size distribution of a representative elementary area (Bear and

Bachmat, 1991) cannot be correctly described by the van Genuchten function (or any other unimodal retention functions mentioned in the literature). Pore systems that are non-conform with a simple sigmoidal retention characteristics may be a result of specific particle-size distributions or be due to the formation of secondary pore systems by various soil genetic processes.

Daisen Kuroboku soil being of volcanic origin and therefore well-structured, can be expected to portray significant secondary pore properties. To be able to do any meaningful water balance simulation studies on such soils, it is important to predict its hydraulic properties as accurately as possible. The objective of this paper is to compare the results obtained by the van Genuchten-Mualem method with the recent approach of Durner-Mualem in predicting the hydraulic conductivity of Daisen Kuroboku soil. The differences and limitations of the two approaches are discussed.

II. Model Approaches

Water Retention Model

Several functions have been proposed to empirically describe the soil water retention curve (Brooks and Corey, 1964 ; Su and Brooks, 1975 ; Haverkamp *et al.*, 1977 ; van Genuchten,

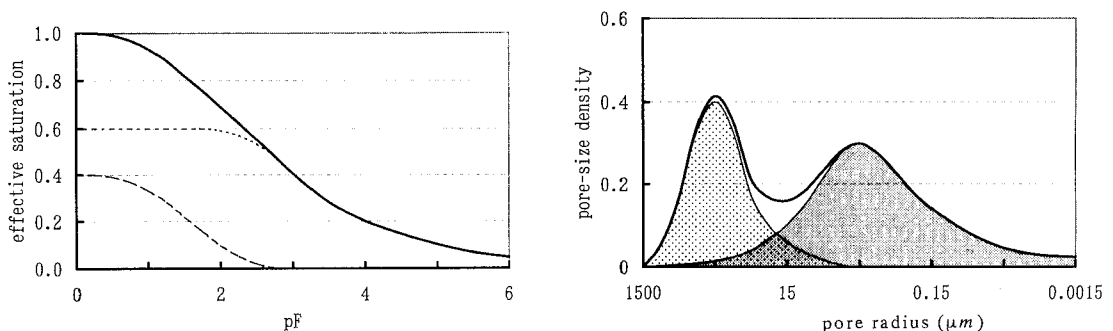


Fig. 1 Construction of a multimodal retention function, [3]. Top : Bimodal retention curve (solid line), unimodal subcurve for textural poresystem (short dashed line, $w_1=0.6$, $\alpha_1=0.005 \text{ cm}^{-1}$, $n_1=1.4$, $m_1=1-1/n_1$); and unimodal subcurve for a secondary pore system (long dashed line, $w_2=0.4$, $\alpha_2=0.1 \text{ cm}^{-1}$, $n_2=2.2$, $m_2=1-1/n_2$). Bottom : Pore size distributions of bimodal function (solid line), of textural pore system (dark shaded), and of secondary system (light shaded).

1980). The most popular among these functions are the equations of Brooks and Corey (1964), written in a dimensionless form as :

$$S_e = \begin{cases} (ah)^{-\lambda} & (ah > 1) \\ (ah)^n & (ah \leq 1) \end{cases} \quad (1)$$

and, more recently the equation of van Genuchten (1980) :

$$S_e = \left[1 + (ah)^n \right]^{-m} \quad (2)$$

where S_e is effective saturation (dimensionless), defined by $S_e = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$, with θ_s and θ_r indicating the saturated and residual volumetric water contents, respectively ; h is the soil water pressure head (centimeters) ; $\alpha > 0$ (centimeters) is a scaling factor that determines the position of the pore size maximum ; and λ , n , and m are dimensionless curve parameters, subject to $\lambda > 0$, $m > 0$, and $n > 1$.

The above retention functions reflect unimodal, and if continuously differentiable, smooth normal to log-normal shaped pore-size distributions (Durner, 1994). The similarities between the Brooks and Corey and the van Genuchten functions have been discussed at length by Durner (1994) ; and the conclusion that was drawn is that the van Genuchten retention model in its general form (2) represents a continuous, smooth, unimodal, and bell-shaped pore-size distribution with the parameter α primarily determining the position of the pore density maximum and the parameters m and n determining the width toward the fine and large pore sizes. To obtain the conductivity estimates as closed-form functions, the parameters of the van Genuchten equation are subjected to the additional constraint $m + 1/n = 1$ in combination with the conductivity prediction model of Mualem (1976). According to Durner (1994), this constraint eliminates some of the flexibility of the van Genuchten function, since pore-size distributions that extend far toward fine pores are then always coupled with relatively broad distributions toward large pores, and vice versa. Even though this is fairly good in accordance with experimental data for many soils, there are some fine-textured

soils (e.g., Daisen Kuroboku), however, where the constraint attributes part of the pore space to unrealistically large pores.

Consequently, attempts to fit the retention data of fine-textured soils with simple sigmoidal curves lead to unsatisfactory results. Durner (1994) reviewed some typical fitting errors likely to occur and proposed a multimodal retention function for proper description of fine-textured soils (i.e., soils with heterogeneous pore systems). It was constructed by a linear superposition of subcurves of the van Genuchten type (Durner, 1992) (see Fig. 1) :

$$S_e = \sum_{i=1}^k w_i \left[\frac{1}{1 + (\alpha_i \cdot h)^{n_i}} \right]^{m_i} \quad (3)$$

where k is the number of "subsystems" that form the total pore-size distribution, and w_i are weighting factors for the subcurves, subject to $0 < w_i < 1$ and $\sum w_i = 1$. As for the unimodal curve, the parameters of the subcurves (α_i , n_i , m_i) are subject to the conditions $\alpha_i > 0$, $n_i > 1$ and $m_i > 1$.

The multimodal retention model, (3), keeps the functional properties of the basic van Genuchten model, but is able to account for deviations arising as a result of secondary pores due to the increased number of coefficients. It is continuously differentiable, asymptotic to a zero slope towards the fine and large pores, and strongly monotonic over the whole moisture range. By keeping k small, the function is well-behaved for interpolation purposes, reducing the noise in measured data while following the shape of the measured curve (Durner, 1994). The coefficients of (3) can, to a certain degree, be interpreted in the same manner as the basic van Genuchten coefficients, namely, $h_i = 1/\alpha_i$, indicating the positions of pore density maxima, and $n_i m_i$ and n_i/m_i , determining the width of the underlying pore-size distributions. However, if the pore system is not distinctly bimodal or multimodal, the coefficients of the multimodal retention function tend to be highly correlated. For this reason, Durner

(1994) suggests that the parameters must be seen as curve shape coefficients like those of any alternative function rather than as having physical meaning.

Conductivity Estimation

The relative hydraulic conductivity function is computed by numerical evaluation of Mualem's (1976) predictive model based on the unimodal or multimodal representation of $h(S_e)$:

$$K = S_e^\tau \left[\frac{f(S_e)}{f(1)} \right]^2 \quad (4)$$

where f is given by

$$f(S_e) = \int_0^{S_e} \frac{1}{h(S'_e)} dS'_e \quad (5)$$

In (4), S_e^τ is an empirical correction function,

which allows for a priori unknown effects of pore connectivity and tortuosity in Mualem's model. Mualem (1976) found an average value of $\tau=0.5$ to be optimal for a set of 45 soil samples. The absolute conductivity $K_{abs}(S_e)$ can be calculated by matching the predicted function $K(S_e)$ to a matching value K_{ref} , measured at some reference saturation S_{ref} , according to

$$K_{abs}(S_e) = K_{ref} \cdot K(S_e) / K(S_{ref}) \quad (6)$$

III. Materials and Methods

The soil samples used in this study were obtained from the Chugoku region of western Japan. Samples **A** and **F** were from apple orchards, samples **B** and **C** from Japanese pear

Table 1 Parameters of samples A, B, and C at various depths of soil

Classification	Sample A				Sample B				Sample C			
	5 cm	15 cm	25 cm	35 cm	5 cm	15 cm	25 cm	35 cm	5 cm	15 cm	25 cm	35 cm
Density, g cm ⁻³	0.61	0.74	0.85	0.84	0.46	0.63	0.61	0.60	0.65	0.63	0.70	0.57
<i>Unimodal van Genuchten</i>												
θ_s , cm ³ cm ⁻³	0.502	0.598	0.574	0.602	0.607	0.644	0.653	0.655	0.670	0.662	0.632	0.646
θ_r , cm ³ cm ⁻³	0.156	0.051	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.140
α , cm ⁻¹	0.0653	0.1444	0.0786	0.0140	0.4774	0.0237	0.0428	0.0485	0.0217	0.0626	0.0398	0.0410
n	1.238	1.117	1.092	1.091	1.095	1.110	1.109	1.117	1.113	1.117	1.129	1.216
m	0.193	0.104	0.084	0.083	0.086	0.099	0.098	0.105	0.102	0.105	0.114	0.177
<i>Multimodal van Genuchten</i>												
*—Bimodal for all soil samples at all depths except sample A at the 35 cm depth												
θ_s , cm ³ cm ⁻³	0.502	0.598	0.574	0.602	0.607	0.644	0.653	0.655	0.670	0.662	0.632	0.646
θ_r , cm ³ cm ⁻³	0.170	0.181	0.192	0.275	0.142	0.187	0.205	0.160	0.189	0.148	0.154	0.175
w_1	0.54	0.47	0.42	0.29	0.46	0.31	0.35	0.37	0.32	0.40	0.38	0.55
α_1 , cm ⁻¹	0.0322	0.0568	0.0489	0.0803	0.1281	0.0793	0.0518	0.0569	0.0809	0.0392	0.0297	0.0262
n_1	2.575	2.102	1.78	1.448	2.051	1.546	1.984	1.758	1.479	2.038	2.214	1.898
m_1	0.612	0.524	0.438	0.309	0.512	0.353	0.496	0.431	0.324	0.509	0.548	0.473
w_2	0.46	0.53	0.58	0.34	0.54	0.69	0.65	0.63	0.68	0.60	0.62	0.45
α_2 , cm ⁻¹	0.0005	0.0006	0.0005	0.0008	0.0004	0.0003	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0005	0.0004
n_2	1.642	1.433	1.438	1.868	1.586	1.629	1.707	1.55	1.62	1.576	1.536	1.596
m_2	0.391	0.302	0.305	0.465	0.37	0.386	0.414	0.355	0.383	0.366	0.349	0.373
w_3				0.37								
α_3 , cm ⁻¹				0.00009								
n_3				2.655								
m_3				0.623								

*—At the 35 cm depth the trimodal fit was the best with θ_s and θ_r fixed. θ_r was fixed by multiplying the measured value at pF 4.2 by 0.8 as suggested by Durner (1994).

orchards, sample **D** from a lawn while sample **E** was taken from a vegetable (carrot) farm. The first five soil samples are of volcanic ash origin and are broadly described as the "Kuroboku" soils in the Japanese soil classification system (or Andosol). The soils have a characteristic black color throughout the profile and contain various levels of organic matter. They are generally light compared to mineral soils and their bulk density values at different soil depths are given in tables 1 and 2. The sixth sample is, however, not a Kuroboku soil; it is of mineral origin which was exposed to the surface during land reclamation process. It is also characterized by low bulk density values as observed in table 2. All the samples are characterized by high saturation water con-

tents, θ_s , and do not fit into the typical values of soil textural groups given by Rawls *et al.* (1982) or Carsel and Parrish (1988).

Undisturbed core samples were collected from the field at the depths indicated in the tables 1 and 2 using 100 cm³ stainless steel cores for retention characteristics determination in the laboratory. All the samples taken were in the vertical direction only. After pre-saturation for 24-hours and recording the weight, the hanging column method (JSSMFE, 1983) was used to determine the retention characteristics between saturation and pF 2.2, and the centrifuge method (JSSMFE, 1983) was used for pF from 2.5 to 4.2. Durner (1994) notes that lack of data between saturation and pF 2.0 can lead to unreliable conductivity estimates regardless of

Table 2 Parameters of samples D, E, and F at various depths of soil

Classification	Sample D				Sample E				Sample F		
	5 cm	15 cm	25 cm	35 cm	5 cm	15 cm	25 cm	35 cm	5 cm	15 cm	25 cm
Density, g cm ⁻³	0.72	0.69	0.65	0.62	0.53	0.45	0.51	0.63	0.38	0.39	0.39
<i>Unimodal van Genuchten</i>											
θ_s , cm ³ cm ⁻³	0.650	0.654	0.679	0.671	0.675	0.681	0.668	0.623	0.735	0.746	0.758
θ_r , cm ³ cm ⁻³	0.000	0.000	0.262	0.315	0.211	0.190	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000
α , cm ⁻¹	0.0538	0.0766	0.0405	0.0609	0.0644	0.1151	0.0515	0.0530	0.1933	0.0105	0.0051
n	1.105	1.123	1.265	1.364	1.323	1.222	1.114	1.108	1.114	1.154	1.190
m	0.095	0.110	0.209	0.267	0.244	0.182	0.102	0.098	0.102	0.134	0.159
<i>Multimodal van Genuchten</i>											
*-Bimodal for all soil samples at all depths except sample F at the 30 and 50 cm depth											
θ_s , cm ³ cm ⁻³	0.650	0.654	0.679	0.671	0.675	0.681	0.668	0.623	0.735	0.746	0.758
θ_r , cm ³ cm ⁻³	0.171	0.187	0.249	0.262	0.185	0.146	0.167	0.181	0.185	0.110	0.085
w_1	0.38	0.435	0.515	0.58	0.48	0.495	0.32	0.34	0.46	0.19	0.15
α_1 , cm ⁻¹	0.0285	0.0300	0.0249	0.0394	0.0376	0.0580	0.0292	0.0381	0.0891	0.1051	0.0821
n_1	2.233	2.752	2.304	2.279	2.607	1.241	2.692	2.389	2.128	1.660	1.878
m_1	0.552	0.637	0.566	0.561	0.616	0.554	0.629	0.582	0.530	0.398	0.468
w_2	0.62	0.565	0.485	0.42	0.42	0.505	0.68	0.66	0.54	0.29	0.23
α_2 , cm ⁻¹	0.0003	0.0004	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0011	0.0009	0.0008	0.0011	0.0001
n_2	1.498	1.563	1.510	1.519	1.738	1.454	1.274	1.343	1.450	2.184	1.794
m_2	0.332	0.360	0.338	0.342	0.425	0.312	0.215	0.255	0.310	0.542	0.443
w_3										0.52	0.62
α_3 , cm ⁻¹										0.0002	0.0006
n_3										1.521	1.654
m_3										0.342	0.395

*-At the 30 and 50 cm depth the trimodal fit was the best with θ_s fixed.

the nature of the pore system. In our work, we had 2-3 data points between saturation and pF 2.0 thus reducing the unreliability in the conductivity estimate.

IV. Results and Discussion

The measured retention data of all the six soil samples are presented in Fig. 2 and 3 together with the least squares fitted unimodal and multimodal retention models. Also, the coefficients of the various fitted retention functions are listed in tables 1 and 2. It was observed that all the samples have a bend at or near pF 2.0, especially in the case of the multimodal fit. Yamanouchi (1977) reported that the characteristics of Kuroboku soil is in the fact that there is a distinct bend observed at or near pF 2.0. The explanation given to this is that the water held between saturation and the neighborhood of pF 2.0 is mainly in the loose void between aggregates, and a greater part of that water has a property to be removed as gravity water. Also, Tokunaga et al. (1984) using soft X-ray projection in the study of some samples volcanic ash soil (including Kuroboku) and its void, observed that the energy of retention can reach pF 2.5 which is equivalent to a pore diameter of about $10\mu\text{m}$.

Unlike the unimodal function, the multimodal function described the measured data of each sample at each depth accurately (Fig. 2 and 3), and it was observed that in each case the two functions represented fundamentally different pore systems. It was observed that all the Kuroboku soils (samples A-E) exhibited bimodal pore-size distribution at all the depth measurements with the exception of sample A at the 35 cm depth only, which showed a trimodal pore-size distribution. From table 1 both the primary and secondary pores contributed almost equally (see w_i values) to the prediction of conductivity up to the 25 cm depth in the case of sample A; the contribution of secondary pores however diminished at the 35 cm depth but was such that it cannot be ignored (see Fig. 4). The rest of the Kuroboku

soil samples exhibited bimodal pore-size distribution at all depths with various contributions from the secondary pores. According to Durner (1994), whereas the primary pore system is determined by the particle size distribution of a soil, the pore space between aggregates depends only on the packing and is therefore essentially independent of the soil texture. For this reason the existence and extent of secondary pore systems in aggregated soils poses a limitation to the success potential of regression methods that seek to predict hydraulic conductivity relationships solely from particle-size distributions. If the relative conductivity is therefore predicted from only the particle-size distribution there is bound to be errors arising from the neglect of the secondary pores.

Even though soil sample F is of mineral origin it is light (see ρ_b in Table 2), having characteristics almost similar to the volcanic ash soil which was removed from on top of it during reclamation. It was observed from figure 3 that the multimodal model described the measured data quite well while the unimodal model had a lot of deviations. Table 2 further shows that the 30 and 50 cm depths were characterized by trimodal pore-size distribution while the 10 cm depth was characterized by a bimodal one. It was also observed that the contribution of the secondary pores in the case of the 30 and 50 cm depths was little but cannot be ignored if a good fit to the measured data was desired.

Relative Conductivity

The estimated conductivity curves for all the soil samples are presented in Fig. 4 and 5. In Fig. 4 it was observed that the relative conductivity for the 35 cm depth of the sample was over-estimated in the dry range (unsaturated zone) under the van Genuchten-Mualem model combination (unimodal), and it was under-estimated in the saturation zone. The same trend was observed for the 15 cm depth of sample B (Fig. 4), and the 5 cm depth of sample C (Fig. 4). The relative conductivity for the 5,

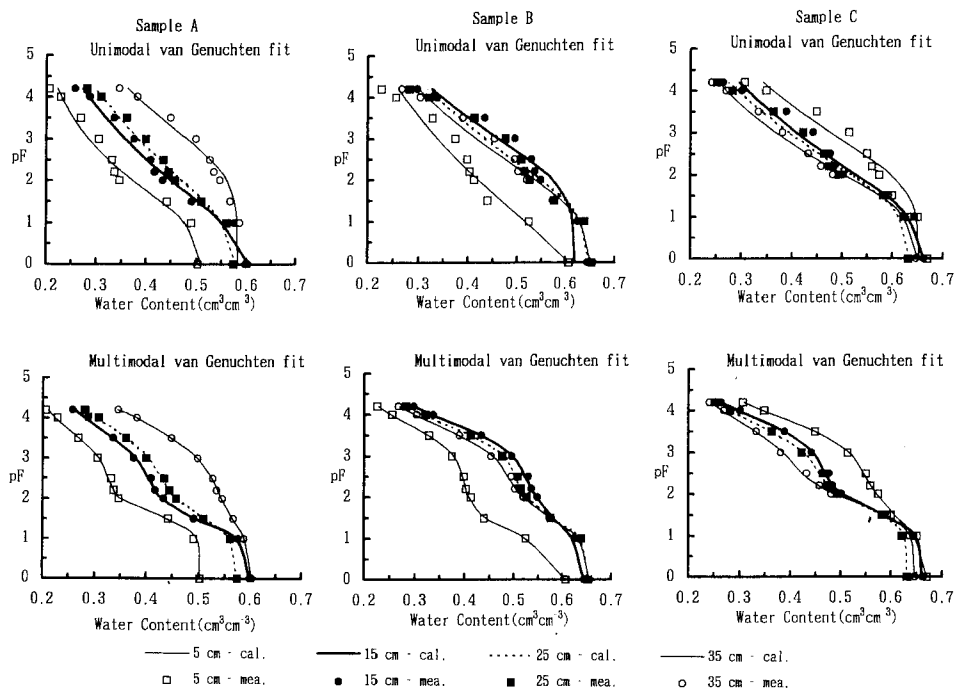


Fig. 2 Measured and fitted soil moisture release curves using the unimodal and multimodal van Genuchten models for Samples A-C.

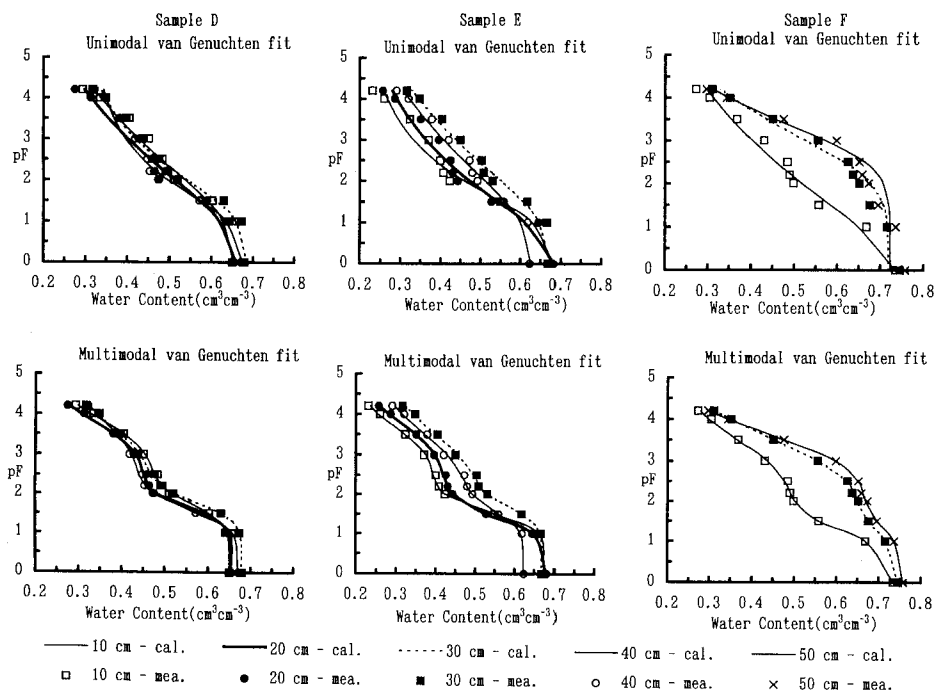


Fig. 3 Measured and fitted soil moisture release curves using the unimodal and multimodal van Genuchten models for Samples D-F.

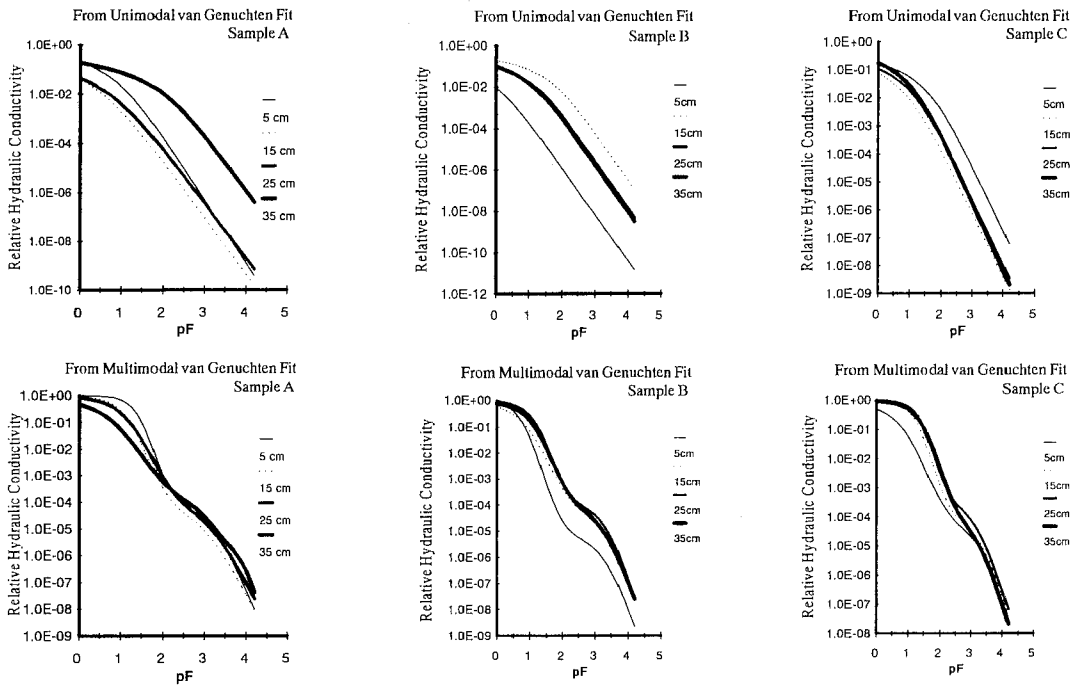


Fig. 4 Predicted relative conductivity function $K(h)$ from the unimodal and multimodal van Genuchten retention models for Samples A, B, and C.

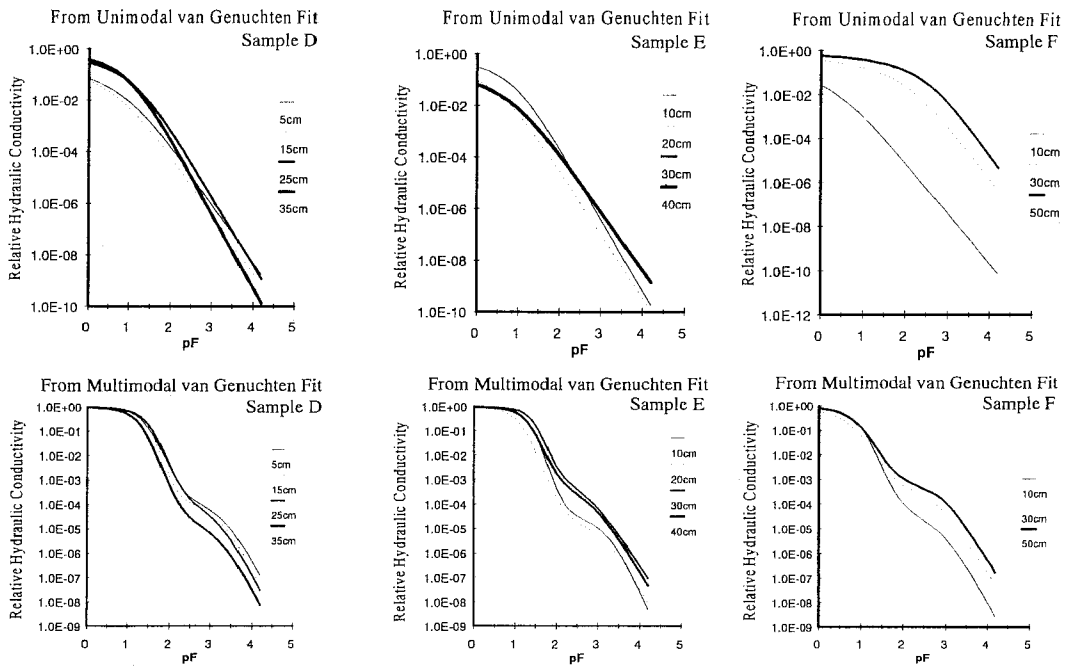


Fig. 5 Predicted relative conductivity function $K(h)$ from the unimodal and multimodal van Genuchten retention models for Samples D, E, and F.

15 and 25 cm depths of sample A were however under-estimated for in the whole range (from saturation to unsaturated zone) by applying the unimodal retention model. For the remaining Daisen Kuroboku soil samples, the relative conductivity predicted from the multimodal retention function was higher than that predicted from the unimodal function from saturation to the dry range. This was so even in the case where contribution from the secondary pores formed only a small fraction of the total pores. It follows that if the estimated conductivities from the unimodal model are used in simulation studies involving water movement through soils such as the samples used in this study, they are likely to lead to large errors.

It was also observed that the multimodal retention curves (Fig. 2 and 3) showed some similarity in shape to their corresponding conductivity estimates (Fig. 4 and 5). Using a hypothetical soil with a narrow textural pore-size distribution and a distinct secondary pore system, Durner (1994) observed two general findings: (1) the shape of the retention curve is directly reflected in the shape of the $K(h)$ and, (2) the secondary pore system increases the conductivity by some orders of magnitude while taking only few percent of pore space. Our findings in relation to Daisen Kuroboku as explained above supports these two observations.

Even though sample F is not a volcanic ash soil, it was observed that the pore-size distribution included secondary pores which rendered the use of a unimodal model inappropriate. Since the sample is of mineral origin the very low bulk density values (Table 2) indicated a probability of aggregate formation, leading to a re-arrangement of the pore spaces. From Fig. 5, however, it was observed that the conductivity estimated from the unimodal model for the 30 and 50 cm depths were fairly good. In a strict sense therefore we could say that the pore system is unimodal (Durner, 1994), however, the curves cannot be adequately described

by the classical sigmoidal retention model (see Fig. 3). The continuous, almost linear decrease of water content from pF 0 to 3.0 indicates a considerable pore density over a wide range of pore sizes, while the main pore system is located in the range of fine pores. A comparison of the conductivity estimated for these two depths from the unimodal and multimodal retention functions (Fig. 5) showed that at saturation they were almost of the same magnitude, but the conductivity estimated from the unimodal function becomes larger than that from the multimodal function immediately drainage starts and continues into the unsaturated zone.

Generally, by using the unimodal retention function the residual water content, θ , of most of the samples were set to the boundary, i.e., zero (see Tables 1 and 2). According to Durner (1994), any influence of θ , in unimodal hydraulic models is caused by interferences of the curve shape parameters. For the van Genuchten retention model, a decrease of the value of θ , causes a shift of the parameter n toward a smaller value (near 1.0). Since the values of n for the samples used in this study were close to unity, it might be an indication of the failure of the unimodal model to describe the retention characteristics of the samples adequately.

V. Conclusion

We have shown that for a well-aggregated soil (e.g., Daisen Kuroboku) the commonly applied unimodal retention functions are insufficient for conductivity estimations because they lack the necessary flexibility in the range of large pores. Their use therefore in soil water movement simulations or parameter estimation where the inverse problem is solved may lead to wrong results (Durner, 1991). For aggregated soils, therefore, validation of hydraulic conductivity prediction methods should be reevaluated if the applied retention model did not accurately describe the data. Discrepancies found between estimates and

measured data in some cases may not be due to the failure of the conductivity predictive model but the use of inadequate retention functions. If unimodal retention models are used to describe soils with wide pore-size distributions, they are forced to represent a non-negligible part of the pore space in the range of unrealistically large pore sizes. In such cases for example, the van Genuchten parameter n value is near unity and the conductivity prediction, especially near saturation becomes by definition unreliable.

Compared to the unimodal retention function, the use of the multimodal retention function improved the fit of the measured retention data and therefore led to a more reliable conductivity estimate. This conclusion was drawn from the shape of the predicted conductivity which resembled the soil moisture retention curve (i.e. "S"-shape), and the fact that at $pF=0$ the relative hydraulic conductivity was close to unity. With this kind of improvement water movement simulations in aggregated soils can be greatly enhanced.

References

- Adachi, T. (1971) : On the area and humus content of Ando soils in Japan, *Jour. of the Sci. of Soil and Manure, Japan*, Vol. 42, No. 8, pp. 309~313. (in Japanese).
- Bear, J., and Y. Bachmat. (1991) : *Introduction to Transport Phenomena in Porous Media*, Kluwer Academic, Hingham, Mass.
- Brooks, R.H., and A.T. Corey. (1964) : Hydraulic properties of porous media, *Hydrol. Pap.*, 3, pp. 1~27, Colo. State Univ., Fort Collins.
- Carsel, R.F., and R.S. Parrish. (1988) : Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics, *Water Resour. Res.* **24** : 755~769.
- Durner, W. (1994) : Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure, *Water Resour. Res.* **30** : 211~223.
- Durner, W. (1992) : Predicting the unsaturated hydraulic conductivity using multi-porosity water retention curves, In *Proceedings of the International Workshop, Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils*, edited by M.T. van Genuchten, F. J. Leij, and L.J.Lund, pp.185~202, University of California, Riverside.
- Durner, W. (1991) : Vorhersage der hydraulischen Leitfähigkeit strukturierter Boden, *Bayreuther Bodenkundliche*, **20** : 1~180.
- Haverkamp, R., M. Vauclin, J. Touma, P.J. Wierenga, and G. Vauchad. (1977) : A comparison of numerical simulation models for one-dimensional infiltration, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **41** : 285~294.
- Mori, Y., S. Shiga, K. Iwama, T. Watanabe, and T. Maruyama. (1992) : Differences in soil structure with land-use, Observations using soft X-Ray. *Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan*. No. 66 pp.19~27. (in Japanese).
- Mualem, Y. (1976) : A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media, *Water Resour. Res.*, **12** : 513~522.
- Rawls, W.J., D.L. Brakensiek, and K.E. Saxton. (1982) : Estimating soil water properties, *Transactions, ASAE*, **25** (5) : 1316~1320.
- Soil testing manual for practice, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, (JSSMFE), 1983. (in Japanese).
- Soma, K., T. Maeda, and K. Yamada. (1983) : The relationship between the effect of soil compaction and hydraulic conductivity for Kuroboku soil. *Soil Physical Condition and Plant Growth, Japan*. No. 103 pp.62~67. (in Japanese).
- Su, C., and R.H. Brooks. (1975) : Soil hydraulic properties from infiltration tests, paper presented at Watershed Management Proceedings, Irrig. And Drain. Div., Am. Soc. Civ. Eng., Logan, Utah, Aug. 11~13.
- Tabuchi, T., K. Tabuchi, and N. Nagata. (1963) : A relationship between large porosity and permeability in Kanto loam, *Trans. JSIRDE*, No. 7, pp.53~60. (in Japanese).
- Takenaka, H. (1973) : Some investigations on organic soils derived from volcanic ash from the Soil Physics point of view, *Tsuchi-Kiso, JSSMFE*, Vol. 21, No. 2, pp. 13~19. (in Japanese)
- Tokunaga, K., H. Narioka, and T. Fukaya. (1984) : Development of Heavy Liquid Infiltration method and consideration on the soil void images photographed by Soft X-Ray projection with the above method — Study on the soil and its void by X-Ray projection images — *Transactions of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering*. No. 114 pp.61~68. (in Japanese).
- Tokunaga, K., M. Masami, and T. Hayashi. (1986) : On the root-forming characteristics of coarse

pores found in volcanic ash sub-soil ... A stereoscopic study of soil pores imaged using soft X-Ray radiography - Transactions of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering. No. 126 pp.75~86.

(in Japanese).

van Genuchten, M.T. (1980) : A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, Soil Sci. Soc. Am. J., **44** : 892~898.

要 約

土壌の不飽和透水係数の測定は難しく、より簡単に測定できる土壌水分特性曲線から推定する方法が良く用いられている。しかし、クロボクのような団粒化して孔隙が発達した土壌では、土壌水分特性曲線を表すのに一般に用いられている van Genuchten の関数ではうまく表現できないため、大きな誤差が生じる場合がある。本論文では、孔隙が発達した土壌の保水特性を表現するため Durner により改良された multimodal retention model と van Genuchten の unimodal retention model の両方法で大山クロボクの土壌水分特性曲線を表現し、Mualem の方法により不飽和透水係数を推定した。両モデルによる結果を比較すると、曲線の形状や unimodal retention model で見られた不合理な箇所が multimodal retention model では改善されていること等が分かった。

受稿日 : 平成 7 年 9 月 3 日

受理日 : 平成 8 年 6 月 28 日

各種センサ



D220

ターミナルボックス

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



D200A

熱電対アンプユニット

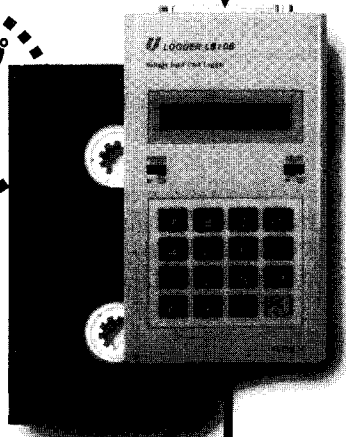
- 熱電対をL810BまたはL840に接続するためのアンプユニット。
- 熱電対7ch、デジタル4bit入力。
- K/T 2タイプの温度が直読できます。

各社
シグナル
コンディショナ

ダイレクト接続



ビデオテープ
サイズが
うれしい!



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

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

DATA LOGGER

データロガーLシリーズ

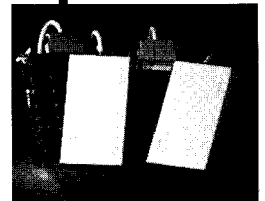
- L810B/電圧入力・長期間タイプ ●L840/電圧入力・超高速タイプ
- L822/熱電対入力・温度記録タイプ ●L830/测温抵抗体入力・温度記録タイプ ●L835/温湿度センサ入力・温湿度記録タイプ

RS-232C



メモリカード

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



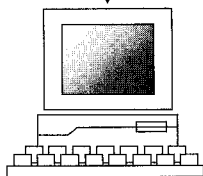
RW98A

RWAT

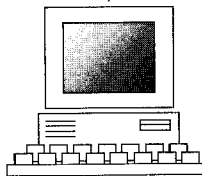
RW98AN

メモリカードドライバ

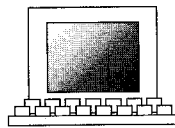
- PC9801シリーズ、PC/AT互換機、PC98noteシリーズ専用のメモリカードドライバです。
- メモリカードに記録したデータをパソコンに高速送信するのに最適です。



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

宇宙から観た中国東部の砂漠化

今川 俊明

Desertification in Eastern China viewed from Space

Toshiaki IMAGAWA

National Institute of Agro-Environmental Sciences

Abstract

The purpose of this study is to clarify the characteristics of desertification areas and to understand how desertification has progressed over the last 10-20 years in some model areas of different types of desertification using Landsat data.

1) Desertification in eastern China was characterized by reactivation of fixed sand dunes at Naiman, surface erosion of the topsoil at Lanxi, and severe gully erosion resulting in badlands at Yuanmou.

2) Three indices were developed to extract desertified area using Landsat data.

Vegetation Index for extracting non-vegetated area ; $(TM4 - TM3)/(TM4 + TM3)$

Structure Index for excluding man-made structure ; $(TM5 - TM1)/(TM5 + TM1)$

Soil Color Index for extracting specific soil area ; $(TM3 - TM1)/(TM3 + TM1)$

These equations were applied to three areas we studied. And yearly changes of desertified areas were obtained through superimposing those areas of different years.

3) No significant changes in areal extent of desertification were seen in any of the analyzed regions of Naiman, Lanxi, and Yuanmou. Land management around major settlements, roads, railway lines, etc., in all these regions was relatively meticulous and desert land was being reclaimed. However, in outlying regions new desert land was appearing, making it difficult to say that suitable land management was being practiced.

4) We evaluated the processes of desertification in Yuanmou Province, where gully erosion is prominent.

