

研究論文

栽培

## 落水処理による土壌三相構造の変化が湛水直播水稻の出芽と苗立ちに及ぼす影響

古畑昌巳\*・楠田宰・福嶋陽

(農業・生物系特定産業技術研究機構)

**要旨：**打込み点播機での播種を想定し、湛水土中直播した水稻の出芽・苗立ちに及ぼす播種後の落水の影響を調査した。過酸化カルシウム剤被覆種子を代かき土壌中に播種した後に落水を行うと（落水区）、表層土壌では、土壌水分（液相）が低下すると同時に土壌収縮によって固相が増加し、気相が生じて通気性は向上した。また、落水区では、湛水状態とした湛水区に比べて出芽後、鞘葉、第1葉（不完全葉）は早く伸長を停止し、同時に第2葉の抽出は早まり、茎葉部と根の乾物重が高く推移した。一方、湛水区では、表層土壌の構造、通気性に変化はなく、鞘葉、第1葉ともに出芽以後も伸長を続ける一方で、第2葉の抽出は遅れた。以上の結果、過酸化カルシウム剤被覆種子を代かき土壌中に播種した後に落水を行うと、土壌通気性の向上により、出芽後の初期成長が促進され、安定した出芽・苗立ちが可能になると推察された。

**キーワード：**出芽、鞘葉、水稻、第1葉、湛水直播、苗立ち、落水。

散播や条播による湛水土中直播栽培は、従来行われていた移植栽培に比べて省力ではあったが、耐倒伏性が劣り、収量も減少しやすいという問題があった。しかし、その後新しく開発された打込み式代かき同時土中点播直播栽培（下坪・富樫 1996a）では、株当たりの穂数が多くなり、他の播種様式で行う湛水直播栽培に比べて耐倒伏性が改善された（下坪・富樫 1996b, 吉永ら 2001）。さらに、打込み式代かき同時土中点播直播栽培は、収量確保のために重要な出穂後の SLA（比葉面積）、群落下層部への PAR（光合成有効放射）透過度、乾物増加特性が優れ（吉永ら 1997a）、適正な施肥により収量性は移植水稻並みとなる（楠田ら 1998, 吉永ら 2002）ことから、2003 年現在で、全国で約 2000 ha に普及している。一方、出芽・苗立ちの向上、安定化は直播栽培の技術確立を図る上で最も重要な課題の一つであるが、打込み式代かき同時土中点播栽培でも、従来の湛水土中直播栽培と同様、種子が土壌中に埋没して表面播種に比べて出芽率が低下しやすい。しかし、播種直後から 7～10 日間程度の自然落水管理を行うことによって出芽・苗立ちの確保が図られている（吉永ら 1997b）。このための播種直後の落水は、従来の湛水土壌表面直播栽培および湛水土中直播栽培において出芽期以降に行われていた短期間の一時落水である「芽干し」とは、長期間にわたって落水させる点で異なるもので、打込み式代かき同時土中点播栽培ばかりではなく湛水直播栽培全般に適用される基本技術として全国的に普及しつつある（大場 1997, 丸山 2001, 2002）。

従来、湛水土中直播栽培において出芽・苗立ちを向上させ、またその後の生育を安定させる方法については、種子

への過酸化カルシウム剤被覆処理（中村 1976）をはじめ、浸種時のジベレリン処理（太田・中山 1970）、過酸化カルシウム剤への殺菌剤の添加（小川・太田 1973）、過酸化カルシウム剤被覆種子の貯蔵条件（吉永ら 2000）などの様々な検討がなされてきた。一方、出芽・苗立ちを低下させる要因については、播種期の低温と播種深の影響（佐藤ら 1974, 三石・中村 1977）、湛水土壌中での土壌還元による出芽阻害（井澤ら 1985）などが明らかにされており、湛水土中直播ではこれら複数の環境要因が同時に出芽・苗立ちに影響を及ぼしていると考えられている。さらに、播種深と過酸化カルシウム剤被覆量が出芽・苗立ちに及ぼす影響（田中ら 1986）、麦稈の有無が出芽・苗立ちに及ぼす影響（大塚ら 1988）、粘土混合被覆剤など新たな被覆資材が出芽・苗立ちに及ぼす影響（小山・深山 1987, 平岡ら 1988, 中嶋ら 1996）、播種後の水管理が水稻の初期生育に及ぼす影響（Sato and Maruyama 2002）なども報告されている。しかし、落水条件下における出芽から苗立ちに至る個体の成長過程を、土壌環境の面から解析した報告例は未だにみあたらない。本報では、打込み式湛水土中直播を想定して、播種直後から異なる水管理条件を設定し、土壌環境の変化が個体の発芽から出芽・苗立ちまでの成長に及ぼす影響を土壌三相構造に着目して検討した。

### 材料と方法

#### 1. 実験方法

九州農業試験場（福岡県筑後市和泉、現九州沖縄農業研究センター）内の水田土壌（細粒灰色低地土）を風乾砕土後に 1/5000a ワグネルポットに充填した。水稻品種「ヒノヒ

カリ」の催芽粉に、コーティングマシン（クボタ製 KC-15）を用いて過酸化カルシウム粉粒剤（過酸化カルシウム 16% 含有）を乾粉重の 2 倍重量被覆して被覆種子を作成した。土壌表層から種子を挿入することによる土壌の攪乱を避けるため、播種は以下の方法により行った。入水して代かきを行ったポットを雨よけのためにビニールハウス内に設置し、翌日、土壌と表面水とが分離した後にポットを傾けて表面水を流し出し、ポットあたり 20 粒の過酸化カルシウム剤被覆種子を土壌表面に置床した。これとは別に、風乾砕土した土壌を播種当日にコンテナ内で代かきをし、種子が所定の深度になるまでポットに丁寧に充填して覆土した。播種は 1997 年 5 月 1 日、5 月 22 日および 6 月 19 日に行い、播種深は 1, 2, 3 cm の 3 水準とした。播種後、落水区と湛水区とを設けた。落水区のポットは、播種数時間後に駒込ピペットを用いて表面水を除去し、その後は土壌表面からの蒸発のみによる自然減水の落水管理とした。湛水区のポットには、あらかじめくみ置きしておいた水道水を、1 日 3 回、駒込ピペットで加えて 1 cm の水深を維持した。

