

台地重粘土水田の低収要因解析*

橋本 均** 松原 一實*** 大垣 昭一**

台地重粘土（疑似グライ土）水田の水稲低収要因について、強粘質、排水不良の面で土壌的に類似する低地土（灰色低地土）水田と比較検討した。重粘土水田の水稲生育は低地土水田に比べ、初期生育不良で短稈少けつに推移し、稈実粒数が不足して低収になっている。前者は母材や堆積様式に起因して、土壌の理化学性が後者より劣り、特に有効養分が少く固相率も大きい。さらに湛水期の地温が低く土壌還元も強い。従って、これらの不良な理化学性が水稲の生育を全期にわたって抑制し、収量を低下させる主要な土壌的要因と考えられる。とくに、後半の生育が停滞する理由として、上述の要因の他に、下層土からの窒素供給が低地土水田に比べ著しく劣ることが判明した。この原因としては、下層土は有効養分が欠乏しかつ土壌硬度が極めて大きいため、根の伸長が阻害されるためと推定される。従って、下層土の不良な理化学性も収量を低下させる一因と考えられる。

緒 言

北海道の特殊不良土壌の1つとして知られる重粘土は、北海道の農牧地土壌分類（第2次案）⁶⁾の中分類による、疑似グライ土、グライ台地土にはほぼ相当している。これら重粘土に属する水田は、北海道全体では、水田総面積の9.6%に当たる24,000haを占め、そのうち空知管内には15,000haの分布がみられる⁸⁾。

重粘土水田を対象とした土壌肥料的な研究としては、1960年代後半からの農業基盤整備事業の進展に伴って惹起された問題点を扱ったものが多く、特に土地改良事業施工後の営農対策や、営農機械の大型化に伴う土壌改良資材施用⁹⁾、排水性改善^{16,18)}に関する研究が主なものである。しかし、水稲生育と直接関連づけて土壌の生産力因子としての化学的、物理的特性を扱った例は比較的少ない。また、この重粘土水田は、暗渠や心土破碎による排水性改善が必要な対象水田として、同

じく強粘質、排水性不良な土壌特性をもつ低地土水田と同様に扱われることが多く、水田土壌分類においても明確に区別がなされていない場合もあるが、水稲生産の面では、その低収性が従来から一般に指摘されている。従って、より高次の営農改善の基礎資料として、排水性改善以外の面での土壌肥料的な検討も必要と考えられる。

筆者らは、以上の観点から、1976年以来、重粘土水田の分布割合が高く、全水田の34%を占めている北空知管内の3町（沼田、北竜、雨竜）を対象として、重粘土水田の生産力特性と改善対策を明らかにする目的で、代表的な低地土水田として分布も広く、生産力も高い灰色低地土水田を比較対象としつつ、各種の調査、試験を行ってきた。そのうち、重粘土水田の分布と生産力の実態については、すでにその一部を報告したところである^{4,5)}。すなわち、1974～78年の5ヶ年の3町の水稲平均収量は、灰色低地土水田が500kg/10a（36点平均）に対し、重粘土水田では433kg/10a（45点平均）で、約60kg低収であり、基本的な排水改良対策としてのモミガラ暗渠による整備率は約10%と低く、一方、ほ場整備工事による透水性悪化、切土部分の作土のせき薄化が低収性を助長していること、また、窒素施用量が多く、年によって収量、品質の低下や不安定性を助長していること等

1982年12月20日受理

* 本報の一部は、1978年度および1979年度日本土壌肥科学会大会で発表した。

** 北海道立中央農業試験場、069-13、夕張郡長沼町

*** 同上（現北海道立根釧農業試験場、086-11、標津郡中標津町）

の実態を明らかにした。

本報は、これら一連の実態調査に引き続き、重粘土水田の低収性を支配する要因を明らかにするために、水稻生育との関連で土壌の生産力特性について調査した結果をまとめたものである。

調査試験方法

1. 供試水田土壌の断面形態、理化学性

北竜町において、重粘土(疑似グライ土)、低地土(灰色低地土)それぞれ2ヶ所の水田(各1筆

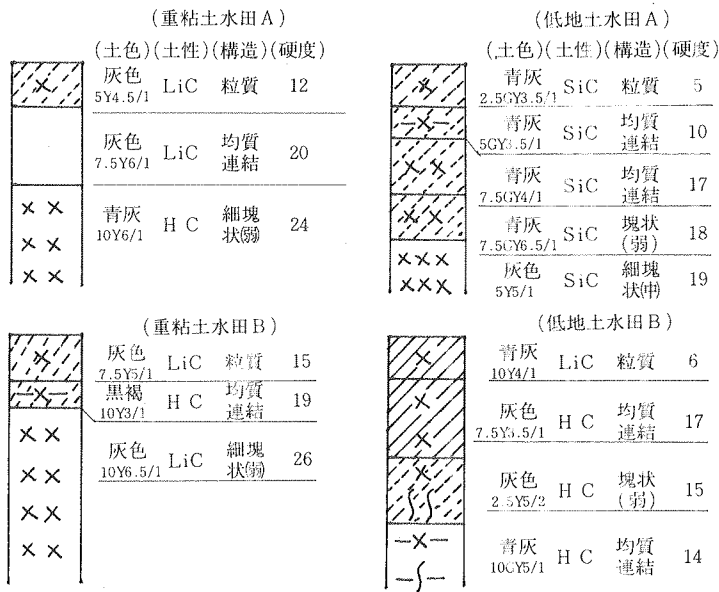


図1. 供試水田土壌の断面形態

表1. 供試水田土壌の理化学性

(1977年5月採取)

