

# 土壌の物理性

第79号

1998年11月

---

巻頭言	足立一日出	1
シンポジウム「水田農業の新展開と土壌物理性」		
論説		
稲作技術の展開方向と土壌物理的諸問題	長野間 宏	3
報文		
不耕起乾田直播栽培の継続が土壌ち密度並びに減水深に及ぼす影響	石橋 英二	11
資料		
寒地大規模直播稲作のための播種技術	大谷 隆二	23
湛水直播の展開方向と土壌物理的課題	金子 均	29
報文		
耕うん処理及び土壌水分条件が乾田直播水稻の出芽に及ぼす影響	大野 智史・小野 信一・高橋 茂・野々山芳夫・住田 弘一	35
資料		
Heat and Dissolved Oxygen (DO) Transfer Phenomenon in Poned Paddy Field	M.I.M. Mowjood	41
総説		
石膏による代掻き濁水の浄化と水田土壌の分散凝集構造	赤江 剛夫	49
総合討論		57
書評		
「環境保全と農林業」(陽 捷行編著)	波多野隆介	61
「新編 農業気象学用語解説集—生物生産と環境の科学—」 (日本農業気象学会 新編 農業気象学用語解説集編集委員会編)	中村 貴彦	62
会務報告		64
編集後記		69

---

土 壌 物 理 研 究 会

## 土壌物理研究会会則

- 第1条 本会は土壌物理研究会 (Research Association of Soil Physics, Japan) と称する。
- 第2条 本会は土壌の物理性を中心とする試験研究の発展と農業技術への貢献を図ることを目的とする。
- 第3条 本会はその目的を達成するため次の事業を行う。
- (1) 研究発表会、討論会及び見学会などの開催
  - (2) 土壌の物理性 (Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan 会誌という) 並びにその他の印刷物の発行
  - (3) 内外の研究、技術の交流及び他の学会、諸団体との協力
  - (4) その他本会の目的を達成するため必要な事業
- 第4条 本会の会員は、正会員、学生会員及び賛助会員、購読会員の4種とする。  
会員となるには評議員会の承認を受けなければならない。
- 第5条 会員は次の会費を所定の期日までに納めるものとする。
- |           |        |         |
|-----------|--------|---------|
| 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      | 1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。選出方法は別に定める。
- (1) 会長1名、副会長1名  
正会員の中から評議員会によって選出される。
  - (2) 評議員  
イ 15名 正会員の中から互選する。  
ロ 3名以内 会長が委嘱する。
  - (3) 会計監査 2名  
正会員の中から評議員会によって選出される。
  - (4) 幹事 若干名  
会長委嘱
- 第7条 会長は毎年1回以上総会並びに評議員会を招集する。
- 第8条 本会に次の委員会をおく。
- (1) 選挙管理委員会  
正会員の中から評議員会によって選出され、本会の評議員選挙を管理する。
  - (2) 編集委員会  
正会員の中から評議員会によって選出される委員によって構成され、会誌その他の印刷物の編集に当る。
- 第9条 本会の経費は会費その他の収入をもってあてる。本会の会計年度は毎年4月1日に始まり翌年3月31日に終わる。
- 第10条 本会の会務執行に必要な規定は別に定める。  
(1996. 9. 30改正)

## 「土壌の物理性」投稿規定

### 1. 投稿要領

- 1) 投稿は本会正会員及び学生会員に限る。ただし共著者の場合または編集委員会が依頼した場合はこの限りではない。
- 2) 投稿原稿の採否は、編集委員会において別途定める閲読基準により決定する。なお、「報文」は2名、その他は1名の閲読者を編集委員会において決定し、閲読を依頼する。
- 3) 投稿は以下に示す種別にしたがい、その内容は土壌の物理性に主体をおくものとする。

「報文」一編ごとに報文としての体裁を整え、独創性があり、土壌の物理性に関する研究及び技術に寄与するとみなされるもの。他誌に未発表のものに限る。

「ノート」新しい事実や、研究方法の改良などを含む短い報告。

「論説・総説」土壌の物理性に主眼をおき、広い視野に立って記述したもの。

「資料」既に発表した報文または発表予定の内容を各分野の参考資料となるよう書き改めたもの。

「解説」土壌の物理性に関する諸事項の理解を計るための平易な解説ならびに研究技術の普及交換を進めるための紹介など。

「その他」土粒子、書評など。

- 4) 投稿には別紙形式の送り状を付け、正原稿1部、コピー2部の計3部を送付する。初校の著者校正とし、印刷ずみの原稿は返さない。別刷は30部を著者に贈呈する。それ以上希望する場合は実費を申し受ける。
- 5) 本誌に記載された論文の著作権は、土壌物理研究会に帰属する。

### 2. 原稿執筆要領

- 1) 原稿の執筆は、日本語原稿の場合、400字詰横書き原稿用紙を用いる。ワードプロセッサを使用する場合は、A4判で横25字、縦23行とし、上左右30mm、下端に50mmの余白をとる。英語原稿の場合は、A4判ダブルスペースで作成する。なお、最終原稿の本文をテキストファイルで提出する。

- 2) 原稿枚数は、図表を含めて刷り上がり 6 ページ以内とする（日本語原稿では、刷り上がり 1 ページは、2300 字で、ワードプロセッサ使用の場合は 4 枚が 1 ページに相当する。英語原稿では、刷り上がり 1 ページは、600 語）。上記の印刷ページを越えるときには、1 ページあたり 9,000 円を著者負担とする。ただし、編集委員長が依頼した論文・記事についてはこの限りではない。なお、カラー印刷の場合はいかなる場合でも実費を全額著者負担とする。

#### 表題・著者名・キーワード

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

#### 本文

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

場合は、以下の例に従う (Tanaka *et al.* (1994) は・・・; 竹中ら (1960) は・・・; ・・・ (Tayler *et al.*, 1945).)。

- 19) 図・表・写真番号は図-1, 表-1, 写真-1 のように書く。図表・写真は本文中欄外に挿入位置を指定する。ただし、指定の位置に入らないことがある。
- 20) 謝辞は本文末尾につける。
- 21) 英文原稿も上記に準じる。ただし英文の適正化は、著者の責任において行うこと。また、著者からの希望があれば、英文の適正化を行う専門家に関する情報を提供することができる。

#### 要約

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

#### 図・表・写真

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

#### 引用文献

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

(1998, 10, 2 改正)

# 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 (日本語: 5ヶ以内)			
キーワード (英語: 5ヶ以内)			
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 e-mail	〒 TEL: FAX: e-mail:		
	A4: ( 枚) ・ 400字詰原稿用紙 ( 枚)		
表 枚	図 枚	写 真 枚	
別 刷 り	30部 ・ 50部 ・ 100部 ・ 150部 ・ 200部 ・ 300部		

付記: 投稿は土壤物理研究会事務局または編集幹事宛のこと

# 編集委員会からのお知らせ

編集委員会承認 (1998. 9. 24)

## 1. 投稿規定の改訂について

投稿者の会員資格をより明確に示すために、投稿規定に下線部を追加して改正します。

### 1. 投稿要領

- 1) 投稿は本会正会員及び学生会員に限る。ただし共著者の場合または編集委員会が依頼した場合はこの限りではない。

### (参考)

旧：投稿は本会員に限る。

会則第4条 本会の会員は、正会員、学生会員及び賛助会員、購読会員の4種とする。

## 2. シンポジウム発表原稿の種別について

シンポジウム発表原稿については、投稿規定に定められた種別ではなく、シンポジウムとして例外的に扱われています。これは評議員会の助言を受けて、69号(1994年5月)から適用されているものです。しかし、規定に明文化されておらず、著者や編集委員会にとって混乱する要因となっていました。また、学術誌としての位置付けを高めるためにも、種別を明確にする必要があります。このため、79号では著者申告にもとづいて種別による閲読をおこないました。しかし、報文として申告のあったものについて閲読・修正に時間を要するものがあり、発行が遅れる要因となりました。そこで、今後のシンポジウム発表原稿については以下の方針とすることとしました。

シンポジウム発表原稿は基本的にはノート、論説・総説、資料、解説とし、閲読者1名で閲読をおこないます。しかし、著者から報文としての申請があった場合は閲読者2名で閲読をおこない、閲読者が報文として問題があると判断した場合は、報文以外の種別を指定し、その判断に基づいて閲読をおこないます。ただし、著者がなお報文としての発表を希望する場合は、雑誌の発行の遅れを避けるため、講演要旨を資料等としてシンポジウム特集号に掲載し、別途普通号の報文として閲読をおこなうこととします。

---

本会の会則、英文会則、入会申込み用紙、投稿規定、投稿表(送り状)を三重大学溝口勝氏のご協力によってホームページに公開いたしましたのでご利用下さい。

<http://buturiPc6.bio.mie-u.ac.jp/sp/>

## 土壌物理研究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

中村 貴彦 (NAKAMURA Takahiko : 土壌物理研究会本部事務局/会計幹事 : 会員担当)

〒156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1 東京農業大学総合研究所

Fax. : 03-5477-2634

Tel. : 03-5477-2540, e-mail : dojo@nodai.ac.jp

## フィールドにおける土壌物理

足立 一日出\*

土壌物理と言っても、土粒子のようなスケールから一枚のほ場あるいは流域のようなスケールにまで関係する多くの課題がある。地域農業試験場は専門場所と異なり、主に気象条件、土壌条件、作物などの地域性を考慮した農業の現場に密接な研究課題を取り扱う。すなわち、よりフィールド（ほ場）に近いスケールでの研究が中心となる。最近、フィールドにおける土壌物理の研究が少なくなっているように思われる。そこで、ここではフィールドでの土壌物理の研究について考えてみたい。

フィールドでの土壌物理の研究は、時代の要請に大きく左右されながら発展してきた。すなわち、食糧難の時代には水稻の多収穫と関連して、水稻生育に適した土壌構造や浸透の研究が、稲作の機械化が進むと、機械の走行性、地耐力、それらに関連した土壌の排水性などの研究が、さらに、米の過剰から水田の汎用化が求められると、水田土壌の畑地化、排水性、耕耘技術や輪換田の用水量などの研究が行われてきた。現在、多くの課題が山積みされている。水田について言えば、区画の拡大、水稻栽培も移植、直播、耕起・代かきから不耕起まで多様化し、大区画水田においては、造成時に発生する土壌の物理性の不均一性の消長・拡大と改善が、水稻栽培技術については、それぞれの栽培に適した土壌物理性の解明が期待されている。また、水田でも30%以上の転作が行われるようになると、より安定し持続的な畑作物栽培のための土壌物理性の研究が求められる。一方、中山間地域の水田では耕作が放棄されたほ場が増加している。これらの耕作放棄地では、維持管理が行われないことによって、地形条件や気象条件の影響を大きく受ける。北陸地域では100年に1回程度の渇水年が発生したと思えば、翌年には100年に1回程度の連続降雨があり、異常気象が続いた。干ばつによって粘土質の耕作放棄地では、70 cmにも達する大きな亀裂も発生した。一方、豪雨によって多くの土砂崩壊が発生した。耕作放棄地が環境に与える影響を評価する場合、気象条件や地形条件による土壌物理性の変化の解明から始めなければならない。

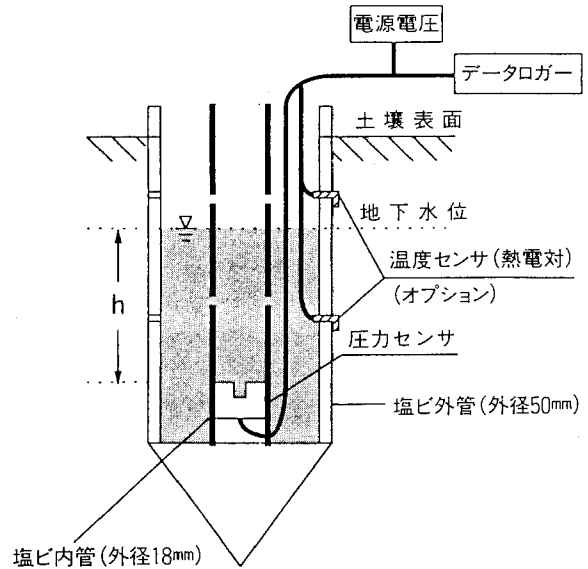
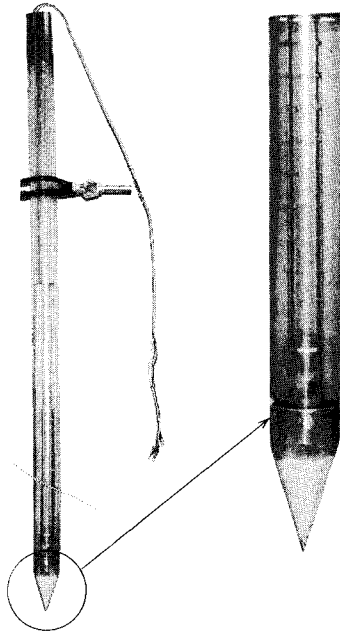
課題は山積みされているがその解決へのアプローチは容易ではない。上記の課題も抽象的な問題意識はあっても、具体的にどの様に研究を進めればよいのか難しい。フィールドでの研究の困難さは、作物栽培、作業技術、気象条件など様々な条件下での研究であるため、多くの項目を同時に調査しなければならないことである。フィールドでの研究は、作物や気象、機械などの他の分野との境界領域である。そのため、まず他分野との共同研究が必要となる。また、これまでの多くのフィールドにおける土壌物理の研究は、ある地点、ある時間のフィールドの条件や土壌物理性の特徴を示すだけに終わっているものも少なくない。フィールドの条件や土壌物理性の特徴も重要であるが、さらに研究を深めなければならない。土壌は、農作業、作物の生育、気象、ほ場整備などの働きかけによって常に変化している。この様な土壌への働きかけによる土壌物理性の変化を予測するという視点が必要ではないだろうか。そして、土壌物理性の変化の予測を基に、土壌への働きかけを評価しなければならない。その評価軸は、これまでの収量、作業性に加えて、食糧の安全性、環境への影響など多様である。そして、最終的には、評価を踏まえて、技術の改良や新しい技術に繋がる事が望ましい。

フィールドでの研究は、多くの労力が必要な割には、成果が少ないように考えられている。しかし、研究の視点（例えば土壌への働きかけ）をハッキリさせ、他の分野の人と共同研究を行うことによって、興味深い現象に出会うことがある。一般に言われていることでも詳細に研究された事例は少なく、多くの研究テーマが残されている。是非、多くの研究者がフィールドでの土壌物理の研究に携わられるよう望みたい。

# 地下水の動きを迅速かつ容易に見る

## 圧力センサ式地下水位メータ (EN-GW-501)

### 1. 構成



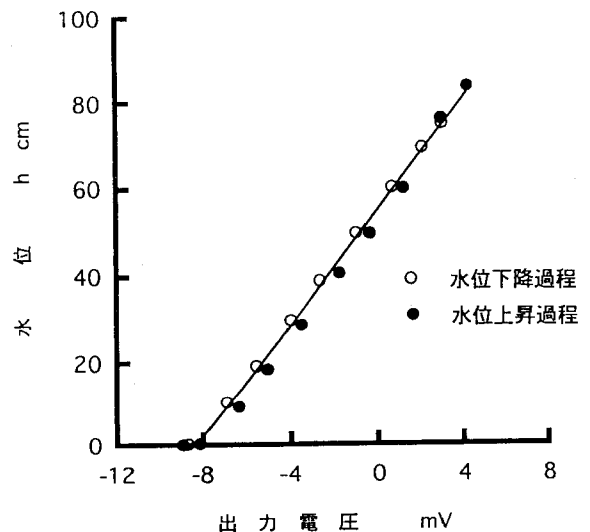
### 2. 圧力センサ (拡散型半導体圧力変換器)

#### 1)仕様

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

#### 2)特性

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



### 3. 地下水位メータ仕様

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

## エンドウ理化

〒001 札幌市北区新琴似10条7丁目3-16

☎ (011) 763-1088  
FAX (011) 763-1667



## 稲作技術の展開方向と土壌物理的諸問題

長野間 宏\*

### Development Orientation of Rice Growing Technique and Various Subjects about the Soil Physics

Hiroshi NAGANOMA\*

\* National Agriculture Research Center (Tsukuba, Ibaraki 305)

#### Abstract

Study subject about soil physical properties, which are necessary for technical development of direct seeding and rice cultivation, are arranged and showed.

Land leveling facilitates stand establishment of rice seeding, weed control, and water management for strengthening of lodging tolerance on wet-seeded and water-seeded rice culture. On dry-seeded rice culture, permanent water is applied earlier than before in order to shorten dry rice field period and to decrease frequency of herbicide supply. Land leveling is necessary for dry-seeded rice culture, too. Recently, land leveling technology was developed. It is composed of crawler type tractor, laser controlled plow and leveler. The study on operation method of land leveling to avoid surplus compaction of soil is necessary in future.

Development of dike management technique to prevent leakage of water is necessary for rice cultivation without puddling, such as dry-seeded rice culture and no-tilled transplanting rice culture. Farm land consolidation affecting water requirement is important to stabilize the dry-seeded rice culture. The study on rice productivity decrease by continuation of no-tilled cultivation is necessary.

The water seeding and wet seeding includes three types of seeding-method, i.e., broadcast seeding, stripe seeding and hill seeding. It is necessary to sow rice seed in constant depth for stable establishment of seeding. And, it is important to control the physical properties of puddled soil and to unify them in the paddy field in order to maintain constant sowing depth. The effect of soil properties and puddling method on the puddled soil physical properties should be studied.

It is important to avoid the soil compaction and necessary to elucidate the role of organic matter in prevention of compaction when the sustainability of crop production by the large-sized mechanization agriculture is considered in future.

**Key words**: paddy field agriculture, rice cultivation, water seeding of rice, dry seeding rice, puddled soil physical property

#### 1. はじめに

日本の稲作は、米の在庫量の増加による米価の低下と生産調整面積の拡大、担い手の高齢化と減少など、これまで直面したことのない大きな壁に対峙している。自給率の低い麦類、大豆、飼料作物への転作についても、輸

入農産物との価格差、および品質の不揃いやロットが小さいなどの問題があり、需要を拡大するためには解決すべき課題が多く残されている。また、土地の流動化が進まないため、意欲的な経営体による規模拡大も遅れている。さらに、低米価による農家所得の減少は、基盤整備に取り組む意欲を失わせる。このような状況のために、

\* 農業研究センター 〒305-8666 茨城県つくば市観音台3-1-1, 現秋田県農業試験場 〒010-1426 秋田市仁井田字小中島111  
キーワード: 水田農業, 水稲作, 湛水直播, 代かき土壌の物理性

規模拡大を進める際に効果を発揮する省力的な直播栽培の普及面積も伸びない。このような閉塞感のある時代を乗り越えるためには、次の時代の稲作技術の展開方向を見定めて、そこで必要な技術的課題の解決を進める必要がある。そこで、今後の稲作を中心にした水田農業の展開に必要な土壌物理に関わる課題について整理をする。

## 2. 稲作を中心にした水田農業の課題

### (1) 技術開発を進める上で前提となる課題

今後の水田農業の活性化には、少ない担いで省力・低コスト生産を行うと同時に環境に配慮した栽培技術を駆使するとともに、米の生産調整面積の増加に対応して実需者のニーズに応える麦、大豆の高品質・安定生産を行う大規模な生産組織を育成する必要がある。また、土地集積の困難な中山間地域などでは、地場産業に結びついた特産物的な作物生産を行う組織の育成も必要である。同時に、農産物の輸入増加に対して国内農業の活性化を図るためには、例えば棚田の保全などの環境保全と結びついた作物生産などのような消費者、実需者と生産者との連携も必要である。また、水田の生産力の維持・持続を前提に、水田の環境保全機能も活かした作物生産に加えて、休閑田の潜在生産力を維持する必要がある。多様な生産組織の活動を支えるには、地形的、社会経済的な条件に応じて、適切な圃場基盤の整備を行う必要がある。平坦地で土地を集積して大規模な生産組織による生産活動が展開できる場所では、圃場の大区画化や用排水施設の整備を行い、農区単位に水稻の直播栽培の導入や輪換畑としての利用を可能にする。また、大区画化が困難だが排水性の良い水田では、野菜を組み入れた田畑輪換が可能な水田に整備するなど、土地条件を活かす整備を進めるとともに、野菜地帯などから流出する窒素を水田の機能を活かして浄化するための水利施設の整備など、水田機能を積極的に活用するための基盤整備も行う。以上のように水田農業の活性化には多面的な対策が実施される必要がある。

### (2) 技術開発の課題

水田農業および稲作の活性化に必要な技術的課題を整理すると、①水稻、麦類、大豆、飼料作物などの省力・低コスト技術の開発、②精密管理を活用した高品質、安定多収技術の開発、③地域別、経営規模別に完結したシステムとしての整合性を持つ技術体系のプロトタイプ確立、④水質浄化機能、ダム機能、生態系の多様化などの水田機能を有効利用し、環境負荷を最小限に抑えた生産技術の確立、⑤水田機能を活用し、肥沃度も維持する休耕田の管理技術の開発などがあげられる。

## 3. 稲作に関連する技術開発と土壌物理性に関する課題

### (1) 圃場基盤の整備と土壌物理性に関する課題

#### 1) 均平化技術

水稻直播技術の普及拡大の取り組みのなかで、大区画圃場の均平化技術が実用化に近づいた(藤森, 1997)。高低差の大きな圃場の均平化には、これまで乾田状態、または湛水状態で行うブルドーザによる均平方法が実施されてきたが、最近、全国数カ所において、国の直播に関する補助事業を活用してクローラ型トラクタにレーザ装置で制御するプラウとレベラを組み合わせた装置が導入された。この方法では、レーザプラウで耕盤層が均平になるように耕起し、土壌を乾燥させた後に、レーザレベラで作土層を均平にする。アメリカ、イタリアなど先進国で行われている直播では、殆どの圃場でレーザレベラが使用されている(Hill *et al.*, 1992)。

湛水直播技術では、播種深度を0.5~1 cmに安定化させることが出芽・苗立率を高め、水稻の耐倒伏性を高める上で必要である。播種深度一定にするためには、代かき土壌の物理性を均一で適正な範囲にし、播種時の湛水深を一定にする必要がある。圃場内の代かき土壌の硬度を一定にするには、代かき時の土壌と水の比率も重要と考えられる。凸の場所では、湛水後も田面が水面上に露出する期間も長く、代かき時の土壌の分散の過程も、湛水深の深い場所と異なることが想定される。土壌硬度や湛水深が不均一になると、酸素供給剤でコーティングされた水稻種子の土壌中への貫入に対する抵抗が変動し、播種深度が不安定になる。また、出芽・苗立の安定化のために、播種後1週間程度落水状態で管理する技術が確立されつつあるが、このような水管理を迅速に、圃場全体で均一に行うためにも均平な圃場が必要である。圃場内に湛水状態の凹地が残るとカモの被害や出芽率の低下が起り、凸地では湛水後の除草剤の効果低下やスズメの食害などが問題となる。以上のような理由で、高低差±2.5 cm以内に90%以上の地点が含まれ、標準偏差を1.5 cm以下にする必要がある(木村, 1995)。

乾田直播でも、従来は水稻が4~5葉期になるまで乾田状態で経過したが、最近では乾田期間を短くして雑草防除を容易にするために2葉期で湛水を開始することが行われる。このように水稻の草丈が小さい内に湛水を開始すると、田面の高低差が大きい場合は、深水となった場所で分けつが抑制される。このため、±2.5 cm以内に80%が入るような均平精度が要求される。また、泥炭土や低湿重粘土で田畑輪換を行った場合、畑期間に田面の不等沈下が起きることがあるので、水田へ戻す際にも均

平作業が必要である。

今後の課題としては、次の点があげられる。

① クローラ型トラクタにレーザ装置を組合わせた均平作業方法が開発され、生産組織が個別で所有する事例もある。このため、営農の一環として圃場の均平管理を実施することが可能になったが、土壌硬度的変化や過剰な圧密を避ける作業方法の検討が必要である。

② 大区画水田で湛水直播を行う場合には、圃場内の代かき土壌の流動性を均一にすることが必要である。このような面からの圃場の不均一性の評価と対応策を検討する必要がある。種子の打ち込み速度を電氣的に変えることができるような播種方法では、圃場内の土性の分布情報を用いて速度を変えることも考えられる。

#### 2) 稲作における水管理の自動化

水管理の省力化が遅れたために、稲作の作業時間に占める割合は増加し、平成7年の統計では稲作の延べ作業時間の20%を占める。20ha以上の協業経営体でも労働時間に占める割合は変わらない。水管理の省力化のために、数種類の自動灌漑装置が開発されている(藤森, 1997)。また、湛水直播では、前述したように出芽・苗立を安定化させるために播種直後の1週間程度を落水状態で管理することが行われる(姫田, 1998)。さらに、根の下層への伸長を促進して耐倒伏性を増すために、苗立後の落水処理も行われる(椛木, 1997)。このような場合、迅速に均一に落水、再湛水の処理を行う必要がある。また、水口から灌漑水に肥料を溶かして施肥する流入施肥の技術も一部で実施されている。

#### 3) 適正減水深の維持と畦畔管理

従来からの乾田直播に加えて、不耕起移植栽培、無代かき移植栽培など代かきを行わない水稻の栽培技術の開発が進んでいる。このため、畦畔漏水を防ぐための管理技術の開発が重要である。モルタル資材の吹きつけや(岡崎, 1996)、セメント資材を土壌と混和して固める方法が開発された(藤森, 1997)。田畑輪換を行うと、畑期間に土壌の乾燥が進み、畦畔の崩落も起こりやすいので、耐久性や補修方法の検討が必要である。また、縦浸透量と土性、土層構造との関係の解明は、代かきをしない水稻栽培の適地判定精度の向上に必要であり、灌漑用水量の制約のある地域も多いので普及上の重要な課題である。レーザレベラによる均平作業など、作業方法によって縦浸透を抑える可能性についてもさらに検討する必要がある。縦浸透の制御のためには、圃場が面する小排水路の水位を灌漑期間中に上昇させるゲートの設置も有効である。また、畦畔の雑草防除を軽労化するために、被覆資材の開発も行われたが、景観や生態系の保全などの面からは、小形機械などを用いた除草管理が容易な形

状の畦畔を作ることが必要である。

#### (2) 水稻の直播栽培技術の展開方向と土壌物理性の課題

直播技術は、播種時に湛水条件(潤土状態を含める)であることを基準にして乾田直播と湛水直播に大別され、8つの様式(表-1)に分類された(日本型直播稲作導入指針編集委員会, 1997)。乾田直播には、不耕起乾田直播と耕起乾田直播がある。乾田状態で播種し、播種直後または出芽前に湛水状態にする直播を従来は折衷直播と呼称した。

##### 1) 耕起乾田直播

平成8年の統計では、直播栽培面積7,300haの62%が乾田直播で、この内77%が耕起乾田直播である。耕起・砕土・播種から湛水までは乾田状態で管理し、湛水後は適正減水深を維持する必要がある。このため、排水性が良い乾田で、湛水後は水持ちが良い圃場条件が要求される。出芽・苗立率を高めるために砕土率を高める必要がある。土壌水分及び砕土率と出芽苗立の関係が研究された。また、播種後に強雨があると、雨滴によって田面の土壌が分散し皮膜(クラスト)を作って出芽を阻害する可能性がある。施肥については、乾田期間にアンモニア態窒素が硝酸に変わって溶脱するため施肥効率が悪いという問題があったが、速効性と緩効性窒素肥料を組み合わせて稲作期間に必要な全量を基肥1回で施用する技術が普及している。また、雑草防除についても、ヒエの4~5葉期まで効果がある除草剤が開発され、防除が容易になってきた。このため、乾田直播技術の安定化には、移植栽培より増える用水の供給の問題を含めて、適正減水深の確保、畦畔漏水の防止など主に圃場基盤に関する問題の解決が重要である。

##### 2) 不耕起乾田直播

粘質な土壌で耕起乾田直播を行うには、砕土率を高めるために、播種までに数回の耕耘が行われる。耕起したあとに降雨があると土壌が多量の水を含むので播種作業が大幅に遅れる。雨の多い年は、播種作業が遅れて、移植栽培に切替える場合がある。主に、この問題を避けるために岡山県を中心に不耕起乾田直播が普及してきた(岡武・長野間, 1995)。この普及の背景には、自脱コンバイン収穫跡の稲わらが散布された圃場でも精度良く播種できる不耕起播種機が開発されたことがある。また、冬期間に代かきや耕起・整地・鎮圧を行い、予め均平な田面に稲わらのない圃場を準備して、4月に播種をする直播技術も開発された(長野間, 1998)。不耕起乾田直播では、不耕起栽培の継続が土壌構造、肥沃度に与える影響を明らかにして、継続による生産性の変化と継続を阻害する要因を明らかにする必要があるが、田面に散布さ

表-1 水稻の直播方式の分類

	播種方式	酸素供給剤使用	耕起	代かき	播種様式	覆土	播種深さ	湛水時期	落水管理の効果	播種方法の特徴	土壌物理性との関係
湛 水 直 播	①不耕起播種	有	無	無	条播 点播	無	1~2 cm	播種前	少	潤土状態の水田に溝を切って播種。	無代かきなので、漏水が問題。溝幅と溝の崩落の関係が重要。
	②耕起代かき 作溝播種	有	有	有	条播	無	溝の 表面	播種前	有	落水して硬めの圃場に 乗用管理機などで作溝 して表面播種。	溝の自然崩落で覆土を行 う。土壌の種類、溝の 形状と崩落の関係が重 要。
	③耕起代かき 土中播種	有	有	有	条播 点播	有	1cm 程度	播種前	有	代かき後の圃場に土中 に条播、または代かき と同時に粉衣種子を打 ち込み点播する。	代かき土壌の物理性が、 特に代かき同時播種で 重要。
	④耕起代かき 表面播種	有 無	有	有	散播 条播	無	0.5 cm	播種前	有	表層に播種し、潤土状 態の管理を行う。散播 は能率的。	表層播種のため、倒伏 しやすくなる。水管理 で根を深く伸ばす。
	⑤耕起無代かき 表面播種	無	有	無	散播 条播	無	0.5 cm	播種前	有	耕起した圃場に浅い溝 を付けた後に湛水し、 無粉衣種子を散播する。	無代かきなので、漏水 が問題。浅い溝の崩落 で覆土する。
乾 出 直 播	⑥不耕起播種	無	無	無	条播 点播	有	2~3 cm	2~3 葉期 以後	無	耕起を省略した圃場に 作溝または部分耕して 播種する。冬期に代か きまたは耕起・整地す る方法もある。	不耕起継続による土壌 の変化。漏水が問題と なるので、適地判定が 重要。
	⑦耕起播種	無 有	有	無	条播 散播	有	2~3 cm	(0)2~ 3葉期 以後	無	耕起・砕土した圃場に 条播、または表面散播 後攪拌覆土。出芽前 に早期湛水する方式で は種子粉衣する。	砕土率を高めるために 耕起回数が多くなる。 クラストの発生と漏水 が問題となる。乾燥時 の土壌水分の制御が必 要。
	⑧耕起作溝播 種	有	有	無	条播	無	表面	播種 直後	無	耕起と同時に作溝機で 畝を立て、溝の表面に 条播する。播種直後に 湛水。	溝の崩落により出芽・ 苗立と耐倒伏性が左右 される。漏水が問題と なる。

れた稲わらによる病害虫の生態の変化など、土壌以外の要因が生産性に関わる可能性もある。営農現場では、耕起栽培と不耕起栽培を数年おきに交互に実施することでも経営全体の省力化になるので、不耕起栽培の継続だけにこだわる必要はない。不耕起栽培の利点は、降雨の多い年も好適な条件を選んで短期間に予定面積の播種作業を終了することができる点であるが、投入エネルギーや環境保全などの面を含めて総合的に評価される必要がある。

大規模経営では圃場条件によって耕起、不耕起を使い分けたり、不耕起栽培の継続による支障が現れた場合に耕起栽培を組み合わせることが考えられる。今後の課題としては、不耕起栽培によって生じる問題点の解明と適地判定基準の作成が必要である。土壌の種類及び用いる機械の接地圧などと土壌のコンパクションの関係を明らかにして、不耕起栽培の継続による生産性の低下の要因

と改善技術を明らかにする必要がある。また、小型の農具及び農業機械で不耕起栽培を継続した圃場では、根が作った根穴が、孔隙を増やし、透水性の向上に寄与している現象が推定される（長期不耕起栽培圃場研究グループ、1994）。この土壌構造が、根の伸長に対する制約を少なくし、養分の移動にも寄与していると考えられるので、根穴構造における養分移動について明らかにする必要がある。また、未攪乱土壌では、窒素の無機化が攪乱した土壌より遅れ、かつその量が少なくなることが明らかにされたが（野々山・長野間、1997）、土壌構造と窒素無機化量の関係の検討も必要であろう。土壌構造と根の伸長とも関係させて水稻の土壌窒素吸収パターンを考察する必要があると考えられる。

### 3) 播種直後に湛水する乾田直播技術

ロータリ耕起と同時に算盤玉の形をした円盤を強制回転して溝を作り、溝の表面に酸素供給剤で被覆した種子

を播種し、直ちに湛水する直播技術（古川ら、1995）には、10 cm 程度の深さの深い溝を作って播種して生育途中で強制的に培土を行って耐倒伏性を高める方法と、浅い溝に播種して土壌の崩落によって覆土をする方法がある。いずれの方法でも溝の崩落が苗立に大きく影響する。湛水の初期に溝の崩落が大きいと、覆土が厚くなりすぎて出芽・苗立が不安定になる。この方式における溝の崩落には、耕起・成畦する際の土壌水分と土性が影響すると想定されるが、溝の形状と合せて整理する必要がある。耕起と同時に作溝して表面播種する方法の利点は、円盤を強制回転させる機構によって土壌水分が多い条件でも整った形の溝を作ることができ、比較的天候に左右されずに播種ができる点である。表面播種であるため、溝の崩落の過程を制御できれば、出芽・苗立の安定した播種技術になり、培土によってコシヒカリなどの倒伏しやすい品種の直播も可能になると期待されている。

#### 4) 湛水直播技術と代かき土壌

湛水直播には、①不耕起の圃場に湛水して溝を切りながら播種する不耕起湛水直播、②代かき後の圃場に浅い溝を切って溝の表面に条播し、湛水後の溝の崩落により覆土を行う作溝表面条播方式、③溝を切って播種をして強制的に覆土を行うか、速度をつけて種子を土中に打ち込む土中播種方式（下坪・富樫、1996）、④代かき後の土壌表層に条播または散播する方式、⑤無代かき水田に湛水して表層に散播または浅い溝を付けた圃場に散播する方式の5つの方式がある。この内、打ち込み方式は点播であるので、移植水稻と似た株状になるため耐倒伏性の向上が期待されている。また、代かき後の潤土状態の圃場に表面播種する方法では、酸素供給剤を使用しなくても適切な苗立数を確保できる。各地の土壌、気象条件に対応するために出芽・苗立の安定化と耐倒伏性強化の工夫が異なり、現在は多数の播種方法があるが、播種の機械的な手段については圃場の区画や経営規模に応じて能率の大きな方法から小さな方法まで選ぶことができる。