Key words : Desertification, Remote Sensing, Eastern China, Active Dune, Budlands

1. はじめに

1995年6月17日に国連で砂漠化防止条約が採択された。ここでの「砂漠化」は「乾燥、半乾燥及び乾性半湿润地域における種々の要素（気候変動及び人間活動を含む）に起因する土地の劣化をいう」（外務省、1994）と定義されている。

世界で最も人口が密集する東アジアにおいては、ここの乾燥～乾性半乾燥地域は限られているものの、同様な土地の劣化現象が問題となっている。Zhu *et al.*

(1992) は中国東部地域は国土の約半分の面積と90%を越える人口を含み、人間インパクトの強い地域であり、気候条件が北部の半乾燥地域から南西部の亜熱帯半湿润地域まで変化に富んでいることから、さまざまな過程で「砂漠化」が進んでいると指摘している。このため、この論文では上記の「砂漠化」の定義をやや広く捉え、中国東部の半湿润地域を含めて議論する。

さて、砂漠化、森林破壊といった環境問題をとらえようとする場合、それらの空間的な広がりや動態をとらえることが必要不可欠と考える。しかし、これまでの砂漠

化研究においては、この観点での研究がほとんど見あたらない。これは、砂漠化、森林破壊といった現象は地上調査で観察できる範囲が限られているばかりか、それを地図上に再現することが難しいためと考えられる。

この課題に対して、空中から撮影された写真や観測されたデータが砂漠化や森林破壊等の現象をとらえることを容易にしてくれる。しかし、1950年以降使用され始めた空中写真は一度に撮影される範囲が数キロ平方であるため、地域スケール以上の現象をとらえるために膨大な時間が必要である。これに対して、1970年代半ばから観測を始めた人工衛星の観測範囲は数十～数千キロ平方と広く地域-大陸レベルの現象を同時かつ周期的にとらえることを可能にした。

ここでは、最初に中国東部地域の代表的砂漠化地域の特徴を述べ、それらの地域を対象に、観測範囲180キロ平方、観測周期16日、可視・赤外の7つの波長帯をもつランドサットセマティックセンサ（以下、ランドサットTMと略述）データを主に利用した砂漠化域の抽出手法とその年次変化の把握、砂漠化進行程度の評価等について述べる。

2. 中国東部の砂漠化の特徴

中国東部地域とは、中国の自然地域区分にしたがって、大興安嶺とチベット高原東縁を結ぶ線を境に国土を二分した東側を指す（図1）。地形的には海岸低地から山地までが含まれ、気候的にも北部の亜寒帯半乾燥地域から南西部の亜熱帯半湿潤地域まで含まれている。

「砂漠化」の具体的プロセスとして、水食、風食、これらの作用による堆積、自然植生の量と多様性の長期にわたる減少、塩性化、アルカリ化があげられる。多様な気

候、地形、地質条件をもつ中国東部地域ではこれらのほとんどのプロセスが出現している。すなわち、自然植生の減少は薪炭材の採取、農用地の造成等で全域で広く発生している。風食は、内モンゴル自治区を中心とした地域で顕著であり、かつての乾燥期に形成された古砂丘の砂や黄河、長江等の河川によって運搬堆積された砂を覆う植生や土壌が破壊されることを契機に発生している。水食は、中南部の半湿潤～湿潤地域で広くみられる。ここでは取り上げていないが黄河中流域の黄土地帯のガリ侵食は特に激しく、下流域での堆積による土地荒廃も問題となっている。このほか、塩性化が黄河の下流域や北部の半乾燥地域の低地で顕著に発生している。

ここでは、風食ないしは水食による以下の三つの地域の砂漠化の現状を述べる。

- 1) 風食により固定砂丘が再活動する内モンゴル自治区奈曼地域
- 2) 水食により紅色土が露出した“紅漠”景観が形成されている浙江省蘭溪地域
- 3) ガリ侵食によるバッドランド景観が形成されている雲南省元謀地域

1) 奈曼（内モンゴル自治区）

奈曼は北京の北東400kmに位置する（図1）。年平均降水量は372mm、年平均気温は6.4℃の半乾燥地域である。この地域の子な表層堆積物は第四紀の湖底堆積物であり、かつての乾燥期に形成された砂丘が土壌や植生で覆われた固定砂丘となり広く分布している。固定砂丘上や砂丘間低地では、トウモロコシ、コウリヤンを中心とした畑作物が栽培されている。また、奈曼北西部は草地が広く展開されている。

砂漠化は固定砂丘の植生と表層1～2mの土壌が破壊されることにより、未固結の砂が流動することによって始まる。この地域では、砂が舞い上がるとされる5m/s以上の強い風が春にしばしば吹く。したがって、ランドサット画像には西から東へ延びる砂丘が広く分布しているのが撮し出されている（図3-左）。砂の動きは砂丘の規模が小さいものほど大きく、年間5m/yrに達したことが観測されている。

2) 蘭溪（浙江省）

蘭溪は上海の西約300km、東西に長い盆地の東部に位置する（図1）。気候は亜熱帯モンスーン気候であり、年降水量は1360mmで4～6月にその50%が集中する。これに対して、秋は乾燥しており、年蒸発量は1493mmと降水量をやや上回る。この盆地内の地形は沖積地と丘陵地に大きく分かれる。砂漠化はほとんどの丘陵部で進行している。丘陵の土壌は第四紀の紅色土である。本来、表層を2～3m程の紅色土が覆い、その下に2層の礫

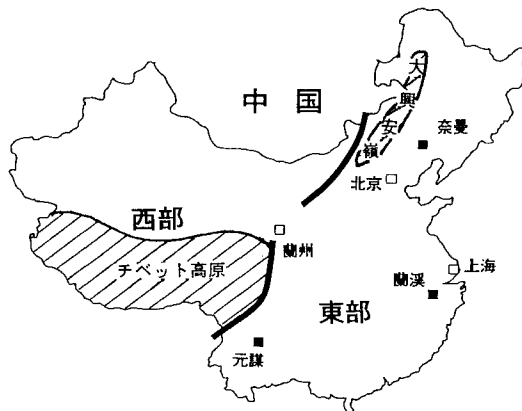


図-1 研究対象地域

Fig. 1 The study area

層を含みトラ班をもつ粘土質層が7~8m堆積している。そして、丘陵部の樹木の伐採とその後の耕作等起因して裸地化した後、降雨による表面侵食を受け、紅色土が削剥されている。このため、砂漠化した丘陵のリルやガリの密度は比較的小さく、凸型斜面が保存されている。このような景観は、200km程西の南昌付近ではさらに大規模に広がっており、「紅色砂漠（紅漠）」と名付けられている（写真1）。ランドサット画像では紅色の裸地が特徴的にとらえられる。荒廃の歴史は過去にも何度かあり、200~300年前にも遡ることができるというが、砂漠化が激化したのは最近30年間と考えられている。

3) 元謀（雲南省）

元謀は昆明の北西約200km、南北に細長い盆地底に位置する（図1）。標高1250~1330mである。西の横断山脈を越えてくるフェーンの影響で年降水量は613mm、年間蒸発量は3847.8mmと乾燥している。この盆地をとりまく山地は現在でも隆起し続けており、盆地底も必ずしも平坦ではなく、段丘状の丘陵とそれを開析する谷が入り交じっている。砂漠化はこの丘陵で進行している。この丘陵の土壌は、多孔質の燥紅土で一度に大量の水が浸透すると脆く、崩れ易い性質である。また、植被率は20%以下と低く、乾季直後の豪雨によって大規模なガリ侵食が進行し、バッドランドの景観が形成されている（写真2）。ランドサット画像でもこの丘陵をガリが網目状に侵入しているのが判読される。盆地を限る東側の山地の灌木林~森林や西側の山地の放牧地とは対照的である。

平坦な面を残す丘陵は、灌漑によるさとうきび畑が広がっているが周辺はガリ侵食が進行しており、最近30年間で7~8mの深さまで侵食が進行しているという。また、場所によってはガリの後退速度が6m/yrに達するところもあり、さとうきび畑が蝕まれている。激しい



写真-1 蘭溪の砂漠化景観

Photo 1 Landscape of desertification in Lanxi, Zhejiang Province



写真-2 元謀の砂漠化景観

Photo 2 Landscape of desertification in Yuanmou, Yunnan Province

侵食は最近も継続しており、30年前には3年1回程度起こっていた洪水が、最近では3年に2~3回に増加しているという。

3. 砂漠化域の抽出手法

1) 土地利用/土地被覆区分による抽出手法

ランドサットデータを利用して砂漠化域を抽出する際には、既存の地図や現地調査を基に砂漠化域及びその他の土地利用/土地被覆の区分が可能であれば、砂漠化域の抽出をより正確に行うことができる。

そこで、奈曼のモデル地区を対象に作成された「奈曼旗砂漠化類型及土地整治区分図」（朱・邸，1984）で分類された土地利用区分単位をもとに流動砂丘（日本では通常「活動砂丘」）、草地、耕地、林地、湿地、集落、水体の7つをランドサットデータで区分することを検討した。

まず、モデル地区内に流動砂丘、草地、耕地、林地、湿地、集落、水体の各区分ごとに、ランドサット合成写真をもとに地図作成後も変化していないと思われる場所を5カ所前後設定し、1992年に観測された5月から9月の5時期（5月20日、6月5日、7月23日、8月24日、9月25日）のランドサットデータについて、それぞれの反射特性を調べた。その結果の一部を図2に示す。流動砂丘は他の区分単位と比較して、いずれのバンドとも常に高い輝度値を示し、反対に水体はTM4, 5の両近赤外バンドが常に低い輝度値を示す。このことから、両者はどの時期のデータを用いても他の区分単位と区分できることがわかった。また、他の区分単位についても5月下旬と7月下旬の二時期のデータを用いることによって区分が可能であることがわかった。すなわち、耕地、林地と草地は植物が繁茂するという点では共通なので1枚の

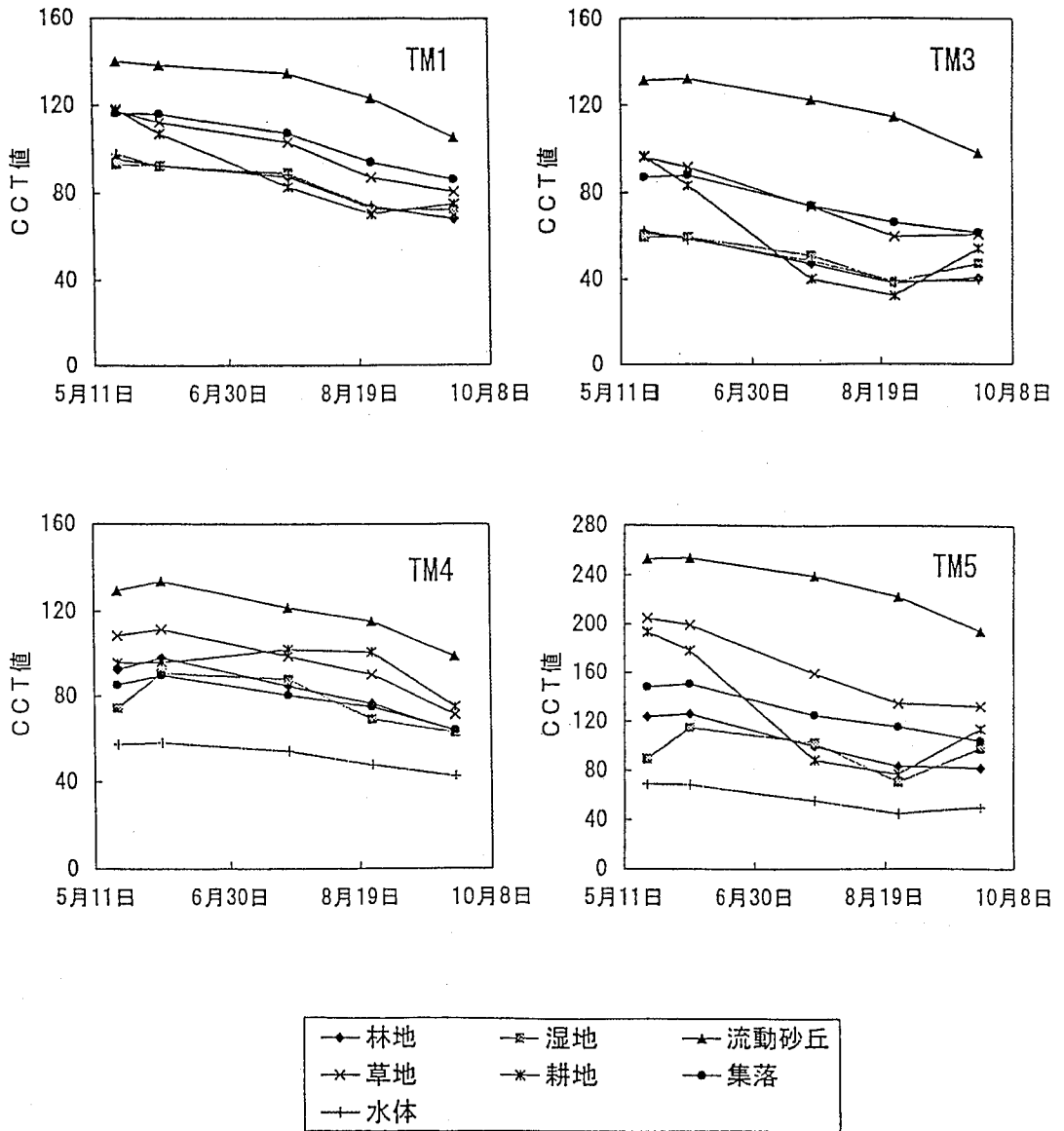


図-2 土地被覆/土地利用タイプ毎の分光反射率の季節変化

Fig. 2 Seasonal changes in spectral reflectance of each land cover/land use type

画像から区別するのは困難である。しかし、5月下旬は耕地及び草地はまだ植物の葉の展開が少なく裸地に近い状態であるのに対して、林地ではすでに多くの葉が展開している。また、7月下旬から8月下旬にかけては耕地の植被密度は作物の生長により草地よりはるかに大きくなる。こうした違いは、植物中の葉緑素の光吸収の大きな波長に相当するTM3バンドの輝度値の差となって現れる。したがって、5月と7月のTM3バンドといずれかの時期の他のバンドを組み合わせることによって、上

記の7つを判別することが可能となることが明らかとなった。

そこで、5月20日のTMバンド3と7月23日のTMバンド1, 3, 4, 5を用いて、各区分単位の反射特性を調べた場所を教師とした最ゆう法分類による土地利用区分図を作成した。そして、区分後の教師領域の再現性を調べたところ、表1の結果を得た。各区分単位の判別率は林地、湿地、集落がいずれも80%台であったが、他の4つの区分単位は90%以上で、耕地、草地とも95%の精

表-1 最ゆう法による土地被覆/土地利用区分の判別率

Table 1 Verification of land cover/land use classification with maximum likelihood method

		最ゆう法分類によって区分された土地被覆/土地利用区分の割合							
		流動砂丘	草地	耕地	林地	湿地	集落	水体	未分類
地図上の区分	流動砂丘	96.87	1.25	0	0	0	0	0	1.88
	草地	0.29	94.71	0.29	1.14	0.86	1.29	0	1.43
	耕地	0	2.82	94.86	0.91	0	0	0	1.41
	林地	0	4.51	0	80.56	12.85	1.04	0	1.04
	湿地	0	2.50	0	6.75	81.25	2.50	5.75	1.25
	集落	0	0.54	0.18	2.06	8.04	86.03	0	3.14
	水体	0	0	0	0.61	2.74	0	95.43	1.22

度で判別が可能であった。以上のことから、ここで用いた方法が土地利用図作成に有効であることが示され、この方法で土地利用区分図を作成して経年的に比較すれば、砂漠化の進行状況や人間による耕地の開拓や放棄の様子、あるいは林地の伐採や防風林の植林を調べることが可能なことが明らかとなった。

2) 3つの指数を用いた抽出手法

上記の手法に関しては、現地調査あるいは地図データが必要となるが、どこでも必要な資料が収集されたり、調査ができるわけではない。そこで、現地のデータがない場合の砂漠化域の抽出手法について検討した。ここでは、ランドサットデータを用いて植生が無いか極めて貧弱な部分から集落を含む人工構造物を除き、その中でそれぞれの地域の砂漠景観を形成している土壌の色（奈曼は白、蘭溪、元謀は赤）を反映している部分を砂漠化域として抽出することとした。その手法は以下の通りである。

最初に、正規化植生指数 $(TM4 - TM3)/(TM4 + TM3)$ を用いて植生がないところを抽出する。

この値の低い部分が植生のない部分であり、合成写真と比較して閾値を求め、無植生部分を抽出する。ただし、植被状態の季節の変動を考慮するために、できるだけ連続した秋と春のデータを用いて、その共通部分を抽出する。次に、この植生のない部分から水域及び密集した人工構造物すなわち集落の除去を試みる。これにはバンド比 $(TM5 - TM1)/(TM5 + TM1)$ を用い、無植生域が水域や人工構造物と比較してのバンド比が高いことから、両者を分離することができる。この比で得られる指数をここでは構造物指数とする。

最後に土壌中に含まれる酸化鉄の量を反映する赤色度指数 $(TM3 - TM1)/(TM3 + TM1)$ を用い、各地域の

砂漠域を特定することとした。

そして、この方法から得られる砂漠化域について観測時期の異なる画像の解析結果を重ね合わせることにより、砂漠化域の年次変化がとらえられ、砂漠化進行状況が把握が可能となる。

この砂漠化域抽出手法の妥当性を確かめるために、奈曼で得られた1982年～1991年の砂漠化進行状況（図3-右）をグランドトゥールズにより確認した。以下、主要な地点について記述する。この10年間で砂漠化が進行した地域に含まれるA地点では、過放牧により砂の移動が始まり、ヤナギの疎林に移動砂丘が侵入しているのが確認された。また、ヤナギは薪炭採取のため枝が刈り払われているため樹形が歪むとともに、さらに砂を移動させている強風のために一定方向に傾いているのが観察された（写真3）。一方、B地点ではヤナギの疎林を伐採して乳牛を放牧したため、砂が移動をはじめ、まさに荒漠たる景観が形成されていた。そうした土地でもなお耕作を試みる農民がいたが、この2～3年の収量はゼロであったらしい。これに対して、荒廃から回復した地域と判定されたD地点では、砂が移動していた場所で最近5年間放牧を禁止した結果、砂丘表面に草本が定着し、場所によっては耕作が可能になっていた。このような例を始めとして、実際の状態とよく対応していることが確認された（写真4）。

以上のことから、既存データを用いて土地被覆/土地利用図を作成しなくとも、上記の三つの指数を用いて砂漠化域の抽出が可能であることが明らかとなった。

4. 画像解析からみた最近の砂漠化進行状況

次に、蘭溪、元謀地域についてもモデル地区を設定し、三つの指数を用いて最近10～20年間の砂漠化進行状況

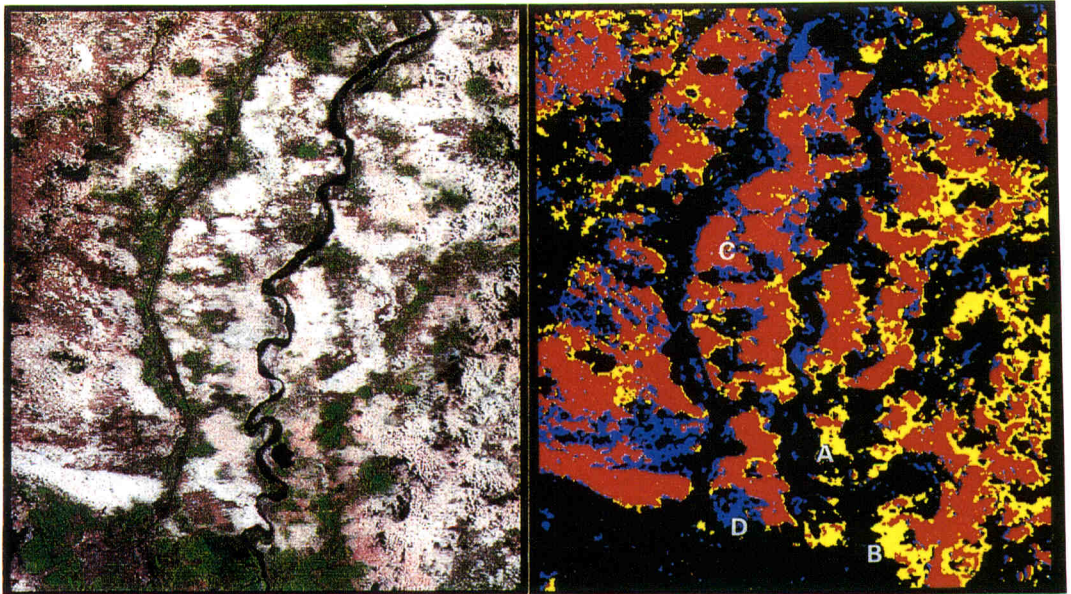
を解析した (表2)。

各モデル地区で、砂漠化が進行している範囲は奈曼約40%、蘭溪約3%、元謀約15%と異なっている。しかし、回復している面積と新たに砂漠化している面積はいずれの地域ともほぼ同じで、各地域の砂漠化面積にはほとんど変化がないのが特徴である。

奈曼では、街の東側を南北に平行して走る道路と鉄道

や集落の周辺では82年~91年に回復傾向にあるのに対し、その外側では砂漠化が進行していた (図3-右)。この傾向は、他の二つの地域でも同じであった。すなわち、元謀でも76年~92年の街の周辺の回復傾向とその外側の砂漠化傾向がはっきり現れていた。また、蘭溪でも73年~92年で同様の結果が得られた。

以上のことは、砂漠化はその荒廃形態に関わらず一



奈曼 (内モンゴル自治区) 1991. 8. 22
112, 338 ha

	砂漠域		回復域		砂漠化域
8 2 → 9 1	29. 2%	12. 3%	12. 0%		

図-3 奈曼 (内モンゴル自治区) のランドサット TM 合成写真 (左) と砂漠化進行状況 (右)

Fig. 3 Composite photo of Landsat TM (left) and recent trend of desertification in Naiman, Inner Mongolian Autonomous Region

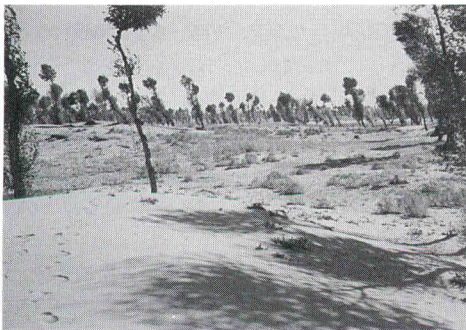


写真-3 奈曼における砂漠化進行地域の例 (図3のA点)

Photo 3 An example of deserified area in Naiman (A in Fig. 3)

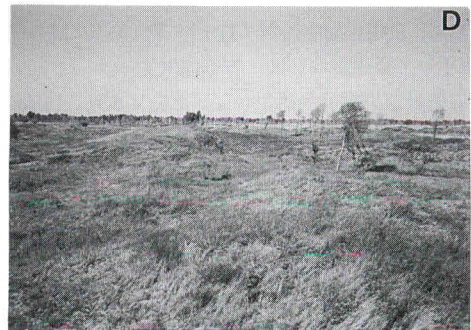


写真-4 奈曼における砂漠化回復地域の例 (図3のD点)

Photo 4 An example of recoverd area in Naiman (D in Fig. 3)

表-2 各研究対象地域のモデル地区における砂漠化進行状況

Table 2 Recent trends of desertification in three model districts of the study area

奈曼 (h a)

9 1 8 2	砂漠地 (活動砂丘)	非砂漠地
砂漠地 活動砂丘	32,808 (29.2 %)	13,526 (12.3 %)
非砂漠地	13,442 (12.0 %)	52,562 (46.8 %)

(総面積：112,338 ha)

蘭溪 (h a)

9 2 7 3	砂漠地 (紅漠)	非砂漠地
砂漠地 (紅漠)	2,109 (1.7 %)	1,518 (1.2 %)
非砂漠地	1,186 (0.9 %)	121,567 (96.2 %)

(総面積：126,380 ha)

元謀 (h a)

9 2 7 6	砂漠地 (悪地)	非砂漠地
砂漠地 (悪地)	7,982 (8.4 %)	5,538 (5.8 %)
非砂漠地	6,339 (6.7 %)	75,003 (79.1 %)

(総面積：94,862 ha)

的に進行しているのではないこと、比較的人手の入りやすいところは、何らかの対策が講じられ、砂漠化の進行が抑えられていることがわかった。

5. ガリ侵食による砂漠化進行程度の評価

次に、ガリ侵食によるバッドランド景観で特徴づけられる元謀を対象として砂漠化進行程度の評価を試みた。

ガリは急傾斜の壁をもつ溝であり、ランドサット衛星観測時には太陽光によって陰がしやすい。そこで、この陰を利用してガリの抽出を試みた。

ランドサット衛星の観測時間は午前9時30分ころである。したがって、太陽光は南東の方向から来ている。そこで、東と南から光が当たった時の陰を抽出するためのフィルタ処理を行った。次に、この結果を二値化した後、さらにフィルタ処理を行い、どの様な方向でも最低3ピクセル(90m)連続する陰だけを残した(図4-左)。

ここで得られた二値化画像をマッキントッシュコンピュータのキャンパスソフトを使って細線化処理を行った。

しかし、ここで得られたリニアメントは必ずしもガリ底のみをあらわしているとは限らず、街路樹や建築物の影も含まれる。そこで、土地被覆区分結果をもとに森林、

灌木、耕地等をマスクし、裸地と草地の部分のみについてリニアメントを残し、ガリ密度図とした。

そして、最後に評価点を取り囲む3×3ピクセルを対象として、そこに含まれるリニアメントの画素数に基づいて荒廃化程度をと評価した(図4-右)。その評価は現地調査と既存の地形図から得られた結果とよく対応していた。

6. まとめ

本報告では、中国東部地域の代表的な砂漠化過程の特徴、砂漠化地域の抽出及び砂漠化進行状況の把握手法を述べ、対象とした三つの地域のモデル地区について最近10～20年間の砂漠化進行状況を明らかにした。また、ガリ侵食によって砂漠化が進行している地域において、ガリの密度をもとに砂漠化進行程度を評価できることを示した。

これまでの研究で、砂漠化域の動態を把握することはできるようになった。しかし、ガリ侵食域以外の砂漠化程度を評価するまでには至らなかった。このためには、現地調査での土壌や植生に関する情報の収集に努める必要がある。たとえば、土壌に関しては、砂漠化域の中でも砂漠化程度の違いによって土壌の物理性、化学性がど

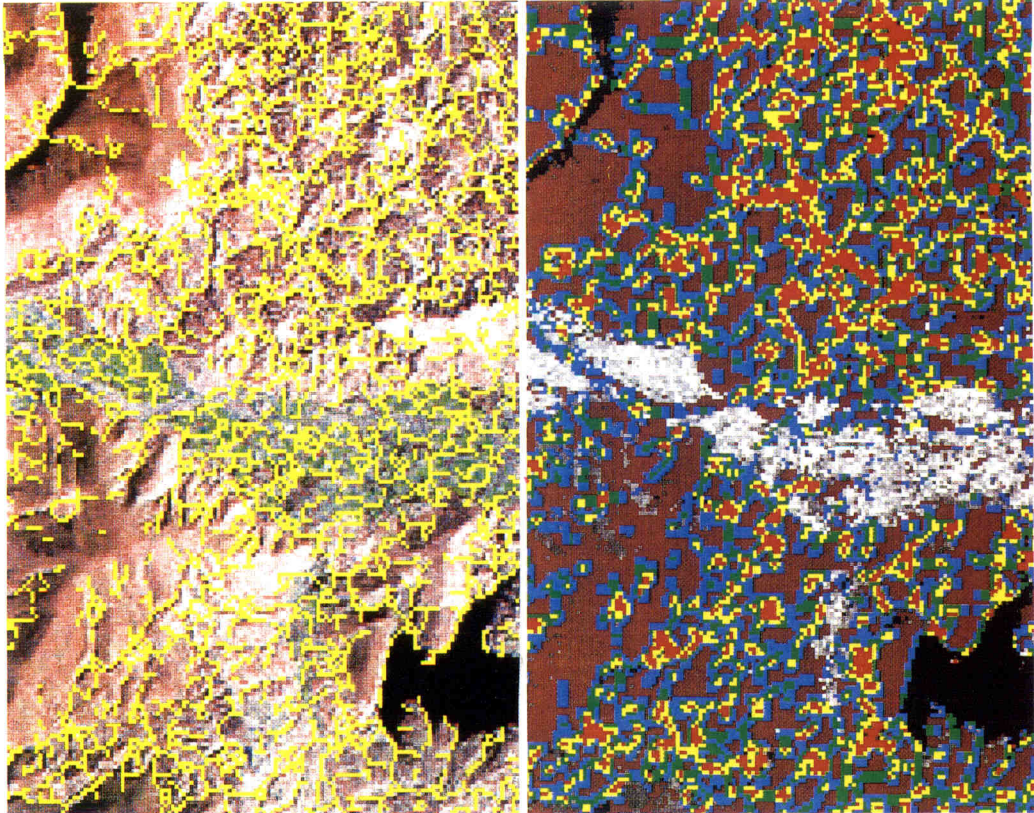


図-4 元謀（雲南省）におけるテクスチャ解析で抽出されたガリ（黄線；左）とガリ出現頻度による砂漠化程度（右）の例

50%以上：赤，40～50%：黄，30～40%：緑，10～30%：青，10%以下：茶

Fig. 4 An examples of gully (yellow line) extracted by texture analysis (left) and degree of desertification estimated by gully density in Yuanmou, Yunnan Province.
more than 50% : red, 40-50% : yellow, 30-40% : green, 10-30% : blue, less than 10% : brown

のように変化しているかを明らかにする必要がある。そして、土壌の性質と衛星データとの関係を見いだすことができるならば、砂漠化程度の評価に大いに有効となるであろう。また、砂漠化の主要因と考えられている放牧との関係进行评估するためには衛星データと植被量の関係を植生指数や赤色光（TM3）の反射率を使って推定し（Yasuda, 1995），さらに放牧圧との関係を明らかにする必要がある。このためには現地での植被量や放牧圧のデータが必要となる。

以上述べてきたように、衛星データを用いる最大の利点は、地上調査で得られた地点情報を基に、空間分布を把握できることである。また、衛星データの解析結果は地上調査地点の設定等に有効であり、野外調査が中心となる分野においても、衛星データが大いに活用されることを期待する。

謝 辞

現地調査にあたっては、中国科学院蘭州沙漠研究所、地理研究所、成都山地災害及環境研究所、浙江省水利庁、雲南省遙感中心にお世話になった。

本研究で使用したランドサット TM データは米国政府が所有し、EOSAT/宇宙開発事業団によって提供されたものである。また、データの購入に際しては財団法人リモートセンシング技術センターの協力を得た。ここに記して感謝申し上げる。

引用文献

外務省（1994）：深刻な干ばつ又は砂漠化に直面している国（特にアフリカの国）における砂漠化の防止のための国際連合条約（仮訳），日本砂漠学会誌 4～1：

39～64.

朱 震達・邱 醒民主編 (1984) : 奈曼旗沙漠化類型及
土地整治区分図, 中国科学院蘭州沙漠研究所.

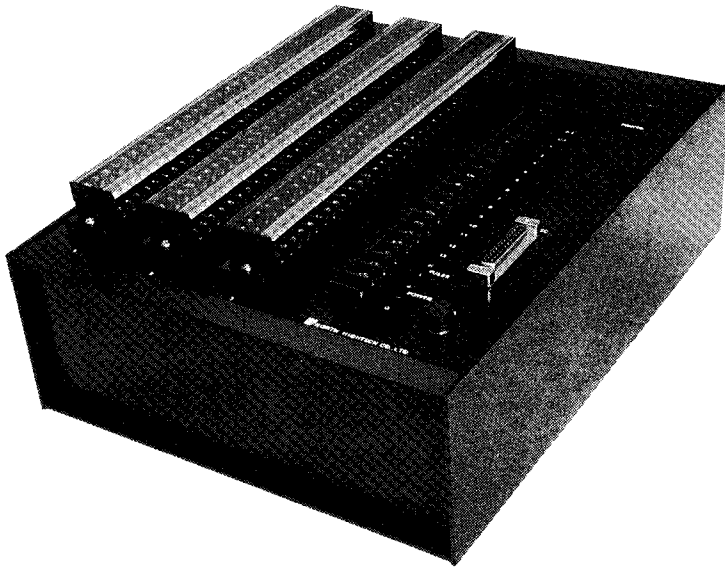
Yasuda Yoshizumi (1995) : Using Remote Sensing to
Detect and Monitor Land-Cover and Vegetation
Changes. International Workshop on Land Use
System for Combating Land Degradation in East
Asia, Abstract. Tsukuba, 19～20.

Zhu Zhenda, Wand Xizhang, Wu Wiei, Kang Guod-
ing, Zhu Che, Yao Fafeng and Wang Tao (1992) :
China : Desertification Mapping and Desert Rec-
lamation. In "World Atlas of Desertification",
UNEP : 46～49.

受稿日 : 平成 8 年 2 月 9 日

受理日 : 平成 8 年 3 月 6 日

最も進んでいるパソコン時代のロガー「IDL-3200」



センサ対応がマルチ

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

センサ電源を供給

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

多チャンネル

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

12Vバッテリー動作

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

ネットワーク

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

マイナス温度に強いマシン

-25℃~45℃動作機器は標準 -40℃から動作機器も出荷します

ロガーの機能を高める演算機能

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



計測の未来をひらく

株式会社

ノース・ハイテック

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

ニジェール南西部，固定砂丘地帯における 裸地の分布と土地条件

南 雲 不二男

Bare Ground Distribution and Land Condition in a Fixed Dune Area of South Western Niger

Fujio NAGUMO

Graduate School of Environmental Earth Science, Hokkaido University

Abstract

This study aims to relate phenomena of bare ground distribution with land condition in a fixed dune area in south western Niger. For that purpose, a geomorphological and pedological survey as well as that of the bare grounds were carried out. The results were as follows.

1) The study area was mainly divided into plateau and pediplain, where sand covers distributed with various depth. The soil types of each landform unit were characterized mainly by depth of sandy layers.

2) Four types of bare grounds were recognized in the study area: (1) tiger bush type, (2) termite mound type, (3) wind erosional type, and (4) slope-related type. The former two were considered as naturally-formed bare grounds, while the latter two as mainly human induced ones.

3) The rate of bare ground occupation increased considerably from 1975 to 1992, and their distribution was localized on the areas without sand cover (plateau) and with relatively thin sand cover (pediplain), and on the sloped areas with about 4% of gradient.

4) Depth of sandy layers, which may decide depth of effective layers for plant growth, was considered as one of important factors controlling phenomena of bare ground formation.