項目 土壌深さcm		腐植 %	pH		置換 酸度 Y ₁	CEC me/100 g	置換性塩基 mg/100 g			塩基 飽和 度 %	りん酸 吸収 係 数
			H ₂ O	KCl			CaO	MgO	K ₂ O		
重粘土	0~12	3.7	5.2	4.0	14	20.1	178	53	22	47.1	1,040
水田 A	12~28	0.7	5.0	3.6	57	18.8	77	58	12	31.1	1,120
重粘土	0~12	4.8	5.3	3.9	16	18.6	181	52	12	50.0	960
水田 B	16~30	tr	5.3	3.7	29	12.1	70	20	7	22.4	540
低地土	0~13	4.6	5.5	4.4	10	29.4	313	167	23	67.7	1,460
水田 A	19~34	3.8	5.9	4.8	4	31.0	270	252	26	73.1	1,670
低地土	0~12	6.7	5.4	4.3	14	31.4	258	139	42	54.1	1,550
水田 B	12~30	6.9	5.5	4.3	13	31.3	265	145	15	54.1	1,260
項目 土壌深さcm		T-C %	T-N %	C/N	N* 生 成 量 mg/100 g	有効態 mg/100 g		リン酸形態割合 %			遊 離 酸 化 鉄 %
						P ₂ O ₅	SiO ₂	Al-P	Fe-P	Ca-P	
重粘土	0~12	2.11	0.16	13.2	10.3	31.0	14.5	41.5	55.6	2.9	1.38
水田 A	12~28	0.40	0.02	18.8	1.4						
重粘土	0~12	2*80	0.22	12.7	12.9	17.2	14.8	35.5	62.4	2.1	1.40
水田 B	16~30	tr	tr	—	tr						
低地土	0~13	2.64	0.23	11.5	14.2	35.9	13.2	21.1	76.3	2.6	1.82
水田 A	19~34	2.17	0.19	11.4	11.6						
低地土	0~12	3.89	0.30	13.0	18.3	31.7	15.4	21.4	76.8	1.8	2.01
水田 B	12~30	3.96	0.31	12.8	15.2						

* 風乾土, 30°C, 4週間

30~35a)を選定し、1977~80年にかけて各種調査、試験を行った。図1に供試水田の土壤断面形態を示した。重粘土水田Aは、標高51mの洪積台地上に位置し、ほ場整備工事による表土もどしが不十分なため、作土の性状が不良である。重粘土水田Bは、同じ洪積台地上の標高60mの地点に位置し、両水田とも地下水位は低い。低地土水田Aは、標高40m、雨竜川右岸の沖積平地に位置し、下層の構造が比較的発達しており、地下水位は低い。低地土水田Bは、同Aに近接し、地下水位は比較的高い。4水田とも、作土、下層土の土性はともに細粒質で、減水深はいずれも3~10mm/日と小さく類似しているが、重粘土水田は下層土の土壤硬度が山中式硬度計で20mm以上と大きい特徴をもっている。表1には一般理化学性を示した。重

粘土水田の作土は低地土水田の作土に比べ、pH、塩基含量、塩基飽和度、塩基置換容量が小さく、N生成量や遊離酸化鉄も少い。この傾向は下層土においてより顕著である。一般に、低地土水田では作土と下層土の理化学性の差が小さいのに対し、重粘土水田は、作土に比べて下層土のそれが極端に劣っているのが特徴である。この違いは、低地土は堆積年代が沖積世であって、風化、土壤化の程度が小さいのに対し、重粘土は主に洪積世堆積であってその程度が大きく、従ってこれら地質、堆積年代等の差によって、水田土壤化以前にすでに理化学性に基本的な相異をもたらしているためであろう。

表2には、土壤の物理性を示した。作土の土性はLiC、SiCで、その粒径組成は類似しているが、

表2. 供試水田土壤の物理性

(1977年10月採取)

項目 深さ cm	項目	粒 径 組 成 %			土 性	固相重 g	真比重	三 相 組 成 %				飽 和 透 水 係 数 cm/秒
		砂	シルト	粘 土				固 相	液 相	気 相	孔隙率	
重粘土 水田A	0~12	10.6	42.6	44.8	LiC	105.5	2.62	40.2	45.0	14.8	59.8	— 1.3×10 ⁻⁷
	28~	12.1	37.8	50.1	H C	149.3	2.69	55.5	43.3	1.2	44.5	
重粘土 水田B	0~12	17.6	38.0	44.4	LiC	95.4	2.65	36.0	58.9	5.1	64.0	— 1.3×10 ⁻⁷
	16~	35.4	39.6	25.0	LiC	159.9	2.68	59.7	37.9	2.4	40.3	
低地土 水田A	0~13	13.2	49.0	37.8	SiC	92.9	2.62	35.5	49.5	15.0	64.5	— 1.6×10 ⁻⁷
	34~	5.9	50.4	43.7	SiC	105.3	2.64	39.9	52.7	7.4	60.1	
低地土 水田B	0~12	21.3	36.3	42.4	LiC	83.4	2.63	31.7	49.8	18.5	68.3	— 4.5×10 ⁻⁷
	30~	10.8	37.0	52.2	H C	97.9	2.62	37.3	61.1	1.6	62.7	

重粘土水田は固相率、固相重が大きく、孔隙率が小さく、特に下層土においてこの傾向は顕著である。しかし、室内実験による下層土の透水係数は、両土壤とも10⁻⁷オーダーで極めて小さく、その差はほとんどみられない。また、作土の粘土鉱物をX線回折法により定性的に概査したところ、重粘土水田ではイライト、クロライト、カオリナイトが認められたのに対し、低地土水田では、モンモリロナイトの存在が認められている。これら物理性、粘土鉱物の差は、地質、母材、堆積様式等の差の他に、水田土壤生成過程における差が加わって、現在における相違が形成されたものであろう。

2. 試験方法

(1) 標準栽培試験

標準栽培による水稻生育、収量と土壤の理化学性の動態を調査するため、重粘土水田Aと低地土水田Aにおいて、1978~80年の3ヶ年間、同じ育苗法、栽培法で水稻栽培試験を行った。品種は「ともゆたか」、中苗マットで、栽植密度は、重粘土水田で23~24株/m²、低地土水田で22~23株/m²。施肥法は全層施肥、施肥量は農家慣行とし、重粘土水田は基肥窒素8.4~9.9kg/10a、追肥窒素2.0~4.0kg/10a、りん酸は9.6~10.3kg/10a、カリは6.6~8.6kg/10a、であり、低地土水田では、基肥窒素8.4~9.0kg/10a、追肥はなく、りん

