第3章　排水不良対策と水稲生産力の関係

前章では，強粘質を呈する排水不良田の動態を排水良好田と対比して検討した結果，土壌の理工学的性質が土壌水分状態の差異によって著しく変動することを明らかにした。さらに，この種水田では排水性の向上により土壌の乾燥を促進させ，地耐力の増強を図る方策が非湛水期間での土壌構造の生成，発達，安定化と大型機械導入時の易耕性を高めるうえでもきわめて重要な要因であるものと考える。

従来，圃場の土壌乾燥化を促進する方法として土もどし暗渠（土管暗渠），心土破砕など土木的手法による排水対策が講じられてきたが，強粘質水田では圃場整備施工に際して大型施工機械の度重なる走行による踏圧ならびに切土，盛土に伴う土壌構造の破壊，水みちの切断などで従来より一層排水不良な水田が造成された。加えて，機械化作業の急速な進展のなかで，作土は大型機械による踏圧，練りつぶしが繰り返されるため泥状化がもたらされ，さらに後述するように稲わらの直接圃場への還元は田面の乾燥化を阻む大きな要因となっており，単に土木的見地からの排水対策のみでは十分な効果をあげていない場合が多い[59,74]。

一方，水稲の栽培体系が手植栽培から機械化栽培に移行した現在，とくに強粘質の排水不良田では水稲の健全な生育と落水後の機械走行性確保のための土壌乾燥化をねらいとした水管理技術の確立が強く要求されるものと考える。

以上の観点から，本章では農業土木的な排水性改善法の違いおよび栽培技術的な水管理法の違いがそれぞれ落水後の圃場の乾燥化ならびに水稲の収量性に及ぼす影響を検討する。

第1節　圃場整備水田の排水性

水田はもともと用排水の便に恵まれた平坦地を中心に発展してきた。しかしながら，戦後の稲作技術の著しい進歩で安定生産が約束されると，造成場所も緩傾斜地や段丘上の畑地帯にまで拡張されていった。また圃場整備前の水田は地形の特徴を十分考慮して比較的小面積単位で区画されていた。そのため，たとえ強粘質で排水不良な水田であっても，土もどし暗渠や心土破砕を施工すれば地表面水の排除はある程度容易にならされていた。

一方，圃場整備後の水田は一筆面積の拡大に加え，緩傾斜地や台地などでは一枚の圃場の中に切土と盛土箇所が同居しているのが実態である。これらのことから考えても，当然従来の土壌管理および排水対策のみでは圃場全体の地表面水の排除および土壌の乾燥化が困難であることが理解される。

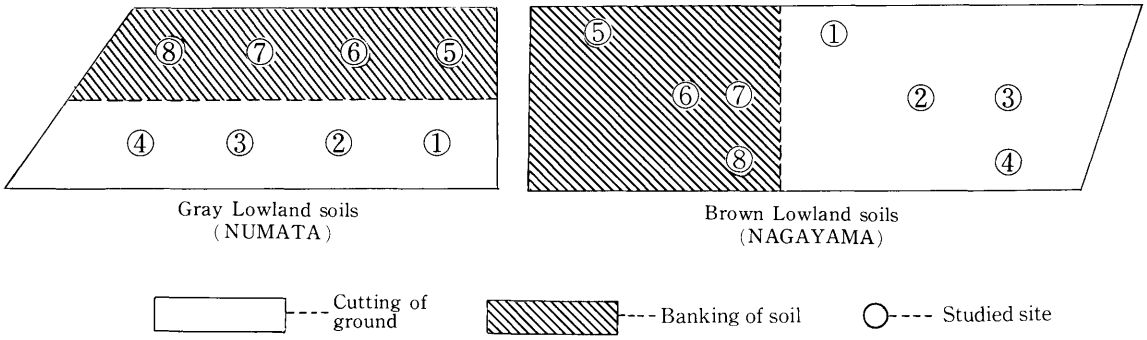


Fig. 16. Schematic distribution of studied site

Table 9. Distribution of soil hardness of subsoils
(by Cone penetrometer, kg/cm²)

Soil and sampling sites / Depth(cm)	Gray Lowland soils								Brown Lowland soils							
	Cutted soil				Banked soil				Cutted soil				Banked soil			
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
10	1.2	1.2	1.2	1.5	1.9	2.5	3.4	1.5	10.5	8.4	9.6	11.8	4.0	8.1	5.3	3.5
15	1.5	1.9	1.5	3.4	1.9	4.6	2.5	2.5	11.5	11.5	8.4	9.6	3.7	6.3	3.7	2.5
20	5.5	5.5	8.1	3.7	2.5	3.4	3.4	3.4	10.2		11.5	10.2	3.1	7.7	3.4	2.5
25	15.8	15.8	16.7	8.1	5.0	10.2	5.3	6.1					3.7	1.2	3.4	2.5
30				15.8	11.8	9.6	12.9	8.1					5.3	3.4	5.0	3.4
35					15.8	12.7	15.2	7.7					5.8	4.0	5.5	3.4
40								8.7					7.7	3.1	8.1	5.5
45													8.1	4.6	8.4	5.5
50													10.8	5.5	8.4	7.1
55													14.2	7.7	14.2	9.6
60													8.4			13.0

(Attached-table) Effect of hardness of ground on accessibility of farm machinery (by A. NAGASAKI)
(kg/cm²)

Ability of accessibility / Type of farm machinery	Not accessible	Accessible but operation impossible	Operation with difficulty	Easy operation
Wheel type tractor	< 3.0 (presumption)	< 4.5	4.5~ 6	6.0<
Crawler type tractor	< 1.5	1.5~ 2.5	2.5~ 3.0	3.0<
Half-track	< 1.5	1.5~ 2.0	2.0~ 2.5	2.5<

Table 10. Comparison of water requirement and soil temperatures between land consolidated and non-land consolidated paddy fields

Soil		Water requirement in depth (mm/24h.)	Soil temperature (in 10cm depth, °C) July 7	9	10	13	14	16
Gray Lowland soils	Land consolidated paddy field	12.6	21.0	—	—	19.3	20.7	25.7
	Non-land consolidated paddy field	3.7	19.7	—	—	19.2	19.6	23.7
Brown Lowland soils	Land consolidated paddy field	23.5	—	24.5	20.6	—	19.2	—
	Non-land consolidated paddy field	12.1	—	23.8	19.6	—	19.7	—

細粒質の灰色低地土（空知郡沼田町）および中粒質の褐色低地土（旭川市永山町）において圃場整備後の水田の切土，盛土別の硬度分布を調査した。結果はFig. 16およびTable 9に示すように，両土壌とも盛土箇所は深層部まで軟らかく，ほとんどの地点がホイール型トラクターによる作業が困難な状態にある（Attached-table 参照）。とくに細粒質の灰色低地土では中粒質の褐色低地土に比べ全般に硬度が小さく，表層部ではクローラ型トラクターの進入さえ不可能な状態に陥っている。

つぎに，圃場整備水田と未整備水田の減水深および地温を比較してみると（Table 10），両土壌とも圃場整備施工によって減水深は5～10mm/24h以下まで低下しており，かつその程度は褐色低地土に比べ灰色低地土で著しい傾向にある。さらに地温の推移をみても，圃場整備水田は未整備水田に対比すると終始低く推移しており，とくに高温時ほどその較差が大きい。また土壌型別では褐色低地土より灰色低地土の方が減水深および地温の低下割合が大きい。

一方，圃場整備水田と未整備水田の土壌3相分布を灰色低地土の切土箇所で比較した結果をみると（Table 11），圃場整備水田は未整備水田に比べ土壌3相中に占める気相率および全孔隙率が明らかに低下しており，固相率および容積重が逆に著しく増大している。これらは明らかに圃場整備に際しての大型機械による踏圧の影響をうけているためであろうと考える。

以上のように，圃場整備完了水田は未整備水田に比べると減水深（主として縦浸透）が小さく，かつ地温の上昇や排水性が著しく悪化する場合もあり，その影響は中粒質の乾田より細粒質の湿田の方がはるかに大きい。

したがって，強粘質水田の圃場整備完了後では，とくに排水不良対策を不可欠な条件として慎重に取り上げられなければならない。

Table 11. Consolidated soil three phases of paddy fields compared to non-consolidated paddy field (Gray Lowland soils)

Treatment	Bulk density (g)	Distribution of soil three phases (%)			Total porosity (%)
		Sv	Mv	Av	
Non-land consolidated	84.4	32.6	57.4	10.0	67.4
Land consolidated	106.0	39.2	57.0	3.8	60.7

第2節　排水法改善による土壌の乾燥化対策

前節において，強粘質な排水不良田では圃場整備完了後土壌構造が破壊し，土壌の排水性が著しく悪化することを明らかにした。

本節では農業土木的な排水法改善処理が耕起時および落水後の土壌の乾燥化に及ぼす影響を検討する。

グライ土〔I〕およびグライ台地土両圃場に，土壌の乾燥化を促進し，水稲の生産力向上を図るため，①土もどし暗渠，②籾殻暗渠，③土もどし暗渠＋心土破砕，④土もどし暗渠＋籾殻挿入心土破砕の4処理区を設けた。

その処理内容の模式図はFig. 17に示すとおりである。

融雪後の土壌の理工学性について処理間で検討した結果をTable 12に示した。

その結果をみると，籾殻暗渠は土もどし暗渠に比べて土壌含水比および土壌3相組成中に占める液相割合が明らかに小さく，圃場が乾燥している状態を示している。

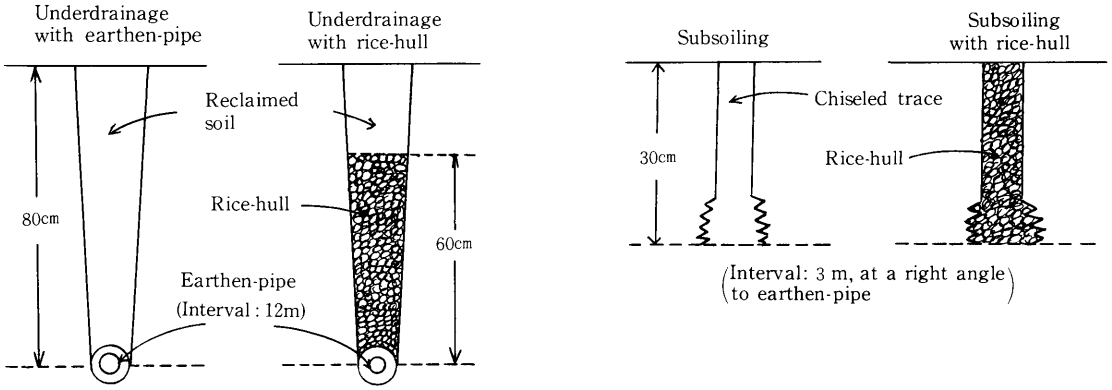


Fig. 17 Methods of various drainage acceleration techniques

Table 12. Soil physical and engineering properties of heavy clayey paddy fields at the spring season

(April 20, 1973)

Soil	Treatment	Horizon	Water content by weight (%)	Distribution of soil three phases (%)			Air percentage (%)	Volumetric change (%)	Permeability coefficient (K_{20}, cm/sec)
				Sv	Mv	Av			
Gley soils [I]	Underdrainage with earthen pipe	Plowed soil	61.9	31.7	49.8	18.5	27.1	8.4	3.3×10^{-3}
		Subsurface soil	65.7	31.8	54.7	13.5	19.8	8.2	8.1×10^{-4}
	Underdrainage with earthen pipe +subsoiling	Plowed soil	64.5	30.2	52.8	17.0	24.4	7.4	1.8×10^{-3}
		Subsurface soil	61.0	35.6	58.9	5.5	8.5	8.2	2.3×10^{-4}
	Underdrainage with rice hull	Plowed soil	57.7	29.7	46.3	24.0	34.1	8.1	1.1×10^{-3}
		Subsurface soil	45.1	41.3	51.7	7.0	11.9	5.7	2.5×10^{-4}
Gley Upland soils	Underdrainage with earthen pipe	Plowed soil	63.5	30.3	54.7	15.0	21.5	7.0	3.3×10^{-3}
		Subsurface soil	71.2	29.1	58.9	12.0	16.9	7.3	1.6×10^{-3}
	Underdrainage with earthen pipe +subsoiling	Plowed Soil	61.6	33.1	55.9	11.0	16.4	7.7	4.2×10^{-2}
		Subsurface soil	58.7	33.4	56.6	10.0	15.0	8.3	2.0×10^{-3}
	Underdrainage with rice hull	Plowed soil	54.9	31.1	47.9	21.0	30.5	6.5	2.1×10^{-3}
		Subsurface soil	52.9	32.2	49.3	18.5	27.3	6.7	5.9×10^{-4}

Note) Plowed soil…0～10cm, Subsurface soil…10～20cm

一方，土もどし暗渠に心土破砕を併用した場合，下層土が軟かく土層全体が湿潤なグライ土〔Ⅰ〕では脱水に伴う体積変化がほとんど認められないが，下層土が緊密なグライ台地土では籾殻暗渠に次ぐ良好な乾燥度合を示している。

つぎに，落水後の土壌乾燥におよぼす排水法改善処理の影響をみる。

まず，落水後7日間にわたるグライ土〔Ⅰ〕およびグライ台地土両土壌のpF－土壌水分張力値の推移をFig. 18に示した。

1972年は8月から9月にかけての降雨量が比較的少なく，土壌の乾燥が良好な年であったが，両土壌とも籾殻暗渠は土もどし暗渠に比べて土壌pF値が高く推移し，土壌の乾燥化が明らかに促進されている。とくに9月16日の降雨（9㎜）後でも後者のpF値が著しく低下するのに対し，前者ではその低下度合がきわめて小さい。また土もどし暗渠と心土破砕を併用した場合のpF値は両土壌とも土もどし暗渠単独施工とほぼ同様な経過をたどっているが，降雨後では後者より前者のpF値の方が高く推移している。

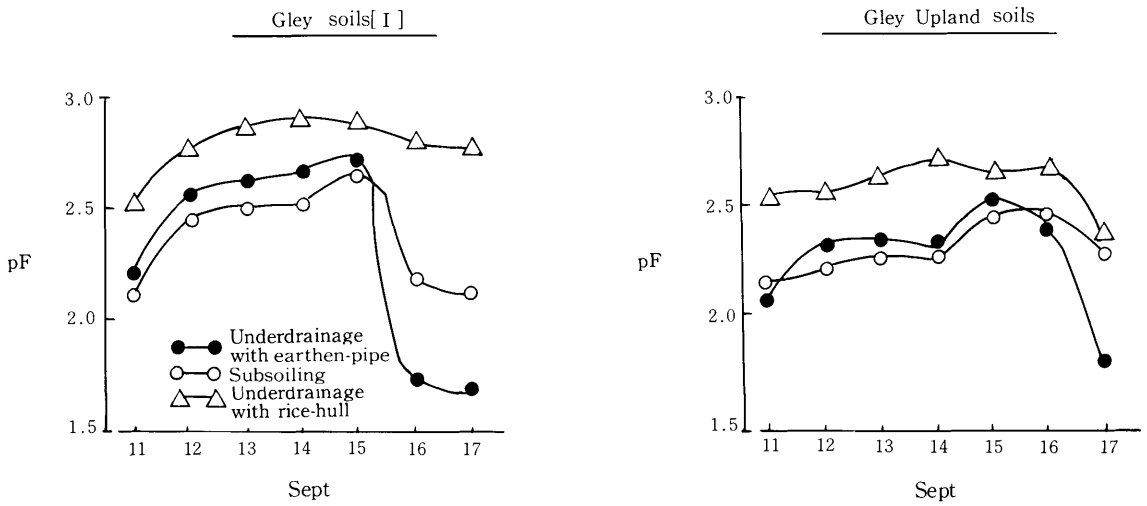


Fig. 18 Change of pF volues after surface drainage (1972)

つぎに，土壌含水比の差異によって著しく変動する土壌の工学特性をアッターベルグ常数でみると（Table 13），全般的にグライ土〔Ⅰ〕はグライ台地土に比べ液性限界，塑性限界および塑性指数がいずれも高い傾向が認められるが，施工種類別の比較では両土壌とも籾殻暗渠の塑性指数が全般に小さく，かつコンシステンシー指数（Ic）も大型機械走行可能な基準値（0.5）をはるかに上回り，圃場の地耐力が安定した状態を示している。またグライ土〔Ⅰ〕で落水後の土壌キレツ発生状態を観察した結果（Fig. 19），籾殻暗渠と土もどし暗渠のキレツ発生位置はともにクツ跡凹部を中心に縦に形成されているが，土もどし暗渠に比べ籾殻暗渠は地表面の大小キレツ生成量が多く，しかも大部分の小キレツは田面のうね間内に深く発達した大キレツを中心に網状に形成されていた。したがって籾殻暗渠では施工位置を中心とした作土層に無数に発達した大小のキレツが下層土への水の移動を容易にしていることが明らかである。

一方，籾殻暗渠による土壌の乾燥促進効果の範

Table 13. Soil engineering properties of paddy fields after surface drainage

Soil	Treatment	Horizon	Water content by weight (%)	Atterberg factors			Consistency index (Ic)
				Liquid limit (%)	Plastic limit (%)	Plasticity index	
Gley soils [I]	Underdrainage with earthen-pipe	Plowed soil	68.2	87.2	45.8	41.4	0.46
		Subsurface soil	52.3	78.5	47.0	31.5	0.83
	Underdrainage with earthen-pipe +subsoiling	Plowed soil	62.3	81.5	45.4	36.1	0.53
		Subsurface soil	34.3	81.5	45.1	36.4	1.23
	Underdrainage with rice-hull	Plowed soil	52.7	69.2	43.2	26.0	0.63
		Subsurface soil	34.7	61.3	31.2	30.1	0.88
Gley Upland soils	Underdrainage with earthen-pipe	Plowed soil	65.3	74.3	40.9	33.4	0.27
		Subsurface soil	43.8	61.0	36.7	24.3	0.71
	Underdrainage with earthen-pipe +subsoiling	Plowed soil	69.0	77.5	42.2	35.3	0.24
		Subsurface soil	44.0	76.3	41.5	34.8	0.93
	Underdrainage with rice-hull	Plowed soil	53.0	74.5	42.8	31.7	0.68
		Subsurface soil	43.4	69.0	37.2	31.8	0.81

Note) Plowed soil…0～10cm, Subsurface soil…10～20cm

囲について調査した結果（Fig. 20），両土壌とも施工位置からの距離に比例して土壌含水比が高まる傾向にあるが，籾殻暗渠施工位置から4～6m（渠間のほぼ中央部）の含水比は土もどし暗渠直上のものと同程度の値が得られた。

このことは，従来の土もどし暗渠で土壌の乾燥化が十分に図れなかった圃場，とくに圃場整備によって土壌構造が破壊され，下層への水の浸透能が著しく低下した強粘質な排水不良田などでは籾殻暗渠の施工によって土壌乾燥の範囲が顕著に拡大されるため，圃場全体の乾燥化が著しく促進されることを実証しており注目に値する。

以上の結果より，農業土木的な排水法改善処理の一つである籾殻暗渠は従来の土もどし暗渠，心土破砕に比べると融雪後および落水後の地表面水の排除と土壌乾燥化を促進する効果が大きいため耕起・砕土時の易耕性向上の面と収穫時の大型機械走行可能な圃場条件確保のための優れた排水法改善対策技術として高く評価される。

