強粘質水田土壌の物理・化学的特性と生産力向上に関する研究

III．水管理法の改善が水稲の収量性に及ぼす影響*

前田　要**　南　松雄**

Studies on Physical and Chemical Properties and Improvement of Soil Productivities in Heavy Clayey Paddy Fields

III. Effect of improvement of drainage and irrigation water management on productivity of rice plants

Kaname MAEDA and Matsuo MINAMI

強粘質で透水不良なグライ低地土とグライ台地土で排水法と水管理法の相違が水稲の生育・収量・品質などに及ぼす影響を透水良好な褐色低地土と対比して検討した。

透水不良なグライ低地土とグライ台地土では籾殻心土破砕と籾殻暗渠の施行によって水稲の初期生育並びに登熟性が向上し，玄米収量も従来の土管暗渠を上回った。

つぎに，登熟期における水管理技術としての落水時期の早晩と収量性の関係では，両土壌とも出穂期落水＞出穂7日後落水＞出穂14日後落水の順に落水時期が早いほど登熟歩合が高く，玄米重が増加した。また，中干しも出穂期落水に匹敵する効果を示した。

一方，透水良好な褐色低地土では収量・品質的にみて出穂21日後の落水が最もまさり，早期落水及び中干しでは登熟・品質面で劣った。

また，湛水期間中の中干し強度は水稲の水分代謝並びに落水後の地耐力増強の面よりみてpF 2.0前後に保つのが理想的である。

なお，登熟過程で水稲籾の正常な発育を充たす土壌水分の下限はグライ低地土でpF 2.3，褐色低地土でpF 2.1前後であることが推察された。

I　緒　　言

筆者らは，先に北海道上川支庁管内に広く分布する強粘質水田の透水性不良の要因解析を行い，低地強粘質水田のように地下水位が高く，孔隙の絶対量が多いにもかかわらず膨潤水と2価鉄の高い和水性のために透水性を不良にしている場合と，台地強粘質水田のように下層土が緊密で，孔隙の絶対量の不足が透水性の低下を招く場合とに大別されることを明らかにし，さらに，土壌の物理・工学的な性質が自然含水比の差異によって著しく変動することを解明した。また，この種水田では地表面水の排除を円滑にし，土壌の乾燥化を図る方策が非湛水期間での土壌構造の生成・発達・安定化と大型機械の走行性並びに易耕性を高

1978年8月11日受理

* 本報の一部は，日本土壌肥料学会北海道支部大会（1976，12）で発表した。

** 北海道立上川農業試験場，旭川市永山町

めるうえできわめて重要な要因であることを指摘し，そのための具体的な改良手段として籾殻埋めもどし土管暗渠，籾殻挿入による心土破砕などの農業土木的な排水法改善処理と中干し（止葉展開期～出穂期）及び出穂期落水を組入れた栽培技術的な水管理法の導入が有効であることを報告した[14,15]。

一方，水田における水を主要な環境因子の一つとしてみた場合，水生植物である水稲にとって水は必要不可欠の要素であり，かつ，水そのものも作物体内における各種の生理作用を規制する因子として重要である。また，水稲の収量，米質については，稲作の全期間を通じて影響する条件は数多いが，これらの中でも水管理の良否が大きな要因として取り上げられる。とくに，登熟期間の水管理は水稲の収量及び品質に大きく影響する技術であることが確認されており，一般に落水期が早すぎて急激に土壌水分が不足した場合には葉身の水分代謝及び同化作用が減退し，穂への炭水化物の移行が阻害されて米粒の発育が不良になり登熟が悪化し，収量・品質低下を招くことがよく知られている[4,6,9,16]。

さらに，近年の稲作栽培における水田の水管理は土壌及び栽培条件を無視した画一的・粗放化の傾向にあり，このことが収量や米質の変動を大きくしている要因の一つとなっている。

以上のことから，落水後の圃場乾燥化を図る際には収穫機械走行可能な圃場条件の確保に加え，登熟期における水稲籾の正常な発育に支障のない土壌水分の許容範囲を的確に把握する必要があるものと考える。

そこで筆者らは，強粘質で透水性不良な水田（グライ低地土，グライ台地土）において農業土木的な排水法改善処理と栽培技術的な水管理法の相違が水稲の生育・収量・品質などに及ぼす影響を透水性良好な水田（褐色低地土）と対比し，水稲の栽培法及び土壌の特徴に即した水管理技術を検討した結果について報告する。

本報告は北海道立上川農業試験場長森哲郎氏，北海道立中央農業試験場化学部長後藤計二氏，同環境保全部長奥村純一氏にご校閲をいただいた。

また，北海道立上川農業試験場土壌肥料科の研究員諸氏には多くの助力を得た。筆者らは以上の各位に厚く謝意を表する。

II 試験方法

1．供試水田の特徴

供試水田は北海道上川支庁管内の低地に分布するグライ地土（上川郡鷹栖町）と台地に分布するグライ台地土（旭川市神楽町）の２水田で，基盤整備後の年数は異なるが，いずれも透水不良な強粘質水田であり，土管暗渠施行にもかかわらず圃場排水は極めて劣悪である。

また，土壌物理・工学的には微粒質で粘着性及び凝集力が強く，易耕性が劣る。供試２水田の土壌断面形態，物理・化学・工学特性については前報[14]でのべたとおりである。