Key words: fixed dune area, desertification, bare ground distribution, sandy layer depth

1. はじめに

西アフリカのサハラ砂漠以南では、過去20年間続いた小雨傾向と過度の上地利用のために「砂漠化」が進行していると言われている(門村ら, 1991)。これまでの研究では、砂漠化の指標としてよく荒廃裸地の形成があげられるが、裸地の形成は人為による土地荒廃の結果であるばかりでなく、自然発生的現象の場合もある。従って、砂漠化の指標として裸地の拡大を利用するためには、そこに分布する裸地に関する知見を前もって整理しておくことが必要となる。乾燥地から半乾燥地にかけては、もともと裸地の占める割合が高いと同時に、裸地が維持されやすいことが特徴的であり、裸地と裸地化に関する研

究は土地荒廃現象を理解するとともに土地を評価する上できわめて重要である。

本研究の目的は、西アフリカのニジェール南西部の固定砂丘地帯において、裸地を類型化し、その分布、および裸地率の変遷を知ることにより、裸地化しやすい土地条件(地形・土壌)を考察することである。

2. 対象地域概要

西アフリカのサハラ砂漠以南には、半活動性砂丘地帯、固定砂丘地帯が帯状に分布している(図-1)。この固定砂丘はかつてのサハラ拡大期のなごりで、堆積時期は4万年前以前とされている(Gavaud, 1977)。この固定砂丘地帯に含まれるニジェール南西部で、首都ニアメイ

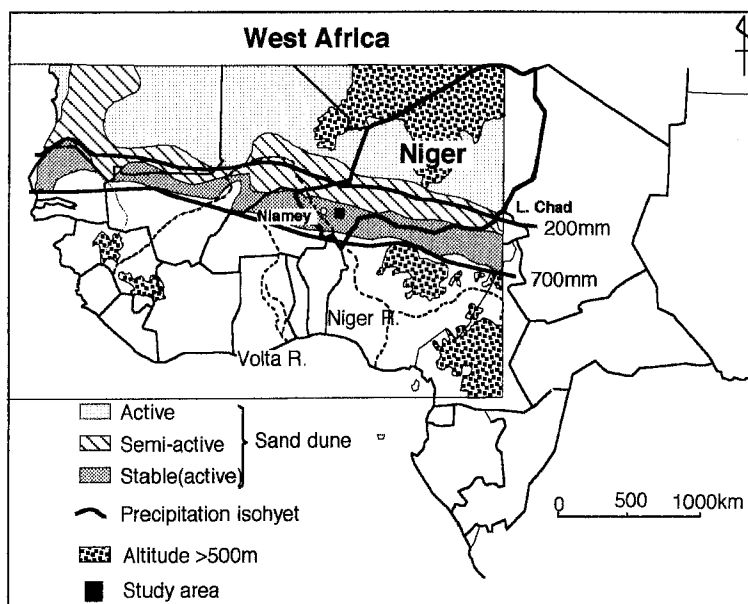


図-1 西アフリカにおける固定砂丘の分布と調査地の位置 (Pieri, 1989 を引用)

Fig. 1 Fixed dune distribution in West Africa and location of the study area (after Pieri, 1989)

から70km東方に位置する農村地帯を対象地域として選んだ。本地域は第三紀末までに堆積したコンチネンタルターミナルと呼ばれる泥質砂岩を母材とする土壤が部分的に砂丘によって覆われた土地であり (Gavaud, 1977), 砂丘の有無に応じて、土壤の特性が異なることが予想される。

調査地域に近いニアメイにおける長期平均年降水量は548 mm (1905-1990) であるが (Sivakumar *et al.*, 1993), 1968年から1984年の間の年降水量をもとにした等雨量線分布図では450 mm-500 mmの間にあり (Resources development associates, 1986), 年降水量が100 mm 近く低下したことになる。

本地域には定着農耕民であるザルマ族が村落を形成して生活を営み、同時に半農半牧の生業形態を持つ少数派のブル族が草原の中で分散して生活を営んでいる。主作物はパールミレットで、ザルマ農家の場合には5年程度の連作を行ない、収量が極端に低下すると5年間程度休閑させる。一方、ブル農家の場合には住居のそばの畑地にはほぼ連作し、家畜糞を利用したより集約的な農業を実施している。

3. 調査方法

1) 地形区分図の作成

空中写真の実体視により、主要な傾斜変換線を抽出し

地形分類図を作成した。使用した空中写真の縮尺は1/62, 500 (1975年撮影) である。

2) 土壌調査

地形単位ごとに土壌を類型化することを目的として、対象地域内の流域の谷部を横断するトランセクトに沿って土壌調査を実施した。断面調査点数は150である。また、代表的な土壌断面から採集した土壌サンプルを分析し、各タイプの土壌の理化学性を求めた。本地域の固定砂丘は様々な厚さで堆積したサンドカバーとしてみなすことができる。このサンドカバーの有無を重要視し、便宜的に次のような土壌類型を実施した。すなわち、サンドカバーの有無により土壌タイプを二分し、次に次表層の湿状態での土色によって区分した。その土色の分類は赤褐色 (色相で2.5 YR), 明赤褐色 (5 YR), 明褐色 (7.5 YR), 灰白色 (10 YR) である。ただし、灰白色の土壌は乾燥すると白色を呈するため、白色土壌と呼称する。サンドカバーを母材とする土壌ではさらにその厚さによって細分した。厚さの区分の設定は、便宜的に、薄い (1m未満), 比較的薄い (1m以上2m未満), 厚い (2m以上) とした。

3) 土地被覆分類図の作成

1975年と1992年に撮影された空中写真の目視判読により、土地被覆分類図を作成した。また、画像処理ソフトを用いて地目別面積割合を求めた。

4) 裸地率の変遷調査

本研究における裸地とは「空中写真上で認識できる程度の広がりを持ち，植被がないか，またはきわめて少ないために，土壌表面が連続して露出する土地」と定義する。裸地は空中写真上で周囲よりも明色を有する不定形状の領域として認識される。植被のまばらな畑地の場合にも類似の色調を有する場合があるが，その形状は多角形で，さらに凹凸の無い直線的な輪郭を持つことからおおそ裸地と区分できるとみなした。畑地を除外した裸地域について，1975年と1992年に撮影された空中写真の画像解析により裸地率の変遷を調査した。解析方法は，空中写真の対象領域をスキャナーでコンピューターに取り込み，画像処理ソフトを用いて，画像のコントラストの補正後，植被部と裸地部を二値化処理し，植被率を求めた。

4. 結果と考察

1) 地形・土壌条件および植生景観の概要

対象地域の地形概念図を図-2に，および地形分類図を図-3に示す。対象地域の地形を大きく分けると泥質砂岩からなる台地とそれを開析して形成されたベディプレインからなっていた。そして，サンドカバーはおもにこのベディプレインに数10cmから数mの厚さで堆積し，図-3に示すような様々な地形を形成していた。等斉斜面形の山麓砂丘はそのひとつで，台地縁辺部に分布した。また，ベディプレイン上にはU字型の横断面形をもつ枯渇河川が蛇行して，南北方向に走っているが，降雨時のみに一時的流水があるのみで，その流水も速やかに伏流する。また河川に沿って河岸平坦面が分布していた。

サンドカバーの堆積していない台地では，帯状の低木林と裸地が虎斑状に分布するタイガーブッシュと呼ばれる植生景観となり（写真-1），それに対しサンドカバー上の自然植生は低木の散在する草原となる（写真-2）。このサンドカバー上の草原は広い面積にわたって耕作地として利用されているが，サンドカバーのない台地が耕作地

として利用されることはなかった。このように植生景観はサンドカバーの有無に対応して対照的であるため，空中写真上でサンドカバーの分布域を知ることが可能であった。

主要な地形単位ごとの傾斜，砂層の厚さの日安，土壌タイプ，および植生ないし土地利用を表-1に示す。また，図-4にトランセクト-1（T-1）の地形と土壌の横断面を示し，図-5にそれに沿った土壌断面例を示す。台地上のサンドカバーの覆っていない所では，明赤褐色の礫に富む粘土質土壌からなり（P-1），A層は侵食を受けずでに喪失し，露出した下層土は表面クラストを形成していた。土層は緻密で，深くなるにつれ礫に富む。林地内の土壌は表層には砂の混入が認められ，また孔隙に富んでいた。これらの台地土壌の下層には数10cmの深さに緻密で連続したペトロフェリック層が出現した。一方，砂質土壌は地形的位置によって砂層の厚さ，および次表層の土色が異なった。すなわち，山麓砂丘では（T-1-1，および1-2），砂層が厚く堆積し（3m以上），赤褐色から赤色となり，平坦なベディプレインでは（図-3の凡例：3a，裸地に比較的富むベディプレインに相当），砂層の厚さは1m～1.5m程度と比較的薄く，下層土の土色は明赤褐色だった。この地形単位上には，砂層の下に連続した比較的砂質のペトロフェリック層が出現する場合（T-1-12）と不定形状のノジュール層を介してその下に粘土質層が出現する場合（T-1-6）があった。なお，ペトロフェリック層は小動物起源の管状孔隙に富んでいた。また，別のトランセクトで粘土質層が直接存在する場合も見られた。河岸平坦面の砂層は深く（2m以上），白色の土色を持ち，洗脱を受けた石英砂からなっていた。その他の砂層の厚い地域では，山麓砂丘と同じく赤褐色の土色からなった。地形と土壌に関する詳細な記載，および土壌の理化学的特性については南雲（1995）を参照されたい。

2) 土地被覆の変遷

図6に対象地域の主要部における1975年と1992年の

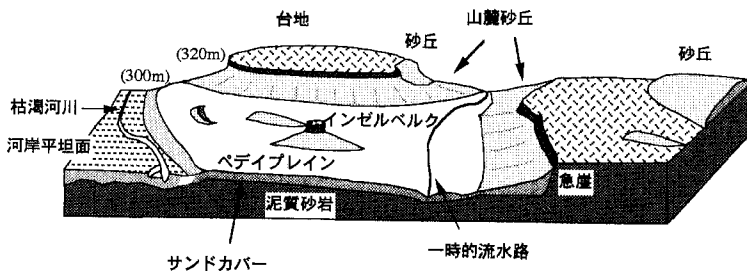
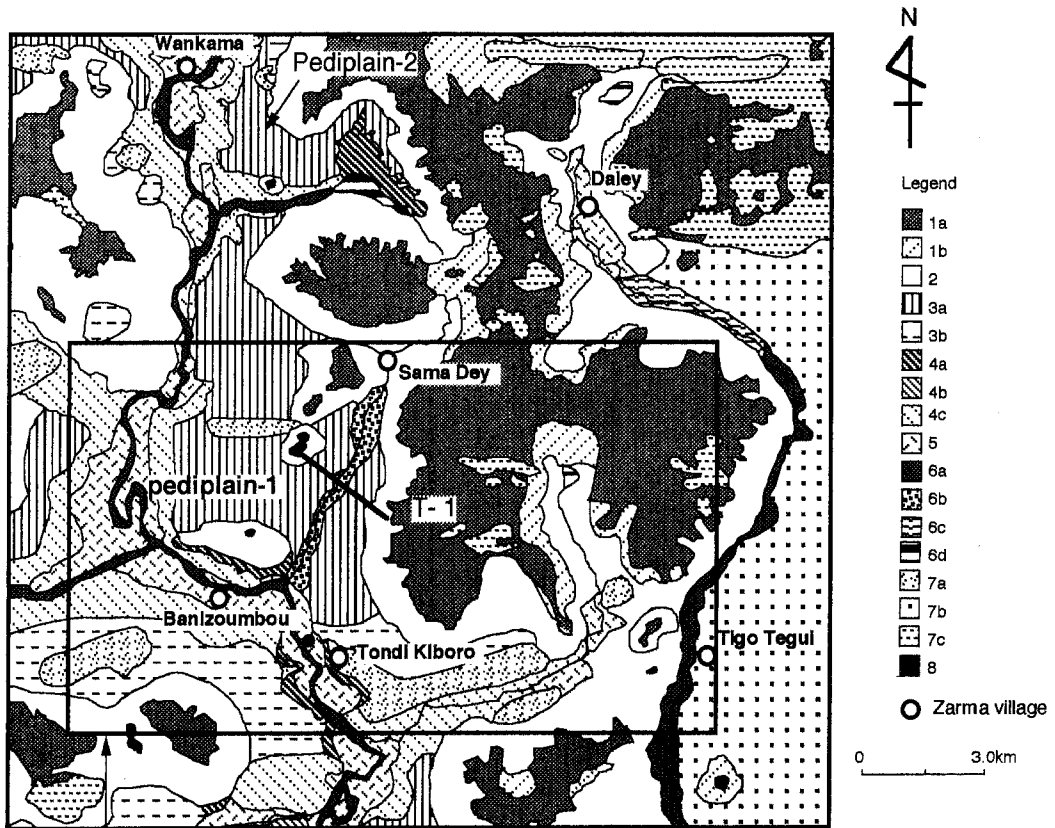


図-2 調査地域の地形概念図

Fig. 2 Schematic landform units in the study area



土地被覆分類調査域

(1) 台地面 1a: 平坦面, 1b: きわめて緩やかな傾斜を持つ台地面, (2) 山麓砂丘, (3) ペディプレイン 3a: 比較的裸地に富む地域, 3b: 裸地の少ない地域, (4) ペディプレインから河岸平坦面へいたる斜面, 4a: 裸地に富むやや急な斜面, 4b: 裸地の少ないやや急な斜面, 4c: 緩斜面, (5) 河岸平坦面, (6) 谷地形 6a: U字型枯渇河川, 6b: 緩斜面を伴う一時的流水路, 6c: 谷床平坦面, 6d: 斜面に囲まれた凹地, (7) 砂丘 7a: ペディプレイン上の砂丘状地形, 7b: 全体にサンドカバーで覆われた波状地形, 7c: 台地上の砂丘状地形, (8) 孤立残丘 (インゼルベルク)

図-3 調査地域の地形分類図

Fig. 3 Geomorphological map of the study area

土地被覆分類図を示し、表2に地門別面積割合の変遷を示す。台地でサンドカバーに覆われていない領域はほとんどタイガーブッシュに分類したが、このうち、1975年と比較して、1992年に低木林の消失した領域を荒廃タイガーブッシュ域として区分した。こうした低木林の完全な消失は伐採による場合が多いと考えられる (Ambouta, 1984)。

その他のサンドカバーで覆われた地域は草地、荒廃草地、および耕作地 (休閒地を含む) に区分した。荒廃草地については裸地に比較的富む領域を抽出した。1975年と1992年の間の顕著な相違として、草地が大きく減少して、耕作地と荒廃草地の領域が拡大したことが注目さ

れる。地形分類図と照合すると、裸地に富む荒廃草地の主な分布域は、台地縁辺部の山麓砂丘斜面上部と、平坦面をなすペディプレインであり、1975年と比較すると後者の拡大が顕著であった。ペディプレインの主要部は未墾地であるが、一部が耕作地に利用されていた。そして、その土壌は砂層の厚さが1mから1.5m前後と比較的薄く、その下にはペトロフェリック層が分布している地域でもある。砂層の厚い地域 (2m以上) では、耕作地が広い面積にわたって分布しており、荒廃草地の分布は山麓砂丘斜面上部などの傾斜地 (4%程度) に限られた。このことは砂層の厚い土地が選択的に利用されてきたことを示している。

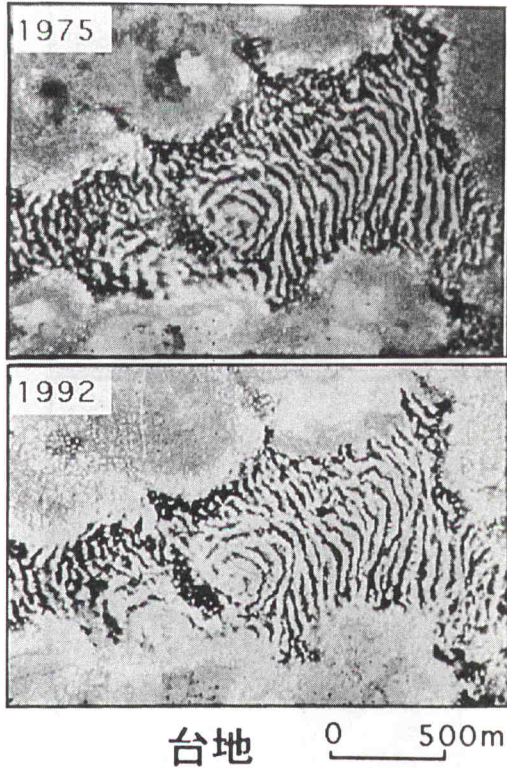


写真-1 台地のタイガーブッシュの変遷

Plate 1 Evolution of tiger bush on the plateau

3) 裸地の分布および変遷

主要な地形ごとの裸地の分布およびその変遷は次の通りであった。

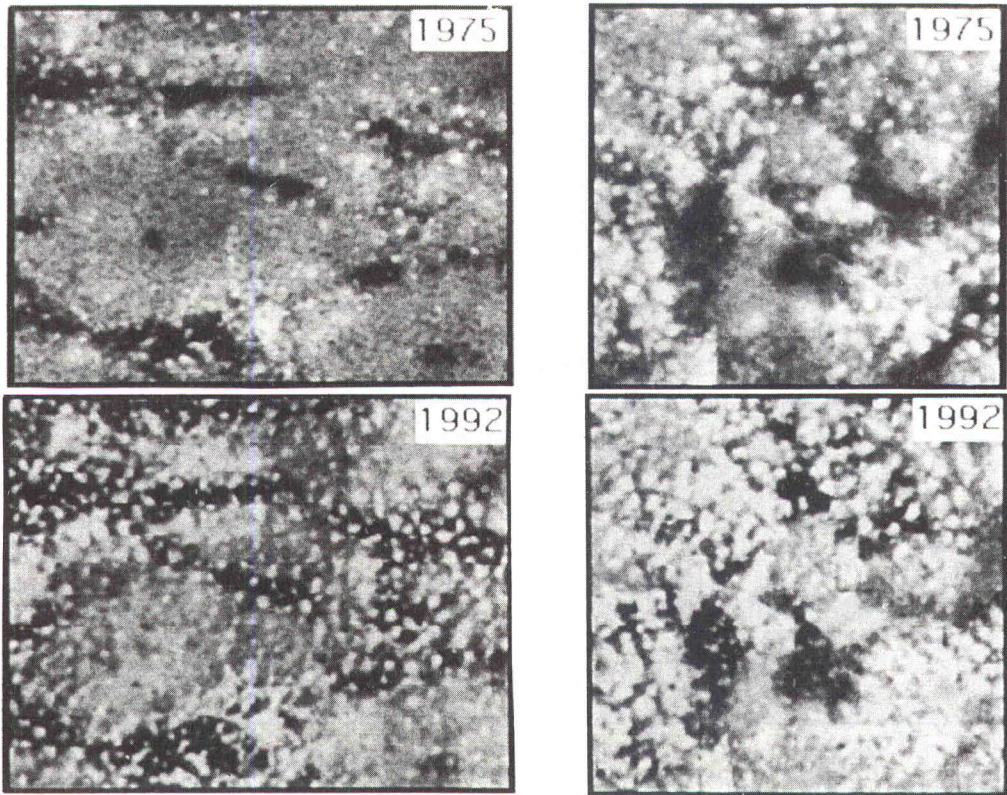
台地：写真-1に示すようにタイガーブッシュを構成する低木林の植被帯(写真上で暗色領域)と裸地帯(明色領域)は虎斑状に分布し、裸地の形成はもともと自然発生的なものと考えられる。1975年と1992年に撮影された空中写真を比較すると、植被帯のやせ細りが認められ、画像解析の結果、植被率の平均はそれぞれ41%と28%で、裸地帯の拡大が確認された。この植被帯の減少は带状低木林地の幅の縮小によるものであるが、伐採を全体にわたってこのような形で行うことは考えにくい。解析した二つの空中写真の撮影年の間は、年平均降水量が100mm近く低下していた少雨傾向の時期にほぼ相当することから、樹木生育の衰退による植被帯の縮小であると考えられる。Ambouta (1984)は、ニジェール南西部の降水量が異なる地域でのタイガーブッシュの植被状態について、降水量の低下に伴い植被率もまた低下することを示した(表-3)。さらに、タイガーブッシュの植被および裸地の状態を詳細に調査し、降水量の低下が同一

地点においても、植被帯の縮小と裸地帯の拡大をもたらすことにより、植被率の低下を招くことを仮定している。本調査結果はこの仮定と一致する。しかし、表3に示された植被状態の地理的変異と比較すると、植被率についてはほぼ整合性があるものの、植被帯の幅については違いが認められた。すなわち、降水量の低下につれて表-3の植被帯の幅は、裸地帯との比率を変えつつ広くなるのに対して、本調査結果では1975年から1992年にかけて植被帯の幅が逆に細くなっていた。このことは同一地点における降水量の低下によるタイガーブッシュの植被状態の変化をその地理的変異から単純には推定できないことを示唆している。

山麓砂丘：4%程度の傾斜を有する山麓砂丘斜面上部では台地縁辺部に沿って带状に裸地が分布しており、その分布域が1975年から1992年にかけて拡大した。現地調査によると、裸地では表層が喪失し、細粒画分に富む下層の赤褐色層が露出しており、その表面にはクラストが形成されていた。さらに、斜面に沿ってガリーが発達しており、土壌侵食が起きていることがわかる。

ベディプレイン：ベディプレインの平坦部では1975年から1992年にかけて小円状の裸地の数が増加していた(写真-2)。小円状裸地は蟻塚の崩壊に伴い、その構成物質が周囲に散布され、その周囲を直径10mから20m程度の円状に裸地化したものである。そこでは比較的緻密な表面クラストが形成されていた。蟻塚の形状はドーム型で大きい場合には高さ3m以上になり、崩壊が進行すると数10cm程度の起伏が名残りをとどめている状態となる。ベディプレイン-1では、植被率は1975年の92%から1992年の69%へと低下し、孤立した蟻塚性裸地の数の増加も認められた。一方、ベディプレイン-2では1975年の平均82%から、1992年の47%に低下し、そこでは、蟻塚性裸地同士が結合し、広域裸地に変化しているように見受けられた。こうした蟻塚性裸地の形成は基本的には自然発生的現象と考えられ、様々な地域で観察されている(たとえば、Janeau *et al.*, 1987)。タイガーブッシュの場合と同じく、蟻塚の分布域の拡大もまた気候変動と対応した自然現象と考えられる。ただし、蟻塚の崩壊を促進する要因については、人為的要因をあげている報告もある(松本ら, 1991)。

ベディプレイン上の傾斜4%程の一時的流水路に沿った緩斜面付近では1975年の時点において部分的な裸地が観察されるのみであったが、1992年にはそれが連続するようになり(写真3)、植被率は1975年の78%から1992年の24%へと植被率が低下した。この連続した裸地は傾斜地に付随する裸地という意味では山麓砂丘斜面上部のそれと類似しており、水食の影響と考えられる。



ベディプレーン-1 0 400m ベディプレーン-2

写真-2 ベディプレーン上の裸地の変遷

Plate 2 Evolution of bare grounds on the pediplains

表-1 地形単位ごとの土壌および植被タイプ

Table 1 Main landform units and their corresponding soil type, and vegetation

地形単位	傾斜	砂層厚	土壌型	植生景観/土地利用
台地	平坦	nil	赤褐色, 粘土質	タイガーブッシュ
ベディプレーン (裸地に富む)	1-2%	1-2m	明赤褐色, 砂質	低木を伴う草地, 畑地
山麗砂丘	2-4%	2m<	赤褐色, 砂質	低木を伴う草地, 畑地
その他の砂丘地帯	1-2%	2m<	赤褐色, 砂質	畑地, 低木を伴う草地
河岸平坦面	平坦	2m<	白色, 砂質	畑地, 低木を伴う草地

注2) 砂層厚は土壌断面調査にもとづくおよその目安である。

また、流水路河岸の斜面だけでなく、縁辺部の傾斜が緩い(1-2%)領域にも裸地が拡大していた。その裸地の中、あるいは周辺部に数10cmから1m程度の起伏が存在する微地形がしばしば観察され、ネブカ(茂み砂丘)に類似するものと考えた。ネブカは風食によって剥離した砂が植被のある領域に捕獲されたり、低木などの樹木の基部に集積したもので、その存在は風食の指標とされ

る(Tengberg, 1995)。また、ネブカほど起伏が明瞭でなくとも、植被域が裸地域に比べて数cm高くなっていることが多く、本地域においても風食と関連した裸地の形成が起きていると考えられた(風食性裸地)。

4) 裸地化の原因

以上のように、裸地のタイプを(1)タイガーブッシュ性、(2)蟻塚性、(3)風食性(微起伏を伴う)、および(4)斜

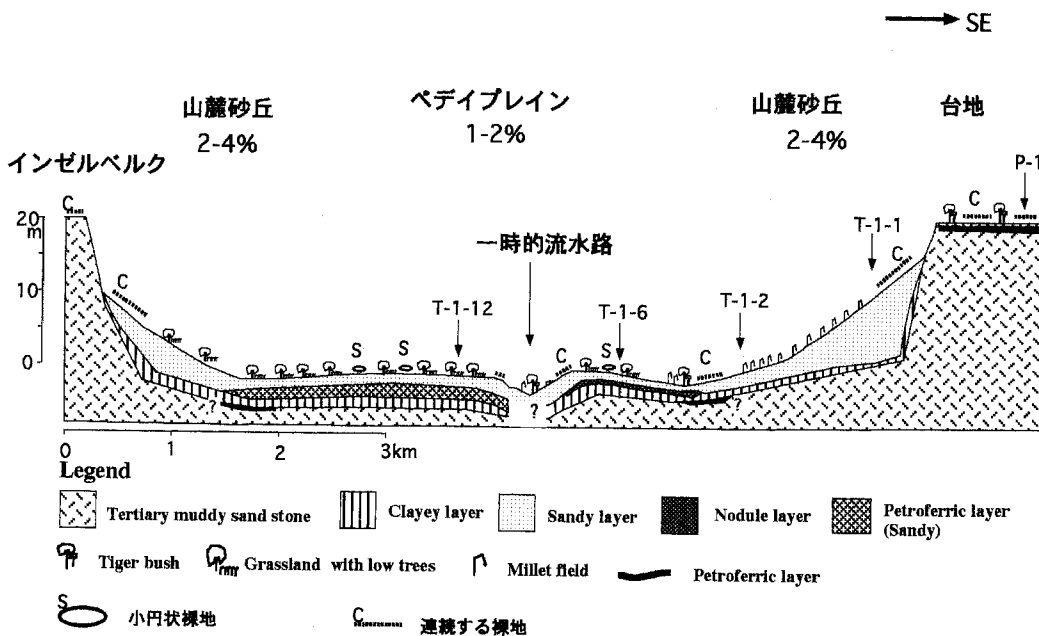


図-4 トランセクト-1に沿った地形と土壌

Fig. 4 Landforms and soil layers along Transect-1

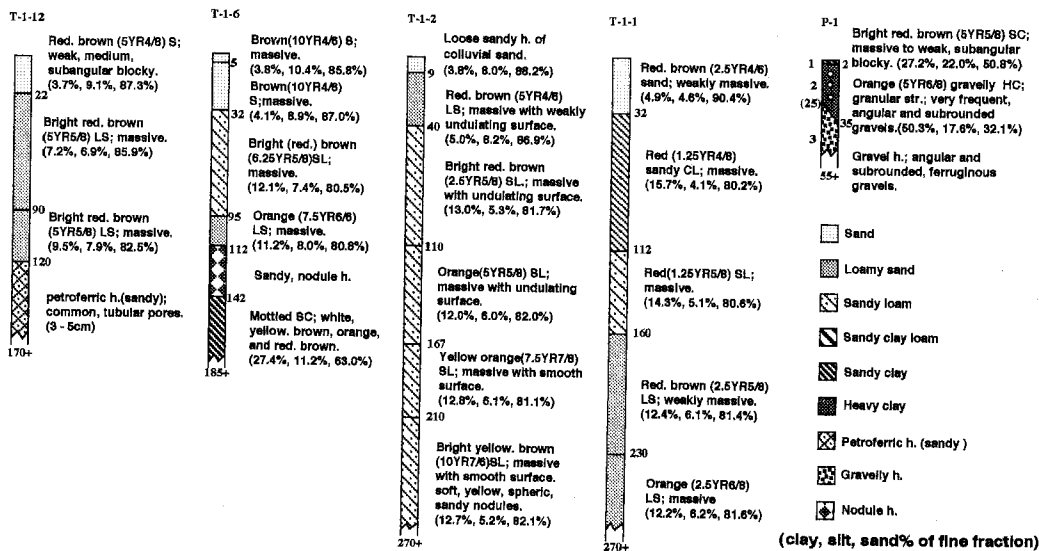


図-5 トランセクト-1に沿った土壌断面例

Fig. 5 Examples of soil profile descriptions along Transect-1

面性（山麓砂丘斜面上部，一時的流水路）に区分した。これらの内，タイガープッシュ性裸地と蟻塚性裸地は自然現象とみなすことができる。その拡大の原因については，1960年代末からの少雨傾向との関係が考えられた。一方，風食性裸地および斜面性裸地については，風食と

水食が関与している。土壌侵食の程度は一般に植被の除去による裸地化の影響を強く受けることが知られており（Morgan, 1986），開墾，樹木の伐採，家畜の踏みつけなどによって形成された一時的な裸地が土壌侵食を受けた後，植生が回復していないものと考えた。しかし，開墾

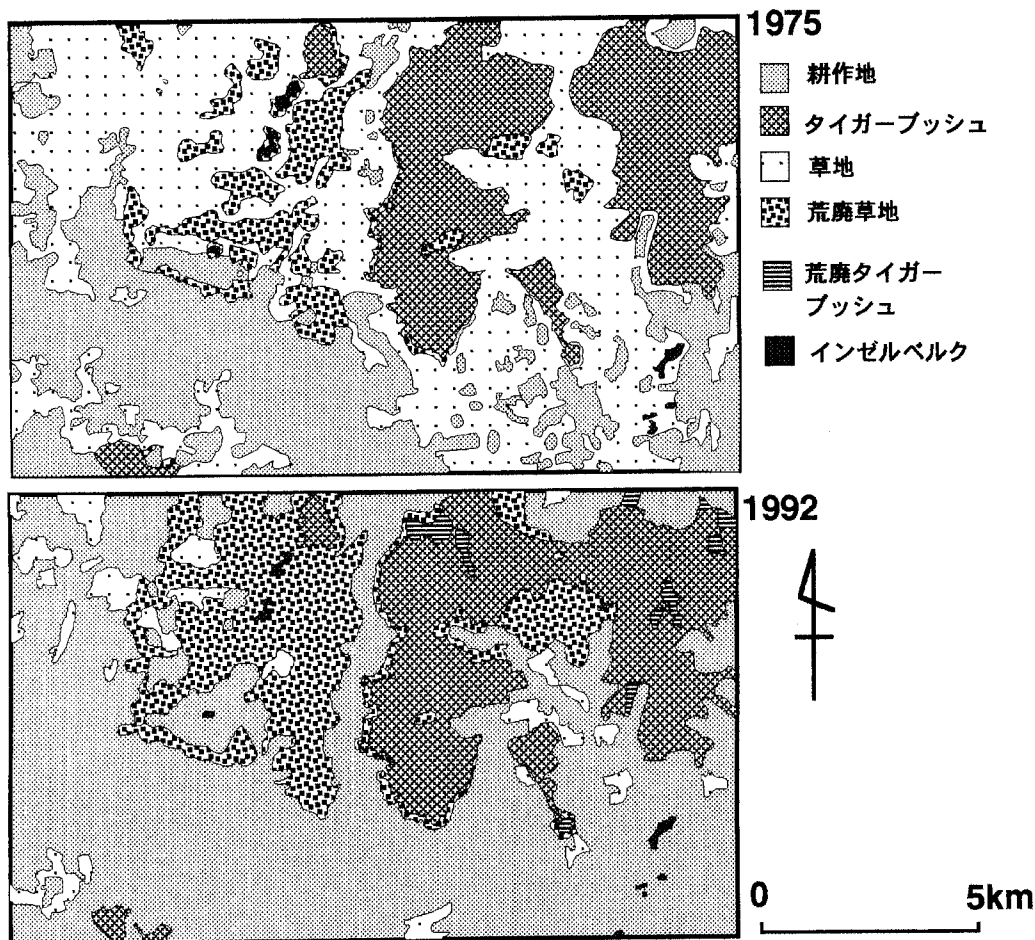


図-6 土地被覆分布の変遷

Fig. 6 Evolution of land occupation distribution

すればどこでも裸地化するというわけではなく、サンドカバー地域での裸地の分布は傾斜4%程度の傾斜地と、砂層の比較的薄いペディプレインに局在していた。それに対して、傾斜が弱く、砂層の厚い土地では広く耕作地に利用されているにもかかわらず、明らかな裸地を認めることができない。

5) 砂層の厚さの効果

傾斜の効果については、土壤侵食におよぼす要因の類推から比較的理解しやすい。一方、砂層の厚さの効果については、降水の挙動とその有効利用という観点から、台地上の粘土質土層の露出する場合を含めて、図-7のように考察した。すなわち、砂層の堆積のなかった台地の粘土質土層では、透水性が低いために、わずかな傾斜に応じて、表面流去水の発生・移動と低木林地帯への水の局在化が起こる。それによって、低木林が維持されている。砂層が厚く堆積した場合には透水性が良好なため、

水は下方浸透しつつ砂層に一樣に取り込まれ、弱い水分張力で保持され植物に利用される。しかし、砂層が薄いために土壤表面から浅い位置に粘土質土層があると、浸潤した水はその下層に強く保持され非有効化してしまうか（浸潤水量の少ない場合）、粘土質層上面に沿って側方浸透を起こして非有効化してしまう（浸潤水量が多い場合）と考える。ペトロフェリック層が出現する場合にも、側方浸透による水の非有効化が考えられるが、層中に分布する粗大な管状孔隙が水道となって下方浸透を促進する時には、水がより深層に移動することによっても根が利用しにくくなると考えられる。実際に、土壤断面観察の結果では、植物根の分布は砂層の厚い場合2m程度に達するが、緻密な粘土質土層中には分布せず、ペトロフェリック層がある場合には、その上部の粗大孔隙内にわずかに観察されるのみだった。これらのことから有効土層は砂層に限られると考えると、厚い砂層を有する土

表-2 土地被覆割合の変化

Table 2 Evolution of land occupation rate

地 目	1975 (%)	1992 (%)
タイガーブッシュ	20.2	19.3
荒廃タイガーブッシュ	0.0	0.9
草 地	43.6	4.8
荒廃草地	6.3	15.7
耕 作 地	29.6	59.0
インゼルベルク	0.3	0.2
計	100.0	100.0

対象面積：175 km²

壤で有効土層厚はより厚くなり、有効水分保持容量も砂層の厚さに依存することになる(約 100 mm/1 m, 南雲, 1995)。干ばつなどの土壤水分が不足しがちな小雨年の植物生育へ影響は、砂層が薄いため有効水分保持容量が小さい土壤で顕著に現れるであろう。一時的に裸地化した後の植生の回復もこうした土地では遅れると考えられる。従って、砂層の薄い土壤は砂層が厚い土壤と比較すると植物の生育環境としてはより不適で、裸地化しやすい条件を持つと考えた。砂層の厚い土地を選択的に地元農家が利用してきたということがこのことを裏付けていると思われる。

以上のことから、裸地化の起き易さ、そして、裸地の維持され易さは、粘土質な土壤で大きく、厚い砂層を持

表-3 台地上における裸地帯と植被帯の幅におよぼす降水量の影響 (Ambouta, 1984 を引用)

Table 3 Influence of precipitation on bare and plant cover bands on the plateau (After Ambouta, 1984)

北緯 (度)	降水量(mm)	植被帯の幅	裸地帯の幅	植被率
14.5~15.0	450~400	35 (m)	75 (m)	30 (%)
13.5~14.5	600~450	25	30	45
12.5~13.5	800~600	21	18	50

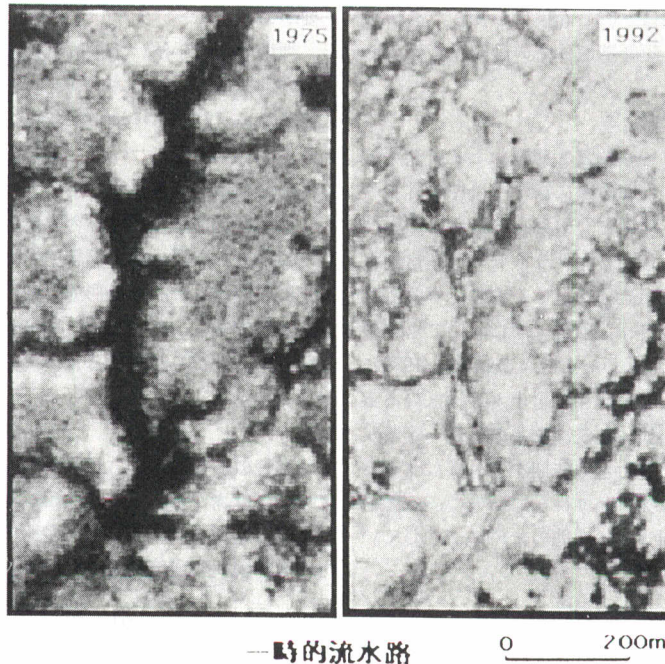


写真-3 ベディプレーン上の一時的流水路河岸の裸地の変遷

Plate 3 Evolution of bare grounds along temporal water way on the pediplain

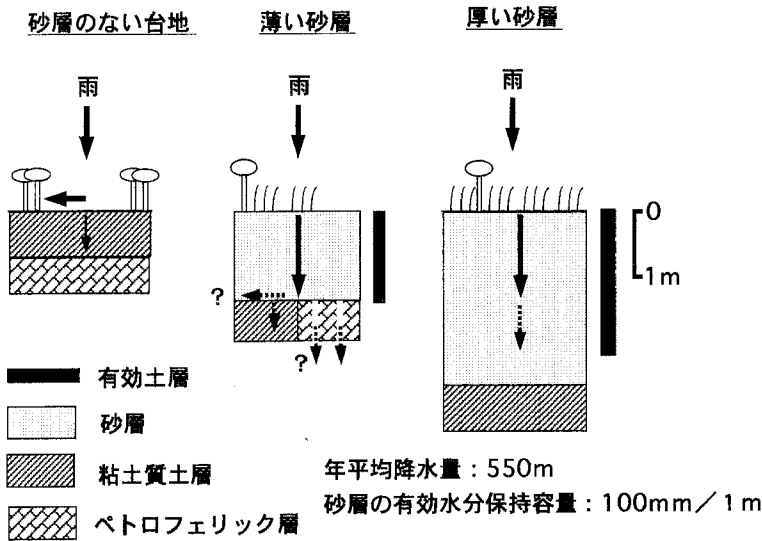


図-7 土壌中および土壌表面における雨水の挙動に及ぼす砂層の厚さの効果

Fig. 7 Effect of sandy layer depth on movement of rain water in and on the soils

つ土壌で小さく、砂層の薄い土壌でその中間になったものと思われた。そして、砂層が薄くとも農耕が可能であることから、砂層の薄い土地での土地利用が砂漠化に結びつく危険性ももっとも大きいと考察した。逆に考えるならば、厚い砂層の被覆は、広い面積にわたって農耕を可能にしてきたと共に、傾斜地以外での砂漠化を抑える働きを持つといえる。

6) 表面クラストの影響

いずれの裸地においても細粒質な薄層による表面クラストが形成されていた。台地の礫に富む土壌を除外するとその表面は凹凸のない平坦で、亀裂もほとんどの場合観察されなかった。こうした表面クラストの存在は雨水の下方浸透を遅らせ、表面流去を起しやすくする働きをもつ。本来、透水性の良い砂質土壌においてもその効果が観察されている (Casenave et Valentin, 1989)。また、表面クラストが植物の発芽を阻止する働きのあることも知られている (田中, 1995)。種子の落下・定着から始まる草本植物の生活史のどの時期をどの様なプロセスで阻止しているのかは明らかではないものの、表面クラストの形成がそれに関与し、裸地の維持に寄与していることが示唆される。

5. 終わりに

これまで、ニジェール南西部の固定砂丘地帯における裸地の形態、分布、およびその変遷を地形・土壌条件と関連づけて考察してきた。特に、裸地の分布が土地条件、特にサンドカバーの厚さの分布と関連していることを示

し、そのメカニズムを降水の挙動と結びつけ考察した。また、裸地が維持される理由が表面クラストの存在と関わっていることが示唆された。分布と観察のみにもとづいたこれらの考察は、現地試験によってさらに検証する必要がある。

裸地の観察手法は画像解析によったが、空中写真上での裸地類型は、特徴的形態をもつものに限られたことは否めない。詳細な裸地の形状と分布を把握するために、カイトフォトグラフィーによる低高度から撮影した空中写真の利用も今後検討していきたい。

裸地は現地での観察が容易であり、空中写真上でも比較的抽出しやすい地表面状態である。裸地のタイプが明確に類型化され、その形態、成因、およびその特徴を整理することにより、その土地で起きている現象とその土地が持つ性質を評価するための有効な指標となり得る。

謝 辞

発表の機会を与えて頂きました土壌物理研究会の方々へ深く感謝いたします。また、本論文を御校閲して頂きました北海道大学農学部波多野隆介教授、同大学大学院地球環境科学研究科倉茂好匡助手に感謝いたします。

引用文献

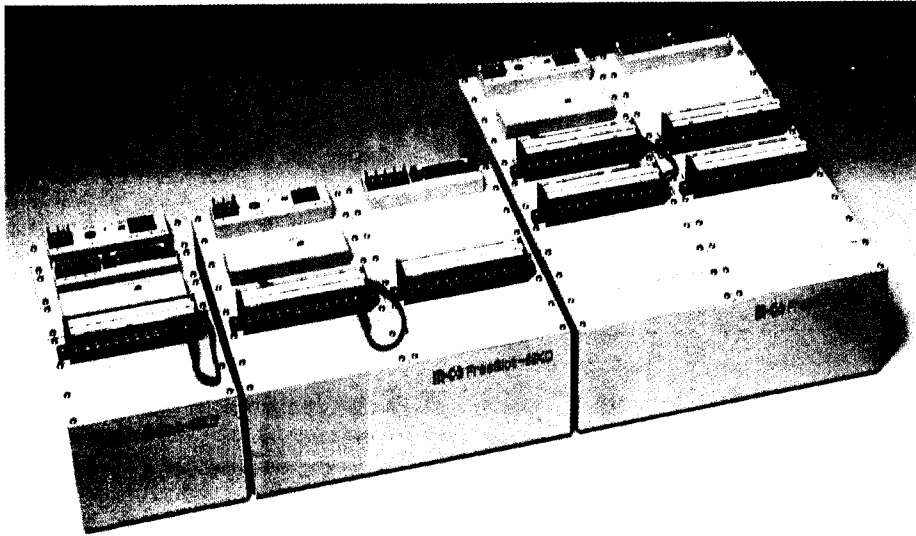
- Ambouta, K. (1984): Contribution à l'édaphologie de la brousse tigrée de l'Ouest Nigerian, Thèse Docteur Ingenieur, 116 p, Nancy.
- Casenave, A. and Valentin, C. (1989): Les États de

- surface de la zone Sahélienne, Influence sur l'infiltration. Collection "Diactiques". 229 p, ORSTOM, Paris.
- Gavaud, M. (1977): Les grands traits de la pédogenèse au Niger méridional. Collection Travaux et Documents, No. 76, p102, ORSTOM, Paris.
- Janeau, J.I. et Valentin, C. (1987): Relations entre les terminières Trinervitermes s.p. et la surface du sol: réorganisations, ruissellement et érosion. Rev. Écol. Sol., 24 (4): 637~647.
- 門村 浩・竹内和彦・大森博雄・田村俊和共著 (1991): 環境変動と地球砂漠化, p276, 朝倉書店, 東京.
- 松本栄次・池田 浩・振動静夫 (1991): タンザニア中部におけるシロアリの水文地形学的役割, 地形, 12 (3): 219~234.
- Morgan, R.P.C. (1986): Soil erosion and conservation, p. 298, Longman.
- 南雲不二男 (1995): 西アフリカ, ニジェールの固定砂丘地帯における地形・土壌環境と土地荒廃, 地学雑誌, 104 (2): 239~253.
- Pieri, C. (1989): Fertilité des terres de savanes: Bilan de trente ans de recherche et de la développement agricoles au sud du Sahara, p444, CIRAD, Paris.
- Resources development Associates. (1986): Agroecological zonation study, Niamey department. Report of USAID, Niger.
- Sivakumar, M.V.K., Maidoukia, A. and Stern, R.D. (1993): Agroclimatology of West Africa: Niger, second edition, p108, ICRISAT, Niamey.
- 田中 樹 (1995): 土壌クラストの形成機作とそれに影響を及ぼす諸条件, 土壌の物理性, 71: 17~21.
- Tengberg, A. (1995): Nebkha dunes as indicators of wind erosion and land degradation in the Sahel zone of Burkina Faso. J. of Arid Environment, 30: 265~282.