酸は11.2~15.0kg/10a, カリは7.3~7.8kg/10aである。稲ワラは両水田とも可能な限りは場外に搬出し、堆肥等の有機物は施用していない。移植日は3ヶ年とも5月25日に統一したが、耕起日は、重粘土水田が5月10~17日に対し低地土水田では4月30~5月7日と、約10日間前者が遅く、また、水入れは前者が5月13~20日、後者が5月15~22日である。

水稻の生育および収量調査は常法によった。湛水土壤の酸化還元電位(E_h), pH, および活性二価鉄(Fe^{2+})の測定は、塩化ビニールの筒を株間にさし込み、自然構造のまま研究室へ持ち帰り、ピーカーに移した試料を用いて、 E_h とpHは常法⁷⁾により、 Fe^{2+} はpH2.8酢酸緩衝液により抽出し定量した。また地温は、1977年には金属ケース付きアルコール地温計により、80年はサーミスタ式地温計によって、5cm, 10cm, 15cmの深さ別に測定した。

(2) 作土の生産力比較試験

現地水田において認められた、湛水期の作土層の理化学性の動態の差が、気象、営農条件、下層土の性状の差に由来するのではなく、主にその土壤固有の理化学性の差に由来していることを確認し、さらに、この作土層の理化学性の動態によって水稻生育が基本的に支配されていることを確認する目的で、以下の要領で枠試験を行った。すなわち、1981年5月に、耕起前の現地水田(重粘土水田Aと低地土水田A)より、作土層(0~12cm)部分の土壤を採取し、未風乾のまま中央農試に持ち帰った。次に、中央農試水田(灰色低地土)において、作土層(0~12cm深)の土壤を必要面積分取り除き、そこに木枠(1区0.9×0.9×0.2m)をはめこみ、枠底に水稻根の伸長を断つ目的でテトロン製の工業用濾布を敷いた後に、各区にあらかじめ持ち帰ってあったそれぞれの土壤を充填した。各枠内の土壤は、手で数cm角に砕土した後、直ちに水を入れ、レーキと手で均一にシロカキし、全層施肥を行って、シロカキ後2日目に移植した。1982年は、枠内の土壤をスコップで耕起、砕土し、以下前年と同様に行った。稲ワラは排除したが、稲株残査はそのまま混入させた。81年には、品種「ともゆたか」、中苗マット、施肥量はN-P-K=10-12-10g/m²、82年は、品種「キタヒカリ」、中苗マット、N-P-K=8.5-10-8.5g/

m²で、両年とも5月26日移植、30株/m²、1株4本手植とした。

(3) 下層土の生産力比較試験

水稻の生育期間における下層土(ここでは、湛水期におけるすき床層、およびそれ以下の層を指す)からの時期別窒素供給量を調査するため、1978, 79年に、現地重粘土水田A、低地土水田Bは場において、枠試験を行った。

すなわち、1978年5月、両水田において、耕起後と、施肥前に砕土された状態の作土部分の土壤をあらかじめ採取し、未風乾のまま肥料袋に入れて水田のあぜに置いておいた。次には場全体のシロカキを終えた後、予定地点にあらかじめ用意してあった木枠(1区1.2×1.0×0.2m)を上からはめ込み、枠の周囲を波板で囲って水の移動をしゃ断した後、枠内に残っている泥状化した作土部分を取り除いて、すき床層を露出させた。次に、対照区はそのまま、下層しゃ断区は、前述したテトロン製濾布を枠底に敷いた後に、あらかじめ採取してあった土壤を充填し、波板を取り除いて枠内に水を入れ、施肥の後現地状態に似せて、均一にシロカキを行った。翌79年にも同様の方法をくり返した。両年とも、品種「ともゆたか」、中苗マット、移植5月24日、27.8株/m²、1株4本手植、N-P-K=8.4-10.2-7.2g/m²。

移植時から幼穂形成期間と、幼穂形成期から出穂期間における水稻の窒素吸収量を測定し、対照区の数値から下層しゃ断区の数値を差引いた数値を、それぞれの期間における下層土からの窒素供給力とみなした。

試験結果

1. 標準栽培試験における水稻の生育、根系分布

表3に、標準栽培試験における3ヶ年の水稻生育、収量を示した。1978, 1979年は豊作年で、両水田の収量差は比較的小さいが、1980年は冷害年で、重粘土水田は低地土水田に比し収量低下が大きく、年次による収量変動が大きいものと思われた。いずれにしても、3ヶ年の平均値は、両水田における標準的な生育、収量を示しているものと考えられる。

重粘土水田における水稻の生育は低地土水田に比して、①草丈が低く、乾物重も少くて、初期生育が不良である。②幼穂形成期、出穂期が2~3

表3. 水 稲 の 生 育 収 量

(標準栽培試験)

項目 土壌	年度	移 植 後 30 日 目			幼 穂 形 成 期			収 穫 期		
		草 丈 cm	茎 数 本	乾物重 g/m ²	草 丈 cm	茎 数 本	乾物重 g/m ²	稈 長 cm	穂 長 cm	穂 数 本
重粘土 水田 A	1978	33.4	14.2	34.9	47.4	25.2	85.3	66.4	16.4	23.9
	79	26.1	8.5	14.5	34.6	21.4	57.4	63.1	16.2	28.0
	80	29.4	13.0	29.2	35.2	27.6	92.5	54.5	15.8	29.0
	平均	29.6	11.9	26.2	39.1	24.7	78.4	61.5	16.1	27.6
低地土 水田 A	1978	34.2	15.1	36.2	52.5	29.1	110.7	69.4	16.7	30.4
	79	29.0	7.1	17.6	39.0	19.6	68.9	67.1	16.7	27.5
	80	31.2	13.6	32.4	39.9	28.2	109.0	62.0	16.8	31.3
	平均	31.4	11.9	28.7	43.8	25.6	96.1	66.2	16.7	29.7