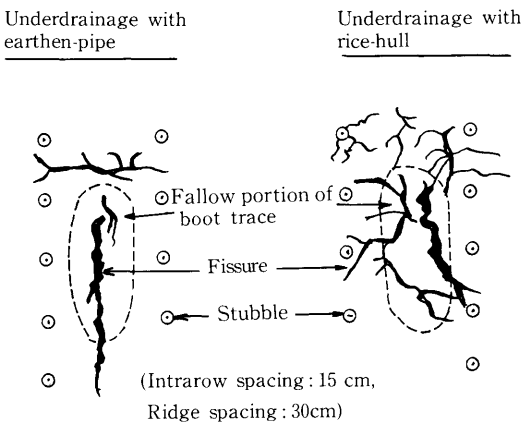


Fig. 19 Comparison of fissures in underdrainage with earthen-pipe and rice-hull after surface drainage

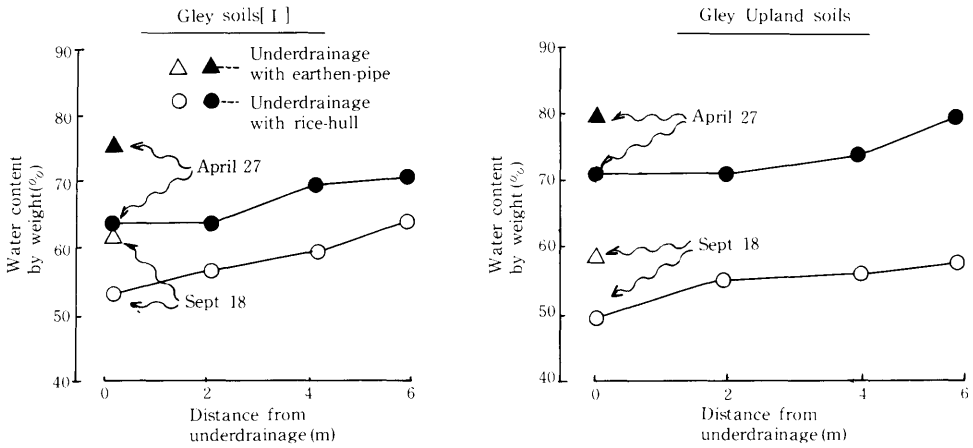


Fig. 20 Relationship between water content and distance from underdrainage (1973)

第3節　水管理法の差異と排水性

前節では，圃場整備完了後の強粘質な排水不良田の土壌乾燥化対策として籾殻暗渠による排水法改善処理効果を高く評価したが，融雪後および落水後の気象条件，とくに降雨が連続するような場合には大型機械走行可能な圃場条件が得られないことも度々確認された。

したがって，ここでは栽培技術的な補助排水法としてとらえられる水管理法（中干し，落水時期の早晩など）の違いが落水後の土壌乾燥化に及ぼす影響をみる。

落水時期の早晩が土壌の乾燥化におよぼす影響は落水後の降雨量，連続降雨日数などによっても規制されるものと考えられるが，1975年および1976年の両年にわたってグライ土〔II〕およびグライ台地土でそれらの関係について検討した結果をTable 14に示した。

その結果をみると，両土壌とも落水時期の早いものほど収穫時の土壌3相中に占める液相割合が低く，土壌含水比も明らかに低下する様子がうかがえる。また収穫作業機械の走行性と関連するIcおよび地表面の垂直硬度（山中式）も落水時期の早いものほど高く，とくに出穂期落水は出穂7日後および出穂14日後落水に比べるとその傾向が顕著である。

一方，生育期間中の排水処理（止葉展開期から出穂始期にかけての中干し）を加えると落水時期を出穂7日後および14日後に遅延させても土壌含水比，Icおよび地表面の垂直硬度はいずれも出穂期落水に匹適するか，あるいはそれを上回る土壌乾燥度合を示しており，明らかに落水後の地表面水の排除および地耐力増強面に寄与している。

しかしながら，収穫時の土壌乾燥化に及ぼす中干しの影響が年次によって異なることを認めたので，グライ土〔II〕およびグライ台地土において水稲生育期間中の中干しの強度が収穫時の土壌乾燥化に及ぼす影響について検討した。

Table 15から明らかなように，両土壌とも中干し時の土壌乾燥程度がpF 1.7～1.9（含水比65.3～63.8%）では収穫時の土壌含水比が依然として高く(66～72%)，Ic値も0.5を下回り，かつ地表面の垂直硬度は6.0mm以下で圃場は軟弱である。一方，pF 2.1～2.6（含水比48～58%）の強度の中干しでは収穫時の土壌pF値も2.1～2.5（含水比55～59%）と高まり，地表面の垂直硬度およびIc値も各々12.9～15.0，0.67～0.68に上昇し，地盤も固く収穫機械走行可能な圃場条件となっている。

なお，グライ土〔II〕で土壌の含水比と地耐力の指標となる地表面の垂直硬度との関係をみると(Fig 21)，両者間には高い負相関が認められるが(単純な脱水過程…$r=-0.678^{***}$，中干し処理による大キレツ生成後…$r=-0.91^{***}$)，同一含水比でも

Table 14. Effect of various water management on soil physical and engineering properties after surface drainage (1975, 1976)

Soil	Year	Surface drainage after heading time (day)	Water content by weight (%)	Distribution of soil three phases (%) Sv	Mv	Av	Air percentage (%)	Ic	Hardness of soil surface (mm)
Gley soils [II]	1975	0	63.4	34.1	57.2	8.7	13.2	0.52	6.2
		7	76.1	32.4	63.2	4.4	6.5	0.11	3.6
		7 (+midseason drainage)	66.3	36.0	59.8	4.2	6.5	0.43	6.0
	1976	0	60.4	33.2	56.9	9.9	14.8	0.62	15.0
		7	64.7	31.0	58.0	11.0	15.9	0.48	12.0
		7 (+midseason drainage)	72.5	28.4	60.6	11.0	15.4	0.23	10.0
		14	58.9	33.8	55.0	11.2	16.9	0.67	18.0
Gley Upland soils	1975	0	58.3	38.2	57.6	4.2	5.8	0.30	5.4
		7	72.0	32.5	32.0	5.5	8.1	−0.12	3.2
		7 (+midseason drainage)	55.0	38.5	56.8	4.7	7.6	0.40	5.9

Note) Sampling time ; 1975…Sept 18, 1976…Oct 1

Table 15. Effect of different intensity of midseason drainage on soil physical properties at the time of harvesting (1974～1976)

Soil	Year	Intensity of midseason drainage pF	Water content by weight (%)	Soil condition at the time of harvesting pF	Water content by weight (%)	Ic	Hardness of soil surface (mm)
Gley soils [II]	1974	1.70	65.3	0.45	71.3	0.27	5.0
	1975	1.85	63.8	1.35	66.3	0.43	5.8
	1976	2.10	58.0	2.08	58.9	0.67	15.0
Gley Upland soils	1974	1.90	64.4	0.80	69.8	0.29	5.2
	1975	2.60	48.4	2.48	55.0	0.68	12.9

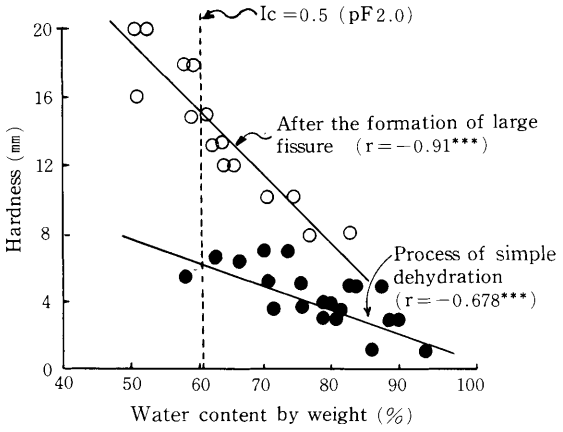


Fig. 21. Relationship between hardness of land surface and water content by weight in Gley soils[II] (1976)

中干し処理を伴わない単純な脱水過程に比べ中干し処理による大キレツ生成後の垂直硬度は著しく高い値を示した。

すなわち，Ic＝0.5（pF2.0，含水比60.8%）における地表面の硬度は前者で6㎜（0.07mg/㎤），後者では14㎜（0.38mg/㎤）であり，中干し処理を行うと同一含水比でも地表面の硬度が高い傾向にあった。

以上のことから，強粘質の排水不良田において落水後の速やかな地表面水の排除と収穫機械の走行に支障のない圃場条件を得るための落水適期はグライ土〔II〕およびグライ台地土では出穂期～出穂7日後が妥当と思われた。

また，収穫時の機械走行可能な地耐力を期待し得る中干しの強度は土壌の脱水・収縮過程，地表面の垂直硬度およびキレツ生成状態からみてpF 2.0以上が必要であるものと判断した。

第4節　作業機種ならびに耕起・砕土法と排水性との関連

圃場整備完了後の水田土壌構造の復元は，その後の土壌管理，とくに導入作業機械の種類や耕起・砕土法，代かき程度などによっても規制される。したがって，本節では圃場整備完了後の水田において土壌の排水性に及ぼすこれら諸要因の影響について検討する。

Table 16にはグライ土〔III〕の圃場整備完了後の水田において，収穫時における大型機械導入の有無が土壌理工学性に及ぼす影響について調査した結果を示した。

Table 16. Effects of various harvesting methods by farm machinery on soil physical and engineering properties in Gley soils [III]

(Part 1)　Plowing time　(May 9, 1975)

Treatment	Horizon	Water content by weight (%)	Bulk density (g)	Distribution of soil three phases(%) Sv	Mv	Av	Total porosity (%)	Air percentage (%)	Permeability coefficient (K_{20}, cm/sec)
Binder	Plowed soil	52.7	103.6	39.8	54.5	5.7	60.2	9.5	1.4×10^{-3}
Ordinary type combine-harvester	Plowed soil	65.4	93.8	36.1	61.2	2.7	63.9	4.2	7.0×10^{-6}

(Part 2)　After surface drainage

Treatment	Horizon	Water content by weight (%)	Distribution of soil three phases(%) Sv	Mv	Av	Air percentage (%)	Shrinkage percentage (%)	Pressure breaking strength (kg/cm²)	Ic	Bulk density (g)
Binder	Plowed soil	58.4	37.3	55.7	7.0	11.2	25.5	19.9	0.64	95.5
Ordinary type combine-harvester	Plowed soil	94.1	26.2	68.3	5.5	7.5	38.3	20.3	−0.18	72.6

両土壌とも1969年秋に圃場整備を完了した一筆35 aの大型水田で，ともに工事施工によって排水不良がもたらされた。しかしながら，工事施工後手刈やバインダーによる収穫（稲わらは全量堆肥にしてから圃場に還元）を続けた土壌に比べ普通型コンバイン連年導入（稲わらはそのまま全量圃場に還元）土壌は耕起時および落水後の土壌含水比および土壌3相中に占める液相割合が高く，逆に気相割合，容気度が明らかに小さい。また，土壌排水能と関連する透水係数のオーダーもはるかに小さく，かつ落水後のIc値も0.5を大幅に下回っている。

つぎに，グライ台地土下の強粘質な灰色低地土（旭川市神楽町西神楽）において圃場整備完了後の土壌の排水性に及ぼす作業機種の影響について検討した。

結果はTable 17（その1～3）に示すように，トラクター作業処理区では植代後の作土の土塊組成中に占める20mm以上の大土塊分布割合が比較的均一である。また，下げ振りの貫入深によって作土表面の硬軟程度を比較すると，耕耘機処理区に比べトラクター処理区の方がやや大きく，かつ剪断および摩擦抵抗値はいずれも前者より後者の方が低い傾向を示している。

Table 17. Effect of different operation types of farm machinery on soil physical and engineering properties in Gray Lowland soils

(Part 1) Distribution of clods of plowed soil after final puddling (May 23, 1970)

Treatment	Distribution of clods (weight %)			
	40～20mm	20～10mm	10～5mm	5mm>
Tiller-operation	15.0	12.0	8.0	65.0
Tractor-operation	22.0	11.0	6.0	61.0

(Part 2) Hardness of puddled plowed soil after final puddling (May 23, 1970)

Treatment	Depth of water (cm)	Hardness* (cm)	Depth of plowed soil (cm)
Tiller-operation	6.2	10.9	19.2
Tractor-operation	7.0	11.1	19.5

Hardness* ; Penetration depth (a conicul of 115g is dropped from a height of 1m)

(Part 3) Shearing and frictional resistance of puddled plowed soil after final puddling (SR-II type) (May 23, 1970)

Item / Vertical load (kg) / Treatment		Shearing and frictional resistance (kg/cm²)**					
		5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5
Shearing resistance	Tiller-operation	9.093	0.133	0.174	0.213	0.270	0.327
	Tractor-operation	0.064	0.113	0.143	0.165	0.223	0.283
Frictional resistance	Tiller-operation	0.039	0.065	0.085	0.102	0.111	0.123
	Tractor-operation	0.034	0.056	0.076	0.089	0.109	0.118

Shearing and frictional resistance** ; Shearing resistance …Vane shearing resistance
Frictional resistance…Sinkage of rectangular plate

一方，トラクター作業系列において耕起深と落水後の土壌理工学性の関係をみると（Table 18, その1～2），普通耕区（耕起深：15cm）に比べ深耕区（同：24cm）の方が土壌3相中に占める気相割合ならびに容気度が高く，かつ透水係数のオーダーも大きい。さらに，アッターベルグ常数をみても，普通耕に比べ深耕の方が落水後の地表面水の消失が早いため土壌の乾燥化が促進され，その結果液性限界，塑性限界および塑性指数がいずれも低下している。したがって，土壌の排水能を高めるためには耕起深の深い方が浅いものより有利な面が多いものと考えられる。

以上のように，圃場整備完了後の排水不良田で土壌構造の復元と排水性を高めるためには大型機械の小型化が必要であり，また耕起深度を高めることも土壌の乾燥化対策の一手法として有効であろう。

Table 18. Effect of depth of plowing on drainage ability of paddy field

(Part 1) Distribution of soil three phases and permeability coefficient after surface drainage

(Oct 4, 1970)

Treatment \ Item	Water content by weight (%)	Distribution of soil three phases (%)			Air percentage (%)	Shrinkage ratio (%)	Permeability coefficient (K_{20}, cm/sec)
		Sv	Mv	Av			
Ordinary plowing	82.8	28.2	67.3	4.5	6.3	37.0	1.3×10^{-5}
Deep plowing	67.9	33.0	62.5	4.5	6.7	26.5	1.0×10^{-4}

(Part 2) Atterberg factors

Treatment \ Item	Soil moisture condition	Water content by weight (%)	Liquid limit (%)	Plastic limit (%)	Plasticity index	Flow index	Toughness index	Ic
Ordinary plowing	Wet	82.8	85.7	44.9	40.8	17.3	2.4	0.07
	Dried	—	71.8	39.5	32.3	21.6	1.5	—
Deep plowing	Wet	67.9	78.0	42.1	35.9	21.6	1.7	0.28
	Dried	—	65.5	37.9	27.6	14.3	1.9	—

Remark) Ordinary plowing……15cm depth
Deep plowing ……24cm depth

第5節　田畑輪換による非水性の改善

強粘質な排水不良田の積極的な排水改善対策として田畑輪換が考えられる。すなわち，畑転換時における3～4箇年間の非湛水期間において作土層は勿論のこと，下層土の土壌構造の発達が期待されるからである[26,28,53,86,88]。

上川管内中央部の湿田型土壌を対象に，水稲連作田と水田転換畑（畑転換後2～3箇年経過）の土壌の理工学特性の比較検討した。

なお，供試試料は各土壌とも耕起・砕土された作土層を取り除き，人為的影響の少ないすき床層について調査した。

結果はTable 19に示すように，全般的に水田転換畑土壌の方が連作水田土壌に比べてち密度が増大する傾向にあり，とくにその程度は地下水位の影響を強くうけるグライ土で明瞭である。

Table 19. Comparison of soil physical and engineering properties between usual paddy fields and converted paddy fields

Soil group	Texture	Land utilization	Hardness (mm)	Distribution of soil three phases (%)			Air percentage (%)	Shrinkage ratio* (%)	Permeability coefficient (K_{20}, cm/sec)
				Sv	Mv	Av			
Peat soils	LiC	Paddy field	14	36.2	57.3	6.5	10.2	14.4	1.9×10^{-6}
		Converted paddy field	13	30.5	64.7	4.8	6.9	14.3	3.7×10^{-7}
	CL	Paddy field	15	25.1	63.9	11.0	14.7	22.0	6.7×10^{-7}
		Converted paddy field	14	38.3	34.7	27.0	43.8	19.0	1.4×10^{-2}
Gley soils	CL	Paddy field	18	36.4	58.1	5.5	8.6	18.9	3.0×10^{-7}
		Converted paddy field	21	39.7	53.0	7.3	12.1	10.4	2.6×10^{-4}
	LiC	Paddy field	16	36.9	58.1	5.0	7.9	17.6	1.5×10^{-5}
		Converted paddy field	18	30.9	42.1	27.0	39.1	15.4	1.1×10^{-2}
Gray Upland soils	LiC	Paddy field	22	48.9	47.9	3.2	6.3	8.2	1.4×10^{-7}
		Converted paddy field	19	45.8	49.8	4.4	8.1	7.3	1.3×10^{-6}
	LiC	Paddy field	18	36.2	59.5	4.3	6.7	20.1	3.0×10^{-6}
		Converted paddy field	17	35.4	43.6	21.0	32.5	12.5	2.4×10^{-3}
Gray Lowland soils	CL	Paddy field	23	38.4	58.6	3.0	4.9	10.4	5.6×10^{-5}
		Converted paddy field	20	32.8	47.7	19.5	29.0	11.7	1.3×10^{-3}
	LiC	Paddy field	17	31.1	64.1	4.8	7.0	16.7	1.2×10^{-3}
		Converted paddy field	22	34.2	48.8	17.0	25.8	8.5	5.2×10^{-3}
Brown Lowland soils	CL	Paddy field	13	40.0	57.7	2.3	3.8	12.2	6.8×10^{-6}
		Converted paddy field	18	34.2	43.5	22.3	33.9	10.9	6.8×10^{-3}
	SL	Paddy field	20	45.8	46.4	7.8	14.4	4.1	2.4×10^{-4}
		Converted paddy field	24	45.7	32.5	21.8	40.1	5.0	4.1×10^{-3}
Mean value		Paddy field	17.6	36.6	58.1	5.3	8.4	14.9	4.6×10^{-6}
		Converted paddy field	18.6	37.1	47.2	15.7	25.0	12.7	3.2×10^{-4}

Shrinkage ratio*……Core soil samples. Sampling date……Late Sept, 1973

つぎに，土壌3相組成をみると水田転換畑は連作水田に比べ土壌3相中に占める液相割合が少なく，かつ気相割合および容気度が顕著に増加しており，土壌環境は明らかに乾燥化の方向にある。さらに，不かく乱土壌の脱水・乾燥に伴って減少する体積変化量（収縮率）も連作水田に比べ水田転換畑の方がはるかに小さい。また土壌排水能の指標となる透水係数のオーダーも連作水田より水田転換畑の方が著しく大きい。

このように，強粘質な排水不良田においては田畑輪換によって下層土の土壌構造の発達と，降下浸透路（キレツ）の形成が旺盛であるため，地表面水の排除と土壌の乾燥化が比較的円滑に進展するものと思われる。

したがって，強粘質な排水不良田の土壌乾燥化対策として，田畑輪換を組入れた水田の高度利用も高く評価されるべきである。

第6節　排水不良田における水稲の生育特性

水稲の初期生育を規制する要因として気象条件，土壌条件ならびに栽培条件などが取り上げられる。さらに土壌環境要因としては地温，排水性，酸化還元状態，有害生成物質濃度および土壌養分などの影響が考えられよう[18,19,24,106,107,108,111]。