## 2. 出芽と苗立ち

出芽数、第 1 葉（不完全葉）および第 2 葉を抽出した個体数を、2 週間、毎日調査した。播種後 3, 5, 7, 10, 14 日に、全ての個体を採取し、各個体の鞘葉と第 1 葉鞘の全長、種子、莖葉部と根の乾物重を測定した。長さの測定においては屈曲している個体は伸ばして測定した。また、第 1 葉長については第 1 葉を抽出した個体のみを測定した。本実験では、鞘葉が地表面に出現した個体を出芽個体、出芽後に鞘葉から第 1 葉を抽出し、第 1 葉鞘頂部から緑化した第 2 葉を抽出した個体を苗立ち個体とした。出芽個体数、第 1 葉抽出個体数および苗立ち個体数、乾物重については 3 反復の平均値を求め、鞘葉長、第 1 葉長は 1 ポット内の 20 個体の平均値を求めて、さらにこれらの 3 反復の平均値を算出した。

## 3. 出芽・苗立ち過程の解析

出芽率は出芽の評価に最も多く用いられ、播種法の良否を表す最も有効な指標の一つである。しかし一方では、出芽率は、（調査時点での累積出芽個体数 / 播種粒数）× 100（%）で示されるため、出芽過程での日毎の増減やばらつきは評価しにくい。そこで本実験では、（日毎の出芽個体数 / 播種粒数）× 100（%）を日別出芽率として別に表した。さらに、第 1 葉抽出率、苗立ち率についても同様に日別第 1 葉抽出率、日別苗立ち率として算出した。さらに、播種後  $t$  日の出芽数を  $n$  として、平均出芽日数（日）を  $\Sigma (t \cdot n) / \Sigma n$  ( $t=1\sim 14$ ) とした。またこれを第 1 葉抽出、苗立ちにも適用して、それぞれ、第 1 葉抽出までの平均日数、苗立ちまでの平均日数を求めた。

## 4. 気温および土壌環境の測定

被覆種子を播種したポットとは別に、代かき土壌のみを充填した 1/5000a ワグネルポットで落水区と湛水区とを設け、土壌環境の変化を以下の方法により調査した。地温および酸化還元電位（Eh）は、播種深に相当する深さに測温抵抗体および酸化還元電極を差し込んで固定したポットを各条件別に 3 ポット用意し（1 ポット内で 1 ケ所の Eh 測定で 3 ポット使用）、1 時間ごとに測定し、24 時間の平均値で示した。気温は、ビニールハウス内のポットの高さに測温抵抗体を設置し、直射光がこれに当たらないようにして測定した。土壌中の酸素拡散速度は深さ 1 cm および 3 cm で土壌酸素拡散計（大起理化学工業製 DIK-1120）を用いて、表面土壌硬度は土壌硬度計（藤原製作所製 山中式平面型）を用いて、それぞれ 3 反復（3 ポット使用、1 ポット内では 5 ケ所測定）で調査した。土壌の三相分布は、以下の方法により求めた。まず、土壌表面から深さ 5 cm までの 100 mL の土壌コアを、1 ポットで 1 ヶ所、4 反復で、2 週間の調査期間内に 4~6 回採取した。秤量後、105°C、24 時間通風乾燥で乾固した土壌を再度秤量して乾燥前の重量との差から液相の重量（容積）を求めた。そして、乾固した土壌は粉碎して 200 mL のメスフラスコに入れ、あらかじめメスシリンドラーで 200 mL としておいた蒸留水の一部を加えて全量を 200 mL にフィルアップした。フィルアップに要した水量 {この量は（液相と気相の容積を加えた量）+（100 mL）となる} から上述で求めた液相の容積を差し引いて気相の容積を求めた。また、メスシリンドラー中に残った蒸留水の容積を固相容積とした。土壌構造の指標となる孔隙率は、（液相 + 気相）/（液相 + 気相 + 固相）× 100（%）で算出した。

