

# 土壌の物理性

第 92 号

2003年 3 月

---

巻 頭 言	藤井 克己	1
論 文		
Soil Physical Properties under Coffee Trees with Different Weed Managements in a Hilly Humid Tropical Area of Lampung, South Sumatra, Indonesia .....AFANDI, T.K. MANIK, B. ROSADI, M. UTOMO, M. SENGE, T. ADACHI and Y. OKI		3
ロータバケットによる茶園造成地の土層改良	駒村 正治・後藤 昇一	17
研究ノート		
携帯電話を利用した土壌情報モニタリングシステム .....溝口 勝・三上 正洋・石井 悟		25
総 説		
微生物的観点からみた酸性硫酸塩土壌の研究史	上野 薫・足立 忠司・成岡 市	31
資 料		
「土壌の物理性」検索システム	溝口 勝	41
書 評		
「ファイテク みる・きく・はかる一植物環境計測一」	溝口 勝	43
会務報告		45
編集後記		52

---

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) 優れた論文に対する表彰
  - (5) 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   | 7,500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 正会員の中から選挙によって選出される。  
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を選出、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。
  - (3) 学会賞選考委員会  
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、学会賞を選考する。
- 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。  
〒113-8657 東京都文京区弥生1-1-1  
東京大学大学院 農学生命科学研究科  
生物・環境工学専攻 環境地水学研究室  
(2) 本会則は、1999年4月1日より施行する。  
(2002. 11. 23 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. 編集委員会へ, 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, ワード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, イタリアック等の字体や, 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, 縮尺や倍率はつけない。
19. 日本語の論文, 研究ノートの場合, 図, 表, 写真の題名には英語を併記する。
20. 図, 表, 写真の番号と題名は, 別紙にまとめて一覧表とする。
21. 本文中で文献を引用する場合は, 著者名(西暦), または(著者名, 西暦)とする(例: Tanaka (1994), (Nakamura and Suzuki, 1981)). 著者が3名以上の場合は第1著者名のあとに——ら, または et al. をつける(例: 山田ら (1978), (Tayler et al., 1945)).
22. 引用文献は, 本文のあとに著者名の ABC 順に書く。未発表, 私信は引用文献として記載しない。
23. 引用文献の書き方は以下のようにする。  
Bouma, J. and Dekker, L. W. (1978): A case study on infiltration into dry clay soil, I. Morphological observations. Geoderma, 20: 27-40.  
FAO (1988): Revised legend of the FAO-UNESCO Soil Map of the World. p. 119, FAO, Roma.  
岩田進午 (1970): 土壌物理とペドロロジー. ペドロジスト, 14: 28-33.  
山崎不二夫監修(1969): 土壌物理. p.55, 養賢堂, 東京.  
(雑誌のページには p. や pp. をつけない, 本の単数ページを示す場合には p., 複数ページを示す場合には pp. をつける)

### 【土壌物理分野の SI 使用例】

国際単位系(SI)については多くの出版物で解説されているので, ここには, 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 <sup>-1</sup>	*
体積含水率	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	
体積	m <sup>3</sup>	L, cm <sup>3</sup> , mL
密度	kg m <sup>-3</sup> , Mg m <sup>-3</sup>	
濃度	kg m <sup>-3</sup> , Mg m <sup>-3</sup>	g L <sup>-1</sup> , mg L <sup>-1</sup>
モル濃度	mol m <sup>-3</sup>	mol L <sup>-1</sup>
力	N	
水分ポテンシャル	J kg <sup>-1</sup>	kPa, m, cm, **
透水係数	m s <sup>-1</sup>	cm s <sup>-1</sup>
イオン交換容量	mol. kg <sup>-1</sup> , cmol. kg <sup>-1</sup>	
回転数	s <sup>-1</sup>	min <sup>-1</sup>
収量	kg m <sup>-2</sup>	kg ha <sup>-1</sup> , Mg ha <sup>-1</sup> , t ha <sup>-1</sup>

\*%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 H<sub>2</sub>O 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)

## 土壌物理学会学会賞規程

1. 種類 学会賞に論文賞をおく。
2. 募集 学会賞の募集は年1回行い、学会誌「土壌の物理性」に公示する。
3. 推薦
  - (1) 学会賞は正会員1名以上により推薦されたものを候補とする。
  - (2) 推薦は所定の書類を必要部数揃え、学会事務局に提出する。
4. 選考 学会賞の審査並びに選考は、選考委員会において行なう。
5. 表彰 通常総会において表彰を行なう。
6. その他
  - (1) 論文賞の推薦がない場合も、選考委員会が適格論文の中から選考することができる。
  - (2) 論文賞に該当する論文は、「土壌の物理性」に、原則として受賞の前年4月1日から受賞年の3月31日までに掲載された原著「論文」を対象とする。

(2002.11.23 制定)

## 土壌物理学会学会賞選考委員会規程

1. 目的 学会賞選考委員会（以下委員会という）は、論文賞の選考を行なうことを目的とする。
2. 業務 委員会は次の業務を行なう。
  - (1) 学会賞運営内規に基づく論文賞の選考。
  - (2) 土壌物理学会学会賞選考に関するその他の事項。
3. 構成 委員会は委員長1名および委員5名程度を持って構成する。
  - (1) 委員会は正会員より構成される。
  - (2) 委員は評議員会の推薦に基づき総会で決定する。
  - (3) 任期は2年とする。ただし、再任はさまたげない。
  - (4) 委員長は委員の互選により選出する。
4. 開催 委員会は年3回程度開催する。

(2002.11.23 制定)

## 原稿送り状

受付番号（本会で記入）：

発送年月日	年 月 日	受付年月日(本学会で記入)	年 月 日
種 別	報文, ノート, 論説・総説, 資料, 解説, 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	本会 会員・非会員
著者名2 ローマ字		所属	本会 会員・非会員
著者名3 ローマ字		所属	本会 会員・非会員
連絡先氏名			
住 所	〒		
電話・FAX 番号	TEL :	FAX :	
E-mail	E-mail :		
本文原稿枚数	A4 : ( 枚 ) ・ 400字詰原稿用紙 ( 枚 )		
表	枚	図	枚
別 刷 り	30部 ・ 50部 ・ 100部 ・ 150部 ・ 200部 ・ 300部		

付記：投稿の宛先は土壤物理学会ホームページを参照のこと

<http://soil.en.a.u-tokyo.ac.jp/jssp/>

## 土壌物理学会入会申し込み用紙

必要事項を記入し、このまま郵便で下記までお送り下さい。

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

本会記入 受付年月日：

承認年月日：

宛先・問い合わせ

財団法人 日本学会事務センター 土壌物理学会 会員係

〒113-8622 東京都文京区本駒込 5-16-9

学会センター C21

Tel. : 03-5814-5810

## ノーベル賞と土壌物理学会賞

藤井克己\*

何かと暗い話題の多いこの頃であるが、昨秋のノーベル賞日本人ダブル受賞は、徐々に展望の開ける明るい話題であった。一介の民間研究者で博士号も持たない田中耕一さんに、ややもするとスポットライトは集まりがちであった。これは意外性という点から仕方のないことであろう。むしろ私は好々爺然として老獪な小柴昌俊さんに注目した。

受賞インタビューの中で「スーパーカミオカンデは何の役に立つのですか？」と記者に問われて、「百年経っても何の役に立つかは分かりません。ただ人類共通の知的財産を増やすという点では貢献するでしょう」と答えられたのには、思わず喝采を送ってしまった。諸々の研究が、現場への応用、産業や地域への貢献という尺度で評価されつつある中で、この発言の意味は重い。

現在すべての国立大学は、2004年度当初からの独立行政法人化を既定路線として、以後6年間の中期目標・中期計画の策定を急ピッチで行なっている。私の所属する地方大学において、目標計画のキーワードは、①教育貢献、②研究貢献、③地域貢献の3点である。判で押したように、これらの基準が取り上げられる中で、地方大学の「個性」など、どこに生まれるのだろうかと問い返したくなる。いずれにせよ『役に立たない研究』など、ここではタブー（禁句）となっている。

このように、すべての研究活動を合目的的に捉えようとする動きが強まる中で、小柴さんの発言はまさに基礎科学の本質をとらえて輝きを増している。ただしこの発言にみなぎる自信は、スーパーカミオカンデの実現に至る周到な研究プロジェクトの計画と、その実績によるものであることを忘れてはならない。小柴氏はプロモーターとしての資質に長けた、従来にはないタイプの研究者なのである。

ここで本文の表題へと話題を移そう。「ノーベル賞と土壌物理学会賞」まさに月とスッポンの見本のようなタイトルであるが、そのレベルはおくとして、どちらも研究の内容で評価されるという点では何ら変わりがない。土壌物理学会は昨年秋の総会で、2003年度から学会賞を設けることを決定した。種類は論文賞のみで、前年度つまり2002年度に「土壌の物理性」に掲載された論文を対象とするものである。学会のもっているトータルな力量は、何よりもその刊行物である学会誌掲載論文によって評価されることは言うまでもない。学会賞（論文賞）を創設することにより、「土壌の物理性」への投稿のインセンティブが高まり、そこから研究動向のダイナミズムが自ずと窺われるような活況を呈することを期待したい。

# Soil Physical Properties under Coffee Trees with Different Weed Managements in a Hilly Humid Tropical Area of Lampung, South Sumatra, Indonesia

AFANDI\*, Tumiar Katarina MANIK\*, Bustomi ROSADI\*, Muhajir UTOMO\*,  
Masateru SENGE\*\*, Tadashi ADACHI\*\*\* and Yoko OKI\*\*\*

\* Faculty of Agriculture, University of Lampung, Indonesia, Jl. Sumantri Brojonegoro 1,  
Bandar Lampung 35145, Indonesia

\*\* Faculty of Agriculture, Gifu University, Gifu, Japan, 1-1 Yanagido Gifu 501-1193, Japan

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

## Abstract

The effects of weed management under coffee trees on soil physical properties were investigated during four-years experiment in Lampung, South Sumatra, Indonesia. The treatments were as follows : coffee without cover crop (clean-weeded plot) ; coffee with *Paspalum conjugatum* as cover crop (*Paspalum* plot) ; and coffee with natural weeds which was dominated by *Clibadia surinamense* (natural weeds plot). Weed management was done every two weeks by clearing all the weeds in clean-weeded plots, and cutting the weeds around the coffee trees with diameter 1 m for the weedy plots (*Paspalum* plot and natural weeds plot). The results showed that a better soil physical condition was achieved when the soil surface under the coffee trees was covered with *Paspalum conjugatum*. The average soil organic-C in the soil profile of *Paspalum* and natural weeds plots were 32 g/kg and 27 g/kg respectively, which were higher than in clean-weeded plot which had 20 g/kg of organic carbon. A smooth horizon boundary was found in *Paspalum* plot due to the abundance of its roots which was also enhancing soil color more black, and the process of wetting and drying. A strong aggregate stability was found at the *Paspalum* plot as indicated by penetrometer readings as well as water stable aggregate index. Two centimeters thickness of hardpan which was developed at *Paspalum* plot made the water movement from upper layer inhibited during the dry season. The highest porosity was found at *Paspalum* plot ( $0.64 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) followed by natural weeds plot ( $0.62 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) and clean-weeded plot ( $0.60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ). However, the average available water content was not different between *Paspalum* plot and natural weeds plot, and only  $0.15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  higher than that of clean-weeded plot. The permeabilities varied among the treatments, and this variance was biggest in the upper layer of *Paspalum* plot.

**Key words** : soil structure, coffee, weeds, aggregate

## 1. Introduction

Coffee is one of the main important exported products of Lampung Province, Indonesia, and accounts for about 50% of Indonesian exported coffee (BPD-AEKI, Lampung, 1996 ; Bank Indonesia Bandar Lampung, 2000). The coffee trees

are mostly grown in mountainous areas with humid tropical climate, which is characterized by high rainfall, more than 2500 mm/year (Afandi *et al.*, 1999). Due to rainfall pattern and topographic condition, the erosion risk in coffee areas is naturally very high. However, the soil erosion problem is more severe by the



**Table 1** Soil properties at the initial stage (1995)

Depth (cm)	pH H <sub>2</sub> O	Total-N (g/kg)	Organic-C (g/kg)	CEC (cmol/kg)	Texture (g/g)			Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )
					Sand	Silt	Clay	
0- 10	4.92	2.6	34.8	13.3	0.25	0.23	0.52	0.96
10- 20	4.89	1.6	18.6	9.9	0.25	0.16	0.59	0.93
20- 35	4.91	0.9	8.9	9.3	0.26	0.13	0.61	0.99
35- 60	4.87	0.7	8.2	8.7	0.26	0.13	0.61	0.93
60-100	4.85	0.6	8.2	8.7	0.28	0.15	0.57	—

mismanagement of land in coffee plantations and cultivated land. In the future, soil erosion from coffee areas will be more serious due to the rapid change of land use type from forest areas to coffee plantations ; in 1970 the forest occupied 57.4% of these areas, which was reduced to 21.4% in 1990. On the other hand, the monoculture plantations (coffee garden) increased from 0% in 1970 to 41.8% in 1990 (Syam *et al.*, 1997).

The use of cover crop under coffee trees is very important to control soil loss and to maintain and improve soil structure. Beneficial effects of plants on improvement of soil structure usually are related to physical action of plant roots and addition of organic matter. Abujamin *et al.* (1983) reported that the use of *Bahia* grass (*Paspalum notatum*) strip and *Bede* grass (*Brachiaria decumbens*) strip could suppress soil erosion to zero, and soil with stable aggregate and higher organic matter content was also achieved. The reduction of soil erosion was also achieved due to the increasing of aggregate stability because of manure application (Utomo, 1989). On the other hand, losing of organic matter as much as 47% occurred in bare condition due to soil erosion for two years (Suwardjo, 1981).

In Lampung areas, Indonesia, there are several ways to manage the cover crop under the coffee trees. Some coffee farmers used high cover crop such as *Gliricidea sepium*, *Leucaena leucocephala*, and *Pelthoporum pterocarpa* as a shading tree ; however, the most popular technology was "clean-weeded coffee", in which the coffee was grown without high cover crop and

by cleaning the entire surface ground cover. In the viewpoint of coffee production, the clean-weeded coffee management, which was applied for many years, had no significant effect on reducing coffee production. However, the current use of more quantities of fertilizers by the farmers is affecting the soil condition. Due to the fact that the surface ground cover under coffee trees (in the form of weeds) could be used as erosion barrier and to improve soil structure, an improvement under the existing technology must be made. An evaluation on rates of change in soil physical properties, especially in the long term, is necessary to conduct the development of soil and water conservation strategies.

A four-years experiment was conducted to evaluate the effects of weed management under Arabika coffee trees on soil physical properties in a hilly tropical area of Lampung, South Sumatra, Indonesia.

## 2. Materials and Methods

### 2.1 Location of study site

The study field is located at Sumber Jaya District, Lampung Province, South Sumatra, Indonesia, with the slope gradient of around 15° and the elevation 735 m above the sea level (Afandi, 2002). According to soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1998), this soil belongs to *Dystrudepts*. Table 1 shows some selected soil properties of initial conditions just after clearing all the weeds and bushes for planting the coffee seedlings.

Table 1 shows that the soil was relatively fertile with high organic matter and nitrogen ;

slightly acid with moderate cation exchange capacity. The average air temperature was low, around 22°C, (Afandi *et al.*, 1999), so the decomposition rate of organic matter was relatively slow, and the soil organic carbon was rather high compared to the other places, in which the elevation is lower and temperature is higher in Lampung. In addition to that, the soil was still relatively virgin. Although the soil was dominated by clay fraction in all depths, the bulk density was very low which indicated the soil was friable and porous.

## 2.2 Treatment

The treatments consisted of three plots with 20m slope length and 8m width, which adjoined each other and had almost same soil properties of initial conditions as shown in Table 1. The treatments were as follows :

- (1) Treatment 1 (clean-weeded plot) : Clean-weeded coffee garden. Soil surface was always keeping bare by hand weeding at two weeks interval. This management is a general practice in this coffee plantation area so it was regarded as the control.
- (2) Treatment 2 (*Paspalum* plot) : Coffee garden with *Paspalum conjugatum* as cover crop. Young *Paspalum conjugatum* was transplanted on the experiment plot in November 1995 and February 1996.
- (3) Treatment 3 (natural weeds plot) : Coffee garden with natural weeds as cover crop.

The plots were planted with Arabica coffee with planting distance 1.5m by 2m on November 1995. Weed management was done every two weeks by clearing all the weeds in the coffee plot (clean-weeded plot), and cutting the weeds around the coffee trees with diameter 1 m for the weedy plots (*Paspalum* plot and natural weeds plot). Before and after the rainy season, the *Paspalum* mats and natural weeds were mowing at 15-cm height. The spray of pesticides and the application of fertilizer have been adopted with the standard usual practice.

## 2.3 Measurement of soil properties

### a. Profile description

A soil pit was made until 100 cm depth in

August 1997 and September 1999. Observation of two years time after planting was selected because the changes in soil physical properties took a long time. The soil color and the size of soil structure were observed based on Japanese Standard Soil Color Charts.

### b. Soil physical properties measurement

- (a) Penetration resistance (using a cone penetrometer (DAIKI) until 90 cm depth)
- (b) Instantaneous soil moisture content (gravimetric method)
- (c) Pore size distribution or soil water content at  $-3.2 \sim -1585$  kPa (centrifuge methods)
- (d) Permeability (using thin wall sampler and falling head methods)

Three soil samples were taken for analyzing the parameters of (b), (c), and (d) described above. Permeability and soil water content at various soil moisture potentials at each depth were measured at the end of the experiment in 1999.

### c. Changes of some dynamic soil properties

- (a) Organic carbon

Organic carbon was evaluated every year. A soil sample from topsoil (0-10 cm depth) was taken in October 1996 (one year after planting), August 1997, August 1998, and March 1999 (before the experiment ended). A composite soil sample was taken from the upper, middle and lower parts of the slope in each plot. Organic carbon was determined using the Walkey-Black Method.

- (b) Aggregate stability index

The index of aggregate stability was measured one year after planting until the end of the experiment by the techniques of DeBoodt and DeLeenheer (1958\*). About 500 grams of air-dry aggregate was sieved through 8, 4.76, 2.83, and 2 mm sieves (drying sieving). After that, the aggregates from the drying sieving are wetted with water drops until about field capacity ; kept in desiccators for about 12 hours. Wetting sieving process was done afterwards using sieves of 4.76, 2.83, 2, 1, 0.5 and 0.279

mm. Aggregate stability index proposed by DeBoodt and DeLeenheer (1958\*\*) was calculated as follows.

$$AS = \{1 / (MWD_{dry} - MWD_{wet})\} \times 100 \quad (1)$$

AS : Aggregate stability index ( $10^{-2}/\text{mm}$ )

The mean weight diameter (MWD) was calculated with the following equation :

$$MWD_{dry} = \left[ \sum_{i=1}^n x_i \times W_i \right] / W_t \quad (2)$$

$x_i$  : the mean diameter of each size fractions (mm)

$W_i$  : the weight of each fraction (g)

$W_t$  : the total weigh of soil sample (g)

The  $MWD_{wet}$  for wetting sieving was also calculated as the above equation (2).

The values found in equation (1) could be classified as follows :

$200 \leq AS$  : extremely stable

$80 \leq AS < 200$  : very stable

$60 \leq AS < 80$  : stable

$50 \leq AS < 60$  : moderately stable

$40 \leq AS < 50$  : less stable

$AS < 40$  not stable

### 3. Results and Discussion

#### 3.1 Field observation (soil profile and soil structure)

Field observation of soil profile which was done in 1997, two years after planting, showed that there were very significant changes in the soil profile, especially in upper layer, as shown in Table 2.

The abundance and distribution of weed roots strongly affected the development of soil profile. Due to the fact that *Paspalum* roots distributed almost in the same depth, the border of the soil horizon was smooth (not wavy) in upper layer. The other two treatments had a wavy boundary at upper layer of the soil profile. The type of weeds roots also affected the soil color, especially under dry conditions both directly and indirectly. The abundance of weeds roots in *Paspalum* plot made the soil color brighter under dry conditions due to the effect of root color. However, under wet conditions, both weedy treatments

had more black soil color that showed in low chroma, which was an indication of organic matter accumulation.

The soil structures in upper layer of both weedy treatments were more developed than the clean-weeded plot. The basic type of soil structure in all the treatments was angular blocky, however, different in size and field consistency. The soil structure type in clean-weeded plot was fine to medium angular blocky with weak field consistency. The abundance of *Paspalum* roots at upper layer (0-20 cm) yielded a fine to moderate crumb and angular blocky structure, friable but very stable, on the other hand, natural weeds plot also produced stable, medium to very coarse angular blocky structure.

From the field observation, it was clear that the development of soil structure in upper layer in *Paspalum* plot was more complex than the other two treatments and it seemed to be determined by three processes : mechanical binding of soil aggregates by root action, cementing action by organic matter, as well as the process of wetting and drying of the soil. An observation that was made in the dry season of 1997 showed that the soil in *Paspalum* plot was drier and harder than in the natural weeds plot followed by clean-weeded plot because the abundance of *Paspalum*'s roots consumed more water than the other treatments, so the evapotranspiration in this plot was very high ; however under moist conditions, the aggregate was more friable than natural weeds plot followed by clean-weeded coffee probably because *Paspalum* plot had more organic matter.

As shown in Table 2, some cracks were found in all the profiles with different degrees in length and depth. The main cause of the cracks was the existence of 2 : 1 type clay mineral. Lumbanraja *et al.* (1999) reported that soil in this area contained up to 0.25 g/g of vermiculite-chlorite intergrades, a type of clay mineral that possesses swell-shrink property. However, the degree of cracking was different

**Table 2** Soil Profiles two years after planting (observed in August, 1997)

Soil properties	Treatment		
	Clean-weeded plot	<i>Paspalum</i> plot	Natural weeds plot
<b>Topsoil</b>			
-Depth (cm)	0~10/15	0~16	0~10/24
-Horizon border	wavy, abrupt	smooth, clear	wavy, abrupt
-Colour			
-Dry	7.5 YR 3/3 (dark brown)	7.5 YR 4/3 (brown)	7.5 YR 3/2 (brownish black)
-Moist	10 YR 3/4 (dark brown)	10 YR 3/2 (brownish black)	10 YR 3/2 (brownish black)
<b>-Structure</b>			
-Type	Angular blocky	Crumb to Angular blocky	Angular blocky
-Size	Fine to Medium	Very fine to Medium	Medium to very coarse
-Roots system	Coffee roots (less)	<i>Paspalum</i> roots (abundant)	Various grass roots (many)
-Cracking	No	Evidence (one cracks)	Evidence (two cracks)
<b>Subsoil-1</b>			
-Depth (cm)	10/15~30	16~37	10/24~35
-Horizon border	diffuse, smooth	smooth, diffuse	smooth, diffuse
-Colour	7.5 YR 4/4 (dry) (brown)	7.5 YR 5/8 (bright brown)	7.5 YR 4/4 (brown)
<b>-Structure</b>			
-Type	Sub angular blocky	Crumb to Angular blocky	Angular blocky
-Size (dominant)	Medium	Medium	Coarse
-Roots system	Coffee roots (less)	<i>Paspalum</i> roots (less)	Various grass roots (many)
-Cracking	No	Evidence	Evidence and filled with soil from above (color 7.5 YR 3/3)
<b>Subsoil-2</b>			
-Depth (cm)	30~50	37~47	35~56
-Horizon border	diffuse, smooth	diffuse, smooth	diffuse, smooth
-Colour	7.5 YR 5/6 (dry) (bright brown)	7.5 YR 5/6 (bright brown)	7.5 YR 5/6 (bright brown)
<b>-Structure</b>			
-Type	Sub angular blocky	Angular Blocky	Angular blocky
-Size (dominant)	Medium	Fine	Medium
-Roots system	Grass roots (small amount)	Grass roots (less)	Grass roots (many)
-Cracking	Evidence and filled with soil from above (color 7.5 YR 4/4)	Evidence until 70 cm depth	Evidence until 70 cm and filled with soil from above (color 7.5 YR 3/2) and earth-worm casting

Note : Observation was done in dry condition

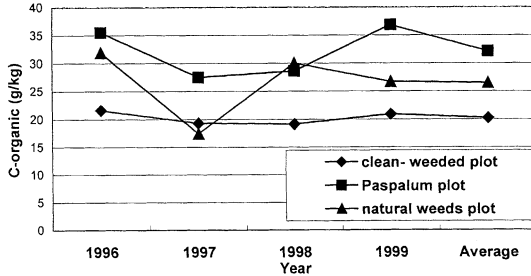


Fig. 1 Changes of organic carbon in topsoil under coffee trees with different weed managements.

among the treatments probably due to the activity of weed roots. In the clean-weeded coffee treatment, the cracks were found in the subsoil; however, in both weedy treatments the cracks were found from the upper layer until the deeper layer. Many cracks were found in the deeper layer of natural weeds plot, which was dominated by woody species known as *Clibadia surinamense* with deep roots. Instead of mineral type discussed above, the existence of root system in this layer enhanced the soil cracking. The roots extracted more water from this depth, and make the process of wetting and drying of the soil proceed at a faster rate. Soil particles and organic matter from the above layer, which made a form like a finger until 70 cm depth, filled the cracks.

