

# 土壌の物理性

第 87 号

2001年 3 月

---

巻 頭 言	大塚 紘雄	1
論 文		
堆肥の長期連用が黒ボク土の理化学性ならびにキャベツとダイコンの収量に及ぼす影響	加藤 哲郎・米田 和夫	3
土壌断面に現れる堆積履歴, 人為履歴について—美唄湿原地帯の土壌物理性 (I) —	井本 博美・宮崎 毅・西村 拓・中野 政詩	19
休耕田を活用した長期窒素除去試験	田淵 俊雄・黒田 久雄・志村もと子	27
Land Characteristics and Soil Erosion in Relation to Slope Farming in the Highlands of Candikuning, Bali, Indonesia	H. NARIOKA, I.W.S ADNYANA, MASTUR and S.M. MEDINA	37
第 42 回シンポジウムおよびポスターセッション報告	鈴木 創三・藤井 克己・長谷川 周一	47
書 評		
「環境土壌物理学 I. 土と水の物理学」	佐藤泰一郎	49
編集後記		50

---

土 壌 物 理 学 会

## 土壌物理学学会会則

- 第1条 本学会は土壌物理学学会 (Japanese Society of Soil Physics) と称する。
- 第2条 本学会は土壌物理に関する研究の進歩と普及を図り、農業技術及び環境科学の発展に貢献することを目的とする。
- 第3条 本学会はその目的を達成するために次の事業を行う。
- (1) 研究発表会、討論会及び見学会などの開催
  - (2) 学会誌「土壌の物理性 (Journal of the Japanese Society of Soil Physics)」並びにその他の印刷物の発行
  - (3) 内外の研究、技術の交流及び他の学会、諸団体との協力
  - (4) その他、本学会の目的を達成するために必要な事業
- 第4条 本学会の会員は、正会員、学生会員及び賛助会員、購読会員の4種とする。会員となるには、評議員会の承認を受けなければならない。退会するには、その旨を本学会に書面により届け出なければならない。
- 第5条 会員は次の会費を所定の期日までに納めるものとする。
- |      |    |        |
|------|----|--------|
| 正会員  | 年額 | 5,500円 |
| 学生会員 | 年額 | 3,000円 |
- (大学院生を含む)
- |      |        |         |
|------|--------|---------|
| 賛助会員 | 一口年額   | 22,500円 |
| 購読会員 | 会誌年額   | 7,000円  |
| 広告料  | 賛助会員   | 15,000円 |
|      | 賛助会員以外 | 22,500円 |
- 第6条 本学会に次の役員をおく。任期は2年とする。ただし、3期連続の重任は認めない。選出方法は次による。
- (1) 会長1名、副会長1名、編集委員長1名  
正会員の中から評議員会によって選出される。
  - (2) 評議員  
イ 15名 正会員の中から互選する。  
ロ 3名以内を会長が正会員の中から委嘱する。
- (3) 会計監査 2名  
正会員の中から評議員会によって選出される。
  - (4) 幹事 若干名  
若干名の庶務、会計、編集の幹事を会長が委嘱する。
- 第7条 会長は毎年1回以上総会並びに評議員会を招集する。
- (1) 総会は本学会の最高議決機関であって、事業計画、予算・決算、会則の変更等を決定する。総会は正会員及び学生会員で構成される。
  - (2) 評議員会は、会員の選挙によらない役員を選出、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。
- 第10条 本学会の経費は会費その他の収入を持ってあてる。本学会の会計年度は毎年4月1日に始まり翌年3月31日に終わる。
- 附則 (1) 本学会の連絡先は、これを当分の間次に置く。  
〒252-8510 神奈川県藤沢市亀井野1866  
日本大学生物資源科学部生物環境工学科内
- (2) 本会則は、1999年4月1日より施行する。  
(1999. 8. 5改正)

### 「土壌の物理性」投稿規定

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

5. 依頼原稿として「巻頭言」(Foreword), 「講座」(Lecture series)をおく。「講座」は「解説」と本質的な違いはないが、特に編集委員会が企画して複数回にわたって行うものを指す。
6. 投稿する場合は、正原稿1部、コピー2部の計3部に原稿送り状(別紙書式)をつけて編集委員会事務局(編集幹事)宛に提出する。
7. 編集委員会は、投稿原稿を受け取ったら速やかに受付番号と受付日付を明示した電子メールまたは書状を投稿者に送る。また、掲載が決定し最終原稿を受け取ったら、受理日付を明示した書状を著者に送付する。
8. 著者に対して修正を求めた原稿が、特別な事情なく6ヶ月以内に再提出されないときは取り下げと見なす。
9. 著者校正は初校のみとする。また、特に申し出がない限り印刷ずみの原稿は返さない。
10. 別刷りは30部を著者に贈呈する。それ以上を希望する場合は実費を申し受ける。
11. 本誌に掲載された論文等の著作権は土壤物理学会に帰属する。  
(1999. 11. 20 改正)
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 地図や顕微鏡写真には定尺をつけ, 縮尺や倍率はない.
18. 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.
19. 図, 表, 写真の番号と題名は, 別紙にまとめて一覧表とする.
20. 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)).
21. 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.
22. 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): 土壤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): 土壤物理. 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。

### [ 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>	
体積密度	m <sup>3</sup>	L, cm <sup>3</sup> , mL
濃度	kg m <sup>-3</sup> , Mg m <sup>-3</sup>	
モル濃度	kg m <sup>-3</sup> , Mg m <sup>-3</sup>	g L <sup>-1</sup> , mg L <sup>-1</sup>
力	mol m <sup>-3</sup>	mol L <sup>-1</sup>
水分ポテンシャル	N	
透水係数	J kg <sup>-1</sup>	kPa, m, cm, **
イオン交換容量	m s <sup>-1</sup>	cm s <sup>-1</sup>
回転数	mol kg <sup>-1</sup> , cmol kg <sup>-1</sup>	
収量	s <sup>-1</sup>	min <sup>-1</sup>
	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)



## 土壤物理学会入会申し込み用紙

必要事項を記入し、このまま Fax または郵便で下記までお送り下さい。

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

本学会記入 受付年月日：

承認年月日：

宛先・問い合わせ

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

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

Fax. : 0466-80-1102

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

## 21 世紀に残された今後の研究課題と土壌の物理性（雑感）

大塚 紘 雄\*

21 世紀に突入しました。今世紀に解決しなければならない問題として環境問題があります。20 世紀後半の大量生産、大量消費、大量廃棄のつけが今世紀に回ってきます。一方、2050 年までに約 90 億の人口を抱えることが予想され、今世紀半ばには食料確保が地球全人類の生存に関わる重要な問題として現実味を帯びてくることが予想されます。

環境問題としては、地球規模のグローバルなものとして地球温暖化、砂漠化、酸性雨などの問題が依然として解決されなければならない問題として残されています。地球温暖化は大気中の二酸化炭素、メタンや一酸化窒素などの増大によるもので、その濃度軽減が求められています。また、ゴミ問題はますます大きく私たちの日々の生活にのしかかってくるでしょう。

私達の研究室の例で恐縮ですが、二酸化炭素の軽減に少しでも貢献することをめざして、二酸化炭素の長期的な固定を土壌で行うことを検討しています。すなわち、廃材や食べ残しなどの生物系廃棄物と新鮮火山灰や石炭灰等から難分解性の A 型腐植酸を含む堆肥や土壌改良資材を作出し、これを土壌に施用して植物を生育させる一方、有機物による土壌の物理性の改善と同時に A 型腐植酸によって土壌への炭素長期固定を期待しています。この期待は、A 型腐植酸を主体とする黒ボク土表層の腐植酸の<sup>14</sup>C 年代測定によると、約 1800 年の年齢であることから想像できます。私達は土壌の有機物を主として化学的な手法で検討を進めています。しかし、このような土壌中での化学的現象は必ずといって土壌の水分状況、温度分布、粒径等の物理性によって大きく影響を受けます。私達はこの A 型腐植酸の生成を触媒反応と考えていますが、この現象を応用的な技術開発研究にするためには、真のメカニズムを明らかにする必要があると考えています。つまり、化学性だけでなく、土壌の物理的な環境条件、すなわち、物理性と化学性との相互関係を一つずつ明らかにしていく必要があるとあらためて思います。

また、停滞水や酸化還元状態などの土壌中における物理性の不均一性は化学性に反映しており、土壌中に不均一な化学性を生成させる場合があります。これも私どもの研究の例で恐縮ですが、フィリピン国タール火山起源の軽石の表面組成がスメクタイトで中心組成が非晶質と異なり、軽石の風化生成が表層と内部とはその物理性の相違によるものと考えられ、マイクロペドロロジーにおける物理性と化学性の興味がそそられます。微細形態における物理性の違いが化学性の相違へと連続的に変化していく過程をさらに正確に把握するには、物理性の現象を的確に化学性の変化に反映させることができる理論的、実験的に優れた土壌物理学に精通した専門家とペドロジスト等との共同研究が必要であろうと思われます。

地域環境問題として、地下水や河川湖沼への硝酸態窒素や土砂流入があり、濃度の軽減や流入の防止技術の開発等が求められています。この問題の解決には流域全体の汚染状況の把握や防止技術の開発が求められており、基礎研究から応用研究まで幅広い研究課題が想定されます。土壌の化学性、物理性だけでなくいろいろな分野の専門家がグループを形成して解決にあたる必要があります。

今世紀後半には食料問題が深刻化してくることが予想されますが、これに関係する土壌肥沃度に限ってみても、土壌の化学性、物理性、生物性が大きく関わっています。

国研の研究機関は独立法人化が今年の 4 月から、また、大学でも同様なことが近い将来行われると言われていきます。自らの研究費は自らの努力で調達しなければ研究ができない時代に入ろうとしています。さらに、大型の研究費をつけたプロジェクトが数多く募集されています。一つの分野だけでなく複数の分野の協力が今後ますます必要になるであろうことをすでに述べましたが、土壌物理学に精通した専門家が他の土壌学分野の専門家と手を組んで、学術的な研究課題を含む環境問題・食料問題など、今後に残された研究課題の解決を要請・期待されている時代でもあると思います。

\* 神戸大学共同研究開発センター / 農学部 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1

## 堆肥の長期連用が黒ボク土の理化学性ならびにキャベツとダイコンの収量に及ぼす影響

加藤哲郎\*<sup>1</sup>・米田和夫\*<sup>2</sup>

Effects of Long-term Application Use of Compost on the Physico-chemical Properties of Andosols and Yields of Cabbage and Japanese Radish

Tetsuo KATO\*<sup>1</sup> and Kazuo YONEDA\*<sup>2</sup>

\*<sup>1</sup> Tokyo Metropolitan Agriculture Experimental Station, 3-8-1 Fujimi,  
 Tachikawa, 190-0013 Tokyo

\*<sup>2</sup> College of Bioresource Sciences, Nihon University, 1866 Kameino, Fujisawa, 252-8510 Kanagawa

### Abstract

Studies were done on the effects of long-term use of compost made of cow manure and barks on the physico-chemical properties of andosol and yields of horticultural crops. The aim of the studies was to set standards for soil diagnosis and minimum fertilizer application schedules. The yields of cabbages and Japanese radishes were greatly affected by the weather conditions, and they varied considerably, almost two folds between the lowest and highest yields in cabbage heads and more than three folds in the weight of Japanese radish roots. The effect of the application of the compost was not apparent in the first year on the yields of cabbages and Japanese radishes. But the yields increased more than 10% to more than 30% in the following years. However, their yields were not much greater than those in the plots that had only chemical fertilizers, though the compost was given to them for many years. This trend was seen in the yield of Japanese radish roots. If the soil contained a certain amount of phosphorus, the effect of phosphorus in the compost on the yields was not obvious.

With regard to the physical property of soil, the difference between the sold phases of the plots with and without compost applications tended to widen. Even when bases were applied equally, the amount of bases in the soil decreased rapidly in the plots with good absorption property while they accumulated in the plots where crop yields were low with not nitrogen fertilizer. Cation exchange capacity (CEC) increased even in the increased with application of the compost and fused magnesium phosphate. CEC increased even in the no-nitrogen plots when phosphorus was applied. Total carbon and total nitrogen increased every year when 3 t/10a of compost was applied yearly, though the amounts had some fluctuations.

**Key Words** : andosol, long-term application use of organic matter, physico-chemical properties, yields of cabbage and Japanese radish

### 緒 言

東京都内の農耕地土壌の約80%は黒ボク土である(東京都農試, 1977~1997)。この土壌は、土層が厚く、

有機物含量も多く、保肥力や保水力、通気性、透水性などにすぐれており、生産力が高い(東京都農試, 1978)。しかしこの土壌の理化学性は常に一定ではない。それは自然要因以外、耕耘、施肥や改良資材施用などの人為的

\*<sup>1</sup> 東京都農業試験場 \*<sup>2</sup> 日本大学生物資源科学部

キーワード : キャベツとダイコンの収量, 黒ボク土の理化学性, 有機物の長期施用

な影響による変化が考えられる。農作物の安定的な生産のためには、地力や生産環境を一定に維持し、将来にわたって土壌を良好な状態に保つことが求められる。それらに関しては、これまで報告されたものは多くはない(上沢, 1991; 金森, 2000; 土壌保全調査事業全国協議会, 1991; 農林水産技術会議事務局, 1977; 松下ら, 1979, 1989)。土壌状態を健全に保ちながら安定した農業生産を行うには、現在の土壌の理化学性を把握するだけでなく、時間の経過にしたがって、土壌に生ずる変化を把握することが必要である(加藤・米田, 2000; 加藤ら, 2000)。しかしながら、これまで都内の土壌に生ずる長期間の変化について報告されたものは少なく(東京都労経局農林水産部, 1997)、長期展望にたった営農指導の資料が不足していた。

東京都内の畑土壌は、かつてはpHも低く、肥料成分不足の地点が多かった。現在では、化学肥料などの利用により適正値の地点が増え、さらには過剰な地点も出てきた。このため、大都市近郊における農耕地の土壌保全の立場からも、農業生産上からも堆肥や肥料の施用によって、土壌の養分状態がどのように変化するかを経時的に把握することがより重要になってきた。

そこで本試験では、黒ボク土畑において、長年にわたる堆肥の連用が園芸作物の生育・収量や土壌の理化学性などに与える影響を調査し、東京都内をはじめ、黒ボク土における今後の土壌診断および土壌管理、土壌負荷の小さい施肥基準などに役立つ基礎資料とするために検討した。

### 材料および方法

供試作物はキャベツとダイコンとした。春作としてキャベツ‘YR 錦秋’を毎年5月上旬定植して、毎年7月中下旬収穫し、秋作にはダイコン‘都大根’を毎年9月上旬播種し、12月中下旬に収穫した。キャベツ、ダイコンとも栽植密度は28,000株/haとし、畝幅は70cm、株間は50cmとした。

試験では、東京都立川市立川面台地上の表層腐植質黒ボク土(米神統)に、①無窒素区(リン酸、カリのみ施用、肥料として窒素分は無施用)、②化学肥料単用区(三要素施用)、③有機物施用区(三要素+堆肥施用)、④総合改善区(三要素+堆肥+熔リン施用)の4区(0.5a/区の2連)を設けた。なお総合改善区は、黒ボク土ではリン酸が固定して不足しがちであることを考慮して、リン酸資材をあらかじめ大量に施用して土壌改良することを目的とした区である。

肥料は窒素として硫酸アンモニウム(硫安)、リン酸として過リン酸石灰(過石)、カリとして硫酸カリウム(硫

加)を用いた。施肥量は無窒素区を除いて、窒素(N)、リン酸( $P_2O_5$ )、カリ( $K_2O$ )を240:170:130成分kg/haでキャベツ、ダイコンに同量施用した。無窒素区はリン酸、カリを170:130成分kg/ha施用した。これらの施肥量については、Nは東京都の施肥基準とほぼ同じであるが、リン酸とカリに関しては、東京都内の土壌において蓄積が懸念されていることからリン酸は施肥基準量の約68%、カリは65%とした。有機物類としては都内の畜産農家で生産され、比較の利用も多い牛ふんパーク堆肥(以下、堆肥と略)を用いた。堆肥を連用する農家も多いため、連用が土壌の理化学性や作物収量に与える影響についても検討した。施用量および方法は、乾物換算で15t/ha(現物は50%前後の水分を含有)を毎年春作前だけに全面全層施用した。熔リンは1・2作目に10t/haずつの計20t/haを施用し、石灰資材としては苦土入り炭酸カルシウム(苦土石灰)を各区同量、春作前に1,000~2,000kg/haの範囲で前作跡地の土壌pHを考慮しながら適宜施用した。

調査項目としては、1976年から1996年までの21年間にわたる作物収量の変化のほか、収穫後の土壌では、三相分布や保水性などの物理性、土壌や堆肥の全炭素(T-C)、全窒素(T-N)、塩基類などの化学性について行った。土壌の三相分布や保水性については、収穫直後の圃場で3日間以上降雨のないことを確認の上、表層部(5~10cm)から採土管を用いて、3連で試料を採取し、分析に供試した。化学性については、毎年、キャベツ、ダイコンの収穫直後に各区から作土に相当する0~20cmの間の深さから採取し、分析用とした。圃場から採取した生土は、常温の日陰で1か月間以上風乾した後、粗大有機物や礫、ビニル片などを取り除いたあと、乳鉢で粉碎後2mmのふるいに通したものを供試した。全炭素や全窒素分析用については、さらに微粉碎して分析に供した。

土壌の各分析値は、2連で行った試験区のそれぞれについて、さらに2連で分析し、平均値として示した。堆肥の分析は2連で行った。土壌、堆肥とも分析値に5%以上の差を生じた場合は、再度2連で分析を繰り返した。なお使用した堆肥の分析結果は、第1表に示した。分析方法については、以下のとおりであった。

#### 分析方法

##### 1. 土壌

1) 三相分布(固相、液相、気相)、仮比重 100mL採土管に圃場で生土を5~10cmの深さから採取し、生土重を測定した後、実容積計(大起理化製)を用いて実容積(固相+液相)を測定した。その後さらに通風乾燥機により、100°Cで24時間乾燥し、乾燥土重を測定し、算



出した(岩田, 1972; 丹原ら, 1972; 丹原ら, 1972b; 横井, 1972)。

2) 保水性, 有効水分 100 mL の採土管を用いて, 三相分布と同様に採取した試料について, 実験室で砂柱法 (pF 1.0~1.8), 加圧板法 (pF 1.8~3.2), 遠心法 (pF 3.2~4.2) を組み合わせた方法 (寺沢, 1972) で測定した。

3) pH (H<sub>2</sub>O) 風乾土壌: 純水=1:2.5 で1時間振とう後 pH メーター (DKK) により測定した (森ら, 1970)。

4) pH (KCl) 風乾土壌: 1 M 塩化カリウム液=1:2.5 の比率で1時間振とう後, pH メーター (前出) により測定した (森ら, 1970)。

5) 電気伝導度 (EC) 風乾土壌: 純水=1:5 で1時間振とう後 EC メーター (DKK) により測定した (藤沼ら, 1970)。

6) 全炭素 (T-C), 全窒素 (T-N) CN コーダー (ヤナコ MT-500 型, 柳本) により測定した (田辺ら, 1970)。

7) 陽イオン交換容量 (CEC) セミマイクロショールンベルガー法 (pH 7, 1 M 酢酸アンモニウム液抽出, pH 7・80% エチルアルコール洗浄, 10% 塩化ナトリウム抽出), ホルホル法 (0.1 M 水酸化ナトリウム液滴定) により測定した (鎌田, 1986; 山添ら, 1973; 蔵本ら, 1970 a)。

8) 可給態リン酸 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) トルオーグリン酸分析法, 分光光度計 (前出) により測定した (関谷, 1970)。

9) 交換性石灰 (CaO), 交換性苦土 (MgO), 交換性カリ (K<sub>2</sub>O) CEC 分析時にセミマイクロショールンベルガー法で pH 7, 1 N 酢酸アンモニウム液によって抽出した液を原子吸光度計 (Z-4000 型, 日立製) により測定した (蔵本ら, 1970 a; 蔵本ら, 1970 b; 三須ら, 1970)。

## 2. 堆肥

1) T-C, T-N 風乾後粉碎して 1.0 mm のふるいに通したサンプルを C/N コーダー (前出) により測定した。

2) 全リン (T-P) 硝酸・過塩素酸分解後, 分光光度計 (前出) により測定した。3) 全カルシウム (T-Ca), 全マグネシウム (T-Mg), 全カリウム (T-K) 硝酸・過塩素酸分解後, 原子吸光度計 (前出) により測定した。

## 結果および考察

### 1. 収量に及ぼす影響

#### 1) キャベツ

(1) 結球部 収量は年度によって大きく変動していた (第1図)。化学肥料単用区だけをみても, 21年間の最高収量と最低収量は約2倍の差があった。特に1985, 1990, 1991と1996年は全体に収量が低下していた。い

わゆる異常気象の年で, 乾燥が続いたり, 降雨が続いたり, 低温の年であった。例えば, 1985年は立川市の東京都農業試験場内の観測地点で, 5月の降雨量が39.0 mm (平年値82.3 mm), 6月の平均気温が19.6°C (平年値22.0°C) であった。1990年は, 5・6月の月間降雨量はそれぞれ41.0 mm, 67.0 mm と平年値の約半分であった。

1991年は5月前半, 6月前半に降雨量がみられなかった。1996年は4月の最低気温の平均値が4.6°C (平年値8.4°C), 6月の降雨量は41.0 mm (平年値128.3 mm) であった。

堆肥施用の効果は1作目ではほとんどなかったが, 2作目以降からみられるようになり, 10数%から30数%の増収としてあらわれた。しかし堆肥を長年にわたって施用し続けても, 有機物施用区と化学肥料単用区との収量差は一定の範囲内にあり, 大きく違うことはなかった。気象的要因で収量が全体的に低かった1985, 1990, 1991, 1996年は, 有機物施用区と化学肥料単用区との差は比較的小さく, 逆に気象条件に恵まれて全体に収量の高い年ほど堆肥施用の効果は認められた。

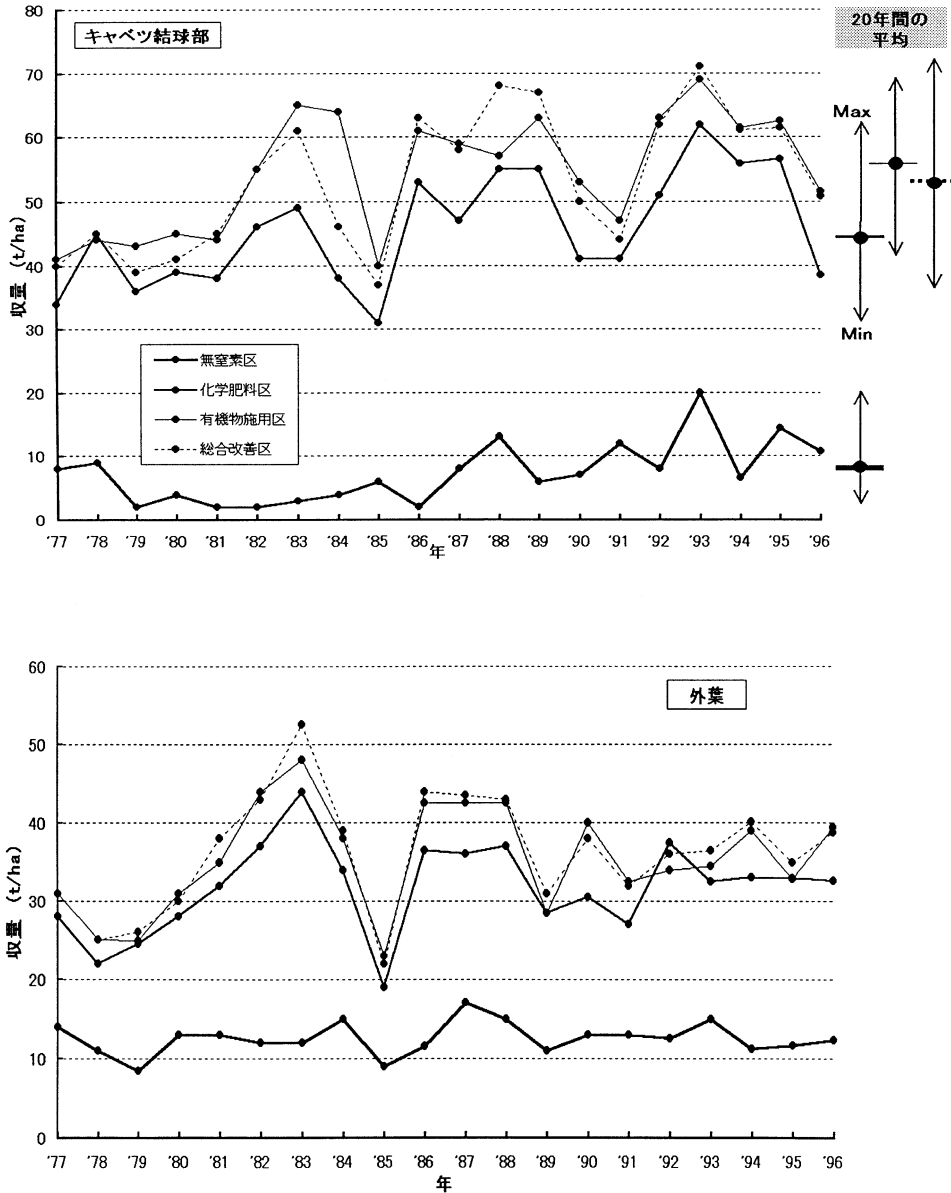
黒ボク土はリン酸固定力が大きく (供試土壌のリン酸吸収係数は1,800~2,000程度), 可給態リン酸が不足しやすいため, 黒ボク土の総合的な改善として, 堆肥にさらにリン酸資材の熔リンを施用した。しかしこのリン酸の影響は結球部ではほとんどみられず, 一定量の可給態リン酸があれば, それ以上に必要のないことが認められた。