## 結 果

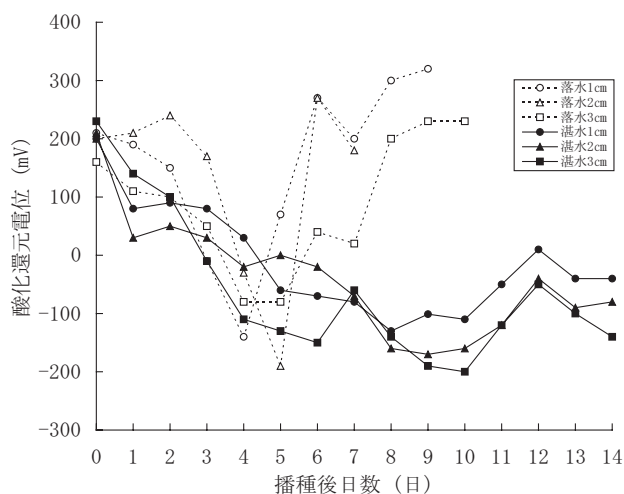
### 1. 温度および土壌環境の推移

#### （1）気温および地温の推移

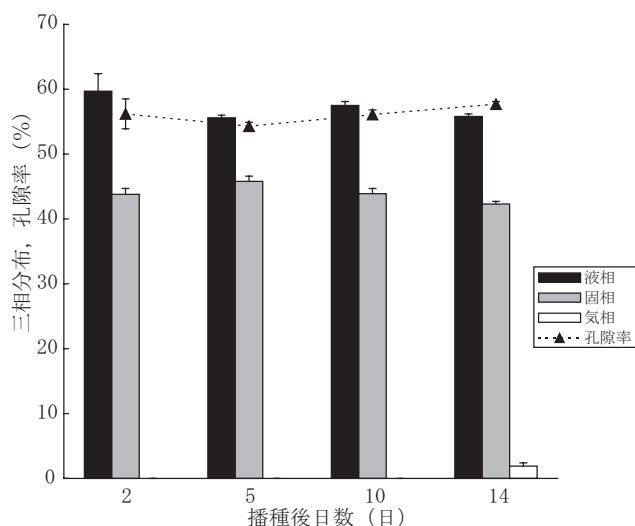
実験期間中のハウス内の日平均気温および落水区と湛水区の日平均地温はそれぞれ、5 月 1 日播種では 21.3°C、21.2°C、21.3°C、5 月 22 日播種では 22.0°C、22.5°C、22.5°C、6 月 19 日播種では 26.4°C、26.5°C、26.4°C であった。日平均気温および地温は 3 播種時期間で異なったが、それぞれの播種時期における日平均気温と落水区、湛水区の日平均地温はほぼ同じであった。

#### （2）土壌中の酸化還元電位（Eh）の推移

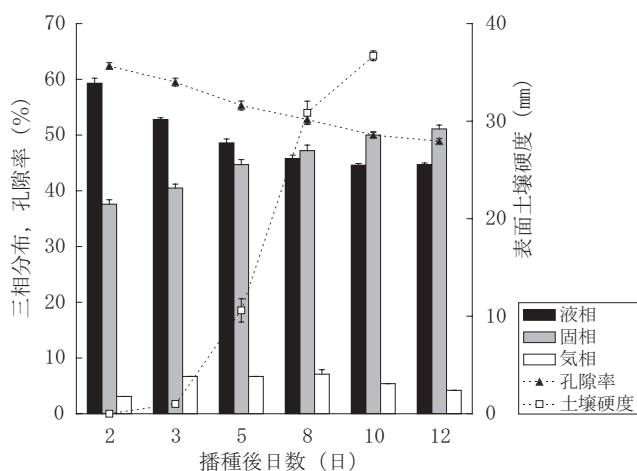
5 月 1 日播種の土壌中の Eh は落水区、湛水区とも播種後に低下したが、落水区では播種後 5 日目以降に急速に上昇し、播種後 8 日目以降は測定が不能となった。一方、湛水区では、播種後 10 日目以降は上昇して -200~0 mV の範囲となった。また、両区ともに測定位置が深いほど Eh は低く推移し、より還元が進んだ状態であった（第 1 図）。5 月 22 日播種および 6 月 19 日播種の Eh も 5 月 1 日播種とほぼ同様に推移して、落水区では播種数日後に測定不能



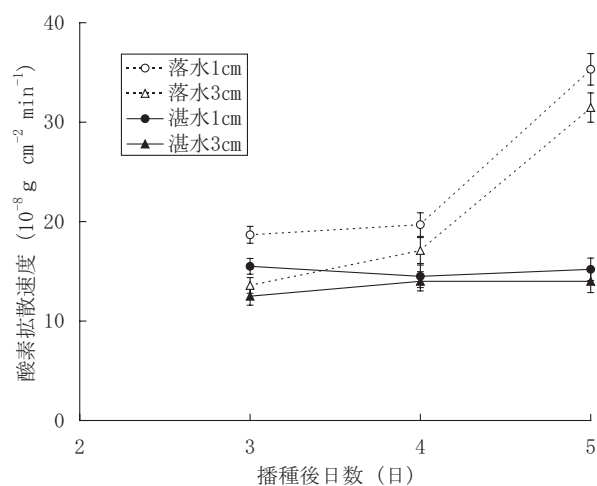
第1図 土壌中の播種位置における酸化還元電位 (Eh) の推移 (5月1日播種区).



第3図 湛水区における土壌の三相分布の変化 (5月1日播種区). 縦棒は標準誤差 (n=4).



第2図 落水区における土壌の三相分布の変化 (5月1日播種区). 孔隙率 =  $\{(\text{液相} + \text{気相}) / (\text{液相} + \text{気相} + \text{固相})\} \times 100(\%)$ . 縦棒は標準誤差 (n=4).



第4図 土壌中の播種位置における酸素拡散速度の推移 (5月1日播種区). 縦棒は標準誤差 (n=3).

となった。

### (3) 土壌の三相分布および表面土壌硬度の推移

5月1日播種の土壌表面から深さ5cmまでの土壌三相分布は、落水区では、播種後日数の経過に伴って液相率が減少し、その一方で固相率は増加した。また、気相は実験期間を通して認められた。土壌構造の指標である孔隙率は、播種後日数の経過に伴って低下した。表面土壌硬度は、播種後5日目から急速に上昇した(第2図)。一方、湛水区では、土壌の三相分布と孔隙率は実験期間を通してあまり変化しなかった(第3図)。また、土壌は軟弱であったため、土壌表面の硬度は測定できなかった。5月22日播種および6月19日播種の落水区および湛水区の三相分布、孔隙率、表面土壌硬度は5月1日播種とほぼ同様の結果であった。

### (4) 土壌中の酸素拡散速度の推移

5月1日播種の落水区の土壌中酸素拡散速度は代かき後3日目から5日目にかけて上昇し、土壌通気性が向上して

いることが認められた。一方、湛水区の土壌中酸素拡散速度は、代かき後3日目から5日目にかけてほとんど変化せず、土壌通気性は変化しなかった。また、落水区、湛水区ともに土壌中酸素拡散速度は測定位置が浅いほど大きく、高い通気性を示した(第4図)。5月22日播種および6月19日播種の落水区および湛水区の土壌中酸素拡散速度は5月1日播種とほぼ同様の結果であった。

## 2. 出芽と苗立ちおよび生育の推移

### (1) 播種2週間後の最終苗立ち率

3播種時期ともに播種深1cmでは湛水区、落水区の最終苗立ち率には有意差はなかった。播種深2, 3cmの落水区の最終苗立ち率は5月1日播種、5月22日播種では湛水区に比べて有意に低く、とくに播種深3cmでは大きく低下した。そして6月19日播種の播種深3cmでも落水区が小さい傾向があった(第1表)。出芽から第1葉抽出までの

第1表 播種後の水管理と最終苗立ち率の関係.