Soil profile observation made in 1999 was quite similar to that of 1997, except that the depth of topsoil in *Paspalum* plot (as indicated by the dark soil color) increased from 16 cm to 20 cm. The other soil properties were almost the same.

### 3.2 Soil organic carbon (SOC)

The average soil organic carbon (SOC) in *Paspalum* and natural weeds plots were 32.1 g/kg and 26.5 g/kg respectively, which were higher than in clean-weeded plot which has 20.2 g/kg of organic carbon (Fig. 1). The value of SOC in clean-weeded plot was almost constant, probably due to the low soil erosion during four-years of experiment which was around 5.0 mm of soil depth. However, the

content of SOC matter in clean-weeded plot decreased compared to the initial stage (Table 1) due to little supply of organic matter under no cover crops. The value of SOC decreased in 1997 due to the long dry season, so the addition of soil organic matter decreased. As reported by Sriyani *et al.* (1999), there was a sharp decrease in the number of weed species due to the long dry season in 1997.

The content of organic carbon was maintained to be as high as initial stage in *Paspalum* plot. *Paspalum conjugatum* is a grass species; as stated by Tisdall and Oades (1982), organic matter might have accumulated under good pastures because the annual addition of phytomas was greater. The roots of grasses are short-lived, so each-year decomposition of dead roots contributes to the quantity of humified organic matter (Foth, 1978).

### 3.3 Penetrometer resistance

The penetrometer data, especially in upper layer, gave a very different result when measuring was done in dry and rainy season as shown in Fig. 2, and which supported our profile observation. It seemed that the behavior of soil water in each treatment influenced these results because the soil water content mainly determined the penetrometer resistance.

In the dry season measurement, a very compact and hard surface layer ( $>25 \text{ kgf/cm}^2$ ) approximately at 2 cm depth was found in *Paspalum* plot. Although it was not as hard as in *Paspalum* plot, the penetrometer resistance in natural weeds plot was also higher than clean-weeded plot. Field observation showed that at upper layer the soil condition was drier in weedy plots compared to clean-weeded plot because the weedy plots consumed more water than clean-weeded plot. Furthermore, penetrometer resistances in whole layer were higher in weedy plots than in clean-weeded plot, which showed that the soil conditions of weedy plots were dry compared to clean-weeded plot due to the soil water uptake of weed roots especially in dry season as shown in Fig. 3 described later.

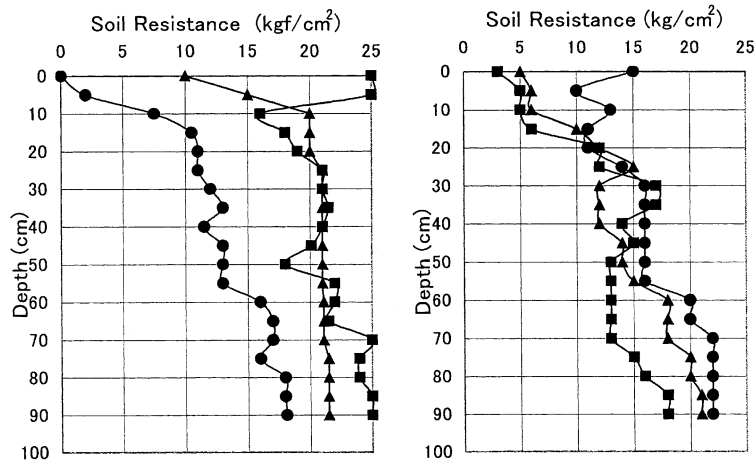


Fig. 2 Soil resistance measured by penetrometer under dry condition (left : October, 1999) and moist condition (right : January, 1997).  
 (● : clean-weeded plot ; ■ : *Paspalum* plot ; ▲ : natural weeds plot)

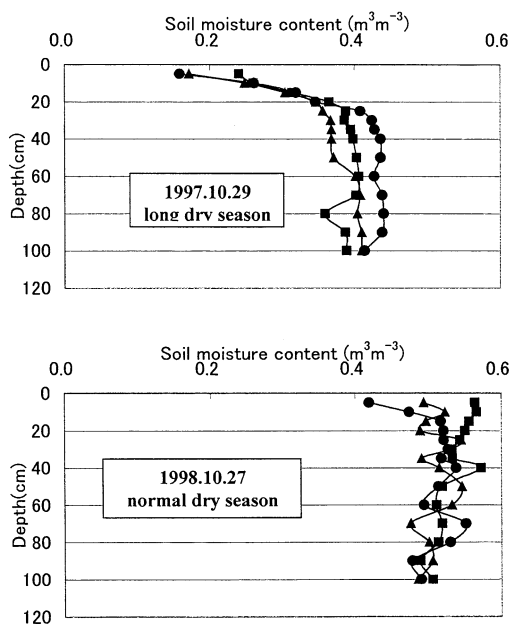


Fig. 3 Soil moisture content under coffee trees with different weed managements.  
 (● : clean-weeded plot ; ■ : *Paspalum* plot ; ▲ : natural weeds plot)

Observation which was done in the rainy season (Fig. 2) showed that the penetration resistance in *Paspalum* plot was less than 5 kgf/cm<sup>2</sup> in the upper layer, and in natural weeds

plot and clean-weeded plot the values were 5 kgf/cm<sup>2</sup> and 15 kgf/cm<sup>2</sup> respectively. This data showed that the soils in *Paspalum* and natural weeds plots were wetter and retained more water in upper layer during rainy season, so the soil would be more friable.

### 3.4 Instantaneous soil water content

The profiles of soil water content during long dry season in 1997 and normal dry season in 1998 are shown in Fig. 3. Soil moisture content in this figure is the average of three soil samples at each depth.

Both observations showed that *Paspalum* plot could retain higher soil water content in the upper layer, whereas during the long dry season in 1997, the clean-weeded plot held more soil water content in the lower layer (20–100 cm). In normal dry season in 1998, the soil water content in the deeper layer of each plot was almost the same.

It seems that the above phenomenon was related to the soil surface condition as indicated by the soil resistance shown in Fig. 2. At *Paspalum* plot, the evapotranspiration was found to be higher during the dry season, hence the soil surface became hard and about 2 cm of hardpan was developed. As a consequence, during the dry season the water move-

**Table 3** Effects of weed management under coffee trees on solid, porosity and water content at various pF (1999)

Treatment	Depth (cm)	Solid ( $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ )	Porosity ( $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ )	Water content			
				-3.2 kPa	-10 kPa	-32 kPa	-1585 kPa
				( $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ )			
Clean Weeded Coffee	5	0.410	0.590	0.494	0.468	0.445	0.352
	15	0.400	0.600	0.546	0.537	0.530	0.442
	25	0.394	0.606	0.550	0.541	0.535	0.445
	35	0.394	0.606	0.575	0.567	0.558	0.456
	Average	0.400	0.601	0.541	0.528	0.517	0.424
Coffee + <i>Paspalum</i>	5	0.356	0.644	0.500	0.366	0.343	0.223
	15	0.335	0.665	0.509	0.489	0.471	0.361
	25	0.357	0.643	0.572	0.542	0.527	0.421
	35	0.374	0.626	0.578	0.553	0.541	0.439
	Average	0.356	0.645	0.540	0.488	0.471	0.361
Coffee + Natural Weeds	5	0.379	0.621	0.521	0.502	0.481	0.361
	15	0.350	0.650	0.407	0.392	0.374	0.256
	25	0.385	0.615	0.507	0.498	0.489	0.384
	35	0.410	0.590	0.544	0.539	0.531	0.437
	Average	0.381	0.619	0.495	0.483	0.469	0.360

ment from the upper layer was inhibited, and the roots of *Paspalum* as well as natural weeds would take water from the deeper layer.

### 3.5 Solid and soil water content

The composition of three phases of soil is presented in Table 3. The soil was clayey (clay >0.51 g/g as shown in Table 1) with high organic matter, so naturally the total porosity was very high. The average total porosity ranged from  $0.601\text{ m}^3\text{m}^{-3}$  to  $0.645\text{ m}^3\text{m}^{-3}$ . The highest porosity was found at *Paspalum* plot ( $0.645\text{ m}^3\text{m}^{-3}$ ) followed by natural weeds plot ( $0.619\text{ m}^3\text{m}^{-3}$ ) and clean-weeded plot ( $0.601\text{ m}^3\text{m}^{-3}$ ). As a consequence, the solid phases of *Paspalum* and natural weeds plot were lower than that of clean-weeded plot. It is interesting to note that the existence of cover crop, especially at *Paspalum* plot, has changed the solid-pore composition although the change was very small.

The existence of *Paspalum* and natural weeds also affected the water contents of -3.2, -10, -32 and -1585 kPa as shown in Table 3.

The water contents at -3.2, -10, and -32 kPa were lower in *Paspalum* and natural weeds plot than clean-weeded plot and as a result the amount of big pore as shown in Fig. 4 at both weedy plots were higher because those porosities were higher. Both weedy plots had aeration pore (water content between saturated and -3.2 kPa) as much as 75-107% higher than clean-weeded plot; for macro pore (water content between saturated and -10 kPa), the range was 86-115% higher; and for coarse pore (water content between saturated and -32 kPa) was 79-107% higher. Because the total porosity was highest at *Paspalum* plot, the macropore and coarse pore were found to be highest for this treatment. The coarse pore in *Paspalum* plot was higher as much as 107% and 16% than clean-weeded plot and natural weeds plot respectively.

The main function of large pores is an avenue for infiltration and drainage of water. The aeration pore would transmit water during saturated condition. The macro and

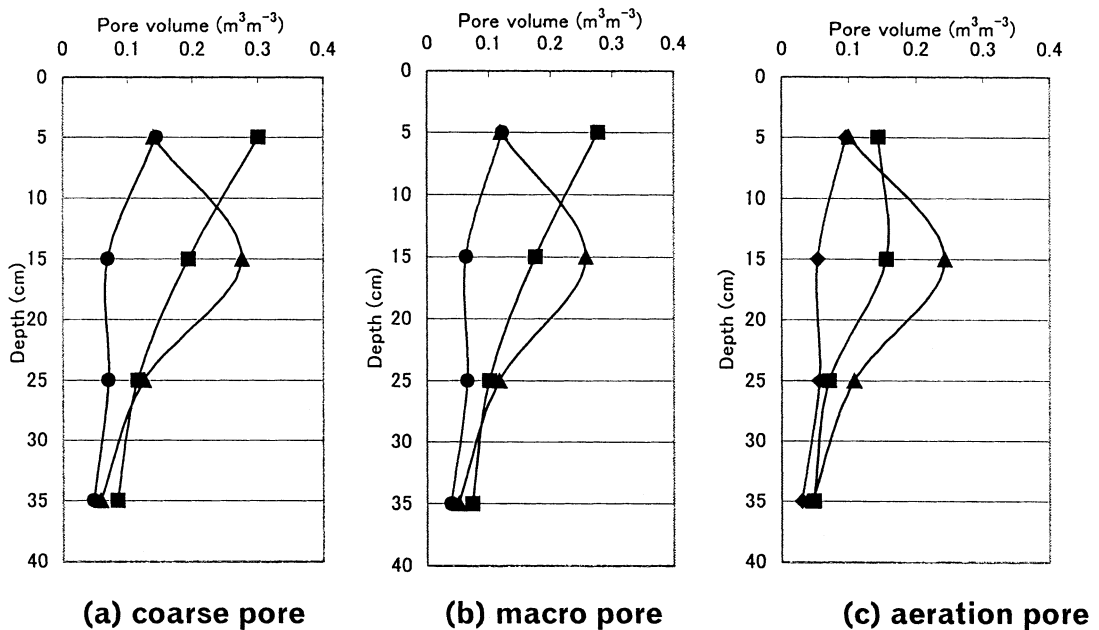


Fig. 4 Effects of different weed managements on pore composition (1999).  
 (● : clean-weeded plot ; ■ : *Paspalum* plot ; ▲ : natural weeds plot)

coarse pore which included aeration pore could transmit and drain water during infiltration. Macro pore could cause to drain gravitational water quickly and coarse pore could cause to drain gravitational water slowly. Thus the number of these pores will affect surface runoff as well as soil erosion. During the process of drainage under a saturation condition, the water in aeration pore will be empty initially, and as a consequence the natural weeds plot which had higher aeration pore would be drier first, followed by *Paspalum* plot. In case of wet condition (water content between saturated and field capacity), the *Paspalum* plot which had highest coarse and macro pore would infiltrate water faster than the other treatments.

The average available water content (water content between  $-32$  and  $-1585$  kPa) for each treatment was almost the same, i.e.  $0.093\text{ m}^3\text{ m}^{-3}$ ,  $0.110\text{ m}^3\text{ m}^{-3}$  and  $0.109\text{ m}^3\text{ m}^{-3}$  for clean-weeded, *Paspalum* and natural weeds plot respectively. The existence of weeds had decreased the value of permanent wilting point ( $-1585$  kPa), however, at the same time the

value of field capacity ( $-32$  kPa) also decreased simultaneously, therefore the available water content did not change. This situation is shown in Fig. 5.

The distribution and activity of roots in each treatment has strongly influenced the amount of large pore in each depth as shown in Fig. 4. The abundance of *Paspalum* roots in the upper layer made this plot to have bigger large pores than the other two treatments, however, as the roots decreased with depth, the number of pores also decreased. On the other hand, at 15 cm depth, the highest big pores were found at natural weeds plot due to the abundance of root system in this depth of natural weeds plot. As the roots system decreased with depth, the amount of large pores became similar.

### 3.6 Aggregate stability

It is very interesting to note that the pattern of aggregate stability in each plot (Fig. 6) is almost similar to the pattern of organic carbon, which indicated that organic matter has a very important role in stabilizing the soil aggregate. The fact that the values of aggregate stability



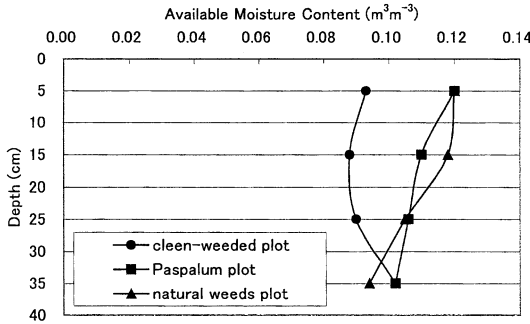


Fig. 5 Effects of different weed managements on available water content (1999).

at clean-weeded plot were almost unchanged during four-year duration of the experiment, which supported this argument. The aggregate stability at weedy plots was higher than clean-weeded plot, both in topsoil and subsoil.

The higher aggregate stability both in *Paspalum* and natural weeds plots was mostly related to development of soil structure through the action of weed roots. In the last year observation, *Paspalum*, which possessed the highest organic matter content, had the highest aggregate stability. Instead of the existence of organic matter, field observation also showed that a mechanical binding by root hair of *Paspalum* was also responsible for increasing aggregate stability.

The other process that was also responsible for the development of soil structure was intermittent wetting and drying processes. The treatments gave different response to wetting process due to rainfall events and drying process occurred by evapotranspiration events. Fig. 7 shows the dynamics of soil moisture suction measured by self-recorded tensiometer after rainfall events. As shown in Fig. 7, at 5 cm depth, *Paspalum* absorbed water and the soil become saturated very quickly due to a rainfall event. However, when this plot started to dry, the water in upper layer depleted faster than the other treatments. A similar process occurred at natural weeds plot at 25 cm depth, because many cracks were found in this depth due to the quick wetting and drying process.

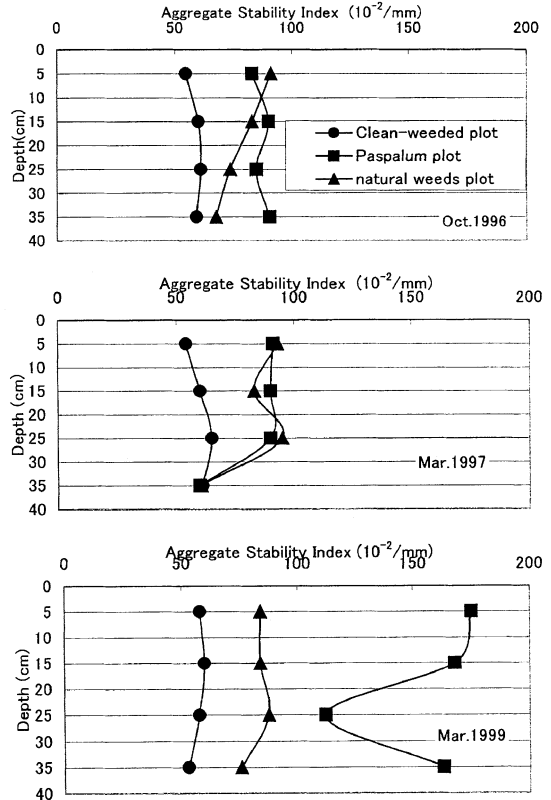


Fig. 6 Aggregate stability under coffee trees with different weed managements measured in different years.

The development of the cracks would promote soil structure development.

### 3.7 Permeability

Three soil samples were taken by cylindrical samplers 10 cm in height at each depth of 5, 15, 25, and 35 cm for analyzing permeability. All data of the permeabilities at every depth are plotted in Fig. 8.

The maximum and minimum permeability values were found at the same depth (10 cm depth) of *Paspalum* plot, i.e.  $1.1 \times 10^{-1}$  cm/s and  $2.7 \times 10^{-4}$  cm/s respectively. The great variation in these data was due to several reasons, such as the properties of the soil to shrink and swell and the existence of surface crust (about 2 cm thick) in *Paspalum* plot. A thin hardpan with about 2 cm thickness was found in the soil surface of *Paspalum* plot; however, the hard-

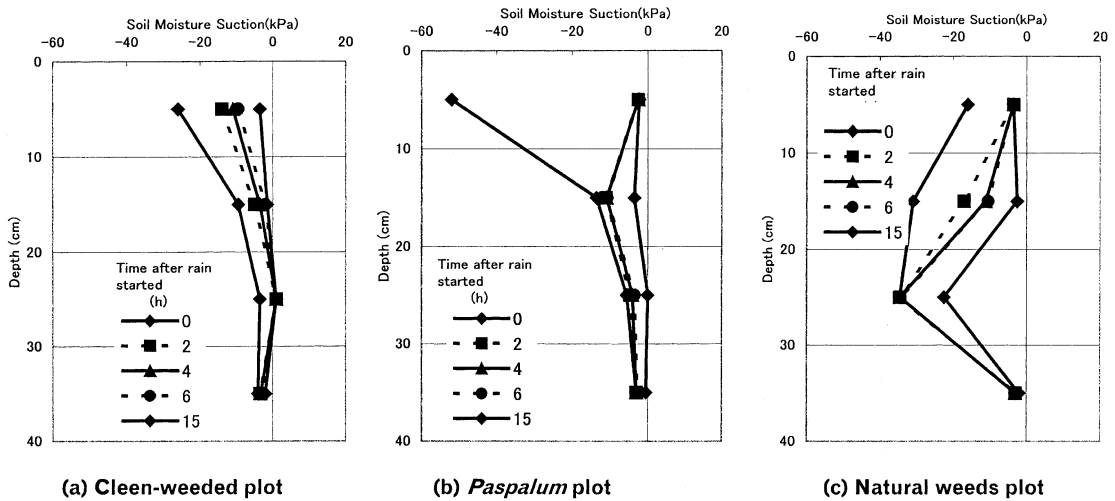


Fig. 7 Dynamics of soil moisture suction in each plot (April 6-7, 1996).

pan had not totally covered the soil surface. The hard pan, which was developed due to surface crust, had made the lowest value of permeability at *Paspalum* plot; part of the soil surface, which was not covered with the surface crust, had a very high permeability. Such a combination of two permeability values would give a good effect on preventing soil erosion, because the hard surface crust would have a strong aggregate stability, and at the same time, the surface runoff water would enter into the soil profile at a much faster rate. Surface crust also occurred in natural weeds and clean-weeded plot, but not as hard as in *Paspalum* plot.

As shown in Fig. 8, there was a tendency in all treatments that the permeability values were lower at the upper soil and increased at 10-30 cm depth, and decreased in the lower part. The existence of surface crust was responsible for lower permeability at the upper layer, and with increasing depth below plow layer (15-20 cm depth), the soil tended to be more compact and hence the permeability decreased.

### 3.8 General discussion

The above discussion proved that the soil cover in the form of weeds could change the

soil physical properties. The process was quite different between grass weeds like *Paspalum* sp. and woody weeds like *Clibadia* sp. in natural weeds due to the different root system. Some processes involved addition of organic matter, evapotranspiration, and mechanical binding. *Paspalum* is a grass type of weed, and its roots are short-lived so each-year decomposition of dead roots would contribute to the quantity of humified organic matter. The root hair of *Paspalum* could also bind the soil particles mechanically, and if transpiration occurred, the soil released its water and became harder and much more stable. The fact that soil in *Paspalum* plot gave a quicker response in wetting and drying at the upper layer also proved that the abundance of *Paspalum*'s roots affected aggregate development. The fast process of wetting and drying enhanced the formation of cracks and aggregates. In case of natural weeds, the wetting and drying process occurred in deeper layer, and materials from the above layer would fill the crack.