項目 土壌	年度	㎡当り 穂 数 本	平均一 穂粒数	㎡当り 総粒数 ×100	不 稔 歩 合 %	玄 米 重 kg/a	千 粒 重 g	モミ・ ワラ比	生 育 期 節	
									幼 穂 形成期	出穂期
重粘土 水田 A	1978	614	55.3	340	10.8	63.6	24.9	1.49	7月9日	7月31日
	79	637	57.0	363	17.9	60.9	21.6	1.17	7.15	8.14
	80	662	55.3	367	30.4	46.0	21.8	0.73	7.11	8.8
	平均	637	55.9	357	19.7	56.8	22.8	1.11	7.12	8.7
低地土 水田 A	1978	687	55.3	380	5.4	66.7	23.8	1.52	7.9	7.30
	79	622	58.2	362	6.4	66.5	22.5	1.21	7.10	8.9
	80	711	57.1	406	15.3	58.9	22.5	1.22	7.9	8.7
	平均	673	56.9	383	9.0	64.0	22.9	1.31	7.9	8.5

日遅れる。③幼穂形成期以降の生育の回復が遅く、穂数も少い。④平均一穂粒数が少く、かつ不稔歩合も高く、稈実粒数が不足する等の傾向が認められ、結局、重粘土水田は低地土水田より低収となっていた。

また、図2には、重粘土水田Bと低地土水田Aの水稲根の層位別分布について調査した結果を示した。重粘土水田における水稲根は低地土水田に比し、総根重が少なく、また作土下部～下層土(10～15cm)における分布割合も小さかった。

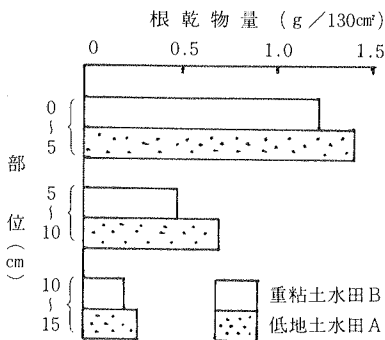


図2. 水稲根の層位別分布
(標準栽培試験, 1980年, 8月7日)

2. 標準栽培試験田における作土の理化学性および地温の推移

表4には、標準栽培試験田における土壌の還元程度を表わす酸化還元電位(Eh_h), pHと活性二価鉄(Fe²⁺)含量の推移を示した。

重粘土水田は移植時ですでに低地土水田より Eh_hが低く、移植20日目、30日目で還元状態となり、以降も強還元状態で推移した。一方、低地土水田は、移植時はかなり酸化的で以降は徐々に還元が進行しているが、移植60日目でも比較的酸化的な状態にあった。また、Fe²⁺含量の推移をみると、低地土水田では、Eh_hの低下に対応して次第に増加し、60日目では500～600mg/100gに達していた。一方、重粘土水田では、移植時では低地土水田より Fe²⁺含量は多かったが、強還元状態となった移植60日目ではその量は少くて、Eh_hの低下に伴う Fe²⁺の増加程度が低地土水田より小さい傾向であり、酸化還元系の機作が両水田で異なっていることが推定される。移植時以降の土壌還元程度は、取水前の土壌乾燥程度、取水から移植までの湛水期間や泥状化の程度によっても異なる。

重粘土水田は、一般に融雪期が遅くて、土壌乾燥

表4. 土 壤 の 還 元 程 度

(標準栽培試験)

		酸化還元電位 (E _h) と pH m V / pH								
		1978			1979			1980		
		移植後 20日目	同 30日目	同 60日目	移植後 30日目	同 60日目	移植時	移植後 20日目	同 60日目	
土	壤									
重粘土水田 A		32/6.2	-48/6.3	-60/6.6	88/6.4	-70/6.5	235/5.5	-15/6.3	-60/6.6	
低地土水田 A		207/5.7	136/6.1	65/6.5	241/5.8	-5/6.4	450/5.4	225/5.6	9/6.3	
		活性二価鉄 (Fe ²⁺) mg/100 g								
		1978			1979			1980		
		移植時	移植後 30日目	同 60日目	移植時	移植後 30日目	同 60日目	移植後 20日目	同 60日目	
土	壤									
重粘土水田 A		75	276	381	36	170	314	280	335	
低地土水田 A		20	362	617	11	183	518	195	550	

も悪く、耕起時期も遅れ、また碎土状態も粗い。
一方、取水やシロカキ期日は低地土水田とほぼ同
じであるため、取水前の土壤乾燥程度は重粘土水
田の方が不十分となりがちであり、これらのこと

が移植後の土壤還元に影響しているものと思われ
る。

次に、地温の測定結果を表5に示した。重粘土
水田は低地土水田に比し、①5 cm地温は、移植直

表5. 地 温 (°C)

(標準栽培試験)

土 壤	測 定 位 置	1980年 ²⁾			1977年 ¹⁾	
		5月下旬 ¹⁾ ～6月中旬	6月17日	7月9日	6月上旬	同 中 旬
重 粘 土 水 田 A	田 面 水	22.5	18.1	21.5	—	—
	5cm	18.9	17.3	20.4	18.2	16.6
	10cm	16.5				
	15cm		17.0	20.5	15.7	14.4
低 地 土 水 田 A	田 面 水	21.5	18.1	20.5		
	5cm	18.1	17.7	20.7		
	10cm	16.6				
	15cm		17.6	21.7		
低 地 土 水 田 B	田 面 水	21.9	18.1	20.8	—	—
	5cm	17.7	17.8	20.8	17.6	16.9
	10cm	16.2				
	15cm		17.5	21.3	16.6	15.9

注1) 朝9時の測定値平均 2) 朝7時の測定値

表6. 湛水土壌の三相組成, 固相重

(7月上旬, 1978, 79年平均値)

土 壤	項目 部位 _{cm}	固相重 ¹⁾ kg/2.1ℓ		固 相 率 %		孔 隙 率 %	
		0～5	5～10	0～5	5～10	0～5	5～10
重 粘 土 水 田 A		1.80	2.30	32	40	68	60
低 地 土 水 田 A		1.60	1.90	28	34	72	66