播種日	播種後 水管理	最終苗立ち率 (%)		
		播種深		
		1cm	2cm	3cm
5月1日	落水	93±4	90±2	62±6
	湛水	98±1	98±1*	83±4*
5月22日	落水	95±4	85±2	65±5
	湛水	95±2	92±3*	92±1**
6月19日	落水	100±0	93±2	75±4
	湛水	95±2	92±1	82±3

最終苗立ち率=(播種2週間後の苗立ち個体数/播種粒数)  
×100(%). 平均値±標準誤差で示す (n=3). \*は5%水準,  
\*\*は1%水準で落水区と湛水間に有意差があることを示す.

日数, 苗立ちまでの日数は, 5月1日播種で最も長く, 6月19日播種で最も短く(データ省略), 実験期間中の平均気温が高いほど日数が短かった. そこで次に苗立ちに至るまでの生育を落水区と湛水区の間の苗立ち率に相違の認められた5月1日播種の結果について述べる. 5月22日播種, 6月19日播種もほぼ同様の結果であった.

### (2) 出芽から苗立ちまでの推移

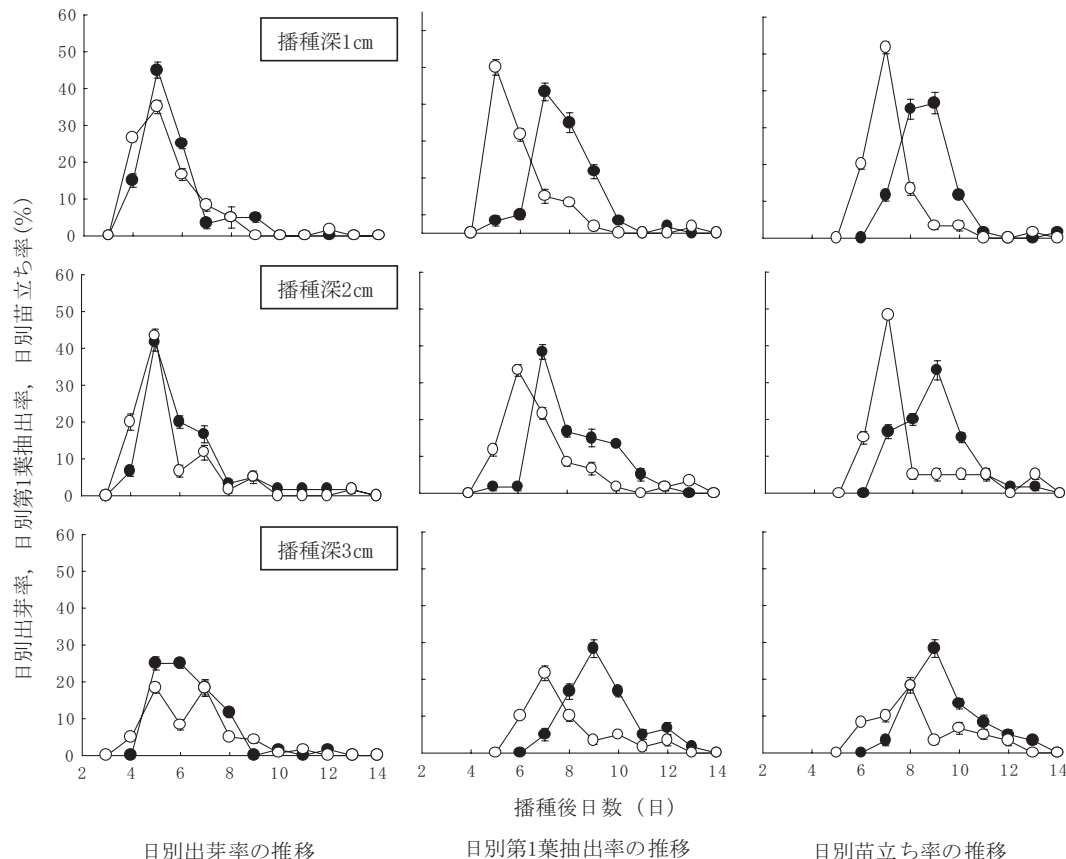
播種後の異なる水管理条件における日別出芽率, 日別第

1葉抽出率および日別苗立ち率の推移を播種深度別に第5図に示した. 播種深1cmの場合, 落水区の出芽は播種後4日目から認められ, 日別出芽率は播種後3日目から5日目にかけて急激に高くなり, 5日目にピークに達した後に急激に低下した. 第1葉の抽出, 苗立ちは出芽後それぞれ1日目, 2日目から認められた. 日別第1葉抽出率は播種後4日目から5日目にかけて急激に高くなり, 5日目にピークに達した後に急激に低下した. 日別苗立ち率は播種後5日目から7日目にかけて急激に高くなり, 7日目にピークに達した後に急激に低下した. 湛水区の日別出芽率の推移は落水区とほぼ同様であったが, 日別第1葉抽出率および日別苗立ち率は増加とピークに達する日が落水区よりも遅かった.

播種深2cmおよび3cmの場合, 播種深1cmと同様に落水区の日別出芽および苗立ちが湛水区に比べて早まる傾向が認められた. また, 落水区, 湛水区ともに, 出芽から苗立ちまでの日数は播種深1cmの場合と大きく異なることはなかったが, 播種深1cmに比べて, 出芽, 第1葉の抽出日および苗立ちがピークに達した日は遅く, 出芽から苗立ちまでの日数が長くなる傾向を示した.