湛水直播には、散播、条播、点播があり、いずれも一定の播種深度に播種することが、出芽、苗立の安定化に重要である。播種深度を一定に維持するには、代かき土壌の物理性を目標の範囲にすることと、圃場内で一定に揃えることが必要である。これまで、代かき土壌の物理性は、115 g の円錐状の重りを高さ1 m から自然落下させ円錐先端から土壌表面までの深さで示すさげ振り貫入深、ゴルフボールを1 m の高さから自然落下させるゴルフボール法などにより測定された（沢村、1997）。代かき土壌の物理性の変動には、土性、粘土鉱物、代かき時の土壌水分、代かき方法、代かき後の経過時間などが影響

する。藤尾（1976）の報告によると、代かき後に沈降した土壌は、蜂の巣状、網目状になっており、粗充填の状態にある。結合力は弱く、攪拌すると構造的に拘束された水が自由化して軟化する。しかし、粗充填の構造が破壊されると、密状態に再配列されて、泥が沈降硬化すると考察し、一旦代かき後に沈降した土壌を再攪拌すると沈降硬化が促進されることを明らかにした。沈降後の土壌の水を切り、再び攪拌すると土壌の沈降高さは減少する。粘稠度と硬度は、攪拌泥より再攪拌泥が、沈降泥より再攪拌後に沈降させた泥で大きくなる。このような代かき土壌の性質を考えると、代かきして土壌が沈降した後に落水し、浅水で再度代かきを行うなどの方法で、代かき土壌の物理性を大きく変えることができると考えられる。代かきと同時に播種をする打ち込み点播では、1 回目の代かき後から代かき同時播種までの経過時間が播種精度に影響するといわれる。沈降が進んだ充分に進んだ段階で再度代かきを行うと固くなりすぎる土壌があるのかもしれない。

今後の課題では、代かき土壌の流動性、土壌硬度の変動要因と制御方法を明らかにすることが必要である。土性、耕起前の土壌水分、有機物、代かき程度などとの関連で整理する必要がある。このために、現場でも測定できる精度の良い測定方法の検討が必要である。例えば、液性限界の測定方法であるフォールコーンを応用した現地測定法の開発も有効ではないだろうか。また、水管理に伴う泥土の流出や肥料成分の流出について注意する必要があるので、代かき後の土壌の沈降を人為的に促進することができれば有効な技術になりうると考えられる。

#### (3) 移植栽培の省力化と土壌物理性の課題

移植栽培の省力化の1つには耕起及び代かきの省略がある。この両方を省略した不耕起移植栽培は、わらが田面に散布された圃場で精度良く移植する田植機が市販されたために技術導入の効果が明瞭な地域に普及している。移植部分に溝を作る方法には、ディスクで切る方法と、特殊な爪で部分耕する方法がある。不耕起移植栽培における大きな課題は、適正減水深の確保を中心にした適地判定である。施肥に関しては、育苗期間は溶出しないシグモイド型の緩効性肥料を育苗箱へ予め施肥し、移植時に本田へ肥料を持込むことによって側条施肥と同等の効果が得られるので、土壌窒素の無機化と根域の発達が遅れる不耕起条件でも初期～中期の生育を確保できる技術が確立した（金田ら、1994）。不耕起栽培の継続による物理性の変化については、不耕起乾田直播と同様の課題がある。

次に、代かきのみを省略した無代かき移植栽培技術も、適正減水深が得られる場所が適地である。浅く簡易

な代かきを行いながら、同時に移植する方法も開発された。無代かき移植における移植精度には、灌水前の土壌の碎土率と移植時の土壌の崩落、分散が関係するが、後者には移植前に灌水状態で放置する日数と土壌の吸水、膨軟化の程度が関係する。以上のような代かきを行わない移植技術では、移植前の落水操作による泥土の流出が殆どない点の特徴である。

次に育苗過程を省力化する技術開発がある。育苗期間が7日間程度と短い乳苗移植では、苗の草丈が小さいので田面の均平が重要である。また、土壌を用いず灌水や養分管理が自動化できる水耕により12~10日程度育苗して作られる苗(田坂, 1997)は、不織布に播種された根がマット状になったもので土が付いていない。このため、重りになるものがなく、代かき土壌の状態によっては、土壌に固定されずに浮き苗になる危険性がある。代かき後の流動性が小さな中粗粒質土壌または、流動性が大きい土壌で問題となると考えられる。このため、浮き苗を避け、植え付け姿勢を適正に保つための代かき土壌の物理性の許容範囲は、慣行の床土の付いた苗よりは幅が狭いと考えられる。灌水直播と同様に、省力的に安定して代かき土壌の物理性を調整することが、この移植技術の安定化に必要である。

#### (4) 水田高度利用と土壌の物理性

水田の高度利用を考える上では、麦類、大豆、飼料作物、野菜と水稲とのローテーションが、畑作物の連作障害を避ける上でも、土壌肥沃度の維持、水田の機能を維持する上でも有効である。代かきを行わない水稲の栽培方法を採用すると、碎土性、排水性がまざるので、この跡に畑作物を栽培することが有効である。さらに節水栽培により水稲を利用して土壌を乾燥させることも方策として考えられる。このように、前作となる水稲の栽培を高度利用に適した方法に選択することも、畑作物の省力・安定多収栽培に必要である。

また、排水対策の効果を向上させるために、新たな方法の検討も必要である。アメリカの輪換水田では、0.1~0.2%の傾斜化を付けて畦間灌漑を行っている(Hill *et al.*, 1992)。圃場内の凹地を少なくすることによって圃場内の降雨後の残水を少なくすることができるので、排水促進につながると考えられる。また、暗渠を用いた地下灌漑、傾斜化圃場での畦間灌漑による大豆の増収技術を確立する必要がある。大豆に対する灌漑については、各地で試験がされたが、普及には至っていない。必ずしも毎年顕著な効果が現れる技術ではないと考えられるので、省力的で低コストな方法を開発する必要がある。

#### (5) 水田の環境保全機能と土壌の物理性

水田の環境保全機能には、灌漑水中の窒素の脱窒など

の浄化機能がある。この水田における脱窒機能を増強するような有機物の管理を検討する必要がある。前作の稲わらをすき込まない不耕起栽培では、作土層の還元が進まないで土壌中にすき込んだ場合よりメタンの発生が少ない可能性がある。また、田面にわらを散布することによっても、土壌中にすき込んだ場合と同等の浄化能が維持できる(尾崎・近藤, 1995)。また、乾田直播、不耕起移植栽培などの代かきをしない作業方法は、水田からの泥土の流出を少なくすることができるので、排水路の管理や養分の流出を少なくする上で有効である。また、水田の下層土は還元的な土層である場合が多く、転換畑で野菜を栽培した場合は浸透水中の窒素の脱窒機能を活かすことができるので、浸透水中の窒素の脱窒量を高める土壌構造や有機物の施用方法を工夫する必要がある。

#### (6) 土壌のコンパクションと土壌有機物の管理

大型機械化農業を考えた場合、土壌のコンパクションを避けることが持続的な生産性の維持に重要である。この点については、有機物との関係を解明する必要がある。田面に散布されたわらなどの有機物が、トラクタ走行時の車輪踏圧によるコンパクションを緩和する可能性もある。Karlen *et al.* (1994)は、不耕起継続土壌について作物残渣の管理によって影響される土壌の質及び播種床の質に関する要因と指標を示した。水の浸入能に関する評価、水の移動、保持に関する評価、土壌構造の安定性に関する評価、植物生育の持続性に関する評価の4つの要因について、それぞれの得点が0~1の値で示され、さらに、各要因別の重み付け係数を掛けて、0~1の総合点が示される。

$$Q = q_{we} \times (wt_1) + q_{wt} \times (wt_2) + q_{rd} \times (wt_3) + q_{spg} \times (wt_4)$$

$q_{we}$  : 水の浸入 (water entry) 能

$q_{wt}$  : 水の移動 (water transfer) と保持

$q_{rd}$  : 質の悪化 (resist degradation) に対する耐性

$q_{spg}$  : 作物生育の持続 (sustain plant growth)

$wt$  : 各要因の重み付け係数 ( $Wt_1=0.2, Wt_2=0.2, Wt_3=0.2, Wt_4=0.4$ )

4つの要因の得点も、それぞれ複数の指標の得点もとに計算される。例えば、水の浸入能( $q_{we}$ )については、団粒の安定性、表層の土壌の孔隙率、土壌動物の数の3つの指標から評価される。各指標は0~1の値で評価され、それぞれに0.6, 0.2, 0.2の重み付け係数を掛けて、浸入能の総合得点が計算される。耕起方法の違い及び各耕起方法の継続が土壌に及ぼす影響の評価には、このような総合的な評価方法を工夫する必要があると考える。

Soane (1990)の総説によると、コンパクションに関

与する有機物としては、生きている根や微生物、死んだ有機物として、分解の進んでいない有機物、部分的に分解の進んだ有機物、土壌腐植が上げられる。圧縮後に加重を取り除いた時の有機物の容積重に対する圧縮を受けた時の容積重の比で表す緩和率 (Relaxation ratio) について、有機物の質の影響を調べると未分解有機物の緩和率が顕著に大きい。有機物含量とコンパクションの受けかたを評価する方法として、pF 1.9 の土壌が空気が満たされた孔隙が10%までに減少するために必要な圧力で評価する方法が紹介されている。このような、有機物施用との関係を整理して、望ましい有機物管理の指標を作成する必要がある。

#### 4. おわりに

直播に代表される水稲作の省力、低コスト技術の開発と水田を総合的に利用する技術開発を行う上で、土壌の物理性に関わる問題の解決は重要である。水稲の直播については、変化に富んだ気象条件と様々な土壌条件に対応するために、多様な工夫が実施されている。それぞれの工夫にとって成功の鍵をにぎる部分に土壌物理性の問題が存在するように思う。作業の能率を落とさず、余りコストを掛けずに、土壌の物理性を管理し、制御することが必要である。このためには、見逃していた現象の解析等から新しい見方が生まれることが期待される。

#### 引用文献

長期不耕起栽培圃場研究グループ (1994) : 長期不耕起直播田の土壌及び水稲栽培の実態調査, 農業技術, 49 : 251~256.

Hill J.E. *et al.* (1992) : Rice production in California, p 1~22, Cooperative Extension University of California.

藤森新作 (1997) : 基盤整備技術, 日本型直播稲作導入指針, p 93~115, 農業研究センター.

藤尾福蔵 (1976) : 水田泥の攪拌沈降硬化について, 土壌の物理性, 31 : 9~13.

古川嗣彦, 堀内久太郎, 松村修 (1995) : 直播稲作への挑戦, 第2巻, p 95~114, 農林水産技術協会.

姫田正美 (1998) : 水稲直播栽培の新展開, 日本の農業, 205 : 30~31.

椛木信幸 (1997) : 栽培管理技術, 日本型直播稲作導入指針, p 116~130, 農業研究センター.

金田吉弘ら (1994) : 肥効調節型肥料を用いた育苗箱全量基肥による水稲不耕起移植栽培, 土肥誌, 65 : 385~391.

Karlen, D.L. *et al.* (1994) : Crop residue effects on soil quality following 10-years of no-till corn. Soil Tillage Res., 31 : 149~167.

木村勝一 (1995) : レーザー利用による大区画水田圃場の均平技術, 直播稲作への挑戦 第2巻, p 142~151, 農林水産技術協会.

長野間宏 (1998) : 汎用型不耕起播種機による高能率乾田直播, 機械と農業, 2 : 12~15.

日本型直播稲作導入指針編集委員会編 (1997) : 日本型直播稲作導入指針, p 4~5, 農業研究センター.

野々山芳夫, 長野間宏 (1997) : 施肥・土壌管理, 日本型直播稲作導入指針, p 131~139, 農業研究センター.

岡武三郎, 長野間宏 (1995) : 不耕起乾田直播, 直播稲作への挑戦 第2巻, p 21~39, 農林水産技術協会.

岡崎紘一郎 (1996) : 水田畦畔管理省力化のための土壌モルタル被覆, 総合農業の新技術, p 234~238, 農業研究センター.

尾崎保夫, 近藤正 (1995) : 自然浄化機能を活用した農山村地域の水質改善, 用水と排水, 37 : 32~38.

沢村篤 (1997) : 代かき土壌硬度, 土壌環境分析法, p 38~40, 博友社.

下坪訓次, 富樫辰志 (1996) : 水稲直播用打ち込み式代かき同時土中点播機, 総合農業の新技術, p 239~245, 農業研究センター.

Soane, B.D. (1990) : The role of organic matter in soil compactibility. Review of some practical aspects. Soil Tillage Res., 16 : 179~201.

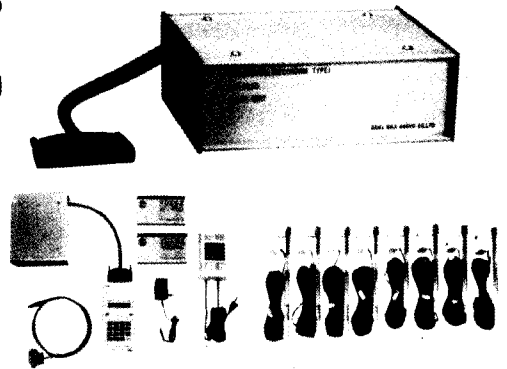
田坂幸平 (1997) : 水稲ロングマット水耕苗の育苗・移植作業技術, 総合農業の新技術, p 181~186, 農業研究センター.

受稿年月日: 1998年7月13日  
受理年月日: 1998年7月30日

## テンシオメータ 自記タイプ DIK-3020

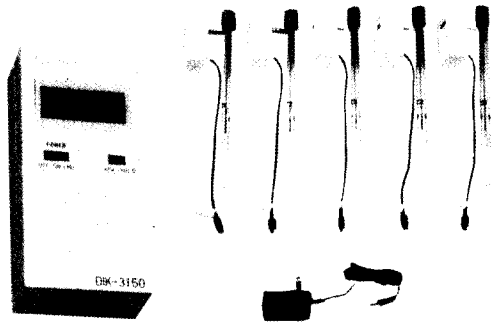
土壌水の吸引力の変化を刻々測定し、  
データロガーにデータを収録しま  
す。電源の無い野外ではバッテリー  
を使用します。

(測定点数8、測定範囲 pF 0~3)

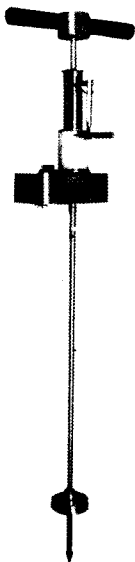


## テンシオメータ 表示タイプ DIK-3150

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

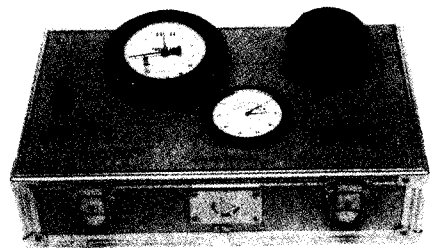


## 貫入式土壌硬度計 DIK-5520



土中にさし込む  
だけで各深さに  
対応した抵抗値  
が自動的に連続  
記録されます。

## 土壌三相計 DIK-1120



実容積(固相+液相)と  
全重量が現場で迅速に  
測れます。

SPAD<sup>®</sup>開発製品



ダイキ  
大起理化工業株式会社

〒116 東京都荒川区西尾久7-60-3 TEL.03-3810-2181



## 不耕起乾田直播栽培の継続が土壌ち密度並びに 減水深に及ぼす影響

石橋英二\*・赤井直彦\*・大家理哉\*・川中弘二\*\*

Effect of Continuation of Non-tilled Direct Seeding Rice Culture on the  
Soil Compactness and Water Requirement in Depth.

Eiji ISHIBASHI, Naohiko AKAI, Masaya OHYA and Koji KAWANAKA\*

\*Okayama Agric. Exp. Stn. Sanyo, Okayama 709-0801, Japan

\*\* Minato, Okayama, 703-8266, Japan

### Abstract

Field studies were carried out to know the effect of the continued non-tilled direct seeding rice culture on the soil compactness and water requirement in depth.

The outline will be described below.

1) The compactness of topsoil was become harder due to the continuing of the non-tilled direct seeding rice culture. The compactness of the topsoil was about 500-1000 KPa.

2) The distribution of root system was not limited by the high compactness at the non-tilled direct seeding rice culture.

The amount of root was converged into the surface of topsoil, 0-3 cm, by continuing the non-tilled direct seeding rice culture.

3) The thickness of organic layer on topsoil was about 14-18 mm in the way of surface application with rice straw, but about 6 mm in the way of carrying out of rice straw.

4) The water requirement in depth was increased due to the continuing of the non-tilled direct seeding rice culture. That was remarkable in the paddy field with low groundwater level, but there was no problem in the paddy field with high groundwater level.

5) The increase in the water requirement in depth was mainly due to the increase in the percolation through border.

**Key words** : paddy soil, non-tilled culture, direct seeding, water requirement in depth, compactness

### 1. はじめに

水稲不耕起乾田直播栽培（以下、不耕起直播）は、耕起乾田直播栽培（以下、耕起直播）の播種作業が天候に左右されやすいという欠点を補う技術として昭和40年代半ばに開発され普及した（日本土壤肥料学会運営委員会編, 1989）。しかし、その後自脱型コンバインの普及に伴い稲わらが圃場に還元されるようになると、稲わら存

在下では不耕起直播機の播種精度が悪くなるため、次第に敬遠されるようになった。さらに不耕起直播では地力窒素の発現量が少ないため、耕起移植や耕起直播と比べて低収である（野々山, 1976）、あるいは当時の乾田期間中に用いる除草剤では、散布適期がせまかったため除草に一度失敗すると、その後の管理に困難を来すという理由等で栽培面積が減少していった。

ところが、昨今の厳しい農業情勢の中で省力化や規模

\* 岡山県立農業試験場 〒709-0801 岡山県赤磐郡山陽町神田沖 1174-1

\*\* 〒703-8266 岡山県岡山市湊

キーワード：水田土壌，不耕起，直播，減水深，ち密度

拡大によるよりいっそうの低コスト化に対する社会的要請が強まり、技術面では稲わら存在下でも精度の高い播種機の開発 (河本, 1997), 新しい除草体系の確立, 被覆肥料の開発等によって不耕起直播が生産性の高い新技術として発展する可能性がでてきた。

そこで、不耕起直播を継続するに当たって、耕起や代かきをしないことで、最も問題になると考えられる土壌のち密化と根群の発達および減水深について、20年以上の長期間にわたって不耕起直播を継続している小区画水田と最近になって不耕起直播を新たに始めた大区画水田において調査した。その結果、有用な知見が得られたので、その概要を報告する。

## 2. 実験方法

### 1) 調査圃場

調査圃場の概要を表1に所在地を図-1に示した。

水門地区、赤坂地区の長期不耕起直播継続水田 (水門A, 赤坂A) の稲わらは全量圃場外に持ちだされており、播種作業は歩行型の二条播種機による。このため、大型機械が圃場を走行するのは、コンバインだけである。

山陽地区では、1967年に1区画1haに区画整理され、その後耕起移植あるいは耕起直播が行われ、1992年から1996年にかけて順次不耕起直播に移行した水田とそれらに隣接する耕起移植水田を対照として調査した。

### 2) 表層に集積した有機物層の厚さ

山陽地区で不耕起直播継続年数が異なる圃場6カ所において、1997年の水稲収穫前に条間の田面表層から直径50mm、高さ51mmのステンレス製採土管を垂直に打ち込み、土壌コアをサンプリングした。

土壌コアを押し出して1試料毎に表層に集積した有機物層の厚さを測定した。サンプリングは6反復で行った。なお、本調査法では土壌コアを採土管から押し出すときに有機物層を圧迫するため、現地での観察結果と比

較し評価した。

### 3) 貫入抵抗

#### (1) 長期間不耕起直播を継続した圃場の貫入抵抗

1992年4月に水門地区、赤坂地区の不耕起直播継続水田及び隣接する耕起移植水田において、深さ30cmまでの貫入抵抗を白記式貫入抵抗計 (DIK社製, 使用バネ50kg, コーン頂角30度, 断面積2cm<sup>2</sup>) を用いて調査した。なお、本調査は長期不耕起栽培圃場研究グループ (1994) が実施したものである。

#### (2) 大型農作業機械が頻繁に入る圃場での貫入抵抗

1997年の水稲収穫後に山陽地区の不耕起直播継続年数が2, 4及び6年目の圃場 (農試A) 及び隣接する耕起移植水田 (農試B) において、不耕起直播継続年数と土壌ち密化の関係を知るため、深さ20cmまでの貫入抵抗を測定した。

なお、貫入抵抗の測定は、圃場の対角線上の5~8地点において実施し、その平均値を求めた。

### 4) 作土中の根群調査

根群分布の調査は、水門地区及び赤坂地区においては1994年の水稲収穫後に実施した。また、山陽地区におい

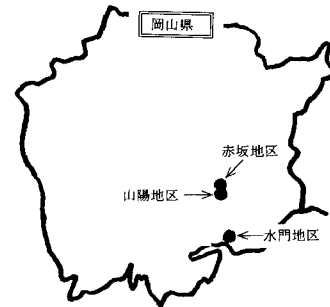


図-1 調査圃場の所在地

Fig. 1 Location of investigated fields.

表-1 調査圃場

調査地区	ほ場名	住 所	栽培様式	ほ場面積	土壌の種類* (土性)
水門地区	水門 A	岡山市西大寺水門	不耕起乾田直播	7 a	表層灰色グライ低地土 (CL)
	水門 B	岡山市西大寺水門	耕起移植	7 a	表層灰色グライ低地土 (CL)
赤坂地区	赤坂 A	赤坂町多賀	不耕起乾田直播	5 a	普通灰色低地土 (SL)
	赤坂 B	赤坂町多賀	耕起移植	5 a	普通灰色低地土 (SL)
山陽地区	農試 A	山陽町神田	不耕起乾田直播	1 ha	灰色化低地水田土 (L)
	農試 B	山陽町神田	耕起移植	1 ha	灰色化低地水田土 (L)
	農試 C	山陽町神田	不耕起乾田直播	3×3 m	造成土 (SL)
			不耕起乾田直播	3×3 m	造成土 (SL)

注\* 農耕地土壌分類 第3次案

て、不耕起直播継続3年目に当たる1994年と6年目に当たる1997年の2回実施し、根群分布の経年変化を調査した。調査は採土器（縦15×横15×深さ13cm、1株専有面積の1/2に相当）を用いて土壌ブロックをサンプリングし、これを実験室に持ち帰り、図-2のように9ブロックに分割してブロック毎に含まれる根重を測定した。土壌採取は2反復で行ったが、その後の根重測定は2反復を一つにまとめて行った。

なお、調査株は、1株が点播状にまとまっており、且つ1株当たり茎数が概ね同数の18本前後の株をそれぞれ選定した。

調査した深さは、県内の耕起移植栽培の作土深が11～15cmであることから、その中間的な値として0～13cmについて行った。

5) 減水深

ベーシックインタークレートをシリンダ・インターク・レート測定法（土壌物理性測定法委員会，1980）に従って1992年4月に長期不耕起栽培圃場研究グループ（1994）が調査した。調査は水門地区及び赤坂地区の不耕起直播長期継続水田と隣接する耕起移植水田において行

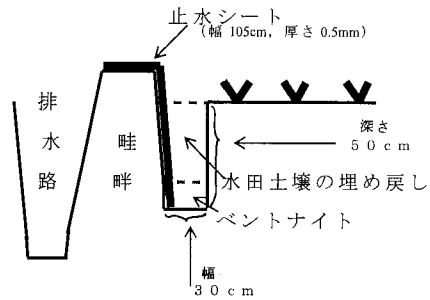


図-3 畦畔浸透防止のための塩化ビニールシート処理方法

Fig. 3 Method of vinyl chloride sheet management for prevention of percolation through border.

われた。

また、1992年から1995年にかけて、調査年数は若干異なるが水門A、赤坂A、Bの各圃場において水稲栽培期間中の減水深を自記水田減水位計（木屋製作所製、RR-20）によって求めた。なお、赤坂Aでは漏水対策として、1995年4月に図-3に示すように畦畔からの透水を防止するために止水シート（塩化ビニール製、幅105cm、厚さ0.5mm）を排水路側の畦畔沿い65cmに埋設した。止水シートの透水防止効果は止水シート埋設前後、つまり、1994年と1995年の減水深の差から推定した。

なお、赤坂Bの排水路長並びにその他の立地条件は赤坂Aとはほぼ同じであった。

3. 結 果

1) 水田表層に集積した有機物の厚さ

不耕起直播を継続すると、水田表層に有機物が集積する。そこで、山陽地区において稲わらを全量圃場還元したときの有機物の集積層の厚さを不耕起直播1年目から6年目の圃場について調査したところ、図-4のように経年的に厚くなり、不耕起直播継続6年目で15mm程度であった。なお、本調査法では土壌コアがサンプリング時に圧縮を受け、現地圃場の自然状態の観察結果と比較すると層厚が約2～3割薄かった。

水門A圃場は、稲わらを持ち出していたため、20数年間の不耕起直播継続にもかかわらず、表層に集積した有機物層の厚さは数mm程度に過ぎなかった。一方、水門Aと同様に長期間不耕起直播を続けてきた赤坂Aでも、稲わらはすべて圃場外に持ち出されていたが、おがくず鶏糞堆肥等の有機物が毎年1～2t/10a連用されてきたため、写真-1のように水田表層には約18mmの有機物層ができており、その下には10～20mmの腐植に

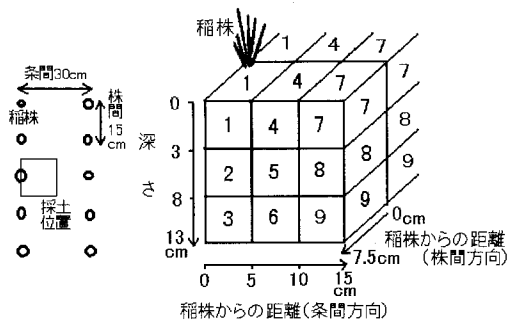


図-2 作土の分割方法

Fig. 2 Method of partition of soil block.

の 概 略

地下水位	ほ場整備	備 考
45 cm	無し	不耕起乾田直播栽培長期継続
50 cm	無し	上記隣接耕起田
1 m 以下	無し	不耕起乾田直播栽培長期継続
1 m 以下	無し	上記隣接耕起田
80 cm	1967 年	不耕起乾田直播栽培 1～6 年目の 6 ほ場
80 cm	1967 年	上記隣接耕起田
1 m 以下	1991 年	稲わら還元有
1 m 以下	1991 年	稲わら還元無

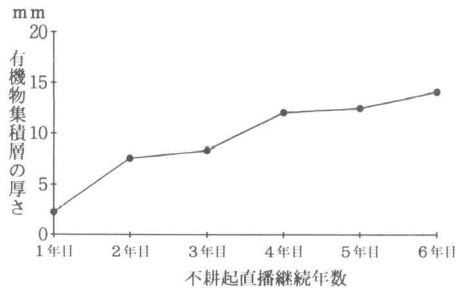


図-4 作土表層に集積した有機物層の厚さと不耕起直播継続年数の関係

Fig. 4 Relation between the thickness of organic layer on surface of topsoil and the continuation of non-tilled direct seeding rice culture.

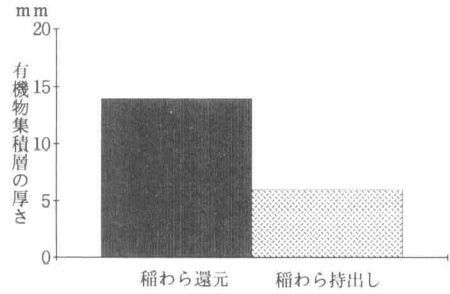


図-5 不耕起乾田直播田作土表層に集積した有機物層の厚さに対する稲わら処理の効果

Fig. 5 Relation between surface application with rice straw and carrying out of rice straw on the thickness of organic layer on the surface of topsoil.

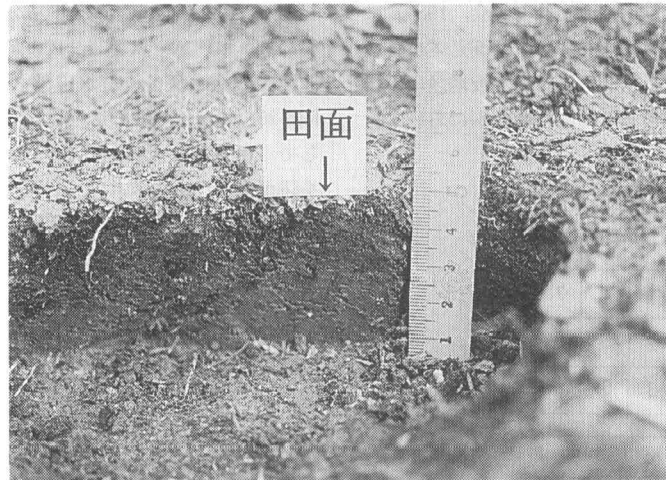


写真-1 作土表層の有機物層

Photo. 1 Organic layer on the surface of topsoil (non-tilled culture).

富む土層が発達していた。

また、不耕起直播において稲わらの圃場還元の有無が有機物層の厚さに及ぼす影響について農試Cで調査した。その結果、図-5に見られるように、不耕起直播を5年間継続したとき、稲わらを還元すると水田表層に約14 mmの有機物層ができたが、稲わら持ち出しでは6 mm程度であった。

このように、不耕起直播を継続した場合の水田表層の有機物層の厚さは、稲わらの表面散布を6年間継続した場合に15 mm程度、20数年間の不耕起直播継続で、稲わら無散布の場合に数 mm程度、おがくず鶏ふん堆肥等の有機質資材を施用した場合には18 mm程度であっ

た。

写真-2は農試Cにおける1998年6月12日(播種後24日目)の雑草の発生状況を示したものである。写真上は稲わら還元を継続した場合、写真下は稲わら持ち出しを継続した場合で、いずれも無除草の結果である。このように、稲わらの還元継続により雑草の発生は明らかに少なくなった。その他、観察では冬期間の畑雑草の発生量も少なくなる傾向がみられた。

## 2) ち密度と根群分布

### (1) 長期不耕起直播継続水田の調査結果

水門、赤坂両地区で長期間不耕起直播を続けてきた水田と対照とする耕起移植水田の貫入抵抗の結果を図-6

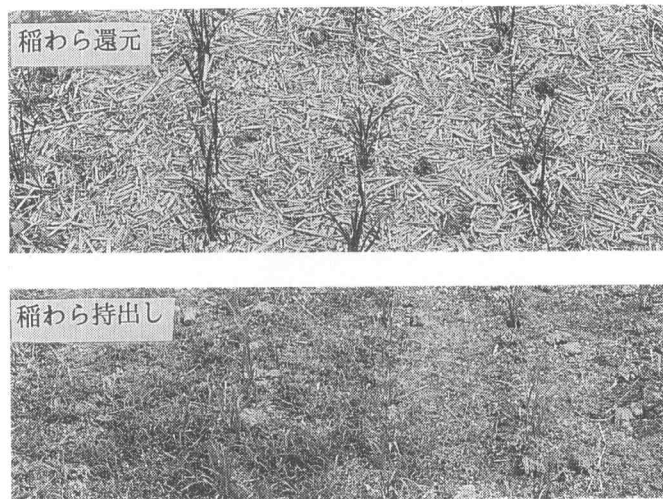


写真-2 稲わら還元の有無が雑草の発生に及ぼす影響

Photo. 2 Relation between surface application with rice straw and carrying out of rice straw on the growth of weed.

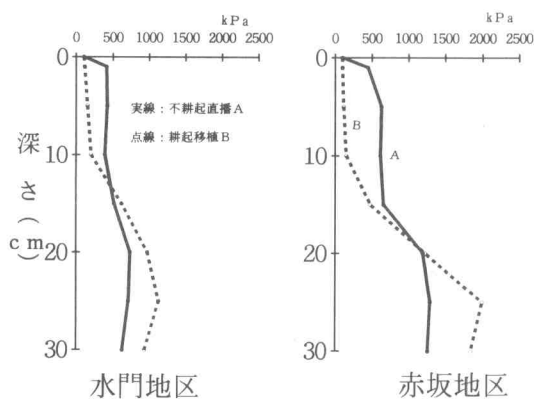


図-6 不耕起直播の長期継続が土壤ち密度に及ぼす影響

Fig. 6 Effect of the long-term continued non-tilled direct seeding rice culture on compactness.

(a solid line : non-tilled culture, a dotted line : plowing transplanting culture)

notes : spring 50 kg, an angle of 30 degrees, an area of section 2 cm<sup>2</sup>

に示した。不耕起直播を20数年間継続した圃場では、いずれの場合も深さ0~10数cmの土層のち密度は耕起移植水田よりも高くなっており、貫入抵抗値で420~640 kPaであった。一方、深さ20~30cmのち密度は耕起移植水田の方がむしろ大きかった。

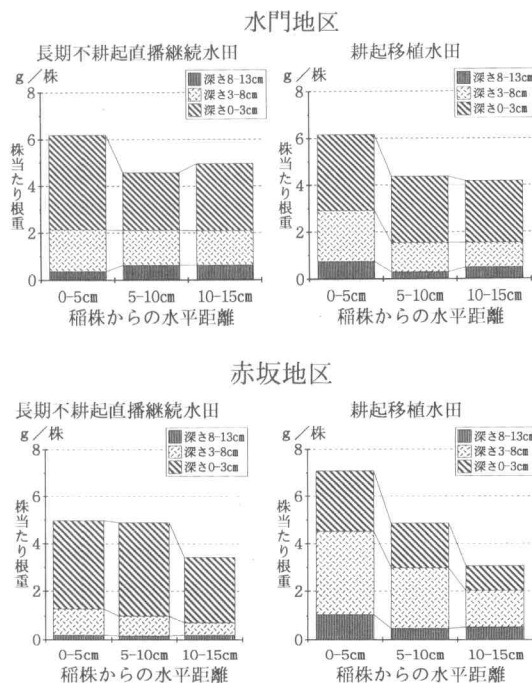


図-7 不耕起直播の長期継続が作土中の根群分布に及ぼす影響

Fig. 7 Effect of the long-term continued non-tilled direct seeding rice culture on vertical and horizontal distribution of root system.

(left : non-tilled culture, right : plowing transplanting culture)



写真-3 作土表層の根の発達

Photo. 3 Distribution of root system on the surface of topsoil (non-tilled culture).

深さ0~13cmの不耕起直播水田と耕起移植水田の根群分布を図-7に示した。水門地区では、深さ0~13cmの全層について両者を比較すると、稲株周辺の根量に差はないが、稲株から5~15cm離れた場所では不耕起直播の根量が耕起移植より多かった。一方、赤坂地区でも0~13cmの全層について比較すると、稲株周辺の根量は耕起移植が多かったが、5~15cm離れた場所では水門地区と同様に不耕起直播の方が多かった。根の層位別分布では、いずれの地区においても不耕起直播の根は耕起移植と比較して深さ0~3cmの表層に多く、水田表層を水平方向に広がっていた。特に、赤坂Aでは表層に偏在していた(写真-3)。

(2) 大型農作業機械が走行する大区画圃場の調査結果  
山陽地区の大区画圃場において、1997年の水稲収穫後に土壌ち密度と不耕起直播継続年数との関係を調査した。

その結果、図-8にみられるように、不耕起直播水田の深さ0~13cmのち密度は隣接する耕起移植水田と比較して明らかに高く、不耕起直播継続年数が長いほどち密度が高まる傾向が見られた。大型農作業機械の走行が少ない作業体系で不耕起直播を継続してきた水門や赤坂地区と比較すると、深さ0~13cmのち密化はよりいっそう進んでいた。

図-9は不耕起直播6年目の圃場の湛水期間中のち密度を測定したものである。水稲収穫後の調査では、深さ5~13cmにおいて1000kPa前後あったものが、湛水期間中には500kPa前後まで低下していた。

図-10のA、Bは、1994年が不耕起直播継続3年目に

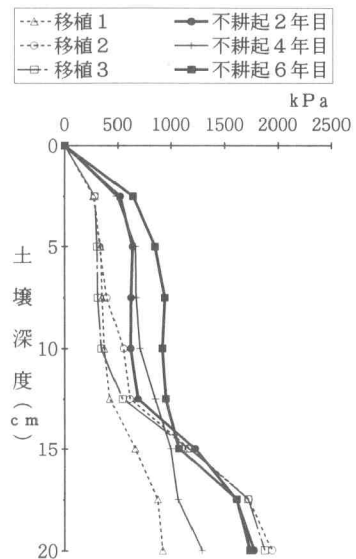


図-8 大区画圃場における不耕起直播の継続が土壌ち密度に及ぼす影響

Fig. 8 Effect of the continued nontilled direct seeding rice culture in large-scale paddy field on compactness.

