

土壌の物理性

第85号

2000年9月

論文

- 大型ライシメータを用いた成層水田の物質動態
.....佐々木長市・小関 恭・富田 道久・小黒 仁司・谷口 健... 1
- 大型ライシメータを用いた開放浸透層内の気相成分変動.....佐々木長市・小関 恭...11
- Soil Characteristics, Farming System and Conservation Strategies in the Sloping
Volcanic Areas in IndonesiaMASTUR, H. NARIOKA, M. ANASE and R. YASUTOMI...19
- 十勝管内における湿性畑土壌の物理的特徴と作物生育
第1報 多湿黒ボク土の物理性とテンサイ根系
.....保井 聖一・丹羽 勝久・大淵 清志・菊地 晃二...31
- 黄土高原における土壌侵食特性と保全問題—中国陝西省安塞地域の事例—
.....長澤 徹明・高橋 英紀・上遠野 健...41

総説

- 森林土壌生態系での無機成分の動態.....生原喜久雄...51

書評

- 「世界の土壌資源—照合基準—」.....河野 英一...65

- 会務報告.....67

- 編集後記.....69
-

土 壌 物 理 学 会

土壌物理学会会則

- 第1条 本学会は土壌物理学会 (Japanese Society of Soil Physics) と称する。
- 第2条 本学会は土壌物理に関する研究の進歩と普及を図り、農業技術及び環境科学の発展に貢献することを目的とする。
- 第3条 本学会はその目的を達成するために次の事業を行う。
- (1) 研究発表会、討論会及び見学会などの開催
 - (2) 学会誌「土壌の物理性 (Journal of the Japanese Society of Soil Physics)」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、本学会の目的を達成するために必要な事業
- 第4条 本学会の会員は、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。退会するには、その旨を本学会に書面により届け出なければならない。
- 第5条 会員は次の会費を所定の期日までに納めるものとする。
- | | | |
|-----------|--------|---------|
| 正会員 | 年額 | 5,500円 |
| 学生会員 | 年額 | 3,000円 |
| (大学院生を含む) | | |
| 賛助会員 | 一口年額 | 22,500円 |
| 購読会員 | 会誌年額 | 7,000円 |
| 広告料 | 賛助会員 | 15,000円 |
| | 賛助会員以外 | 22,500円 |
- 第6条 本学会に次の役員をおく。任期は2年とする。ただし、3期連続の重任は認めない。選出方法は次による。
- (1) 会長1名、副会長1名、編集委員長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名以内を会長が正会員の中から委嘱する。
- (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
若干名の庶務、会計、編集の幹事を会長が委嘱する。
- 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。
- (1) 総会は本学会の最高議決機関であって、事業計画、予算・決算、会則の変更等を決定する。総会は正会員及び学生会員で構成される。
 - (2) 評議員会は、会員の選挙によらない役員の選出、総会議案、その他の重要事項を検討する。評議員会の議長は会長がこれにあたる。
 - (3) 総会及び評議員会の議決は委任状を含む多数決とする。ただし、会則の変更は、総会出席者の3分の2以上の賛成を要する。
- 第8条 本学会の会務は、評議員会及び総会の議を経て、会長、副会長、編集委員長及び幹事がこれを執行する。会務執行に必要な規程は別に定める。
- 第9条 本学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、本学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、学会誌その他の印刷物の編集に当たる。
- 第10条 本学会の経費は会費その他の収入を持ってあてる。本学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。
- 附則 (1) 本学会の連絡先は、これを当分の間次に置く。
〒252-8510 神奈川県藤沢市亀井野1866
日本大学生物資源科学部生物環境工学科内
- (2) 本会則は、1999年4月1日より施行する。
(1999. 8. 5改正)

「土壌の物理性」投稿規定

1. 著者のうち少なくとも1人は本学会会員でなければならない。ただし編集委員会が依頼した場合はこの限りではない。
2. 原稿の採否は編集委員会が決定する。編集委員会は、「論文」および「研究ノート」については2名、その他は1名の閲読者を選んで閲読を依頼する。
3. 投稿原稿の区分は下記による。
 - 1) 「論文」(Original papers): 独創性があり、土壌の物理性に関する研究および技術の進歩に寄与すると見なされるもの。一編ごとに論文としての構成を整えていて、他誌に未発表のものに限る。和文原稿には250 words以内の英文 Abstract を、英文原稿には500字以内の和文要旨をつけること。
 - 2) 「研究ノート」(Notes): 土壌の物理性に関する新しい事実や研究方法の改良などの短い報告で、独創性があり他誌に未発表のもの。和文原稿には125 words以内の英文 Abstract を、英文原稿には250字以内の和文要旨をつける。
 - 3) 「総説」(Reviews): 土壌の物理性に関する主題について、それまでの研究を総括し、今後の発展方向を展望するもの。
 - 4) 「解説」(Lectures): 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。
 - 5) 「研究紹介」(My research): 現在行っている研究、他の学会誌等に掲載された論文、研究上の工夫などについての平易な紹介。
 - 6) 「資料」(Miscellaneous): 広く会員の参考となる報告や情報。
 - 7) 「土粒子」(Readers' column): 「土壌の物理性」周辺のことについての随想や意見など。
 - 8) 「書評」(Book reviews)
4. 投稿原稿は刷り上がり6ページ以内とし、それを越える場合には1ページあたり9,000円を著者負担とする。また、カラー印刷の場合は実費を著者負担とする。

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

(1999. 11. 20 改正)

「土壌の物理性」原稿執筆要領

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

13. 図、表、写真の番号は、図1、表2、写真3のように書く。英語を並記する場合は、Fig. 1, Table 2, Photo. 3とする。英語の原稿では、写真はFig.として扱う。
14. 図、表、写真は必要最小限度とし、同一事項を表と図に重複して表示する事は避ける。
15. 図、表、写真は1枚毎にA4判で作成するか、またはA4判の紙に貼り付ける。余白に著者名と図表等の番号を鉛筆で記す。
16. 図と写真はそのまま製版されるので、鮮明なものを提出する。
17. 図は1/2倍などとおよその縮小率を指定し、2倍くらいに大きく書く。図の線の太さや文字の大きさは、刷り上がりの大きさを考慮して決める。
18. 地図や顕微鏡写真には定尺をつけ、縮尺や倍率はない。
19. 日本語の論文、研究ノートの場合、図、表、写真の題名には英語を併記する。
20. 図、表、写真の番号と題名は、別紙にまとめて一覧表とする。
21. 本文中で文献を引用する場合は、著者名(西暦)、または(著者名, 西暦)とする(例: Tanaka (1994), (Nakamura and Suzuki, 1981)). 著者が3名以上の場合は第1著者名のあとに——ら、または et al. をつける(例: 山田ら (1978), (Taylor et al., 1945)).
22. 引用文献は、本文のあとに著者名のABC順に書く。未発表、私信は引用文献として記載しない。
23. 引用文献の書き方は以下のようにする。
Bouma, J. and Dekker, L. W. (1978): A case study on infiltration into dry clay soil, I. Morphological observations. *Geoderma*, 20: 27-40.
FAO (1988): Revised legend of the FAO-UNESCO Soil Map of the World. p. 119, FAO, Roma.
岩田進午 (1970): 土壌物理とペドロロジー. ペドロロジスト, 14: 28-33.
山崎不二夫監修(1969): 土壌物理. p. 55, 養賢堂, 東京.
(雑誌のページには p. や pp. をつけない。本の単数ページを示す場合には p., 複数ページを示す場合には pp. をつける)

【土壌物理分野のSI使用例】

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

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

*%表示は、原則として分母と分子の内容が同じものの場合にだけ用いる。

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

(2000. 3. 10 改正)

土壌物理学会原稿送り状

受付番号（本学会で記入）：

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

付記：投稿は土壌物理学会事務局または編集幹事宛のこと

土壌物理学会入会申し込み用紙

必要事項を記入し、このまま Fax または郵便で下記までお送り下さい。

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

本学会記入 受付年月日：

承認年月日：

宛先・問い合わせ

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

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

Fax. : 0466-80-1102

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



大型ライシメータを用いた成層水田の物質動態

佐々木長市*・小関 恭**・富田道久**・小黒仁司**・谷口 建*

The Removal of Soluble Elements in a Stratified Paddy Field using a Large Lysimeter

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

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

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

Abstract

This study aims to clarify the redox potential and the removal of soluble elements (iron, manganese, potassium, calcium) in a stratified paddy field using a large lysimeter (length 15 m) with an open system percolation in the subsoil.

As a result, plow layer and plowsole layer became the closed system percolation for the whole year. At every investigated point (2.5 m, 5.0 m, 10.0 m and 15.0 m) from the atmosphere (edge of the lysimeter), both layers became reduction layers. Subsoil became the open system percolation and oxidation layer at every point.

Four elements in downward water were detected in plow layer and plowsole at every point for the whole year. Iron element and manganese element weren't detected in downward water of the subsoil at every point for the whole year.

Potassium element and calcium element were detected at every point for the whole year and their concentrations in subsoil tend to be higher in the plow layer and plowsole. The concentrations of the four elements in the downward water increased in summer and decreased in winter. When the experiment finished, we found iron and manganese illuvial horizon in the upper subsoil.

Key words : Paddy field, Redox potential, Soil solution, Large lysimeter

1. はじめに

心土層に開放浸透流をもつ水田モデル土層における物質動態については、既報(佐々木ら, 1998b)で報告した。また、火山灰地水田における開放浸透層が心土層に存在すること及び開放浸透層内の気相成分について調査し、40a区画圃場の水田中央部でも酸素濃度が8%以上であることを明らかにした(佐々木ら, 1998a)。しかし、畦畔(大気開放面)から水田中央部への距離や田面からの深度の違いによる土壌の酸化還元電位(Eh)の動態さらに降下浸透水中の鉄、マンガン等の動態については未解明であった。本研究では、このような圃場でのEhや物質(鉄、マンガン、カリウム、カルシウム)動態を、室内で再現するモデル装置を作製して究明を行った。

実験は、30a区画の水田を想定し、その水田中央部までの長さ(15m)をもつ大型ライシメータを作製した。このライシメータ内に、心土層が開放浸透となるような成層水田モデル土層を充填した。この装置により、開放浸透条件下の心土層内の気相成分について、大気開放面からの距離による変動調査等が可能となった。

2. 装置の作製方法

2.1 装置の作製方法

本研究では、これまで円筒モデル実験で得られたデータとの比較を考え、これと同じ成層と層厚にした。なお、日減水深は20mm/d程度を目標としたが、得られた値は、この1/2程度となった。

実験装置は、内寸で幅30cm、高さ70cm、長さ15m

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

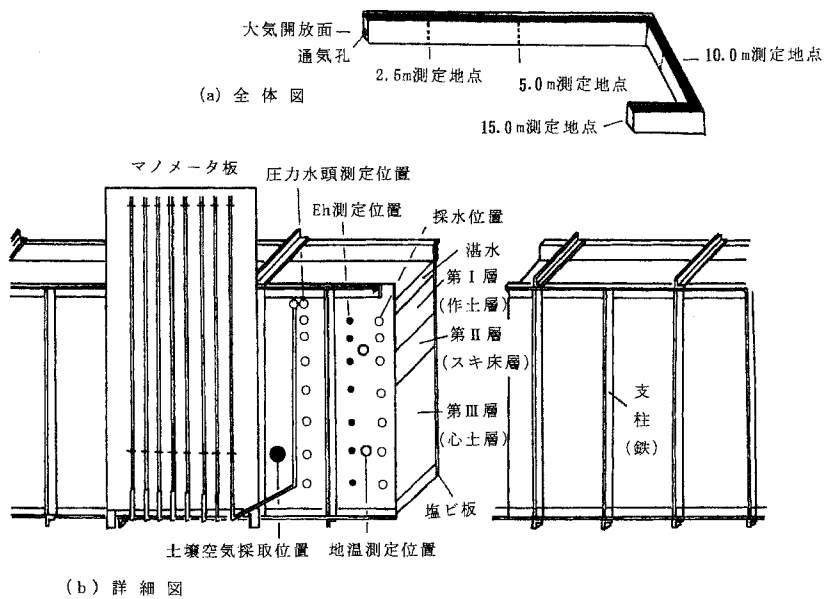


図-1 実験装置概略図

Fig. 1 The outline of experiment device

のフリュームを硬質塩化ビニル板（以下塩ビ板と記す、厚さ3mm）で作製した。ただし、設置場所の関係で図-1に示すようにL字型に折曲げた。このフリュームの作製は、最初に鉄のアンゲルで骨組みを作製（ボルトとナット使用）し、骨組みの内部に、塩ビ板をボルトで固定した。塩ビの板同志の接続部には幅3cm、厚さ3mmの塩ビ板を接着し、さらにその上をシリコンのコーキング剤でカバーし漏水を防止した。底面から5cm上の側壁に、浸透水の排水孔（径20mm）を2m間隔でもうけた。この孔には、ガラス管を貫通させたゴム栓をつけ、このガラス管にビニルホースをつけて、U字型に固定し（先端溢水部の高さは底面から5cm上）、ホース内のU字の部分には水が満水するようにして大気の侵入を防止した。

図-1 (b) に示すように圧力水頭測定孔の列と酸化還元電位測定孔の列のほぼ中間に地温測定用の孔（作土中央部と心土層中央の深さを目安にした）を設けた。土壤空気の成分変動を調査するために、心土層中央部に三方活栓付きのゴム栓を取り付けた。開放浸透層への通気孔は、図-1 (a) に示す大気開放面側の第III層に径10mmの孔を9個設け、この地点より空気が水平に疎通可能とした。なお、経時的な土壤断面の変化（集積層の発生）を確認できるように、9~10m地点と14~15m地点の塩ビ板は透明とし、観察時以外は黒色の羅紗紙で遮光した。実験開始は、装置完成後に装置内を満水し漏水がな

いことを確認した後とした。装置はガラスハウス内に設置した。夏期は窓を開放し外気温に近づけるようにしたが、冬季は窓を閉鎖した。

2.2 フリューム内への土の充填方法

成層水田は4層構成とし、フリューム内には最下層の第IV層から順次積み上げ、第I層が仕上げ層となった。第IV層（砂使用）は、第III層の支持層として10cm厚とした。第III層（心土層に対応）は、層厚35cmとし、礫（径5mm）を用いた。第II層（スキ床層に対応、水田作上使用）は透水抑制のため十分転圧し、層厚10cmとなるようにした。第I層（作土層に対応、水田作土使用）は代かき状とし、第II層の上に層厚10cmとなるようにした。

各層の充填は、図-1の大気開放面から0.5~1m間隔に仕切板（2mm厚）をフリューム内に立て、区間内の密度が一定になるように試料を計量し、層厚を測定しながら第IV層から積み重ねた。第IV層~第II層までは、径10cmのゴム栓で突固めを行った。第I層はバケツ内で泥状とし、第II層の上に流しこんだ。各層の乾燥密度は、第I層で 0.69 Mg/m^3 、第II層で 0.79 Mg/m^3 、第III層で 1.57 Mg/m^3 、第IV層で 1.44 Mg/m^3 となった。第III層の限界負圧の測定は、100ccサンプルに試料を充填し、吸引脱水方式で実施した（佐々木、1991）。

表-1 供試土の理化学性

Table 1 Physical and chemical properties of samples

試料	測定項目 密度 (Mg/m ³)	土性 (国際法)	交換性塩基 (g/kg)				全鉄 (g/kg)	全マンガン (g/kg)	有機物含有量 (kg/kg)
			CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O			
黒泥土	2.20	SL	4.22	0.33	0.18	0.18	78.0	0.77	0.15
礫	2.67	—	0.60	0.18	0.04	0.09	29.2	0.47	0.00

3. 測定項目及び方法

3.1 供試土

第Ⅰ・Ⅱ層の供試土は仙台市若林区上飯田の水田作土を用いた。この地区は、泥炭地帯であり、作土層はこの分解が進んだ黒泥土壌である。第Ⅲ層の砂礫層は宮城県の白石川産のものを用いた。

全鉄、全マンガンは、6 mol/L 熱塩酸で抽出後（船引ら、1953）、交換性塩基は 1 mol/L 酢酸アンモニウムで抽出後、カリウム、ナトリウムは炎光光度法で、その他の成分は原子吸光光度法（土壤養分測定法委員会編、1970）で測定した。有機物含有量は、重クロム酸法（土質工学会、1982）で求めた。供試土の理化学性は表-1に示した。

3.2 測定項目

測定項目は、各層内の圧力水頭、酸化還元電位 (Eh)、降下浸透水の pH、溶存酸素 (DO)、鉄 (Fe)、マンガン (Mn)、カリウム (K) 及びカルシウム (Ca) とした。水温、地温及び日減水深も併せて測定した。また、実験終了後には、各層中の全 Fe 及び全 Mn の濃度測定も実施した。これらの測定は水稲無作付け下で実施した。また、地表の湛水には、水道水を用い実験期間中水深 5 cm を維持した。

3.3 測定装置及び測定方法

圧力水頭及び採水の測定地点は、図-1 に示す大気開放面から 2.5, 5.0, 10.0 及び 15.0 m の位置とした。各測定地点での圧力水頭測定と採水の深度は、地表面下 2.5 cm, 7.5 cm (第Ⅰ層), 12.5 cm, 17.5 cm (第Ⅱ層), 25 cm, 35 cm, 45 cm (第Ⅲ層) の 7 深度とした。各層内の圧力水頭の測定は、ガラスフィルタとマンメータ装置を用いて行った。採水装置は、フィルタにエクステンションチューブ (医療用) 付きの採水ガラス管を接続後、ガラス管内に窒素ガスを注入して、長さ約 5 cm の分離帯を作り、その先に張力負荷用の水柱を注入し作製した。採水速度は、エクステンションチューブの位置を上下させコントロールした。採水は土壌水が分離帯の手前の管内に抽出され始めて、採水ガラス管内を満水した所で終了し、直ちに室内に持ち帰り分析に供した。

土壌の Eh の測定は、ガラス電極を水平挿入距離が 5 cm 程度となるようにして行った。測定深度は、採水位置と同じ深さとした。なお、採水装置及び圧力水頭測定装置の規格及び測定法等の詳細は既報（佐々木、1992）を参照されたい。

降下浸透水の DO 測定には、DO メータ (本体: UC-12 型, 電極: UC-203 型, セントラル科学社製), pH 及び Eh の測定には、pH/ORP メータ (本体: UC-23 型, pH 電極: UC-502E 型, Eh 電極: UC-702 型, セントラル科学社製) を用いた。降下浸透水の Fe, Mn 及び Ca の分析は、原子吸光炎光共用分光分析装置 (日本ジャーレル・アッシュ (株), AA-855 型) を使用し実施した。

水温及び地温 (地表下 5 cm 及び 35 cm) の測定は、自記計を用いた。日減水深は定点 (装置天端) から水面までの距離をノギス (深さゲージで水面までの距離を測定) で測定した。

圧力水頭, Eh の測定及び採水した土壌溶液の成分分析は、1994 年 12 月～1995 年 12 月まで週 1 回の目安で実施した。

4. 結果及び考察

得られた結果を図-2～6 に示した。以下にその結果について検討する。各図の Eh の値及び採水の成分濃度は、7.5 cm (第Ⅰ層), 12.5 cm (第Ⅱ層), 35 cm (第Ⅲ層) の値を各層の代表として記載した。各測定値は各月の中旬のものを用いた。

4.1 圧力水頭分布, pH 及び溶存酸素 (DO)

2.5 m 測定地点の圧力水頭分布は、第Ⅰ層では正圧であつた 45 度勾配に近似した。第Ⅱ層上部は正圧、下部は負圧となり、ポテンシャルロスの発生が確認された。第Ⅲ層の圧力水頭は負圧の -3 cm 前後で、同層の限界負圧 -1.5 cm より低い圧であった。それ故、第Ⅲ層は開放浸透層と判断された。同様の結果は、5.0 m 測定地点、10.0 m 測定地点、15.0 m 測定地点でも確認された。従って、第Ⅰ・Ⅱ層は閉鎖浸透、第Ⅲ層は開放浸透となる条件が 15 m 区間で形成されていると判断された。

浸透水の pH の値は、田面水で 6.5～7.0 の範囲、第Ⅰ・Ⅱ層で 6.0 前後、第Ⅲ層が 7.0 前後となった。浸透水の

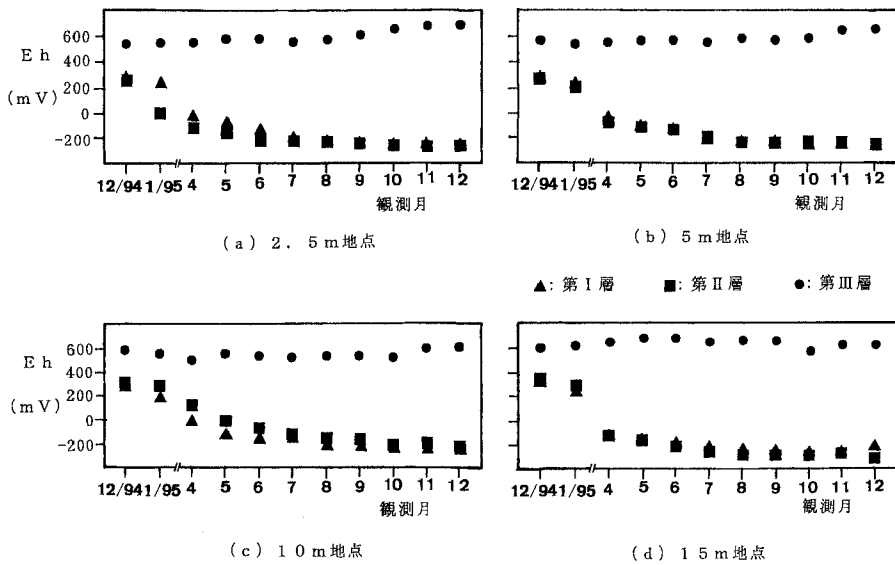


図-2 Ehの経時変化

Fig. 2 Change of Eh values

DO値は、田面水で8 mg/L前後と高い値であるが、第I層上部では3 mg/L前後まで低下し、第II層の下部も同様であった。しかし、第III層では8 mg/L前後まで増大した。このDO値の変動は、既報(佐々木ら, 1998a)と同じ傾向となった。ただし、上述のpH, DO値の変動は実験開始後2ヶ月間の観測結果に基づいて検討したものである。

4.2 酸化還元電位(Eh)の経時変化

2.5 m測定地点の第I・II層(図-2参照)は、実験開始時には200 mV台の値を示したが、その後徐々に低下し、4月頃からは0 mV以下の値を示す還元層となった。その後は-200 mV付近まで値が低下し12月に至った。第III層は、実験当初より500 mV以上の値を示す酸化層となった。この値は、経時的にやや上昇傾向にあった。

11月, 12月の低温期には、作土層のEhの上昇が考慮されたが、そのような変動は確認されなかった。1996年4月の第I・II層測定値も-200 mV程度となっており、低温期のEh値の上昇の可能性は低いと考えられる。いったん還元層になった土層の酸化層への推進力は、亀裂が生じない場合は、浸透水中の酸素が重要な役割をもつと考えられる。今回の結果からは、2ヶ月ほどの浸透水の酸素供給では、第I層の表層2.5 cm深で、既にDO値が最低(3 mg/L)にまで消費されており、DOによる第I, II層の酸化作用はとても期待できない。このような傾向は、秋に降雨が続いた場合の圃場のEhの値が上昇しないと言う結果とも一致する(佐々木ら, 1998c)。

上記の傾向は、図-2に示すように、5.0 m地点, 10.0 m地点, 15.0 m地点でも同様に確認された。このことより、15 m区間の酸化還元環境はほぼ同様に形成されているものと判断された。なお、今回の実験は、周年湛水状態としたので、作土, スキ床層は酸化層とはならなかった。

4.3 降下浸透水中の鉄(Fe)濃度

図-3により2.5 m測定地点の濃度についてみると、第I・II層では周年Feが検出されたが、第III層ではほとんど検出されず、これまでの円筒実験(佐々木, 1994)と対応した鉛直方向の動態となった。一方、田面水中の濃度の測定値は、1 mg/L以下であることから、第I層の値(20~100 mg/L)は、土中から溶出したものと考えられる。1月及び3月という低温期にもFeが溶け出していた。この現象は、低温期にも微生物活動が継続し、Feを還元化させることを推察させる。第I層では5月及び6月は濃度が上昇したが、7~9月の3ヶ月間は逆に低下した。この原因解明は今後の課題である。10月には値が再び上昇し、その後地温の低下と対応するように濃度が低下した。

第II層でも変動傾向は第I層に類似していたが、8月に最大値の濃度(約140 mg/L)が検出された。しかしこの値も12月に向かって次第に低下する傾向であった。この結果より、10℃以下の低温期といえども土中からはFeの溶出があることが確認された。このFeは、第II層と第III層のいわゆる酸化層と還元層の境に集積するもの

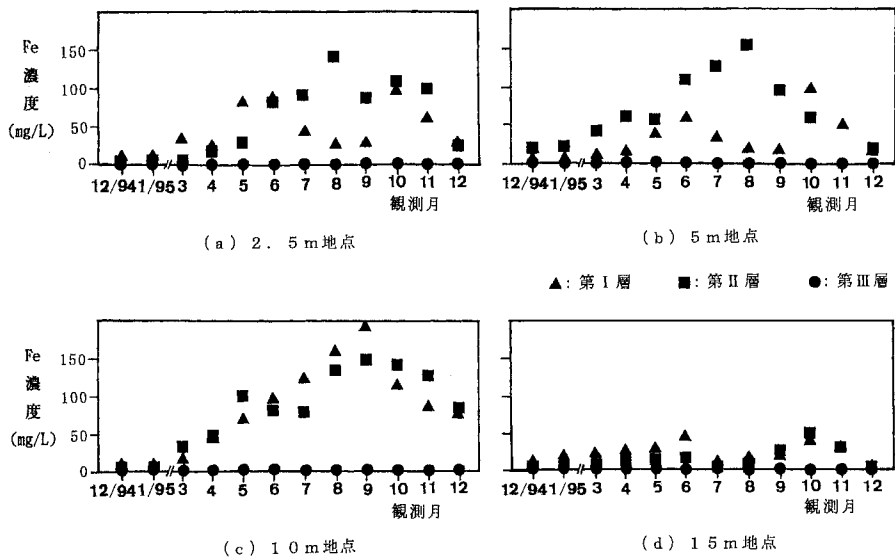


図-3 降下浸透水中の Fe 濃度

Fig. 3 Concentration of iron element in downward water

と考えられる。装置の側面に設けた断面観察部では、実験開始6ヶ月後に線状の集積層が第Ⅲ層上端直下に約5mm厚で観察された。このような集積層の発生は、浸透がある場合には周年発生する可能性を示唆している。

5.0m測定地点の値は、ほぼ2.5m測定地点と同様な変動であった。

10.0m測定地点では、第Ⅰ層の値が直線的に9月まで増加し、この時点で最大値(約190mg/L)を示した。その後は濃度が徐々に低下した。しかし、12月の時点でもその濃度は100mg/Lに近く、2.5及び5.0m測定地点よりその濃度が高くなった。同じ場所から採取した土壌であるが、易分解性有機物等が不均一でFeを還元化する微生物活性等が異なり、このような濃度の相違が発生したものと推測される。

15.0m測定地点の値は、全体的に、他の3測定地点より濃度が著しく低くなった。最大でも50mg/L未満の濃度である。第Ⅰ・Ⅱ層における濃度は6月と10月に高くなるが、11月及び12月にはその濃度を低下する傾向となった。10.0m及び15.0m測定地点の第Ⅲ層では、いずれの測定地点においても、かつどの深度でも周年Feの検出がほとんど認められなかった。

以上の結果より、第Ⅰ・Ⅱ層のFeは測定地点によりその濃度に変動はあるものの、降下浸透水中には常時検出された。また、Fe濃度は地温の変化に対応し、その値を増減させていることが4測定地点で認められた。第Ⅲ層では、どの測定地点も周年Feの検出はほとんど認め

られず、第Ⅲ層上部に集積層の発達が進むと推測された。

4.4 降下浸透中のマンガン(Mn)濃度

4測定地点の値を概観するならば、15.0m測定地点を除き、変動傾向は類似していた。また、最大値の発生層が第Ⅱ層(その値も7mg/L前後)でかつ8月に観察されるなどの点も類似していた。

2.5m、5.0m及び10.0m測定地点の第Ⅰ・Ⅱ層のMn濃度は、4月頃より明確に上昇傾向が認められ、逆に11月及び12月にはその濃度の低下が確認された。これに対し、15.0m測定地点の第Ⅰ・Ⅱ層の濃度は、他の3測定地点よりMnの濃度は小さくなった。しかし、11月以降に濃度が低下するという変動傾向は他の3測定地点と類似していた。なお、15.0m地点の最大値は4mg/L未満と低い値となった。酸化層である第Ⅲ層では、4測定地点とも浸透水中にMnの検出はほとんど見られなかった。

以上の結果より、Mnは地温の上昇と共にその濃度が増加し、夏に最大値とり、地温の低下と共にその濃度が低下する周年変動が確認された。しかし、第Ⅲ層では周年Mnの検出がほとんど認められなかった。

このことより、浸透型に対応し30a区画の水田中央部まで下層が酸化層であれば還元層と酸化層の境に、Fe及びMnの集積層が面状に発生する可能性が示唆された。

4.5 降下浸透水中のカリウム(K)濃度

2.5m測定地点の第Ⅰ層の値は、実験開始直後は高い

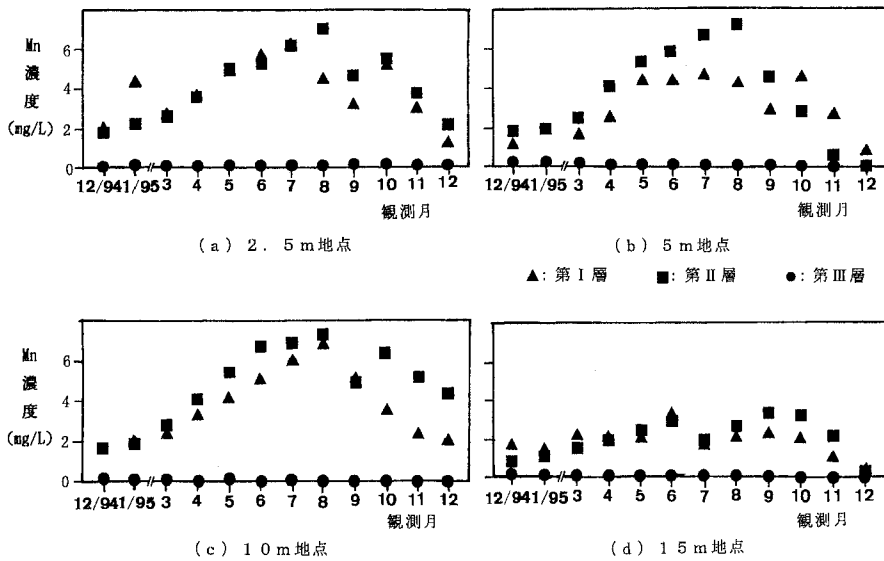


図-4 降下浸透水の Mn 濃度

Fig. 4 Concentration of manganese element in downward water

値(約 8 mg/L)を示したが、その後急激に低下した。3月から7月頃までは徐々に値が増加し、その後減少した。層別に見ると、周年第Ⅰ層<第Ⅱ層<第Ⅲ層と K 濃度が高くなった。1月の濃度が低下した原因は、移動しやすい K が溶脱されたためと考えられる。第Ⅱ層は第Ⅰ層よりやや高い濃度で類似した周年変動を示した。第Ⅲ層は、第Ⅱ層に比べ2倍以上の高濃度で第Ⅱ層に類似した周年変動をした。4月から12月までは、ほぼ 10 mg/L 以上の値を示した。この原因は、Eh 電極の液絡部からの内部液(KCL)の浸出による可能性も考えられ、更に検討を要する。第Ⅰ・Ⅱ層の変動は、Mn の変動傾向とよく類似していたが、Mn は第Ⅲ層での検出濃度がほぼ 0であることを考えるならば、元素による溶出動態特性の違いは明白である。

5.0 m 測定地点の第Ⅰ層の値は、2.5 m 測定地点と類似したものとなった。第Ⅱ層の値は、6月から9月の期間では 10~14 mg/L となった。第Ⅲ層の値は、2.5 m 測定地点と類似した変動傾向であった。

10.0 m 測定地点及び 15.0 m 測定地点も第Ⅰ・Ⅱ層は地温の上昇と共に濃度が増加する傾向となった。この傾向は他の測定地点と類似していた。第Ⅲ層が 10 mg/L 以上の高い値を示すことも、他の測定地点と同様に認められた。

以上の結果より、各測定地点の K 濃度は、地温の上昇と共にその濃度が高まり、夏期に最高値を示し、地温の低下に従い(冬期に向け)その濃度が低下する周年変動

が明らかとなった。また、その濃度も上層に比べ下層が高くなる傾向にあった。K の濃度上昇は、鉄イオンとカリウムイオンの置換による塩基再編成作用(山根一郎, 1982)も一因と考えられる。

4.6 降下浸透水中のカルシウム (Ca) 濃度

2.5 m 測定地点の第Ⅰ層の濃度は、最大値が 200 mg/L 前後となった。この値も、地温の高い夏場に濃度が高まり、地温の低下と共に濃度が低下する傾向であった。同様の傾向は第Ⅱ層でも見られたが、最大値は 150 mg/L 未満であった。しかし、第Ⅱ層は全体的には K と同様第Ⅰ層より値が上昇する傾向にあった。第Ⅲ層は、多少ばらつきは見られるが、第Ⅱ層より高い濃度になる傾向を示した。特に9月以降はその傾向が明瞭に認められた。

5.0 m, 10.0 m 及び 15.0 m 測定地点の値は、第Ⅰ~Ⅲ層まで類似した変動傾向(時々発生する 200 mg/L 付近を示す値を除いて考えるならば)と考えられる。なぜ、時として急激に高い値が検出されるかは今後の課題である。

Ca 濃度は、10.0 m 測定地点では Fe 濃度と極めて変動傾向が類似し、かつ濃度も近くなるようにも見られる。この原因は、鉄イオンによるカリウムイオンの置換溶出という塩基再編成作用によると推測される。