無窒素区では, 1作目だけは小さいながらもある程度結球したが, 2作目以降はほとんど結球しなかった。リン酸とカリについては, 化学肥料単用区と同量施肥していたが, 窒素肥料の施用がないことは, キャベツの生育に致命的な影響を与える結果となった。

(2) 外葉部 キャベツの外葉部も結球部と同様であった (第1図)。結球部の収量の少ない年は外葉部の収量も少なかった。また堆肥施用による効果をみると化学肥料単用区と比較して10数%~20数%程度増収していた。リン酸施用の影響を堆肥施用と, それにリン酸を加用した総合改善区と比較しても, 外葉収量に顕著な差は認められなかった。一定量の可給態リン酸があれば, それ以上は収量に影響を与えないことが認められた。また正常に生育している区では外葉部より結球部がどの区も例外なく重かったが, 無窒素区では1作目以外, 外葉部の方が重かった。

#### 2) ダイコン

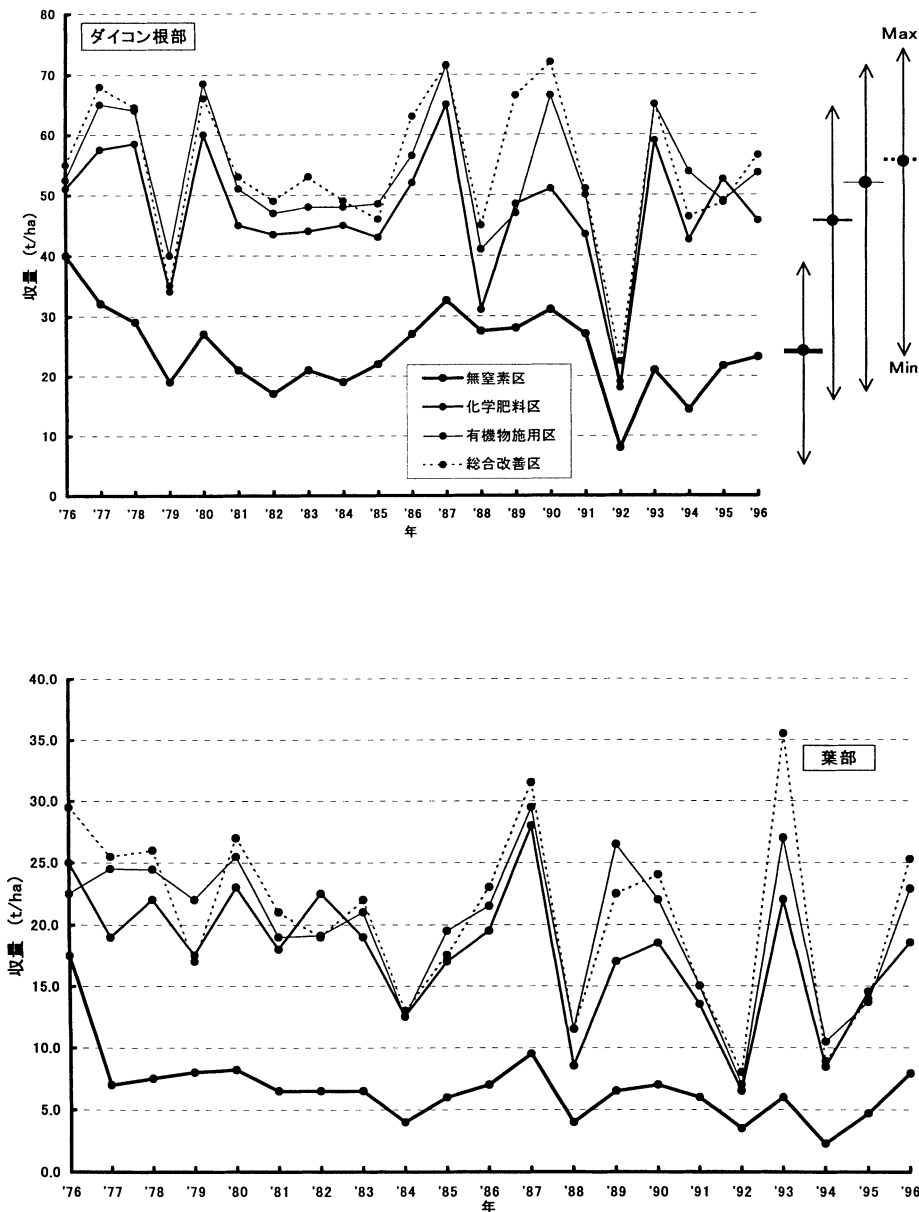
(1) 根部 ダイコンの根部の収量は年によって大きく変動していた (第2図)。化学肥料単用区だけをみても, 21年間の最高値と最低値とでは約3倍ほどの開きが



第1図 キャベツの結球部と外葉部の収量変化  
 Fig. 1 Change in cabbage head yield and external leaves yield.

あった。特に、1979, 1988, 1992年は全体に収量が低下していた。主として秋に乾燥が続いたり、降雨が続いたり、低温であったことなどが影響していたと考えられた。例えば、東京都農業試験場内の観測では、1979年は10月の降雨量が308.0mm(平年値199.7mm)と多く、一時期に集中していた。1988年は9月の降雨量が307.0mm(平年値182.2mm)と多く、10月では38.5mmと少なかった。また9月の日照時間は54.1時間(平年値

154.0時間)と晴れの日が少なかった。1992年は9月の降雨量が90.5mmと少なく、10月は308.5mmと多かった。このような条件が収量低下の原因のひとつとなったと推察された。また1992年は異常気象に加えて病気および害虫の発生もみられたため、著しく収量が低下していた。これらダイコンの収量低下は、春作キャベツと似た傾向を示してはなかった。異常気象年でも1年中異常状態が続いたわけではなく、春作と秋作が同年に低下



第2図 ダイコンの根部と葉部の収量変化

Fig. 2 Change in radish root yield and leaf yield.

する年は少なかった。

このような気象条件による変動は各区とも同様で、堆肥の施用によって特に緩和されることはなく、気象条件に原因した収量の低下を抑えることはできなかった。

堆肥の施用効果を収量からみると、1作目では施用したばかりであり、ほとんど効果はなかった。2作目以降から効果がみられるようになり、使用した堆肥の熟度等

に特に問題のないことが認められた。2作目以降は大半の年で有機物施用区の収量が化学肥料単用区の収量よりまさっていた。化学肥料単用区と比較してみると、年度により変動しながらも有機物施用区で数%~20%程度増収していた。堆肥を毎年施用し続けても化学肥料単用区との差は開き続けることはなく、一定範囲の差を保ちながら推移していた。特に1978年から1988年までの間

は、化学肥料単用区に比較して堆肥を施用した区では、約10%程の増収が安定的に続いていた。しかし、気象要因などで全体的に収量の低下した年は、化学肥料単用区と有機物施用区の差は、一部を除いて比較的小さかった。さらに病虫害の発生した場合も堆肥施用の有無は、収量に顕著な差をもたらさないことが認められた。

リン酸施用の効果を、どちらも有機物を施用し、リンの施用の有無だけが異なる有機物施用区と総合改善区の間で比較してみると、リン酸施用により21年間の22作のうち9作でわずかに増収していたが、それ以外の年は顕著な差はみられないか、減収していた。これは一定以上のリン酸分があれば、黒ボク土でもそれ以上施用しても増収には結びつきにくいことを示していた。無窒素区では、1作目は他の区と同じような収量であったが、2作目以降は、他の区の収量が増加せず、顕著な差がでてきた。しかしキャベツの無窒素区結球部が全く食用に供することができなかつたのに対し、ダイコンではいずれの年度においても、小さいながらも食用に供することは可能な大きさであった。

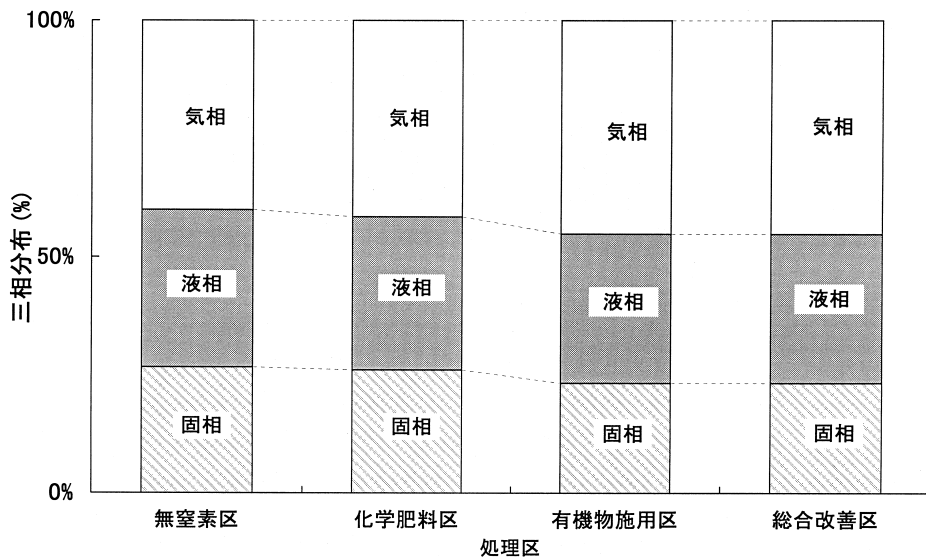
(2) 葉部 ダイコンの1 ha当たりの全葉重も年度によってばらつきがみられ、1988年や1992年では根重と似たような傾向を示した(第2図)。しかし1979年では、根重が低下したのに、葉重は低下しておらず、1984年や1994年では、根重は平年並みであったのに対し、葉重は非常に低下していた。1979年は、気象条件が悪く、葉部ができただけで、根部の生産が十分でなかった。1984年

と1994年は収穫直前まで、生育は順調であったものが、病虫害が急激に発生したため、地上部だけが被害を受けて減収となった。しかしこのときも無窒素区では、病虫害による障害の受けかたは他の区よりやや緩慢であった。1992年も9月前半の少雨と9月後半から10月の多雨という異常気象に加え、病虫害が生育の初期からの発生していたために、葉部と根部ともに、収量減の影響がみられた。

ダイコン葉重に対する堆肥の効果を見ると、根重と同様の傾向にあった。化学肥料単用区と有機物施用区の差は数%~20数%の間で、すべての年で堆肥施用がまさっていた。リン酸の効果は葉部でも顕著ではなかった。無窒素区では、収量は2作目以降に急激に低下し、その後気象条件などにもあまり影響されず、大きな変化がなく、低い値を維持していた。そのため、他の区の生育がよい年は、収量差が大きくなり、他の区の生育が悪くなると、その差は小さくなった。また、地下部に対する地上部の割合(T/R)は、根部の生育が良好で収量の高いときほど小さく、結果として少量の葉で根部を肥大させていた。

## 2. 土壌中の理化学性に及ぼす影響

1) 三相分布 三相分布は、10年間経過後からはほぼ同じような傾向であったため、試験開始後18年を経過した1993年のデータだけを示した(第3図)。18年間を経過した圃場の状態では堆肥の施用により、気相が増加し、液相と固相が低下し、土壌の膨軟化が起きている



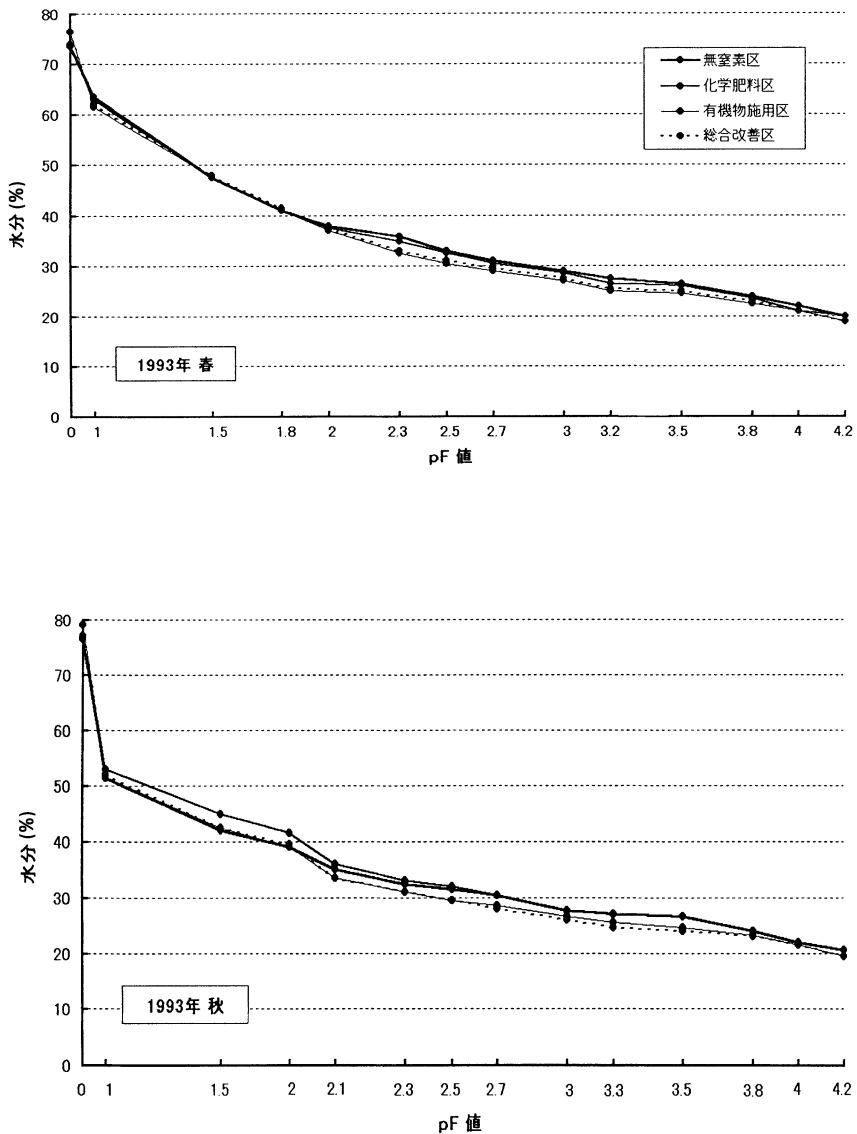
第3図 土壌の三相分布の変化 (1993年春)

Fig. 3 Change in three-phase distribution of soil in spring, 1993.

ことが認められた。総合改善区と有機物施用区の間で大きな差はなかったため、熔リンの施用は影響を与えていなかったと考えられた。化学肥料単用区と無窒素区は、堆肥を施用した他の2区と比べ、気相がやや小さく、液相と固相が大きくなっており、堆肥の施用がないと、土壌が硬くなりやすいことを示していた。無窒素区は化学肥料単用区よりもわずかに固相が大きい傾向にあった。土壌中で植物根が十分に伸びた場合には根によって、孔隙が作り出されるので、土壌の膨軟化が進むと考えられ

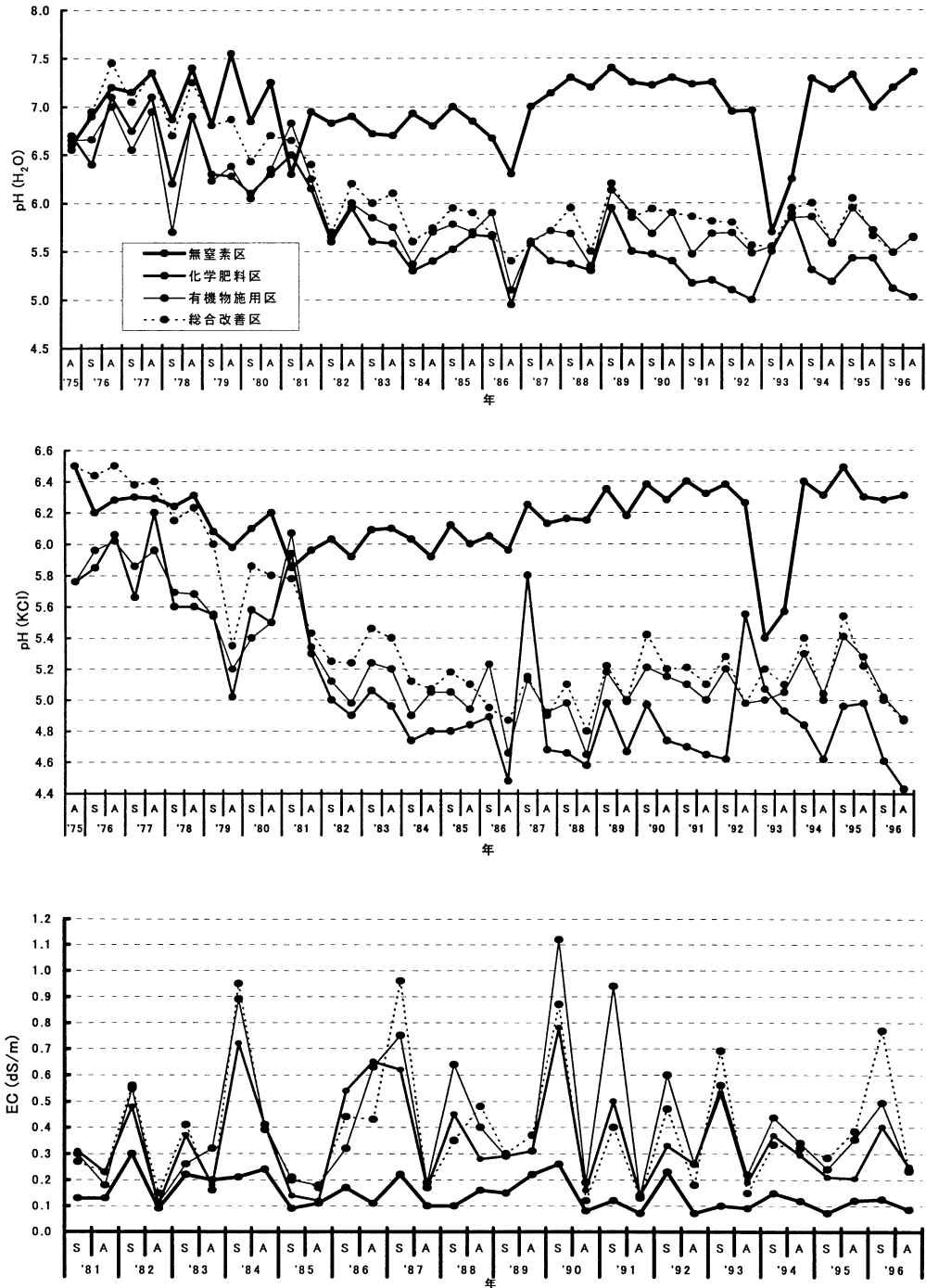
るが、無窒素区では作物の生育が悪く、化学肥料単用区に比較して根も十分に伸びていなかったため、土壌がより硬くしまりやすかったと推察された。

2) pF 保水性(水分曲線)も、10年間経過後からはほぼ同じような傾向になったため、18年を経過した1993年のデータだけを示した(第4図)。18年間を経過した圃場の状態では、堆肥を施用した2つの区においては、施用しない他の2区に比較して、いずれのpF値においても体積含水率は低い値となった。このことは、三



第4図 土壌の水分保持曲線の変化(1993年春、秋)

Fig. 4 Changes soil water retention curves in spring and autumn, 1993.



第5図 土壤のpHとECの変化  
 Fig. 5 Change in pH and EC of soil.

相分布での液相の減少とも一致していた。有機物施用区では低 pF での水分保持に関わる大孔隙や有効水分量の保持に関わる孔隙が増加し、特に高 pF の水分含量を保持する微細孔隙の減少が大きいと考えられる。これにより、堆肥を施用した2つの区においては、特に高 pF 段階の水分含量が減少するため、各 pF に対応した水分含量が堆肥を施用しない他の2区に比較して低く推移したものと考えられた。この変化に伴って有効孔隙が増加すると、気相を増加させる可能性は高くなると考えられた。

また堆肥を施用した区では、各 pF にわたって水分含量が低下するが、pF 2.0 以上の水分含量の減少が大きいため、結果として、pF 1.5 と pF 2.7 の水分含量の差で表される有効水分量は同じか、ないしは増加していた。

3) pH および EC pH (H<sub>2</sub>O) の経年変化については、施用量や気象条件、生長量の違いにより、年度間のばらつきが大きかった(第5図)。また各区同量ずつ石灰資材を施用しているが、作物による塩基などの吸収量や溶脱のし方の相違により、区間の変化が大きかった。作物の生育の悪い無窒素区が常に高い値を維持しており、生育のよい化学肥料単用区や有機物施用区で低下が著しかった。これは生育のよい区では、作物による石灰分の吸収が多く、pH (H<sub>2</sub>O) が低くなり、無窒素区では石灰分の吸収量が少なく、土壌中に残ったために pH (H<sub>2</sub>O) が高くなったと考えられた。吸収量や土壌の pH に合わせて石灰類を施用することの重要性が認められた。熔リンを1~2作目の作付け前に施用した総合改善区は4~5作目までは無窒素区よりも高い pH (H<sub>2</sub>O) 値であったが、8作を過ぎた後から急激に低下し、その後は有機物施用区よりもわずかに高い値を推移していた。これは土壌の pH (H<sub>2</sub>O) を上昇させるはたらきをしていた熔リン中の塩基性成分が流亡したためと考えられた。

また石灰資材は春作前に施用していたが、施用のすぐ後の春作跡地土壌よりも、その後の秋作跡地の方が高い pH (H<sub>2</sub>O) 値を示すことが多かった。これは土壌中の硝酸イオン含量が秋作跡地では少なくなっていた(データ省略)こと、ダイコンよりもキャベツの方が石灰吸収量は多かったことに一因していると考えられた。

pH (KCl) も個々のデータについては、多少のばらつきがあるものの、pH (H<sub>2</sub>O) とおおよそ1程度低い値を示していたが、同様の傾向がみられた。

PH (H<sub>2</sub>O, KCl) については、同じ種類の土壌であっても作物の種類や生育の良否、気象条件などで大きく変化しているため、石灰類の施用に関しては、土壌状態を十分に把握しながら行う必要があるといえる。

土壌の EC 値については、春作・秋作ともに化学肥料

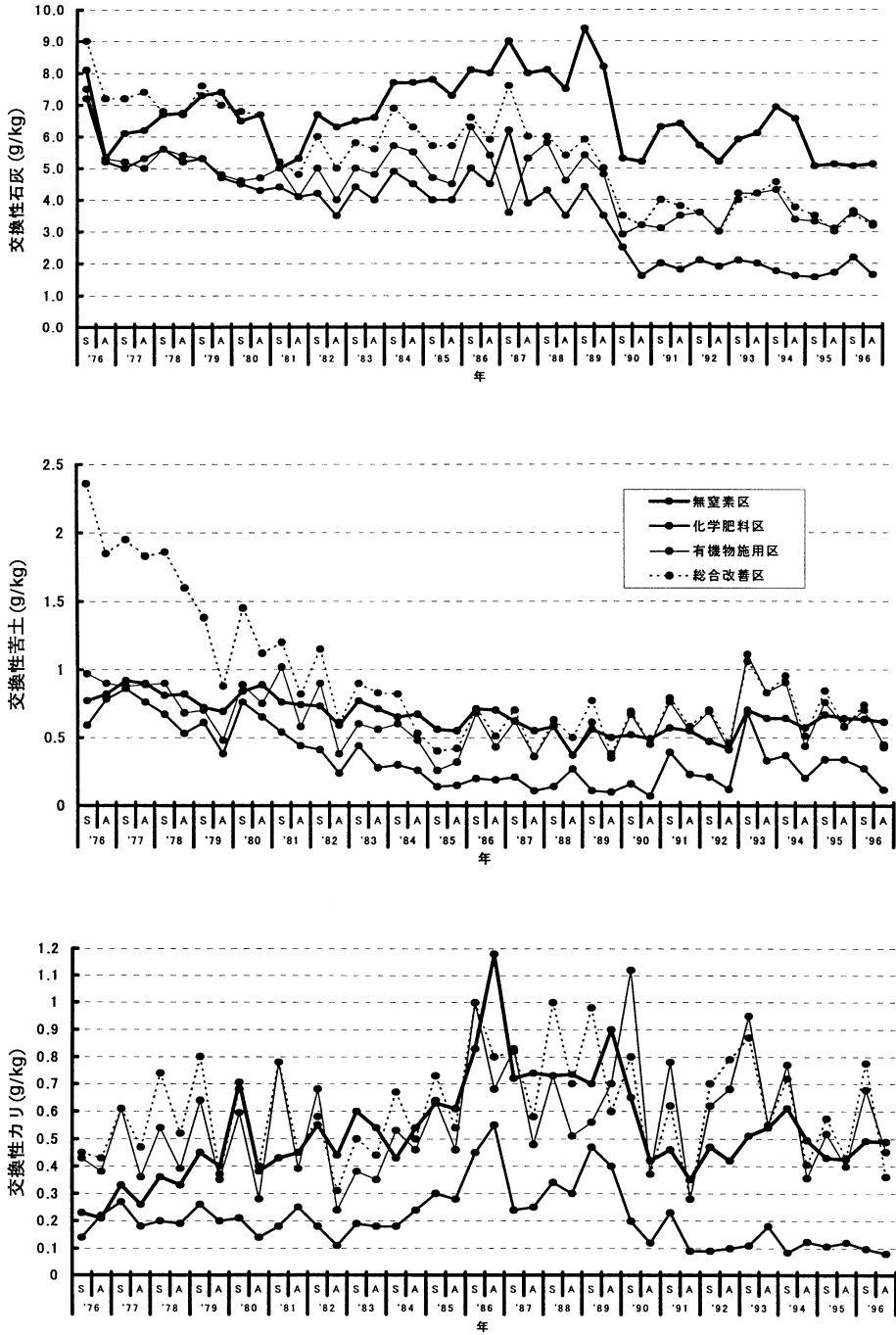
を施用しているが、特に EC が春作跡地で高く、秋作跡地では低くなっていた。春作跡地、秋作跡地とも EC 値は年度によって差がみられたが、その時の気象状態や収量が影響していたためと推察された(第5図)。区間の差については、無窒素区が非常に低い EC 値で推移していた。化学肥料に堆肥を加えた有機物施用区が春にはもっと高くなりやすく、1年間の変動が大きかった。総合改善区と化学肥料単用区はそれよりも多少低い値であった。