排水性不良なグライ土〔III〕と良好な褐色低地土において水稲生育経過の特性を検討した。

その試験処理内容はTable 20（その1，2）に示すとおりである。

Table 20. Experimental design

(Part 1)

Soil	Experimental period	Plowing depth*	Drainage acceleration technique	Organic matter applied (kg/a)	Fertilizer applied (kg/a)
Gley soils [III]	1975～1979	Ordinary plowing (12cm) Deep plowing (18cm)	Underdrainage with earthen-pipe (control) Underdrainage with rice-hull	None Compost 100 Rice straw 50	N 0.64～0.80 P_2O_5 0.84～1.00 K_2O 0.60～0.75 Calcium silicate 6.0
Brown Lowland soils	1975～1979	Ordinary plowing (12cm) Deep plowing (18cm)	————	None Compost 100 Rice straw 50	N 0.80～1.00 P_2O_5 0.80～1.00 K_2O 0.60～0.75

(Part 2)

Soil	Variety	Planting density (number of hills/m²)	Transplanting date	Panicle formation stage	Heading date	Maturing stage
Gley soils [III]	Ishikari	1975～1976 Hand planting (19.8) 1979～1979 Mechanical transplanting (25.3)	May 26 ～ June 1	July 7 ～ July 15	July 28 ～ Aug 9	Sept 19 ～ Oct 3
Brown Lowland soils	Ishikari	1975 Hand planting (22.2) 1976～1979 Mechanical transplanting (27.8)	May 16 ～ May 25	June 30 ～ July 8	July 25 ～ Aug 1	Sept 11 ～ Sept 21

Plowing* ; Rotary tillage by tractor　　Underdrainage with rice hull** ; Late April, 1975

まず，水稲の初期生育良否の指標となる幼穂形成期における草丈，茎数の年次別推移を両土壌で対比すると，茎数は各年次ともグライ土〔III〕より褐色低地土の方が勝っており，かつFig. 22から明らかなように分けつ期から幼穂形成期にかけての茎数増加量も前者に比べ後者の方がはるかに大きい。また有機物施用の影響をみると，排水性良好な褐色低地土では堆肥および稲わら施用による初期生育の抑制がまったくみられないのに対し，圃場条件がきわめて軟弱であった1975，1976両年のグライ土では対照区に比べ稲わら施用区の方が草丈，茎数とも著しく劣っており，明らかに初期生

Table 21. Annumal change of plant length and number of tillers

Soil	Treatment			Panicle formation stage									
				1975		1976		1977		1978		1979	
				Plant length (cm)	Number of tillers	Plant length (cm)	Number of tillers	Plant length (cm)	Number of tillers	Plant length (cm)	Number of tillers	Plant length (cm)	Number of tillers
Gley soils [III]	Ordinary plowing		Control	48.9	18.9	43.8	18.3	53.5	19.9	48.9	16.7	38.2	17.1
			Compost	46.3	20.5	41.5	16.2	49.0	18.8	49.6	19.7	37.1	16.2
		Rice straw	Control	40.3	15.9	37.7	12.5	52.6	21.5	47.7	21.0	38.6	20.7
			Underdrainage with rice-hull	43.8	16.9	40.5	13.0	52.4	23.0	46.9	21.5	39.5	20.3
	Deep plowing		Control	–	–	41.7	17.5	51.7	20.3	51.5	16.9	37.0	15.3
			Rice straw	–	–	39.8	14.3	47.3	14.8	50.1	24.7	39.9	19.0
Brown Lowland soils	Ordinary plowing		Control	42.8	17.6	42.7	24.8	53.9	28.9	50.1	24.6	42.1	21.7
			Compost	46.1	16.7	44.1	28.0	53.1	26.9	50.4	28.4	41.7	20.4
			Rice straw	41.7	15.4	44.3	29.2	56.2	27.8	49.2	23.7	41.3	21.5
	Deep plowing		Control	44.8	16.8	42.7	23.4	53.8	27.5	52.1	26.3	44.0	19.0
			Rice straw	46.4	18.4	43.5	25.7	54.4	30.1	48.7	23.7	42.3	19.0

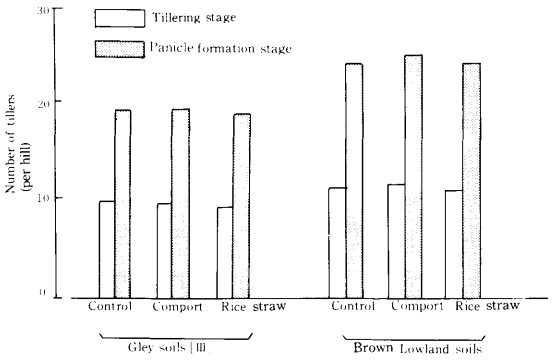


Fig.22 Comparison of number of tillers in Gley soils[III]and Brown Lowland soils(mean valuue of 5years,1975～1979)

育が抑制されている。しかしながら，圃場の乾燥化が進行した1977年以降ではグライ土〔III〕の場合でも稲わら施用による生育の抑制はほとんど認められず，とくに籾殻暗渠を併用した場合には逆に対照区を凌駕する内容を示している。さらに，グライ土〔III〕では普通耕(12cm)より深耕(24cm)の方が初期生育が良好であった。

つぎに，幼穂形成期における乾物重および稲体吸収N量の年次別推移をみると(Table22)，グライ土〔III〕では前述のように1975および1976年の2箇年は稲わら施用によって幼穂形成期の乾物重および稲体吸収N量が無施用（対照区）に比べ著しく劣っているが，1977年以降では対照区と同等かむしろ逆に上回る傾向さえ見受けられる。さらにFig.23からうかがわれるように，1977年では生育全期間にわたる稲体吸収N量は対照区とほぼ同様なパターンをたどっている点が注目される。また同じ稲わらを施用したものでも籾殻暗渠および深耕処理を併用した区では稲わら単独施用区に比べほぼ各年次とも水稲の乾物重およびN吸収量が明らかに勝っている。

なお，非かんがい期における土壌乾燥の良好な褐色低地土では各年次とも堆肥および稲わら施用区が対照区を上回る乾物重およびN吸収量を示した。

以上の結果から，圃場条件の軟弱なグライ土〔III〕は表層土の乾燥が良好な褐色低地土に比べ水稲の

Table 22. Comparison of dry weight and absorbed nitrogen of rice plant at the panicle formation stage

Soil	Treatment			Dry weight (g/m²) 1975	1976	1977	1978	1979	Mean*	Ratio (%)	Absorbed nitrogen (g/m²) 1975	1976	1977	1978	1979	Mean*	Ratio (%)
Gley soils [III]	Ordinary plowing		Control	157.8	94.1	216.3	126.3	68.3	126.0	100	4.07	3.69	8.00	4.70	2.12	4.63	100
			Compost	140.6	80.2	203.7	166.1	86.0	134.0	106	3.22	2.64	7.56	6.98	2.49	4.90	106
		Rice straw	Control	68.6	68.3	203.7	157.6	70.0	125.0	99	1.87	2.72	7.35	5.86	1.81	4.44	96
			Underdrainage with rice hull	101.9	85.4	193.6	170.4	95.3	136.0	108	2.87	2.82	6.72	6.73	2.67	4.74	102
	Deep plowing		Control	–	88.1	174.6	168.6	84.3	128.9	102	–	3.32	6.79	7.03	2.51	4.91	106
			Rice straw	–	73.3	186.0	194.9	85.2	144.0	114	–	3.07	6.51	8.48	2.05	5.03	109
Brown Lowland soils	Orginary plowing		Control	80.7	239.1	158.1	131.6	97.0	141.3	100	2.60	7.27	4.89	5.29	2.78	4.57	100
			Compost	103.6	283.6	154.4	164.0	97.3	160.6	114	3.32	8.56	5.19	6.23	2.92	5.24	115
			Rice straw	72.5	282.2	198.7	186.2	99.2	167.8	119	2.51	8.89	6.97	6.48	2.85	5.54	121
	Deep plowing		Control	71.0	218.2	142.3	137.3	94.5	132.7	94	2.36	6.18	4.28	4.78	3.11	4.14	91
			Rice straw	84.4	240.5	168.3	127.9	87.8	141.8	100	2.89	7.82	5.22	4.45	2.70	4.62	101

Mean * ; Gley soils [III]…4 years(1976～1979)
Brown Lowland soils…(1875～1979)

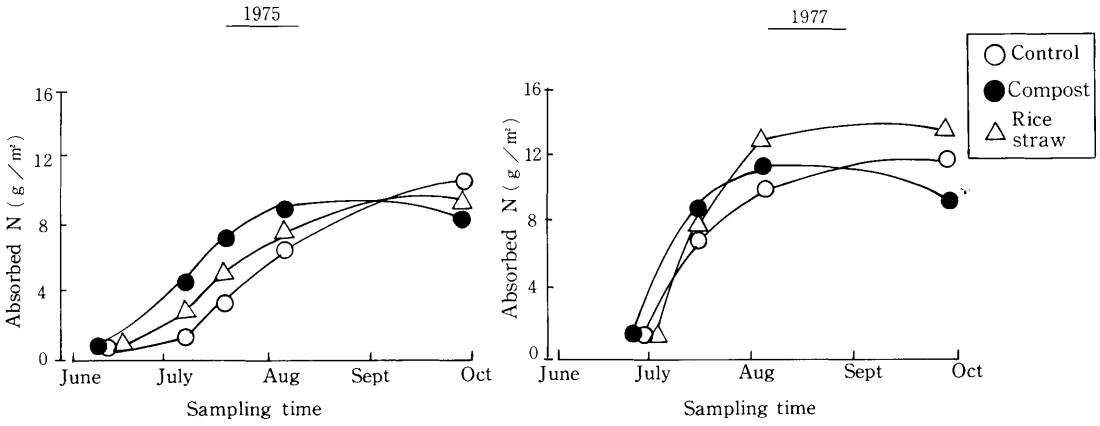


Fig.23 Seasonal changes of absorbed nitrogen of rice plant in Gley soils [III]

初期生育が極端に劣り，しかも稲わらなど未分解な有機物施用によってその傾向が一層助長されるが，籾殻暗渠などの排水法改善処理によって水田表層土の乾燥化を図ればそのマイナス面もかなり消去されることが明らかとなった。

つぎに，水稲の初期生育に及ぼす有機物施用の影響を土壌環境的な要因と関連づけて検討する。なお，還元容量の指標として測定した過マンガン酸カリウム（N／100KM_nO_4）消費量は湿潤土20gに 0.5N－H_2SO_4 30mℓを加え，30分振とう後遠

心分離し，その土壌溶液をN／100 $KMnO_4$ で電位差滴定する。単位は乾土 100 g 当りのmℓで表示した。

Table 23には1975, 1976両年の水田積算地温の月旬別推移を，また植代後の作土層（0～10cm）に分布する粗大有機物量をFig. 24に示した。

Table 23. Monthly changes of accumulated temperature of plowed soil

(℃)

Year and soil		Measurement depth(cm)	June Early	June Middle	June Late	July Early	July Middle	July Late	Total
1975	Brown Lowland soils	5	177	175	179	181	199	236	1,147
		10	166	172	184	183	196	236	1,137
	Gley soils [III]	5	166	172	199	206	223	260	1,226
		10	145	156	172	179	191	230	1,073
1976	Brown Lowland soils	5	203	156	210	206	207	254	1,236
		10	171	157	192	204	206	254	1,184
	Gley soils [III]	5	165	149	182	194	208	263	1,161
		10	161	145	181	201	212	264	1,164

Remarks) Accumulated temperature…accumulation of daily mean values (by thermograph)
Measurement place…Gley soils [III]; Rice straw application plot(1975) and control plot(1976)
Brown Lowland soils; Control plot(1975～1976)

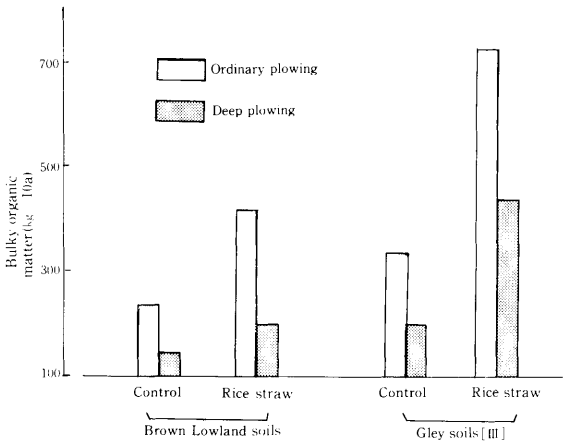


Fig.24 Comparison of bulk organic matter remained in plowed layer in Gley soils[III]and Brown Lowland soils(1975)

まず，6月上旬から7月下旬までの水田地温の推移をみると，排水良好な褐色低地土では6月上・中旬の生育初期における水田地温が排水不良なグライ土〔III〕に比べると明らかに高く，かつ全生育期間にわたり上層（0～5cm），下層（5～10cm）の層位間の温度較差が比較的小さいのに対し，水稲の初期生育抑制が顕著に認められた1975年のグライ土〔III〕における稲わら施用区では10cm深の地温が5cm深に比べて極端に低く経緯している。しかしながら，同一グライ土〔III〕でも正常な生育進度を示した1976年ではこのような現象はみられない。

一方，植代後の作土層10cm内に残存する粗大有機物の量をみると（Fig. 24），グライ土〔III〕は褐色低地土に比べるとはるかに多量の未分解な有機物が残存しており，とくに稲わらを施用した区では2倍以上も上回っている。これらは明らかに両土壌の水分環境，地温などの影響による有機物分解遅速の差異に基づくものと考えられる。また両土壌とも普通耕に比べ深耕では粗大有機物が下層にすき込まれるため，表層での分布量がきわめて少ない。

つぎに，稲わら施用によって水稲の初期生育量に大きな差異がみられたグライ土〔III〕の1975, 1977両年について土壌の理化学的な特徴を比較してみる。

Table 24は耕起時の圃場の土壌水分および3相分布を示したものであるが，1975年の稲わら施用土壌

は無施用土壌に比べ作土および心土の土壌含水比ならびに土壌3相中に占める液相割合がきわめて高く，圃場条件が明らかに過湿気味である。それに対し，1977年では稲わら施用土壌でも土壌含水比が70%以下で，土壌の乾燥化が比較的良好である。

Table 24. Soil physical conditions of two paddy fields at the plowing time

Soil	Year and treatment		Horizon	Bulk density (g)	Water content by weight (%)	Distribution of soil three phases(%)			Total porosity (%)	Air percentage (%)
						S_V	M_V	A_V		
Gley soils[III]	1975 (May 16)	Control	Plowed soil	103.6	52.7	39.8	54.5	5.7	60.2	9.5
			Subsurface soil	112.1	48.8	43.5	54.3	2.2	56.5	3.9
		Rice straw	Plowed soil	78.9	87.0	27.4	68.6	4.0	72.6	5.5
			Subsurface soil	73.3	92.9	26.4	68.1	5.5	73.6	7.5
	1977 (May 10)	Cnotrol	Plowed soil	106.8	49.2	39.0	52.5	8.5	61.0	13.9
			Subsurface soil	104.9	55.9	38.4	58.6	3.0	61.6	4.9
		Rice straw	Plowed soil	84.1	68.3	30.5	57.3	12.2	69.5	17.6
			Subsurface soil	98.0	60.1	35.6	58.9	5.5	64.4	8.5
Brown Lowland soils	1975 (May 17)	Control	Plowed soil	111.0	48.5	43.7	53.8	2.5	56.3	4.4
			Subsurface soil	111.8	46.5	45.1	52.0	2.9	54.9	5.3
		Rice straw	Plowed soil	106.0	51.4	42.7	54.4	2.9	57.3	5.1
			Subsurface soil	112.4	48.4	45.3	54.3	0.4	54.7	0.7

Note)　Plowed soil…0～10cm, Subsurface soil…10～20cm

Table 25. Soil chemical properties of two paddy fields after submergence　(1975)

Soil	Treatment	NH_4-N (mg)	Active Fe (II) (mg)	Consumption of N/100 KM_nO_4 (ml)	Eh_6 (mV)
Gley soils[III] (June 20)	Control	6.21	169.5	360.0	− 122
	Compost	7.23	171.4	350.6	− 142
	Rice straw	6.99	643.9	1,034.0	− 145
Brown Lowland soils (June 25)	Control	3.45	79.4	275.4	− 10
	Compost	3.22	105.8	348.2	− 12
	Rice straw	3.37	238.5	543.5	− 45

一方，湛水約1箇月後の土壌養分の動向をみると(Table 25)，耕起時の土壌条件がきわめて軟弱であった1975年のグライ土〔III〕では乾田タイプの褐色低地土に比べて活性2価鉄生成量ならびに土壌の還元容量の指標となる過マンガン酸カリウム(N／100KM_nO_4)の消費量が明らかに高く，水稲生育初期の土壌環境は還元的である。さらにグライ土〔III〕では稲わら施用によってその傾向が一層助長されており，ちなみに同年の移植後の水稲根は黒変し，葉身も一時枯死するほどであった。

つぎに，グライ土〔III〕における1977年の活性2価鉄生成量の推移を1975年と対比してみると

(Fig. 25), 1977年では1975年に比べ生育前半の生成量がきわめて少なく，幼穂形成期以降で高まっている。この差異は耕起時ならびに湛水時の土壌乾燥程度の影響によってもたらされたものと考える。なお，各年次とも普通耕より深耕の方が湛水後の活性2価鉄生成量が少なく，かつ酸化還元電位も高い傾向が認められた。

以上の結果から，耕起時の土壌条件が過湿なグライ土〔III〕は表層土の乾燥良好な褐色低地土に比べ湛水後の土壌還元化が急速なため水稲の初期生育が著しく劣り，しかも未分解な粗大有機物の施用によってその傾向が一層助長されるが，籾殻暗渠などの排水改善対策によって水田表層土の乾燥化が確保されれば水稲の初期生育もかなり改善され，稲わらなどの粗大有機物も有効な有機物資源として積極的に利用される可能性が大きいものと考える。

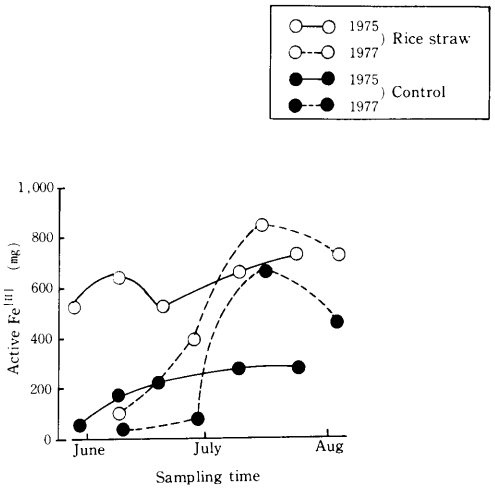


Fig.25 Annual changes of active ferrous iron under flooded condition in Gley soils [III]

第7節　排水性の向上が水稲の生育および収量に及ぼす影響

第1節から第5節までの試験では，強粘質な排水不良田の理工学特性と排水法改善対策技術を明らかにし，さらに第6節では排水不良田と良好田の生育特性を比較検討した。

本節では農業土木的な排水法改善処理ならびに栽培技術的な水管理法の違いが水稲の生育，収量および品質などに及ぼす影響について検討する。

1）排水法改善処理と水稲の生育および収量との関係

グライ土〔II〕およびグライ台地土において水稲の生育，収量に及ぼす排水法改善処理の影響について検討した。その試験処理内容はTable 26に示すとおりである。

Table 26. Experimental design

Soil	Time of: Land consolidation	Time of: Subsoiling with rice-hull	Time of: Underdrainage with rice-hull	Fertilizer applied (kg/a)	Planting density	Variety	Transplanting time	Harvesting time
Gley soils [II]	1970 (Spring)	1974 (May 15)	1974 (May 7)	N : 0.64 P_2O_5 : 1.46 K_2O : 0.63	33×12cm (25.3hills /m²)	Ishikari	May 24	Sept 22
Gley Upland soils	1965 (Autumn)	1974 (May 31)	1974 (May 12)	N : 0.64 P_2O_5 : 1.46 K_2O : 0.63	36.4×13.6cm (20.2hills /m²)	Ishikari	May 28	Sept 25