The results of the above process were that *Paspalum* plot had much organic matter with stable aggregate stability and higher large pores. Some soil properties in clean-weeded

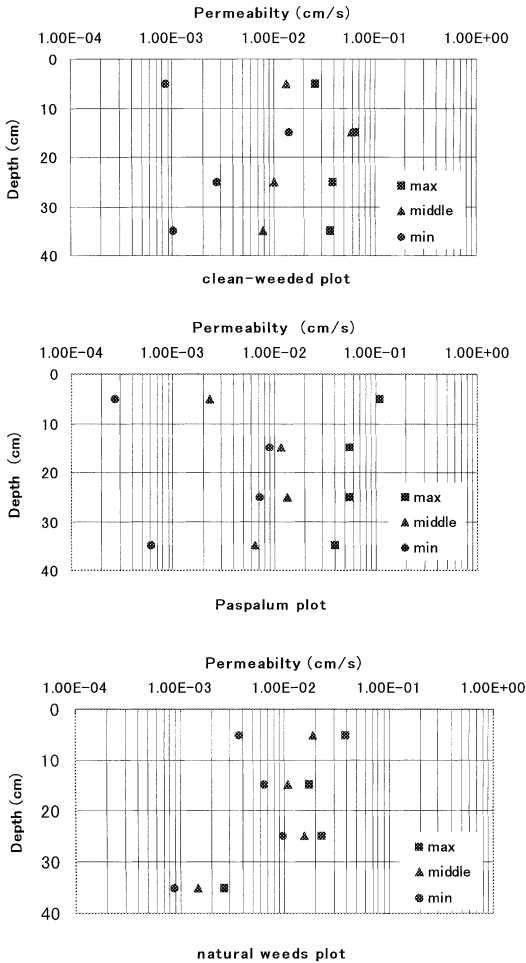


Fig. 8 Effect of weed management under coffee trees on soil permeability (1999).

plot were almost constant during four years, probably because less soil erosion occurred and the decomposition rate of organic matter was slow due to low average temperature (22°C). The soil properties in natural weeds plot were between the other two treatments. A fingering appeared in natural weeds plot which consisted of materials from the above layer.

From the viewpoint of soil conservation, the use of *Paspalum conjugatum* as cover crops gave many beneficial effects for protecting soil erosion. Stable aggregates would make the soil strong enough against rainy drop, and high coarse pore would enhance infiltration rate, so

runoff would be less. As discussed by Afandi *et al.* (1999), the soil loss and runoff from *Paspalum* plot was very low and reached zero in the third and fourth years of the experiment. However since the process of wetting and drying was quicker as this grasses consumed more water, the use of *Paspalum* was not as good as natural weeds, from the viewpoint of water conservation. In natural weeds plot, cracking which occurred in the deeper layer would make the infiltration water flow into deeper layer, so natural weeds was better than *Paspalum* from the viewpoint of water conservation.

#### 4. Conclusion

The existence of weeds under coffee trees as a cover crop has improved some soil physical properties, such as the increasing of soil organic carbon, aggregate stability, porosity, big pore (macro, coarse, and aeration pore), and decreasing the permanent wilting point. The average soil organic carbon (SOC) in *Paspalum* and natural weeds plots were 32.1 g/kg and 26.5 g/kg respectively, which were higher than in clean-weeded plot which was relatively constant (20.2 g/kg) during four years of experiment. A thin (about 2 cm thick) hardpan, which developed at the soil surface in *Paspalum* plot, has influenced some soil physical properties, such as the penetrometer resistance, aggregate stability, instantaneous soil water content, and great variation in permeability values. The highest porosity and large pores (macro, coarse, and aeration pore) were found at *Paspalum* plot followed by natural weeds plot and clean-weeded plot. The available water content was not different between *Paspalum* plot and natural weeds plot, and only 0.18 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> higher than that of clean-weeded plot, because the values of field capacity and permanent wilting point were small simultaneously at both weedy treatments.

## Reference

- Abujamin, S., A., Adi and Kurnia, U. (1983) : Permanent grass strip as one of soil conservation methods. *Soil and Fertilizer Research News*, Center for Soil Research, Ministry of Agriculture, Indonesia, **1** : 16-20 (in Indonesian).
- Afandi, Gafur, A., Swibawa, I. G. and Purnomosidhi, P. (1999) : Baseline Biophysical Information about the Tulang Bawang watershed area, North Lampung. *Proceeding of the Management of Agrobiodiversity in Indonesia for Sustainable Land Use and Global Environment Benefits*. ASB-Indonesia Report No. **9**, Bogor, Indonesia : 76-192.
- Afandi, T.K. Manik, B. Rosadi, M. Utomo, M. Senge, T. Adachi and Y. Oki : Soil Erosion under Coffee Trees with Different Weed Managements in Humid Tropical Hilly Area of Lampung, South Sumatra, Indonesia. *Journal of the Japanese Society of Soil Physics* (in print).
- Bank Indonesia Bandar Lampung (2000) : Financial Economic-Monetary Statistics for Lampung Province Region. Bank Indonesia Bandar Lampung : 25.
- BPD-AEKI Lampung (Indonesian Association of Coffee Exporter Lampung Branch)(1996) : Experience of Marketing and the Prospect of Lampung Coffee, Roadshow of Technology of Arabica coffee development in Western Lampung, Liwa, Western Lampung, January : 16-38 (in Indonesian).
- DeBoodt, M. and DeLeenheer, L. (1958\*) : Propotion pour l'evaluation de la stabilitie des aggregates sur le terrain. *Proc. Int. Symp. Soil Structure*, Ghent, Belgium : 234-241.
- DeBoodt, M. and DeLeenheer, L. (1958\*\*) : Determination of aggregate stability by the change in mean weight diameter. *Intern. Symp. On Soil Structure*. Medelingen Landbouwhogeschool, Gent (Belgium) **24** : 290-399.
- Foth, F.D. (1978) : *Fundamentals of Soil Science*. Wiley, New York.
- Lumbanraja, J., Syam, T., Nishide, H., Mahi, A.K., Utomo, M., Sarno and Kimura, M. (1998) : Deterioration of soil fertility by land use changes in South Sumatra, Indonesia, from 1970 to 1990. *Hydrological Process* **12** : 2003-2013.
- Soil Survey Staff (1998) : *Keys to Soil Taxonomy* 8<sup>th</sup> : p. 173. United States Department of Agriculture, Washington D.C.
- Sriyani, N., Suprpto, H., Susanto, H., Lubis, A.T. and Oki, Y. (1999) : Weeds Population Dynamics in Coffee Plantation Managed by Different Soil Conservation Techniques. *Proc. of International Sem. Toward Sustainable Agriculture in Humid Tropics Facing 21<sup>st</sup> Century*. Bandar Lampung, Indonesia, September 27-28 : 513-520.
- Suwardjo(1981) : The role of plant debris for soil and water conservation in annual farm land. Ph.D. desertation Bogor Agriculture University, Bogor, Indonesia. (in Indonesian).
- Syam, T., Nishide, H., Salam, A.K., Utomo, M., Mahi, A.K., Lumbanraja, J., Nugroho, S.G. and Kimura, M. (1997) : Land use change in a hilly area of south Sumatra, Indonesia (from 1970 to 1990). *Soil Sci. Plant Nutr.*, **43** (3) : 587-599.
- Tisdall, J.M. and Oades, J.M. (1982) : Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science* **33** : 141-163.
- Utomo, W.H. (1989) : *Soil Conservation in Indonesia, A Record and Analysis*. Rajawali Press, Jakarta (in Indonesian).

## インドネシア・南スマトラ・ランポンの熱帯湿潤丘陵地コーヒー園 における雑草管理の違いが土壌の物理性に与える影響

アフアンディ\*・ツマイア カタリナ マニク\*・ブストミ ロサディ\*・  
ムハジル ウトモ\*・千家正照\*\*・足立忠司\*\*\*・沖 陽子\*\*\*

\* ランポン大学農学部

\*\* 岐阜大学農学部

\*\*\* 岡山大学環境理工学部

### 要 旨

インドネシア・南スマトラのランポンにおいて、コーヒー園の雑草管理が土壌の物理性に与える影響を明らかにするために、4年間の実験を行った。試験区は、(1)地表面の雑草を完全除草したコーヒー園(除草区)、(2)被覆植物として *Paspalum conjugatum* で地表面を被覆したコーヒー園 (*Paspalum* 区)、(3) *Clibadia surinamense* が優先種である自然植生の雑草で地表面を被覆したコーヒー園 (自然雑草区) である。雑草管理は2週間に1回の頻度で行った。除草区では地表面の雑草を完全に除去し、*Paspalum* 区と自然雑草区ではコーヒー樹周囲の直径1mの範囲を除草した。コーヒー樹下の地表面を *Paspalum* で被覆すると土壌の物理性が改善される結果を得た。*Paspalum* 及び自然発生した雑草で被覆した試験区における土壌中の有機態炭素量は、それぞれ32 g/kg、26 g/kgと除草区の20 g/kgより大きい。*Paspalum* 区の土壌断面では *Paspalum* の根群によって土壌の色が濃くなり、湿潤と乾燥のプロセスによって、層位の境界が鮮明になっていた。コーンペネトロメータの測定値や団粒の安定化度が示すように *Paspalum* 区の土壌は団粒の安定性が大きい。*Paspalum* 区の表層では厚さ2 cmの硬いパンが発生し、乾季に表層からの水分移動を妨げていた。間隙率は *Paspalum* 区が  $0.64 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  と最も大きく、次いで自然雑草区 ( $0.62 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ )、除草区 ( $0.60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) の順であった。しかしながら、有効水分量は *Paspalum* 区と自然雑草区の間大きな相違がなく、除草区と比較しても  $0.18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  程度大きいのみであった。試験区間の透水係数は大きくばらつき、とくに *Paspalum* 区の表層において変動が大きかった。

キーワード: 土壌構造, コーヒー, 雑草, 団粒

受稿年月日: 2001年11月7日

受理年月日: 2002年7月8日

## ロータバケットによる茶園造成地の土層改良

駒村正治\*・後藤昇一\*\*

### Improvement of Subsoil under Tea Field by Rotor-Bucket Machines

Masaharu KOMAMURA\* and Shoichi GOTO\*\*

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

\*\* Shizuoka Tea Experiment Station

#### Abstract

Declined land has been reclaimed as a tea field in Shizuoka Prefecture, Japan. We examined the effects of mixing tillage by rotor-bucket machine on improvement of subsoil under these fields. Some of the results obtained are as follows :

1. Thickness of both A and B horizon of the soil profile increased by mixing tillage by rotor-bucket machines.
2. The content ratio of soft-rocks decreased by this treatment and the hardness of soil also decreased.
3. Physical properties throughout the soil profile were improved especially in three-phase distribution.
4. Mixing tillage by rotor-bucket machine enhanced the growth of fine roots and yields of tea.

**Key words :** reclamation of tea field, soil physical properties, improvement of subsoil, rotor-bucket machine, mixing tillage

#### 1. はじめに

静岡県における新規茶園造成では、栽培管理の機械化を前提とした地形修正をとまなう改良山成畑工がほとんどであり、そのため良質な表土が下層に埋没したり、不良な下層土が露出することがある（農林水産省構造改善局, 1992）。

一般に、茶園造成における表土扱いは、ブルドーザ、ダンプトラック、スクレーパなどの大型重機によって行われるが、これらの重機により土壌が圧縮や練り返しを受け、緻密化しやすい（石渡・斎藤, 1992）。とくに茶園造成地における土層改良の良否は、定植後の茶樹の生育に大きく影響し、土壌の物理性からみて好ましい状態を確保する必要性が高い（桜井四郎他, 1971）。

そのため今回は、良好な茶園造成と早期成園化を目指すため、従来のバケットによる土層改良でなく、ロータバケットを用いた混層耕による土層改良を静岡県茶業試

験場の実証圃場で実施した。

実証圃場付近の土壌は、これまでの土壌調査結果から緻密化しやすい土壌といわれている（河合・池ヶ谷, 1961）。そのため混層耕による土壌の物理性の改善は、排水性・保水性を高め、有効土層および根群の拡大を図り、有効雨量の増大や肥料の有効利用にもつながる（青野他, 1975）。

#### 2. 試験地・試験項目および方法

##### 2.1 試験地

試験地は、静岡県榛原町仁田にある県茶業試験場の実証圃場である。この付近の地質は新第三紀相良層群を基盤とし、その上層は大井川により運搬された坂部原礫層である。地形は緩やかな丘陵であるが変化に富み、植生はアカマツ、シイ、スギおよび雑木である（後藤・湯川, 1999）。

試験区は、従来使用されているバケットによる混層耕

\* 東京農業大学地域環境科学部 〒156-8502 世田谷区桜丘 1-1-1

\*\* 静岡県茶業試験場 〒439-0002 菊川町倉沢 1706-11

キーワード：茶園造成, 土壌物理性, 土層改良, ロータバケット, 混層耕

区 (以下、バケット区) とロータバケットによる混層耕区 (以下、ロータバケット区) で、各試験区面積は 200 m<sup>2</sup>である。

混層耕に用いられたロータバケットは、図1に示すように、バックホーに装着されたバケット内にロータリー式の鉄製の羽根を取付け、これを油圧モーターで回転させバケット内の土塊をほぐしながら混層を行うものである。今回使用した機械は、0.9m<sup>3</sup>級のバックホーにロータバケットを装着したものである (静岡県農林水産部、

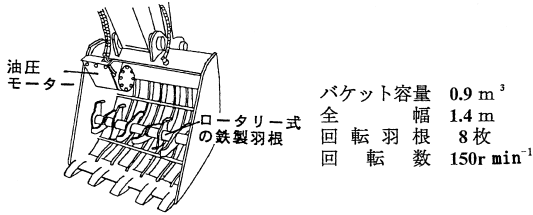


図-1 ロータバケット

Fig. 1 Rotor-bucket machine.

2001)。

### 2.2 土層改良施工手順

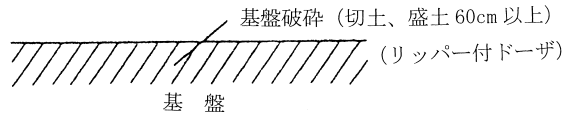
茶園造成および土層改良は、1996年3月から97年3月にかけて実施され、造成工事の概要は図2と以下に示すとおりである。

1) 基盤造成: 96年8月から12月において基盤造成を行った。表土を排除し、基盤を造成した後、排水性改良のため基盤に対して深さ60cm程度、リッパー付ブルドーザの十文字かけによる基盤破碎を行った。

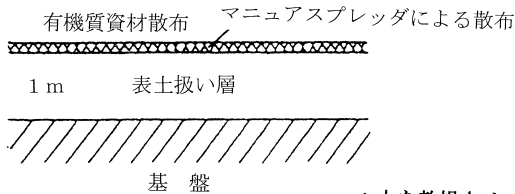
2) 表土戻しと有機物散布: 97年1月に、基盤の上に表土を厚さ1m程度戻し、ブルドーザによる整地後、牛フンとオガ粉混合堆肥 (有機物資材) を10a当たり30トン表面に散布した。

3) 暗渠施工: 暗渠排水は表土戻し後、97年1月に吸水渠の溝を間隔10m、深さ130cm、幅30cmで掘削し、直径10cmの多孔管を埋設した。疎水材は長径20~30mmの碎石を30cmの厚さで投入し、その上に目づまり防止のためモミガラを厚さ15cmで敷き詰め、その後埋め戻した。

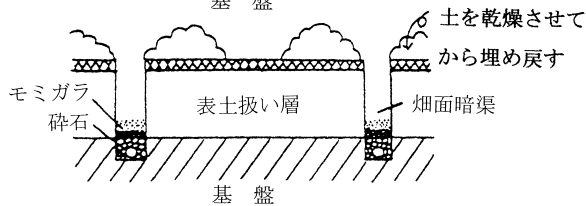
#### ① 基盤造成



#### ② 表土戻しと 土層改良資材散布



#### ③ 暗渠排水



#### ④ 混層耕

(ロータバケット)

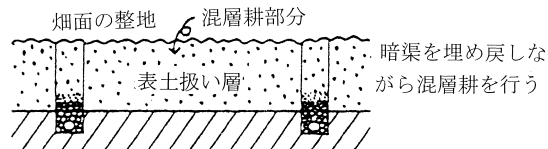
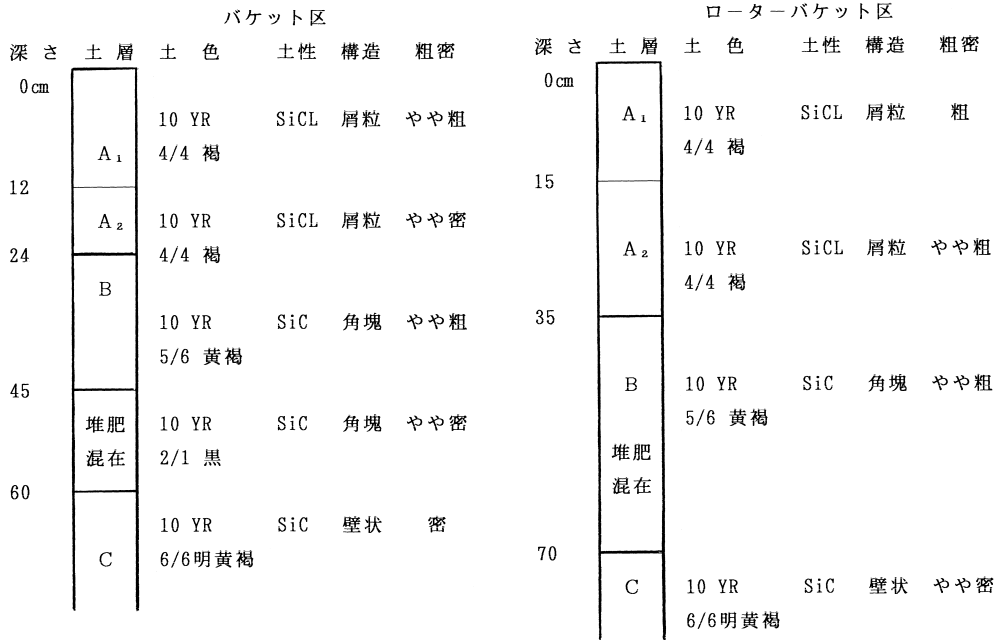


図-2 茶園造成工事の過程

Fig. 2 Process of tea field reclamation.



(1998年12月調査)

図-3 土壌断面

Fig. 3 Soil profile of the test field.

4) 混層耕: 97年2月に、土層の厚さ1mを対象に、バケットおよびロータバケットにより表面に散布した有機物資材の混合と土層の膨軟化を目的に混層を行った。

バケット区とロータバケット区における10a当たりの作業時間は、バケット区が7.6時間、ロータバケット区が9.8時間であった(後藤, 2001)。ロータバケットはロータの回転操作がともなうことから、バケット区に比べて作業時間がやや多くかかることになった。

茶園造成は、97年3月にすべて完了し、4月に苗の定植を行った。品種は「山の息吹」の2年生苗であり、植栽間隔は株間50cm、条間50cmの複条千鳥植えである。

### 2.3 調査項目および方法

調査項目はバケット区とロータバケット区において、土壌断面調査、土壌硬度、軟岩含有率、土壌の物理性、土壌水分変動、細根分布および生育・収量調査である。

調査期間は、定植後の1997年から2000年までの期間である。調査方法は、土壌断面調査、土壌硬度などは現地での観測および測定による。土層硬度の測定は、山中式硬度計によって深さ10cm間隔で行った。

軟岩含有率は、幅50cm、奥行き20cmの区画に対し

て、厚さ20cmのブロックごとに、深さ100cmまでを対象土層として試料を採取し、軟岩の大きさ別に分け風乾質量を測定して行った。

土壌の物理性は、土粒子密度、自然含水比、乾燥密度、飽和透水係数およびpF-水分などであり、土層毎に100cm<sup>3</sup>のサンプラー3個を採取し、室内にて試験を実施した。なおpF-水分試験は、pF 0から2.2までは加圧板法、pF 2.5から4.0は遠心法によって行った。土壌水分変動調査は、10cm間隔で深さ80cmまでに自記テンシオメータを埋設し、水分張力の測定によって行った。また、自記雨量計により降水量も観測した。

細根分布調査は、うね間の土壌断面において深さ120cmまで、厚さ10cm、幅50cmの枠内の細根数を数えて行った。生葉収量は、はさみ刈りにより1区画9m<sup>2</sup>で調査し、10a当たりに換算した。わく摘み調査は20×20cm枠(各区9か所)によって行った。

## 3. 結果および考察

### 3.1 土壌断面と硬度および軟岩含有率

#### 3.1.1 土壌断面

土壌断面調査結果は、図3に示すとおりである。



バケット区では、深さ 24 cm までの表層は褐色から暗褐色を呈し、腐植を含む A 層であり、土壤構造は屑粒状構造である。深さ 24~60 cm は混合部分の B 層であり、45~60 cm に有機物資材が集中し、60 cm 以下には有機物資材の存在が少ない。

ロータバケット区では、深さ 35 cm までの表層は褐色から暗褐色で腐植を含む A 層であり、バケット区よりも表層が厚く、土壤構造は屑粒状構造を呈している。また、深さ 35~70 cm の層は、有機物資材が混合した B 層が存在し、バケット区よりも混合層が深く厚く存在している。すなわち実際の改良深度はバケット工法で 60 cm、ロータバケット工法で 70 cm と深く、有機物資材の混合状態も良好であった（後藤，2001）。

土性は両区とも表層がシルト質植壤土（SiCL）、下層がシルト質植土（SiC）である。可塑性は表層ほど粗粒で乾燥の影響によるため中程度であり、下層は湿潤で粘質土のため中~強である。

各土層における土壤組織は、両区とも表層が柔らかい粗な状態であり、下層になるにしたがってやや密ないし密になる。バケット区に比べてロータバケット区の方が土層の均一化・膨軟化が促進され、より粗な傾向がみられる。

根量は両区とも A 層で多く、根の深さは B 層の下層であるバケット区で 60 cm、ロータバケットで 70 cm 付近まで存在している。いずれにしても根の伸長は、定植から 2 年目としては順調な状況であるといえる。

### 3.1.2 土壌の硬度

土壌の硬度について茶園造成後の土壤断面調査時に行った山中式硬度計による結果を図 4 に示す。この数値は、97~98 年の 4 回測定した平均値である。これによるとバケット区で 11~15 mm 程度、ロータバケット区で 9~14 mm 程度であり、ロータバケット区が各土層とも 1~2 mm 程度硬度が小さい。

この図には表土戻し後の混層耕実施前（97 年 1 月）に測定した硬度の値も示してある。この時の硬度の値は各層とも 20~22 mm の範囲である。硬度の値 17~20 mm で根の伸長が抑制され始めるといわれていることから（土壤物理研究会編，1979）、やや固い状態である。これらの結果からみてバケット区およびロータバケット区とも、土層改良後における硬度の値はかなり小さく、混層耕により膨軟な状態となったといえる。

### 3.1.3 軟岩含有率

ロータバケットによる混層耕の効果をみるため、造成 1 年目の 97 年 8 月に実施した軟岩含有率から検討する。軟岩含有率はバケット内ロータリー式の羽根の回転により軟岩が破碎ないし細粒化される程度を示し、土層改良

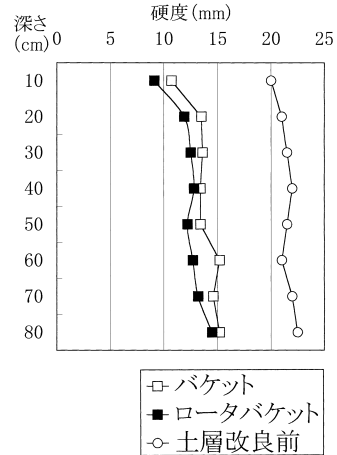


図-4 土壌の硬度

Fig. 4 Profile of soil hardness.

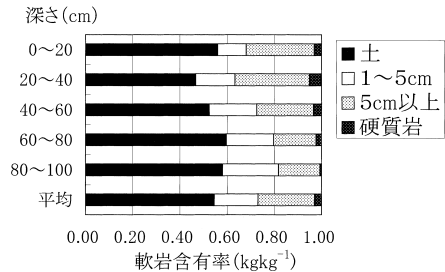


図-5 バケット区における軟岩含有率

Fig. 5 Content of soft rock by weight in bucket test field.