### (3) 播種から出芽までの平均日数および第1葉抽出, 苗立ちまでの平均日数

第5図に示した結果を用いて, 播種から出芽, 第1葉抽



第5図 播種後の日別出芽率, 日別第1葉抽出率および日別苗立ち率の推移(5月1日播種区).

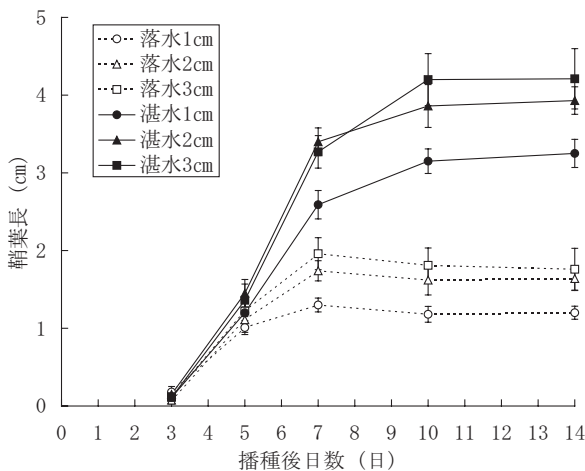
○は落水区, ●は湛水区. 縦棒は標準誤差(n=3).



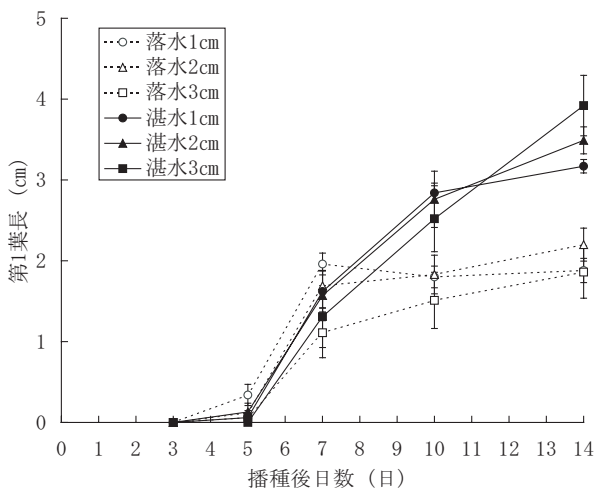
第2表 播種後の水管理が播種から出芽、第1葉抽出、苗立ちまでの平均日数に及ぼす影響。

播種後 水管理	平均出芽日数 (日)			平均第1葉抽出日数 (日)			平均苗立ち日数 (日)		
	播種深1cm	2cm	3cm	播種深1cm	2cm	3cm	播種深1cm	2cm	3cm
落水	5.3	5.5	6.2	6.0	7.0	7.7	7.1	7.4	8.0
湛水	5.5	5.9	6.4	7.7**	8.0*	8.9**	8.6**	8.6*	8.8*

播種後2週間の調査結果。播種後t日の確認数をnとし、平均出芽（第1葉抽出、苗立ち）日数  $\Delta t = \sum (t \cdot n) / \sum n$  ( $t=1 \sim 14$ )。\*は5%水準、\*\*は1%水準で落水区と湛水区間に有意差があることを示す。



第6図 播種深度別にみた鞘葉長の推移 (5月1日播種区)。縦棒は標準誤差 (n=3)。

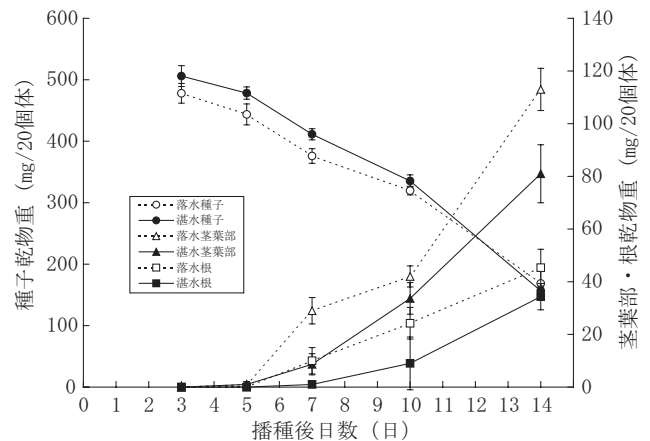


第7図 播種深度別にみた第1葉長の推移 (5月1日播種区)。縦棒は標準誤差 (n=3)。

出および苗立ちまでの平均日数を求め、第2表に示した。播種から出芽までの平均日数は、播種深に関わらず落水区と湛水区で有意な差はなかったが、落水区での第1葉抽出と苗立ちまでの日数は、いずれの播種深でも湛水区に比べて有意に短かった。また、落水区、湛水区とも播種深が深いほど出芽や第1葉抽出および苗立ちに要する平均日数は長かった。

#### (4) 鞘葉と第1葉の伸長

鞘葉の伸長は落水区では播種後7日目にほぼ完了した。



第8図 部位別乾物重の推移 (5月1日播種区)。各値は播種深1cm～3cm区での平均値で示す。縦棒は標準誤差 (n=3)。

湛水区では鞘葉の伸長が完了したのは播種後10日目で、落水区に比べて約3日を多く要した。また、伸長完了した時の鞘葉長は湛水区が落水区に比べて長く、また播種深が深いほど長かった (第6図)。

第1葉は落水区では播種後7日目以降、伸長を停止したが、湛水区では播種後10日目以降も伸長を続けた。その結果、実験終了時の湛水区での第1葉長は落水区に比べて長かった (第7図)。

#### (5) 器官別乾物重の推移

播種後3日目から実験終了時までの乾物重の推移をみると、落水区では、種子乾物重は湛水区に比べて小さく推移する傾向を示し、茎葉部と根の乾物重は播種後7日目以降に湛水区に比べて大きく増加した。また、両区とも播種後7日目以降には茎葉部乾物重が根の乾物重より大きくなった (第8図)。