Table 27. Effects of various drainage acceleration techniques on growth and yield of rice plant (1975)

Soil	Treatment	July 7		Per m²		Total weight (kg/a)	Weight of unhulled rice (kg/a)	Hulled rice		Percentage of	
		Plant length (cm)	Number of tillers	Number of ears	Number of unhulled rices(×100)			Yield (kg/a)	Ratio (%)	Green-kerneled rice(%)	Ripened grains (%)
Gley soils [II]	Underdrinage with earthen-pipe	46.8	24.4	552	244	128.1	57.3	48.2	100	0.1	80.0
	Subsoiling with rice-hull	46.9	29.4	573	257	130.8	58.3	48.9	102	0.3	81.1
	Underdrainage with rice-hull	48.9	27.8	568	252	135.1	60.0	50.3	104	0.2	84.1
Gley Upland soils	Underdrainage with earthen-pipe	42.4	21.3	472	329	118.3	60.4	50.2	100	3.3	79.1
	Subsoiling with rice-hull	45.8	24.2	484	341	120.6	65.3	54.6	109	2.7	83.0
	Underdrainage with rice-hull	43.8	22.5	488	350	118.9	61.8	51.7	103	3.1	79.7

その結果をみると（Table27），両土壌とも籾殻心土破砕区は従来の土管暗渠区に比べて幼穂形成期（7月7日）の草丈，茎数が勝っており，明らかに初期生育が良好な様子がうかがえる。また成熟期においては穂数および総籾数など収量構成要素の確保の面でも勝っており，玄米収量は後者に比べ2～9％上回っている。その内容をみると，とくに圃場全体の地下水位が高いグライ土〔II〕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顕著である。さらに，籾殻暗渠区および籾殻心土破区は土管暗渠区に比べ登熟歩合の高い傾向が認められる。

なお，非湛水期間および湛水期間中における土壌環境状態をみると（Table28），グライ土〔II〕およびグライ台地土とも籾殻心土破砕は土管暗渠に比べ耕起前および収穫後の土壌の乾燥化が良好であり，かつ湛水条件下にあっては土壌の還元化を抑制する傾向が明らかである。

Table 28. Effects of various drainage acceleration techniques on soil physical and chemical properties (1975)

Soil	Treatment	Before plowing (May 7)				Flooding time (June 19)			After harvesting (Oct 4)		
		Water content by weight (%)	Distribution of soil three phases(%) Sv	Mv	Av	Active $Fe^{[II]}$ (mg)	Consumption of N/100 $KMnO_4$ (ml)	Eh_6 (mv)	Water content by weight(%)	Plasticity index	Ic
Gley soils [II]	Underdrainage with earthen-pipe	80.9	30.0	66.8	3.2	139.8	348.5	− 45	68.2	41.4	0.46
	Subsoiling with rice-hull	72.5	31.4	63.1	5.5	18.9	123.6	+ 43	62.3	36.1	0.58
Gley Upland soils	Underdrainage with esrthen-pipe	74.9	31.0	63.0	6.0	189.4	348.8	−175	65.3	33.4	0.27
	Subsoiling with rice-hull	63.3	34.1	58.7	7.2	76.8	177.6	− 55	53.0	31.7	0.68

以上の結果から，籾殻暗渠および籾殻心土破砕は従来の土管暗渠に比べ土壌の乾燥化を促進する効果が大きいため，耕起・砕土時においては易耕性を高める効果が大きいのと同時に，湛水期間中間中にあっては土壌還元の発達を緩和して水稲の初期生育促進と登熟性向上面に寄与する度合の大きいことが明らかとなった。

これらのことから，湿田型土壌を中心とした排水不良田における水稲生産力の向上および地力培養の方策として排水不良対策の意義はきわめて大きいものと考える。

2）水管理法の差異と水稲の生育および収量との関係

つぎに，強粘質なグライ土〔II〕，グライ台地土と中粘質な褐色低地土において，落水後の土壌乾燥化をねらいとした水管理法の違いが水稲の収量品質などに及ぼす影響をみる。

処理内容はTable 29に示すとおりである。

まず，登熟期間中における水管理技術の一つである落水時期の早晩と収量との関係をみると（Table 30），落水後の地表水の排除が困難なグライ土〔II〕とグライ台地上では早期の落水，すなわち出穂期落水が他のいずれの落水時期のものに比べ穂数および総籾数が多く，玄米収量は最も高い。また落水処理後に降雨量が多く，一定の傾向が認められない年もあったが，玄米量および登熟歩合は全般に出穂期落水〉出穂7日後落水〉出穂14日後落水の順に高まっている。さらに湛水期間における中干し（止葉展開期～出穂始期）の影響をみると，いずれも中干し区が同一落水時期（出穂7日後落水，出穂14日後落水）のものに比較して登熟歩合および玄米重が高く，出穂期落水に匹適する内容を示している。

Table 29. Experimental design

(Part 1)

Soil	Site of experiment	Experimental period	Drainage acceleration techniques			Water management				
						Days of surface drainage after heading time				Mid-season drainage
			Underdrainage with earthen pipe	Underdrainage with rice hull	Subsoiling with rice hull	0	7	14	21	
Gley soils [II]	TAKASU	1974～1976	○	○	○	○	○	○	—	○
Gley Upland soils	KAGURA	1974～1975	○	○	○	○	○	○	—	○
Brown Lowland soils	NAGAYAMA	1974～1976	—	—	—	—	○	○	○	○

(Part 2)

Soil	Fertilizer applied (kg/a)	Time of Transplanting	Time of Heading	Time of Harvesting	Variety
Gley soils [II]	N : 0.64～0.75 P_2O_5 : 1.46～1.72 K_2O : 0.63～0.75	May 21 ～ May 24	Aug 4 ～ Aug 5	Sept 18 ～ Sept 22	Ishikari
Gley Upland soils	N : 0.64 P_2O_5 : 0.80 K_2O : 0.64	May 28 ～ June 3	Aug 7 ～ Aug 10	Sept 25 ～ Sept 27	Ishikari
Brown Lowland soils	N : 0.80～0.90 P_2O_5 : 0.80～0.90 K_2O : 0.60～0.68	May 23 ～ May 25	July 31 ～ Aug 2	Sept 16 ～ Sept 20	Ishikari

Table 30. Effects of various surface drainage time on yield and quality of hulled rice

Soil	Treatment (Days of surface drainage after heading time)	Per m² Number of ears	Per m² Number of unhulled rices (×100)	Hulled rice Yield (kg/a)	Hulled rice Ratio (%)	Hulled rice above 2.0mm Yield (kg/a)	Hulled rice above 2.0mm Ratio (%)	Percentage of Green-kerneled rice(%)	Percentage of Ripened grains (%)	Grade of rice kernel *
Gley soils [II] (1976)	0	648	338	62.4	116	58.7	118	30.4	74.3	5中上
	7	622	317	57.0	106	53.2	107	30.0	68.8	5上
	14	604	308	53.6	100	49.9	100	25.8	61.4	5中下
	〃 +midseason drainage	663	341	60.1	112	56.0	112	25.6	77.3	5中上
Gley Upland soils (1975)	0	489	327	52.9	105	45.0	108	5.0	80.6	3中
	7	472	320	50.2	100	41.8	100	3.3	79.1	3中下
	〃 +midseason drainage	507	328	52.6	105	44.9	107	0.9	81.8	3中上
Brown Lowland soils (1976)	7	475	281	51.3	83	42.3	79	5.7	61.2	4上
	14	537	328	56.2	91	45.7	86	15.2	65.1	4中上
	21	568	358	61.8	101	53.3	100	17.1	77.5	4中上
	〃 +midseason drainage	593	353	59.6	96	47.0	88	6.2	66.2	4中下

Remarks: H…High, M…Middle, L…Low

一方，比較対象として行なった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21日後総籾数ならびに登熟歩合がいず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。また全般に落水時期の早期化は米粒の発育を阻害し玄米の小粒化をもたらす傾向にある。さらに中干しの効果は玄米収量の面では出穂14日後後落水および21日後落水のほぼ同程度であるが，内容的には登熟歩合が8%ほど低下し，かつ米粒が小粒化するなど登熟期間における水稲籾の発育にとっては不利な面が多い。

Table 31. Relationship between soil moisture content and RT(Relative turgidity) of leaf blade of rice plant (1974, Brown Lowland soils)

Sampling date	Treatment	Water content * by weight (%)	pF *	Weight of leaf blade(g/hill) Fresh matter	Water saturated matter	Dry matter	RT **	Ratio (%)
July 22 (3days after midseason drainage)	Continuous flooding	> 82.9	0>	11.6	12.6	3.4	89.1	100
	Midseason drainage	68.3	2.05	11.6	12.6	3.3	89.2	100
July 26 (7days after midseason drainage)	Continuous flooding	> 82.9	0>	12.8	12.6	3.6	92.9	100
	Midseason drainage	44.9	2.75	11.6	13.5	3.4	82.8	89

Ramarks) Water content by weight* , pF* …in 5 cm depth

$$RT^{**} = \frac{(\text{weight of fresh leaf blade}) - (\text{weight of dry leaf blade})}{(\text{weight of water saturated leaf blade}) - (\text{weight of dry leaf blade})} \times 100$$

つぎに，排水性良好な褐色低地土において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）との関係について検討した結果をみると(Table31), pF 2.0前後の土壌水分状態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，pF 2.75（含水比44.9%）に達して田面に深い大キレツが生成し，水稲根の切断が観察された極度の低水分条件下では湛水区に比べ常時湛水区では水稲葉身の水分含量が著しく低下し，ＲＴは11%も減少している。

Table 32. Changes of water percentage of ears and leaves of different position on the stem at the ripening period

(1976, Brown Lowland soils)

Treatment	Sampling position of rice plant	Dry weight (g/m²)					Water content of wet matter (%)				
		Aug 17	Aug 25	Aug 31	Sept 6	Sept 16	Aug 17	Aug 25	Aug 31	Sept 6	Sept 16
Surface drainage at 7 days after the heading time	Ear	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	64.4
	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
Surface drainage at 21 days after the heading time	Ear	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	63.6	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

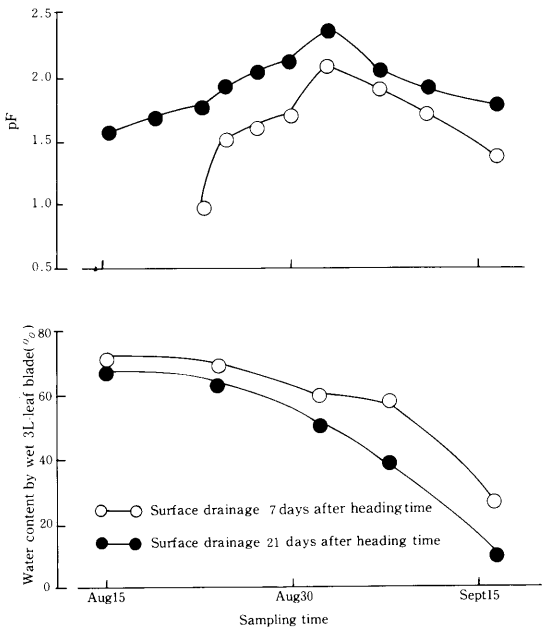


Fig.26 Effect of difference of surface drainage time on pF of soil and water content by wet 3L-leaf blade of rice plant(Brown Lowland soils)

このことから，圃場においてpF 2.75付近の低水分状態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。[24,115]　。

さらに褐色低地土において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みると(Table32, Fig. 26), 水稲体の穂部および葉身部の含水率は，落水時期が早く，かつ土壌水分が低下してpF値の高い方が低い傾向にあり，出穂７日後落水は出穂21日後落水に比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。

なお，グライ土〔II〕およびグライ台地土においても同様な検討を行ったが，いずれの処理でもpF 2.2以上の土壌乾燥が得られなかったためこの様な関係は認められなかった。

つぎに，グライ土〔II〕と褐色低地土において過去の実験結果[42]と対比しながら土壌水分と水稲籾の登熟との関係について模式図を作成した(Fig. 27)。

それをみると，登熟過程で水稲籾の正常な発育を満たす土壌の含水比は強粘質のグライ土〔II〕で58%以上（pF 2.3以下），中粘質の褐色低地土で66%（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以上に相当している。また登熟阻害に転ずる土壌含水比はグライ土〔II〕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，これらの値はいずれも圃場容水量（pF 1.5～2.7）の下限に位置している。

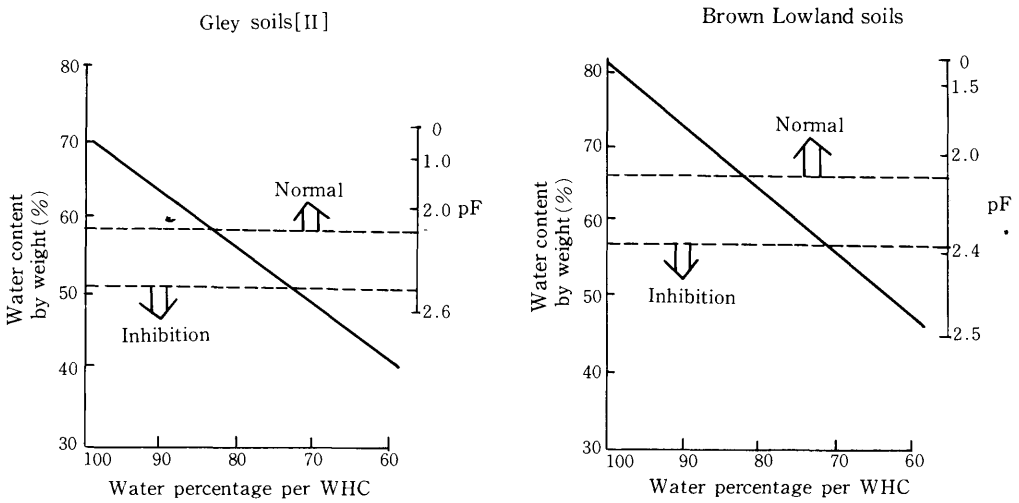


Fig. 27. Relationship of water holding capacity (WHC) and water content of soil to ripening process of rice plant

第4章　排水不良田に対する有機物施用の影響

前章までに　強枯質な排水不良田の理工学的な要因解析を行い，グライ土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表層土を構成する泥状化した和水膨潤層が排水性を不良にしている場合と，グライ台地土水田のように下層土が緊密で，孔隙絶対量の不足が排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た。さらにこの種水田で水稲の生産性向上を図るうえでの土壌的な制限要因の摘出とその対策について検討した結果，土壌の乾燥化対策としては籾殻暗渠，籾殻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～出穂始期）および適期落水（出穂期から出穂7日後落水）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指摘した。そしてこれら土壌乾燥化技術が水稲の生育促進，登熟性の向上ならびに玄米生産の安定的確保の面からもきわめて有効であることを立証した[62,64,65,68,70]。

一方，排水不良な湿田型土壌における水稲の生育パターンは，一般に初期生育の不振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いるが[71]，　他方では収穫作業の機械化に伴って排出される稲わらの直接圃場への還元はその傾向を一層助長している。とくに耕起時の圃場状態が軟弱なグライ土では稲わらの散布処理によって地表水の排除機能の低下が著しく，異常還元に伴う水稲の養分吸収の阻害ならびに生育遅延に起因する米質低下がみられるまでに水稲生産の安定化および水田における生産有機物の有効利用面でも大きな障害となっている。

以上の背景を踏まえ，本章では地力の維持増進および機械化作業体系の効率化の立場から生産有機物（稲わら）の性状および施用方法が水稲の生育、収量ならびに土壌の理化学性におよぼす影響について検討する。

第1節　稲わら施用に伴う水稲の生育不良要因の解析

水田に対する堆厩肥等の有機物投与量が減少する中で地力の低下および土壌の悪化が指摘され，各地で地力増強の必要性が論じられている。反面，現在の機械化一貫作業体系の中で良質堆厩肥の生産を強く求めることには多くの困難を伴っていることも事実である。

さらに，前章でのべたように排水性良好な乾田型土壌では稲わらの直接圃場へのすき込み利用でも堆肥同等の地力増進効果が期待できるため，積極的に利用される場面が多いのに対し，排水性不良な湿田型土壌では逆に悪影響を及ぼす場合が多く，一般には圃場外搬出かあるいは焼却という措置がとられている[116,117]。

本節ではグライ土〔Ⅲ〕と褐色低地土の2種類の土壌を供試し，稲わら施用に伴う土壌化学性の変化，とくにアンモニア態窒素，活性2価鉄生成量ならびにポリフェノール系物質濃度の消長と水稲の初期生育障害との関係をポット試験で検討する。

1．実　験　方　法

①NH_4 －N…湿潤土45gに12.3％KC1 105mℓを加え（乾土：10％KC1浸出液＝1：10の割合に相当),30分振とう後ロ過する。ロ液はセミミクロ蒸留装置にてNH_4 －N定量に回す。値は乾土100g当りのmgで表示した。

②活性2価鉄…外気との接触をさけて注意深く採取した湿潤土1gを予め 100mℓの 0.2％塩化アルミニウム（$AlCl_3$)溶液を入れた広口ポリビンに秤取する。ついで1時間振とう後ロ過し，ロ液は直ちにα－α′ジピリジル法によって発色させ，

分光光度計で波長520nmにてその透過率を測定する。値の表示法はNH_4－Nの場合と同様である。

③全ポリフェノール…湿潤土（水分50%前後）約50ｇを 100mℓ容の遠心管に秤取し，遠心分離（7,000 rpm，20分）によって土壌溶液を回収する回収液はホーリンデニス法（栽培植物分析測定法）419－423，養賢堂，1975）[10] にて全ポリフェノール系物質濃度を測定する。

なお，検量曲線の作製にはD－(+)－Catechineを使用した。

④酸化還元電位（Eh）…ポリ袋中で良くねりつぶした湿潤土を 200mℓ容ポリビーカーに移し，空気との接触をさけるため土表面を約１cm位の脱塩水で満たす。ついで白金電極（HORIBA No.3010）を挿入し，10分後に数値を読みとる。単位はmvで表示した。

2．試　験　内　容

本試験は1976，1978の両年にわたって実施した。各年次における具体的な試験設計内容は以下に示すとおりである。

A試験…1)試験年次；1976年，2)試験規模；100㎡のノイバウエルポット試験，人工気象箱，２連制，3)供試土壌；グライ土〔Ⅲ〕，褐色低地土（いずれも 2.0mm篩別風乾細土），4)供試品種；「イシカリ」（稚苗），5)処理内容；有機物処理（無施用，堆肥および稲わら 1.0%／土壌重量），温度処理（昼夜17℃，20℃），6)施肥量；N，P_2O_5，K_2O 各々 0.2ｇ／ポット，7)移植日；５月24日（３株／ポット，１株２本植）

B試験…1)試験年次；1978年，2)試験規模；a／5,000 ワグネルポット試験，２連制，3)供試土壌；A試験と同一，4)供試品種；「イシカリ」（中苗），5)処理内容；稲わら施用量（０，0.5，1.0%／土壌重量），移植前の湛水日数（０，15，30日），6)施肥量；N，P_2O_5，K_2O各々0.5ｇ／ポット，7)移植日；５月26日（３株／ポット，１株２本植）