4.7 集積層の調査

実験終了後 Fe の集積層を調べると(1996年は稲を植えた実験に使用したため1997年に実験装置を解体した)、Fe の集積が 15.0 m 地点まで面状に形成されている

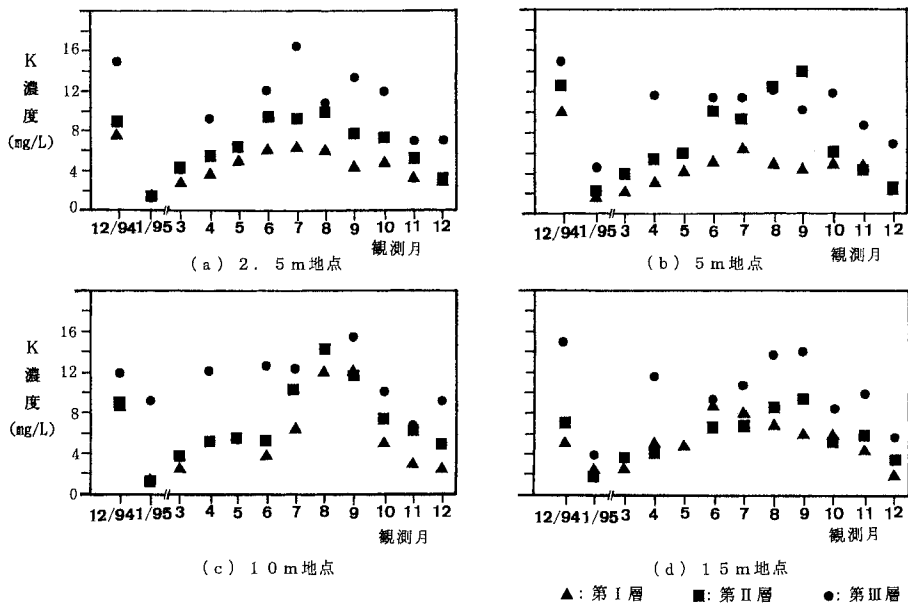


図-5 降下浸透水の K 濃度

Fig. 5 Concentration of potassium element in downward water

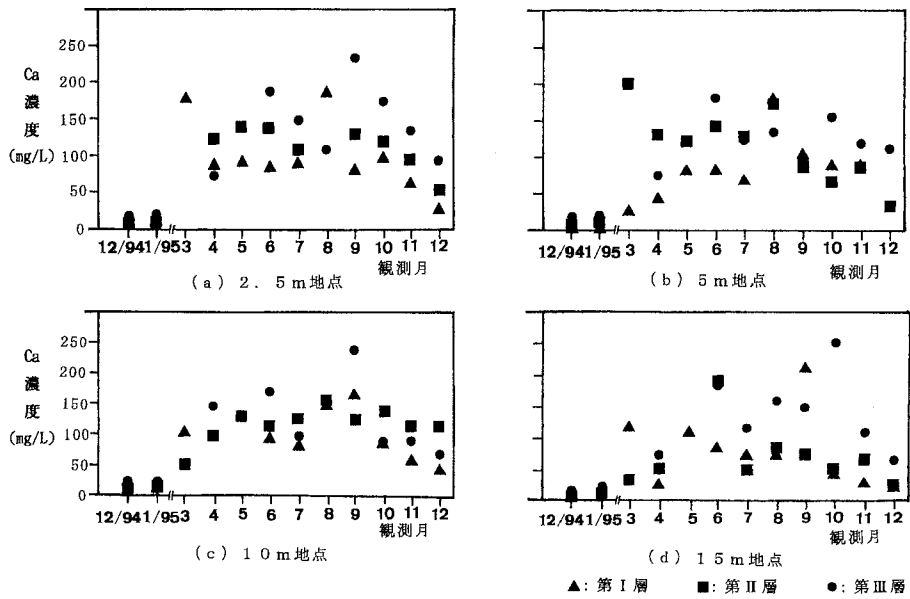


図-6 降下浸透水の Ca 濃度

Fig. 6 Concentration of calcium element in downward water

表-2 跡地土壌の鉄・マンガン濃度

Table 2 Concentrations of iron and manganese element in soil over the experiment

層名	調査地点	1 m 地点		4 m 地点		8 m 地点		14 m 地点	
		全鉄	全マンガン	全鉄	全マンガン	全鉄	全マンガン	全鉄	全マンガン
第I層 (0-10 cm)		75.4	0.60	66.1	0.52	53.3	0.55	79.7	0.56
第II層 (10-20 cm)		52.9	0.55	49.2	0.51	40.5	0.53	42.9	0.52
第III層	集積部位 (20-21 cm)	122.8	3.55	71.1	2.84	131.3	2.40	93.3	1.30
	上部 (21-30 cm)	38.3	0.48	46.0	1.03	28.4	0.61	34.2	0.53
	下部 (30-40 cm)	39.9	0.55	31.0	0.40	35.3	0.71	20.6	0.38

調査地点の1m~14m地点とは、大気開放面からの距離である。

()内の数字は採土区間である。

(単位: g/kg)

ことが、肉眼で明瞭に確認された。全Feの値は、第I・II層では40~80 g/kg、第III層の集積部位では70~130 g/kg、第III層の集積部位以外では20~40 g/kgとなった。Mnの濃度は、第I・II層では0.50 g/kg、第III層の集積部位では1~3.5 g/kg、第III層の集積部位以外では0.40~0.70 g/kgであった(表-2参照)。大気開放面からのいずれの距離でも第III層の集積層のFe及びMnの値は、同層の集積のない部位に比べ倍以上の値となった。この集積部位の濃度は、常時湛水状態で2カ年経過した後の値である。従って、普通灌漑期間が100日程度であることから考えるならば、集積期間は稲作を6年経過後の集積結果に相当する。

この結果は、30a区画の水田の下層が開放浸透層でかつ酸化層をもつならば、Fe及びMnの面状集積が発生することを示唆している。しかも、酸化層に(第III層)に移行するやその表層1cmの厚さで沈積は完了していた。

5. まとめ

本研究では、心土が開放浸透層である成層水田の物質動態を調査する装置(長さ15.0m)を考案・試作し、この装置を用いて、水田周囲から中央部までの酸化還元環境及び物質動態(Fe, Mn, K, Ca)を究明することを試みた。成層水田は周年湛水状態とし、心土層への通気は水平方向からのみに限定した条件で、また無植生環境で実験をした。

その結果、成層水田の第I層(作土層)及び第II層(スキ床層)は周年閉鎖浸透で、大気開放面(畦部に相当)から2.5m, 5.0m, 10.0m及び15.0mの各測定地点で周年還元層となることが確認された。第III層(心土層)は、15.0m地点まで含め周年開放浸透で酸化層を形成することが明らかとなった。

降下浸透水中のFe及びMnは、4測定地点のいずれの測定でも第I・II層で検出され、その濃度は夏期に高くなり冬期に低下する季節変動が確認された。しかし、第III層ではFe及びMnの検出は周年どの測定地点でも認められなかった。このことより、水田集積層が15m区間にわたり形成されることが明らかに推定された。実験終了時には、第III層の表面に錆色のFeの集積が面状にかつムラもなく確認された。K及びCaもFe及びMnと同様に季節変動が認められた。その濃度は下層ほど高まる傾向であった。水田の物質動態は、水平方向にも鉛直方向にもわずかの距離で濃度変動をもつ実態が明らかとなった。

今後は、植生を与えた場合のFe, Mnなどの濃度変動及びガス濃度(酸素, 二酸化炭素)の動きについて検討したい。

引用文献

- 土質工学会(1982): 土の試験実習書, pp.95~102, 土質工学会, 東京.
- 土壌養分測定法委員会編(1970): 土壌養分分析法, pp.91~98, 養賢堂, 東京.
- 船引眞吾・青峰重範(1953): 土壌実験法, pp.91~98, 養賢堂, 東京.
- 佐々木長市(1991): 火山灰下層土の限界間隙に関する研究, 農土論集, 151: 65~73.
- 佐々木長市(1992): 成層モデル土柱における開放・閉鎖浸透水のDO値について, 農土論集, 159: 65~71.
- 佐々木長市(1994): 成層砂礫水田の浸透型が物質の移動集積に及ぼす影響, 農土論集, 172: 9~16.
- 佐々木長市・徳永光(1998a): 火山灰地水田における開放浸透層内の気相成分の変動, 農土論集, 195:

1～10.

佐々木長市・江成敬次郎・小関 恭・中山正与 (1998

b) : 開放浸透層を心土層にもつ水田モデル土層における物質動態, 土壤の物理性, 78 : 3～10.

佐々木長市・小関 恭・富田道久・小黒仁司・谷口 建

(1998 c) : 開放ライシメータを用いた水田土壌の酸

化還元電位および土壤溶液の調査, 土壤の物理性, 80 : 33～40.

山根一郎 (1982) : 水田土壌学, pp.29～36, 農文協, 東京.

受稿年月日 : 1999 年 9 月 29 日

受理年月日 : 2000 年 4 月 24 日



大型ライシメータを用いた開放浸透層内の気相成分変動

佐々木長市*・小関 恭**

Gas Fluctuation in the Open System Percolation Layer using a Large Lysimeter

Choichi SASAKI* and Kyo KOSEKI**

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

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

Abstract

This study aims to clarify the fluctuation of concentrations of gas component : oxygen, carbon dioxide, in the subsoil of open system percolation at a stratified paddy field using a large lysimeter (length 15 m) for two years. Soil air extracted at 37 cm depth was selected from the exposed edge of the large lysimeter to the opposite edge of the lysimeter (2.5 m, 5.0 m, 10.0 m, 15.0 m horizontally from the edge). The stratified paddy field kept inundation for two years and air penetration occurred horizontally. The first year, the field was barren but the second year, rice was planted.

Oxygen concentrations in the layer of the open system percolation decreased in summer but increased in winter. Carbon dioxide concentrations increased in summer but decreased in winter. It was thought that these annual changes depended upon soil temperature. The oxygen concentration lowered with the horizontal distance from the exposed edge, whereas the carbon dioxide concentration heightened with distance. Formation of carbon dioxide was only equal to oxygen consumption at 2.5 m from the exposed edge. The redox potential at 10.0 m and 15.0 m lowered when the oxygen concentration became lower than 2%. Then at 15.0 m elements of iron and manganese were detected in the downward water in the subsoil.

Key words : Stratified paddy field, Soil air, Oxygen, Carbon dioxide, Large lysimeter

1. はじめに

火山灰地水田の開放浸透層(心土層)の気相成分変動については、既報(佐々木ら, 1998)でその実態を報告した。この報告では、酸素濃度は畦から水田中央部に向かい水平に供給されること、濃度が周年変動をもつこと及び酸素濃度と二酸化炭素濃度の和がほぼ21%になるという相補性を明らかにした。しかし、このような事例は、地下水位が2m以上と低く、開放浸透層も1.5m以上もある条件での成果であった。現在、乾田と湿田の分類におけるの地下水位の目安は約1mである。また、汎用水田における夏期の地下水位の許容範囲の下限は約50cmである。地下水位が1m未満で、開放浸透層厚が薄い場合の気相成分がどのようになるか、果たして30a区画の水田中央部で酸化層を形成できるのかということ

は残された課題であった。これまでの酸素及び二酸化炭素濃度の測定は、地表下1から2m範囲内の調査が主流であった(長谷川, 1998)。根圏の環境を知る観点からは当然の範囲と考えられる。一方、水田では水平方向からの酸素疎通の可能性があることが実証された。その実態は複雑である。それ故、実験装置を開発し、現地の実態を推測することは、水田の特性を知る上での重要事項の一つと考えられる。本研究では、前報(佐々木ら, 2000)で述べた大型ライシメータを用い、開放浸透層が薄い水田の土壌空気中の酸素及び二酸化炭素濃度の変動実態を解明することを目的とした。

実験では、30a区画の水田(30m×100m)を想定し、畦畔から水田中央部までの長さ(15m)をもつ大型ライシメータを作製し、大気開放面から層内への空気の疎通距離と酸素及び二酸化炭素濃度の変化を調査した。ただ

* 弘前大学 〒036-8561 弘前市文京町3, ** 宮城県農業短期大学 〒982-0215 仙台市太白区旗立2-2-1
 キーワード: 成層水田, 土壌空気, 酸素, 二酸化炭素, 大型ライシメータ

し、開放浸透層厚は 35 cm とし、同層には礫を用いた。

2. 試験方法

2.1 装置及び成層水田

2.1.1 装置の概要 水田は、開放浸透層の厚さが薄い場合の水田を想定した。また、これまでの円筒実験データ (佐々木, 1994) との比較を考え、これと同じ層厚とした。

実験装置は、幅 30 cm、高さ 70 cm、長さ 15 m のフリュームとした。このフリュームの周囲に鉄のアンクルで骨組みを作製し、その内部に塩ビ板 (厚さ 3 mm) を張り付け作製した。排水は、底面から 5 cm 上に排水孔 (径 20 mm, 2 m 間隔で設けた) を通じて行った。完成した装置の 2.5 m, 5.0 m, 10.0 m 及び 15.0 m 測定地点に、採水用及び圧力水頭測定用のガラスフィルタ (各 10 mm 径) 及び酸化還元電位測定電極 (径 20 mm) をセットした。また、地温測定は圧力水頭測定孔と酸化還元電位測定孔のほぼ中間部 (深度は作上中央部と心土層中央部を目安にした) に設けた。土壌空気の成分変動の測定には、心土層の中央部に設けたゴム栓付き三方活栓 (吸気孔として利用) を用いた。開放浸透層への通気孔は、大気開放面側 (装置の一端) の心土層に径 10 mm の孔を 9 個設け、この地点より空気が水平に疎通可能とした。実験開始は、装置完成後に装置内を満水し漏水がないことを確認した後とした。装置は、ガラス室内に作製した。ガラス窓は、夏期には外気温に近づけるように常時開放とし、冬期には凍害防止のため閉鎖した。

2.1.2 成層水田 成層水田の模型は 4 層構成とし、下層から作製した。作上層及びスキ床層は各層厚 10 cm (黒泥土使用)、心土層は層厚 35 cm (径 5 mm の礫使用) とした。心土層の下には砂を使用し、心土層の支持層 (層厚 10 cm) を設けた。

各層の作製は、0.5-1 m 間隔に仕切板 (2 mm 厚) を入れ、区間内の密度が一定になるように行った。各層の実験終了後の乾燥密度は、作土層で 0.69 Mg/m^3 、スキ床層で 0.79 Mg/m^3 、心土層で 1.57 Mg/m^3 、砂層で 1.44 Mg/m^3 であった。

なお、装置及び成層水田の作製方法等の詳細は前報 (佐々木ら, 2000) に示した。

2.2 供試試料及び測定項目

2.2.1 供試試料 供試試料は仙台市若林区の水田作土及び宮城県を流れる白石川産のものを用いた。水田土壌の採取地区は、泥炭地帯であり、作土層はこの分解が進んだ黒泥土である。なお、供試試料の理化学性一覧は、前報 (佐々木ら, 2000) に示した。

2.2.2 測定項目 測定項目は、各層内の圧力水頭、

酸化還元電位 (Eh)、土壌空気の酸素濃度及び二酸化炭素濃度、降下浸透水の鉄 (Fe)、マンガン (Mn) である。水温、地温及び日減水深も併せて測定した。これらの測定は、実験開始 1 年目は水稲無作付け、2 年目は水稲 (品種: ササニシキ, 株間 25 cm, 成苗, 一株 3 本植え) を作付け (6 月 17 日) した条件下で行った。また、実験 1 年目は施肥しなかったが 2 年目は元肥のみ施用した。窒素 (硫酸), リン酸 (過リン酸石灰), カリウム (塩化加里) を成分量で 5 g/m^2 相当量ずつ秤取りし、作土と混合した。各測定は、大気開放面から 2.5 m, 5.0 m, 10.0 m 及び 15.0 m 地点とした。

2.3 測定方法

土壌空気の濃度測定は、土壌空気採取位置の三方活栓から注射器で 10 mL 採取後これを捨て、再度 50 mL の空気を採取して行った。酸素濃度は、佐々木らの水置換法 (1998) で実施した。酸素濃度の測定は、DO メータ (本体: UC-12 型, 電極: UC-203 型, セントラル科学社製) を用いた。二酸化炭素濃度は、真空法ガス採取器 (AP-1 型, 光明理化学工業製) と検知管 (SH 型, 北川産業製) を用いて実施した。

各層内の圧力水頭測定には、ガラスフィルタとマンメータ装置を用いた。採水は、採水ガラス管に接続したエクステンションチューブの位置を上下させ、一定吸引圧で実施した。水質分析は、採水ガラス管内を土壤水が満水後、採水ガラス管を取り外し直ちに実施した。圧力水頭測定及び採水の位置は、地表面下 2.5 cm, 7.5 cm, 12.5 cm, 17.5 cm, 25 cm, 35 cm, 45 cm の 7 ヶ所及び湛水とした。

Eh の測定は、ガラス電極からの液絡開始後 15~30 分経過後に行った。測定深は、採水及び圧力水頭測定位置と同じ深さとした。使用機械は、pH/ORP メータ (本体: UC-23 型, 電極: UC-702 型, セントラル科学社製) である。なお、測定方法等の詳細は既報 (佐々木, 1992) を参照されたい。

降下浸透水の鉄 (Fe) 及びマンガン (Mn) の分析は、原子吸光法で実施した。使用した機械は、原子吸光炎光共用分析装置 (日本ジャーレル・アッシュ (株), AA-855 型) である。

水温、地温 (地表面下 5 cm および 35 cm) の測定は、自記計を用いた。日減水深の測定は、ノギスの深さゲージで水面までの距離を測定し行った。得られた結果はほぼ 10 mm/d 前後となった。

圧力水頭、Eh の測定及び土壌溶液の測定は週 1 回の目安で実施した。土壌空気の測定は、月 2 回とし、吸引による土壌空気の移動を最小限になるようにした。実験は 1994 年 12 月~1996 年 12 月の 2 年間実施した。

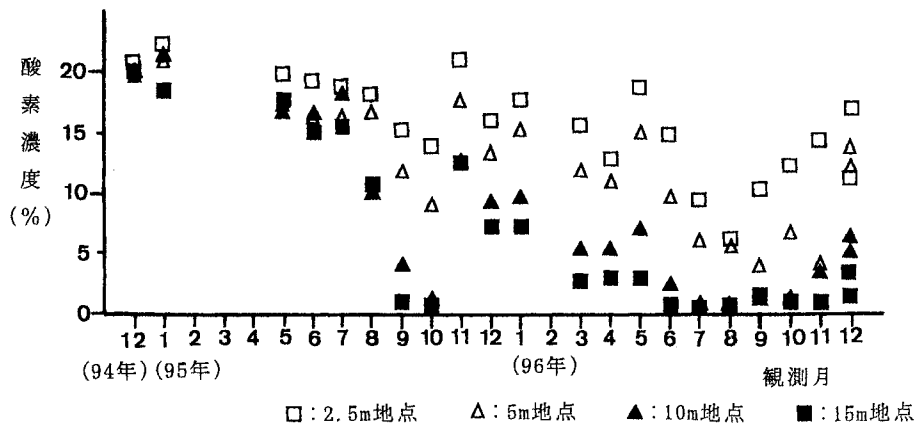


図-1 土壌空気の酸素濃度

Fig. 1 Oxygen concentration in soil air

3. 結果および考察

3.1 圧力水頭分布と浸透型

圧力水頭分布は、2年間とも4測定地点で類似した傾向となった。それ故、ここでは2.5m測定地点の圧力水頭分布についてのみ詳細に述べることにする。同測定地点の作土層は、正圧でかつ45度勾配の圧力水頭分布となったが、スキ床層上部では正圧、下部は負圧(-3cm前後)となり、スキ床層でポテンシャルロスの発生が確認された。心土層の圧力水頭は負圧の-3cm前後で、同層の限界負圧-1.5cmより低い圧となった。それ故、心土層は開放浸透層と判断された。ただし、スキ床層下部は2.5m測定地点以外は正圧となった。従って、作土・スキ床層は閉鎖浸透、心土層は開放浸透となる条件がほぼ15m区間で形成されていたと判断した。

3.2 酸素濃度

実験開始当初は、心土層の4測定地点の濃度は20%前後とほぼ大気と同じ値となった(図-1参照)。その後各測定地点の値は徐々に低下し、1995年10月頃に最小値を示した。10月以降は再び上昇傾向が見られた。2年目も、徐々に値が低下し、1996年8月頃に最小値を示した後、再び上昇傾向を示した。この変動パターンは、季節的な地温の変動と連動した傾向である。つまり、微生物の酸素消費に適した地温の時期には水平方向からの酸素供給量を消費量が凌駕し酸素濃度が低下する。しかし、地温が低下し微生物活動が低下してくると酸素供給量が消費量を上回り、酸素濃度が上昇すると推察される。いずれにしても、心土層内の濃度は酸素消費(微生物による消費が主体)と供給(酸素拡散)のどちらの量が大きいかで増減が決まると考えられる。

2年間の酸素濃度の変動範囲は、2.5m測定地点で7~21%、5.0m測定地点で3~21%、10.0m測定地点で1~21%、15.0m測定地点で0.1~21%となった。大気開放面からの疎通距離が大きくなるに従い、その濃度が低下する傾向が認められた。1995年の10月以降の酸素濃度は、大気開放面からの距離が近いところほど早く上昇することを示している。一方、10.0m及び15.0m測定地点の値の上昇は10%前後と他の2測定地点の値に比べ低くなった。この値から酸素消費が開始されるならば、夏期には濃度上昇が大気値に近い2.5m及び5.0m測定地点の値より低下すると予想された。10.0m測定地点及び15.0m測定地点の値は、このことを反映し、1996年の7~10月の4ヶ月間は2%以下に低下した。この酸素濃度の低い期間は、1年目に比べ長くなった。また、その他の2測定地点も1年目に比べ全体的に低い値が観測された。この原因には、稲の作付けによる根の吸収及び施肥による微生物の増殖による呼吸量の増大も加味されていると考えられる。

1996年は11月20日から落水し、田面からの蒸発を可能とした。亀裂が発生して4測定地点の酸素濃度が同一となるか、あるいは田面乾燥が進み、心土層内の水分減少分の酸素の吸入が水平方向から発生するかどうかを知るために落水を実施した。得られた12月のEh値(詳細は後述する)は、作土層が酸化層(450mV)となるがスキ床層下部は約-100mVと還元的であり、上方からの酸素供給は困難であったと推測される。しかし、心土層における酸素濃度は、各測定地点とも2%ほどの上昇傾向がみられた。図-1の12月の値が各測点とも2個あるが、値の大きい方が乾燥が進んだ後の値である。乾燥による水平方向からの空気の吸い込み現象は、酸素濃度の

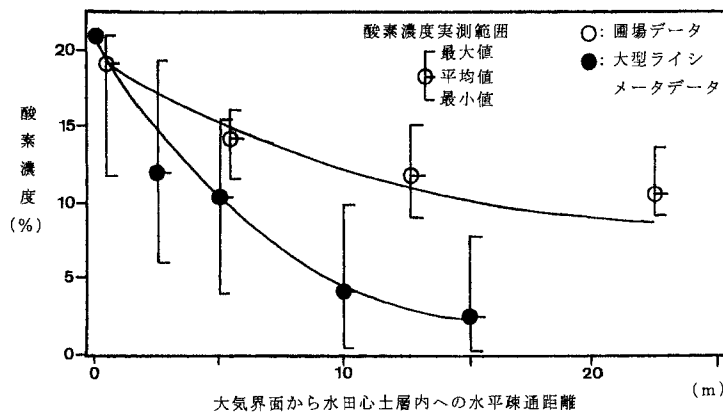


図-2 土壌空気酸素拡散による濃度分布の計算
(G.S. Campbell のプログラム使用)

Fig. 2 Example of computing oxygen concentration in soil air
(with G.S. Campbell's program)

増大をもたらすことが佐々木・徳永の圃場研究 (1998) でも確認されている。10.0 mあるいは15.0 m測定地点への空気の水平移動は、より大気開放面から近い測定地点からの空気の移動によりなされるため、急激な値の上昇は、期待できないと考えられる。もし、急激な酸素濃度の上昇を期待するならば、疎通距離が短い田面からとなるであろう。

酸素濃度とその疎通距離との関係でどのようになるかをCampbell (1987) の提案しているプログラムを用いて数値計算を試みた。得られたデータ (図-1の1996年の値のみ使用) を用いて作成したものが図-2である。間隙率が0.2、酸素消費は $2.08 \times 10^{-6} \text{ gm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ で一定として計算したものである。このプログラムを用いて圃場研究のデータの数値計算したもの (間隙率0.2、酸素消費量 $2.20 \times 10^{-7} \text{ gm}^{-3} \text{ s}^{-1}$) も併せて記載した (佐々木・徳永, 1998)。精度をどの程度に設定するかによるが、かなり近似した値が試算されていると判断した。圃場の値に比べ、短い距離で酸素濃度が著しく低下した原因は、ガラス室内での実験のため温度が比較的高く、また黒泥土からの降下浸透水への基質供給量が多く、微生物活動が高かったためと推測される。

以上のように、酸素濃度は大気からの疎通距離が長くなるにつれて低下し、かつ季節的周年変動をもつことが明らかとなった。

3.3 二酸化炭素濃度

二酸化炭素は、土壌微生物が酸素を消費し二酸化炭素を排出することにより存在すること、また二酸化炭素が水に良く溶ける性質をもつこと (長谷川, 1998) などが知られている。得られたデータ (図-3参照) を概観する

ならば、土中の二酸化炭素は1年目も2年目も9月頃に最大値を示し、1~2月頃に最小値を示す周年変動がみられた。この変動は、酸素濃度とは逆の傾向である。それ故、酸素が二酸化炭素に置換され、土壌空气中に放出される傾向にあることが推測される。

二酸化炭素濃度の変動範囲は、2.5 m測定地点では0.05~7%、5.0 m測定地点で0.2~11%、10.0 m測定地点で0.2~12%、15.0 m測定地点で0.2~15%となった。二酸化炭素濃度の最大値は、大気疎通距離の増加につれて大きくなる傾向があった。1年目も2年目も周年最小値はほぼ2.5 m測定地点、最大値はほぼ15.0 m測定地点となった。5.0 m測定地点及び10.0 m測定地点の濃度差はあまり明瞭とはならなかったが、10.0 m測定地点の方がやや高めであった。しかし、1996年の2月頃は、その差はあまり明瞭とならなかった。この現象は、低温のため土壌微生物の活動が低下し、かつ二酸化炭素の溶解度が高まったことが一因と考えられる。1996年10月からの各測定地点の濃度低下を見るならば、明らかに2.5 m、5.0 mと大気開放面から近い場所ほど二酸化炭素濃度の低下が速やかであった。空気の拡散距離が短いことが、このように変動の遅速を生み出しているものと考えられる。即ち、空気の拡散距離の短い方がより早く、より多くの空気を供給することができ、それが酸素濃度を高め、二酸化炭素濃度を低下させているものと推測される。同じような傾向は、佐々木・徳永 (1998) の圃場研究でも畔から水田内へ5 mほど入った測定地点 (心土層) では確認されている。

酸素が消費され相当量の二酸化炭素が放出されるので、その合計は21%になること (相補性という) (遅沢

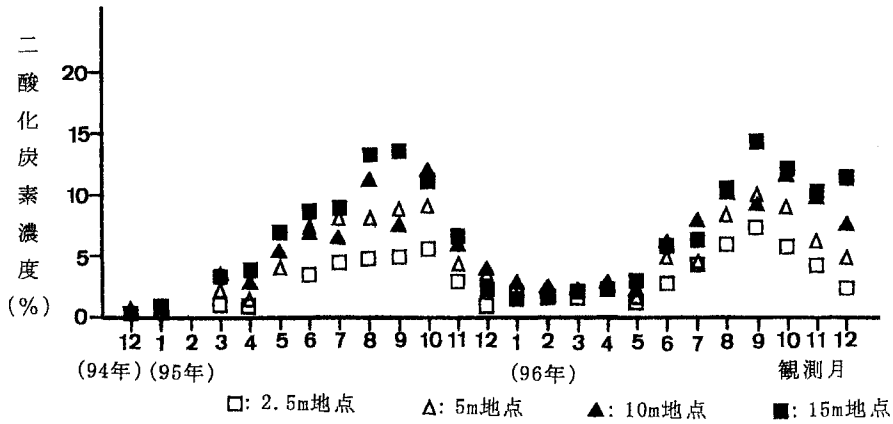


図-3 土壌空気中の二酸化炭素濃度

Fig. 3 Carbon dioxide concentration in soil air

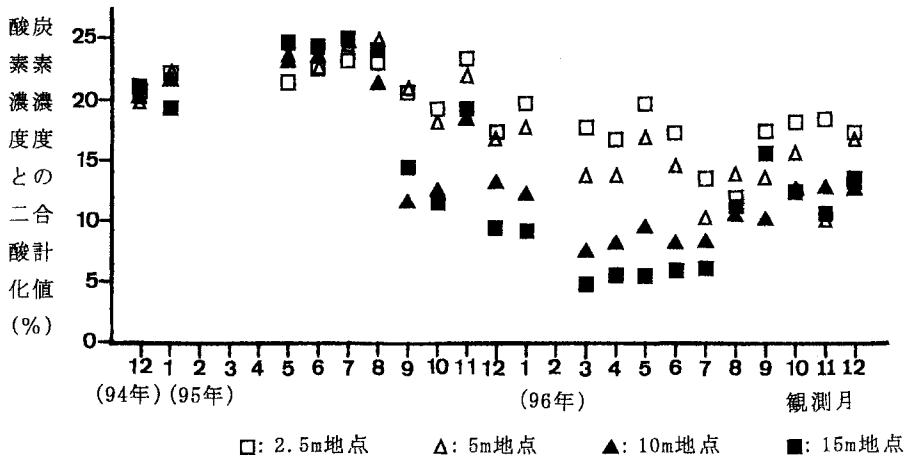


図-4 酸素と二酸化炭素の合計値

Fig. 4 Total concentration of oxygen and carbon in soil air

ら、1989) が指摘されている。今回のデータを酸素と二酸化炭素の合計値として表現したものが図-4である。2.5m 測定地点は21%に近い傾向であるとみられるが、2年目になると10.0 m及び15.0 m 測定地点は、明らかに合計値が21%に比べて低い値となった。この原因は、酸素の消費量に対応した二酸化炭素濃度の上昇現象が発生しなかったためである。二酸化炭素は地温の低下に伴い土壌水への溶解度を増し、かつ流去したため、酸素と二酸化炭素の合計値が21%に上昇できなかったものと推測される。詳細については今後の課題である。ただし、初期の値が21%を越えているのは測定誤差によると思われる。

以上の結果より、二酸化炭素濃度は酸素濃度と逆の周年変動をもち、かつ大気疎通距離が長くなるに従い二酸化炭素濃度を高める傾向が認められた。相補性は、大気疎通距離が2.5m 測定地点では認められるが、それ以上の疎通距離では傾向が明確とはならないと判断された。

3.4 Eh, Fe 及び Mn 濃度

土中の酸素の消長がもたらす影響としては、土層の Eh 及び降下浸透水中の Fe・Mn 濃度の変動が考えられる。

3.4.1 Eh 変動 土層中の Eh は、酸素量あるいは酸化物により規定される。今回の実験で酸素濃度変動は、酸化還元電位にどのような影響をもたらしたかをみ

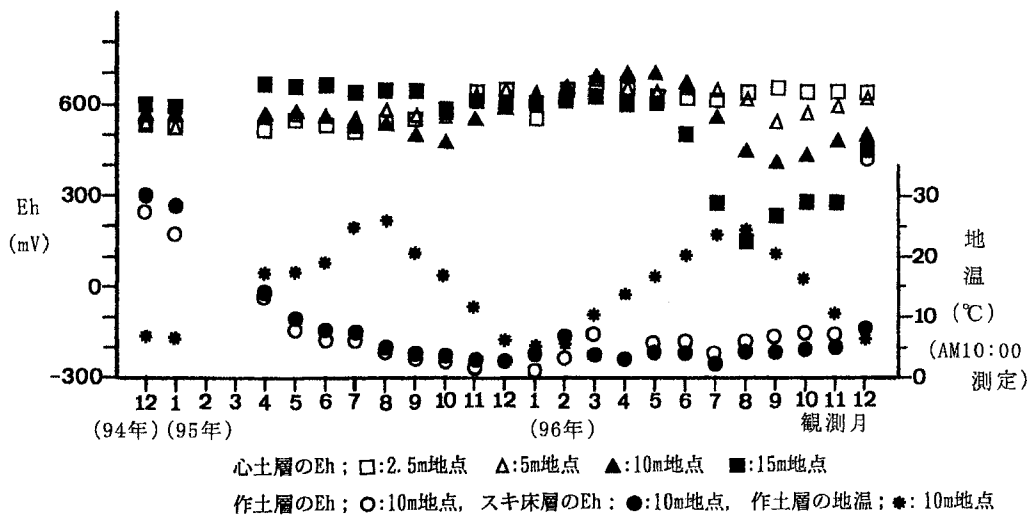


図-5 Ehの経時変化と地温

Fig. 5 Change of Eh values and soil temperature

るため、図-5に全測定地点の心土層(35 cm深)及び10.0 m測定地点の作土層(7.5 cm深)及びスキ床層(17.5 cm)のEhの経時変化を示した。

4測定地点の心土層のEh値は、実験開始から1996年5月までいづれの測定地点も500 mV以上の酸化的状態を示した。しかし詳細にみるならば、10.0 m測定地点及び15.0 m測定地点の1995年10月の値は若干低下傾向を示した。この時の酸素濃度は、2%以下となっていた。土壌の還元化が始まる酸素濃度の上限は2%であると言われている(Kohnke, 1968)ことを裏付ける結果と推測される。

1996年6月以降のEh値は、2.5 m測定地点を除いていづれも低下傾向が認められた。15.0 m測定地点は6月からEh値が低下し始め8月に最低値を示し、その後類似した値(200 mV台)で11月まで経過した。この時の酸素濃度は6月に2%以下となり11月まで同様な値で経過した。12月には酸素濃度が2%以上となり、これに対応しEh値が増加した。同様に、10.0 m測定地点のEh値も酸素濃度が2%以下となる7月頃からEh値が低下したが、15.0 m測定地点よりは少し高い値(400 mV付近)で10月まで経過し、その後酸素濃度が2%を越えるとEh値の上昇が認められた。最低値が15.0 m測定地点より下がらなかった原因は、15.0 m測定地点に比べ酸素濃度が高い傾向にあったためと考えられる。また、今回は5.0 m測定地点の酸素濃度が3%台となってもEh値の低下が確認された。しかし、Eh値の低下は小さく、酸化状態のままである。たとえ3~5%の濃度を維持