また，比較対照に供試した褐色低地土（旭川市永山，道立上川農業試験場）は腐植に富む火山灰を母材とした中粒質な河成堆積物で易耕性がよく，かつ，53 cm 以下には砂礫層が出現する透水良好な水田である[13]。

2．試験処理内容

透水性不良なグライ低地土とグライ台地土の土壌乾燥化を図る農業土木的な排水法改善処理として，土埋めもどし土管暗渠（慣行），籾殻埋めもどし土管暗渠及び土埋めもどし土管暗渠と籾殻挿入心土破砕の併用（以下順に土管暗渠，籾殻暗渠，籾殻心土破砕と略称する）処理を設け，また，栽培技術的な水管理法としては中干し（止葉展開期～出穂始）と落水時期の早晩（出穂期落水，同７日後落水，同 14 日後落水）を設定した。一方，比較対照に供試した褐色低地土では栽培技術的な水管理法，すなわち中干しと出穂後の落水処理（出穂７日後落水，同 14 日後落水，同 21 日後落水）を行った。なお，施肥量並びに耕種概要など詳細な内容については表１（その１，その２）に示した。

III 試験結果

1．排水法改善処理が水稲の初期生育並びに収量，品質に及ぼす影響

透水性不良なグライ低地土とグライ台地土の両土壌で，排水法改善処理（土管暗渠，籾殻暗渠，籾殻心土破砕）が水稲の生育，収量及び品質などに及ぼす影響について検討した結果を表２及び図１に示した。

まず，生育・収量面についてみると，両土壌とも籾殻暗渠及び籾殻心土破砕は慣行の土管暗渠に較べ水稲の初期生育が良好で，穂数及び総籾数などの収量構成要素がまさっており，玄米収量も2～9%程度増収している。

とくに，圃場全体の地下水位が高いグライ低地土では籾殻暗渠の効果が高く，また，下層にち密な不透水層をもつグライ台地土では籾殻心土破砕の効果がより明瞭である。

つぎに，米の品質との関係についてみると，玄米の外観的な総合評価値を示す検査等級では処理間での一定の傾向は認められないが，土管暗渠に較べ籾殻暗渠と籾殻心土破砕では精玄米中に占める青米割合が少なく，玄米の粒厚が大粒化し，明らかに登熟性の向上をもたらしている。

一方，稲作期間中の土壌状態をみると（表3），両土壌とも籾殻心土破砕は従来の土管暗渠に較べ耕起・砕土時及び収穫時の土壌乾燥が良好であり，かつ，湛水条件下にあっては活性2価鉄溶出量と土壌溶液のN/100過マンガン酸カリウム消費量（還元容量）の低下をもたらしており，明らかに土壌の還元化を緩和させる傾向が見受けられる。

以上の結果から，籾殻暗渠及び籾殻心土破砕は従来の土管暗渠に較べ土壌の乾燥化を促進し，酸化的にする効果が高いと同時に，湛水期間中にあっては土壌還元の発達を緩和し，水稲の初期生育促進と登熟性の向上に寄与する度合が高いものと判断される。

表1　試験処理の内容　（その1）

土壌	試験場所	試験年次	排水法改善処理			水管理法※				
			土管暗渠	籾殻暗渠	籾殻心土破砕	出穂後の落水時間				中干し（止葉展開期～出穂始）
						0	7日	14日	21日	
グライ低地土	上川郡鷹栖町	1974～1976	○	○	○	○	○	○	－	○
グライ台地土	旭川市神楽町	1974～1975	○	○	○	○	○	○	－	○
褐色低地土	旭川市永山	1974～1976	－	－	－	－	○	○	○	○

（その2）

土壌	施肥量（kg／a）			移植期（月．日）	出穂期（月．日）	収穫期（月．日）	供試品種
	N	P_2O_5	K_2O				
グライ低地土	0.64～0.75	1.46～1.72	0.63～0.75	5.21～5.24	8．4～8．5	9.18～9.22	イシカリ
グライ台地土	0.64	0.80	0.64	5.28～6．3	8．7～8.10	9.25～9.27	イシカリ
褐色低地土	0.80～0.90	0.80～0.90	0.60～0.68	5.23～5.25	7.31～8．2	9.16～9.20	イシカリ

注）　水管理法※：グライ低地土及びグライ台地土とも土管暗渠系列で実施。又，両土壌とも1975年には出穂14日後の落水処理は実施していない。
圃場整備及び土管暗渠，籾殻暗渠，籾殻心土破砕：前後[15]参照

表2　排水法改善処理の相違が生育・収量に及ぼす影響

（1975）

区別		7月7日		㎡当り		総重	わら重	精籾重	玄米		千粒重	青米歩合	登熟歩合
		草丈（cm）	茎数（本）	穂数（本）	総籾数（×100）	(kg/a)	(kg/a)	(kg/a)	収量(kg/a)	比（%）	（g）	（%）	（%）
グライ低地土	土管暗渠	46.8	24.4	552	244	128.1	62.9	57.3	48.2	100	21.2	0.1	80.0
	籾殻心土破砕	46.9	29.4	573	257	130.8	63.1	58.3	48.9	102	21.6	0.3	81.1
	籾殻暗渠	48.9	27.8	568	252	135.1	67.6	60.0	50.3	104	21.5	0.2	84.1
グライ台地土	土管暗渠	42.4	21.3	472	329	118.3	47.0	60.4	50.2	100	21.1	3.3	79.1
	籾殻心土破砕	45.8	24.2	484	341	120.6	47.1	65.3	54.6	109	20.9	2.7	83.0
	籾殻暗渠	43.8	22.5	488	350	118.9	48.3	61.8	51.7	103	21.8	3.1	79.7