受稿日平成8年1月16日
受理日平成8年2月13日

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

▶広い動作温度範囲

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

▶多様な測定インターバル機能

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

▶パソコンで簡単にデータ回収

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

▶RS-232C通信機能

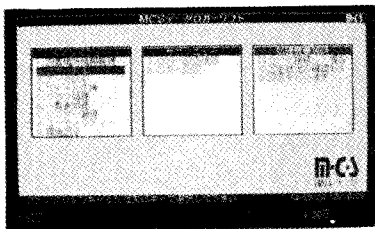
モデム(オプション)を使用し、NTT回線でパソコンと通信ができます。

▶3電源方式

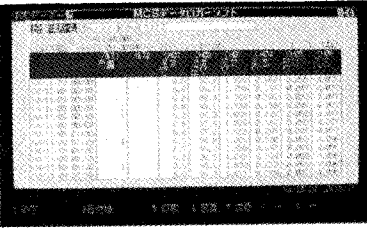
AC100V、外部電池(DC12~24V)、内蔵電池(オプション)で動作可能です。

FreeSlot-68KD 基本ソフト例

メニュー画面

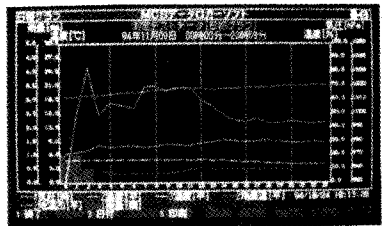


測定データ表示



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



有限公司 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

在来農法における表土管理と土壌荒廃

—西アフリカ・マリとインドでの事例から—

田 中 樹

Soil Surface Management Under Conventional Farming System with Reference to Soil Degradation

—Case Studies in Mali and Northwestern India—

Ueru TANAKA

Faculty of Agriculture, Kyoto University

Abstract

Soil surface management practices under conventional farming systems were studied in Mali and India with reference to human-induced soil degradation. The purposes of this study were : 1) to record and characterize the conventional farming practices ; 2) to find some requisites for sustainable farming systems under semi-arid environment ; and, 3) to seek the possibility of horizontal (south-to-south) technology transfer.

Upland fields in Thiongoni village, Mali, have been cultivated with a oxen-driven plow which was introduced from France during colonial era. By deep plowing (15-20 cm) in sandy textured soil, soil degradation process has accelerated in these decades through soil surface crusting, accumulation of sand fraction in plow layer and soil loss both by water and wind erosion. On the other hands, the conventional farming systems in some villages near Udaipur, Northwestern India, where agro-ecological condition is similar to Thiongoni village, have been sustained the upland fields for more then some hundred years without causing conspicuous soil degradation. The difference from the Thiongoni's case is explained by the mode of surface management practices, e.g. shallow plowing, improvement of the quality of crop residues for feeding by dense planting, utilization of a wide variety of cultivation tools, manure application, and soil band for erosion control. The above information provides great hint to improve the current soil-human relations in Thiongoni village.

Key words : soil degradation, conventional farming system, soil surface management, horizontal technology transfer

1. はじめに

畑地は本質的に不安定な系である。特に熱帯地域の畑土壌は、潜在的に低肥沃度化へと向かう土壌条件と変動の激しい水文環境に置かれている (El-Swaify *et al.*, 1985)。「持続的」農業が叫ばれて久しいが、それには生産基盤である土壌の保全と機能維持が成立要件の大前提となり、地形面修復への絶えざる労力の投入や地域特異

性 (Site specificity) に適合した農法の展開が要求される。その処方は、在来農業 (あるいは伝統農業) に学ぶことができるだろう。事実、在来農法の研究を通して、環境適応に優れた農法のあり方を探る動き (Beets, 1990 ; 応地, 1992 ; Mettrick, 1993) が、近年注目を集めつつある。また、社会経済状況の変化や「北→南」への農業技術の導入により、在来農業がその姿を大きく変えるなかで、耕地の荒廃が引き起こされるという反面教師

的な事例からも、土壌と人為との関わり方が示唆されよう。

農耕地における土壌と人為の関わりは、主に作季前半の表土管理作業を通して行なわれる。ここでは、表土管理 (Lal, 1986) を、「耕起・耕うん、中耕、除草耕、マルチなどを通しての耕地土壌に対する人為的働きかけ」と定義する。農学的対応による畦立てやテラス化などの小規模な地形形変もこれに含まれる。本報告では、西アフリカとインドの農村での事例の紹介を通して、それらの表土管理法に見られる合理性や不適合性の解釈を試みる。農法を介しての土壌と人為の関わりには様々な局面があるが、紙幅の都合から、ここでは主に土壌の表層物理性と土壌侵食を中心に説明する。本報告は、調査途上である故に、定量的な裏付けに欠ける箇所もあるが、フィールド科学でもある土壌学から人為と環境の関連を把握しようとする試みの事例として、また特に熱帯地域での農業開発のあり方を再考 (Beets, 1990) する材料の一つとして見て頂ければ幸いである。

2. 西アフリカ・マリ・チオンゴニ村の現行農法

2-1 調査村の農業と土壌の概要

土壌荒廃が進む村の事例として西アフリカ・マリ共和国 (図-1, a), チオンゴニ村で行なわれている表土管理と土壌の関係を紹介する。調査村は、マリ共和国セー市北方 40 km, ニジェール河畔に位置し、バンバラ人、

ボゾ人、フルベ人が住む。年降水量 500 mm でスーダンサバンナ帯に属し、ニジェール河岸の緩やかな波状台地に砂岩質堆積物を母材とする砂質土壌 (Ferric Arenosol) が分布する (FAO/Unesco, 1974)。

農民による土壌認識は、土色と土性に基づき、5種類に分けられる。その呼称 (バンバラ語) と性状の概略は次の通りである: (1) チェンチェン (*Chen·chen*) は、「砂」を意味し、作土の表層 (0~20 cm 程度) に見られる。7.5 YR 6/6~5/6 の土色を呈し、細砂を主体とする砂画分は 90~95% にもなる。調査村の台地では、緩斜面下部や平地地ほどこの層が厚く、生産力の低い土壌と認識される。(2) ガンガブレ (*Ganga·bre*) は、「赤みのある土」を意味し、土色が 7.5 YR 5/8~5 YR 4/6, 砂画分が 80~85% とチェンチェンより細粒質が幾分多い壤質砂土 (Loamy sand) で、その厚さは数 m にも達する。通常、チェンチェンの層の下に現れるが、台地緩斜面の頂部部では水食や風食による表土の流亡のため、表面近くに現れる。(3) チェンチェン・ガンガブレ (*Chenchen·Ganga·bre*) は、前述の 2 つの土壌が混合したもので作土層下部に見られる。(4) ガンガフィンマ (*Ganga·fin·ma*) は、植物残渣や堆肥の混じった幾分暗色の土壌を指す。(5) ボワ (*Bowa*) は、土性の細かい土壌を意味し、河畔や中州に見られ、調査村では最も生産力が高いとされる。

土地利用はトウジンビエ (*Pennisetum typhoideum*)

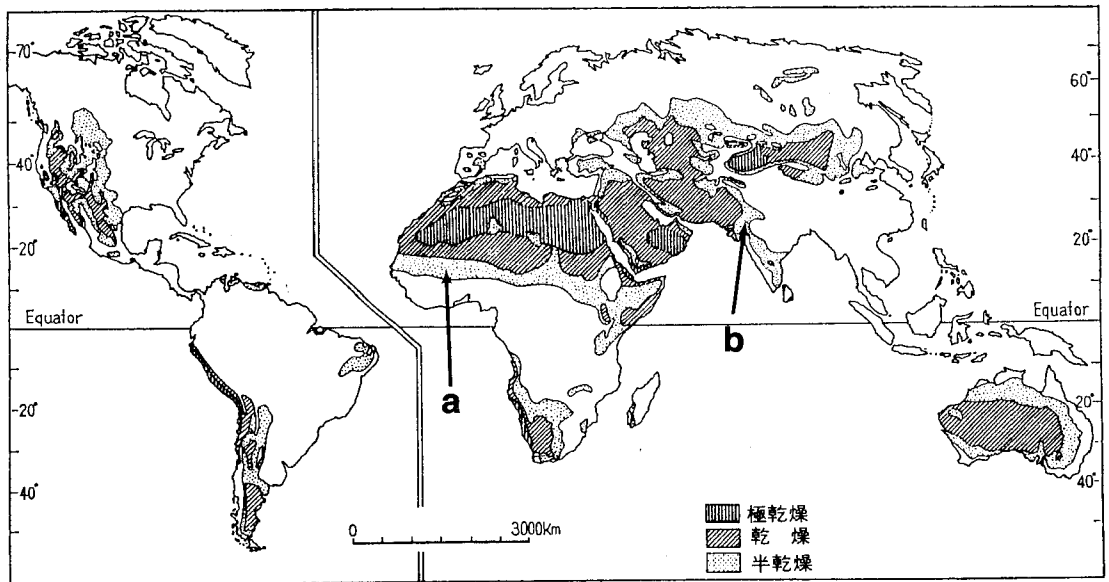


図-1 メイグスの乾燥等質気候分布図 (赤木, 1990) と調査地の位置 (a: マリ, b: 北西インド)

Location and climatic condition of the study areas (a: Mali, b: Northwestern India)

やフォニオ (*Digitaria exilis*) を主体とする天水畑作である。かつては中州や河岸低地で稲作や野菜作、家畜の放牧や採草が行われていたが、1960年初頭に、10 km 下流でのダム建設により水没したため、台地上の天水畑への依存度が高まった。台地上の耕地は、集落に近く、堆肥を施用するなど比較的集約的に利用されるソ・フォロ (So folo) と集落から離れ、地力の回復を休閑に頼るクング・フォロ (Kungo folo) に分けられる (Ohji, 1990)。前者では、一時は全村で数百頭を数えた家畜飼育頭数が百頭足らずに激減したため十分な量の堆肥を確保できず、後者では、休閑地が縮小され無施肥で常畑化されるなど、いずれも土壤の疲弊が進みつつある。

2-2 作季前半の表土管理作業行程

台地でのトゥジンビエ作を例にとると作季前半の農作業行程は、次のように要約される：「雨季の始め、片反転犁 (写真-1) を引いての除草耕および畝立て。ソ・フォロでは、これに先立って、堆肥の搬入と全面散布が行なわれる。耕起深度は、15~20 cm 程度、畝の大きさは幅 30 cm、高さ 30 cm、畝間隔 50~60 cm 程度。」→「柄の長い手鋤を用いて畝の中央に 40 cm 程度の間隔で点播。」→「約 2 週間後、発芽したトゥジンビエの株の左右 5~7 cm を残すように片反転犁を引き、畝の土壤を畝間へ反転し雑草を覆う (写真-2)。株元の雑草は手鋤により除かれる。」→「以降、雑草の生育が旺盛な多雨年は、必要に応じて手鋤による除草を行うが、通常は他は収穫まで作業はない。収穫は、足で茎を踏み倒してから穂刈りし、残渣は畑に放置する。」。

畜力牽引による耕起は、調査村ばかりではなく周辺地域にも広く普及し定着している。牽引には、牛の他、ラクダやロバ、馬が利用されることがある。なお、調査村では、耕地のテラス化や境界への畦の設置、等高線栽培などが見られず、土壤保全の意識が希薄である。



写真-1 マリで用いられている片反転犁
Plow widely used in Mali



写真-2 反転除草耕の様子
Plowing for weed control

2-3 片反転犁の導入の影響

耕起の目的は、(1)緻密化した土壤の砕土など物理性の改善、(2)除草や埋没種子の排除、(3)堆肥や有機物残渣の土壤への混和と分解促進 (姫田, 1991)、に大きく分けられる。調査村のように、砂質土壤が分布する地域では、砕土を特に必要としないため、後 2 者が耕起作業の主たる動機と考えられる。図-2 は、西アフリカのスーダンサバンナ帯における種々の耕起作業 (Ministere de l'Agriculture, 1990) を描いたものであるが、ほとんどが耨耕 (人力による鋤あるいは鋤による耕起) で、土壌表面を浅く搔ぐ程度の作業であることがわかる。中には表土をかき集め、畝やマウンドを作る場合もあるが、これは乏しいながらも比較的多くの養分を含む表土を作物の近傍に配し、初期生育を確保するためである (Lal, 1986)。

周辺地域での在来農法の観察から、調査村でもかつては、攪拌・浅耕型の耕起であったと推察されるが、これらの農具は徐々に姿を消しつつあり、現在ではフランス植民地時代下にあった 1920 年代以降に導入された片反転犁に取って替られている。この犁は、フランス北東部の湿潤な地域に起源し (応地, 1992)、犁床が短いため深耕に適し、大きな撥土板により土壤を片側に反転させるものである。その普及・定着の理由は、土壤を比較的深く反転することによる雑草抑制の効果、作業の迅速化と耕起労力の軽減に利点があったためと考えられる。

片反転犁への転換に伴い、それ以前に行なわれていた耨耕が畜力犁耕となり、攪拌・浅耕 (深さ 5 cm) から反転・深耕 (深さ 15~20 cm) へと表土管理の様相が変わった。作季前半の耕起に伴う土壤の攪乱の程度を模式的に表したのが図-3 である。

2-4 土壤荒廃の実態とプロセス

調査村での土壤荒廃の実態を、「土壤クラストの形



図-2 西アフリカの伝統農法で行なわれる耕起作業

Surface management practices under conventional upland farming systems in West Africa

成」, 「作上の砂質化」, 「土壌侵食」の3点から説明する。

土壌クラストの形成: 砂質土壌は基本的に土壌粒子間の結合力に乏しく、耕起でできた土塊や畝は、雨滴に打たれると容易に崩壊する。その途上で砂と細粒質が分離し、それぞれが薄層を形成する。特に畝間は畝の側面からの土壌の移動と堆積が断続的に起こるので、何層もの薄層を持つクラストができる。写真-3は、調査村の耕地の土壌表層から採取した非攪乱試料の薄片写真であるが、粗砂(矢印a)が2~3mm, 細砂(矢印b)が2~4mm, 細粒質(矢印c)が1mm 足らずの厚さの薄層を形成しているのが観察される。表-1は、田中(1995)の手順に準じて、初期水分条件を9.81MPaに調整した2種類の土壌試料を円筒容器に充填し、5分間の人工降雨処理後の透水性を測定した結果である。現場では、何度も

降雨機会があり、さらに他所からの土壌の移動と堆積が加わるので、クラスト形成による透水性の低下はさらに大きいと考えられる。比較的細粒質の多いガンガブレで透水性が低い傾向を示し、これは片反転犁耕により作土下部が表層に現れるとクラスト形成が助長されることを意味する。土壌表層での透水能の減少は、後述する作土の砂質化や水食による土壌流失を助長させる他、耕地の雨水貯留量を低下させ作物生産の安定性をも危うくする。

作土の砂質化: 砂と細粒質の分離と土壌クラスト層の形成は、表面流去水による粘土やシルトなど細粒質の選択的流亡を招き、その一方で土壌表層の砂画分が増える。片反転犁耕が繰り返されると作土全体が砂質化する。また、強い降雨や乾季の風食により砂画分が移動・

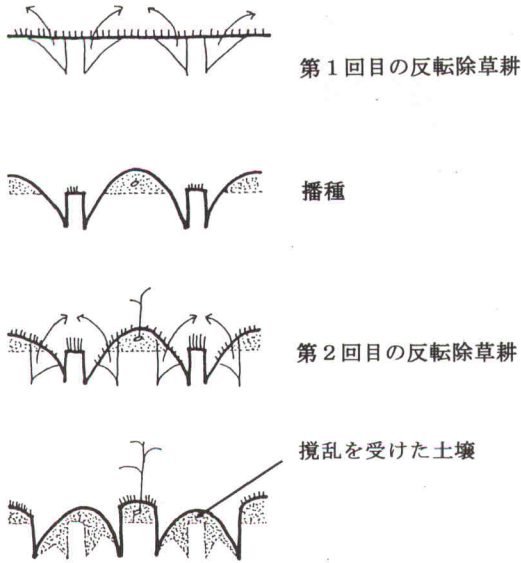


図-3 チオンゴニ村での耕起に伴う土壤の攪乱
Soils disturbed through cultivation practices

堆積する場所では、作土が砂に覆われる。いずれの場合も、砂質化により作土の養分保持能や保水能が低下し、作物の初期生育が不安定となる。

土壤侵食：細粒質を失った砂質土壤は、雨季には水食、乾季には風食を受ける。写真-4は、20年程前に設置された電柱の基部である。コンクリートをベタ打ちした部分の上端(矢印)を当時の土壤面と考え、現在の土壤面までの36cmがこの間に失われた土壤の量といえる。土壤の流亡は、台地緩斜面の頂坦部で著しく、一方、斜面下部では砂質化した土壤の堆積が見られる。なお、休閒地では、砂が風で移動した後、細粒質のクラスト層が露出し、風食を抑制しているのが観察される。

以上に述べたように、調査村での土壤荒廃は、いずれも砂質土壤での片反転犁耕による深耕・反転とそれに付随する敵立てに起因すると考えられ、その意味で現行の片反転犁耕は不適合な農法といえる。

3. 北西インド・ウダイプールの在来農法

インド北西部(図-1, b)のラジャスタン州アラバリ山地南東に位置するウダイプール県の農村(年降雨500mm, 夏作トウモロコシ)で観察された作季前半の表土管理作業を要約する：[大鉄刃耙(まぐわ)による攪拌耕(耕深10cm程度)]→[堆厩肥の搬入・散布]→[犁による攪拌耕(耕深10cm)]→[箱型耙による碎土]→[条播器による播種]→[箱型耙による覆土・鎮圧]→[鉄刃耙や

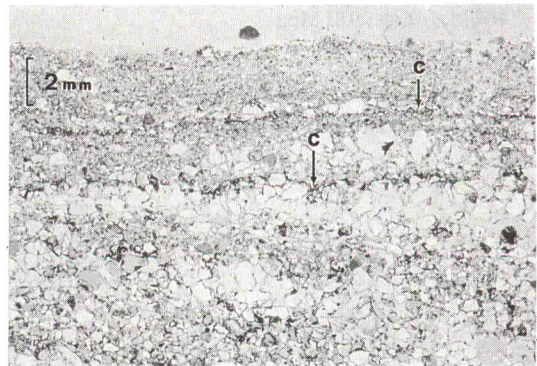
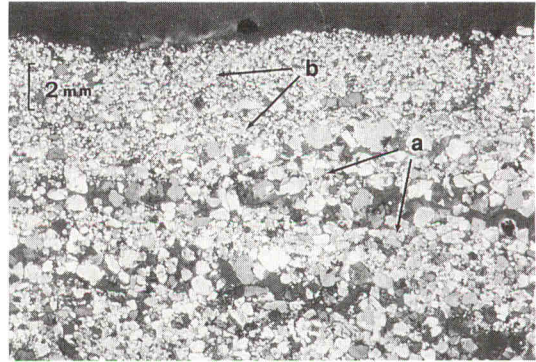


写真-3 土壤表面に形成されたクラストの状態
(左：XPL；右：PPL；a～c：それぞれ粗砂、細砂および細粒質の薄層)
Morphology of crust formed under field condition (Left: XPL; Right: PPL: a～c: thin layer of coarse sand, fine sand and finer particles, respectively)

歯状耙による中耕・除草耕(耕深5cm, 雑草の生育状態に応じて多雨年5～6回, 少雨年2～3回, 株間は手鋤による)]→[収穫作業まで作業なし。残渣は持ち去り家畜の飼料となる]。

ここでの表土管理の特徴は、頻繁な攪拌・浅耕にある。播種前の耕起は、碎土耕と除草耕を兼ね、それ以降は除草耕が主体となる。いずれも土壤の反転を伴わない。攪拌耕は、反転耕よりも雑草抑制の効果が低い(姫田, 1991)ため、頻繁に作業を行なうことでそれを補う。頻繁な表土の攪乱には、土壤クラストの破壊と雨水貯留能の維持という副次的な効果が伴い、作土層の砂質化と土壤侵食を抑制する。また、耕地の境界には畦が設けられるため、斜面地では頻繁な耕起により土壤が送り出され徐々にテラス化される(田中, 1995)。

表-1 チオンゴニ村の耕地土壌のクラスト形成程度

Table 1 Degree of crusting of Thiongoni soils formed under simulated rainfall

採取位置 現地での呼称 細砂+粗砂 (%)	作土層 チェンチェン 90~95		作土層下部 ガンガ・ブレ 80~85	
	A	B	C	D
クラストの程度 (-log K)	2.2	2.3	2.6	2.9
相当する降雨程度 (mm/10 min.)	36.0	32.2	14.4	7.8

* 人工降雨処理をする前の透水能: 80.4 mm/10 min.
(0.0134 cm/sec.)
初期水分条件: 9.81 Mpa

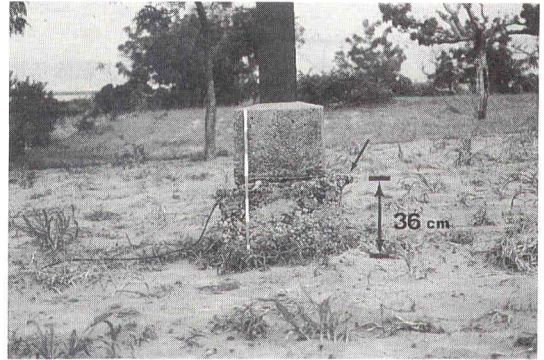


写真-4 侵食により失われた土壌

Soil lost by water and wind erosion

表-2 西アフリカ・マリと北西インドの農法および土壌管理の比較

Table 1 Comparison of the characteristics of farming systems and soil management in Mali and Northwestern India

	チオンゴニ村	ウダイプール近郊
年降水量 土性 有機物 (T-C)	450~500 mm 砂 80~95% <0.5%	500~600 mm 砂 70~80% 0.5~1.0%
作業内容/管理項目		
耕起 (回数)	畜力牽引, 反転耕(1) 耕深 15~20 cm	畜力牽引, 攪拌耕(2) 耕深 10 cm 程度
堆 厩 肥	限定的	ほとんどの耕地へ施用
播 種	点播 (手作業)	条播 (畜力牽引条播器)
中耕・除草耕	畜力牽引, 反転耕(1) 畝の両端を畝間にはねる	畜力牽引, 耙による攪拌耕 耕深 5 cm 程度
畝 の 有 無	あり (幅 30, 高 30, 畝間 50~60 cm)	なし
栽 植 密 度	疎植 (40×50 cm)	密植 (25×数 cm)
畜力牽引具	犁のみ, 重い	群落管理 犁, 耙 (数種), 覆土・鎮圧器, 条播器, いずれも軽量
混 作	なし	あり
家 畜 飼 養	休耕地, 未耕地に依存	休耕地, 青刈作物や雑草
残渣の利用	飼料, ただし不適	飼 料
常 畑, 休 閑	休閑→常畑への移行途上	常 畑
土 壌 保 全	なし	テラス化, 畦 (土囲い)

4. 在来農法の水平移転の可能性を探る

ある地域の在来農法 (あるいはその技術要素) を類似の環境条件を持つ他地域に移転することを水平技術移転 (南・南移転) という。ここでは, 社会経済状況や文化的

背景を異にする地域への水平技術移転の提案には慎重を期すべきことを認識しつつ, 北西インドの事例を参考に, 土壌荒廃の進むチオンゴニ村の農法の改善策を考える。

4-1 両地域の農法の比較

表-2は、両地域の農法の特徴を土壌管理を中心に要約したものである。気候条件、砂質土壌、天水畑作、畜力利用などに類似点を持つものの、その内容は大きく異なる。大きな相違点は、畜力牽引農具の多様性、作物の栽植密度、堆肥の利用、土壌侵食対策に現れており、また、家畜を軸として作物残渣の飼料化と堆肥の利用がある種の循環系を形成する仕組みが成立していることにある。人為と環境との関わりにおいて、北西インドの農法の方が様々な局面で合理的解釈が可能であり、チオンゴニ村の農法の改善策を考える上で参考資料となる。

4-2 水平技術移転の着目点

犁の適正化と牽引具の多様化：砂質土壌での耕起の目的は、基本的には「砕土耕」ではなく「除草耕」にある。「反転耕」・「畝立て」は片反転犁に付随するもので、チオンゴニ村での表土管理にとって必須ではない。攪拌浅耕、あるいは反転浅耕に適する牽引具を導入すれば、作業頻度は増すものの、砂質化とクラスト形成を抑制できる。また、畝を立てないことで、畜力条播器の使用が可能になり、後述する群落管理への移行を容易にする。

作物の個体管理から群落管理へ：チオンゴニ村のトウジンビエは、広い間隔で点播されるため大柄に育ち、その収穫残渣は飼料価値が低い。土地圧力の高まりで放牧地や採草場が減る中で、家畜を維持するには、条播・密植による群落管理へと転換することで穀実生産量を維持しつつ飼料価値の高い残渣を得ることが必要（応地、1992）であり、堆肥の確保にもつながる。ソ・フォロでは、これまでも刈り跡放牧による家畜糞や堆肥が施用され、その必要性や効果を農民は十分認識していることから、このことは農法の転換をめぐる意志決定の材料となる。

侵食抑制対策：テラス化や耕圃の周囲に立てる畦が、土壌侵食の抑制や雨水貯留能の維持に有効なのは周知のことである。畔の造成には、片反転犁が適している。従来から用いてきた農具に転用の余地を残すことは、農民が新しい農法を採用する意志決定をする際に心理的抵抗を減らす。

謝 辞

本報告は、文部省国際学術研究費（課題番号06041037）による「サヘルと南インドにおける在来農法の再評価と両地域間技術移転の可能性に関する研究」の成果の一部である。西アフリカでの調査（1994）では、研究代表者の応地利明・京都大学東南アジア研究センター教授はじめ、月原敏博・大阪市立大学助手、故小林央往・山口大学教授、保坂実千代・学術振興会特別研究

員より多大なる助言と協力を頂いた。また、北西インドでの調査（1992）では、京都大学農学部の小崎隆教授と大学院生・西村貴志氏の支援を受けた。記して謝意を表します。

引用文献

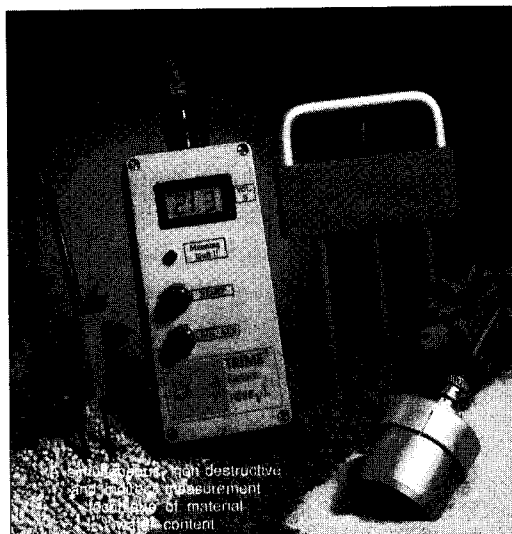
- 赤木祥彦（1990）：沙漠の自然と生活，地人書房，京都。
- Beets, W.C. (1990) : Raising and sustaining productivity of smallholder farming systems in the tropics. AgBe publishing, Holland.
- El-Swaify, S.A., Pathak, P., Rego, T.J. and Singh, S. (1985) : Soil management for optimized productivity under rainfed conditions in the semi-arid tropics. *In* Advances in Soil Science (ed. Stewart, B.A.), 1, 1~64, Springer-Verlag Inc., New York.
- FAO/Unesco (1974) : Soil map of the world. Africa VI 1, FAO, Rome.
- 姫田正美（1991）：耕うん・整地，農学大事典，1271~1282，養賢堂，東京。
- Lal, R. (1986) : Soil Surface management in the tropics for intensive land use and high and sustained production. *In* Advances in Soil Science (ed. Stewart, B.A.), 5, 1~109, Springer-Verlag Inc., New York.
- Mettrick, H. (1993) : Development oriented research in agriculture, ICRA, Holland.
- Ministere de l'Agriculture, Mali (1990) : Memento techniques culturales. Institute d'Economie Rurale, Bamako.
- 応地利明（1987）：乾燥地農業における農法的適応，海外学術調査コロキウム「乾燥・半乾燥地帯の農業—その伝統と変容—」記録，9~26，京都大学。
- Ohji, T. (1990) : Les techniques de culture du mil au Mali : types et distribution. *In* Boucle du Niger - approches multidisciplinaires, (ed. Kawada J.), 2, 1~62, Institut de Recherches sur les Langues et Cultures d'Asie et d'Afrique, Tokyo.
- 応地利明（1992）：ここに熱帯畑作のモデルがある，国際交流，58，55~60，国際交流基金，東京。
- 田中 樹（1991）：インド亜大陸の伝統農法に半乾燥地農業成立の要件と展開の可能性を探る，トヨタ財団研究助成報告書。
- 田中 樹（1995）：土壌クラストの形成機作とそれに影響を及ぼす諸条件，土壌の物理性，71，17~21。

受稿日：平成8年1月24日
受理日：平成8年4月12日

TRIME[®] -SYSTEM



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



(TRIME-FM携帯型水分計と各種プローブ)

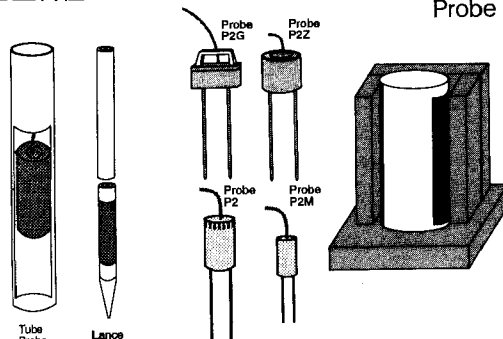
●特長

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

●使用分野

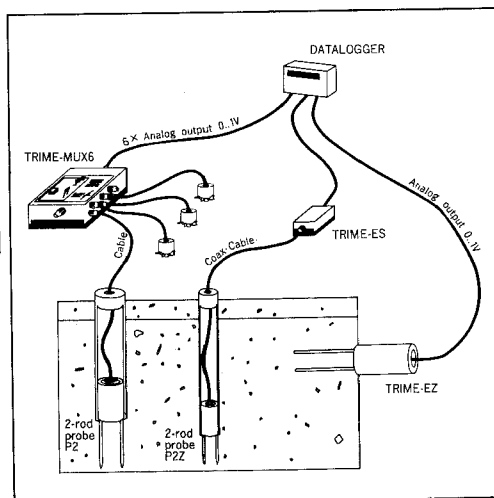
土壌、ケミカル物質、粉体、食料品、スラッジ、乳状液、穀物また、水による自然災害の常時モニター、予知、貯水池、ダム水門、造成地、廃棄物処理場等の構造物や土壌中の含水量のモニター、あるいは森林、水源地帯や農業計画の一環としての含水測定、モニターなど

(P3型各種プローブ)



(標準P2型各種プローブ)

☆当社主力製品[®]ケ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

持続可能な農業農村を基礎とした砂漠化防止対策 西アフリカ・ニジェールでの実証調査

西田 研・名和規夫

Desertification Prevention Measures Based on Sustainable Agriculture in Rural Area —Demonstration Study in Niger, West Africa—

Ken NISHIDA and Noriu NAWA

Overseas Activities Department
 Japan Agricultural Land Development Agency

I 砂漠化防止対策調査の経緯

1. 砂漠化防止対策基礎調査

アフリカに広がる世界最大のサハラ砂漠においては1970年前後から1980年代にかけて、サハラ砂漠の南縁に当たるサヘル地域で干ばつが続き、農作物収量、家畜頭数ともに半減するという大きな被害を受けた。

このような状況のもと、砂漠化の進行状況の把握とその原因を究明し、現地の特徴を活かした農業開発の方策を検討するため、1985年から1990年にかけて砂漠化の影響を著しく受けているサヘル地域ニジェール河流域を対象として『砂漠化防止対策基礎調査』を実施した。

この調査結果をもとに農林水産省は、1990年6月ニジェール河流域を含むサヘル地域における『砂漠化防止対策基本構想』を策定した。

砂漠化防止対策基本構想は、ニジェール河流域を含む西サヘル地域において、自然条件や社会条件に適した農業農村開発を行うことによって砂漠化の進行を抑制することを基本理念としている。

2. 砂漠化防止対策実証調査

「砂漠化防止対策」とは、すでに砂漠であり人々の生活が不可能になった場所及び地域を緑化することではなく、現在、生活を続けている人々の定住を将来に渡って確保するために、土地生産力が減退することを防止することである。したがって、砂漠化防止対策は農業農村の開発による社会経済の発展を実現するものでなければならない。

この考えに基づき、自然条件や社会経済条件に適した

砂漠化防止の技術を実証しつつ、有効な技術、対策方法を見いだすことを目的として、ニジェール国の首都ニアメ近郊のマグー村に100haの圃場を設け、1990年より1995年度まで「砂漠化防止対策実証調査」を実施した。

実証調査は、砂漠化現状調査、水資源開発、水資源の効率利用、農産物安定生産、土壌保全、育林等の砂漠化防止に必要な調査を行った。

ここでは、これらの調査の中から、土壌物理に関する調査の結果を報告する。

II 砂漠化防止対策実証調査における調査概要

1. 地域の概要

1) 地質

マグー村の地域は、西アフリカの基盤岩をなす先カンブリア紀の花崗岩類を覆って堆積したコンチネンタル・ターミナルと呼ばれる白亜紀～古第三紀の堆積岩(砂岩・泥岩等)分布域の縁辺部に位置する。基盤の花崗岩が地下の極く浅い所に存在し、風化に抗して残った岩塊が所々で地表に露出している。堆積岩類は、表層1~2mの酸化鉄の集積により硬化したラテライト性硬化皮殻(cuirasse ferrugineuse)を除いて、侵食に対して極めて脆弱である。

2) 地形

開析台地の地域であり、図-1に示すように、次の6の地形単位からなっている。

- a. ラテライト性皮殻とその岩屑で覆われた台地面(標高270~280m)
- b. 台地面下の急崖

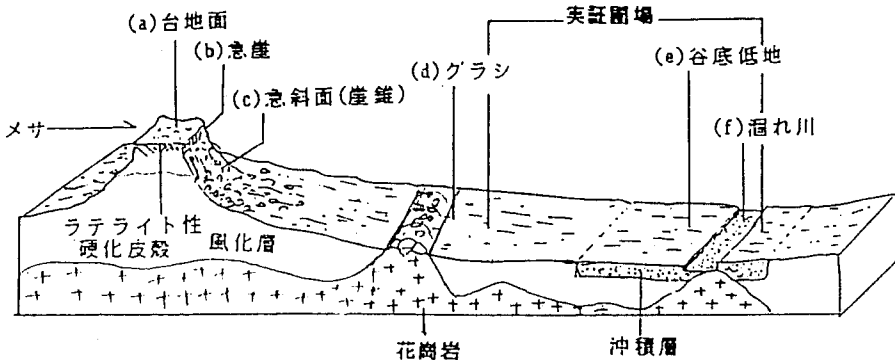


図-1 実証圃場周辺の模式的地形断面図 (1992, 3 門村をもとに修正)

- c. 岩屑で覆われた崖錐斜面
- d. 堆積岩や基盤岩の風化層を切って台地の麓から谷に向かって伸びる「侵食緩斜面(グラス)」
- e. 河成堆積物(砂ないし泥)で埋められた狭い谷底低地(標高 200~220 m)
- f. 谷底低地を 1~2 m の深さで刻む流れ川の流路(砂及び泥の河床堆積物で埋まっている。)

マゲ村付近では、ゴルビ川の水系網に沿って広いグラスが発達し、台地面はメサやビュートの地形として断片的に存在するに過ぎない。台地面やグラスの一部には、赤色風化した砂丘砂(過去の大乾燥期に形成された占砂丘をつくる砂)が薄く分布する所がある。グラス下部から谷底低地には、上部からの新鮮な砂で薄く覆われている場所がある。

図-2 に実証圃場の平面図を示す。

3) 植生・土地利用

台地面上には典型的な虎斑模様の灌木植生群落(brousse tigrée)が見られるが、岩屑が密に分布しレグ(reg)をなすところでは裸地が広がる。急崖から崖錐斜面はおおむね裸地である。台地面上は家畜の放牧に利用されているが、草本植生は貧弱である。グラスは広くミレット畑として利用され、乾季にはミレット穂が刈り取られた後に家畜の放牧が行われる。

グラスの木本は、*Acacia albida*, *Acacia seyal*, *Acacia senegal*, *Adansonia digitata* 等が散在する。谷底低地はこの地域で植生の最も豊なところで、*Acacia nilotica*, *Combretum glutinosum*, *Hyphaene thebacia* 等が生育している。

2. 土壌

土壌名は「(弱) レシベ化鉄質土壌」で、風食を起源とする砂に富む土壌である。幾つかの断面標本では、全ての層位で含鉄結核が見られる。一般的に表層の土色は赤黄色から褐色、下層の土色は黄赤色から赤黄色である。

土性は全体的に粗く、砂土、壤質砂土または砂壤土である。構造は未発達から弱度の発達までの範囲である。コンシステンシーは様々で、砂土及び壤質砂土では軟らかく、砂壤土ではやや硬く、砂質堆積土では硬いから極めて硬いまでの範囲である。透水性は良く、水分貯留量は極めて少ない。

深さ 1 m までの粒径組成及び含水率を表-1 に、土壌分析を表-2 に、深さ 1 m までの pF-含水量の関係を表-3 に示す。

3. クラスト

1) クラストの判定

クラスト発生 の判定は、土壌表面の表層と下層の浸透能を比較して行う。浸透能の測定は径 50 mm、高さ 7~20 mm のサンプラーをシリンダーとして使用し緩衝溜を設けずに行う。小規模のシリンダーを使用する理由は、第一は節水であり、第二はクラストの厚さが数 mm 程度であり、注水の際に破壊される恐れがあるためである。水深が浅いために緩衝溜の設置は不可能である。なお、密度の差でクラスト発生の有無は判断できなかった。

2) 侵入速度の鉛直分布

裸地において、シリンダーを用いて侵入速度を求めた結果を表-4 に示す。表層の侵入速度は平均で 3.2 mm/分であるのに対して、深さ 50 mm では 24.5 mm/分で、約 8 倍の差がある。この結果から、調査対象土壌はクラストが発生していると判断した。

3) インテーク定数の差

表層が約 5 cm の深さで侵食を受けた斜面において、上段と下段でインテーク定数を求めた。上段は砂分が多く、軟らかく植生が繁茂するが、下段は裸地である。インテーク定数の C 値は上段が 24.7 mm/分、下段は 2.5 mm/分で約 10 倍の差があった。n 値は上段が 0.778、下段は 0.809 で大きな差が無かった。このことから裸地化