できても低濃度の期間が3ヶ月にも及ぶ場合はEhの低下をもたらすと推察される。

なお、閉鎖浸透層である作土層及びスキ床層(他の測定地点でも同様な値であったので10.0 m測定地点の値のみを示した。)は周年還元状態を呈する結果となった。

3.4.2 Fe及びMn濃度 降下浸透水中のFe及びMn濃度は、Ehの値に対応しその溶解性を変える。Mnは400 mV付近から、鉄は200 mV付近からそれぞれ溶解し始めることが知られている(長谷川, 1998)。この値から判断し、15.0 m測定地点のFe濃度は何らかの影響を受ける可能性が考えられる。1996年の10月の測定値は、それ以前の浸透水中の濃度である1 mg/L未滿から9.5 mg/Lに増大した。同様に、Mn濃度も11月にはそれ以前までの0.5 mg/L以下という値の6倍を越える3.7 mg/Lとなった。しかし、10.0 m測定地点は、FeもMnもはっきりとした検出は確認されなかった。

上記の現象をもとに、以下のように考察した。30 a区画の水田中央部において、鉄の集積層は夏期には一部溶解移動を開始するかもしれないが、地温の低下に伴って再び心土層上部で集積が発生すると推測される。水路及び排水路の法面から水平方向に大気疎通が可能であれば、10.0 m測定地点まで集積現象は周年継続されると考えられる。暗渠管が100 m×30 m区画の水田に3本とした標準施工であれば、暗渠管の間隔は10 m程度となる。この暗渠管から層内へ水平方向に大気疎通が発生するならば大気疎通距離は5 m程度(隣接暗渠管の中心までの距離)となり、心土層への酸素供給も十分に進み酸化層

を周年維持できると思われる。それ故、鉄の集積を水田心土層で全面に発生させる可能性が高いと予想される。

以上の結果より、開放浸透条件下の心土層中の酸素及び二酸化炭素の増減は明らかに周年変動し、酸素濃度の低下は Eh の低下、ひいては Fe 及び Mn の動態に影響を及ぼしていることが確認された。

4. ま と め

本研究は、開放浸透層をもつ成層水田の心土層における気相成分変動を調査する目的で実施した。そのため大型ライシメータ(幅 30 cm×高さ 70 cm×長さ 15 m)を用い、水田周囲から中央部までの開放浸透層内の酸素濃度及び二酸化炭素濃度の変動を想定した実験を試みた。また、その影響が強く現れると考えられる Eh 及び Fe、Mn についての調査も併せて実施した。成層水田は周年湛水状態とし、心土層への通気は水平方向からという条件で、かつ 1 年目は無植生環境で、2 年目は稲を植えた条件下で実験をした。

大気開放面(畦法面を想定)から 2.5 m, 5.0 m, 10.0 m 及び 15.0 m の各測定地点で測定した酸素濃度は、大気疎通距離が長くなるに従い濃度が低下した。また、夏期には濃度が低下し、冬期には濃度が上昇するという周年変化が 2 年間確認された。二酸化炭素濃度は、酸素とは逆に大気との疎通距離が長くなるに従って上昇した。また、夏期には濃度が上昇し、冬期には低下するという周年変動が認められた。相補性は、2.5 m 測定地点では確認されたがその他の 3 測定地点では明瞭とはならなかった。

10.0 m 測定地点及び 15.0 m 測定地点の Eh 値は、酸素濃度が 2% に低下するより低下し始めることが確認された。また、Eh の値が低下した 15.0 m 測定地点では、降下浸透水中に Fe 及び Mn の明確な検出がなされた。

一方、水稻根はスキ床層を貫通して心土層まで伸びて

いることが観察された。心土層の根は白く生気を帯びていたが、生育収量調査の結果からは心土層のガス成分が特に影響を与えているとは確認できなかった。

本装置を用いることにより、地下水位が高く(80 cm 程度で)、開放浸透層厚が 40 cm 弱の乾田での開放浸透層内の気相成分、その他の物質動態の一端が明らかとなった。今後は開放浸透層の試料を変えて変動範囲等を検証したい。

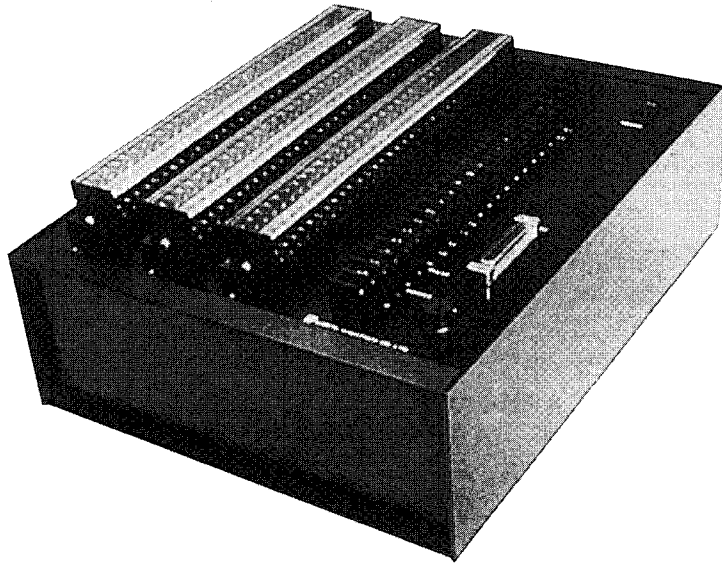
引用文献

- G. S. Campbell, (中野政詩, 東山勇監修) (1987): パソコンで学ぶ土の物理学, pp. 12~24, 鹿島出版会, 東京.
- 長谷川周一(環境土壌学編集委員会編) (1998): 豊かな土づくりを目指して一環境土壌学一, pp. 30~35, 農業土木学会, 東京.
- Kohnke, H. (1968): Soil Physics, McGraw-Hill Book Company, pp. 160~170, New York.
- 遅沢省子・久保田徹・宮崎 毅・中野政詩 (1989): 土の物質移動学(その 8), 農土誌, 57 (2): 55~62.
- 佐々木長市 (1992): 成層モデル土柱における開放・閉鎖浸透水の DO 値について, 農土論集, 159: 65~71.
- 佐々木長市 (1994): 成層砂礫水田の浸透型が物質の移動集積に及ぼす影響, 農土論集, 172: 9~16.
- 佐々木長市・徳永光一 (1998): 火山灰地水田における開放浸透層内の気相成分の変動, 農土論集, 195: 1~10.
- 佐々木長市・小関 恭・富田道久・小黒仁司・谷口 建 (2000): 大型ライシメータを用いた成層水田の物質動態, 土壌の物理性, 85: 3~11.

受稿年月日: 1999 年 10 月 5 日

受理年月日: 2000 年 4 月 24 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・降雨パルス入力が1ヶ付いています

12Vバッテリー動作

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

ネットワーク

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

マイナス温度に強いマシン

-25℃~45℃動作機器は標準 -40℃から動作機器も出荷します

ロガーの機能を高める演算機能

専用演算回路による平均 積算 ピーク 敷きい値積算 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

〒062-0001 札幌市豊平区美園1条8丁目1-28

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

Soil Characteristics, Farming System and Conservation Strategies in the Sloping Volcanic Areas in Indonesia

MASTUR*, Hajime NARIOKA**, Makoto ANASE*** and Rokuro YASUTOMI***

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

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

*** Tokyo University of Agriculture, 1-1-1 Sakuragaoka, Setagaya-ku 156-8502, Japan

Abstract

Volcanic soil can be easily degraded under natural conditions or when subjected to human activities. A research was conducted in Java and Bali islands in Indonesia to determine the relationship between soil characteristics, farming system and conservation strategies in highland volcanic areas. The volcanic soils in the research areas were found to have high fertility but low organic matter content. Also, soils with high clay content tend to have low erodibility. On other hand, low clay content, low cation exchange capacity (CEC), low liquid limit (LL) and low plasticity limit (PL) are associated with high soil erodibility.

The common farming systems in the research areas are growing vegetables and raising livestock. Multiple cropping is the predominant system as exemplified by relay cropping, sequential cropping and intercropping.

To control soil erosion, both agronomic and mechanical measures are practiced. Farmland agroforestry and a combination of "Taungya" and multistory agroforestry are common agronomic control strategies while vertical ridges with grass strips and bench terracing, especially on steep locations are the mechanical measures widely adopted. The attainment of effective soil erosion control and increased land productivity largely depend on the establishment of appropriate measures and conservation strategies.

Key words : farming systems, conservation, agroforestry, erodibility, Indonesia

Introduction

Volcanic soils are widely spread along the axes of Java, Bali and other islands in Indonesia. The main soil types in the volcanic areas of Indonesia are Andosol, Regosol, Brown Forest soil and Latosol (Tan, 1965; Soeprahandjo, 1976; Subagjo, 1993). Land use types are forest plantation, agroforestry, upland and paddy fields.

The volcanic areas of Indonesia are usually considered fragile agroecosystem due to sloping topography, high precipitation, high soil

erodibility, and inappropriate land use management (Carson, 1989; Kurnia, 1996). In the volcanic area of Citanduy watershed in West Java for example, Kalo (1989) estimated the rate of soil erosion from 7 mm to 10 mm/year due to poor management. Other reports revealed that the volcanic area close to Mt. Bromo in East Java has an annual soil erosion rate of 200 t/ha/year (Carson, 1989).

To provide a more effective erosion control measure and conserve the soil, a combination of mechanical and agronomic approaches is necessary. Terracing (mechanical) such as

those constructed in a watershed in Java island (Juliardi, *et al.*, 1989; Sembiring, *et al.*, 1990) can be in combination with agronomic measures such as agroforestry or suitable cropping patterns. Doing these, soil physical properties and fertility can be improved.

This research aimed to study soil characteristics, farming system and conservation strategies on the highland volcanic areas in Java and Bali islands, Indonesia. Soil characteristics and other factors such as topography and climate were considered as the main factors that would influence the appropriate farming system as well as the soil conservation strategy. Sustainable farming system can be achieved by minimizing soil erosion and maintaining crop productivity.

Materials and Methods

The research was conducted in several areas in Indonesia which included Loji village, Cianjur, West Java, Bendosari and Ngadas villages, Malang, East Java and Pancasari village, Buleleng, Bali. Table 1 and Fig. 1 show the geographical position of the research sites.

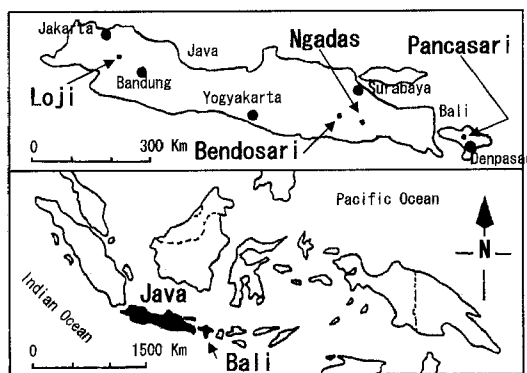


Fig. 1 Map of the study sites.

To determine the different soil characteristics in the sites, soil sampling and analysis of the physical and chemical properties were done at the Center for Soil and Agroclimate Research (CSAR) in Indonesia and at the Laboratory of Soil Environment, NODAI Research Institute (NRI) of Tokyo University of Agriculture in Japan. Also, field observation, field interview and secondary data collection helped the researchers in ascertaining and understanding the farming system and conservation strategies being practiced by the farmers in the area.

Results and Discussions

Rainfall Patterns

Based on the agro-climatic classification by Oldeman (1975) and Oldeman *et al.* (1980), the villages of Loji and Ngadas belong to the B-1 precipitation type having 7~9 wet months (over 200 mm/month) and less than 2 dry months (under 100 mm/month). On the other hand, Bendosari and Pancasari villages are under the C-2 type which is characterized by 5 or 6 wet months and 2~4 dry months.

In relation to precipitation, base saturation and pH of soils are decreased because cations are leached down the soil profile by percolating water usually brought about by high rates of precipitation.

Soil Characteristics

Generally, volcanic ash soils have higher available water, porosity, saturated hydraulic conductivity, saturated water content and water-holding capacity than non-volcanic soil with similar texture. However, the permanent wilting point of volcanic ash soil is low. Tables 2 and 3 show the chemical and physical

Table 1 Location and geographical position of the study areas.

Village	District	Province	Altitude (m)	Latitude	Longitude
Loji	Cianjur	West Java	1,100	S 6° 40' 33"	E 107° 02' 14"
Bendosari	Malang	East Java	910	S 7° 52' 13"	E 112° 25' 13"
Ngadas	Malang	East Java	2,090	S 7° 59' 05"	E 112° 54' 55"
Pancasari	Buleleng	Bali	255	S 8° 15' 37"	E 115° 81' 53"

Table 2 Chemical characteristics of the soils in the study areas.

Location (Village)	Base Saturation (BS, %)	pH		Organic Carbon (%)	Bases (cmol/kg)					CEC (cmol/kg)
		H ₂ O	KCl		Ca	Mg	K	Na	Total	
Loji	25	4.5	4.0	3.04	3.75	0.63	0.61	0.31	5.28	21.15
Bendosari	67	5.6	4.7	2.10	10.86	2.24	0.74	0.06	13.90	20.75
Ngadas	47	5.4	5.0	2.41	5.29	0.55	0.25	0.087	6.16	13.10
Pancasari	69	5.7	5.1	2.32	7.98	1.89	0.98	0.15	10.94	15.86

Table 3 Physical characteristics of the soils in the study areas.

Location (Village)	Water content (% _v)				Hydraulic Conductivity (Ks, cm/s)	Texture	Color	Dispersion Ratio (DR, %)	Specific Gravity (Gs)	Bulk Density (ρ_b , g/cm ³)
	1 kPa	10 kPa	2 kPa	1.5 MPa						
Loji	44.6	38.9	35.0	21.4	1.75×10^{-2}	Light Clay	5YR 4/4	2.60	2.59	0.71
Bendosari	43.8	38.1	33.5	22.8	2.25×10^{-2}	Light Clay	5YR 4/3	6.63	2.65	1.01
Ngadas	45.3	34.6	30.2	13.2	3.78×10^{-3}	Sandy Loam	10YR 3/3	49.62	2.58	0.79
Pancasari	45.8	40.1	35.5	14.6	3.29×10^{-3}	Loam	5YR 5/4	36.29	2.66	0.89

properties, respectively, of the soils in the different study sites.

Soil type is strongly affected by volcanic ash and tuff materials. The predominant soil type in the research sites is Andosol, however, in Bendosari and Pancasari villages, some sites were found to have Regosol. Basically, Andosols have low bulk density and specific gravity (Gs) but high porosity (Narioka and Komamura, 1995). The granular structure of volcanic ash soils resulting from the interaction between organic matter and allophane is the reason for the high porosity and low bulk density of such soils. On the other hand, Regosols have higher bulk density and the effect of allophane is limited (Soepraptohardjo, 1976).

As regards soil texture, soils from Loji and Bendosari are light clay, although the Loji soil has more clay and silt and the Bendosari soil have slightly higher coarse sand particles. Ngadas has sandy loam while Pancasari is more of loam but coarse sand, very fine sand and silt particles also predominate.

Organic matter content of soils from Java and Bali is lower compared to the volcanic ash found in the Kanto loam from Japan (Tada, *et al.* 1966). This is a result of a faster organic

matter decomposition in tropical areas brought about by relatively high daily air temperature.

High rates of organic matter decomposition can also be visually distinguished through the soil color. In the research areas, soil color is generally brown to dull reddish brown such as in the village of Loji. In comparison, the temperate volcanic ash soils have darker color and higher water content. Mitchell (1993) also found out that organic matter promotes high cation exchange capacity (CEC) and has a significant influence on soil plasticity. As such, soils with high CEC normally has high plasticity (Fig. 2). Organic matter and clay content contribute significantly to high water retention. Affinity of the clay to water also depends upon CEC and type of clay mineral. Smectite and allophane, for example, have higher water retention and CEC than sesquioxide and kaolinite.

Soils with high CEC can keep the nutrients from leaching and can supply more nutrients to crops. The problem of nutrient leaching is common on coarse-textured soils and those with high percolation rates as in Ngadas and Pancasari. In these areas, the application of soluble fertilizer, such as ammonium and potassium should take into account the rate of

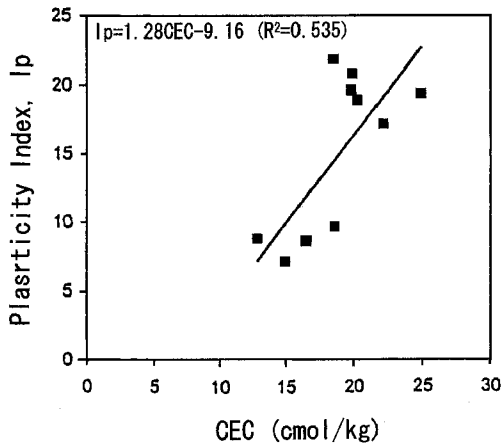


Fig. 2 Correlation between plasticity index and CEC of the soils from Loji, Bendosari and Pancasari.

nutrient leaching. In terms of fertility, soils from Bendosari are the most fertile due to high organic matter content, high CEC and high base saturation, especially Ca and Mg. Pancasari soil is high in K. Soils from Ngadas and Loji have low to moderate base saturation.

The trend in base saturation of the soils is similar to pH. Loji and Ngadas soils have higher acidity (lower pH) than those from Bendosari and Pancasari.

Consistency of the volcanic ash soils would decrease with drying as a result of reduced affinity to water (Yamazaki and Takenaka, 1965). The consistency and water-holding capacity of the volcanic ash soils in Java and Bali islands are lower than those of the Kanto loam of Japan. Low clay content in soils is associated with low consistency. The high clay content of soils in Loji and Bendosari contributes to their having high liquid limit and plasticity index. In contrast, soils from Pancasari and Ngadas have low plasticity. Fig. 3 shows the plasticity chart of the soils from the different study sites.

Dispersion ratio is an important index of soil erodibility. Ghidex and Albert (1995) found a closer relationship between soil erosion and dispersion ratio of soil particles under $20\mu\text{m}$ (D_{20}) than those with $50\mu\text{m}$ size particles (D_{50}).

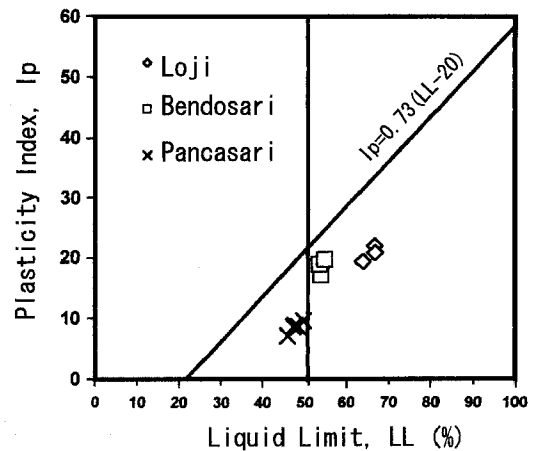


Fig. 3 Plasticity chart of the soils in Loji, Bendosari and Pancasari.

Coarse soils found in Ngadas and Pancasari have higher erodibility than the finer soils from Bendosari and Loji. The rate of soil detachment by raindrop impact is also directly affected by dispersion ratio. Fig. 4 shows the correlation between soil dispersion ratio, CEC, clay content, liquid limit and plasticity index wherein a decrease in clay content, CEC, liquid limit and plasticity index will decrease the dispersion ratio of the volcanic ash soil. They exhibit a direct relationship.

In addition to the above, surface runoff will transport soil material detached through splash erosion to the lower slope. However, even under high rainfall intensity, high infiltration capacity can diminish runoff (Morgan, 1996). During high rainfall intensity, soils with high dispersion ratio are predisposed to soil erosion. Therefore, soils from Pancasari and Ngadas are more susceptible to soil erosion.

Farming Systems

Field reconnaissance and investigations conducted revealed that vegetable production and livestock raising are the main farming systems in the highland volcanic areas in Java and Bali islands. Usually, farmers construct row ridge, double ridge and bed ridge for drainage and to improve the aeration in the vegetable produc-

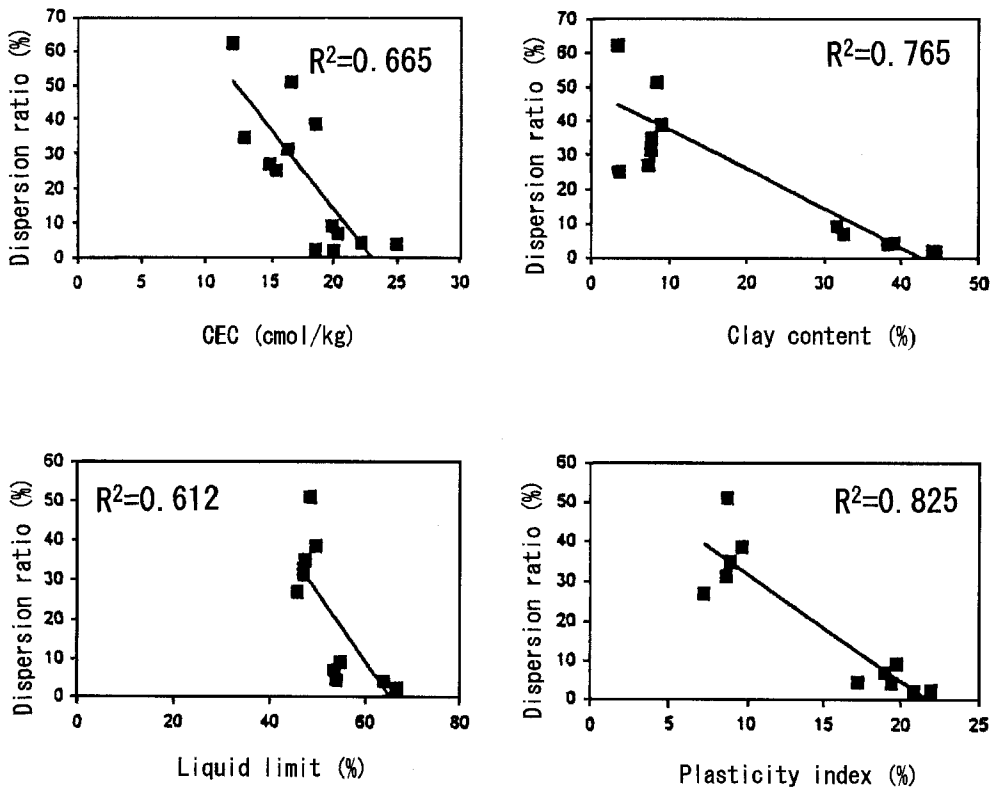


Fig. 4 Correlation between soil dispersion ratio and CEC, clay content, liquid limit and plasticity index.

tion areas. Notwithstanding, livestock is the main source of farmer's income as well as organic manure for crop production.

The farming system in the area is highly dependent on rainfall, although there is irrigation in some areas. Where the ground water is not so deep, shallow wells are constructed as irrigation source such as in farms close to Lake Bunyan located in the northwest of Pancasari. In areas with deep ground water table, small ponds are being constructed and lined with plastic material for storing irrigation water to be used later for the vegetables being grown. Farmers in Pancasari, for example, construct modified ridge-furrow system for water harvesting.

With crop production, either monoculture or multiple cropping maybe found in the study areas. In most cases, though, multiple cropping is better than monoculture cropping when

considering stability of production (Mastur, *et al.* 1995) or biological pest control (Ranert, 1996). These viewpoints were observed in the area since the vegetables are usually grown in multiple cropping system. Intercropping which is the planting of two or several crops together is the most preferred system.

Relay cropping, where there is overlap in the growing period of the crops planted, is practiced in Bendosari. Planting starts early in the rainy season to efficiently utilize soil moisture. The main vegetables grown there are shallot, cabbage, maize and carrot. Fig. 5 shows the monthly precipitation in relation to the relay cropping system in Bendosari.

In Loji, farmers grow French beans at the onset of rainy season. This is followed by cabbage and then carrot which is already towards dry season. This system is called sequential cropping system.

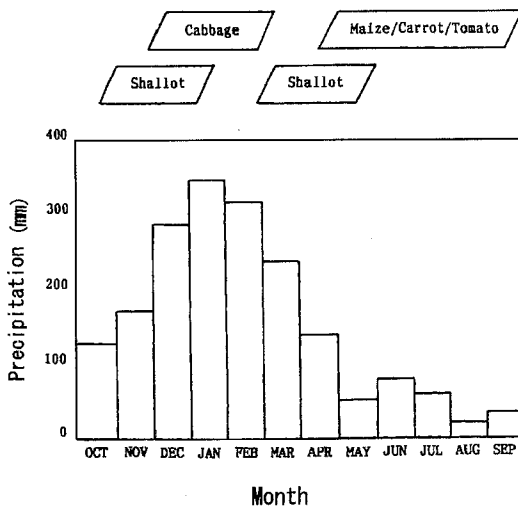


Fig. 5 Monthly precipitation and relay cropping system in Bendorari.

Ngadas farmers grow vegetables that are suitable to their soil which include garlic, potatoes, leek, cabbage and maize. Farmers in Pancasari grow almost similar kinds of vegetables.

Aside from crop production, livestock play an important role in the farming system in the study villages. Dairy farming is the main enterprise in Bendorari. The sub-district of Pujon where Bendorari village is located, is one of the important milk producers in Malang. Dairy farming is also important to the farmers in Ngadas while beef production is the major livestock enterprise in Pancasari.

To supply fodder to the livestock, farmers plant grass in the terrace embankments. They also use small areas in their farmlands for fodder production.

In general, some criteria has to be considered when determining suitable farming or cropping system that could give good benefits. These include the following :

- Suitable Climatic Condition* : The type of crops to be planted should be adapted to rainfall distribution, air temperature or photo-periodicity.
- Prevention of Soil Erosion* : Crop canopy characteristics has significant effect in protect-

ing soil surface against raindrop impact. A dense canopy is usually preferred over thin canopy. The crop factor value (C) in the Universal Soil Loss Equation (USLE) can be a useful tool to assess the effect of cropping.

c) Increasing Soil Fertility : Various crops provide different residual effects. Incorporating leguminous crops will increase soil nitrogen content (Mastur and Suhartatik, 1993 ; Sunarlim, *et al.*, 1994). Planting of cassava without adequate fertilizer supplement to the soil may deplete soil nutrient content (Pearson, *et al.*, 1995).

d) Appropriate Crop Combination : Similar plant groups or monoculture cropping may increase the population of certain pests. Therefore, incorporation of other crops can break pest cycles. In some crop combinations though, allelopathy may take place (Stoney, *et al.*, 1992).

Soil Conservation Strategies

The main soil conservation approaches in the research areas are agronomic and mechanical methods. Agronomic approach is mainly the establishment of agroforestry systems where the most widely practiced are multi-story agroforestry system, trees on farmland agroforestry and Taungya agroforestry. Agroforestry is a land use system where annual crops are planted in special pattern with trees to achieve mutual benefit. For mechanical methods, contour ridge, bench terrace and intermittent terrace are usually adopted.

Multistorey Agroforestry System

This is a system where different crops with different heights (perennial and annual) are planted on the same land. In Bendorari, for instance, a forest tree (*Agathis loranthifolia*) occupies the top canopy, followed by a fruit tree, coffee, Calliandra and grass, respectively. Fig. 6 shows the multistorey agroforestry system in Bendorari. There are two types in this system namely, home garden (Pekarangan) which is a system associated with houses and mixed garden (Kebun campuran).

The system provides a good canopy cover to the soil. Without plant canopy, raindrops will



Fig. 6 Multistorey agroforestry in Bendosari (Basic data from Perum Perhutani, 1995).

easily detach soil particles (Berliner, *et al.*, 1995). *Agathis loranthifolia*, when young, is shade-tolerant (Stoney, *et al.*, 1992). Therefore, it can combine well with other trees. Coffee, which usually occupies a middle stratum in the canopy order is also shade-tolerant (Lasco and Furoc, 1996). The grass on the riser bank of the bench terrace can be pruned for fodder.

Trees on Farmland Agroforestry

This involves planting of trees on farmland either in spots or boundaries, arranged in rows or planted along contours. The trees are good to prevent erosion, supply food and firewood and for slope stabilization.

Coniferous trees in Ngadas are planted in rows along the slope particularly at the edge of the slope ditch. These trees are well adapted to extreme high elevation up to 2,000 meters. Also, the trees have deep roots that can penetrate even up to the depth of the parent material and these can very well protect the soil from landslide (Gray and Sortir, 1996).

Taungya Agroforestry

Taunya system is the planting of annual and perennial crops together but the proportion of annual crops is reduced with time while the perennial crops gradually develop their canopy. Once the canopy of the perennials closes in, planting of annuals is gradually stopped, although shade-tolerant crops maybe planted. Without the planting of annual crops, the Taungya system will mainly be a source of fodder and fuelwood. This is also a common system in Bendosari and after about four to five years as can be seen in Fig. 7, crop production shifted from annuals to perennials such that the perennial crops or the trees become dominant in the system.

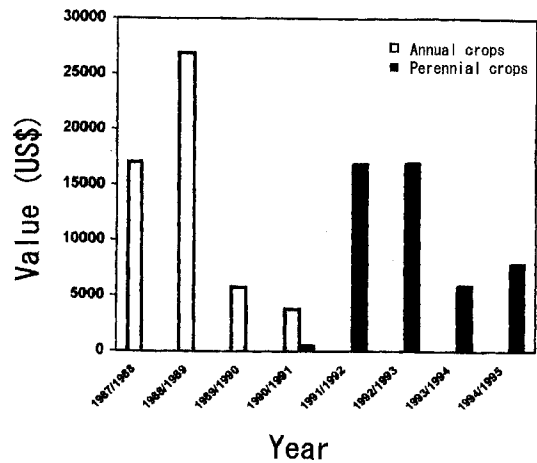


Fig. 7 Production of annual and perennial crops in Taungya agroforestry in Bendosari. (Basic data from Perum Perhutani, 1995) Note : Annual crops were maize, cabbage, shallot, carrot, chili, peanut and bean ; perennial were coffee, avocado and grass ; conversion rate for 1 US\$ was Rp. 2,000).

There are three important points to consider on the benefits of the Taungya system. First, in the initial year, the annual crops mainly protect the soil against raindrops. Secondly, the drying of the volcanic ash soil is prevented by the annual crop canopy, although water absorption by the crops also occur and in some instances may cause some soil drying. Third, the combination of annual and perennial crop increases cropping intensity which increases land productivity.

The Taungya agroforestry system in Bendosari is established under the Social Forestry Program of the Ministry of Forestry.

Bench Terracing

Soil erosion control on deep and stable soils such as in Bendosari and Pancasari can be effectively done by the construction of bench terraces. However, since the soil in Bendosari is shallower compared to that in Pancasari, the bench terraces are narrower. It is noted here that bench terrace is suitable in areas with

gentle slopes. However, bench terraces are highly recommended in steep places. Based on these cases, soil characteristics and ground slope are important to consider in terrace construction.

Contour Ridge

Under conditions where bench terracing is not suitable, contour ridge is recommended to reduce runoff velocity and control soil erosion. This is simpler to construct and also suitable for steep and unstable soils such as in Ngadas. However, according to Rosland and Hosoyamada (1992), this may not be suitable if the soil is highly erodible. On gentle slopes, Komamura and Nakamura (1996) reported that erosion from the vertical ridge and contour ridge are not significantly different. Fig. 8 illustrates the effect of runoff on vertical and horizontal (contour) ridge. Destruction of ridge may take place during excess runoff concentration on low strength soil such as in Ngadas. To control high runoff velocity, addi-

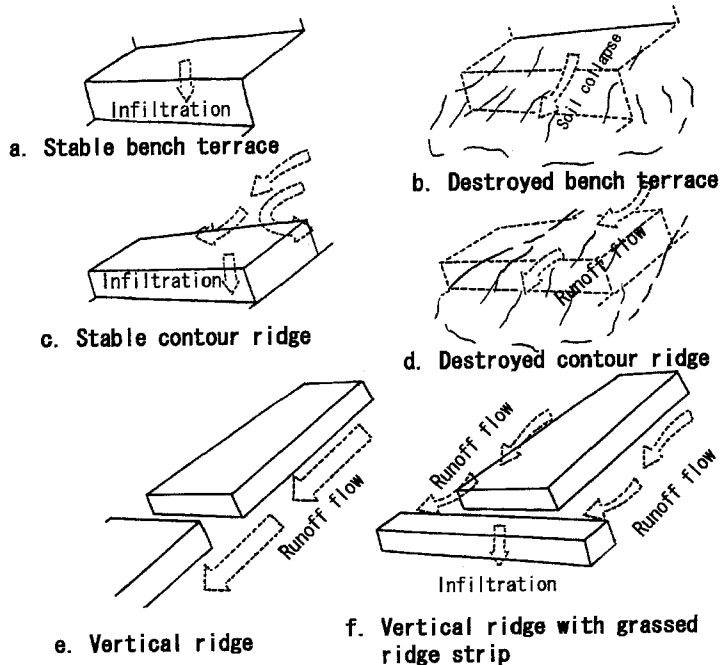


Fig. 8 Mechanical conservation strategy in relation to soil characteristics. (a and b are bench terrace on stable soil ; b and d are bench terrace on unstable soil ; e is vertical ridge only).

tional measures like grass strip planting may be established to slow down water velocity.

Conclusions

Volcanic soils in Loji and Ngadas have low base saturation, pH, Ca, Mg, K and bulk density than Bendosari and Pancasari soils. Generally, fertility of the volcanic soils is moderate to high, and the soil in Bendosari was the most fertile. Soils in Loji and Bendosari, having higher clay content, had higher CEC, plasticity and water content at 1.5 MPa (pF 4.2), but low in dispersion ratio (DR). Therefore, erodibility tends to be higher on soils with low clay content, CEC, liquid limit and plasticity.

Vegetable production on upland fields in combination with livestock farming are the main farming system in the highland volcanic areas of Java and Bali islands. Multiple cropping is preferred than monoculture. There are two main approaches to soil erosion control namely agronomic and mechanical measures. Agroforestry is practiced for soil conservation as well as improving soil environment. Boundary planting is a typical agroforestry system for Ngadas. Agroforestry types in Bendosari are a combination of Taungya and multistory with *Agathis loranthifolia* as the main tree species.