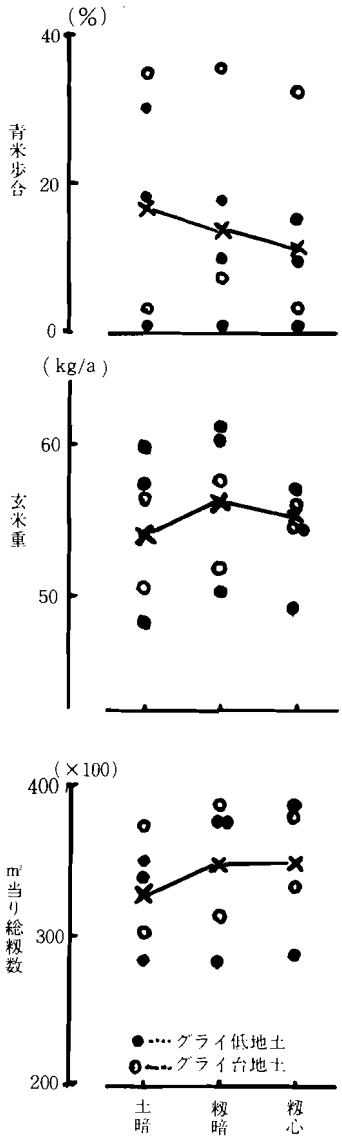

図1　排水法改善処理と玄米重，青米歩合及び総籾数の関係

注）　×印は1974～1976の3ヶ年平均値

2．水管理法と玄米収量及び品質の関係

一般に，水管理には根圏の環境改善，土壌養分の調整，さらには稲体の養分吸収の制御などの機能が期待されるものである。そのことから考えると水稲栽培における水管理の技術はある特定の時期に限られた部分的な技術としてではなく，稲作全期間に亘る一貫した技術として水稲の生育状況，土壌環境並びに立地条件に応じて検討する必要性があるものと考えるが，ここでは落水後の圃場乾燥化をねらいとした水管理法（中干し，登熟期の水管理）の違いが水稲の収量，品質などに及ぼす影響についてのべる。

最初に，登熟期における水管理技術の一つとして落水時期の早晩が収量性に及ぼす影響をみると（表4，図2），落水後の地表面水の排除が困難なグライ低地土とグライ台地土では早期の落水，すなわち出穂期落水が他のいずれの落水時期に較べ穂数及び総籾数が多く，玄米収量は最も高い。落水処理後に降雨量が多く，明瞭な成績が得られなかった年もあったが，傾向的にはグライ低地土で認められ，玄米重及び登熟歩合はいずれも出穂期落水＞出穂7日後落水＞出穂14日後落水の順に高まっている。また，湛水期間における水管理技術の一つとして止葉展開期から出穂始にかけて排水し，地表面の乾燥化を図る中干しの影響をみると，何れも同一落水時期（出穂7日後落水，同14日後落水）に比較し登熟歩合及び玄米量が高く，出穂期落水に匹敵する内容を示している。

一方，落水後の土壌乾燥が急激に進行する褐色低地土では，出穂7日後の落水は遅く落水した21日後落水に較べわら重，穂数，総籾数並びに登熟歩合が何れも著しく低下しており，玄米収量も17%の減収となっている。また，全般的に落水時期の早期化は米粒の発育を阻害し，小粒化をもたらす傾向にある。なお，中干しの効果は玄米収量の面では出穂14日後落水及び21日後落水とほぼ同程度であるが，内容的には登熟歩合が8%程低

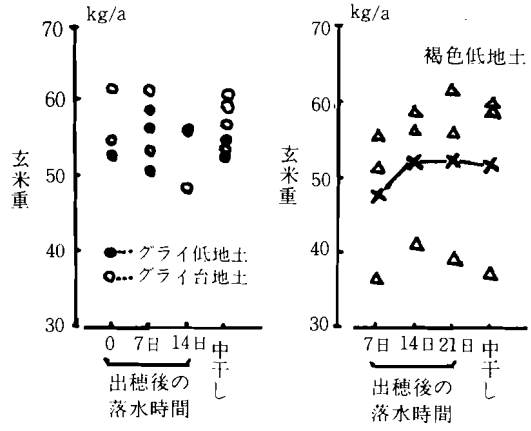

図2　落水時期と玄米重の関係

注）　×印は1974～1976の3ヶ年平均値

下し，かつ，米粒が小粒化するなど登熟期における水稲籾の発育にとって不利な面が強い。

以上のことから，登熟期における落水時期の早晩及び湛水期間中の落水処理（中干し）が水稲の収量性，品質面に与える影響は土壌の種類，とくに土壌の透水性の良否と密接に関係している様子がうかがわれ，強粘質で透水性不良な水田では出穂期から出穂7日後の早期落水でも水稲体内の水分代謝と籾の正常な発育に必要な土壌水分は十分に確保されるものと考えられる。

3．中干しによる土壌水分の消長と水稲体の水分代謝の関係

試験1，2では，農業土木的な排水法改善処理並びに栽培技術的な水管理法の相違が水稲の収量性，品質面などに与える影響についてのべ，強粘質な透水不良田では落水後の土壌乾燥化と収量，品質間に有意な関係のあることを明らかにした。ここでは中干しによる土壌水分の消長と水稲体の水分代謝の関係を検討した結果についてのべる。