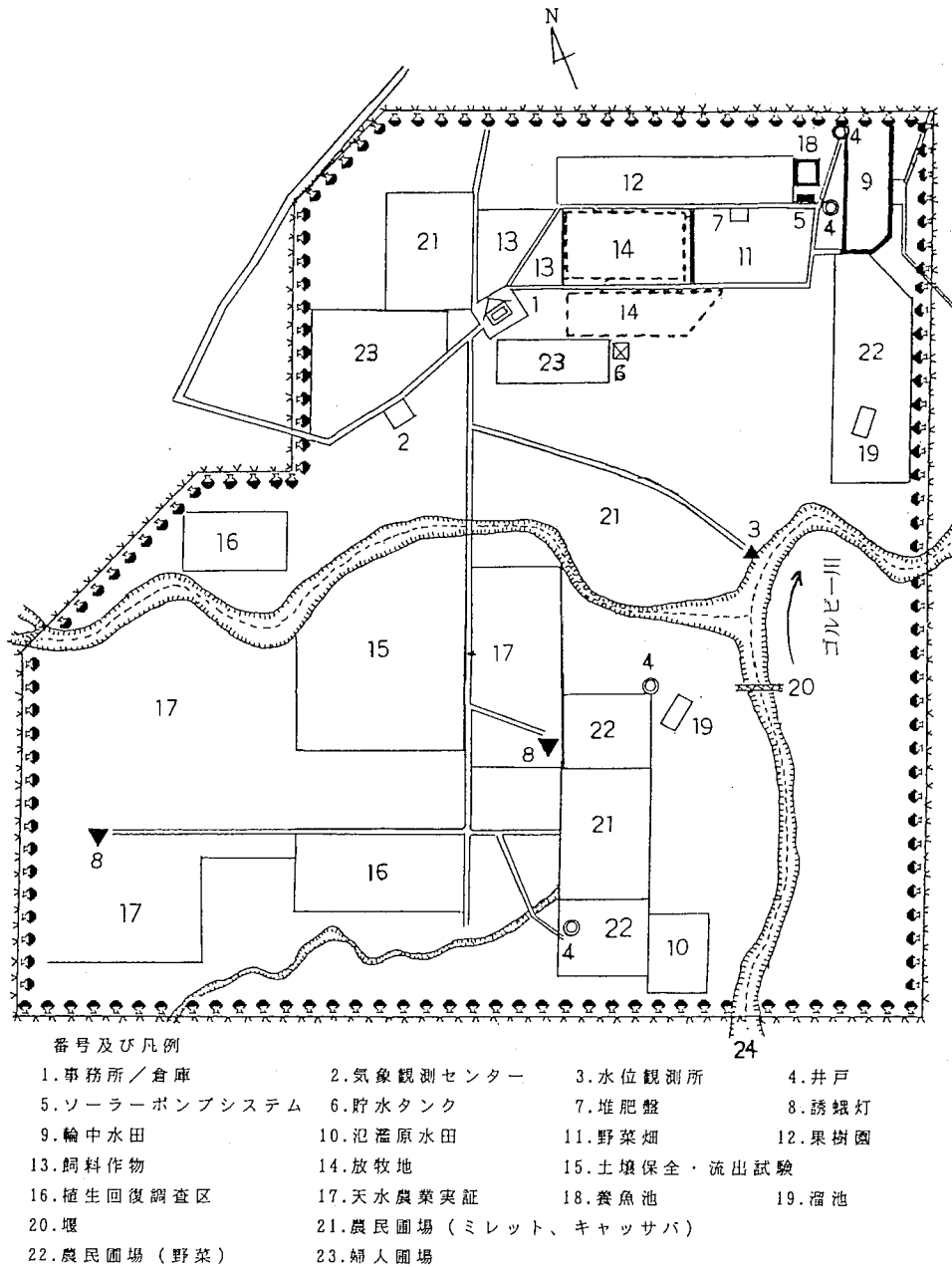


図-2 実証圃場平面図

はクラストの発生を助長すると考えることができる。

4) インテーク定数の変化

クラストの発生が確認されたため、圃場における中耕除草作業が降雨の浸透に大きな影響を与えることが予想できる。そこで、中耕除草作業をした圃場の浸透能の変化を追跡した。

調査方法は、以前ミレット畑であり現在は気象観測を行っている場所で、定期的の中耕除草作業と浸透能試験

表-1 粒径組成及び含水率

粒径組成 (%)			含水量 (V%)		
砂	シルト	粘土	pF2.5	pF3.0	pF4.2
80-90	8-10	2-12	3-9	3-6	2-4

を行った。結果は、中耕除草作業直後にC値は最大となり、日数が経過するほどその値は小さくなる。20日前後

表-2 土壌分析結果

層位 cm	粘 土 (%)				pH		電 気 伝 導 度 mmhos /cm	有 機 物			
	砂		シルト		粘土			C	N	C / N	総量
	0.2~2mm	0.05~0.2	0.002~0.05	<0.002	H ₂ O	KCl	%	%	%	%	
0- 14	30.5	46.2	16.8	6.5	6.4	5.3	0.02	0.10	0.025	4.0	0.17
14- 33	32.7	45.8	15.9	5.6	6.6	5.8	0.03	0.33	0.018	18.0	0.57
33- 47	32.6	44.3	14.2	8.9	7.0	5.8	0.01	0.16	0.014	11.4	0.28
47- 68	31.4	44.3	13.7	10.6	6.8	5.9	0.02	0.16	0.011	14.5	0.27
68-103	29.1	42.7	11.5	16.7	7.2	5.9	0.01	0.13	0.015	8.7	0.22

層位 cm	交換性陽イオン (meq/100g)						塩 基 飽 和 度 %	リン酸 可給態 リン酸 ppm	鉄 遊離鉄 %	含 水 率 (%)			貯留水分 (%)		
	Ca	Mg	Na	K	計	CEC				pH =2.5	pH =3.0	pH =4.2	毛 管 水	有効 水分	貯留量 mm
	0- 14	4.51	0.41	0.11	0.22	5.25	6.40	82.03	7.74	0.46	7.5	6.1	3.2	2.9	4.3
14- 33	3.41	0.41	0.12	0.08	4.02	5.80	69.31	2.35	0.59	6.1	5.0	2.7	2.3	3.4	10.98
33- 47	2.71	0.46	0.12	0.13	3.42	3.40	100.51	1.82	0.71	6.9	5.7	3.2	2.5	3.7	8.91
47- 68	2.58	0.51	0.11	0.16	3.36	3.20	105.0	1.68	0.85	8.0	6.8	4.0	2.8	4.0	15.03
68-103	2.35	0.56	0.08	0.20	3.19	3.00	106.33	1.40	1.08	10.1	8.3	5.5	2.8	4.6	28.81

表-3 pF-含水量 (V%) の関係

平 均 乾 燥 密 度 (g/cc)	pF									
	1.5	1.8	2.0	2.2	2.4	2.5	2.6	2.8	3.0	4.2
1.65	21.5	17.4	12.9	11.3	9.3	7.9	6.6	5.8	5.0	3.1

で直後の1/4となり、また降雨回数も5~6回でC値は1/4程度に減少する。農民は栽培期間中に2~3回の中耕除草作業を行うが、労働力が許せば回数を増やしたいと願っている。図-3に中耕除草作業後のC値の変化を示す。

4. 流出率

1) 調査方法

降雨の流出率を測定する施設は、長さ20m×幅2mを高さ約20cmのプラスチック畦畔板で仕切った枠で、下流に断面積1m²×深さ1mの2つの貯留樹を設けた。測定は、2連の枠(図-4)を3ヶ所に作り、降雨毎に貯留された水深を測定し流出率を求めた。

各測定枠の片側にミレットを6月18日に播種した。播種間隔は1mで、2列である。最も勾配の大きな測定枠では畦立て栽培を行った。畦間隔は1m、畦高さは約10cmである。播種の位置は畦の下流側が1列、畦と畦の中間が1列である。

2) 調査結果と考察

自然状態で放置した場合の流出率を表-5に示すが、勾

配が3.9%の場合が44.0%、勾配が1.8%の場合が20.3%で勾配に比例するようである。勾配が2.8%の枠の流出率が少ないのは溜樹の漏水の可能性があり、今後確認する必要がある。

ミレット栽培を在来の方法で行った場合の流出率は自然状態より多くなるが、この原因は中耕除草作業によって土壌面が裸地になり、クラストが発生し、浸透率が下がるためである。畦立てを行った場合は、初期の段階で流出率が大きく低下し、その効果は2ヶ月程度継続したものである。

ミレットの収量は表-6のとおりである。穀物は鳥害を受け皆無に近いため穀物重と茎葉重の関係から推定した。ミレットの単位収量は、勾配の増大によって流出率が大きくなり、減少するものと予想したが、最も大きい勾配で大きな単位収量を得た。

原因は、播種後から8月上旬までの流出率が「畦立て」によって小さくなり、作物に利用される量が増えたためと考えることができる。一方、畦立てを行わなかった枠内ではクラストが発生し、流出率が増加し、土壌水分が

表-4 裸地における侵入速度の鉛直分布

位置	侵入速度 (mm/分)		
	1回目	2回目	3回目
表層	0.8	2.4	6.4
深さ 5 mm			
15	5.2	5	
23		6.7	
45		6	
50	35		14
70		21.7	

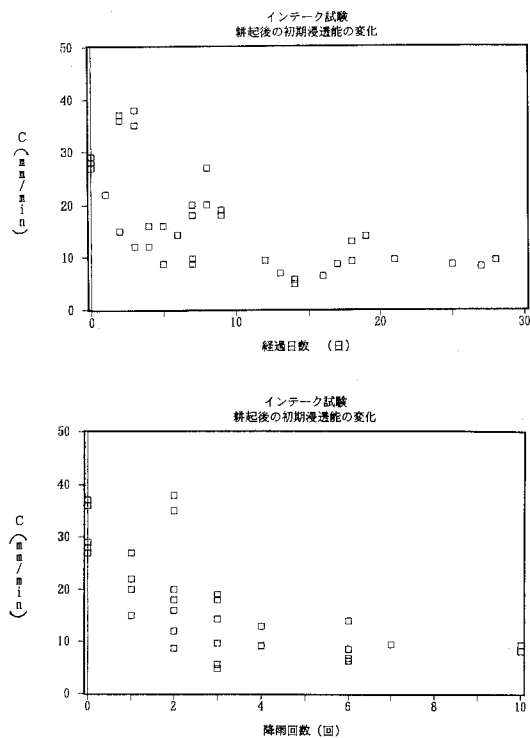


図 3 耕起後の C 値の変化

不足したためと考える。

以上により、地域住民が利用していない勾配地で 700 kg/ha 程度の収量が得られることは、畦立て栽培の有効性を示すものである。

将来は、インタークレート試験から降雨の流出率を計算する方法を検討する。

5. 土壌水分の鉛直分布

1) 調査方法

1993年の6月から平坦な圃場で土壌水分の鉛直分布を観測している。観測は在来圃場（在来耕法圃場）とリッパーによる心土破碎（1992年実施）を行った圃場

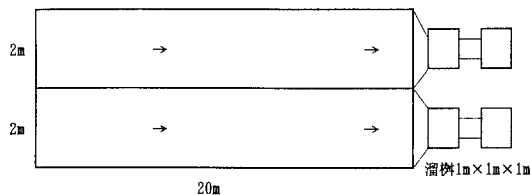


図 4 流出量測定枠

（破碎耕法圃場）とで行った。

在来圃場では農民が行っているミレット栽培の方法で行い、破碎耕法圃場では耕運機を利用してミレット栽培を行った。

毎月1回、オーガーで採上を行い、含水比を測定した。なお、採土地点は毎回約1m程度移動する。

2) 調査結果及び考察

深さ1mまでの乾燥密度とpF-水分曲線を利用してpF=3及び4.2の深さを推定した。（図-5、pF=3、及び4.2の鉛直分布を参照）

観測期間中の年間降雨量は次のとおりである。1992年（703.5mm）、1993年（516.5mm）、1994年（825.5mm）

在来圃場では、雨季が始まると水分が次第に深部まで浸透し、pF=3は下層の土壌水分が比較的多い層までに達する。雨季の終りとともにpF=3が表層に現れ、続いてpF=4.2が現れる。深度3.5~4mに保水力が大きい土層が存在するが、その下層は非常に乾燥している。

破碎耕法圃場では、深部まで土中水分が増加するが、1995年には大きく減少しており、土層の変化が予想される。両圃場を比較すると次のことが言える。

- ① 降雨の浸透：1993年の雨季では破碎耕法が早い。
- ② 乾燥：在来耕法圃場では1993~94年の乾季に深さ4m程度までpF=3となり、pF=4.2は約1mに達した。一方、破碎耕法圃場ではpF=3は表層1m程度、pF=4.2は約30cmまでであった。
- ③ 保水量：破碎耕法圃場のほうが多く、地下に降雨を貯留する効果が期待できる。以上から、次のようなことが考えられる。
 - ・降雨の浸透が少ない圃場では、pF=4.2が表層1m程度に達するので多年草の生育は困難である。
 - ・植林を行う場合、根の生長が1m以上になるように植付け時期を選ぶ必要がある。
 - ・心土破碎や畦建てによって降雨の浸透を助長すれば、乾季の土壌水分を植物の生育範囲に保つことができる。

6. 節水かんがいのためのミレット穂殻炭の利用

調査地域の年間降雨量は500~700mm、年間蒸発計蒸

表-5 流出枠における観測結果

日	付	降 雨	① 勾配 3.9%		② 勾配 2.8%		③ 勾配 1.8%		
			白 然 態	ミレット 畦立栽培	白 然 態	ミレット 在来栽培	白 然 態	ミレット 在来栽培	
			mm	%	%	%	%	%	%
94	4	21	14.0	37.9	52.1				
94	6	18	40.0	43.5	63.8	67.0	93.5	22.3	48.8
94	6	21	9.5	56.8	15.8	31.6	21.1	15.8	8.4
94	6	24	29.0	65.9	18.6	39.0	41.0	28.3	35.9
94	7	1	14.5	36.6	9.0	31.0	9.0	9.7	20.7
94	7	3	17.0	77.6	26.5	18.8	41.2	30.6	41.2
94	7	4	23.5	39.6	21.3	6.8	22.6	22.6	37.4
94	7	20	3.0	70.0	33.3	30.0	20.0	16.7	20.0
94	7	21	48.0	55.4	52.1	11.3	18.3	31.5	13.1
94	7	26	23.0	33.0	23.9	11.3	20.9	11.3	17.4
94	8	1	34.0	45.9	11.2	9.1	23.5	9.1	11.8
94	8	3	109.0	39.5	6.4	6.2	23.2	15.2	20.5
94	8	8	18.5	76.2	53.0	16.8	69.2	36.8	62.2
94	8	10	14.0	43.6	27.1	11.4	32.1	50.7	85.7
94	8	15	22.5	37.3	33.3	6.2	26.7	15.1	28.0
94	8	22	60.5	52.9	55.4	6.9	44.6	26.0	47.6
94	8	24	49.5	38.4	22.2	4.6	10.7	25.3	9.7
94	8	25	26.0	46.9	53.1	8.5	23.1	25.8	24.2
94	8	25	26.0	63.5	78.8	14.2	48.1	32.7	43.5
94	9	15	24.0	4.6	20.8	2.5	13.8	0.0	11.7
94	9	16	9.5	3.2	13.7	5.3	13.7	0.0	10.5
94	10	13	12.0	0.0	8.3	1.7	6.7	1.7	6.7
計/平均		613.0		44.0	31.8	16.2	29.7	20.3	28.8

表-6 勾配と推定ミレット単収

勾配区分	茎葉単収	推定穀物単収	備 考
3.9%	6,500 kg/ha	715 kg/ha	穀 重: 11%
2.8	4,275	470	穂穀重: 16
1.8	3,750	412	茎葉重: 73

発量は 2,000 mm を越える。一方、水資源の開発は地表水、地下水とも難しく、かんがい用水の使用はできる限り節約し、限られた水資源の有効利用を図る必要がある。

ここでは、現地の農民が一般的に行っているジョウロによるかんがい用水の節水（かんすい量の低減）について述べる。

1) 調査の目的

調査は、土壌面蒸発量をマルチ材の利用によって抑制することを目的に行ったものである。マルチ材は地域農民の基本的な食糧であるミレットの穂殻で造った炭を利

用すると共に、炭の製造方法及びその特質を明らかにした。

2) 調査方法

(1) ミレット炭の製造

ミレットの穂は、「蒲の穂」に似ているが、表面は直径 1 mm 程度の硬い皮を持った実が覆っている。農民は圃場で穂だけを刈り取り貯蔵し、必要の都度、脱穀及び製粉して食用にする。脱穀の際に出る穂殻は、地域によっては圃場に散布する場合もあるが、当地域では積極的な利用はなく家畜も食べない。

炭の製造は古いドラム缶を利用した。ドラム缶の底面の一方に約 5 cm 間隔で径 1 cm 以下の孔を開け、もう一方は穂殻の投入口として約径 30 cm 程度の穴を開けた。火を入れるカマドはコンクリートブロック片と土で造ったが、ラテライト礫と土でも製作可能である。

空のドラム缶をカマドに乗せ、ミレットの穂殻を約 2/3 まで空積みにする。カマドの中に枯草を入れ、火を着け、底部の孔からミレットの穂殻に火が移るのを待つ。

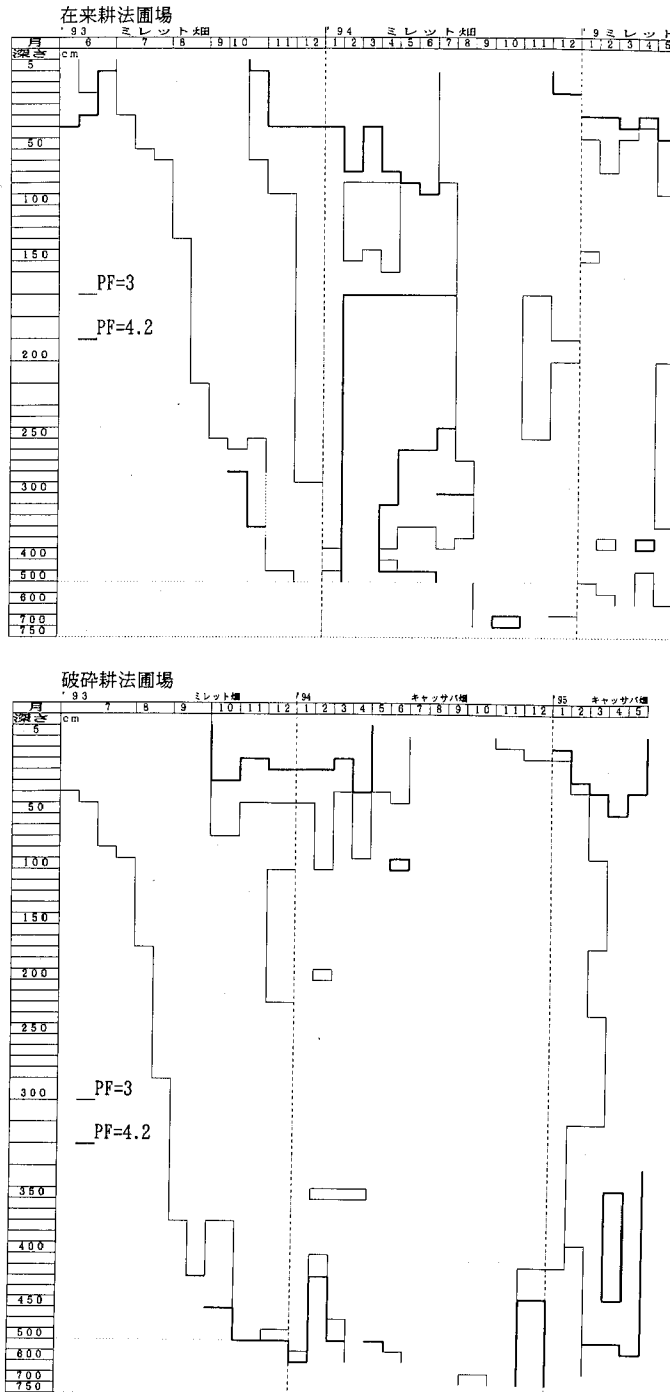


図5 pF=3, 4.2の鉛直分布

火が回り始めると上部から次第に煙が出てくる。カマドの枯草は直に燃え尽きてしまい、ドラム缶の周囲が下部から次第に手が触れられないほどに熱くなってくる。下

部半分が熱くなったら、ドラム缶をカマドから地面に下ろし、上部に蓋をする。この蓋は密閉してはならない。また、下部から多くの空気が入り過ぎないようにしなけ

ればならない。

穂殻は4~5時間後にはほとんどが炭になる。ドラム缶内に散水し、火を消し、地面に広げ、さらに散水する。

ドラム缶の内部には穂殻から出たタールが着くが、散水時に炭に付着する。煙を多く出すとタールはあまり残らないようである。

(2) 特性

製造された炭の特性を調べるための試験を行った。

- ① 風乾時の密度と実容積
- ② pF=1.5における保水量
- ③ 炭と土壌を混合した場合の保水効果
- ④ 苗代のマルチ
- ⑤ pH試験
- ⑥ 蒸発抑制効果測定
- ⑦ 土壌酸度の矯正効果
- ⑧ 地力

3) 結果とまとめ

(1) 風乾時の密度と実容積

100 cc 容器に軽く詰めた場合の密度は0.14~0.18g/cm³、実容積は11~13%であった。

(2) pF=1.5における保水量

散水をした炭を100 cc 容器に詰めて、pF=1.5で脱水させた場合の実容積は26~33%で、保水量は15~20%であった。(表-7)

風乾した試料を100 cc 容器に詰め、実容積を測定した後、下部から2日間給水させた。その後吸引高さが試料平均高さで41 cmになる砂柱の上に口紙敷き、脱水をした。脱水2日後の実容積は31.6~38.3%で保水量は17.9~22.8%程度である。(表-8 pF=1.5の実容積参照)

(3) 炭と土壌を混合した場合の保水効果

圃場の砂質土壌と炭を体積割合を変えて混合し、100 cc 容器に振動を与えながら詰め、実容積を測定し、吸水後、pF=1.5で排水させ、その後は下部に蓋をし、室内に放置し乾燥の違いを測定した。その結果、炭を混合しな

い試料は初期の蒸発量が多く、炭の混合割合が多くなるほど後半の蒸発量が多くなり、炭を混合することにより砂質土壌の乾燥特性を変え得ることが明らかになった。

(表-9)

(4) 苗代のマルチ

マルチ効果を確認するために畑苗代の一部に約1 cmの厚さで散布し、発芽を観測した。特徴的な現象は「白蟻」が炭のある部分から種を持出さないことと、散布部分の芽の成長が他の部分よりも大きいことであった。

(5) pH試験

井戸水(pH=6.4 KCl)で炭を洗い、その水のpHを測定した。pHは9.4~9.6の間にありアルカリ性を示す。

(6) 蒸発抑制効果測定

直径10.7 cm×高さ10 cmのビニルの円筒に砂壌土を詰め、下部から吸水させ、表面に水が十分上昇したことを確認して、吸水を止め、吸水孔をシールした。供試体(A)は比較のため炭のマルチをしない、供試体(B)は表層1 cmの炭によるマルチの実施、供試体(C)は表層1.5 cmの炭によるマルチの実施、の3種類を作成して行った。

これらの供試体を最初の2日間は屋外の日陰に、次の2日間は日向に放置し、重量の変化を求めた。なお、使用した秤は40g~30kg、感度2gである。

表-7 炭(pF=1.5)の実容積(炭に散水後、供試体を作成)

番号	試験日 94/12/13		94/12/16	
	試料重量 g	実容積 %	試料重量 g	実容積 %
A 18	37.4	35.2	31.8	29.6
A 19	27.3	36.6	23.9	33.2
J 31	32.9	31.0	28.7	26.1
平均	32.5	34.3	28.1	29.6

表-8 炭(pF=1.5)の実容積(供試体を作成後、吸水、脱水した)

番号	試験日 94/12/14		94/12/16		
	試料重量 g	実容積 %	試料重量 g	実容積 %	保水量 g
J 9	24.5	17.1	44.0	36.6	19.5
A 11	22.1	13.4	40.9	32.2	18.8
A 19	19.0	13.7	36.9	31.6	17.9
A 35	20.9	15.5	43.7	38.3	25.8
A 49	26.2	16.6	45.5	35.9	19.3
平均	22.5	15.3	42.2	34.9	19.7

表-9 炭の混合割合と蒸発量の違い

試料 番号	混合 割合	風乾時 実容積	pF=1.5時 実容積	増 加 水 量	増加日数に対する蒸発割合			
					1日後	3日後	4日後	5日後
	%	%	%	g	%	%	%	%
A 13	0	56.1	85.0	28.9	33.6	77.5	84.1	86.2
A 35	5	54.9	87.6	32.7	28.4	70.0	79.5	82.9
A 6	10	52.5	82.6	30.1	27.9	73.4	84.1	88.0
A 11	20	48.6	78.5	29.9	25.4	66.9	82.3	87.6
A 49	30	43.7	70.2	26.5	24.9	64.2	81.9	89.4

4日間の蒸発量は(A)が26.8mm、(B)が8.6mm、(C)が5.7mmであった。

このことによって厚さ1.5cm程度の炭のマルチは土壌面蒸発量を1.4mm/d程度まで抑制することが明らかになった。

(7) 土壌酸度の矯正効果

タマネギの播種床に約1cmの厚さでマルチを行い、かんがい水(地下水)によって土壌のpHが変化するか否かを確認した。

マルチの下部の土壌のpHはKClで8.5、深さ5cmが8.0、深さ10cmが7.0、深さ20cmが5.7であった。マルチをしていない対比区でかんすいをした土壌では表層のpHが6.2、深さ10cm及び深さ20cmで5.7であった。以上よりアルカリ性である炭をマルチ材として使用すれば、土壌の酸度矯正が図られることが明らかになった。

(8) 地 力

砂質土壌の陽イオン交換容量(CEC)は非常に小さく

施肥効果が期待できない。また、CECは土壌の有機炭素含量と粘土含量に比例して大きくなることか明らかになっているので、炭を施用することは土壌の保水力を増加させ肥料分のリーチングを減らす。さらに、CECの増大は土壌の養分保持能力を増し、作物に養分を穏やかに供給することができるようになる。

(9) まとめ

以上の試験からミレットの穂殻で造った炭の土壌改良材としての有効性が明らかになった。ミレットの穂殻はこれまでは、ほとんど利用されていなかったが今後は大きく利用することを検討する必要がある。

穂殻の賦存量は単収の1.3倍程度であり、毎日家庭から排出されるので、定期的に炭に加工し保存することが可能である。

受稿日：平成8年2月1日

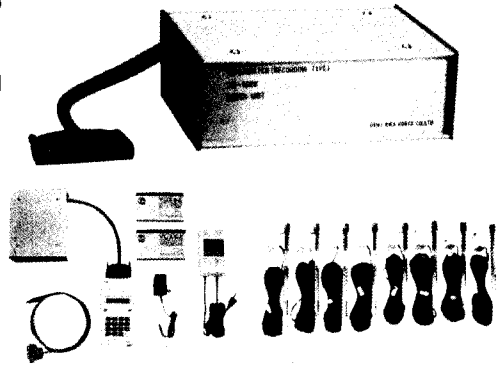
受理日：平成8年4月10日

テンシオメータ 自記タイプ

DIK-3020

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

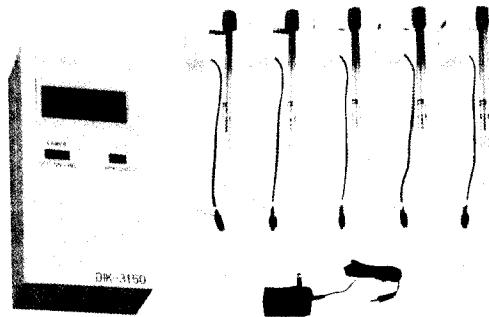
(測定点数8、測定範囲 pF 0~3)



テンシオメータ 表示タイプ

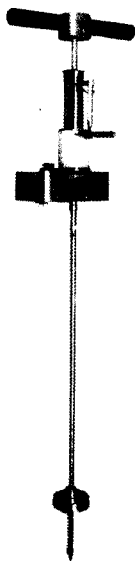
DIK-3150

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



貫入式土壌硬度計

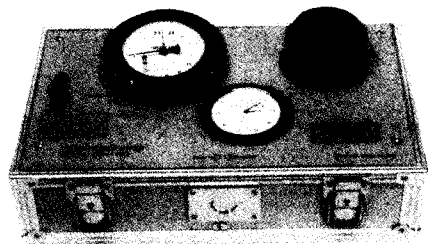
DIK-5520



土中にさし込むだけで各深さに対応した抵抗値が自動的に連続記録されます。

土壌三相計

DIK-1120



実容積(固相+液相)と全重量が現場で迅速に測れます。

SPAD[®]開発製品



ダイキ 大起理化工業株式会社

クウェートの原油による土壌・地下水汚染と松本城山 トンネルにおけるトレーサー試験について

井伊博行

Oil Contamination of Soil and Groundwater in Kuwait and Tracer Tests in the Matsumoto Jyoyama Tunnel

Hiroyuki Ii

Faculty of Systems Engineering,
Wakayama University

Abstract

In Kuwait, as a lot of crude oil flowed out on the desert area, soil was contaminated by crude oil. As the rate of infiltration was very slow, groundwater was not directly contaminated by crude oil. However when rain water infiltrated into the contaminated soil, groundwater could bring oil into the aquifer. Therefore, the concentration of hydrocarbon in groundwater increased.

The tracer test using chemical compositions and isotopes in groundwater is useful for determining the origin and recharge time. The tracer test injecting tracer solution into an aquifer is useful for determining parameters in the aquifer. Therefore tracer tests will be used for analyzing oil contamination of soil and groundwater in Kuwait.

Key words : Tracer, Kuwait, oil contamination, isotope, migration

1. はじめに

ここでは、1995年9月にクウェートの原油による土壌・地下水汚染の実態を調査してきたので、その報告を行う。現在、クウェートでは原油による土壌・地下水汚染が大きな問題となっている。湾岸戦争で、多くの油田設備が破壊され、多量の原油が砂漠地帯に流れ出し、原油の池を形成した。これは、オイルレイクと呼ばれ、原油が地下に浸透し、土壌や地下水が油で汚染した。土壌や地下水の汚染状況を把握するためには、地下水がどこから供給されてきたか(涵養域)、また、どのくらいの速度で移動しているかを知ることは重要である。ここでは、トレーサー試験による地下水の起源、涵養時間、パラメータの推定を行った実施例を紹介する。

2. クウェートの土壌・地下水汚染

クウェートはアラビア湾に面する面積が18000 km²の平坦な王国である。平均降水量が年125 mmの乾燥地

(土の砂漠が主体)で、川はなく、飲料水は海水と地下水から脱塩して供給されている。

1) 原油汚染

図-1にクウェートの原油汚染の分布を示す。オイルレイクの面積が49 km²、汚染土壌の体積が4000万 m³に達する。今回、調査した地域は、クウェート市の南にある埋蔵量世界第2位のブルガン油田である。この地域の表層堆積物は細粒の礫層から粗粒の砂層で、石膏などの鉱物によってセメントされている。表-1にブルガン油田のオイルレイク No. 105の周辺の3地点での採取深度ごとの含水率、透水係数を示す。含水率は非常に低く、深さ1.5 mでも3から8%である。透水試験は、現地土壌を乱した状態で、日本に送り、現地と同じ乾燥密度(約1.8 g/cm³)に締め固めて行った。その結果、透水係数は 1×10^{-2} cm/sec から 1×10^{-1} cm/secであった。この土壌とブルガンの原油を用いて、原油の浸透試験を行った。試験条件は、室温で土壌の含水比0%、乾燥密度は現地と同じ1.8 g/cm³であった。図-2に代表的な試験

給してくれる重要な水源である。図-3 に第1帯水層の水源地域の地形を示す (Sulaimi *et al.* (1993))。クウェートの降水は少ないものの、雨期の短時間に集中している。その時に雨水は、わじに沿って窪地にあつまり、透水性のよい礫層を通して地下に浸透する。このような地表水があつまる地形が、図-1 に示すように Al-

Raudhatain と Umm Al Aish の2カ所にみられる。ここでは、地下水面までの厚さが他の地域に比べて薄く (20 m 前後)、浸透した直後の水が得られるので、塩濃度が低い。しかし、図-1 に示すように両地域周辺の土壌は原油で汚染されている。そのため、雨水は原油に汚染した土壌中を浸透し、原油をわずかに溶かしこんで地下水

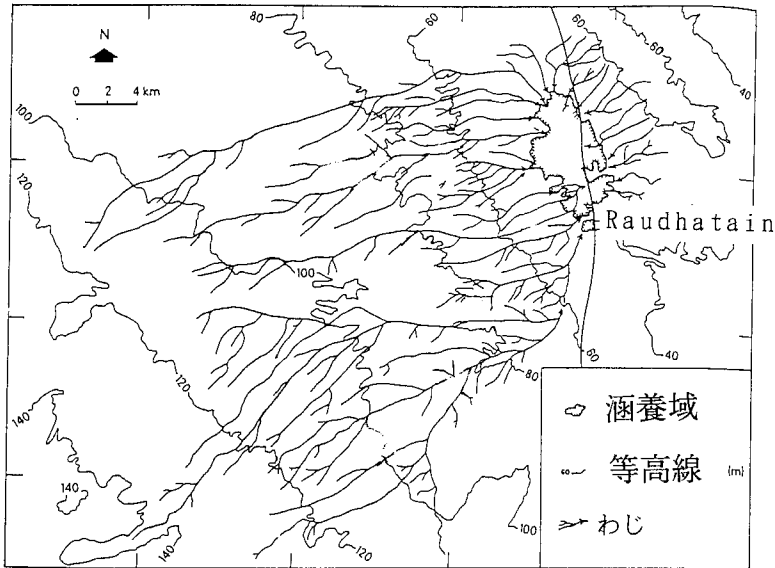


図-3 Al-Raudhatain の地形 (Sulaimi *et al.*, 1993)

Fig. 3 Topography in Al-Raudhatain (Sulaimi *et al.*, 1993)

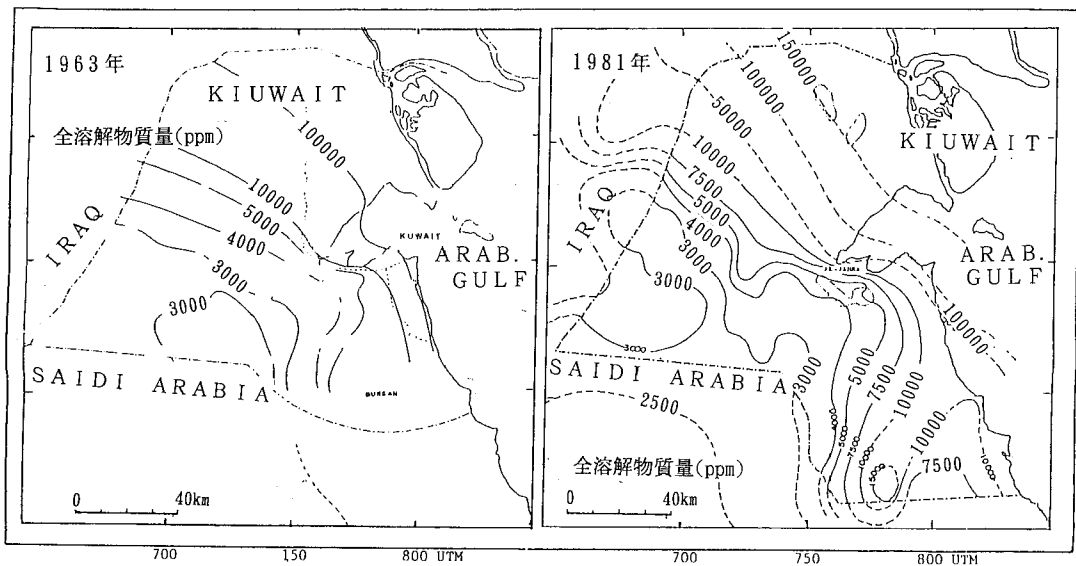


図-4 第3帯水層の1963年、1981年の全溶解物質質量 (Siwek *et al.*, 1988)

Fig. 4 Total dissolved solid in the aquifer-3 in 1963 and 1981 (Siwek *et al.*, 1988)

面に達し、地下水が汚染されている。この汚染によって原油に多く含まれるバナジウム (最大 400 ppb), ニッケル (最大 100 ppb), 全炭化水素 (最大 200 ppb) が地下水中で増加した (Sulaimi *et al.* (1993))。

第2, 3帯水層 (Kuwait Group と Dammam Group) は 100 m 以深にあり, 汽水から海水よりも濃い塩水であり, 脱塩しないと使えないが, クウェート全域にみられる。図-4 のように第3帯水層の水の 1963 年と 1981 年の全溶解物質質量 (Siwek *et al.* (1988)) をみると, 地下水の汲み上げが行われていない 1963 年では, クウェートの南西部から北東部に向かって全溶解物質質量は大きくなっており, もともと地下水はこの方向で流れていると考えられる。また, 図-1 に示された Wafra (サウジアラビア

国境付近) での水の汲み上げにより, 1981 年になるとその地域を中心に全溶解物質質量が異常に高くなっている。また, クウェート北部の全溶解物質質量が全体的に高くなっていることが判る。これは, 図-1 に示された Wafra や Al-Sulaibiya (クウェート市の近郊), Umm Gudair などの他の水源の汲み上げの影響と考えられる。

このように, クウェートでは第1帯水層の原油による地下水汚染, 第2, 3帯水層の地下水の汲み上げによる地下水の塩水化が問題になっている。これらの問題を解決するために, 次に, トレーサー試験を紹介する。

3. トレーサー試験 (井伊 (1993))

地下水の流速, 流向, 流量, 起源, 涵養時間, 地層の

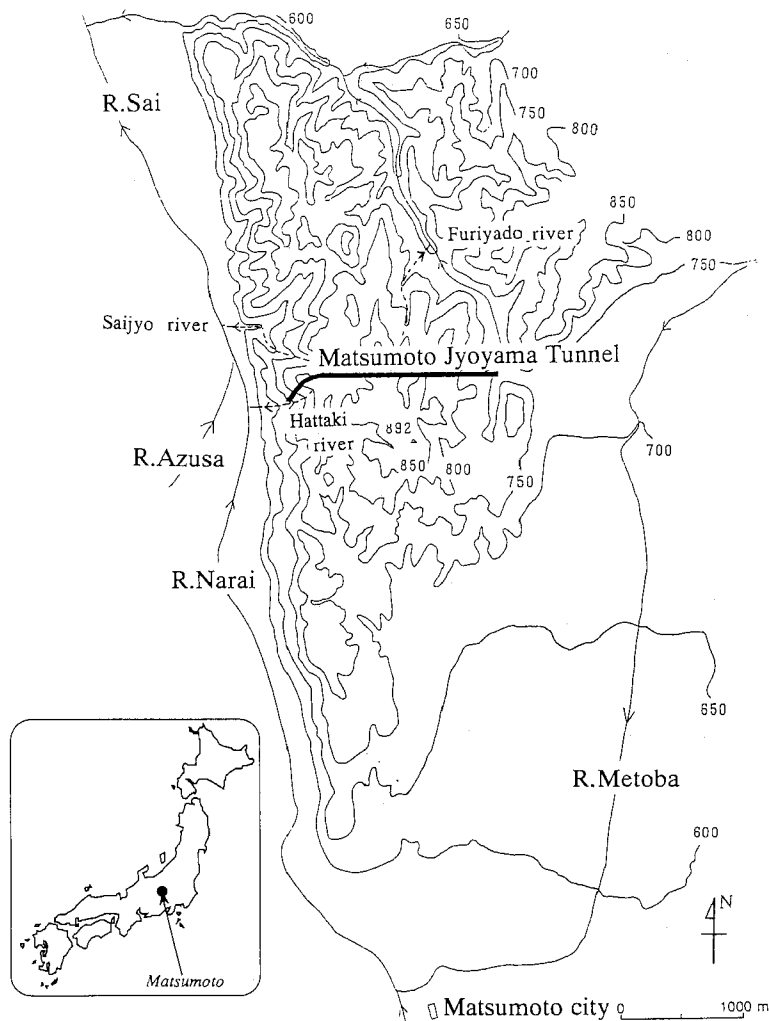


図-5 松本城山トンネル周辺の地形

Fig. 5 Topography surrounding the Matsumoto-Jyoyama tunnel

透水性に関するパラメータ（透水性，有効間隙率，分散係数）などを推定するために，種々の物質が地下水の流れを追跡するトレーサーとして利用されている。トレーサー手法としては，①追跡子法（人為的にトレーサー物質を地層に投入する方法）②水質法（地下水に溶存する天然物質を利用する方法）がある。