当たる圃場の水稲収穫後の根群分布を隣接の耕起移植水田と比較したものである。不耕起直播の根は深さ0~3cmの表層に多く、稲株から離れた場所の根量も多い傾向が見られ、根の伸長は抑制されていなかった。また、同じ圃場の3年後(不耕起直播継続年数でいえば6年目

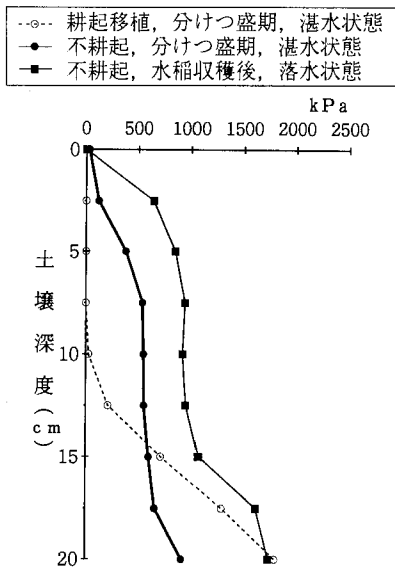


図-9 土壌ち密度に及ぼす土壌水分の影響

Fig. 9 Effect of the soil moisture on the soil compactness.

にあたる) の水稻収穫後の根群分布を図-10Cに示した。不耕起直播を継続すると前述のように深さ0~13cmのち密度は高まっていたが、深さ0~13cmの総根量は不耕起直播3年目と比較して不耕起直播6年目では多くなっており、根の伸長が抑制されている傾向は認められなかった。長期不耕起継続水田で観察されたように、根の分布が表層に偏在してきている傾向がうかがわれた。

3) 減水深

水門及び赤坂地区で20数年間不耕起直播を継続している圃場と隣接の耕起移植水田のベーシックインテークレートを比較した結果を図-11に示した。その結果、両地区ともベーシックインテークレートは不耕起直播が明らかに大きく、特に水門地区において大きい差が認められた。

両地区における栽培期間中の減水深を図-12に示した。地下水水位が低く棚田状の地形に位置する赤坂Aの減水深は大きかったが、湛水期間中に地下水水位が高くなる水門Aの減水深は、非湛水期間中のベーシックインテークレートが大きいかかわらず、約10mm/日程度で小さく、栽培期間中の変動もほとんどなかった。このように不耕起直播を継続する場合、調査場所によって減水深には大きな差が認められるようになり、土壌や立地条件の重要性が示唆された。

不耕起直播を長期間継続して減水深が著しく大きくなった赤坂Aとそれに隣接する耕起移植の赤坂Bの減

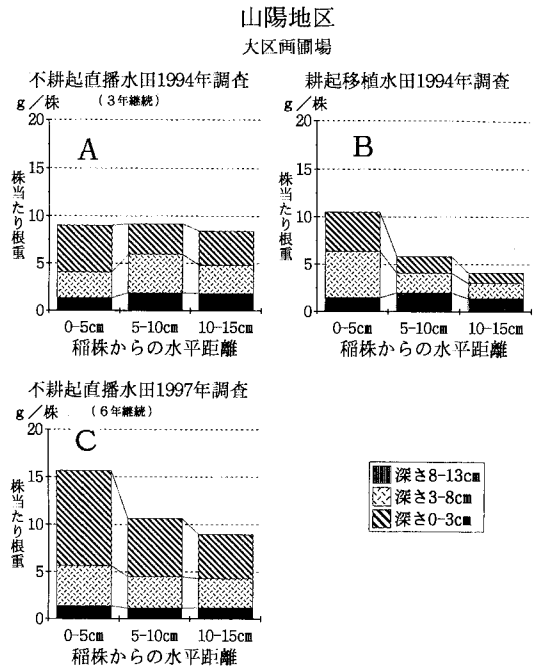


図-10 大区画圃場における不耕起直播の継続が作土中の根群分布に及ぼす影響

(図A, B: 不耕起直播水田と隣接する耕起移植水田の比較 図A, C: 不耕起直播継続年数と根群分布)

Fig. 10 Effect of the continued non-tilled direct seeding rice culture on distribution of root system.

(Fig. A, B: Comparison between non-tilled culture and plowing transplanting culture. Fig. A, C: Effect of the continued non-tilled culture on the distribution of root system.)

水深を図-13に示した。漏水対策前の赤坂Aでは減水深は入水初期は非常に高いレベルであったが、その後は徐々に低下し最高分けつ期頃には対照の耕起移植水田に近い値となった。

水田からの減水深は畦畔浸透と縦浸透及び蒸発散量によって決まるので、その内の畦畔浸透を抑制する目的で1995年に止水シートによる漏水対策処理を実施し、その結果を図-13に示した。漏水対策前と比較すると、減水深はかなり小さくなったが、隣接の耕起移植水田と比較すると入水初期の減水深には依然として大きな差があった。

これらの減水深調査結果から水稻栽培期間中の用水量を試算し、表-2に示した。耕起移植水田の用水量は中干し期まで479 m<sup>3</sup>/10 a, 中干し後1,050 m<sup>3</sup>/10 aの合計

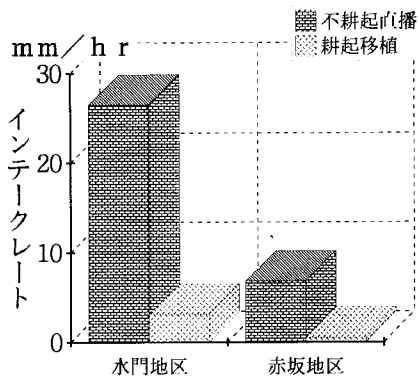


図-11 不耕起直播の長期継続がインテークレイトに及ぼす影響

Fig. 11 Effect of the long-term continued non-tilled direct seeding rice culture on the intake rate.

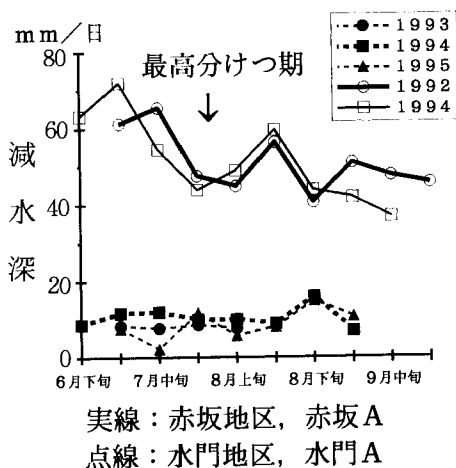


図-12 土壌タイプの違いが減水深に及ぼす影響  
 Fig. 12 Effect of soil type on water requirement in depth.  
 (a solid line: Haplic Gray Lawland Soils. a dotted line: Epi-gray Gley Lawland Soils)

1,529 m<sup>3</sup>/10 a, それに対して不耕起直播の用水量はそれぞれ 1,811 m<sup>3</sup>/10 a, 1,413 m<sup>3</sup>/10 a の合計 3,224 m<sup>3</sup>/10 a であった。漏水対策後の不耕起直播の用水量は合計 1,876 m<sup>3</sup>/10 a であった。漏水対策前後の減水深について、縦浸透量は同一圃場で同じであるので、蒸発散量の年次変動が無いと仮定すれば、漏水対策前後の用水量の差は畦畔浸透量に相当すると考えられ、その量は 3,224 m<sup>3</sup> - 1,876 m<sup>3</sup>/10 a の 1,348 m<sup>3</sup>/10 a となる。また、漏水

— 不耕起直播, 赤坂A (漏水対策前)  
 ● 不耕起直播, 赤坂A (漏水対策後)  
 - - - 耕起移植水田, 赤坂B

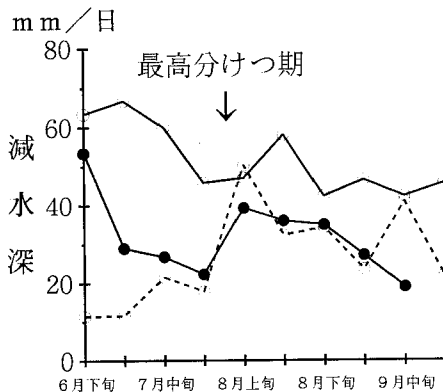


図-13 不耕起直播の長期継続及び不耕起直播水田における漏水防止対策が減水深に及ぼす影響

Fig. 13 Effect of the long-term continued non-tilled direct seeding rice culture and management for prevention of percolation through border on the water requirement in depth.

対策後の不耕起直播水田と耕起移植水田の用水量の差は、畦塗りが綿密に行われていた耕起移植水田からの畦畔浸透がないと仮定すれば、縦浸透量の差に相当すると考えられ、1,876 m<sup>3</sup> - 1,529 m<sup>3</sup>/10 a の 347 m<sup>3</sup>/10 a と試算された。

#### 4. 考 察

##### 1) 土壌のち密化と根群の発達

不耕起直播は耕起をしないため、土壌がち密化し根の伸長が抑制されることが懸念される。

1960年代から県内に普及し、現在も続けられている不耕起直播は大型農作業機械がほとんど走行しない作業体系であるのに対して、1990年代になって始まった不耕起直播は労働生産性が高い低コスト稲作技術として注目され、大型農作業機械が圃場を頻繁に走行することが前提となっている。このため、従来から普及している不耕起直播と比較して土壌のいっそうのち密化が懸念されている。

そこで、大型農作業機械の走行頻度が低い1960年代から始められている長期不耕起直播継続水田と1990年代になって新たに普及を始めた大型農作業機械の走行頻度が高い不耕起直播水田について、土壌のち密化並びに



表-2 不耕起直播継続が用水量に及ぼす影響

単位 m<sup>3</sup>/10a

	6月下旬から7月下旬までの積算量*			中干し後30日間積算量**		
	耕起 移植	不耕起直播		耕起 移植	不耕起直播	
		漏水対策前	漏水対策後		漏水対策前	漏水対策後
用水量	479	1,811	937	1,050	1,413	939

注\*：6月下旬から7月下旬までの期間は、落水をほとんど行わないため、当該期間の3半旬別平均減水深のグラフを作図し、その台形面積を求めることによって算出。

\*\*：8月上旬から9月上旬までの期間は間断灌漑となるため、当該期間中の平均減水深から、その期間の日数を単純にかけ合わせて算出。なお、計算に当たっては蒸発散量は考慮せず、年次間差も無いとして処理した。

根群の分布について検討した。

20 数年以上継続している長期不耕起直播継続水田の調査結果では、図-6 にみられるように土壌のち密化は深さ 20~30 cm の層では認められなかったが、深さ 0~10 数 cm の土層ではち密化の傾向が明らかであった。

このような深さ 0~10 数 cm の土層のち密化が根群分布に及ぼす影響をみたところ、水門地区では、不耕起直播の根は耕起移植よりやや多くなっており、土壌のち密化によって根の伸長が阻害されていないことが確認された。佐藤 (1993) は同じ水門 A において根群の発達状況を隣接する水門 B を対照に調査した X 線写真の立体視による観察で、不耕起直播水田では表層に細根が多く、深さ 20~30 cm のち密度の高い層を貫通する根も多いことを報告しており、不耕起直播の長期継続によっても根の伸長は全く抑制されておらず、むしろ不耕起直播の方が根の発達が良いことを明らかにしている。

赤坂地区の不耕起直播の深さ 0~13 cm の総根量は図-7 に示したように耕起移植水田とほぼ同等であったが、根の分布に著しい偏りがあった。つまり、根は表層に多く、深さ 3~13 cm の根は少なかった。水稻の根の伸長は約 1,200 kPa で抑制されるとされている (在原ら, 1993) ことから判断すると、赤坂地区の深さ 0~13 cm のち密度は 640 kPa 程度にすぎないため、土壌のち密化によって根の伸長が抑制された結果であるとは考えられなかった。つまり、水田表層に根が偏在したのは、表層に約 18 mm の有機物が集積しており、その下には腐植に富む層が発達していることから、より伸長しやすく、栄養分が豊かな表層に集中した結果であり、ち密化が原因とは考えられなかった。

大型農作業機械の乗り入れが多い大区画圃場の調査結果では、不耕起直播を始めて数年しか経っていないが、図-8 のように深さ 0~13 cm のち密度は不耕起直播の継続に伴って大きくなり最大 1,000 kPa 程度まで上昇して

いた。しかしながら、深さ 0~13 cm の総根量は図-10 に示したように不耕起直播が少ないということはなく、表層の根量が多くなる根群形態に変化しつつあった。このような傾向は不耕起直播 6 年継続後に一段と強まっていた。これは、土壌がち密化したため、根が下に伸長できなかったためとも考えられるが、筆者らはち密化が原因ではなく、図-4 にみられるように表層の有機物層が厚くなってきたため、比較的条件的良い表層に根が集中したためと考えた。この理由として、前述したように 1,200 kPa 以下であれば根の伸長は抑制されないとされていること、さらに図-9 にみられるように、湛水期間中のち密度は 500 kPa 程度まで低下するため、土壌のち密化によって根の伸長が抑制されるとは考えにくいことがあげられる。その他、長期不耕起栽培圃場研究グループ (1994) が不耕起直播水田は隣接の耕起移植水田と比較して深さ 0~11 cm の粗孔隙が多く、反対に毛管孔隙が少ないことを報告し、その原因を長期間の不耕起直播継続に伴い根成孔隙が蓄積し、また、弱い角塊状構造ができた結果であると推察している。このように、不耕起直播継続水田では根成孔隙が蓄積するため、土壌のち密度が仮に大きくなった場合でも、根はそのような孔隙を利用して伸長できると考えられるので、根の伸長は抑制されないと考えられた。

長期不耕起直播継続水田並びに 1990 年代になって不耕起直播が始まった大区画圃場における不耕起直播継続水田のいずれにおいても、現段階ではち密度は根の伸長を妨げる程度まで高くなっておらず、また根の分布が表層に偏在するという傾向は不耕起直播継続数年ですでに明らかになっており、総根量も減少することもなく、佐藤 (1993) の結果を併せ考えると、根の伸長は阻害されないと判断された。

2) 表層に集積した有機物層の厚さ

不耕起栽培では、耕起をしないために、コンバイン収

種時の稲わらが全量圃場に表面散布されるので、稲わらが表層に集積してくる。その厚さは不耕起直播継続6年でも15mm程度であり、新しく開発された乗用型不耕起播種機(河本, 1997)では播種時に播種溝の稲わらは飛ばされるので、現段階では宮農上の問題はほとんど起こっていない。しかしながら、有機物層の厚さが30mmを越えるようになると、播種機の一般的な設定播種深度が30mmであるため、種籾は有機物層の中に播種されることになり、乾燥による発芽不良などの問題が起こることが予測される。

その他、有機物層発達の影響として、稲わらの被覆効果により冬期間あるいは春先の雑草の発生量が減少する傾向が観察された。

一方、不耕起直播では表層に有機物層が集積することによって、そこに根が偏在することになる。このような有機物が集積した層は水稻への養分供給の場として重要な役割を持つと推察され、また、有機物層が農作業機械の踏圧の影響をやわらげる可能性も考えられる。

### 3) 減水深の増加と漏水防止対策

不耕起直播を継続すると透水性が大きくなると考えられるので、異なる立地条件の水田において減水深を比較した。地下水位が高い地帯では図-12の水門Aのように、漏水過多の問題は起こらなかった。一方、地下水位が低い地帯では赤坂Aのように漏水過多という深刻な問題が起きた。漏水過多の原因として畦畔浸透の増加と縦浸透の増加が考えられるが、赤坂Aで行った今回の調査では畦畔浸透が相当量を占めていた。その際、止水シートを畦畔に埋設すると全漏水量のかんりの部分を抑制でき、耕起移植と比較しても $0.227 \text{ kgkg}^{-1}$ の用水量増加にとどめることができた。このように、不耕起直播の適地選定において、止水シートの利用は適地を広げる上で有効な手法と考えられ、地表下50cm以内にグライ層が出現する黒ボクグライ土、グライ低地土及びグライ台地土などでは、不耕起直播の継続により漏水過多になる心配は少ないと考えられるが、灰色低地土や灰色台地土などでは用水が十分であれば、止水シートの利用で不耕起直播の継続は可能であると考えられる。それ以外の排水のよい土壌タイプでは不耕起直播継続による縦浸透の増加は看過できない問題となる可能性がある。

### 4) 今後の問題点

不耕起直播の普及に当たって、土壌物理性の面から宮農上問題となる点は、ち密度、表層に集積する有機物層の厚さ及び減水深の3点に集約できる。これらの点について、適地に不耕起直播を推進する限りにおいては現段階では問題にならないと判断された。

今後、土壌物理の面で解決されなければならない問題

は、従来の土づくり技術との関係である。

佐藤(1993)は「長期に連続して不耕起直播を行った水田の作土層は、藻類、水稻根、根株などの腐朽、分解、蓄積といった繰り返しのなかで通水機能に加えて保水機能をもちうる土壌構造の形成、すなわち一般に云われる団粒構造と同様な機能を持つ土壌孔隙構造の形成が期待できる」と結論づけている。

一方、不耕起土壌では表層に有機物層が集積するが、その有機物層に付着するらん藻類等による窒素固定量の増加(金沢, 1995)や、富栄養化した灌漑水を豊富な表層有機物層で水質浄化するだけでなく、水稻への肥効を高めるなどの効果が期待できる。結果として、作土表層の地力窒素発現量の増加(長期不耕起栽培圃場研究グループ, 1994)がもたらされる。

反面、瀬戸内地方では、冬期間降雨量が少なく乾燥する。このため、秋や冬に耕起をすると乾土効果のために地力窒素の無機化が促進され、地力の減耗につながると考えられる。不耕起直播ではそのようなことが起こらないため、地力維持型の栽培法であるといえる(石橋, 1997)。

以上のような点で、不耕起直播は有機物施用と耕耘による土づくり技術と同じではないが、結果的に類似の効果をもたらす可能性を持つ栽培法であると考えられ、高い水質浄化能を持つ地力維持型栽培法であるといえよう。

## 謝 辞

本研究の遂行に当たり、調査に供試した長期不耕起継続田を快くご提供頂いた横山雅二氏並びに歳森恒男氏に厚く御礼を申しあげます。また、当场作物部河本恭一氏及び石井俊雄氏には調査に当たってご協力並びに数々の便宜を図って頂いた。さらに、農研センター長野間宏チーム長には有益な御助言を頂いた。ここに記して深く感謝いたします。

## 引用文献

- 在原克之・渡辺春朗(1993): グライ層の位置と土性からみた耕盤形成の実態, 千葉県の水田における実態, 土肥誌, 64(6): 623~629
- 長期不耕起栽培圃場研究グループ(1994): 長期不耕起直播田の土壌及び水稻栽培の実態調査, 農業技術, 49(6): 251~256
- 土壌物理性測定法委員会編(1980): 土壌物理性測定法, p 170, 養賢堂
- 石橋英二(1997): 乾田直播栽培における土壌肥料及び環境保全からみた諸問題, 第39回土壌物理研究会

シンポジウム講演要旨

金沢晋二郎 (1995) : 不耕起栽培水田土壌の微生物特性,  
土肥学会講演要旨集 : 236-237

河本恭一 (1997) : 乗用型水稲不耕起乾田直播機の開発,  
近畿中国地域における新技術, 31 : 43~46

日本土壌肥料学会広島大会運営委員会編 (1989) : 山陽  
の農業と土壌肥料 : 136~147

野々山芳夫 (1976) : 水稲の不耕起直播栽培に関する土  
壤肥料学的研究 (第4報), 中国農試報 E11 : 7~52

佐藤照男 (1993) : 低湿重粘土水田の不耕起栽培に関す  
る実証的研究, 平成4年度科学研究費補助金<一般  
研究C>研究成果報告書 : 29~44

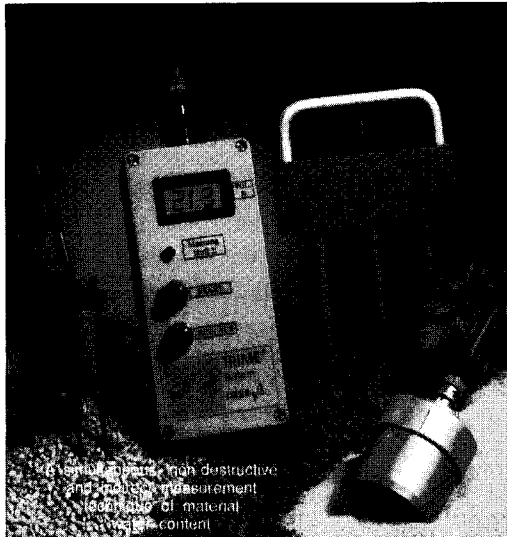
受稿年月日 : 1998年3月9日

受理年月日 : 1998年10月8日

# TRIME<sup>®</sup>-SYSTEM



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



(TRIME-FM携帯型水分計と各種プローブ)

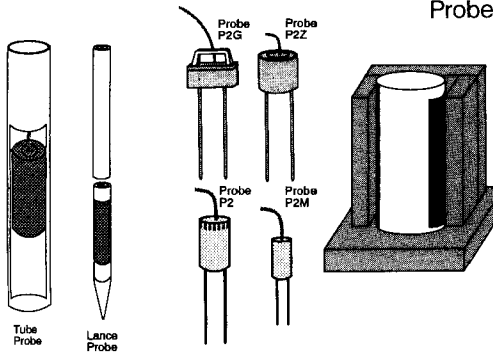
## ●特長

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

## ●使用分野

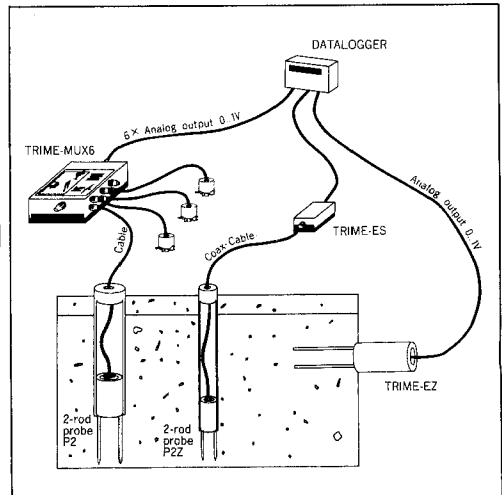
土壌、ケミカル物質、粉体、食料品、スラッジ、乳状液、穀物また、水による自然災害の常時モニター、予知、貯水池、ダム水門、造成地、廃棄物処理場等の構造物や土壌中の含水量のモニター、あるいは森林、水源地帯や農業計画の一環としての含水測定、モニターなど

### (P3型各種プローブ)



### (標準P2型各種プローブ)

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



現場設置用アナログシステム構築例



## 東北電子産業株式会社

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

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

## 寒地大規模直播稲作のための播種技術

大谷 隆 二\*

Rice Direct Seeding Technique for Large Scale Farm in Cold Area

Ryuji OTANI\*

\* National Agriculture Research Center, Tsukuba, Ibaraki, Japan

### 1. はじめに

4月の融雪を待って、各種夏作物の作業が一斉に始まる北海道の土地利用型農業の生産環境は、都府県に比べて厳しい。稲の播種開始時期は4月中・下旬で、5月中・下旬に移植する。寒地の水稻栽培では、移植作業が少しでも遅れると、夏の気象条件によっては収量・品質に影響するため、移植作業適期は10日間ほどしかない。現行の移植技術では短い移植適期に制限されるため、自家労力での作付け面積は20haが上限(仁平, 1991)といわれている。

一方、転換畑の主要作物は、小麦、豆類、飼料作物等で、近年は野菜、花き等の園芸作物が急速に増加している。これらの転作作物の播種および移植は4月下旬から5月中旬であり、稲作との競合で著しい労働ピークが生じている。

規模拡大が急速に進行する北海道の稲作では、このように田植機の作業可能面積の限界を越える規模の農家が出現し始めている。一方、経営の複合化では、春作業時の労働競合が顕在化している。育苗と田植えには組作業を必要とする場合が多く、雇用労働力の確保が難しい現状では、これらを省略できる直播栽培の省力効果は大きい。現在の直播栽培では、苗立ちや初期生育などに解決すべき不安定要素が多いが、労力不足から部分的に直播栽培を導入する農家が増えている。

このような背景から、北海道における大規模直播稲作に対応できる播種技術の開発を行った。ここで述べる研究は、北海道農業試験場において行った「無代かき水稻直播栽培に関する研究」(大谷ら, 1996, 1997a, 1997b)の一部をとりまとめたものである。最初に無代かきを特徴とする乾田播種早期湛水栽培(以後、折衷直播とする)が、寒地の直播稲作に適する方法であることを実証した。この結果をふまえ、最適な播種深度に安定して播種

可能な折衷直播用の施肥播種機を開発し、さらに省力化と播種作業の高精度化を目的に、高速回転する鋸刃で播種溝を作溝し播種する不耕起播種機を開発した。

### 2. 無代かき直播の土壌の物理性と易耕性

寒地の作物栽培では、短い適期に播種できるかどうか苗立ち・収量に大きく影響する。積雪あるいは融雪水の影響を受ける北海道では、圃場の乾燥度合いによっては、耕起・碎土作業時期が大幅に制約される。特に畑転換初年目に春播き小麦を播種する場合、碎土性の問題が指摘されている。融雪後の迅速な圃場排水により、早期にトラクタ作業が可能になり、播種適期までに播種床の準備が完了していることが重要である。

折衷直播は湛水直播と異なり、無代かきである。折衷直播の場合、無代かきという特徴によって、土壌の物理性、排水性および易耕性の改善が行われ、その結果として、耕起・播種等の春作業の早期化が可能となることが期待される。

ここでは、寒地の大規模直播栽培を前提に、融雪後播種適期までの播種床造成という視点から、湛水直播と折衷直播を比較した。両栽培法の大きな違いである代かきの有無に着目し、土壌の諸特質を調査し、無代かきの有効性を明らかにした。

#### 1) 圃場条件

供試圃場は、1990年より4年間折衷直播栽培を行った無代かき区圃場と乳苗移植栽培を行った代かき区圃場である。どちらの試験区も1989年に造成された北海道農業試験場内の多湿黒ボク土(LiC)の水田である。試験は、1994年4月16日の融雪直後から5月中旬の間にいった。

#### 2) 融雪後の土壌水分の変化

図-1に融雪後の土壌水分の変化を示す。融雪後から無代かき区が、いずれの深さにおいても、低い含水比で推

移した。無代かき区は融雪から7日目の4月23日で、深さ10cmの含水比が既に塑性限界である45.8%を下回る44.1%となったのに対し、代かき区では深さ5cmにおいても塑性限界である47.0%を下回ることはなかった。5月4、5日の2日間で合計23mmの降雨があった直後は、代かき区、無代かき区ともに55%程度の高い含水比となるが、その後無代かき区では含水比が急速に低下するのに対し、代かき区では、その低下は緩やかであった。

降雨後の暗渠からの排水量を調べると、無代かき区の排水量は、いずれの測定時においても代かき区の2倍程度であった。これは、図-1で示した降雨後の無代かき区の乾燥が、代かき区に比べて速かったことを、排水性の面から裏付けるものである。すなわち、代かき区は代かきを繰り返すことにより、土壌構造が微細化し、透水性が低下して、過剰水の排水性が低下したものと考えられる。

3) 融雪後のコーン指数の変化

図-2に融雪後の地耐力をコーン指数の変化で示す。深さ0、5、10、15cmのSR-2型土壌抵抗測定器(小コーン使用)による土壌硬度の平均値をコーン指数とした。コーン指数は、圃場の乾燥度合いとはほぼ対応した関係にあるため、乾燥の進行が早い無代かき区が、融雪後から一貫して高い値を示した。このため、無代かき区では安定したトラクタ作業が可能であったが、乾燥の遅い代かき区では、耕うん作業が不可能となる場合があった。

4) 易耕性

ロータリによる荒起こし作業時の土壌水分と碎土率の関係を図-3に示す。供試したロータリは、耕幅2.0m、なた刃、爪本数44本、回転直径53cmであり、耕深を13

cmとした。作業速度は、0.78m/s(耕うんピッチ14.8cm)とした。碎土率は、表層から5cmまでの土壌の径2cm以下の土塊が全質量に対して占める割合とした。土壌水分は、深さ0~5cmと5~10cmの含水比の平均値で示した。

無代かき区の碎土率は、いずれの含水比においても代かき区より高く、特に高水分域で両者の差は30%以上となり、無代かき区の易耕性が優れている。また、無代かき区の碎土率は、塑性限界より高い水分域で最高値を示し、代かき区では塑性限界よりやや高めの水分で最高値を示した。また、耕うん作業時のPTO軸トルクと耕うん断面積から耕うん比トルクを求めると、いずれの水分域においても、無代かき区が、代かき区より10~30%

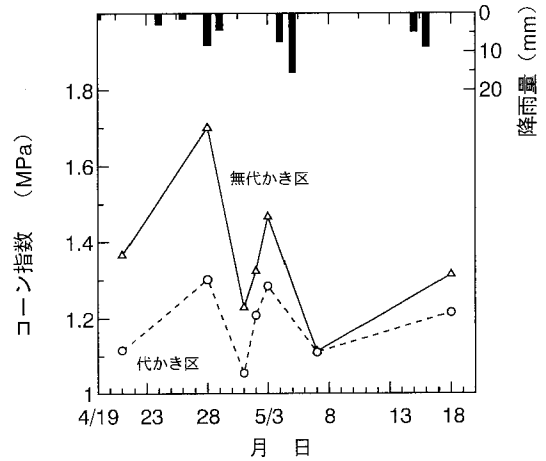


図-2 融雪後のコーン指数の変化

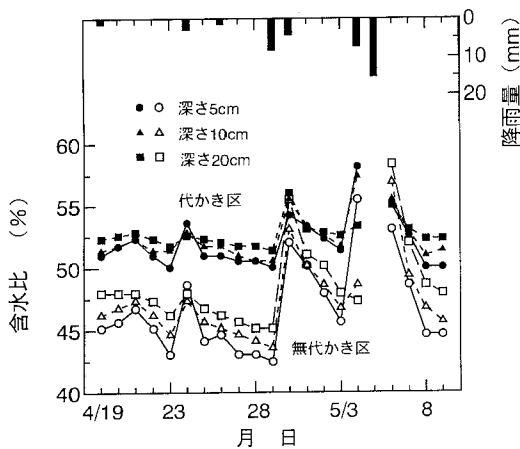


図-1 融雪後の土壌水分の変化

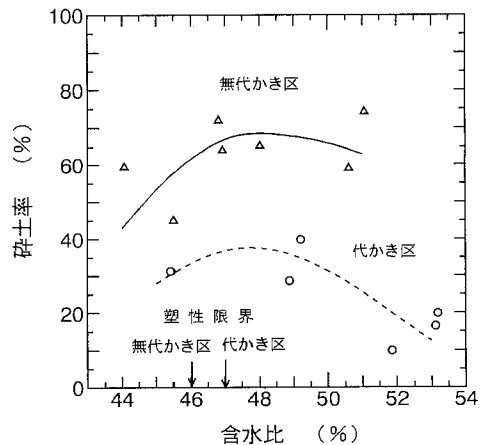


図-3 荒起こし作業時の土壌水分と碎土率の関係 (耕うんピッチは、14.8cm)

低い傾向にあった。

中野（1983）は土壌の塑性限界が圃場含水量に対して大きいほど、土壌構造が外力に対して安定な状態にある、という視点から塑性限界/pF 1.8 含水比が大きいほど易耕性が良好であるという指標を提案している。無代かき区、代かき区の塑性限界/pF 1.8 含水比をそれぞれ求めると 0.96, 0.89 となる。この結果は、無代かき区の易耕性が代かき区より優ることを裏付けるものであろう。

以上のように、無代かきを特徴とする折衷直播は、代かきを行う水稲栽培法に比べ土壌の物理性、排水性、融雪後の土壌の乾燥特性、地耐力、易耕性の面で良好となることを実証した。これらのうち、排水性、地耐力に関する改善効果は、積雪のある北海道においては、耕うん作業の早期化を可能とし、また、土壌の易耕性の改善効果は、大規模化に対応した耕うん作業の高速化と播種精度の向上に寄与するものと考えられ、特に田畑輪換を行う場合に魅力的である。

本試験では、無代かきによる漏水や地力の消耗の問題は発生しなかったが、圃場によってはこれらが大きな問題となる場合も想定される。漏水の対策として、前年の秋のうちに畦畔に近い所を部分的に代かきして、畦畔漏水を防ぐ方法が有効と考えられる。これは緊急的な対策であり、将来的には地力の消耗などの土壌の化学性の問題を含めて、無代かきを前提とした圃場整備技術の開発が望まれる。

### 3. 施肥播種機の開発

寒地の直播栽培では播種深度の深浅が出芽・苗立ちに大きく影響し、良好な苗立ちが得られる播種深度の許容範囲は 5~10 mm と狭い。また、播種適期が限られる寒地の直播栽培は、適期に大面積を播種できる高効率な作業システムでなければならない。このように寒地の大規模直播稲作では、播種作業の高精度化と高能率が同時に要求される。折衷直播栽培は、耕起・碎土、播種、鎮圧作業後、入水するため、播種作業体系は畑作に近い。本章では、北海道の大規模畑作地帯でみられる高効率な播種作業体系の高精度化という視点で、畑作との汎用利用ができ安定した播種深度が得られる施肥播種機の開発をめざした。

#### 1) 開発した施肥播種機の構造

開発した施肥播種機の概略図を図-4 に示す。開発機の施肥播種ユニットは、幅 60 mm の深度規定輪を装備した施肥オープナと播種オープナおよび鎮圧輪から構成される。施肥播種ユニットは、並行リンクおよび圧縮パネを介して施肥播種機の主フレームに装着される。播種深