注1) 1株面積を、13×33cm, 深さ5cmとして算出

後（5月下旬～6月中旬）で、湛水深も小さい時期の朝9時では、重粘土水田の方が高い傾向を示したが、6月中旬以降は逆に低い場合もみられた。②15cm地温は、移植後1ヶ月間近くまでは常に低い傾向であった。重粘土水田は、その生成環境（地形、標高）からみれば、一般に低地土水田よりも、地温が低いものと思われる。水田表層部における地温の推移は、用水温、湛水深、日照量、土壌の熱特性等の総合的な組合せの結果として表わされるものであり、上記の結果もその一部を示しているものであるが、15cm地温が全般に低いことは、この重粘土水田の基本的土壌因子の特徴を表わしているものと考えられる。

さらに、表6には、湛水状態の土壌の物理性の測定結果を示した。重粘土水田の作土は低地土水田の作土に比し、明らかに、固相率、固相重が大きく、孔隙率が小さい特徴を有している。また、図3には、作土の硬さや土層の性状（弾性、粘性、そ性等）に関連する土壌の力学性を、矩形板の貫入抵抗として表示したグラフを示した。この抵抗曲線をもても、重粘土水田の作土の方が低地土水田よりも明らかに大きな抵抗を示している。両水

田とも作土の耕起深は11～12cm程度でほぼ同じ

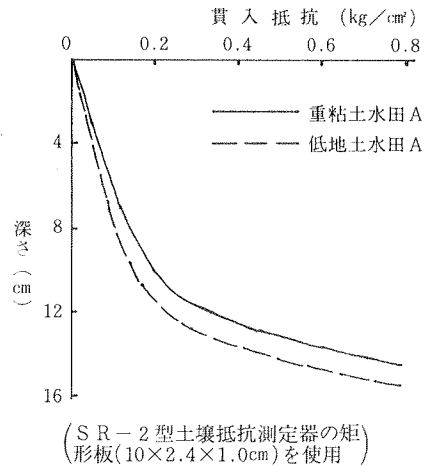


図3. 湛水土壌の貫入抵抗
(標準栽培試験, 1978年7月)

であることより、この差は砕土、シロカキの程度や、粘土活性の差に由来しているものであろう。

3. 作土の生産力比較試験における水稲生育と土壌還元

表7に、作土の生産力比較試験における水稲生

表7. 水 稲 の 生 育, 収 量

(作土の生産力比較試験)

項目 年度 土壌		移植20日目		幼穂形成期		出 穂 期		収 穫 期			平 均 一 穂 粒 数	玄米重 g / m ²
		草 丈 cm	茎 数 本	草 丈 cm	茎 数 本	草 丈 cm	茎 数 本	稈 長 cm	穂 長 cm	穂 数 本		
A 重 の 粘 土 作 土 水 田	1981	21.8	4.0	37.9	17.1	70.7	19.7	51.1	15.0	19.6	60.5	283
	82	24.0	5.1	37.3	22.7	68.6	20.3	53.3	13.2	19.7	42.9	429
A 低 の 地 土 作 土 水 田	1981	22.4	4.1	38.9	19.6	75.1	25.6	55.3	16.6	24.4	63.3	406
	82	26.4	5.3	40.4	28.3	72.2	22.0	57.7	14.0	22.6	45.7	458

表8. 土 壌 の 還 元 程 度

(作土の生産力比較試験, 1981年)

土 壤	項目 時期	Eh _h (mV)		pH		Fe ⁺⁺ (mg/100 g)	
		移植後 20日目	同 60日目	移植後 20日目	同 60日目	移植後 20日目	同 60日目
重粘土水田 A の作土		61	-91	6.2	6.7	115	370
低地土水田 A の作土		302	27	5.3	6.3	84	390

育と収量を示した。重粘土水田作土での水稲の生育は、低地土水田に比べ、幼穂形成期の草丈、茎数ともに明らかに劣っており、この生育量の差が

生育後半にまで大きく影響し、穂数、平均一穂粒数が少なく、低収となっている。また、表8に、この稈試験における土壌の還元程度を示した。重

粘土水田の作土は、低地土水田の作土に比して、 E_h は低く、pHは高く、土壌還元が進行しており、また、移植後20日目の Fe^{2+} 含量は低地土水田より多いが、60日目ではむしろ少ない傾向であった。以上のことより、この棒試験においては、水稻の生育経過と同様に、土壌還元の面でも現地標準栽培試験とほぼ同じ傾向が認められた。もちろん、この試験方法においては現地水田での作土層の状態がそのまま再現されているわけではないが、その化学性の面ではほぼ等しいものと思われ、従って、現地水田における水稻の生育は基本的には作土の化学性によって支配されているものと考えられた。

4. 下層土の生産力比較試験における生育、収量と窒素吸収量

図4に、下層土の生産力比較試験における重粘

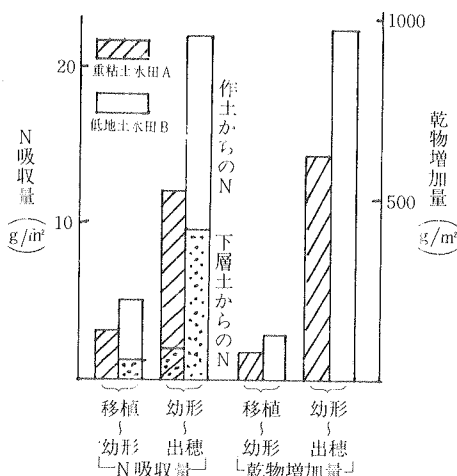


図4. 下層土からの窒素吸収と乾物増加量
(下層土の生産力比較試験, 1978, 79年平均値)

土水田Aと低地土水田Bの水稻による作土および下層土からの時期別窒素吸収量を示した。これによると、重粘土水田は低地土水田に比べ、明らかに幼形期以降の水稻による窒素吸収量は劣っており、これには、作土からの吸収量の差に加えて、下層土からの供給量の差も影響していることが明らかである。このことは、重粘土水田では、下層土の窒素供給力が劣り、かつ水稻根の下層土への伸長が貧弱なためによるものと判断される。