EC 値の変化は、窒素分や堆肥の施用が大きく関係していることが認められた。また熔リンは EC の変化には、ほとんど影響していなかった。

4) 交換性石灰量、交換性苦土量および交換性カリ量 交換性石灰量については、各区同量の石灰資材を施用したが、春作と秋作の違いや年度によってばらつきはあるものの、作物生育が悪く石灰吸収量の少ない無窒素区では高く、石灰吸収のよい他の3つの区では、年ごとに低下する傾向がみられた(第6図)。特に化学肥料単用区で低下が著しく、堆肥を施用した2つの区では堆肥からの補給もあり、化学肥料単用区ほどは低くなかった。

交換性苦土量については、試験開始直後は無窒素区、化学肥料単用区、有機物施用区の間で、大きな差はみられなかった(第6図)。熔リンを施用した総合改善区だけが熔リンからの供給で非常に高い値を示していた。苦土入りの石灰資材を各区同量施用したが、10作ほど経過した1980年頃から、徐々に化学肥料単用区の含量が他の区よりも低くなり、その後も低下傾向にあった。総合改善区は7~8作ほど経過した1979年頃から急激に低下し、その後も減少傾向にあり、試験開始から9年間ほど経過した1984年より後で有機物施用区とほぼ同じような数値と変動のし方を示すようになった。総合改善区において熔リン施用によって、当初一時的に増加した交換性苦土は、10年ほどで化学肥料単用区を除く他の区と同程度まで低下したことが認められた。また黒ボク土のもつリン酸固定力の強さに対処するために土壌中の可給態リン酸含量が100 mg/kg 程度の場合、一度に大量のリン酸資材を施用する必要があるが、熔リン投入初期の交換性苦土含量を考えると、10~20 t/ha という多量の熔リン施用には問題があると考えられた。さらに石灰資材として苦土入りの炭酸カルシウムを施用すれば、ほぼ土壌中の交換性苦土量が適量に保てることも認められた。

交換性カリ量については、春作と秋作前にそれぞれ化学肥料でカリ分を施用しているが、春作の跡地で高くなり、秋作の跡地で低くなるという動きを毎年繰り返していた(第6図)。春作跡地では堆肥を施用した有機物施用



第 6 図 土壌中の交換性石灰，交換性苦土と交換性カリの変化

Fig. 6 Change in exchangeable CaO, exchangeable MgO and exchangeable K<sub>2</sub>O content of soil.



区と総合改善区が特に高くなり、化学肥料単用区との差が大きくなることから、春作跡地の交換性カリ含量の高さには、堆肥施用の影響が無視できないと考えられた。またこの交換性カリ含量の変化は土壌 EC 値と非常に似ており、交換性カリ自体も EC 値に少なからず関与していることが示唆された。

区間の比較としては、試験開始時には有機物施用区と総合改善区で交換性カリ含量がやや高く、無窒素区と化学肥料単用区がやや低い状態であった。そのような中で化学肥料単用区では試験開始から 20 作目の 1985 年頃まではほとんど上昇せず、試験開始から 20 作目を経過後にわずかに上昇していた。しかし上昇を示したのもわずかの期間で 28 作目の 1989 年あたりから再び減少しはじめ、試験を開始した直後の値よりも低くなっていた。無窒素区は毎年上昇し、7~8 作後の 1979 年には有機物施用区と総合改善区の値に追いついていた。その後も化学肥料単用区を除く 3 区の値は振れながらも上昇を続け、22~24 作経過した 1986 年あたりからやや低下する傾向がみられた。

1 ha 当たりカリ成分量で 130 kg とキャベツやダイコンの東京都施肥基準量の約 65% 量で実験を行ったが、化学肥料単用区のように、堆肥の施用がない場合には土壌中の含量が低くなり過ぎるため、不足していたと考えられた。しかし土壌中のカリ含量が低くても一定の収穫量を維持しており、また農家による通常の栽培では、全く堆肥類を施用しないことはほとんどないため、今後カリの施肥基準量自体を見直す必要もあると考えられた。

また堆肥を施用した区では、直接的な害はみられないが、徐々に土壌中のカリ含量が増加していた。これまで堆肥中の成分量を見逃しがちであったが、今後は土壌への負荷や生産環境への問題からも、堆肥を併用する場合には、特に蓄積しやすく、かつ過剰に存在するとマグネシウム吸収と拮抗を起こす恐れのあるカリの含有量にも配慮する必要があると判断された。

5) T-C および T-N T-C は試験開始時では 48~50 g/kg 程度であったが、有機物施用区と総合改善区では、振れをみせながらも徐々に増加し、21 年経過後（実験最終年）では、60 g/kg 程度までになっており、およそ 10 g/kg 分が増加していた。土壌中の T-C が増加するということは、土壌の緩衝能や保肥力にも関与する土壌有機物や土壌腐植の増加を意味しており、T-C の増加は土壌改良において目標とする項目のひとつであるとともに、土壌をより良好な状態にする上でも重要な役割を果たしている。黒ボク土は比較的土壌有機物や T-C は多い土壌であるが、そのような土壌に属する供試土壌においても

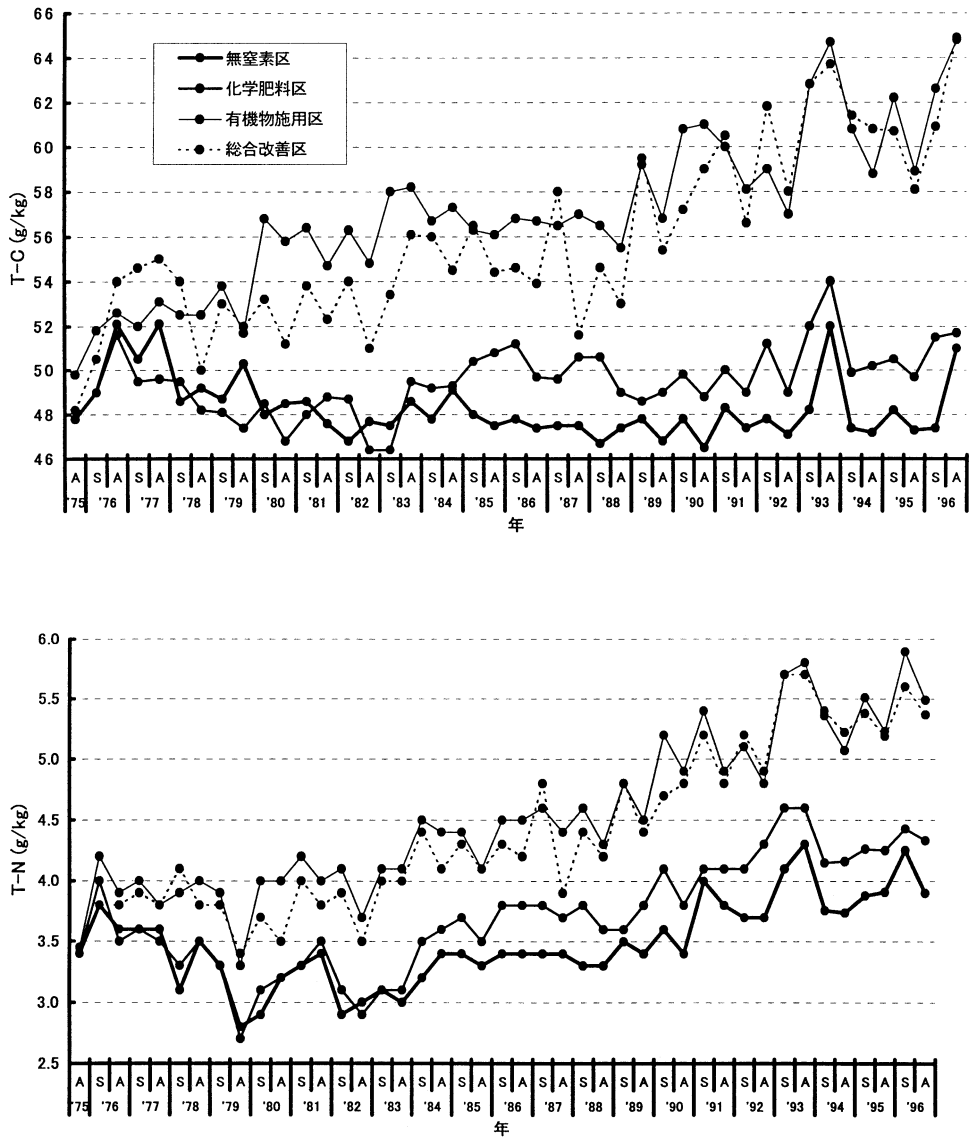
風乾土あたりで 50 g/kg ほどしか T-C は含まれていない。これを 10 g/kg 上昇させることは簡単なことではなく、T-C だけについての増加率の 20% という数字は、きわめて高いものであると考えられた。言い換えれば、黒ボク土において土壌中の T-C を 10 g/kg 高めるためには、乾物換算で 15 t/ha の牛ふん堆肥を 20 年間にわたって施用し続ける必要があることが認められた。実際には水分を 50~55% 程度含む堆肥を利用しており、別の表現では毎年 30 t/ha 以上が必要になると考えられた。

熔リンを施用した総合改善区は有機物施用区よりやや低い値を推移しており、T-C の増加には寄与していないことが認められた（第 7 図）。無窒素区は開始直後わずかな上昇もみられたが、その後は植物体残さなどの供給も他の区に比べて少なく、低下傾向にあった。化学肥料単用区では一度低下していたものの、根などの残さなどからの供給も多少あり、16~18 作経過後の 1983 年あたりからわずかに増加の傾向がみられた。しかし 21 年経過後でも、試験開始時と比較して T-C はほとんど変わらない値であった。

T-N も T-C と似た傾向を示していた（第 7 図）。試験開始時ではどの区も 3.5 g/kg 程度の含有量であったが、堆肥の施用で振れながらも徐々に増加し、21 年経過後の 1996 年では、5.5 g/kg 程度までになっており、およそ 2 g/kg 分が増加していた。この値は、1 ha あたりで試算すると（試験区における実際の耕耘深度である 15 cm、および試験区の実測仮比重値の 1、実測体積含水率の約 0.35 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> として）約 2,000 kg の窒素分となっていた。通常の施肥基準値では、1 ha あたりで一年に窒素成分 200~250 kg の施用で十分栽培ができることを考えると、非常に多くの量と考えられた。T-N だけについていえば、毎年乾物換算で 15 t/ha の牛ふん堆肥の施用を今後も続ける場合には、化学肥料による窒素施用量を減らしていく必要があると考えられた。

熔リンを施用した総合改善区は有機物施用区よりやや低い値を推移しており、T-C 同様 T-N の増加にも寄与していないことが認められた。無窒素区では窒素肥料の施用がないため、開始直後から低下傾向にあった。しかし 24~26 作経過後の 1988 年頃から増加傾向に転じてきた。これは植物根などの作物残さによる影響が出ていたと考えられた。データでは示さなかったが、無窒素区の作物は多くの養分を吸収するために根を伸ばしており、他の 3 区ほどではないにしても、収穫後には多くの根が残ることが確認された。このことが一因となって、化学肥料区と大差ない T-N 値になったと推察された。

化学肥料単用区でも試験開始直後から低下傾向を示し、16 作目の 1983 年頃までは無窒素区とほとんど同じ

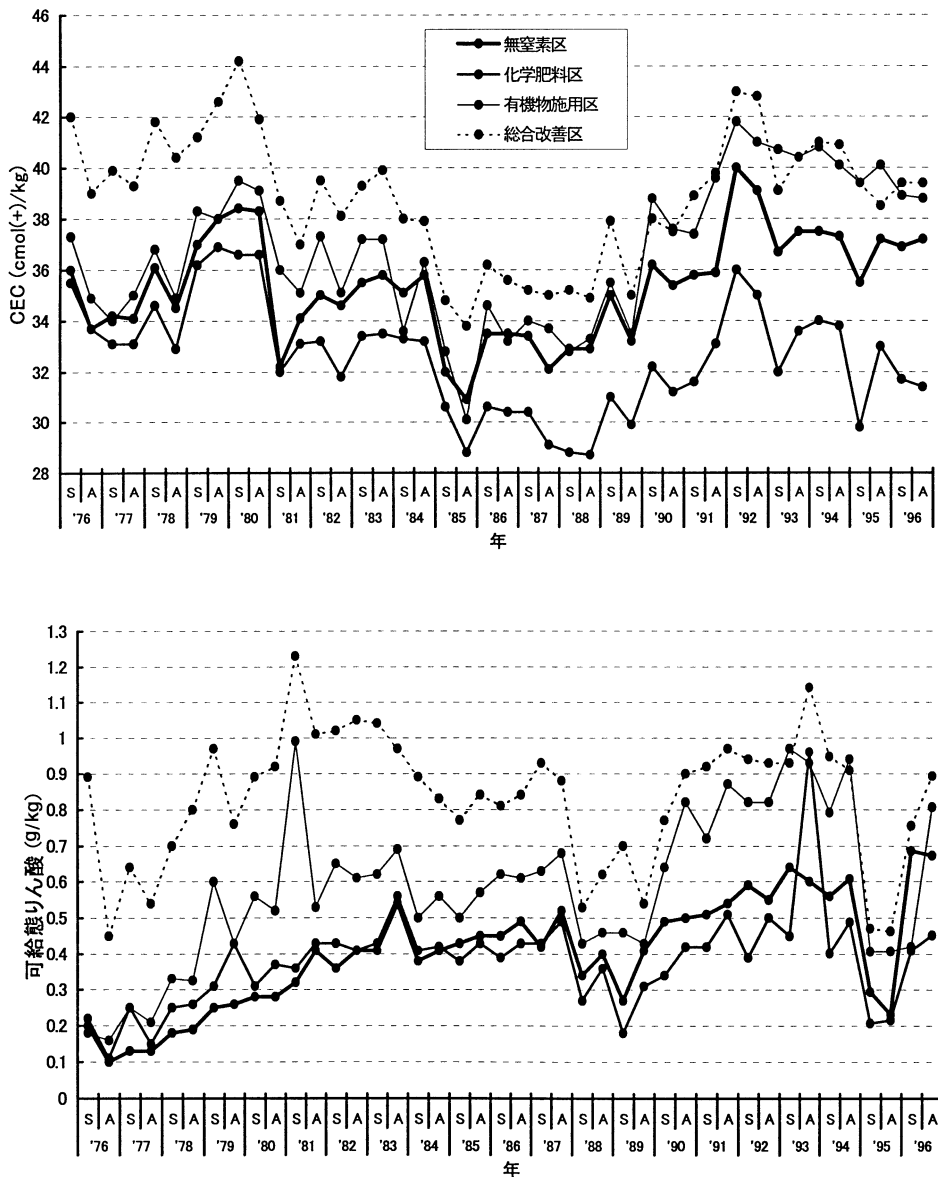


第7図 土壌中の全炭素と全窒素の変化  
Fig. 7 Change in T-C and T-N of soil.

動きをしていた。16～18作経過後あたりから増加の傾向がみられ、無窒素区よりも上がり方が大きく、その差は大きくなった。両区とも試験開始時と比較して21年経過後の1996年でも、T-Nはわずかに増えた程度であった。

6) 可給態リン酸およびCEC 可給態リン酸は、試験開始直後の跡地土壌では、熔リンの施用により総合改善区がやや高めであったが、それ以外の3区は低い値であった(第8図)。総合改善区は約10～12作を経過する

1980年あたりまで上昇し続けたが、その後は低下傾向を示した。有機物施用区は試験開始後、異常気象年に一時的に含有量が低下したが、ほぼ一貫して上昇を続け、試験開始から24～26作経過後の1987年頃には総合改善区と大差がなくなっていた。その時点あたりで熔リン施用による可給態リン酸増加の効果が消滅したことをうかがわせた。21年間にわたって堆肥を連用した場合、特に過剰というほどではないにしても、土壌中の可給態リン酸含有量が試験開始時の4～5倍( $P_2O_5$ で約1g/kg・乾



第 8 図 土壤中の CEC と可給態リン酸の変化

Fig. 8 Change in CEC and available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> content of soil.

土)に増加していたので、さらに長期的に堆肥施用を続ける場合は、堆肥中に含まれるリン酸分にも考慮する必要があると考えられた。無窒素区と化学肥料単用区の可給態リン酸はほとんど同じような動きをみせ、年々徐々に増加する傾向にあった。リン酸施用量は両区とも同量であるが、収穫量は大きく異なっていたので、無窒素区が大きく上昇すると想定できたが、実際は両区間に大きな開きはなかった。この理由は作物によるリン酸吸収

の絶対量が他の多量要素に比べて比較的小さかった(データ省略)ことや、試験を実施した圃場土壌のリン酸吸収係数が1,800~2,000と高い値であったため施用したリン酸分の大半が土壤に吸着されること、そして根などから分泌される有機酸などによって、リン酸分が溶け出しやすくなるが、無窒素区では根の生長量が小さく有機酸の分泌も少なかったと推察されたこと、などが影響していたと考えられた。

CEC は試験開始直後の跡地土壌では、総合改善区が高かったが、それ以外の 3 区は低い値であった (第 8 図)。これは試験開始直前に施用した熔リンの影響であると考えられた。CEC の経時的な変化は土壌中の可給態リン酸と似た傾向を示していた。総合改善区では熔リンから供給される可給態リン酸が開始から約 8~10 作経過後の 1980 年頃までは十分にあって上昇していたが、その後は低下していた。このとき総合改善区の CEC も開始から約 8 作経過後の 1979 年までは上昇し続けたが、その後は低下傾向を示した。これはリン酸のもつ負電荷と CEC が連動し、土壌中の可給態リン酸の増加中は CEC も増加し、可給態リン酸が減少した場合はそれに伴って低下したことが考えられた。それ以外の 3 つの区も 7~8 作目の 1979 年までは同じような傾向で上昇し、その後は有機物施用区が緩やかな低下傾向を示し、無窒素区と化学肥料単用区は急激な低下を示した。この時点で有機物施用区と総合改善区と大差がなくなっていた。堆肥からの可給態リン酸の供給量が徐々に増加したこと、有機物をもつ CEC の高さ由来すると考えられた。無窒素区も一度低下した後少しずつ上昇し、有機物施用区とはほぼ同じような値になってからは有機物施用区よりやや低い値で似た動きをしていた。化学肥料単用区だけは低下が著しく、他の 3 区の間と徐々に差が広がっていった。化学肥料の施用だけでは高い CEC を維持することが難しいことを示していた。21 年経過後には堆肥を施用した 2 つの区が高く、試験開始時の 10% 程度高くなっており、次いで無窒素区が高く、開始時より数%程度上昇していた。化学肥料単用区はもっとも低く、試験開始時よりも低い値になっていた。可給態リン酸や T-C と全ての変動が必ずしも一致したわけではなかったが、CEC の変化の仕方は、堆肥施用やリン酸施用の影響を受けていたと考えられた。以上より肥力を上げるためには堆肥やリン酸の施用が必要であることが認められた。

## 摘 要

本実験は腐植質黒ボク土畑において、牛ふんバーク堆肥を長年にわたって連用した場合、土壌の理化学性や園芸作物の生育・収量などに与える影響について検討し、黒ボク土野菜畑土壌における今後の土壌診断および土壌負荷の小さい施肥基準などの基礎資料とするために調査したものである。

1. キャベツおよびダイコンの収量は、その年の気象条件に左右され、変動していた。
2. 化学肥料単用区だけを見ても、21 年間の最高収量と最低収量は、キャベツ結球部で約 2 倍、ダイコン根部

で 3 倍以上の開きがあった。

3. 堆肥施用の効果は、キャベツの 1 作めではみられなかったが、その後は 10 数%から 30 数%の増収として現れた。しかし堆肥の長年にわたって施用し続けても、化学肥料単用区との差が大きく開くことはなかった。この傾向はダイコンの根部でもみられた。

4. 土壌中に一定量のリン酸が含まれていれば、黒ボク土であってもリン酸増施の効果は、顕著に認められなかった。

5. 土壌の物理性では、堆肥を施用した区と施用しない区で液相率や気相率の差が広がる傾向にあった。

6. 塩基類は各区同量施用しても、作物の生育がよく、塩基類の吸収がよく、しかも堆肥の供給がない化学肥料区で減少が激しく、生育の悪い無窒素区では徐々に蓄積していた。

7. CEC は堆肥と熔リンの施用で高まっていた。無窒素区でもリン酸の増加により CEC が高くなっていった。

8. T-C や T-N は、毎年乾物換算で 15 t/ha ずつの堆肥施用で変動しながらも上昇していた。

## 引用文献

- 土壌保全調査事業全国協議会 (1991) : 日本の耕地土壌の実態と対策, p. 36-55, 博友社, 東京。
- 東 俊雄 (1986) : 有機炭素, 土壌標準分析・測定法委員会編 土壌標準分析・測定法, p. 77-85, 博友社, 東京。
- 藤沼善亮・木下 彰 (1970) : 塩類濃度. 土壌養分測定法委員会編 土壌養分分析法, p. 45-52, 養賢堂, 東京。
- 岩田進午 (1972) : 土壌水分. 土壌物理性測定法委員会編 土壌物理性測定法, 47-52, 養賢堂, 東京。
- 鎌田春海 (1986) : 陽イオン交換容量. 土壌標準分析・測定法委員会編 土壌標準分析・測定法, p. 150-154, 博友社, 東京。
- 金森哲夫 (2000) : 国公立試験研究機関における有機物・肥料等の長期連用試験の現状について, 土肥誌, 71 : 286-293。
- 加藤哲郎・長谷川 功・米田和夫 (2000) : 長期間にわたる有機物施用およびロータリー耕耘の有無が作土の理化学性並びに作物収量に及ぼす影響, 土壌の物理性, 83 : 29-40。
- 加藤哲郎・米田和夫 (2000) : 黒ボク土における作土層の深さが作物収量と土壌の理化学性に及ぼす影響, 土壌の物理性, 印刷中。
- 蔵本正義・小菅伸郎・高橋和司 (1970 a) : 塩基置換容

- 量・全置換性塩基・塩基飽和度。土壤養分測定法委員会編 土壤養分分析法, p. 33-44, 養賢堂, 東京。
- 蔵本正義・小菅伸郎・高橋和司 (1970 b) : カルシウム・マグネシウム。土壤養分測定法委員会編 土壤養分分析法, p. 281-296, 養賢堂, 東京。
- 松田幹男・堀江正樹・本田勝雄・志村英二 (1980) : 畑輪作に関する研究 (第 11 報)。42 年間にわたる連・輪作方式における畑作物収量の推移について, 日作紀, **49** : 548-558。
- 松下利定・中村伴蔵・小松憲一・鎌田喜孝 (1979) : 火山灰畑土壌における有機質・無機質肥料連用に関する研究—とうもろこしの生育・収量ならびに土壌の理化学性におよぼす影響について—, 長野県農総試中信地方試報告, **1** : 198-207。
- 松下利定・中村伴蔵・小松憲一・鎌田喜孝・長谷川徹 (1989) : 火山灰畑土壌における有機質・無機質肥料連用に関する研究 (第 2 報)。各種野菜の生育・収量におよぼす影響, 長野県中信農試報告, **7** : 67-91。
- 三須 昇・宮里 恵 (1970) : カリウム。土壤養分測定法委員会編 土壤養分分析法, p. 258-264, 養賢堂, 東京。
- 森 信行・嶋田永生 (1970) : 酸度。土壤養分測定法委員会編 土壤養分分析法, p. 29-32, 養賢堂, 東京。
- 農林水産技術会議事務局 (1977) : 火山灰土における堆肥及び厩肥の長期連用効果に関する研究。研究成果, **95** : 142。
- 関谷宏三 (1970) : りん酸の比色定量法。土壤養分測定法委員会編 土壤養分分析法, p. 225-229, 養賢堂, 東京。
- 田辺市郎・蘭 道生 (1970) : 炭素窒素同時分析法。土壤養分測定法委土壤養分測定法委員会編。土壤養分分析法, p. 139-147, 養賢堂, 東京。
- 丹原一寛・美園 繁 (1972a) : 実容積法。土壤物理性測定法委員会編 土壤物理性測定法, p. 1-24, 養賢堂, 東京。
- 丹原一寛・美園 繁 (1972b) : 土壌 3 相。土壤物理性測定法委員会編 土壤物理性測定法, p. 24-42, 養賢堂, 東京。
- 寺沢四郎 (1972) : 保水性。土壤物理性測定法委員会編 土壤物理性測定法, p. 134-159, 養賢堂, 東京。
- 東京都農業試験場 (1978) : 東京都農耕地土壌の基本的性格と生産力特性, 地力保全基本調査総合成績書。p. 1-32, p. 215-302, p. 302-310, 東京。
- 東京都農業試験場 (1977-1997) : 基準点調査。土壤保全対策事業調査成績抄録, 東京。
- 東京都労働経済局農林水産部編 (1997) : 農林水産業の概要。p. 10-17, 東京。
- 上沢正志 (1991) : 化学肥料・有機物の連用が土壌・作物収量に与える影響の全国的解析, 農業技術, **46** : 393-397。
- 山添文雄・越野正義・藤井国博・三輪睿太郎 (1973) : 詳解肥料分析法, p. 39-43, 養賢堂, 東京。
- 横井 肇 (1972) : 土壌の固相。土壤物理性測定法委員会編 土壤物理性測定法, p. 42-47, 養賢堂, 東京。

受稿年月日: 2000 年 5 月 15 日

受理年月日: 2000 年 10 月 23 日

# 土壌断面に現れる堆積履歴，人為履歴について

—美唄湿原地帯の土壌物理性（I）—

井本博美\*・宮崎 毅\*・西村 拓\*\*・中野政詩\*\*\*

## Features of Soil Physical Profiles Generated by Accumulation Processes and Anthropogenic Effects

—Soil Physical Properties of Bibai Peat Land (I)—

Hiromi IMOTO\*, Tsuyoshi MIYAZAKI\*, Taku NISHIMURA\*\* and Masashi NAKANO\*\*\*

\* Graduate School of Agricultural and Life sciences, The University of Tokyo

\*\* Graduate School of Agricultural Science, Tokyo University of Agriculture and Technology

\*\*\* Faculty of Agriculture, Kobe University

### Abstract

Anthropogenic effects on peat soils were investigated by comparing the physical properties of soils taken from undisturbed natural moss field, adjacent rice fields, adjacent upland fields and adjacent windbreak areas in Bibai, Hokkaido Japan. Following the soil profile observations, in situ water contents, bulk densities, particle densities, ignition losses, and shrinkage index were examined in the laboratory.