追跡子法は，希釈の効果によって適用範囲は狭く，最大でも数100mまでであるが，トレーサーの投入量や他の試験条件を制御できるため，目的のパラメータを推定しやすい。水質法は天然物質を使っているため，試験条件を人為的に制御できないので，必ずしも目的とするパラメータを推定できないが，広範囲（数km），長期間に渡って適用できるなどの利点がある。特に，地下水の年代や起源を調べるために同位体がよく使われる。

同位体とは，同じ元素でも重さが異なるものを言う。同位体元素は化学的現象には差はないが，重さが異なるため物理的な現象は少し異なる。一般に重い元素ほど蒸発しにくいので，海水の重水素の割合は河川や降水よりも高くなっている。また，地球規模で，降水の重水素の割合は変化し，赤道から高緯度に向かうほど重水素の割合は小さくなる。これは，一般に降水時の温度に比例し，同一地点では過去の温度の推定にも利用される。また，降水地点によって重水素の含まれる割合が異なることを利用して地下水の涵養域を推定する方法がある（Fritz

and Fontes (1983))。同位体元素には， ^3H のように自然に崩壊していく放射性同位体元素がある。 ^3H は半減期が約12年，核実験前は主に宇宙線によって大気中で生成されてきた。そのため，降水にはほぼ一定濃度の ^3H が含まれ，地下に浸透すると崩壊によって減少するので， ^3H の濃度から浸透時間を推定することができる。

4. 松本城山トンネルでの実施例

図-5に示すように松本城山トンネルは松本市の北方にある周囲を河川に囲まれた台地にあり，トンネル湧水の起源はすべて台地上の降水が起源である。台地は第3紀の堆積岩から構成され，トレーサー試験は施工中（1990年10月から1992年月11）のトンネルを用いて行った。

1) 水質からの地化学的考察 (Ii and Misawa (1994))

地中の水を採水する方法として，井戸やボーリング孔を用いる方法があるが，様々な深さの水が混合する可能性があり，ある深さの水のみを得るのに施工中のトンネル湧水を用いるのは有効である。このようにして採水した水から地下水の水質の進化を推定した。その結果が図-6に示されるように，台地上に降った水は地下に浸透し，台地深くへと浸透する。 ^3H の測定結果はトンネル内で採水した水の濃度が0.3から0.5 T.U.であるから，地

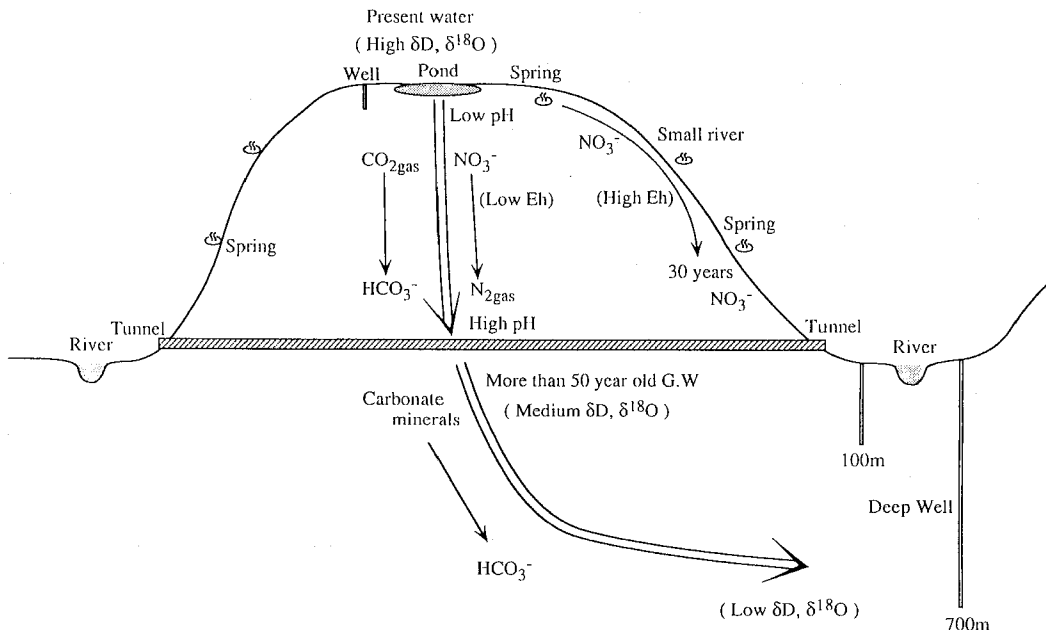


図-6 台地地下水の水質変化 (Ii and Misawa, 1994)

Fig. 6 Groundwater chemistry changes within the plateau (Ii and Misawa, 1994)

上から50年以上経過していることを示している(降水で約10 T.U.)。農薬や表層の有機物が分解して生成する硝酸イオンは地下に浸透するにつれて、還元環境になると微生物により分解される。この地域では、地下水の酸化還元電位 ORP が 200 mmV 以下になると、硝酸イオンが検出されなくなる。また、酸化状態でアンモニアから硝酸イオンが生成される際に H^+ が、還元状態で硝酸イオンが脱窒する際に OH^- が生成される (Yanagita (1990))。この地域の地下水の pH と硝酸イオンの関係は、pH が大きくなるにつれて、硝酸イオンが減少していく傾向がみられる。このようなことから、地下水が地中を流れている際に微生物により硝酸イオンの生成と分解が起きたことが示された。

一般に、炭素の同位体比 $\delta^{13}C$ ($^{13}C/^{12}C$) は陸上植物で小さく (-20‰)、炭酸塩鉱物は大きい (Nordstrom *et al.* (1985))。この地域の表層からトンネル部までの $\delta^{13}C$ は陸上植物の値 (-20‰) とほぼ一致する。しかし、台地の麓にある深井戸では、 $\delta^{13}C$ は大きく (-5‰) なっ

ている。

25°C の地下水の重炭酸イオン (HCO_3^-)、溶存している炭酸ガス圧 (PCO_2)、pH との関係は以下のように表される。

$$\log PCO_2 = \log [HCO_3^-] - pH + 7.8 \dots\dots\dots(2)$$

図-7 の地下水の溶存炭酸ガス圧は、(2) から求められる。この結果、溶存炭酸ガス圧は地表付近で大きく、トンネル部付近で小さく、さらに麓の深井戸で増加している。このようなことから、地表付近では、腐食土から供給された生物起源の $^{13}C/^{12}C$ が小さい炭酸ガスが地下水に溶け、地下に浸透するにつれて溶存炭酸ガスから重炭酸イオンに変化し、さらに浸透していく過程で鉱物から $^{13}C/^{12}C$ が大きい炭酸が地下水に供給されたと理解される。また、地表からトンネル内部までの溶存ガス圧の変化は、長石(岩石に含まれる)が風化で分解される際に、溶存炭酸ガスを消費して重炭酸イオンが生成されることから、風化が関与していると考えられる。

酸素、水素の同位体比 ($^{18}O/^{16}O$, $^2H/H$) は、古い水(地

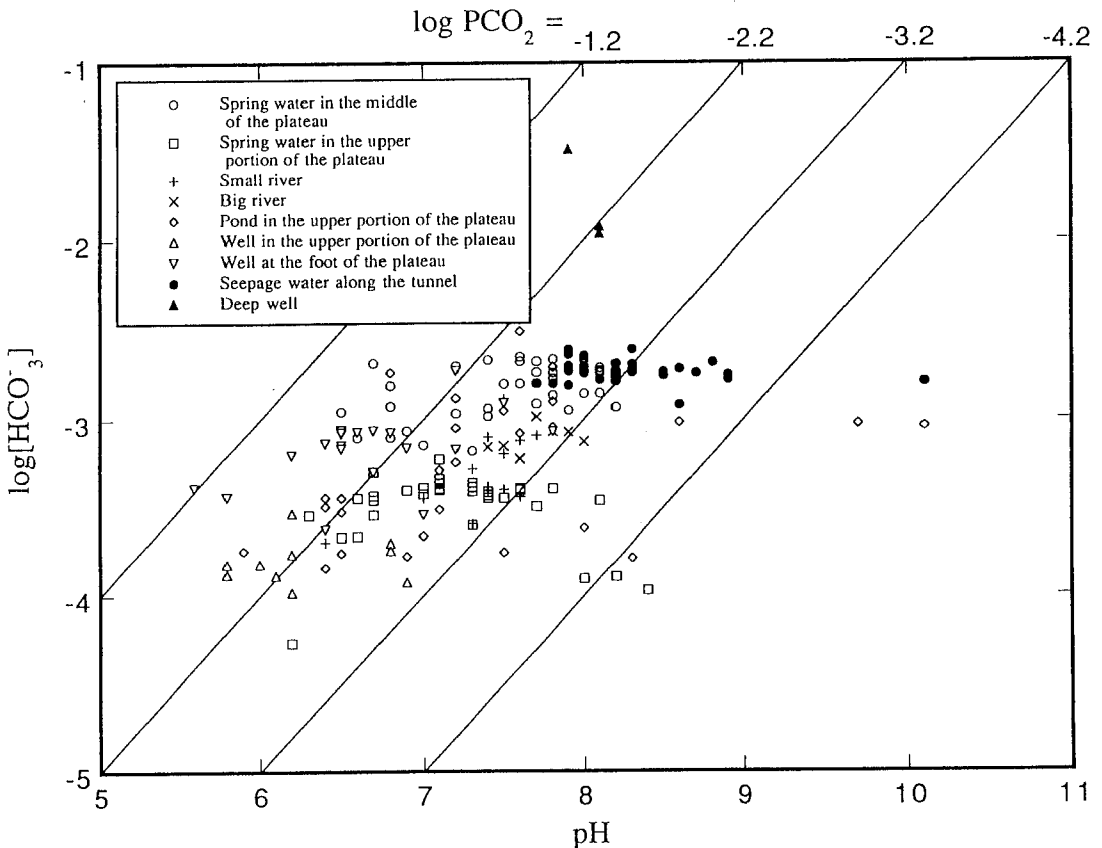


図-7 pH と $\log [HCO_3^-]$ の関係 (Ii and Misawa, 1994)

Fig. 7 Relationship between pH and $\log [HCO_3^-]$ (Ii and Misawa, 1994)

下深くなるほど)ほど小さく、この値を気温に換算すると、約1℃ほど気温が上昇したことを示し、過去数十年の気温の上昇と一致する (IAEA (1983))。

2) ³Hを用いたトレーサー試験 (Ii et al. (1996))

台地周辺の地下水の³Hの濃度分布を用いて、台地全体のパラメーターを推定した。降水の³H濃度を10 T.U.と仮定し、これが時間と共に減少し、トンネル部で、0.3から0.5 T.U.になったと考え、地層のパラメーターを変数にして、解析した結果と実測値が合うパラメーターを推定した。解析は3次元FEMの物質移行解析コード (Kawamura (1987))を用いた。図-8に解析モデルを示す。

3次元の定常状態の地下水流の基礎方程式は以下のようである。

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \dots\dots\dots(3)$$

ϕ : ピエゾ水頭, x, y, z : 座標

3次元の移流拡散の基礎方程式は以下のようである。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (D \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (D \frac{\partial C}{\partial z}) - \frac{\partial}{\partial x} (V_x C) - \frac{\partial}{\partial y} (V_y C) - \frac{\partial}{\partial z} (V_z C) + \frac{F}{\epsilon} - \lambda C \dots\dots\dots(4)$$

$$V_x = vx/\epsilon, V_y = vy/\epsilon, V_z = Vz/\epsilon$$

$$D = \alpha |V|, V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$$

ϵ : 有効間隙率, C : 濃度, D : 分散係数, α : 分散長, F : フラックス, V_x, V_y, V_z : x, y, z 方向の実流速

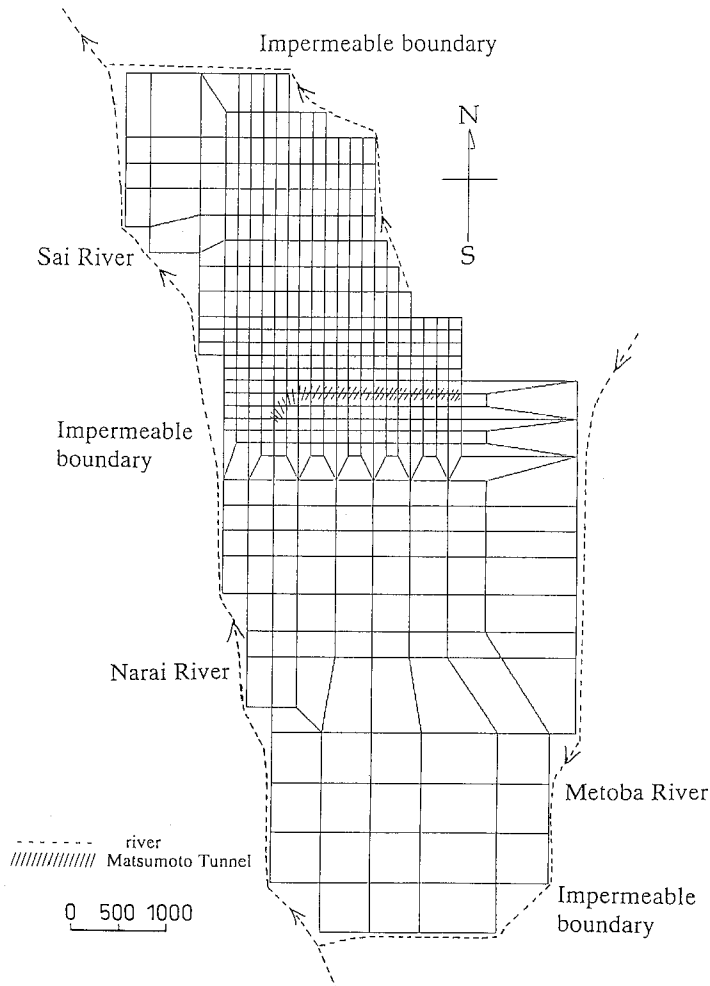


図-8 地下水流, 物質移行解析モデル

Fig. 8 Seepage and migration analysis model at the horizontal section

u_x, u_y, u_z : x, y, z 方向の見かけの流速, λ : 崩壊定数

図-9に示す解析結果のようにトンネル部の ^3H 濃度が0.5T.U.になるような地層のパラメータは透水係数が $5.6 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$, 有効間隙率が10%, 分散長が1から100 mであった。地層の間隙率は供試体から約10%で, 有効間隙率と一致している。

4. 追跡子法によるトレーサー試験 (Ii *et al.*(1994), Ii(1995))

水質法では, 台地全体(数 km)の地層のパラメータを推定したが, 追跡子法では, 100 から 200 m の範囲のパラメータを推定した。特に, 掘削によるトンネル周囲の基盤がゆるんだ条件やトンネル湧水を強制的に排水した条件での水の流れを調べた。図-10に示すようにトンネルの掘削は, 東西2方向から進められた。中央部には, 地上からの施工前に掘られた調査用のボーリング孔がある。ボーリング孔から西側の切羽が130 m, 東側の切羽が330 mの時に, ボーリング孔に臭化ナトリウム 30 kg をトンネル湧水 80 l に溶かした溶液を注入した。この臭素イオンのトレーサーをトンネル湧水を採水し, 濃度を測定することで追跡した。図-11は130 m離れた西側のトンネル切羽の湧水の濃度変化である。この濃度変化を

もちいて, ^3H を用いたトレーサー試験と同様に3次元FEMの物質移行解析コードを用いて解析を行い, ボーリング孔とトンネル部までの地層のパラメータを推定した。図-11の曲線が実測値と合う解析結果である。透水係数は, 広域の ^3H を用いた時に比べて大きい $2.4 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ で, 実測値と一致し, トンネル掘削によって周辺の地盤がゆるみ, 水みちが開いたために透水係数が大きくなったと考えられる。また, 流速も広域の ^3H の $1 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$ に比べて非常に速い $1.8 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ であった。これもゆるみと排水に伴う強制的な水の流れが原因と考えられる。地層の間隙率, 広域の ^3H の有効間隙率も10%であるが, このように, 水の流れが速い場合は, 水みちの割合を示す有効間隙率は, 0.5%と小さくなっていた。これは, 開口したクラックを優先的に水が流れているためと考えられる。

5. まとめ

クウェートでは, 湾岸戦争によって多量の原油が流出し, 周辺の土壌を汚染した。また, 降水が汚染土壌中を浸透することによって, 帯水層も原油で汚染した。

国内において, 水質法, 追跡子法による研究によって地下水の流れが詳細に解明された事例を紹介した。水質

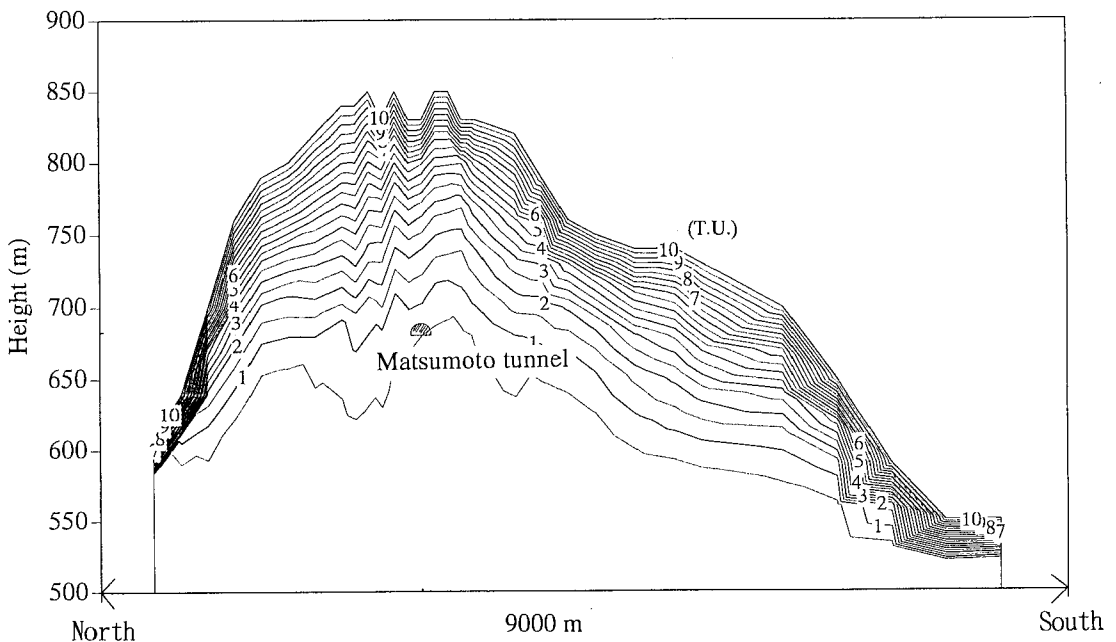


図-9 解析された ^3H 濃度分布 (南北断面図, 透水係数: $5.6 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$, 有効間隙率:10%, 分散長:12m, Ii *et al.*, 1996)

Fig. 9 Analyzed ^3H concentration distribution (sectional plan, hydraulic conductivity : $5.6 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$, effective porosity : 10%, longitudinal dispersivity : 12m, Ii *et al.*, 1996)

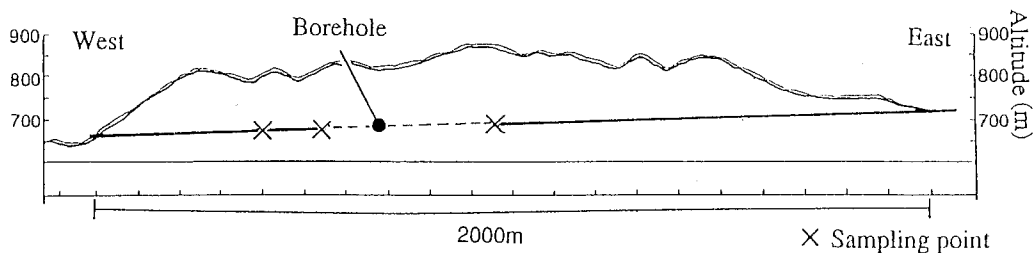
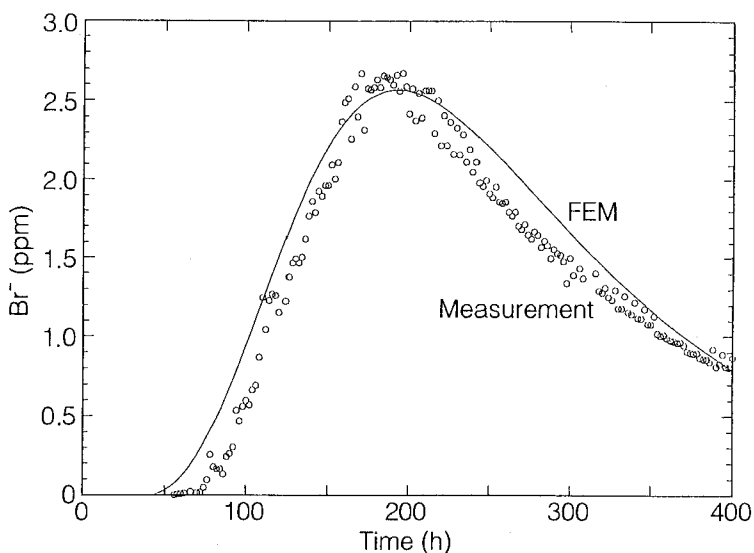


図-10 松本城山トンネル断面図

Fig. 10 Sectional plan at the Matsumoto-Jyoyama tunnel

図-11 トレーサーの濃度変化と3次元FEM解析結果 (透水係数: 2.4×10^{-3} cm/sec, 有効間隙率: 0.5%, 分散長: 12m, Ii, 1995)Fig. 11 Relationship between elapsed time and concentration of tracer. (hydraulic conductivity: 2.4×10^{-3} cm/sec, effective porosity: 0.5%, longitudinal dispersivity: 12m, Ii, 1995)

法では地下水の起源、涵養時間を、追跡子法では地層のパラメーターの推定に有効であった。クウェートでの同位体による研究は、Siwekら(1988)によると、第2, 3帯水層の酸素と水素の同位体比は2つの帯水層は混合し、炭素の同位体による年代測定結果は第3帯水層は40000年、第2帯水層は20000年前に涵養したことが示されている。しかしながら、測定地点、分析数が少なく、水質法による研究は十分でない。それ故、今後、追跡子法による地層のパラメーターの推定などを含めたトレーサー法を用いた原油の地下水汚染の解析は有効であると考えられる。特に、クウェート北部地域における原油による地下水汚染は、現在も進行中で、その汚染した地下水の浸透速度、汚染範囲などの解明にトレーサー試験が役立つ

と考えられる。

参考文献

- Al-Sulaimi, J., Viswanathan, M.N. and Szekely, F. (1993): Effects of oil pollution on fresh groundwater in Kuwait. *J. Environmental Geology*. **22** pp 246~256.
- Fritz, P. and Fontes, J.Ch. (1980): *Handbook of environmental isotope geochemistry*, 2. Elsevier.
- Ii, H. and Misawa, S. (1994): The groundwater chemistry within a plateau neighboring Matsumoto city, Japan. *J. Environmental Geology*. **24** pp 166~175.

- Ii, H. (1995) : Effective porosity and longitudinal dispersivity of sedimentary rocks determined by laboratory and field tracer tests. *J. Environmental Geology*. **25** pp 71~85.
- Ii, H., Ohtsuka, Y., Mori, N., Inagaki, T. and Misawa, S. (1996) : Effective porosity and specific yield of a sedimentary rock determined by a field tracing test using tritium as a tracer. *J. Environmental Geology*. **27** pp 170~177.
- 井伊博行 (1993) : 地下水脈の水の流れ. *沙漠研究* **3**. 163~168.
- International Atomic Energy Agency (1983) : Isotope techniques in the hydrogeological assessment of potential sites for the disposal of high-level radioactive waste. IAEA, Vienna : Technical Reports Series. No. 228, 151 pp.
- Kawamura, R. (1987) : Three - Dimensional Groundwater Flow and Advection Diffusion Code for Treating Decay Chain of Radioactive Materials by Finite Element Method. *J. Nuclear. Sci. Tech.* **24**. 11 : 937~950.
- 樫根 勇 (1980) : 自然地理学講座 3, 水文学, 大明堂.
- Nordstrom, D.K., Andrews, J.N. Carlsson, L., Pontes J. C., Fritz P., Moser H. and Olsson T. (1985) : Hydrogeological and hydrogeochemical investigations in boreholes - final report of the phase I geochemical investigations of the Stripa groundwaters. Stockholm Sweden : STRIPA Project TR 85~06.
- Siwek, Z., Hamdan, L. and Amer, A. (1988) : An overview of groundwater development in Kuwait. Kuwait Institute for Scientific Research, Kuwait. Report No. KISR 2931.
- Yanagita, T. (1990) : National microbial communities. Ecological and physiological features. Tokyo : Japan Scientific Societies Press and Springer-Verlag.

受稿日:平成8年2月1日
受理日:平成8年3月22日

土壌物理研究会第37回シンポジウム

「乾燥・半乾燥地—現場における土と水—」

座長 古賀 潔 (岩手大学)

波多野隆介 (北海道大学)

成岡 (司会):

座長の先生方を紹介いたします。

まず、岩手大学農学部教授の古賀潔先生です。1975年より岩手大学に赴任され、そのうちバンコクにあるアジア工科大学に90年から92年に派遣されました。専門は農地工学。現在の研究テーマは「粘土の圧密機構あるいは耕作放棄水田の土壌水文」です。「新進気鋭」と言われましてももう名が売れすぎている先生ですが、今回の総合討論に座長として御願いたしました。

続きまして北海道大学農学部教授の波多野隆介先生です。土壌学研究室にいらっしゃいますが、その研究室の英語名は“Soils”だそうです。なぜSoilsか聞いたことがあるのですが、「何でもやるからSoils」だと言うことであります。現在の研究テーマは「土壌中の物質移動」という事でとくに土壌間隙の中を溶質がどのように動いていくのかということフラクタルを使って数値的に解明された優れた研究成果があります。このお二人に座長を御願いたします。どうぞよろしく御願いたします。

波多野 (北大, 座長):

よろしく御願いたします。今日のご発表と題名について「乾燥、半乾燥地の現場における土」という題で解説するわけですが、非常に大きな話があって、また盛りだくさんのテーマもあったように思います。発展した農業国で見てきた事、あるいは我国で見てきた事の様子とはずいぶん違うような印象を強く持っています。自分たちが良いと思ってきたことが必ずしも良いものであったばかりではないような、そういうお話もあったようです。それは討論の過程で明らかになっていって、確認もしていきたいと思っておりますが、まず時間が40分と短く、理者の皆さんも急いじゃべられた所もございまして、言いたくないと思われる部分、しゃべりたいと思われる部分もあると思いますので、全般に質問を言いたくない、聞き足りなかった部分の質問をお受けながら徐々に必要な議論を深めていきたいと思っております。

まず、一番最初に発表された今川さん(農環研)にお聞きしたいと思います。アリ塚のことで12名の方から質問票をいただいています。代表として最初に谷山さん

(農環研)から御質問をいただいでよろしいでしょうか。

谷山 (農環研):

アリ塚について私も同じような事についてを大変強い印象をいただいでいたしましたが、アリ塚のところは、一般には作物や植物の生育には良いということになっていまして、それはリン酸などの養分が非常に高いということで、これは皆さんも理解なさっていますが、養分的な問題があるのになぜ脱置換するのか不思議です。例えば、粘質のものが流れて、クラストができるものについて、そのクラストのできやすい土地での現植生というのは、だいたい地下茎なり、ストローを伸ばしていくというようなタイプで、クラストに対して抵抗性のある植物が優先種となるのが普通だと思うのです。

南雲 (北大):

アリ塚の問題に関してですが、私もガーナ、ブルキナファソ、ニジェールというふうに南北降水量の違う所をずっとみてきたのですが、基本的にアリ塚の形であるとかその裸地の広がりといったものに地域的な制限があるというふうに考えています。そのブルキナファソで、アリ塚で養分が集積していることは確認しているのですが、それ以上にクラストが形成されていることによって流されてしまうのです。基本的にブルキナファソというのは、750mmぐらい雨の多いところで、植被がある程度地表を保護しているのですが、その苗を切ることによって裸地化していくのです。さらにもう少し雨が少ないニジェールの砂丘地帯でもおなじようにアリ塚は堅いクラストが形成しますので水分状態が大きく効いて、そのクラスト状況では植被が侵入できないというふうに考えています。根や、植物の種による乾燥の適応などは詳しい実験をやっていないので分かりません。とにかくクラストのあるところでは、風に飛ばされるか、水に流されるか、植物種子がそこに定着できないか、発芽しても水分条件のために枯れてしまうか、そのどちらかだと基本的には考えています。

10数年間の間にアリ塚が問題になったということについて、過去75~92年ですから、10数年間経っているのですが、この期間は降水量が100mm減少してしまっていて、それはアリ塚の数そのものが増えたのか、アリ塚を

覆っていた植被がなくなる結果崩壊が促進されていったのか、おそらく両方が有り得ると思います。少なくともこの地域においてはそういう裸地化現象が観測されました。これがまた多くの雨が降ることによって、それがまた縮小するのかどうかは分かりません。基本的におそらくアリ塚の周囲の裸地では降水量が多くなれば、その周囲の水分環境というのが少し改善されて、縮小するであろうし、降水量が少なく周囲の水分環境が悪化すれば灌漑する。こういう縮小と拡大をくりかえすであろうというふうに考えています。

河野 (日大):

私が知っておりますのは、アリ塚ができる一つの要因として森林で葉がたくさんしげるということ、それから水分があって有機物があると、それを食源にしましてアリ塚が出来上がるという言うふう聞いております。それから谷山さん(農環研)は確か、養分に富んでいるとおっしゃったのですが、私の聞いたところでは、アリ塚のあるところでは酸が強くなってそれで植物があまり生えてこないという話を聞いておまして、私も当たっているかどうかは分かりませんが、この原因も今の裸地化にあるのではないかと思っていました。

波多野 (北大, 座長):

西田(農用地整備公団)さんが炭のことについておっしゃられたときに、アリがアルカリを嫌うということだったのですけれども、コメントをいただけます。

西田(農用地整備公団):

稲作の苗の時、それも短期にやったものですが、ある区画の中に炭をまいてみたわけですが。保温効果があって非常によく育ったことは分かりました。農民は蒔いた次の日にアリが種をもっていった、という報告をしています。ところが、炭を入れたところだけはアリは持っていかなかったということがありました。それで農民はこういうことをしたいと言っていました。アリ塚に関してはニジェールの三國さんも研究していると思いますが多分アリ塚のあとは養分が豊富だということだと思います。私自身はアリ塚のまわりを植生が被覆することによってアリはどこかに消えてしまい養分や水だけが上の中に残っているのではないのかと思っていました。

波多野 (北大, 座長):

南雲さん(北大)は多分データを持っていると思いますが、今のことをまとめていただけますか。

南雲 (北大):

これまでの実験では、私の知っている限り、アリは酸性の土壌を嫌うという話があります。その一つはアリ塚には養分が蓄積されるカルシウムに富むとか、リン酸に富む、という話があります。私が調査したときは、やは

りカルシウムに富んで弱アルカリ性になっていました。従って、私も養分の集積装置という意味におけるアリ塚の役割はあると考えていますが、少なくともアリ塚が周囲にそういうクラストを形成するような状況がある間は基本的には表面流去といったことが原因で侵入できないというのが私が少なくとも思っている現地での観察の結果です。それはその土地条件によって、例えばその周りに裸地化してなくて、その周囲に植被が侵入している場合もあります。覆っている場合もありますし、その様に本当に様々なタイプのアリ塚環境というものがありまして、私がおのうちの周りを裸地化させているアリ塚に注目して紹介したわけです。

波多野 (北大, 座長):

どうもありがとうございました。大体分かったような気がするのですが、南雲さん(北大)の意見ではアリそのものが酸性を嫌うし、またアリは養分を集めています。それによって保たれているのだけれども、壊れたときにクラストができるということが裸地化の原因であるということだと理解できると思います。それで、このクラストの問題は裸地化をするということともう一つ、それはどうも農法によって人為的に作られてきているということをお田中さん(京大)は指摘になったように思われます。それについて長谷川さん(農環研)が面白い質問をいただけると思います。よろしいですか。クラストに対して農法的にできているというお話について、お願いします。

長谷川 (農環研):

田中さん(京大)に聞きたかったのは、フランスの鋤がこの国のマリではダメという話でしたが、本家のフランスではどういう評価があるのでしょうか。もう消えてしまった古い時代の土なのか、それともそこでは適応しているのか。また、アフリカとインドで見えてきて、今までは耕起するようなことが当然のように考えられてきたわけですが。それはその土を軟らかくして根が十分に入るようにするとか、種を入れやすいようにするとか、肥料を混合しやすいようにするとか、そういうことで除草というのがあったと思うのですけれども、そういういろいろな耕起をすることの意義というものがあると思うのですが、アフリカ、インドを見て田中さん(京大)は耕起にはどのような目的があると考えているのでしょうか。

田中 (京大):

まず、フランスの鋤は本国ではどうかということですが、キタクナスでは別に行ったことはないですが、想像するに砂質土壌ではないと思います。おそらく土性が細かくて一時期放っておくと固くなるという普通の上で、

固くなって次の作物を作るには軟らかくほぐさなければいけないような土だと思います。そういった場合にですね、ある程度深く起こして、しかも反転すると作業効率が上がるわけです。つまり、再度耕土を砕く目的で使う鋤でありまして、おそらく今はトラクターでやっていると思うのですが、同じような考え方でされているのではないかと思います。ただですね、西アフリカで調査したチワムギ村では2mも3mもものすごい砂質土壌が堆積しておりまして、そこでは必ずしも土を砕くという操作は必要ないかと思います。逆に砂質土壌で大きく攪乱することで問題が起こるということ指摘してきたわけです。それから耕起の意義、これも答えに関係すると思いますが、ある意味で耕起することとはその上地条件にずいぶん規制されると思うんです。つまり土性が細かければ反転したり何回も何回も砕かなければならない、あるいは雨がなくて養分がある深さに落ちているとすれば反転耕起しなければならないだろうということがあります。また、同じように砂質土壌であれば、 unnecessary 所の表面だけをひっかければよいということになります。ですから、不耕起だとか、ミンワンティレッズだとかいうような話がありますが、それもやはり、地域特異性みたいなものを考えてみなければならぬという印象を持っています。それからここでも耕起の意義や目的は何なのかということですが、おそらく除草になると思います。現地の農民というのは除草剤を持っておりません。ですから、耕起というのが、土を砕くよりむしろ除草に重みをおいているのではないかと考えています。

波多野（北大、座長）：

ありがとうございました。あの、よろしいですか。それで、実は大事なことで、根の生長ということですが、鈴木さん（東農大）はいらっしゃいますか。

鈴木（東農大）：

同じような主旨で昨日は農業土木学会の方の講演を見せていただきまして、そちらのような耕起栽培というだれにも関連することだと思うのですが、今回のお話でもフーリングと西インドの方の農耕では表面を薄く耕したということで、それよりも下の層の土というのは深く耕さなくても根が伸長、生長していけるだけの軟らかさを持っているのか、固くて生長が難しいのではないかと疑問を持ちました。

田中（京大）：

北西インドの砂質土壌とフーリングでは、あるいはチワムギ村の砂質土壌の三相分布でいいますとポロシティーで孔隙率がだいたい40~50%であります。それから午前中のスライドでお見せしましたが、土壌学編の写真の下の方にかなり黒っぽい孔隙が見えました。

そして、一つの孔隙の大きさがあの粗砂のサイズよりやや大きかったです。つまり、見てみたら0.2mmくらいあるいはそれ以上の大きさの孔隙がありますので根が入るには全く問題がないと思います。そしてその三相分布はだいたい少し悪化した表層を持ってました。あるいは南雲さん（北大）の話でもでたと思いますが、あの深い砂質土壌では根が2mも張っていると、そんなに数が多いのですが、広く薄く張っているというのが見られましたのでそういった問題はないと思います。

波多野（北大、座長）：

要するに、大丈夫だということで、除草のためのようだという意見でございます。で、その個々についてその人達は管理をするというために道具をつくってきたということについて河野さん（日大）から田中さん（京大）にもっとおしえてほしいということがあろうようです。

河野（日大）：

道具のことについて先ほどのフランスの鋤の話もそうですし、インドの鋤もそうですが、御説明なされて本当はインドの鋤が早くて良いおっしゃったのですが、そのインドの鋤そのものは土壌保全的なクラスタルのところを考えて発展してきた鋤なのでしょうけれども、そこだけをお聞きしたかったです。さっきの道具は深く耕すこととも関連するのですけれどもそういう展開をお願いします。

田中（京大）：

インドといっても私の見てきた範囲で言いますと、全てのインドというわけではありませんが、見た範囲で非常に土地条件と農業がマッチしているという感じがしました。それからお見せしましたが農具が非常に多様だということでは彼らは土壌の物理性をかなり知り尽くしているという感じがし、そのため農業の発達が一歩おこったのではないかと考えています。

河野（日大）：

もともとは中東の方から入ってきた道具なのではないのですか？

田中（京大）：

必ずしもそうではないみたいです。ただ、ケーブルというのはアフリカから中東を経由して入ってきたんじゃないのかといわれているのですが、ドライファーマーの技術が入ってきていますから、そうかなという気もするのです。実は北西インドのアラグニ山地を境に北と南の方では農具がだいぶ変わって来るのです。それから少し話が飛びますがインドも南の方のドラビダ文明とそれから北のアディアというのがありまして、おそらくそのドラビダにインド独自の農法が発達してきたのだと思います。ですから、移入されたものではなくてか

なり内在的につくりあげられたものだと考えております。

波多野 (北大, 座長):

農具の話と除草の問題にはもう少し関係があると思うのですけれども、そのクラストの耐食性について、西村さん (東大)、よろしいですか。

西村 (東大):

南雲さん (北大) に質問を出したいということで今日出席していただいたのですけれども、ひょっとしたら南雲さん (北大) でなく田中さん (京大) かもしれないのですけれども。クラストの耐食性について、できてしまったクラストが、ずっとあるのかそうじゃないのかというのが疑問です。南雲さん (北大) がブルキナファソで説明なされたときには、斜面の上の方では雨によるクラストの影響や侵食が起きて、斜面の下の方では上から流れてきた堆積上によって違うクラストができるというような話をされていたような気がするのですが、堆積でない方のクラストというのは侵食によって削れていくというこののですか。砂質のとときか、砂粒のとときかは?。どうしてそのようなことを聞きたいのかといいますと、私も結構興味があって粘性土をやっているのです。その場合、やってる者としては、できるとすぐ侵食が促進してしまうのだと思いますが、粘性土でやっているとしたら発生させるようになるのではないかと思うのですが、クラスト自体が削れてなくなったりするかどうか、特に砂質の場合について教えて下さい。

南雲 (北大):