まず，グライ低地土と褐色低地土の両圃場で中干しに伴う土壌の乾燥化過程と土壌含水比，pF，容気度並びにキレツ生成などの関係についてみると（図3，図4），作土層の大部分が泥状化した厚い和水膨潤層で占められているグライ低地土では落水後の地表面の消失がきわめて緩慢であり，溝切り機によって作構した場合でも落水7日後にようやく地表面に初期キレツの生成が認められる程度で（pF 1.5，含水比67%），さらに脱水が進みpF 2.0（含水比61%）に達すると比較的大きなキレツが生成し，容気度が急激に増加する傾向にあった。

表3　排水法改善処理の相違が土壌環境に及ぼす影響

（1975）

区別		耕起前（5月7日）				湛水時（6月19日）			収穫後（10月4日）		
		含水比	3相組成（%）			活性 $Fe^{(II)}$	$N/100KMnO_4$ 消費量	Eh_6	含水比	塑性	コンシステンシー
		(%)	固相	液相	気相	(mg)	(mℓ)	(mV)	(%)	指数	指数
低地土	土管暗渠	80.9	30.0	66.8	3.2	139.8	348.5	−45	68.2	41.4	0.46
グライ	籾殻心土破砕	72.5	31.4	63.1	5.5	18.9	123.6	+43	62.3	36.1	0.58
台地土	土管暗渠	74.9	31.0	63.0	6.0	189.4	348.8	−175	65.3	33.4	0.27
グライ	籾殻心土破砕	63.3	34.1	58.7	7.2	76.8	177.6	−55	53.0	31.7	0.68

表4　落水時期の相違が玄米収量及び品質に及ぼす影響

区別		m²当り		総重	玄米		2.0 mm以上の玄米		屑米重	千粒重	1ℓ重	青米歩合	登熟歩合	検査等級
		穂数（本）	総籾数（×100）	(kg/a)	収量 (kg/a)	比 (%)	収量 (kg/a)	比 (%)	(kg/a)	(g)	(g)	(%)	(%)	
グライ低地土（1976）	出穂期落水	648	338	153.6	62.4	116	58.7	118	0.65	22.0	805	30.4	74.3	5中上
	〃 7日後落水	622	317	133.8	57.0	106	53.2	107	0.56	21.1	824	30.0	68.8	5上
	〃 14日後落水	604	308	120.7	53.6	100	49.9	100	0.56	22.7	815	25.8	61.4	5中下
	〃 〃（中干し）	663	341	141.7	60.1	112	56.0	112	0.53	22.5	801	25.6	77.3	5中上
グライ台地土（1975）	出穂期落水	489	327	121.7	52.9	105	45.0	108	0.54	22.2	808	5.0	80.6	3中
	〃 7日後落水	472	320	118.3	50.2	100	41.8	100	0.42	21.1	781	3.3	79.1	3中下
	〃 〃（中干し）	507	328	117.4	52.6	105	44.9	107	0.32	21.2	806	0.9	81.8	3中上
褐色低地土（1976）	出穂7日後落水	475	281	113.2	51.3	83	42.3	79	0.44	20.8	800	5.7	61.2	4上
	〃 14日後落水	537	328	126.8	56.2	91	45.7	86	1.17	20.5	787	15.2	65.1	4中上
	〃 21日後落水	568	358	137.9	61.8	100	53.3	100	0.80	20.9	800	17.1	77.5	4中上
	〃 〃（中干し）	593	353	127.9	59.6	100	47.0	88	1.02	20.7	796	6.2	66.2	4中下