考 察

北海道における水田土壌に関する研究としては、水田土壌の分類とそれらの特質を概説した中山²¹⁾の報告や、強粘質水田土壌の物理、工学的性や排水性改善に関する前田・南¹⁷⁾の研究があるが、重粘土水田の生産力特性の解明はまだ十分ではない。また、強粘質水田の物理性、排水性改善に関する研究は、全国的にも数多くあるが^{23, 28)}、それらは主として、低地土に属する強粘質水田を対象としたものであり、洪積台地の強粘質水田である重粘土水田を対象とした研究例は比較的少ない。

一方、北海道における多収穫水田の水稻生育相と土壌動態の解析に関しては、志賀ら²⁶⁾、渡辺ら³⁰⁾の報告があつて、幼穂形成期以降の土壌窒素吸収の重要性が指摘され、また、関矢・志賀²⁵⁾によって、下層土からの窒素吸収の重要性や、その土壌間差が報告されている。

本研究は、これらの研究成果を基礎とし、やや異なった観点から重粘土水田の特質、生産力の解析を試みようとしたものである。つまり、土壌の生産力を、作土と下層土との総合的組合せとしてとらえ、それぞれにおける理化学性をより水稻生産力の高い灰色低地土水田と比較しつつ調査、解析することによって、重粘土水田の生産力特性の解析を行ったものである。

以下に、得られた成果から、水稻の養分吸収や水稻根の発達を阻害する土壌の要因および土壌生産力におよぼす下層土の影響について論じることとする。

1. 土壌還元の動態

湛水土壌の酸化還元電位 (E_h) については、湛水期におけるその経時的変化については必ずしも一致した見解が得られてはいないが、様々な観点からの数多くの研究成績があり^{15, 29, 31)}、 E_h の低下として表わされる土壌還元の進行が水稻生育を抑制し²²⁾、特に水稻根の発達や生理活性を阻害する^{2, 20)}ことは良く知られている。一般に E_h の低下は、易分解性有機物の存在、酸素供給の不足、鉄の形態と量、嫌気性微生物の活動、温度上昇等諸種の条件が関与するとされている。また、湛水土壌中における主要な酸化還元系としては、脱窒系、Mn系、Fe系および硫酸還元系があるとされ、またこの順序で、 E_h が高電位から低電位へ段階的に

進行するものとされている。さらに、より低電位では、つまりより強度な還元状態においては有機物系も関与するといわれている¹²⁾。しかし、一般にはFe系が主要な酸化還元系として作用し、Ehの低下と F_e^+ の増加が対応していることは多くの研究で明らかにされている^{1,12)}。重粘土水田における著しいEhの低下が水稲の初期生育を抑制する要因になっていると考えられ、これは、春の融雪期が遅く地温も低いとため田面乾燥が進まず、従って遊離酸化鉄の量が少いことおよび土壌構造の泥状化、気相率が小さいことによる酸素供給の不足等が誘因になっているものと推定される。また、重粘土水田において低地土水田と異なり、Eh低下の割に F_e^+ 含量が増加しない理由は、遊離酸化鉄含量が少なく、またFe系以外の前述したような系も関与しているためであろう。低地土水田においては易分解性有機物、遊離酸化鉄が共に多く、Eh低下に伴って F_e^+ が生成されるものであり、このような場合には水稲根に対する障害は少ないものと推定される。

2. 地 温

地温は水稲生育と密接な関連をもち、特に北海道のような寒冷地においては、水稲の初期生育におよぼす影響が大きいことは言うまでもない。地温は土壤空気、土壤水の移動などにも影響をおよぼし、低地温は単に水稲根の生理活性や養分吸収を抑制するのみではなく、微生物活動や化学反応系の変化を通じて、養分の有効化も抑制する点で重要な生育阻害要因となる。

地温は日周期で正弦曲線的に変化し、地表面に近い程日変化の振幅（最高と最低の温度較差）が大きく、下層ほどその振幅は小さくなり位相もずれる。また、地温は、地表面における外界との熱の授受と土壌内部での熱交換によって決定されるが、土壌の熱交換においては、放射や対流はほとんどなく、ほとんど熱伝導によって行われる³⁾。一方、重粘土水田の土壌は、比熱が小さい固相部分が多く、比熱の大きい水（液相）部分が少ないため低地土水田に比べて熱容量が小さく、従って熱せられ易く、また冷め易いという熱特性を有していることになる。また、両水田とも透水性が極く小さいため、水の移動による熱輸送に伴う下層への熱の伝播もほとんど無視できよう。以上のことから、本試験で得られた測定結果を考えてみると、

まず、5 cm地温で重粘土水田の方が低地水田より高くなる場合の理由として、5月下旬～6月中旬の朝9時における日照量は、日の出後数時間を経ていることからかなりあり、また水深も浅いため、重粘土水田の方が温度上昇が速いためと推定される。このことはまた、温度の降下も低地土水田よりも速いことを意味しており、恐らく夜間～早朝にかけては、重粘土水田の方が低下しているものと推定される。早朝における測定において、重粘土水田の5 cm地温が低地土水田よりも低いことは、このことを裏付けているものと考えられる。一方、15cm地温も、基本的には5 cm地温と同様な形で変化するが、振幅はかなり小さく、また位相もずれる。つまり、温度上昇が開始される時刻は5 cm地温よりも遅れる。従って、5 cm地温と同様に、夜間～早朝にかけては重粘土水田の方が低く、また温度上昇が遅れるため、朝9時においても一般に低地土水田よりも低下しているものと推定される。いずれにしても、外界と接する地表面に近くて日変化が大きい5 cm地温に比べ、15cm地温の方がその土壌の基本的な性格を表わしているものと思われる。また重粘土水田が存在する台地の地形、標高、気象条件等も地温を低下させている要因の一つと考えられる。重粘土水田における低地温は、水稲生育、特に初期生育を抑制する要因の一つと考えられる。従って、低温時には、特に水管理に注意する必要があると言えよう。