3．試　験　結　果

有機物の種類ならびに気温条件が水稲の初期生育に及ぼす影響を土壌別に検討した結果をTable 33 に示した。

Table 33. Effect of organic matter and temperature on initial growth of rice plant

Soil	Temperature (℃)	Organic matter	Growth: June 2 Plant length (cm)	June 2 Number of tillers	June 15 Plant length (cm)	June 15 Number of tillers	June 29 Plant length (cm)	June 29 Number of tillers	Dry weight (g/2hills): June 2	June 15	June 29
Gley soils〔Ⅲ〕	17	None	13.6	3.0	27.4	5.8	38.5	19.0	0.22	1.07	4.21
		Compost	14.9	3.0	27.3	5.0	39.8	19.5	0.28	1.00	4.69
		Rice straw	13.9	2.8	23.6	3.0	34.4	12.5	0.24	0.65	1.88
	20	None	19.8	3.0	45.1	6.8	59.1	19.0	0.34	2.76	8.09
		Compost	18.9	3.0	45.4	8.3	59.5	20.0	0.37	3.20	8.26
		Rice straw	16.4	2.8	40.8	4.5	57.8	20.5	0.27	1.76	6.24
Brown Lowland soils	17	None	14.0	2.8	23.6	4.5	36.3	15.0	0.22	0.70	2.87
		Compost	13.7	3.0	23.8	5.5	38.7	17.0	0.23	0.84	3.20
		Rice straw	13.5	2.5	22.5	3.0	35.2	10.5	0.19	0.64	2.03
	20	None	20.4	2.8	47.3	5.8	61.5	17.0	0.30	2.48	7.34
		Compost	19.5	3.0	45.9	7.0	60.1	19.0	0.31	2.87	7.50
		Rice straw	18.0	2.8	40.7	5.5	56.6	16.0	0.25	1.62	6.33

その結果をみると，草丈，茎数および乾物重の推移は終始気温20℃の方が17℃を上回っており，6月29日（移植後35日目）の乾物重の比較では2倍以上の較差がみられる。また施用有機物との関連では，両土壌とも堆肥施用は無施用および稲わら施用に比べて茎数ならびに乾物量の増加が顕著であり，未熟稲わら施用が最も劣っている。とくにその傾向は褐色低地土よりもグライ土〔III〕で明瞭である。

一方，地上部稲体の窒素含有率をみると(Table34)，

Table 34. Changes of nitrogen percentage and amount of absorbed of rice plant

Soil	Temperature (℃)	Organic matter	Nitrogen percentage (%)			Absorbed nitrogen (mg / pot)		
			June 2	June 15	June 29	June 2	June 15	June 29
Gley soils〔III〕	17	None	4.48	4.66	3.47	14.8	75.0	218.3
		Compost	3.52	4.66	3.55	14.8	69.9	250.3
		Rice straw	4.06	4.29	4.08	14.6	42.0	116.4
	20	None	6.24	4.29	1.77	31.8	177.6	215.1
		Compost	4.62	4.18	1.92	25.9	200.6	239.1
		Rice straw	5.57	4.24	2.12	22.8	111.9	197.1
Brown Lowland soils	17	None	4.91	4.43	4.19	16.2	46.5	182.4
		Compost	4.67	4.54	3.85	16.4	57.2	184.8
		Rice straw	4.68	4.19	3.82	13.6	40.2	114.6
	20	None	5.08	4.25	1.89	22.9	119.9	207.0
		Compost	4.69	4.29	1.87	22.0	185.0	210.3
		Rice straw	4.84	4.31	2.10	18.4	104.7	198.6

気温17℃処理は20℃処理に比べ移植直後（6月2日）でやや低く，移植後約1箇月経過した時点(6月29日）では逆に高まっており，かつその程度は褐色低地土よりグライ土〔III〕の方が顕著である。さらに稲体の窒素吸収量は気温20℃の方が17℃を，また褐色低地土よりグライ土〔III〕の方がそれぞれ上回っている。

つぎに，有機物施用の影響をみると，両土壌とも移植直後の稲体窒素吸収量は無施用より有機物施用の方がやや劣っているが，堆肥施用では漸次無施用を凌駕する値を示している。しかしながら，未熟稲わら施用の場合には6月29日の時点でも依然として無施用を下回っており，しかもその程度は気温20℃処理よりも17℃処理で著しい。

なお，土壌化学性の分析結果をみると(Table35)，アンモニア態窒素（NH_4－N）の推移は両土壌と

Table 35. Changes of HH_4－N, active Fe$^{(II)}$ and oxidation－reduction potential (Eh)

Soil	Temperature (℃)	Organic matter	NH_4－N (mg)			Active Fe$^{(II)}$ (mg)			Eh (mv)		
			June 2	June 14	June 30	June 2	June 14	June 30	June 2	June 14	June 30
Gley soils (III)	17	None	48.3	65.0	42.8	30.0	68.2	－	＋82	－ 95	－
		Compost	49.8	75.9	39.7	47.1	102.7	－	＋55	－ 70	－
		Rice straw	50.9	75.4	42.8	265.3	311.7	－	－32	－155	－
	20	None	51.4	79.7	46.8	17.1	149.5	－	＋95	－ 28	－
		Compost	56.1	85.2	42.8	47.1	124.3	－	＋98	－ 25	－
		Rice straw	56.8	81.0	45.8	256.7	398.0	－	－ 0	－ 95	－
Brown Lowland soils	17	None	54.2	65.9	37.2	32.2	34.8	－	＋35	－ 60	－
		Compost	49.4	59.9	31.6	100.6	125.6	－	＋20	－ 50	－
		Rice straw	52.0	68.2	33.1	440.7	250.0	－	－15	－ 45	－
	20	None	52.3	64.8	30.5	30.0	34.4	－	＋70	－ 10	－
		Compost	52.2	68.1	29.5	68.6	90.1	－	＋45	－ 50	－
		Rice straw	60.2	73.6	37.7	442.9	362.0	－	－70	－165	－

も気温20℃処理の方が17℃処理より高く，かついずれの条件下においても無施用に比べ有機物施用の方が勝っている。さらに6月14日以降のアンモニア態窒素の生成量を土壌間で比較すると，グライ土〔III〕の方が褐色低地土を凌いでおり，この結果は稲体窒素吸収量の関係とほぼ一致している。一方，活性2価鉄生成量は両土壌とも処理温度とは無関係に稲わら施用によって急激に高まっており，土壌別にみると6月2日では褐色低地土が，また6月14日ではグライ土〔III〕がそれぞれ高い傾向にある。

つぎに，移植日を同一にした場合の移植前の湛水日数を0，15，30日の3群に，また稲わらを土壌重量当り0，0.5，1.0%施用して移植の土壌環境の相違が水稲の初期生育に及ぼす影響について両土壌で検討したB試験結果を Table36 および Fig28 に示した。

Table 36. Effects of submerged soil conditions at the transplanting on initial growth of rice plant

Soil	Submerged days before transplanting	Applied rice straw (%/soil)	Growth: June 20 Plamt length (cm)	Growth: June 20 Number of tillers	Growth: July 6 Plant length (%)	Growth: July 6 Number of tillers	Dry weight (g/pot): June 23 Top	Dry weight (g/pot): July 10 Top	Dry weight (g/pot): July 10 Root
Gley soils〔III〕	0	0	29.0	9.3	48.7	31.0	1 5	7.7	1.8
		0.5	21.6	7.3	44.8	18.3	0 5	3.6	1.3
		1.0	17.9	2.2	37.7	9.8	0 7	2.2	0.9
	15	0	24.7	7.3	47.3	25.3	0 8	4.3	1.1
		0.5	24.7	6.0	44.5	20.0	0 6	4.7	1.5
		1.0	13.9	2.2	37.8	11.3	0 3	2.5	1.0
	30	0	21.5	4.7	39.1	17.4	0 5	2.8	0.6
		0.5	21.6	2.8	43.6	16.3	0 5	3.5	1.1
		1.0	11.5	2.0	36.0	6.3	0 1	1.0	0.5
Brown Lowland soils	0	0	28.7	13.0	49.6	23.5	1 2	14.0	3.1
		0.5	27.0	7.0	47.3	23.5	0 9	11.7	2.8
		1.0	21.8	4.7	43.3	15.5	0 8	8.1	2.8
	15	0	27.6	7.3	42.3	21.5	1 1	8.2	3.1
		0.5	24.9	4.7	42.5	15.0	0 7	11.1	4.0
		1.0	22.8	4.0	44.6	18.0	0 4	8.1	3.8
	30	0	27.6	6.0	44.7	22.5	0 7	5.9	2.0
		0.5	24.7	5.0	42.6	19.5	0 4	7.8	2.6
		1.0	18.0	3.3	33.8	14.0	0 3	3.9	2.0

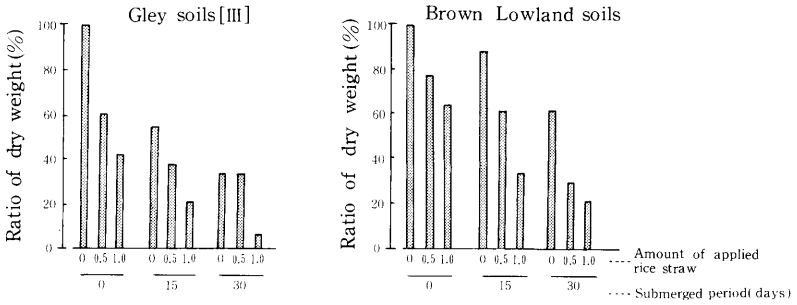


Fig. 28. Comparison of dry weight of rice plant in Gley soils[III] and Brown thowland soils (June 23)

まず，生育調査結果をみると，両土壌とも移植前の土壌湛水期間が長いものほど水稲の初期生育が明らかに抑制されており，草丈，茎数，乾物重はいずれも0＞15＞30日の順に大きい。また稲わら施用間の比較では0＞0.5＞1.0%の順に施用量の多いものほど生育の停滞が著しい。とくに稲わら1.0%施用での生育量の低下が顕著でグライ土〔III〕の移植前湛水日数が30日のものでは移植3日後にすでに水稲葉身が枯死し，かつその後の回復程度も著しく遅滞した。

Table 37. Comparison of nitrogen percentage and absorbed nitrogen of rice plant

(July 10)

Soil	Submerged days before transplanting	Applied rice straw (%／soil)	Nitrogen Percentage (%)	Nitrogen Absorption (mg / pot)	Ratio of absorbed nitrogen (%)
Gley soils〔III〕	0	0	2.56	196.4	100
		0.5	3.66	132.9	68
		1.0	3.41	76.0	39
	15	0	2.20	94.2	48
		0.5	2.51	118.7	60
		1.0	3.38	83.8	43
	30	0	2.45	67.4	34
		0.5	2.92	103.1	53
		1.0	3.35	33.5	17
Brown Lowland soils	0	0	2.20	308.0	100
		0.5	2.67	312.4	101
		1.0	2.86	231.7	75
	15	0	3.10	254.2	83
		0.5	3.17	351.9	114
		1.0	2.98	241.4	78
	30	0	2.73	161.1	52
		0.5	2.79	217.6	71
		1.0	3.04	118.6	39

Table37には，移植後45日目における地上部稲体の窒素含有率および吸収量を示したが，その結果をみると両土壌とも稲わら施用量の増加に伴って稲体窒素含有率の高い傾向が認められ，さらに移植前の土壌湛水期間の長いものほど稲体窒素吸収量が明らかに低下している。また稲わら0.5%施用では生育初期での障害が少なく，かつ生育中期以降の窒素供給量が多いため稲体窒素吸収量はむしろ無施用を上回っている。しかしながら，稲わら1.0%施用では生育初期での障害が大きかったため，十分な回復には至っていない。

一方，土壌間での比較ではいずれの条件下においても褐色低地土の稲体窒素吸収量がグライ土〔III〕の値を大幅に上回っており，しかもその程度は移植前の土壌湛水期間が長く，かつ稲わら施用量の多いもの程顕著である。

つぎに，移植時および移植後の土壌の化学成分の動向について検討した結果をみると(Table38)，両土壌とも移植前の湛水期間が長く，かつ稲わら施用量の多いもの程活性2価鉄生成量が明らかに多い。とくに稲わらを施用して移植30日前に湛水したものでは400～600mgにも達する高い濃度を示している。さらに土壌間の比較ではいずれの処理においても水稲生育量の勝った褐色低地土の活性

Table 38. Changes of NH_4 –N, active $Fe^{(II)}$ and concentration of total polyphenolic substances of flooded soil

Soil	Submerged days before transplanting	Applied rice straw (%/soil)	NH_4 –N (mg)		Active $Fe^{(II)}$ (mg)		Eh (mV)		Total polyphenol (ppm)	
			May 25	June 12	May 25	June 12	May 25	June 12	May 25	June 12
Gley soils〔III〕	0	0	30.2	33.0	13.1	11.2	−120	− 240	0.7	0.6
		0.5	35.8	38.6	19.2	173.0	−110	− 370	1.1	1.5
		1.0	36.4	35.4	35.8	216.4	−120	− 370	3.0	24.0
	15	0	31.6	34.7	18.4	112.3	−120	− 260	0.7	1.0
		0.5	27.5	51.6	104.4	296.0	−280	− 370	8.5	3.2
		1.0	30.3	38.4	137.1	382.3	−340	− 390	15.5	4.0
	30	0	33.4	44.5	24.0	58.0	−100	− 290	1.0	3.9
		0.5	40.8	57.4	410.1	446.8	−330	− 360	15.7	13.8
		1.0	31.6	46.4	494.7	544.1	−350	− 400	22.0	10.5
Brown Lowland soils	0	0	43.7	44.2	18.1	11.3	− 45	− 160	0.4	0.4
		0.5	27.6	29.3	18.4	162.1	− 2	− 310	0.5	8.2
		1.0	27.3	24.1	38.3	356.1	−100	− 390	4.1	4.0
	15	0	26.6	24.4	33.2	56.4	−185	− 200	0.5	0.4
		0.5	52.5	39.5	106.5	279.2	−200	− 310	4.5	3.8
		1.0	38.2	23.1	371.2	629.6	−340	− 390	14.0	3.3
	30	0	31.1	41.9	56.2	60.8	−150	− 250	1.1	1.0
		0.5	29.9	41.5	486.4	505.3	−250	− 380	13.0	18.5
		1.0	30.9	30.7	566.1	644.0	−350	− 400	26.0	7.8

2価鉄生成量がグライ土〔III〕を上回る場合が多い。

一方，水稲根の養分吸収に直接関与するとされている土壌溶液中の全ポリフェノール濃度の変動をみると，5月25日（移植時）ならびに6月15日とも無施用に比べ稲わら施用で著しく高く，とくに移植後の生育障害が大きかった両土壌の移植30日前湛水，稲わら 1.0%施用では水稲の生育阻害

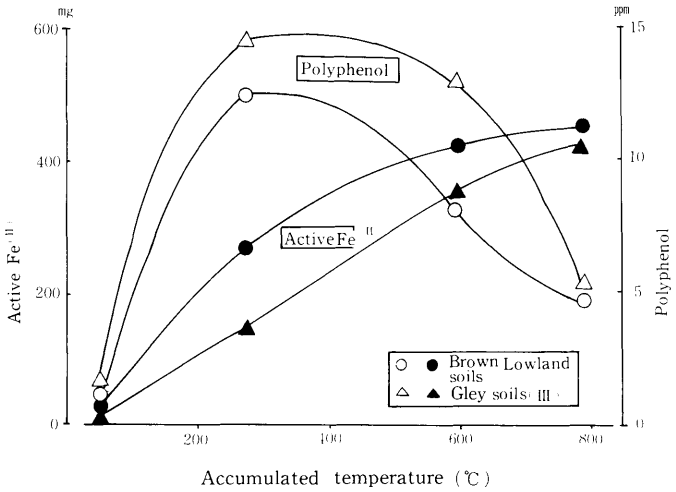


Fig. 29. Relationship between accumulated soil temperature and polyphenol and active $Fe^{(II)}$

限界濃度（20ppm）[96] を越える22～26ppmもの高い濃度に達している点が注目される。

さらに，湛水期間中の日平均積算地温と活性２価鉄生成量および全ポリフェノール濃度との関係をみると（Fig29），活性２価鉄濃度は両土壌とも積算地温の上昇に伴って明らかに高まるが，土壌間の比較ではグライ土〔III〕より褐色低地土の方が常に高く推移している。また全ポリフェノール濃度は両土壌とも日平均積算地温が 200～ 300℃でピークがみられるが，グライ土〔III〕は褐色低地土に比べ終始濃度が高く，かつ残存期間の長い特徴を有している。また同一濃度でも褐色低地土に比べグライ土〔III〕の方が水稲に対する阻害程度がきわめて大きいことから，いわゆる有害物質に対する水稲の生育障害抵抗性が土壌の種類によって異ることを裏付けている。

これらの結果から，稲わら施用による水稲の生育障害は中粒質の褐色低地土に比べ細粒質のグライ〔III〕で大きく，しかも常温より低温下で両者の差異が著しく大きくなることが明らかとなった。さらに稲わら施用に伴う水稲生育障害の主要因は稲わら中に含まれるポリフェノール系物質に起因する度合がきわめて強く，窒素飢餓および２価鉄の関与は付随的なものであろうと推察した。

以上のような諸事象から，1975および1976の両年にわたってみられたグライ土〔III〕圃場における水稲生育の著しい不振は，主として根圏域の低地温の影響と施用稲わらの過剰集積によって生成されるポリフェノール系化合物の直接的な関与によって惹起されたものと考えられる。

第２節　稲わら堆肥の腐熟度判定法

近年，水稲収穫作業の機械化や労力不足などの面から，従来貴重な有機物資源とされていた稲わらは堆肥の材料として利用するよりも直接圃場に散布，すき込みする割合が急激に高まっている。そのため，排水不良な湿田型土壌では稲わらの直接圃場への還元によって土壌環境が悪化し，水稲の初期生育抑制や生育遅延に起因する玄米の品質低下が目立っている。したがって，この種土壌では完熟堆肥，堆積稲わらなどのような腐熟度の高い有機物施用の必要性が指摘されている[22]。

一方，粗大有機物の腐熟度を判定する場合，従来から肉眼観察による色の違い，灼熱損失量およびC／N比などの方法が一般的な基準として広く用いられているが，これらの方法は高度な熟練と多くの分析時間を必要とする[45, 105, 136]。

したがって，本節では稲わらの腐熟度を簡易に判定する方法として新たにアルカリ抽出法を取り上げ，従来の化学的諸性質と対比するとともに，この判定基準で得られた稲わらの腐熟程度の差異と水稲の初期生育との相互関係についても併せて検討する。

1．実　験　方　法

この試験は以下の３方法より成る。

A．アルカリ抽出条件の検討…1)抽出液(NaOH)の濃度；0.1，0.5，1.0%，2）抽出時間；6，24時間，3）試料と抽出液量比；I法－2：30（比色測定時に2：222の割合に希釈），II法…2：225，4）試料調整法；乾燥・未粉砕（1cmに切断）乾燥・粉砕

B．アルカリ抽出法と化学分析値との比較検討…1）供試材料；道立上川農試場内の腐熟試験で得られた試料（38点），現地農家で得られた試料（19点），その他（現物稲わら，堆積稲わら，完熟稲わら堆肥），2）分析項目および方法；分解率（乾物減少量，重量%），灼熱損失量（500℃，4時間），全窒素（ケルダール法），全炭素（チューリン法），3）アルカリ抽出法；乾燥・粉砕試料2gに0.5%NaOH 30mℓを加え，時々かく拌しながら室温にて20時間放置。ロ過後，抽出液4mℓを目盛付比色管に採取し，0.5%NaOHで30mℓにメスアップ。直ちに分光光度計で吸光度(470nm 610nm）を測定する。