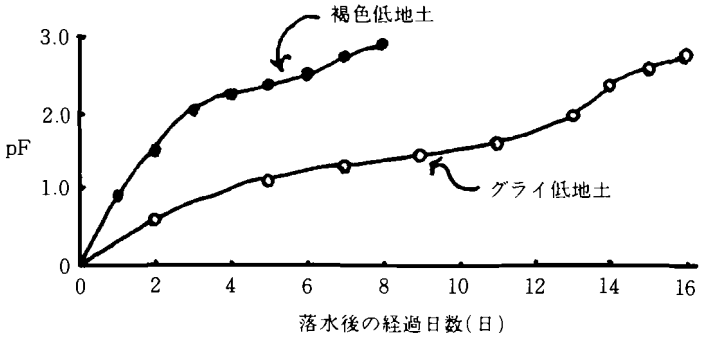

図 3　中干しによる落水後の土壌pF の推移

注）　測定位置：地中深 5 cm

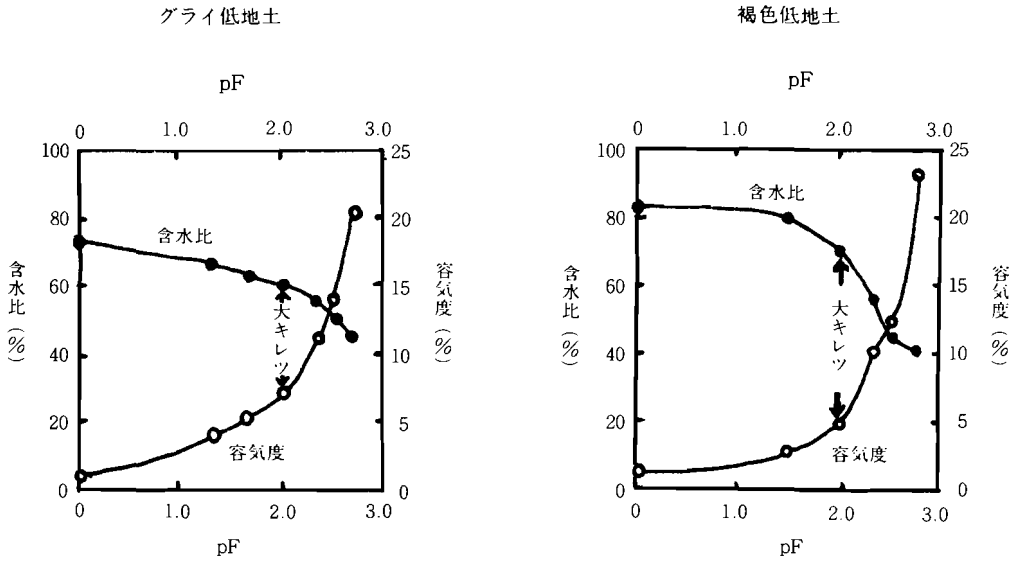

図 4　pF と含水比及び容気度の関係

注）　測定位置：地中深 5 cm

一方，透水性良好な褐色低地土では落水後の地表面水の消失が早く，落水 3 日後には pF 1.7（含水比 72%）に達し，地表面に初期キレツの生成が開始され，4 日後には大キレツの生成（pF 2.0，含水比 68%）が認められるなど土壌の脱水過程が急速である。また，pF 2.7 以上に達し，圃場での構造収縮がほぼ完了したと思われるに要した日数は褐色低地土で 7 日間，グライ低地土で 15 日間であり，土壌間差異がきわめて大きい。

以上のように，湛水期間中の落水（中干し）が土壌の乾燥化に及ぼす影響は土壌の種類によって異なることを認めたが，つぎに褐色低地土で中干し期間中の土壌水分の消長と水稲葉身の相対膨潤度（RT）の関係をみると（表 5），pF 2.0 前後（落水後 3 日目）では落水区と常時湛水区間での差異はほとんど認められないが，土壌水分がさらに減少し，田面に大キレツ生成によって水稲根の切断が観察された pF 2.75（含水比 44.9%）の低水分条件下では湛水区に較べ落水区では葉身の水分が著しく低下し，RT は 11%も減少している。このことは，pF 2.75 付近の低水分条件が持続した場合には水稲葉身の水分蒸散量が土壌からの水分供給

量を著しく上回るため，水稲体の円滑な栄養生長，同化作用に支障をきたすことを示唆している。

従って，湛水期間中の落水（中干し）の程度，期間は水稲体の水分代謝と土壌透水性の良否を充分考慮して実施すべきものであろう。

4．落水後の土壌水分の消長と水稲体の水分代謝の関係

落水後の土壌水分の消長はその後の気象条件，とくに降雨量や連続降雨日数などによって大幅に変動するものと考えられるが，一例として褐色低地土における落水時期の早晩と土壌水分pF値の関係をみると，結果を図5に示すように，出穂7日後落水は出穂21日後落水に較べpF値が終始高く推移する傾向にある。また，同じ出穂21日後落水でも中干しを併用した場合には落水時期が出穂21日目にもかかわらず出穂7日後落水区を上回る土壌の乾燥度合を示した。このことはpF 2.0以上の比較的強度な乾燥によって形成された大キレツは再湛水後も存在し，落水後の土壌水の排除に大きな役割をはたしており，収穫時までにかなりの土壌乾燥が期待される。

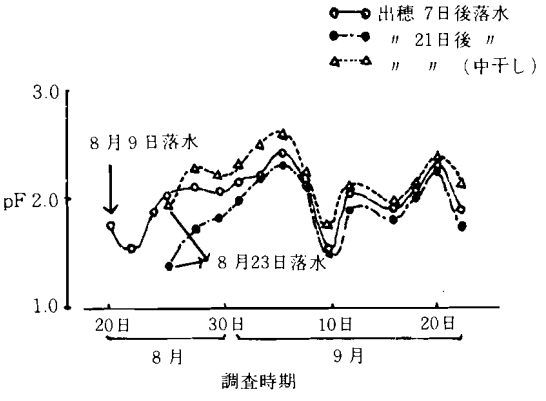

図5　落水後の土壌pFの推移（1976，褐色低地土）

注）　測定位置：地中深5cm

表5　土壌水分とRTの関係

（1974，褐色低地土）

調査時期	区名	含水比*（%）	pF*	葉身重（g／株） 新鮮葉	飽水葉	乾物葉	RT	同比（%）
7月22日（中干し3日後）	湛水区	>82.9	0 >	11.6	12.6	3.4	89.1	100
	中干し区	68.3	2.05	11.6	12.6	3.3	89.2	100
7月26日（中干し7日後）	湛水区	>82.9	0 >	12.8	12.6	3.6	92.9	100
	中干し区	44.9	2.75	11.6	13.5	3.4	82.8	89