In lowmoor peat areas, the upland fields were relatively dry and the shrinkage indexes were relatively high. Both in lowmoor and transitional moor peat areas, the bulk densities of surface soils in rice fields and upland fields were very high due to the efforts of soil dressing continued up to now. In the highmoor peat area, in situ water contents were as high as 1,000 to 1,500% but the ignition losses were not necessary higher than transitional moor. Against our expectation, the shrinkage degrees versus water contents of highmoor were lower than those of lowmoor.

**Key word** : peat, wet land, soil profile, physical properties, shrinkage parameter

## 1. はじめに

北海道美唄地区を対象とした研究として、古くは浦上ら（1937）が泥炭地の特性とそれを活かした農業への利用を提起し、近年では粕渕ら（1995）、宮地ら（1995）が美唄湿原の保全、泥炭地の地盤沈下について示唆に富んだ報告を行い、塩沢ら（1995）は美唄湿原中の地下水面形成メカニズムの解析に成功している。一方、北海道全域における泥炭研究の蓄積は厚く、たとえば梅田ら（1995）は泥炭地湿原の保全対策を強く訴える研究、柳原

（1994）、石渡（1999）は客土層の土層改良に着目した研究を行っている。

しかし、美唄泥炭地のように、高位、中間、低位泥炭層の堆積履歴と、人間による営農活動や土地改良事業のような人為履歴とが混然としている地域における土壌断面とその物理性の特徴を総合的に比較する検討は、これまでのところ十分にはなされていない。それは、人為履歴が自然景観を変貌させているために、地上からの泥炭区分が困難であったためと思われる。

そこで本研究では、過去の客土記録などを参照し、高

\* 東京大学大学院農学生命科学研究科 〒113-8657 文京区弥生 1-1-1

\*\* 東京農工大学大学院農学研究科 〒183-8509 府中市幸町 3-5-8

\*\*\* 神戸大学農学部 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1

キーワード：泥炭土，湿原，土壌断面，物理性，収縮定数

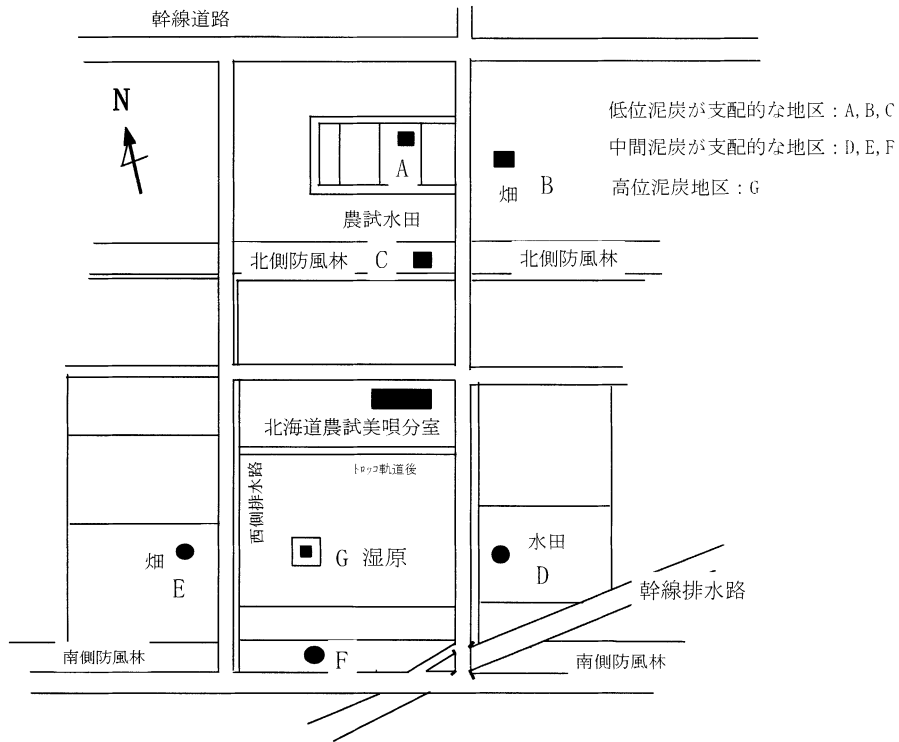


図-1 調査地及びサンプリング位置

Fig. 1 Sampling places

位、中間、低位泥炭の区分に注意しながら、人為的な水田、畑、防風林などの土地利用形態による影響が累積している地点を選び、その土壤断面を観察したうえで、試料を採取してその物理性を調べ、自然の堆積履歴と人間活動の人為履歴とが、土壌物理性においてどのように現れているかを評価することとした。尚、比較のため人為的影響を受けることなくミズゴケ湿原として保護されている北海道農業試験場美唄分室管理区域の高位泥炭断面とその物理性も調べた。

## 2. 調査及び、サンプリング

### 2.1 調査地

図1に調査地の概要を示す。北海道美唄市にある北海道農業試験場美唄分室所有の湿原（以下、湿原）、及びその周辺の水田、畑地、防風林を調査対象とした。調査は1993年～1994年の9月、10月に行った。人為履歴を比較するために、土地利用が水田中心である地点、畑中心である地点、営農的表土攪乱を受けない防風林内地点、全く人為的攪乱を受けていないミズゴケ湿原地点の4者を選んだ。すなわち、水田（地点A、D）、畑（地点B、

表-1 泥炭地区及び耕地、未耕地の分類

Table 1 Grouping of peat land area and cultivated land, uncultivated land

	耕作地		未耕地
低位泥炭が支配的な地区	水田(A)	畑(B)	防風林(C)
中位泥炭が支配的な地区	水田(D)	畑(E)	防風林(F)
高位泥炭地区			湿原(G)

E)、防風林（地点C、F）およびミズゴケ湿原（地点G）である。一方、泥炭の堆積履歴を比較するために、主として低位泥炭層が厚く堆積する地区、主として中間泥炭層が厚く堆積する地区、主として高位泥炭層が厚く堆積する地区をそれぞれ低位泥炭地区、中間泥炭地区、高位泥炭地区と呼ぶことにした。これらの泥炭区分は、大羽ら（1988）と浦上ら（1937）の分類法によるものであり、植物遺体のヨシ、スゲを中心としたハンノキ、ヤチダモの埋木のある泥炭を低位泥炭、ワタスゲ、ツルコケモモを中心とする泥炭を中間泥炭、ミズゴケを主とした泥炭を高位泥炭とした。人為履歴による調査サンプリング地点の分類を表1に示した。

## 2.2 サンプリング

耕作地 (A, B, D, E) については表土が客土であるため、通常のシンウォールサンプラー、100 cc サンプラー等で採土をおこなった。下層の泥炭層を採土するとき、サンプラーの圧入時に試料の圧縮、破壊が生じるので、粕淵 (1995)、井本ら (1999) の方法に準じて、牛刀、鋸等を使用し 15~20 cm 角のブロック状で切り取った。この試料は、食品用のポリエチレンラップで 2~3 重に包み蒸発を防止した。また、形状の崩れるのを防ぐために試料片面に板をあてがい、厚手のビニル袋に入れ、試料の形に合わせガムテープで試料が壊れないように固定した。固定試料は、プラスチック製容器に梱包し実験室へ輸送、低温室にて保存した。

未耕地の防風林 (C, F) については、客土がないことから、表層より牛刀、鋸等で 20 cm 角のブロック試料を耕作地の客土層下の泥炭と同様な方法でサンプリングした。

湿原のサンプリングは、地下水が高いことと、試料を切り取った時に膨張することを考慮し、10×20 cm 深さ 10 cm のステンレス容器のサイズに合わせて切り、膨らみを押さえながら容器に入れた。採取後、作業中の排水に伴って試料の収縮、変形が懸念されたので、水を加え蓋をし、プラスチック製容器に密封梱包し実験室へ輸送、低温室にて保存した。

## 3. 各種の物理性の測定方法

泥炭土壌の測定は、地盤工学会の土質試験の方法と解説 (1990)、農業土木学会泥炭地開発委員会の報告 (1937)、土壌物理環境測定法 (1995) に準じた。含水比測定のための乾燥炉の温度は、推奨されている温度範囲 70~110°C (土質試験の方法と解説 1990) を参考として 100°C とした。その他の物理性測定は、各項目毎に以下のように行った。

自然含水比：表層より 10 cm 毎に攪乱採土した試料を炉乾燥法により測定した。

乾燥密度：客土の試料はサンプラー試料、泥炭土層の試料はブロック試料にて、それぞれ体積と乾燥質量を測定した。

真比重：通常は風乾試料をすりつぶして行うが、繊維性有機物を含む泥炭試料は風乾させると撥水性をもち、水に浮きやすく、脱気が十分行えない等で測定が困難になる。そこで、試料の生土をそのまま使用し 100 ml のピクノメータ内に丁寧に押し入れ、水で十分浸しピクノメータ法で測定した。

強熱減量：試料は 100°C で乾燥した試料を使用し、電気マッフル炉にて 800°C、5 時間加熱後測定した。

収縮定数：土質試験の方法と解説 (1990) に準じ、試料を 3~5 cm 立方体に整形し、一夜水で飽和後、金網の上に静置し 20°C 一定の恒温室内で測定した。

## 4. 測定結果および考察

### 4.1 土壌断面に見られる堆積履歴と人為履歴

一般に、泥炭地の土壌断面では、下層に粘土層を有し、順次上方へ向かって低位泥炭、中間泥炭、高位泥炭が堆積する。実際、人為的攪乱の少ない防風林 (C, F) では、このような典型的な堆積が見られたが、客土を有する耕作地では、上層に存在していたと思われる高位、中間泥炭が、水田 (D) を除き、消失していた。なお、本調査地では、堆積履歴の指標となりうる火山灰の薄い層がしばしば観察されたが、明確な指標として使用するにはかなり曖昧な形態であった。一方、湿原は表層部にミズゴケが繁茂し、その下方に最大 200 cm 程度の高位泥炭層がみられ、さらにその下方には中間、低位泥炭層と粘土層が存在することが知られている (宮地ら 1995)。

堆積履歴で特徴的な現象は、従来から知られているように、低位泥炭には未分解の埋木が多いことであった。また、粘土層の現れる深さとそこに堆積している泥炭層との関係は、粘土層が浅ければ低位泥炭が支配的で、粘土層の出現が深くなるにつれて中間泥炭、高位泥炭の層が厚くなることが考えられる。

人為履歴で特徴的な現象は、客土の厚さである。すなわち、水田や畑では、中間泥炭地区における客土の方が低位泥炭地区における客土よりも厚いことが確認された。これは、中間泥炭の方が、地盤が沈下し易く (神山ら 1995)、その分客土量を多く必要とした結果ではないかと考えられる。なお、水田と畑の客土厚さには特に違いは見られなかった。また、防風林の断面を見ると、粘土層がかなり浅く出るところでも低位泥炭の上に薄い高位、中間泥炭が形成されているが、低位泥炭地区の水田と畑では、人為履歴によってこれらの高位、中間泥炭が消滅したことが推察された。

### 4.2 自然含水比分布

自然含水比を図 3 に示す。人為履歴として注目される現象は、高位、中間、低位でも水田と畑とでは同一測定時の含水比が著しく異なることである。すなわち、図 3 (a) の低位泥炭地区では、長期間の水田 (A) と田畑転換後 17 年間の畑 (B) として土地利用が行われてきた。そのため含水比の差が歴然としており、畑の心土である泥炭層の乾燥が著しい。これに対し、図 3 (b) の中間泥炭地区の水田 (D)、畑 (E) を見ると、それほど大きな差は見られない。図 3 (a) と (b) の田畑転換は同時期に行われたと考えられる (宮地ら 1995) ので、心土として泥炭





図-2 美唄泥炭地土層断面図

Fig. 2 Soil profiles of the Bibai peat land

層の乾燥については、低位泥炭に比べて中間泥炭の人為履歴の影響が小さいと考えられる。

図 3 (b) の高位泥炭地区の湿原では地下水位が-10 cm で、1,000% 以上の高含水比である。ただし、深さ 17.5 cm 位深に火山灰が存在するため、深さ 20 cm~25 cm の泥炭土の含水比がやや低い。

4.3 乾燥密度分布

図 4 に低位泥炭地区及び中間泥炭地区の乾燥密度分布を示す。表土の客土部を除き、全体には土地利用が異なってもそれぞれの乾燥密度の差が小さい。データを注意深く見ると、低位泥炭地区、中間泥炭地区とも畑地の乾燥密度がやや大きい。その土地の耕作履歴の影響と考えられる。

4.4 真比重分布

図 5 に真比重分布を示す。真比重分布に見られる顕著な特徴は、(a) の低位泥炭が支配的な地区では表層部で客土の混入、深部では埋木などの影響と粘土の混入による影響で値のばらつきが 1.3~2.3 と大きい。(b) の中間、高位泥炭が支配的な地区では表土を除いて約 1.5 でばら

つきが非常に小さい。これは、既往の報告で言われている泥炭土の真比重(約 1.5 前後)(粕淵ら 1994)と一致している。

4.5 強熱減量分布

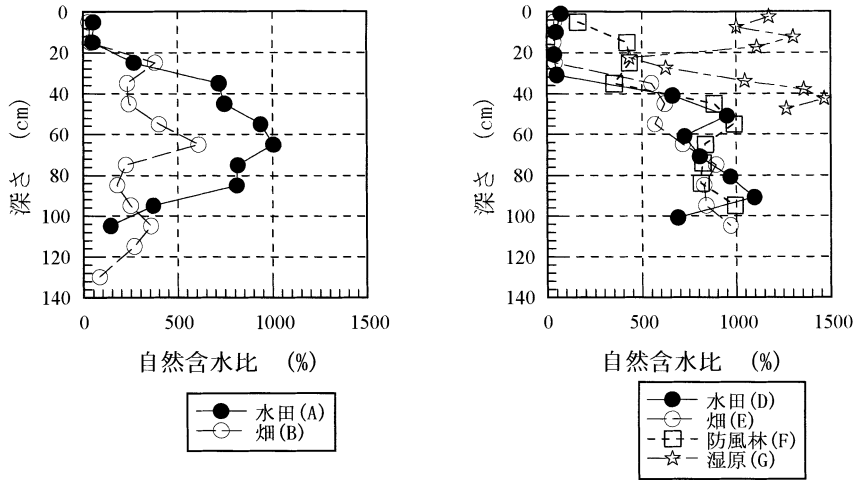
強熱減量分布を図 6 に示す。客土層は、10-16% と小さい値で、通常の土壌(6-20%)とほぼ同程度の測定値であった。

図 6 (a) の低位泥炭地区の水田 (A), 畑 (B) では、畑地の方が小さい値であった。畑地利用による泥炭層の乾燥化が有機物損失を早めた結果と考えられる。図 6 (b) の中間泥炭と高位泥炭の強熱減量は共に 95% 以上であり、中間泥炭の畑地利用では低位泥炭に比べて有機物分解の速度が遅いと考えられる。

4.6 収縮曲線

体積収縮率は試料の炉乾燥後の体積と乾燥過程の湿潤時における体積の比で表示した。線収縮率は、立方体試料の陵の長さを乾燥後と乾燥過程の長さの比で表示した。

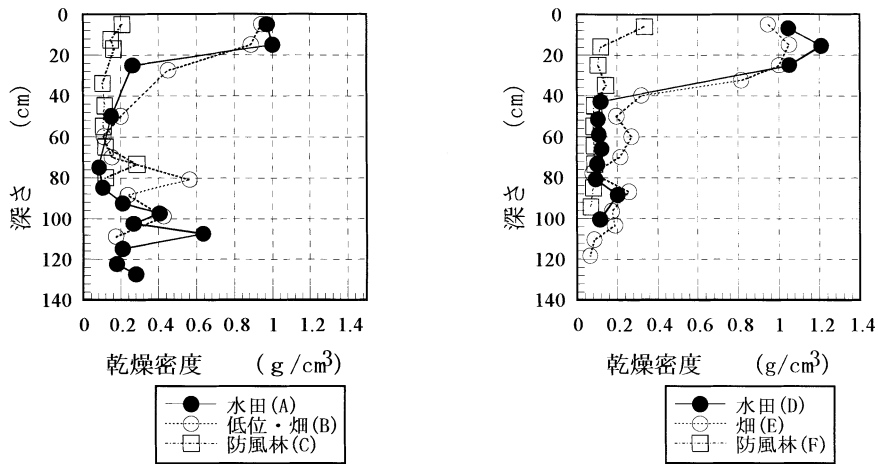
図 7 に低位泥炭と高位泥炭の収縮曲線を示す。高位泥



(a) 低位泥炭が支配的な地区 (b) 中間・高位泥炭が支配的な地区

図-3 自然含水比分布

Fig. 3 Water content distributions of fen peat transition peat, and high-moor peat area



(a) 低位泥炭が支配的な地区 (b) 中間泥炭が支配的な地区

図-4 乾燥密度分布

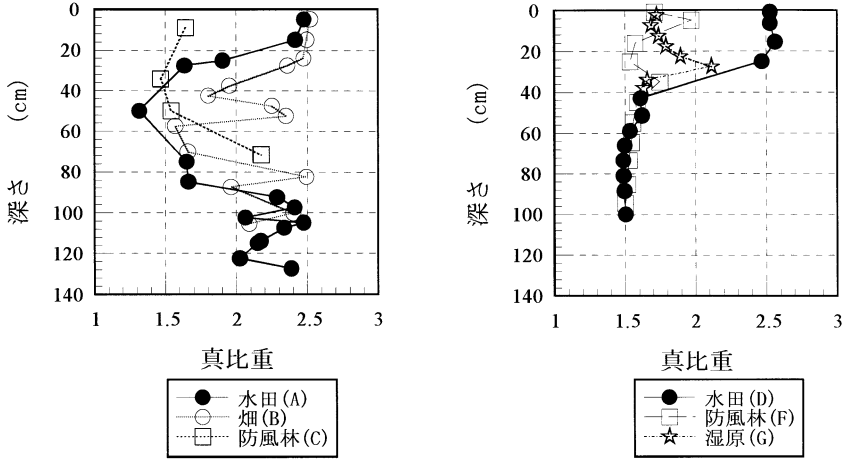
Fig. 4 Bulk density of fen peat and transition peat area

炭の収縮率は表層部が約 25% で，下層部はこれより大きいことが示され，笹田ら (1996) の福島県における高位泥炭の収縮挙動と一致した。

図 7 に見られるもう一つの特徴は，予想に反し，湿原の高位泥炭より低位泥炭の収縮率の方が著しく大きい。特に表層部 (0~5 cm) のミズゴケの収縮率が小さいことである。ミズゴケの繊維は，含水比の減少によっても

ある程度の骨格強度を維持でき，表層部は特に生きたミズゴケであることにより骨格強度が大きいと考えられ，安曇ら (1999) の考察と一致した。これに対し，低位泥炭は，ほとんど骨格強度を持たないほど分解が進んでいて，含水比低下によって全体がつぶれる構造を持つと考えられる。

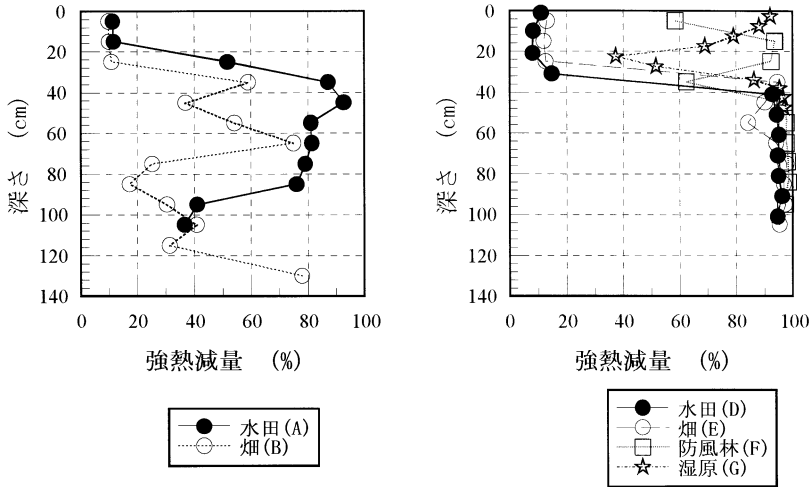
従来，泥炭地の地盤沈下について，① 高位泥炭や中間



(a) 低位泥炭が支配的な地区 (b) 中間・高位泥炭が支配的な地区

図-5 真比重分布

Fig. 5 Specific gravity distributions of fen peat, transition peat and high-moor peat area



(a) 低位泥炭が支配的な地区 (b) 中間・高位泥炭が支配的な炭地区

図-6 強熱減量分布

Fig. 6 Ignition loss distributions of fen peat, transition peat, and high-moor area

泥炭の乾燥化による地盤沈下量が低位泥炭より大きい(神山ら1995)こと, ②地盤沈下は乾燥収縮と有機物分解による泥炭の消失との和によって現れる(宮地ら1995)ことが報告されている。図7の結果とこれらの知見を総合すると, 乾燥による急速な沈下は低位泥炭において生じやすく, 有機物分解を含めた長期的な沈下は中間泥炭や高位泥炭で著しく現れると予測される。

### 5. おわりに

堆積履歴が低位泥炭, 中間泥炭, 高位泥炭として明瞭に判別でき, なおかつ人間の土地利用履歴の調査が可能な対象地として, 北海道美唄湿原とその周辺地区を選定し, 土壌断面観察と土壌物理性測定に基づく比較検討を行った。その結果, 以下のことが明らかとなった。