Ridges are made on the highland volcanic areas to improve soil environment and prevent soil erosion. Vertical ridge is constructed for better aeration and drainage. It is suitable on soils with extremely low clay content. The ridge should be complemented by grass strip in controlling runoff and erosion. On more stable soils such as in Loji, Bendosari and Pancasari, soil erosion can be controlled by constructing bench terraces and contour ridges. The effective cropping area when adopting bench terracing may be affected by soil depth or slope steepness. When the soil is shallow and the slope is steep, bench terraces are narrower and more frequent thus, could cause a reduction in the effective cropping area. On steeper slope, though, intermittent

terrace, platform and ditching may be incorporated with bench terraces to compensate for the limited width of the cropping area.

Acknowledgment

The authors wish to express their gratitude to Dr. Tineke Mandang, Ir. I W. Sandi Adnyana, MS, and Ir. Rully Hadiano for their cooperation during the survey. Dr. Simplicio Mendoza Medina, UPLB, Philippines, cooperated with English proofreading. Also, deep appreciation to PERHUTANI and Puslittanak (CSAR) for providing facilities in the conduct of the research.

References

- Berliner, P.R., I. Rapp, F.M. Ndaraya, and E. Imbogo (1995): The effect of intercropping and planting density on the biomass production of a runoff agroforestry system. In: Soil Moisture Control in Arid to Semi-Arid Region for Agroforestry. M. Anase and R. Yasutomi, (eds). Tokyo University of Agriculture Press, Japan. pp. 269-274.
- Carson, B. (1989): Soil conservation strategies for upland areas of Indonesia. East-West Environment and Policy Institute. Occasion paper 9: 120 p.
- Ghidey, F. and E.E. Alberts (1995): Plant root effects on soil erodibility, splash detachment, soil strength, and aggregate stability. Trans. ASAE. 40, 129-135.
- Gray, D.H. and R.B. Sortir (1996): Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: A practical guide for erosion control. John Wiley and sons, New York.
- Juliardi, I., H.M. Toha and A.M. Fagi (1989): Change of soil nutrient composition caused credit terrace in Citanduy watershed. In: Proceeding of workshop on research and development of conservation farming system in Citanduy watershed, Liggarjati 9-1 August 1988 The Upland Agriculture and Conservation Project. AARD, Salatiga. pp. 263-274. (in Indonesian with English abstract).
- Kalo, H.T. (1989): Evaluation of model farming system in upper Citanduy watershed area. In: Proceeding of workshop on research and development of conservation farming system in Citanduy watershed, Luggarjati 9-1 August 1988. The Upland Agriculture and Conserva-

- tion Project. AARD, Salatiga. pp. 45-63. (in Indonesian with English abstract).
- Komamura, M. and T. Nakamura (1996) : Soil erosion and soil conservation in the upland field reclaimed from slopes at the foot of a volcano : A research on the actual conditions in Tsumagoi District, Gunma Prefecture, Japan. In : Rehabilitation and Development of Upland and Highland Ecosystem. M. Anase, T. Mandang and R. Lasco (eds). Tokyo University of Agriculture Press, Japan. pp. 265-280.
- Kurnia, U. (1996) : Land rehabilitation and soil conservation practices on upland agriculture : A case study at Upper Citanduy watershed, Indonesia. In : Rehabilitation and Development of Upland and Highland Ecosystem. M. Anase, T. Mandang and R. Lasco (eds). Tokyo University of Agriculture Press, Japan. pp. 88-102.
- Lasco, R.D. and R.P. Furoc (1996) : Sustainable upland agriculture in the Philippines : A Multilateral Project. Proceeding of International Seminar on Development of Agribusiness and Its Impact on Agricultural Production in Southeast Asia (DABIA). Sponsored by JSPS, TUA, SAEDA and ISSAAS. pp. 73-81.
- Mastur and E. Suhartatik (1993) : Effect of N fertilizer, straw incorporation and green manure on physical and chemical characteristics of Grey Hydromorphic soil. Bull. Food Crops Res. 4, 73-81. (in Indonesian with English abstract).
- Mastur, Darmijati S., and N. Sunarlim (1995) : P and K uptake competition on soybean-maize intercropping. Unpublished BORIF Report (in Indonesian with English summary).
- Mitchell, James K. (1993) : Fundamentals of Soil Behavior, 2nd John Wiley and Sons, Inc., NY. pp. 172-189.
- Morgan R.P.C. (1996) : Soil Erosion and Conservation. Longman Group Ltd. London. pp. 9-11.
- Narioka, H. and M. Komamura (1995) : Structure properties and macropore drainage in andosol. In : Soil Moisture Control in Arid to Semi Arid Region for Agro-Forestry. M. Anase and R. Yasutomi (eds). Tokyo University of Agriculture Press, Japan. pp. 59-64.
- Oldeman, L.R. (1975) : An agro-climatic map of Java. Contr., Centr. Res. Inst. Agric. Bogor. 17. 22 p.
- Oldeman, L.R., I. Las and Muladi (1980) : The agroclimatic maps of Kalimantan, Maluku, Irian Jaya and Bali, West and East Nusatenggara. Contr. Centr. Res. Inst. Agric. Bogor. 60, 32 p.
- Pearson, C.J., D.W. Norman and J. Dixon (1995) : Sustainable dryland cropping in relation to soil productivity. FAO Soils Bulletin 72. pp. 38-89.
- Perum PERHUTANI (1995) : Social Forestry, Plot 5 C BKPJ Pujon, KPH Malang. Perum PERHUTANI UNIT II Jatim. Malang.
- Ranert, B. (1996) : Intercropping as a strategy for reducing damage to carrots caused the carrot fly *Psita rosae* (F). Bio. Agric. Hort. 13, pp. 359-369.
- Rosland Z.A. and K. Hosoyamada (1992) : Effects of soil grading and ridging with regards to soil erosion. Trans. JSIDRE. 157, pp. 17-26.
- Sembiring, H., M. Thamrin, A. Syam, A. Abdurrachman and S. Sukmana (1990) : The role of conservation farming in controlling erosion in Srimulyo, Malang, Brantas watershed. In : Proceeding of Seminar on Upland Agriculture and Soil Conservation. A. Adimihardja *et al.*, (eds). Tugu-Bogor, 11-13 January 1990. The Upland Agriculture and Conservation Project. AARD, Salatiga. pp. 27-40.
- Soepraptohardjo, M. (1976) : Soils of Indonesia. Soil Research Institute. Bogor. 20 p. (in Indonesian with English abstract).
- Stoney, C., M.Y. Mile and T. Sukandi (1992) : The role of multipurpose trees species in agroforestry system. Proceeding Seminar Agroforestry Regional Sulawesi I, 14 November 1991. Forestry Research Institute. Ujung Pandang. 33 p.
- Subagjo, H. (1993) : Characterization of Brown Forest Soils, East Java, Soil Fert. Res. J. 11, pp. 53-69. (in Indonesian with English abstract).
- Suganda, H., S. Abu Jamin, A. Dariah, and S. Sukmana (1994) : Evaluation of soil conservation techniques in vegetable farming system on Andisol in Batulawang, Pacet. Soil Fert. Res. J. 12, pp. 47-57 (in Indonesian with English abstract).
- Sunarlim, N., S. Hutami and Y. Supriati (1994) : The effect of organic matter and N residue of some legumes on corn. Agric. Res. 14, pp. 66-71. (in Indonesia with English abstract).
- Tada, A. (1965) : On the compaction curve of the Kanto Loam and its permeability 1. Trans. AESJ 13, pp. 36-40. (in Japanese with English abstract).
- Tan, K.H. (1965) : The Andosol in Indonesia. Soil Sci. 99, pp. 375-378.
- Yamazaki, F. and H. Takenaka (1965) : On the influence of air-drying on Atterberg's limit. Trans. AESJ 14, pp. 46-48 (in Japanese with English abstract).

インドネシアの火山灰傾斜地における土壌特性、農法および保全対策

マストゥル*・成岡 市**・穴瀬 眞***・安富六郎***

*インドネシア国タバコ研究所

**岡山大学環境理工学部

***東京農業大学

要 旨

火山灰土壌は、自然条件下もしくは人間活動によって容易に劣化する。また、土壌保全の方策は地域性が高く、各々の現地ですでに確立していることが多い。そこで本論では、インドネシア国ジャワ島およびバリ島の火山灰傾斜地における土壌特性、農法および保全方策の実態について検討した。

調査地域の火山灰土壌は、高い肥沃性を持つ反面、低い有機物含有量であることが明らかにされた。この場合、粘土含有量、陽イオン交換能（CEC）、液性限界（LL）および塑性限界（PL）などが低い火山灰土壌では高い受食性を持つ特徴があった。

調査地域では野菜生産や小規模の畜産が共通に見られた。このような地域では主として間作および混作が行われ、土壌侵食を制御するための農法的小および工法的手段が適切に組み合わせられ実践されていた。現地には多層的アグロフォレストリー方式があった。そこでは、たとえば急傾斜地のベンチテラス上に縦畝が作られ、さらに等高線に沿って草帯が取り入れられるというような工法的・農法的制御方法が組み合わせられていた。この例のように効果的かつ適切な土壌侵食制御が実践され、その結果土地生産性が高められるような保全方策が確立されていることが明らかとなった。

キーワード：土壌保全、受食性、農法、アグロフォレストリー、インドネシア

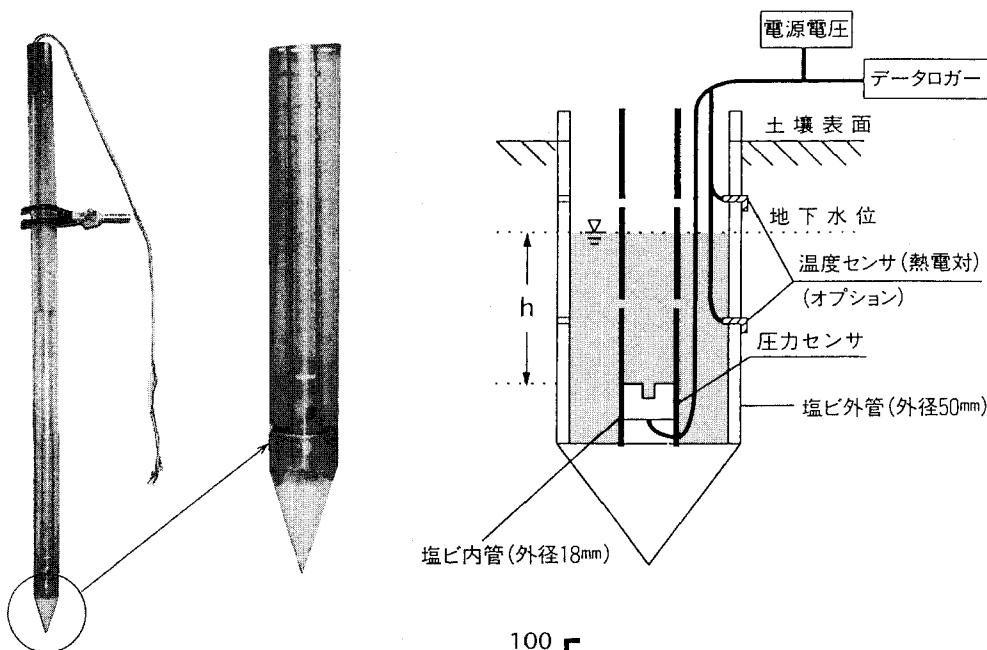
受稿年月日：1998年10月2日

受理年月日：2000年7月1日

地下水の動きを迅速かつ容易に見る

圧力センサ式地下水位メータ (EN-GW-501)

1. 構成



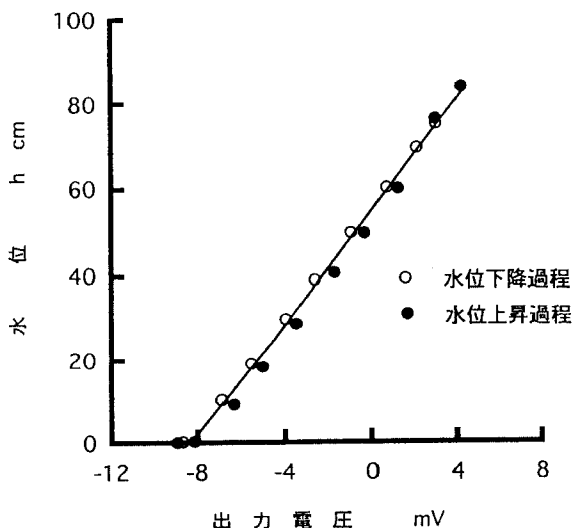
2. 圧力センサ (拡散型半導体圧力変換器)

1)仕様

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

2)特性

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



3. 地下水位メータ仕様

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

エンドウ理化

〒001-0910 札幌市北区新琴似10条7丁目3-16

☎ (011) 763-1088
FAX (011) 763-1667

十勝管内における湿性畑土壌の物理的特徴と作物生育

第1報 多湿黒ボク土の物理性とテンサイ根系

保井聖一*・丹羽勝久**・大淵清志*・菊地晃二***

Physical Characteristics and Crop Growth of Wet Upland Soils in Tokachi District

(I) Physical Properties and Root System Development of Sugar Beet of Wet Andosol

Seiichi YASUI*, Katsuhisa NIWA**, Kiyoshi OHBUCHI* and Koji KIKUCHI***

* Zukosha Co. Ltd. 17, Kita-1, Nishi-18, Obihiro, Hokkaido 080-0048, Japan

** Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, present address ; Zukosha Co. Ltd.

*** Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, 11, Nishi-2, Inada,
Obihiro, Hokkaido, 080-8555, Japan

Abstract

The productivity of Wet Andosol in Tokachi district is lower than that of Andosol in the same district. As a result, yields of sugar beet in Wet Andosol have been lower. For the purpose of clarifying the physical characteristic of these soils at present state, soil physical properties as well as the root systems of sugar beet were investigated in Wet Andosol and Andosol located in the same upland field.

1. Porosity filled with gravitational water as well as the porosity from -3.1 to -31.0 kPa of the sub-layer in Wet Andosol were remarkably lower than those of Andosol.

2. Soil water potential of Wet Andosol was kept from 0 to -13.1 kPa in layers below 45 cm for 11 days after rain-fall. On the other hand, soil water potential of Andosol was kept from -3.3 to -22.9 kPa in corresponding layers.

3. Gaseous phase ratio in Wet Andosol was kept lower than $0.03 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ in layers from 45 to 75 cm for 11 days after rain-fall, while it increased to $0.08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ in layer at 85 cm. On the other hand, the gaseous phase ratio in Andosol was kept larger than $0.18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ in layers below 45 cm during the same period.

4. Length and number of the root of sugar beet in layers below 40 cm of Wet Andosol were extremely low in latter part of July. On the other hand, root of sugar beet was developed to lower layers and more abundantly in Andosol.

5. Growth and yield of sugar beet in Wet Andosol were inferior to those in Andosol.

From the above results, the lower growth and yields of sugar beet in Wet Andosol are considered to be caused by the lower gaseous phase ratio, which resulted in the poor root development as well as the poor water absorption by root.

Key words : Wet Andosol, Sugar beet, Root system development, Porosity, Gaseous phase ratio

* 株式会社ズコーシャ・総合科学研究所 〒080-0048 北海道帯広市西18条北1丁目17番地, ** 帯広畜産大学土地資源利用学講座 (現在, 株式会社ズコーシャ・総合科学研究所),

*** 帯広畜産大学土地資源利用学講座 〒080-8555 北海道帯広市稲田町西2線11番地

キーワード: 多湿黒ボク土, テンサイ, 根系発達, 孔隙率, 気相率

1. はじめに

十勝管内の畑面積は258,000 haで、北海道の畑面積の約27%を占める(農林水産省北海道統計情報事務所, 1999)。このうち、普通畑面積は畑面積の68%を占め、主としてテンサイ、パレイショ、コムギ、マメ類が作付けられている。畑地に分布する土壌は、黒ボク土が全体の33%を占め、次いで褐色低地土(24%)、多湿黒ボク土(16%)の順で、火山性土の分布割合が大きい(北海道立中央農業試験場, 1993)。

十勝管内の火山性土は、菊地ら(1975)により、母材、水分環境、地形要因などから類型区分され、土層改良に活用するための土壌類型区分図が作成されている。また、地力保全基本調査(北海道立中央農業試験場, 1978)では、黒ボク土は化学性不良、多湿黒ボク土は理化学性不良土壌とされ、土地生産力可能性分級がⅢ等級からⅣ等級と位置づけられている。

黒ボク土および多湿黒ボク土の化学性については、菊地(1981)、西宗ら(1982a)により、酸性改良や施肥改善などが検討された。一方、物理性については、山田(1968)、田村(1968)、菊地(1981)により、有機物およびペントナイト施用による団粒化促進、土層構成に対応した土層改良方法などが策定・活用されている。

その結果、十勝管内帯広市における火山性土のテンサイ収量は1970年の約50 tha^{-1} から1980年前後の約60 tha^{-1} までに増加し、土地生産性は向上・安定してきた(菊地, 1996)。しかし、それ以降の火山性土のテンサイ収量は停滞傾向にある。また、多湿黒ボク土のテンサイ収量は、降水量の多少に関わらず黒ボク土よりも低く推移しており、特に多雨年で著しく減少する。

以上のことから、これまで多湿黒ボク土に対しては各種の土壌改良が行われてきたが、物理性改善は不十分と考えられる。

そこで、本研究では、同一圃場内で微地形による水分環境の違いで生成した黒ボク土および多湿黒ボク土を供試土壌とし、土壌の物理性およびテンサイ根系から現況の多湿黒ボク土の物理的特徴を明らかにすることを目的とした。

2. 試験方法

1) 供試圃場の土壌性状調査

a) 供試圃場

供試圃場は、圃場内に多湿黒ボク土および黒ボク土が分布する十勝管内帯広市富士町の畑圃場を用いた。本圃場は、圃場全体の栽培暦が同一で、施肥、播種、防除、収穫等の栽培管理条件は土壌タイプに関係なく均一であ

表-1 テンサイの栽培概要

Table 1 Outline of sugar beet cropping

品種	栽植密度 (株/ha)	移植日	収穫日
ストーク	69,000	4月23日	10月12日

る。ただし、多湿黒ボク土が分布する部分に1982年と1997年の2回、深さ100 cmに暗渠排水が施工されている。

b) 土壌断面調査および物理性

1998年4月に多湿黒ボク土および黒ボク土の上壤断面調査を行い、各層位ごとに土壌試料を採取し、固相率、重力水孔隙率、易有効水分孔隙率(土壌環境分析編集委員会編, 1997)を測定した。

c) 土壌水分吸引圧

供試圃場の多湿黒ボク土および黒ボク土において、1998年5月上旬から10月上旬まで、土壌水分吸引圧をテンシオメータ法により測定した。テンシオメータは、深さ15 cmから85 cmまで10 cmごとに設置し、2日に一度の割合で測定を行った。

2) 作物調査

a) 供試作物

供試作物は、深根性であり、土壌物理性に敏感に反応する(西宗, 1987)テンサイ(*Beta vulgaris* Linn. var. *saccharifera* Alef.)とした。テンサイの品種はストークである。

表-1に1998年のテンサイ作付けの栽培概要を示した。テンサイ栽植密度は69,000株/haであり、施肥はha当りN240 kg, P₂O₅460 kg, K₂O180 kgとした。

b) 根系調査

テンサイの生育初期に相当する6月下旬、生育中期に相当する7月下旬、ならびに生育後期に相当する9月下旬に、根系調査(根数分布、深さ別根長量)を2反復で行った。根数分布調査は、テンサイ株直下土壌の垂直断面を10 cmメッシュに区分し、それぞれのメッシュでテンサイ根数を目視で計測した(図-1)。

また、同時期にテンサイ株直下土壌を縦25 cm、横50 cmの範囲で、深さ10 cmごとに80 cmまで採取し、根を水洗分離後、深さ別根長量をNewman法(植物栄養実験法編集委員会, 1990)により測定した。

c) 生育収量調査

生育調査は、生育期間中2週間に一度の割合で合計9回、草丈と根周を測定した。収量調査は、10月中旬に3反復で行い、根重量および根中糖分を測定した。

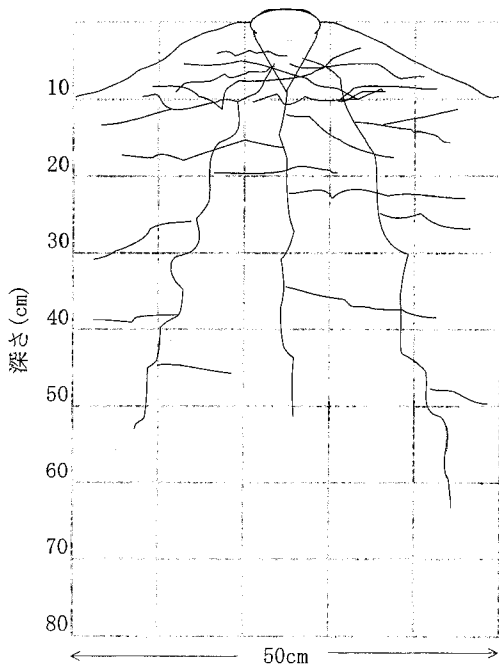


図-1 根系調査の模式図

Fig. 1 Method of the measurement of root system distribution.

3. 結 果

1) 気象概要

1998年の帯広市における気象概要を図-2に示した。テンサイの活着期である5月の旬平均気温は平年値より高温で経過したが、茎葉繁茂期に相当する6~8月の期間は低温傾向であった。また、根肥大漸増期である9月以降は高温で経過した。テンサイ生育期間中の積算降水量は900mmと平年値(610mm)に比べ多かった。日照時間は6月下旬、7月中旬を除き、平年値より少なかった。

2) 土壌断面の特徴および物理性

供試圃場の土壌断面柱状図を図-3に示した。両土壌の母材は、作土が樽前山由来の火山灰(Ta-b, Ta-c)、心土が樽前山由来の火山灰(Ta-d)および恵庭岳由来の火山灰(En-a)であり、土層を構成する母材の違いはみられなかった。また、多湿黒ボク土の深さ30~42cmでは土壌硬度が20mm、黒ボク土の深さ35~42cmでは22mmであり、土壌診断基準(農林水産省北海道農業試験場・北海道立農業試験場, 1989)により、両土壌の作土直下には耕盤層が生成されていると判断された。

多湿黒ボク土における深さ42~71cmの土層は、壁状を呈し、土壌硬度18mmと、ち密度は低かった。また、

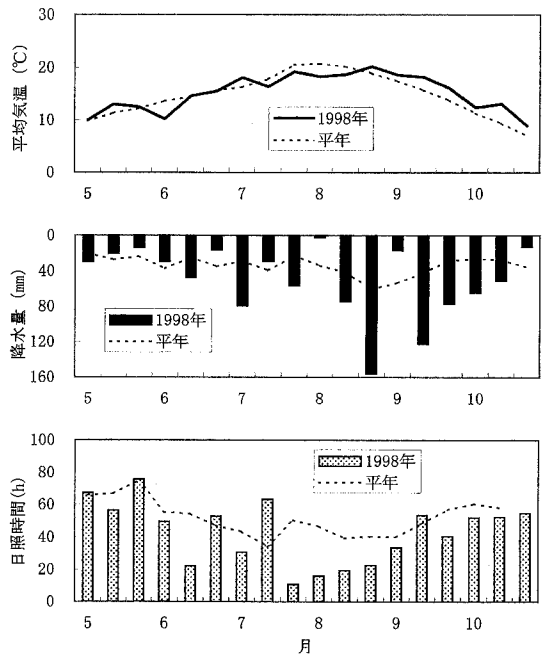


図-2 旬別平均気温、降水量および日照時間の推移

Fig. 2 Change in temperature, precipitation, and sunshine.

この壁状の土層には亀裂や孔隙は観察されなかった。一方、黒ボク土における42cm以深の心土は、弱い塊状構造の発達が見られ、硬度は23mmとち密度が高かった。この土層は、中小孔隙に富むのが特徴であった。

供試土壌の物理性を表-2に示した。物理性の内、易有効水分孔隙率(-3.1~-98.1kPa)は、1997年帯広市別府町の多湿黒ボク土において多雨期の土壌水分吸引圧が下層土でほぼ-10kPa以上、作土でほぼ-30kPa以上で推移した(丹羽ら, 1999)ことから、3分画して表示した。

多湿黒ボク土の心土層における重力水孔隙率は0.01~0.08 m³ m⁻³であり、特に深さ42~71cmでは0.01 m³ m⁻³以下と著しく小さい値を示した。これに対して、黒ボク土の心土層は、重力水孔隙率が0.08~0.24 m³ m⁻³と大きかった。

-3.1~-9.8kPaの孔隙率は多湿黒ボク土の深さ42~71cmおよび黒ボク土の深さ76~100cmで著しく低く、-9.8~-31.0kPaの孔隙率も同じ土層で低い傾向を示した。固相率は、多湿黒ボク土の深さ62~102cmで高い値を示した。

3) 土壌水分吸引圧および気相率の推移

25mmの降雨がみられた6月27日から11日間(無降雨期間)の土壌水分吸引圧の推移を図-4に示した。この

多湿黒ボク土								黒ボク土									
層位	深さ (cm)	土性	土色	硬度 (mm)	構造	孔隙	亀裂	層位	深さ (cm)	土性	土色	硬度 (mm)	構造	孔隙	亀裂		
Ap	0~30	L	10YR2/1	12	粒状 (中)	小・中孔隙 (含む)	狭小・中幅	Ta-b Ta-c	Ap	0~27	CL	10YR2/1	16	粒状 (中)	小・中孔隙 (含む)	狭小・中幅	Ta-b Ta-c
A	30~42	L	10YR2/1	20	塊状 (弱)	小孔隙 (含む)	狭小		A	27~35	CL	10YR1.7/1	18	塊状 (弱)	小孔隙 (含む)	狭小	
2Ag	42~48	SiC	10YR4/1	18	壁状	なし	なし	Ta-d	2AC	35~42	L	10YR4/2	22	塊状 (弱)	小孔隙 (含む)	狭小	Ta-d
2ACg	48~62	SiC	10YR3/2	18	壁状	なし	なし		3C1	42~56	CL	10YR4/3	23	塊状 (弱)	小・中孔隙 (含む)	狭小・中幅	En-a
3C1g	62~71	HC	5Y7/1	18	壁状	なし	なし	En-a	3C2	56~76	SL	10YR4/3	23	塊状 (弱)	小・中孔隙 (含む)	狭小・中幅	
3C2g	71~87	SL	7.5Y4/4	25	塊状 (弱)	小孔隙 (含む)	なし		4C1g	76~100+	L	10YR4/3	23	塊状 (弱)	小・中孔隙 (含む)	狭小・中幅	
3C3g	87~102	LS	7.5YR5/6	22	塊状 (弱)	小孔隙 (含む)	なし										

図-3 供試土壌の断面柱状図

Fig. 3 Columnar section of the soil profiles.

表-2 供試土壌の物理性

Table 2 Physical properties of Wet Andosol and Andosol

層位	深さ (cm)	固相率* (m ³ m ⁻³)	重力水 孔隙率* (m ³ m ⁻³)	易有効水分孔隙率 (m ³ m ⁻³)		
				-3.1~-9.8 kPa (pF 1.5~2.0)	-9.8~-31.0 kPa (pF 2.0~2.5)	-31.0~-98.1 kPa (pF 2.5~3.0)
多湿黒ボク土						
Ap	0~30	0.271	0.147	0.069	0.066	0.062
A	30~42	0.324	0.055	0.021	0.037	0.060
2Ag	42~48	0.240	0.006	0.008	0.024	0.050
2ACg	48~62	0.250	0.010	0.008	0.023	0.045
3C1g	62~71	0.412	0.006	0.003	0.010	0.021
3C2g	71~87	0.347	0.030	0.034	0.046	0.059
3C3g	87~102	0.361	0.076	0.040	0.048	0.058
黒ボク土						
Ap	0~27	0.303	0.159	0.022	0.083	0.055
A	27~35	0.284	0.123	0.042	0.044	0.046
2AC	35~42	0.295	0.076	0.038	0.044	0.047
3C1	42~56	0.281	0.196	0.049	0.041	0.033
3C2	56~76	0.301	0.216	0.040	0.035	0.034
4C1g	76~100	0.301	0.244	0.003	0.014	0.036

* : -0.1~-3.1 kPa (pF0~1.5)

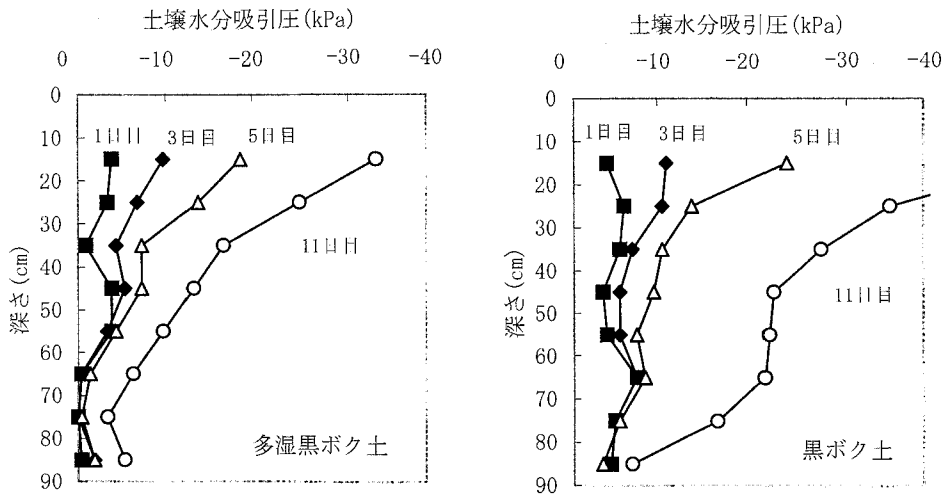


図-4 降雨（25 mm）後の土壌水分吸引圧の推移

Fig. 4 Change in soil water potential after rainfall (25 mm).

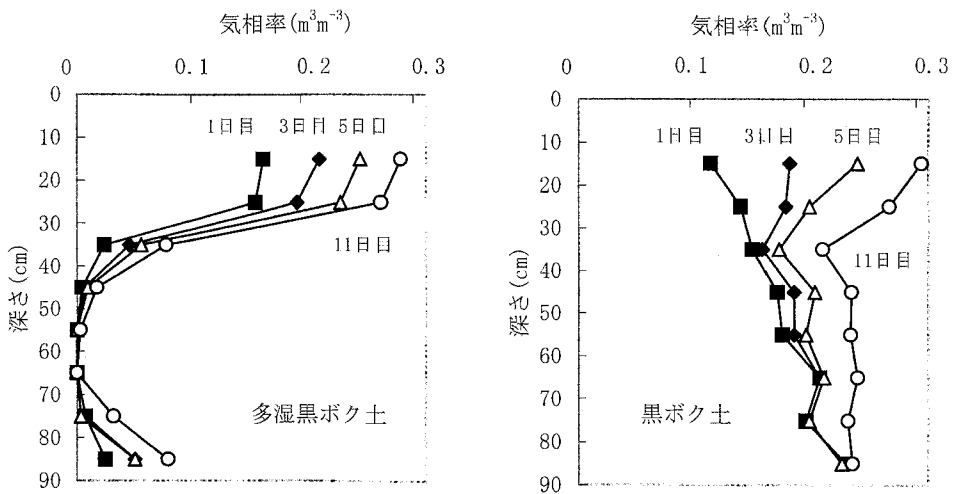


図-5 降雨（25 mm）後の気相率の推移

Fig. 5 Change in gaseous phase ratio after rainfall (25 mm).

期間は、土壌水分吸引圧の測定中、最も長い無降雨期間であった。

土壌水分吸引圧は、両土壌とも全層において降雨後の日数経過とともに低下した。多湿黒ボク土の降雨後1日目の土壌水分吸引圧は、深さ45~55 cmで-3.8 kPa、65 cm以深では-0.4 kPa以上であった。多湿黒ボク土の土壌水分吸引圧は降雨後1日目から5日目までほとんど変化していなかったが、11日目には深さ45~55 cmで-9.7~-13.1 kPa、65 cm以深で-3.3~-6.3 kPaと全層で-3.1 kPa以下（pF 1.5以上）を示した。

一方、黒ボク土の45 cm以深の土壌水分吸引圧は、降雨後1日目で-3.3~-7.3 kPa、降雨後11日目で-6.8~-22.9 kPaであった。

同時期における降雨後の気相率の推移を図-5に示した。気相率は、土壌水分吸引圧と体積水分率との関係、ならびに固相率から求めた。なお、算出された気相率は、ヒステリシスを考慮していないため、湿潤過程では実際の値より過小評価されると思われる（Hillel, 1984）。

多湿黒ボク土では心土の気相率が低く、特に深さ45~75 cmでは降雨後5日目まで0.01 m³ m⁻³以下と著しく

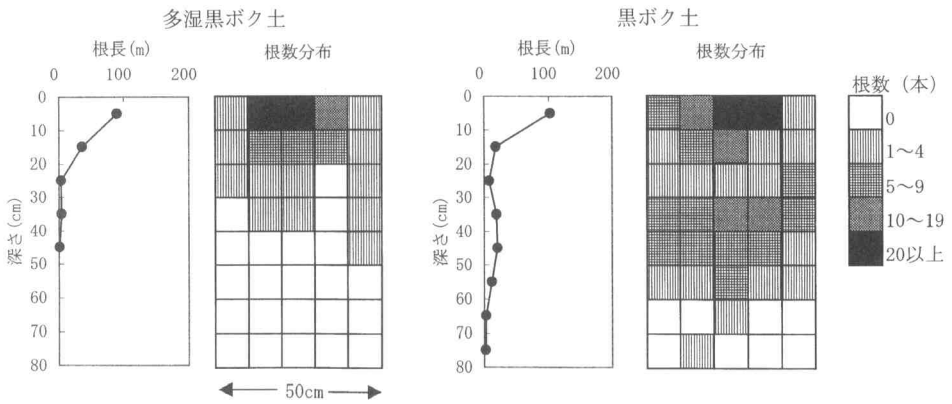


図-6 土層深さ別の根長量および根数分布 (6月下旬)

Fig. 6 Root length and root number distribution (late in June).