### 考 察

#### 1. 播種後の落水による表層土壌の硬化が出芽に及ぼす影響

本実験では打込み式湛水土中点播を想定して、ポットを用いて播種後の落水の影響を検討した。その結果、播種直後から落水した場合、土壌表層の硬さは播種後6日目には親指の貫入にやや抵抗がある程度であったが、その後土壌硬化は急速に進んだ (第2図)。また、落水区の日別出芽

率の推移をみると、播種深 3 cm では、播種後 5 日目には種子発芽率は 90% を超えていたにもかかわらず、多くの個体で鞘葉の伸長が土壤中で停滞して（データ省略）、播種深 1, 2 cm に比べて出芽が遅れた（第 5 図）。このように落水区の播種深 3 cm の条件では、播種深 1, 2 cm に比べて出芽に至るまでに日数を要したため、この間に土壤表層が硬化して出芽が抑えられたと考えられた。しかし打込み式土中点播機による播種深は、種子打ち込み速度  $12\text{ m s}^{-1}$ 、標準的な土壤硬度（粘度 50~250 dPa s）の条件で出芽時の深さは 12 mm ( $\pm 6\text{ mm}$ ) であり、播種された種子の 90% 以上が播種深 2 cm 以内であること（富樫ら 2001）から、打込み式代かき同時土中点播機で播種を行い、その直後から落水管理を行っても実用的には問題ないと判断された。

なお、本実験において、落水区では播種後 14 日目の時点で、播種深 2 cm と播種深 3 cm では鞘葉長は播種深よりも短かった（第 6 図）。これは、未出芽個体では土中で鞘葉が伸長を停止しているため鞘葉長が短く、これを含めた 20 個体の平均値を算出したためである。また、落水区では播種後 14 日目の播種深 3 cm の第 1 葉長も播種深よりも短かった（第 7 図）。これは、第 1 葉の抽出が認められなかった場合、第 1 葉長を 0 cm としたためである。

## 2. 播種後の落水が土壤構造に及ぼす影響

一般に、土壤の孔隙が水で満たされた飽水状態にある土壤では、排水するときに土壤粒子が水の表面張力によって引き寄せられて土壤収縮が生じるが、その収縮に作用する力は粒径が小さいほど大きくなる（Hartge 1978）。また、代かきは団粒構造を物理的に破壊し団粒の粒径を小さくする（斎藤・川口 1971）ため、落水によって土壤収縮程度は一層大きくなると考えられる。本実験では、飽水状態の代かき土壤を自然落水させ、酸化還元電位（Eh）の経時的測定を試みたが、播種後 8 日目以降の落水区では計測が困難であった（第 1 図）。この要因としては、落水による土壤収縮が播種後日数の経過に伴って進み、酸化還元電位センサーの電極と土壤との間に空隙ができ、電極と土壤との間の水膜が切れたために測定不能の状態になったことが考えられた。また、落水区における液相率の減少に伴う固相率の増加（第 2 図）は、土壤収縮が進行したことを示しており、土壤収縮に伴う土壤表層の硬化は出芽を物理的に障害し、播種深が深い播種深 3 cm 区では顕著に障害が認められた（第 5 図）。

## 3. 播種後の落水が出芽から苗立ち期までの苗に及ぼす生理的影響

落水区では湛水区に比べて苗立ちが早く（第 5 図）、種子乾物重は小さく推移したが、茎葉部と根の乾物重は大きく推移し、初期生育が促進されたことが認められた（第 8 図）。この要因として、好気的条件を利用した種子貯蔵養分の酵素分解および好気呼吸を通じて作られたエネルギーを利用

した茎葉部と根の成長が、生育初期から活発に行なわれたことが推測された。イネでは実質的に第 2 葉が抽出した後光合成を開始する（三宅・前田 1973）ことから、落水区では第 2 葉を早く抽出したことで従属栄養状態から独立栄養状態への移行が湛水区よりも早かったと考えられた。また本実験では、落水土壌中で土壤通気性の向上（第 4 図）と土壤収縮に伴う表層土壤の硬化（第 2 図）とが同時に生じていた。これに関しては、硬い寒天および土壤条件でイネ種子を発芽させた場合、鞘葉の伸長は物理的に障害される一方、鞘葉の伸長を促進するエチレンの生成が多く、呼吸活性は高まる（増岡ら 1998）との報告がある。

## 4. 播種後の落水が出芽から苗立ち期までの苗の形態に及ぼす影響

本実験において、日別出芽率の推移は湛水区、落水区間ではほぼ同様であったにもかかわらず、湛水区では出芽から苗立ちまでに多くの日数を必要としたが、その要因の一つは出芽から第 1 葉抽出までに時間を要したことであった（第 5 図）。湛水土壌は地表数 mm を除いて還元（低酸素）状態であり、地表面（好気的環境）上まで伸長した鞘葉はシュノーケルのような役割を果たし、これによって生長点に送られた酸素を利用して第 1 葉を抽出すると考えられている（山内 1997）。本実験の湛水区では、表層水の存在によって出芽直後に第 1 葉抽出に必要な酸素が十分になかったため、鞘葉をさらに伸長させた後に第 1 葉を抽出したと考えられた。一方、落水区の出芽から苗立ちまでの時間が短かった要因として、落水土壌では微細なひび割れが生じており（久保寺・山田 1997）、この孔隙を通じて地表から入った空気によって種子近傍の土壤通気性は向上し、この条件の中で速やかに出芽から苗立ちへと移行したことが考えられた。これらの結果は、異なる水管理によって生じる酸素分圧あるいは土壤水分の相違が鞘葉の伸長完了から第 1 葉抽出までの過程を制御していたことを示唆しており、湛水・落水の相違による影響は、鞘葉の伸長に要する時間の長さに現れたと考えられる。また、苗立ち時の第 1 葉は、落水区では地際で伸長を停止し、湛水区ではさらに伸長したことが観察され、水管理の違いは第 1 葉の伸長完了および苗立ちの制御にも何らかの形で関わっていることが考えられる。