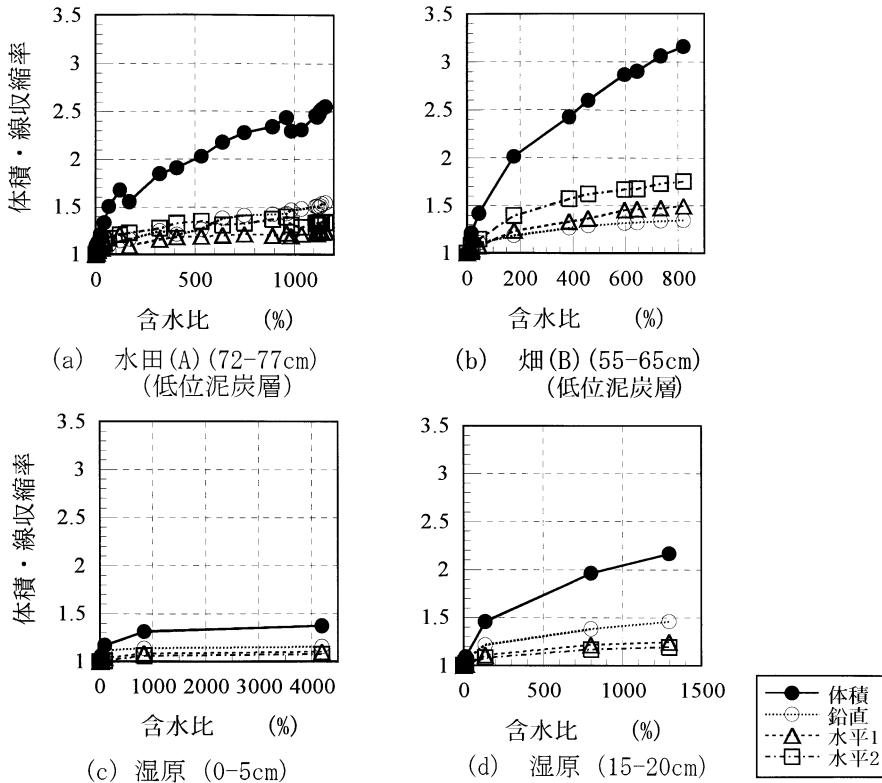


図-7 低位泥炭（水田（A）・畑（B））と高位泥炭（湿原）の収縮曲線

Fig. 7 Shrinkage curve of fen peat and high-moor peat

1) 低位泥炭には未分解の埋木が多いこと，粘土層が地表近くに出現する地点では低位泥炭が支配的，粘土層の出現が深い地点では低位泥炭の上に中間泥炭，高位泥炭の層が発達することなど，従来知られている泥炭の堆積履歴が明瞭に判別できた。

2) 水田，畑とも，中間泥炭地区における客土の方が低位泥炭地区における客土よりも厚く，従来の知見（中間泥炭の方が，地盤が沈下し易い）と一致した。しかし，低位泥炭の収縮は主に含水比減少に伴うもので，急速な地盤沈下の原因となること，中間泥炭や高位泥炭の収縮は有機物分解の役割が大きく，長期的な地盤沈下の原因となることが示された。

3) 畑地の客土が水田の客土より厚いと予測したが，両者に特別の違いは見られず，畑地だから地盤沈下が激しいと判定する根拠は得られなかった。

4) 防風林の断面を見ると，粘土層がかなり浅く出るところでも低位泥炭の上に薄い高位，中間泥炭が形成されており，水田利用や畑作などの人為履歴によってこれらの高位，中間泥炭が消滅したと推察された。

## 謝 辞

本研究をすすめるにあたり，北海道農業試験場水田土壌管理室の伊藤純雄前室長，栗崎弘利前主任研究官，及び美唄分室職員の方々に，多大なご協力をいただいた。山形大学農学部 粕渕辰昭教授（上記研究室室長）には調査のきっかけを与えていただき，最初からご指導をいただいた。また，美唄市の本郷氏，大江氏，山下氏には，私有耕作地を快く調査させていただいた。東京大学大学院農学生命科学研究科環境地水学研究室の院生諸氏には，忍耐強い調査協力をいただいた。これらの方々に深く感謝申し上げます。

## 参 考 文 献

- 安積晃次郎・河野英一・石川重雄・笹田勝寛（1999）：  
高位泥炭の水分張力－水分関係と収縮・回復特性，  
土壤の物理性，81：23～33。  
石渡輝夫（1999）：農地造成・整備による土壤の物理性  
と微細構造の変化，土壤の物理性，81：61～69。

- 井本博美・宮崎 毅・中野政詩 (1999) : 泥炭土の不攪乱試料採取法と透水係数測定法の改良, 土壌の物理性 **81** : 55~59.
- 梅田安治・井上 京 (1995) : 北海道における泥炭地湿原の保全対策, 農土誌 **63** (3) : 249-254.
- 浦上啓太郎, 市村三郎 (1937) : 北海道農事試験場彙報, **61** : 137, 149~172.
- 大羽 裕・永塚鎮夫 (1988) : 土壌生成分類学, 養賢堂, 158~161.
- 土質試験の方法と解説 (1990) : 土質工学会, 447~495 : 132~144.
- 粕淵辰昭 (1995) : 泥炭の密度, 水分張力, 飽和透水係数のための試料の取り扱い, 土壌の物理性 **72** : 9~12.
- 粕淵辰昭・宮地直道・神山和則 (1995) : 美唄湿原の保全と周辺農用地の管理, 農土誌, **63** (3) : 19~24.
- 神山和則・宮地直道・大塚紘雄・粕淵辰昭 (1995) : 石狩泥炭地における農用地の地盤沈下予測に基づく持続的利用可能性評価の作成, 日本土壤肥科学雑誌, **66** : (5) 428~489.
- 笹田勝寛・河野英一・加藤 誠・石川重雄 (1996) : 赤井谷地高位泥炭地の保水と水移動, 土壌の物理性, **75** : 11~21.
- 塩沢 昌・粕淵辰昭・宮地直道・神山和則 (1995) : 一次元定常地下水流動モデルによる美唄湿原の地下水位分布の解析, 農土論集 **176** : 11-22.
- 宮地直道ら (1995) : 美唄泥炭地における地盤沈下, 日本土壤肥科学雑誌, **66** (5) : 465~473.
- 中野政詩・宮崎 毅・塩沢 昌・西村 拓 (1996) : 土壌環境物理測定法, 東京大学出版会 : 65~136.
- 土壌物理研究会編 (1981) : 土の物理学, 森北出版 98~106.
- 農業土木学会泥炭地開発研究委員会 (1969) : 泥炭土の試験方法について, 農業土木研究, **28** (5) : 1~21.
- 柳原哲司 (1994) : 泥炭地水田のケイ酸供給力に及ぼす客土の効果 : 土壌の物理性, **70** : 49~54.

受稿年月日 : 2000年10月5日

受理年月日 : 2001年2月15日

## 休耕田を活用した長期窒素除去試験

田淵俊雄\*・黒田久雄\*\*・志村もと子\*\*\*

### Experiment on the Nitrate Removal in the Flooded Paddy Field

Toshio TABUCHI\*, Hisao KURODA\*\* and Motoko SHIMURA\*\*\*

\* Former professor of The University of Tokyo

\*\* Faculty of Agriculture, Ibaraki University

\*\*\* Chugoku National Agricultural Experimental Station

#### Abstract

Recently nitrate outflow from the agricultural area became one of big problems in Japan. We continue the long term experiment on nitrate removal in the flooded paddy field from 1991. Experimental plots consist of four plots; weed plant, rice, non-plant and covered plot. In the non-plant plot any plant does not grow, but some of algae grow. In the covered plot, no algae grows due to the shield of the light. Natural water with high nitrate concentration about 20 mg L<sup>-1</sup> are supplied to each plot continuously. Nitrate is removed through the flow process in the plots by denitrification and the uptake by the plant. Average values of nitrate removal rate for 8 years are 0.30 gm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup> in a weed plot and 0.27 gm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup> in a rice and a non-plant plots. Nitrate removal rates gradually decreased in the first few years, but now they keep the ability of nitrate removal after 9 years. In order to clarify the influence of plant growth and algae on nitrate removal these data are examined by the nitrate removal equation as shown in eq. (2), which indicates the relation between the nitrate removal by denitrification (Ro) and nitrate concentration of water (X) and temperature (T).

**Key words** : Nitrate removal, Denitrification, Plant growth, Paddy field

#### 1. はじめに

近年農業地帯で硝酸態窒素濃度の高い水が検出されて大きな問題になっており、1999年には硝酸態窒素は環境基準の健康項目にも加えられた。その濃度が高いことは地下水や河川水の汚染になり、飲用水や農業用水などの利用に障害を与える。さらに流出先の湖沼や内湾の過栄養化の原因にもなる(田淵ら1998a)。

そのため流域からの窒素の排出を防ぐことが大きな課題になり、各地域とくに湖沼の流域で窒素負荷を減少させる努力が払われている。その中で生活系での下水道整備とともに農業地域での化学肥料や家畜ふん尿に起因する窒素の流出を抑制することが求められている。しかし

これらの排出は面積的にも広く、水量も膨大なのでその抑制は容易ではない。水田などの湛水土壌系を活用した窒素除去試験が各地で試みられ、かなりの除去能力があることが報告されている(田淵1998a)。

筆者らは水田での実態調査や室内実験から窒素除去量と濃度、水温、植生との関係を検討し(田淵ら1987, 1993)、さらに集水域でのモデル解析を試みて本誌に報告した(田淵1998b)。また1991年から休耕田に設けた試験区で窒素除去量の長期測定を行い、その持続性を追求してきた(田淵ら1993, 1996, 黒田ら2000)。本報ではその9年間におよぶ試験の長期的傾向について報告し、湛水土壌系での窒素除去について考察したい。

\* 元東京大学農学部教授

\*\* 茨城大学農学部 〒300-0393 茨城県稲敷郡阿見町中央 3-21-1

\*\*\* 農林水産省中国農業試験場 〒721-8514 広島県福山市西深津 6-12-1

キーワード: 窒素除去, 脱窒, 植生, 水田

## 2. 試験の概要

### 2.1 試験区

図-1のような長辺25m, 短辺1.4mの面積35m<sup>2</sup>の長方形の試験区を谷津田の谷頭部にある休耕田の中に5つ設けた。隣接する台地からの自然の湧水をパイプで各試験区に通年連続的に給水し湛水流下させている。1991年の試験開始以来、水をきらしたことはない。供給水量は15mLs<sup>-1</sup>で一定にしている。この水量は37mmd<sup>-1</sup>に相当する。谷津田なので地下水位が高く浸透は少ないが、試験区の外側にも湛水を保ち横浸透が少なくなるようにしている。1999年稲作期の平均減水深は7.7mmd<sup>-1</sup>であった。湧水の硝酸態窒素濃度は台地上に野菜畑があるために高く、約20mgL<sup>-1</sup>である。

試験区はⅠ雑草区、Ⅱ水稲区、Ⅲ予備区、Ⅳ遮光区、Ⅴ無植生区(藻類区)で構成されている。「雑草区」は雑草を生えるがままに放置した区で、夏には雑草は旺盛に生育し冬にはそのまま立ち枯れする。雑草の種類はアシ、セリ、ミソソバなどである。「水稲区」は稲を無肥料無農薬で移植栽培し、収穫する。刈った後の根株はそのまま残す。「無植生区」は植生を生育させないように雑草はすぐに除去して水面だけに保った区である。しかし藻が発生していて、その影響が大きいため「藻類区」ともいえる。それで比較のために無植生の状態であったⅣ区に1997年7月より遮光ネット(遮光率80%)をかぶせて藻類の発生を抑制し、「遮光区」とした。

以上5試験区の中で雑草区、水稲区、無植生区の3区が基本的な試験区であるので、本報ではその試験結果を比較対照して検討を行う。湛水土壤系での窒素除去は脱窒と植生吸収、土壤残留の3要素によって行われるとみられるが、上記3試験区は異なった特色をもつ(表-1)。すなわち「雑草区」は脱窒もあるが植生吸収も大きい。雑草は収穫されないので一部は分解されるが、かなりの分は残留するとみられる。分解により生じた窒素は再び水中に戻り、その後脱窒したり流出する。その特徴は植生吸収による残留にあり、残留型といえる。「水稲区」は脱窒のほかに水稲による吸収があり、それは収穫によって根株以外は系外に持ち出される。根株は残留するがほとんどが分解するとみられる。その特徴は収穫による持ち出しである。「無植生区」では脱窒のほかに藻類の吸収があるが、それは系内ですみやかに分解されて水中に戻り、脱窒や流出をする。残存は少ないとみられる。特徴は分解にある。「遮光区」は植生もなく、藻類の発生も抑制されているので脱窒だけによる除去である。したがって脱窒は各区で共通するものの、植生との関連の仕方は異なり、それぞれ「残留型」、「持出型」、「分解脱窒型」、

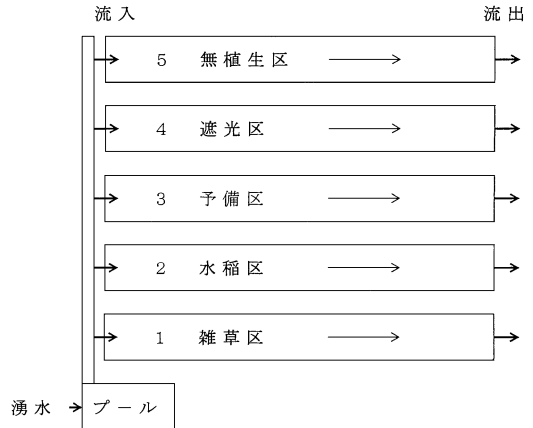


図-1 試験区平面図

Fig. 1 Experimental plots

表-1 試験区の特徴

Table 1 The features of each plot

区	窒素除去ルート	タイプ
雑草区	脱窒 + 植生吸収 (分解と残留)	残留型
水稲区	脱窒 + 水稲吸収 (収穫と分解・残留)	持出型
無植生区 (藻類区)	脱窒 + 藻類吸収 (分解と残留)	分解型
遮光区	脱窒	脱窒型

「脱窒型」といった特色をあげることができよう。そのことがトータルの窒素除去性能にどう関連するのか興味あるところである。

### 2.2 試験方法

各年の試験期間を稲作期と非稲作期に分けて除去量を求めた。「稲作期」は水稲区で田植えをする5月上旬から刈取りの9月中旬までの約130日間であるが、毎週1回の定期測定を行った。「非稲作期」は刈取りから翌年の田植えまでの期間で、隔週1回の測定である。9年間の定期測定回数は約300回になる。

流下過程での窒素除去量は各区の流入・流出水の水量、硝酸態窒素濃度を測定し、その積で流入・流出硝酸態窒素量を求め、その差から算出した。流入水中の硝酸態窒素量は常に全窒素量の90%以上を占め、流出水中では80%以上を占めた。したがって今回の調査では硝酸態窒素で窒素の除去量を計算した。また各区の流入点、中間点、流出点の3点で水温と電気伝導度(EC)、流入点と流出点でpHとDO濃度を測定した。

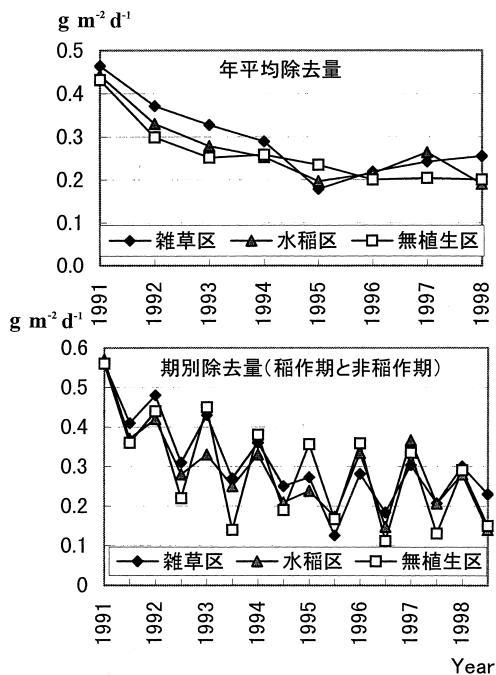


図-2 窒素除去量の年変動

Fig. 2 Changes of nitrate removal in each plot

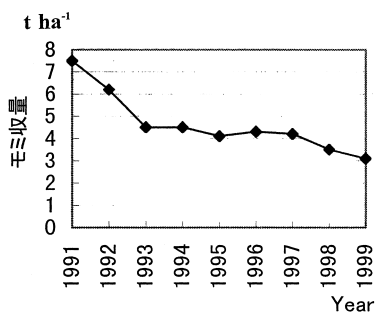


図-3 水稻区もみ収量の変化

Fig. 3 Change of the yield of rice

### 2.3 窒素除去量の推移

年平均窒素除去量は当初  $0.45 \text{ gm}^{-2} \text{ d}^{-1}$  程度であったが、次第に低下し、現在は  $0.20 \sim 0.25 \text{ gm}^{-2} \text{ d}^{-1}$  の近傍で変動している (図-2)。稲作期と非稲作期では除去量は大きく異なり、どの区においても水温が高く、植生の生育が盛んな稲作期の値が非稲作期の値よりも大きい。とくに無植生区の値が期により大きく変動する。大勢としては3試験区の窒素除去量には余り差がなく、同じような変動で推移している。8年間の平均値は雑草区が  $0.30 \text{ gm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 、水稻区と無植生区が  $0.27 \text{ gm}^{-2} \text{ d}^{-1}$  であった

表-2 9年間平均値 (1991,5~1999,12)

Table 2 Average values during 9 years

	単位	雑草区	水稻区	無植生区
日中中央水温	°C	18.3	22.7	23.9
窒素除去量	$\text{gm}^{-2} \text{ d}^{-1}$	0.30	0.27	0.27
濃度低下率	%	49.7	43.4	44.4

窒素除去量は 1991-1998 年間の平均値

(表-2)。

水稻区のモミ収量は当初減少したが3年目から  $4 \text{ tha}^{-1}$  程度で安定し、最近やや低下気味である (図-3)。しかし施肥をしていないにもかかわらず収穫は続いている。

## 3. 試験結果

### 3.1 水温変化

図-4 は9年間の定期測定日の午後2時の各区の中央部の水温変化を示したものである。各区とも夏に高く冬に低い季節変化を示している。また初年度の1991年の暖冬や1993年の冷夏が図に現れている。

「雑草区」の水温は草で日陰になるために他の区よりも低く、夏には  $30^\circ\text{C}$  前後の値を示す。夏の「無植生区」の水温は  $40^\circ\text{C}$  にも達し、他の区よりも高い。これは日陰がないためである。「水稻区」は両者の中間の値を示すが、稲の繁茂していない時期は無植生区の値に近い。9年間の全測定値の平均は無植生区で  $23.9^\circ\text{C}$ 、水稻区で  $22.7^\circ\text{C}$ 、雑草区で  $18.3^\circ\text{C}$  と大きな差が生じた (表-2)。「遮光区」では遮光を始めた1997年7月から水温の低下が著しい。なお図-4の中で初期の1992~1994年のデータが少ないのは、水管理が不十分でパイプの目詰まりや漏水による水量調整が適格でない測定が生じたためである。

夏に自記測定した1時間間隔の水温変化をみると (図-5)、「水稻区」や「無植生区」では最高水温と最低水温との差は約  $10^\circ\text{C}$  程度であった。したがって日平均水温は上記の定期測定時の水温よりも  $5^\circ\text{C}$  程度低いことになる。それで各月ごとの日平均水温と定期測定時の水温の比を求めておき、後述する解析に用いる日平均水温はこの比を使って測定時水温から換算して求めた。

### 3.2 硝酸態窒素濃度の変化

「水稻区」の流入水と流出水の硝酸態窒素濃度の変化を図-6に示した。流入水の濃度は  $20 \text{ mgL}^{-1}$  前後でほぼ一定で、高い時で  $25 \text{ mgL}^{-1}$ 、低い時で  $15 \text{ mgL}^{-1}$  である。

流出水の硝酸態窒素濃度は季節によって大きく変化する



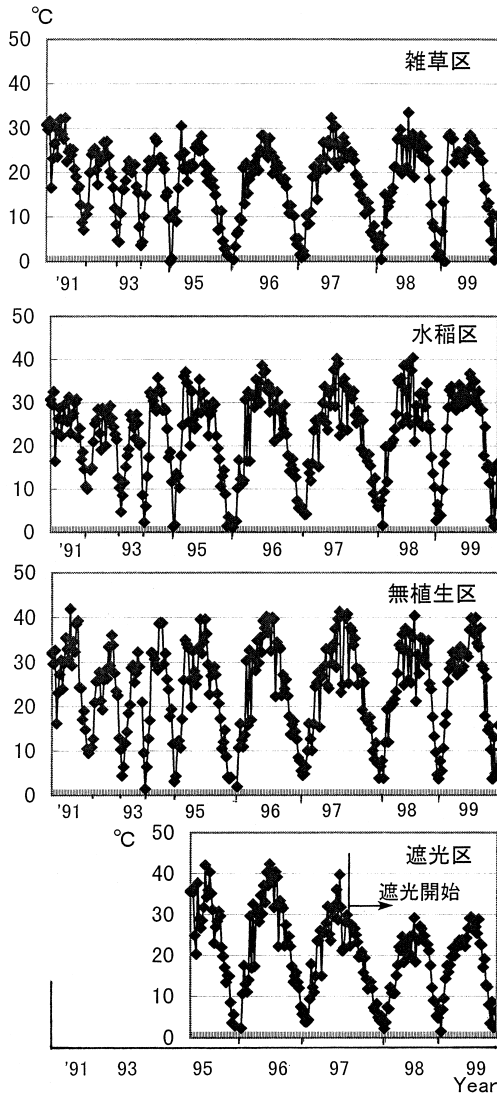


図-4 水温変動 (中央部, 午後 2 時)

Fig. 4 Changes of water temperature in center parts

る。夏に低く、冬に高い。夏の濃度は流入水の濃度よりもかなり低下し、冬の濃度は流入水の濃度にほぼ等しくなるという変動を繰り返している。

3.3 硝酸態窒素濃度低下率の動向

流入水の硝酸態窒素濃度が時期により若干変化するので、流出水の濃度そのまま年変動を検討するのは不適當である。そこで次式で定義する硝酸態窒素濃度低下率で各区の年変動を検討する。

濃度低下率  $\beta$  は次式で定義される。

$$\beta = \{(X_o - X) / X_o\} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

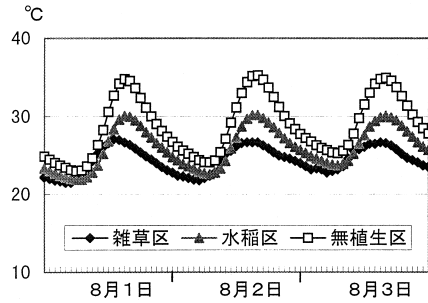


図-5 水温の時刻変動 (中央部, 1997 年 8 月)

Fig. 5 Hourly changes of water temperature in summer

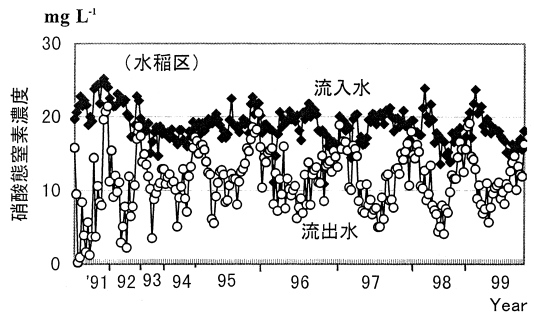


図-6 硝酸態窒素濃度の変化 (水稻区; 流入水と流出水)

Fig. 6 Changes of  $\text{NO}_3\text{-N}$  concentration in a rice plot

ここで  $X_o$  は流入水濃度,  $X$  は流出水濃度である。各区とも濃度低下率は夏に高く、冬に低いという水温と同じような変動を示す (図-7)。

「雑草区」では初年度の 1991 年には濃度低下率は夏に 100% 近くになったが、その後は 80% どまりである。冬の間も 1995 年以降は初期に比べて小さくなり 0% 近くになった。

「水稻区」では「雑草区」とほぼ同じ傾向を示すが、冬の 0% 近くになる回数が「雑草区」よりも増えている。「無植生区」でもほぼ同様の傾向を示すが、1995 年および 1996 年の夏の値が高い。また 1995 年以降では冬期の値が低くなり、0% になることが増えた。このようにいずれの区でも濃度低下率は初期に比べて低下しているが、現在はほぼ横ばいの状況が続いており、窒素除去能力は持続している。「遮光区」では遮光を始めた 1997 年秋から低下し、夏にも 40% 以下で、冬には 0% になった。

3.4 pH

遮光区を設けた 1997 年 7 月から 1998 年 3 月までの流

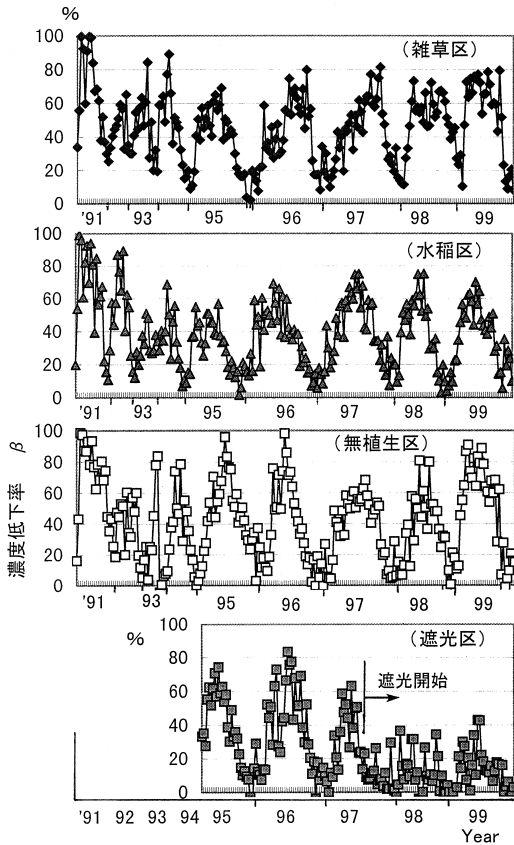


図-7 硝酸態窒素濃度低下率 $\beta$ の変動

Fig. 7 Decreased ratio  $\beta$  of  $\text{NO}_3\text{-N}$  concentration

入水と流出水の pH の値を図-8 に示した。各試験区とも流入水の値よりも流出水の値の方が高くなっているが、もっとも高い値を示したのは「無植生区」である。夏には 9 を超える値を示し他の区とかけ離れている。これは藻類の発生により、水中の炭酸が消費されるためとみられる。冬には 7 に近い値を示して、他の区の値と大きな差はなくなるが、依然として一番高い。「遮光区」は同じ無植生状態でありながら藻の発生が少ないために「無植生区」よりも低く、「水稻区」と同じ程度の 7 前後の値を示す。このように藻類の pH への影響が現れている。