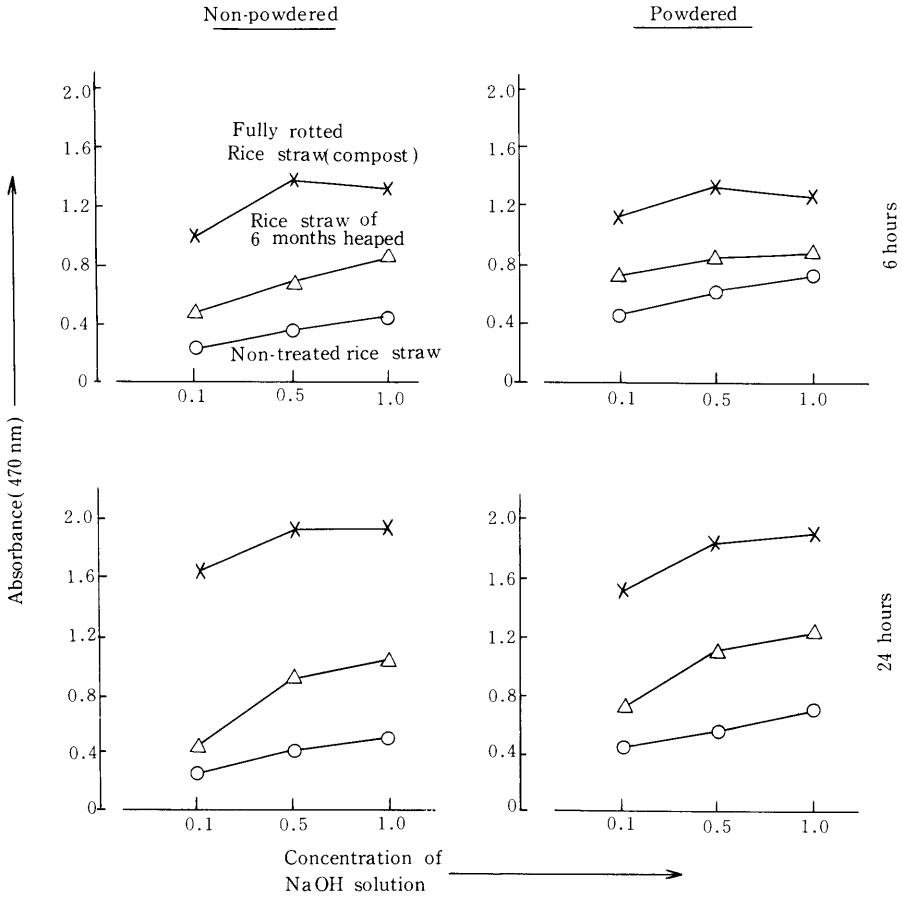
C．腐熟度判定基準の適応試験…第4章，第1節のA試験の設計内容と同一である。

2．試　験　結　果

2）アルカリ抽出条件の検討

アルカリ抽出の条件としてNaOHの濃度，抽出時間，試料粉砕の有無の影響について検討した。その結果をFig30に示した。

まず，抽出液の濃度的な関係をみると，各資料ともNaOH濃度が0.1％のものは0.5％および1.0％に比べて腐熟稲わら含有腐植物質の吸光度が低く，とくにその傾向は未熟なものよりも熟度の進



Remarks) The characteristics of rice straw used

Organic matter	T－C (%)	T－N (%)	C／N
Non-treated rice straw	38.5	0.65	59.2
Rice straw of 6 months heaped	26.6	1.71	15.6
Fully rotted rice straw (compost)	20.3	2.11	9.6

Fig. 30. Effect of NaOH concentration, extracting hours, and powdering of rice straw on absorbance of extracted solution

んだ完熟稲わら堆肥で明瞭である。また0.5 %に比べ1.0 %の方が全般に吸光度が高いが，24時間浸漬では大差がみられない。

つぎに抽出時間との関係をみると，浸漬時間が24時間のものは6時間に比べるといずれも吸光度が高く，明らかに抽出時間の長い方が腐熟稲わら含有腐植物質の抽出量が多い傾向を示している。さらに腐熟度との関係では熟度の高いものほどその影響が強い。

一方，試料粉砕有無の影響をみると，腐熟度の低いものでは未粉砕に比べて粉砕試料の方が高い吸光度を示すが，腐熟度の進んだものでは 0.5% NaOH溶液中に24時間浸漬条件による差異はほとんど認められない。

つぎに，腐熟稲わら含有腐植物質抽出時における試料と抽出液量比の関係をみると（Table39，Fig31），抽出時の試料に対する抽出液量の多いものの方が少ないものに比べ明らかに吸光度（470nm，610nm）が高い傾向を示すが，吸光比（470nm／610nm）をみると，両者ともほぼ近似した値を示している。

Table 39. Effects of sample-extracting solution ratio on absorbance of extracted solution

Sample		T−C (%)	T−N (%)	C／N	I method(2:30) 470nm	I method(2:30) 610nm	I method(2:30) 470nm/610nm	II method(2:225) 470nm	II method(2:225) 610nm	II method(2:225) 470nm/610nm
Rice straw placed on the soil surface	Control	37.8	0.68	55.6	0.36	0.11	3.27	0.50	0.14	3.52
	Ammonium sulfate added	36.6	0.87	42.1	0.42	0.12	3.50	0.55	0.16	3.44
	〃 + compost juice	34.8	1.03	33.8	0.44	0.13	3.39	0.57	0.17	3.38
Non-treated rice straw		39.0	0.61	63.9	0.45	0.09	5.29	0.52	0.09	6.05
Rice straw heaped for 6 months		30.7	1.30	23.6	0.60	0.23	2.64	0.61	0.24	2.56
Fully rotted rice straw (compost) A		25.0	1.47	17.0	0.76	0.43	1.79	0.80	0.51	1.58
〃 (〃) B		23.9	1.54	15.5	0.78	0.45	1.73	0.81	0.46	1.76

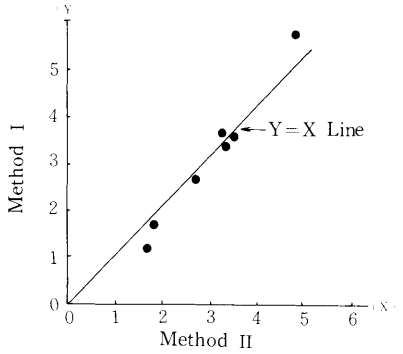


Fig. 31. Effect of extraction method I and II on absorption ratio of extracted humic solution

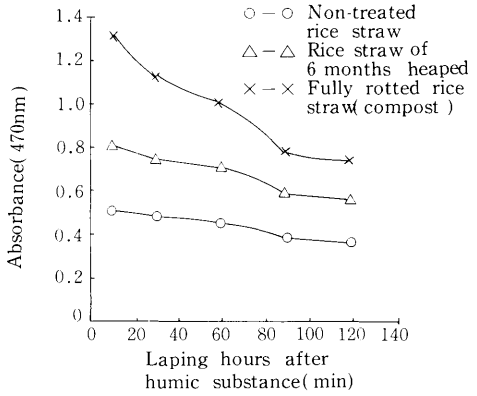


Fig. 32. Effect of elapsed time after extraction on absorbance of extracted humic solution

なお，抽出後の経過時間とアルカリ抽出腐植物質の吸光度（470nm）との関係について検討した結果（Fig32），腐熟度の低い現物稲わらおよび堆積稲わらでは抽出後の経過時間に伴う吸光度の低下割合は比較的緩慢であるが，腐熟度の高い完熟稲わら堆肥ではその割合がきわめて大きい。

以上の結果に基づき，以下の実験にはつぎの抽出条件を取り入れた。すなわち，乾燥・粉砕試料

2 gに0.5%NaOH 30mℓを加え，室温(20℃前後)で20～24時間放置。ロ過後，抽出液4 mℓを 0.5% NaOHで30mℓに希釈し，直ちに分光光度計で吸光度(470nm，610nm) を測定する。

1) アルカリ抽出法と化学分析値との比較検討

つぎに，腐熟程度の異なる試料を用い，従来から粗大有機物腐熟度判定の指標として広く採用されている全窒素含量，灼熱損失量およびC／N比などの化学分析値とアルカリ抽出法との関係につ

Table 40. Decomposition ratio and chemical properties of decomposed rice straw

(Part1) Experimental field of Kamikawa Agricultural Experiment Station (Oct 27, 1973 ~April 22, 1974)

Treatment	No	Decomposition ratio (%)	T－C (%)	T－N (%)	C／N	Ignition loss (%)	Absorbance 470nm	Absorbance 610nm	470nm/610nm
Placed on the soil surface	1	43.2	39.3	0.70	56.1	83.8	0.47	0.10	4.72
	2	43.7	39.0	0.91	42.9	83.0	0.57	0.12	4.56
	3	40.7	38.5	0.78	49.4	82.3	0.47	0.09	5.13
	4	40.4	39.3	0.89	44.2	83.9	0.49	0.09	5.42
	5	28.0	34.6	0.64	54.1	80.4	0.46	0.09	5.00
	6	36.8	36.8	0.72	51.1	79.9	0.49	0.10	5.02
Misted with soil	7	43.2	36.8	0.71	51.1	79.5	0.70	0.15	4.62
	8	50.3	35.1	1.01	34.8	80.6	0.75	0.19	3.94
	9	51.2	37.3	0.93	40.1	83.0	0.63	0.21	3.00
	10	44.6	38.0	0.74	51.4	80.9	0.63	0.16	4.06
	11	35.3	37.1	0.69	53.8	80.5	0.62	0.16	3.88
	12	45.3	39.2	0.68	57.7	84.1	0.63	0.13	4.77
Buried in under surface soil	13	45.6	40.0	0.65	61.5	84.2	0.46	0.10	4.79
	14	49.3	38.5	1.00	38.5	84.3	0.55	0.12	4.87
	15	49.7	38.0	0.87	43.7	83.5	0.50	0.11	4.72
	16	48.2	37.0	0.93	39.8	83.6	0.51	0.11	4.77
	17	35.6	34.0	0.78	43.6	75.4	0.53	0.11	4.71
	18	44.9	37.1	0.77	48.2	81.5	0.51	0.10	5.05

(Part 2) Experimental field of Kamikawa Agricultural Experiment station(Oct 2, 1974 ~April 17, 1975)

Treatment	No	Decomposition ratio (%)	T－C (%)	T－N (%)	C／N	Ignition loss (%)	Absorbance 470nm	Absorbance 610nm	470nm/610nm
Placed on the soil surface	19	42.9	38.0	0.83	45.8	85.2	0.60	0.14	4.29
	20	47.7	37.3	0.99	37.7	86.5	0.64	0.15	4.27
	21	44.8	38.5	0.82	47.0	86.3	0.56	0.13	4.48
	22	48.3	38.1	1.08	35.3	86.4	0.69	0.15	4.66
	23	44.6	37.3	0.80	46.6	87.1	0.52	0.11	4.91
	24	43.6	36.9	0.96	38.4	83.1	0.74	0.18	4.18
	25	46.8	35.9	0.96	37.4	83.6	0.70	0.17	4.24
	26	45.0	37.4	0.88	42.5	84.6	0.70	0.17	4.21
	27	44.1	39.6	1.05	37.7	84.5	0.72	0.17	4.25
	28	47.8	38.2	0.85	44.9	84.5	0.58	0.13	4.53
Misted with soil	29	42.9	37.6	0.86	43.7	84.5	0.66	0.16	4.23
	30	46.6	39.2	1.02	38.4	82.8	0.72	0.19	3.89
	31	43.9	35.4	0.78	45.5	79.6	0.72	0.19	3.87
	32	45.3	32.2	1.08	29.8	78.1	0.86	0.25	3.52
	33	45.3	34.5	0.87	39.7	78.5	0.76	0.21	3.60
	34	45.7	38.2	1.06	36.0	82.8	0.74	0.20	3.79
	35	46.6	34.5	1.12	30.8	80.6	0.88	0.25	3.61
	36	42.6	29.6	0.93	31.8	68.9	0.95	0.32	3.97
	37	38.8	32.1	1.00	32.1	76.9	0.90	0.27	3.38
	38	39.4	32.9	0.83	39.6	85.6	0.85	0.28	3.08
Non-treated rice straw		—	37.7	0.60	62.8	85.0	0.36	0.05	7.16
Rice straw heaped for 6 months		—	35.3	1.15	30.7	81.4	0.98	0.25	4.00
Fully rotted rice straw(compost)		—	18.7	1.57	11.9	66.0	1.05	0.39	2.68

(Part 3) Farmer's paddy field (1974 ~1975)

Region	No	T−C (%)	T−N (%)	C／N	Ignition loss (%)	Absorbance 470 nm	Absorbance 610nm	470nm/610nm
HIGASHI KAGURA	1	37.6	0.79	47.6	86.0	0.59	0.14	4.37
	2	38.5	0.82	47.0	84.3	0.55	0.11	4.88
	3	35.9	0.74	48.5	90.1	0.47	0.09	5.22
	4	34.7	0.76	45.7	80.7	0.49	0.11	4.54
	5	32.7	0.88	37.2	76.6	0.56	0.14	3.94
	6	34.2	0.90	38.0	76.6	0.55	0.12	4.62
	7	35.6	1.11	32.1	82.6	0.62	0.14	4.49
	8	35.8	0.63	56.8	81.2	0.46	0.09	5.35
	9	34.6	0.76	45.5	78.8	0.46	0.08	5.54
BIEI	10	33.7	0.89	37.9	78.7	0.56	0.13	4.44
	11	33.7	1.16	29.1	79.1	0.59	0.13	4.40
	12	35.3	1.01	35.1	81.5	0.51	0.11	4.64
	13	39.4	0.93	42.4	89.4	0.53	0.10	5.12
	14	33.7	1.35	25.0	74.6	0.66	0.17	3.98
	15	29.0	0.98	29.6	62.5	0.64	0.16	3.89
RUMOI	16	34.7	0.82	42.3	72.2	0.61	0.13	4.80
	17	36.0	0.73	49.3	83.1	0.53	0.10	5.36
	18	35.4	0.67	52.8	84.6	0.50	0.10	5.26
	19	34.7	0.79	43.9	80.2	0.55	0.11	4.95
Maximum value		40.0	1.35	61.5	90.1	0.95	0.32	5.54
Minimum value		29.0	0.63	25.0	62.5	0.46	0.08	3.00
Mean value		36.2	0.87	42.8	81.5	0.61	0.14	4.46
Coefficient of variation		6.14	15.65	16.64	5.32	11.86	26.34	11.42
Standard deviation		2.21	0.14	7.11	4.33	0.07	0.04	0.51

いて検討する。

供試材料の一般化学的な性状およびアルカリ抽出液の吸光度はTable40に示した。

Table40(その1～4)から明らかなように，供試材料の化学性およびアルカリ抽出液の吸光度は広範囲にわたって分布しているが，その平均値は全炭素：36.2%，全窒素：0.87，C／N比：42.8，吸光度：470nm …0.608，610nm…0.143，であり，各分析値の中では吸光度610nmおよびC／N，全窒素含有率，吸光度470nmの変動係数の大きい特徴がみられる。

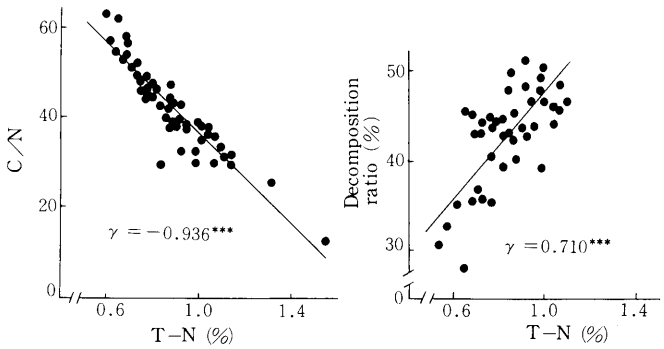


Fig. 33. Relationship between nitrogen content of rice straw and C／N ratio

一方，それら化学分析値とアルカリ抽出液の吸光度の相互関係をみると，まず稲わらの分解率と窒素含有率および窒素含有率とC／Nの間には各々高い相関々係（$\gamma = -0.936^{***}$，$\gamma = -0.710^{***}$）が認められ（Fig33），腐熟度の高い稲わらほど窒素含有率が高く，C／N比の小さい傾向が認められる。

一方，アルカリ抽出法によって抽出される腐熟稲わら含有腐植物質の吸光度(470nm)と窒素含有率，C／N比の関係についてみると(Fig34)，いずれも高い相関関係(順に$\gamma=0.685^{***}$，$\gamma=-0.655^{***}$)，が認められ，N含有率が高く，かつC／N比の小さな腐熟度の進んだ稲わらほど明らかにアルカリ抽出腐植物質の吸光度が高い特徴を示した。

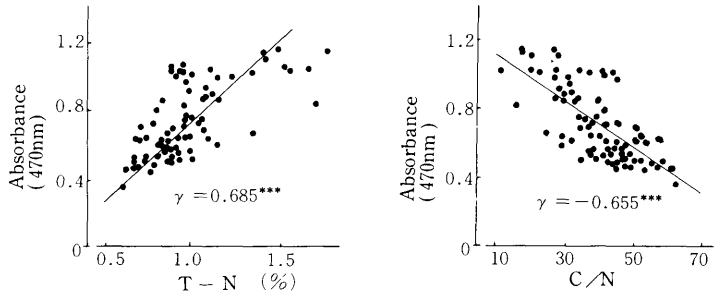


Fig. 34. Relationship between absorbance and N content or C／N ratio

なお，Fig35 が示すように，470nm吸光度の 1.2～1.3および610nm吸光度の0.3～0.4を境に両吸光度間の相関々係が急激に乱れるため，本測定法による測定可能範囲はそれ以下の吸光度を示す試料についてのみに限定されよう。

以上の結果から，稲わら腐熟度の判定法としては従来の肉眼観察による色の違い，灼熱損失量およびC／N比などの判定法よりも，ここに新たに提出したアルカリ抽出法の方が迅速・簡便でありかつ有効であるものと考えられる。

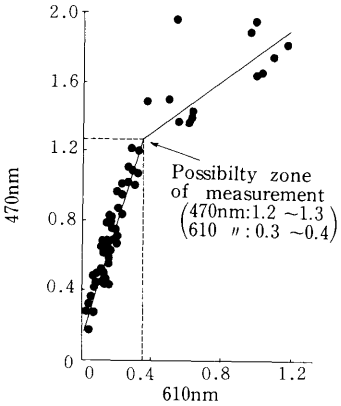


Fig. 35. Comparison of absorbance measured at 470nm and 610nm

3）腐熟度判定基準の適応試験

アルカリ抽出法によって得られた腐熟度の異なる稲わらの施用が水稲の初期生育に及ぼす影響について検討した結果をTable41およびFig36に示した。

Table 41. Changes of plant length, number of tillers and dry weight of rice plant