基本的に固定砂丘地帯では少量砂粒が表層にありますので、雨が降ってきたときにはクラストが形成されています。先ほど田中さんが申しましたように除草して表面を裂くのですが、それは同時にクラストを壊す効果が積極的にやっているわけです。それでその収穫後まで雨期が終わった後にもクラストがあります。そして、ずっとあって基本的には先ほど言いましたような土壌クラストが形成されています。それは一般的には表面流去を促進するということがそれが侵食の原因になるか、表面土壌の流出の原因になるといわれているのですが、先ほど見ていただきました零点数ミリくらいのクラストは最初家畜がいますんで踏んですぐに壊してしまいます。ですから、家畜を放すということは動物の耕起という発想をもってやっている場合があります。つまり雨期が終わったときにはクラストがありますが、乾期のときには今度家畜が走りまわることによって壊れてしまいます。それで風食を助長するようになります。そして雨期が始まりますとクラストが形成されてしまうという、そういう季節的なクラストの形成と破壊が起きると考えています。先ほど

砂質土壌の厚さが結構問題だと言ったのは砂層が厚ければ多少出ていってもまた表面の厚さでカバーできるのでなんとかやっていけるのではないかと考えています。その持続性の問題というのは季節的な変化をふまえて考慮する必要があると感じていました。よろしいでしょうか。

田中 (京大):

まず、構造クラストは地形面の凸面ですることができますが、寿命は短いと思います。つまり、後部のクラブとクラストの抵抗線の関係で決まりますので一害にいつまでも残るとはいえないと思うのです。ただ、少なくとも厚く生長はしていかない、それが一つです。それから、水が流れる力に対するはく離性ですけれども、クラストができると耐はく離性が増します。そのため、表面が守られるのですが、流れていく水が必ず弱いところを探していきますので、2, 3 指摘がありましたように"リュウ"の形成にもものすごく影響を与えておりましたクラスト自体がむしろ弱いということが問題になるということです。

西村 (東大):

砂質でもはく離性は増しますか。

田中 (京大):

はい、増すと思います。それから、同じことを言おうとしてるのですけれども、さっきからそのクラストができて、それが短期にもちこすそうですね、風食に対して非常に抵抗性を発揮するのです。クラストは非常に薄いのですけれども、それが風に対するはく離性に抵抗して路面を保護する効果がありました。それから、堆積岩層に関しては何層にも各層ができますし、その砂によってなんとかクラスト自体が守られてしまうので、できるとなかなか回復しないのです。そのため、攪乱して壊したりしていたというふうに思います。

波多野 (座長, 北大):

大事な話だと思うのですけれども侵食のことでもう少しもしコメントがあれば、お願いします。

森 (島根大):

田中さん (京大) に質問をしようと思います。もともとあった在来農法をうまく活用するというのはいつのポリシーの問題でもあると思うのですが、他の地域においても砂漠化しやすい土壌や荒廃しやすい条件を持ったところ、例えば中緯度高圧帯で砂漠になりやすい条件があった、それから植民地支配を受けてしまった現時点でも発展途上国のような同じような条件が揃ったところでも、もともとあった方法でないものを他の文化圏の人が持ち込んだために似たような現象が起こってしまったという事例がいくつかありますが、もしくはそこまで挽回できないのか、その辺りが分からないので教えて下さい。

田中（京大）：

かなり、難しい内容を含んだ質問ですが、基本的に今問題で起こっているところは現在までに農耕が破たんしたところですよ。その背景というのは社会経済的なものもあるでしょうし、北から南への技術の押しつけでしょうし、もろもろのものがありますが技術論的にみると土地あるいは資源に負荷をかかえ、耐えきれずに問題が起こっているということが一つです。それから、よそに持ち込んだ時に何か問題を繰り返すのではないかという質問だと思うのですが、これはポリシーというかフィロソフィーの問題でして、どうやって立て直すかということです。例えば、僕らが机上で色々なデータをとって「これがいいだろう」と要するに事実や発見の寄せ集めで「こうすればいい」と農民に示した場合、農民は多分これを受け入れてくれないだろうと思います。私の意識では農民というのは自分らの持っている技術に対して自身と知識を持っています。彼らはそれをよく知っています。また、僕らよりも自然のことについてもよく知っています。ですから、彼らに我々が農法を示し、彼らにその農法を選んでもらうしかないだろうと思います。だから、これまで北が行ってきた援助というのは押しつけで、しかもやってきたことに対しての悪い影響や結果責任をとってこなかったにあるのではないかと思います。

波多野（北大、座長）：

その点についてもありますが、やはり技術をどういうふうにするかというのが非常に大事で、現場のことをきちんと紹介してもらおうかというのが大事だと思うんですが、そのことで溝口さん（三重大）から今のことに関連する近代的農法に対するコメントをお願いします。

溝口（三重大）：

今の問題に関しまして、田中さん（京大）のアプローチの方法というのは農民サイドにたって徹底的に底辺からどのように技術を移入していったらいいのでしょうか。また一方で農用地整備公団の方々に私のとらえ方が誤っていたらぜひとも反論していただきたいのですけれども、グループ化してその最先端の技術を使ってそこを井戸にしていきたいということで、ある意味では非常に対象的なアプローチの方法だと感じたわけです。なぜそう思ったのかといいますと、パンフレットにある砂漠化防止対策技術というところに例えば、ソーラーポンプによる揚水という形でもっていつてるわけですが、これは現地の人から見ればソーラーポンプというのは何だか分からないし超近代的なものを長い間維持管理ができるのだろうかというその辺のアプローチの仕方についてぜひとも田中さん（京大）と農用地公団の方々の考えの違いや共通点というものを議論していただければ面白いと思

います。

西田（農用地整備公団）：

パンフレットは日本人が書いたものでして、日本人が何をやろうとしているか、というふうに見えると思います。そのとおりなのですが、私も始めたときには日本人が一体何ができるのだろうかという観点や希望を持ちながら書いていたのです。そのとおりならば、例えばソーラーポンプというのは農民が本来使うということを目指して、いるわけではありません。これは言い訳ではなくてソーラーポンプシステム設計のためのデータをとるのが主題になっています。これに代わるものとして、写真にはのっていませんが、家畜による揚水というのを第一に考えます。ロバが滑車を引くと水が上がってくる。これは一日に10トンから20トンの能力があります。これを今度牛に変えてもっと大きく変えつつあります。アプローチの仕方は今お話ししましたように初めに私達が彼らに何をやればいいのか分からないような状態で、試行錯誤でどんなことをやっていけばいいのか、もちろん稲作もそうして農的な対策をとりますと、100頭の機関で10トン近く扱えます。しかし、これは極端に言いますと、ここにある堤防がなければできない稲作です。この堤防のお金を負担せねばなりません。農民としてこの堤防を無償でもらえなければならぬ。それで私達が今やっておりますのは、この堤防がなくてもできる稲作をやろうということです。それはどういうことかと言いますと、まず畦畔だけはつくりまして、種付けや植え付けは最初井戸水でやり、そして洪水を待つ。という古いやり方で非常にリスクを受けます。このリスクを受けないために我々はどうすればいいかといいますと、それは品種であります。そこで、世界中の氾濫地で利用するような品種を植えて実験をします。こういうふうな今のアプローチというのは、彼らが使え、彼らの社会経済レベルにあった技術の展開を主にしております。そのために社会経済調査といものを常にやっております。そのために部族構成や衣類制度、各国における男と女の関係、それから子供、そして彼らの労働力としての地位とか、そういう社会的経済的な条件を加味して彼らをどのように動員するか。そうしますと、人的資源開発というのが当然でできます。技術を上げるためには、やはり人間をレベルアップさせなければならないということになりまして、先ほどお話ししましたが、アプローチとしては、使えそうな技術を見つけ、それが使えるように彼らを開発していく。例えば、共同組合をつくり共同作業ができるような気持ちを起こさせる。女達を開放するために、同じ生地をつくる。また、彼らの労働時間や食事の時間を半分以下にして、さらに畑に作物を

つくって現地収入をつくる過程の中で力をつけさせる、そういうシステムを今とっている。ですから、田中さん(京大)や南雲さん(北大)が言ってこられたことは大して変わっていないことを展開しているということです。□2 波多野(北大, 座長):

これは非常に重要な問題で、ただ西田さんのお話を聞いたときに基本的にクラスト生成が起こって、その農民が困っているということについて、要は何とか技術をうまく作り上げなければならないということを感じたものですから、このことについては、きちんと物を見てそこに合った物をつくる姿勢が大事だと思いました。特に今川さん(農環研)がその点について面白いデータを出されたと思うのですが、例えば、砂漠になっているところの面積が10年間で変わらないのですが、砂漠化しているところと堆積しているところのバランスがとれていて、いつも同じですよ。そうでしたよね。

今川(農環研):

的確に答えられるかどうか分かりませんが、たまたま私が解析しました中国の3つのモデル地区は30キロ×30キロの範囲でありまして、別に恣意的にとったものではないのですが、そこを解析したときたまたまそのバランスが合っていたということです。長く全体的に広げた場合には、大体砂漠化地域が5%ぐらい広がっていたわけですが、中国のような場合には、砂漠化するところ堆積するところをやはり人々が見て、自分達の農地を守るために何らかのことをやらなければならない、あるいは生活の居住空間を守るために何らかのことをやらなければならないということです。常に対策を立てているという部分と経済的な政治的な問題でそれができないということがたまたま均衡していたということです。それに関連しまして、私はアフリカのカメルーンの地域もかつて解析したことがあるのですが、1977年から1991年までの画像解析をして裸地の拡大と降水量の関係をみたわけですが、そうしたときには、アフリカのカメルーンの北部の地域というのは結構降水量に依存して、降水量が干ばつで少なくなれば植被量が減り、それに対して降水量が回復すれば植被量も回復する、といった自然条件に対応した形の反応というのが見られたわけです。中国においては、これまでそれと同じような降水量との砂漠域の関係を見ようとしたのですが、それは十分に関係ができません、それは一つには、アフリカとは違ってかなり中国の方では、常に人間の何らかの対策が講じられているといったようなことが関係しているのかなと感じた次第です。

波多野(北大, 座長):

非常に大事な問題で、まず今川さんの場合は自然条件

による調子が悪くなっていく要因を考え、その上に立ってその適正な管理をどうしたらいいかという形でもっていかました。希望的におっしゃってました放牧頭数をどういうふうに決定していったらいいかということを考えてますけれども、そのことを起用するというのは基本的には水をどれだけ上の中に貯められるかというのが議論の中にあっただと思います。

河野(日大):

農用地整備公団の方に質問ですが、実習圃場から普及という展開で一つの技術が広まっていくのでしょうか、実習圃場の役目というのはもちろん在来農方と検討しながらいろんな技術をつくるのですが、人材育成というのは実習圃場の大きな役割と考えてよろしいですか。先ほどお話ししてどうもそういうふうにとれた生活に含みましてはどうでしょうか。

農用地整備公団:

そうですね。私どもは「普及するな」とか変なことを言う組織になっておりますけれども、実際に現場をやっていますと人を作るしか物事は解決しないと思っています。それが大きな根本になっています。

河野(日大):

それが広まって、ある国の技術になっていくという期待をするのでしょうか、その行き方でよろしいのでしょうか。

農用地整備公団:

そうですね。一つ今考えていますのは、技術的なせいなのか、それとも現的資源開発のせいなのかをまとめまして、この私どもがいる村はマグ村というのですが、そのマグ村の将来計画を作り、その将来計画も一部実施を農民に預けて、そしてその中で人材育成をやるのです。そしてそれがモデルになって、波及していくだろうと思うのです。

河野(日大):

どうもありがとうございました。

波多野(北大, 座長):

他にございますか。

吉田:

クラスト形成と侵食の問題なのですが、一つはうねの問題と考えられております。田中さん(京大)の話で、かなり広い区域の耕地のまわりにうねを設けていた、そして自然によって後に渠が作られるというのが本当だという紹介がありましたけれども、そういううねを立てて、侵食を防ぐことができないのか。ということで、南雲さん(北大)の話で例えば、畦をコンターライン等高線に沿っての真ん中に畦をつけるということではできないのか、で、その場合、半乾燥地というのは年降水量とい

うのが少ないわけですが、雨期に集中する。さらに降雨強度も少なくそれも数回のところで降ってしまうということがあったのですが、今日説明していたところでは集中豪雨で降雨強度の強いものであって、それによって畦ごと流されてしまうのが怖いということにならないのか。その辺のところをお考えとか実状とかもう少しお話しできないでしょうか。

田中（京大）：

畦立てでなくて私が言ったのは、まず耕地のまわりを岩盤で覆ってしまうということで、それは例えばインドのラジャスタンなどで行われている方法で効果があったといわれています。それから、西田さんのおっしゃったコンターライン（等高線）の畦が効果あると思います。しかし、畦を立てることが土壌の攪乱を伴う場合、どうしてもどこかから細物質が浮いて流れてしまう可能性があります。かろうじて砂粒と細粒物質が混ざりあって安定している系を大きく攪乱しますと、それだけ強度が弱くなってしまいます。それで雨が当たって弱いクラストができますから、強い雨が降った場合にその細粒物質がけん濁して流れてしまいます。ですから、なるべくふさがらないようにするというのが庶民レベルの農業で必要なのではないかとというのが一つと、雨の降り方ですが確かに非常に豪雨的な雨が降ります。南雲さん（北大）に代わります。

南雲（北大）：

砂丘地帯で私が考えたのは全く田中さん（京大）と同じで、基本的に農地というのは非常に広い面積を簡単な耕作だけでもって実施している初歩農業です。ここには多少水があるからとれるし、一方では全く裸地が裸地化して生育がポツンポツンという形で、そのとき小区画化これは水田において島根大の先生が言っておりますが、ああいう初歩的農業においても小区画化することによる管理意識というのが重要になってくると思います。そのためには、表土攪乱するというのはあまり良くないと思っております。草地を休閑しますと休閑部がかなりたくさん生えてくるのですが、それを次に開墾するときには小区画ずつに残しておく。こういうふうやっていく形を踏まえてアグロフォレストリーの次につながっていくのではないかと考えています。一方ブルキナファソの方では先ほど田中さん（京大）のフィルムにありましたが、一生ずっと等高線沿いに配置してあって、それは表面流去をふさぐということなのですけれども、これは1950年頃ぐらいに土壌関係の研究者が提唱したということらしくて、それが一部に広がって、今全土に広がって効果をあげております。全土ではないですけれども、プレゼントサイクルでは効果をあげております。も

う一つのやり方としては穴植え栽培というのがありまして、これは80cm間隔おきぐらいに穴を開け、堆肥を入れてそこに八種をする。これはある意味では、その降水の地表面における再分配を流域レベルでなく畑地内における局所局所で水を有効利用するという発想で、これも私が見てる限りでは、私が紹介しましたクラストの形成された裸地において非常に優れた効果をあげておりまして、これから期待できる農業技術の一つだと考えております。

西田（農用地整備公団）：

ここで畦畔という畦立て栽培をうちの方でも実験的にやっている。農民が全く畦立て栽培をしないものでして、それは持っている農具のせいもあります。ただ、農具の問題はいろいろな大きな問題で、後で見ますが、畦立て栽培をしますと農業水分の状態がない場合と全然違って豊富になってくるわけです。そうしますと、今まで植えていた品種が適応できなくなってしまうという問題がありますので、単純に土壌保全にかかっているということは言えなく、やはりきちんとした試験をして、農民が安心できるような品種の導入と一緒にこなければならない。これが私どもがやった経験論です。それから話が飛びますが、農具の問題が一つありまして、草を切る木を切る蛮刀みたいなもので、これは軟らかい鉄のやすりで研いで使うのです。これで草を切るということができないのです。日本の鎌は直線のどこからでも根が出たところを残して上が切れるわけです。ところが、このアフリカ人が持っております蛮刀というのは、途中から切れないわけです。そのため根のところで切ってしまうわけです。そうすると、もうこれは絶対に再生しないという、こういう問題があるわけです。で、この問題を解決しようとする、村に鍛冶屋を整備しなくてはなりません。鍛冶屋が鎌を作るようにならないと鎌も鋸もないという問題になるわけです。

波多野（北大、座長）：

今のお話をもう少し聞いていたいぐらいなのですが、今までいっていた植生はつながるのだろうかというのは品種に非常に重要なことなんですけれども、もう少しコメントをしていただけないでしょうか。例をあげてお願いします。まず、私が質問します。ウォーターハーベスティングは水をためていますか。

西田（農用地整備公団）：

はい、ためています。

波多野（北大、座長）：

これを見るといつも窒息するのではないかと心配するのですが。

西田（農用地整備公団）：

これは雨の直後の写真が出てますから、非常に水が豊富で水田のように見えますが、先ほど土壌水分の年間変動をpF値で示しましたが、極端なことを言いますと表層がpF3.0以上に湿っているのですが、それ以上に下層土はpF4.2とかものすごく乾いていることがあり、非常に面白いことがあるのです。それから、ウォーターハーベスティングによって3倍も4倍も水を集めても今のところ問題になることはない。ところが先ほどお話ししましたようにミレットという主食に関しては非常に大きな問題があります。ミレットの芽は50cm前後まで伸びるのだと思いますが、pFの観測をしていきますと、50cm以深がpF3.0以上に湿る時期が7月過ぎてからですから、そこで初めて合格的な生長を知らずという晩生なのですが、晩生のせいと今までの候条件がきちんと合っていたということだと思っております。これを初めから挙げますと、小さいときにも生長相が消えてしまいます。それが過ぎても、また水が多いと、なかなか生長が進まない。ある時期までくると、今度水を得たかのようにどんどん大きくなっていくという、生育的なものまでは私には述べられませんが、どうもそういう水分に対する反応が長年の気象条件になってきたのではないかと思います。ですから、単純に水分条件を良好にしてやってもダメだと思っております。

波多野 (北大, 座長):

要するに40%ぐらい流出させて、このぐらいうまくいってるときがちょうど良かったというふうに今の条件に現地はなっているというふうにと考えてよろしいですか。

西田 (農用地整備公団):

それはいつから土壌水分が豊になればいいのかというのは、まだ分からないのです。

波多野 (北大, 座長):

ありがとうございました。今のことについてコメントがあると思うんですが、水の移動速度の問題についてどうぞ。

京大院生:

ウォーターハーベスティングに興味がありまして、これもクラストにうまく水を集める技術なのですが、一つの問題として降雨の変動が非常に大きくてリスクが高いというのがウォーターハーベスティングの一つの問題だと思うんですが、ニジュールでは実際に適応しているものはどのようなものなのか教えていただきたいのですが、よろしく御願います。

西田 (農用地整備公団):

これは確か1メーター統計値データの受け皿に対して35m²近い面積が掘ってあります。御指摘のようにこの

ままでは壊れます。この写真では見えませんが、この上流側にもう2つぐらいのポケットをつくります。それでその30数m²の水を全部その区画の中に入れてしまうということですね。

岩間 (農環研):

今砂質土壌は非常に問題になっているわけですが、砂質土壌の中で特に細粒質の部分が分散性が非常に高いという部分に対して、田中さん(京大)、何かそれにコメントがございましたら、御願いたいと思います。それから、もう一つは砂質土壌であって、やはり何かメリットがあるのではないかと思うのですが、今半乾燥地帯の話ですが、当然塩類集積という問題もあるわけですが、それから伝統的にタイなんかでやっているところでもずっと持続的に生産が可能であるとか、それから南雲さん(北大)の話でも保水性があるというのは砂質土壌の厚さが問題であるという話がありました。その砂質土壌のメリットとデメリットを整理していただくかと思っております。

田中 (京大):

まず、細流質の問題ですけれども、例えば水にけん濁したときにバツと分散するわけではありません。ただ、砂粒質と細流質の混粒というのが弱い感じがしますので、そいつが流れたりあるいは表層のすみにたまってクラストを形成するというふうに考えております。それから砂質土のメリット、実はこれが一番しゃべりたかったのですが、僕らが土壌の肥沃度を測定するときに単位重量あたりの養分量でみる癖がついてます。そうすると、砂というのは当たり前ですがほとんど養分がないのです。ですが、それが土層が1メートルも2メートルもありますと薄い中でもトータルでは私のスライドでも見せましたけれども、トウジンメイが2メートルにも3メートルにも育つのです。そういう意味で入れ物の大きさを含めたら、砂質土壌は語弊を恐れずに言えば豊であり、しかもその土層が厚ければ厚いほど安定性が増えるのではないかというふうに見聞きしております。ですから、サステナビリティに関しましても、つまり物理的な入れ物の大きいバッファー機能が大きいという意味においては、サステナフォルダーというふうに考えております。それから、堆肥を入れることと塩類化の話ですけれども、そのように土層が厚い場合、これは地下に例えば含有層があるとかでずいぶん違ってくると思うのですが、天水に依存している限りは少なくとも塩類障害は起こらないです。それから堆肥に関して化学的なバッファー機能が非常に小さいのでいくら例えば酸性を示したとしてもかなり作土は影響を受けました。だけど、堆肥自体

も弱アルカリですけれども、堆肥の形で入れれば、これはかなり分散されるというか薄い状態で耕地に入りますので、そういった問題は起こらないのではないかと考えております。

凌木（国際農研）：

先ほどの塩類化についてお話しをおうかがいがしたいのですけれども、今日はそれを聞きたくてここに来たのですけれども、多分灌漑がないから大丈夫だと言われると結論は推測していたのですけれども、私は大きな雨が降ることによって表層にたまっている塩が洗い流されるのではないかと思うのですが、ですから灌漑雨じゃなくて、塩は逆からいうと上がってくるのですが洗い流されていないのではないかと思っているのですけれども、その辺はいかがでしょうか。キャピラリイがないのか、洗い流されて塩害が起こっていないのか、その辺を教えてください。

田中（京大）：

かなり限定的な話しになりますけれども、私の調査したところ午前中のOHPのフィルムで見ますと、下の方ほどECが低く上の方の作土層に若干倍ぐらいのECがありますが、それでも全体としてみると本当に低いような状態で、おそらくその私の調査したなかでは塩の急減はないと考えております。それから大きな雨が降ったとしても、例えば100ミリの雨が降ったとしても10センチです。間隙率50%だとしてもほとんど下までつながらず、土層が厚くてかなりポロシティーがありましたらそう簡単に塩が流れてこないのではないかと思います。ただ、それが薄かったり、下にもう少し密な細粒質の層があれば分かりませんが。いずれにしても私がみたところでは、天水農業をしている分には、あるいはもちろん洗い流して直ると思いますけれども、むしろ洗い流されることで肥沃土的農地になってしまうと思うのです。

波多野（北大、座長）：

あと、その点について井伊さんも述べられましたように、それから中に入って地下にたまる年数というのはどのぐらいでしょうか。

井伊（清水建設）：

年代の測定はクエートに関してはまだまだやられていません。それで2、3だいたい見たのですけれどもばらついていて、それでそのあとすぐ医学がついてきた状態で、これからそういった同位体を使うとかいった、トレーサーを使った地下水の研究というのができるのではないかと考えております。

波多野（北大、座長）：

ちなみにオーダーで出されていた土層の厚さはどのぐ

らいでしたか。

井伊（清水建設）：

100mとか200mぐらいのオーダーを50年とかそれ以上だと思うのですけれども、そのぐらいのオーダーですね。水田はそんな特性など持ってはおりません。

岩間（農環研）：

簡単なことなのですけれども、油が上に染み込んでそれが地下水に達するというのに対して具体的に今それをどう防ごうかという対策が考えられるのでしょうか。

井伊（清水建設）：

これは非常に難しいですね。もう汚染したら基本的には手遅れだと思うんです。だから、まず2つ方法があります。まずは先に汚染しているものを取り除くということです。それで、それについては先ほども言いましたように、まだ地雷とか不発弾といったものがあります。それから、クエートの北部では我々も立ち入りが出来ない区域になっておりまして、まだまだいつ行けるか分からないのが問題なのですけれども、まずは取り除くということです。それで取り除いたら、それをどこに置かかかんです。それで、今我々が向こうでやっているプロジェクトというのは、そういった集めた土壌を例えば燃焼させて油を溶かしてしまおうとか、それから界面活性剤いわゆる洗剤を使って洗って油を取り除いてしまおうとか、それから濃度の小さいものに関しては肥料とか木材の種皮などを与えてバクテリアによって原油を分解させる方法なんかを使って今やっている最中です。ただ、そういった方法も、処理量が非常に少なく、汚染した範囲というのはかなり広いですから、それを一度でやってしまうのは大変です。それからもう一つは、実際に場所によってはそういった油汚染というのは進んでますから、実際に水道とかを使う少し前にフィルターなどで取る方法が今現実的に何かあればいいなと思っております。だから、拡大を防ぐためには除去が良いのだけれども、それにはまだまだ時間がかかるだろう。そして汚染した地下水については、使うときに何らかの方法で除去する。それで、その辺の例えば、そういう油で汚染したとして目で見てもこれは地下水汚染だなんて分からないわけです。実際にそういう測ったときに数ppmとか、100万分の何とかといったオーダーで出てきますから、そういったものを除去する技術というものは日本は持っていると思いますから、そういった技術を持っていけばクエートなんかでは喜ばれると思います。ちなみに我々がクエートで援助しているというのは、日本は原油を中東諸国から輸入していますので、そういった経済的な言い分も非常にあります。

軽部（茨城大）：

先ほど、宮崎さん(東大)からの質問のときに不均一流で水道(みずみち)みたいなものがあるのではないかと話がありました。そうすると、御相談といったら100mか200mか知らないけれど、50年というのは1年に数mですから長いと思うのですが、そうするとその辺についてはどのように説明されるのか聞きたいのですが。

井伊(清水建設):

非常に難しいですが、例えばキューブの話しなんですけれども、原油がジワジワと浸透して、先ほどスライドでも見ましたように、海でできた海水層の砂が乾燥してクラスト状態とか塩がセメントしている状態です。それでそういうところに原油がしみ込みますと、言ってみれば均一媒体として卓越媒体として扱える状態なんですけれども、それでも部分的には非常にスッと入って行って難しいです。だから、一般的にああいった砂がちょっと固まったものでも、そういった部分的に普通は60~80cmぐらいですけれども、場所によっては2~3mもいっているところがあります。ですから、数字の上でもこれだけ出ていますから不均一性の問題というのは難しいと思います。それで地下水の流れなんですけれども、これは実際は難しくトンネルで我々は水をとっていますけれども、部分的に大量に取水するときがあります、そういう時は実は硝酸イオンなどができて、数的処理の値も大きくて、そういうのは上からスッと来たような水がでることもあります。もともとは非常にゆっくりと動いていると思うのですけれども、場所によってはスッと動くこともあるわけです。だから、そういったことを含めて全体をとったとして話を今日はしてきましたけれども、実際はそういった水口に沿うといったことがあります。それから地盤の話もそうなのですが、地下水の量ということで考えた場合、あそここの水というのは言ってみれば、井戸で水を組み上げたのと同じ現象が起きているのです。そうしたときにどんどん水位が下がっていくのです。水位という考え方というのは非常に難しいですけれども、どんどん排水していくと水位がすぐ下がるということです。ですが、例えば岩石で10%の区切りがあったときに、飽和していれば10%の水がはいっているわけですけれども、排水したときに一気に10%の水が出るかということ、どうもそうではないのです。すぐに水位は下がりますが、たまり水という非常に古い時代の水が徐々に今出ています。それで我々は今、トンネル水飲み場の水を取って分析しています。それはどういう目的かと言いますと、トンネルはもう完成しているのですけれども、水位も下がっているのです。そういう状態で水を取っている意義とはどうい

ことかと言いますと、たまり水がどんどん水位が下がった後出るので古い時代の年代を示しているのです。だから水位が下がってまだ水がでていているということは、普通は上からどんどん水が供給されているから新しい水が出ているのだらうと思いますけれども、完成して2~3年経ってまあトンネルができたときから水位が下がっているわけですけれども、その水を今取って2~3年経っている非常に古い時代の水が出ているのです。それですぐ水位が下がるということは岩盤の中のまず割れ目の水が最初に出てくるのだと思います。その後でそういった岩盤の割れ目の中の水というのはヘッドという、要するに水相をもっているけれども、中の空隙の小さいコアに入っている水というのはゆっくりとしか出てこられないと思います。そういうものが今徐々に徐々に出ているのではないかと、それがそういう古い時代の新しい水で、ある程度出きってしまった上から今度新しい水が入ってきますから、それが入ってくると地下水の若返りというのが見られるのだと思うのですけれども、今まで調べた範囲ではまだまだ古い水がでています。そういった風にちょっと答えられませんが、まず割れ目に沿った水が排水される。それでその後、徐々に小さいコアの水が出てくるのではないかと思います。それで自然の中の流れというのはどうなのかという風には思うのですけれども、それを実は今、排水だということで急激に水を動かしてみ、だけ地下水というのは別に排水でなくてトンネルを掘ったから水が出ているわけですけれども、トンネルを掘る前はそもそも非常にゆっくりと流れているのです。で、そうなっている時はどうなっているのかということ、とりえず解析などをして出しているのですけれども、どうも非常にゆっくりとした流れの場合には水口の効果が無いような結果も出ていたようです。例えばそのトリチウムの使った調査試験の結果などを使って孔隙のそういった流れを解析で求めたら、有効間隙率が岩盤の有効間隙率いわゆる間隙率と同じになります。ところが、急激な山成り場でトレーサーを伸ばしてやった実験だと先ほど言いましたように有効間隙率が小さいと出ているのですけれども、長期的にみたものでは有効間隙率と間隙率が同じ値になるような結果もでていて、それで今考察する段階なのですから、なかなかそれがはっきり分かっていない状態です。

波多野(北大、座長):

ありがとうございます。今の問題というのは今日は関係ないかも分かりませんが、実は本当に必要な問題で我々が毒を蒔いたと言われているものですから、それが農地から今どんどん出てきているのが後50年経つと出てくるという危機感をもっている人もいますので、ぜひ

これから先結果をまた別の機会でご教示したいと思います。その後、何かございますでしょうか。

今の地下水を今度改良するということに結局水の問題なのですが、今西田さんのコメントにもございましたように、普通の鉱脈で40%ぐらい流出していて、新津さんのお話では輪中を使ってずうっと低地に流れ込んでいて簡易用地を得るという話があったと思うのですが、そういう特徴的な問題要するに均一に取り扱えない問題というのは必ずあると思うのです。例えば、今川さんの一番最初の御指摘は「どこかを良くしたら、どこかが悪くなる」ということでした。「要するにそれを多項使ってその部分部分の特徴を調べていった」というのが南雲さんの話しでした。「もっと大きな話していくと、どうも我が国でやってきた有機物を混ぜているいろいろなものをつくって保水効果を高めるという発展をして土壌構造を確保するというようなことは、悪くするとクラストをつくって水を入れない効果になる可能性がある」という田中さんの御指摘もありまして、大きく言ったのは日本での考え方がそのままアフリカの土壌に適用できるというわけではないのかという事柄があったわけです。それで、「その中のことをこの技術を導入するに当たってどう考えたらいいか」というその違いをどういうふうにクリアするかという問題があると思うのですが、その点についてお願いをしたいと思います。

宮崎（東大）：

何かまとめようとして苦しんでいる様子を見て発言をしたくなつたのですけれども、波多野さんのおっしゃる様などらえ方で別に問題はないのですが、今日聞かせてもらっている中で一番のつながる問題点というのは、昨日も出席なさった方も大勢いらっしゃるはずですが、不耕起であるとか、反転耕起をしない事とか、家畜を入れないで自然のままに保護するとか、そういった方法で土壌の物理性を良くするというを昨日今日とで非常によく学んだのですが、一方で我々は土壌改良、土層改良、それから塩類のことなど、そういう手を加えて技術を投入することが土壌物理性の改良であるというふうにとらえてきた自分達を否定できません。しかし、そうではないものを学びつつあるというのが我々の実態だと思います。これは技術の交代をしるという言葉なのか、あるいは今まで良いと思っていたことをストップするというふうにとらえるべきなのか、そこのところは科学技術のあり方の問題あるいは土壌物理研究会そのもののあり方も関わってくると思うのです。私の試験によればどうして不耕起の方がいいのか耕起をする在来農法の方がいいのかとか、家畜を入れないで保護すると良くなるというのはなぜなのかということをご教示をきちんと解明し

て、そこには物質移動の均一性のことも含めた移動現象がどういうふうに行っているかということをご明らかにすることによって、今までの技術ではダメだったのだということをご教示と実証しないと何のための研究会なのか分からなくなってくるというご教示してくるのです。ですから、今日お話しになった方々は御意見をもちださると思うのですが、土壌改良とか土層改良とかマニュアルに書いてあるあれは一体何なのか、これを一言ずつおっしゃって頂いて土壌物理研究会の課題を明かにしていければと思います。波多野さん、いかがでしょうか。

波多野（北大、座長）：

どうもありがとうございました。私はいけないというものは無いと思っているということをおっしゃったのです。ただ、それを当てはめる場所の事を知らないで当てはめていこうという姿勢だけ盛り上がってきているのはいけないと言ったのです。今、宮崎さんから御提案がありましたけれども、今日来ているのは土壌物理でない人ばかりですよ。むしろ、先ほど宮崎さんがおっしゃった事を我々は感じているのではないかと私も思います。最後になりましたが、これだけは言っておきたいあるいはもう一つだけ深く趣味的に聞いておきたいことがございましたら、どうぞ。

原（岩手大）：

今日は乾燥地ということで注意深く聞かせて頂いたのですけれども、自然にはこうしていくという抵抗していくというふうにも見えるんですね。それで私は例えば、「裸地が教えてくれる」という見方をあまりしたことがなくて、「どうやったら植生が増やせるのだろうか」とそちらの方でしか見たことがなかったのです。「裸地がだんだん増えてくる、そうしたら農用地の中が困るのだろうか」と思うのですけれども、そういうものがある程度の限界があるところから先はほっといてもどんどん植生が増えてくるのでしょうか。それで今日質問表に書いたのですけれども、例えば3500キロ×幅1キロの緑の防衛帯と書いてあるのですけれども、日本でいう東北地方に匹敵するぐらいの面積になるので、今草も樹木も生えていないところにどうやって植えていこうか。いったん植えてしまえば自分で勝手に生えてくるのか、それとも莫大な人為的あるいは経済的な投資を継続しない限りは実現しないのか、その辺が微妙だと思います。ですから、裸地がどんどん広まっていくのと、もし先ほどの「マイナス100ミリが20年間続いた」というのが「プラス100ミリがあと20年間続いた」になれば裸地はどんどん減っていくのとの境目のところにあるのかという、そこによって人間が振り回されるか振り回されなかったかの全く逆になっているのではないかと

と思うのですが、いかがでしょうか。

西田 (農用地整備公団) :

最初に 3500 キロの緑の防衛帯という名前は、このまま学名的からとりますとみなさんは「そんなことはできっこない」というふうにお考えになると思います。ここに書いてあります私どもとしては一つの誤報とまでいきませんですけども、将来的にはこのようなことをしていくべきだろうと思っています。それをすぐに今やるということではありません。私どものやっていることは、もっと未来で、今手をつけなければ食べられなくなってしまうところまででなくて、先ほど言いましたけれども、「人間を変えていかざるを得ない」と思っています。自然に抵抗なく変えていくには人間を変えていくしかないと考えております。それから侵食の状況について私は、ほとんどのところがもう人間がいなくなっても、侵食は進んでいくだろうと思っています。雨によってクラストが助長しますので、固定された先はどんどん流れ出しますし、そして今まで直線がかってきていた先も見えてきています。それはなぜかとみれば分かることなのです。人間が手を抵抗しない限り進んだのだらうと思っています。それからもう一つ、私どもの圃場というのは 84 ha でフェンスで囲まれております。これを毎年植生調査というのをやっておりますと、家畜も人間も入れないと、植生の種が変わってきます。そして、サバンナの植生帯に変わってきます。ところがフェンスの外側は逆で、ステップ化がどんどん進んでいきますという事実があります。それで今の降雨状況からすれば、若干平年よりも多い年が 5~6 年間続いたのかもしれない。

波多野 :

もう時間がないですから、最後でよろしいですか。事務局の成岡さんに最後までめていただくことにします。

成岡 :

別に最後のつもりではないのですが、たまたま今回のシンポジウムのテーマをどうしようかという検討をするグループの一員としておりましたし、やはりここまで熱の入った論議があれば何とかしなければという気持ちもありまして、ちょっと元気を出して発言しようと思っています。先ほどの西田さんのサバンナの話しですけども、先だってイスラエルに勉強させてもらいにいく機会があったのですが、向こうでも 1000 年かかって砂漠になったところで、それをどうやって保全しようか、どうやって緑に変えていこうかというグループがあったのです。しかし、砂漠化に 1000 年かかれば緑化にあと 1000 年かけないと直らないのです。彼らはそこにサバニゼーション (サバンナを少しずつ人為的に造って、それを広げていこう) という技術を編み出したわけですが、

やはり今日の「現場における土と水」というテーマは「現場に学ぶ」という事その教訓にあったのではないかという気がしています。先ほども宮崎先生 (東大) もおっしゃっていましたが、昨日「土壌物理研究会」という農業土木学会の一部会の大きな会合がございましたが、そこでもやはり似たような動きがあったということは、どうもこれから先の土壌物理というのは「こういう方向にいくべきだ」という様なその方向性が示されているのではないかと思います。私どもの研究の進展方向がそういう方になんとなくいって、それぞれの研究者の方向性がなんとなく東になって同じ方向に向いているのではないかというそんな感じが一つあるわけなのです。たまたま軟 X 線映像法という技術を使って土の中の構造を探り当てるというテクニックを身につけることができまして、土の中を覗いているわけなのですが、そうしますと何となくお医者さんの気持ちになってくるのです。というのは、やはり医学も一番最初のころは「切れば血が出る」というのは分かっているのですけれども、「なぜ血がでるのか」「その血はどこを流れているのか」というのはきくと分らなかったと思うのです。それで解剖してみても色々な調べ方をやると分かってきた、それでもまだ分からない部分がある。それで私ども個人的な意見ではありますが、「土壌物理、土壌学をやって良かった」ということがよくあるのです。単に「土壌」を相手にするのではなくて地球規模のところまで夢を発することができるし、顕微鏡サイズのあるいは顕微鏡でも見えない理論的なスケールのものでも考えることができる非常に夢のある学問や研究分野にいるのではないかと思っています。やはり土の中というのは 45 億年の地球の歴史の中に非常に長い時間でつくり上げられたものであって、人間はただか 100 万年ぐらいの時間の流れで育ってきたとすれば、人間の知恵も及ばないものすごいものが土の中にあるのではないかという感じがしてならないのです。それから加藤さん (農環研) もバッファ機能の話しをされていましたが、そういうのから土というのはまだまだ分からないことが多すぎる。

今日のシンポジウムは大変な成果ではなかったのではないかと、今日の座長の古賀先生それから波多野先生にも色々ここまで引っ張っていただいたありがたさを感じています。シンポジウムの講演では現場での話だけでなく細かい事もよく分かっている方々にお考えいただいて本当に感謝しています。ありがとうございました。

電子手紙と仕事（研究活動？）

西村 拓

世間で、内実はともあれネットネットと騒いでいる折りに、いまさら、「ネットワークとは」などというもおかしいようであるが、我々（この誌面を目にする人の多くが属する）の分野では、電子的なネットワークの整備もしくは普及があまり進んでいないといえるのではない（こんな話は、よけいなお節介という声も聞こえるし、人的なネットワークが先という話もあるがそれはさておき）。たとえば、電子メールを例にすると、理学系、工学系では、数年前から教官どころか学生のレベルで使いこなされてきているのに対して、土壌に関する分野では、土壌肥料学会の電子メールのアドレスリストの（研究者の数に比べて）閑散とした様子や農業土木学会のホームページやメイリングリストに関わる人たちの偏りなどが、この新しい情報メディアへのなじみが依然として薄いことを示していると思う。その中でも水資源水文学会は、理学系、工学土木系の研究者が多いため会員名簿に電子メールのアドレスが載っているなど、比較的使いなじんでいるようである。土壌物理研究会では、事務局内でこそ、事務連絡などに電子メールが活用されるようにはなりつつあるが、会員間では限られた個人間で使われているに過ぎない。筆者の留守宅ならぬ留守学、生物・環境工学（旧農業工学）専攻では、今年度から専攻内の教官間の連絡などに本格的に電子メールが使われるようになったが、これは専攻内のいくつかの研究室が強く推し、さらに実際にボランティアとして労力を費やして専攻内のメイリングリストを作成してくれたことが大きな推進力であった。また、WWWによるホームページもいくつかの機関で立ち上げられ始めているが、自機関の情報を提示しているだけで、内容に興味を持ってコンタクトしようと思っても電子メールのアドレスも機関の住所も見つからないので連絡の取りようがないということが多く、不特定多数への情報公開という意味ではまだまだ不十分である。

筆者が滞在中の土壌侵食研究所では、コンピューターの管理を職務の一部とする職員がネットワークを維持し、セミナーの開催から昼食会の案内や出欠の返事まで所内の情報全てが電子メールで行き来しているのに加えて、上部機関の米国農務省の地域事務所では、上への意見は（電子化するのが面倒なので）電子メールで送れと

まで言っている。また、既往の論文の検索から実験データの転送まですべてが、所内のネットワーク上で行われている。この状況下で時折、日本の研究者に連絡をとりたので電子メールのアドレスを教えて欲しいと依頼されることがあるが、場合によって「ない」もしくは「使っていないようである」と答えると、大学や国立試験機関の研究者でも電子メールを使っていない人がいる（ましてや電子大国ニッポンなのに）ということで驚かれる。

筆者も、Unixなどでできるだけ触りたくないというような凡々たるユーザーである。しかし、昨年、DOS/Windows上で電子メールを本格的に使い初めてすぐに、電話と同程度もしくはそれ以上の頻度で使用するようになった。これは、Faxや郵便では、受付や配達時間の問題などで、この忙しい時勢に合わないという職場（大学）の事情も大きいですが、10分を争うような時以外は、「お互いに来たものは読む」という暗黙の了解が守られる限り、送り手と受け手それぞれが各々のペースで情報交換をする電子メールで十分用が足りることや実験中の突然の電話が煩わしいということが大きな理由である。しかしながら、一時期は電話が便利だといって、全く書かなくなった手紙を、電話が便利すぎて逆に煩わしいという理由で、再度（手書きではないが）書き始めるというのも何かおかしなものがある。

電話、Fax、（従来の）手紙に対して、電子メールが明らかに勝っているのは、受け取った情報を、そのまま容易に電子情報として（ワープロなどに写す（移す）こと）活用できるという点である。大学や研究機関に働いていると、文章やデータのやりとりを行うことが少なくない。そのたびに「プリンターで出力、Fax送信、再打ち込み」というような方法をとってはい手間がかかって仕方がないし、フロッピーディスクを送る場合は、時間がかかるの以上に送付中の破損事故という危険が大きい。

筆者は、以上のような理由で、同じ仕事をこなすには、電子メールを初めとした電子情報を活用した方が効率的で楽であると考えているが、電子メールを使うと仕事が増えて嫌だという人もいる。しかし、たとえば過去にFaxとコピー機の普及でどれだけの仕事効率が上がったかを考えると、導入に伴って増えた仕事量について

云々することはないだろうし、今ではコピー機のなかった時代の研究者の生活は、想像もできなくなっている。今度は、電子メールと電子化された情報（たとえば、普及が進みつつあるCD-ROM化された論文要旨集など）にその役目が回ってきているのではないだろうか。

現在の筆者のように海外滞在中の場合は、この電子ネットワークは特に重宝する。個別の問題はあるが、多くの場合、DOS/VやMacのノートパソコンを持参しネットワークに繋がれば、日本語でのメールのやり取りが可能になる。相手機との相性などで着信が保証されないFaxや時間がかかるわりに本当に着くのかどうかかわからない郵便では、仕事どころか情報交換もできかねる。国際電話は安くなったとはいえ、気軽にかけるほどの金も持ち合わせてはいない。最近では、一般の人でも気軽に商業ネットワークに入っていることもあり、現在は、公私あわせて8割がたが、電子メールで通信していて、郵便の利用は現物を送るなどやむを得ない場合のみとなっている。この原稿も電子メールで送稿する予定

で、締め切りぎりぎりを書いている。（安定したネットワークを維持するために時間を費やして保守管理をしてくれる方々（多くはボランティア）には本当に感謝しないとイケない。）

長々と書いてきたが、電子メール等は単なる道具に過ぎないことは明らかである。道具なのだから個人個人が使ってみて便利なら使えばいいし、不便なら使わなければいいと思う。しかし、一度は使ってみるべき道具であると断言したい。また、電子メール、WWW等、手段が改竄されても、送る情報がなければ使う機会もないのは当然である。新しい便利な道具を活用して、送り出すべき情報を生み出す仕事にもっと時間が割けるようになると良いと思う。

さらに、興味がある場合は、例えば“ネットワーク整備に入れ込む理由(わけ)”，溝口 勝（農業土木学会誌，vol. 67 (7)，pp. 62-63 (1996) や <http://www.bio.mie-u.ac.jp/doboku/user1/mizo/inetworks.html>）等を参照してほしい。

火星に生命体!?