「雑草区」は 7 よりも低く、試験区の中で一番低い値を示している。このように区による差は明瞭で、藻類の発生が大きく影響している。

### 3.5 DO 濃度

図-8 には同時期の DO 濃度の値を示した。「無植生区」の値が  $10 \text{ mg L}^{-1}$  を超え、過飽和状態である。これも藻類の発生によるためとみられる。「水稻区」の値も 10

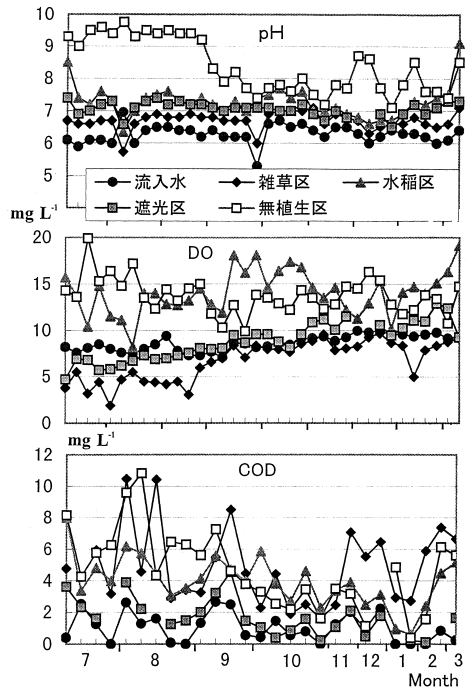


図-8 pH, DO, COD の変動  
(流出水 1997, 7~1998, 3)

Fig. 8 Changes of the values of pH, DO and COD

$\text{mg L}^{-1}$  を超えている。とくに 10, 11 月と 3 月に高い値が現れている。「遮光区」の DO 値は「無植生区」の値よりもかなり低い。とくに遮光にした初期の値が低く、 $5 \text{ mg L}^{-1}$  程度である。遮光前に発生していた藻類の分解のために酸素が消費されたものとみられる。「雑草区」の値はそれよりもさらに低く、 $5 \text{ mg L}^{-1}$  以下のこともある。雑草の枯死体の分解によるものとみられる。

このように DO の値は有機物分解と藻類による供給のバランスで区によって異なる値を示す。

### 3.6 COD 濃度

図-8 には COD 濃度の変化を示した。各区とも流入水の濃度よりも高いが、とくに無植生区の値が夏期に高くなっている。藻による有機物生産が行われていることを示す。また雑草区の値が他区に比べて冬期に高く、枯死体の分解によるものと考えられる。

## 4. 考 察

### 4.1 水温と濃度低下率の関係

図-9 は各試験区ごとの測定日の日平均水温と濃度低下率の関係を示している。バラツキはあるものの各区とも水温が高くなれば濃度低下率は大きくなっている。相

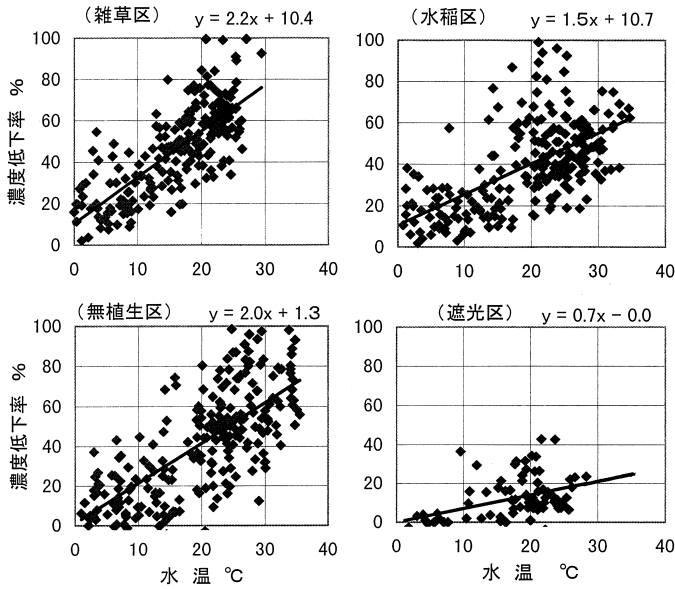


図-9 日平均水温と濃度低下率  $\beta$  の関係

Fig. 9 Relationship between decreased ratio  $\beta$  and water temperature

関係数は「雑草区」0.76, 「水稲区」0.61, 「無植生区」0.72, 「遮光区」0.41 であった。

その回帰直線によると、20°C 相当の濃度低下率は「雑草区」では 58%, 「水稲区」, 「無植生区」では約 43% となっている。「遮光区」ではこれよりも一段と低い濃度低下率になっていて、14% である。明らかに水温だけではない別の要因がある。それは植生や藻類による吸収が区によって異なるからである。それと後述する炭素供給に関連して各区の脱窒能力にも差が生じているとみられる。

図-10 は「無植生区」における水温と濃度低下率との回帰直線を初期 (1991-93), 中期 (1994-96), 後期 (1997-99) と 3 年ごとに分けて求めて描いたものである。初期の直線と中期, さらに後期の直線では差があり, 除去能力が次第に低下してきている。

4.2 脱窒除去式による濃度低下率  $\beta_0$  の計算

屋外での窒素除去は脱窒のほかに植生や藻類による吸収によっても行われている。この植生・藻類の吸収と脱窒量を区別するために脱窒による除去量を計算して, その差で検討を行う。脱窒除去量の計算には田淵が提示した室内の恒温湛水土壤系における下記の脱窒除去式 (田淵ら 1987, 1993, 1998 b) を用いる。

脱窒除去速度  $R_o$  ( $\text{gm}^{-2}\text{d}^{-1}$ ) は湛水中硝酸態窒素濃度  $X$  ( $\text{mgL}^{-1}$ ) に比例し, 下記の一次式で近似的に表されたとした。

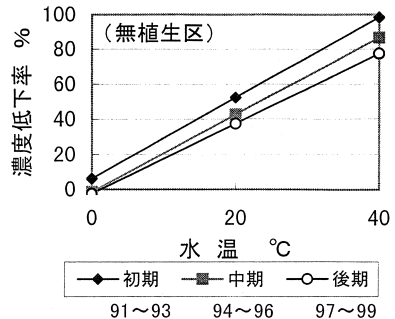


図-10 日平均水温と濃度低下率の回帰直線の変化 (無植生区)

Fig. 10 Change of regression lines in a non-plant plot

$$R_o = aX \tag{2}$$

$a$  は土壌や水温により変化する係数で, 筆者らが調べている谷津田の水田土壌では次のように水温  $T$  の 2 次式によって表された (田淵ら 1993)。

$$a = 0.000011 T^2 + 0.005 \quad (T > 10^\circ\text{C}) \tag{3}$$

湛水中の窒素濃度は時間とともに低下するが, それは次式で表される。

$$X = X_o \exp(-at/H) \tag{4}$$

ここで  $X_o$  は初期濃度,  $t$  は時間 (d),  $H$  は水深 (m) である。

流下過程では流入水量を  $Q$  ( $\text{m}^3\text{d}^{-1}$ ), 面積を  $A$  ( $\text{m}^2$ ),

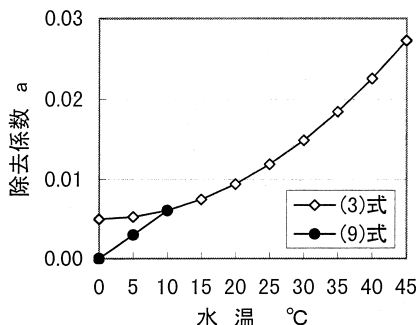


図-11 計算に用いた除去係数 (a) の水温による変化

Fig. 11 Change of removal coefficients (a) with temperature

$q=Q/A$  ( $\text{md}^{-1}$ ) とすれば、試験区を流下するのに要する時間  $t$  は

$$t=AH/Q=H/q \quad (5)$$

(4)式に代入して

$$X=X_0 \exp(-a/q) \quad (6)$$

脱窒除去による濃度低下率  $\beta_0$  は

$$\beta_0 = \{(X_0 - X)/X_0\} \times 100 \quad (\%) \quad (7)$$

(6)式を代入して

$$\beta_0 = \{1 - \exp(-a/q)\} \times 100 \quad (\%) \quad (8)$$

この式と(3)式を使えば水温と  $q$  の値だけで  $\beta_0$  を求めることができる。水温は日平均水温を用いることにし、 $q$  の値は本試験では一定で、 $0.037 \text{ md}^{-1}$  である。

なお今回の計算で用いる(3)式は  $10^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$  の領域で実験されて求められた式であるが、これをそのまま  $10^\circ\text{C}$  以下の領域にも用いると除去係数  $a$  は  $0^\circ\text{C}$  で  $0.05$  の値になる。しかし脱窒は  $5^\circ\text{C}$  程度が限界であると言われていたので、このままでは過大になる。それで  $10^\circ\text{C}$  以下の領域では次の(9)式を仮定して用いた。この式であると  $5^\circ\text{C}$  で除去係数は  $0.003$ 、 $0^\circ\text{C}$  で  $0$  になる(図-11)。 $5^\circ\text{C}$  で  $0$  にならないようにしたのは計算に用いる水温が日平均水温だからで、日平均水温が  $5^\circ\text{C}$  でも日中にはそれ以上の水温の時間があるからである。

$$a = 0.0006 T \quad (T < 10^\circ\text{C}) \quad (9)$$

また上記の濃度低下率の計算には降雨や蒸発による水量の変化が無視されている。大量の降雨がある場合には水量が増大して希釈され、濃度は低下する。それで大量の降雨があって流出水量が流入水量よりも増大した際のデータは計算から除外した。一方蒸発によって濃縮が生じるが本試験の供給水量は  $0.037 \text{ md}^{-1}$  で蒸発量よりかなり大きいので今回の計算では配慮しなかった。しかし夏の蒸発散量が大きい際には濃縮は  $20\%$  程度になると

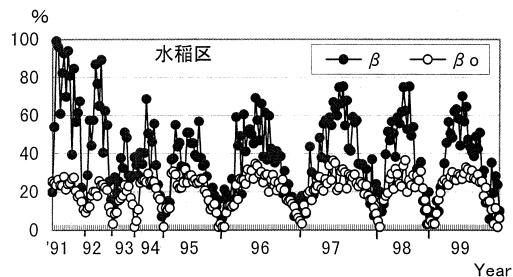


図-12  $\beta$  と  $\beta_0$  の比較 (水稻区)

Fig. 12 Comparison of  $\beta$  with  $\beta_0$  in a rice plot

みられるので誤差が生じる。

#### 4.3 $\beta_0$ と $\beta$ の比較

上記の  $\beta_0$  は室内の恒温暗所の無植生条件下で窒素が脱窒によって除去されて生じる濃度低下率を示している。これと試験区で実際に測定された濃度低下率  $\beta$  とを比較して、植生・藻類の影響を調べた。

図-12は「水稻区」の  $\beta_0$  と  $\beta$  を示している。計算された  $\beta_0$  は年によって若干の違いはあるものの水温の変化に対応して夏に高く、冬に低い季節変動をしている。夏には最高  $40\%$  程度で冬は  $0$  になる。一方実測された  $\beta$  は夏には  $\beta_0$  よりも大きい値を示しており、その差は大きい。この  $\beta$  と  $\beta_0$  の差は室内と屋外での除去量の差を示すが、その主なものは脱窒以外の除去、すなわち植生や藻類による吸収によるものと考えられる。また各種の実測誤差や理論推定上の誤差も当然含まれている。

それでこの  $\beta_0$  と  $\beta$  の差を検討するために、両者の差  $\Delta\beta$  を求めた。

$$\Delta\beta = \beta - \beta_0 \quad (10)$$

図-13に各区の  $\Delta\beta$  の値を示した。「雑草区」では初年度には夏に  $80\%$  程度の差があり、 $1996$  年以降にも  $60\%$  近い差があるが、冬には  $0\%$  近くに低下する。「水稻区」でも同様の傾向を示すが、 $1996$  年以降の夏の値は  $40 \sim 50\%$  で「雑草区」よりも低い。また冬の値が  $0\%$  になることが多く、マイナスの値になることも現れている。「無植生区」では前述の2区に比べて夏と冬の差が大きい。夏には  $60\%$  程度の大きな値を示すが、冬にはマイナスになることが多い。「遮光区」では遮光を行うようになった  $1997$  年7月秋以降低下し、マイナスになることが多かった。

次に  $\beta$  と  $\beta_0$  の比  $B$  を求め、各年の稲作期の平均値でグラフを描いた(図-14)。

$$B = \beta / \beta_0 \quad (11)$$

「雑草区」の  $B$  値が一番高く、 $2 \sim 3$  の間を示しており、年を経るにしたがいやや減少傾向にある。「水稻区」では

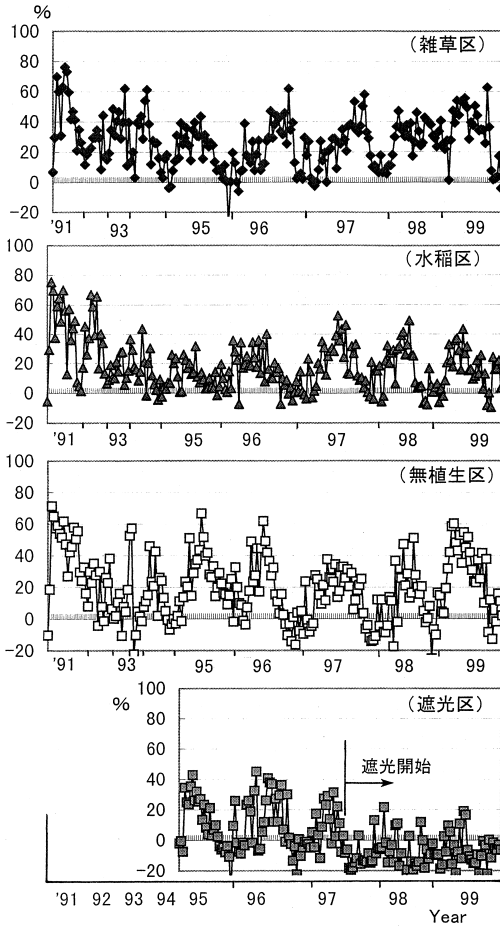


図-13  $\beta$  と  $\beta_0$  の差  $\Delta\beta$  の変化  
 Fig. 13 Changes of  $\Delta\beta$

それよりもやや低い 2 前後の値である。「無植生区」では「水稻区」とほぼ同じである。「遮光区」は遮光後に急激に低下して 1 以下になった。このように稲作期には「遮光区」以外の各区は B 値が 1 以上であった。

以上のように各試験区で B 値に相異が見られたが、単純に解釈すれば植生の多い「雑草区」で大きく、それは植生吸収が多いからだと説明できる。水稻の吸収がある「水稻区」や藻類の吸収がある「無植生区」でも夏期には B 値は 2 まで上昇する。遮光されて藻の発生が抑制された「遮光区」では夏期にも B 値は 1 をこえなくなった。

ここで問題なのは「遮光区」で冬に  $\Delta\beta$  がマイナスになったり、B 値が 1 以下にまで低下したことである。窒素除去量が脱窒除去式による推定量よりも小さいということになり矛盾する。その原因としては土壌中有機物の減少が考えられる。「遮光区」では藻類の発生がほとんどないので、脱窒に必要な炭素の供給が少なく、土壌中に

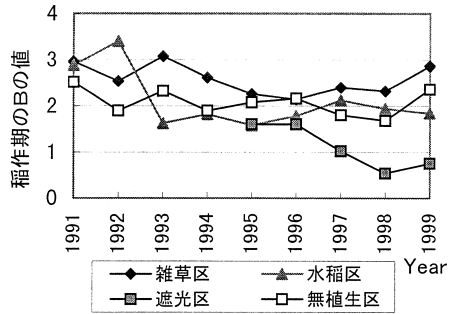


図-14 稲作期の  $B = \beta/\beta_0$  の値  
 Fig. 14 Changes of the values of B during the rice-growing period

存在していた有機物が消費されて次第に少なくなり、脱窒量が減少したという考えである。その他に脱窒式による算出誤差も考えられる。たとえば低温領域での除去係数の誤差や室内条件と屋外との脱窒の違い、恒温状態と非恒温状態の差など色々と不明な問題がある。

#### 4.4 窒素除去係数 (a) の変化

もしも土壌中炭素量の変化が起きていれば除去係数 (a) の値も変化しているはずである。試験区の表土 (深さ 0~5 cm) の土壌を採取して、恒温室で湛水条件下で窒素除去試験を行って、除去係数を求めた。1991 年の試験開始時には a の値は 25°C で 0.012 であった。3 年後の 1994 年の測定でも同じく 0.012 であった。また 1996 年から 1997 年にかけて毎月行った測定でも、「水稻区」、「無植生区」とも 0.012 前後の値を示し、初期の値とほとんど変わらなかった。

したがってこれらの区の土壌の脱窒能力には変化がないということになるが、これは土壌の採取方法に問題があったのではないかと考えている。すなわち採土は 5 cm の層としておこなったが、土壌の窒素除去能力の判定にはもっと細かな土層の厚みが関与しているのではないだろうか。脱窒はごく表層で起きているとすればそれに対応した若い厚さの土壌を採取して実験するべきであろう。現在その試験を行っているところであるが、1999 年夏に採土した表層 0~1 cm 層の土壌の除去係数は「遮光区」では大きく低下していた。今後この点について詳しく調べていきたい。

#### 4.5 窒素除去能力への植生・藻類の影響について

「遮光区」では他区に比べて窒素除去量は大きく低下した。水温が低かつ植生吸収がないことが原因であるが、有機物の供給が不足して脱窒能力が低下したことも原因である。炭素が十分にある時は脱窒は水温や硝酸態窒素濃度によって規定されるが、炭素が不足すればそれ

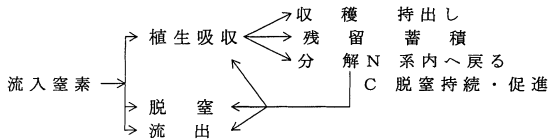


図-15 植生・藻類の窒素除去への影響

Fig. 15 Influence of plant and algae on nitrate removal

が制限因子となる。したがって植生・藻類は窒素の吸収という面だけでなく、炭素の供給源という立場から窒素除去能力の持続性に大きな影響をもつ(図-15)。「無植生区」でも冬には藻類の生育が弱まるので同じことが起きる可能性がある。

一方「雑草区」では植生による十分な有機物の供給がある。また植生による窒素の吸収も大きい。雑草が生育しているかぎり残留型の除去は続くであろう。しかしこの場合脱窒の方が前述した式で示したような形になるのか疑問が残る。植生が窒素を吸収してしまうので、水中の窒素量が減って濃度が低下するので脱窒量が減少するからである。窒素を巡って植生吸収と脱窒は競合関係にもなる。また雑草の枯死体の分解による窒素の放出も無視できないであろう。分解による窒素の放出が大きければ除去量は低下するはずである。今のところ他区よりも除去量が小さいということはないが、このような2次的な脱窒ともいえる分解放出された窒素の脱窒のメカニズムの解明も必要である。

$$\text{除去量} = (\text{植生吸収} - \text{分解放出}) + \text{脱窒}$$

同じことが「無植生区」でもいえる。藻類に吸収された窒素はそのほとんどが試験区内で分解されて、硝酸態窒素になり、結局は脱窒で除去されているとみられる。流出水中の有機態窒素やアンモニア態窒素は微量であったからである。

表-3は1996年5月から1997年4月までの1年間に測定した流入水と流出水中の窒素成分の内訳である。流入水中の硝酸態窒素の全窒素中に占める割合は95.6%，

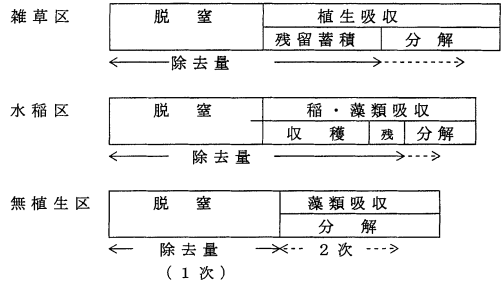


図-16 各試験区の窒素除去の相異

Fig. 16 Difference of the mechanism on nitrate removal

流出水中では「無植生区」87.5%、「雑草区」93.9%、「水稻区」92.2%であった。アンモニア態窒素はいずれの区でも3%以下で、有機態窒素も一番大きい「無植生区」で9.1%であった。「無植生区」ではやや有機態窒素の量が多いが、各区とも窒素のほとんどが硝酸態窒素である。「無植生区」の有機態窒素が他区よりも多いのは藻類の発生によるものとみられる。

4.6 試験区の特徴と課題

3試験区の窒素除去量は大勢としては差が少なく持続性もあるが、その除去のメカニズムはかなり異なっている(図-16)。

「雑草区」では植生の吸収が圧倒的に大きい。初年度の稲作期の測定では76%を占めていた(田淵ら1993)。これが収穫されないで残るので、一部は分解するものの大部分は枯死体として残留する。炭素量は多いので持続性もある。分解で生じた窒素は系内に戻り、2次的な脱窒や植生吸収を受け、一部は系外へ流出する。

「水稻区」では水稻が吸収した窒素は収穫によって持ち出され、根株の部分だけが残留する。しかし収穫された窒素量は18%(田淵ら1993)で、除去量の多くは脱窒である。根株は分解されて、2次的脱窒を受けるが、それは脱窒のための炭素源にもなる。問題はこの根株や藻類による炭素供給が脱窒に必要な炭素量と釣り合うかであ

表-3 流入水と流出水の窒素成分の内訳

Table 3 Components of nitrogen

区	T-N	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	Org-N
流入水	19.2	18.4 (95.6)	0.2 (0.8)	0.0	0.7 (3.5)
雑草区	11.6	10.9 (93.9)	0.3 (2.9)	0.0	0.3 (2.0)
水稻区	13.1	12.1 (92.2)	0.3 (2.9)	0.0	0.7 (5.5)
無植生区	12.5	10.9 (87.5)	0.3 (2.8)	0.1	1.1 (9.1)

1996,5-1997,4の期間, mgL<sup>-1</sup>, ( )内は%

り、それが窒素除去能力の持続性を規定する。

「無植生区」では水温が夏には他区よりも高く、藻類による有機物の供給もあるので、脱窒能力は夏には他区と遜色ない。しかし藻類が吸収した窒素は分解して系内に戻り、しかも「持出し」がなく、「残留」も少ないとみられるので、除去量は少なくなると予想した。しかし測定された除去量は他区と大差なく、流出する有機態の窒素も9.1%、濃度にして $1.1\text{mgL}^{-1}$ でそれほど大きくなかった(表-3)。このことは分解で生じた窒素のかなりの部分が2次的な脱窒で除去されたことになる。そこには藻類だけでなくタニシやドジョウなどの水生生物が活動しており、食物連鎖を通じて何らかの影響を与えている可能性もある。

#### 4.7 数式化について

湛水土壤系における窒素の除去量を以前は除去率だけで示すことがあり、それでは他の試験データと比較できなかった。次いで単位時間・単位面積当たりの除去速度で示すようになり、他との比較が可能になった。しかし除去速度は水温や濃度、供給水量によって変化するから、それらの要因を含めて数式化をする必要があった。そこで濃度に比例するという除去式を提案したが、この式によって除去速度と濃度、水温、水量との関係を数式化し、除去係数により比較することができるようになった。この式を使えば色々の濃度や水量、水温の条件下での除去速度や濃度変化の予測が一応可能になる。まだ光の当る明所や非恒温条件下での窒素除去式の適用性など式そのものに不確定の面が多く、今後の検討が必要ではあるが、一步前進したといえよう。

その中で今回指摘した「植生の影響」が最大の課題として残されている。「植生吸収」と「炭素供給」という2つの面から植生は窒素除去に大きく関与している。これらをどう数式化するかが大きな課題である。筆者は便宜的に除去速度 $R=F \times R_o$ と積の形で扱ってきた。Fは植生の影響度で本稿で示したBの値がそれに相当する。 $R_o$ は室内脱窒速度である。しかし窒素除去は「植生吸収」と「脱窒」の2面から行われるのだから、和の形で示す考えもあろう。すなわち $R=F'+R_o$ である。ここでF'は植生吸収速度。しかし前述したように植生は炭素供給の面から脱窒にも影響しており、単純な和の形では表せないようである。

## 5. ま と め

1. 休耕田に「水稻区」、「雑草区」、「無植生区」、「遮光区」を設けて9年間湛水流出下試験を行い、窒素除去量を測定した。年平均窒素除去量は当初より低下したもの

の $0.2 \sim 0.25 \text{ gm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 程度の値で持続している。

2. 流入水の硝酸態窒素濃度は $20 \text{ mgL}^{-1}$ 前後ではば一定であるが、流出水の濃度は夏に低く、冬に高くなる。その濃度低下率は夏に70~80%になるが、冬には20%以下になった。「遮光区」では濃度低下率が他区よりも大きく低下した。

3. 同一水温時の濃度低下率を比べると、「雑草区」の値が「水稻区」や「無植生区」の値よりも大きかった。これは「雑草区」の植生吸収が大きいためとみられる。

4. 植生吸収の影響度を示す $\Delta\beta$ の値は各区とも夏に大きく、冬に小さい。区の中では「雑草区」の夏の値がもっとも大きい。植生や藻類の発生がない「遮光区」では $\Delta\beta$ の値は小さくマイナスになることも多く、これは脱窒に必要な有機物が減少しているためとみられる。

以上長期の試験結果を脱窒除去式を用いて解析を行った。本報が湛水土壤系での窒素除去の研究の進展に役立てば幸いである。この試験を行うに当たっては、水田の所有者である大竹房雄氏にご支援をいただき、茨城大学農学部の中曽根英雄教授、久保田正亜教授、加藤 亮助手、牧山正男助手、それに篠田鎮嗣、高阪快児、本橋浩一、徳田枝里子、北島幸子の院生・学生諸君ならびに東京大学の院生であった黒田清一郎氏と学生の尾野充彦氏など大勢の方に多大のご協力をいただいた。これらの方々に厚く感謝する次第である。本研究は文部省科学研究費と茨城県生活環境部からの委託費を受けて行った。

## 文 献

- 黒田久雄・田淵俊雄・高阪快児・中曽根英雄 (2000b) : 休耕田を活用した窒素除去の持続性と有機物に関する検討, 農業土木学会誌, 68(9) : 59-65.
- 田淵俊雄・末正奈緒希・高梨めぐみ (1987) : 水田湛水による硝酸態窒素の除去試験, 農業土木学会誌, 55(8) : 53-58.
- 田淵俊雄・篠田鎮嗣・黒田久雄 (1993) : 休耕田を活用した窒素除去の試み, 農業土木学会誌, 61(2) : 19-24.
- 田淵俊雄・志村もと子・尾野充彦 (1996) : 休耕田における窒素除去試験の結果と実用性の検討, 農業土木学会誌, 64(4) : 27-32.
- 田淵俊雄ほか編著 (1998a) : 清らかな水のためのサイエンス, p96~113, および p115, 農業土木学会.
- 田淵俊雄 (1998b) : 水田除去機能付き窒素流出モデル, 土壌の物理性, 78 : 11-18.