注）　含水比*，pF*：地表より5cm下の値

$$RT\ （葉の相対膨潤度）=\frac{（新鮮葉重-乾物葉重）}{（飽水葉重-乾物葉重）}\times 100$$

表6　登熟期における稲体の部位別含水率の推移

（1976，褐色低地土）

区別		乾物重（g／m²） 8月17日	8月25日	8月31日	9月6日	9月16日	部位別水分含量（%） 8月17日	8月25日	8月31日	9月6日	9月16日
出穂7日後落水	穂	169.8	300.8	448.4	581.6	602.7	58.3	50.3	41.4	32.1	29.0
	1L	33.1	35.3	28.0	26.8	27.8	60.8	63.9	64.2	65.2	64.3
	2L	40.6	41.1	28.1	25.9	24.4	67.9	68.3	67.6	69.4	60.0
	3L	27.5	25.5	21.4	17.4	22.2	70.8	66.2	54.1	38.3	13.0
出穂21日後落水	穂	243.0	357.4	620.5	637.1	708.2	55.6	53.7	41.3	36.0	28.7
	1L	55.3	54.3	57.8	44.5	42.2	62.8	62.1	71.4	63.5	62.4
	2L	59.3	57.7	54.9	46.1	40.0	68.6	69.0	75.6	70.3	65.1
	3L	38.5	39.5	25.0	30.5	20.0	71.8	68.5	61.9	63.4	30.8

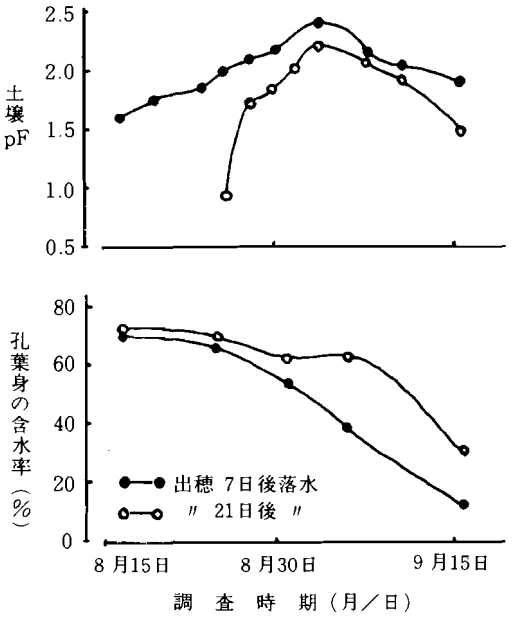

図6　落水時期と土壌pF及び孔葉身含水率の関係(1976，褐色低地土)

つぎに，落水時期の早晩が登熟期における水稲体の部位別含水率に及ぼす影響を褐色低地土でみると（表6，図6），水稲体の穂及び葉身の含水率は落水時期が早く，pF 値の高い方が低い傾向にあり，出穂7日後落水区は 21 日後落水区に較べ各部位とも含水率が低く，とくに，止葉－2葉（3L葉身）の含水率が著しく低下しているのが注目される。

また，圃場観察でも出穂7日後落水区は 21 日後落水区に較べ葉身の枯れ上りが著しかった。

なお，グライ低地土ではいずれの処理でも pF 2.1 以上の土壌乾燥が得られなかったため前記のような有意な関係は認められなかった。

Ⅳ　考察および論議

一般に，透水不良な湿田における水稲の生育過程は，初期生育の不良と生育遅延による登熟性の悪化によって特徴づけられており[2,20]，この種土壌では排水法の改善と水稲の初期生育促進化技術が最も重要視されている。そのため，湿田土壌では土壌の透水性と関連づけた研究が数多く報告されている[7,8,10,11,12,17,18]。

湿田において透水性を高めることは地温の上昇，有害物質の排除，さらには酸素供給による水稲根の健全化と初期生育の促進を図るうえで重要であるものと考える。このことに関して石原[3]は水の通水性は主に土壌中に発生する有害物質を除去して水稲根の生理活性を高め，幼穂形成期以降の地上部の生育を促進して登熟歩合を高める効果が大きいとし，さらに滝嶋[11]は泥炭地水田における排水処理は無排水（常時湛水）に較べ根の伸長がよく，初期生育が著しく旺盛になることを認めている。本試験では，籾殻心土破砕及び暗渠の効果は従来の土管暗渠に較べて融雪後及び落水後の地表面水の円滑な消失とキレツの生成を早め，圃場全体の乾燥化も比較的下層に及ぼしていた。その結果，湛水期間中の土壌還元発達程度も土管暗渠に較べると常に軽微に推移し，水稲の初期生育も旺盛であった。結局，排水促進に伴なう土壌乾燥の良化が初期生育の促進と登熟性の向上，さらには玄米収量の増加をもたらしたものと考える。

登熟期間における水管理は土壌・立地条件，気象条件並びに栽培条件などを考慮し，登熟完了までは充分な土壌水分の供給が必要であろう。とくに，落水の適期は登熟の状態を充分に把握して決定すべきである。

一方，出穂期以降の水管理には根の環境良化が期待され，水稲根の生理活性面の向上と光合成能力を高めるためにも土壌的には酸化状態が望しく，そのためには登熟に必要な土壌水分さえ確保されれば必ずしも湛水の必要はないものと考える。とくに，強粘質な透水不良田では落水後の地表面水の消失が悪く水稲の登熟遅延や収穫作業の低下を招来するため早期での落水が要求され，ここに落水適期の把握が必要となる。