## 5. 播種後の出芽から苗立ちおよび土壤における化学性の変化の評価

湛水条件では、出芽して鞘葉が好気的条件に到達した後第 1 葉の抽出が促されるが、播種深が深いまたは低温などの条件では、鞘葉が地面まで伸長するのに時間を要して出芽が遅れるため、第 1 葉の抽出も遅れる（古畑ら 1997）。また、出芽が遅れた個体は出芽後に枯死することが多い（古畑・楠田 1998）。一方、第 2 葉を抽出した個体では、葉身の白化、枯死は観察されないこと、また、第 2 葉抽出後

に光合成が開始されることが知られている(三宅・前田1973)。このようなことから、本実験では緑化した第2葉を抽出した状態を苗立ちと判断した。

本実験では、落水管理によって苗立ち率の向上は認められなかった(第1表)。また高橋ら(1998)も、圃場条件での検討の結果、落水管理下で苗立ち率が向上しなかったことを報告している。しかしながら、平均苗立ち率は、本実験の結果が88.1%、高橋らの結果が82.6%とともに高い値であった。本実験および高橋らの実験では、麦稈や基肥が施用されていないために土壌還元等の負荷が比較的小さく、結果として苗立ち率が全体的に高くなり、落水処理の効果が現れにくかったことが考えられる。土壌の化学性の変化については、水稻を播種した湛水土壤中において、基肥として入れた化成肥料の溶出(Hara and Toriyama 1998)、麦稈等の有機物の分解(井澤ら1985)などが生じ、さらに土壌内の複雑な反応過程中に生じた第2鉄、有機酸等の反応産物(石崎・松田1969, Hagiwara and Imura 1993)が出芽前の幼植物の生育を抑えることが報告されている。なお、過酸化カルシウムは水と反応して酸素を発生する(山田1951)ことから、これを種子に被覆して土壌還元程度を抑え、出芽、苗立ちを向上させる技術の適用性が全国的にほぼ認められている。しかし、過酸化カルシウム剤の土壌酸化効果は種子近傍にとどまり、生育初期にその効果を失うことも明らかにされている(萩原ら1990)。落水土壌の化学的变化について、本実験では落水区のEhの推移(第1図)を除き検討していないが、実際の水田では麦稈等の有機物や基肥が入った状態であるため、今後は評価する必要がある。

本実験の結果、打込み式土中点播機の利用による通常の播種深度、すなわち1 cm および2 cm を前提とした場合、播種後の落水管理は、土壌の通気性を向上させて土壌還元を抑え、苗立ちを早めて乾物重が大きく推移することから、出芽・苗立ちを向上・安定させると判断された。種子の過酸化カルシウム剤被覆および播種後落水管理の同時利用は、出芽、苗立ちのさらなる安定向上化につながると考えられる。

**謝辞：**本論文の取りまとめに際して、佐賀大学名誉教授の芝山秀次郎先生、同大学農学部有馬進教授にご指導を頂きました。ここに記して深く感謝いたします。

## 引用文献

- 古畑昌巳・楠田宰・北川壽 1997. 湛水直播における酸素発生剤被覆種子の出芽・苗立ちに及ぼす環境要因の影響. 日作紀 66 (別1): 40-41.
- 古畑昌巳・楠田宰 1998. 湛水直播における酸素発生剤被覆種子の出芽特性と出芽率の関係. 九州農業研究 60: 14.
- 萩原素之・井村光夫・三石昭三 1990. 酸素発生剤を被覆した水稻種籾の近傍で起こる局所的土壌還元と発芽・出芽との関係. 日作紀 59: 56-62.
- Hagiwara, M. and M. Imura 1993. Seedling emergence and establishment of direct-sown paddy rice in soils incorporated with substances produced in reductive paddy soil. Jpn. J. Crop Sci. 62: 609-613.
- Hara, Y. and K. Toriyama. 1998. Ammonium nitrogen in soil solution and seed nitrogen affect the percentage of establishment of rice plants in submerged soil. Soil Sci. Plant Nutr. 44: 415-422.
- Hartge, K. H. 1978. 土壌物理学概論. 福士定雄訳. 1985. 博友社, 東京. 95-98.
- 平岡博幸・西山岩男・寺島一男・下田英雄・高梨純一・田中耕逸 1988. 湛水直播水稻における出芽・苗立の安定化に関する研究. 第1報 新資材利用による出芽・苗立の改善. 日作紀 57 (別1): 289-290.
- 石崎博一・松田兼三 1969. 土壌条件が湛水直播水稻の発芽におよぼす影響. 三重県農試研報 4: 1-11.
- 井澤敏彦・平岡博幸・西山岩男 1985. 湛水直播水稻の苗立ちにおよぼす土壌還元の影響. 第1報 小麦わらおよび炭水化物添加土壌における酸化還元電位と湛水直播水稻の苗立ちとの関係. 日作紀 54 (別1): 24-25.
- 久保寺秀夫・山田一郎 1997. 極表層土壌の物理性が直播水稻種子の発芽に及ぼす影響. 土肥誌講演要旨集 43: 3.
- 楠田宰・古畑昌巳・三原実 1998. 点播水稻における稲体窒素含有率が籾生産と収量性に及ぼす影響. 日作紀 67 (別2): 72-73.
- 小山豊・深山政治 1987. 湛水土中直播栽培における酸素供給資材「新OK3号」の効果. 第1報 各種条件における出芽・苗立に及ぼす影響. 日作紀 56 (別1): 28-29.
- 丸山幸夫 2001. 直播水稻の栽培技術—水管理—, 「農業技術体系作物編2 イネ. 基礎技術編」追録 23号: 技402の1の8.
- 丸山幸夫 2002. 水稻栽培技術の現状と展望. 食糧月報 7: 38-46.
- 増岡彩子・高橋久光・太田保夫 1998. 培地の硬度の差異がイネの初期生育に及ぼす影響. 日作紀 67 (別1): 6-7.
- 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.
- 三宅博・前田英三 1973. イネ葉身における維管束鞘内葉緑体の発達について. 日作紀 42 (別2): 107-108.
- 中嶋泰則・関稔・高橋成徳 1996. 酸素発生剤と粘土の混合種子被覆による湛水直播水稻の出芽促進. 日作紀 65: 430-436.
- 中村喜彰 1976. 湛水直播用コーティング種子の基礎的研究. 農機誌 38: 75-78.
- 小川正巳・太田保夫 1973. 水稻の直播栽培におけるカルパーとタチガレンの混用処理効果. 農及園 48: 1297-1300.
- 大場茂明 1997. 落水出芽法の由来. 農業技術 52: 33-34.
- 太田保夫・中山正義 1970. 湛水条件における水稻種子の発芽におよぼす過酸化石灰粉衣処理の影響. 日作紀 39: 535-536.
- 大塚一雄・田村真美・鈴木計司 1988. 稲麦二毛作北限地帯における小麦跡湛直栽培に関する研究. 第2報 麦跡湛直の出芽苗立確保. 日作紀 57 (別1): 283-284.
- 斎藤万之助・川口桂三郎 1971. 水田土壌の凝集性. 第1報 稲作期間中における水田作土の物理性の経時的変化. 土肥誌 42: 1-6.
- 佐藤勉・畠山武・中谷治夫 1974. 水稻の埋没直播栽培に関する研究. 第1報 CaO<sub>2</sub> 粉衣種子の出芽におよぼす気温と埋没深度の影響. 日作紀 43 (別2): 165-166.
- Sato, T. and S. Maruyama 2002. Seedling emergence and establishment under drained conditions in rice direct-sown into puddled and leveled