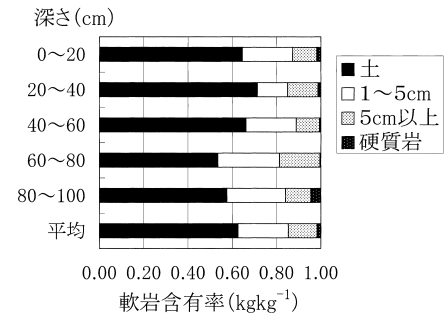


図-6 ロータバケット区における軟岩含有率

Fig. 6 Content of soft rock by weight in rotor-bucket test field.

効果を現すものと判断される。軟岩含有率ここでは、直径 1 cm 以上を軟岩とし、それ以下を土とし図 5, 6 にその結果を示す。

表-1 土壤の基本的物理性

Table 1 Physical properties of soils

深さ	バケット区				ロータバケット区			
	土粒子密度 ( $\text{g cm}^{-3}$ )	自然含水比 ( $\text{kg kg}^{-1}$ )	乾燥密度 ( $\text{g cm}^{-3}$ )	飽和透水係数 ( $\text{cm s}^{-1}$ )	土粒子密度 ( $\text{g cm}^{-3}$ )	自然含水比 ( $\text{kg kg}^{-1}$ )	乾燥密度 ( $\text{g cm}^{-3}$ )	飽和透水係数 ( $\text{cm s}^{-1}$ )
5 cm	2.68	0.293	1.18	$8.7 \times 10^{-3}$	2.66	0.315	1.08	$2.2 \times 10^{-2}$
15	2.69	0.298	1.21	$2.0 \times 10^{-3}$	2.69	0.321	1.12	$4.5 \times 10^{-3}$
30	2.67	0.305	1.32	$1.3 \times 10^{-3}$	2.68	0.300	1.21	$7.1 \times 10^{-3}$
50	2.68	0.318	1.32	$1.0 \times 10^{-3}$	2.69	0.336	1.14	$5.3 \times 10^{-3}$
70	2.67	0.300	1.40	$8.3 \times 10^{-5}$	2.67	0.311	1.19	$8.0 \times 10^{-3}$
90	2.67	0.291	1.43	$2.8 \times 10^{-5}$	2.68	0.324	1.20	$3.0 \times 10^{-3}$

直径 1 cm 以上の硬質岩を含めた軟岩の含有率は、バケット区で  $0.45 \text{ kg kg}^{-1}$  程度、ロータバケット区で  $0.35 \text{ kg kg}^{-1}$  程度であり、ロータバケット区の軟岩含有率が  $0.1 \text{ kg kg}^{-1}$  程度少ない。土層別にみると軟岩含有率は、バケット区が  $0.4 \sim 0.5 \text{ kg kg}^{-1}$ 、ロータバケット区が  $0.3 \sim 0.45 \text{ kg kg}^{-1}$  の範囲である。深さ別の軟岩含有率は、必ずしも表層で少ない率でなく、下層においても同程度の含有率であり大差がみられない。

なお軟岩の大きさに関してみるとバケット区の方が直径 5 cm 以上の大きな割合が多く、表層で多い傾向である。

以上の結果から、ロータバケット区において軟岩の含有率が少なく、かつ大きな岩が少ない傾向であり、しかも全層にわたって同程度の含有率である。これらのことからバケット内に入った大きな軟岩がロータの回転により細かく砕かれる割合が高いといえる。

その後 3 年目の 99 年の結果では、直径 1 cm 以上の軟岩含有率がバケット区で  $0.4 \text{ kg kg}^{-1}$  程度、ロータバケット区で  $0.3 \text{ kg kg}^{-1}$  程度であり、ロータバケット区の方が  $0.05 \text{ kg kg}^{-1}$  程度少ない。各土層においてもロータバケット区の方がバケット区よりも軟岩の含有率が  $0.05 \text{ kg kg}^{-1}$  程度少ない。

両区とも混層耕実施 3 年目において軟岩含有率が  $0.05 \text{ kg kg}^{-1}$  程度減少している。これは軟岩が乾湿の影響、すなわち風化作用を受けて部分的に破碎したものとと思われる。とくに表層に存在する軟岩の破碎は短期間に進む。これは軟岩が新第三紀層のため固結程度が低く、風化作用を受けやすいためである。

一般に造成地における土層改良のための耕耘深は、普通畑で 25 cm、樹園地で 60 cm であるが（農林水産省構造改善局，1992）、改良深度が 60 cm を超える場合には表土だけを集積するのは施工上かなり困難である。したがって、下層にある未風化の軟岩層などが多かれ少なか

れ混入することは避けられないものとする。この対策としてのロータバケットによる混層耕の効果がみられると判断される。

### 3.2 土壤の物理性と土壌水分変動

#### 3.2.1 土壤の基本的物理性

土壤の基本的物理性の結果は、表 1 に示すとおりである。これは 98 年 12 月と 99 年 7 月に採取した土壤の平均値である。

土粒子密度は、 $2.66 \sim 2.69 \text{ g cm}^{-3}$  の範囲であり、一般的な鈹質土壌と近似した値である。自然含水比は、両区とも  $0.3 \text{ kg kg}^{-1}$  前後であり、ロータバケット区の方がやや多い傾向であるものの大差がない。乾燥密度は、バケット区が  $1.18 \sim 1.43 \text{ g cm}^{-3}$ 、ロータバケット区が  $1.08 \sim 1.21 \text{ g cm}^{-3}$  の範囲であり、ロータバケット区の方が小さい傾向であり、土壤の膨軟効果がみられるといえる。

飽和透水係数はバケット区が  $2.8 \times 10^{-5} \sim 8.7 \times 10^{-3} \text{ cm s}^{-1}$ 、ロータバケット区が  $3.0 \times 10^{-3} \sim 2.2 \times 10^{-2} \text{ cm s}^{-1}$  であり、深さ 50 cm までは大差がみられない。しかし、深さ 70 cm 以下の下層ではロータバケット区の方が  $10^2$  程度大きい値である。改良深度が深いロータバケット区の方が下層において飽和透水係数が大きい。

三相分布の結果を図 7, 8 に示す。バケット区の固相率は  $0.45 \sim 0.55 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  の範囲であり、表層で少なく、下層ほど多い傾向である。気相率は表層で  $0.2 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  であり、下層になるにしたがって少なくなっている。ロータバケット区は固相率が  $0.4 \sim 0.45 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  であり、バケット区より各層とも少ない傾向であり、下層においてもとくに少ない傾向である。気相率も全層にわたり  $0.2 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  程度とバケット区に比べて多い。このようにロータバケット区は、三相分布においてバケット区に比べてバランスが良く、ロータバケットによる土壤の膨軟化の反映といえる。なお液相率は、両区とも  $0.35 \sim 0.4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  程度であり、下層ほど多い傾向がみられる。

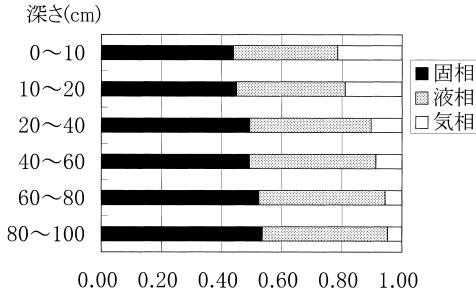


図-7 三相分布 (バケツ区)

Fig. 7 Three phase distribution of the bucket test field.

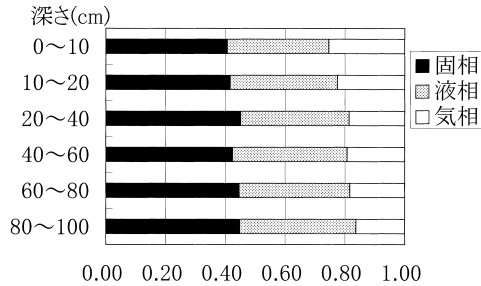


図-8 三相分布 (ロータバケツ区)

Fig. 8 Three phase distribution of the rotor-bucket test field.

続いて間隙率の内容について検討する。ここでは、pF-水分特性から、pF 0~1.8 に対応する間隙を粗間隙、pF 1.8~3.0 に対応する間隙を細間隙とし、それぞれ排水性と保水性に対応させる。粗間隙率は、図9に示すようにバケツ区とロータバケツ区では明らかに異なる。バケツ区では表層で  $0.2 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  程度と多いが、下層ほど少なくなり  $0.05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  以下である。ロータバケツ区の間隙率は、全層にわたってバケツ区よりも多く、かつ下層においても  $0.13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  程度と多い。

細間隙率についても図10のように、ロータバケツ区が  $0.06 \sim 0.09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  とバケツ区の  $0.04 \sim 0.06 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  と比較して多い。とくに粗間隙率と同様に、下層における両区の差が大きい。

これらの結果からロータバケツ区は、粗間隙率・細間隙率ともに全層にわたって多く、混層耕による土壌の排水性・保水性の改善が認められる。

3.2.2 土壌の粗間隙率と飽和透水係数

土壌の粗間隙率と飽和透水係数の関係を整理して図11に示す。図のように粗間隙率の多い土壌ほど飽和透水

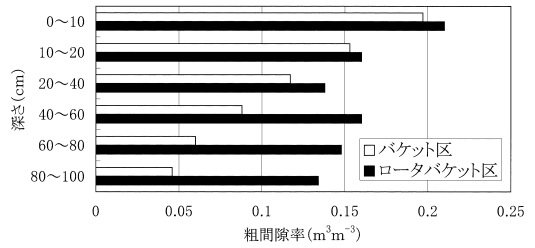


図-9 粗間隙率の分布

Fig. 9 Profile of soil macro-pore in bucket test field (□) and rotor-bucket field (■).

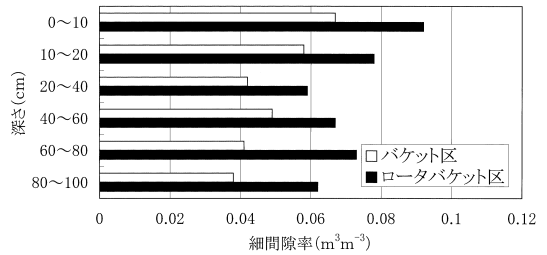


図-10 細間隙率の分布

Fig. 10 Profile of soil micro-pore in bucket test field (□) and rotor-bucket test field (■).

係数が大きい傾向である。粗間隙率が  $0.1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  以上で、飽和透水係数が  $1 \times 10^{-3} \text{ cm s}^{-1}$  以上のオーダーであり、粗間隙率の多いロータバケツ区の土壌の飽和透水係数が大きいことが明らかである。

以上のように土壌の基本的物理性からみて、調査地の土壌は、ロータバケツ区が深い土層まで混層耕により粗間隙率が多く、その結果透水係数が大きく、排水性からみて良好であると判断される。

3.2.3 土壌水分変動

土壌水分変動結果を図12に示す。これは99年の5月から6月の自記テンシオメーターによる深さ別の水分張力を整理したものである。とくに降雨後において、一旦低下した水分張力が重力水の排除(排水)や蒸発散に伴い再び上昇する経過をみたものである。5月24日に21mm、26日に42mmの降水量があり、その影響のため水分張力が急激に低下し、27日の時点で深さ80cm付近の土壌は、飽和状態であることが推察される。その後、土壌水分の減少により水分張力が増加するが、ロータバケツ区の方が各土層とも水分張力の増加が早い。この

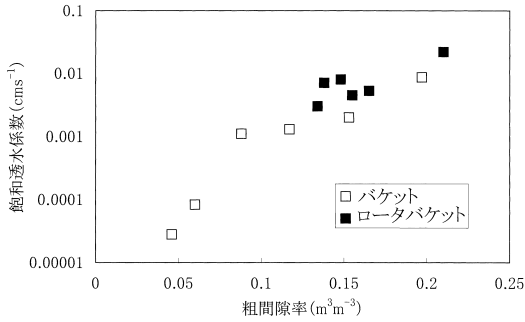


図-11 粗間隙率と飽和透水係数の関係

Fig. 11 Relationship between macro-porosity and saturated hydraulic conductivity. (□: bucket test field, ■: rotor-bucket test field)

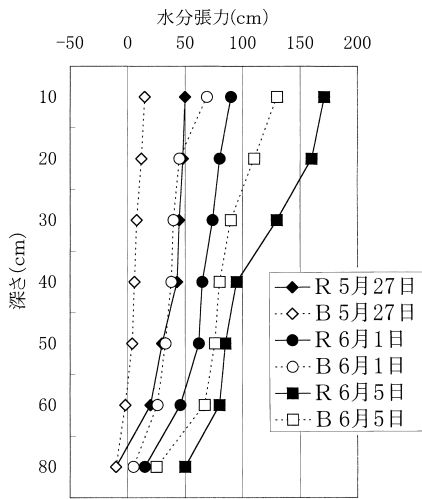


図-12 土壌水分張力の深さ別プロフィール

Fig. 12 Profile of soil moisture suction. (B: bucket test field, R: rotor-bucket test field)

理由は、ロータバケット区の方が重力水の排除が速やかなことと後述する根群発達による蒸散量の大きいことの反映と推察される。すなわちロータバケット区の土壌の物理性が良好な状況、特に粗間隙率が多く、透水係数が大きいことの反映である。このことは排水の良好な条件を好む茶樹の生育にとっては有利に作用しているといえる。

### 3.3 細根分布と生育および収量

#### 3.3.1 細根分布

定植4年目の2000年8月における細根分布調査の結

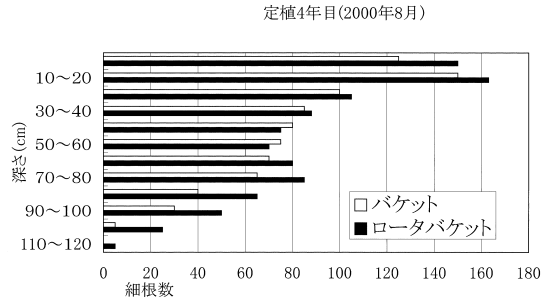


図-13 根群分布(細根数)

Fig. 13 Profile of fine-root distribution. (□: bucket test field, ■: rotor-bucket test field)

果を図13に示す。土壤断面調査からも判断できるが、深さ20cmまでが非常に細根数が多く、ロータバケット区がバケット区よりも多い。とくに深さ60cm以下においてロータバケット区の方が非常に多く、深い土層まで細根が良く発達している状況が明らかである。茶樹の根は土壤の物理性や排水性の良否および緻密度などに対して敏感であり、これからもロータバケット区の土層改善効果が認められる。

#### 3.3.2 生育および収量

生葉収量とわく摘み調査結果を表2に示す。定植3, 4年目における一番茶の生葉収量は、バケット区100に対してロータバケット区が3年目109, 4年目119とやや多い。二番茶の生葉収量もロータバケット区が3年目110, 4年目113と一番茶と同様に多い。

わく摘み調査結果においても摘芽長、摘葉数、摘芽数、および摘芽重ではロータバケット区が多く、出開度も高い傾向である。この点からみてもロータバケット区の生育・収量の優位性が認められる。

## 4. まとめ

一般に畑地造成地における表土は、大型重機の走行などにより圧縮され緻密化し、下層の岩などの混入する例が多くみられる。今回の調査では、この対策としてロータバケットによる混層耕による改善について検討した。

この工法により従来のバケット混層耕に比べて軟岩をロータの回転による破碎や有機質資材混合および土壤を膨軟化する上で役立つと考えられる。

今回調査した結果をロータバケット区とバケット区を比較・要約して以下に整理する。

(1) 土壤断面からみて、ロータバケット区はバケット区に比べて膨軟であり、有機物資材の分散程度が高く、よく混合され、混層耕による土層改良の効果が深くまで

表-2 生葉収量とわく摘み調査結果

Table 2 Effects on growing and yield of the test field

( ) 内数値はバケット区を100とした指数

区 分	生葉収量 10a 当たり (kg)	わく摘み (20×20 cm)							
		摘芽長 (cm)	摘葉数 (枚)	摘芽数 (芽)	摘芽重 (g)	百芽重 (g)	出開度 (%)		
定植 3年	一番茶	バケット	247 (100)	7.1	3.1	17.1	22.8	133.3	25
		ロータバケット	270 (109)	8.9	3.5	17.3	28.1	161.5	26
	二番茶	バケット	403 (100)	7.1	3.9	23.4	31.1	133.3	81
		ロータバケット	444 (110)	8.1	4.1	26.0	38.8	149.7	84
定植 4年	一番茶	バケット	353 (100)	4.5	3.0	41.3	25.2	61.7	34
		ロータバケット	420 (119)	5.4	3.2	50.1	33.0	66.6	37
	二番茶	バケット	549 (100)	8.0	3.9	50.0	48.7	98.0	53
		ロータバケット	671 (113)	8.7	4.1	57.1	54.7	96.0	63

認められていた。

(2) 土壌硬度は、ロータバケット区がバケット区ともに土層改良前と比べてかなり小さく、茶樹の根群伸長にとって改善の効果がみられた。

(3) 軟岩含有率はロータバケット区で各土層において少なく、鉄製の羽根の回転により軟岩の破砕が進んだといえる。さらに風化作用による破砕も加わることを確認した。

(4) 三相分布を比較すると、ロータバケット区で固相率が少なく、気相率が多く、膨軟な状況が認められた。また、粗間率、飽和透水係数も大きく、降雨後の土壌水分からみても排水性の良好さがうかがわれる。

(5) 定植4年目の細根分布は、ロータバケット区の方が下層まで深く、多い傾向である。茶樹の収量結果においてもロータバケット区の方が生葉収量で10%程度多い結果であった。

今後、栽培管理作業機械化のため茶園の整備や造成に際して、傾斜緩和、地形修正が必要であり土工量が増加する方向である。今回実施したロータバケットによる土層改善効果が認められ、ロータバケットを用いた施工方法も含め、土層改良の標準化が是非とも必要なものと思われる。茶樹は永年作物であり、定植の安定、生育確保には根群の発達がまず必要であり、土層改良の研究が継続的に進められなければならない。最後に本調査・研究に当たり、静岡県茶業試験場の関係者および東京農業大学農地環境工学専攻学生の協力を得ました、記して感謝致します。

## 参 考 文 献

- 青野英也・築瀬好充・田中静夫 (1975) : 茶園の土層改良とかがいの効果, 茶業技術研究, **49** : 13~49.
- 土壌物理研究会編 (1979) : 土壌の物理性と植物生育, 養賢堂 : 12.
- 後藤昇一・湯川俊彦 (1999) : 静岡県茶業試験場実証ほ場を事例とした機械化栽培のための新規茶園造成への取組み, 静岡県茶試研報, **22** : 51~56.
- 後藤昇一 (2001) : ロータバケットを用いた混層耕による茶園造成時の土層改良効果, 茶業研究報告, **91** : 20~28.
- 石渡輝夫・斎藤万之助 (1992) : 改良山成工により造成した畑土壌の性状, 日本土壌肥料学会誌, **63** (6) : 669~675.
- 河合惣吾・池ヶ谷賢次郎 (1961) : 静岡県榛原町坂部の茶園土壌について, 茶業技術研究, **17** : 50~55.
- 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 : 49~56.
- 杉井四郎・青野英也・田中静夫・築瀬好充・吉川 茂・池ヶ谷賢次郎 (1971) : 改植時における茶園の土層処理およびその後の肥培方法に関する研究, 茶業試験場研究報告, **7** : 57~95.
- 静岡県農林水産部 (2001) : あたらしい農業技術 : 1~2.

受稿年月日: 2001年7月23日

受理年月日: 2002年11月7日

# 携帯電話を利用した土壌情報モニタリングシステム

溝口 勝\*・三上正洋\*\*・石井 悟\*\*

## Soil Information Monitoring System using Cellular Phone

Masaru MIZOGUCHI\*, Masahiro MIKAMI\*\* and Satoru ISHII\*\*

\* Department of Biological and Environmental Engineering, The University of Tokyo,  
1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, Japan

\*\* Technology&Future, Inc., 42-11 Megurida-cho Kodaira, Tokyo 187-0013, Japan

### Abstract

A prototype system for monitoring soil information was developed using a cellular phone. We named the system SIMS-CP (Soil Information Monitoring System using Cellular Phone). In the prototype system, soil water content and soil temperature at six depths in a field were monitored from a remote laboratory. The system will be quite promising as a tool that virtually converts a field experiment into a laboratory experiment. The present paper gives an outline of SIMS-CP and its potential applications in field science.

**Key words** : soil information, soil water, cellular phone, sensor, field science

## 1. はじめに

フィールドには、気象、動植物の活動、人為など、様々な要因により刻々と変化する貴重な土壌情報が眠っている。こうした情報のうち、センサーを用いて電気信号に変換できるものは、現地に設置されたデータロガーに記録されるが、その情報を確実に得るためには、定期的なデータ回収とメンテナンスが必要となる。しかし、容易に行ける場所ならばともかく、行くのが困難なフィールドでは、観測途中で起こる不測のトラブルのために、しばしば記録していた情報を失うことがある。

気象観測では、こうした情報損失の問題を解決するために、データロガーに蓄積された情報を遠隔操作で取得するシステムが実用化されている。しかし、土壌水分量に関しては、適当な土壌水分センサーがないなどの理由から、遠隔操作で土壌情報をモニタリングするシステムは実用化のレベルには達していなかった。

こうした状況の中、最近、安価で高性能の土壌水分センサーが開発されてきている。そこで、筆者は、そうした土壌水分センサーと携帯電話を組み合わせ、土壌水分量と地温を研究室からリアルタイムにモニタリングするシステム SIMS-CP (Soil Information Monitoring System using Cellular Phone) を試作した。本論文では、このシステムの構成と構築上の注意点を概説すると共に、実際にこのシステムで取得したデータの一例を示しながら、フィールド科学における SIMS-CP の有効性について考察する。

## 2. 方 法

### 2.1 システムの構成

本システムは、土壌水分量と地温、および降雨量をデータロガーに記録し、それらの情報を現地に設置した受信専用の携帯電話を経由して研究室に取得するものである。現地に設置するハードウェアは、①センサー ②マルチプレクサ ③データロガー ④携帯電話データ通信コントローラ ⑤携帯電話 ⑥バッテリー ⑦避雷器 ⑧アンテナ ⑨太陽電池用パネルである。これらのうち、②～⑦は防水箱 (40 cm×40 cm×30 cm) の中に吸湿材と共に納められている。(写真-1)

一方、研究室で必要なハードウェアは、①電話回線

\* 東京大学大学院農学生命科学研究科生物・環境工学専攻 〒113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1

\*\* 株式会社ティアンドエフ (T & F Inc.) 〒187-0013 東京都小平市回田町 42-11

キーワード: 土壌情報, フィールド科学, 土壌水分, 携帯電話, センサー

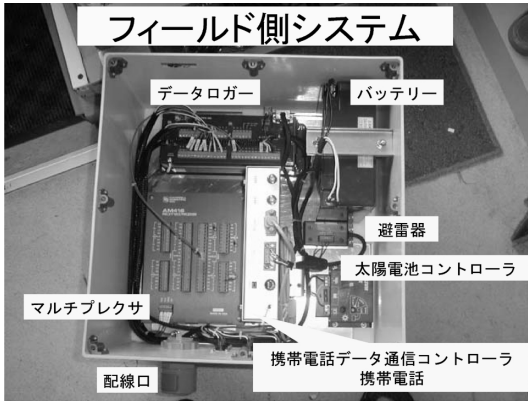


写真-1 防水箱に格納されたハードウェア

Photo. 1 Hardwares in the sealed box which was buried in the field.