3. 土壌の物理性と水稲根の発達

水稲根の発達程度が地上部の生育と密接な関係をもつことは言うまでもなく、総根重や下層への根の伸長程度が水稲の生育、収量と関係が深いことはしばしば指摘されている¹⁴⁾。図2に示した如く、重粘土水田では低地土水田に比べ、作土層内の水稲根の発達が劣ることが認められた。これには重粘土水田での強度の土壌還元、低地温が関与しているものと考えられるが、さらに作土の不良な物理性も関与しているものと推定される。すなわち、重粘土水田では低地土水田に比較し、固相率、固相重が大きく、孔隙率が少く、また図3に示した如く貫入抵抗も大きいという特徴があり、このことは、直接水稲根の発達阻害に作用すると共に、土壌還元の進行、低地温にも関与しているものと推定される。

次に、すき床層以下の下層土の水稻根発達に対する影響を考えてみる。重粘土水田では下層土も固相率が大きく、土壤硬度が極端に大きいのが特徴である。土壤硬度、あるいは土壤構造と水稻根の発達との関連については、滝嶋・佐久間²⁷⁾、その他多くの研究がある^{13,24)}。

特に滝嶋らは、土壤硬度と水稻根の発達阻害との関連を詳細に研究し、土壤硬度が大きい場合は水稻根の発達を阻害すること、また、沖積土に比べて洪積土の方が阻害の開始硬度、および根系発達停止硬度が小さいことを指摘している。このことは、根の発達阻害が、硬度以外の他の要因（化学性、土壤構造等）にも影響されていることを示している。

重粘土水田で下層への根の伸長が劣ることは、下層土の硬度が非常に大きいためと推定されるが、また、作土層における強度の土壤還元や低地温が水稻根の生理活性を阻害し、下層への伸長力を弱めていることも一因と思われる。

4. 水稻生育に対する下層土の影響

重粘土水田では土壤の一般理化学性が低地土水田に比べ劣る点に加えて、湛水期の強度の土壤還元、低地温、大きい貫入抵抗等の要因によって、水稻生育が抑制されていることを述べてきたが、次に水稻の後期生育に対して影響をおよぼす下層土の生産力について考えてみる。下層土が水稻生育におよぼす影響の程度は土壤条件や肥培管理によっても異なるが、一般に養分吸収の増大に貢献することが指摘されており^{11,19)}、また、多収穫水田においては、下層土の理化学性が良好で、水稻根が深くまで伸長して養分の吸収を行い、後半の生育を充分に維持し、高収に結びついていることが良く知られている¹⁰⁾。従って、土壤生産力の判定には、下層土の生産力の評価も必要と考えられる。下層土の生産力比較試験はこの観点から行ったものであるが、重粘土水田は低地土水田に比べ、水稻による下層からの窒素吸収量も少ないことが判明した。これは前述した如く、下層土では有効態養分が極端に欠乏し、かつ固相率が大きく、土壤硬度も極めて大きいためと推定される。この様に、重粘土水田は、作土の理化学性が不良なため水稻生育が初期から抑制され、さらに生育後半においても下層土からの有効な養分供給が少なく、従って、低地土水田との生育較差がさらに拡大されて、

収量低下に結びついているものと考えられる。しかし、下層土の理化学性が良好であっても、そこへ水稻根が伸長して始めて有効な養分吸収が行われるのであり、そのためには初期からの良好な水稻根の発達が必要とされる。従って、作土の理化学性が不良な重粘土水田においては、その生産力に対する下層土の役割は、作土の理化学性が良好で水稻根の発達も良い低地土水田より低いものと考えられる。従って、重粘土水田では、まず作土の改良が必要であり、土壤還元の緩和や有効態養分の富化の他に、作土層を可能な限り深くし、根の伸長可能域を拡大させることが重要と考えられる。下層土の改良は、まず透水性の改善が重要であり、それによって土壤の乾燥促進を図り、さらに作土の理化学性を経時的に変えていくことが望まれる。

営農の実態調査で認められたように、重粘土水田ではしばしば窒素追肥が行われているが、このことは、水稻の生育後半における窒素吸収が劣っていることを農家が経験的に知り、それを追肥で補っているものであろう。標準栽培試験でも、重粘土水田の窒素追肥は、生育後半の窒素供給をある程度補強しているものと思われ、全量基肥のみによった場合は、より一層低地土水田と差がついたものと考えられる。

以上、総括すると、重粘土水田はより高収な低地土水田に比較して、まず、土壤の化学性、物理性が共に劣り、さらに、湛水期における強度な土壤還元、低地温も阻害要因として作用している。これらの諸要因で水稻の初期生育が抑制され、また、後半の生育も規制される。一方、下層土の理化学性も極端に劣り、従って生育後半の養分吸収が劣って究極的に、低地土水田における水稻との収量較差が大きく、また年次間の変動が大きいということであろう。

謝 辞 本研究遂行に当たり、雨竜西部地区農業改良普及所ならびに北竜町農業協同組合営農部の各位には絶大なる御協力を頂いた。記して深甚なる謝意を表する。当场化学部土壤改良第一科研究職員野崎輝義技師、宮森康雄技師、堀潤一技師（現土壤肥料第一科）の諸氏には種々御協力を頂き、また、有益な論議をともした。厚く感謝申し上げます。