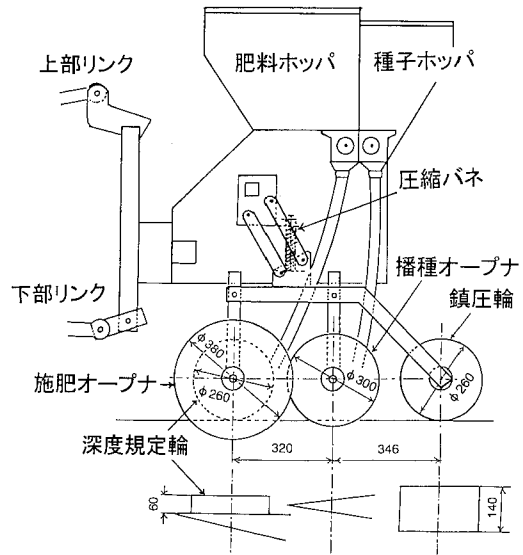


図-4 開発した施肥播種機の概略図

度は任意に設定ができ、麦等の一般畑作にも汎用利用できる。本機は、条間 25 cm, 10 条型であり、施肥播種機本体を支える車輪を装備していない。このため、本体の自重および肥料・種子の荷重は、すべて施肥オープナに装備した深度規定輪と鎮圧輪で支持される。機体質量は 634 kg であり、1 条ごとの深度規定輪と鎮圧輪には 630 N 以上の垂直荷重が加わり、播種深度の安定化に寄与する。

播種の過程では、深度規定輪で一度平らに鎮圧された播種床に、播種ディスクオープナが正確な深さで播種溝を作溝し、播種後鎮圧輪によって播種溝が閉じられる。また、施肥播種機は、トラクタ 3 点リンクへの直装式であるが、下部リンクと施肥播種機はリンク機構を介して連結する。このため施肥播種機本体は、作業時には自由リンク状態で牽引される。これらの作用によって、10 条すべての播種ユニットが正確に圃場の凹凸に追従し、安定した播種深度が得られる機構となっている。また、トラクタに装着して播種作業を行う場合、タイヤの轍が、播種精度を低下させる。このため、轍の深さに応じて作用深さを任意に調整できるショベル型のタイヤ跡消しを装着した。

#### 2) 播種精度および苗立ち・収量

開発した施肥播種機の設定播種深度を 10 mm に調整し、異なる碎土率の播種床に播種したときの播種深度の分布を図-5 に示す。いずれの碎土率においても、設定深度 10 mm をピークとした分布となり、碎土率が高いほど播種深度 10 mm の度数割合が高くなった。すなわち、

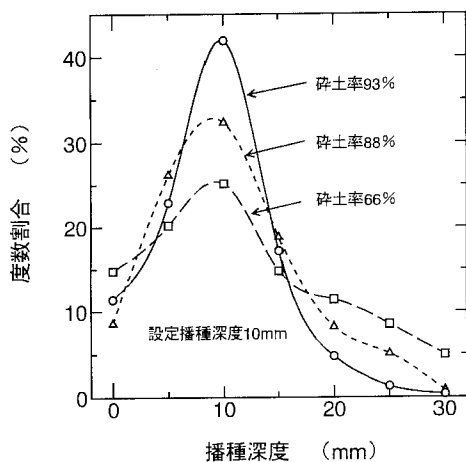


図-5 開発した施肥播種機の播種深度分布

播種床の土塊の大きさが播種深度の分布に影響し、碎土率が高くなるほど播種深度が安定することを示している。

播種深度標準偏差は、既存のグレインドリルに比べ半減し、良好な苗立ち・収量が得られた。気象条件が良好な年には、苗立ち数 150 本/m<sup>2</sup> (苗立ち率 34%) 以上で、570 kg/10a の収量が得られた。1992 年から 4 年間に亘って数戸の美咲市農家の圃場で現地実証試験を行い、実用性を確認した。

開発した施肥播種機の作業能率は 84 a/h であり、畑作並の高効率播種が行え、適期播種と大規模化に対応できるものと考えられる。また、秋播き小麦およびソバの播種作業に使用したところ、高精度な播種作業を行うことができ、良好な出芽・苗立ちが確保された。開発した施肥播種機は、播種深度を任意に調整できるため畑作との汎用利用が可能である。

#### 4. 不耕起播種機の開発

上述した施肥播種機では、良好な苗立ち率を確保するためには、高い碎土率の播種床を造成する必要がある。高い碎土率の播種床を造成するためには、碎土作業は低速作業を強いられ、かつ播種作業は天候に左右され易い。このようなことから、播種作業期間の拡大と播種床の碎土性向上を目的に、播種する極く限られた部分を高速回転する鋸刃で作溝し、高い碎土率の播種床を作りながら播種する不耕起播種機を開発した。

##### 1) 不耕起播種機の構造

作業速度を低下させずに播種床の碎土率を向上させる方法として、高速回転する鋸刃の採用を検討した。開発した不耕起播種機の概略図を図-6 に示す。開発機は、

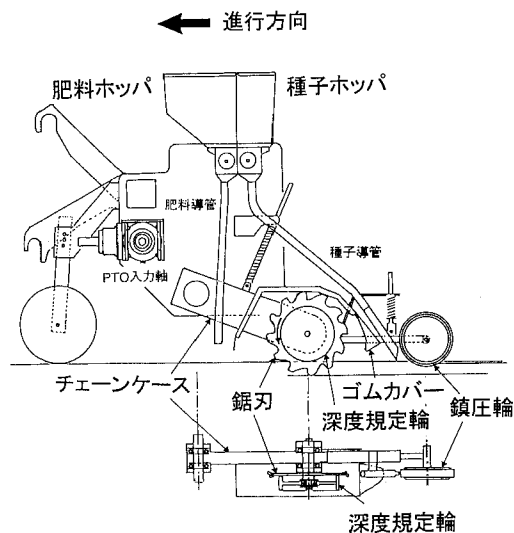


図-6 開発した不耕起播種機の概略図

PTO 軸駆動で正転する鋸刃により作溝し、播種、鎮圧する、条間 25 cm、10 条型の不耕起播種機である。切削された飛散土の一部は、鋸刃の後方に設けたゴム製のカバーに衝突し、切削溝を埋め戻す床土となる。残りの飛散土はゴムカバーの下を通り抜けて種籾の覆土となる。したがって、種籾はゴムカバーに衝突して切削溝に落下した床土の上に播種され、ゴムカバーの下を通り抜ける飛散土で覆土された後、鎮圧輪で鎮圧される。施肥位置は、鋸刃の直前とした。

鋸刃の作溝深を一定にするため、鋸刃を装着する駆動軸にベアリングを介して幅 60 mm の深度規定輪を装備した。これにより、10 条全ての鋸刃が圃場の凹凸に追従し、一定の深さで作溝する構造とした。作溝深度は、径の異なる深度規定輪の交換により、30、40、50 mm の 3 段階に調整できる。

##### 2) 播種精度および苗立ち

土壌水分条件の異なる圃場で、鋸刃の歯数、回転数、作溝深度と播種深度の精度・苗立ちとの関連を検討した。土壌水分は、一般的に耕うん作業が行われる水分域として低水分条件、降雨後で深さ 10 cm の pF 値が 1.3 の一般的にはトラクタ作業は行われない高水分条件、その中間の中水分条件の 3 水準を設定した。

播種溝の碎土率は、土壌水分が低いほど高く、特に低水分条件の播種溝は粉状となり、全ての試験区で 100% の碎土率となった。播種深度の精度は、対照区とした上述の施肥播種機の精度を上回り (図-7)、苗立ち率も対照区を 15% 上回る 60% 程度の試験区もみられた。これらの結果、18 枚歯の鋸刃を用いて、鋸刃回転数を 313 rpm



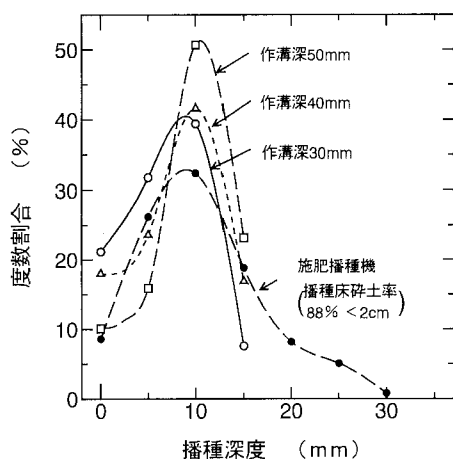


図-7 播種深度分布の例  
(低水分, 歯数 18 枚, 回転数 313 rpm)

とし、作溝深を低水分条件では 50 mm、中水分条件では 40 mm に設定すると、60% 近い苗立ち率となる。高水分条件では、作溝深 30 mm の設定で、50% 以上の苗立ち率が得られた。

鋸刃で作溝しながら播種する本方式の特徴は、播種床の碎土率が極めて高いことと、飛散土を覆土として用いていることである。飛散土を覆土として用いるため一見不安定なようであるが、これまでのディスクオープナで作溝して、播種する方法に比べ、播種深度が安定する結果が得られた。これは、深度規定輪に 600 N 程度の垂直荷重が加わることが、鋸刃の切削深の安定化とともに覆土量の安定化にも寄与し、播種深度が安定したものと考えられる。また、不耕起圃場の刈り株は容易に鋸刃で切断され、刈り株上であっても精度・苗立ち率の低下はみられなかった。

## 5. おわりに

移植栽培での代かきの最大の目的は、水持ちをよくすることと、田植えを容易にすることである(泉, 1958)とされている。しかし、現在の北海道では、排水不良田

が 80% と圧倒的に多く(前田, 1987)、過度の代かきは透水性が低下するため、できるだけ荒く行うような指導がされている。このことは、代かきの目的は、漏水防止よりもむしろ、田植えの移植精度や湛水直播の播種精度を上げることが主な目的になってきていると考えられる。これらの精度が確保できる技術開発が行われれば、基盤整備が行われていない極端な漏水田は別として、代かきは必ずしも必要としなくなるのではないだろうか。

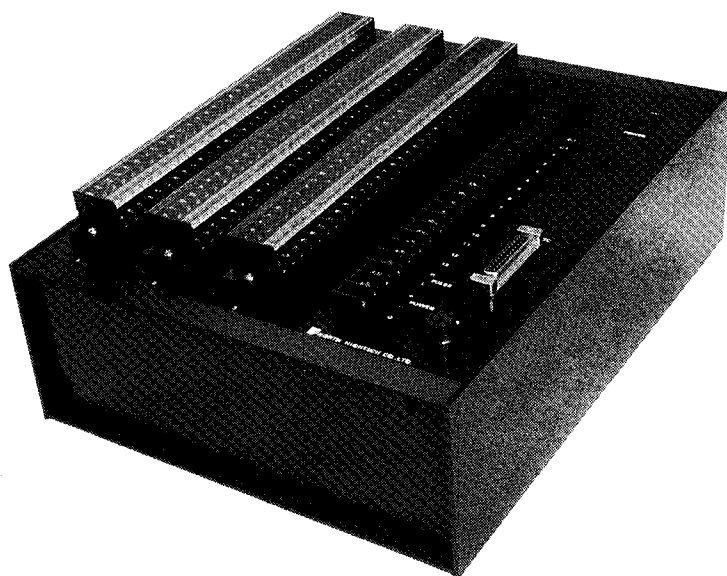
北海道の水田の多くが低地に位置しており、大型機械の走行と、さらに気象条件も関与し、圃場の排水性は著しく低下している。不耕起直播あるいは無代かき直播による土壌の物理性の改善効果は、将来の北海道稲作の基盤の強化にもつながるものと考えられる。北海道の稲作中核地帯である南空知の多くは泥炭地である。泥炭地水田の土壌は、耕うんの必要性がないと思えるほど膨軟で、地耐力が低い。泥炭地水田こそ、不耕起直播が最も適する土壌ではないかと考えている。

## 参考文献

- 泉 清一編 (1958) : 水田農作業の理論と実際, p 10~109, 農文協, 東京.
- 前田 要 (1987) : 基盤整備と保全, 北海道農業と土壌肥料, p 297~308, 北農会, 札幌
- 中野啓三 (1983) : 重粘土転換畑における易耕性の評価, 土壌の物理性, 48 : 38~43.
- 仁平恒夫 (1991) : 北海道における稲作作業構造と限界規模, 北海道農試研究資料, 43 : 1~18.
- 大谷隆二, 西崎邦夫, 柴田洋一 (1996) : 無代かき水稲直播栽培に関する研究 (第 1 報) — 土壌の物理性と易耕性 —, 農機誌, 58 (1) : 73~80.
- 大谷隆二, 西崎邦夫, 柴田洋一, 横地泰宏 (1997a) : 無代かき水稲直播栽培に関する研究 (第 2 報) — 施肥播種機の開発と評価 —, 農機誌, 59 (1) : 77~85.
- 大谷隆二, 西崎邦夫, 柴田洋一, 横地泰宏 (1997b) : 無代かき水稲直播栽培に関する研究 (第 3 報) — 不耕起播種技術の開発 —, 農機誌, 59 (3) : 73~81.

受稿年月日：1998年5月7日  
受理年月日：1998年6月15日

# 最も進んでいるパソコン時代のロガー「IDL-3200」



## センサ対応がマルチ

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

## センサ電源を供給

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

## 多チャンネル

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

## 12Vバッテリー動作

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

## ネットワーク

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

## マイナス温度に強いマシン

-25℃~45℃動作機器は標準 -40℃から動作機器も出荷します

## ロガーの機能をもめる演算機能

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



計測の未来をひらく

株式  
会社

ノース・ハイテック

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

## 湛水直播の展開方向と土壌物理的課題

金子 均

### Some Soil Physical Subjects Relating to Technical Prospects of Direct Sowing Rice Plants in Submerged Paddy Fields

Hitoshi KANEKO

\* Niigata Agricultural Research Institute

#### 1. はじめに

最近の農林水産省の報告によれば、平成9年産水稲の直播栽培面積は全国で7,725 haで、前年産に比べて396 ha増加している（都道府県からの報告を集計した速報値）。現在、稲作の省力・低コスト化をキーワードとして、全国的に水稲直播栽培の研究が精力的になされているが、水稲作付面積に占める直播栽培面積の割合は、現在のところ0.40%に過ぎないわけである。3,600 ha余りの普及面積を誇る岡山県を別格とすれば、その普及面積率はさらに低いことになる。

このような水稲直播栽培の普及実態ではあるが、直播栽培に対する関心が全国的に高まっていることは事実であろう。たとえば、平成6年から開催されている「直播サミット」への参加者は毎年倍増し、昨年6月の福井県での大会では、実に2,400人余りの参加者を集めている。

本稿では、湛水直播栽培について概観するとともに、これまで新潟県で進めてきた湛水直播栽培技術について紹介し、土壌物理にかかわる課題を考察する。

#### 2. 湛水直播栽培の特徴

水稲の直播栽培は、大きく分けて播種前に湛水を伴わない乾田直播と、播種前に湛水を伴う湛水直播に分類される（農研センター（1997））。新潟県を含む北陸地域や東北地域で普及している方式は、主として湛水直播である。乾田直播と比較しつつその特徴を列挙すると、以下ようになる。

##### 1) 利点

湛水直播は全天候型の播種方式で、湿田への適応性が高いとされている。日本海側を中心とした地域では冬季に積雪を伴うことが多いため、春先の土壌は湿潤である。加えて、沖積平野に広がる水田は粘質である場合が

多く、耕起乾田直播に必須とされる細碎土は非常に難しい場合が多い。湛水直播は代かき工程を伴うことが普通であるため、播種前作業については天候や土壌条件の影響は少なく、降雨の中でも播種できる。

また、湛水による保温効果を期待できる。寒冷地においては、乾田直播は湛水直播にくらべて初期生育が劣り、出穂・成熟も遅くなるため、播種を遅らすと秋冷の早い地域では遅延型冷害の危険性が高まる。したがって、寒冷地でも比較的適用しやすい栽培方法は湛水直播である。

##### 2) 欠点

湛水直播の最大の問題点は、苗立ちの不安定さにある。宗村、国武（1964）の報告のように、種子もみが泥に埋まると出芽率が大幅に低下する。過酸化石灰剤を種子粉衣する技術が開発されたことでこの点はかなり改善されたが、いまだに大きな問題点であることにはかわりはない。苗立ち率を確保するために、表面まき、あるいはごく浅い覆土で播種することが多く、株の支持力が弱くなり、根が土壌の上層に集まる傾向が強いため、倒伏しやすい。また、生育前半の過剰生育と生育後半の凋落傾向が強く、生育前半は貧弱になりやすいが秋まきり型となる乾田直播とは対照的な生育となる。北日本から東日本で問題とされている出芽時の鳥害に対する効果的な対策が無いことも大きな問題である。

#### 3. 湛水直播栽培研究の動向

##### 1) 直播用品種の開発

最近の直播研究における最大のトピックは、直播用品種の開発が本格化してきたことではなかろうか。このことは、湛水直播に限らず、直播技術全体のレベルを底上げするための不可欠な条件である。直播適用品種の具備条件としては、従来いわれているように低温発芽性、初期

\* 新潟県農業総合研究所 〒940-0826 長岡市長倉町 857, 現東頸城農業改良普及センター 〒942-0411 新潟県東頸城郡安塚町  
 キーワード: 湛水直播, 代かき, 無代かき, 碎土性, 作溝崩壊

伸長性、耐倒伏性等があげられるが、直播技術が日本の農業に適合するためには、収量の安定性や、良食味であることなども不可欠な条件となる。

#### 2) 湛水土壤中直播栽培

昭和50年代に注目され、かなりの普及面積を実現し、現在も湛水直播の主流となっているのが、三石 (1975)、中村 (1978) らによって開発・体系化された湛水土壤中直播栽培である。湛水直播の持つ苗立ちの不安定性と耐倒伏性の劣る点を改善するために、過酸化石灰剤の種子粉衣技術と土中播種技術を体系化したものである。当初開発された条播方式は、作業技術的にみると移植の延長線上にあるといっている言い過ぎかもしれないが、播種作業の効率化には限界があった。現在ではより省力化をねらった散播方式が多くなってきている。使用する播種機も、背負動力散布機、無人ヘリコプタ、乗用管理機など、多様化してきている。最近では、打ち込み式の点播機が開発され (代かき同時上中点播技術 (下坪, 富樫 (1996))), 作業性や耐倒伏性の向上などの面から注目されている。

#### 3) 無代かき直播栽培

ここまでは、整地方法として代かきを行うことを想定して述べてきたが、その代かきを省略する無代かき栽培についても以前から研究されている。ただし、整地・播種後に湛水する折衷直播と称する方式が多く、これは農研センター (1997) から提唱された直播方式の分類によると、乾田直播に分類される。湛水直播に分類される無代かき直播の研究は比較的少ない。いずれの方式も、代かきを省略することで春季の作業競合を抑制できるため、直播栽培の持つ省力化の面をより前面に押し出すことのできる技術として検討が重ねられている。

#### 4) 無粉衣種子を用いた直播技術

先にも述べたように、湛水土壤中直播で実用化された過酸化石灰剤の種子粉衣技術によって、湛水直播の苗立ちの安定性は大きく向上した。しかし、直播による省力・低コスト化という面がより強調されるにしたがって、種子粉衣作業自体も問題視されるようになってきた。そこで、再び種子粉衣を省略した直播技術の検討が行われるようになってきている。上中播種でも苗立ちを安定化させるために開発された過酸化石灰剤の粉衣を行わないわけであるから、必然的に土壌表面に播種することになる。このことは、一見これまで直播の技術開発がたどってきた道をまた引き返すようにも見えるが、このような方法が再度注目されてきたのは、土壌表面播種でも耐倒伏性に優れる直播に適した品種が開発されつつあることが大きな要因と考えられる。

## 4. 整地方法別の直播技術

新潟農総研における直播技術関連の研究成果の中で比較的新しいものとしては、平成2年に公表した湛水溝付け直播栽培と、現在も研究中の無代かき湛水散播直播栽培がある。前者は代かきを行い、後者はその名称どおり無代かきという、それぞれ対照的な整地方法を前提としている。以下、これらの技術について、整地方法と関係の深い事項を中心に紹介する。

#### 1) 湛水溝付け直播栽培

新潟県でも昭和50年代に湛水土壤中直播の栽培が各地で試みられ、栽培面積は最高で140haに達したが、その後漸減した。より大面積に普及しえなかった要因の一つに、苗立ちの不安定さが残ったことがあげられる。この問題点を解消するために取り組んだのが湛水溝付け直播栽培であり、苗立ちの高位安定化を技術開発の最優先課題と位置づけ、寒冷地にも適用できる播種・栽培方法の確立を目的とした。

播種方式としては、代かき後に落水したほ場に深さ2cmの逆台形の溝を作溝し、そこに過酸化石灰剤を粉衣した種子を条播し、覆土はせず、播種後に湛水する。覆土しないため土中播種に比べて苗立ち率が高まり、深さ2cmの溝の底に播種すること、湛水後に溝が徐々に自然崩壊して覆土されることによって株元が安定し、耐倒伏性が増すことをねらった。播種機には湛水土壤中直播機を利用する。覆土板を外し、作溝部に簡単な改造を加えて図-1のような作溝ができるようにする。種子生産 (収穫・乾燥) 方法や休眠覚醒法、種子粉衣剤についての検討などを始めとして様々な要素について検討を加えたが、ここでは作溝と整地方法が苗立ちに及ぼす影響について述べる。

#### (1) 作溝方法と苗立ち

出芽揃いまでは溝の崩壊や種子の埋没が少ない方が苗立ちには有利である。また、株元の埋没により耐倒伏性を高めるには溝はある程度深いほうがよいが、種子の埋

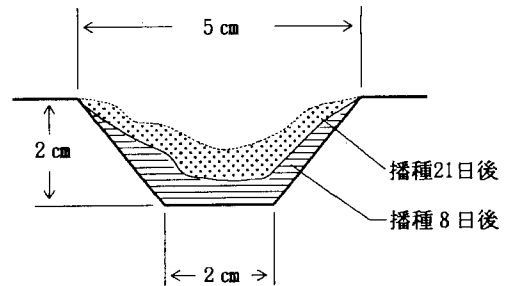


図-1 播種溝の形状と播種後の変化

没程度が大きくなって苗立率を低下させる危険性もある。これらのことを考慮し、各種の播種溝形について、溝の形状変化・種子の埋没状況・苗立ち状況の面から検討したところ、以下のことが明らかとなった。

① 播種時の田面が硬いほど発芽率は向上するが、逆に浮き苗やころび苗が増加する傾向にある。浮き苗を除いた正常苗立率が高くなる田面硬度は、下げふり貫入深で8~10 cm程度であった(図-2)。播種時の田面硬度が下げふり貫入深で11 cm以上の軟らかい状態では溝の成形ができず、播種直後に溝が崩れて土中播種状態となった。

② 溝が深く、播種時の田面が軟らかいほど苗立率が低下する。特に、深さ3 cm以上の溝では軟らかいほ場での苗立率の低下が著しかった(図-2)。

③ V字形の溝は逆台形の溝に比べて湛水後の埋没速度が速く、苗立ちには不利であると判断された。

以上のことから、適度な硬度の田面で深さ2 cm、底幅2 cm、上幅5 cmの逆台形の溝に播種すれば、苗立率が高く無覆土でも浮き苗やころび苗の発生を軽減できることがわかった。

## (2) 代かき方法と苗立ち

前記のように、本法では播種溝を成形するために播種時の田面をある程度硬くする必要がある。田面硬度を確保するには、播種前の落水期間を長くするか荒代状態にすることが考えられる。しかし、代かきが粗であると播種後に溝や種子の埋没が速くなり、苗立ちには不利な条件となった。また、田面に稲わら等が極端に多く露出していると作溝作業の支障になる。したがって、代かきは、均平程度をよくして稲わら等を埋没させるためにも、移植栽培並みにていねいに行うことが望ましいものと考え

られた。

## (3) 田面硬度の制御方法

田面硬度の制御方法としては、落水することが当面もっとも実用的である。新潟県内に多い粘質土水田では、代かき後に泥が落ちついた時点で3~4日間完全落水することによって求める田面硬度が得られたが、砂質の強い水田ではこの日数をより短くする必要があった。

代かき後の田面硬度の変化は、土壌条件によって大幅に異なる。現在各地で開発されている直播方法のうち、代かきしてから播種する直播方法では、本法と同様に何らかの形で作溝工程を取り入れているものが多い。より積極的な田面硬度の制御技術が望まれるところではあるが、現在のところこれといった決定打は無いのが現状である。

## 2) 無代かき湛水散播直播栽培

湛水溝付け直播は湛水土壌中直播のバリエーションともいえる方法であり、播種作業の高効率化には限界があり、省力化は主として育苗作業の省略にある。そこで、より省力的で、経営に導入することによってスケールメリットを追求できる散播方式を取り入れて技術開発に取り組んだのが、無代かき湛水散播直播栽培である。

この方法は、ほ場を耕うん・整地後に湛水して、動力散布機や乗用型の播種機などを利用して種子もみをばらまく方式である。代かきを省略することで春季の作業競合が回避できる上に、散播方式の播種作業能率は非常に高く、小人数で大面積を耕作できる利点がある。

研究開始当初は、荒起こししたほ場を湛水し、過酸化石灰剤を粉衣した種子もみをばらまくという方法について検討した。簡易な整地方法で省力化を追求するとともに、土塊の間に播種された種子もみが出芽した後に、土

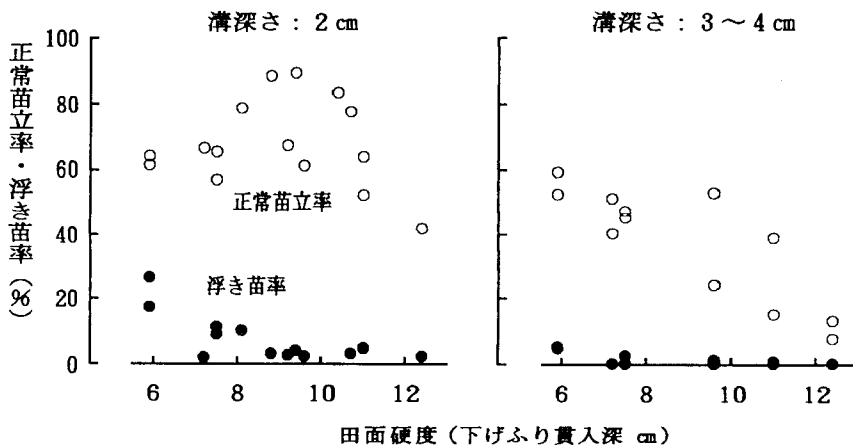


図-2 播種時の田面硬度と正常苗立率・浮き苗率の関係

塊が自然崩壊して株元が埋没することも想定した。しかし実際には、出芽した種子の大部分は土層の浅い部分に位置し、苗立ちと播種位置の確保を同時に達成することは難しいことが明らかとなってきた。また、ロータリで耕うんしたままの状態では大土塊が多く、これらの土塊をすべて水没させるためには大量の用水が必要となり、わずかの減水によっても土塊が水面から露出し始め、除草剤の効果も低くなる。さらに、無代かきでは漏水が問題となることが多い。

(1) 整地方法の改良

耕うん後に鎮圧を行って大土塊をつぶし、田面を均平に仕上げる整地作業を行うため、試作機を中心に数機種種の作業性能を調査した。その結果、ロータリの後部にソロバン玉状の駆動式鎮圧・作溝ローラを装備した耕うん同時鎮圧・作溝機(写真-1)の作業性が良好で、耕うんと鎮圧・作溝を1工程で行うことができた。

本機に装着してある鎮圧・作溝ローラは、作業速度より速い周速度で進行方向に回転するので、田面を滑りな

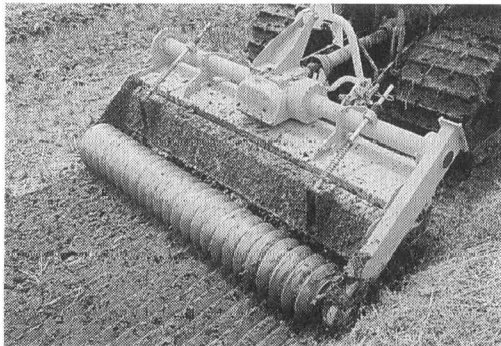


写真-1 耕うん同時鎮圧・作溝機

がら回転しつつ、ロータリで耕起された大土塊を押しつぶす。そのため、田面はローラの形状の溝がついた状態で均平化され、大土塊が無くなるために湛水が容易となった。耕うん同時鎮圧・作溝作業の仕上がり状態は作業時の土壌水分により異なるが、高水分土壌への適応性がより高く、春季の天候が不順である場合や、多湿土壌の多い地域での利用に適するものと考えられた(表-1)。土壌水分が低い場合はローラの溝に土がつまりやすく、作業性がやや劣ることがあったが、ローラの回転数を低くすることで対応できることがわかった。

鎮圧・作溝ローラの形状は、溝幅と深さが5×5, 7.5×5, 8×8, 12×8cmの4種類を供試した。鋭い溝形状(5×5, 8×8cm)のローラはローラの溝に土がつまりやすく、作業性が劣った。

(2) 耕うん同時鎮圧・作溝作業と苗立ち

耕うん同時鎮圧・作溝作業を行うことで、鎮圧無しと比較して苗立率が向上した。また、収穫後の株元の深さと苗立率の間には負の相関が認められ、鎮圧処理区は苗立率は高かったが株元は全般に浅かった(図-3)。一連の試験は粘質土水田を中心に行ってきたが、粘質土壌では作溝した溝形が湛水後も長期間ほぼそのまま残りやすく、溝の自然崩落による覆土効果はあまり期待できないものと考えられた。ただ、鎮圧ローラは円筒形に比較すればソロバン玉状である方が土塊の切削力が強く、均平効果は高いものと推察される。さらに、対照区として設けた鎮圧・無作溝の整地条件では浮き苗やころび苗が多発したことから判断して、作溝には大きな覆土効果はないものの、発芽後の個体の田面への定着を促進する効果は期待できるものと思われた。

ローラの形状による苗立率の差を見ると、12×8cmの形状で浮き苗やころび苗が多発した。これは、田面が

表-1 耕うん同時鎮圧・作溝の作業状況

ローラ 回転速度	作溝形状 (溝幅×溝深さ)	5×5			8×5			7.5×5			12×8cm			
		土壤含水比 (%)	乾 (39)	湿 (58)	多湿 (75)	乾 (38)	湿 (50)	多湿 (61)	乾 (37)	湿 (59)	多湿 (71)	乾 (37)	湿 (55)	多湿 (66)
1 (低速)			△	△	○	○	○	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎
2 ↑		×	△	△	○	△	△	○	◎	◎	◎	○	◎	◎
3 ↓		×	×	△	△	×	×	○	○	◎	◎	△	○	◎
4 (高速)		×	×	△	×	×	×	×	×	×	×	×	△	△

注) ×: 均平整地不可能 △: 均平可能だが作業性不良 ○: 作業性やや良 ◎: 作業性良好  
 ローラ回転速度1: 作業速度に対するローラ周速度比=1.63(5×5, 7.5×5), 1.96(8×8, 12×8)  
 " 2: " =1.97( " ), 2.38( " )  
 " 3: " =2.89( " ), 3.49( " )  
 " 4: " =3.52( " ), 4.25( " )

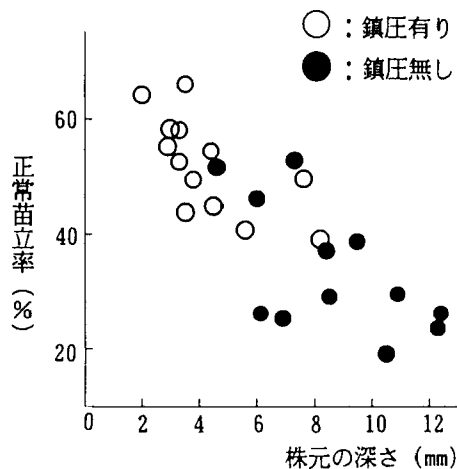


図-3 株元の深さと苗立率

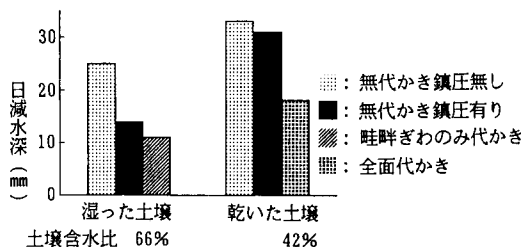


図-4 耕うん同時鎮圧の漏水防止効果

過剰に鎮圧され、根の貫入が不良になるためと推察された。他の形状間では苗立率の差は少ないため、作業性の良い7.5×5cmの形状が適するものと考えられた。

当初は過酸化石灰剤で粉衣した種子を用いることを前提として試験を継続してきたが、前述のように重粘土水田では作溝の自然崩壊が少ないため、出芽前後に泥で覆土されることが少なく、無粉衣もみでもある程度安定した苗立率が確保できる可能性が高い。平成6年からは無粉衣もみを用いた検討も並行して実施している。これまでの結果から、苗立率やその安定性は粉衣種子よりもやや劣るが、実用的には問題ない範囲にあると判断している。

(3) 耕うん同時鎮圧・作溝作業と漏水軽減効果  
無代かき栽培では漏水が問題になることが多い。本法

は、漏水の問題が比較的少ない重粘土水田を前提としてはいるが、漏水の問題が皆無というわけではない。そこで、同一は場で年度を変えて無代かき・無鎮圧と耕うん同時鎮圧・作溝の整地を行い、日減水深を比較検討した。その結果、耕うん同時鎮圧・作溝作業時の土壌含水比が66%のかなり湿った土壌では、鎮圧無しの日減水深25mmに対して、耕うん同時鎮圧の日減水深は14mmとなり、畦畔ぎわのみを額縁状に代かきした場合(日減水深11mm)と同程度の漏水軽減効果が認められた(図-4)。したがって、湛水初期の漏水が懸念されるほ場でも適用できる可能性が高い。しかし、含水比42%の乾いた土壌の場合は漏水軽減効果は少なかった(図-4)。

### 5. おわりに

土壌物理的な観点からの考察は甚だ不十分だったが、新潟農総研で検討した二つの技術を紹介した。いずれの技術も、結果的に土壌(作溝)の自然崩壊をある程度期待しているといえる。作溝の自然崩壊は土壌条件に左右され、フィールドでは風波の影響も無視できない。この点を少しでも克服していくことができれば、技術の安定性がより高まっていくものと考えられる。

### 引用文献

三石昭三(1975): 水稻の湛水直播における土壌中埋没播種に関する作物学的研究, 石川農短大特別研報 4: 1~59  
 宗村明次・国武正彦(1964): 水稻湛水直播栽培における種子の埋没が発芽苗立に及ぼす影響, 新潟農試研報 14: 10~14  
 中村喜彰(1978): 湛水土壌中直播機に関する研究, 石川農短大特別研報 7: 1~137  
 日本型直播稲作導入指針(1997): p2, 農研センター  
 下坪訓次・富樫辰志(1996): 水稻の代かき同時土中直播栽培に関する研究 1. 点播直播機について(予報), 日作紀 65 別 1 12~13  
 下坪訓次・富樫辰志(1996): 水稻の代かき同時土中直播栽培に関する研究 2. 点播水稻と条播水稻の押倒し抵抗の比較, 日作紀 65 別 1 14~15

受稿年月日: 1998年2月26日  
 受理年月日: 1998年7月21日

## 各種センサ



### D220 ターミナルボックス

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



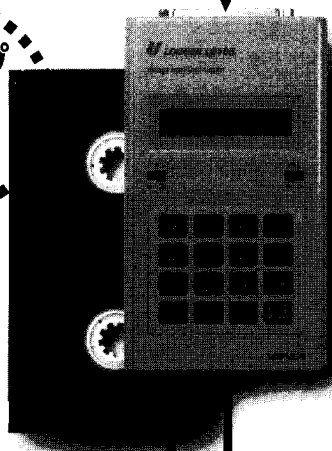
### D200A 熱電対アンプユニット

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

各社  
シグナル  
コンディショナ

ダイレクト接続

ビデオテープ  
サイズが  
うれしい!