Soil	Treatment	June 2		June 15		June 29		Dry weight (g／pot)		
		Plant length (cm)	Number of tillers	Plant length (cm)	Number of tillers	Plant length (cm)	Number of tillers	June 2	June 15	June 29
Brown Lowland soils	Control	20.4	2.8	46.3	5.8	60.0	17.0	0.5	3.8	11.0
	Fully rotted rice straw (compost)	20.5	3.0	45.9	7.0	60.7	19.0	0.5	4.4	11.7
	Heaped rice straw	19.9	3.0	45.4	6.2	60.3	20.5	0.5	3.9	11.9
	Field spread rice straw	19.4	3.0	43.2	5.8	59.6	18.5	0.4	2.6	10.4
	Non-treated rice straw	18.0	2.8	40.7	5.5	56.6	16.0	0.4	2.4	9.5
Gley soils〔Ⅲ〕	Control	19.8	3.0	45.1	6.8	59.1	19.0	0.5	4.5	12.0
	Fully rotted rice straw (compost)	19.9	3.0	45.4	8.3	59.5	20.0	0.6	4.8	12.6
	Heaped rice straw	19.5	3.0	44.6	7.3	60.0	21.5	0.5	4.7	13.2
	Field spread rice straw	19.1	3.0	43.3	6.5	57.0	17.5	0.5	3.3	9.5
	Non-treated rice straw	16.4	2.8	40.8	4.5	55.8	16.5	0.4	2.7	9.3

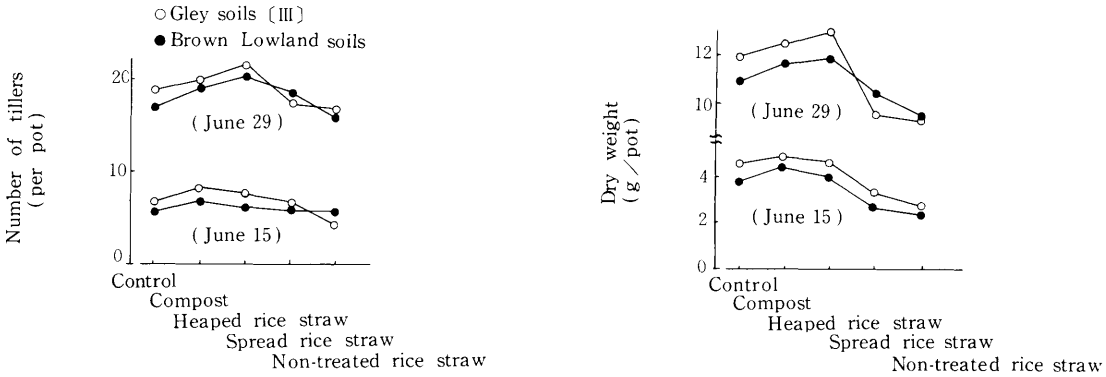


Fig. 36. Change of number of tillers and dry weight of rice plant

その結果をみると，両土壌とも有機物無施用に比べて完熟稲わら堆肥（C／N比9.6, 470nm吸光度0.133)および堆積稲わら（同26.7, 0.082)施用の方が明らかに水稲の初期生文量が勝り，茎数および乾物重の増加が大きい。

それに対し，秋散布稲わら（同42.3, 0.063)および現物稲わら（同59.2, 0.051)施用では逆に無施用に比べ草丈，茎数および乾物重がいずれも劣っており，明らかに生育が抑制される様子がうかがえる。

Table 42. Changes of nitrogen content and absorbed nitrogen of rice plant

Soil	Treatment	Nitrogen content (%)			Absorbed nitrogen(mg／pot)		
		June 2	June 15	June 29	June 2	June 15	June 29
Brown Lowland soils	Control	5.08	4.25	1.89	22.9	119.9	207.0
	Fully rotted rice straw (compost)	4.99	4.29	1.89	24.2	145.0	215.3
	Heaped rice straw	4.91	4.29	1.91	25.0	139.1	226.3
	Field spread rice straw	4.84	4.33	1.92	19.6	112.5	200.6
	Non-treated rice straw	4.74	4.31	2.10	18.4	104.7	198.6
Gley soils〔III〕	Control	6.04	4.29	1.77	30.8	167.6	215.1
	Fully rotted rice straw (compost)	5.67	4.28	1.92	31.1	195.4	239.1
	Heaped rice straw	5.49	4.26	1.95	28.9	187.2	254.7
	Field spread rice straw	4.71	4.24	2.04	24.0	134.4	202.9
	Non-treated rice straw	4.62	4.24	2.12	18.7	111.9	197.1

つぎに，水稲体の窒素含有率および窒素吸収量をみると(Table42),両土壌とも共通的に有機物施用によって移植後の窒素含有率が一時的に低く推移するが，移植後20日目以降では逆に高まる傾向を示し，その程度は腐熟度の低い有機物施用ほど著しい。

一方，稲体窒素吸収量は完熟稲わら堆肥および堆積稲わら施用では全般に無施用を上回るのに対し，秋散布稲わらおよび現物稲わらの施用では逆に著しく低下している。

つぎに，有機物施用による土壌中のアンモニア態窒素生成量，活性２価鉄生成量および酸化還元電位の推移をみると(Table43),両土壌とも有機物の施用によって土壌中のアンモニア態窒素が終始高く推移するが，反面活性２価鉄生成量は現物稲わらならびに秋散布稲わら施用によって急激に高

Table 43. Changes of NH_4-N, active Fe (II) and oxidation-reduction potential (Eh) of flooded soils

Soil	Treatment	NH_4-N (mg)		Active Fe (II)		Eh (mv)	
		June 2	June 14	June 2	June 14	June 2	June 14
Brown Lowland soils	Control	51.3	64.8	30.0	34.4	+70	− 10
	Fully rotted rice straw (compost)	52.2	68.1	8.6	55.7	+45	− 15
	Heaped rice straw	55.0	72.9	14.9	90.1	+40	− 50
	Field spread rice straw	56.6	74.8	106.9	162.8	− 5	− 85
	Non-treated rice straw	60.2	73.6	442.9	362.0	−70	− 165
Gley soils〔III〕	Control	51.4	77.7	17.1	149.5	+95	− 28
	Fully rotted rice straw (compost)	56.1	79.2	47.1	124.3	+88	− 25
	Heaped rice straw	56.5	79.2	55.6	141.4	+82	− 50
	Field spread rice straw	57.4	82.0	88.6	163.1	+62	− 93
	Non-treated rice straw	58.8	83.0	256.9	398.0	± 0	− 95

まっている。

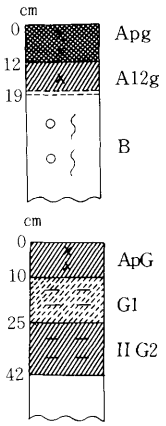
このことより，C／N比が42以上およびアルカリ抽出液の吸光度(470nm) 0.6以下を示す未熟稲わら施用では土壌還元化が明らかに助長される傾向にある。

以上の事象から，水稲の正常な生育，養分吸収ならびに土壌環境などの面よりみて施用稲わらの腐熟度は少なくてもC／N比で27，0.5%NaOH可溶腐植物質の吸光度(470nm)が 0.8以上のものが必要であることがここに明らかとなった[60, 66]。

第3節　有機物の連用が玄米収量および土壌の理化学性に及ぼす影響

本節では，寒地水田における粗大有機物（堆肥，稲わら）の長期連用が水稲の生育，収量ならびに土壌理化学性に及ぼす影響を乾田タイプの褐色低地土（道立上川農試圃場）と湿田タイプのグライ土（道立中央農試稲作部圃場）の試験結果を対比して検討する。

両圃場の土壌断面柱状図および理化学性はFig37, Table44 に示すとおりである。



Texture	Color	Structure	Compactness	Mottles
		Brown Lowland soils		
CL	7.5YR4/4	Medium granular	18mm	Fe (++)
CL	7.5YR4/4	Medium blocky	24	Fe (+)
CL	10YR5/6	Medium blocky	21	Mn (++)
		Gley soils		
SiC	10Y 5/1	Medium granular	20	Fe (++)
HC	10Y 5/1	Massive	18	
HC	2.5GY5/1	Massive	13	

Fig. 37. Soil profiles of studied two paddy fields

Table 44. Soil physical and chemical properties of soils used

(Part 1) Chemicel Properties

Soil	Horizon	PH (H_2O)	T-C (%)	T-N (%)	C/N	NH_4-N on anaerobic incubaion (mg/100g) Dried soil	Wet soil	Effect of Soil drying	CEC (me)	Exchangeable bases (me) CaO	MgO	K_2O	P_2O_5 absorption coefficient
Brown Lowland soils	Apg	5.78	6.46	0.49	13	10.03	2.77	7.26	27.4	7.16	0.70	0.17	1,820
	A12g	5.85	5.62	0.43	13	5.78	1.82	3.96	28.8	6.85	0.94	0.32	1,742
	B	6.45	1.28	0.11	13	1.38	0.73	0.65	18.2	1.89	0.34	0.32	1,870
Gley soils	ApG	5.72	5.50	0.21	15	11.55	4.78	6.77	15.5	11.0	3.51	0.29	678
	G1	5.39	4.29	0.25	10	13.23	6.46	6.77	18.0	13.5	3.48	0.38	763
	IIG2	5.14	5.72	0.26	13				19.8	13.5	4.03	0.43	791

(Part 2) Physical properties

Soil	Horizon	Mechanical composition (%) Coarse sand	Fine sand	Silt	Clay	Texture	Bulk density	Specific gravity	Distribution of soil three phases (%) Sv	Mv	Av	Permeability coefficient (K_{20}, cm/sec)
Brown Lowland soils	Apg	9.4	41.2	26.1	22.3	CL	0.78	2.62	39.9	55.7	4.4	2.1×10^{-5}
	A12g	6.8	43.8	26.6	22.8	CL	0.79	2.61	39.6	53.7	6.8	2.4×10^{-5}
	B	1.9	47.9	32.4	17.8	CL	0.78	2.68	–	–	–	–
Gley soils	ApG	0.9	19.6	46.7	32.8	SiC	0.98	2.55	50.0	46.8	3.2	2.2×10^{-6}
	G1	0.4	6.0	39.2	54.4	HC	0.92	2.63	38.5	61.0	0.5	1.8×10^{-6}
	IIG2	1.5	1.3	45.6	51.6	HC	0.97	2.54	28.5	68.5	3.0	–

さらに，両圃場における試験験設計内容をTable 45に示した。

Table 45. Experimental design

[Brown Lowland soils : 19years (1963 ~1981)
Gley soils : 21 〃 (1961 ~1981)]

(Part 1)

Soil	Treatment		Fertilizer and organic matter applied(kg/10a) N	P_2O_5	K_2O	Compost	Rice straw	Calcium silicate	Variety	Remarks
Brown Lowland soils		Control	8	7	6	–	–	–		①Applied time of rice straw; Autumn …late Oct ~early Nov Spring…middle April ~ late April ②Transplanting : middle May-late May ③Harvesting time : late Sept ~ early Oct ④Planting density : 30 ×15cm(22.2hills/ m²) ⑤Plowing method : Rotaly tilling by tiller-operation
		Increased N	10	7	6	–	–	–	1963~1980:	
		Compost	8	7	6	800	–	–	「Shiokari」	
	Rice straw	Spring	8	7	6	–	400	–	1981:	
		Autumn	8	7	6	–	400	–	「Ishikari」	
		〃 + calcium silicate	8	7	6	–	400	150		
Gley soils		Control	6	7	6	–	–	–		①Applied time of rice straw : Autumn …late Oct ~early Nov Spring …middle April ~early May ②Transplanting :late May ③Harvestind time : late Sept ~early Oct ④Planting density : 30 ×15cm (22.2hills / m²) ⑤Plowing methods : Rotaly tilling by tiller-operation
		Compost	6	7	6	1,120	–	–	1961~1974:	
	Rice straw	Spring	6	7	6	–	560	–	「Eiko」	
		Autumn	6	7	6	–	560	–	1975~1981:	
		〃 (spread)	6	7	6	–	560	–	「Tomoyutaka」	

(Part 2) The composition of applied organic matter (%/dry matter)

Site and Organic matter		T−C (%)	T−N (%)	C/N	P_2O_5 (%)	K_2O (%)	CaO (%)	MgO (%)	SiO_2 (%)
Kamikawa Agricultural Experiment Station	Compost	26.6	1.71	15.6	0.58	1.57	0.78	0.50	15.6
	Rice straw	38.5	0.65	59.2	0.32	2.81	0.47	0.30	9.6
Central Agricultural Experiment Station, Rice Crop Division	Compost	29.4	2.25	13.1	0.74	1.30	1.21	0.67	29.2
	Rice straw	38.3	0.83	46.1	0.30	2.36	0.48	0.32	9.0

1．玄米収量に及ぼす影響

Table 46. Effect of successive application of organic matter on hulled rice yield

(kg／a)

Soil and treatment / Year	Brown Lowland soils						Gley soils				
	Control	Increased N	Compost	Rice straw Autumn	Rice straw 〃 +Calcium silicate	Rice straw Spring	Control	Compost	Rice straw Autumn	Rice straw 〃 (spread)	Rice straw Spring
1961	—	—	—	—	—	—	45.0	50.0	47.9	41.4	45.4
'62	—	—	—	—	—	—	43.6	46.7	46.3	43.5	44.2
'63	52.3	61.9	58.2	61.6	59.3	52.3	41.1	41.4	43.6	41.1	36.9
'64	45.3	49.7	44.7	48.3	48.1	45.6	42.7	41.5	42.2	42.3	42.5
'65	48.3	53.4	54.4	47.9	53.1	47.6	44.8	45.2	44.5	42.0	41.7
'66	38.9	41.2	42.7	39.1	39.2	40.1	41.9	43.8	43.2	42.7	41.7
'67	49.7	55.9	56.7	58.4	59.2	57.3	51.7	55.7	51.9	53.4	53.9
'68	56.2	58.5	59.1	60.2	58.3	52.5	69.1	63.8	55.7	60.6	62.5
'69	44.6	49.3	48.3	46.5	51.9	47.4	45.7	45.8	45.1	44.5	44.2
'70	48.7	56.6	52.1	50.5	53.7	49.2	50.0	51.5	50.6	49.2	48.3
'71	26.4	24.2	26.2	30.3	25.2	29.2	44.6	47.1	50.3	48.5	47.2
'72	39.9	—	60.6	57.5	57.1	48.1	56.8	55.6	54.5	54.8	54.2
'73	41.8	—	49.3	46.6	52.2	42.8	56.3	56.6	55.7	52.8	54.8
'74	51.9	—	55.7	52.7	55.4	47.6	56.3	56.7	58.5	55.8	54.8
'75	46.8	50.8	49.5	49.4	48.2	41.4	48.5	52.4	47.6	49.4	42.7
'76	44.2	47.9	57.9	48.8	48.1	46.7	38.8	39.7	40.2	39.0	37.4
'77	49.0	54.9	55.2	55.2	64.3	53.4	48.5	52.4	47.6	49.4	42.7
'78	48.3	55.4	48.6	52.2	57.4	55.2	56.8	57.0	56.6	57.0	53.2
'79	42.2	47.6	52.6	47.4	53.3	46.4	66.0	67.1	66.5	66.3	62.8
'80	48.7	50.4	44.0	57.0	52.9	45.9	48.7	53.0	51.5	50.4	48.4
'81	38.2	42.6	51.2	43.3	43.1	40.5	48.5	48.2	47.3	42.8	41.7
Mean	45.3	50.0	1.0	50.2	51.6	46.8	49.8	51.0	49.9	48.9	47.7
Ratio (%)	100	110	113	111	114	103	100	102	100	98	96
Coefficient of variation (%)	15.1	17.6	15.5	15.2	16.9	13.7	16.0	14.1	12.8	14.9	15.5

有機物連用が玄米収量に及ぼす影響について検討した結果をTable46 に示した。

その結果をみると，排水良好な褐色低地土では堆肥および稲わら秋すきこみによって玄米収量が著しく増加しており,しかもTable47に示すように連用年数の増加に伴ってその較差が拡大される傾向にある。また，有機物施用間の比較では稲わら秋すきこみ＋珪カル区の増収率が最も高く，次いで堆肥区，稲わら秋すきこみ区の順で，稲わら春すきこみ区では初期生育が抑制されるため他の有機物処理に比べると増収効果はきわめて少さい。

Table 47. Annual change of hulled rice yield in Brown Lowland soils

(kg／10a)

Treatment	1963 ~1980 $\bar{X}$	Ratio (%)	Coefficient of variation (%)	1963 ~1971 $\bar{X}$	Ratio (%)	Coefficient of variation (%)	1975 ~1980 $\bar{X}$	Ratio (%)	Coefficient of variation (%)
Control	460	100	14.8	456	100	19.1	465	100	5.9
Increased N	505	110	17.6	501	110	22.8	512	110	6.5
Compost	506	110	16.4	492	108	21.1	528	114	6.3
Rice straw: Spring	474	103	14.7	468	103	17.5	482	104	10.7
Rice straw: Autumn	502	109	16.2	492	108	20.7	517	111	7.4
Rice straw: 〃 ＋Calcium silicate	518	113	18.1	498	109	22.5	549	118	9.6

一方，排水不良なグライ土では有機物連用による増収効果はきわめて小さく，堆肥施用の場合でもわずか２％の増収にとどまっており，稲わら秋散布および春すきこみでは逆に２～４％の減収となっている。

このように，有機物の連用が水稲の生産性に及ぼす影響は土壌の種類によって明らかに異るが，この差異は前章でのべたように土壌の排水機能と密接に関連しているものと考えられる。

つぎに，有機物連用によって玄米生産量の増収効果が顕著に認められた褐色低地土において水稲の窒素吸収特性について検討した。

まず，最近６箇年間（1975～1980年）の時期別稲体窒素吸収量の推移をみると（Fig38），有機物連用系列（堆肥，稲わら秋すきこみ，〃十珪カルの各区）は無施用系列（対照区，Ｎ増施区）に比べ幼穂形成期以降の窒素吸収量の増加が顕著である。このように，有機物連用土壌は無施用土壌に比べ生育後半の土壌窒素の放出が活発なため，このことが水稲の玄米生産量を高めるうえで有効に作用しているものと考えられる。

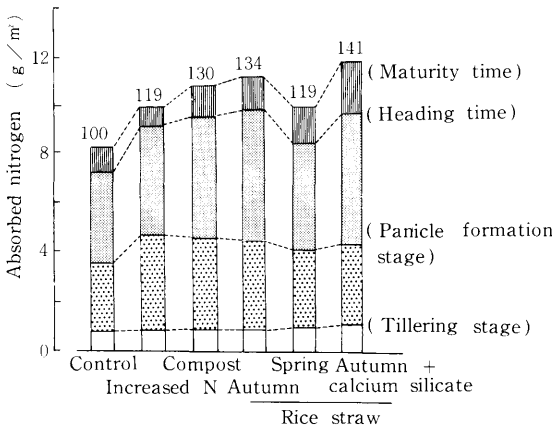


Fig. 38. The periodical characteristics of absorbed nitrogen of rice plant in Brown Lowland soils (mean values of 6 years, 1975~1980)

さらに，Table48から明らかなように稲わら施用系列（稲わら秋すきこみ区，〃十珪カル区）は他の処理区に比べ成熟期の稲体窒素吸収量の年次間変動が比較的大きい傾向を示すが，堆肥区ではその割合が小さい。

以上の結果から，グライ土および褐色低地土と

Table 48. The seasonal and annual changes of absorbed nitrogen of rice plant in Brown Lowland soils