② モデム ③ RS-232C ケーブル ④ 通信用ソフト ⑤ コンピュータである。

## 2.2 土壌水分センサー

フィールドにおける土壌水分量の測定には、土壌の誘電率が土壌水分量によって変化する特性を利用した高周波誘電率法が用いられるようになってきた。この方法は、センサーを用いて土壌水分量を電気信号として測定するものである。現場で迅速に土壌水分量を測定でき、センサーを現地に埋設しておけば土壌水分量の変化を連続的にモニタリングできる。代表的なものに、TDR 法や ADR 法などがある。

TDR 法は、土壌に挿入された電極中の高周波パルス信号の速度から土壌の誘電率を求める方法で、土壌水分量と同時に電気伝導度も測定できる。一方、ADR 法は電極と土壌のインピーダンスの差によって発生する干渉反射波の振幅差を電圧で測定して誘電率を求める方法で、消費電力が少なく、塩分の影響を受けにくいなどの特徴がある。しかし、いずれのセンサーも土壌中に複数本埋設するには高価であり、それが土壌水分量のモニタリングシステム構築上の障害になっていた。

最近、これらに比べて廉価な土壌水分センサーが開発された。ECH2O と呼ばれる このセンサーは、土壌をコンデンサーとみなし、その充電時間から土壌の誘電率を求める方法で、印加電圧と出力電圧の比により土壌水分量が測定できるのが特徴である。高周波を処理する回路が、幅 3 cm ・長さ 20 cm の帯状センサーの根元に組み込まれているので、温度による影響を受けにくい (Campbell, 2001 a), またセンサーがガラスファイバーで覆われているので塩分の影響も受けにくい。

ECH2O の出力電圧と土壌の体積含水率は次式の線形関係で表される。(Campbell, 2001 b)

$$\theta = aV + b$$

ここで、 $\theta$  は体積含水率、 $V$  はセンサーの出力電圧 (mV)、 $a$  および  $b$  は土壌によって決まる定数である。マニュアルによると、土壌ごとにキャリブレーションをすれば、その精度は  $\pm 1\%$  とされる。

今回試作したシステムではこのセンサーを用いた。現地の土壌でキャリブレーションして得たセンサー定数はそれぞれ  $a=0.001857$ ,  $b=-0.9244$  である。

## 2.3 データロギング

データロガーには CR10X (Campbell 社) を用いた。電源は太陽電池により確保した。また、雷による電気回路の損傷を防ぐため、避雷器も取り付けした。さらに、今回は地温と土壌水分量の測定点数がロガーのチャンネル数より多かったので、センサーとロガーの途中にマルチプレクサを使用した。

## 2.4 システムの制御プログラム

本システムのプログラム例を付録-1 に示した。CR10X の場合、Windows 上で動作する通信ソフト (PC208 W ; Campbell 社) を用いることにより、容易にプログラミングできる。SIMS-CP のプログラムは、携帯電話制御、計測、記録の 3 つの部分から構成される。

### 2.4.1 携帯電話制御部

プログラムは、命令とそのパラメータにより記述されている。以下では、プログラム命令の順番を“行”と表現し、その要点を説明する。

1-10 行 : CR10X のコントロールポートを利用して携帯電話の電源を毎日 ON/OFF 操作する。ここでは 12 時 ~ 18 時の時間帯のみ電源を ON にしている。この ON/OFF 操作によって、バッテリーの消耗を防ぐとともに携帯電話の動作条件を毎日初期化する。

### 2.4.2 計測部

11 行 : 電池電圧の測定

12 行 : 熱電対の基準温度測定

13 行 : 雨量計カウントの測定

14-16 行 : 土壌水分センサーに 2,500 mV の直流電圧を印加する。CR10X では印加できるポートが 3 チャンネルなので、センサーを 2 本づつ 1 チャンネルに入れ、計 6 本の水分センサーを繋いである。

17-21 行 : 熱電対による温度測定。マルチプレクサを介して計 8 点の温度 (地温 6 点, 気温 2 点) が測定される。

### 2.4.3 記録部

24-30 行 : 10 分間隔で、年月日時刻、バッテリー電圧、降水量、温度、土壌センサーの出力電圧を記録する。記

録する間隔は 24 行目で任意に設定できる。

2.5 携帯電話データ通信

携帯電話データ通信コントローラは、携帯電話を内蔵したモデムである。このコントローラは、RS232C 変換ケーブルを介してデータロガーの I/O ポートと、また同軸ケーブルを介して室外アンテナと繋がる。CR10X の 5V 用コントロールポートから通信コントローラを経由して、携帯電話に電力が供給される。最近の携帯電話はデータ通信に余分な機能を持っているので、データ通信を確実にを行うためにはメール受信や留守番電話などの機能を予め解除しておく必要がある。

2.6 研究室からのデータ取り込み

PC208W には、外付けモデム経由で CR10X と通信する機能が標準装備されているので、電話回線によるデータ通信の知識があれば、容易に利用できる。コンピュータにモデムを正しく認識させ、パケットサイズや応答時間を最適条件に調整する。携帯電話の電波状態によっては繋がりにくい場合もある。また、内線電話から 0 発信で外線に繋ぐ場合にも、交換機の特徴によって繋がらないこともある。これらの作業は、ユーザの利用環境に合わせて試行錯誤で行う必要がある。

3. SIMS-CP による観測例

3.1 観測地

試作したシステムを 2001 年 8 月 31 日に群馬県 T 村のキャベツ畑地に設置した。この畑地では、冬期に土壌が凍結するために春期に融雪水が地中に浸透できずに、

表土が侵食されることがしばしば問題となっている（溝口ら, 2002）。畑地中央に土壌断面を作り、各深さの土壌の物理性を測定した後、土壌水分センサーと熱電対を断面に垂直方向に 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, 60 cm, 90 cm の深さに挿入した。ECH2O 土壌水分センサーは、水分の鉛直方向の移動を遮断しないように縦向きにして挿入した。データロガーなどが収納されている箱もセンサーの埋設部から 1m 以上離して埋設した。こうすることでデータロガーに内蔵されている熱電対温度補正用の基準温度の変動が小さくなり、温度測定の精度が向上する。また、雨量計と太陽電池用パネルをセンサー類の埋設地点から 2m 程度北側の地上部に設置した。現地に設置さ



写真-2 現地に設置された SIMS-CP の概観

Photo. 2 SIMS-CP in the field.

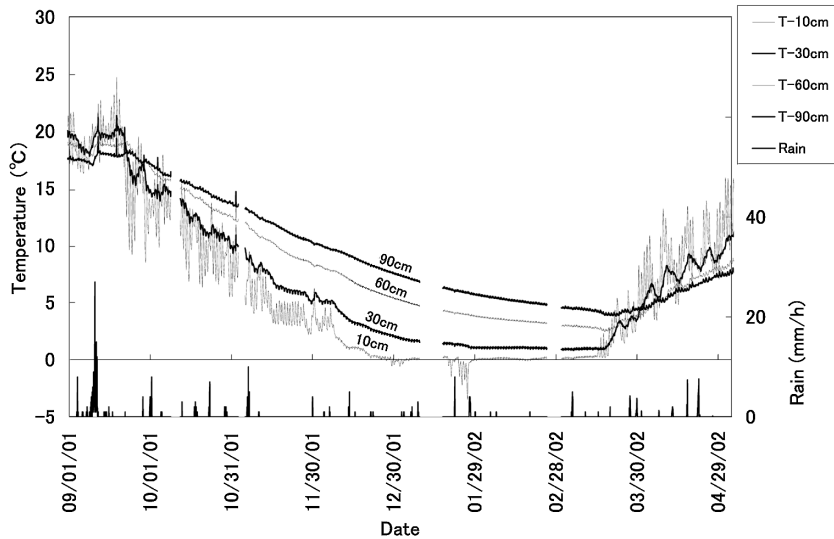


図-1 群馬県 T 村畑地における地温変化 (2001.9.1-2002.4.30)

Fig. 1 Ground temperatures measured by SIMS-CP in a crop field in Gunma Prefecture.



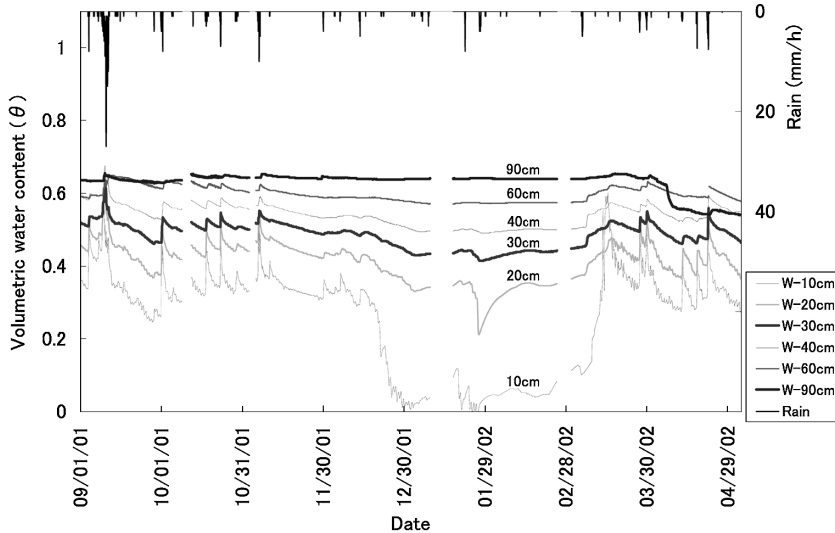


図-2 群馬県 T 村畑地における土壌水分量の変化 (2001.9.1-2002.4.30)

Fig. 2 Soil water contents measured by SIMS-CP in a crop field in Gunma Prefecture.

れたシステムの概観を写真-2 に示す。

### 3.2 地温の変化

図-1 は 2001 年 9 月 1 日から 2002 年 4 月 30 日までの地温変化である。日変動を繰り返しながら、秋から冬にかけて地温が低下してゆく過程や春先に急激に上昇する様子がわかる。表層 (10 cm, 20 cm) の地温は 12 月 7 日までは大きく日変動しているが、それ以降の 3 月 15 日まで変動がなくなった。これは、積雪あるいは土壌凍結のためと考えられる。

### 3.3 土壌水分量の変化

図-2 は体積含水率の変化である。観測期間中、群馬県では台風による大雨があった。本システムは、そうした雨の浸潤やその後の排水過程における畑地土壌水分量の変化を見事にとらえている。

12 月中旬には 10 cm 深さの土壌水分量が急激に低下した。この時期に凍結前線が水分計の埋設されている 10 cm 付近に到達したためである。このような土壌水分量低下は 1 月下旬に 20 cm 深でも観測された。その後、3 月上旬まで 10 cm 深さの土壌水分量は低い値を保ち、冬期間土壌が凍結していたことがわかる。

## 4. フィールド科学における SIMS-CP の有効性

フィールドは、完全にコントロールされた室内実験では得ることのできない貴重な土壌情報の宝庫である。そのようなフィールドに対して、SIMS-CP は室内実験の計測手法をそのままフィールドに持ち込み、フィールド

を仮想的な実験室にするための変換器といえる。

実際、図-1 と図-2 で示した地温と土壌水分量は、まるで隣の実験室のデータをみているような感覚で、研究室から取得できる。実験室との唯一の違いといえば、不測のトラブルがあった場合に即座に対処できない点であろう。

しかし、これまでは現地に行ってみないとわからなかったトラブルを事前に察知できるという点だけでも、本システムはフィールド科学の方法を大きく変える。例えば、単にデータロガーに供給される電源の電圧をモニターするだけでも、電池交換時期の予測に役立つ。また、取得したデータを事前にみておけば、トラブル対策を考え、道具を用意して現地に向かうこともできる。実際、今回の観測期間中に雨量計が稼動していないことに気づき、代替品を持って現地に向かったこともある。こうしたメリットは、交通の便の悪い地域や海外に調査地をもつフィールド科学者には魅力的であろう。

## 5. おわりに

欧米ではここ数年の間に土壌情報のデータベース化が急速に進み、GIS などによる土壌情報の利用法に関する研究が進められている。筆者らも日本の土壌に関して、既存情報のデータベース構築法 (野田ら 2001) やインターネットによる利用法 (Mizoguchi 1999, Mizoguchi *et al.* 2000, 関ら 2001) を研究してきたが、SIMS-CP はこれをさらに一歩進めて、取得したデータをそのまま

データベース化する手法と位置づけられる。

SIMS-CP でリアルタイムにモニタリングされる土壌情報を気象情報や既存の土壌データベースとリンクすることで、様々な応用技術への展開が考えられる。例えば、土壌水分量と降雨量の時間変化を過去の災害情報とリンクさせれば、地すべり予報が可能になる。また、地域別作物データベースとリンクさせれば、地域ごとの最適な営農管理ができるようになると思われる。

今回のシステムでは土壌情報を土壌水分量と地温に限定したが、電気信号に変換できる情報であればいくらでもシステムの拡張が可能である。特に、土壌の汚染や浄化に対する社会的な関心（土壌物理学会，2001）を考えると、土壌中の硝酸や NAPL 類の濃度センサーの開発が期待される。また、PHS や無線 LAN，インターネットの利用を視野に入れて、データと画像を海外からも効率よく転送できるようにすることも今後の課題である。

## 文 献

- Campbell, C.S. (2001 a): Response of ECH2O Soil Moisture Sensor to Temperature Variation, DECAGON Application Note, (<http://decagon.com/echo/>)
- Campbell, C.S. (2001 b): Response of the ECH2O Soil Moisture Probe to Variation in Water Content, Soil Type, and Solution Electrical Conductivity, DECAGON Application Note (<http://decagon.com/echo/>)

com/echo/)

- Mizoguchi, M. (1999): Development of internet tools for calculation and prediction of soil hydraulic properties, Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media, University of California Riverside, 341-347.
- Mizoguchi, M. and Noborio, K. (2000): Cyber Soil Center for Predicting Soil Water and Nutrients Movements in Agricultural Fields, Proceedings of the XIV CIGR World Congress 2000, 1755-1758.
- 関 勝寿・野田恭子・溝口 勝・宮崎 毅 (2001): インターネット対応型土壌データベース，農業土木学会講演要旨集，222-223.
- 野田恭子・関 勝寿・溝口 勝・宮崎 毅 (2001): 日本の土壌に関するデータベース構築の試み，農業土木学会講演要旨集，224-225.
- 土壌物理学会編 (2001): 土壌の汚染と浄化—土壌物理学の貢献—，土壌物理学会シンポジウム講演要旨集。
- 溝口 勝・矢吹裕伯 (2002): 積雪寒冷地における地温変化と土壌の凍結融解過程，農業土木学会誌，70 (4): 321-324.

受稿年月日: 2001年12月3日

受理年月日: 2002年7月29日

### 付録 SIMS-CP の制御プログラム (CR10X)

#### Appendix A program for the control of SIMS-CP on CR10X.

```

: {CR10X}
: *****
: Program for (Gunma) *
: Soil Information Monitoring System using Cellular Phone *
: Programed by MIZO and ISHII *
: Ver. Date Contens *
: 1.0 2001/08/29 *
: *****

*Table 1 Program
01: 600 Execution Interval (seconds)
; Interval = 10Min

: ***** DOCOMO MOVA P-TYPE HYPER ON As Time(Hour)*****
;Maxim Keitai On Time 6 Hour
: ON TIME 12 Hour
: OFF TIME 18 Hour
: C3 = Keitai Power ON/OFF

1: Time (P18)
1: 2 Hours into current year (maximum 8784)
2: 24 Mod/By
3: 22 Loc [ Hour ]

2: If (X<=>F) (P89)
1: 22 X Loc [ Hour ]
2: 3 >=
3: 12 F ; ON_Time_Flag
4: 11 Set Flag 1 High

```

```

3: If (X<=>F) (P89)
1: 22 X Loc [ Hour ]
2: 3 >=
3: 18 F ;OFF_Time_Flag
4: 21 Set Flag 1 Low

4: If (X<=>F) (P89)
1: 21 X Loc [ Battery ]
2: 04 <
3: 11 F
4: 12 Set Flag 2 High

5: If Flag/Port (P91)
1: 12 Do if Flag 2 is High
2: 30 Then Do

6: If (X<=>F) (P89)
1: 21 X Loc [ Battery ]
2: 3 >=
3: 12 F
4: 22 Set Flag 2 Low

7: End (P95)

8: If Flag/Port (P91)
1: 11 Do if Flag 1 is High
2: 43 Set Port 3 High

9: If Flag/Port (P91)
1: 21 Do if Flag 1 is Low
2: 53 Set Port 3 Low

```

```

10: If Flag/Port (P91)
1: 12 Do if Flag 2 is High
2: 53 Set Port 3 Low
;***** Measurement *****
;
11: Batt Voltage (P10)
1: 21 Loc [ Battery ]
12: Internal Temperature (P17)
1: 15 Loc [ Int_Temp ]
13: Pulse (P3)
1: 1 Reps
2: 1 Pulse Channel 1
3: 2 Switch Closure, All Counts
4: 20 Loc [ Rain_mm ]
5: 0.1 Mult
6: 0.0 Offset
;***** ECH20 1-6 Measurement *****
;Ecitation_ch = EX1
14: Excite-Delay (SE) (P4)
1: 2 Reps
2: 5 2500 mV Slow Range
3: 1 SE Channel
4: 1 Excite all reps w/Exchan 1
5: 10 Delay (units 0.01 sec)
6: 2500 mV Excitation
7: 1 Loc [ ECH20_1 ]
8: 1 Mult
9: 0 Offset
;Ecitation_ch = EX2
15: Excite-Delay (SE) (P4)
1: 2 Reps
2: 5 2500 mV Slow Range
3: 3 SE Channel
4: 2 Excite all reps w/Exchan 2
5: 10 Delay (units 0.01 sec)
6: 2500 mV Excitation
7: 3 Loc [ ECH20_3 ]
8: 1 Mult
9: 0 Offset
;Ecitation_ch = EX3
16: Excite-Delay (SE) (P4)
1: 2 Reps
2: 5 2500 mV Slow Range
3: 5 SE Channel
4: 3 Excite all reps w/Exchan 3
5: 10 Delay (units 0.01 sec)
6: 2500 mV Excitation
7: 5 Loc [ ECH20_5 ]
8: 1 Mult
9: 0 Offset
;***** TC 1-6 Measurement *****
;
17: Do (P86)
1: 41 Set Port 1 High
18: Beginning of Loop (P87)
1: 0 Delay
2: 8 Loop Count
19: Do (P86)
1: 72 Pulse Port 2
20: Excitation with Delay (P22)
1: 3 Ex Channel
2: 10 Delay W/Ex (units = 0.01 sec)
3: 0 Delay After Ex (units = 0.01 sec)
4: 0 mV Excitation
21: Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
1: 1 Reps
2: 1 2.5 mV Slow Range
3: 4 DIFF Channel
4: 1 Type T (Copper-Constantan)
5: 15 Ref Temp (Deg. C) Loc [ Int_Temp ]
6: 7 -- Loc [ TC_1 ]
7: 1.0 Mult
8: 0.0 Offset
22: End (P95)
23: Do (P86)
1: 51 Set Port 1 Low
;***** Save Data *****
; Save_Data _10Min
24: If time is (P92)
1: 0000 Minutes (Seconds --) into a
2: 10 Interval (same units as above)
3: 10 Set Output Flag High (Flag 0)
25: Set Active Storage Area (P80)
1: 1 Final Storage Area 1
2: 30 Array ID
26: Real Time (P77)
1: 1220 Year, Day, Hour/Minute (midnight = 2400)
27: Sample (P70)
1: 1 Reps
2: 21 Loc [ Battery ]
28: Totalize (P72)
1: 1 Reps
2: 20 Loc [ Rain_mm ]
29: Sample (P70)
1: 8 Reps
2: 7 Loc [ TC_1 ]
30: Sample (P70)
1: 6 Reps
2: 1 Loc [ ECH20_1 ]
*Table 2 Program
02: 0.0000 Execution Interval (seconds)
*Table 3 Subroutines
End Program

```

# 微生物的観点からみた酸性硫酸塩土壌の研究史

上野 薫\*・足立忠司\*\*・成岡 市\*\*

## Studies on Acid Sulfate Soils from a Biological Perspective

Kaoru UENO\*, Tadashi ADACHI\*\* and Hajime NARIOKA\*\*

\* The Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University,  
3-1-1 Tsushima-naka, Okayama 700-8530, Japan

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

### Abstract

Acid sulfate soils are one of the problem soils worldwide, and are found mainly in the tropical mangrove forests and mangrove swamps of Southeast Asia and Africa. Together, these areas account for about 12 million hectares of acid sulfate soils. But there is a shortage of arable lands in these areas, hence, acid sulfate soils are studied for agricultural purposes. While many studies have already made clear the mechanism of soil acidification, it is still unclear how bacterial actions are influenced by soil physical conditions. Additionally, clarifying the mechanism of changes in iron formation, leading to the development of acid sulfate soils may contribute to the understanding of the phenomenon. Studies on changes in iron formation in paddy soils, for example, could become an interesting research area in soil physics. This research area requires interdisciplinary collaboration and has good possibilities of advancing. Likewise, other bacterial studies in croplands will greatly supplement studies in acid sulfate soils.

In this paper, a number of studies on acid sulfate soils conducted in Japan and other countries are introduced and possible research areas in the future are identified.