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

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

## DATA LOGGER

### データロガーLシリーズ

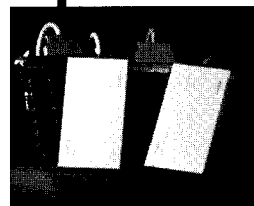
- L810B/電圧入力・長期間タイプ ●L840/電圧入力・超高速タイプ
- L822/熱電対入力・温度記録タイプ ●L830/測温抵抗体入力・温度記録タイプ ●L835/温湿度センサ入力・温湿度記録タイプ

RS-232C



### メモ리카ード

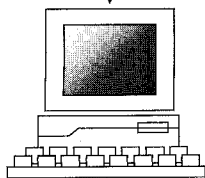
- L810B、L840で使用できます。
- JC128、JC256、JC512、JC1024、JC2048



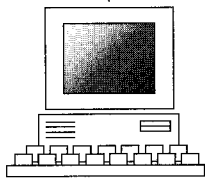
### RW98A RWAT RW98AN

#### メモ리카ードドライバ

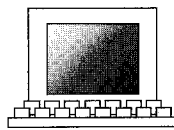
- PC9801シリーズ、PC/AT互換機、PC98noteシリーズ専用のメモ리카ードドライバです。
- メモ리카ードに記録したデータをパソコンに高速送信するのに最適です。



PC9800シリーズ



PC/AT互換機



PC98noteシリーズ



## 耕うん処理及び土壤水分条件が乾田直播水稻の 出芽に及ぼす影響<sup>†</sup>

大野智史\*・小野信一\*・高橋 茂\*・野々山芳夫\*\*・住田弘一\*\*\*

### Effects of Tillage Operation and Moisture Condition on Rice Seed Germination and Shoot Emergence out of Soil in Unwatered Paddy Fields

Satoshi OHNO\*, Shin-ichi ONO\*, Shigeru TAKAHASHI\*

Yoshio NONOYAMA\*\* and Hirokazu SUMIDA\*\*\*

\* National Agriculture Research Center

\*\* Present : Chugoku National Agricultural Experiment Station

\*\*\* Present : Minister's Secretariat, The Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries

#### Abstract

Rice seeds sown directly in unwatered paddy fields are unreliable in their germination and young shoot emergence, though labour for cropping is much saved by such planting method.

Effects of tillage operation on rice seed germination and shoot emergence out of soil were studied in unwatered paddy fields of Low-Humus Andosol soil (LHA) and Haplic Gray Lowland soil (HGL). Soil macropores holding moisture of more than  $-10$  KPa of water potential were reduced by tillage operation in both soils, though pores corresponding to less than  $-10$  KPa were not affected. After rain fall, tilled field more rapidly dried than untilled ones in both soils especially in LHA. Tillage operation lowered percentage of young shoot emergence in both LHA and HGL fields, and the percentage was higher in LHA field than HGL one regardless of the operation. Also stability of the emergence, which was evaluated based on coefficient of the variance, was reduced by tillage operation. Dominant part of no emergence seeds stopped their sprouting after beginning of root elongation, and percentage of such seeds in total seeds was over that of seeds normally emerging in the tilled HGL field. Only small part of total seeds was unable to emerge by stopping their growth after beginning of both root and shoot elongation, and such seeds were most often observed in tilled HGL field.

In a laboratory experiment, beginning of shoot elongation of rice seeds was more delayed than that of root elongation by low soil moisture. Almost all rice seeds started their root elongation within 72 hr of seeding under soil moisture condition of more than  $-1$  MPa, while initiation of shoot germination was repressed negatively corresponding to soil water potential at 72 hr.

**Key words** : rice direct seeding, germination, non-tillage, water potential

#### 1. はじめに

水稻の直播栽培は、移植栽培に比べ、省力的で育苗期

の過密な労力を軽減させるので大規模経営化や複合経営化に際し、有効な技術として期待されている。この直播栽培のうち乾田直播栽培は、水田の汎用利用のしやすさ

<sup>†</sup> 本報告の一部は1997年8月の日本土壤肥料学会関東支部会神奈川大会において発表した。

\* 農業研究センター 〒305 つくば市観音台3-1-1, \*\* 現中国農業試験場 〒721 福山市西深津町6-12-1, \*\*\* 現農水省大臣官房 〒100 東京都千代田区霞が関1-2

キーワード: 直播水稻, 出芽, 不耕起, 水分ポテンシャル

などの利点がある一方で、大きな問題点としては、出芽、苗立の不安定さなどがある。

水稻は湛水条件下で栽培されることもあって、湛水条件下での発芽研究に力が注がれ、特に三石、中村 (1977) による過酸化石灰被覆種子を用いた湛水土壤中直播の提唱以降、畑条件下におけるこの種の研究はほとんど行われなくなった。しかし、乾田直播栽培のような畑条件下における発芽を伴う栽培体系の技術開発が再び注目されるに伴い、その重要性が再認識されてきている。

乾田直播栽培における出芽、苗立の向上のために、乾燥条件下での出芽性に優れる品種の選抜が白土ら (1997) により試みられ、乾田直播適性品種の育成が期待されている。一方、栽培管理、とりわけ土壌管理技術は土壌環境の側面からの研究は多いが、種子との因果関係を検討した研究はほとんどなされていない。そこで本研究では、耕うん管理により変化した土壌の水分環境が種子の生理的特性に及ぼす影響を調べ、これが水稻乾田直播栽培における出芽、苗立に与える影響を検討した。

## 2. 材料および方法

### 1) 圃場における播種から苗立期までの種子の状態調査

供試圃場は、農業研究センター・谷和原水田圃場のライシメーターで、灰色低地土 (LiC) と淡色黒ボク (LiC) が充填してあるものを用いた。このライシメーターは造成5年目で、両土壤枠とも  $25\text{ m} \times 6\text{ m} = 150\text{ m}^2$  の面積で、それぞれの土壤枠を2等分 ( $12.5\text{ m} \times 6\text{ m}$ ) して播種前にロータリー耕 (1996年は4月下旬に耕うん) を行う耕起区と行わない不耕起区とを設けた。この圃場における水稻の乾田直播は、両土壤に耕起・不耕起処理を施してからともに3年目で、作物残さは原則として持ち出しとした。

供試品種はキヌヒカリで、乾籾を、1996年5月17日に汎用型不耕起播種機 (農業研究センター・プロジェクト研究第1チーム試作で、円盤ディスクで細い溝を切り、その溝内に播種し、その後覆土・鎮圧する機構を持つ) により播種を行い、6月20日に入水した。この時の播種量は乾籾で  $5.2\text{ g/m}^2$  であった。施肥は基肥に窒素として  $6.7\text{ g/m}^2$  の被覆型肥料70日タイプの配合肥料を播種と同時に溝内に施用し、播種直後に、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  として  $8.5\text{ g/m}^2$  のPK化成肥料 ( $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}: 0\text{-}17\text{-}17$ ) を表面施用した。参考までに、追肥は幼穂形成期に窒素として  $3.4\text{ g/m}^2$  のNK化成 ( $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}: 17\text{-}0\text{-}17$ ) を施用した。PK化成施用後は速やかに除草剤を散布し、防鳥網を張った。土壌の水分状況は耕起処理後から入水までの期間においてテンションメーターにより経時的に自

動計測した。土壌コアサンプルの採取は入水直前に行った。

播種後20日目の6月6日に種子の状態を調査した。まず、各区のボーダー効果の影響がないと考えられた場所から無作為に抽出した2mの調査区間 $\times 5$ ヶ所で出芽率の調査を行った。次に発芽しなかった種子を各区の出芽率調査と同じの区間から400~500個体が回収されるまで掘り出し、その掘り出した種子を(1)発根もしなかった種子、(2)発根のみした種子、(3)発根も発芽もしたが発芽しなかった種子の3種類に分けた。ただし、希に発芽だけして発根しなかった種子が見受けられたが、その後の結果から本試験の条件下では発根が優先されたと判断されたため、これらは(1)の発根もしなかった種子に含めた。(1)、(2)の種子は、この後、水を張ったシャーレに入れ、 $30^\circ\text{C}$ 、6日間静置して生長が停止しているのを確認した。一方で(3)の種子は、ほとんどが莖葉部のクロロフィル形成をしていなかったが、各個体の生育停止の確認はできなかった。この上記の3種類に加え、(4)正常に出芽した種子の4つに分類した。なお、本報告における発根、発芽時の定義は便宜上、幼根、幼芽が籾から約1mm伸長した時とし、また出芽時の定義は地表面に莖葉部が出現したことが確認された時とした。

### 2) 土壌水分ポテンシャルが異なる条件下での水稻種子の発根、発芽の調査

供試品種は1)の試験と同様にキヌヒカリとした。供試土壌は灰色低地土では透水係数が低くなりすぎるため、淡色黒ボクのみを用いた。まず、 $50\text{ cm}^3$ の採土円筒に土壌を充填密度が  $0.8\text{ g/cm}^3$  となるように充填し、この円筒を  $-3.16\text{ kPa}$  の培地は砂柱法により、 $-10$ 、 $-31.6$ 、 $-100\text{ kPa}$  の培地は加圧板法により培地の水分ポテンシャルを調整した。 $-100\text{ kPa}$  より低い $-316\text{ kPa}$ 、 $-1\text{ MPa}$  の培地は、加圧板法により $-100\text{ kPa}$  に調整した後、2つの円筒を合わせ、遠心法により水分調整した後、円筒の接続面で切り取った物を用いた。そのため $-100\text{ kPa}$  より低い水分ポテンシャルの培地は最終的に充填密度  $0.8\text{ g/cm}^3$  とはなっていなかった。この土壌を充填した2つの円筒間に、ろ紙、種子 (10粒)、ろ紙の順に挟み込んだ物を播種床として使い、この播種床6つを1単位として扱った。また、ろ紙をしいたシャーレに蒸留水を張ったものを水分ポテンシャル  $0\text{ kPa}$  の対照培地として使い、計7段階の水分ポテンシャルにおいて調査した。さらに上記と同様に作成した $-10\text{ kPa}$ 、 $-100\text{ kPa}$  の培地を用いて、発根、発芽率の時間的推移についても検討した。

### 3. 結 果

#### 1) 土壌水分ポテンシャルの推移と降雨後の土壌の乾燥に対する耕うん処理の影響

1996年は、5月上旬に47.3 mmの降雨があったが(図-1)、播種後から入水までの期間においては、5月22日には短時間に8.5 mmの比較的降雨強度の高い降雨があった後は、入水までの期間中に10.0 mmしか降雨がなく、土壌がかなり乾燥していた(図-2)。

降雨後の土壌の乾燥をみると灰色低地土、淡色黒ボクともに耕起区の方が速く乾燥することが示され、特に灰色低地土ではその傾向が顕著に現れた(図-1)。

各処理区土壌の固相率は、灰色低地土耕起区、灰色低地土不耕起区、淡色黒ボク耕起区、淡色黒ボク不耕起区の順にそれぞれ、0.364, 0.415, 0.306, 0.341 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>で

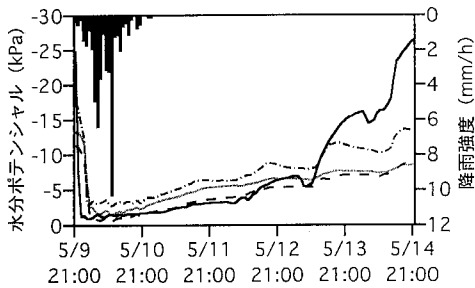


図-1 耕起, 不耕起土壌における降雨後の土壌の乾燥速度

Fig. 1 Drying rate of tillage and non-tillage paddy fields after a rainfall.

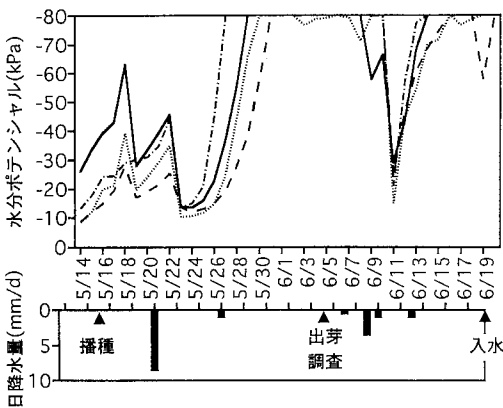


図-2 試験期間中の土壌水分ポテンシャルの推移と日降雨量

Fig. 2 Time-course of soil water potential and rainfalls during experimental period.

あった。各土壌の水分-水分ポテンシャル分布から算出された孔隙分布の耕うん処理による差は、マトリックポテンシャルが-10 kPa以上の時に気相となる粗孔隙については両土壌とも耕起区の方が多かったが、マトリックポテンシャルが-10 kPaより低くならないと気相とならない孔隙については耕うん処理による差は認められなかった(図-3)。

#### 2) 圃場における播種後の種子の状態

出芽率は、土壌間で比較すると淡色黒ボクの方が高く、耕うん処理で比較すると両土壌とも不耕起区の方が高くなった(表-1)。変動係数を出芽の安定性の指標とすると、両土壌とも不耕起区の方が安定した出芽を示した(表-1)。

発根もしなかった種子の割合は各処理区ではほぼ同等(9.18~11.56%)であった(図-4)。

発根のみした種子の割合は、全枯死種子の55.9~66.7%と過半数を占め、特に灰色低地土耕起区では正常に出芽した種子の割合を上回った(図-4)。

発根も発芽もしたが出芽しなかった種子が占める割合はどの処理区においても最も低かった。この割合は、両

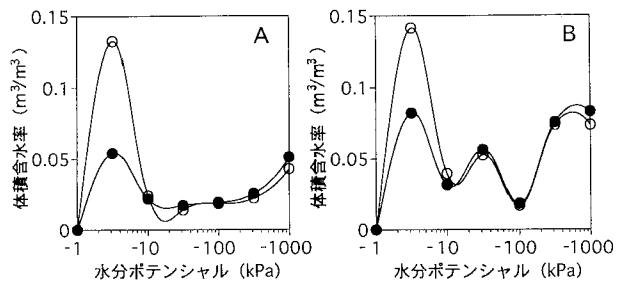


図-3 耕起, 不耕起土壌の水分ポテンシャル-水分分布特性(脱水過程)

Fig. 3 Water content distribution-matrix potential relationship of tillage and non-tillage soils (drying curves).

表-1 耕起, 不耕起土壌における出芽率

Table 1 Seedling emergence on tillage and non-tillage paddy fields.

(%)	灰色低地土		淡色黒ボク	
	耕起	不耕起	耕起	不耕起
出芽率	39.5 a	55.9 b	56.5 bc	67.1 c
変動係数	25.6	9.7	33.8	9.8

各区内に2 m×5ヶ所を設けた結果であり、異なるアルファベットの付いた値間には、P<0.05で有意差がある。

土壌とも不耕起区より耕起区の方が高く、不耕起区に対する耕起区のそれは灰色低地土で2.91倍、淡色黒ボクで1.84倍に達した(図-4)。

3) 水稻種子の発根, 発芽に対する土壌水分ポテンシャルの影響

水分ポテンシャルを0~-1 MPaに調整した培地での発根, 発芽率を, 0 kPaの培地で発根, 発芽が完了した播種後72時間目で比較すると, 発根率は-1 MPaまでのどの領域においてもほぼ100%に達していたが, 培地水分ポテンシャルが低いほど発芽率は低くなった(図-5)。

土壌の水分ポテンシャルが低下したときに発根, 発芽がどの程度遅延するかについての指標を, -10 kPa培地と-100 kPa培地における発根, 発芽率の50%到達時間の差として, それぞれで求めた。それによると-10 kPa培地と比べて-100 kPa培地では, 発根率50%時点で6.5時間, 発芽率50%時点で9.3時間の遅れとなった(図-6)。また, 培地の水分ポテンシャルが低い方が, 全個体が発根, 発芽を完了するのに要する時間が長くなり, この時間は, 発根において, -10 kPa培地では発根開始か

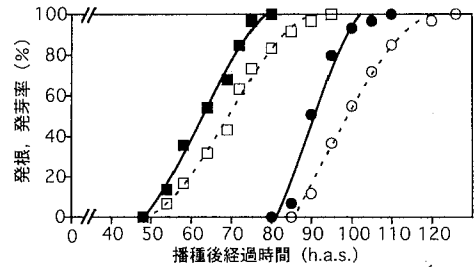


図-6 マトリックポテンシャルが異なる培地における発根, 発芽率の経時変化

Fig. 6 Time-course of germination of root and shoot on high and low matrix potentials.

ら26時間であるのに対し, -100 kPa培地では41時間と1.58倍に達し, 同様に発芽において, -10 kPa培地では発芽開始から25時間であるのに対し, -100 kPa培地では36時間と1.44倍に達することから, 個体間差が広がり, 発根・発芽が不安定になったことが認められた(図-6)。

4. 考 察

本試験において, 両土壌とも耕起土壌の方が不耕起土壌より乾燥が速かったが, マトリックポテンシャルが-10 kPaより低くならないと気相にならない孔隙量には差が認められないため, 乾燥速度の差はマトリックポテンシャルが-10 kPa以上の時に気相となる粗孔隙に起因すると考えられた。すなわち, 粗孔隙は排水が容易に行われて, 土壌毛管の連続性が断たれ, 比較的速やかに気相になる孔隙であり, 蒸発可能な土壌表面積の増大のために乾燥が速かったことが示唆された。不耕起土壌では固相率が高まるが, 透水性が大きくなるということが井手ら(1970), 大森(1971)により報告されており, また野々山(1981)は耕起をしても集中降雨後には3相分布は不耕起と同様になり, また落水後の土壌の乾燥は不耕起の方がやや早いとしている。しかし, これらは保水性というより排水性という面で不耕起が優れていることを意味し, 本試験からも明らかのように, 不耕起は保水性という面でも耕起より優れ, 安定して好適な水分条件をより長く維持できると考えられる。

水稻種子の出芽の良否を判定するには, 従来, 正常に出芽した種子にのみ着目してきたが, 出芽しなかった種子の方に視点を移すとその因果関係にまで踏み込むことができる。発根もしなかった種子は, 処理による差は認められず, 環境に影響されたのではなく種子そのものの発芽活性によると考えられた。そのため, 水稻の乾田直

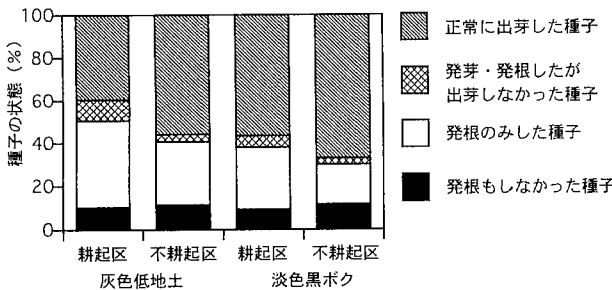


図-4 耕起, 不耕起土壌における出芽期の種子の状態

Fig. 4 Seed conditions on tillage and non-tillage paddy fields at emergence stage.

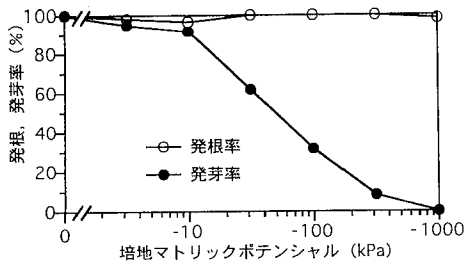


図-5 マトリックポテンシャルが発根, 発芽率に及ぼす影響

Fig. 5 Influence of matrix potential on germination of root and shoot.

播栽培において、出芽の良否を決めるのは、発根も発芽もしたが出芽しなかった種子と発根のみした種子をどれだけ少なくできるかにあると考えられる。

発根も発芽もしたが出芽しなかった種子は、両土壤とも不耕起処理で減少したが、これらの種子は、土壤クラストが形成された所に集中して観察され、井手ら(1970)の報告のように不耕起処理は土壤クラストが形成されにくいことを示している。

本試験においては、発根のみした種子が正常に出芽しなかった種子の過半数を占め、これを抑制することが出芽率の向上と安定に寄与すると推察された。水稻種子の発根に対する発芽の優先性について、Takahasi(1954)は高水分の他、低温、低酸素分圧などの因子も影響するとしているが、本試験のように播種時期の土壤の平均地温が20℃前後と比較的高く、有機物施用を行っていないため水分条件以外に低酸素条件が生じにくい環境下では、水分条件が大きな支配因子となる。さらに本試験中は、土壤が-10 kPa以上の水分域になっている期間が極めて短く、本試験結果からもわかるように、このような水分域では発根が発芽に優先される状況にあったため、種子は発根のみした段階において、何らかの原因により生長が抑制、停止され、今回のような結果になったと判断された。水分ポテンシャルが0 kPaで酸素供給が強い律速因子となっていない条件における発根と発芽はほぼ同時に進行するため、土壤の水分ポテンシャルの低下に伴った発根、発芽の遅延は、水稻種子をさらなる強い乾燥、地温の変動、病虫害などの様々な危険因子を内包している不安定な土壤という環境に長時間さらすことになり、このことが出芽を不安定にする原因と考えられる。

本試験のような条件では、好適な土壤水分条件を安定して維持することが、水稻種子の出芽率向上にもっとも

重要と考えられる。水稻種子は土壤の乾燥が進行すると、発根、発芽の遅延が起こり、出芽率が低下しやすくなるが、不耕起土壤では耕起土壤より水分環境が安定し、また土壤クラストの形成も抑えるため直播水稻の出芽率を向上させるための条件として適していると判断された。不耕起は、単に省力という意味だけでなく、直播水稻の出芽率を向上させるという栽培管理上の意義も重要であることが認識できるが、不耕起の継続期間、除草など総合的栽培管理面から未解決の問題も多く、今後の検討の余地を多く残しているといえる。

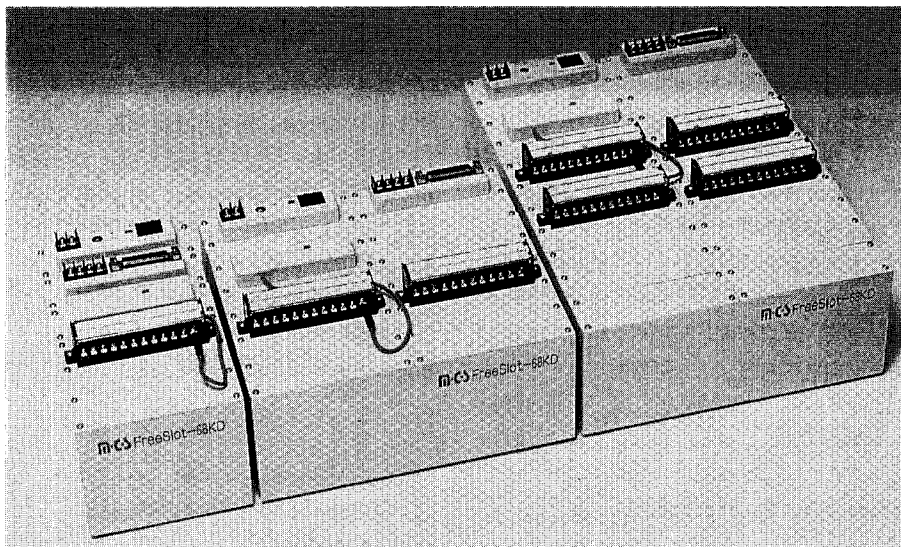
### 引用文献

- 井手一浩・徳安雅行・小林 淳・下村忠夫(1970): 乾田直播水稻の発芽機構解明に関する研究, 佐賀農試研報, 11: 59~89.
- 井手一浩・徳安雅行・小林 淳・下村忠夫(1970): 不耕起栽培継続に関する研究—稲・麦の連続不耕起栽培試験, 佐賀農試研報, 11: 91~109.
- 野々山芳夫(1981): 耕起の有無が乾田直播水田作土の物理性に及ぼす影響, 中国農試報, E18: 63~81.
- 三石昭三・中村喜彰(1977): 水稻の湛水土壤中直播栽培に関する研究 第1報 過酸化石灰の粉衣方法と粉衣量, 日作紀, 46(別1): 35~36.
- 大森 正(1971): 水稻不耕起直まき栽培と土壤物理性について, 土壤の物理性, 25: 19~23.
- 白土宏之・森田 敏・高梨純一(1997): イネ種子の乾燥土壤中出芽性のスクリーニング, 日作紀, 66(別1): 10~11.
- Takahashi N.(1954): Studies on the germination of rice seed, Sci. Rep. Inst. Tohoku. Univ., 6: 1~12.

受稿年月日: 1998年5月25日

受理年月日: 1998年10月1日

# FreeSlot-68KDシリーズ



## 特長

### ●優れた拡張性

16bitCPU(68000)、M-Cバスにより、フリースロットを実現、汎用4チャネル・メモリ・各種演算ボード等豊富なオプションを自由に組み合わせ簡単に増設できます。

### ●多様なセンサ出力に対応

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

### ●広い動作温度範囲

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

### ●多様な測定インターバル機能

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

### ●パソコンで簡単にデータ回収

付属の基本ソフトでデータ回収・データ表示・テキスト変換が簡単にできます。(オプションソフト追加でデータ処理ソフトへグレードアップ可)

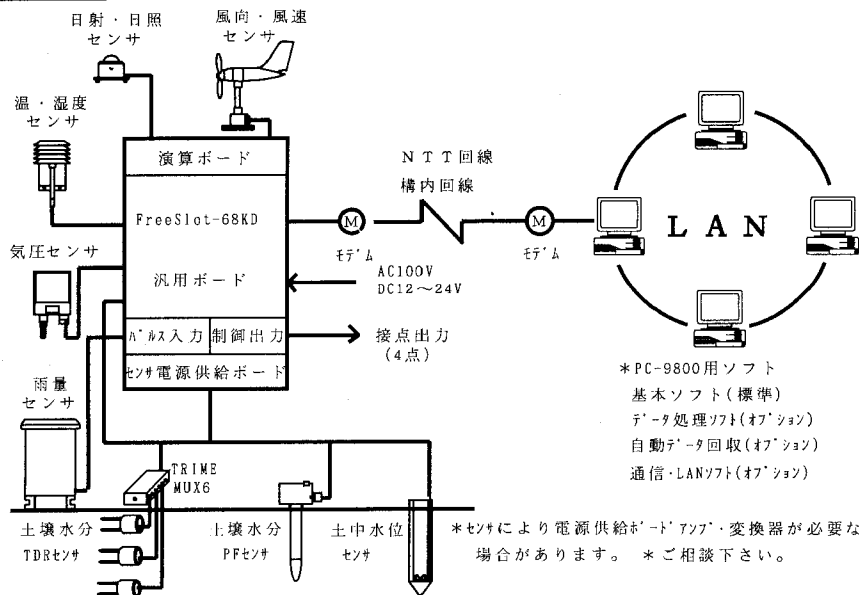
### ●RS-232C通信機能

モデム(オプション)を使用し、NTT回線でパソコンと通信ができます。

### ●3電源方式

AC100V、外部電池(DC12V~DC24V)、内蔵電池(オプション)で動作可能です。

## システム例



# Heat and Dissolved Oxygen (DO) Transfer Phenomenon in Poned Paddy Field

M.I. Mohammed MowJOOD and Tatsuaki KASUBUCHI

The United Graduate School of Agricultural Sciences, Iwate University,  
Dept. of Bio-Environment, Yamagata University, 1-23 Wakabamachi,  
Tsuruoka shi, Yamagata 997.

## Abstract

An understanding of the transfer of heat and gases into and out of water is critical to understand the function of surface water layer in a low land paddy field. This study is intended to clarify the phenomena of heat and dissolved oxygen (DO) transfer in the paddy field water layer. Field experiment was conducted for temperature profile and DO concentration. The result was then verified with a lab-scale model under natural solar and artificial infrared radiation which were convective and non-convective system, respectively.

The continuous higher temperature at the soil surface indicated that the soil surface acts as the plane from which the heat is conducted upward and downward to water and soil, respectively. The heating at the bottom of water layer imposes the buoyancy forces that brings the convection current. Rayleigh and Prantdl numbers also confirms the turbulent convection in the water layer. The heat that is accumulated in the soil layer during the heating phase of the day is transferred to the soil surface during the cooling phase. Then the heat transfer from the water to the atmosphere is regulated by convection.

The diurnal variation in DO concentration indicated that there is an excess supply of oxygen in the day time and an over consumption in the night time. In the day time the DO generated by micro algae is transferred from the water to the atmosphere. In contrast, during the night time the oxygen transferred from the atmosphere into the water layer by reaeration. But, there was no distinctive concentration gradient in the ponded water either from the water surface or from the soil surface throughout the day. The corresponded temperature data confirmed the existence of a convection current in the water layer. This convection resulted in a uniform DO concentration throughout the profile regardless of reaeration or deaeration.

The resulting temperature and DO profiles generated under the convective system was compared with the profiles generated in a non-convective system. This comparison lead to the conclusion that convection plays a significant role in the heat and DO transfer in the ponded paddy field.

**Key words** : Paddy Field, Water Layer, Temperature and Heat Regime, Dissolved Oxygen (DO), Convection

## Introduction

Rice is grown mostly under ponding conditions as a lowland cultivation. The shallow ponded water layer acts as an interface between the atmosphere and the soil for the

transfer of heat and mass and forms the crop environment accordingly. An understanding of the transfer of heat and gases (dissolved) into and out of water is critical to understand the phenomena of surface water layer in a lowland paddy field.

The thermal regime is an important factor for the growth and development of rice plants. It also influences almost all physical, chemical and biological processes in the ponded fields, thus it effects indirectly the productivity of the land and the crop. But studies on this physical phenomena, so far, were more based on macro than micro levels (Uchijima, 1961, 1976). Hence it is necessary to characterize the thermal regime for the whole system of soil and water, for a proper management of a paddy field environment.

Submerged paddy fields are characterized by an anaerobic condition, in terms of the lack of oxygen in the soil. This affects the plant growth and other biological and chemical processes such as microbial activity, nutrient availability and oxidation-reduction reaction in the soil. Oxygen is a critical factor for the germination of paddy particularly in direct seeding. The rice plant consumes oxygen available in both the water and the soil until the plant matures enough to develop a system of interconnected internal air spaces which allow the plant to make use of atmospheric oxygen. However, the studies on dissolved oxygen (DO) found in the literature are much focused on water quality determination (Gordan *et al.*, 1996) than a crop environment such as paddy field. The dynamics of DO in the ponded water of a paddy field and influence of those dynamics on other phenomena in a crop environment have yet to be clarified.

Hence this study is intended to clarify the transfer of heat and DO in the water layer of a paddy field, taking into account the convective phenomenon.

## Method

### Field Experiment :

A paddy field lysimeter of  $1.8 \times 1.8 \text{ m}^2$  surface area and 1.8m depth was used for the field experiment. Ponded water level was maintained at the depth of 10cm. The water was limpid and the downward flow of water was zero.

Vertical temperature profile was measured at different depths of water layer and of soil layer with Cu-Co thermocouples at the middle of the lysimeter. A thermocouple attached to a float was used to measure the temperature at the water surface. Air temperature was measured at the height of 1.5 m above the ground surface.

DO concentration at the middle of the water layer was measured continuously in the paddy field using DO meter with membrane electrode (DDIC, TOA Co. Ltd.). The water at the depth in concern was pumped using a micro tube pump. The DO probe was mounted on the water sampling tube and the data was continuously recorded. Solar radiation was measured with a pyranometer (MS-42, EIKO Co., Ltd.)

### Lab scale model experiment :

A model experiment was performed in a small acrylic tank with 55 cm long, 35 cm wide and 35 cm deep. The bottom and sides were insulated with Styrofoam to form one dimensional (vertically) heat flow. The model was filled with sieved (paddy field) soil up to 20 cm depth. Water was added and the soil was puddled and left for several weeks. Thermocouples were installed in the middle of the model at different depths of water and soil. A thermocouple float was used to measure the temperature at the water surface. Air temperature was measured at the depth of 3 cm above the water surface. Water level was maintained at 10 cm depth. The model was exposed to natural solar radiation and artificial infrared radiation on separate days. An infrared lamp (100 V/400 W-Kett Co. Ltd.) was set at the height of 45 cm from the water surface. In each situation 24 hours data for the vertical distribution of temperature were measured.

In order to measure the DO profile in the water layer, sampling tubes and thermocouples (Cu-Co) were set horizontally through a stand at depths of 3, 6, and 9 cm from the water surface, at the middle of the model. DO was measured with the azide modification of the Winkler method (American Public Health Association, 1955) for individual water samples



collected in oxygen bottles by suction at the time of measurements. The experiment was conducted for 24 hours under convective and non-convective conditions on separate days. During the infrared study, radiation period was for 10 hours, and this was followed by 14 hours of darkness.

## Results and Discussions

### Temperature Profile and Heat Transfer

The basic requirement to understand the thermal behavior of an environment is the measurement of temperature. Figure 1 shows the temperatures of soil surface, water layer (at the middle) and air in a paddy field over a three consecutive days. A detail profile of temperature for the water and soil in the paddy field model was shown in Fig. 2. The figures show that the temperature at the soil surface is always higher than that of the water layer throughout the day. Moreover, temperatures within the water layer at different depths were almost the same except at the soil surface and water surface. The high temperature at the soil surface indicates that the soil surface is the primary site of reception of energy directly from solar radiation. Then the heat is transferred upward and downward to the adjacent water and soil layer, respectively. As a result of this heating process the density of water in the proximity of the soil surface is decreased

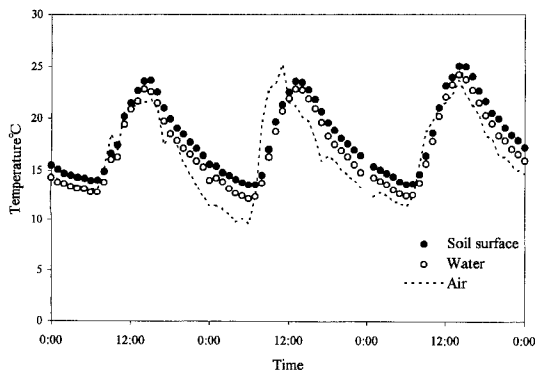


Fig. 1 Temperature of soil surface and water layer in the paddy field over a three consecutive days.

and imposed the buoyancy forces on the water. Because of this buoyancy forces the water moves up and down as "thermals" (buoyancy-driven masses of fluid moving away from the boundary surfaces) as explained by Chu *et al.* (1973) and Hollands *et al.* (1975). This free convection process brought temperature the same within the water profile and transfers the heat from soil surface to water surface (Mowjood *et al.* 1997).

The vertical thermal profile under convection as in the fig. 2 can be distinguished with three regions that are upper and lower conductive water layers where the temperature gradient was observed (air-water and water-soil boundaries) and a isothermal inner core between them as illustrated by Chu *et al.* (1973) and Hollands *et al.* (1975). The lower conductive water layer was formed because of the conductive heat transfer from the warmed soil surface. The convective circulation of the water brought the isothermal inner core. The top boundary layer was due to the heat loss from the inner isothermal core to the water surface. The thickness of the each layer depends on the temperature difference between the soil surface and the water surface.

The characteristics of the convection flow can be explained by a set of dimensionless parameters, such as Prandtl (Pr) and Rayleigh (Ra) numbers, that were calculated from the temperature difference between the soil surface and the water surface and the thermal parameters of water using the equations below (Holman, 1992).