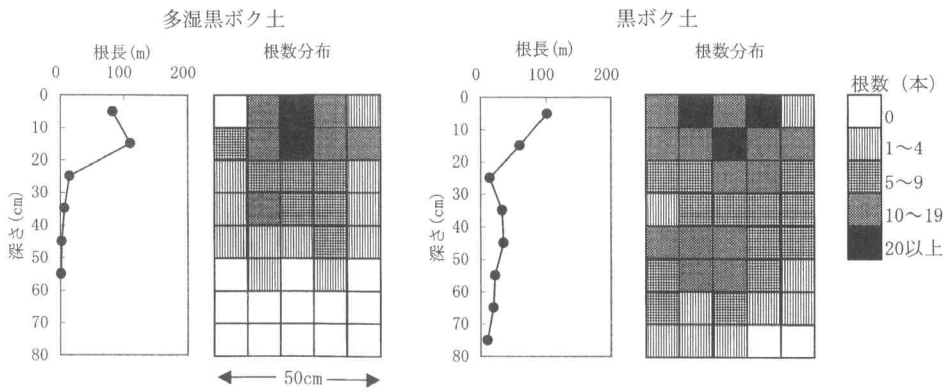


図-7 土層深さ別の根長量および根数分布 (7月下旬)

Fig. 7 Root length and root number distribution (late in July).

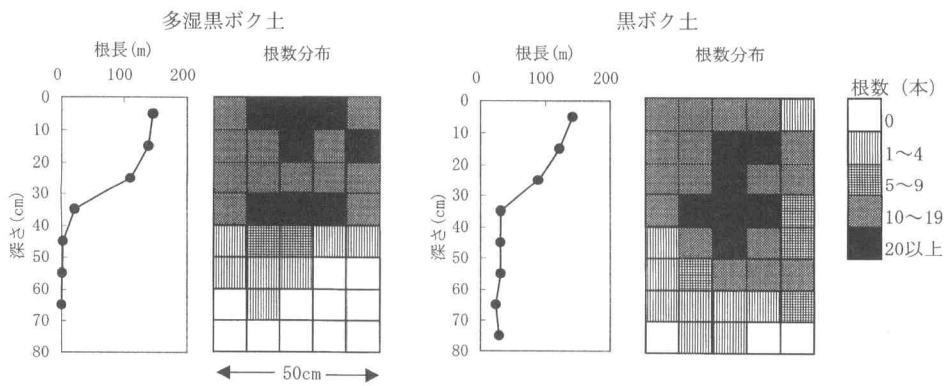


図-8 土層深さ別の根長量および根数分布 (9月下旬)

Fig. 8 Root length and root number distribution (late in September).

低い値で推移した。また、降雨後11日が経過しても、深さ45~75 cmの気相率は低く、深さ75 cmにおいて $0.03 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ まで増加したにすぎなかった。しかし、深さ85 cmの気相率は、降雨後1日目の $0.03 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ から11日目の $0.08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ まで増加し、深さ35 cmと同等の推移を示した。

これに対し、黒ボク土の45 cm以深の気相率は、降雨後1日目において $0.18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ 以上の高い値を示し、日数の経過にしたがって増加した。

テンサイ生育期間中において、45 cm以深の気相率が $0.1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ 以上となる割合(気相率 $0.1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ 以上の測定回数 $\times 100$ /全測定回数)を求めた結果、多湿黒ボク土が0%であったのに対し、黒ボク土は96%であった。

4) テンサイ根の発達程度

6月下旬におけるテンサイの土層深さ別根長量および根数分布を図-6に示した。多湿黒ボク土における根長量および根数は心土層で少なく、特に50 cm以深ではテンサイ根が認められなかった。これに対し、黒ボク土では、深さ80 cmまで根が伸長しており、断面内における根数も多かった。

7月下旬のテンサイの根長量および根数分布を図-7に示した。7月下旬には、多湿黒ボク土の根は深さ60 cmまでに伸長したが、心土層の根長量は7 m以下と少なく、6月下旬に比べて根数の増加量も顕著ではなかった。一方、黒ボク土では、心土層において根長量、根数ともに増加し、根長量は10~35 mと多湿黒ボク土に比べて多かった。しかし、耕盤層より上部(深さ20~30 cm)の土層では、根長量の増加はほとんど見られなかった。

9月下旬の根長量および根数分布を図-8に示した。9月下旬の多湿黒ボク土のテンサイ根は、7月下旬に比較し深さ40 cmまでの根数は増加したが、それ以深での増加量は少なかった。一方、黒ボク土の心土層におけるテンサイの根数は、7月下旬よりも増加していた。

5) テンサイの生育および収量

テンサイの草丈の推移を図-9に、根周の推移を図-10に示した。テンサイの草丈は、心土層の根系発達が不良であった多湿黒ボク土が、根系発達が良好な黒ボク土よりも低く推移した。また、テンサイ根周も、草丈の推移と同様の傾向を示した。

テンサイの収量調査結果を表-3に示した。

心土層の根系発達が劣った多湿黒ボク土上のテンサイ収量は 53 tha^{-1} と黒ボク土に比べ12%の収量減であり、十勝中央部の目標収量 60 tha^{-1} (北海道農政部, 1987)を下回った。一方、根系発達が良好であった黒ボク土の収量は、 60 tha^{-1} と目標収量に達した。また、糖収量は多湿黒ボク土で劣り、収量と同様の傾向を示した。

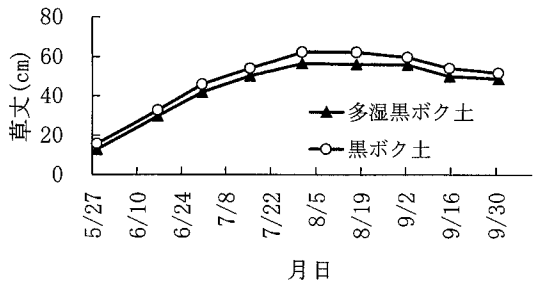


図-9 テンサイの草丈の推移

Fig. 9 Change in plant height of sugar beet in the two soil types.

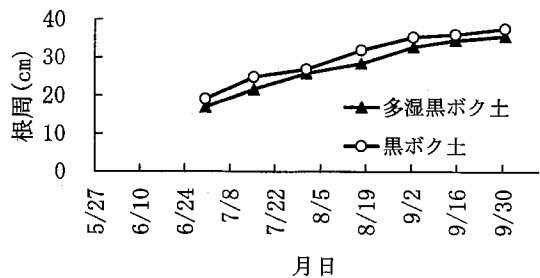


図-10 テンサイの根周の推移

Fig. 10 Change in the length around the root tuber of sugar beet at harvest in the two soil types.

表-3 テンサイの収量

Table 3 Yields of sugar beet in the two soil types

土壌	収量 (tha^{-1})	比率	糖収量 (tha^{-1})	比率
多湿黒ボク土	53.0	(88)	7.79	(92)
黒ボク土	60.0	(100)	8.50	(100)

4. 考 察

十勝管内において、テンサイ収量は、土壌型にかかわらず降水量と負の相関関係があり、生育初期に相当する5~7月の降水量がテンサイの最終収量に最も影響を及ぼす(菊地ら, 1997)。また、多湿黒ボク土のテンサイ収量は、降水量の多少に関係なく黒ボク土よりも低く推移する傾向がある(菊地, 1996)。これらのことから、テンサイの収量は、土壌の水分動態と密接な関係があると考えられる。

本調査の結果、多湿黒ボク土の深さ85 cmの気相率は、降雨後11日間で $0.03 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ から $0.08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ まで増加した。したがって、本土壌では、暗渠排水による速

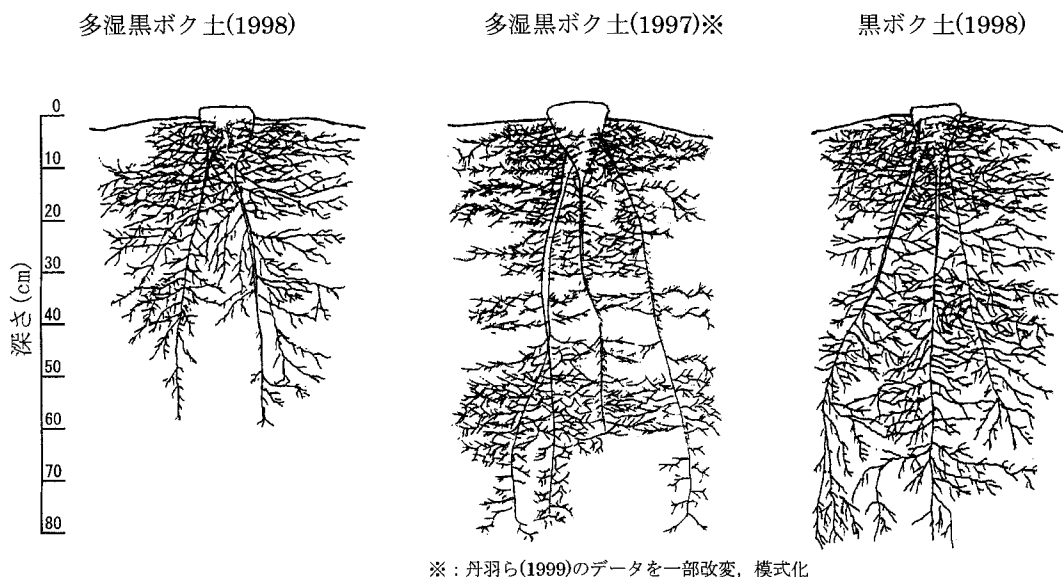


図-11 テンサイ根系発達の模式図 (7月下旬)

Fig. 11 Root system development of sugar beet in different soil types. (late July).

やかな排水がなされたと考えられる。

しかし、深さ 45~75 cm の気相率は、降雨後 11 日間で $0 \sim 0.03 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ の範囲で推移し、圃場の土壤水分吸引圧も $0 \sim -13.1 \text{ kPa}$ であり、ほとんど変化が認められなかった。これは、この土層の重力水孔隙率および $-3.1 \sim -31.0 \text{ kPa}$ の孔隙率が著しく小さかったためと考えられる。また、本土壤では深さ 42~71 cm の土層のち密度が低いにも関わらず、7 月下旬以降のテンサイ根は 40 cm 以深で著しく不良、60 cm 以深ではほとんど認められず、そのほとんどが作土層に集中していた。このテンサイ根の分布調査結果は、28 年前に多湿黒ボク土で調査された結果 (西宗ら, 1982 b) と同様の傾向であった。

このように、本調査の多湿黒ボク土は、深さ 45~75 cm の土層の気相率が著しく低いために、通気が不十分な状態となり、テンサイの根系発達が阻害されたと考えられる。そのために、多湿黒ボク土におけるテンサイ根の吸水は深さ 40 cm までの浅い土層で主に行われ、吸水不良となって生育が劣り、収量が低下したと考えられる。

以上のことから、本土壤の物理性改良による水分環境の改善は、暗渠排水の施工だけでは解決が困難な状況にあると推測される。

これに対して、黒ボク土では、降雨後 1 日目から深さ 45 cm 以深の気相率が $0.18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ 以上の高い値で推移した。本土壤の深さ 42 cm 以深の重力水孔隙率は約 0.20

$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ 以上と大きく、 $-3.1 \sim -31.0 \text{ kPa}$ の孔隙率も比較的高い値を示し、土壤水分吸引圧は降雨後 11 日間で $-3.3 \sim -22.9 \text{ kPa}$ の範囲で推移していた。また、7 月下旬以降のテンサイ根は、深さ 80 cm まで伸長しており、断面内の根数も豊富であった。

したがって、黒ボク土では心土の気相率が高い値で確保され、降雨後の深さ 42 cm 以深の通気性が向上した結果、テンサイ根の発達が促進され、吸水が比較的良好となり、収量が増加したと考えられる。

一方、丹羽ら (1999) は、1997 年に本供試土壤と同じ母材からなる暗渠排水施工された多湿黒ボク土を調査した結果、テンサイ収量は黒ボク土と同等に良好であったことを報告している。これによると、降雨後の土壤水分吸引圧は深さ 45 cm および 75 cm で日数の経過とともに低下し、気相率は土壤水分吸引圧の低下に対応して上昇した。その結果、深さ 45 cm では約 5~10%、深さ 75 cm では約 5~15% の範囲で推移した。また、この多湿黒ボク土の心土の重力水孔隙率は $0.03 \sim 0.05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ で、本調査の多湿黒ボク土より高かった。さらに、テンサイ根は深さ 80 cm まで伸長しており、心土の根系発達は良好であった (図-11)。

以上のことから、暗渠排水が施工された多湿黒ボク土は、①降雨後の心土の気相率が著しく小さく、土壤水分吸引圧の低下に対してほとんど変化しないタイプ、②降雨後の土壤水分吸引圧の低下とともに心土の気相率が増

加するタイプに類型区分できると考えられる。したがって、多湿黒ボク土の生産性を向上させるためには、類型区分ごとの排水改良法の確立が必要である。

本調査の結果から、多湿黒ボク土のテンサイの根系を制限する要因は気相率であると考えられたが、テンサイ収量に影響を及ぼす下限値は明らかとならなかった。したがって、今回調査した多湿黒ボク土と黒ボク土の中間的な物理性を示す多湿黒ボク土を含め、テンサイ生育と土壌物理性および水分動態との関係を同一年で調査し、根系発達が抑制される気相率の下限値を明確にするとともに、テンサイ根を下層へ伸長させるための土層改良方法を確立する必要がある。

本調査の黒ボク土では、深さ 20~30 cm の土層における根長量が著しく少なく、生育中期までの増加はほとんど認められなかった。しかし、その理由は重力水孔隙率、易有効水分孔隙率、土壌水分吸引圧および気相率の結果からは判然としなかった。

5. 要 約

十勝管内に分布する多湿黒ボク土は、黒ボク土に比べ生産性が低い。このため、現況の多湿黒ボク土の物理的特徴を明らかにすることを目的とし、同一圃場に分布する多湿黒ボク土および黒ボク土の物理性とテンサイ根系を調査した。

1) 多湿黒ボク土の心土層の重力水孔隙率および $-3.1 \sim -31.0$ kPa の孔隙率は黒ボク土に比べ著しく小さかった。

2) 多湿黒ボク土の 45 cm 以深の土壌水分吸引圧は、降雨後 11 日目までに $0 \sim -13.1$ kPa で推移した。一方、黒ボク土は $-3.3 \sim -22.9$ kPa で推移した。

3) 多湿黒ボク土の深さ 45~75 cm の気相率は、降雨後 11 日間で $0.03 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ 未満の低い値で推移したが、深さ 85 cm では $0.08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ まで増加した。これに対し、黒ボク土の 45 cm 以深の気相率は、 $0.18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ 以上の高い値で推移した。

4) テンサイ根は、多湿黒ボク土では 7 月下旬において 40 cm 以深の根長量および根数が少なかった。一方、黒ボク土では、テンサイ根がより深く、かつ断面内に多く分布していた。

5) テンサイの生育および収量は、多湿黒ボク土が黒ボク土に比べ劣った。

以上のことから、多湿黒ボク土は心土層の気相率が著しく低いために根系発達が劣り、その結果、根の吸水が不良となり、テンサイの生育・収量が低下したと考えられる。

謝 辞

本論文作成にあたり、山形大学農学部の粕渕辰昭教授、農林水産省農業環境技術研究所の長谷川周一氏に貴重なご助言を頂いた。また、(株)ズコーシャ総合科学研究所の皆様には現地調査にご協力を頂いた。以上の各位に感謝の意を表します。

引用文献

- 土壌環境分析法編集委員会編 (1997) : 土壌環境分析法, p. 21~69, 博友社, 東京.
- Hillel, D. (1984) : 土壌物理学概論—土と水の科学—, 岩田進午監修, 高見晋一・内嶋善兵衛共訳, p. 63~65, 養賢堂, 東京.
- 北海道中央農業試験場 (1978) : 地力保全基本調査総合成績書, p. 33~49, 北海石版所.
- 北海道中央農業試験場 (1993) : 北海道土壌区一覧, 北海道立農業試験場資料, 21 : 102~119.
- 北海道農政部 (1987) : 北海道施肥標準, p. 18, 北海道農政部.
- 菊地晃二・関谷長昭・横井義雄 (1975) : 十勝火山性土の改良に関する調査研究 (第 2 報) 作土の管理, 改良のための土壌類型区分図について, 北農, 41 : 1~11.
- 菊地晃二 (1981) : 十勝地方における土壌類型区分図とその土壌改良対策への応用, 北海道立農業試験場報告, 34 : 1~118.
- 菊地晃二 (1996) : 十勝管内における土壌生産性の推移と今後の土地改良指針—テンサイ収量地図 25 年間からの考察—, p. 1~75, 北海道十勝支庁.
- 菊地晃二・丹羽勝久・守山耕一・石田ゆずり・辻 紀子 (1997) : 畑地土壌の物理性と水分動態, 農士会北海道支部研究発表会講演集, 42 : 32~37.
- 西宗 昭・藤田 勇・金野隆光 (1982 a) : 十勝地方の畑作物の窒素利用 (第 2 報) 土壌別にみたテンサイの肥料及び土壌窒素の利用, 北海道農試研報, 133 : 17~39.
- 西宗 昭・斎藤元也・金野隆光・藤田 勇・宮沢数雄 (1982 b) : 十勝に分布する肥沃度の異なった土壌におけるテンサイの生育解析, 北海道農試研報, 133 : 31~60.
- 西宗 昭 (1987) : 新時代の土づくりと施肥技術 (畑作物編), p. 154~173, 農業技術普及協会.
- 丹羽勝久・辻 修・大淵清志・菊地晃二 (1999) : 細粒質褐色低地土に生成した耕盤層が土壌水分動態およびテンサイ根系発達に及ぼす影響, ベトロジスト, 43 : 7~15.

- 農林水産省北海道農業試験場・北海道立農業試験場
(1989): 土壌および作物栄養の診断基準, p. 42, 北海道農業試験会議.
- 農林水産省北海道統計情報事務所(1999): 北海道農林水産統計年報(農業統計市町村別編)平成9~10年, p. 8~62, 北海道農林統計協会協議会.
- 植物栄養実験法編集委員会編(1990): 植物栄養実験法, p. 46~49, 博友社, 東京.
- 田村昇市(1968): 土壌凍結地帯における土壌類型区分とその土壌改良対策への応用, p. 1~91, 田所印刷出版社(自費出版).
- 山田 忍(1968): 土壌の生成・分類・調査とその活用, p. 1~52, 養賢堂(自費出版).

受稿年月日: 2000年3月2日

受理年月日: 2000年7月12日

黄土高原における土壌侵食特性と保全問題

—中国陝西省安塞地域の事例—

長澤徹明*・高橋英紀**・上遠野 健*

Characteristics of Soil Erosion and Conservation of Hill-slopes in the Loess Plateau

—A Case of Ansai District, Shaanxi Province in China—

Tetuaki NAGASAWA*, Hidenori TAKAHASHI** and Takeshi KATONO*

* Graduate School of Agriculture, Hokkaido University

** Graduate School of Environmental Earth Science, Hokkaido University

Abstract

Some factors relating to soil erosion were analyzed on the purpose of conservation of sloping farmlands with USLE at Ansai district in the Loess Plateau, China. The results indicated that the rainfall and runoff factor R of USLE is lower than $100 \text{ tf} \cdot \text{m}^2 / \text{ha} \cdot \text{h}$. The soil erodibility factor K of the Loess was relatively large value. The topographic factors L_s of sloping farmlands were very large value. These factors indicate that a serious erosion is caused by not only rainfall but also by characteristics of soil and landuse on hill-slopes in the Loess Plateau.

The conditions of the surface and subsurface of the hill-slopes were also investigated. The result indicated different conditions by the direction of the slope. For example, soil moisture of north faced slope was higher than that of south faced slope, but soil hardness of north faced slope was lower than that of south faced slope. These differences are caused by meteorological factors and influence soil conservation on hill-slopes.

Key words : Loess Plateau, soil erosion, soil conservation, USLE, hill-slope

1. はじめに

黄河は、チベット高原から渤海に注ぐ全長 5,464 km、流域面積 75 万 km^2 の大河である。その黄河中流域に広がるおよそ 58 万 km^2 の高原地帯が黄土高原である。この黄土高原では、人口圧による過度な耕作や放牧が行われ、それにより森林、植生が減少している。このために、もともと侵食されやすい性質を有する黄土の侵食流亡が進行しており、広汎な地域の砂漠化が懸念されている。この人口圧による過度な農業は貧困と砂漠化の悪循環を招き、さらには、侵食された多量の土砂（黄土）が黄河によって流送されることから、利水、治水上の問題にもなっている。このような深刻な黄土高原の砂漠化問題を

改善し、地域の持続的発展を確立していくためには、土壌侵食の抑制対策の方針を明確にすることが必要不可欠である。

そこで本研究では、保全的な土地利用を確立するために、USLE (Universal Soil Loss Equation, 汎用土壌流亡予測式) の考えに基づく降雨の性質 (侵食性)、土壌の性質 (受食性)、圃場の地形状況について評価を行ってみたい。また、丘陵斜面の保全問題も土壌物理的視点から検討した。

2. 調査研究の方法

調査は、1997 年 4 月より陝西省陝北地区安塞県 (図 1) で実施しているが、ここでは 1999 年 10 月までのデー

* 北海道大学大学院農学研究科 〒060-8589 札幌市北区北 9 条西 9 丁目, ** 北海道大学大学院地球環境科学研究科 〒060-0810 札幌市北区北 10 条西 6 丁目

キーワード: 黄土高原, 土壌侵食, 土壌保全, USLE, 丘陵斜面

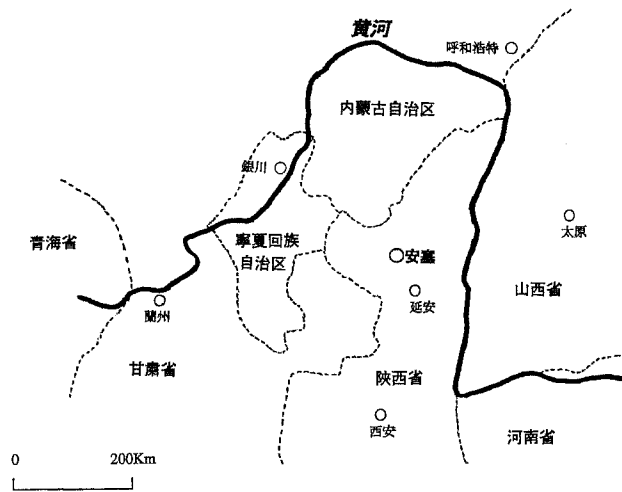


図-1 黄土高原安塞地域の位置

Fig. 1 Location of Ansai District in the Loess Plateau

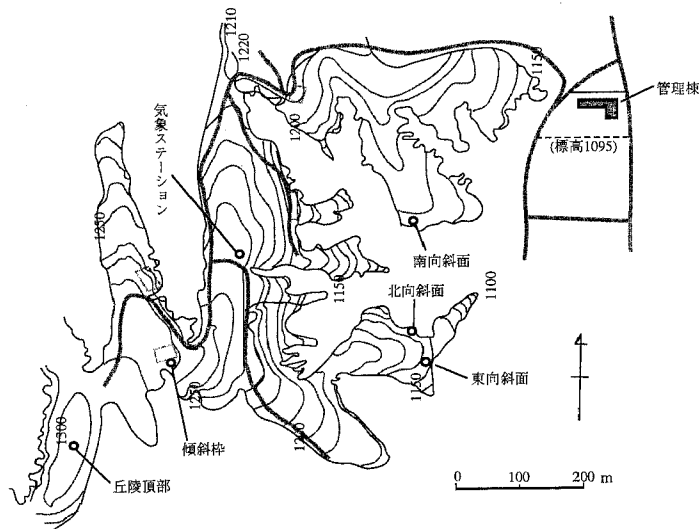


図-2 調査地区の概要 (西北水土保持研究所安塞試験站)

Fig. 2 Experimental area in Ansai Station of Northwestern Institute of Soil and Water Conservation

タに基づいて報告する。安塞県は、面積約 3,000 km²、東経 109° 北緯 36° に位置する黄土高原の典型的な地形を呈する地域である。年平均気温は 9.8°C (7 月平均 22.9°C, 1 月平均 5.3°C)、年平均降水量は 503 mm である。農地面積率は約 45% であり、そのうち約 63% が勾配 15° 以上の急傾斜地に展開している (国際協力事業団, 1999)。また、この地域の年平均侵食流亡土量は 10,000 t/km² にも及ぶとされている (黄河水利委員会治黄研究組, 1999)。

調査地は、中国科学院西北水土保持研究所安塞試験站 (図-2) およびその周辺域とした。試験站では雨量を観測するとともに、傾斜枠を設置して流亡土量を観測し、侵食流亡に関する基本的な因子、すなわち「侵食性」と「受食性」を判定した。

また、斜面の状況の違いによる侵食流亡への影響を検討するため、試験站丘陵に北向、南向および東向斜面の試験区を設定し、地盤の物理的性質 (土壌水分、土壌硬

度、透水性、最大凍結深)を測定した。このほか、黄土の物理的諸性質および安塞地域における傾斜畑の形状(勾配と斜面長)なども測定した。

3. 土壤侵食の諸要因

土壤保全を考える上でまず重要なことは、地域の状況を把握し、その状況下における土壤侵食の実態を定量的に把握することである。すなわち、ある状況下での侵食流亡土量を把握し、これをもたらす原因を分析(定量化)できれば、侵食抑制のための対策が具体化できる。その手法として用いられるのがUSLEである。USLEは、降雨流出、土壤、地形、営農方法、保全対策の5つの条件を影響因子とし、これらを定量化して侵食流亡土量を推定する式であり、以下のように表される。

$$A = R \cdot K \cdot L_s \cdot C \cdot P$$

- A: 侵食流亡土量 (t/ha・y),
- R: 降雨係数 ($m^2 \cdot tf/ha \cdot h \cdot y$),
- K: 土壤係数 ($t \cdot h/m^2 \cdot tf$),
- L_s: 地形係数 (以下無次元),
- C: 作物係数,
- P: 保全係数

4. 降雨の性質

USLEにおける降雨係数Rは、侵食を発生させるとみなす降雨(侵食性降雨)が有する侵食ポテンシャルである。この場合の侵食性降雨はUSLEで定義されており、総降雨量が12.7mm以上、その間の無降雨時間が6時間以内のものを指す。ただし、総降雨量が12.7mm以下であっても15分間降雨量が6.4mm以上ならば侵食性降雨とみなされる。この侵食性降雨の運動エネルギーEと、30分ピーク降雨強度I₃₀の積の年間合計値が降雨係数Rである。侵食性降雨のエネルギーEは次式で計算される。

$$E = 210 + 89 \log I, \quad R = \sum EI_{30}$$

ここで、E: 降雨1cm当たりの運動エネルギー ($m \cdot tf/ha \cdot cm$)

I: 降雨強度 (cm/h)

R: 降雨係数 ($m^2 \cdot tf/ha \cdot h$)

I₃₀: 30分ピーク降雨強度 (cm/h)

表-1には、1997年~1999年に安塞試験站で観測した侵食性降雨と降雨係数Rを示す。ただし、1998年のものは7月中旬以降欠測であるため、参考値である。1997年の降雨係数は29.35 ($m^2 \cdot tf/ha \cdot h$)であり、1999年は91.36 ($m^2 \cdot tf/ha \cdot h$)であった。

我が国では、例えば関東地方の降雨係数はおよそ220~370 ($m^2 \cdot tf/ha \cdot h \cdot y$)であり、最も降雨の多い九州

南部では780~1,300 ($m^2 \cdot tf/ha \cdot h \cdot y$)とされている(農林水産省構造改善局, 1992)。これらの値と比較すると、安塞地域における降雨係数は関東地方の1/6、九州南部の1/15程度であり、それほど大きな値とは判断されない。しかし、観測期間の1999年7月20日には一連降雨でEI₃₀=74.05 ($m^2 \cdot tf/ha \cdot h$)を記録したほか、王万忠ら(1996)によれば、安塞近隣の延安での降雨係数の最大値と最小値の較差が20倍以上になっている。これらのことは、安塞地域の降雨係数は年による変動がきわめて大きいことを示唆している。

5. 土壤の性質

USLEの構成因子である土壤係数Kは、対象とする地域の土壤固有の「受食性」を定量評価するものであり、年間の傾斜畑流亡土量と降雨係数Rから求められる。安塞試験站に設置した傾斜畑は、斜面長20m、勾配5°(L_s=0.91)、清耕裸地状態(C=P=1)である。ここで地形係数は、後出の算定式にλ=20m、θ=5°を代入することによって0.91と求められる。したがって、K値は次式より求められる。

$$K = A / (R \cdot L_s)$$

前述のように、傾斜畑を設置した1998年は7/12以降の降雨が欠測となったため、その期間までのEI値の合計を仮のR値とし、参考値ながらK=0.15 ($t \cdot h/tf \cdot m^2$)を得た。また、1999年においてはK=0.14 ($t \cdot h/tf \cdot m^2$)を得ている(表-2)。ちなみに同じ黄土高原で、安塞県から西南約300kmに位置する寧夏回族自治区固原県において1988、1989年に測定されたK値は、0.45 ($t \cdot h/tf \cdot m^2$)、0.19 ($t \cdot h/tf \cdot m^2$)であった(長澤ら, 1993)。北海道で観測された粘性土の例では0.002 ($t \cdot h/tf \cdot m^2$) (長澤ら, 1995)、また受食性が高いとみなされる沖縄の国頭マージで0.17 ($t \cdot h/tf \cdot m^2$) (農林水産省構造改善局, 1992)などとされていることから、黄土の受食性はかなり高いことが分かる。

K値を求めるには、傾斜畑での長期的な観測による方法のほか、土壤の粒度、有機物含有量、構造的および透水性を指標とし、ノモグラフや推定式から算出する方法がある(農林水産省構造改善局, 1992)。表-3は、下記の推定式を用いて求めた結果である。

$$100 K_u = 2.1 \cdot M^{1.4} (10^{-4}) (12 - a) + 3.25 (b - 2) + 2.5 (c - 3)$$

K_M = (1/1.292) · K_u

K_M: 土壤係数 (メートル単位系)

K_u: 土壤係数 (アメリカ慣習単位系)

M: 粒径パラメータ

M = (シルト + 極細砂) % × (100 - 粘土%)

表-1 降雨侵食指数 EI と降雨係数 R

Table 1 Erosion Index, EI and Rainfall and Runoff factor, R

年	降雨日	一連降雨 r (mm)	運動エネルギー E (m ² · tf/ha)	最大 30 分降雨強度 I ₃₀ (cm/h)	降雨侵食指数 EI ₃₀ (m ² · tf/ha · h)
1997	7. 3	17.5	341	1.00	3.41
	7.18	19.0	332	0.60	1.99
	7.30	14.0	341	2.50	8.54
	8. 6	22.5	422	1.30	5.48
	9.12	35.5	607	0.60	3.64
	9.17	19.0	337	0.70	2.36
	9.24	13.0	215	0.40	0.86
	10. 2	13.5	256	1.20	3.07
降雨係数 R=29.35 (m ² · tf/ha · h · y)					
1998	4.29	10.5	267	2.10	5.61
	4.30	13.0	226	0.50	1.13
	5. 6	13.5	215	0.40	0.86
	5. 8-5.10	28.5	471	0.40	1.88
	5.20-5.21	69.5	1334	1.10	14.67
	5.30-5.31	18.5	327	0.80	2.62
	6.11-6.12	14.5	263	0.70	1.84
	6.30-7. 1	16.5	314	1.00	3.14
	7. 5	19.5	385	1.60	6.16
	7.12	32.0	831	4.00	33.24
	以下欠測				
観測期間中の降雨係数 R=71.15 (m ² · tf/ha · h · y)					
1999	6.15	13.0	244	1.00	2.44
	7. 4	35.0	631	0.90	5.68
	7.20	47.5	903	8.20	74.05
	8. 8	22.0	433	1.10	4.76
	8.22	9.5	233	1.90	4.43
降雨係数 R=91.36 (m ² · tf/ha · h · y)					

a: 有機物含有量 (%)

b: 土壌構造コード

c: 土壌透水性級位

ここで、粒径パラメータに関しては、粒度分析によるシルト+極細砂(粒径 0.002~0.10 mm) 93%, 粘土 4% から求めた。土壌構造の分級は礫分が 5% 以下であることより 1 とし、透水性に関しては飽和透水係数が $6.0 \times 10^{-4} \sim 2.0 \times 10^{-3}$ cm/s の範囲内にあることから分級を 3 とした。また、黄土の有機物含有量に関しては、中国科学院(1990)によって安塞水土保持試験区で行われた調査から 0.59% を採用した。これらの値から土壌係数 K を算出した結果が表-3 の 0.57 (t · h/ha · m²) である。傾斜率による値と比較して高い値を示す理由は、推定式で

は黄土の化学的性質が勘案されていないことによるものと思われる。すなわち、多量に含まれる炭酸塩は土粒子を膠結する作用を有する(任美鏗, 1986)ため黄土の耐食性にも影響していると考えられ、これを考慮しない推定式は K 値を過大に評価している可能性がある。

次に、黄土を土壌物理的性質から見ると、黄土は液性限界が低く、塑性指数が小さい。また、粒度分布と均等係数の値から、粒径が均一で粘土分がきわめて少ないことが分かる(表-4)。これらの土壌物理的性質はいずれも、調査対象地域の黄土が受食性の高い土壌であることを示している。

表-2 傾斜枠流亡土量による土壌係数 K の推定

Table 2 Estimation of the Soil Erodibility Factor, K by slope-lysimeter

(1998年)	
A (t/ha)	8.28
R (m ² ·tf/ha·h)	61.67
Ls	0.91
C, P	1.00
K (t·h/tf·m ²)	0.15*
(1999年)	
A (t/ha)	11.90
R (m ² ·tf/ha·h)	91.36
Ls	0.91
C, P	1.00
K (t·h/tf·m ²)	0.14

* 参考値

表-3 推定式による土壌係数 K の推定

Table 3 Estimation of the Soil Erodibility Factor, K by the equation

シルト+極細砂 (0.002~0.10mm)(%)	93
粘土 (<0.002mm)(%)	4
土壌構造 (分級)	1
透水性 (分級)	3
有機物含有量 (%)	0.59
推定土壌係数 K (t·h/tf·m ²)	0.57