本報告を取りまとめるに当たり、当场特別研究

員渡辺公吉氏には適切な御指導、御助言を頂き、また、化学部長南松雄博士には御懇篤なる御助言と御校閲を賜わった。深く謝意を表する次第である。

引用文献

- 1) 浅見輝男, "水田土壤中における遊離鉄の行動に関する研究, 第2報, 水田土壤中における遊離鉄の還元とEh, pHの変化およびアンモニアの生成について", 土肥誌, **41**, 7-11 (1970).
- 2) 出井嘉光, "水管理と土壌動態改善による水稲の安定多収", 農及園, **44**, 1225~1231 (1969).
- 3) 土壌物理研究会編, "土の物理学—土質工学の基礎—", 森北出版, 1979, p279-293.
- 4) 橋本 均, 松原一實, 大垣昭一, 沢辺外喜雄, "道央に分布する重粘土水田の生産力向上に関する研究, 第1報, 重粘土水田の分布と生産力の実態", 土肥学会講要集, **24**, part 1, 98 (1978).
- 5) 橋本 均, "重粘土は場整備水田の生産力の実態" 北海道土肥研究通信, **82**, 1~11 (1980).
- 6) 北海道土壌分類委員会編, "北海道の農牧地土壌分類第2次案", 北海道立農試資料, **10** (1979).
- 7) 北海道立中央農業試験場編, "土壌および作物栄養の診断基準—分析法—" 北海道農務部農業改良課, 1981, p42~46.
- 8) 北海道立中央農業試験場, "地力保全基本調査総合成績書 北海道(1)", 1978, p1082.
- 9) 北海道立中央農業試験場, "基盤整備水田における土壌類型別切盛の影響ならびに燐酸増施に関する試験" 昭和43年度北海道農業試験会議資料, 1968.
- 10) 本谷耕一, 三浦昌司, "米多収技術に関する研究", 東北の土壌と農業, 96~109 (1972).
- 11) 上郷千春, 御子榮穆, "水稲に対する作土と下層土の影響について" 長野農試研報, **4**, 53-59 (1961).
- 12) 川口桂三郎編, "水田土壌学", 東京, 講談社, 1978, p30~35.
- 13) 川田信一郎, 片野 学, 山崎耕宇, "水稲における根群の形態形成について, とくに湿田・乾田に着目した場合の一例", 日作紀, **46**, 261~268 (1977).
- 14) 川田信一郎, 片野 学, 山崎耕宇, "水稲株の直下土壌層における水稲根の生育の様相—その一事例について—" 日作紀, **49**, 311~316 (1980).
- 14) 河野英一, "肥料連用水田作土の物理性の稲作期間中における経時的変化—農地生態系における人間活動の影響評価(2)—" 農土論集, **86**, 9-18 (1980).
- 16) 小林莊司, 水元秀彰, "強粘質水田の排水法改善に関する研究, 第1報, モミガラ暗渠とパンプレーカーの併用効果" 北海道立農試集報, **28**, 33-44 (1973).
- 17) 前田 要, 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, I, 排水不良田土壌の物理・工学的解析" 北海道立農試集報, **35**, 18-28, (1976).
- 18) 前田 要, 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, II, 排水不良田の水管理", 北海道立農試集報, **37**, 25-34 (1977).
- 19) 松浦勝美, 坂上行雄, "水稲の生育と無機成分吸収に及ぼす下層土の役割に関する圃場試験", 土肥誌, **51**, 351-354 (1980).
- 20) 三井進午, 熊沢喜久雄, "作物の養分吸収に関する動的研究, 第41報, 水稲根の活性に及ぼす三要素の供給および土壌還元の影響", 土肥誌, **35**, 115-118 (1964).
- 21) 中山利彦, "北海道における水田土壌の特質とその生産性に関する研究", 北海道立農試報告, **16**, 1~93 (1968).
- 22) 農林水産技術会議事務局編, "水稲収量の限界向上に関する研究", 研究成果, No49, 1~252 (1971).
- 23) 農林水産技術会議事務局編, "重粘土地帯水田の土層改良と用排水組織に関する研究", 研究成果, No56, 1~228 (1972).
- 23) ラッセル, R.S. "作物の根系と土壌", 田中典幸訳, 農文協, 1981, p223-247.
- 25) 関矢信一郎, 志賀一一, "水田土壌の動態と水稲生育について, 第6報, 窒素供給における下層土の役割の土壌間差", 土肥学会講要集, **22**, part1, 86 (1976).
- 26) 志賀一一, 柿本 彰, 土井康生, 栗崎弘利, 三宅正紀, 関矢信一郎, 片岡孝義, "高位収穫田の環境と水稲特性の解析", 北海道農試集報, **99**, 30~40 (1971).
- 27) 滝嶋康夫, 佐久間宏, "土壌の圧縮及び硬度が水稲の根系発達ならびに生育に及ぼす影響に関する研究", 農技研報告, **B-21**, 255~328 (1969).
- 28) 寺沢四郎, "水田土壌群の物理的特徴に関する研究" 農技研報告, **B-22**, 85-217 (1971).
- 29) 上原洋一, 和田英太郎, 和田秀徳, 高井康雄, "肥料連用水田土壌における酸化還元条件の変化と窒素の動態, 第3報, 圃場における解析実験—その2—", 土肥学会講要集, **26**, part1, 88 (1980).
- 30) 渡辺公吉, 稲津 脩, 今野一男, "道央地帯における高位収穫田の多収性解析(第2報) 水稲生育相の土壌の対比", 土肥学会講要集, **15**, part1, 85 (1969).
- 31) 山崎欣多, "水田土壌の生成論的分類に関する研究", 富山農試特別報告, **1**, (1960).

Soil Factors Contributing to Low Rice Production in Heavy Clay Paddy Fields on Pleistocene Terrace

Hitoshi HASHIMOTO*, Ichimi MATUBARA** and Shoichi OHGAKI*

Summary

Generally, rice production in heavy clay on Pleistocene terrace is lower than in heavy clay alluvial flood plain. In order to ascertain soil factors responsible, an experiment was carried out on paddy fields of each type: Pleistocene terrace, field A, and alluvial flood plain, field B.

Results are:

I. Through all stages of growth, field A plants grew worse than field B plants. The lower number of filled spikelets in field A resulted in lower rice yield.

II. In field A, growth retarding factors were found to be: (1) lack of nutrients in surface soil; (2) high ratio of solid phase; (3) severe decrease in redox potential after flooding; (4) low soil temperature after flooding.

III. Less nitrogen was absorbed from subsoil to rice plants in field A. This is presumably because the subsoil in field A lacked essential nutrients and because the soil hardness interfered with root penetration.

It was concluded that the adverse chemical and physical properties of field A soil retard growth throughout the growing period. Lack of nutrition available and its poor absorption contributed to lower rice yield in field A.

*Hokkaido Central Agricultural Experiment Station, Naganuma, Hokkaido, 069-13, Japan.

**Hokkaido Prefectural Konsen Agricultural Experiment Station, Nakashibetsu, Hokkaido, 086-11 Japan.