一般に，米粒澱粉の蓄積は登熟期間の温度条件によって異なるが，開花後 20 日頃でほぼ完了することが知られており，登熟過程からみた標準的な落水の適期は寒地で出穂後 25～30 日，暖地で 30～35 日と言われている[6]。また，大竹・芳賀[4]は，出穂後の落水時期と収量・品質の関係を検討し，早期落水は適期落水に較べ収量・品質がいずれも劣ることを認めており，収穫機械の走行を加味した落水の適期は出穂後 30 日としている。筆者らの結果では，落水後の地表面水の消失がきわめて緩慢なグライ低地土とグライ台地土では出穂期から出穂7日後にかけての落水が登熟・収量性とも最

もまさり，しかも出穂期落水では収穫時にほぼ大型収穫機械走行可能な圃場条件を満していた[15]。一方，落水後の土壌水分の消失が急激な褐色低地土では，出穂21日後の落水が収量，登熟面とも最も優位な関係にあった。以上のように，落水の適期は土壌環境，とくに土壌排水能の良否によって異るものであり，一概に規定できないものと考えるが，基本的には落水後の土壌水分の消長と水稲の登熟状態を考慮して決定すべきものであろう。

湛水期間における水管理法の一つである中干しについての論議は多いが，実施時期，期間及び程度などについては目的によって差異がみられる[1]。木根淵[6]は，水稲の生育調節をねらいとした中干しについて検討し，一般的な中干しは最高分けつ期を中心とした無効分けつ期から分けつ減退期にかけて行うのが効果的であるとし，さらに村上[19]は，中干しは稲の一生の中で最も低水分に耐える有効分けつ期以降から幼穂形成期にかけて行うのが理想的で，その程度は最大容水量の60～80%が適当であると報告している。本試験では，中干しの主眼を登熟期における地耐力増強と登熟性の向上面におき，冷害危険期後の止葉展開期から出穂始に実施したが，強粘質な透水不良田（グライ低地土，グライ台地土）では，7～10日間の中干し期間にpF 2.0以上の強度な土壌乾燥を得るためには作溝などの補助排水を伴なう必要があるのに対し，透水良好田（褐色低地土）ではきわめて容易で，ほぼ4日間の排水処理でpF 2.0以上に達した。また，褐色低地土では，pF 2.75以上（含水比で45%以下）のきわめて強い中干しによって，水稲葉身の相対膨潤度（RT）が低下する現象が認められたが，これは明らかに水稲葉身の水分蒸散量が土壌からの水分供給量を上回ったためと推定される。このことに関しては，大山・坂井[5]もpF 1.7付近からの高pF域では根の吸水量が土壌からの供給水量を上回ることを確認している。

つぎに，土壌水分と水稲籾の登熟の関係について考察してみると，木根淵[6]は水稲栽培面の立場から，登熟期間中において籾の正常な発育を充たす土壌水分の下限は最大容水量の80～90%であり，さらに60～70%以下に急激に低下すると作物体への水分供給が悪化し，登熟が阻害されると報告している。筆者らが，土壌含水比及びpFの面から検討した結果をこれらの関係にあてはめてみると図7のようになり，登熟過程で籾の正常な発育を充たす土壌の含水比はグライ低地土で58%以上（pF 2.3以下），褐色低地土では66%以上（pF 2.1以下）となり，この時の土壌のコンシステンシー指数（Ic）は各々0.5前後[14]に相当している。一方，登熟阻害に転ずる土壌含水比はグライ低地土で43～50%（pF 2.5以上），褐色低地土では49～57%（pF 2.4以上）であり，これらの値はいず

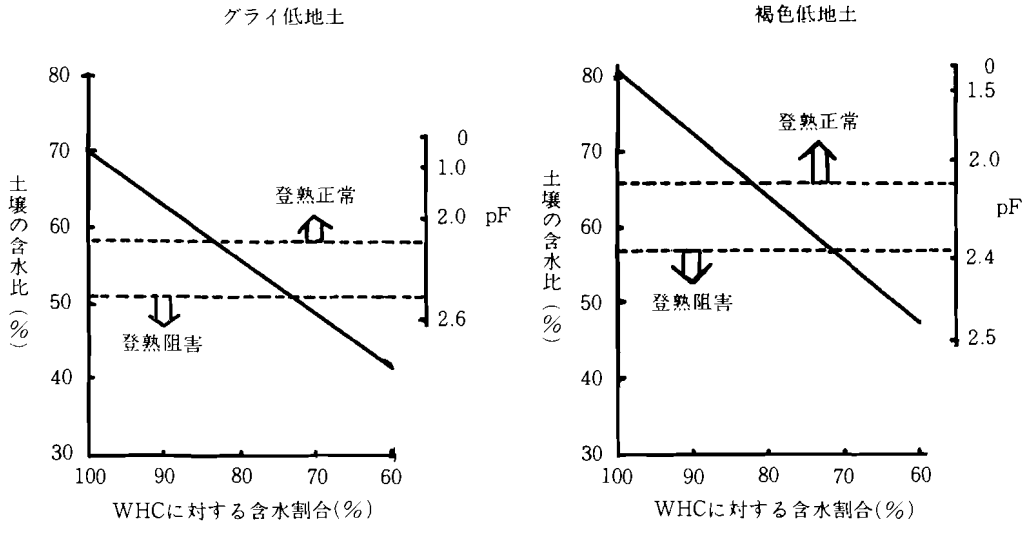

図7　水稲籾の登熟面からみたWHC（最大容水量）と含水比の模式図

れも圃場容水量（pF 1.5～2.7）の上限に位置していることがわかる。

なお，本試験では中干しの強度と土壌養分の関係，水稲の養分吸収過程と落水時期の関係，さらには地温，降雨量と水管理の関連性などについて触れなかったが，これらの点に関しては今後検討する必要があろう。