**Key words** : acid sulfate soils, acidity, bacteria, soil moisture, soil physics

## 1. はじめに

酸性硫酸塩土壌 (Acid Sulfate Soil ; ASS) は、東南アジアやアフリカの主に浅海沿岸域やクリーク地帯に分布し、その多くは現在あるいは過去におけるマングローブ植生帯である。本土壌の総面積は、1,200 万 ha にもなる世界的な問題土壌である。分布域は、農地として利用可能な土地が不足している地域であることが多いため、酸性硫酸塩土壌の研究は主に農地利用を目的として発展してきた。土壌分類上の基準は、Soil Taxonomy (USDA, 1975) や FAO/UNESCO の世界土壌図 (1971-1981) および WRB (FAO, 1998) などにより設けられている。酸の生成を支配する要素は、地形的要素、気象的要素、土

壌内環境的要素 (土壌構造、塩分濃度、水分状態、微生物状態、pH 等)、人的要素 (耕起、土質改良等)、など多様でかつ複雑に絡み合っている。そのため、酸生成機構に関する研究は鉱物学、地質学、農業工学、微生物工学、などの各分野内で発展し、現場で生じる現象の体系的な把握整理には至っていないように思われる。

低湿地の開発を目的とした排水、あるいは干拓地造成による浅海域の干陸化により生じた強酸性土壌を農地として利用するためには、作物の生育障害の原因や酸生成の機構の解明および、それに基づく土壌改良技術の確立がまず求められ、まもなく基本的な酸生成機構は解明され、土壌改良法および農地化の工法が確立した。酸管理の現行技術は、中和剤の大量投入や大量の水による酸の

\* 岡山大学大学院自然科学研究科 〒700-8530 津島中 3-1-1

\*\* 岡山大学環境理工学部 〒700-8530 津島中 3-1-1

キーワード : 酸性硫酸塩土壌, 酸性化, 細菌, 土壌水分, 土壌物理

洗脱である。前者では中和剤投入のタイミングや量の管理が難しく、現場では過剰な投入が生じがちな上にコストが高い。後者は、大量の良質な水が必要であり、問題が深刻な地域では実用的・持続的な方法とは言えない。また、酸や塩類の系外への排出は、酸自体や重金属、過剰なアルミニウムや鉄イオンによる流域の汚染を引き起こし、湖沼等の水生生物に害を及ぼす場合もある。

現地（とくに熱帯域）における酸性硫酸塩土壌の管理では、広域にわたる潜在的酸性硫酸塩土壌の分布や土壌酸性度の把握方法の確立が求められる。現行法は、簡単な土壌培養試験や土壌 pH ( $H_2O_2$ ) 試験であり調査点の土深が浅く狭い面積の調査であれば工数上の問題はない。しかし、調査が必要な現地のパイライト含有部位の土深は多様であり、50 cm～数 m であることが少なくない上に、深度数 cm の差でも大きく性質が異なる場合も多い。この場合には、現行法は大きな労力を伴うことになる。このため、現地での正確な潜在的酸性硫酸塩土壌の分布状況を把握できず、不適切な開発により土壌を強酸性化させてしまうことも少なくない。これを避けるため、指標植物を用いた土壌酸性度の判定も導入されつつあるが、土地利用状況の把握や土質等の多様さのために土壌酸性度の判定は容易ではない。また、低湿地の排水による二酸化炭素の大气中への大量放出が指摘されており (Hicks *et al.*, 2002)、低湿地の開発における微生物挙動が無視できないことを示唆している。

本論では、酸性硫酸塩土壌における既往の研究成果を海外と日本国内とに分けて整理し、土壌物理分野と土壌微生物分野とが関連する分野の位置付けを行い、その重要性および今後発展すべき方向の提示を試みた。

## 2. 酸性硫酸塩土壌研究の流れ

### 2.1 海外の研究

酸性硫酸塩土壌は 17 世紀以降、内陸干拓地における問題土壌として認識されるようになった。Linnaeus (1735) は、オランダの土壌区分を行い、酸性硫酸塩土壌を“argilla vitriacea”と称している (Dent and Pons, 1995)。Stumm and Morgan (1970) は、微生物の触媒としての働きを実験的に測定し、化学的な作用のみで進行する二価鉄の酸化は 1,000 日のオーダーで、微生物の介在する二価鉄の酸化は 20～1,000 分のオーダーで反応することを明らかにし、現地の物理・化学的な現象における微生物の役割の大きさを示した (久馬ら, 2001)。また、van Breemen and Wielemaker (1974) は、酸性硫酸塩土壌の酸化過程における鉱物の変化に関して、ジャロサイトを含む B 層は多様な鉱物相のために強力な緩衝能が働き、pH 3.6～3.8 の狭い範囲に土壌 pH が収束

することを示した。1986 年には酸性硫酸塩土壌の研究および開発のための現場での調査方法や室内での実験方法がまとめられた (Dent, 1986)。1990 年代にはさらにリーチング試験による金属移動の研究が進み、シミュレーション技術が向上した (Bronszijk and Groenenberg, 1993; van Wlik *et al.*, 1993)。また、Puhrg and Liew (1993) は、酸性硫酸塩土壌の微生物フロアを現地調査し、微生物相は貧弱であること、土壌改良後には、無色硫黄細菌の一種である *Thiobacillus* 属が存在しなくなる等の貴重な生物データを示した。海外での酸性硫酸塩土壌の研究については、Acid Sulfate Weathering (1982), Selected Papers of the Ho Chi Minh City Symposium on Acid Sulphate Soils (1993) にまとめられている。Dent (1992) や Dent and Pons (1995) は、酸性硫酸塩土壌の総説を記し、van Mansvoort and Dent (1998) は、現地での酸性硫酸塩土壌の判別法や土壌培養法などを詳細に示している。また、Minerals in Soil Environment 2nd edition (1989) には、パイライトの酸化に関する鉱物学的な総説が示されている。

### 2.2 日本の研究

平地の少ない日本では、江戸時代より沿岸を干拓し水田として利用してきたが、近年、コメの消費が減り減反政策がとられるようになると干拓地は畑地としてその利用法を変えてきた。2000 年以降には、国営事業である島根県中海干拓地本庄工区の干陸化が中止され、有明諫早湾干拓地造成が一時中止されるなど、現在の国内における干拓地開発は打ち止め傾向にあり、むしろ自然再生の考え方から人工干潟の研究が進んでいる。近年では内陸地における大規模な土地開発が進み、地層深部の旧沖積層や火成性酸性硫酸塩土壌が好気条件に露出して酸が生成され、法面の崩落、農作物や植栽の酸性障害、ガスや水道管およびコンクリートの腐食等が発生し、国内での酸性硫酸塩土壌による主な問題となっている (林, 1994; 横浜, 2000; 前田・根岸, 1999 など)。

国内での酸性硫酸塩土壌は、このような土地利用の変遷に伴い、干拓地土壌、水田土壌、沿岸・湖底堆積土、浚渫土、内陸性酸性硫酸塩土壌などと名称を変えて多くの研究蓄積がなされてきた。1950 年代までの国内の干拓地土壌に関しては、米田 (1958 ab) に詳しい。これによると、1930 年代に湖沼干拓が霞ヶ浦で、干陸後の水稲への障害における原因等が研究され (小林, 1938, 1940, 1951)、1940 年代には有明・諫早湾の干拓地水田の熟化過程が、1950 年代には岡山県児島湾干拓地・笠岡干拓地、島根県中海干拓地において干拓後の水田生成過程や生産力の変移 (川口・松尾, 1956; 米田, 1956 abc; 米田・河内, 1956; 川口・喜田, 1957) および土壌中の鉱

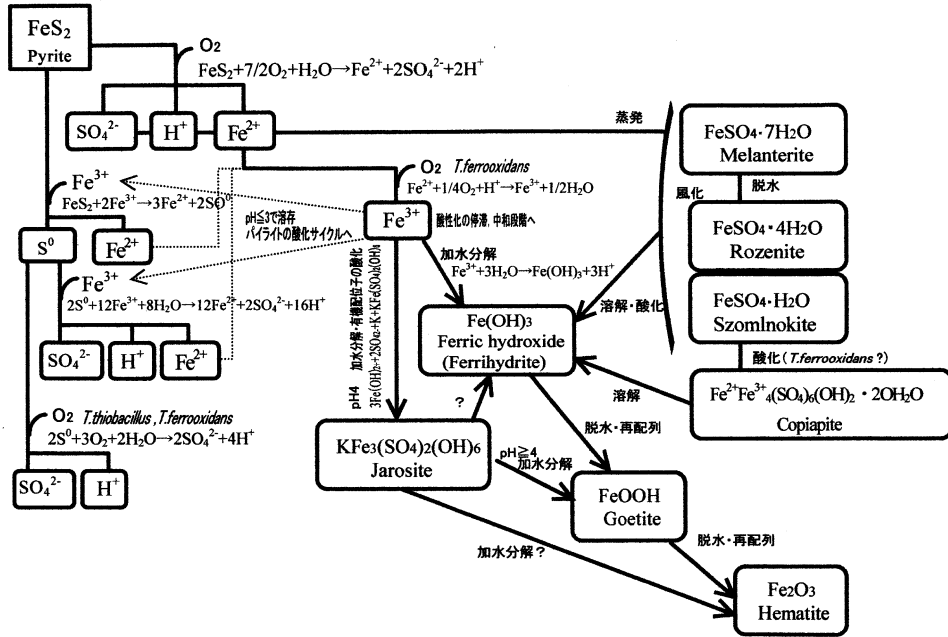


図-1 パイライトの酸化過程  
Fig. 1 Process of pyrite oxidation.

※ Nordstrom (1982) および日本化学会編(1999)より作成

物が研究された (内田・鬼鞍, 1956)。土壌物理部門では、干陸に伴う土壌構造の発達や土壌酸性化の変遷が土層断面により把握され (川口・松尾, 1957), 化学的な土壌改良方法の基礎が出来上がるとともに物理工学的な改良方法の研究が発展した。1960年代にはパイライトの酸化に伴う土壌無機成分の変化が分析された (村上, 1961, 1965, 1967, 1968 ab)。

1960年代には、鉱山廃水の水質問題から微生物工学分野で硫酸化細菌の生化学的な研究が進められ、1970年代までには、鉄酸化細菌や硫酸化細菌の生理代謝がほぼ明らかになった (今井ら, 1964; 今井・奥積, 1965; 奥積・今井, 1965; 今井, 1968; 伊藤, 1968; 寺井・岩崎, 1971; 宇佐美・杉谷, 1971)。

1980年代になると、これまでの農地化過程の研究に室内実験や生物学的な観点が加わり、土壌の乾燥化に伴った塩類の移動や土壌物理性の変化、土壌酸性化の機構をより体系的に把握する試みがなされた (高井, 1980; 足立ら, 1988; 石川ら, 1989; 高井ら, 1989, 下川, 1986)。加村・大源 (1986) は、土壌における鉄酸化細菌の計数法を示した。加村 (1986) は、この頃に問題化していた内陸地の火成性酸性硫酸塩土壌の場合にも土壌酸性化には同様の細菌が大きく関与していることを示し、細菌数と二価鉄・三価鉄濃度の関係や pH との関係を実験

から明らかにした。小川ら (1990) は土壌における鉄酸化細菌および硫酸化細菌の増殖と pH との関係を実験により示した。土壌水分や塩濃度と土壌酸性化の関係は足立ら (1992) により示された。2000年以降は、法面被覆のためのフロンティア植物の選抜 (牧ら, 2001) や被覆工法 (横浜, 2000), 土壌の酸性化とコンシステンシーの関係 (金, 2001) 等が報告されている。

### 3. 土壌の酸性化過程

酸性硫酸塩土壌の酸性化反応に関しては、Nordstrom (1982), Dixon *et al.* (1989), 久馬ら (2001) に詳しい。これらを参考にその反応に鉱物の変化 (日本化学会編, 1999) を含め、図-1 に示した。潜在的酸性硫酸塩土壌に含有する大量のパイライト (FeS<sub>2</sub>) は、還元条件から好氣的条件に置かれると、大気中の酸素による化学的な酸化が開始され、硫酸イオン、水素イオンおよび二価鉄イオンを生じる。この二価鉄イオンは鉄酸化細菌 (*Thiobacillus ferrooxidans*, 後述) により三価鉄イオンに変化する。パイライト酸化の初期段階では三価鉄イオンは存在しにくい、このイオンは土壌中のパイライトや元素状硫黄を化学的に酸化させる酸化剤である。この酸化剤を生成する働きにより、鉄酸化細菌は土壌の初期的酸性化過程において重要な存在となる。鉄酸化細菌が

働き出すことで土壌中の化学的な酸化反応速度が高まり、パイライトから生じた元素状硫黄から、鉄酸化細菌や硫黄酸化細菌 (*Thiobacillus thiooxidans*, 後述) の関与する微生物的酸化および純化学的な酸化により酸性物質が増加し、土壌は急激に酸性化する。パイライトの酸化が終了し、土壌の酸性化が停滞して中和反応が強まると土壌中の三価鉄イオンは加水分解や脱水、風化や溶解を繰り返して、ジャロサイトやゲータイトのような顕在的酸性硫酸塩土壌に特有な鉱物を生成するようになる。

#### 4. 粘土鉱物

米田 (1958b) は日本の干拓地土壌の主な粘土鉱物を以下のようにまとめている。児島湾干拓地土壌や有明海沖積水田土壌、八代湾内、八郎潟の干拓地土壌の主要な粘土鉱物は illite-montmorillonoid 系であり、kaoline 系粘土鉱物や halloysite 等を少量含んでいる。海外では、バンコクの酸性硫酸塩土壌の多くは、シルト以下の土壌の 50% 強が 1:1 型鉱物であり、次いで 2:1 型鉱物が多く、雲母型鉱物は少ない (Attanandana *et al.*, 1981)。テキサスの鉱物掘削地のパイライト含有土壌では、シルト以下の土壌でスメクタイトが 50% 強、カオリナイトは 10% 以下、雲母型鉱物が 25% 以下であり、土層のごく表面ではスメクタイトが減少し、カオリナイトが増加していた (Dixon *et al.*, 1982)。このように、酸性硫酸塩土壌は、その多くが膨潤性、イオン交換性、吸着性の高い 2:1 型粘土鉱物を多く含んでおり、乾燥に伴う物理化学性の大きな変化が容易におこりうる特徴を有している。微小な細菌の棲息環境としては、これらの特徴が大きく影響を与えていることが予測される。

### 5. 土壌の酸性化と微生物

#### 5.1 基本的な生理生態

酸性硫酸塩土壌の酸性化に関わる微生物は主に鉄酸化細菌; *Thiobacillus ferrooxidans* (以降, *T. f*) と硫黄酸化細菌; *Thiobacillus thiooxidans* (以降, *T. t*) である (Stum and Morgan, 1970)。これらはバクテリア・リーチングやバイオセンサーの分野 (例えば, Giaveno and Donati, 2001; Cerruti *et al.*, 1998; Sasaki *et al.*, 1997) で有用な種である一方、コンクリートや鉄配管の腐食 (野中ら, 1994) や鉱山の酸性排水の原因菌でもある。また、近年、鉱山からのヒ素流出を収着により抑える働きのある鉄酸化水酸化硫酸塩鉱物 (schwertmannite) の生成に、鉄酸化細菌が関与しているとも考えられている (中村・赤井, 1999; 小竹ら, 2002)。このように鉄酸化細菌や硫黄酸化細菌は研究需要が高く、微生物工学分野では多くの蓄積がある。以下に、液体培養下におけるこ

れらの細菌の基本的な生理生態を示した。

#### 5.1.1 鉄酸化細菌

鉄酸化細菌という呼称は、鉄を酸化する際に得られるエネルギーを細胞の生育エネルギーとして利用する細菌群の総称である。鉄酸化細菌は酸性・非糸状細菌、中性・糸状細菌に大別できる (小島ら編, 1996, 高橋ら訳, 1997)。酸性硫酸塩土壌の酸性化において対象となる *T. f* は酸性・非糸状の鉄酸化細菌であり、化学合成独立栄養細菌である。鉄酸化細菌については田野・杉尾 (1993) および千田 (1996) に詳しい。*T. f* はグラム陰性の桿菌 ( $0.5 \times 1.0 \mu\text{m}$ ) で、1本の鞭毛を有し運動性がある。酸性条件下 (pH 1.4~5.8) で二価鉄あるいは還元型の無機硫黄化合物を酸化する際に生じるエネルギーを増殖あるいは生命維持のためのエネルギーとして利用する。絶対好気性菌で発酵、脱窒での増殖はできない。生育最適温度は 15~25°C の中温菌である。細胞構成炭素の殆どをベンソン・カルビンサイクルによって空気中の炭酸ガスから合成する絶対独立栄養細菌である。

*T. f* は単独培養よりも *T. t* 等の硫黄酸化細菌との共存培養で鉄酸化能力が高まることが知られている (伊藤, 1968)。バクテリア・リーチングの分野では、*T. f* のパイライト酸化および鉄の溶出との関係では、菌がパイライトに直接付着してこれを酸化する貢献度が高いと考えられていたが、Wakao *et al.* (1984) は、*T. f* のパイライト付着により基質の鉄酸化活性が低下し、遊離状態で鉄酸化活性が回復することから、パイライト酸化および鉄溶出の促進には、菌のパイライトへの付着は必要なく、菌が環境中に溶存する  $\text{Fe}^{2+}$  を利用して  $\text{Fe}^{3+}$  を生成し、この  $\text{Fe}^{3+}$  が化学的なパイライト酸化を促進させるような、菌の触媒的な働きこそが重要であると説明した。

#### 5.1.2 硫黄酸化細菌

硫黄酸化細菌の基礎的な生理生態は、今井ら (1964)、今井・奥積 (1965)、奥積・今井 (1965)、高橋ら訳 (1997)、今井 (1968) に詳しい。これらをまとめて以下に示す。硫黄酸化細菌は硫黄化合物を細菌の増殖、生命維持のためのエネルギー源とする細菌群である。この細菌群には化学独立栄養細菌の無色桿菌 (主に湿潤土壌や水に棲息)、化学合成無色の糸状菌 (主に水生)、光合成を行う緑色細菌や紅色細菌などの偏性嫌気性細菌の 3つに大別される。土壌から分離される硫黄酸化細菌の多くは化学独立栄養の無色桿状硫黄酸化細菌とされており、そのほとんどが絶対好気性である。生育最適 pH は中性と酸性に、栄養的には絶対独立栄養性と通性独立栄養性とに分類できる。鉄酸化細菌の一部はエネルギー源として鉄化合物以外に硫黄化合物も利用できることから、硫

黄酸化細菌に分類されることもある。*T. t*は好気性・好酸性絶対化学合成独立細菌である。生育最適温度は*T. f*同様15~25°Cの中温性細菌であり、生育pHは*T. f*に比べ、やや中性側のpH4以降の酸性条件であるとされている。エネルギー源には硫黄化合物や元素状硫黄を利用する。なお、Bergey's Manual of Systematic Bacteriology 第2版(2001)では分類体系が大幅に変更され、*T. f*および*T. t*は、*Acidithiobacillus ferrooxidans*および*Acidithiobacillus thiooxidans*と改名され新属に移行しているが、本報では、現在一般的に知られている旧名称を用いた。

### 5.1.3 生育阻害物質

これらの細菌の生育に関して、高濃度の硝酸イオンや塩化物イオンは鉄酸化細菌の生育阻害物質であり(Touvien and Kelly, 1972)、*T. f*や*T. t*が自ら排出するピルビン酸やオキサロ酢酸、およびタンニン酸や木酢液などの天然有機酸もこれらの菌の生育を阻害することが知られている(広吉ら, 1992; Sasaki *et al.*, 1999)。

## 5.2 土壌での細菌の生態

近年、土壌微生物の生態の解明は新しい研究手法の導入により飛躍的に進展した。水田土壌では、湛水による微生物の生態変化が把握され(近藤ら, 1982ab)、物質循環における微生物機能が整理されている(木村ら, 1995)。しかし、酸性硫酸塩土壌の酸性化過程では、変化する土壌環境要素が多く微生物代謝等の測定が困難であるために未解明な部分が多い。

高井ら(1989)は、干拓地において鉄酸化細菌の棲息部位よりも深い層で硫黄酸化細菌が棲息していたことから、土壌酸性化の初期には硫黄酸化細菌が主に増殖し、土壌pHが低下した後に鉄酸化細菌の増殖が活性化すると考えた。小川ら(1990)は、このような遷移が室内実験でも生じることを確認すると同時に、次の結果も示している。無菌土壌に鉄酸化細菌のみを接種したところ、pHは低下したが細菌は増加せずに衰退した。しかし、鉄酸化細菌と硫黄酸化細菌を共存させたところpHは低下し両細菌の増加もみられた。この結果は、鉄酸化細菌の増殖により増加した生育阻害物質の菌への影響を硫黄酸化細菌が緩和することを示唆していると考えられる。液体培養では、*T. t*由来の有機物が*T. f*のパイライト酸化を促進しているとの報告もある(Wakao *et al.*, 1982, 1983)。筆者らの室内実験では、鉄酸化細菌は土壌pH6の環境下で十分に増殖し、その結果土壌pHが急激に低下した。また、細菌の増殖は土壌pHではなく土壌水分条件に大きく影響を受けていた(上野ら, 2002a)。これらの事象から、現地土壌における細菌の増殖や遷移の過程は、土壌pHだけでなく土壌構造の差異や水の移動、

他の細菌との競合関係を含めて検討されるべきであろう。

一般に、土壌微生物活性に直接影響を与える環境要素は、土壌水分、栄養源、温度、土壌pHであるが、酸性硫酸塩土壌の酸性化過程に関わる細菌に最も影響を与える要素は、土壌水分である。酸性硫酸塩土壌の乾燥過程における土壌水分状態と微生物生態に関して、足立ら(1992)は、pF 3.0付近で土壌酸性化が促進されることを示し、上野ら(2002ab)は鉄酸化細菌の増殖活性化がこの原因であることを示した。栄養源に関しては、EC 9.8~1.3 mS/cmの範囲では低ECほど土壌の酸性化が激しい事実が報告されている(足立ら, 同上)。これは、浸透圧の問題であるとともに、先に示した関連細菌の生育阻害物質が影響していると考えられる。

温度条件に関して、筆者らの実験では10°Cで微生物的酸化も化学的酸化も緩慢であり、30°C~35°Cで微生物的酸化が活性化し、50°Cでは主に化学的酸化が働いていた。また、土壌酸性化は温度と水分の両条件が微生物に適した条件になると急激に高まり、化学的酸化は水分条件ではなく温度条件に影響を受けた(上野ら, 2002a)。村上(1965)は、酸性硫酸塩土壌の微生物的酸化は、水分、温度、空気が適当であれば著しく速いことを示しており、上記結果を支持している。いずれの結果も土壌水分条件が土壌の酸性化における微生物の活性を大きく左右する重大な要素であることを示唆している。土壌水分の蒸発は土壌中の物質移動の駆動力であるが、蒸発速度は細菌の生育にも影響を与えており、急激かつ連続した蒸発は鉄酸化細菌の増殖を阻害するとの報告もある(上野ら, 同上)。

酸化還元電位(Eh)は土壌微生物や鉄の挙動と密接な関係にあると考えられている(高井, 1958; 長谷部・飯村, 1982; 木村ら, 1984ab)が、酸性硫酸塩土壌の分野では微生物挙動とEhの関係を示した知見はない。これは土壌の乾燥過程におけるEh測定可能領域に制限があるためと考えられる。また、パイライトの粒径に関して加村(1986)は、粒径が小さいほど鉄酸化細菌数が多く存在すると報告している。

以上のように、酸性硫酸塩土壌中の微生物挙動は、温度、pH、EC、土壌水分との関係で研究蓄積があり、土壌水分条件が最も微生物挙動に大きく影響を与える要素であることが判っている。微生物の諸活性と土壌水分の変化から生じる土壌基質の変化(例えば間隙の質や量、粘土粒子表面の構造等の変化)との関係を解明する作業は、今後に残された課題である。これらの把握には、これまで以上に分析するサンプルサイズの選択が重要となるだろう。



### 5.3 土壌細菌の微視的分布の意味

酸性硫酸塩土壌では、鉄酸化細菌等の土壌基質中の棲息部位は把握されていない。しかし、畑土壌では細菌群の増殖と土壌団粒構造および、土壌水分の関係において様々な検討が行われ、団粒単位での細菌の微視的分布も明らかにされている。田中ら (1969) は、土壌細菌の生態と土壌の物理的環境要因との関係を調べる中で、細菌数と水分要因の関係は、土壌構造-土壌水分-細菌数の系、ひいては水分ポテンシャルとの関係で把握することにより合理的な因果関係を導き出せると述べ、さらに、壤質砂土を用いた実験で、pF 2.5 もしくは 2.7 を超えた範囲で細菌数 (全菌数およびグラム陰性細菌) と土壌水分ポテンシャルに相関が認められなくなることを示した。

石沢ら (1958) は、微生物フロアの水分要因の影響は重力水の存在する条件下では細菌が、毛管水しか存在しない水分条件では、かび、放線菌が優性となることを示した。田中ら (1970) は、グラム陰性細菌は、水分要因とともに、粒径サイズにも大きく影響を受け、径が小さいほど菌数が多くなることを示した。坂本 (1995) は、土壌中の微生物バイオマス量と呼吸活性に関する研究の中で、大部分の細菌が土壌粒子に吸着して存在し、土壌中のバイオマスは土壌粒子表面における細菌の増殖により決定されると述べている。山口ら (1995) は、黒ぼく土を供試した洗浄音波法により団粒の外部と内部におけるバイオマスの動態を調べ、土壌全体のバイオマスが急激に減少しない原因は、団粒内部のバイオマスが急増後もすぐには減少しない点にあると説明した。

これらの事実は、細菌が土壌の微小な構造変化により住み分けを行っており、土壌水分状態や好気条件等の通気性に関わる要素が菌の挙動と密接に関係していることを示している。このような視点は酸性硫酸塩土壌における酸生成と関与する細菌の挙動との関係を知るために重要と思われる。