表-4 黄土の物理的性質

Table 4 Physical characteristics of the Loess soil

比重	2.73	
コンシステンシー	LL (%)	28.3
	PL (%)	21.9
	PI	6.4
粒度*	砂分 (%)	4
	シルト (%)	88
	粘土 (%)	8
均等係数	3.63	
土性**	CL	

* JIS による分類。

** 日本統一土質分類による。

6. 傾斜畑における形状の特徴

傾斜畑の形状は土壌侵食に大きく影響することから、勾配と斜面長によって評価される地形係数 Ls として USLE に組み込まれている。この Ls 値の実態を把握するため、1998年10月、1999年4月、9月に安塞地域の5地区63圃場(任意サンプリング)を対象とし、傾斜畑の形状調査を行った。

圃場の勾配と斜面長の関係を図-3に示す。この丘陵地帯における圃場の特徴としては、ほとんどの圃場で勾配が20°以上であり、また、圃場の斜面長が10m~200m程度と多様であることが挙げられる。Ls 値の平均は28.8と大きな値を示し、最大では62に及ぶものもあった(図-4)。なお、地形係数 Ls は以下の式によって求めた。

$$Ls = (\lambda/22.1)^{0.5} (65.41 \sin^2 \theta + 4.56 \sin \theta + 0.065)$$

λ: 斜面長 (m)

θ: 勾配 (°)

いずれにしろ、勾配と斜面長の間に一定の相関はみられず、丘陵の畑地利用においては勾配に関係なく可能な限り斜面長を伸ばす傾向があると推察される。

ちなみに、1999年に観測した降雨係数 R = 91.36 (m²·tf/ha·h·y)、土壌係数 K = 0.14 (t·h/tf·m²) により、裸地状態 (C=1) で保全対策が講じられていない (P=1) 平均的な形態の傾斜畑 (Ls=28.8) からの侵食流亡土量を予測すると、その値は約 37,000 (t/km²·y) となる。

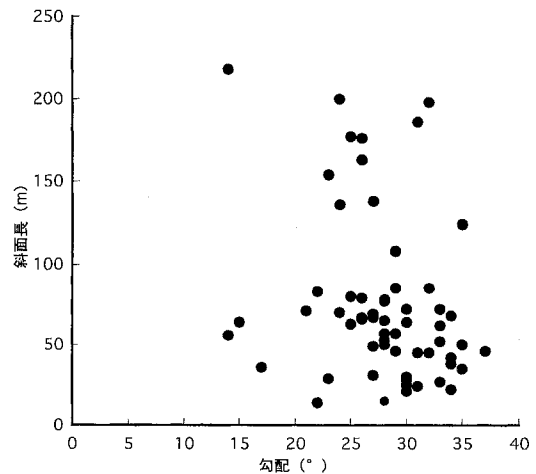


図-3 傾斜畑の勾配と斜面長の関係

Fig. 3 Relationship between slope steepness and slope length of sloping farmlands

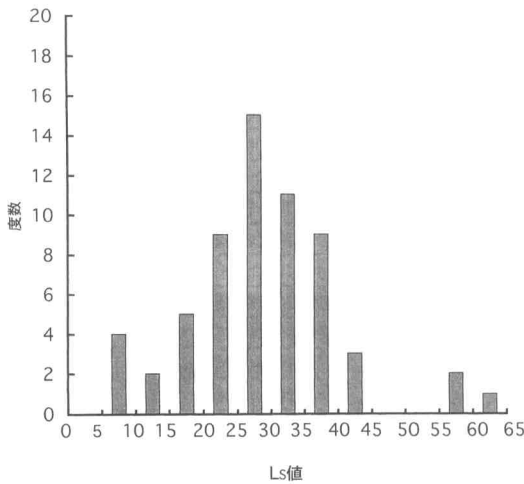


図-4 傾斜畑の地形係数 Ls 値の度数分布

Fig. 4 Frequency distribution of Topographic Factor, Ls of sloping farmlands

7. 丘陵斜面の土壌保全

調査地域の丘陵斜面は、方位によって植生や勾配、侵食溝などの状況が明らかに異なる（写真-1）。北向、南向、東向斜面において、表面の土壌水分（ADR 法による）と土壌硬度（山中式硬度計による）を測定してみた。斜面表面の土壌水分は北向>東向>南向の傾向があり、北向斜面では季節による土壌水分の変化が著しかった（図-5）。一方、土壌硬度は北向斜面で相対的に低い値を

示し、また、各斜面とも季節的な変動はほとんど認められなかった（図-6）。

図-7には南向および北向斜面の土層断面における土壌水分、図-8には土壌硬度を示す。土壌水分についてみると、春先には北向斜面が南向斜面より高い値を示す傾向があった。こうした状況には、冬季の地盤凍結現象が原因になっていると推察した。すなわち、北向斜面では土壌凍結が南向斜面より長く続くことより、凍土層での水分保持が長期化し、その結果、春先に北向斜面で土壌水分が高い状態を呈すると考えられる。また、秋口の土壌水分も北向斜面で相対的に高い値を示す傾向にあったが、これは斜面日射量の大小に原因があると推察される。

1998年秋に測定した透水試験の結果によれば、北向斜面地盤の透水性が南向、東向斜面より相対的に高い傾向を示した（図-9）。これは、北向斜面では雨水の浸透が促され、土層全体の水分量が高まることに繋がるものである。

このような地盤性状の相違にも、上述の地盤凍結現象が関与していると推察される。地盤凍結は、間隙水の凍結融解による相変換（液→固→液相）過程を通じて土壌構造に不可逆的な変化をもたらす現象であり、融解後もその影響が残存するからである。

安塞地域の1998-1999年冬季における凍結指数は、 $F = 256.1$ ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$)と算定された（図-10）。一方、同じ時期の最大凍結深は、地形的に平らな所で50cm台（河川近傍の平地52、丘陵中腹気象站54、丘陵頂部58）、北向斜



写真-1 南北斜面の状況

Photo. 1 Condition of north and south faced hill-slope

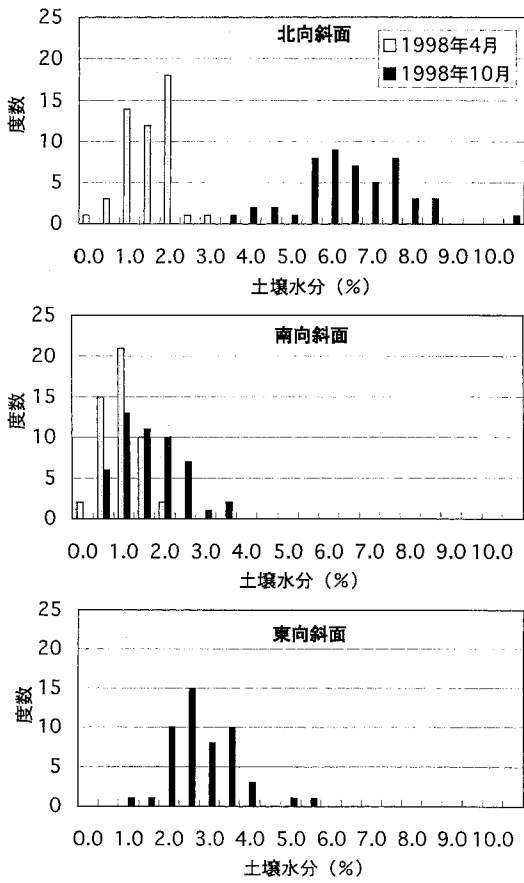


図-5 斜面表面の土壌水分

Fig. 5 Soil moisture of surface on the slopes

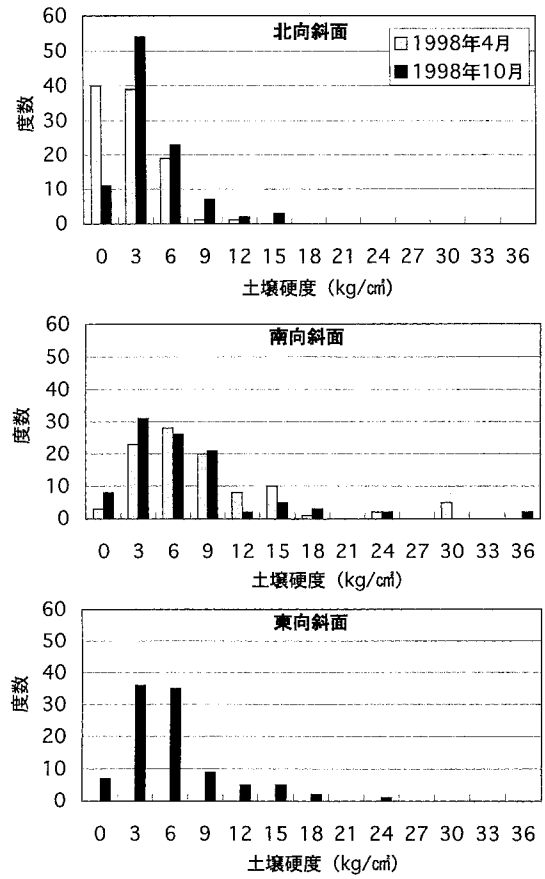


図-6 斜面表面の土壌硬度

Fig. 6 Soil hardness of surface on the slopes

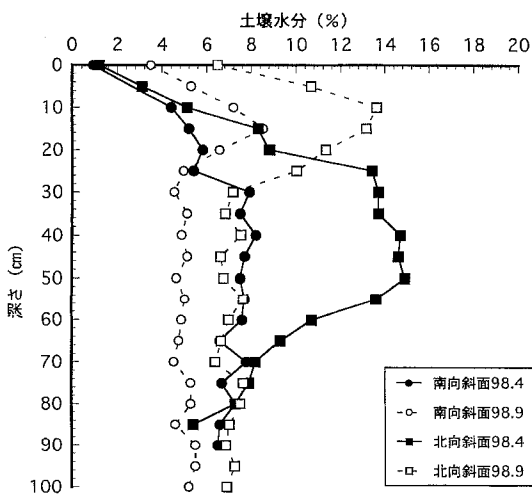


図-7 斜面土層の土壌水分

Fig. 7 Soil moisture profiles of subsurface on the slopes

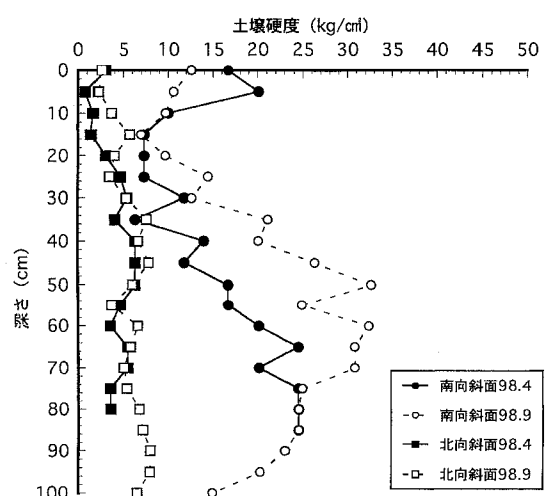


図-8 斜面土層の土壌硬度

Fig. 8 Soil hardness profiles of subsurface on the slopes

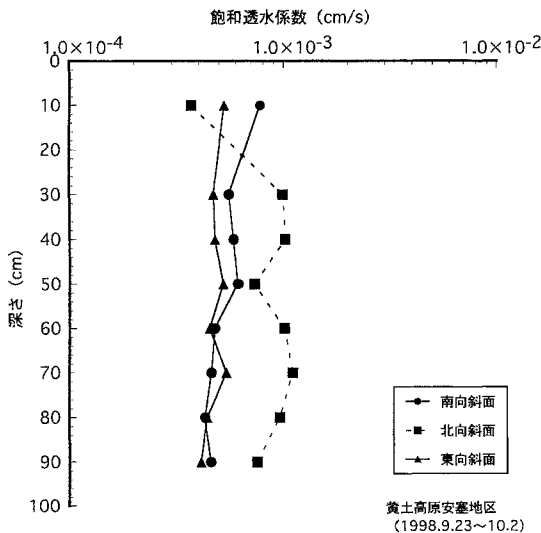


図-9 斜面土層の透水性

Fig. 9 Permeability profiles of subsurface on the slopes

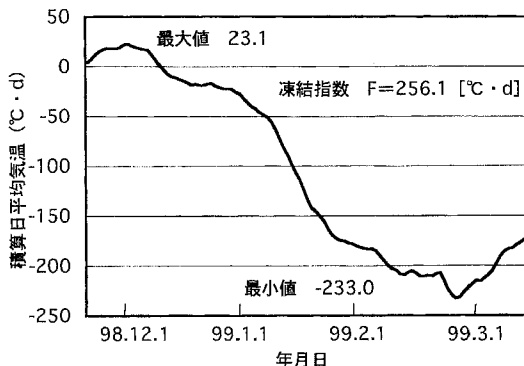


図-10 積算日平均気温と凍結指数

Fig. 10 Accumulated daily mean temperature and Freezing Index

面で 105 cm, 南向斜面で 34 cm を記録した。これらの結果から、北向斜面の地盤凍結深は南向斜面のそれより 3 倍程度大きいことがわかった。つまり、土壤凍結現象の影響は相対的に北向斜面で大きく、その後の物理的变化に対してもより大きくあらわれると推察される。すなわち、北向斜面では冬期間の土壤凍結がより強く作用するため、土壤構造の変化に対する影響も大きく、そのため間隙量、間隙径分布、粒子配向性などの条件に左右される透水性に関しても、北向斜面は南向斜面より高い値を示すと考えられる。

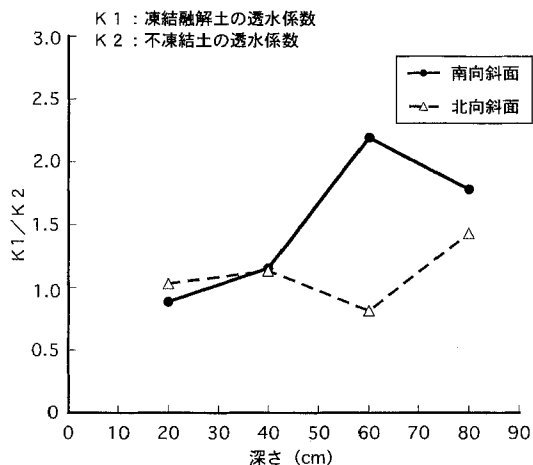


図-11 凍結融解による透水性への影響

Fig. 11 Permeability affected by freezing and thawing

人工的に凍結融解させた不攪乱土についての透水試験によれば、凍結融解履歴がないと判断される南向斜面の深い層で、透水係数が増大する傾向を示した。一方、北向斜面土層では、長年にわたり自然状態での凍結融解作用を受けてきたことにより、凍結融解作用の影響はほとんど認められなかった (図-11)。

結局、北向斜面では、地盤の凍結現象が透水性に及ぼす影響に加え、冬期間の土壤凍結が深く、かつ融解が遅いため、春先の乾燥時、および後の降雨時において相対的に多量の水分を保持することになる。このことは地被植物活性に影響を与え、広義的には土壤保全問題にも関与する。つまり、植生の被覆による地表面保護を通じて、北向斜面のほうが南向斜面より保全上有利であると判断できる。丘陵の土地利用を計画する際には、以上のような斜面の特性にも関心を払う必要があるといえよう。

8. クラスト生成による侵食への影響

表面流去水は、降雨によってもたらされた地表水が地下浸透しきれないときに発生する。黄土丘陵の傾斜畑においては、これに大きく寄与するのがクラストである。クラストは、雨滴が地表へ衝突することにより形成される難透水性の表面皮膜である。そのため、これは雨水の地下への浸透を妨げ、地表水を発生・集中させる。やがては、リルやガリへの進行を助長させる。

ここで、黄土高原安塞地域の傾斜畑で採取した試料により、クラストを含む表層土とその下層土 (下層約 10 cm) の飽和透水係数を求めた。図-12 は、クラストを含む表層土の透水係数 (α_1) と下層土の透水係数 (α_2) の

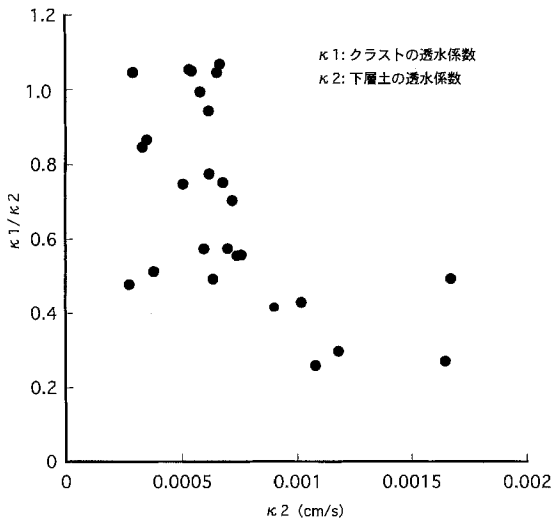


図-12 クラストによる透水性への影響

Fig. 12 Permeability affected by soil crust

関係を示したものである。ほとんどのサンプルで、 κ_1/κ_2 が1.0以下になっていることから、クラスト形成による透水性の低下がうかがえる。つまり、透水性の高い地盤であっても、クラストの生成によって雨水の地下浸透が抑制され、結果的に表面流去水の増大を招いていることが推察される。

土壌保全を考える上では、クラスト形成の抑制によって地下浸透を増加させ、表面流出水を減少させるべきであるが、黄土の化学的性質（系内に多量に存在する炭酸塩は土粒子相互を強く膠結させ強固な構造を形成する）に負うクラスト形成を効果的に抑制することは、実際には非常に困難であると思われる。

9. おわりに

黄土高原（安塞地域）における降雨の侵食性は、年により変動が大きく、またそれほど高いものではない。つまり、黄土高原の侵食流亡には降雨より土壌の性質、土地利用状況、とくに傾斜畑の形態が大きく影響していると考えられる。黄土高原の砂漠化防止は「退耕還林」を長期的目標としている。これは、傾斜地からの畑作、放牧の撤退と、草地、林地への転換によって達成され得る。しかし、当面の対策としては、梯田（棚畑）造成などによる生産性の高度化と、それに保証される急傾斜地の利用抑制を組み合わせた土地利用の再編が、社会経済上の観点からは現実的なものであろう。

また、同じ黄土高原であっても、複雑な地形のもとでの斜面の地盤性状の差異が、地被植生の活性に影響を及ぼし、広義には表土の侵食流亡にも影響すると考えられることから、黄土高原の侵食抑制対策は画一的なものではなく、土地の状況に応じたものを構築する必要がある。

本報告は、文部省科研・創成的基礎研究（代表 佐々木恵彦）を構成する「黄土高原の砂漠化防止に関する研究班（班長 武田和義）」の研究成果の一部であることを付記するとともに、研究を進める上で多くの示唆を賜った東京大学名誉教授田村三郎先生に心より御礼申し上げます。また、北海道大学名誉教授高橋萬右衛門先生には、長年にわたり多くの御助言をいただいた。中国科学院西北水土保持研究所教授盧宗凡先生をはじめ、同研究所、西北植物研究所の研究員の方々からも貴重な御助言をいただき、調査に協力いただいた。記して厚く御礼申し上げます。

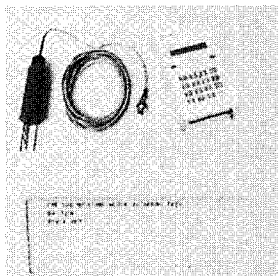
引用文献

- 黄河水利委員会治黄研究組編（芦田和男監修）（1989）：黄河の治水と開発，古今書院：28～38。
- 国際協力事業団（1999）：中国陝西省安塞県山間地区農業総合開発計画調査主報告書：3～5。
- 種田行男（1980）：我が国における流亡土量の予測，農地保全研究，1：11～20。
- 中国科学院水利部西北水土保持研究所（1990）：黄土丘陵沟壑区水土保持型生態農業研究，天則出版社：88～96。
- 農林水産省構造改善局（1992）：土地改良事業計画指針，農地開発（改良山成畑工）：158～178。
- 長澤徹明・高橋英紀・陳 国良・穆 興民（1993）：中国黄土高原における土壌侵食の特質—寧夏回族自治区固原県における調査事例—，環境科学会誌，4：277～285。
- 長澤徹明・梅田安治・大西峰隆（1995）：侵食流亡土量の推定に関する土壌と作物栽培の影響—北海道における土壌侵食抑制に関する研究（IV）—，農土論集，176：169～175。
- 任 美鏐編（阿部治平，駒井正一訳）（1986）：中国の自然地理，東京大学出版会：84。
- 王 万忠・焦 菊英（1996）：黄土高原降雨侵食産沙与黄河輸沙，科学出版社：108～136。

受稿年月日：2000年3月21日

受理年月日：2000年8月11日

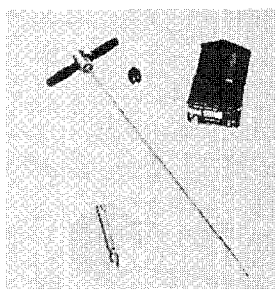
DIK-321A FDR水分計 自記タイプ



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

DIK-500A 土壌酸素計（携帯型）

土壌ガス調査用



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

DIK-100A ハンドオーガー

土壌汚染調査用



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



ダイキ 大起理化工業株式会社

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

森林土壌生態系での無機成分の動態*

生原喜久雄**

Dynamics of Inorganic Components in Forest Soil Ecosystem

Kikuo HAIBARA

Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology

1. はじめに

森林は地球上で、クリーンなエネルギーを長期にわたって保持できる唯一の資源である。地球上にできるだけ木質系資源として森林(樹木)を育成させることによって、大気中の炭素(C)を固定させ、固定させた状態で有効利用し、さらにリサイクルを行い、大気へのCの放出を抑止させることが重要である。

陸域の33%が森林であるが、地上部のC量の90%は森林が保持している。大気中のC量は陸上生物と土壤に保持されているC量のおよそ1/3と少ないので、森林の取り扱いや化石燃料の消費によって、容易に変化することが理解される。

森林を取り巻く環境は厳しく、人口増加による森林から農地への転換、発展途上国ばかりでなく、発展国でのパルプ等の木質系資源の使用量の著しい増加、酸性雨や温暖化による森林への影響など、解決すべき課題も多い。一方、大都市でのヒートアイランド化に対する樹木による抑止、樹冠による有害乾性沈着物の付着・洗脱、木質系資源による炭素の固定、土砂流出防止、保健休養機能や半砂漠・塩類土壌での緑化など森林への期待も大

きい。

森林土壌と耕地土壌の大きな違いは、森林土壌は基本的に人力の加わらない自然系である。森林の主な生態学的特徴として次のことが上げられる。温暖多雨である日本での生態的に安定した森林では、森林タイプに関係なく落葉落枝量(リターフォール量:おおよそ $3\text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ の落葉量に $1\sim 2\text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ の枯枝等の落下量を加算)はほぼ一定である(表-1)。暖温帯の生育の良い森林の落葉落枝層(A₀層)量は $10\sim 15\text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ である。従って、A₀層量をリターフォール量で除したA₀層の回転は2~4年程度である。

生態的に安定した森林の地上部の総葉量は年間落葉量に寿命を乗した値である。アカマツ・クロマツ、常緑広葉樹および常緑針葉樹の寿命は、それぞれおおよそ2, 2.5, 5年である。

純生産量を葉量で除した1tの葉による年間のおよその純生産量は、常緑針葉樹林で1t, 常緑広葉樹林で2t, 落葉樹(広葉樹, 針葉樹)で3tである。

生態的に安定した同じ森林タイプでは、リターフォール量はほぼ一定で、A₀層量もほぼ一定なので、リターフォール量に見合う有機物が毎年、無機化する。しかし、

表-1 日本の森林の葉量, 落葉量および純生産量(只木・蜂屋1968)

Table 1 Leaf biomass, leaf fall amounts and net production of Japanese forests (Tadaki and Hachiya 1968)

森林タイプ	葉量 ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)	落葉量 ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$)	純生産量 ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$)	能率 (純生産量/葉量)
落葉広葉樹林	2.9 ± 1.5	3.2 ± 2.0	8.7 ± 3.0	3.0
落葉針葉樹林	2.9 ± 1.0	2.7 ± 0.6	10.1 ± 4.4	3.5
常緑広葉樹林	8.6 ± 2.6	3.7 ± 1.5	18.1 ± 4.9	2.1
常緑針葉樹林	16.0 ± 4.6	3.4 ± 2.5	13.5 ± 4.2	0.8

*本報告の一部は1999年11月に開催された土壌物理学会シンポジウムで発表した。**東京農工大学農学部地域生態システム学科(〒183-8509 府中市幸町3-5-8)

キーワード: 森林小流域, 森林土壌生態系, 炭素の動態, 窒素の動態, 上壤水質形成

亜寒帯林や熱帯林になると、これらの値は大きく変化する。日本の暖温帯の森林は、熱帯林と亜寒帯林の両方の生態的特徴を持っている。

A₀層は微生物の分解の程度で、落葉層(L層)、発酵層(F層)、腐植層(H層)に区分される。腐植の程度で、モル型、モダ型、ムル型に区分する場合もある。

A₀層で小動物等によって破碎された有機物は、降水によって下層の鉱物土壌層へ運ばれ、微生物等によって分解され、無機化される。暖温帯での定常状態の森林では、生育期間の太陽エネルギーの2%前後が総生産として森林に保持されるが、呼吸によっておよそ半分が消費されるので、純生産量はほぼ1%と少ない。また、純生産量からリターフォールおよび被食でエネルギーが消費されるので、現存量の増加分は、生育期間中の光エネルギーのわずか0.2%程度にすぎない。老齢林の純生産量はゼロに近い。

樹木の生育にとって、土壌生物による有機物の破碎・無機化は非常に重要である。森林は、生理活性の低下した落葉を餌にして、土壌に土壌生物を飼育しているといえる。森林の土壌生態系での物質動態を考える場合、生きている土壌を対象としていることの認識が必要である。

ここでは、森林土壌生態系での無機成分の動態に関するいくつかの主要な研究課題を窒素(N)およびCを中心に紹介する。

2. 森林小流域での生物地球化学的循環

森林生態系での物質循環は生物地球化学的(biogeochemistry)循環である。斜面をもつ森林において森林生態系での物質動態を考える場合、小流域を最小単位(unit)として考える(調査する)ことが有効である。その理由として下記のことが上げられる。

- ① 集水域は定まった一つの生態系である。
- ② 集水域の下端に水位計を取り付けることにより、水および物質の収支の計算が可能である。
- ③ 集水域からの流出水の水質を観察することによって、森林の管理に対する反応を評価することができる。
- ④ 森林域-水系における水、無機物および有機物の動態解明が可能である。

小流域を1つの生態系としてみる場合、斜面下部から斜面上部を連鎖系としてとらえることが重要で、斜面での1カ所(点)や斜面下部から斜面上部の線の情報から流域(面)への情報収集および情報の総合化が、今後さらに重要になってくる。

図-1は森林生態系でのエネルギーや物質の流れを示しているが、この図を1つの流域としてみるのが重要

である。個々のコンパートメントに、具体的な数値を入れるのは、大変な労力と時間を要するが、森林帯(熱帯雨林、熱帯季節林、常緑広葉樹林、落葉広葉樹林、針葉樹林)別のコンパートメントの数値情報が急がれる。

森林生態系での物質循環のメカニズムが明らかにすることは、その生態系に何らかの具体的な働きを与えた時や加わった時に、反応の予測が可能となることの認識が必要である。例えば、ある森林を皆伐した場合、溪流への水量および水質がどのように変化するか、今後、降雨中のpHが変化した場合、土壌のpHや渓流水の水質がどのように変化するのかを予測するためには、図-1に示した項目の中で、どのような情報を収集すれば、シミュレーションできるかを考えていく必要がある。注意すべき点は、目的によっては斜面中部での調査が、必ずしも流域を代表しないという認識である。

大きな流域を持つ森林生態系での物質循環を明らかにするには、労力的にも難しいので、数haを対象として調査が行われている。しかし、流域での物質循環の報告はまだ少ない。最近では、同一連鎖系にある斜面下部から上部にかけての森林土壌生態系での物質動態特性の研究が積極的になされている。

3. 同一連鎖系での有機態Nの分解と無機態Nの動態

斜面位置によって、土壌中の有機態Nおよび無機態Nの動態は大きく異なる(図-2)。微生物バイオマスに含まれるCおよびN量は、中古生層の森林土壌では、それぞれ300~900 kg・ha⁻¹、50~150 kg・ha⁻¹程度で、微生物バイオマスの代謝回転速度は1.5~2.0 yrである。従って、年間のNの吸収量が50~100 kg・ha⁻¹・yr⁻¹の暖温帯の森林にとって、微生物バイオマスNそれ自体が林木のN栄養源になっていることが理解される。

一般に、斜面上部では、斜面下部に比較して糸状菌が多いため、微生物バイオマスNおよびC量は多い。しかし、斜面上部では、有機態NやCの分解速度は遅く、斜面下部では速度が速いため、一般に、無機態N量は斜面下部で多い。無機化されたNH₄⁺-Nは、斜面下部では硝化作用のため速やかにNO₃⁻-Nに変化するが、斜面上部ではNO₃⁻-Nへの移行は遅い。

現地や室内でのインキュベーションによって、N無機化量を測定しているが、実際は純N無機量(総N無機化量-総N有機化量)の測定であり、総N無機化量は測定されていない。斜面上部では、無機化されたNは、再び微生物によって取り入れられ、有機化される。¹⁵N等を用いて、総N無機化量が求められるが(Davidson *et al.*, 1991)、日本での調査例は少ない(嶋

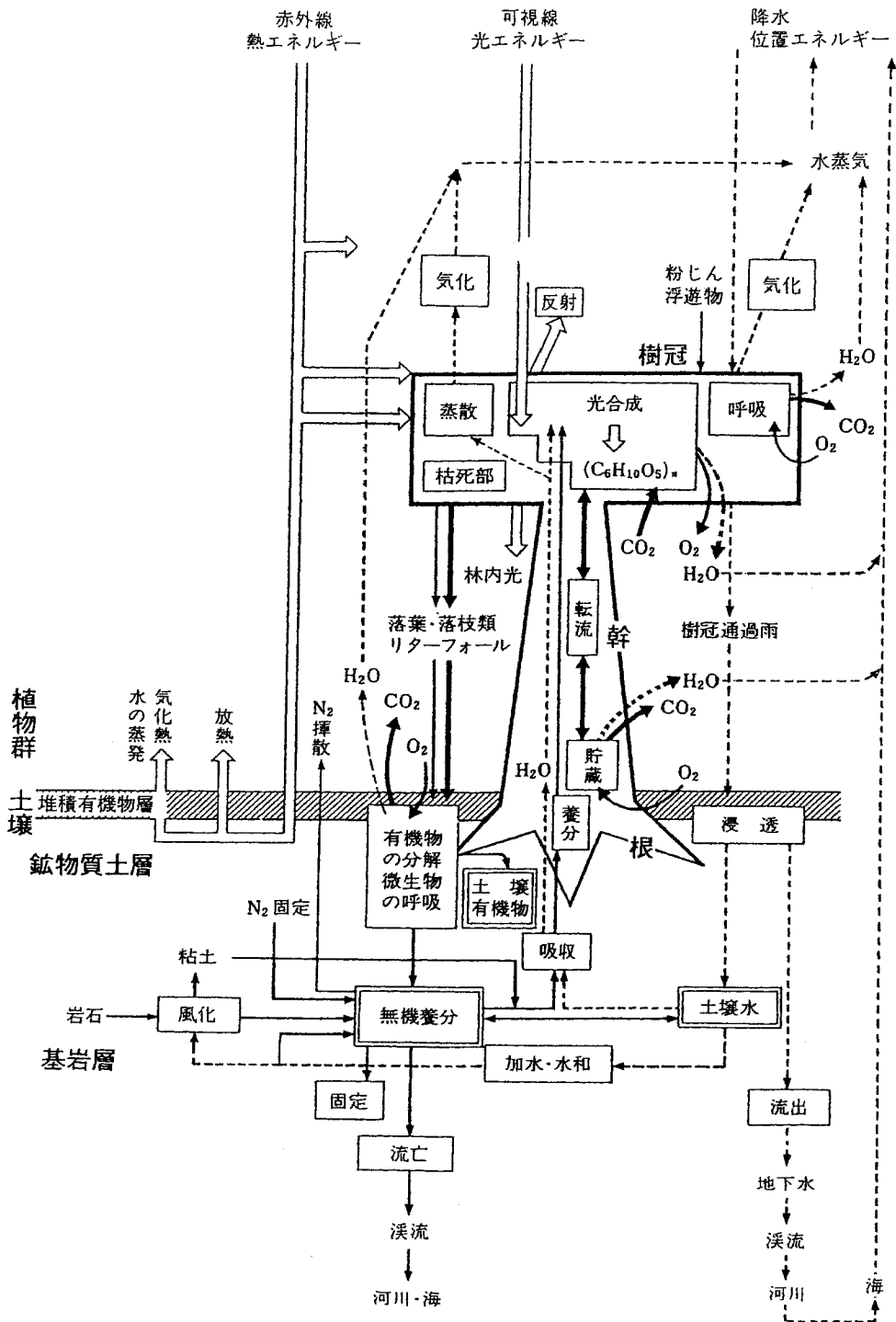
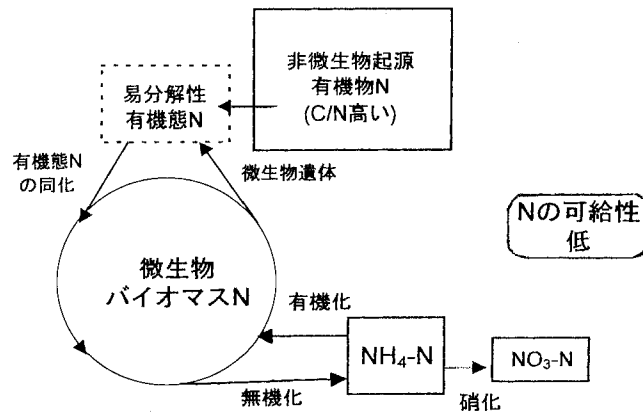


図-1 森林生態系でのエネルギーおよび物質の流れ (相場, 1992)

Fig. 1 Flow of energy and materials in forest ecosystem (Aiba, 1992).