受稿年月日: 2000年10月6日  
受理年月日: 2001年1月16日

## Land Characteristics and Soil Erosion in Relation to Slope Farming in the Highlands of Candikuning, Bali, Indonesia

Hajime NARIOKA\*, I.W. Sandi ADNYANA\*\*, Mastur\*\*\* and Simplicio M. MEDINA\*\*\*\*

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

\*\* Faculty of Agriculture, Udayana University, Jl. PB. Sudiman, Denpasar, Bali 80232, Indonesia

\*\*\* Watershed Management Technology Center, Jl. Jend. A. Yani-Pabelan, P.O. Box 295, Solo57102, Central Java, Indonesia

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

### Abstract

Many environmental problems, such as soil erosion, affect upland and hillyland agricultural systems. In a study conducted in Candikuning village, Bali, Indonesia, biophysical characteristics and soil erosion were determined in relation to slope farming.

The area is dominated by forests and vegetables dry land with slopes ranging from moderate to steep. Soils in the area have medium to high fertility levels and the major soil types are Andosols and Regosols.

Erosion was found to occur slightly in the forestland but was more severe in the dry and shrub lands especially in areas with slope more than 15%. As such, appropriate soil and water conservation measures are needed to achieve sustainable farming systems in these areas.

**Key words** : soil erosion, slope farming, highland, Bali, Indonesia

### Introduction

According to the Bali Local Government (1995), population growth rate in the island is quite high during the last twenty years. Coupled with a limited area for cultivation of food crops, the need to produce more food to meet the demands of an increasing population has become highly imperative.

Faced with this reality, farmers are forced to cultivate even the sloping lands, which are oftentimes unsuitable for annual crops. The intensive nature of annual crop cultivation in slope lands can cause soil erosion. Without appropriate soil conservation measures, soil productivity will decrease and erosion materials from upslope can accumulate in the low-lying areas as sediments. As a result, land and

water resources will be degraded.

This study was conducted in order to generate basic data related to land characteristics and degree of soil erosion in sloping farmlands. The findings of this study can also be used as important information or input to future research activities.

### Materials and Methods

The research was conducted in Candikuning village, district of Tabanan, Bali, Indonesia which had an elevation between 1,200 m to 2,100 m above sea level and having coordinates  $8^{\circ}14'30''\text{S}$  to  $8^{\circ}18'30''\text{S}$  latitude and  $115^{\circ}7'35''\text{E}$  to  $115^{\circ}11'30''\text{E}$  longitude. Landform units found in the village are cauldron valleys in the northern and northwestern parts, which are undulating to rolling, and volcanic ridge in the



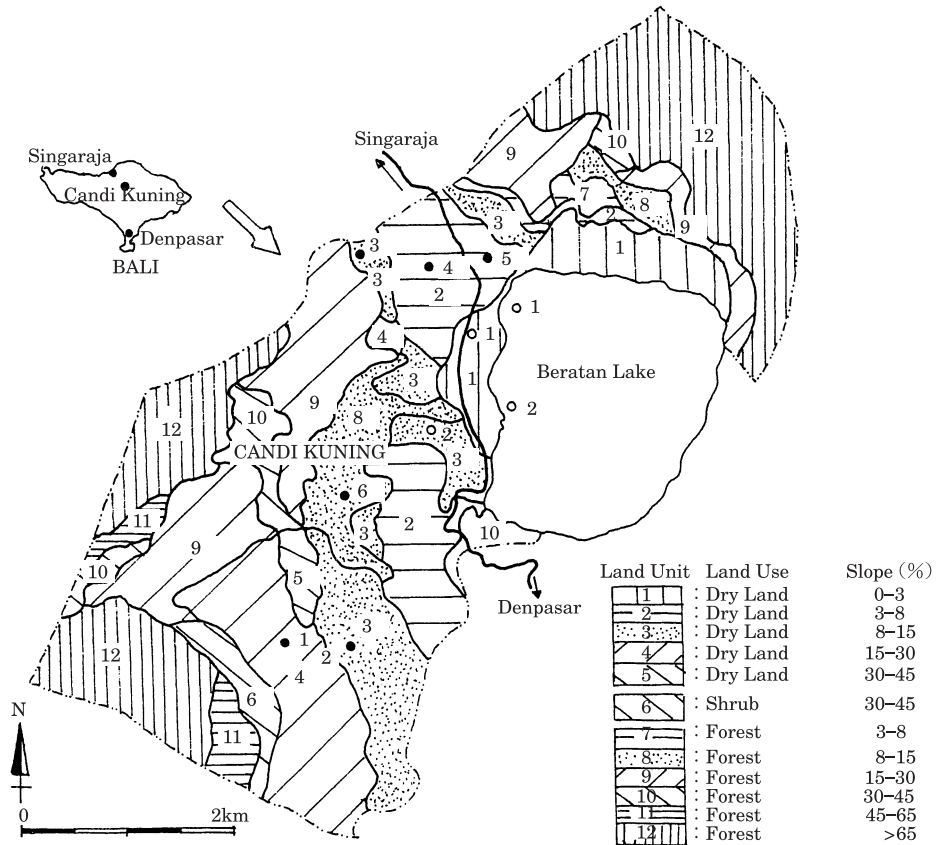


Fig. 1 Land unit map of Candikuning, Tabanan, Bali, Indonesia

south and western parts where the topography is hilly to mountainous. The soil types are Gray Brown Andosols whose parent material is intermediary volcanic ash and Gray Regosols which have intermediary tuff volcanic ash as parent material.

Primary data on climatic characteristics, land use, soil characteristics, topographic features, slope patterns and status of erosion were obtained through direct observation, soil sampling and farmer interviews. Secondary data was also collected. A field survey was done to ascertain the dominant and existing land uses in the area. A land use map of Bedugul area produced by the local government of Bali was used as a baseline map.

The boundaries of each land use were delineated using an air photography, topographic map (1 : 25,000) and a slope map where 12 land

units were identified as presented in Fig. 1.

Soil sampling was done based on slope sequence, slope class and land status. The soil's physical and chemical analysis were done at the Laboratory of Soil Science in Udayana University. The degree of erosion was evaluated using the Universal Soil Loss Equation (USLE) formulated by Wischmeier and Smith (1978) which states that :

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

where, A is the predicted soil loss ( $t\ ha^{-1}\ y^{-1}$ ), R is the annual rainfall erosivity factor ( $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ y^{-1}$ ), K is the soil erodibility factor ( $t\ ha\ h\ MJ^{-1}\ ha^{-1}\ mm^{-1}$ ), L is the slope length factor, S is the slope steepness factor, C is the cover and management factor and P is the conservation support practice factor.

Each component of the USLE as applied to the research site was determined based on cer-

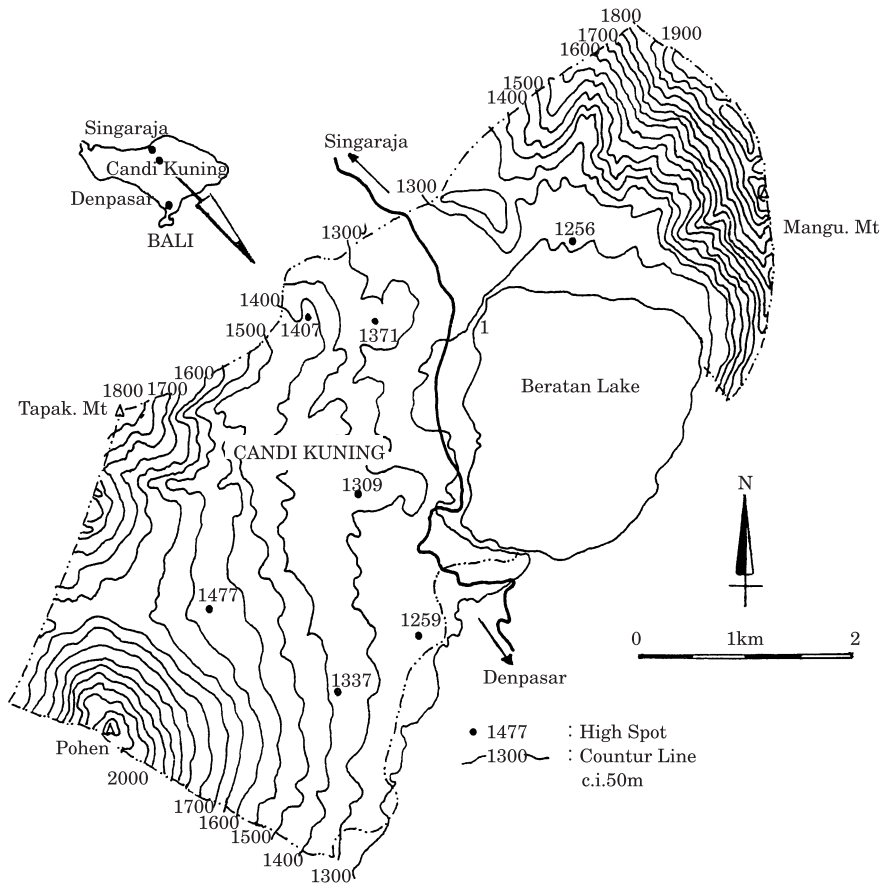


Fig. 2 Topography map of Candikuning, Tabanan, Bali, Indonesia

tain equations such that the rainfall erosion index (R) was calculated based on Bols's equation (Bols, 1978). The values for of K and LS factors were calculated based on the equation according to Wischmeier and Smith (1978). Values for C and P factors were based on the CP values published by Hammer (1980). The tolerable soil loss as computed by Hammer (1982), was also the basis of determining the magnitude of erosion from each land unit identified in the research site.

### Results and Discussion

#### Agro-climatic and Meteorological Characteristics

When monthly rainfall is less than 60 mm, it is dry season while rainy season is characterized by rainfall more than 100 mm (Sandy,

1987). In the research site, the months from October to April is rainy season and May to September are the dry months. The mean annual rainfall is 2,568 mm.

Minimum and maximum temperatures were recorded at 14°C and 24°C, respectively. Monthly evaporation was also found to be high in October and low in June with a daily mean of 3.2mm. The magnitude of evaporation is significantly correlated with temperature. Monthly relative humidity recorded show that the highest occurred in March and the lowest in October with daily mean of 87.9%.

#### Topography and Slope Pattern

Areas with flat to undulating topography and having a slope of 0~8% account for 25% (about 562 hectares) of the research area. However, areas with moderate to steep slopes

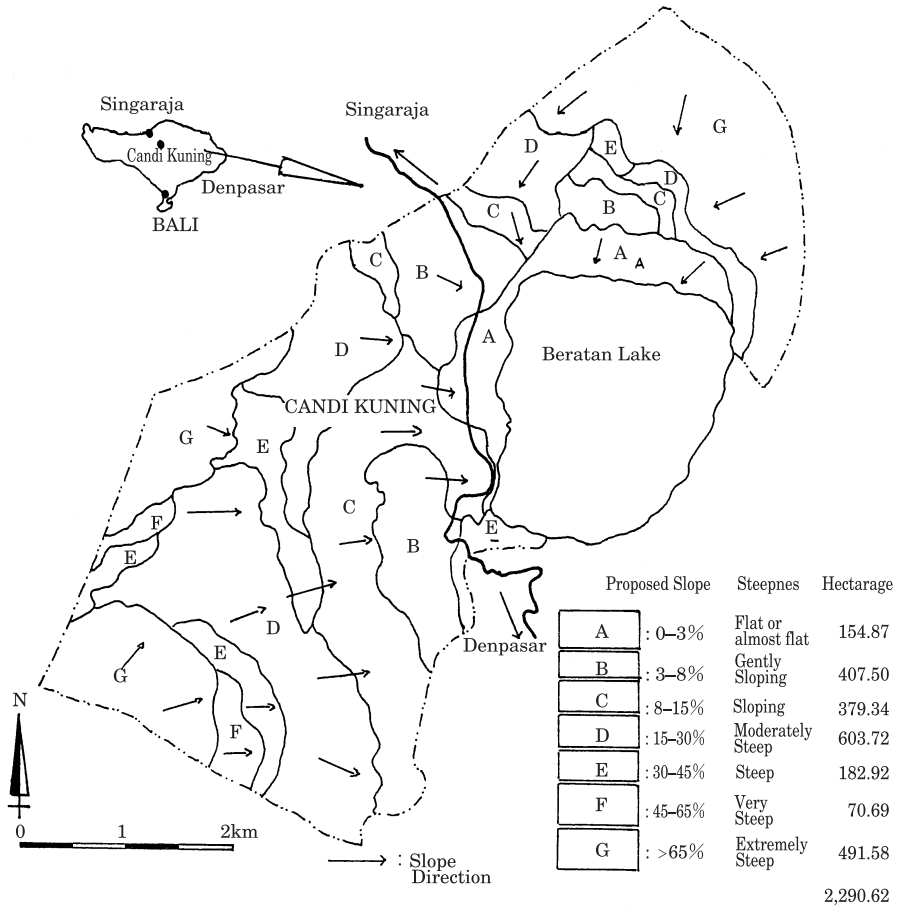


Fig. 3 Slope map of Candikuning, Tabanan, Bali, Indonesia

occupy 75% (about 1,728 hectares) of the total area. Steep lands are usually prone to erosion and cultivation could exacerbate the problem. The topographic and slope class maps of the research area are shown in Figs. 2 and 3, respectively.

**Soil Characteristics**

Tables 1 and 2 present the physical and chemical properties of the soil in the research area, respectively. Soil texture ranges from silty loam to loamy sand, although there is a considerable amount of sand present. The dominance of sand causes some elements, particularly nitrate nitrogen to decrease rapidly either by leaching or runoff. This explains the very low availability of nitrogen.

Other parameters analyzed to determine the

fertility status in the area included CEC, base saturation and organic carbon content (Puslittanak, 1995). As the parent material of these soils is intermediary volcanic ash temporarily deposited from surround volcanoes, they tend to have high nutrient content. The soil fertility status in the research area is presented in Table 3.

It was also found that the fertility of the soil in the lower slope is relatively higher compared to the middle and upper slopes. This is a result of nutrient deposition in the lower slopes from the upper slopes because of erosion. As consequence of advanced erosion, nutrient availability may drop in long-term.

**Land Use**

Candikuning village is dominated by forest

**Table 1** Physical properties of the soil in the research area

Samples Codes	Characteristics	Depth (cm)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture	Structure	Permeability (cm s <sup>-1</sup> )	Bulk density (g cm <sup>-3</sup> )
S1 (4)	Bukit Catu (dry land (slope : 23%))	0-30	85.8	2.8	1.4	Loamy Sand	Granular	1.61 × 10 <sup>-3</sup>	0.96
		30-60	91.5	4.8	3.7	Sand	Granular	1.19 × 10 <sup>-3</sup>	0.91
S2 (3)	Bukit Catu (dry land (15%))	0-30	86.8	7.5	5.7	Loamy Sand	Granular	6.19 × 10 <sup>-4</sup>	0.79
		30-60	61.5	36.8	1.7	Sandy Loam	Granular	3.17 × 10 <sup>-4</sup>	0.66
S3 (3)	Kembang Merta (dry land (11%))	0-30	55.8	30.1	14.1	Sandy Loam	Granular	3.47 × 10 <sup>-4</sup>	0.83
		30-60	26.3	50.1	23.6	Silty Loam	Granular	6.11 × 10 <sup>-4</sup>	0.72
S4 (2)	Kembang Merta (dry land (8%))	0-30	34.9	55.2	4.9	Silty Loam	Granular	4.50 × 10 <sup>-4</sup>	0.84
		30-60	54.7	30.8	14.5	Sandy Loam	Granular	1.27 × 10 <sup>-3</sup>	0.84
S5 (2)	Kembang Merta (dry land (3%))	0-30	65.7	16.3	18.0	Sandy Loam	Granular	8.25 × 10 <sup>-4</sup>	0.73
		30-60	63.0	29.6	7.4	Sandy Loam	Granular	1.33 × 10 <sup>-3</sup>	0.76
S6 (8)	Forrest land (7%)	0-30	49.6	49.6	0.8	Sandy Loam	Granular	9.58 × 10 <sup>-4</sup>	0.72
		30-60	84.3	13.9	1.7	Loamy Sand	Granular	2.27 × 10 <sup>-3</sup>	0.70

**Table 2** Chemical properties of the soil in the research area

Samples codes (Land unit)	Depth (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	Org. matter (%)	CEC (cmol/kg)	Base saturation (%)	Total-N (%)	Available-P (ppm)	Available-K (ppm)
S1 (4)	0-30	5.87	1.63	12.11	82.76	0.058	86.76	27.58
	30-60	6.29	0.85	12.80	88.13	0.015	31.59	33.29
S2 (3)	0-30	6.00	3.76	17.60	99.56	0.180	97.73	33.31
	30-60	6.38	3.01	16.74	94.74	0.123	12.13	24.79
S3 (3)	0-30	5.68	3.27	17.19	34.15	0.081	22.94	61.26
	30-60	5.28	2.66	19.55	46.52	0.064	10.87	87.43
S4 (2)	0-30	5.87	2.90	14.27	95.53	0.060	73.08	119.06
	30-60	6.12	1.73	22.44	31.68	0.031	9.02	149.51
S5 (2)	0-30	4.86	3.68	19.52	55.92	0.044	75.43	25.49
	30-60	5.46	2.53	14.49	89.56	0.061	54.60	31.64
S6 (8)	0-30	5.94	3.28	13.88	90.91	0.088	17.30	43.87
	30-60	6.18	2.50	20.32	96.84	0.067	7.91	27.88

**Table 3** Soil fertility status in the research area

Samples codes (Land unit)	Location	Slopes (%)	Fertility status
S1 (4)	Bukit Catu	23	medium
S2 (3)	Bukit Catu	15	very high
S3 (3)	Kembang Merta	11	medium
S4 (2)	Kembang Merta	8	high
S5 (2)	Kembang Merta	3	very high
S6 (8)	Forrest land	7	high

with a total area of about 1,253 hectares, distributed in the surrounding part of Beratan Lake and in the western part of the village. The forest area includes parts of Mt. Pohen, Mt. Tapak and the Botanical Garden of Bedugul.

The major land use classifications in the village include forest, dry land crops, settlements and lake. Land uses patterns and their distribution is described in Fig. 4. Vegetable is the dominant dryland crop, which include cab-

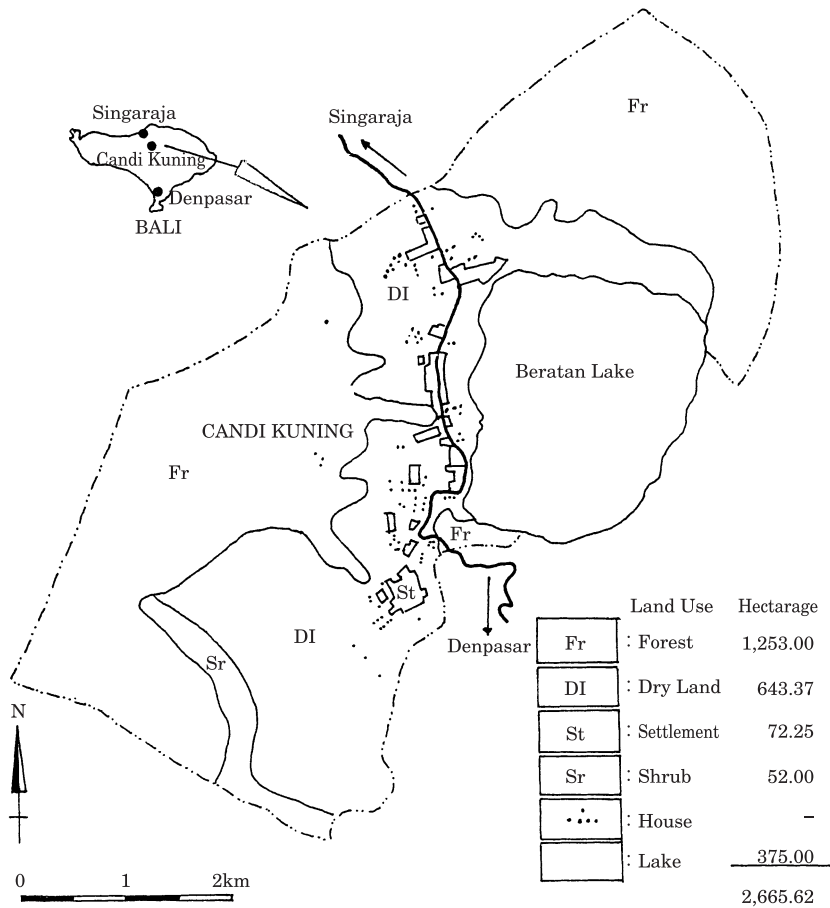


Fig. 4 Land use map of Candikuning, Tabanan, Bali, Indonesia

bage, potato, carrot, lettuce, garlic, celery and others. Corn, sweet potato and banana are also planted in the dry lands and consist of about 643 hectares.

### Erosion

Values for the USLE equation factors as determined from the research site are presented in Table 4. Table 5 presents comparison between the actual level of erosion and the value of tolerable soil loss in the research area. Based on these calculation, predicted soil erosion in the research area was delineated in map as shown in Fig. 5.

It was found out that the soil erosivity was high during the months of October to March, which are within the rainy season. Soil erodibility was classified as moderate to very

high. This is mainly due to the high percentage of very fine sand and silt and low clay content. As regards the slope length and steepness (LS) factor, the increase in length and steepness of slope results to higher LS values for the USLE.