引用文献

1) 飯田一郎．“多収穫水田の水管理”．農及園．**44**，1083－1086（1969）．
2) 石沢修一，江川友治，村山登監修．“土壌肥料新技術”．技報堂．1969，p. 27－28．
3) 石原邦．“透水と水稲の生育について”．土壌の物理性．**16**，22－26（1969）．
4) 大竹俊博，芳賀静雄．“稲作登熟期における水管理と米の品質”．農及園．**51**，995－998（1976）．
5) 大山信雄，坂井弘．“水管理による水田耕土の酸化還元状態の変化，第1報，現地高収水田の実態”．土肥誌．**42**，317－322（1971）．
6) 木根淵旨光．“水の管理と水稲の養分吸収”．農及園．**43**，1091－1094（1968）．
7) 香山俊秋ほか．“湿田における水管理に関する作物学的研究，Ⅳ，落水時期の相違が水稲根の外部形態及び内部形態に及ぼす影響”．日作紀．**27**，31－34（1959）．
8) ――――．“――――――――――――――――，Ⅵ，落水時期が水稲の分けつ発生に及ぼす影響”．日作紀．**29**，37－39（1961）．
9) 坂上行雄，井口卓平．“作物の干ばつと養分吸収に関する研究，第1報，水稲の養分吸収に及ぼす登熟期干ばつの影響”．土肥誌．**39**，171－175（1968）．
10) 滝嶋康夫．“泥炭地水田土壌に関する研究，第15報 排水時期の相違が水稲の生育，土壌成分の代謝，溶脱に及ぼす影響”．土肥誌．**30**，381－384（1959）．
11) ――――．“――――――――――――――――，第18報 土壌の水洗，排水処理が水稲の初期生育に及ぼす影響”．土肥誌．**30**，521－524（1960）．
12) ――――，塩島光洲，有田裕．“水田土壌中の有機酸代謝と水稲生育阻害性に関する研究，第2報 有機酸の根生長並に養分吸収阻害”．土肥誌．**31**，441－446（1960）．
13) 前田要．“粗大有機物連用水田土壌の物理特性について”．土壌の物理性．**30**，33－38（1974）．
14) ――，南松雄．“強粘質水田土壌の物理・化学的特性と生産力向上に関する研究，第1報 排水不良田土壌の物理・工学的解析”．道立農試集報．**35**，18－28（1976）．
15) ――，――．“――――――――――・――――――――――――――――，第2報 排水不良田の水管理”．道立農試集報．**37**，25－34（1977）．
16) 水管理研究会編．“水田の水管理と圃場整備”．地球出版．1972，p. 86－91．
17) 三井進午，熊沢喜久雄，向井登．“作物の養分吸収に関する動的研究，第22報，湿田土壌における有機酸の生成と水稲の生育に就て（その1）”．土肥誌．**30**，345－348（1959）．
18) ――――，――――，菱田孝．“――――――――――――――――，第23報，――――――――――――――――――――――――（その2）”．土肥誌．**30**，411－413（1959）．
19) 村上利男．“水稲多収栽培の水管理”．農業技術．**22**，205－210（1967）．
20) 渡辺公吉．“北海道の中央低湿地帯における窒素肥沃度と稲作りの対応”．土肥誌．**46**，286－291（1975）．

Studies on Physical and Chemical Properties and Improvement of Soil Productivities in Heavy Clayey Paddy Fields

III. Effect of improvement of drainage and irrigation water management on productivity of rice plants

Kaname MAEDA* and Matsuo MINAMI*

Summary

As part of studies on drainage acceleration techniques in ill-drained paddy fields, this paper deals with the effects of improvement of both drainage methods and irrigation water management on the growth and yields of paddy rice plants. Subjected to the studies were two ill-drained paddy fields, the one of gley lowland soil and the other of gley upland soil, and one well-drained paddy field of brown lowland soil.

Results obtained were summarized as follows :

1. In gley lowland soil and gley upland soil, compared with the drainage method by earthen pipe underdrainage, the method by rice-hull subsoil crushing and rice-hull underdrainage showed an evident effect on initial growth acceleration of rice plants, resulting in a remarkable increase in the percentage of ripened grains and yield of hulled rice.
2. In both the soils it was found that the time for draining surface water off to be most effective in the growth and yield of grains was in the heading stage, and that, furthermore drainage from the flag leaf development stage to the heading stage had a remarkable effect. Meanwhile, in the brown lowland soil the most effective time was found to be 21 days after the heading stage.
3. Both in ill-drained and well-drained paddy fields it was disclosed, moreover, that the most effective extent of midsummer drainage in the water metabolism of rice plants and trafficability of farm machinery after the surface drainage was when the soil moisture tention had the pF value of 2.0.
4. For the normal growth of grains in ripening stage, it was estimated, furthermore, that the higher extent of soil moisture tention had the pF values of 2.3 and 2.1 in gley lowland soil and brown lowland soil respectively.

* Hokkaido Prefectural Kamikawa Agricultural Experiment Station, Asahikawa, Hokkaido, 078−02 Japan.