## 6. おわりに

酸性硫酸塩土壌の研究は、干陸化に伴う土壌化学成分の収支に関わる理化学的分野と土地改良に関わる工学的な分野が主流であった。持続的・永続的な土地利用のためには、環境負荷の実態を把握し負荷量を減じる姿勢が必要であり、今日では自然条件下における現象把握の重要性が一層高まっている。これは、酸性硫酸塩土壌においても同様であり、土壌の乾燥化により大きく変化する「土壌の物理性」と、土壌水分に大きく影響を受ける「土壌の微生物性」の関連を把握することは、微生物学と土壌物理の両分野にまたがる学際的、かつ発展余地のある

課題である。また、土壌の酸性化過程で大きく形態が変化する鉄は、鉄酸化細菌においては最も要求性の高い栄養素であり、作物栄養学的には、酸性土壌では鉄の溶解度が高まり作物の過剰障害が問題となる物質である。土壌物理分野では、鉄の形態変化がコンシステンシー限界や間隙の質に大きく関与していることが判っており、このような粘土表面の微細構造に関する現象は、土壌中の細菌の増殖や生育に大きく影響する要素であり、とくに脱水による粘土の微細構造変化の解明により明らかになる部分が多いと思われる。このように、酸性硫酸塩土壌の生成過程における鉄の形態変化やこれに関わる細菌群の微視的挙動の解明は、これまで土壌物理分野で認識されていた現象のより深い理解や新たな解釈をもたらす可能性を含んでおり、今後の発展が期待される。

## 引用文献

- Attanandana, T., Vacharotayan, S. and Kyuma, K. (1981): Chemical Characteristics and Fertility Status of Acid Sulfate Soils of Thailand. pp. 137-156, Proc. of the Bangkok Symp. on Acid Sulfate Soils.
- 足立忠司・石川重雄・江崎 要・天谷孝夫・堤 聰 (1988): 干拓地土層の農地化過程. 農土誌, **56** (12): 45-51.
- 足立忠司・松本康夫・原 徹夫 (1992): 土壌水分から見た干拓地土壌の酸性硫酸塩土壌化過程. 農土論集, **162**: 89-96.
- Bronswijk, J.J.B. and Groenenberg, J.E. (1993): A simulation model for acid sulphate soils I: basic principles. pp. 341-355, In Selected Papers of the Ho Chi Minh City Symposium on Acid Sulphate Soils, ILRI Publ. No. 53, ILRI, Wageningen.
- Cerruti, C., Curutchet, G. and Donati, E. (1998): Bi-dissolution of spent nickel-cadmium batteries using *Thiobacillus ferrooxidans*. Journal of Biotechnology, **62**: 209-219.
- 千田 侑 編 (1996): 微生物資源工学. コロナ社, 東京.
- 金 原台・矢橋晨吾 (2001): 浚渫土の基本的理化学性と乾土効果. 土壌の物理性, **86**: 19-24.
- Dent, D. (1992): Reclamation of Acid Sulphate Soils. Advances in Soil Science, **17**: 79-121.
- Dent, D.L. (1986): Acid Sulphate Soils, a Baseline for Research and Development. ILRI Publ. No 39, ILRI, Wageningen.
- Dent, D.L. and Pons, L.J. (1995): A world perspective

- on acid sulphate soils. *Geoderma*, **67** : 263-276.
- Dixon, J.B., Hossner, L.R., Senkayi, A.L. and Egashira, K. (1982): Mineralogical Properties of Lignite Overburden as they Relate to Mine Spoil Reclamation. pp. 169-191, *Acid Sulfate Weathering*, SSSA Special Publ. No. 10, Soil Science Society of America, Wisconsin.
- Dixon, J.B. *et al.* edit (1989): Minerals in Soil Environment 2nd edition, Carbonate, Halide, Sulfate and Sulfide minerals, pp. 303-309, Soil Science Society of America, Wisconsin.
- FAO (1988): FAO/UNESCO Soil Map of the World, Revised Legend, World Soil Resources Report 60. FAO, Rome.
- FAO (1998): World Reference Base for Soil Resources, World Soil Resources Report 84. FAO, Rome.
- Garrity, M.G. Editor-in-Chief (2001): *Bergey's Manual of Bacteriology Vol. 1* 2nd edition. Springer-verlag, New York.
- Giaveno, A. and Donati, E. (2001): Bioleaching of heazewoodite by *Thiobacillus* spp, *Process Biochemistry*, **36** : 955-962.
- 長谷部亮・飯村康二 (1982): 水分含量の異なる土壌を湛水した場合の酸化層・還元層の分化発達過程. *土肥誌*, **53** (6) : 497-502.
- 林 久人 (1994): ジャロサイトの鉱物科学と酸性硫酸塩土壌. *粘土科学*, **34** (3) : 118-124.
- Hicks, W., Bowman, G. and Fitzpatrick, R. (2002): The geochemistry of Australian tropical acid sulfate soils and their environmental hazard. 17th. WCSS, World Congress of Soil Science 2002 Paper No. 238.
- 広吉直樹・恒川昌美・平島 剛・高森隆勝 (1992): *Thiobacillus ferrooxidans* による黄銅鉱精鉱の微生物学的浸出に及ぼすりん脂質の影響. *資源と素材*, **108** (2) : 129-133.
- 今井和民 (1968): イオウ細菌の生理と応用. *醸酵工学*, **46** (4) : 317-324.
- 今井和民・奥積昌世・片桐英郎 (1964): 硫黄細菌の生化学的研究 (第1報) 硫酸酸化細菌の分離・同定. *醸酵工学*, **42** (12) : 755-761.
- 今井和民・奥積昌世 (1965): 硫黄細菌の生化学的研究 (第4報) 菌の生育とエネルギー効率 (その2). *醸酵工学*, **43** (1) : 1-9.
- 石川重雄・足立忠司・松本 聰・天谷孝夫・長堀金造 (1989): 中海干拓地・安来地区における植生分布と土壌の化学性. *農土誌*, **52** (12) : 5-14.
- 石沢修一・鈴木達彦・甲田知則・佐藤 修 (1958): 土壌の微生物とその作用に関する研究. *農技研報告*, **8** : 1-212.
- 伊藤一郎 (1968): バクテリア・リーチングの研究の現状. *醸工*, **46** (4) : 325-335.
- 加村崇雄 (1986): 火成性パイライト酸化による酸性硫酸塩土壌の生成と鉄・イオウ細菌. *土肥誌*, **57** (3) : 252-256.
- 加村崇雄・大源正明 (1986): 希釈頻度法による鉄細菌の計数. *土肥誌*, **57** (3) : 248-251.
- 川口桂三郎・喜田大三 (1957): 児島湾干拓地水田における耐水性団粒団の発達課程. *土肥誌*, **28** (4) : 29-32.
- 川口桂三郎・松尾嘉郎 (1956): 水田土壌の生成学的研究 (第5報). *土肥誌*, **26** (12) : 5-8.
- 川口桂三郎・松尾嘉郎 (1957): 干拓後の経過年数を異にする児島湾干拓地水田土壌断面中の活性及び不活性酸化物の分布についての再検討水田土壌の生成学的研究 (第7報). *土肥誌*, **28** (5) : 27-32.
- 木村真人・和田秀徳・高井康夫 (1984): 水稲根圏における代謝活性. *土肥誌*, **55** (4) : 338-343.
- 木村真人・和田秀徳・高井康夫 (1984): 水稲根周辺における水酸化鉄, 二酸化マンガン, 硫化鉄沈殿の生成. *土肥誌*, **55** (4) : 332-337.
- 木村真人 (1995): 微生物の生態 20. p. 57, 学会出版センター, 東京.
- 久馬一剛 編 (2001): 熱帯土壌学. p. 206, 名古屋大学出版会, 名古屋.
- 小林 崇 (1938): 茨城県における湖沼の干拓地不良土並にその改良について (第1報). *土肥誌*, **12** : 308-311.
- 小林 崇 (1940): 湖沼の干拓地不良土壌の改良. 茨城農試臨時報告 : 3.
- 小林 崇 (1951): 湖沼の干拓地不良土壌の改良に関する研究. 農林省農地局計画部資源課資料 : 1-59.
- 小島貞男・須藤隆一・千原光雄 編 (1996): 環境微生物図鑑. pp. 1-7, 講談社サイエンティフク, 東京.
- 小竹由紀・福士圭介・佐藤 努・柳瀬信之 (2002): 大分県木浦鉱山廃石場から漏洩するヒ素の挙動. 地球惑星科学関連学会合同大会.
- 近藤 熙・藤沢吉和・高井康雄 (1982a): 水田土壌の作土が心土の微生物層に及ぼす影響. *土肥誌*, **53** (5) : 415-419.
- 近藤 熙・藤沢吉和・高井康雄 (1982b): 水田土壌作土

- 浸透水の心土微生物抑制効果について. 土肥誌, **53** (5) : 420-424.
- Linnaeus, C. (1735) : *Systema natural* 12.vol.111, Gen, 52(5) : 11.
- 前田照信・根岸敦規 (1999) : 下水道施設のコクリートの初期腐食に関する硫黄酸化細菌に対する防菌剤の効果. ハザマ研究年報 : 37-43.
- 牧 孝憲・朝倉嘉子・江澤辰広・和田富吉・吉田重方 (2001) : 酸性硫酸塩土壌におけるバイオニア植物および共生微生物の探索と利用. 土肥学会講演要旨集 第47集 : 194.
- 村上英行 (1961) : 過酸化水素による干拓地土壌中の可酸化性イオウの半定量法. 土肥誌, **32** (6) : 276-279.
- 村上英行 (1965) : 酸性硫酸塩土壌の特性と改良法に関する研究. 京都大学学位論文.
- 村上英行 (1967) : 可酸化性イオウの形態. 土肥誌, **38** (4) : 117-120.
- 村上英行 (1968 a) : 可酸化性イオウの酸化についての二三の問題. 土肥誌, **39** (2) : 116-120.
- 村上英行 (1968 b) : 可酸化性イオウの酸化に伴う土壌無機成分の変化. 土肥誌, **39** (4) : 194-198.
- 日本化学会編 (1999) : 土の化学. p. 70, 学会出版センター, 東京.
- Nordstrom, D.K. (1982) : Aqueous Pyrite Oxidation and the Consequent Formation of Secondary Iron Minerals. pp. 37-56, Acid Sulfate Weathering, SSSA Special Publ. No. 10, Soil Science Society of America, Wisconsin.
- 中村岳夫・赤井純治 (1999) : 微生物の活動下で生成した薄膜状 schwertmannite 及び類似鉱物 : 北海道錦沼及び群馬鉄山産試料について. 地球惑星科学関連学会合同大会論文.
- 野中資博・杉田秀雄・但田廣次・森 忠洋 (1994b) : 汚水処理施設におけるコンクリート微生物腐食対策に関する考察. 農業土木学会論文集, **174** : 23-31.
- 小川直人・犬伏和之・松本 聡・和田秀徳・高井康雄 (1990) : 干拓地土壌の酸性化とそれに関する鉄・イオウ酸化細菌の動態. 土肥誌, **61** (1) : 42-47.
- 奥積昌世・今井和民 (1965) : 硫黄細菌の生化学的研究 (第5報) T. thiooxidans の生理学的検討. 醸酵工学, **43** (1) : 10-17.
- Phung, N.T. and Lieu, P. (1993) : Microbiological characteristics of acid sulphate soils : A case study in Ho Chi Minh City environs. pp. 237-240, In Selected Papers of the Ho Chi Minh City Symposium on Acid Sulphate Soils, ILRI Publ. No. 53, ILRI, Wageningen.
- 坂本一憲 (1995) : 土壌中の微生物バイオマス量およびその呼吸活性に影響する諸因子の解析. 土肥誌, **66** (3) : 213-214.
- Sasaki, K., Tsunekawa, M., Tanaka, S., Fukushima, M. and Kanno, H. (1999) : Inhibiting Effect of Natural Organic Acids on Microbially Mediated Dissolution of Pyrite in Acidic Environments. Shigen-to-Sozai, **115** (4) : 233-239.
- Sasaki, S., Yokohama, K., Tamiya, E. Karube, J., Hayashi, T., Arikawa, Y. and Numata, M. (1997) : Sulfate sensor using Thiobacillus ferrooxidans. Anal. Chim. Acta., **347** : 275-280.
- 下川博通 (1986) : 筑後川下流域クレーク地帯における水田の圃場整備と酸性硫酸塩土壌. 土肥誌, **57** (2) : 188-190.
- Stumm, W. and Morgan, J.J. (1970) : *Aquatic Chemistry*. N. Y., John Wiley.
- 高橋 甫・斎藤日向・手塚泰彦・水島昭二・山口英世 共訳 (1997) : 微生物学 (下). pp. 67-74., 培風館, 東京.
- 高井康雄 (1958) : 水田土壌における鉄化合物の行動について (第2報). 土肥誌, **29** (5) : 30-34.
- 高井康雄 (1980) : 水田土壌の動態に関する微生物学的研究 I. 肥料科学, **3** : 17-55.
- 高井康雄・小川直人・竹内えりか・犬伏和之・加藤茂・松本 聡・和田秀徳 (1989) : 中海干拓地での溶脱・酸化過程と鉄・硫黄酸化細菌数の経年変化. 土肥誌, **60** (2) : 151-156.
- 田中 博・坂本正幸 (1969) : 土壌細菌の生態と土壌の物理的環境要因. 東北大農研報, **20** : 277-292.
- 田中 博・坂本正幸 (1970) : 土壌伝染性細菌の生態と土壌の物理的環境要因 (2). 東北大農研報, **21** : 177-186.
- 田野達男・杉尾 剛 (1993) : Thiobacillus ferrooxidans と T. thiooxidans の分離, 培養および同定. 資源と素材, **109** : 553-557.
- 寺井悌三・岩崎達也 (1971) : 鉄酸化細菌による鉱山排水処理に関する研究. 醸工, **49** (1) : 53-60.
- Touvinen, O.H. and Kelly, D.P. (1972) : Zeitschrift für Allg. Mikrobiologie, **12** : 311-346.
- 上野 薫・足立忠司・成岡 市 (2002 a) : 児島湖底堆積土の酸性化過程における温度・水分条件の影響. 土壌の物理性, **91** : 15-23.
- 上野 薫・足立忠司・成岡 市 (2002 b) : 酸性硫酸塩土壌の乾燥過程が微生物活性および鉄の形態に与える

- 影響. 土壌の物理性, **91** : 49-57.
- 宇佐美昭次・杉谷 透 (1971) : 鉄酸化細菌の生育, 鉄酸化能などに及ぼす有機源の影響. 醸酵工学, **49** (7) : 587-591.
- 内田修男・鬼鞍 豊 (1956) : 水田土壌に於ける粘土の生成に関する研究 (第3報). 酸性水田土壌の粘土鉱物に就いて. 土肥誌, **26** (11) : 37-42.
- USDA, Soil Conservation Service, Soil Survey Staff (1975) : Soil Taxomy, A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys, Agric Handb. 436, Washington, D.C.
- van Breemen, N. and Wielemaker, W.G. (1974) : Buffer Intensities and Equilibrium pH of Minerals and Soils II. Theoretical and Actual pH of Minerals and Soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., **38** : 61-66.
- van Mansvoort, M.E.F. and Dent, D.L (1998) : Methods of Soil Degradation. pp. 301-335, Advances in Soil Science, CRC Press, LLC.
- van Wijk, A.L.M., Widjaja-Adhi, I Putu Gedjer, Ritsema, C.J. and Konsten, C.J.M. (1993) : A simulation model for acid sulphate soils II : validation and application. pp. 357-368, In Selected Papers of the Ho Chi Minh City Symposium on Acid Sulphate Soils, ILRI Publ. No. 53, ILRI, Wageningen.
- Wakao, N., Mishina M., Sakurai, Y. and Shiota, H. (1982) : Bacterial Pyrite Oxidation I. J. Gen. Appl. Microbiol., **28** : 331-343.
- Wakao, N., Mishina M., Sakurai, Y. and Shiota, H. (1983) : Bacterial Pyrite Oxidation II. J. Gen. Appl. Microbiol., **29** : 177-185.
- Wakao, N., Mishina, M., Sakurai, Y. and Shiota, H. (1984) : Bacterial Pyrite Oxidation III. J. Gen. Appl. Microbiol., **30** : 63-77.
- 山口知幸・浜田龍之介・坂上寛一・田中治夫 (1995) : 団粒外部および内部における基質添加後の土壌微生物バイオマスの動態. 土肥誌, **66** (2) : 140-145.
- 横浜充宏 (2000) : 酸性硫酸塩土壌の露出した切土法面の緑化工法. 圃場と土壌, **32** : 17-23.
- 米田茂男 (1956 a) : 干拓地土壌に関する研究 (第11報). 土肥誌, **27** (10) : 15-18
- 米田茂男 (1956 b) : 干拓地土壌の物理的性質とその改良法に関する研究 (第3報). 土肥誌, **26** (12) : 1-4.
- 米田茂男 (1956 c) : 干拓地土壌の物理的性質とその改良法に関する研究 (第4報). 土肥誌, **27** (3) : 29-33.
- 米田茂男・河内知道 (1956) : 干拓地土壌の物理的性質とその改良法に関する研究 (第5報). 土肥誌, **27** (9) : 11-14.
- 米田茂男 (1958 a) : 干拓地土壌, 肥料に関する総説 (I). 土肥誌, **28** (10) : 34-38.
- 米田茂男 (1958 b) : 干拓地土壌, 肥料に関する総説 (II). 土肥誌, **28** (11) : 27-31.

受稿年月日 : 2002年11月13日

受理年月日 : 2003年1月20日

## 「土壌の物理性」検索システム

溝 口 勝\*

Search Engine for “Journal of the Japanese Society of Soil Physics”

Masaru MIZOGUCHI\*

\* Department of Biological and Environmental Engineering, The University of Tokyo,  
 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, Japan

### 1. はじめに

土壌物理学学会の学会誌「土壌の物理性」は1959年に創刊された。創刊当初の古い文献の中には、今では当たり前に使われている測定法の原理を記述した原著もあるが、それらは各所に散在し、図書館で探すのも難しくなっている。そこで、土壌物理学学会事務局を引き受けたのを機会に、「土壌の物理性」の掲載された論文を創刊号から最新号まで電子化し、インターネット上から一括して検索できるようにした。本論では、そのシステムの構成と利用法について紹介する。

### 2. システムの構成

本システムではクライアント・サーバ方式を採用している。利用者はWebサーバにアクセスして、指定された手順に従って操作するだけで検索結果を得ることができる。検索用プログラムと文献データベースはCGIサーバで一括管理されている。古い文献には手書きのものも含まれているので、スキャナーで300 dpi画像として読み取りPDF化し、各論文ごとにファイル名をつけた。これらの電子化作業は、冊子を丸ごと切断し、オートシートフィーダー付きのスキャナーにかけることで行った。

### 3. 利用方法

検索システムは以下の手順で利用できる。

- (1) インターネットを利用して土壌物理学学会のホームページにアクセスする。  
<http://wwwsoc.nii.ac.jp/jssp3/>
- (2) 「土壌の物理性」論文リストをクリックする。
- (3) 論文リストが現れたら、どれかの論文を選んでクリックする。

(4) ユーザ名とパスワードを聞いてくるので、ここに学会誌とともに土壌物理学学会員に送付される予定のユーザ名とパスワードを入力する。(Fig. 1)

(5) PDF化された論文が表示される。ただし、論文を正しく表示するためには各自のコンピュータにPDF表示ソフトをインストールしておく必要がある。

(6) 論文リストページの上にある「検索用ツール」をクリックすると、巻別またはキーワードごとに検索ができる。

(7) 巻別検索を選択した場合、ユーザ情報を入力窓に記入後、調べたい号を一つ選んで、「検索開始」をクリックする。

(8) キーワード検索を選択した場合、ユーザ情報を入力窓に記入後、検索したいワードを入力し、「検索開始」をクリックする。検索ワードは3つまで指定可能で、名



Fig. 1 土壌物理学学会のホームページ

<http://wwwsoc.nii.ac.jp/jssp3/> にアクセスして、「土壌の物理性」論文リストをクリックし、ユーザ名とパスワードを入力。

前・専門用語・所属など語句の一部だけを入力すればよい。(Fig. 2)

The screenshot shows a web browser window with the URL <http://soiltena.aur.tokyo.ac.jp/jssp/Ab/search.html>. The page content includes:

「土壌の物理性」論文検索ページ

土壌物理学会誌「土壌の物理性」に掲載された論文を検索することができます  
創刊号(1959)～

著者名・論文タイトルなどの一部の検索文字を入力後、[検索開始]ボタンを押して下さい。  
複数の条件を入力するときは「-」を再して下さい。

ユーザ情報の入力  
氏名:  必ず記入  
所属:  必ず記入  
メールアドレス:  必ず記入  
 会員  非会員

検索文字の入力  
1:   
2:   
3:

Produced by mizo(2001.9.27)

Fig. 2 キーワード検索のページ  
ユーザ情報を記入後、検索ワードを入力し、「検索開始」をクリックする。

#### 4. 本システム公開の意義と問題点

「土壌の物理性」の著作権は土壌物理学会に帰属する。したがって、学会として本システムを認知しさえすれば著作権問題には抵触しないと思われる。こうした点を考慮しながら 2001 年度総会では、1 年前までに発行されたものに限定して検索システムを試験的に公開することが承認された。この決定により、土壌物理の存在が広く他分野の人々にも知ってもらえる機会が増したことになる。もちろん、正会員にとっては検索システムによりこれまで以上に論文が読めるようになったのに加えて、最新の論文を従来通りの冊子体で読めるというメリットがある。新規データの登録やシステムのメンテナンスなどいくつかの問題は残されているが、89 号以降の号については、PDF ファイルを印刷所から納入してもらうようにした。

本システムにより、「土壌の物理性」に掲載された論文の被引用率が高まり、投稿数が増え、土壌物理学会がますます発展することを期待したい。

受稿年月日：2002 年 9 月 13 日

受理年月日：2002 年 12 月 9 日

## ファイトテク みる・きく・はかる

## —植物環境計測—

ファイトテクノロジー研究会編

2002年 養賢堂 2,500円

B5版 ISBN4-8425-0335-1 C3061

本書はファイトテクノロジー研究会が、初心者でも植物関係の実験に失敗しないためのHow To本として出版したものである。特に植物とその環境を測定するための具体的な方法およびどのような測定機器を用いればよいのかを丁寧に記述しており、また著者らの失敗談をもとにした失敗しないためのノウハウも記載されており、非常にわかりやすい本になっている。

本書は6章から構成されており、第1章「本書の目的、構成、使い方」、第2章「ファイトテクノロジーの考え方」、第3章「計測の実際」、第4章「センサ・計測器」、第5章「計測の基本」、第6章「SI単位系」という内容である。

第3章の「測定の実際」では、植物の編、地上部編、地下部編、土壌編、環境編と測定対象別に分類してまとめられており、基本的に見開きの2ページでひとつの項目が完結している。とにかく測定を始めたいという人には何をどうすればよいのかがすぐわかるようになっている。また、関連する項目についてはリンク先の見出しがあり、すぐに引けるように工夫されている。さらに測定

についてのより詳細な情報がほしい人には、参考文献、引用文献のリストが章末に掲載されている。

第4章の「センサ・計測器」は、さまざまなセンサや計測器の原理やしきみ、および専門用語がわかりやすく解説されており、正しい測定のための基礎知識として大いに役立ちそうである。