The applied soil conservation measure in the dryland vegetable areas was bench terrace, although the quality of terraces in the lower slopes is better than those constructed in the upper slopes. This condition caused stability of the bench terrace riser in the upper slopes is lower than in the lower ones. Accordingly, the locations in the dryland vegetable crops with  $>15\% \sim >30\%$  slope, experience a severe to very severe erosion occurrence. Aside from the slope, low density of vegetation contributed to

**Table 4** Values of the USLE components as determined in the research areas

Land unit	Erosivity (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> ) (R)	Erodibility (t ha h MJ <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> ) (EK)	Slope factor (ELS)	Cover and management factor (EC)	Conservation practices factor (EP)	Predicted soil erosion (t ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> ) (A)	Level of soil erosion
1	21276	0.0173	0.23	0.400	0.15	5.08	very slight
2	21276	0.0410	1.40	0.400	0.15	73.27	moderate
3	21276	0.0262	1.98	0.400	0.15	66.22	moderate
4	21276	0.0181	5.50	0.400	0.35	296.52	severe
5	21276	0.0308	9.50	0.400	0.35	871.52	very severe
6	21276	0.0308	9.60	0.300	0.40	754.11	very severe
7	21276	0.0354	0.75	0.005	1.00	2.82	very slight
8	21276	0.0354	2.00	0.005	1.00	7.53	very slight
9	21276	0.0354	5.00	0.005	1.00	18.83	slight
10	21276	0.0354	8.50	0.005	1.00	32.01	slight
11	21276	0.0354	18.31	0.001	1.00	13.79	slight
12	21276	0.0354	33.32	0.001	1.00	25.10	slight

$$A = R \cdot EK \cdot ELS \cdot EC \cdot EP$$

**Table 5** Comparison of the predicted soil erosion and tolerable soil loss in the research areas

Land unit	Soil depth (mm)	Depth factor (mm y <sup>-1</sup> )	Resource life (y)	Predicted soil erosion (t ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )	Tolerable soil loss (t ha <sup>-1</sup> y)	Degree of erosion
1	1100	1.0	300	5.08	3.67	Very slight
2	1050	1.0	300	73.27	3.50	Moderate
3	1200	1.0	300	66.22	4.00	Moderate
4	1100	1.0	300	296.52	3.67	Severe
5	1150	1.0	300	871.52	3.83	Very severe
6	1050	1.0	300	754.11	3.50	Very severe
7	1200	1.0	300	2.82	4.00	Very slight
8	1100	1.0	300	7.53	3.67	Very slight
9	1050	1.0	300	18.83	3.50	Slight
10	950	1.0	300	32.01	3.17	Slight
11	1000	1.0	300	13.79	3.33	Slight
12	850	1.0	300	25.10	2.83	Slight

$$[\text{Tolerable soil loss}] = [\text{Soil depth (mm)}] \times [\text{Depth factor}] / [\text{Resource life (years)}].$$

the higher rates of erosion.

On the other hand, the forestlands and dry vegetable crop areas with less than 3% slope have only slight erosion. Combination between intensive soil surface protection (by vegetation canopy), effective soil conservation measures and appropriate cropping pattern in the high risk erosion such as the dryland vegetable area, should be established to prevent soil erosion and maintain soil fertility as a prereq-

uisite to achieve sustainable farming system in tropical volcanic highland.

### Conclusion

Forest and dryland vegetable crops dominate the major land use in the research area. The main physiography in the area is volcanic, with rolling to mountainous landforms. The area has a moderate to steep slope. General soil fertility status ranges from medium to high

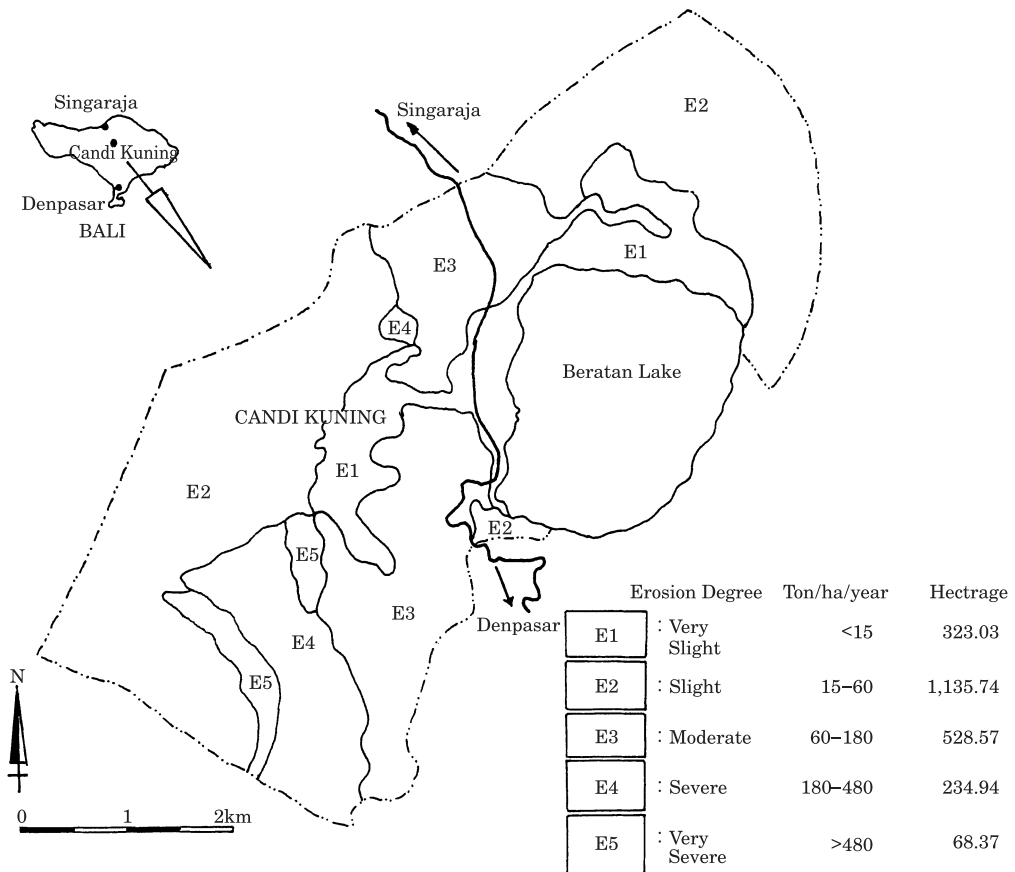


Fig. 5 Erosion map of Candikuning, Tabanan, Bali, Indonesia

due to high organic matter content and base saturation. Important limiting factor of soil fertility is low nitrogen. Soil texture is sandy and has low bulk density.

The erosion degree in the area ranges from very slight to very severe, depending on land status. Erosion occurred slightly in the forestland, but it was severe in the drylands with slope more than 15%. To achieve sustainable farming in the slope lands, effective conservation measures combined with soil surface protection and appropriate cropping pattern should be established in the tropical volcanic highland.

## References

Bali Local Government (1995): Land Planning of Bali Province. In: 2010, Facts and Analysis.

Bali Local Gov't., Denpasar (In Indonesian).

Bols, P.L. (1978): The Iso-erodent Map of Java and Madura. Soil Research Institute, Bogor, Indonesia (In Indonesian).

Dai, J. and Rosman (1970): Reconnaissance Soil Map of Bali. Soil Research Institute, Bogor, Indonesia (In Indonesian).

Hammer, W.I. (1980): Soil Conservation Consultant Report. Technical Note No. 7. FAO Project INS/78/006. Center for Soil Research, Bogor, Indonesia.

Hammer, W.I. (1980): Final Soil Conservation Consultant Report. Technical Note No. 26. AGOF/INS/78/006. Center for Soil Research, Bogor, Indonesia.

Puslittanak Team. 1995. Technical Method for Soil Fertility Evaluation. Tech. Report No. 15. Version 1. Center for Soil and Agroclimate, Bogor, Indonesia (In Indonesian).

Sandy, I.M. 1987. Regional Climate of Indonesia. University of Indonesia, Jakarta.

Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conserva-

tion Planning. USDA Agric. Handbook No. 537.1.

## インドネシア・バリ島チャンディクニンの高標高傾斜地農業における土地特性と土壌侵食

成岡 市\*, I.W. サンディ・アドニヤナ\*\*, マストゥル\*\*\*, S.M. メディナ\*\*\*\*

\* 岡山大学環境理工学部

\*\* インドネシア, ウダヤナ大学農学部

\*\*\* インドネシア, たばこ・繊維作物研究所

\*\*\*\* フィリピン大学ロスバニオス校, 農業土壌資源研究所

### 要 旨

土壌侵食のような自然環境問題は, ある地域では畑地や高地農業システムに深刻な影響を与えている。本論は, 火山灰土壌で覆われたインドネシア国バリ島の Candikuning 村で実地調査を行い, この地域の傾斜地農業に関連した土壌物理的特性と土壌侵食程度を検討したものである。

この地域は, 標高 1,200~2,100 m にあり, 上位に森林, 中位から下位にかけて畑地(野菜)が広がっており, 緩傾斜~急傾斜のカルデラ地形に立地している。この地域の主要土壌型は Andosols と Regosols であるにもかかわらず, 案外肥沃レベルが高かった。森林地帯ではわずかに侵食が発生する程度であるが, 斜度 15%以上の乾燥・低木地帯では厳しい侵食が起っていた。

そのような状況のもとで適切な土壌・水保全対策を立案するにあたり, 地域区分図, 地形図, 傾斜図, 土地利用図, 土壌侵食図などをまとめ上げ, 画一的ではない, この地域の特性に応じた適切かつ維持可能な農業システムを確立する必要があることを論じた。

キーワード: 土壌侵食, 傾斜地農業, 高標高, バリ島, インドネシア

受稿年月日: 1998 年 10 月 2 日

受理年月日: 2001 年 2 月 20 日



## 土壌物理学会シンポジウムおよびポスターセッション報告

鈴木創三\*・藤井克己\*\*・長谷川周一\*\*\*

平成12年11月18日、第42回土壌物理学会シンポジウムおよびポスターセッションが世田谷区三軒茶屋の日本大学東京校舎で開催され、会員、非会員を交えて約100名が参集した。シンポジウムでは「新世紀の土壌物理研究に向けて」のテーマに沿って、土壌の粒子・構造、水分・溶質および温度・熱の移動に関わる以下の1~4の講演の発表が、ポスターセッション:「土壌物理研究の最前線」では根圏土壌の物理性、圃場における水分・塩類・温度・熱移動等に関わる12課題の発表が行われ、いずれも熱心な討論が行われた。ここでは、シンポジウムの発表の概要および総合討論について座長の藤井および長谷川が取りまとめた分を以下に報告する。

### 1. 「土粒子と土壌構造 一火山灰土を中心として一」 軽部 重太郎 (茨城大学農学部)

土壌は自然が生み出したものであり、現場にあってこそ本来の性質が発揮されるが、われわれが現場から得る情報には限度がある。そこで、これを土粒子などの各構成成分に分けてその性質を知り、それらを総合して現場土壌と比較するという過程を繰り返すことにより、土壌本来の性質に近づくことができると考えている。土壌構造に関わりの深い構成成分としては、粘土鉱物、非晶質物、有機物、電解質および水があげられる。

本シンポジウムのテーマは「新世紀の土壌物理研究に向けて」、当方の課題は「土粒子と土壌構造」であったが、今回は火山灰土、特にアロフェンとイモゴライトの物理性に絞って報告する。

非晶質粘土鉱物アロフェンの荷電はすべてpH依存荷電で、荷電ゼロ点付近で凝集し、その両側で分散する。ただし球状の単位粒子がバラバラに分散するのではなく、100 nm程度以上の大きさに凝集した状態で分散する。一方、イモゴライトは準晶質粘土鉱物であるが、アロフェンとよく似たpH依存荷電をもち、アルカリ性(荷電ゼロ点より高いpH)で凝集するというユニークな挙動を示す。一度凝集したイモゴライトは酸性にしても容易に分散せず、逆に酸性からアルカリ性にするときには速やかに凝集する。これらの分散凝集状態は、繊維状粒子の太さの変化として現れる。

さらにアロフェンとイモゴライトは、pHを変えることによって粒子表面の荷電状態を変えることができる。荷電状態(正味荷電)を変えた場合の水分特性曲線への影響は $-100 \text{ J/kg}$ 以下(pF3以上)で現れ、荷電密度が低いほど凝集的になってパルクの密度が低くなる。アロフェンの内部間隙水は $105 \sim 110^\circ\text{C}$ の加熱では脱離しないという報告があるが、その粒子密度測定から $105^\circ\text{C}$ の炉乾でも脱離すると判断され、また $105^\circ\text{C}$ で炉乾したアロフェンやイモゴライトの間隙容積の各々96%、92%は、マイクロ孔( $\phi < 1.74 \text{ nm}$ )で占められている。

アロフェンの内部間隙の実態は、必ずしも明らかにはなっておらず、アロフェン質でない火山灰土も、活性アルミニウムを含むことで火山灰土特有の性質をもつことを指摘した。

### 2. 「土壌水分野から見た21世紀の土壌物理研究」

宮崎 毅 (東京大学大学院農学生命科学研究科)

土壌水が物理学の対象となったのは、ダルシー則の発見(1856年)からである。不飽和土の毛管ポテンシャル概念(バックingham 1907年)が提唱されて以降、今日まで土壌水のポテンシャル概念による理解がこの分野の中心課題となって20世紀前半まで続いたが、20世紀後半はこの理論では説明しきれない種々の移動現象に対して研究対象が拡大した。ただし1970年代後半から世界の土壌物理学者のターゲットは「土壌の不均一性」に一斉に向けられるようになった。これも当初、Spatial Variabilityが主流を占め、Geostatisticsがもてはやされたが、後にPreferential Flowのような現象論が主流を占め今日に至っている。今後は面的な不均一性ばかりでなく、Vadose Zoneも含めた立体的不均一性へ、視野と手法が広がるものと予想される。加えて、水分、熱、溶質などのフラックスを、簡便に系を乱すことなくリアルタイムで計測する技術が開発されることも夢ではなくなっている。さらに土壌表面近傍の情報を、nmオーダーで観察することも可能になってきており、これらの技術はコロイド科学との接点の中で、新たな研究分野を展開する可能性を秘めている。

今後は、土壌物理を研究しながら、必ずしも土壌にこ

\*: 東京農工大学農学部 〒183-8509 府中市幸町3-5-8, \*\*: 岩手大学農学部 〒020-8550 盛岡市上田3-18-8, \*\*\*: 農業環境技術研究所 〒305-8604 つくば市観音台3-1-1

だけでなく、様々な物質における共通の諸現象に向けて探求する姿勢を持つこと、つまり土壌物理の普遍性を広げることが重要である。さらに土壌における諸現象を明らかにするためには、必要な知識と情報を物理のみにこだわらず分野を越えて収集して行く、つまり土壌物理の学際化を進める必要がある。

21 世紀においては、環境と土壌水、あるいは農業と土壌水との関係に関して、土壌・地下水汚染等の現実問題が発生することにより、研究課題が増加し、とどまることはないであろう。土壌水分野の新研究は既に始まっている。日本の土壌物理研究者には、もっと発言し、もっと研究論文を出し、国際交流、異文化交流についても積極性を発揮することが求められている。この分野における研究の一層の深化と広がりを目指したい。

### 3. 「溶質移動—特に、硝酸態窒素の溶脱について—」 前田守弘（農業研究センター土壌肥料部）

硝酸態窒素による地下水や湖沼の汚染はヨーロッパや我が国で解決を迫られている大きな問題である。硝酸態窒素の土壌中での挙動・予測を難しくしている要因は、硝酸態窒素の挙動が土壌の不均質性の影響を受けプレファレンシャルフローで運ばれることがあること、窒素は土壌中で形態変化を起こすこと、土壌中の全窒素量は施肥量よりも 1 オーダー大きく、土壌溶液中の含量は全窒素量の 0.1% のオーダーと非常に小さいことが指摘できる。水移動がダルシー流に従えば、硝酸態窒素の移動は移流分散方程式で表現できるが、実際に畑で適用することは前述の要因に加え、降雨、地下水位等の境界条件が変動するため困難である。黒ボク土畑において、トウモロコシ—ハクサイ作付け体系下で、豚ふん堆肥、緩効性肥料、速効性肥料の区を設け 7 年間にわたって地下 1 m の土壌水をモニタリングした。その結果、緩効性肥料、速効性肥料区では 1 年で硝酸態窒素濃度の増大がみられたが、豚ふん堆肥区では 3 年後から上昇し、6 年後には他の処理区の濃度に近づいた。また、OECD がリスク指標として提案した土壌溶液中の硝酸態窒素の簡易推定モデルは、豚ふん堆肥には適用できなかった。プレファレンシャルフローの実態を見るために土壌モノリス（不攪乱土壌）法で硝酸態窒素等を追跡し、完全混合槽列改変モデルを適用した結果、プレファレンシャルフローの大きさを二つのパラメータで表現することが出来た。

現在の硝酸態窒素の研究を見ていると、野外試験では室内実験だけからは予測が難しい現象が生じており、フィールド研究と基礎研究の連携をはかるとともに、分析をする人とモデルを作る人との相互理解を深める必要がある。また、現象を説明するモデルも大事であるが、問題解決型のモデルの構築が必要と考えている。

### 4. 「温度と熱の流れ」

粕淵辰昭（山形大学農学部）

この 30 数年の本分野の研究において非常に変化したのは計測分野におけるめざましい技術革新であった。それは、単独の計測から始まり自動計測とデータ貯蔵へと変化し、現在では総合化した計測が行われるようになっている。地温の観測は明治時代にすでに気象庁により測定が開始され、1970 年代まで継続された。そこで、観測を終了させたことは今後の地球環境変化の研究にとっても残念である。地温の面的な分布に関する研究は 1960 年代に農業気象の分野で行われていたが、現在はこれも中断してしまっており、土壌物理分野で取り組んでいく必要がある。土壌の比熱測定は、土壌試料を入れたデュアービンの温度変化と土壌試料を入れないデュアービンの温度変化とを比較して測定する双子型測定法により、非常に高精度で測定することが可能となった。熱伝導の測定はヒートプローブ法で測定されるが、この場合も基準との比較で測定すると精度が上がることから基準となる水の温度—時間変化をパソコンに記憶させる方法を開発した。また、土壌の熱伝導率の温度依存性や気圧依存性について研究が進められており、土壌の水分状態との関係で新たな知見が得られてきている。熱フラックスの測定についても、ベルチェ素子の利用等の測定技術の向上が見られる。野外での測定例として、水田田面水中の温度が対流により深さ方向に一定になること、および対流速度が最高で 1 mm/s 程度であることを明らかにした。土壌の熱伝導のモデルはマックスウェルの電気伝導のアナロジーである de Vries モデルが現在も使われているが、熱伝導メカニズムの解明のための新しいモデルが出てくることを期待したい。

### 5. 総合討論

軽部氏は、アロフェンが水を多分子吸着出来ない理由を隣り合うアロフェン粒子間の距離で説明した。凍結乾燥を受けたアロフェンの分散性は非可逆的であること、凍結乾燥と通常の炉乾法との相違はなかつことを補足説明した。宮崎氏には不均一性との関係で代表的要素 (REV) についてさらに説明をしてもらったが、REV を決定する切り札はないようであった。前田氏は窒素の形態変化について、脱窒が室内レベルでの測定法しかなく、圃場での測定は開発されていないことを説明した。粕淵氏に対しては、現象の解明ばかりでなく、現象の予測や問題の解決のためのモデルもあるのではないかと指摘があり、「モデルとは」という議論がしばしば展開された。最後に渡辺春朗副会長が、土壌物理研究の継承性を強調し、閉会の挨拶となった。

## 環境土壌物理学

## 耕地生産力の向上と地球環境の保全

## I 土と水の物理学

ダニエル・ヒレル 著/岩田進午・内嶋善兵衛 監訳

農林統計協会 2001年発行

A5版 318ページ (4,000円+税)

本書は、Daniel Hillell 教授の著書 Environmental Soil Physics (1999) の訳書の第一部である。今後、続巻が発行される。Environmental Soil Physics は、Hillell 教授の著書 Fundamentals of Soil Physics (1980) と Applications of Soil Physics (1980) の拡張版である。しかし、前著の農業科学を中心とした記述を改めたものではなく、環境関連の問題に取り組むために、視野を自然に広げるなどして土壌物理学を新しく位置付けることを試みている。

訳者は、岩田進午、内嶋善兵衛、粕淵辰昭、加藤英孝、高見晋一、長谷川周一の6氏である。いずれも、土壌物理学学会を代表する方々であり、豊富な経験と知識に基づく訳は、原著を補して余のものがある。特に、訳注は本文の記述の理解を深めるための助けとなっている。

さて、本書の構成は次のとおりである。

## I 土と水の物理学

日本語版への訳者序文

訳者序文

序文

- 第1章 土壌の一般的物理性
- 第2章 多孔質体に関連した水の性質
- 第3章 粒径と比表面積
- 第4章 粘土の性質とその挙動
- 第5章 土壌構造と団粒化
- 第6章 土壌水の含有量とポテンシャル
- 第7章 飽和土壌中の水の流れ
- 第8章 不飽和土壌中の水の流れ
- 第9章 土壌空気の量と組成

このように本書は、続巻に続く前の基礎的知識を理解するためのものである。そのために、土壌物理の基礎を整理して、わかりやすく、丁寧な記述がなされている。

訳者序文、序文は、訳者、著者の本書に対する考え方を余すところなく表現し、土壌物理学の広がりや奥の深さを感じさせ、刺激を受ける。

本文は、各章完結型で Hillell 教授のこれまでの著書の

スタイルである、見識の高い引用から始まり、各章ともに順を追って明確な説明がされている。説明は、学部学生の教養の知識で十分に読むことができる。また、具体的な例を用いての説明がわかりやすい。さらに、歴史的な記述は、研究の進歩の過程を理解すること可能であり、今後の研究への助けとなる(参考文献の記載が本書にはなく、続巻に一括して記載されるのであろう)。実験方法・測定方法についての記述は、現象をより具体的なものととらえることができる。

各章の中にいくつかある“BOX”は、読みすすめるうちに思わず引き込まれてしまい、本文の内容を忘れてしまうような楽しい話題が収められている。また、目からうろこが落ちるような話題や歌の題名になるような話題もある。

章末には練習問題があり、理論的な内容について数値的処理を行うことにより理解を深めることができる。丁寧な解答がされているので、わかりやすい。

このように、教科書として最適であるとともに、内容に引き込まれていく魅力ある構成である。Hillell 教授のことばを借りれば、土壌物理を通して『自然の動きを理解しようとする科学的な探究心を揺り動かす感動という特別な感覚を読む人に伝えるであろう』。大学院生などの若いかたがたのセミナーや自学・自習をするテキストに適している。

本書は、これから研究対象として土壌物理に取り組もうとする人にはもちろんのこと、さらに研究を進めようとしている人たちにもきわめて参考になる内容である。おりに触れて読み返すことによって活用が一層期待される一冊である。ぜひ一読を薦めるとともに続巻に期待する。

## II 耕地の土壌物理 (4月刊行)

## III 環境問題への土壌物理学の応用

である。

佐藤泰一郎 (高知大学農学部)

## 一編 集 後 記一

編集の仕事に携わると、閲読のことを考えることが多くなる。投稿者としては、自分の書いた論文は完全無欠と考えているので、一刻も早く掲載してほしい。一方、閲読者は、原稿の不十分なところが重大な欠陥のように見えて、過度な注文をつけてしまいがちだ。

幸い、本学会の「閲読のお願い」には、閲読に対する考え方が明確に示されている。判読できない文章では困るが、論文内容は最終的には著者が責任を負うべきものであり、言い換えれば、著者の主張は最大限に尊重されなければならないことが記されている。現在、新しい投稿要項に沿って内容を改訂中であるが、その精神は変わっていない。

原稿内容が尊重されると言われても、返ってきた閲読結果を読む時の気持ちは複雑である。時には不本意な指摘があるかも知れない。しかし、原稿にはとにかく著者の

思いこみがありがちであるから、違った角度から第三者に読んでもらうことは貴重な機会と思う。

先日、コンピュータ関係のコラムに、あるソフトの開発に関する次のような文があり、印象深く読んだ。「...開発とバグ(欠陥)に関する情報は全面的に公開される。欠陥は、開発者の敗北ではなく、課題として見られることが多い。」

閲読で指摘された点は欠陥ではなく、論文を多くの人に分かりやすく読んでもらうための課題と捉える考え方が必要かも知れない。

閲読は投稿原稿を排除するためのシステムではなく、新しい学術情報を分かりやすく提供するために必要なシステムであることをご理解いただき、会員諸氏からの多くの投稿を期待している。

<編集委員 島田 清(東京農工大学農学部)>

### 土壌物理学会

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

土壌の物理性 第87号(会員配布) 2001年3月30日発行

発行 土 壌 物 理 学 会

〒252-8510 神奈川県藤沢市亀井野 1866

日本大学生物資源科学部 生物環境工学科内

電 話 0466-84-3696 Fax 0466-80-1103

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

振替口座 00150-2-17794

銀行口座 東京三菱銀行藤沢支店(店番 257)

普通 1495164「土壌物理学会」

印 刷 創文印刷工業株式会社

〒116-0011 東京都荒川区西尾久 7-12-16

## 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. 87

March 2001

---

## Contents

<b>Foreword</b> .....	H. OTSUKA	1
<b>Original papers</b>		
Effects of Long-term Application Use of Compost on the Physico-chemical Properties of Andosols and Yields of Cabbage and Japanese Radish .....	T. KATO and K. YONEDA	3
Features of Soil Physical Profiles Generated by Accumulation Processes and Anthro- -pogenic Effects — Soil Physical Properties of Bibai Peat Land (I)— .....	H. IMOTO, T. MIYAZAKI, T. NISHIMURA and M. NAKANO	19
Experiment on the Nitrate Removal in the Flooded Paddy Field .....	T. TABUCHI, H. KURODA and M. SHIMURA	27
Land Characteristics and Soil Erosion in Relation to Slope Farming in the Highlands of Candikuning, Bali, Indonesia .....	H. NARIOKA, I.W.S ADNYANA, MASTUR and S.M. MEDINA	37
A Report of Symposium and Poster Session .....	S. SUZUKI, K. FUJII and S. HASEGAWA	47
<b>Book Review</b> .....	T. SATO	49
<b>Editor's Postscript</b> .....		50

---

## Japanese Society of Soil Physics

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