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{\alpha} \quad (1)$$

$$\text{Ra} = \frac{g\beta(T_{s.s} - T_{w.s})d^3}{\nu\alpha} \quad (2)$$

where,

$\nu$ -kinematic viscosity of water ( $\text{m}^2/\text{s}$ ),  $\alpha$ -thermal diffusivity of water ( $\text{m}^2/\text{s}$ ),  $g$ -gravitational acceleration ( $\text{m}/\text{s}^2$ ),  $\beta$ -thermal expansion coefficient of water ( $\text{K}^{-1}$ ),  $d$ -depth of water (0.1 m in this study),  $T_{s.s}$ -temperature at soil surface and  $T_{w.s}$ -temperature at water surface.

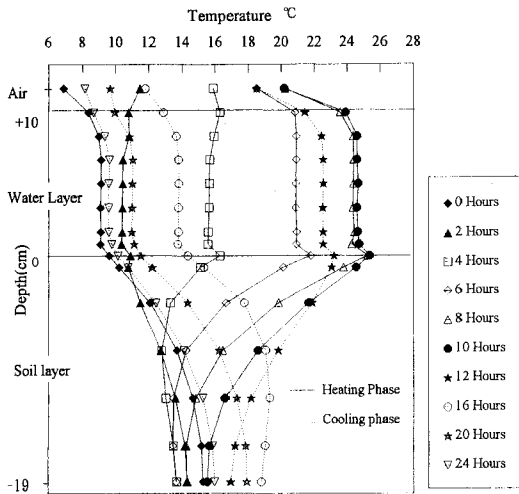


Fig. 2 Temperature profile in the lab-scale model of paddy field under convection.

The Rayleigh number ranges greater than the power of  $10^6$  throughout day. The Prandtl numbers was around 7. The temperature difference was found minimum in the morning and maximum in the mid day. This confirms the convection in the water layer of paddy field to be in turbulent and the degree of turbulent may varies with time within a day.

The temperature difference between soil surface and water surface maintained through out the day. This can be explained as follows. In the day time solar radiation heats the soil surface and instantaneously the heat is transferred downward by conduction efficiently. Because the soil is saturated under ponded condition and has low resistance to heat conduction compared with that of upland. In the late evening and night the heat, stored in the soil underneath, is conducted upward to the soil surface until the next day morning. Further the temperature at the water surface was lower mainly due to the latent heat loss and out flux of heat to the air. The evaporation process at the water surface not only transfers the heat from the water surface but also accelerates the convection current by increasing the temperature difference between the soil surface and the water surface by its cooling effect. From

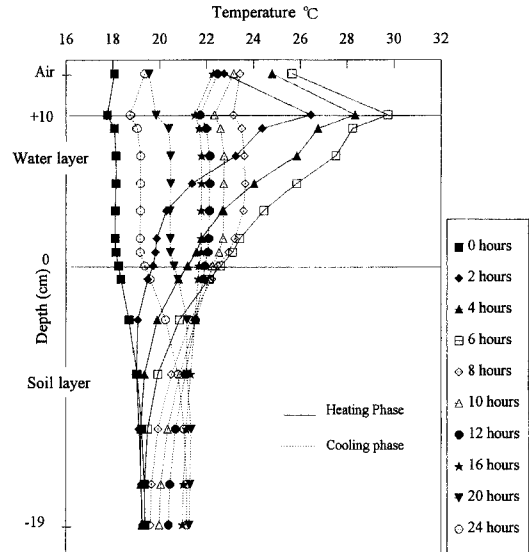


Fig. 3 Temperature profile in the lab-scale model of paddy field under non-convection.

these facts, it is quite evident that convection is a continuous process in the paddy field water layer and it will be prominent if there is a cool night followed by a sunny day.

To clarify the phenomenon of convection in relation to the thermal regime in a paddy field, the effect of non-convective system that is under infrared radiation was examined using the model. The infrared (long wave) radiation is absorbed at the water surface efficiently, thus a decreasing temperature gradient as shown in Fig. 3 was established from the water surface to the soil surface during the radiation. The temperature gradient shows that the lower-density water was above the higher-density water and no convection currents was occurred. In this case the heat transfer across the water was by conduction alone. This comparison made it clear that the convection determine the thermal behavior of the water and soil in a paddy field.

#### DO dynamics in a Paddy Field :

The DO concentration variations with time in the ponded water of the paddy field over a three consecutive days is shown in Fig. 4. The DO concentration changed remarkably

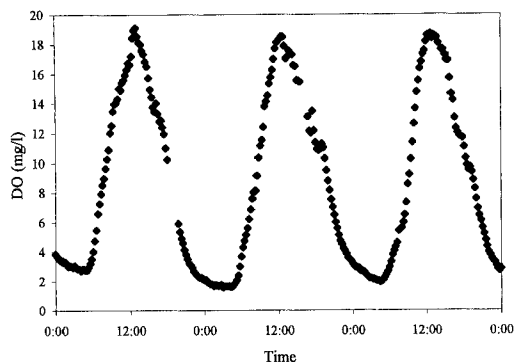


Fig. 4 DO concentration in the water layer of the paddy field over a three consecutive days.

with time. It shows peaks in the late afternoon and lowest levels just before sunrise. The maximum DO concentration was greater than the saturated concentration of plain water under atmospheric conditions, which is typically about 8 mg/l at 25°C. This is due to the photosynthetic activity of micro algae that is closely related to the factors of radiation and temperature (Mowjood, *et al.*, 1998). During the night time, the DO decreased far below the saturation level. The only source and sink of oxygen at the night is atmosphere and soil surface, respectively. Therefore the lowering of oxygen level below the saturated concentration is a sum of oxygen consumption and reaeration. Unfortunately, the excess oxygen generated during the day cannot be stored for the use in the night, as it is expelled to the atmosphere to maintain equilibrium. Therefore, the transfer of oxygen across the water layer is important to understand the behavior of soil environment related to the oxygen dynamics in the paddy field.

We have confirmed the existence of convection current in the water layer throughout the day from the temperature profile. The convection mechanism may affect the DO distribution within the water layer of a paddy field. In an effort to further explore the relationship between the DO dynamics and the convection mechanism within the water layer, we con-

tinued the investigations with a lab-scale model of a paddy field as described above.

#### DO distribution

Figure 5 shows the vertical profile of DO concentrations in the water layer of the lab-scale paddy field model. The DO concentrations at different depths in the water layer were almost uniform during the day and during the night time. There was no distinctive concentration gradient either from the water surface or from the soil surface. As in the paddy field, oxygen in the shallow stagnant water layer diffuses from the atmosphere by the process of reaeration as explained by the two-film theory of mass transfer (Peavy *et al.*, 1985). Then the reaerated oxygen is transferred to the bulk water layer by molecular diffusion.

If diffusion was the only mechanism at work, one would expect a concentration gradient from the water surface to the soil surface, because the diffusion process is very slow since the oxygen diffusion coefficient is low in water, about  $2.51 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  at 25°C. However, the reaeration/diffusion concept does not adequately explain the results that were obtained. This suggests that convection plays a significant role in the DO transfer throughout the water layer.

#### DO transfer

To verify the transfer mechanism of DO, the resulting DO profile generated under a convective system was compared with the profile generated in a non-convective system, which was created using infrared radiation. Figure 6 shows the DO profile of this non-convective system. Because of this non-convective condition, the DO concentrations were not uniform throughout the profile. Instead, a gradient was observed from the soil surface during the radiation period of 10 hours. There was oxygen generation at the soil surface, and the generated oxygen was transferred to the upper water layer by molecular diffusion, not by convection. The cause of the oxygen generation is discussed subsequently. This comparison

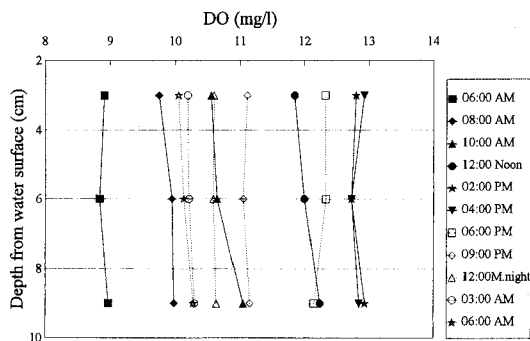


Fig. 5 DO profile in the lab-scale model of paddy field under non-convection.

of infrared and solar radiation systems lead to the conclusion that convection plays a significant role in the DO transfer in the water layer of a paddy field.

The light from the infrared lamp contains mostly the infrared spectrum, but also a small portion of visible spectrum. We quantified the visible spectrum (about 22%) of the light produced by the infrared lamp. Under the infrared radiation the visible portion of the light was used by micro algae found at the soil surface, accounting for the increase in oxygen concentration at the soil surface.

From these results it is clear that in the daytime the DO generated by micro algae is transferred from the water to the atmosphere. In contrast, during the night time oxygen moves from the atmosphere into the water layer by reaeration which depends on the oxygen deficit related to the saturation. Regardless of whether reaeration or deaeration is occurring, convection within the water layer greatly influences the transport mechanism of DO.

### Conclusion

In the low land paddy field solar energy is absorbed at the soil surface and the heat is transferred to overlying water by convection and to underlying soil by conduction. The convection process continues even in the night-time due to the temperature difference at the boundaries. Pondered water in the paddy field

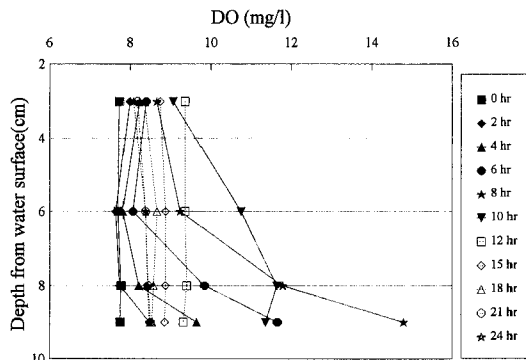


Fig. 6 DO profile in the lab-scale model of paddy field under non-convection.

increases the accumulation of heat in the soil and controls the out flux of heat by the convection process.

The convection process is not only controlling the heat transfer but also the DO distribution in the water layer. Oxygen, produced in the ponded water of a paddy field during the daylight hours by micro algae, is transported within the water layer by convection and then to the atmosphere by deaeration. Eventually the water becomes supersaturated with oxygen. During the night, the reaerated oxygen is transferred to the soil surface by convection in the water layer. Thus convection plays an important role in the thermal regime and DO dynamics within the ponded water of a paddy field. This fact could be correlated with chemical and biological process of interest. Thus convection in the water layer plays an important role in heat and DO transfer between atmosphere and soil in the paddy field.

The future research should be directed to investigate the DO dynamics with related to rice cultivation practices such as use of weedicide (pre-emergence and post emergence) that also inhibit the photosynthesis of algae and fertilizer application. The significance of reaeration, respiration of micro organisms, soil consumption of oxygen on diurnal and seasonal changes of DO in the paddy field also should be studied.

### References

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Federation of Sewage & Industrial Wastes Associations (1955) : Oxygen. In Standard methods for the Examination of Water, Sewage and Industrial Wastes, American Public Health Association, Inc., New York, pp. 251-267.
- Chu, T.Y. and Goldstein, R.J. (1973) : Turbulent convection in a horizontal layer of water. *J. Fluid Mech.* Vol. 60 part 1, pp. 141-159.
- Gordan, J.A. and Avera, J.B., (1996) : Dissolved Oxygen in Streams and Reservoirs (A Literature review). *Water Environ. Res.*, **68** (4), 733.
- Hollands, K.G.T., Raithby, G.D. and Konicek, L. (1975) : Correlation Equations for Free Convection Heat Transfer in Horizontal Layers of Air and Water. *Int. J. Heat Mass Transfer.* Vol. 18, pp. 879-884.
- Holman, J.P. (1992) : *Heat Transfer* (7<sup>th</sup> Ed.) McGraw-Hill international (UK) Ltd, Singapore, pp. 215-381.
- Mowjood, M.I.M., Ishiguro, K. and Kasubuchi, T. (1997) : Effect of convection in ponded water on the thermal regime of a paddy field. *Soil Sci.* 162 : 583-587.
- Mowjood, M.I.M. and Kasubuchi, T. (1998) : Dynamics of Dissolved Oxygen (DO) in the ponded water of a Paddy field. *Soil Sci. Plant Nutr.* (in press).
- Peavy, H.S., Rowe, D.R. and Tchobanoglous, G. (1985) : *Environmental engineering.* McGraw-Hill international editions, Singapore, pp. 66-99.
- Uchijima, Z. (1961) : On Characteristics of Heat Balance of Water Layer under Paddy Plant Cover. *Bull. Nat. Inst. Agr. Sci., Series. A*, 8 : 243-265.
- Uchijima, Z. (1976) : Microclimate of the rice crop. *Proceedings of Symp. On Climate and Rice (IRRI)*, 115-140.

受稿年月日 : 1998 年 3 月 2 日

受理年月日 : 1998 年 7 月 16 日

# 土壤をそのまま測定!!

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** 土壤用硝酸イオンメーター

NOS-120



**pH** 土壤挿入式 pH 計

PHS-120



**EC** 土壤用 EC メーター

PK-33



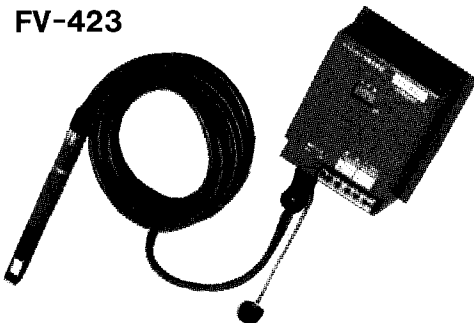
**pF** セラミックス土壤水分計

pF-33



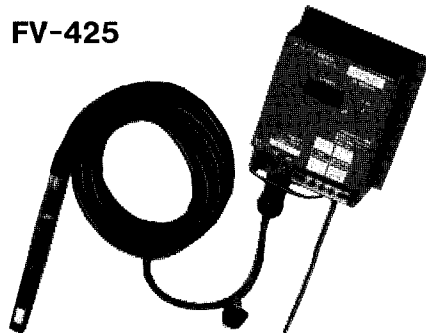
## 土壤 pF を連続測定及び自動灌水!!

FV-423



指示を見ながら出力(4~20mA)で  
データとりも行える

FV-425



指示を見ながら設定 pF で灌水信号  
を出せる(データ用に 0~1V 出力付)



株式会社 藤原製作所

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

# 石膏による代掻き濁水の浄化と水田土壌の分散凝集構造

赤江 剛夫\*

## Clarification of Puddled Water by Gypsum and Dispersion-Flocculation of Paddy Field Soil

Takeo Akae\*

Faculty of Environmental Science and Technology, Okayama University

### Abstract

Discharge from paddy fields after puddled is regarded as one of causes of water pollution of rivers and lakes. The problem is considered to be most serious on Uso-river basin in Shiga prefecture. The author investigated a practical method to clarify the puddled water by gypsum addition to it.

A critical coagulation condition of the puddled water was estimated on the basis of the Hetero coagulation theory. The calculated results showed the Ca ion concentration greater than 2m mol/l will flocculate the puddled water. The estimated value agreed well with experimental results. Then the most favorable flocculation aid was searched among eight soil amendments and fertilizers. Gypsum was found to be the best aid because it showed most effective flocculation and moderate pH change.

The optimum gypsum application rate was examined in test plots made on two paddy fields of the area. The rate of 30 kg/10a gypsum decreased the suspended solid concentration below 0.1% in 12 hours. The critical Ca ion concentration at rapid flocculation was found to be ranging from 1 to 2m mol/l, which agreed with the estimated critical concentration. The rate of 30 kg/10a gypsum was estimated to reduce 70 to 80% of the whole effluents of the suspended solids of the puddled water.

**Key words** : paddy field, puddled water, dispersion-flocculation, gypsum, critical coagulation concentration

### 1. はじめに

近年、自然環境や生態系保全に対する関心の高まりの中で、農地開発事業や営農など人為的行為に伴う濁水の発生は厳しい指弾を浴びる情勢となっている。下流の河川や湖へ排出される代掻き濁水についても、営農にともなう人為的な原因によって発生するものであることから、その排出抑制は、農業側にとって重要な環境課題の一つであると考えられている。

滋賀県でも河川や琵琶湖に流入する代掻き濁水が、アユ、フナなどの漁獲量の減少、琵琶湖水質悪化の原因と目され、効果的な抑止策が検討されてきた。県では、「み

ずすまし」計画と呼ばれる濁水排出抑止計画を策定し、実行してきている。具体的には、浅水代掻き、表層代掻きの励行と掛け流し防止、落水口からの漏水防止の徹底、畦畔板、ビニール畦畔、コンクリート畦畔などによる畦畔浸透防止対策など圃場レベルの管理から、排出された濁水の反復利用施設の整備など地域レベルのハードな施設整備が含まれている。しかし、これまでのさまざまな対応によっても、問題は解決したとはいえない現状であり、引き続き効果的な代掻き濁水浄化法が求められている。

濁水対策の一方法として凝集資材による沈降浄化法も検討された。合成凝集資材には凝集効果の優れたものも

\* 岡山大学環境理工学部 〒700-8530 岡山市津島中2丁目1-1  
キーワード: 水田, 代掻き水, 分散凝集, 石膏, 限界凝集濃度

あったが、中には魚毒性が報告されたものもあり(藤原, 1987), 実際に利用されるには至っていない。

濁水発生の著しい水田土壌を対象に, その凝集機構に関する理論的, 実験的検討を行ったところ, 濁水溶液中の陽イオンの種と濃度で水田土壌の凝集が大きく支配され, ヘテロ凝集理論によって凝集条件が予測可能であることが分かった(赤江, 1992a)。そこで, 作物へも安全な代掻き濁水の発生源対策の観点から, 農業上良く利用される土壌改良資材のなかから有効な資材の検索をこころみた。結果を総合的に判断すると, もっとも成績がよかったのは石膏であった(赤江, 1992b)。その効果は, 現地試験でも確かめられた(赤江, 1994)。

本報告は, 水田土壌の凝集機構を検討し, 代掻き濁水浄化のための凝集条件, 凝集資材の選定と必要施用量と施用法, 濁水排出負荷削減量の推定について, 滋賀県での事例を実証的に検討した結果をとりまとめたものである。主要な成果については, すでに報文として報告しており, 本文はそれらを再整理したものである。

## 2. 調査地点土壌の基礎的性質と代掻き濁水の現状

### (1) 調査対象地点と土壌の基礎的性質

滋賀県では, 琵琶湖の富栄養化の防止を期して, 毎年代掻き濁水について発生状況調査を行っている。最近の結果では, 宇曾川流域の湖東町, 五の谷川, 澗川でもっとも高い濁度が検出されている(滋賀県農林部, 1991)。調査対象として, この両支流流域に含まれる湖東町中一色地区, 大沢, 中里地区を選んだ(図-1)。

本地区の土壌は, 強粘質細粒褐色低地土(中島統)に分類されており, この土壌の分布する流域の排水路の濁度が最も高い。中島統に含まれる3地区(中一式, 大沢, 中里)の水田より, 土壌を採取した。

土壌の基礎的性質を表-1に示した。X線回折で同定した粘土鉱物は, 3地点ともハロイサイト(7A)を主体とすることがわかった。

また, 本地区の土壌は, 機械的分散程度の強さと, 化学的分散条件に大きく影響される特徴を持つ。図-2に中一式地区表土の分散条件の違いによる粒径分布の変化を示している。化学的分散剤(ヘキサメタリン酸ナトリウム)を加え, 超音波分散をあたえると, 粘土分は攪拌のみの20%から36%まで増大した。大沢下層土では, 6%から45%に増大した。

中島統土壌の粘土荷電のpH依存性を顕微鏡電気泳動法で測定し, ゼータ電位をもとめた。pH7以上では-40

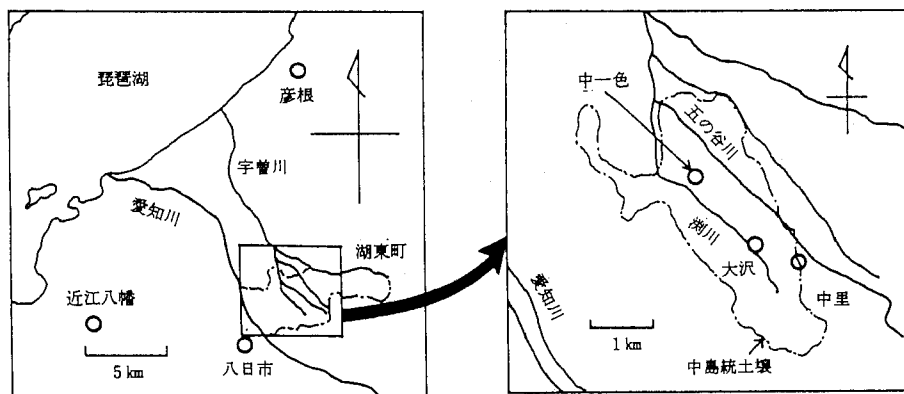


図-1 宇曾川水系と調査対象地点<sup>7)</sup>

Fig. 1 Uso-river basin and soil sampling points.

表-1 土壌の基礎的性質

Table 1 Fundamental properties of soils

土 壤 名	真比重	土 性	pH (H <sub>2</sub> O)	CEC (meq/100 g)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	塑性指数
短大農場土	2.515	L	6.6	—	43.0	22.5	20.5
中一色表土	2.574	LiC	6.2	11.0	48.0	25.9	22.1
大沢下層土	2.675	LiC	6.9	12.1	49.2	25.4	23.8
中里表土	2.511	L	6.5	—	46.4	23.9	22.5



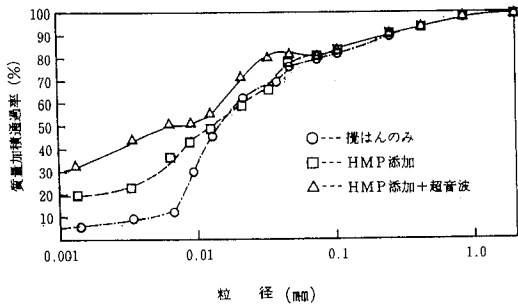


図-2 分散処理が粒径分布に及ぼす影響 (中一色表土)

Fig. 2 Dependence of particle size distribution on dispersion methods (Top soil of Nakaisshiki).

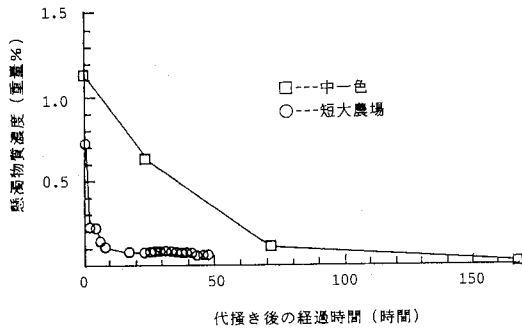


図-3 代かき水中の懸濁物質濃度の経時変化<sup>7)</sup>

Fig. 3 Time dependent change of suspended solid concentration in puddled water.

~-45 mV であるゼータ電位が pH 7 以下では大きく低下し、pH 5 で-10 mV の最小値を示した。このことから pH 5 付近が pH 依存荷電の等電点であると推定された。

(2) 代掻き濁水の実態調査

1991 年 4 月末に代掻き濁水発生状況の実態調査を行った。中一色地区で、代掻き直後、代掻き終了後 1 日、3 日、7 日経過した 4 筆の水田からそれぞれ 3 カ所において表面水を採取した。対照として、滋賀県立短大農場の 3 筆の水田で、代掻き直後から 1~数時間間隔で 2 日間、代掻き水をそれぞれ 3 カ所から採水した。灼乾法で懸濁物質濃度を測定した。

図-3 は、代掻き後の経過時間と採水した代掻き水中の懸濁物質濃度の関係を示す。中一色土壌が長期間にわたって懸濁し、沈降しにくい土壌であることがよく分かる。河川的环境基準は農業用水利用の浮遊物質質量 (SS) が 100 ppm 以下であることを求めている。中一色水田水はこの基準をはるかに超えている。

3. Ca 塩による水田土壌の凝集条件<sup>8)</sup>

コロイド粒子間の凝集は、粒子間の電気的反発力とファンデルワールス引力のバランスで決まるとするヘテロ凝集理論で説明されており、比較的純粋な粘土ではその成立が確かめられている。これが一般の水田土壌の分散凝集に適用できるのか、本地区土壌を例として、凝集

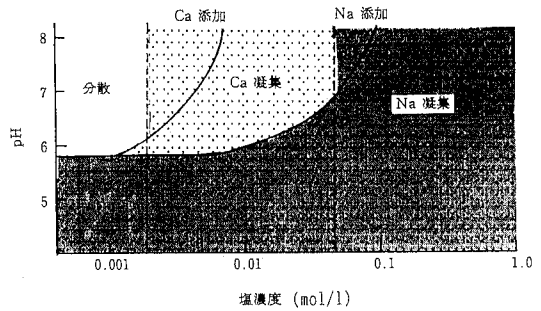


図-4 Ca, Na イオン添加時のハロイサイトの限界凝集条件

(実線：永久荷電粒子間、破線：永久荷電-pH 依存荷電間)

Fig. 4 Critical coagulation condition of Halloysite (Soild line: between parmanent charges, Broken line: between parmanent charges and pH dependent charges).

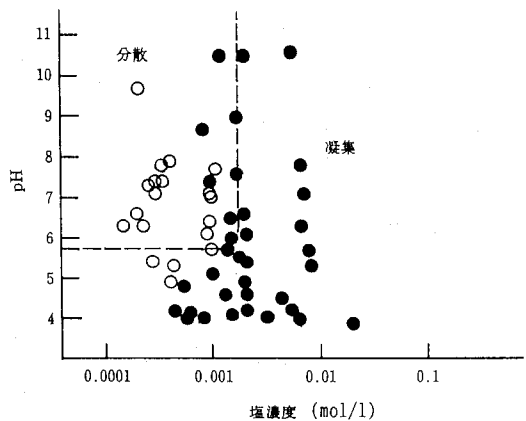


図-5 Ca イオン添加時の凝集 (中一色表土)

(○: 分散, ●: 凝集, 破線: 推定限界凝集条件)

Fig. 5 Dispersion-flocculation condition of Nakaisshiki top soil under Ca ion addition (○: Dispersed, ●: flocculated, Broken line: Calculated boundary between dispersion and flocculation)

条件を検討した。

本土壌の主要粘土鉱物であるメタハロイサイトの粒子形状を球と仮定し、Na および Ca イオンの濃度と土壌溶液 pH を変えたときの 1 結合当たりの相互作用エネルギーをヘテロ凝集理論に基づいて計算した。相互作用エネルギーが 15kT 以下で凝集が生じるとして、限界凝集条件を塩濃度、pH 平面上に推定した (図-4)。

推定した限界凝集条件と中一色表土に Ca, Na を添加した分散凝集試験結果は、たがいにほぼ一致した (図-5)。凝集領域は pH 5.7 以下か、Na イオン添加では 50 mol/l 以上、Ca イオン添加では 2 mol/l 以上の領域となり、現状で 0.2 mol/l の濁水中 Ca 濃度を 2 mol/l に高めることで凝集沈降浄化が可能であることが分かった。

4. 各種土壌改良資材の凝集効果試験

(1) 試験方法

農業上よく使用されており、安全性に不安のない土壌改良資材および肥料のうち Ca 成分を比較的多く含むものを対象に凝集効果を検討した (表-2)。なお、凝集試験は 3 地点のうちもっとも分散しやすい中一色表土に対して行った。

中一色表土の風乾土 75 g と 700 ml の蒸留水を加えてよく混合し、振とう機で 1 時間振とうし、蒸留水を加えて 1,000 ml とした。再度手で振とうした後、各凝集剤を 0.1, 0.25, 0.5, 1.0 g/l 散布し、ガラス棒で約 10 秒間静かに掻き混ぜ静置した。代掻き時の水深を 10 cm とすると、これらの添加量はそれぞれ 10, 25, 50, 100 kg/10 a の散布量に相当する。静置後 1, 3, 6, 24, 48 時間後に、水面下 5 cm の位置から懸濁液を 10 ml 採取し、懸濁物質濃度、pH、電気伝導度、平衡外液中の Ca イオン濃度を測定した。

(2) 凝集試験結果

石膏添加の場合、0.1 g/l 添加では 3 時間後 0.38%、0.20 g/l 添加では 0.17% の懸濁物質濃度であるのに対し、0.25 g/l では 3 時間後ほぼ 0% となっている (図-6)。これ以上の添加量では 1 時間後ですでに 0.05% 以下となっている。対照の場合 48 時間を経過しても 0.35% もの懸濁物質濃度があるのに比べ、著しい凝集効果を発揮した。他に凝集効果が認められたのは、消石灰 1.0 g/l の場合であった。これ以外の資材については顕著な凝集効果は認められなかった。添加量と濁度の低下速度から凝集効果を総合的に評価すると、石膏>消石灰>石灰窒素>炭酸カルシウム>過リン酸石灰≒ヨウリン≒苦土石灰≒ケイカルとなった。

凝集剤を添加した時、Ca 濃度の変化とともに、pH の変化も生じた。図-7 に凝集剤を添加した時の懸濁液の状態を Ca 濃度-pH 平面上に示した。この図から凝集効果

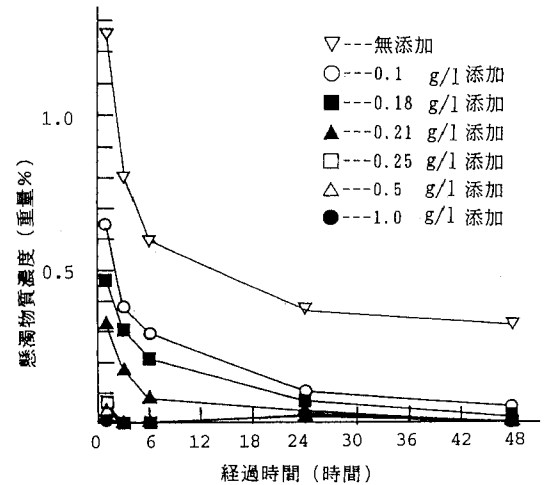


図-6 セッコウ添加後の経過時間と懸濁物質濃度  
Fig. 6 Suspended solid concentration change after gypsum addition.

表-2 試験した土壌改良資材と肥料

Table 2 Soil amendments and fertilizers tested

凝集剤名	形態	主要化学組成	含有アルカリ分 (%)	水稲作への通常施用量 (kg/10 a)
セッコウ	粉状	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	40	20~60 (中期施用)
(苦土)消石灰	粉状	Ca(OH) <sub>2</sub> , Mg(OH) <sub>2</sub> (5%)	60	20~60 ( " )
炭酸カルシウム	粉状	CaCO <sub>3</sub>	56	20~60 ( " )
石灰窒素	粉状	CaCN <sub>2</sub> , CaO	55	10~100
過リン酸石灰	粒状	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> , CaSO <sub>4</sub>	30	—
熔リン	粒状	α-Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	45	40~80
アヅミン苦土石灰	粒状	Ca(OH) <sub>2</sub> , Mg(OH) <sub>2</sub>	50	100~160
砂状ケイカル	砂状	CaO, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub>	47	200~300

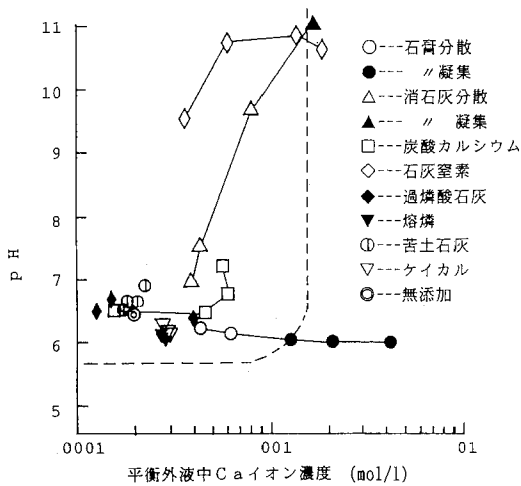


図-7 各凝集剤添加後の濁水中のCaイオン濃度とpH

Fig. 7 Calcium ion concentration and pH of the suspension after addition of flocculation aids.

が発揮されたのは、石膏あるいは消石灰添加によってCaイオン濃度が1.5 mol/lを越えた時に限られることが分かる。このCa濃度は計算による限界凝集濃度2 mol/lとほぼ一致している。石膏添加では添加量の増加とともにpHはやや低下した。消石灰添加ではpHが大きく上昇し、凝集効果のみられた1.0 g/l添加でpH 11以上の値を示した。

凝集効果、pH変化の両方からみて、検索した資料の中で石膏がもっとも有効であると判定された。

(3) 施用方法について

石膏の混合方法による凝集効果の違いを検討した。予め石膏を必要量溶解させた溶液に土壌を添加し1時間振とうした試料(完全混合)と、懸濁水面に凝集剤を散布し、ガラス棒で軽く攪はんした試料の懸濁物質濃度を比較した。

その結果、完全混合法の方は、散布攪拌法よりも限界凝集濃度以下でいくぶん小さい濃度を示したが、その差はわずかであった。しかも限界凝集添加量は混合法にかかわらず、おなじ0.25 g/l以上であった。よって、混合処理の違いによる影響は小さく、代掻き水面に散布するだけで充分に期待される凝集効果が得られるものと考えられた。

5. 現地試験による石膏の濁水凝集浄化効果の確認

(1) 現地試験の方法

中一式地区、大沢地区で試験用代掻き用水が得られる水田を2カ所選定した。慣行の代掻き手順にしたがって代掻きを再現した。あら起こしを行い、水深5 cmまで取水した。塩化ビニル製の畦畔板で圃場の一部20 m×40 mを仕切って試験区とし、その内部をロータリー耕耘機で念入りに代掻きした。代掻き後、試験区内を畦畔板で仕切り、5 m×5 mの6連2列の枠を設けた(図-8)。それぞれの枠には、ただちに石膏を0, 10, 20, 30, 50, 100 kg/10 a均一に散布した。12区のうち半分の6区には、石膏散布に先立ち、元肥を標準量(20 kg/10 a)施用した。

石膏を散布して1, 2, 3, 6, 12, 24, 48時間後、表面水を取採し、pH、懸濁物質濃度(SS)、Caイオン濃度、電気伝導度(EC)を測定した。

(2) 現地試験の結果

中一色試験区の懸濁物質濃度と石膏散布後の時間の関係を図-9に示す。対照区の懸濁物質濃度は代掻き直後約4%と非常に濃厚であり、その後懸濁物質濃度は徐々に減少するものの、24時間後で0.7%、48時間後でも0.3%と長期間にわたって高い濃度が続いた。

一方、石膏を添加した場合には懸濁物質濃度の低下が散布直後の比較的短かい時間帯に集中的に生じた。懸濁物質濃度が0.1%に低下する時間は、100 kg/10 aで3時間、50 kg/10 aで6時間、30 kg/10 aで12時間、20 kg/10 a以下でも24時間後であった。このように対照区と比べ高濃度の濁水を速やかに0.1%程度の濃度まで落とす顕著な浄化効果が認められた。元肥を施用すると、元肥なしの場合より幾分低い値を示したが、30 kg/10 a以上では、石膏の効果が卓越した。

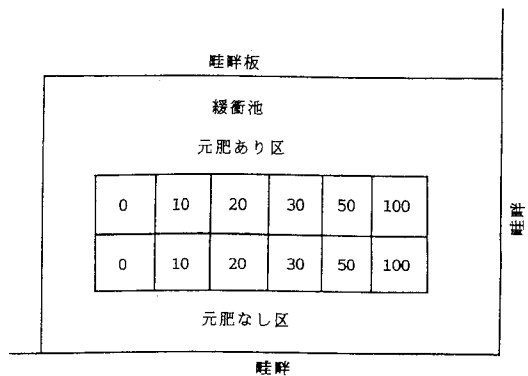


図-8 現地試験区の概要

Fig. 8 Diagram of test plots established in paddy fields. Numbers in each section denote rates of applied gypsum in kg/10 a.