斜面上部での窒素循環



斜面下部での窒素循環

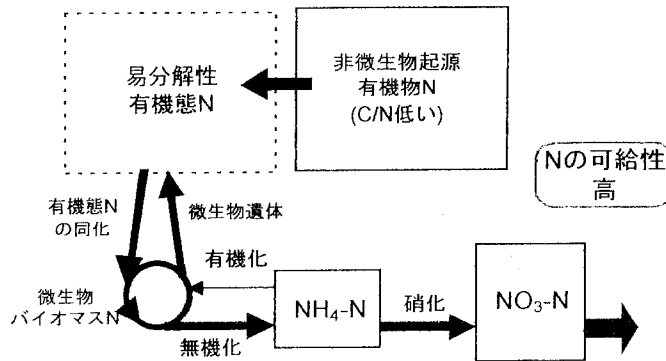


図-2 森林の土壌生態系での斜面別の窒素の動態 (Toda and Haibara, 1997)

Fig. 2 Nitrogen dynamics at the different slopes in forest soil ecosystem (Toda and Haibara, 1997).

ら, 1993; 戸田ら, 1998)。

図-3に斜面位置別のNの循環の模式図を示す。斜面上部では無機態Nは $\text{NH}_4^+\text{-N}$ で存在し、陽イオンなので、後述する土壌コロイドおよび腐植に吸着される。斜面上部では無機化されたNを、樹木よりも微生物が優先的に吸収(有機化)する(武田, 1994)。斜面上部の樹木は、菌根との共生(菌根は植物から光合成で生成したアミノ酸等をもらい、土壌中のNやPを吸収し、植物に供給する)樹種が有利となる。極相林を構成する多くの樹木も菌根を持っている。また、斜面上部の落葉広葉樹は落葉する時には、葉中養分を樹体に転流させ、吸収したNを効率よく利用する。このことは、土壌での落葉のN無機化が遅く、少ないためである。

斜面下部では、微生物の活性も高く、無機化した $\text{NH}_4^+\text{-N}$ は、硝化細菌によって速やかに $\text{NO}_3^-\text{-N}$ に変化する。 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ は陰イオンなので、水に溶けやすい。従っ

て、植物の方が微生物よりも吸収が有利である。Nは NO_3^- で水に溶けているので、蒸散の盛んな、すなわち大型の葉を持っている樹種が有利である(武田, 1994)。また、植物の根系は、斜面位置で異なり、斜面上部では、 A_0 層に近い所で細根を広げ、無機化したNをできるだけ速やかに吸収するという特徴を持つ。一方、斜面下部にある樹木の根は、下層へ移動する水溶性の $\text{NO}_3^-\text{-N}$ を効率よい方法で吸収するための根系を発達させている(徳地, 1996)。地上部/地下部のバイオマス重量比は斜面上部で小さい。

以上のように、土壌生態系での斜面位置によるN動態の特性について簡単に概説したが、有機態Nの無機化特性や無機態Nの形態は斜面下部から上部にかけて、ある法則性を持って次第に変化するのではなく、斜面中部では斜面上部か斜面下部のどちらかの性質が強く現れる。

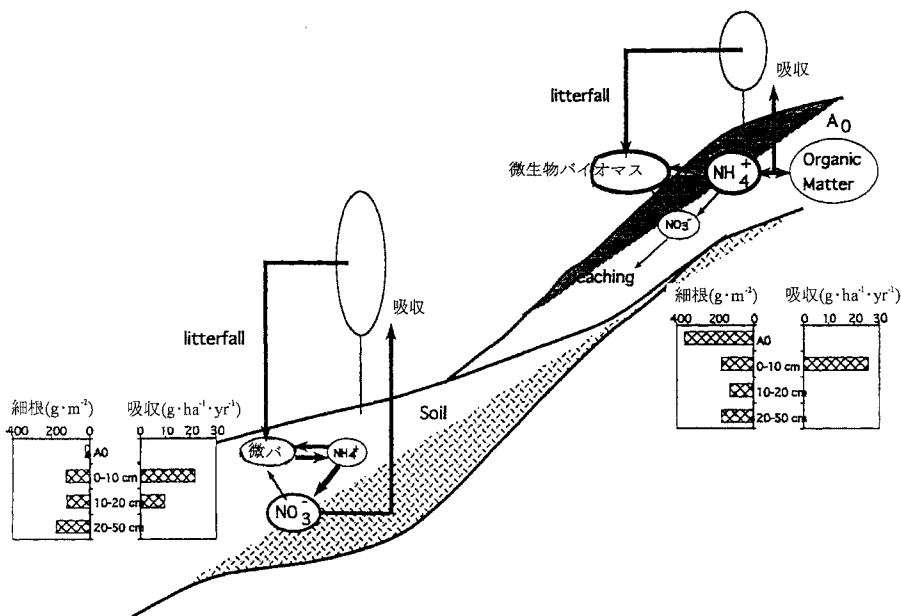


図-3 斜面別の物質循環機構 (徳地, 1996)

Fig. 3 Circulation mechanism of inorganic materials at different slopes (Tokuchi, 1996).

ある地点でのNの無機化量を求めることはそれほど難しい。しかし、環境変動にともなう大きな面積での森林土壌からのN無機化量をシミュレーションする場合、どのような要因がNの無機化を規制しているかを明らかにし、それらの要因が森林の取り扱いや地球環境変動によってどのように変化するかを知ることが重要である。

一般に、土壌中のNの無機量は(1)式で表示される(Stanford and Smith, 1972)。

$$N = N_0(1 - \exp(-k \cdot t)) + C \quad (1)$$

ここで、 N は生成した無機態N量 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、 N_0 は潜在的に無機化可能な有機態N量 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、 t は時間 (day)、 k は反応速度定数 (day^{-1})である。 C は定数(現存する無機態N量 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$))である。

k はNの無機化速度の大小を示す指標であり、N無機化にかかわる微生物の活性を現す特性値である(齊藤, 1990)。

k と温度との間には、Arrheniusの法則である(2)式が成立する。

$$k = A \exp(-E_a/RT) \quad (2)$$

ここで、 A は定数、 E_a は見かけの活性化エネルギー ($\text{cal} \cdot \text{mol}^{-1}$)、 R は気体定数 ($1.987 \text{ cal} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)、 T は絶対温度 (K)である。

E_a は土壌有機物の分解抵抗性を示す一つの指標とし

て、大きいほど有機態Nの無機化にエネルギーを必要とする特性値である。

日本は、降雨量が多いため、土壌微生物の活性に影響を及ぼすほどの乾燥土壌になることは少ないので、個々の土壌のN無機化特性値である N_0 、 k および E_a がわかれば、地温を知ることによって、Nの無機化量の推定が可能となる。しかし、 E_a を精度よく求めるには、いくつかの温度段階で調査を行い、各温度での k を求めてから、 E_a を推定する必要がある。

杉原ら(1986)は、20、25、30°Cの3温度培養の結果から時間軸の変換によって、 E_a 、 N_0 および k を求める方法を開発している。森林土壌においても、これらの3つの分解特性値と林齢、斜面位置や深さとの関係(戸田・生原, 1994)、土壌の水分やpHとの関係(戸田1994)が調査されている。

図-4に N_0 と k および E_a の関係を示す。 N_0 と k の間には正の直線的な関係が、 N_0 と E_a の間には負の直線的な関係である。森林土壌は、耕地土壌に比較して N_0 の大きいことが特徴である。

一般に、これらの分解特性値を求める場合、自然状態(非攪乱)での培養でなく、調整(攪乱)した土壌を用いている。従って、これらの特性値を用いて地温の関係から、自然状態のN無機化量を求めるには、自然状態に近い非攪乱培養を行うか、攪乱と非攪乱による無機化特性

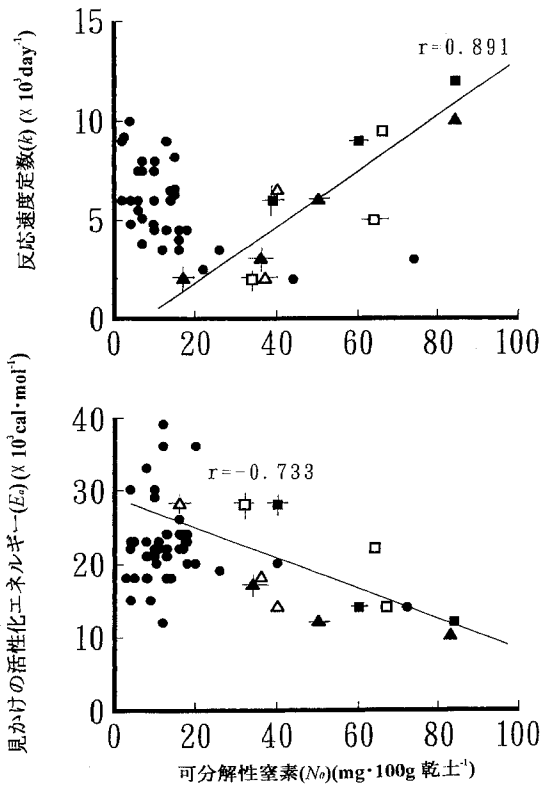


図-4 可分解性窒素量 (N_0) と反応速度定数 (k) および見かけの活性化エネルギー (E_a) との関係 (戸田・生原 (1994) を一部修正)

Fig. 4 Relationships between nitrogen mineral potential (N_0) and the rate of constant mineralization (k), and apparent activation energy (E_a) (Toda and Haibara, 1994, partial modification).

- ヒノキ幼齢林斜面上部 $\triangle 0\sim 5\text{ cm}$; $\triangle 5\sim 10\text{ cm}$;
 $\triangle 10\sim 15\text{ cm}$
- スギ幼齢林斜面下部 $\blacktriangle 0\sim 5\text{ cm}$; $\blacktriangle 5\sim 10\text{ cm}$;
 $\blacktriangle 10\sim 15\text{ cm}$
- ヒノキ壮齢林斜面上部 $\square 0\sim 5\text{ cm}$; $\square 5\sim 10\text{ cm}$;
 $\square 10\sim 15\text{ cm}$
- スギ壮齢林斜面下部 $\blacksquare 0\sim 5\text{ cm}$; $\blacksquare 5\sim 10\text{ cm}$;
 $\blacksquare 10\sim 15\text{ cm}$
- 耕地土壌 ●

値の違いを明らかにしておくことが重要である。

4. 同一連鎖系での有機態 C の分解

土壌に含まれる有機態 C は、亜寒帯林から熱帯林にかけて、大きな違いがなく、 $200\sim 300\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ 程度である (依田, 1982)。一方、有機態 N は亜寒帯林で $10\text{ t}\cdot$

ha^{-1} 、熱帯林で少なく、 $5\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ 程度で、およそ 2 倍の違いがある。

土壌からの CO_2 のフラックスを土壌呼吸と称し、多くの調査が行われている。現在、森林土壌からの CO_2 のフラックスを調査している主な方法として、密閉法による KOH 吸収法、ガスクロマト法および通気法による赤外線アナライザー法などがある (石塚, 1999)。調査の目的によって種々の改良がなされている。しかし、調査方法によって測定値が異なることが指摘されている (Nakadai *et al.* 1993)。このことは、早急に解決すべき課題である。

図-5 に同一連鎖系 (標高 $730\sim 800\text{ m}$) での斜面位置別の土壌中の CO_2 濃度を示す。全ての斜面で深い所ほど CO_2 濃度は高い。また、成長休止期で低く、成長期で高い傾向があり、地温の変化とほぼ一致した傾向を示す。気相率は深い土壌ほどその値は小さいが、斜面による違いは顕著でない。

気相率と相対拡散係数 (D/D_0) との関係では (図-6)、表層の $0\sim 5\text{ cm}$ では直線で近似されるが、それ以深ではべき乗式で近似される場合が多い。また、同一斜面では、気相率と D/D_0 の間には斜面位置や深さによる大きな違いはみられない。小流域での土壌からの CO_2 フラックスをシミュレーションする為のサンプル数などについては今後の課題である。

斜面別の土壌表面温度と土壌からの CO_2 フラックスの関係を図-7 に示す。地表面からの CO_2 フラックスは、一般に地温や土壌水分と相関のあることが知られている。湿潤なわが国の森林土壌では、土壌水分よりも地温と CO_2 フラックスの間に相関が高く、両者間には指数関数的な関係が報告されている。この調査では、11時から14時にかけての CO_2 濃度の測定値を用いて、1日の CO_2 フラックスを求めているが、1日での CO_2 フラックスの変化、晴天が続いた後の降雨時の CO_2 フラックスの変化等の詳細な調査が必要である。また、土壌生物と根による CO_2 フラックスの分離が急がれる (江口ら, 1997)。

5. 土壌水質の動態特性

森林生態系での降水の移動に伴って、水量および水質がどのように変化しながら、渓流水に至るかを理解することは、生態系内での物質循環や渓流水の水質形成機構を明らかにする上で重要である。

日本の平均年降水量は 1700 mm 前後と、世界の中でも多雨で、温暖である。生態的に安定したスギ・ヒノキの造林地では、降雨が樹冠を通過すると、林外雨のおよそ 20% が遮断される。 10% 以下が樹幹流として、残り

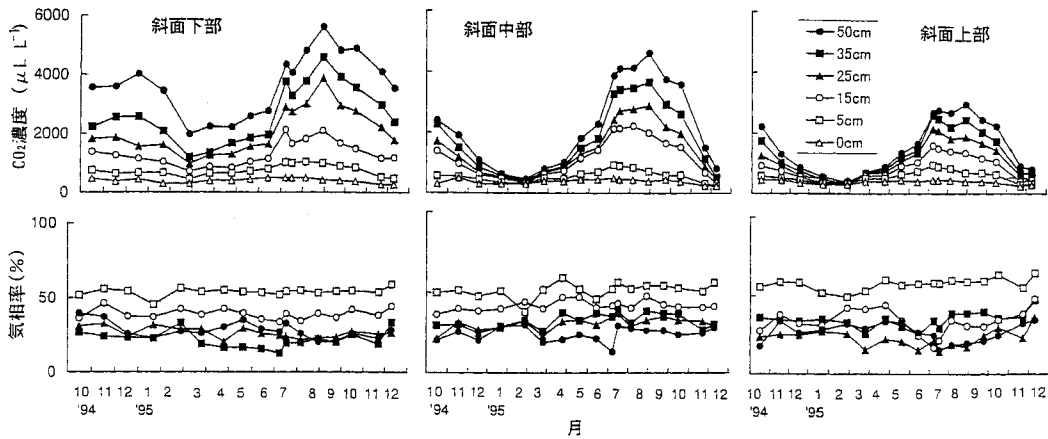


図-5 斜面位置別の土壌中のCO₂濃度および気相率の季節的変化(島田ら, 1998 a)

Fig. 5 Seasonal changes of the CO₂ concentration and gaseous phase ratio of the forest soil at the different slopes.

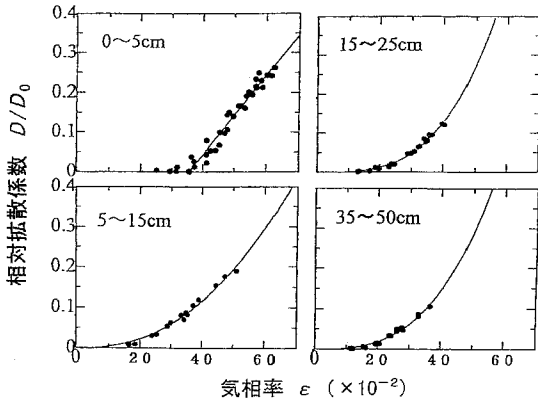


図-6 斜面中部における深さ別の気相率(ϵ)と相対拡散係数(D/D_0)の関係(島田ら1998 b)

Fig. 6 Relationships between the gaseous phase rate (ϵ) and relative gas diffusion coefficient (D/D_0) at each depth on the middle slope (Shimada *et al.*, 1998 b).

のおよそ70%が林内雨として土壌へ供給される。林外雨に含まれる物質量は、場所によって大きく異なるが、都市から離れた日本の森林域では、N・K : 5, P : 0.3, Ca : 10, Mg : $2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ 程度である。林外雨が樹冠を通過すると、樹体には粉塵等が付着しているため、K以外は2~3倍に増加するが、Kは葉からの溶脱があるため、針葉樹林で5倍に、落葉広葉樹林では5~10倍に増加する。

A₀層で無機化した物質は、降水に溶解し、鉍物土壌層へ移動する。一方、土壌動物等で物理的に破碎した有機物も、鉍物土壌層へ移動するが、その量を調査した事例はみられない。

土壌の水質は植物との吸収および洗脱・溶脱、粘土鉍物や腐植との置換・吸着、土壌生物との分解・吸収および基岩との化学的風化と沈殿などによって変化し、生態的に安定した森林ではこれらの間にバランスが保たれている(図-8)。また、渓流水の水質形成を考える場合、

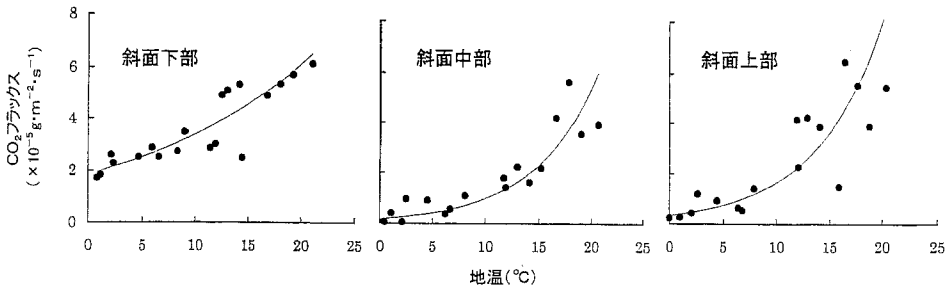


図-7 斜面位置別の地温と土壌からのCO₂フラックスの関係

Fig. 7 Relationships between the soil temperature and the CO₂ flux from the soil surface at the different slopes.

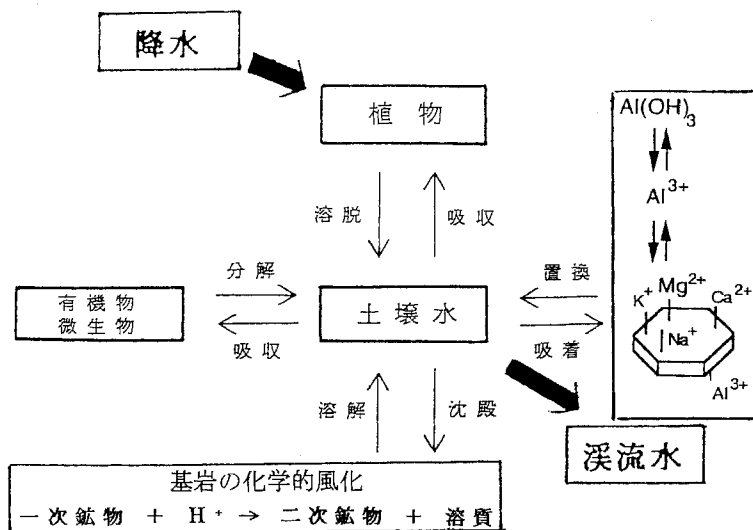


図-8 土壌水質に及ぼす各コンパートメントの動的関係

Fig. 8 Dynamic relations of each compartment and its influence on water qualities.

個々のコンパートメントの変化によって土壌水は大きく変化することの認識が必要である。

日本の森林域では、およそ 1,300 mm 以上の降雨ならば、森林による蒸発散量は 700~800 mm 程度で一定である。それ以上の降雨量があっても蒸散量の増加量は少ない。日本の森林では多量な降水が土壌を通過していることが理解される。

土壌水中の物質移動速度を求めるためには、土壌水の移動速度を明らかにする必要がある。森林土壌中で水の移動速度の推定は、多くの研究者によって調査されている。しかし、斜面であること、場所によって礫の割合、ルートチャンネルの分布が異なる等、難しい課題である。また、樹木による土壌層での深さ別の蒸散に伴う水分減少量も明らかにする必要がある。

土壌水の採取は、ポーラスカップを取り付けた採水器で容易に採取することができるので、植物の根から吸収されず、土壌の粘土コロイドや腐植に吸着しない物質をトレーサに用いれば、深さ別の蒸散に伴う土壌水量の減少が推定できるが、まだそのような調査はなされていない。

土壌水による移動イオン量は、陰イオンと陽イオンを吸着するイオン交換樹脂をバックに等量入れ、両面をネットでカバーし、深さ別に設置し、6ヶ月または12ヶ月後に回収し、吸着したイオンを抽出することによって求められる。この場合、樹脂バックを埋設する時に、土壌構造を破壊しないよう十分注意をする必要がある。

土壌水採水器とイオン交換樹脂バッグをくみ合わせる

ことによって、層別の陽イオンおよび陰イオンの移動量が推定できる。また、元素の移動量と土壌水の濃度から、理論的には土壌水の層別移動量の推定も可能であるが、報告はみえていない。

ポーラスカップを用いて土壌水を採取した場合、一定の吸引圧で長時間の採水が難しく、採取した土壌水と pF との関係は明確でない。

1.27 ha のスギおよびヒノキが植栽されている幼齢林小流域に、尿素化成肥料 (20 : 10 : 10) を N で $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 施用し、ポーラスカップをとりつけた土壌採水器を深さ別に設置し、pF 4.2 までの土壌水量にイオン濃度を乗じて求めた ha 当たりのイオン量の季節的变化を図-9 に示す。施肥後、6月から8月には植栽木の吸収のため、 NO_3^- -N 量は増加しないが、植栽木の吸収量が低下した9月以降になると、土壌水中の NO_3^- -N 量は増加している。この図は、斜面の中腹にコンターにそって10カ所に断面を設置し、深さ別に調査したので、斜面上部や斜面下部では、大きく異なった傾向がみられるものと予測される。また、土壌水の N 濃度を測定することによって、施用した N の土壌中での消失期間の推定が可能である。

斜面をもつ森林では、表層土壌は水分環境を反映した構造が発達する。斜面下部の下降斜面では、表層に団粒状構造および塊状構造が、斜面中部の平衡斜面から斜面上部の上昇斜面では堅果状構造が発達する。また、斜面上部では粒状構造や粉状構造が発達する。これらの構造は、水分保持能力だけでなく、交換性陽イオン量や微生物活性等と強い関係がある。それらの土壌構造の正確な

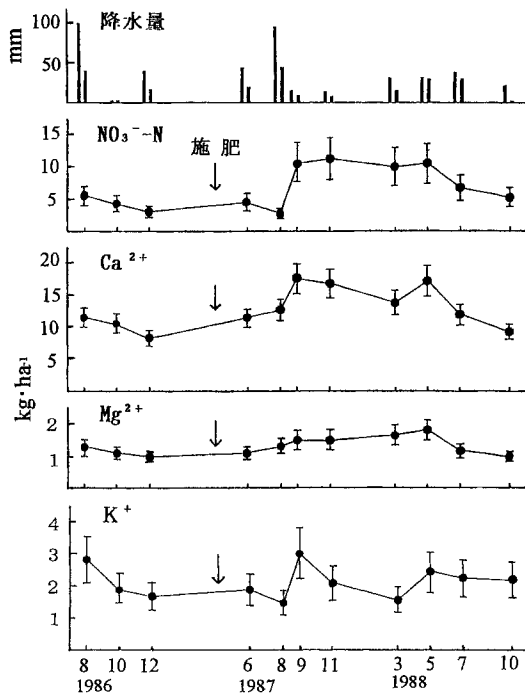


図-9 スギ・ヒノキ小流域 (1.27 ha) での施肥後の土壌水中の養分量変化
 Fig. 9 Changes of nutrient amounts of soil water after fertilization in sugi and hinoki in a small catchment (1.27 ha).

量的把握が急がれる。

5.1 土壌水中の H⁺ と陽イオン、陰イオン濃度の関係

水溶液は陽イオンと陰イオンとが電気的に等量の関係になっている。粘土コロイドや腐植は、表面が負荷電になっているため、水分のある状態で、それらの表面近くに負荷電と等量の陽イオンを余分に持つことができる(便宜上、ここでは吸着と表示)。そのメカニズムは拡散二重層のモデルで説明されている。

土壌水中の陽イオン濃度は、陰イオン濃度に支配され、日本の土壌水や渓流水の主な陰イオンは NO₃⁻、SO₄²⁻、Cl⁻、HCO₃⁻ で、陽イオンは Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺、Na⁺ の塩基である。土壌水の pH が 4.8 以下になると Al³⁺ も溶出する。(図-10)。

土壌や腐植に吸着しやすい陽イオンは Al³⁺ > H⁺ > Ca²⁺ > Mg²⁺ > K⁺ = NH₄⁺ > Na⁺ で、原子価の大きいほど、同じ原子価であれば原子量の大きいイオンが吸着しやすい。K⁺ や NH₄⁺ でも溶液の濃度が高ければ、Ca²⁺ や Mg²⁺ と吸着交換がなされる。日本の土壌では、一般に、土壌水の陰イオン濃度が高まると、交換性 Ca 量が他の塩基よりも多いため、最初に Ca²⁺ が溶出する。

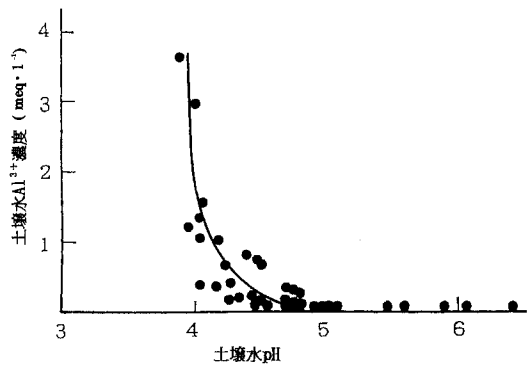


図-10 土壌水の pH と Al³⁺ 濃度の関係
 Fig. 10 Relationships between pH and Al³⁺ concentration in soil water.

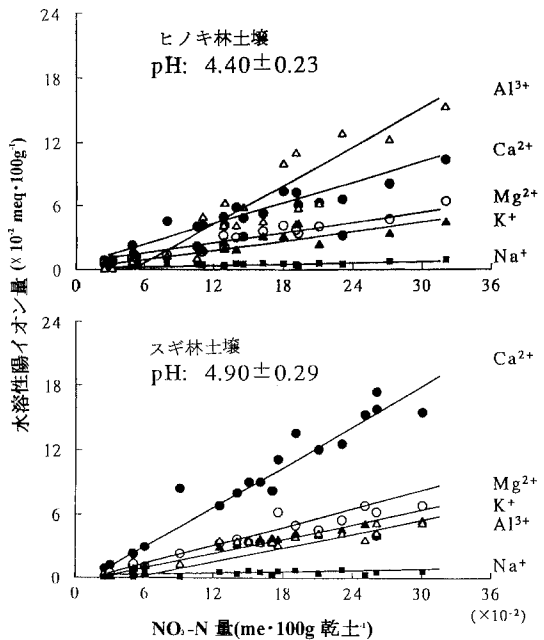


図-11 NO₃⁻-N の生成量と水溶性陽イオンの生成量の関係 (呉ら, 1998)
 Fig. 11 Relationships between NO₃⁻-N production and water soluble cations (Gu et al., 1998).

土壌中で陰イオンである NO₃⁻ の増加で、H⁺ が生成されると、粘土コロイドや腐植に吸着している他の陽イオンと交換される。また、交換された陽イオンは、土壌水へ溶出する。交換される陽イオンは土壌の pH に影響される(図-11)。土壌生態系への H⁺ のインプットは、炭酸を含んだ雨水や酸性降水物 (S 酸化物, N 酸化物な

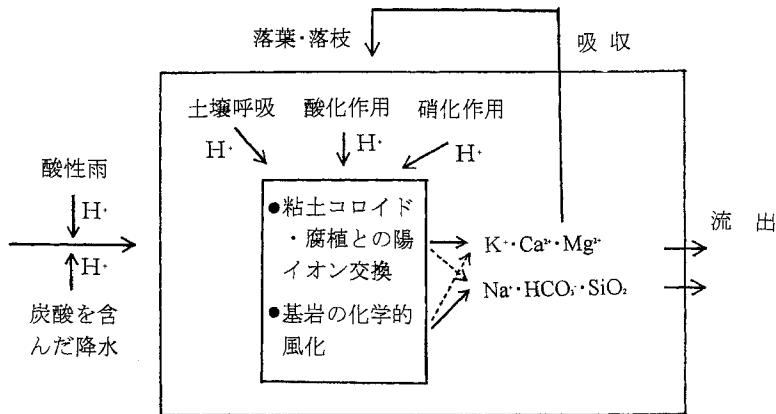


図-12 土壌生態系の物質動態に及ぼす H⁺ の影響

Fig. 12 Effects of H⁺ concentration on material dynamics in forest soil ecosystems.

ど)による森林生態系へのインプット、土壌生態系内での H⁺ の生成(土壌呼吸、硝化作用、酸化作用など)の多少によって、土壌に吸着している陽イオンは変化する(図-12)。

スギ林では、林齢が増加するにつれて交換性 Ca が増加することが明らかにされている(澤田・加藤, 1991)。土壌 pH に及ぼす酸性雨による影響を考える場合、酸性雨は pH を低下させるいくつかの要因の一つであることに留意する必要がある。森林土壌をカラム等にいれ、1 年分の降雨量に相当する酸性の水を短期間に流下させ、溶出する陽イオン量を測定し、今後の土壌 pH の変化を予測するのは適切な方法でない。

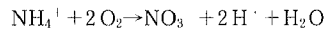
土壌生態系でのインプットおよび土壌生態系で生成される H⁺ と他の陽イオンとの動態特性を明らかにした上で、土壌の pH の変化の将来予測および対策を考えることが重要である。

人為による森林への働きや施肥等による土壌 pH の低下を予測する場合、H⁺ の生成量および根圏での土壌コロイドや腐植での Ca²⁺ や Mg²⁺ などの陽イオンの交換量と H⁺ による母材の化学的風化による Na⁺ や SiO₂ の溶出量を具体的に区分する方法が急がれる。

5.2 渓流水の水質形成

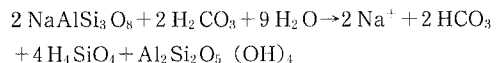
図-13 に深さ別の土壌水、湧水および渓流水のイオン濃度を示す。森林土壌では、表層で有機物の無機化が最も盛んなため、土壌水中の NO₃⁻-N 濃度が最も高い。土壌水中の養分は、樹木に吸収されるため、下層に行くにしたがって、濃度は低下する。

NH₄⁺ がアンモニア酸化菌および亜硝酸酸化菌によって、下記のように 1 モルの NO₃⁻ の生成で 2 モルの H⁺ が生成される。



生成された H⁺ は土壌コロイドや腐植に吸着している Ca²⁺ や Mg²⁺ と交換され、土壌水中の Ca²⁺ や Mg²⁺ が溶出される。樹木に吸収されたり、沈殿したりして次第に濃度を低下させ、渓流水になる。

一方、土壌水の Na⁺、HCO₃⁻ や SiO₂ は下層へ行くほど濃度を高め、渓流水に移行する。深い土壌でこれらのイオン等が高いのは、下記のように曹長石が化学的風化を受けるためである(Schlesinger, 1991)。



従って、土壌中での滞留時間が長く、深い層を通過してくる流出水は、pH は中性に近く、陰イオンは HCO₃⁻ 濃度が高く、陽イオンでは Na⁺ や SiO₂ や石灰岩地帯では、特に Ca²⁺ の濃度の高い。

図-13 に示した状態で、降雨があると、溪流に近い土壌表面で高濃度の NO₃⁻ や Ca²⁺ が溪流へ流れ込むため、渓流水の濃度は高まる。一方、Na⁺ や HCO₃⁻ は反対に低下する。その変化の程度は、降水が土壌を通過する時間や深さに影響される。

降雨時に渓流水の pH や NO₃⁻-N 濃度の変化しやすい流域では、森林に人為による作用を与えた時、渓流水質の影響しやすい流域なので、施業管理に注意する必要がある。

Likens *et al.* (1970) は、皆伐を実施して、除草剤で植生を抑制させた場合、非皆伐地での NO₃⁻-N 濃度が 4 ppm 程度に対して、最大 80 ppm の増加したことを報告している。その後、多くの地域での皆伐による渓流水質を調査した結果から、皆伐による渓流水質は次の要因に強く影響される(Vitousek and Melillo, 1979)。

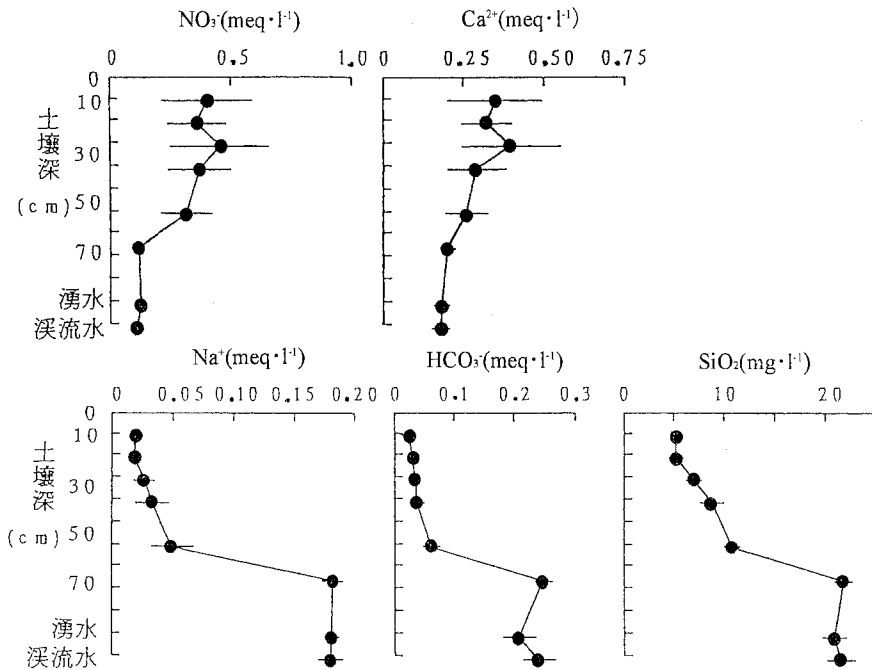


図-13 土壌から溪流にかけての水質変化

Fig. 13 Changes of water qualities from soil to stream.