第5章の「計測の基本」では、供試植物の準備方法、実験計画のやり方、誤差や有効数字の取り扱いなど測定の前後で必要な項目が解説されている。冒頭にも述べたが、この本は植物やその環境に関して、とにかくきちんと測定を行いたいという人のために書かれている本なので、高校生、大学生、大学院生にとっては実験How To本として非常に重宝することは間違いない。さらに大学や公立および民間の研究機関の研究者にとっても自分の専門外あるいは今まで実験を行なったことがないような分野で実験する際にはとても役に立つ良書であろう。

(溝口 勝 東京大学大学院農学生命科学研究科)

I. 2002 年度第 2 回事務局会議

日時: 11 月 13 日 (水曜日) 18:00-20:00

場所: 東大農学部 7 号館 512 号室

出席者: 宮崎・岡崎・粕淵・溝口・井本

議題: 第 2 回評議員会・総会に向けての準備状況/  
シンポジウム等の申し込み状況/評議員選挙  
結果/学会賞設立のための規程案作成/92 号  
の編集進捗状況/その他

II. 2002 年度第 2 回評議員会

日時: 2001 年 11 月 23 日 (土) 11:25-12:20

場所: 東京大学農学部弥生講堂会議室

出席者: 会長: 宮崎, 副会長: 岡崎, 評議員: 粕淵・古  
賀・藤井・加藤・谷山・河野・成岡・筑紫・  
山口・長・溝口 (庶務幹事兼務)・他委任状  
3, 事務局: 井本 (会計幹事)

議題:

1. 平成 13 年度会務報告 (土壌の物理性第 90/91 号  
に掲載分)

会員入退会者および現在会員数等 (報告: 土壌の  
物理性第 91 号に掲載)

2. 平成 13 年度事業報告 (承認)

期間: 2001 年度 (2001 年 4 月 1 日~2002 年 3 月  
31 日)

会長: 宮崎 毅 (東京大学大学院農学生命科学研究科)

事務局: 東京大学大学院農学生命科学研究科・環境  
地水学研究室

1) 学会誌「土壌の物理性」の 3 回発行。88 号  
(10), 89 号 (1), 90 号 (3)

2) 第 1 回評議員会の開催 (2001 年 7 月 27 日/ホ  
テルメトロポリタン盛岡ニューウイング)

3) 第 2 回評議員会の開催 (2001 年 11 月 20 日/  
東京大学農学部弥生講堂会議室)

4) 総会の開催 (2001 年 11 月 20 日/東京大学農  
学部弥生講堂)

5) 第 43 回シンポジウムの開催 (2001 年 11 月 20 日/  
東京大学農学部弥生講堂)

・テーマ: 土壌の汚染と浄化における土壌物理  
学の貢献, 参加者約 150 名

・ポスターセッション: 土壌物理研究の最前線,  
発表件数 16

・企業展示, 8 社

6) 業務委託 (財団法人日本学会事務センター)

① 会員業務

会員管理業務/学会費徴収および学会誌年  
3 回発送業務/新入会登録業務/住所変更等  
業務/特別請求業務 (賛助会員, 海外会員宛  
請求書作成と入金処理等)/団体会員宛請  
求書作成と入金処理等業務/追加発送業務

② その他の業務

バックナンバー保管業務/講読・バックナ  
ンバー販売業務/複写 (コピー) 業務

7) 40 周年記念事業 (新編土壌物理用語事典出  
版) の継続推進

・2002 年 9 月出版

8) 学会賞設立準備委員会の発足

・委員長: 藤井克己 (岩手大)

9) 学会誌「土壌の物理性」の電子化

4. 平成 13 年度決算報告 (承認)

会計監査報告を含む

2002 年 4 月 1 日

土壌物理学会

会長 宮崎 毅 殿

土壌物理学会

会計監査

加藤 誠 (印)  
金子 文彦 (印)

会計監査報告書

2001 年度, 土壌物理学会会計の収入支出決算書ならび  
に関係帳簿類について, 2001 年 4 月 1 日に厳正に監査を  
行った結果, それらの執行は適正であり, 提出のとおり  
相違ないことを確認した。

5. 平成 14 年度事業計画 (承認)

期間: 2002 年度 (2002 年 4 月 1 日~2003 年 3 月 31  
日)

会長: 宮崎 毅 (東京大学大学院農学生命科学研究科)

事務局: 東京大学大学院農学生命科学研究科 生物・  
環境工学専攻

1) 学会誌「土壌の物理性」の発行 (91 号, 92 号,  
93 号)

2) 拡大評議員会の開催 (2002 年 4 月 2 日/名城  
大学理工学部)

3) 第 19 期学術会議へ学会登録 (2002 年 5 月 24  
日)



旧	新
第3条 (4) その他、本学会の目的を達成するために必要な事項  第6条 (2) 評議員 イ 15名 正会員の中から <u>互選する</u> 。  第9条	第3条 (4) <u>優れた論文に対する表彰</u> (5) その他、本学会の目的を達成するために必要な事項  第6条 (2) 評議員 イ 15名 正会員の中から <u>選挙によって選出される</u> 。  第9条 (3) <u>学会賞選考委員会</u> <u>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、学会賞を選考する。</u>
<u>2001. 11. 20 改正</u>	<u>2002. 11. 23 改正</u>

- 4) 第1回評議員会の開催 (2002年8月7日/津リージョンプラザ)
- 5) 第2回評議員会の開催 (2002年11月23日/東京大学農学部弥生講堂)
- 6) 総会の開催 (2002年11月23日/東京大学農学部弥生講堂)
- 7) 第44回シンポジウムの開催 (2002年11月23日/東京大学農学部弥生講堂)
  - ・テーマ: 土壌生態系とガス環境
  - ・ポスターセッション: 土壌物理研究の最前線, 発表件数 17 件
  - レフリー制の試行
  - ・企業展示
- 8) 会員名簿の発行
- 9) 評議員選挙
- 10) 40周年記念事業 (新編土壌物理用語事典出版) の完了
  - ・2002年9月出版
  - ・出版記念祝賀会の開催 (2002年11月23日/東京大学農学部生協)
- 11) 学会賞の設立
- 12) 公式ホームページの立ち上げ
  - ・国立情報学研究所・学協会情報発信サービス  
<http://www.soc.nii.ac.jp/jssp3/index.html>
- 13) 規約改正および内規改正
6. 平成14年度予算 (承認)  
(別紙参照)
7. 評議員選挙の開票結果

- ・別紙のような開票結果が報告された
  - ・2003・2004年度の土壌物理学会会長を赤江剛夫氏(岡山大学)にお願いすることが認められ、それに伴い中四国の評議員を次点者の吉川省子氏にすることが認められた。
8. 学会編集委員会報告
  9. 学会賞の設立について
    - ・別紙のような案が承認された
  10. 会則の改正について
    - ・学会賞の設立に合わせて下記のような改正が承認された

### III. 2002年度総会

日 時: 2002年11月23日(土) 12:20-13:00

場 所: 東京大学農学部弥生講堂一条ホール

出席者: 約40名

議 題: 評議員会の内容と同じ

1. 議長選出 井上光弘(鳥取大学)
2. 会務報告 (承認)
  - ・会員入退会者および現在会員数等について
3. 平成13年度事業報告 (承認)
4. 平成13年度決算報告 (承認)
  - ・会計監査報告 (承認)
5. 平成14年度事業計画(案) (承認)
6. 平成14年度予算(案) (承認)
7. 評議員選挙の開票結果報告 (承認)
8. 学会編集委員会報告 (承認)
9. 学会賞設立について (承認)

10. 会則の改正について (承認)

#### IV. 第44回土壌物理学会シンポジウム

日時: 2002年11月23日(土)

場所: 東京大学農学部弥生講堂

参加者: 約130名

詳細情報: <http://soil.en.a.u-tokyo.ac.jp/~seminar/list/sp021123/>

1. テーマ 「土壌生態系とガス環境—土壌物理学の新展開—」

座長: 加藤英孝(農業環境技術研究所)・取出伸夫(佐賀大学)

(O-1) 土壌生態系からのガス発生と大気環境, 八木一行(農業環境技術研究所)

(O-2) 土壌からの温室効果ガス発生・吸収に関する研究動向—畑地および森林の炭素循環と $N_2O$ ・ $CH_4$ フラックスを中心に, 澤本卓治(農業環境技術研究所)

(O-3) Physical behavior of gases in porous media and some recent insights on density driven flow, Dennis E. Rolston (Land, Air, and Water Resources, University of California, Davis)

(O-4) Gas Diffusivity and Air Permeability in Volcanic Ash Soils: Pore-Size-Distribution-Based Prediction Models, Per Moldrup (Aalborg University, Denmark)

(O-5) 耕盤を有する農地土壌中の $CO_2$ と $O_2$ の挙動, 藤川智紀(鳥取大学乾燥地研究センター)

総合討論

2. ポスターセッション「土壌物理研究の最前線 Trend in Soil Physics」

(P-01) 小麦畑の施肥量変化に伴う亜酸化窒素( $N_2O$ )ガス発生量の変動, 登尾浩助(岩手大学) R.G. Kachanoski (アルバータ大学) S. Woods・R.C. McKenzie (アルバータ州)

(P-02) 樹木近傍域における土壌 $CO_2$ 濃度の分布—多深度型土壌空気採取管による測定—, 濱田洋平(筑波大学地球科学系)

(P-03) 水田湛水面上における炭酸ガスの動態, 臼井靖浩(岩手大学大学院連合農学研究科)・粕淵辰昭(岩手大学大学院連合農学研究科)

(P-04) X線光電子分光法による撥水性土壌の表面化学組成分析, 小林政広(独立行政法人

森林総合研究所九州支所)・松井宏昭(独立行政法人森林総合研究所)

(P-05) PITT解析におけるテーリング推定について, 西脇淳子・宮崎 毅・溝口 勝(東京大学 大学院農学生命科学研究科)

(P-06) カオリナイト懸濁液の凍結乾燥過程における粒子構造, 石川奈緒(岩手大学大学院連合農学研究科)・藤井克己(岩手大学農学部)

(P-07) 土壌中の吸着, 排除をともなうイオンの移動速度, 家田浩之・塩沢 昌(東京大学大学院農学生命科学研究科)

(P-08) 非定常透気試験における水分分布の影響について, 上野雅大(東京農工大学大学院農学研究科)・加藤 誠・西村 拓・東城清秀(東京農工大学農学部)

(P-09) 植林された耕作放棄圃田の土壌物理性の変化, 篠宮佳樹・鳥居厚志・稲垣善之・山田 毅(独立行政法人森林総合研究所四国支所)

(P-10) “アレー栽培方式”: フィリピンの傾斜地農業で重要視されているアグロフォレストリは日本の土壌・水保全に応用できるか?, シンプリシオ M. メディナ (FSSRI, University of the Philippines Los Banos)・成岡市(岡山大学環境理工学部)・駒村正治(東京農業大学地域環境科学部)

(P-11) Film stageの多孔質体内における間隙水の不連続な運動について, 粟生田忠雄(新潟大学農学部)

(P-12) 地下水位変動に伴う湿原の収縮・膨張, 飯山一平・長谷川周一(北海道大学大学院農学研究科)

(P-13) 封入不飽和土の透水係数の測定, 坂口敦・西村 拓・加藤 誠(東京農工大学)

(P-14) 団粒土における粗間隙径分布の推定に関する研究, 川本 健・川村 健・渡邊一維(埼玉大学工学部)

(P-15) In-field Measurement of Denitrification Loss from Rainfed Lowland Rice in Thailand, Deb Sanjit Kumar(東京大学大学院農学生命科学研究科)・Toshiaki Iida(山形大学)

(P-16) 関東ロームの保水特性・透水特性を利用した雨水浸透処理, 宮崎 毅・溝口 勝(東京大学大学院農学生命科学研究科)・関

区分域	当選者	当選者氏名
北海道	3	長谷川周一, 石渡輝夫, 波多野隆介
東北	2	藤井克巳(再), 安中武幸
関東	4	溝口 勝(再), 加藤英孝(再), 谷山一郎(再), 宮崎 毅
中部	1	足立一日出(再)
近畿	1	荻野芳彦
中・四国	3	赤江剛夫, 石黒宗秀, 井上久義
九州	1	筑紫二郎(再)
	15	注:(再)は二期連続, 近畿ブロックは, ブロック内最大得票者から選出

勝寿・井本博美(東京大学大学院農学生命科学研究科)・下山朋幸・中谷耕太郎((株)エンライト・コーポレーション)

(P-17) 土壌の熱伝導率の測定法の比較, 望月秀俊・坂口 巖・井上光弘(鳥取大学乾燥地研究センター)

## V. 評議員(2003・2004年度)選挙の開票結果

報告者: 選挙管理委員長 松川 進(宇都宮大学)・委員 西村 拓(東京農工大学)

立会人: 井本博美(東京大学)

開票日: 2002年10月23日

総投票数: 636票 有効投票数: 599票

評議員会承認: 2002年11月23日

## VI. 学会賞の設立に関連する規程

### 土壌物理学会学会賞規程

- 種類 学会賞に論文賞をおく。
- 募集 学会賞の募集は年1回行い, 学会誌「土壌の物理性」に公示する。
- 推薦
  - 学会賞は正会員1名以上により推薦されたものを候補とする。
  - 推薦は所定の書類を必要部数揃え, 学会事務局に提出する。
- 選考 学会賞の審査並びに選考は, 選考委員会において行なう。
- 表彰 通常総会において表彰を行なう。
- その他
  - 論文賞の推薦がない場合も, 選考委員会が適

格論文の中から選考することができる。

- 論文賞に該当する論文は, 「土壌の物理性」に, 原則として受賞の前年4月1日から受賞年の3月31日までに掲載された原著「論文」を対象とする。

(2002.11.23 制定)

### 土壌物理学会学会賞選考委員会規程

- 目的 学会賞選考委員会(以下委員会という)は, 論文賞の選考を行なうことを目的とする。
- 業務 委員会は次の業務を行なう。
  - 学会賞運営内規に基づく論文賞の選考。
  - 土壌物理学会学会賞選考に関するその他の事項。
- 構成 委員会は委員長1名および委員5名程度を持って構成する。
  - 委員会は正会員より構成される。
  - 委員は評議員会の推薦に基づき総会で決定する。
  - 任期は2年とする。ただし, 再任はさまたげない。
  - 委員長は委員の互選により選出する。
- 開催 委員会は年3回程度開催する。

(2002.11.23 制定)

## VII. 2001 年度会計収支決算

## (1) 2001 年度会計収入・支出決算と会計報告

自 2001.4. 1  
至 2002.3.31

収入の部				
項目	予算額	決算額	増減	備考
繰越金	3,573,386	3,573,386	0	
正会員会費	3,624,600	4,215,500	590,900	
学生会員会費	119,700	87,000	▲ 32,700	
購読会費	553,700	396,000	▲ 157,700	
賛助会費	409,500	517,500	108,000	
出版物売上	100,000	1,500	▲ 98,500	バックナンバー売り上げ
外国会員会費	0	10,450	10,450	
雑収入	100,000	1,024,681	924,681	113000 シンポ参加費, 90000 展示代, 117000 情報交換会費+別刷り+利息
合計	8,480,886	9,826,017	1,345,131	

▲: 収入減

支出の部				
項目	予算額	決算額	増減	備考
会誌製作費	3,600,000	1,148,099	2,451,901	会誌 87, 88 号発行料等
総会費	350,000	765,184	▲ 415,184	総会, シンポジウム開催費, 評議員会等
通信費	300,000	68,670	231,330	原稿, 請求書送付料等
文具費	150,000	25,181	124,819	封筒代等
賃金	200,000	129,000	71,000	業務, シンポジウム手伝料等
交通費	200,000	6,470	193,530	交通費等
会議費	100,000	17,110	82,890	事務局会議費
幹事手当	60,000	30,000	30,000	幹事 3 人分
編集委員会費	200,000	0	200,000	会誌査読料等
40 周年記念事業費	555,790	181,316	374,474	土壤物理用語事典出版関係費 (予算に初期入金, 利息含む)
選管委員会費	0	0	0	2001 年度評議員選挙なし
業務委託費	900,000	815,207	84,793	会員管理事務委託費等
学会運営積立金	1,000,000	0	1,000,000	学会賞設立及び学会運営業務 委託化等のため
予備費	865,096	95,470	769,626	別刷り重複返金, 学術会議協 力金等
決算額		3,281,707		
次年度繰越金	—	6,544,310	5,199,179	
合計	8,480,886	9,826,017	1,345,131	

▲: 当年度減

## Ⅷ. 2002年度予算

## (1) 2002年度会計予算

## 収入の部

自 2002.4. 1  
至 2003.3.31

項 目	予 算 額	備 考
繰 越 金	6,544,310	
正 会 員 会 費	1,927,200	438 人×5500 円=2,409,000円×0.8=1,927,200 円
学 生 会 員 会 費	48,000	20 人×3000 円=60,000 円×0.8=48,000 円
購 読 会 費	324,000	54×7,500 円=405,000 円×0.8=324,000 円
賛 助 会 費	180,000	10 社×22,500 円=225,000 円×0.8=180,000 円
外 国 会 員 会 費	13,200	3 人×5,500 円=16,500 円×0.8=13,200 円
出 版 物 売 上	1,000,000	バックナンバー売り上げ、用語事典売り上げ
雑 収 入	300,000	広告料 (120,000)、別刷、展示代、利息等
合 計	10,336,710	

## 支出の部

項 目	当年度予算額	前年度予算額	増 減	備 考
会 誌 製 作 費	3,000,000	3,600,000	▲	会誌 89, 90, 91, 92, 93 号発行料等 (1 号 600 部約 60 万円)
総 会, シンポジウム費	800,000	350,000		総会、シンポジウム開催費、評議員会等
通 信 費	100,000	300,000	▲	原稿、請求書送付料等
文 具 費	150,000	150,000		封筒代等
賃 金	200,000	200,000		業務、シンポジウム手伝料等
交 通 費	200,000	200,000		交通費等
会 議 費	100,000	100,000		事務局会議費
幹 事 手 当	70,000	60,000	▲	幹事 3 人分+1 人追加分 (2 年分)
編 集 委 員 会 費	200,000	200,000		会誌査読料等
40 周 年 記 念 事 業 費	374,474	555,790		40 周年記念事業
新 編 用 語 集	1,512,000	0		新編用語集 500 部買い取り
選 管 委 員 会 費	350,000	0		2001 年度評議員選挙なし
学 会 運 営 積 立 金	500,000	1,000,000	▲	学会賞設立および学会運営業務委託等
業 務 委 託 費	1,000,000	900,000		会員管理事務委託費等
予 備 費	1,780,236	865,096		学術会議協力金等
合 計	10,336,710	8,480,886	▲ : 当年度減	

## IX. 会員入退会者および現在会員数（2002.9-2002.12）

## 1. 新入会員

## 正会員（3名）

山崎祐樹（正会員）（財）北海道農業近代化技術研究センター

松野 裕（正会員）近畿大学農学部国際資源管理学科

中村真也（正会員）琉球大学農学部生産環境学科  
学生会員（2名）

久保光一（学生）近畿大学農学部

松井亮太郎（学生）琉球大学大学院農学研究科

## 2. 退会者

## 正会員（6名）

塩谷 勝/山崎慎一/中谷紀男/古山光夫/榎根 勇/  
中田摂子/大槻恭一/伊藤邦夫

## 購読会員（2機関）

埼玉県農林総合研究センター  
国際稲研究所ライブラリーオフィス

## 3. 会員数（2002.12.20 現在）

正会員 : 439名

学生会員 : 21名

購読会員 : 54名

賛助会員 : 10社

---

合 計 : 524

## 一編集後記一

2002年9月、満を持して『新編土壌物理用語事典』が出版された。私は座右の書として日々活用している。

さて、この用語集で最も驚いたのが圧力ポテンシャルについての記述である。「定義は国際的に統一されていない。…混乱状況にある。」とのこと。ポテンシャル概念が土壌物理の世界に利用され始めてから既に半世紀以上過ぎている。ポテンシャル量は熱力学第2法則（エントロピーの増大）を基礎にしたものであるため、厳密な定量化が困難なためではないだろうか。

土壌の物理性を考察するには現象の数値化、定式化が必要となる。利用しやすい数式やパラメータが引用され

始めると、作者の意図を超えて爆発的に利用者の増加を招くことがある。そうになると、利用者は数式やパラメータのもつ根本的な意味や適応限界の分析を忘れ、応用にはばかり興味関心が払われる危険があるのではないだろうか。水分特性曲線式や $\theta_r$ はその典型ではないだろうか。

人が月に行く時代であっても、華々しい応用研究のみに目を奪われることなく基礎研究ただ乗りと諸外国の研究者から批判されないしっかりとした基盤を持ちたい。『土壌の物理性』の誌面を通して本質を見抜く洞察力を研鑽したいと考える。

(粟生田)

### 土壌物理学会

事務局構成	会 長	宮崎 毅	(東京大学大学院農学生命科学研究科)
	副 会 長	岡崎 正規	(東京農工大学大学院)
	庶務幹事	溝口 勝	(東京大学大学院農学生命科学研究科)
	会計幹事	井本 博美	(東京大学大学院農学生命科学研究科)
	編集幹事	関 勝寿	(東京大学大学院農学生命科学研究科)
	”	安中 武幸	(山形大学農学部)
	会計監査	加藤 誠	(東京農工大学農学部)
編集委員会	”	金子 文宣	(千葉県農業試験場)
	委 員 長	粕淵 辰昭	(山形大学農学部)
	委 員	古賀 潔	(岩手大学農学部)
		藤井 克己	(岩手大学農学部)
		佐藤 照男	(秋田県立大学短期大学部)
		粟生田忠雄	(新潟大学農学部)
		足立一日出	(独立行政法人農業技術研究機構)
		吉田修一郎	(独立行政法人農業技術研究機構)
		花山 奨	(山形大学農学部)
		南條 正己	(東北大学農学部)

土壌の物理性 第92号 (会員配布) 2003年3月15日発行

### 発行 土 壌 物 理 学 会

〒113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1  
 東京大学大学院 農学生命科学研究科  
 生物・環境工学専攻 環境地水学研究室内  
 電 話 03-5841-5351, 5374 FAX 03-5841-8171  
 E-mail : sp-staff@soil.en.a.u-tokyo.ac.jp  
 URL : <http://soil.en.a.u-tokyo.ac.jp/jssp/>  
 銀行口座 みずほ銀行 本郷支店  
 普通 2407673 土壌物理学会 代表 宮崎 毅

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

## 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. 92

March 2003

---

## Contents

Foreword .....	K. FUJII	1
<b>Original Papers</b>		
Soil Physical Properties under Coffee Trees with Different Weed Managements in a Hilly Humid Tropical Area of Lampung, South Sumatra, Indonesia .....AFANDI, T.K. MANIK, B. ROSADI, M. UTOMO, M. SENGE, T. ADACHI and Y. OKI		3
Improvement of Subsoil under Tea Field by Rotor-Bucket Machines .....M. KOMAMURA and S. GOTO		17
<b>Notes</b>		
Soil Information Monitoring System using Cellular Phone .....M. MIZOGUCHI, M. MIKAMI and S. ISHII		25
<b>Review</b>		
Studies on Acid Sulfate Soils from a Biological Perspective .....K. UENO, T. ADACHI and H. NARIOKA		31
<b>Miscellaneous</b>		
Search Engine for "Journal of the Japanese Society of Soil Physics" .....M. MIZOGUCHI		41
Book Review .....	M. MIZOGUCHI	43
Announcements .....		45
Editor's Postscript .....		52

---

## Japanese Society of Soil Physics

Department Biological and Environmental Engineering  
Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo  
1-1-1 Yayoi Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, Japan