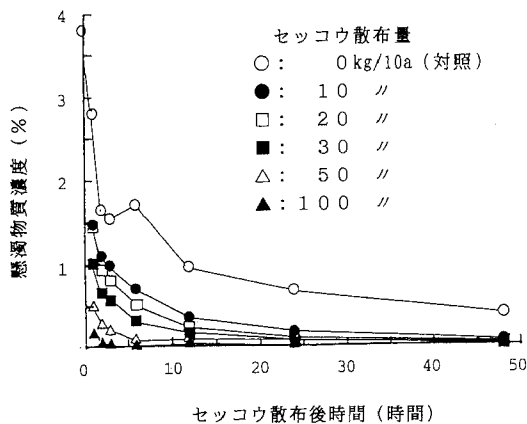


図-9 セッコウ散布後の時間と懸濁物質濃度 (中一色)

Fig. 9 Change of suspended solid concentration in puddled water after gypsum application (Nakaishiki without basal dressing). Gypsum application rates are ; ○ : 0, ● : 10, □ : 20, ■ : 30, △ : 50, ▲ : 100 kg/10 a, respectively.

大沢試験区では対照区の懸濁物質濃度は、代掻き直後1.05%と中一色試験区の3.8%よりもかなり小さく、その後の濁水濃度減少も速やかに進み、24時間で0.1%以下となった。石膏添加の効果は、中一色試験区よりも顕著で、10 kg/10 aの添加量で6時間後に0.1%以下となった。30 kg/10 aで1時間後に0.1%以下となり、これ以上添加量を増大しても凝集効果の増大はみられなかった。元肥を施用した場合、石膏無添加時においても対照の約1/2程度に懸濁物質濃度が減少し、10時間後には0.1%を下回った。元肥と石膏同時施用の効果は著しく、10 kg/10 aで3時間後に0.1%以下となった。

以上のように中一色、大沢試験区とも、石膏の凝集効果は著しく、添加量としては30 kg/10 aで十分な効果が得られた。元肥は凝集浄化に対し、副次的な効果をもたらした。

図-10は、中一色試験区で採水したすべての代掻き水サンプルの懸濁物質濃度を、Caイオン濃度に対しプロットしたものである。Caイオン濃度が1.3 mmol/l以上では、全てのサンプルの懸濁物質濃度が0.1%以下の値を示している。大沢土壌についても、全体的に懸濁物質濃度が低いものの、1時間後に採取した10 kg/10 aの1点を除いて、2 mmol/l以上のCaイオン濃度では、懸濁物質濃度はすべて0.1%以下を示した。この関係は元肥を加えた場合も成立した。現地試験において懸濁物質濃度が0.1%以下になるCa濃度は、ハロサイトの凝

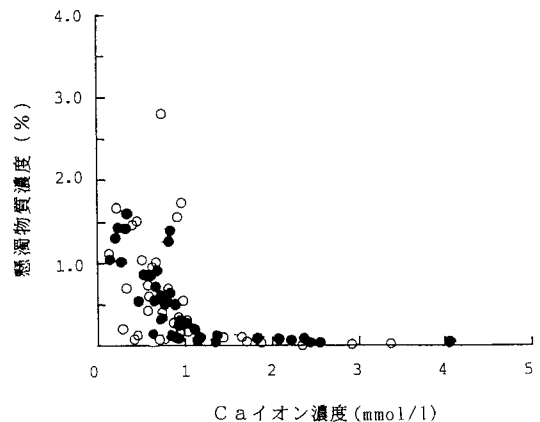


図-10 代かき水の懸濁物質濃度とCaイオン濃度 (中一色)

(○:元肥なし, ●:元肥あり)

Fig. 10 Suspended solid concentration and Ca concentration in puddled water of Nakaishiki. ○: Without basal dressing, ●: with basal dressing.

集に関して理論的にもとめた限界凝集Ca濃度、2 mmol/lとはほぼ一致している。

なお、代掻き水のpHは6.3であったものが最初の2時間にわずかな低下(pH 5.7-6.0)を示し、その後24時間後にはほぼ6.5の値に回復した。中一式、大沢を問わず、また、対照、添加量の多少、元肥施用にかかわらずpHへの大きな影響は認められなかった。

## 6. 濁水排出負荷量の削減効果

圃場に発生した濁水は、落水口を通して、あるいは、畦畔からの漏水によって排出されることで排出負荷量が発生する。ある時間における懸濁物質の排出負荷量 $Q_{ss}$ は、その時間の濁水の濃度 $c_{ss,i}$ と濁水排出量 $Q_i$ の積を、時間的に積算して求められる。

$$Q_{ss} = \sum_{i=1}^{i=n} c_{ss,i} \times Q_i \quad (1)$$

ただし、 $n$ は排水終了までの時間ステップ数である。

圃場の下層土や畦畔の浸透特性は石膏の散布により変化しないと仮定すると、排出負荷量は実質的には排出される濁水濃度に支配される。濁水濃度を実測した濁水濃度で与え、無添加の時の排出量 $Q_{ss,0}$ とすると、石膏散布による懸濁物質排出負荷の削減率 $R$ (%)は、次式で評価できる。

$$R(\%) = (Q_{ss,0} - Q_{ss}) / Q_{ss,0} \times 100 \quad (2)$$

図-11は、中一色試験区元肥無添加における排出負荷の削減率と石膏添加量の関係を計算したものである。石

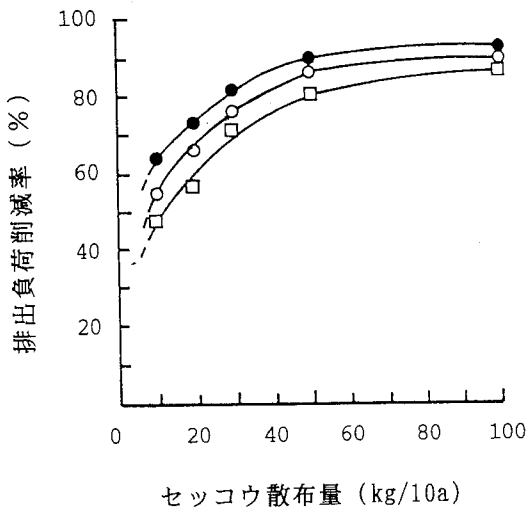


図-11 セッコウ散布後時間と排出負荷削減量 (中一色)  
(散布後 □: 12時間後, ○: 24時間後, ●: 48時間後)

Fig. 11 Reduction rate of suspended solid effluent load and rates of gypsum application (Nakaishshiki without basal dressing). Symbols denote elapsed time after gypsum application; □: 12, ○: 24, ●: 48 hours, respectively.

膏添加量の増大とともに削減率は急激に増大するものの、石膏添加量が50 kg/10a以上になると排出負荷削減率の増大はほとんどみられなくなり、このときの最大削減率は約90%である。散布後の経過時間が増大すると代掻き水の浄化が進み、削減率は増大する。48時間での削減率を見てみると、10 kg/10aで63%、20 kg/10aの添加で73%、30 kg/10aで81%となっている。

大沢試験区では、中一色より石膏による濁水濃度の減少が著しかったので、削減効果も大きくなった。例えば、10 kg/10aの添加ですでに69%が削減でき、20 kg/10aで83%、30 kg/10aで87%が削減できるものと推定された。

なお、元肥施用区では、散布直後の削減率がやや高いが、時間が経過すると差は小さい。

以上のように、20~30 kg/10aの石膏散布で、懸濁物質総排出負荷量の約70%~80%以上が削減できるものと推定された。

### 7. まとめと今後の課題

以上に述べたように、比較的少量の石膏で代掻き濁水

は効果的に沈降浄化されることが実証された。発生源での濃度減少が排出負荷量削減に大きく寄与することも推定された。また、室内実験および現地試験で凝集が生じた限界Caイオン濃度は1.5 mmol/lであり、これは本土壌の主要粘土鉱物であるハロイサイトに対し、ヘテロ凝集理論で予測された限界凝集濃度2 mmol/lにはほぼ一致した。

石膏施用が水稻に与える影響について、滋賀県農業試験場で生育・収量試験が行われている。過去の試験成績によると、150 kg/10a以上に及ぶ大量施用では、対照の90%まで収量の減退がみられたものの、ここで提言した30 kg/10a程度では生育・収量に対する影響は報告されていない(滋賀県農業試験場, 1994)。連用による影響については今後の試験成績を待たねばならないが、適正な量を施用すれば、水稻の生育、収量に大きな影響を与えることはないであろうと考えられる。

一方、石膏に含まれるイオウ分については、現在水田土壌への添加を支持する積極的な意義が認められていない。このことが実用化への歩みを遅らせていると考えられる。つまり濁水浄化の意義は認められても、土壌資源増進への寄与がなければ実際に投下する個々の農家側にとっての動機になりにくいのである。石膏投与の地力増進における総合的な意義の評価など、別の面からのメリットが明らかになれば、利用が進展するものと考えられる。

### 引用文献

- 赤江剛夫 (1992 a): 代掻き濁水の塩添加による凝集条件—代掻き濁水のカルシウム塩添加による凝集沈降浄化法(1)—, 土壌の物理性 **64**, 37~44.
- 赤江剛夫 (1992 b): 代掻き濁水の凝集沈降剤の検索と施用法の検討—代掻き濁水のカルシウム塩添加による凝集沈降浄化法(2)—土壌の物理性 **64**, 45~52.
- 赤江剛夫 (1994): 現地試験による石膏の代掻き濁水浄化効果の検討—代掻き濁水のカルシウム塩添加による凝集沈降浄化法(3)—土壌の物理性 **69**, 3~10.
- 藤原公一 (1987): 凝集沈殿剤EB-a 145およびPACのニゴロブナ、ホンモロコおよびアユに対する毒性, 滋賀県水産試験場研究報告 **39**, 54~59.
- 滋賀県農林部 (1991): 平成2年度農業排水対策事業実績書, 6.
- 滋賀県農業試験場 (1994): 平成5年度試験研究成績概要.

受稿年月日: 1998年4月6日  
受理年月日: 1998年4月6日



## 土壌物理研究会第39回シンポジウム

## —水田農業の新展開と土壌物理性—

座長：小野信一（農業研究センター）

河野英一（日本大学）

稲作技術の展開方向と土壌物理的諸問題

長野間 宏（農業研究センター）

乾田直播栽培における土壌肥料及び環境保全から見た諸問題

石橋英二（岡山県農業試験場）

トピック：寒地大規模直播のための播種技術

大谷隆二（農業研究センター）

湛水直播栽培の展開方法と土壌・環境問題

金子 均（新潟県農業総合研究所）

トピック：不耕起土壌の水分特性と乾田直播水稻の出芽安定化要因

大野智史（農業研究センター）

Heat and dissolved oxygen (DO) transfer phenomenon in ponded paddy field.

（水田湛水層における熱と溶存酸素の輸送現象）

M.I.M. Mowjood（岩手大学大学院）

石膏によるシロカキ濁水の浄化と水田土壌の分散凝集構造

赤江剛夫（岡山大学環境理工学部）

小野：

まず、質問表にもとづいて進行したい。直播関係、酸素の拡散および濁水流出防止関係に大きく分けられるので、まず、直播関係の質問から始める。

福島農試の渡辺さんから、長野間さんに2つ質問がある。一つは、「乾田直播では従来の移植栽培に比べて、より酸化的な土壌条件下で生育することになる。このことが水稻の生育にどのような影響を与えるか」というもの。二つ目は、「作溝直播で土壌を適当に崩落させようとすると、土質や土壌水分など制限要因が多く、ケースバイケースでの播種機開発が各県でおこなわれている。土質や土壌水分をあまり気にしないで済むような、より汎用的な作溝直播の開発は出来ないか」。三つ目は、「傾斜圃場についてもう少し教えてほしい」というものである。

長野間：

酸化的になることのメリットについて、例えば、有名な印旛沼を浚渫してつくった兼坂さんの水田や千葉県八千代市に泥炭地を基盤整備した圃場の移植水田は、夏には強還元になっている。したがって、関東の泥炭地水田ではうまく基盤整備ができれば、移植よりも乾田直播の方が収量が多いと考えている。

作溝の崩落については難しい問題だ。しかし、石川県がおこなっている、山の上に種を播いて、周辺の水にしておくM型の作溝の場合には、水を脇に入れるので種の入っている溝が比較的浅く、やり易いと思う。農業研究センターの作溝直播の初代のもは、かなり深い溝をつくった後強制的に培上をするという方法なので、崩落してしまうと酸欠で芽が出ないということになる。汎用型は難しいが、M型のようなものならできると思う。もし可能なら、作溝直播はかなり土壌水分が高くてでも出来るので、最初に水を入れて、はじめの土壌水分を揃え、それから作溝直播するという方法が考えられる。

三番目の傾斜圃場では、レーザーレベラーで、レーザーを斜めにとばして100mで8cmの傾斜をつけている圃場があり、台風の大雨の後に、きれいに水が排水路の方に流れていった。水田に畑作物を作る際に、収量の安定を図るためには排水を良くしたいが、今までは、傾斜をつけたり耕盤を壊すのはタブーであった。最近はやれる道具が出来たので、畑期間は緩い傾斜をつけて、水田に戻すときは平らにする、という試験を今年から開始している。

小野：

次は、石橋さんへ福島農試の渡辺さんから質問である。一つ目は、「不耕起を長期継続することによって収量低下が見られる地域もある中で、岡山において長期継続しても収量が安定している最大の要因は何か」というもの。二つ目は、「不耕起直播が県内で増加しているが、不耕起直播は多くの用水を必要とする。現状では、普及地域の用水問題はどうか対処されているのか」というものである。

石橋：

長期に不耕起をしているところは少なく、収量低下が見られる地域と見られない地域がある。岡山県南部の細粒グライ土の地域では地力の低下も収量の低下も見られず、県の平均だけでなく、地区の平均がそれ以上の収量をあげている。長期不耕起栽培の圃場では、減水深が非常に大きいので下層土の地力が低下していて、生産性は低くなっている状況があった。しかし、それは従来の化成肥料主体の施肥体系で栽培していたためで、被覆肥料主体の施肥体系にしたところ、収量は地区の平均以上になった。したがって、長期不耕起で収量が低下したという認識は持っていない。ここの圃場は、根が表層に偏在

している圃場で、根が表層の無機化した窒素と被覆肥料から溶出してきた窒素を捕まえて、初期成育と収量を確保できたと考えている。

不耕起直播の用水量については、不耕起直播が普及しているのは岡山県南部のグライ土地帯が主体である。そこでは、地下水位が高く漏水問題は一切ない。しかし、漏水が問題になる地域では、水の問題が原因で直播が減少してきている。減水深が50 mm以上もあるような中粗粒灰色低地土で29年間継続しているところでは、減水深は高いが、用水が豊富などである。したがって、水管理は簡単にできるということが続いている。なお、農家は不耕起に対して哲学を持っているというわけではなく、ブドウの栽培が経営の中心で、省力化を目的におこなわれてきているようだ。

小野：

続いて、農工研の奥山さんから、長野間さんへ質問がある。「土の粘性や硬さを調べるために、簡易な方法がいろいろ提案されているが、データに共通性を持たせるためには、統一する必要がある。例えば、ペーンでも、大きさによって違いがあるのではないか」というものである。

長野間：

湛水直播で代掻き土壌の物理性を測ることは非常に重要で、以前はさげ振り深だったのが今はゴルフボールになっている。さらに表層の微妙なところ、湛水直播では5 mm前後の深さを北海道農業試験場がおこなった方法で測っている事例があるが、まだ少ない。北から南まで共通の方法で測るのが理想だ。そこで、農業工学研究所で安く、良い方法を考案して、全国に普及してもらえればと思う。

小野：

北海道立中央農試の竹内さんから、長野間さんと石橋さんへ「不耕起によるリン酸の下層移動と可給化により、根の伸長促進、イネのリン酸吸収量増大および初期成育促進などは考えられるか」という質問である。

長野間：

石橋さんのいったブドウを作っている農家は、いろいろな資材を入れているので下層にリン酸が多量にある。しかし、西大寺の横山さんと香川の永井さんの圃場では、耕起していないのに下層にリン酸がある理由は、長年のあいだに根穴構造が発達したことだと思う。たとえばパラグアイのダイズ不耕起栽培のように、クラックができて上から土が崩落して養分が動いていくという現象ではないので、面白いと思う。長期不耕起している圃場の春先の土壌表面には硝酸態窒素がかなりあるので、初期生育を促進する効果は、リン酸だけでなく硝酸態窒

素もあると思う。

石橋：

細粒グライ土では表層0~1 cmに30 mgのリン酸があり、下層では1~6 cm, 6~11 cmで30~40 mg程度のリン酸がある。表層にリン酸が多い細粒灰色低地土では、表層で150~200 mg以上、1~6 cmや6~11 cmでも、約50~100 mgある。いずれも表層にのみ施肥している。表層に集積するのは当たり前だが、下層に非常に多く流れている。不耕起を始めて5年目の圃場でリン酸を無施用区、標準施肥区、3倍区、6倍区を設けて1年間イネを栽培し、土壌のリン酸を調べたところ、リン酸施用量が多いところ、例えば6倍区では、明らかに5~10 cm深まで、3倍区では1~5 cmまでリン酸が下降していた。標準施肥量では、1~5 cmまでであった。このように、多施用区では、多く浸透していた。これは、根穴構造を通して下降したと考えられる。また、土壌表層のリン酸吸収係数を測ると、明らかにワラなどを施用したところではリン酸吸収係数が低下している。これは、リン酸がキレート化するなど固定されにくい状態になって、浸透するのだろう。昭和40年代の試験結果とあわせてみると、リン酸は、当初は作土の下層土で減少するということがいわれているし、今、岡山農試でおこなっている試験でも若干減り気味のところが多い。しかし、13年目ぐらいにリン酸を測ると下層にもかなりの量があるという結果が出ている。長期不耕起でも、当初は減るが、年数が経って根穴構造が発達し、かつ表層の有機物層が発達することによりリン酸が固定されにくくなり、下降しやすい状況ができてくると考えられる。

小野：

リン酸が下降することは分かった。根の伸長促進、イネのリン酸吸収量増大や初期成育促進などはどうか。

石橋：

根の伸長については調べていないが、収量の結果はある。リン酸が非常に多い圃場で無リン酸処理をしても、3年間の平均では収量に差はなく、途中のリン酸吸収量も差が無いという結果が得られている。リン酸レベルが低いところでは違った結果になると思うが、今はそれ以外のデータは持っていない。

小野：

今は、リン酸肥料が多施用され、リン酸に富んでおり、リン酸の影響が直接イネの生育に現れるということは考えられない。次に、筑波大の塩沢さんから石橋さんへ「減水深について、用水量の計算に蒸発散量はいっているのか。下層1~2 mに難透水層があるのか」という質問である。

石橋：



蒸散量は入っていない。自記減水深計を用いてその勾配から減水量を計算したので、雨や入水・落水がない時期の減水深を算出した。下層に不透水層があるかどうかは、1~2mまで掘っていないのでわからない。

**長野間：**

岡山県西大寺周辺の不耕起直播地帯では、冬の地下水面は深さ50~60cm前後である。その層の飽和透水係数は $10^{-5}$ ~ $10^{-6}$ cm/sec程度で、灌漑期間には水位は上がる。香川県では、減水深は15mm程度で、深さ50~60cmに母材の層があり、飽和透水係数が低いので、漏水しにくい条件で不耕起直播を続けてこられた。意識的にそういう条件を作るということを考えれば、排水路の水位をあまり下げないような管理をして、灌漑期間中は水位を上げることができれば、透水係数が $10^{-5}$ cm/secよりも上であっても減水深はうまく制御できると思う。

**塩沢：**

蒸発散のみで縦浸透なしという条件であれば、代掻きで透水を抑制しなくても、横浸透さえ抑えれば、または排水路水位を高くしておけば、まったく水量の問題はないと思う。

**石橋：**

再計算してみる。

**河野：**

金子さんの話題で「駆動による作溝ローラーというのが出てきたが、そうでないものよりもローラー溝への土のつまりが著しく少ないということか。その理由として、駆動することで、粘質土の付着がある程度避けられると理解してよいのか。それならば、メカニズムを教えてほしい」という質問がある。

**金子：**

前半はそのとおりである。単純に転がっていると雪だるま式に土が付着するが、駆動することにより土を擦り落としながら均平化していく。メカニズムはよく分からないが、形状によって違うのは、土壌水分との関連もあるが、溝の山が鋭い形状の場合は土が付着しやすく、幅の狭いローラーの溝の中にちょうど土を抱き込むようになって土とローラーの摩擦が増えるためであろう。

**河野：**

直播に関して、フロアの方から質問・意見あれば出して欲しい。

**佐藤（愛媛大）：**

作溝のつぶれる話があったが、私が昔おこなった研究でpF3前後の土壌水分のときにスレーキングが一番大きいという結果が得られた。不耕起栽培がおこなわれるのには、いろいろな理由があり、省力化や環境問題、すなわちメタンの発生や窒素の無機化が少ないなどがある

と思う。一方で、不耕起直播がおこなわれた場合、土地利用の低下などが考えられるが、土地利用の問題をどのように考えるのか。例えば、冬作をどう取り入れているのかなどについて伺いたい。

**長野間：**

オオムギ後の乾田直播の試験をおこなっている。オオムギは、コムギよりは乾田直播が可能で、関東でも可能である。関東平野でも群馬、埼玉などムギの作付け率の高いところのムギ地帯には必ず乾田直播がある。すべてがイネームギ二毛作になっているのではなく、二毛作をおこないながら、単作のイネもある。実際に両方おこないながら規模拡大している農家もある。また、乾田直播と野菜作もある。愛知県では、ムギの立毛中にイネを播くことをしている。このように、土地利用率は下がるばかりではなく、間作を使ってうまく土地利用率を高める工夫も同時に考えられる。

**大野：**

不耕起を長期間しているとリン酸が下に移動するという話があった。根穴が多くなってリン酸が移動するのか、根の伸長が深くなってリン酸が運ばれているのか。根穴に根が集まるというのはわかっているが、根の数が多くなるのか、伸長速度が大きいため多く見えるのか、まだわからない。そのあたりはどうか。

**長野間：**

資材を多く投入しているところは、下方へ多く移動している。ケイ酸では、一度死んだ根が給源になることもあるが、リン酸は根穴で移動していると考えている。

**石橋：**

そういうことが起こっており、それ加えて、表層の有機物の効果が相乗的に働いていると思う。

**河野：**

金子さん、新潟では不耕起はおこなわれていないのか。

**金子：**

ごく一部の地域で、岡山農試で開発された機械を用いて実験的に1,2年おこなったところがある。1ヶ所は実際に見たが、その周辺で最も乾いた圃場を選んで、そこそこうまくおこなっていた。もう1ヶ所は実際には見えないけれども、大規模農家が5ヘクタールおこなう予定だったが、数十アールで作業を断念した。やはり、乾いているとはいえ、西南暖地と新潟とでは乾き方が違うので難しい。

**長野間：**

山形で不耕起栽培をしているグループがあり、そこそこうまくいっているようだ。八郎潟でも、播種後入水というやり方で、今年はうまくいったそうだ。したがって、重粘土だから絶対に無理ということはない。

河野：

次の話題に移る。Mowjood さんへ、東京農大の中村さんから質問で、DO 濃度が昼間、植物プランクトンによって過飽和になることは知られているが、夜間低濃度になるのはなぜかということである。動物プランクトンによるのか、あるいは土壌中へ入ってしまうのか。

Mowjood：

昼は植物の光合成によって酸素が水の中に入ってくる。出るのは、植物の呼吸による。入る量が出る量より多いので過飽和になる。夜は、植物から酸素は出ない。過飽和から飽和状態の 8 mg 程度まで下がる分は空気中に出るが、飽和より低い濃度に下がるのは面白い結果である。理由は二つ考えられ、一つは、微生物の呼吸、二つ目は土壌による消費である。しかし、夜は、飽和よりも低濃度のとき、酸素は大気から入ってくることもあるが、その量よりも消費量が多いため 2 mg まで下がったと考えられる。その時の Eh の変化や二つのうちどちらが多いかなど、さらに検討したい。

河野：

次に赤江さんに伺いたい。石膏が一番効果のあった理由は何か。

赤江：

試験した資材の中では、石膏の溶解度が一番高かった。1 m mol 以上の濃度になると凝集沈降が起こり、SO<sub>4</sub> でなければならぬ理由はない。たとえば、溶解度の高い塩化カルシウムでも良いが、今まで使われてきた資材の中から選んで試験をおこなったため、塩化カルシウムは使っていない。

河野：

イオウについては、酸性硫酸塩土壌の問題が東南アジアなどであるが、ここでは問題ないか。

赤江：

100 kg 以下なら、収量および生育とも対照区とおなじで、150 kg 以上入れると、10% 程度玄米収量が落ちたという報告がある。ここでの施用量は 30 kg 程度で、問題ないと思う。イオウは、日本の土壌では欠乏することはあまりなく、むしろ硫化水素を発生させないため抑える方が重要である。

坂西（農環研）：

累積効果はあるのか。1 年目に 30 kg で、2 年目を以降も同じ量が必要なのか。

赤江：

二つの観点があり、発生した濁水を応急的に落とすのか、土壌を改良して濁水を発生しないようにするのか、によって量が違う。県農試のデータでは、乾いた土壌に石膏を混ぜて濁水を抑えるには、100 kg 程度必要だとい

う結果が得られている。私の試験は発生した濁水を沈降させるためのもので、それには 30 kg 程度でよい。長期的な効果をねらうと 100 kg は必要と思う。

粕淵（山形大）：

湛水直播で、山形の庄内で、Mowjood さんのような実験を続けているが、播種直後に除草剤を散布しているが、これは一般的なのか。

金子：

一般的である。最近は一発処理剤といって、発芽後 1 週間から 10 日後くらいに 1 回散布する方法がある。ただ、山形の場合は、代掻きをしないため除草剤の効果が若干劣るので、播種直後の除草剤散布を安全の意味を含めておこなっている。

粕淵：

土壌表面から DO が出てくるが、除草剤で皆殺しにしてしまうと酸素が出てこないの、良くないと思うが、どうか。

金子：

現場では、鳥の次に、草が大きな問題のため、どうしても除草剤が優先する。除草剤も播種直後に散布するのは効力が弱いので、完全に枯らせるわけではない。

井上（四国農試）：

大区画水田を作るときに、切り盛りをつくるが、作土厚に違いが出て栽培方法や収量に影響はないか。さらに、泥炭地帯では沈下が起こらないか。

長野間：

新利根町の泥炭土壌では、不耕起乾田直播で排水路側が沈下した。八郎潟でも不耕起移植で、排水路側が沈下した。したがって、連続して不耕起栽培はできない。八郎潟では、不耕起を 4~5 年おこなったら一度耕起している。われわれの試験では、山土を客土している関係で排水路側のほうが沈下するが、生育は良い。しかし、場所によって施肥量を変えないと全体の収量は上がらないという問題がある。いずれにしろ、泥炭地で不耕起乾田直播を継続するのは、排水路側の沈下のために不可能であるといえる。われわれのやり方は、冬の間に整地をし、春に不耕起で播種するように変えている。3 年に一度は耕起することが必要になる。切り盛りによる生育のムラはあるが、今の乗用管理機では施肥量の場所による加減が難しく、アメリカのプレジジョン・ファーミングに対応するような作業機械が必要である。傾斜圃場においても、農道側と排水路側で作土深に差ができるので、追肥の加減などのプレジジョン・ファーミングを実施しなければならないと思う。

河野：

これで総合討論を終わる。

## 環境保全と農林業

陽 捷行 編著

朝倉書店 1998年刊

A5版 216ページ ¥5,200

本書は、環境保全と農林業は両立しないのではないかという風潮に対して、むしろ積極的に環境保全産業としての農林業の姿を描くために何をすべきかを述べた書である。

OECDの農業と環境の指標をみていると、環境負荷産業のレッテルをはられている農業の姿が見えてくる。なぜだろうか。なぜ農業はそうなったのだろうか。

環境の一部を改変し利用してきた農林業。それは森を開き、土を耕し、必要ならば、排水も行い、水も引き、そのように地域を作ってきたのではないか。生産をテーゼにしてきた農林業。収量性、収益性の高い植物を栽培し、必要ならば肥料も使い、付加価値もつけて、地域を養ってきたのではなかったのか。それをいつか農林業は地域を作ったことも、地域を養ってきたことも忘れ、ビジネスにのみ傾倒していったと言うのか。都市工業地帯が犯した環境破壊の反省と不安が農林業へ向けられるようになって、あるべき姿を見出そうとしないというのか。

編著者の陽氏は、土壌ガスの専門家として土壌と大気の関係を探られてきた方である。温暖化ガスのほとんどが土壌において生産され、また土壌において消費され、土壌が地球の恒常性に寄与していることを研究されてきた方である。その陽氏が1994年に「土壌圏と大気圏」を、つづき1995年には「地球環境変動と農林業」を農林水産省の研究機関の仲間と共に刊行され、自然の姿と自然に働きかけてきた農林業の姿を浮き彫りにされてきた。そこには、農林業と環境がいかに深く相互作用しあっているのかが詳細に述べられている。

人間はどこにいてもその活動が地球にインパクトを与えている。そしてそのインパクトはオゾン層の破壊や、地球温暖化や、酸性雨のように顕在化してきた。その直接の影響を受けるのは、まさに農林業である。しかしそのように影響を受ける農林業も不適切な開墾、灌漑、施肥、放牧により再生可能な土地資源を劣化させたり、消失させたりしてきた。それがまた地球へのインパクトとなっている。そのような悪循環も述べられている。

「環境保全と農林業」はこのような環境問題を解決するための書である。陸域生態系がもつ環境保全機能とは

何か、それを評価することにより、農林業がその機能を劣化させることなく、むしろその機能を強化することもできることを述べた書である。そして異なる生態系を抱えるさまざまな地域の独自の農林業が環境保全機能を発揮し、その総体は地球を維持するであろうとの期待が込められている。海外で顕在化している農業と環境の問題に対して、我が国の状況と我が国の取り組みも述べられている。

本書は総論の序章と各論の3章からなり、各論にはさらに14の項目が設けられている。各項の執筆者はその道の専門家である。ほとんどの項には、著者の豊富な経験と、多くの論文に基づいて、環境保全機能向上のための技術あるいは危機対策が盛り込まれている。

まず序章「農林生態系の環境保全機能と環境影響」では、陽氏が我が国の農林生態系のもつ環境保全機能を紹介し、農業と環境の問題に関する取り組みを紹介している。

1章「農林地のもつ国土保全機能」では、1項として早瀬氏が「洪水および渇水緩和機能」を森林域と水田域について述べている。2項は谷山氏による「土壌侵食防止機能」、3項は石田氏が「土砂崩壊防止機能」4項は尾崎氏による「水質浄化機能」、5項は野内氏の「大気浄化機能」があり、それらを地域的に評価し、対策を講じるための手法として6項では加藤氏が「地理情報システムによる農林地のもつ国土保全機能の評価」を述べている。

2章「農林地のもつ生物・生態・アメニティ保全機能」では7項として井手氏が「生物相保全機能」を、8項として横張氏が「居住快適性機能」を、9項では香川氏が「保健休養機能」を、10項で山本氏が「草地・牧場のアメニティ機能」を述べている。

3章「農林業が環境に及ぼす影響」では、11項で松本氏が「農業生態系の物質循環」を、12項で小川氏が「土壌水質汚染とその対策技術」を、13項では上路氏が「農業の環境影響と対策技術」を、そして14項では陽氏が「大気圏への影響とその対策技術」を述べている。

大変な労作である。どこから読みはじめても構わない。農林業研究とは何かが見えてくるであろう。

波多野隆介（北海道大学農学研究科）

## 新編 農業気象学用語解説集

## —生物生産と環境の科学—

日本農業気象学会 新編農業気象学用語解説集編集委員会編

日本農業気象学会 1997年発行

A5版 313ページ 3,500円

我々生物が生きていくためには、活動するためのエネルギーと同時に、棲むための場所が必要である。本書は用語解説集でありながらサブタイトルが“生物生産と環境の科学”と銘打たれており、我々が今取り組むべきは食糧問題と環境問題である、ということをも明言しているようだ。

日本農業気象学会は1979年(昭和54年)に「農業気象用語集」を編集し、1986年には「農業気象用語解説集」の発行に携わってきた。1992年(平成4年)に50周年を迎え、1997年に本書の発行にいたった。掲載した用語数も改訂のたびに増加し、本書では約6,900語を収録している。用語数の増加にともない字数も増加したが、本書ではA5版へと拡大したことで、旧編とほとんど変わらないページ数を達成している。

本書の用語は以下のように分類されている。

- 第1章 天文・天気
- 第2章 気候
- 第3章 地球環境・環境汚染
- 第4章 微気候
- 第5章 土壌環境
- 第6章 作物気象・作物生態
- 第7章 気象災害
- 第8章 農業施設
- 第9章 環境調節法
- 第10章 気象観測
- 第11章 一般計測
- 第12章 リモートセンシング
- 第13章 統計・情報処理
- 第14章 予報・予測

巻末には英語と日本語の索引があり、本書に出てくるキーワードがほとんどすべて網羅されている。付録には単位換算表と定数表が掲載されており重宝する。また、辞典といった種類の書物の特徴である使用頻度の高さを考えて、外装をビニール張りにしたところも読者に対しての心遣いである。

編集委員長は真木太一氏であり、編集委員は、岩田進

午、内嶋善兵衛、及川武久、大政謙次、蔵田憲次、古在豊樹、後藤英司、中山敬一、野内 勇、原菌芳信、星岳彦、本條 均、山川修治といった13名の方々である。執筆者は134名である。すべての方のお名前は紹介できないが、いずれも一線級でご活躍されている方々であり、本研究会の事務局の方々も名を連ねている。各用語の解説文の末尾には、それぞれ執筆者名が記載されており、その方を思い浮かべながら文章を読んでも、より理解が深まることだろう。

本書は用語辞典ではなく、用語解説集である。そういった意味で、「透水係数の不均一性」や「被覆資材」などの用語も掲載されている。解説に要する字数は、少ないもので約100字、多いものでは2,800字、3ページにわたる用語もある。環境汚染に関する用語のなかで、富栄養化の問題のとり扱われ方が少ないような気がした。海域での「青潮」や「赤潮」はあるのだが、陸水域で見られる、農業用水とも関連がありそうな「アオコ」についても解説が欲しかった。

「計画案から約3年、編集委員会発足から約2年で比較的早く発刊する運びとなった」ということで、「執筆者が多いこと、旧編の用語や章内・章間の大・小項目用語の摺り合わせの難しさ、また急いだこと等のため、記述方法に統一性を欠いていたり、用語解説に不備な点や誤謬があるかも知れない」と編集委員長が述べている。また出版社の発行ではなく、学会発行としたのは内容のCD-ROM化を考えた際の著作権の問題などが絡んでいるといった噂を漏れ聞いた。編集委員長を始め、編集幹事や編集委員の出版にいたるまでのご尽力は相当なものであったことが予想される。そういった意味で、ある著者氏名の誤植や315ページからの「お知らせ」がないというようなことは、ご愛敬であろう。