- ① 皆伐地の地表温度の増加程度
- ② 土壌水の移動経路
- ③ 地形および前生樹種
- ④ 植生の有無

図-14は、土壌深(50~60cm)の水溶性の $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ 比(等量比)と溪流水のそれとの関係を示したものである。 Cl^- は土壌による吸着が他の物質に比べて小さく、形態の変化や母材からの溶出がほとんどないため、水移動のトレーサとして有効な物質である。 Cl^- に対する各物質の比をとることによって、土壌容積重、水分量や流出水量等の小集水域間の違いを消去して比較することができる。

土壌水の水溶性の $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ 比が高くなるほど、溪流水のそれも高くなる傾向がある。溪流近傍の土壌の50~60cmの深さでは、生理活性の高い根はきわめて少ない。このことから、溪流水の NO_3^- -Nには、根系外への NO_3^- -Nの逃亡の程度が強く影響する。深さ50~60cmの土壌の水溶性の $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ 比は、その標準偏差の最低値は溪流水の $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ 比と同程度であるが、平均値としては溪流水のそれよりも大きい。還元状態の地下水帯において脱窒菌による NO_3^- -Nの還元が予測される。

林外雨→土壌水→溪流水のイオン濃度を調べると、土壌深80cmの NO_3^- -N濃度が溪流水の NO_3^- -N濃度と

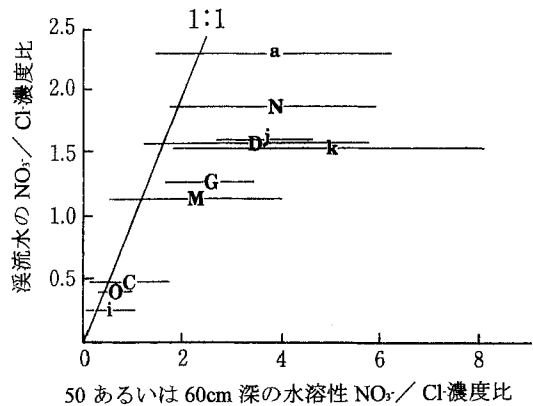


図-14 土壌(50あるいは60cm深)の水溶性の $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ 比と溪流水の $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ 比との関係(大類ら1994)

Fig. 14 Relationships between $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ ratio in water soluble with a soil depth 50 or 60 cm and $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ ratio in stream (Ohruai et al., 1994).

a~i: 小流域番号

の間に大きな違いがあり、このことから脱窒がおきていると予測される。不飽和状態での森林土壌での NO_3^- -Nの脱窒量に関してはこれからの研究課題であ

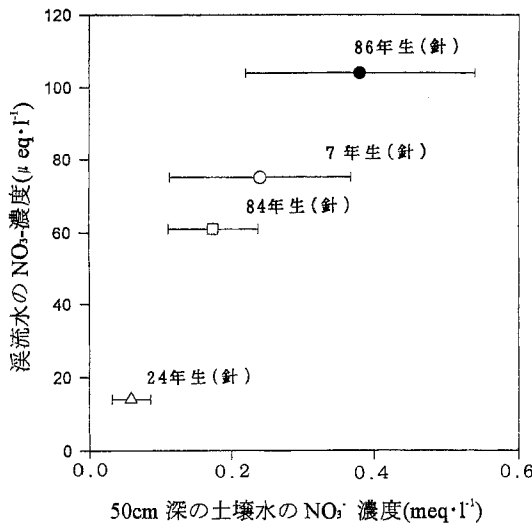


図-15 50 cm 深の土壌水の NO₃⁻ 濃度と渓流水の NO₃⁻ 濃度の関係 (Ohrui and Mitchell, 1997)

Fig. 15 Relationships between the NO₃⁻ concentration in soil water with a soil of depth 50 cm and the NO₃⁻ concentration in a stream (Ohrui and Mitchell 1997).

る。

温暖多雨の日本の森林では、夏季に雨が多い。従って、夏季での森林土壌での有機物 N の無機化が盛んで、土壌水の N 濃度が高まる。樹木の生理的活性が高く、土壌水の N を樹木 (植生) によって吸収されればよいが、吸収されない場合に渓流水の NO₃⁻-N 濃度は高まる。従って、成長期での渓流水の無機態 N の高まりの大小は、流域として N 飽和の指標となる。

50 cm 層での土壌水の NO₃⁻-N 濃度と渓流水の NO₃⁻-N 濃度には正の相関があり、林齢の高い林分や幼齢林で濃度が高く、成長旺盛な中齢林で低い (図-15)。温暖多雨の日本の森林土壌では、有機態 N の無機化が盛んであるが、壮齢~老齢林や幼齢林では樹体の増加に用いられる窒素量は少ないため、溪流に近い斜面下部での窒素の過剰が予測される。渓流水の N による富栄養化については、今後の研究課題である。また、渓流水の水質変化は溪流に近い土壌の影響が大きく影響していることが指摘されているが (Ohrui & Mitchell, 1998)、溪流からどの程度の範囲が大きく影響しているかの調査が急がれる。また、このことが理解されれば、森林の渓流水質に及ぼす森林管理のあり方も大きく変わってくるものと思われる。

4. おわりに

本報告では、斜面を持つ森林の物質循環を考える上で、小流域を unit として情報を収集することの重要性を指摘した。現時点では、小流域での土壌生態系での物質動態に関する研究は少ないが、斜面を 1 つの連鎖系としてとらえ、斜面位置別の土壌での物質動態に関して N を中心に調査されており、その一部を紹介した。

森林生態系の物質循環を考える上で、土壌での物質動態の情報に関しては、おもに化学的な特性の調査が多い。土壌の化学的性質に物理的性質の情報を取り入れて、森林の土壌生態系での物質動態を明らかにするのはこれからといえる。そのために必要とする物理的情報の具体的な内容のいくつかを、本文でも紹介した。

小流域を unit として物質循環を考える場合、少なくとも 1 ha 以上の面積が必要となる。1 ha の小流域での正確な情報収集は労力の面からも大変である。目的に合致した情報収集および情報の総合化のための適切な調査がなされることが重要で、そのための物理的な情報の収集が、今後なされていくものと思われる。

引用文献

- 相場芳憲 (1992) : 生態学と化学分析—陸上の生物学的自然と、特に森林生態—, ふんせき, 4: 272~281.
- Davidson, E.A., Hart, S.C., Shanks, C.A. and Firestone, M.K. (1991) : Measuring gross nitrogen mineralization, immobilization, and nitrification by ¹⁵N isotopic pool dilution in intact soil cores. *J. Soil Sci.*, 42: 21~15.
- 江口定夫・阪田匡司・波多野隆介・佐々間敏雄 (1997) : 落葉広葉樹林土壌の CO₂ フラックスの日変化と植生に対する CO₂ 供給源としての重要性, 土肥誌, 68: 138~147.
- 石塚成宏 (1999) : 地表面のガスフラックス (森林立地調査法編集委員会編, 森林立地調査法), 209~215, 博友社, 東京.
- Likens, G.E., Bormann, F.H., Johnson, N.M., Fisher, D. W., and Pierce, R.S. (1970) : Effects of forest cutting and herbicide treatment on nutrient budgets in the Hubbard Brook watershed in New Hampshire. *Ecology*, 60: 36~42.
- Nakadai, T., Koizumi, H., Usami, Y., Satoh, M., and Oikawa, T. (1993) : Examination of the method for measuring soil respiration in cultivated land : Effect of carbon dioxide concentration on soil respiration. *Eco. Res.*, 8: 65~71.

- 大類清和・生原喜久雄・相場芳憲 (1994) : 森林小集水域における溪流水質に及ぼす諸要因の影響, 日林誌, **76** : 383~392.
- Ohru, K. and Mitchell, M.J. (1997) : Nitrogen saturation in Japanese forested watershed. *Eco. Appl.*, **7** : 391~401.
- Ohru, K. and Mitchell, M.J. (1998) : Spatial patterns of soil nitrate in Japanese forested watersheds : importance of the near-stream zone as a source of nitrate in stream water. *Hydro. Process* **12** : 1433~1445.
- 斉藤雅典 (1990) : 東北地方における畑土壌の窒素無機化特性値, 各種可給態窒素指標との関係について, 土肥誌, **61** : 265~272.
- 澤田智志・加藤秀正 (1991) : スギおよびヒノキ林の林齢と土壌中の塩基の蓄積との関係, 土肥誌, **62** : 49~58.
- Schlesinger, W.H. (1991) *Biogeochemistry, An Analysis of Global Change*. p. 443, Academic Press. San Diego.
- 嶋 一徹・内海健司・千葉喬三 (1993) : 広葉樹二次林の林地表層における生物窒素固定ならびに窒素の無機化, および有機化速度, 日林誌, **75** : 225~230.
- 島田博匡・戸田浩人・生原喜久雄・小池孝良 (1998a) : 森林土壌における斜面位置, 深さ別のガス拡散係数の特徴および CO₂ フラックス, 森林立地, **40** : 1~8.
- 島田博匡・戸田浩人・生原喜久雄・小池孝良 (1998b) : 異なる斜面位置の森林土壌中における CO₂ ガス濃度の季節変化, 土肥誌, **69** : 170~177.
- Stanford, G. and Smith, S.J. (1972) Nitrogen mineralization potential of soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **36** : 465~472.
- 杉原 進・金野隆光・石井和夫 (1986) : 土壌における有機態窒素無機化の反応速度論的解析法, 農環研報, **1** : 127~166.
- 只木良也・蜂屋欣二 (1968) : 森林生態系とその物質生産, p. 64, 林業科学技術振興所, 東京.
- 武田博清 (1994) : 森林生態系において植物-土壌系の相互作用が作り出す生物多様性, 日生態, **44** : 211~222.
- 戸田浩人 (1994) : 森林土壌中における窒素無機化の反応速度論的解析 (II), 土壌の含水率および pH の違いが窒素無機化過程に及ぼす影響, 日林誌, **76** : 540~546.
- 戸田浩人・生原喜久雄 (1994) : 森林土壌中における窒素無機化の反応速度論的解析 (I), 林齢・斜面位置・深さ別の窒素無機化特性, 日林誌, **76** : 144~151.
- Toda, K. and Haibara, K. (1997) : Characteristics of nitrogen mineralization in Japanese forest soils. In *Forest and Environment Research and Practices* (eds. Chao, C.), 238~247, China Forestry Publishing House, Nanjing.
- 戸田浩人・杉崎浩人・生原喜久雄 (1998) : 森林の A₀ 層における窒素無機化・有機化速度への含水比の影響. 日林誌, **80** : 262~269.
- 徳地直子 (1996) : 竜王山森林試験地の斜面上の異なる位置における窒素循環機構, 京大演報, **68** : 9~24.
- Vitousek, P.M. and Melillo, J.M. (1979) : Nitrate losses from disturbed forests : patterns and mechanisms. *For. Sci.* **25** : 605~619.
- 呉 国南・戸田浩人・生原喜久雄・相場芳憲 (1998) : 森林土壌の窒素無機化が水溶性イオン量に及ぼす影響, 日林誌, **80** : 21~26.
- 依田恭二 (1982) : 森林の生態学, p. 331, 築地書館, 東京.

受稿年月日 : 2000年3月31日

受理年月日 : 2000年6月18日

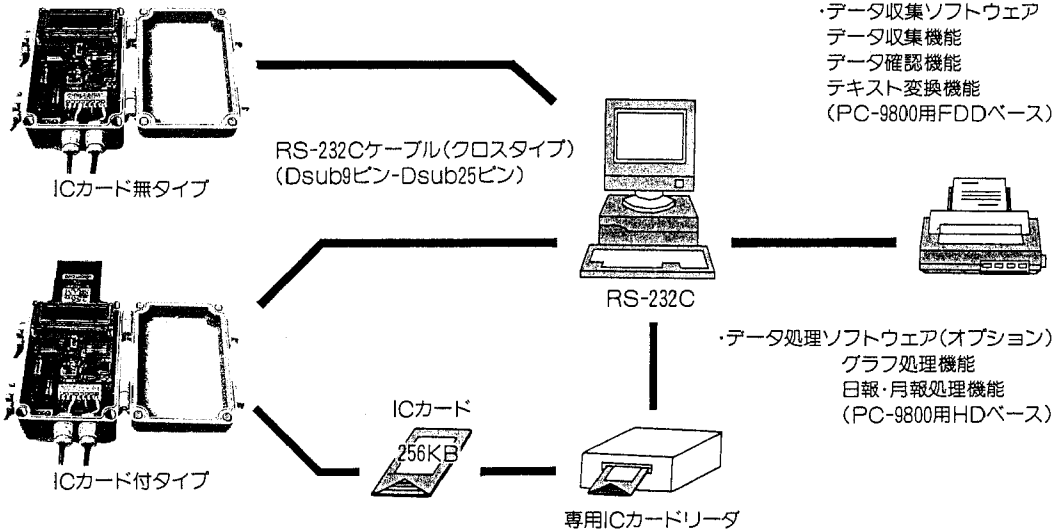
センサ入力固定型フィールドデータロガー

野原計蔵 F80シリーズ

<特徴>

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

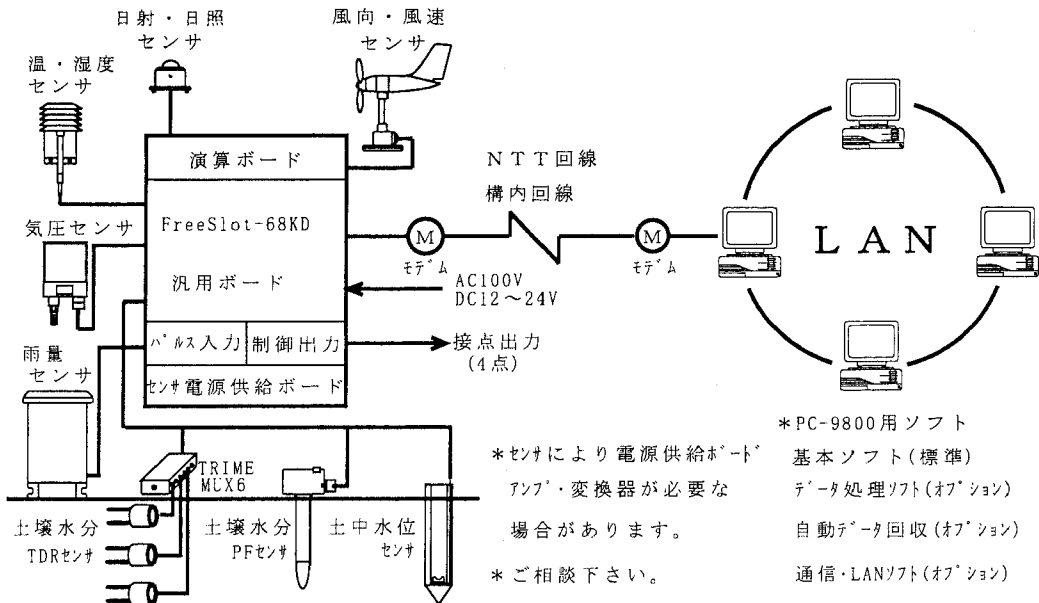
<データ収集とデータ処理方法>



多機能・多チャンネル データロガー

FreeSlot-68KDシリーズ

<気象観測システム例>



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

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

世界の土壌資源—照合基準— (日本語版)

世界土壌科学会議・国際土壌照合情報センター
 ・国際連合食糧農業機関 編 (中井 信ほか9名訳)
 (社)国際食糧農業協会 2000年発行
 A5版 149ページ 2,000円+税

1974年のFAO/UNESCO「世界土壌図, 500万分の1」の凡例における土壌分類の確立とその1992年改訂を基にして, 国際土壌科学会議 (International Society of Soil Science, ISSS-AISS-IBG), 国際土壌照合情報センター (International Soil Reference and Information center, ISRIC) および国際連合食糧農業機関 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) の提案・編集により, 「WORLD REFERENCE BASE FOR SOIL RESOURCES, WRB」が1998年に出版された。これを, 「世界の土壌資源—照合基準—」という書名で, 日本語版として本年1月に翻訳出版したものが本書である。

本書の英文版は土壌分類における国際的な共通言語を確立しようとしたものである。国際土壌科学会議では, 最近, これを使用するように決議がなされたといわれる。

土壌分類は農業生産に深く寄与するものとして始められてきており, 自然的環境, 農業形態等の地域性に対応させられて, 各国でそれぞれに体系が取りまとめられてきた。わが国で確立され, あるいは紹介されている主要なものだけでも, 日本林野土壌分類, 日本農耕地土壌分類, 日本の「50万分の1土壌図」および「20万分の1土壌図」の凡例における土壌分類, 帝政ロシアのドクチャーエフの土壌分類, ソ連の土壌分類, オーストリアのキュビエナの土壌分類, アメリカ USDAの旧土壌分類および新体系の Soil Taxonomy, FAO/UNESCOの「世界土壌図, 500万分の1」の凡例における土壌分類などと多数ある。未だ吟味すべき点は多々あろうが, 総合化および国際化の時代にあっては, 多数存在する体系を統合化したものの確立と公表は必然である。特に, 本書・日本語版の出版はわが国の土壌関係技術者・研究者にとって喜ばしい限りである。

先般, ラオス国メコン川流域の洪水湛水に伴う農業被害図 (特に, コメ収量との関係) の作成に関わる機会を得た。その際, 数地点での聞き取り調査による湛水被害を被らなかつた時のコメ収量 (地力による収量) の面的分布をどのように考えるかが課題となった。種々検討の

結果, FAO/UNESCOの土壌分類に基づくラオス国 Soil Survey and Land Classification Centre (土壌調査・土地分級センター) 作成の20万分1土壌図における土壌分布に対応させてはどうかということになって, 良好な成果を得ることができた。しかも, 英語版を用いてラオス国の各土壌群の特徴を把握するのに悪戦苦闘しているところへ, タイムリーにも本書が出版されて大助かりであった。

本書の内容を目次で見ると, 次のようである。

第1章 背景

歴史/目的/原理/世界土壌照合基準の要素/論議

第2章 照合土壌群の検索

世界土壌照合基準の照合土壌群の検索

第3章 特徴層位, 識別特徴, および識別物質

特徴層位 Diagnostic horizons: 漂白層 Albic horizon/黒ボク Andic horizon/水田表層 Anthraquic horizon/人土層 Anthropogenic horizon/粘土集積層 Argic horizon/石灰層 Calcic horizon/風化変質層 Cambic horizon の他, 33 特徴層位

識別特徴 Diagnostic properties: 土性の急変 Abrupt textural change/漂白化舌状侵入 Albeluvic tonguing/アルミニウム粘土土質特徴 Alic properties/乾燥特徴 Aridic properties の他, 8 識別特徴

識別物質 Diagnostic materials: 石灰質土壌物質 Calcaric soil material/沖積成土壌物質 Fluvic soil material/石こう質土壌物質 Gypsic soil material/有機質土壌物質 Organic soil material/硫化物土壌物質 Sulfidic soil material の他, 2 識別物質

第4章 照合土壌群の細分類

下位ユニット識別の一般原理/下位レベル単位に対する構成要素の定義

引用文献

付録1 土壌層位の命名

付録2 照合土壌群と土壌2次単位のコード

世界土壌資源に関する報告

付表 和訳対照表 (訳者グループ作成)

本書の翻訳は, 現在, 日本の土壌分類研究の第一線で

活躍されている中井信氏他9人の農業環境技術研究所および農業研究センターの方々によってなされた。また、翻訳者らによる末尾付表の和訳対照表は、これまでわが国で用いられてきた土壌分類関係用語が照合基準用語と対照されているため、大変便利なものとなっている。今

日、わが国の技術者・研究者においては、海外で調査・研究を行う機会が多くなっている。わが国の土壌関係技術者・研究者には、本書は必携のものといえよう。

河野英一 (日本大学生物資源科学部)

I. 2000年度第1回評議員会

日時: 2000年8月4日(金) 12:15~13:15 (農業
 土壌学会開催時)

場所: 鳥取県民文化会館 1階第1会議室

出席者: 河野, 渡邊, 天谷, 井上, 粕淵, 軽部, 菊地,
 古賀, 佐藤, 塩沢, 相馬, 取出, 成岡, 宮崎,
 矢沢, 吉沢

事務局 (青木, 鈴木, 石川), 他 (委任状4)

議題

(1) 1999年度第1回評議員会, 第2回評議員会および総
 会等の会務報告 (土壌の物理性第84号に掲載)

(2) 1999年度事業経過報告

1) 第41回土壌物理学会シンポジウム (およびポス
 ターセッション) 経過報告

2) 会誌「土壌の物理性」発行状況報告

(3) 1999年度決算報告: 1999年度収支決算 (案)

(4) 2000年度事業計画について (案)

1) 第42回シンポジウム (およびポスターセッシ
 ョン) 等開催について

① シンポジウム・テーマ (案, 了承)
 ・テーマ「新世紀の土壌物理研究に向けて」

② シンポジウム内容 (案, 了承)

- ・土粒子, 土壌構造分野
- ・土壌水分野
- ・溶質移動分野
- ・土壌の温度, 熱分野

③ ポスターセッション・テーマ (案, 了承)

・テーマ「土壌物理研究の最前線」

④ 開催日時・場所

・開催日: 平成12年11月18日(土)
 ・場所: 日本大学生物資源科学部
 東京校舎

(5) 2000年度予算 (案)

(6) 40周年記念事業「土壌物理標準用語事典」について
 ・改訂出版のスケジュールについての報告/平成13年
 4月上旬印刷発行予定

(7) 学会誌編集委員会報告 (編集委員長)

・会誌編集, 発行状況等について報告

(8) 任期満了に伴う評議員 (2001年4月1日~2002年3
 月31日) 選挙の実施および選挙管理委員長選出につ
 いて

・2000年第1回評議員会において, 選挙管理委員長に
 東京農工大学農学部教授加藤 誠氏を選出

(9) その他

1) 会員管理業務委託について (案)

内容・内訳および費用等

① 会員管理 (会費請求および会誌・案内等発送に要
 する費用)

・積算基礎: 3 (会誌発行回数) × 620円 (一人当
 たり) = 382,000円

② 会員管理 (会員管理機器の保守料: 基本料)

・積算基礎: 会員数 1,000名まで = 100,000円

③ 新入会員登録手数料

・積算基礎: 700円 (一件当たり) × 30人程度 (仮
 定) = 21,000円

④ 住所等変更等手数料

・積算基礎: 600円 (一件当たり) × 50人程度 (仮
 定) = 30,000円

⑤ 初期移行費用 (委託初年度に限り, 委託開始事務費
 (契約金)・原簿作製費)

a) 委託開始事務費

・積算基礎: 会員数により異なる
 (基本料) = 60,000円

b) 原簿作製費

・積算基礎: 400円 (一件当たり) × 600人
 = 240,000円

初年度委託業務費用総計 833,000円

II. 2000年第1回編集委員会

日時: 2000年7月17日(月) 15:00~18:00

場所: 日本大学生物資源科学部東京校舎第3会議室

出席者: 河野 (会長), 軽部, 原口, 島田, 駒村, 青木
 (編集幹事)

議題

(1) 会誌第84号の状況

・校正がほぼ終わって, 8月上旬には発送できる見込
 み (報告).

(2) 第85号, 第86号, および第87号の予定

・第85号の原稿がほぼ揃った (論文5, 総説1) ので,
 それらを印刷に回した (報告).

・巻頭言の執筆依頼候補者検討

・研究紹介の執筆依頼候補者検討

・書評「環境地水学」(宮崎毅著) の執筆依頼

・編集後記の執筆予定者検討

(3) 閲読報告書の書式と閲読基準について

・閲読報告書の書式の見直し案について, 昨年10月
 15日の第2回編集委員会で議論したもの (A案) と
 European Journal of Soil Science の書式を参考
 にした "Yes", or "No" で答える形のもの (B案) と
 について討論した.

・かつての「土壌の物理性」閲読に関するお願い

(「土壌の物理性」第 82 号最終ページ参照) を改訂する必要が生じたことから、これを投稿者・閲読者共通の「閲読基準」として改訂(次回の編集委員会)し、公開することになった。

(4) その他

- ・河野会長から、第 42 回土壌物理学会シンポジウムのテーマ(「新世紀の土壌物理研究に向けて」)とその趣旨、内容等についての紹介があり、若干の意見交換をした。

一編集後記一

土壌物理学会と新しく会の名称変更とともに、学会活動の核である研究活動の発表の場としての学術雑誌の編集は、益々重要な仕事になったと認識しております。発行が多少遅れがちではありますが、会員の皆様のおかげを持ちまして、掲載希望の論文が順調に投稿されて来ています。

世界の土壌関係の学術雑誌を見ると、その研究は多彩であります。その中の多くは化学の手法を多く使う研究者が大多数であります。土壌に関する自然現象は、物理学、化学、生物学的な立場で、それぞれ別々に現象を理解することは困難であります。自然現象は相互に捲れ

い、非常に複雑な現象として姿を現しております。土壌物理学会の会員は、物理現象として理解する部分が多い土壌の自然現象について興味を持った同人の集まりと理解しております。本誌の「総説」では森林土壌の特殊な土壌環境についてシンポジウムで講演を願った内容を収録しております。土壌を扱う研究の多様性と研究の総合的な理解の必要性を示した内容になっています。多少遅れがちでありました、会誌の発行も、今期中には正常化できるものと思っています。どうか、会員の皆様の研究をどしどしお寄せください。

＜編集委員 加藤 誠（東京農工大学農学部）＞

土壌物理学会

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

土壌の物理性 第85号（会員配布） 2000年9月25日発行

発行 土 壌 物 理 学 会

〒252-8510 神奈川県藤沢市亀井野 1866

日本大学生物資源科学部 生物環境工学科内

電 話 0466-84-3696 Fax 0466-80-1103

E-mail : kohno@brs.nihon-u.ac.jp

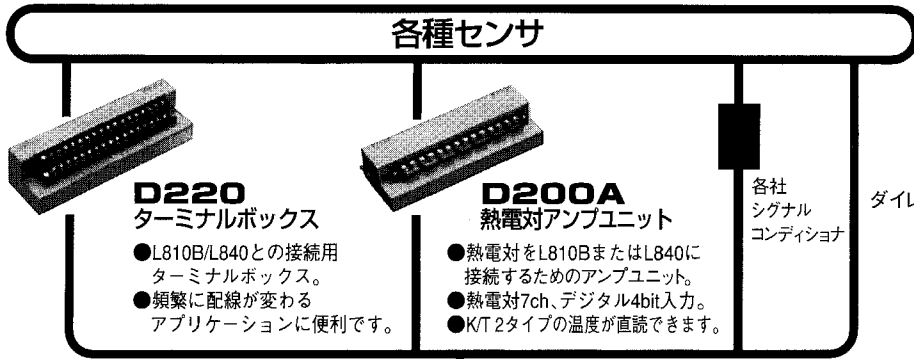
振替口座 00150-2-17794

銀行口座 東京三菱銀行藤沢支店（店番 257）

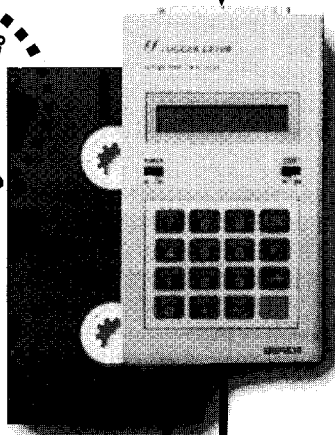
普通 1495164「土壌物理学会」

印 刷 創文印刷工業株式会社

〒116-0011 東京都荒川区西尾久 7-12-16



ビデオテープ
サイズが
うれしい!



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

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

DATA LOGGER

データロガーLシリーズ

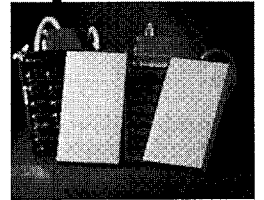
- L810B/電圧入力・長期間タイプ ●L840/電圧入力・超高速タイプ
- L822/熱電対入力・温度記録タイプ ●L830/测温抵抗体入力・温度記録タイプ ●L835/温湿度センサ入力・温湿度記録タイプ

RS-232C



メモ리카ード

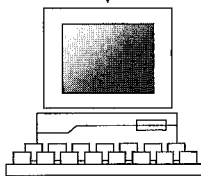
- L810B、L840で使用できます。
- JC128、JC256、JC512、JC1024、JC2048



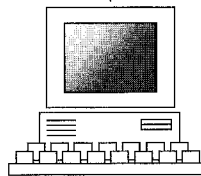
**RW98A
RWAT
RW98AN**

メモ리카ードドライバ

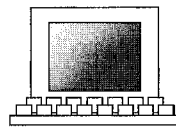
- PC9801シリーズ、PC/AT互換機、PC98noteシリーズ専用のメモ리카ードドライバです。
- メモ리카ードに記録したデータをパソコンに高速送信するのに最適です。



PC9800シリーズ



PC/AT互換機



PC98noteシリーズ

土壤をそのまま測定!!

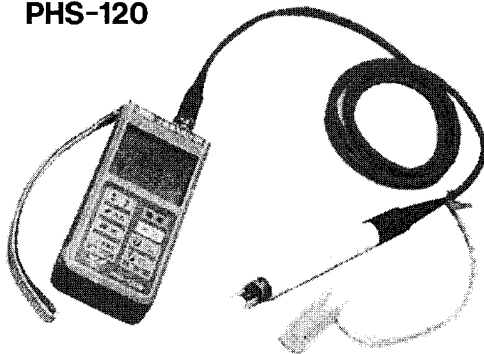
NO₃⁻ 土壤用硝酸イオンメーター

NOS-120



pH 土壤挿入式pH計

PHS-120



EC 土壤用ECメーター

PK-33



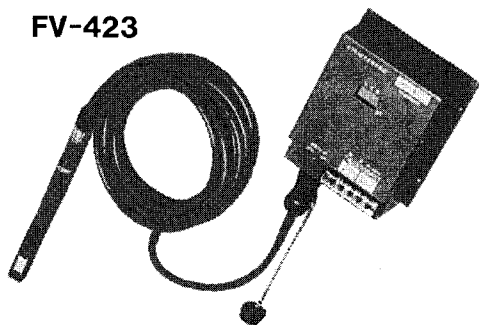
pF セラミックス土壤水分計

pF-33



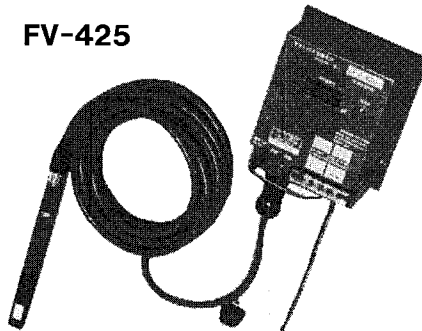
土壤pFを連続測定及び自動灌水!!

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

〒114-0024 東京都北区西ヶ原1-46-16
TEL 03(3918)8111(代)
FAX 03(3918)8119

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共同研究により開発され、公的機関の実証を経て製品化されました。すでに欧州を中心に数百台の実績があります

〈操作は簡単かつメンテナンスフリーです〉



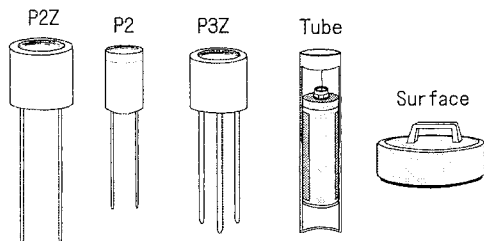
●特長

- 1) 迅速、非破壊の水分測定が可能で、サンプルを採取せずに連続測定が出来る。
- 2) 測定時間が約 12 秒と高速
- 3) これまでの方法では測定が困難なクリティカルな物質にも適用
- 4) 非測定物に影響を及ぼしたり破壊することがない。
- 5) 多様なプローブが用意されており各種物質に適用可能
- 6) 現場設置用システムのモジュールによる対応

●使用分野

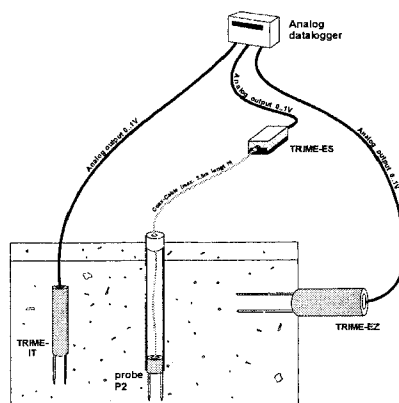
土壌、石材、穀物、また水による自然災害の常時モニタ、構造物や土壌の含水量モニターあるいは森林、水源地帯や農業計画の一環としての含水測定、モニターなど

【各種プローブ例】



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

【現場設置用アナログシステム構築例】



東北電子産業株式会社

★東京支店 応用計測機器グループ

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

★利府事業所 営業部

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

複写される方に

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

〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 学術著作権協会
TEL : 03-3475-5618 FAX : 03-3475-5619 E-mail : kammori@msh.biglobe.ne.jp

Notice about Photocopying

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

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)
41-6 Akasaka 9-chome, Minato-ku, Tokyo 107-0052, Japan
TEL : 81-3-3475-5618 FAX : 81-3-3475-5619 E-mail : kammori@msh.biglobe.ne.jp

Journal of the Japanese Society of Soil Physics

No. 85

September 2000

Contents

Original papers

- The Removal of Soluble Elements in a Stratified Paddy Field using a Large
LysimeterC. SASAKI, K. KOSEKI, M. TOMITA, H. OGURO and K. TANIGUCHI... 1
- Gas Fluctuation in the Open System Percolation Layer using a Large Lysimeter
.....C. SASAKI and K. KOSEKI...11
- Soil Characteristics, Farming System and Conservation Strategies in the Sloping
Volcanic Areas in Indonesia
.....MASTUR, H. NARIOKA, M. ANASE and R. YASUTOMI...19
- Physical Characteristics and Crop Growth of Wet Upland Soils in Tokachi District
(I) Physical Properties and Root System Development of Sugar Beet of
Wet AndosolS. YASUI, K. NIWA, K. OHBUCHI and K. KIKUCHI...31
- Characteristics of Soil Erosion and Conservation of Hill-slopes in the Loess Plateau
—A Case of Ansai District, Shaanxi Province in China—
.....T. NAGASAWA, H. TAKAHASHI and T. KATANO...41

Reviews

- Dynamics of Inorganic Components in Forest Soil EcosystemK. HAIBARA...51

Book Review65

Announcements67

Editor's Postscript69

Japanese Society of Soil Physics

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