- soil - Effect of calcium peroxide seed coating and sowing depth -. Plant Prod. Sci. 5 : 71-76.
- 下坪訓次・富樫辰志 1996a. 水稻の代かき同時土中直播栽培に関する研究. 1 点播直播について (予報). 日作紀 65 (別 1) : 12-13.
- 下坪訓次・富樫辰志 1996b. 水稻の代かき同時土中直播栽培の確立に関する研究. 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.
- 高橋久光・増岡彩子・太田保夫 1998. 湛水土壤中直播栽培における落水処理がイネの初期生育および収量に及ぼす影響. 日作紀 67 (別 1) : 252-253.
- 田中英彦・山崎信弘・天野高久 1986. 直播水稻の苗立率に及ぼす播種深度と過酸化石灰被覆量の影響. 日作紀 55 (別 2) : 29-30.
- 富樫辰志・下坪訓次・吉永悟志 2001. 水稻代かき同時打込み点播機の作業性能および栽培特性. 農作業研究 36 : 195-203.
- 山田登 1951. 過酸化石灰による酸素の供給 (予報). 日作紀 21 (別 1) : 65-66.
- 山内稔 1997. 湛水土壤中における直播水稻の苗立ち. 土肥誌 68 : 467-476.
- 吉永悟志・下坪訓次・富樫辰志 1997a. 水稻の代かき同時土中直播栽培の確立に関する研究. 3 点播水稻の生育特性. 日作紀 66 (別 1) : 14-15.
- 吉永悟志・富樫辰志・脇本賢三・下坪訓次 1997b. 水稻の代かき同時土中直播栽培の確立に関する研究. 4 播種後の水管理が出芽・苗立ちに及ぼす影響. 日作紀 66 (別 2) : 3-4.
- 吉永悟志・脇本賢三・富樫辰志・田坂幸平 2000. 土中出芽性向上のための酸素供給剤被覆水稻種子の乾燥および貯蔵条件. 日作紀 69 : 146-152.
- 吉永悟志・脇本賢三・田坂幸平・松島憲一・富樫辰志・下坪訓次 2001. 打込み式代かき同時土中点播栽培による湛水直播水稻の耐倒伏性向上 - 播種様式および苗立ち密度が耐倒伏性に及ぼす影響 -. 日作紀 70 : 186-193.
- 吉永悟志・竹牟礼稜・脇本賢三・田坂幸平・松島憲一・下坪訓次 2002. 暖地の湛水直播栽培における土中点播水稻の生育特性 - 後期重点施肥による生育特性の変化と収量性の向上 -. 日作紀 71 : 328-334.

**Influence of Draining after Direct Seeding of Rice under Submerged Conditions on Seedling Emergence and Establishment in Relation to Three-Phase Structure of Soil:** Masami FURUHATA\*, Osamu KUSUDA and Akira FUKUSHIMA (*Natl. Agr. Res. Cent. for Kyushu Okinawa Region, Chikugo 833-0041, Japan*)

**Abstract :** The effects of draining after submerged direct seeding were investigated in pot experiments to improve emergence and establishment of rice seedlings in the new direct seeding method using a "shooting hill-seeder". By draining flooded water after sowing rice seeds coated with calcium peroxide into puddled soil, the paddy surface soil was contracted and the solid phase increased with the decrease in soil water (liquid phase) resulting in the change in soil structure, and thus the air permeability of the soil was increased due to the increased air phase. In the pots after draining coleoptiles and the first leaves (incomplete leaves) of rice seedlings stopped elongating soon after seedling emergence and the emergence and growth of the second leaves followed immediately. Dry weights of the shoots and roots in drained pots were higher than those in flooded pots. Under the flooded water condition, the soil structure and air permeability of the surface soil did not change, and the coleoptiles and the first leaves of seedlings continued to elongate after seedling emergence, resulting in delayed growth of the second leaves. These results suggest that the increase of air permeability in the surface soil after draining improved the early growth of rice seedlings. Drainage of flooded water, therefore, would contribute to stabilize emergence and establishment of seedlings in submerged direct seeding of rice.

**Key words :** Coleoptile, Drainage of flooded water, First leaf, Rice, Seedling emergence, Seedling establishment, Submerged direct seeding.