「無人島に取り残されるとき何か1冊だけ本を与えられたら、何があればいいですか」との質問に、電話帳と答えた人がいた。分厚く読みごたえがありそうで、しかも枕にもなりうるからである。本書は枕にできるほど厚くはないけれども、しかし厚くないからこそ手

元にちょっと置いておける、読みごたえのありそうな1冊である。本研究会創立40周年記念事業として「土壌物理用語辞典」の改訂が検討されているが、この解説集は

よい参考となりそうだ。

中村貴彦（東京農業大学）

1. 評議員会/総会

評議員会

日 時：1998年10月2日(金) 11:45~12:45

会 場：東京大学農学部会議室

出席者：岩間会長，河野副会長，評議員(波多野，足立，藤井，赤江，三野(代 中村)，取出，長谷川)，谷山編集委員長，軽部選管委員長，事務局幹事(坂西，中村，安中，奥山，成岡)

総 会

日 時：1998年10月2日(金) 12:45~13:30

会 場：東京大学農学部2号館化学1番教室

議 事：

- (1) 会員入退会者承認
- (2) 現在会員数報告
- (3) 1997年度決算について
- (4) 1998年度予算について
- (5) 会費納入管理・長期滞納会員の扱いについて
- (6) 評議員選挙報告
- (7) 次期会長について
- (8) 第40回シンポジウム
- (9) 編集委員会報告
- (10) 40周年記念事業中間報告
- (11) 事務局固定化・学会名称変更について

2. 評議員(1999・2000年度)選挙結果

報告者：選挙管理委員長 軽部重太郎(茨城大学)

立会人：白戸康人，江口定夫(農環研)

開票日：1998年9月22日

評議員会承認：1998年10月2日

当選者

区分域	当選者数	当選者氏名
北海道	4	波多野隆介(再)，菊池晃二，相馬尅之，矢沢正士
東 北	2	粕淵辰昭，古賀 潔
関 東	4	長谷川周一(再)，軽部重太郎(再)，塩沢 昌，宮崎 毅
中 部	1	天谷孝夫(再)
近 畿	1	久馬一剛(再)
中・四国	2	成岡 市，井上光弘
九 州	1	取出伸夫(再)
合 計	15	

なお次期会長(1999・2000年度)として，日本大学生物資源科学部 河野英一教授が評議員会で承認された。

3. 第40回土壌物理研究会シンポジウム

主 催：土壌物理研究会

共 催：根研究会

テーマ：「根と土壌」

日 時：1998年10月2日(金) 10:00~17:00

会 場：東京大学農学部2号館2階化学1番教室

話題と講師：

座長(1~2)波多野隆介(北海道大学)

(1) 土壌環境と根の発達

小柳敦史(農業研究センター)

(2) 根系構造のとらえ方

巽 二郎(名古屋大学農学部)

座長(3)成岡 市(岡山大学)

(3) 中性子線による根-土壌系の水のイメージング

中西友子(東京大学大学院農学生命科学研究科)

座長(4~5)本間知夫(野菜・茶試)

(4) 根の電気生理研究法—ラボラトリーからフィールドへ

岡本 尚(森植物生理研究室)

(5) 茶の養分吸収効率改善

鳥山光昭(鹿児島県茶業試験場)

座長 山内 章(名古屋大学)，長谷川周一(農環研)

(6) 総合討論

4. 40周年記念事業「土壌物理用語事典改定」について

土壌物理用語事典は，土壌物理学の発展期の1974年に出版され，土壌物理分野のみならず，作物，園芸，農業機械，土壌肥料，農業土木等の農業関連の諸分野の多くの方々に参考利用されてきました。環境修復など土壌物理学の対象が農業以外の分野へも広がりつつある中で，本書は，版を重ねた後に，しばらく前に絶版となるに至りました。

近年，土壌物理学に多くの知見が蓄積されるとともに応用とする対象が広がる中で，旧版の内容を改訂してこの25年間の新しい研究成果を反映させ，また，溶質移動，土壌生物，環境保全といった，旧版発行時にはそれほど充実していなかった分野の関係用語を強化することへの要望が強くなってきました。

土壌物理研究会では，設立40周年を迎えるにあたり，40周年記念事業委員会を設け，40周年記念事業として土壌物理用語事典の改訂版を発行することとしました。

改訂版では，旧版に加えて新たに「サンプリングと不均一性」，「溶質移動」，「土壌の生物性」，「海外の土壌」といった章を増やすとともに各章の用語も見直し，今年度末の発行を目指して作業を進めています。

状況としては，遅れ気味ですが，8月中旬に「大部分の」執筆依頼を発送し執筆をお願いしているところです。

## 5. 学会名称変更について

提案にいたるまでの経緯については、「土壤の物理性」第78号掲載の「土壤物理研究会の学会名称変更について—ご検討とご意見のお願い—」をご参照下さい。

提案：

- (1) 研究会名称の変更案
  - 1) 土壤物理研究会の名称を「土壤物理学会」に変更する。
  - 2) 変更時期は次年度(1999(平成11)年4月1日以降)とする。
- (2) 名称変更の主な理由
  - 1) 「研究会」という名称による誤解と過小評価を避ける。
  - 2) 「研究会」の体制及び活動内容を「学会」にふさわしく強化し、土壤物理研究の新たな発展を目指す。
- (3) 付帯事項
  - 1) 名称変更に伴う「規約」等を来年4月の評議員会で改正する。
  - 2) 会誌「土壤の物理性」の名称は変更しない。
  - 3) 規約第2条にある研究会の目的「本会は土壤の物理性を中心とする試験研究の発展と農業技術への貢献を図ることを目的とする」を、現在の研究情勢(環境保全など)を反映し、さらに「現場の物理性研究」を目指すこと等を、より明確に表現する方向で検討する。

なお、1998年10月2日開催の評議員会にて、1999年度より「土壤物理学会」に変更することが決定され、同日開催の総会で報告・承認された。

事務局では、会則改正および関連問題の整備に着手することとなった。

新会則・事務局固定化等については、1999年4月開催予定の評議員会で論議される。

## 6. 第6回編集委員会報告

開催日：1998年9月24日

会場：農環研

議事：

- (1) 最近の会誌発行状況
- (2) 79号および80号の掲載原稿の確認  
79号はシンポ特集号、80号は普通号として編集
- (3) 著者修正で長期間経過している原稿の取り扱いについて
- (4) シンポジウム原稿の取り扱いについて
- (5) 投稿者の会員資格に関する投稿規定の改正  
投稿者の会員資格をより明確に示すために、投稿規定を改正する。

## 「土壤の物理性」投稿規定

### 1. 投稿要領

- 1) 投稿は本会正会員及び学生会員に限る。ただし共著者の場合または編集委員会が依頼した場合はこの限りではない。

(参考)

会則第4条 本会の会員は、正会員、学生会員及び賛助会員、購読会員の4種とする。

- (6) 投稿規定等をSSSJホームページに公開する提案について
- (7) 編集委員の異動について
- (8) 投稿の勧誘について

## 7. 会員動向

- (1) 入会者(1997.11.01~1998.03.31)

[正会員]

早野美智子 茨城 防災科学技術研究所  
高橋 智紀 新潟 北陸農業試験場土壤管理研究室

[学生会員]

藤川 智紀 東京 東京大学大学院環境地水学研究室  
牧山 正男 東京 東京大学大学院農地工学研究室  
大石 常夫 東京 東京農業大学大学院農業ロボット工学研究室

[購読会員]

神奈川県立川崎図書館

(1998.04.01~1998.09.20)

[正会員]

蝦名 春三 青森 青森県りんご試験場  
秋山 博子 茨城 農業環境技術研究所資源生態管理科

渡邊 裕純 茨城 農業環境技術研究所

吉田 隆 東京 (株)エヌ・ティー・エス

宋 永焜 神奈川 関東学院大学工学部

藤巻 晴行 鳥取 鳥取大学乾燥地研究センター

森 昭憲 香川 四国農業試験場

長 裕幸 佐賀 佐賀大学農学部

[学生会員]

上野 薫 岡山 岡山大学大学院農学研究科

(2) 退会者(1997.11.01~1998.03.31)

[正会員]

岩間 和人 北海道 北海道大学農学部

堀口 郁夫 北海道 北海道大学農学部

萩原 守 青森 弘前大学農学生命科学部

鈴木 正 山形

新井 重光 茨城

喜田村俊明 栃木 関東農機(株)

		現会員数 (1998.9.20 現在)						
		3.31				9.20		
		現在	入会	退会	異動	現在		
山梨 辰雄	山梨 山梨県総合農業試験場							
加藤 芳朗	静岡 静岡							
西出 勤	岐阜 岐阜大学農学部							
榊原 正典	愛知	正会員	北海道		3	+3-4	74	
河野 洋	鳥取		東北	1	1	+1-1	42	
黒田 正治	福岡 九州大学農学部		関東	4	1	+12-6	194	
			中部				41	
[購読会員]			近畿			+1-3	36	
栃木県農業試験場土壌肥料部			中・四国	2		+1-1	68	
(1998.04.01~1998.09.20)			九州	1		+2-4	50	
[正会員]			外国	4		+1	5	
久津那浩三	北海道	学生会員	合計	505	8	5	+2	510
兼田 裕光	北海道 北海道立中央農業試験場		北海道	5				5
宮脇 忠	北海道 北海道立中央農業試験場		東北	1				1
伊澤 敏彦	岩手 東北農業試験場		関東	19		-2		17
坪野 敏美	茨城 鯉淵学園		中部	1				1
[購読会員]			近畿	3				3
関東学院大学工学部宋永焜研究室			中・四国	1	1			2
			九州	0				0
			合計	30	1		-2	29
		購読会員		61		1		60
		賛助会員		12				12

## 会員異動

		新	旧
岡澤 宏(学)	北海道	北海道大学大学院	東京農業大学農学部
前 村 庸之	東京	(株)ダイヤコンサルタント	学生
川 田 麻子	福井	(株)田中地質コンサルタント	京都大学大学院
日 笠 基嘉	愛知	(学生会員から正会員へ)	
山 本 博	長野	草地試験場山地支場	四国農業試験場
三 野 徹	京都	京都大学大学院農学研究科	岡山大学
成 岡 市	岡山	岡山大学環境理工学部	東京農業大学
吉 田 大文	広島		東京農業大学大学院
土 屋 一成	福岡	九州農業試験場	秋田県農業試験場
赤 司 和隆	北海道	道立中央農業試験場	北海道原子力研究センター
笛 木 伸彦	北海道	道立中央農業試験場稲作部	宮城県
元 木 征治	北海道	道立中央農業試験場畑作部	道立道南試験場
安 中 武幸	山形	山形大学農学部生物生産学科	農業工学研究所
井 上 隆弘	茨城	国際農林水産業研究センター	九州農業試験場
権 藤 昭博	茨城	農業研究センター	九州農業試験場畑地利用部
中 川 慎治	茨城		気象庁気候・海洋気象部
浜 崎 忠雄	茨城	国際農林水産業研究センター	農業環境技術研究所
古 江 広治	茨城	農業研究センター土壌肥料科	鹿児島県農業試験場
牧 山 正男	茨城	茨城大学農学部生物生産学科	東京大学(学生会員)
三 浦 周	茨城	農業環境技術研究所	北海道立上川農業試験場



森	哲	男	茨	城	(株)鴻池組技術研究所	大阪, (株)鴻池組技術研究所
澤	村	篤	栃	木	草地試験場飼料生産利用部	生研機構
石	塚	喜	東	京		北海道
鈴	木	創	東	京	東京農工大学農学部	神戸大学農学部
丸	山	利	神	奈川	日本大学生物資源科学部	京都大学農学部
中	野	政	兵	庫	神戸大学農学部	埼玉県
堀	川	幸	鳥	取		高知大学農学部
峯		浩	大	分	大分県柑橘試験場	大分県
宮	本	輝	熊	本	九州農業試験場生産環境部	農業工学研究所
杉		修	タイ	国	Naresuan University	東京農工大学 (学生会員)

# 土 壤 物 理 研 究 会

(1997年4月1日~1999年3月31日)

## 事 務 局

会 長	岩 間 秀 矩 (農業環境技術研究所環境資源部)
副 会 長	河 野 英 一 (日本大学生物資源科学部)
庶 務 幹 事	長谷川 周 一 (農業環境技術研究所環境資源部)
	成 岡 市 (岡山大学環境理工学部)
会 計 幹 事 (財務担当)	坂 西 研 二 (農業環境技術研究所環境資源部)
会 計 幹 事 (会員担当)	中 村 貴 彦 (東京農業大学農学部)
編 集 幹 事	安 中 武 幸 (山形大学農学部)
	奥 山 武 彦 (農業工学研究所地域資源工学部)
会 計 監 査	足 立 忠 司 (岡山大学環境理工学部)
	増 島 博 (東京農業大学農学部)

## 編 集 委 員 会

委 員 長	谷 山 一 郎 (農業環境技術研究所)
委 員	在 原 克 之 (千葉県農業試験場)
	小 林 政 広 (森林総合研究所)
	塩 沢 昌 (筑波大学農林学系)
	東 城 清 秀 (東京農工大学農学部)
	中 石 克 也 (茨城大学農学部)
	長 野 間 宏 (秋田県農業試験場)
	西 村 拓 (東京農工大学農学部)
	平 沢 正 (東京農工大学農学部)
	平 野 繁 (東京農業大学農学部)
委 員 補 佐	白 戸 康 人 (農業環境技術研究所)
	麓 多 門 (農業環境技術研究所)

## 評 議 員

委 員	足 立 一 日 出 (北陸農業試験場)
	鈴 木 創 三 (神戸大学農学部)
	山 田 一 郎 (九州農業試験場)
北 海 道	石 渡 輝 夫 (北海道開発局開発土木研究所)
	佐 久 間 敏 雄 (北海道大学)
	波 多 野 隆 介 (北海道大学農学部)
東 北	藤 井 克 己 (岩手大学農学部)
関 東	軽 部 重 太 郎 (茨城大学農学部)
	駒 村 正 治 (東京農業大学農学部)
	塩 沢 昌 (筑波大学農林工学系)
	長 野 間 宏 (農業研究センター)
	長 谷 川 周 一 (農業環境技術研究所)
中 部	天 谷 孝 夫 (岐阜大学農学部)
近 畿	久 馬 一 剛 (滋賀県立大学環境科学部)
中国・四国	赤 江 剛 夫 (岡山大学環境理工学部)
	井 上 久 義 (四国農業試験場)
	三 野 徹 (京都大学農学部)
九 州	取 出 伸 夫 (佐賀大学農学部)

## 一編集後記一

### 土壌物理用語事典改定について

土壌物理用語事典は、土壌物理学の発展期の1974年に出版され、土壌物理分野のみならず、作物、園芸、農業機械、土壌肥料、農業土木等の農業関連の諸分野の多くの方々に参考利用されてきました。環境修復など土壌物理学の対象が農業以外の分野へも広がりがつつある中で、本書は、版を重ねた後に、しばらく前に絶版となるに至りました。

近年、土壌物理学がある程度確立され、知見が蓄積されるとともに応用する対象が広がる中で、旧版の内容を改訂してこの25年間の新しい研究成果を反映させ、ま

た、溶質移動、土壌生物、環境保全といった、旧版発行時にはそれほど充実していなかった分野の関係用語を強化することへの要望が強くなってきました。

土壌物理研究会では、設立40周年を迎えるにあたり、40周年記念事業委員会を設け、40周年記念事業として土壌物理用語事典の改訂版を発行することとしました。

改訂版では、旧版に加えて新たに「サンプリングと不均一性」、「溶質移動」、「土壌の生物性」、「海外の土壌」といった章を増やすとともに各章の用語も見直し、今年度末の発行を目指して作業を進めています。

＜土壌物理用語事典改訂委員会編集幹事 西村 拓＞

### 土壌物理研究会

事務局構成	会 長	岩間 秀矩 (農業環境技術研究所)
	副 会 長	河野 英一 (日本大学)
	庶務幹事	長谷川周一 (農業環境技術研究所) 成岡 市 (岡山大学)
	会計幹事	(財務担当) 坂西 研二 (農業環境技術研究所) (会員担当) 中村 貴彦 (東京農業大学)
	編集幹事	安中 武幸 (山形大学農学部) 奥山 武彦 (農業工学研究所)
	会計監査	足立 忠司 (岡山大学) 増島 博 (東京農業大学)
編集委員会	委 員 長	谷山 一郎 (農業環境技術研究所)
	委 員	在原 克之 (千葉県農業試験場) 小林 政広 (森林総合研究所)
		塩沢 昌 (筑波大学) 東城 清秀 (東京農工大学)
		中石 克也 (茨城大学) 長野間 宏 (秋田県農業試験場)
		西村 拓 (東京農工大学) 平沢 正 (東京農工大学)
		平野 繁 (東京農業大学)
	補 佐	白戸 康人 (農業環境技術研究所) 麓 多門 (農業環境技術研究所)

土壌の物理性 第79号 (会員配布) 1998年11月10日発行

### 発行 土 壌 物 理 研 究 会

〒156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1 東京農業大学農学部総合研究所内

電 話 03-5477-2340 FAX 03-5477-2634

E-mail dojo@nodai.ac.jp

振替口座 00150-2-17794

銀行口座 さくら銀行世田谷通支店 (店番号199)

普通 6367846 「土壌物理研究会」

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



## REGULATIONS OF RESEARCH ASSOCIATION OF SOIL PHYSICS

- I. The association is named Research Association of Soil Physics, Japan.
- II. The scope of the association is to promote research on soil physics and related areas and to transfer the knowledge into agricultural technology.
- III. The association serves the scientific community through following activities.
  - 1) Symposium, meetings and excursion.
  - 2) Publication of Soil Physical Condition and Plant Growth, Japan and other scientific books.
  - 3) Exchange of research and technology with internal and external organizations, and affiliation of related societies and groups.
  - 4) Other service to accomplish our scope.
- IV. Memberships of the association are regular, student, supporting and library.  
Membership application must be approved by the council.
- V. Memberships must pay following annual membership fee by the designated date.

Regular member	5,500 yen
Student member	3,000 yen
Supporting member	22,500 yen
Library member	7,000 yen (subscription fee)
Advertise rate	15,000 yen for supporting members
Advertise rate	22,500 yen for non-supporting members
- VI. The association has following boards. The term is two years and three consecutive terms is not allowed.  
Election of boards is specified separately.
  - 1) President and Vice president  
The council members nominate them from regular members.
  - 2) Council members
    - a. Fifteen members are elected from regular members by vote.
    - b. President assign members not more than three.
  - 3) Auditors  
Two auditors are nominated by the council members from the regular members.
  - 4) Secretaries  
President nominate a few Secretaries
- VII. The president must convene general assemblies and councils annually.
- VIII. The association constitute following committees.
  - 1) Election board  
Council members nominate the board members from regular members. The board of election oversees the election of coming council members.
  - 2) Editorial board  
Board members are nominated by the council from regular members. Editorial board edit the journal and other printed materials.
- IX. Expenses of the association is funded from the membership fees. A fiscal year starts on 1 April and ends 31 March.
- X. Operational rules of the association is specified separately.

Effective since 30 September 1996

## Instructions to Contributors

### 1. General Requirements

- 1.1 The author(s) of an article who is contributing as an individual must be a regular or student member of the Research Association of Soil Physics, Japan (RASPJ), except when a contribution is invited by the Editorial Committee on Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan (SPCPGJ).
- 1.2 Manuscripts (MSs) submitted as research papers or reports are referred to two reviewers, and other types of MS to one reviewer, to be selected by the Editorial Committee. Based on reviewer's approval, the Editorial Committee decides whether to accept a paper or report for publication.
- 1.3 Contributions are classified as follows and content should focus on soil physics and related subjects :
  - Original research.* Papers must not have been published previously nor submitted for publication elsewhere. The MS must be research-oriented and present an original, noteworthy academic contribution to soil physics fields.
  - Note.* This brief report presents new findings or improvements in experimental methods, etc.
  - Review.* This paper focuses on soil physics from a broad view point.
  - Miscellaneous.* This report is rewritten from an original MS for reference by soil physics study field.
  - Lecture.* This easy to understand commentary contributes to the understanding of soil physics or introduces new or improved research methods.
  - Others.* These articles include letters to the editor, readers columns and book reviews, for example.
- 1.4 One original and two copies of the MS be sent using the order form below. The author of a MS published in the SPCPGJ will receive 30 offprints free of charge. Additional copies can be ordered for a nominal price.

Date of submission :

Name of author(s), institution(s), and member of RASPJ or nonmember :

Author's name, address, phone, fax, and/or e-mail address concerning correspondence :

Type of contribution :

Title of MS :

Number of text pages :

Number of tables :

Number of figures :

Number of photographs :

Reprint order request : 30, 50, 100, 150, 200, or 300

Reviewer's comments in : English or Japanese.

- 1.5 The copyright of an article becomes the property of RASPJ after publication.

### 2. Preparation of MS

- 2.1 The MS must be typed double-spaced on A4-size forms (30×21 cm). A substantial margin should be left at both sides. Finalized MSs must be sent as text files on floppy disk.
- 2.2 The MS must not exceed 3,600 words (about 6 printed pages). No charges is made for publication within the range of pages allowed. ¥9,000 will be charged for each additional page. Extra charges for printing on special paper, (e.g., art paper) will be billed to the author.

### 3. Title, Authors and Keywords,

- 3.1 The MS title must be as brief as possible while still accurately identifying and describing contents.
- 3.2 The MS of first page must include a title, a name of author (s), and institution (s), institution address, an abstract of about 300 words, and keywords not including more than five words or phrases.

### 4. Text

- 4.1 The text must be separated under subtitles such as ; 1. Introduction, 2. Materials and Methods, 3. Results, 4. Discussion, and 5. Conclusion.

- 4.2 Words printed in Gothic, Italic, Greek, or other special script must be clearly indicated. Characters must be printed so as to indicate the difference between the letter 'x' and multiplication sign, the letter 'o' and zero, the minus sign and the dash, or hyphen, and small letter and subscript.
- 4.3 Spell out abbreviations or acronyms the first time they appear and enclose in parentheses, e.g., liquid limit (LL).
- 4.4 The Latin binomial or trinomial and authority must be used for plants, insects, animals, and microorganisms when first used in both the abstract and text.
- 4.5 The International System of Units (SI) must be used for all data whenever possible.
- 4.6 For each in-text reference, provide the author(s) and year in parentheses and separated by a comma, e.g., Cambell (1988) found that ~ or ~ (Kemper, 1996). Note that references for papers with only two authors mention both, separated by an ampersand '&', e.g., Bouma & Dekker (1978) ~ ; references for three or more authors state only the first author, followed by 'et al.'. Several references together are arranged chronologically, then alphabetically. More than one paper by the same author (s) in the same year are differentiated by adding 'a', 'b', etc., after the year.
- 4.7 Acknowledgments must appear at the end of the text, preceding reference.
- 4.8 The writings of MSs should be checked by a native English.
5. Figures, Tables, and Photographs
- 5.1 Do not use figures that duplicate information in tables.
- 5.2 Each table and figure must be arranged individually on a separate A 4-size sheet, must be numbered in the sequence in the text. Using a soft lead pencil, the preferred position of each table and figure must be written in the margin of text.
- 5.3 Figures are drawn with both diagrams and lettering in Indian ink or using printed labels suitable for direct reproduction. Typewritten material is not acceptable. Computer printouts must be prepared carefully. Using a soft lead pencil indicate the figure sequence in the bottom margin together with the senior author's name.
- 5.4 Figures will be reduced to approximately 50% of their original linear dimensions. They must be prepared for reduction taking into account the journal page size.
- 5.5 A scale must be used in maps or microscope photos instead of a reduced scale or magnifying power.
- 5.6 Captions for all figures and photographs must be typed on a separate sheet.
6. References
- 6.1 All published works referred to in text must be presented in a list of references and arranged alphabetically by author, without serial numbering. The author-year system is used in text. For publications in a language other than English, a notation such as "(in Japanese)" or "(in Japanese with English summary)" must be added.
- 6.2 Examples of reference citation are as follows ;
- Bouma, J. and Dekker, L.W. (1978) : A case study on infiltration into dry clay soil, I. Morphological observations. *Geoderma*, 20 : 27-040.
- Cambell, G.S. (1974) : A simple method for determining unsaturated hydraulic conductivity from moisture retention data. *Soil Sci.*, 117 : 311-314
- FAO (1988) : Revised legend of the FAO-UNESCO Soil Map of the World. p119, FAO, Rome.

Effective since 2 October 1998

**MSs must be sent to :**

OKUYAMA , Takehiko

Address : National Research Institute of Agricultural Engineering

2-1-1 Kan-nondai, Tsukuba, 305-8609

TEL : 0298-38-7507, FAX : 0298-38-7609, e-mail : okuyama@nkk.affrc.go.jp

## SI 単位の使用例

(農業土木学会, 日本土壤肥料学会, American Society of Agricultural Engineers, Soil Science Society of America で使用が認められている単位)

使用が認められる接頭記号

$10^{12}$ : T (テラ),  $10^9$ : G (ギガ),  $10^6$ : M (メガ),  $10^3$ : k (キロ),  $10^2$ : h (ヘクト),  $10^1$ : da (デカ)

$10^{-1}$ : d (デシ),  $10^{-2}$ : c (センチ),  $10^{-3}$ : m (ミリ),  $10^{-6}$ :  $\mu$  (マイクロ),  $10^{-9}$ : n (ナノ),  $10^{-12}$ : p (ピコ)

使用が認められる表記法: m/s,  $m \cdot s^{-1}$ ,  $ms^{-1}$ , Nm,  $N \cdot m$    認められない表記法:  $ms^{-1}$ , mN

分類	量	SI 単位または組立単位	併用してよい単位記号	使用が推奨されない単位
空間および時間	平面角	rad (ラジアン)	mrad, ° (度), ' (分), " (秒)	
	立体角	sr (ステラジアン)		Å
	長さ	m (メートル)	km, cm, mm, $\mu$ m, nm	
	面積	$m^2$	$km^2$ , $cm^2$ , $mm^2$ , ha (ヘクタール), a (アール)	
	体積	$m^3$	$cm^3$ , $mm^3$ , L (リットル), mL	cc
	時間	s (秒)	ms, $\mu$ s, y (年), d (日), h (時), min (分)	
	速度, 速さ	m/s	m/h, m/min	
	角速度	rad/s		
	加速度	$m/s^2$	$cm/s^2$	
	角加速度	$rad/s^2$		
周期現象	周期	s	ms, $\mu$ s	
	波数	$m^{-1}$		
	波長	m	cm, mm	
	周波数, 振動数	Hz (ヘルツ)	MHz, kHz	
	回転速さ, 回転数	$s^{-1}$	$min^{-1}$ , rpm, $r \cdot min^{-1}$	
力学	質量	kg (キログラム)	g, mg, $\mu$ g, t (トン)	
	密度	$kg/m^3$	$g/cm^3$ , $t/m^3$ , kg/L	
	比体積	$m^3/kg$		
	濃度	$kg/m^3$	$g/cm^3$ , mg/L, g/mL, ppm, ppb	
	運動量	$kg \cdot m/s$		
	力	N (ニュートン)	MN, kN, mN, $\mu$ N	dyn, kgf
	力のモーメント	$N \cdot m$	$MN \cdot m$ , $kN \cdot m$ , $mN \cdot m$	
	圧力	Pa (パスカル)	MPa, kPa, hPa, mPa, $\mu$ Pa	bar, atm
	応力, 弾性係数	$N/m^2$ , Pa	$GN/m^2$ , $MN/m^2$ , $kN/m^2$ , GPa, MPa, kPa	
	仕事, エネルギー	J (ジュール)	TJ, GJ, MJ, kJ, eV (電子ボルト)	erg
仕事率	W (ワット)	kW, mW		
流量	$m^3/s$	$cm^3/s$ , $m^3/min$ , $m^3/h$ , L/s, L/min, L/h		
粘性係数	$Pa \cdot s$	$mPa \cdot s$		
熱	熱力学温度	K (ケルビン)		cal
	セルシウス温度	°C (セルシウス度)		
	温度差	K または °C		
	熱量	J	TJ, GJ, MJ, kJ, mJ	
	熱流	W	kW	
	熱伝導率	$W/(m \cdot K)$	$W/(m \cdot °C)$	
	比熱	$J/(kg \cdot K)$	$J/(kg \cdot °C)$	
	エントロピー	J/K	$kJ/K$	



分類	量	SI 単位または組立単位	併用してよい単位記号	使用が推奨されない単位
電気および磁気	電流 電荷, 電気量 電位, 電位差, 電圧 静電容量, キャパシタンス 誘電率 磁束 インダクタンス 電気抵抗 コンダクタンス 導電率, 電気伝導度 電力 電力量	A (アンペア) C (クーロン) V (ボルト) F (ファラッド) F/m Wb (ウェーバ) H (ヘンリー) $\Omega$ (オーム) S (ジーメンズ) S/m W J	kA, mA, $\mu$ A, nA kC, mC, $\mu$ C MV, kV, mV, $\mu$ V MF, kF, mF, $\mu$ F $\mu$ F/m  M $\Omega$ , $\mu\Omega$ MS, kS, $\mu$ S dS/m, mS/m TW, GW, MW, kW, mW, $\mu$ W, nW TJ, GJ, MJ, kJ, mJ	mmho/cm
物理化学	物質量 モル濃度 質量モル濃度 拡散係数 化学ポテンシャル	mol mol/m <sup>3</sup> mol/kg m <sup>2</sup> /s J/kg	kmol, mmol, $\mu$ mol mol/dm <sup>3</sup> , kmol/m <sup>3</sup> , mol/L mol/g J/g	erg/kg
土壌物理学分野	粒径 透水係数 土壌水分吸引圧 温度伝導度 乾燥密度 比表面積 水分ポテンシャル 水分ポテンシャル 吸着量 陽イオン交換量 陰イオン交換量 酸化還元電位 体積熱容量 湿潤熱 吸着熱 含水比 質量分率, 含水率 体積分率 質量濃度	m m/s Pa m <sup>2</sup> /s kg/m <sup>3</sup> m <sup>2</sup> /kg J/kg m mol/kg mol(+)/kg mol(-)/kg V J/(m <sup>3</sup> ·K) J/kg J/mol kg/kg kg/kg m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup>	mm, cm, $\mu$ m cm/s, m/min pF, cmH <sub>2</sub> O cm <sup>2</sup> /s Mg/m <sup>3</sup> , t/m <sup>3</sup> , g/cm <sup>3</sup> m <sup>2</sup> /g J/g cm mmol/kg cmol (+)/kg cmol (-)/kg mV        mg/m <sup>3</sup> , g/L, mg/L	meq/100 g meq/100 g  % % % %
その他	放射能 吸収線量 照射線量 施肥量 収量 光度 照度	Bq (ベクレル) Gy (グレイ) C/kg kg/m <sup>2</sup> kg/m <sup>2</sup> cd (カンデラ) lx (ルクス)	MBq, kBq, mBq, Ci (キュリー) MGy, kGy, mGy MC/kg, kC/kg, mC/kg kg/ha Mg/ha, t/ha, kg/ha	rad R kg/10 a kg/10 a, t/10 a

その他については、「農業土木分野での SI 単位の使用一覧表 (案)」(1995): 農土論集, 175, 付録および「日本土壌肥科学会発行の雑誌で使用が推奨される単位の例」: 土肥誌執筆規定付録を参照のこと。

## 「土壌の物理性」読読に関するお願い

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

### 1. 読読者

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

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

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

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

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

### 2. 報文について

#### (1) 読読者

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

#### (2) 読読後の取扱い

読読結果は次のように処理して、最終的に委員会で掲載の可否を決定する。

1) 担当したすべての読読者の判定が判定 A「このまま掲載可」の場合は、特別の異議がなければそのまま受理する。

2) 判定 B「指摘の点が修正されれば掲載可」の場合は、読読者の意見を勘案し、委員会意見として著者に伝

達し、加筆、訂正を要求する。原稿修正の確認は、編集委員会で行い、適切な修正が確認された時点で原稿を受理する。

3) 判定 C「指摘の点が修正を要し、再読読の要あり」の場合は、読読者の意見を勘案し、委員会意見として著者に伝達し、加筆、訂正を要求し、修正後に再度読読を行う。

4) 2人の読読者の判定が D「掲載不可」の場合は、不可の理由を付して著者に返稿する。意見が分かれた場合は、他の読読者を依頼し、Dの場合には著者に返稿する。

5) 読読結果に対して著者から反論があれば、他の読読者に依頼することがある。読読者の意見が分かれた場合には、その対応を編集委員会で判断する。

#### (3) 総合判定 D「掲載不可」のもの事由

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

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

### 3. ノート、資料、論説・総説、解説、土粒子、書評などについて

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

(1997. 10. 30 改定)

### 複写される方に

本誌（書）に掲載された著作物を複写したい方は、著作権者から複写権の委託を受けている次の団体から許諾を受けて下さい。

学協会著作権協議会

〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3F

TEL/FAX : 03-3475-5618

ただし、アメリカ合衆国における複写については、下記へ

Copyright Clearance Center, Inc. (CCC)

222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, USA

Phone : (978) 750-8400, FAX : (978) 750-4744

### 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.

Except in the USA

The Copyright Council of the Academic Societies (CCAS)

41-6 Akasaka 9-chome, Minato-ku, Tokyo 107-0052, Japan

TEL/FAX : 81-3-3475-5618

In the USA

Copyright Clearance Center, Inc. (CCC)

222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, USA

Phone : (978) 750-8400, FAX : (978) 750-4744

# Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan

No. 79

November 1998

---

## Contents

<b>Forward</b> .....	K. ADACHI	1
<b>Symposium</b>		
<b>Review</b>		
Development Orientation of Rice Growing Technique and Various Subjects about the Soil Physics .....	H. NAGANOMA	3
<b>Original</b>		
Effect of Continuation of Non-tilled Direct Seeding Rice Culture on the Soil Compact- ness and Water Requirement in Depth .....	E. ISHIBASI	11
<b>Miscellaneous</b>		
Rice Direct Seeding Technique for Large Scale Farm in Cold Area .....	R. OTANI	23
Some Soil Physical Subjects Relating to Technical Prospects of Direct Sowing Rice Plants in Submerged Paddy Fields .....	H. KANEKO	29
<b>Original</b>		
Effects of Tillage Operation and Moisture Condition on Rice Seed Germination and Shoot Emergence out of Soil in Unwatered Paddy Fields .....	S. OHNO, S. ONO, S. TAKAHASHI, Y. NONOYAMA and K. SUMITA	35
<b>Miscellaneous</b>		
Heat and Dissolved Oxygen(DO) Transfer Phenomenon in Ponedged Paddy Field .....	M.I.M. Mowjood and T. KASUBUCHI	41
<b>Review</b>		
Clarification of Puddled Water by Gypsum and Dispersion-Flocculation of Paddy Field Soil .....	T. AKAE	49
<b>Discussions</b> .....		57
<b>Book Review</b> .....	R. HATANO	61
	T. NAKAMURA	62
<b>Announcements</b> .....		64
Editor's comment .....		69

---

Published by

**Research Association of Soil Physics, Japan**

NODAI Research Institute (NRI)

Tokyo University of Agriculture

1-1-1 Sakuragaoka Setagaya-ku, Tokyo 156-8502, Japan