溝口 勝

平成8年8月8日。久々に胸がわくわくするニュースが飛び込んできた。火星に生命体が存在する証拠が見つかったというのである。現実的な日本人なら「八八八」と笑い飛ばしてしまいそうな話だが、学部3年生の頃に「火星で農業を!」という農地工学のレポートを書き、凍土研究を開始した大学院の頃に火星の地下に凍土が存在するかも知れないという論文¹⁾を読んでいた僕にはとっては、笑い飛ばすどころか真剣に調査してみたいような話なのである。

そもそも土壌がまるで人間の皮膚みたいにこの地球上に存在するのは、地球に生命体が存在し、岩石が風化した無機物の中にそれらの生命体(有機物)が活動しているからである。我々人間はその土壌から生まれる別形態の生命体を食べて生きている。なぜ地球だけにその条件が備わったか、考えれば考えるほど不思議だ。地球上の生命の誕生は原始海洋に濃縮されたコアセルベートと呼ばれるスープから生じたともいわれるが、温度・大気組成・圧力などの極めて物理的な条件が作用していたことは間違いなからう。

土壌の生成を見る場合にも、土壌を現実の条件下でありのままに見る一方で、時には現実とはかけ離れた極端な条件下で調べていくことも必要になってくるであろう。日本の土壌科学者がどのようなスタンスで土壌生成を研究しているのかは僕には分からないが、少なくとも土壌を物理的に扱う土壌物理学者は地球上の土壌のみならず宇宙の土壌中に起こ(り得)る物理現象を普遍的に

記述できるよう普段から勉強しておく必要がある。先に述べた火星凍土の論文は、低温・低圧下の火星で粘土粒子表面に水が存在できるかどうかを論じたものであった。

宇宙には地球にはない現象が沢山あるだろう。凍土は火星でも起こるだろうし、蒸気移動(もしあるとすれば)は金星の土(多孔質体)でも起こるのだろう。地球上の土壌に見られる現象が宇宙でも起こるのかどうかを考えるだけでも本当にわくわくしてくる。

今回の発見報道はアメリカ大統領選を目前にして研究予算獲得の大義名分に窮したNASAが放った大統領候補の言質を引き出すための作戦とも読めなくはない。しかしアメリカの土壌科学(SSSA)の動きを知っている者からすると、この話は突然出てきたものではないことが理解できる。というのは数年前からSSSAにはLunar Sessionという分野ができて精力的に月や火星の宇宙土壌についての研究発表を行っていた。そんな中で僕は、僕の火星農業案も突拍子でない当たり前の話になってしまうアメリカの研究の懐の深さに畏怖の念さえ覚えていたのである。構造的な研究体制の違いはあるが、せめて日本の土壌研究にも少しぐらいは夢を求めるテーマが出てきて欲しいものである。

- 1) D.M. Anderson, E.S. Gaffney and P.F. Low : Frost Phenomena on Mars, Science, Vol. 155, pp.319-322 (1967)

Soil Moisture Control in Arid to Semi-Arid Region for Agro-Forestry

穴瀬真・安富六郎編
東京農業大学出版会

本文英文, B5版ハードカバー, 325頁, 5,600円

世界の陸地面積の約三分の一を占める乾燥地, 半乾燥地では, 今世紀に入り大規模な灌漑が広く行われ, 食料生産が著しく増加した。一方, 乾燥地農業における不適切な水管理は, 土壌の塩類化やソーダ質化を促進し, さらに土壌侵食, 砂漠化の進行の原因となる。乾燥地, 半乾燥地における持続的かつ安定した農業生産のためには, 適切な土壌水分のコントロールが不可欠である。

本書は, 1994年3月に東京農工大学において開催された同名のシンポジウム「乾燥地, 半乾燥地のアグロフォレストリーのための土壌水分コントロール」に参加した国内外の研究者によるプロシーディングである。なおアグロフォレストリーとは, 農業, 森林そして家畜を伴う多目的な土地利用であり, 持続的農業実現のために再認識されている土地利用形態である。シンポジウムは, 乾燥地農業の研究の歴史の古いイスラエルと, 主に湿潤地を対象にしてきた我が国の研究者との接点を探って, 今後の研究課題を掘り起こすことを主目的としている。

構成は内容別に4章から成っている。第1章の土地利用計画と土壌の物理的環境は, 我が国から13課題, イスラエルから2課題, またタイから1課題である。土地利用の総括的な課題から, 土壌侵食や塩類集積防止のための土壌物理的な課題まで, 内容は多岐に渡っている。

第2章は, 植物と水及び根の成長であり, 我が国の7課題は, 主に植物生理の基礎的内容であり, 水ストレス, 耐塩性に関する1課題も含む。イスラエルのCohen博士らの, 高塩濃度で浅い地下水位を持つ綿畑の灌漑に関する報告は, 乾燥地の灌漑を知る上でとても興味深い。

第3章の水利用計画と灌漑技術は, 我が国から灌漑法に関する4課題, 水熱収支に関する3課題, 海外の灌漑に関する事例研究が4課題, そして温室の水の循環利用に関する1課題である。またイスラエルから, 限られた水の最適利用に関する1課題である。

そして第4章のアグロフォレストリーと持続的農業では, 我が国からアグロフォレストリーや水管理の解説及

び事例研究が4課題, 改良剤や耕耘による土層改良に関する3課題, 湿潤地域の水文環境を解説した1課題である。イスラエルからの1課題は, 乾燥地での畝間の植林とその密度のバイオマス生産量に及ぼす影響である。

昨今, 我が国の多くの研究者や技術者が, 乾燥地を含む海外の農業プロジェクトに携わっている。乾燥地農業の最先端の研究に取り組むイスラエルの研究者との交流の成果を, 本書のような形でとりまとめることは, 乾燥地の緑地化に貢献したいという我が国の研究者, 技術者にとって, とても良い刺激となることであろう。

ただ我が国の課題の多くが, 研究の紹介という形式をとっているのは, そうした研究が主に国内で発表されていることも一因であろう。この点に関しては, 今後の課題としたい。欧米諸国には, 技術的なものから基礎的なものまで様々な国際学術誌があるので, この土壌の物理性の紙面を借りて, 情報を交換するのによいかと思う。またシンポジウムのタイトルである, 乾燥地のアグロフォレストリーに対しては, 参加者共通のコンセンサスが形成されていないようにも思われた。こうした新しい概念を研究として取り組むためには, 既往の研究枠を越えた国際交流が不可欠である。この点も, 我々が今後長期的に取り組むべき課題としたい。

ところで, このシンポジウムは, 巻頭言にも触れられているように故 Breslar 博士が1989年東京農工大学に滞在したことを端に, 監修者らが中心になってすすめてきた日本とイスラエルの研究者交流の一環として開催されたものである。私事ではあるが, 当時大学院生であった私と議論して頂いたことが, 今でも私の心の支えになっている。このような交流の成果を Breslar 博士にお見せできないのがとても残念であるが, 本書が, 今後一層の国際共同研究の発展とつながることを確信している。

取出伸夫 (佐賀大学農学部生物生産学科)

環境土地利用論

Environmental Land Use Theory—A Global Approach

安富 六郎 著

農山漁村文化協会 1995 年刊

A4版 280 ページ ¥4,000

タイトルから察せられるように、環境を視点に置きながら土地利用を論じた著書であり、とくに土壌学の分野の重要性を強調している点がユニークである。

この本の「はじめに」で、著者は1962年に出されたレーチェル・カーソンの「沈黙の春」で取り扱われたような環境問題と土地利用との関係が、それ以前から重要性は指摘されながらも具体的に論じられることは少なかったことを指摘している。また、著者の専門領域とする地盤工学や農地工学のような開発工学はもっぱら経済的価値観をベースにした政治・経済優先の開発計画の下請けとなってきたこと、わが国では米以外の穀物生産の7割以上を海外の土地に頼るような農業の空洞化が進み、その外国でも環境の悪化が日だってきたことも指摘している。

このような背景を踏まえて、今こそ地球規模の視点に立つ環境と土地利用の新しい概念の創造が切望されており、このためには工学者にも幅広い社会学の知識が必要であり、本書は、今までは土地に対して無制限に行われてきた人間の働きかけを、自然の在り方に則した技術に力点をおくことを目標とした、いわば土地利用の社会学の書と結んでいる。

思えば、第2次世界大戦後、少しでも多くの農産物を生産すること、そのために少しでも農地を開発あるいは整備することを目標にして進んできた農業土木の分野でも、戦後50年を経過して「飽食の時代」となった現在では、環境との調和をはかりながら永年的な生産力を維持可能にする新たな課題が掲げられるようになってきている。このような時期に、著者にとって永年の懸案だった環境と土地利用についての問題を取り上げたことは、このような著書を求めていた他の研究者にとっても誠に時宜にかなったものと思われる。

本書の構成を簡単に紹介するために、各章と項目のタイトルを次に掲げる。

第1章 環境土地利用論のねらい

1 土地利用と環境, 2 土地利用の問題点, 3 わが国の土地利用の変化, 4 環境と土地利用の調和

第2章 土地利用と土壌帯

1 土地利用の現状, 2 気候区分と降雨量, 3 世界の土壌区分, 4 気候・植生と土壌, 5 土地利用分類図

第3章 土地利用と人間活動

1 資源としての土地, 2 環境変化をもたらす災害, 3 土地利用と文明, 4 わが国の土地利用文化と歴史, 5 人間活動による砂漠化

第4章 湿潤地の土地利用

1 土地利用の状況, 2 東南アジアの水田農業, 3 わが国の土地利用, 4 東南アジアの土地利用, 5 湿潤地の土地利用秩序

第5章 乾燥地の土地利用

1 乾燥地の土壌, 2 乾燥地における土壌劣化, 3 塩類土壌の生成, 4 塩類の輸送, 5 乾燥地の開発, 6 乾燥地の灌漑(ドリップ灌漑), 7 集水農業

第6章 災害と土地利用

1 土壌浸食, 2 風食, 3 災害と土地利用, 4 地盤沈下, 5 地震災害, 6 噴火災害

第7章 土工による地形環境の変化

1 土工技術, 2 土の改良, 3 植生工法

第8章 サステナブルな土地利用計画

1 焼畑農業, 2 アグロフォレストリー, 3 谷地地域の土地利用

第9章 地域計画と土地利用

1 土地分級, 2 農村の中の土地利用整備—イギリスなどを事例として—, 3 土地利用計画における意志決定・環境資源評価, 4 地域計画における土地改良事業の役割について—見沼田圃の事例—, 5 土地利用と環境論(エピローグに代えて)

以上のように第2, 3章で土壌や文明などを題材に取り上げ、第8, 9章では今後の方向性を述べている。これらの各章の内容と特徴について、僭越ではあるが評者なりに簡単に述べると以下ようになる。

第1章では土地利用の問題点と環境土地利用論の概念と目的を述べている。この章はこの著書の哲学を示す重

要な章であるが、「環境土地利用論」のイメージが明確には掴みにくかった。しかし、この利用論の展開には土壌学、環境科学、社会学の視点が重要であること、これまで経済優先の開発計画の中に、新たに自然生態学や土壌の価値を計画的に折り込んで資源としての土地あるいは土壌の評価を新たに認めさせて行くことが、最終的に著者の意図する「環境土地利用論」に結び付いて行くことは理解出来た。

これを受けて、第2章では農林業生産すなわち植物生産の環境条件として重要な気候-植生-土壌の有機的な関係を、地球的なスケールで説明している。さらに、総合的な土地の特性図、すなわち土地利用分類図を引用しながら、自然生態系の拱理に応じた土地利用を提唱している。気候-植生-土壌の間には密接な関係があることはよく知られていることではあるが、今後の課題となる自然生態系と調和した農地の開発や利用においては、この関係に基づいた展開が重要であることが認識された。

第3章では人間の土地利用の仕方を誤れば、自然災害によらずとも、その土地の生産力を疲弊あるいは低下させて行くことを、過去の文明の人間活動の歴史などを興味深い例を上げて説明している。歴史好きな評者は思わず過去の文明の世界にタイムスリップしてしまうほどであったが、「温故知新」という言葉を今さらながら思い起こした。

第4章および第5章はアジア・アフリカ地域の開発で問題となる湿潤地および乾燥地、すなわち利用できる水量の多い地域と逆に少ない地域の土地利用を「土地利用は水利用」の哲学を基礎に、湿潤地としては東南アジアおよびわが国について、また乾燥地としてはイスラエルについて、様々な具体例を上げながら説明している。この章は著者が永年携わった分野のテーマでもあり、総括的なものから専門的なものまでわかりやすく述べられている。なお、第4章の草地の説明の中で北海道などに見られる谷地坊土地の成因は浸食ではなく凍上によるものとされている。

第6章と第7章では災害と土地利用、土工による地形環境の変化の問題を取り上げて、これまでの農業土木技術を実際の現場にどのように適用すべきかを紹介している。これまでに蓄積された技術と適用例を整理することは、今後の改善や方向性のイメージにつながる良い機会とも思われた。

第8章では、林地と農地を組み合わせた農・林業あるいは農・林生産体系であるアグロフォレストリーを東南アジアや日本の例をあげて紹介し、これが21世紀のサステナブル（永年の生産力を維持可能）な土地利用としての可能性があることを述べている。

最後の第9章では著者がこの書で最も強調し、かつ新たな問題を提起しなかった地域計画と土地利用の問題について総括している。この中で著者は、新しい価値観の創造、物質循環のシステムを考えた土地利用計画の重要性、新しい土地管理体制の必要性、および湿潤地と乾燥地の土地利用技術の統合化の4つを新たな課題としてあげている。

「あとがき」では山崎農業研究所の研究会での熱心な討論が環境と土地利用を考える良い機会であり、その機会に故山崎教授から将来の土地利用は農業だけでなく農村・都市を含めた大きな視野に立って見る必要性を学んだこと、イスラエルを中心とした乾燥地および日本や東南アジアの湿潤地での調査・研究から、結局「土地利用は水利用」の真髄を悟られたことなどがこの本を出す経緯として述べられている。

著者が永年の懸案としていた環境と土地利用という新しい課題について、専門とする土壌物理と農村計画を中心にしながら土壌学や環境科学、社会学の分野の基礎知識を積極的かつ柔軟に折り混ぜ、日本のみならず地球規模の問題として一つの著書に取りまとめられたことに、心から敬意を表するとともに、今後とも著者の益々のご活躍をお祈り申し上げる次第である。

(鈴木創三 神戸大学農学部)

日本土壌科学 (SSSJ) へようこそ!

(sssj@bio.mie-u.ac.jp)

(<http://www.bio.mie-u.ac.jp/ml/sssj/>)

(目的)

日本国内で、土壌科学に関する情報交換を迅速かつ活発にするのが目的です。電子メールを利用することで、地域格差・年齢・肩書など一切関係のない自由な議論・情報交換が期待できます。

(活動)

土壌科学についての知りたい情報、質問、意見などについてインターネット上で公開討論します。会員は議論に加わるのも見守るのも自由です。もちろん、今後の活動方針などを議論することも活動の一つです。

(既存の組織との違い)

土壌科学に関する学会としては、国内では「日本土壌肥料学会」や「農業土木学会」などがあります。しかしながら、土壌の扱う対象の多様性ゆえに、これらの学会の活動はさらに細分化された部会単位で行われ、他の部会の活動が見えにくいのが現状です。SSSJはそうした部会を「串刺し」にする勝手に集まりです。

(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参加できます。

(参加方法)

インターネットやニフティーサーブなどから上記のアドレスにメールを出すだけです。(内容はなんでも良い。Subjectや本文が空白でもよい) その時点から自動的にsssjに登録されます。

(96/8/12 現在の参加者)

日本全国の土壌に関心を持つ84名の方が自動登録されています。

(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。日本土壌科学という名称は正式に学会登録したものではありません。いわばコンピュータネットワーク上にのみ存在する「サイバー(電脳)学会」です。

(ML利用法に関する質問・問い合わせ) sssj@bio.mie-u.ac.jp宛に# helpというメールを出して下さい。詳しい使用法が手元に届きます。

(広報のお願い)

この広告を興味を持っていそうな方にご転送願います。

(sssj ホームページの簡易解説)

日本土壌科学会 (SSSJ) のホームページへようこそ

- (1) English is here
- (2) 訪問者用落書き板(読む 書く)
- (3) <写真> 夜明けの Gateway@St.Louis
- (4) いま土壌が面白い!
- (5) 翻訳プロジェクト
- (6) SSSJの目的
- (7) SSSJのメンバーリスト
- (8) 会員の主張(個人のホームページヘリンク)
- (9) 土壌……一枚の写真
- (10) 関連学会

土壌肥料学会 農業土木学会 ASA (アメリカ農学会)

・SSSA (S-1News) (アメリカ土壌科学会-土壌物理ニュース)

・SSSA (S-2) (アメリカ土壌科学会-土壌化学)

・CMS (アメリカ粘土学会)

CMSに関連のあるその他の学会

crystal

IPFW GeoSciences

- (11) 土壌環境浄化関連

GZA GeoEnvironmental, Inc.

KENCON Environmental, Inc.

Environmental information on the WWW

- (12) sssj@bio.mie-u.ac.jp

- (13) Produced by mizo (1995.7.14)

(1) 英語のホームページヘリンク: まだ作っていませんが将来的には日本の土壌研究を英語で発信する基地にしたいと考えています。

(2) 自由投稿覧: 土壌に関する質疑応答や意見などを自由にやり取りするコーナーです。

(3) 95年のSSSAの学会会場・セントルイス市のシンボル。sssjホームページが日本の土壌科学のゲートウェイとなるような期待を込めた写真です。

(4) sssjのホームページを特徴づけるコピーのつもりです。良いコピーがあれば月単位でも変更していきたいものです。

(5) 96年3月に始った翻訳プロジェクト: 地理的に離れている会員が一冊のテキストを輪読してしまおうというものです。各章を分担訳し、訳文をネットワーク上に掲載することで翻訳本を作ってしまうという全く新しい試みです。現在は、Dr. Sparksの

Environmental soil Chemistry を訳しています。

- (6) sssj のポリシーが説明されています。
- (7) sssj 会員のメールアドレスの最新情報が記入されています。
- (8) 会員個人のホームページへのリンク集です。自分の研究内容などの個人で作成したページを集めていきたいと思っています。
- (9) 各研究者が入れ込んでいるテーマを写真一枚を添えて、その人の言葉で説明していこうという企画です。土壌百科のようなものを作ろうとしています。英語版も用意してあります。
- (10) 土壌に関係する学会のホームページのリンク集です。日本の学会をはじめ、アメリカの関連学会の情報にアクセスするのに便利です。
- (11) 土壌科学と環境との関連は今後益々重要になってくると思われます。海外には土壌環境に関連の民間企業が積極的に情報を発信しています。そうした海外の企業のリンク集です。日本でもこうした民間企業が積極的に情報を発信してくれると良いのですが。
- (12) sssj のインターネットアドレスです。ここ宛てにメールを送ると全会員に同時に同じ内容のメールを送ることができます。研究会の連絡や意見交換など、積極的な情報発信を期待しています。
- (13) ホームページを開設した日です。実は一年以上も前にこのページを開設していました。ちなみに sssj のグループは 1994 年 12 月に創立していました。創立当時は今のようなインターネットは普及していませんでしたので、この会の存在も電子メールを通して広報されていました。

追記：

「土壌の物理性」編集幹事から「インターネットが土壌物理研究に必要な理由」というタイトルで上粒子の原稿を依頼されたのは 7 月だった。しかし、元々私はインターネットが研究に必ず必要だと思っている訳ではなく、使いたい人が勝手に使う道具だと思っている。

ただ、利用体験者として「世の中にこんな便利なものがあつたのか」というカルチャーショックを受けたのは事実で、だからこそ自分の利用環境を整備してきた¹⁾。そうした「理由」²⁾については既に紹介記事を書いたのでそちらを参考にして頂ければ幸いである。

また接続法や利用法などの解説本が本屋には山積みされているので、関心のある方はそれらを参照するのが一番良いと思う。

いずれにせよ、「インターネットが何なのか、どういう利用法があるのか」といった疑問を持ったならば、まずは近くの利用者のところで「体験する」のが最も有効であることは間違い。導入するかどうかはそれから後に判断すれば良いと思う。

土壌の物理性に関する研究の発展は、結局のところ研究内容を自己発信することに尽きよう。インターネットはその発信を容易にしているに過ぎない。この記事の読者がそうした私の意図をご理解の上、sssja に参加し、積極的かつリアルタイムに自分の意見を「発信」して下されば幸いである。

参 考 文 献

- 1) <http://www.bio.mie-u.ac.jp/doboku/user1/mizo/inetworks.html>
- 2) ネットワーク整備に入れ込む理由(わけ)、農業土木学会誌, vol.67 (7), pp.62-63 (1996.7)

(溝口 勝 三重大学生物資源学部)

1996年3月31日

I. '96年度第1回編集委員会

日時：1996年6月27日（木）14：30～18：30
 会場：日本大学生物資源学部東京校舎
 出席：河野英一，青木正雄，成岡市，東城清秀，三原真智人，中村貴彦

- (1) 編集委員会委員（新任）の確認
- (2) 第74号の発行について
 - 1) 閲読状況
 - 2) '95年度会計決算と'96年度予算の掲載
 - 3) 超過ページに関する改訂投稿規定の掲載
- (3) 第75号の編集について
 - ・現在の閲読状況が報告され，閲読待ちの論文の閲読者が決定された
 - ・第38回シンポジウムの講演要旨の体裁および提出期限，提出先が決定された
- (4) その他
 - 1) 学術会議第17期登録申請について
 - 2) 第38回シンポジウムについて
 - 3) 評議員改選について
 - 4) 次期事務局，編集体制について
 - ・会誌発行号数の増加について（1年間の発行を和文誌2号と欧文誌1号あるいは和文誌4号とした）
 - ・創立40周年記念出版物の発行について
 - ・事務局の固定化について

II. 1995（平成7）年度 会計報告

収 入

現金収入	60,010円
郵便振替	2,045,510円
銀行振込	293,467円
前年度からの繰越金	846,019円
新事務局準備金	150,000円
合 計	3,395,006

支 出

会誌作成費	1,706,091円
総会費	128,291円
通信費	134,068円
文具費	166,512円
賃金	74,000円
交通費	187,000円
会議費	52,000円
幹事手当	50,000円
編集委員会費	46,000円
合 計	2,543,962

土壌物理研究会
 会長 穴瀬 真 様

土壌物理研究会
 会計監査 藍 房和 印
 安富 六郎 印
 会計監査報告書

1995年度，土壌物理研究会会計の収入支出決算書ならびに関係帳簿類について，1996年3月31日厳正に監査を行った結果，それらの執行は適正であり，提出の通り相違ないことを確認した。

III. 1996年度第1回評議員会

日 時：1996年4月3日（水） 15：00～17：20
 場 所：日本大学農獣医学部東京校舎
 出席者：穴瀬（会長），原，渡辺，石渡，古賀，粕淵，宮崎，岩間，溝口，河野（編集委員長），事務局（三原，東城，中村，西村，成岡）

1. 編集幹事の追加，編集委員の追加について
 庶務幹事より，編集幹事の西村氏と，編集委員の竹迫氏が海外に一年間滞する旨が伝えられた。それに伴い編集幹事に中村貴彦氏，編集委員に平沢正氏を加えることについて，穴瀬会長に続き編集委員会および事務局幹事会でも了承されたことが報告され，本件について承認された。なお，西村氏についてはアメリカにおいても編集幹事を引き続き行い，アメリカの情報を提供していただくこととなった。

2. 新規入会者について

会計幹事より，現在の会員数，脱会者数，新規入会者数について報告があった。新規入会者数は正会員が2名，学生会員が3名で，全員入会を許可された。また，脱会者数は正会員13人，購読会員1人であり，脱会者数が多いと指摘された。土壌物理の分野だけにとどまらず，植物生育，農業機械などの土壌に関わる諸分野にも手を広げていかなければ，会員は増やせないことを認識し，引き続き努力をすることを確認した。

3. 1995年度・1996年度事業報告について

庶務幹事より1995年度4月1日～96年3月31日までの事業報告があり，承認された。1996年4月1日～97年3月31日までの事業計画が提案された。その全内容について，第74号，75号を発行すること，1996年4月3日に日本大学東京校舎にて第1回編集委員会を開くこと，1996年9月30日に東京農業大学農学部にてシンポジウム，総会および第2回評議員会を行うことが承認された。

4. 1995年度・1996年度会計報告について
 会計幹事から1995年度会計報告があり、承認された。
 1996年度予算案が提案され、承認された。

5. 「土壌の物理性」投稿規定改正について
 会計幹事および編集幹事より投稿規定の改正案が提案され、承認された。

(1) 文章の追加について

会長の名において依頼された原稿についてはその限りではないが、カラー印刷、超過ページは著者が負担するという旨の文章を投稿規定に付け加える。

(2) 英文での投稿について

近年、報文を英語で投稿する人が増えてきた。また従来から報文には英語の要約を付けることが義務付けられている。しかしながら英文の質が良くないものも少なくない。これを改善するために、もし著者の希望があれば英文の適正化をする業者の情報を提供するという文章を加える。

(3) フロッピーディスクについて

編集の際の誤植をさけるために、著者にフロッピーディスクに入った原稿を送ってもらう。その際、フロッピーディスクの原稿も学会が著作権を持っているということを確認しておく必要がある。

(4) 英文の論文について

英文で書かれた論文については、邦文の要旨を付けることを原則とする。もし著者の誰も日本語が書けない場合は、編集委員会で英語で書かれた要旨を日本語に翻訳することもあり得る。

6. 査読内規について

編集幹事から査読に対する基準を作成し、査読を依頼するときに査読者に知らせることを計画しているという報告があり、原案が示された。本件は、編集委員会にて再検討の上、「土壌の物理性」に掲載される。

7. 評議員改選について

庶務幹事から、選挙を行い9月30日の総会で結果を発表することを予定しており選挙管理委員長として中石克也氏（茨城大学）を推薦することが報告され、承認された。

8. 次回のシンポジウムについて

庶務幹事から、事務局側の考えとして、次回のシンポジウムの講演者は若い人をお願いし、かなり専門的な内

容にしたいと提案があり、6月から8月までに具体的に決めることが承認された。

9. 広告料について

会計幹事より、広告料は賛助会員が15,000円、非賛助会員が22,500円にしたいと提案され、承認された。また、広告料は貴重な財源なので、是非積極的に勧誘してほしい旨をつたえ、了承された。

IV. 会員動向

会員数 (1996. 4. 1 現在)

正・学生会員	551
北海道	83
東北	49
関東	202 (3)
中部	43
近畿	41 (2)
中・四国	74
九州	56
海外	3

購読会員 61

賛助会員 11

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

新入会員 (正会員 2 学生会員 3 1995. 10. 1. ~1996. 4. 1.)

岡田 俊也(正) 〒204 清瀬市下清戸4-640(株)大林組
 技術研究所環境生物研究室

凌 祥之(正) 〒305 茨城県つくば市大わし1-2国際
 農研センター

川田 麻子(学) 〒606-01 京都市左京区北白川追分町
 京都大学農学部土壌学研究室

高松利恵子(学) 〒113 文京区弥生1-1-1東京大学農学部
 農業工学科地水学研究室

中村 公人(学) 〒606-01 京都市左京区北白川追分町
 京都大学農学部農業工学科

退会 (1995.10.1.~1996.4.1.)

正会員 13名

購読会員 1名

会費納入のお願い

本会の運営は会員の会費だけで、ほとんどまかなわれております。早期納入に御協力下さい。

なお、会費を3年以上滞納されている会員が、現在100名程いらっしゃいます。会の運営に対し御理解いただき、早めに納入されるよう御願ひ申し上げます。

一編集後記一

本号は、「乾燥・半乾燥地—現場における土と水」のシンポジウムからの報文を主体に編集されております。乾燥・半乾燥地における土壌と農業の研究は、文部省科学研究費補助金（国際学術研究）による調査、JICAプロジェクトによる調査などがあります。

湿潤地域のわが国からみれば乾燥・半乾燥地の研究は、他国の自然環境とくに気象環境の下での課題と思われれますが、記憶に新しい平成6年の異常早魃年では、乾燥地での研究成果が適用されることもありうると感じられます。

その翌年の平成7年の夏、私は、中国内蒙古自治区の毛烏素砂漠に調査に出かけ、ここは年間降水量が360mm程度の半乾燥地であり、半乾燥地の砂漠を初めて経験しました。ここでは、近年、砂漠の緑化や牧農民の固定化政策が進み、一部では畑地灌漑も進められ、豊かな野菜生産も実施されています。平成6年の、西南日本では異常な少雨量であり、水不足が深刻となり、8月の降

水量が皆無の地域もありました。8月の毛烏素砂漠の降水量は、平均100mm程度であり、わが国の方が降水量が少なかったのです。

乾燥・半乾燥地は降水量が少ないこと、蒸発量が多いことで定義されているようですが、降水量の年によるバラツキが大きく、平均値を示す降水量が実際に降る年がほとんどなく、平均値を上回るか、下回る値が多く出現し、平均値の意味を考え直さなければなりません。

日本においても近年では、今年の春先も含めて異常な少雨が続き、乾燥地での研究が遠い国での研究でなく、足元の研究でもあるような気がし、乾燥地研究が自己に還元されるような感がします。貴重な水資源の利用、有効で節水的な灌漑方法など日本と乾燥地を両方をにらんでの研究が今後さらに重要になる時にきていると思われる今日この頃です。

<編集委員 駒村正治（東京農業大学農学部）>

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）
編集委員会	庶務幹事	成岡 市（東京農大）
	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（東京農工大）	

土壌の物理性 第74号（会員配布）1996年7月1日発行

発行 土 壌 物 理 研 究 会

〒156 東京都世田谷区桜丘1-1-1 東京農業大学農学部総合研究所内

電 話 03-5477-2540 FAX 03-5477-2634

振替口座 00150-2-17794

銀行口座 さくら銀行世田谷通支店（店番号199）

口座番号（普通預金）6367846「土壌物理研究会代表 穴瀬真」

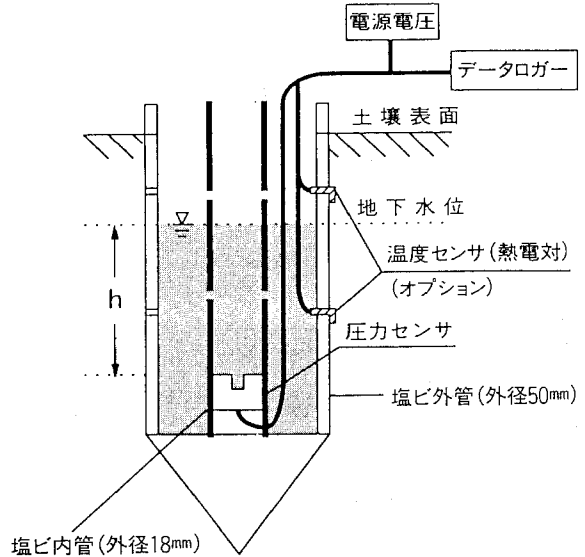
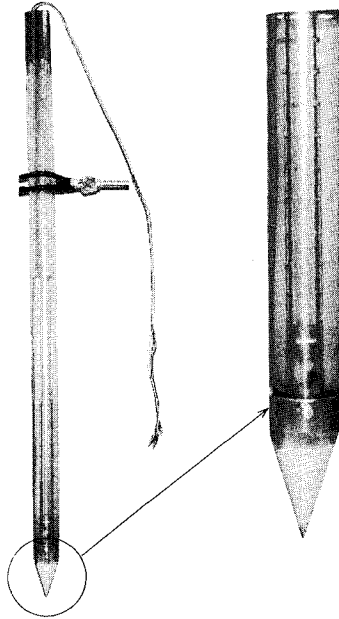
印 刷 創文印刷工業株式会社

〒116 東京都荒川区西尾久7-12-16

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



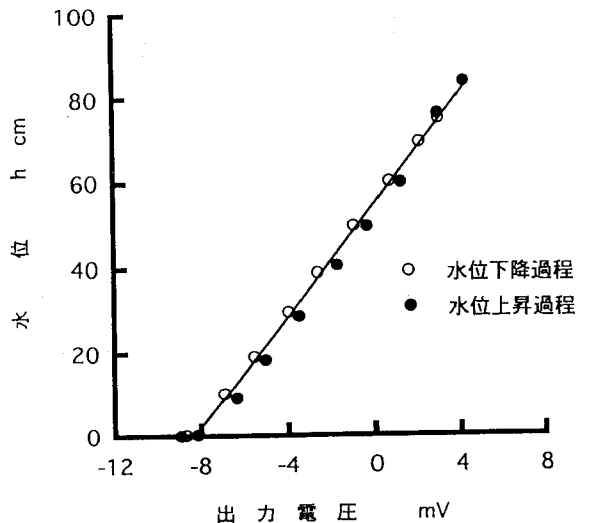
2. 圧力センサ (拡散型半導体圧力変換器)

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

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

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

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

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

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

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は、報文に準ずる。

(1996. 4. 3 制定)

R <学協会著作権協議会委託>

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

Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan

No. 74

July 1996

Contents

Forward	K. WATANABE	1
Originals		
Effects of Water Quality on Soil Structure and Permeability	K. FUKUMURA, M. ANASE, and M. MIHARA	3
Evaluation of Two Soil Water Retention Models for the Prediction of Hydraulic Conductivity of Daisen Kuroboku (Volcanic Ash) Soil	S. ABENNEY-MICKSON, T. MIURA and A. YOMOTA	17
from the 37th Symposium "Arid and Semi-Arid Regions—<i>In situ</i>, Soils and Water—"		
Desertification in Eastern China viewed from Space	T. IMAGAWA	29
Bare Ground Distribution and Land Condition in a Fixed Dune Area of South Western Niger	F. NAGUMO	39
Soil Surface Management under Conventional Farming System with Reference to Soil Degradation —Case Studies in Mali and Northwestern India—.....	U. TANAKA	51
Desertification Prevention Measures Based on Sustainable Agriculture in Rural Area— Demonstration Study in Niger, West Africa—.....	K. NISHIDA and N. NAWA	59
Oil Contamination of Soil and Groundwater in Kuwait and Tracer Tests in the Matsumoto Jyoyama Tunnel	H. II	69
Discussions		79
Readers Column	T. NISHIMURA	91
	M. MIZOGUCHI	93
Book Review	N. TORIDE	94
	S. SUZUKI	95
Topics	M. MIZOGUCHI	97
Announcements		99
Editor's Comment		101

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