Growth period and treatment			Absorbed nitrogen (g／m²)								
			1975	1976	1977	1978	1979	1980	$\bar{x}$	S	CV (%)
Tillering stage		Control	0.75	0.74	0.78	0.93	0.45	1.33	0.83	0.29	35.0
		Increased N	0.76	0.82	0.68	1.07	0.74	1.86	0.99	0.45	45.3
		Compost	0.71	0.74	0.72	1.18	0.64	1.41	0.90	0.32	35.1
	Rice straw	Spring	0.60	0.68	0.83	1.18	0.79	1.33	0.90	0.29	32.2
		Autumn	0.72	0.68	0.72	1.08	0.83	1.57	0.93	0.34	37.0
		〃 +Calcium silicate	0.70	0.79	0.91	1.10	1.00	1.72	1.04	0.36	35.0
Panicle formation stage		Control	3.58	2.78	3.43	4.84	1.41	5.37	3.57	1.43	39.9
		Increased N	3.03	4.53	4.69	6.36	2.13	6.37	4.52	1.72	38.0
		Compost	3.13	4.15	4.29	7.38	1.98	5.91	4.47	1.93	43.2
	Rice straw	Spring	2.19	2.90	4.07	7.45	2.83	4.68	4.02	1.91	47.5
		Autumn	3.51	5.12	4.23	5.43	2.21	5.13	4.27	1.24	28.9
		〃 +Calcium silicate	2.83	3.79	5.57	5.26	2.30	5.56	4.22	1.45	34.3
Heading time		Control	6.26	6.66	5.02	9.40	7.55	7.85	7.12	1.50	21.1
		Increased N	5.75	7.68	6.93	19.31	8.39	13.03	9.02	2.97	33.0
		Compost	6.60	7.52	6.14	12.36	7.35	14.18	9.36	3.84	41.0
	Rice straw	Spring	5.00	5.50	5.86	14.57	9.63	9.12	8.28	3.65	44.0
		Autumn	9.29	7.72	6.61	14.61	8.31	12.94	9.58	2.63	27.4
		〃 +calcium silicate	4.90	7.28	8.92	12.28	8.61	15.58	9.43	3.67	38.9
Maturity time		Control	8.34	8.50	7.94	1.65	7.98	9.30	8.29	0.58	7.0
		Increased N	10.23	8.92	10.54	7.46	10.43	9.94	9.92	0.63	6.3
		Compost	11.53	10.03	10.79	9.35	12.26	10.96	10.82	1.04	9.6
	Rice straw	Spring	9.06	9.76	10.35	9.48	11.48	8.99	9.85	0.94	9.5
		Autumn	10.30	10.30	9.76	9.93	12.75	13.54	11.10	1.62	14.6
		〃 +calcium silicate	13.46	10.22	12.40	9.70	12.39	12.07	11.71	1.44	12.3

も水稲生産の安定性の面では稲わらよりも堆肥の方が有機物連用効果が大きいものと判断される。また褐色低地土においては有機物無施用系列に比べ施用系列の方が成熟期における稲体窒素吸収量の年次間変動が大きいことから，土壌から供給される無機態窒素量がその年の気象条件によって規制れることが示唆された。

なお，有機物施用による稲体窒素吸収特性を地温（地中深５cm，最高と最低の平均値）と土壌窒素放出パターンの関係で検討した結果（Fig39），移植後の日平均積算地温が 1,300～ 1,500℃，有効積算地温（Ｔ－13℃） 400～ 500℃近辺で有機

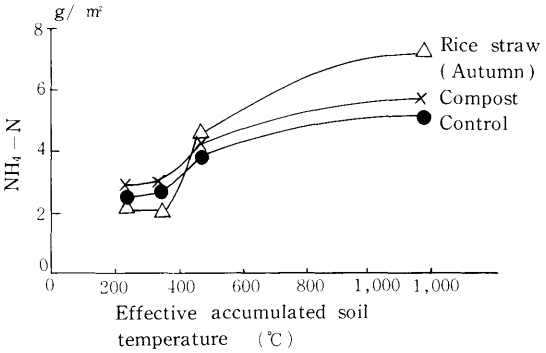


Fig. 40. Effect of effective accumulated soil temperature on NH_4- N of plowed soil (Brown Lowland soils)

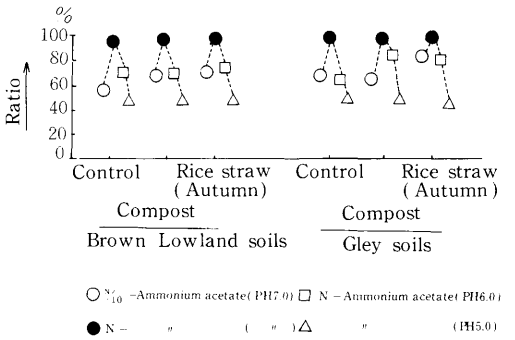


Fig. 41. Effect of different concentration and pH of ammonium acetate on cation exchange capacity of two soils (1960)

物施用系列の稲体窒素吸収量が無施用系列を凌駕する傾向が認められた（褐色低地土）。またこの傾向は生土の静置培養法（30℃）によって生成するアンモニア態窒素の放出過程（Fig40）と良く一致していた。

2．土壌の化学性に及ぼす影響

1）実験方法

①pH（H_2O）… 2.0mm篩別風乾細土に 2.5倍の脱塩水を加え，ガラス棒で時々かく拌しながら30分以上放置する。測定直前に軽くかく拌し、懸濁状態とした液にガラス電極の薄膜球部を液中に浸してpH指示値を読む。

②T−C, T−N…CNコーダー（柳本MT 500型）による乾式燃焼法による。

③NH_4 −N生成量，乾土効果および温度上昇効果…湿潤土および 2.0mm篩別風乾細土をガラス製培養チューブに採取し，脱塩水を加える。ついで土塊を良くねりつぶした後コルク栓でふたをし，20℃および30℃で4週間静置培養後常法によってNH_4 −N生成量を測定する。乾土効果は乾土と湿潤土のNH_4 −N生成量の差をもって，また温度上昇効果は30℃によって生成するNH_4 −N量と20℃による値（いずれも乾土）との差引きによって求めた。

④CEC, 置換性CaO, MgO, K_2O…土壌養分分析法[10]に準拠して測定した。CECは水蒸気蒸留法により，また置換性塩基は原子吸光光度計によって求めた。なお，CECの測定にあたっては酢酸アンモニウム溶液の濃度（N，N／10）およびpH（5.0，6.0，7.0）の差異による影響も併せて検討した。

⑤腐植の分画定量法…弘法・大羽法[110]に準拠した。すなわち，0.5mm篩別風乾細土の炭素含量約200mg相当量を 100mℓ容コニカルビーカーに秤取し，0.5%NaOH 60mℓを加えて沸とう水中で時々振とうしながら正確に30分浸漬し，室温にて放置冷却後，遠心分離（7,000rpm，20分）して上澄液を腐植定量に供した。

なお，N／10$KMnO_4$ 1mℓを炭素に換算する場合，土壌抽出液についてはHOCKの0.57の係数を，またRFの係数は熊田らの 1,000をそれぞれ採用した。たらに△log Kはlog K 400−log K 600をもって表示した。

⑥有機態窒素の分画定量法…STEWART法（土壌養分分析法，p 202）[10]に準じて行なった。すなわち 2.0mm篩別の風乾細土 2.5gを50mℓ容遠心管に秤取し，N−KCl 12.5mℓを加えて遠心分離して無機態窒素を除去する。この操作を2～3回繰返す。ついで遠心管中の土壌残さに12 NHCl 15mℓを加え，冷却用のガラス管を付けたゴム栓でふたをして，95℃の湯盪上で24時間加水分解する。室温にて放冷後ロ過し，ロ紙上の残さを 0.1N Hcℓ で洗浄後後定容とし，その抽出液より窒素を定量した。

⑦耐水性粒団の測定法…生乾き（水分15%前後）の土壌を1cmの篩で通過させた後，その約60g）乾土50g相当量）を秤取し，団粒分析器にて1時

間水中振とう篩別後篩上の粒団を乾燥し，各粒団の重量測定後その分布割合を求めた。

2）分析結果

堆肥および稲わら連用跡地土壌の化学性を褐色低地土，グライ土で検討した結果をTable49に示した。

その結果をみると，両土壌とも稲わら施用によってpH，置換性塩基含量（とくにCaO）および石灰飽和度の低下がみられる。またグライ土では有機物連用によって全窒素および全炭素含有率が明らかに高まっているが，褐色低地土では明瞭でない。

一方，インキュベーションによって生成する

Table 49. Effects of successive application of organic matter on soil chemical properties of two paddy fields

(plowed soil, 1969)

Item \ Soil and treatment		Brown Lowland soils			Gley soils		
		Control	Compost	Rice straw (Autumn)	Control	Compost	Rice straw (Autumn)
pH (H_2O)		5.62	5.56	5.35	5.42	5.43	5.31
T-C (%)		5.54	4.91	4.95	4.47	5.04	4.49
T-N (%)		10.37	0.35	0.33	0.32	0.34	0.32
NH_4-N on anaerobic incubation (mg/100)	30℃ Wet	2.46	3.06	3.41	3.34	5.53	5.75
	30℃ Dried	10.91	12.06	12.61	16.96	19.66	21.48
	20℃ Dried	7.48	7.92	8.79	7.05	7.84	7.74
Effect of soil drying		8.45	9.00	9.20	13.62	14.13	15.73
Effect of rise in temperature		3.43	4.14	3.82	9.91	11.82	13.74
CEC (me)		24.7	24.1	22.2	22.6	3..9	21.4
Exchangeble bases (me)	CaO	4.86	5.55	3.96	8.38	6.13	6.51
	MgO	0.89	0.88	0.85	2.69	2.49	2.29
	K_2O	0.17	0.20	0.43	0.29	0.30	0.29
Degree of calcium saturation (%)		19..7	23.1	17.5	37.0	25.6	30.4

NH_4-N生成量および乾土効果は，両土壌とも有機物連用によって著しく高まっており，かつその程度はグライ土＞褐色低地土，稲わら＞堆肥の関係を示す。

つぎに，土壌有機態窒素の画分をみると(Table50)酸可溶性窒素量はグライ土より褐色低地土の方がはるかに多い。また褐色低地土では稲わらおよび堆肥施用によって酸可溶性窒素中に占める留出性窒素割合が，グライ土では逆に著しく高まる傾向がみられる。

Table 50. Composition of soil organic nitrogen

(Plowed soil, 1970)

Soil and treatment		Fraction of acid-soluble nitrozen (mg)			Ratio of distillable N (%)
		T-N	Distillable N	Non-distillable N	
Brown Lowland soils	Control	180.0	62.9	117.0	35.0
	Compost	183.2	56.6	126.6	30.9
	Rice straw (Autumn)	185.0	59.2	125.8	32.0
Gley soils	Control	137.4	47.6	89.8	34.6
	Compost	119.9	49.8	70.1	41.5
	Rice straw (Autumn)	112.5	56.6	55.9	50.3

一方，土壌の塩基置換容量の内容についてみると(Fig41)，両土壌とも NH_4OAc の濃度およびpHの変化に対する変動が堆肥および稲わら施用により小さくなる様子が認められ，このことは有機物連用によって土壌の緩衝能が増大されたものと解される[85]。

さらに，土壌を過酸化水素で処理して腐植を除去し，CEC中に占める腐植の寄与割合を検討した結果(Table51)，褐色低地土では有機物連用によってその割合が著しく増加するのに対し，グライ土では逆に減少している。

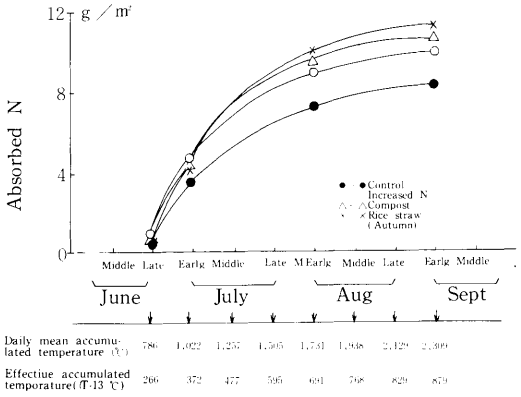


Fig. 39. Relationship between absorbed nitrogen of rice plant and soil temperature in Brown Lowland soils (mean values of 6 years, 1975~1980)

Table 51. Effects of humus of soils on cation exchange capacity

(1970)

Soil and tratment		CEC (me)		Contribution ratio of humus on CEC* (%)
		Non-treated soil (A)	H_2O_2 treated soil (B)	
Brown Lowland soils	Control	24.7	17.4	29.3
	Compost	24.1	13.5	44.0
	Rice straw (Autumn)	22.7	10.5	53.6
Gley soils	Control	22.6	13.9	38.6
	Compost	23.9	13.8	42.4
	Rice straw (Autumn)	21.4	14.9	30.7

*：(A－B)／A×100

したがって，前述の土壌窒素の質的差異と併せて考えると，粗大有機物の連用によってもたらされる土壌の質的変化が透水性，粘土含量および粘土鉱物組成などによって著しく変動することが予測される[48]。

一方，Table52は弘法・大羽法によって得られた土壌腐植の形態組成について示したものである。その結果をみると，両土壌とも稲わらおよび堆肥施用によりアルカリ可溶腐植の抽出割合が増加する傾向が認められ，さらに褐色低地土では稲わらおよび堆肥施用により全抽出腐植中に占める腐植酸割合（PQ）が低下するのに対し，グライ土では逆に増加の傾向を示している。

Table 52. Characteristics of soil humus

(Plowed soil, 1970)

Soil and treatment		T－C (%)	Soluble portion of humus treated with 0.5 % of NaOH			
			Extracted ratio of soil humus (%)	PQ	RF	⊿log K
Brown Lowland soils	Control	5.54	62.1	80.9	196	0.568
	Compost	4.91	72.4	78.4	156	0.578
	Rice straw (Autumn)	4.95	76.0	79.8	208	0.569
Gley soils	Control	4.47	58.9	64.3	31	0.808
	Compost	5.04	59.0	67.0	29	0.828
	Rice straw (Autumn)	4.49	58.3	68.6	33	0.800

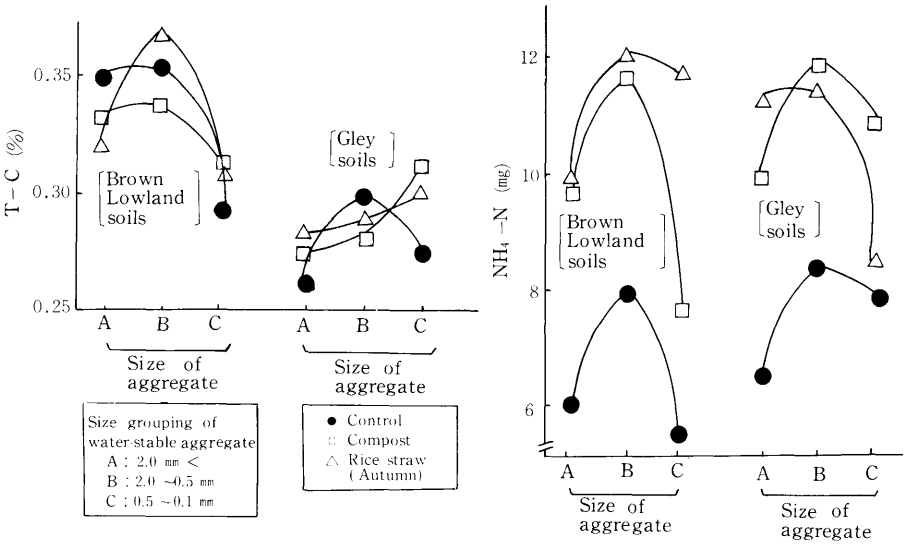


Fig. 42. Content of NH_4－N and total carbon of different size of water-stable aggregate(1970)

つぎに，腐植酸の腐植化度を表わすRF（相対色度）および⊿log K（色調係数）をみると，RFは両土壌とも堆肥連用によって低下するのに対し⊿log Kは逆に増加しており，腐植酸の腐植化度は明らかに低下の方向にある。しかしながら，稲わら連用土壌では一定の傾向が認められない。

さらに，有機物連用による土壌化学性の変化を

ミクロにとらえる目的で，土壌を物理的分画後その化学性について検討した。すなわち，水中篩別法によって得られた耐水性粒団をA(2.0mm以上)，B(2.0～0.5mm)，C(0.5～0.1mm)の3群に分け，粒団別の窒素肥沃度をみた。結果はFig42に示すように，両土壌とも堆肥および稲わら施用によって各粒団群のアンモニア態窒素生成量が無施用に比べて著しく高まり，かつ粒団間では2.0～0.5の粒団群の窒素肥沃度が最も高い。同様に，各粒団群の腐植の特性をみると(Fig43)，全炭素含量は2.0～0.5mmの粒団群で明らかに高まるが，有機物施用間での明瞭な差異は認め難い。また土壌腐植化度の指標となる⊿log k ならびにPQについては一定の関係が得られない。

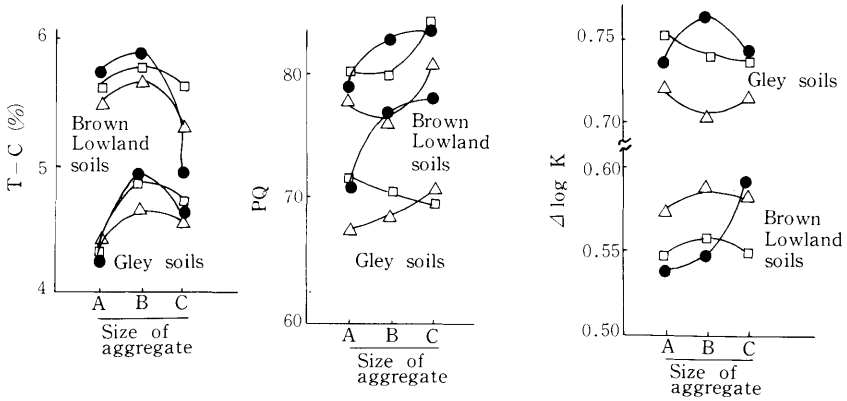


Fig. 43. Characteristics of humic substance of different size of water stable aggregate(1970)

3．土壌の物理性に及ぼす影響

つぎに，有機物連用が土壌の物理性に及ぼす影響をみる。

両土壌とも有機物連用土壌が無施用土壌に比べ容積重および土壌3相中に占める固相率の割合が明らかに少ない。また褐色低地土では稲わらおよび堆肥連用によって全孔隙率，容気度および透水係数のオーダーがいずれも高まるが，排水施設の

Table 53. Effects of successive application of organic matter on soil physical properties

(Brown Lowland soils :1980
Gley soils : 1981)

Soil and treatment		Sampling depth (cm)	Bulk density (g)	Water content by weight (%)	Distribution of soil three phases(%) Sv	Mv	Av	Total porosity (%)	Air percentage (%)	Permeability coefficient (K_{20}, cm/sec)
Brown Lowland soils	Control	0～8	104.1	51.5	43.3	53.5	3.2	56.7	5.6	1.6×10^{-4}
		8～16	106.6	52.8	39.0	56.2	4.8	61.0	7.9	2.6×10^{-5}
	Compost	0～8	100.1	56.3	35.3	56.4	8.3	64.7	12.8	3.0×10^{-4}
		8～16	104.9	53.5	38.4	56.1	5.5	61.6	8.9	2.5×10^{-4}
	Rice straw (Autumn)	0～8	90.8	60.2	33.6	54.6	11.8	66.4	17.8	2.8×10^{-3}
		8～16	101.3	55.8	37.2	56.5	6.3	62.8	10.0	1.5×10^{-4}
Gley soils	Control	0～10	103.8	48.9	38.7	50.9	10.4	61.3	21.2	2.0×10^{-6}
		10～20	100.4	57.5	37.5	57.7	4.8	62.5	7.8	7.5×10^{-6}
	Compost	0～10	96.3	57.2	34.9	55.1	10.0	65.1	15.2	1.9×10^{-6}
		10～20	95.0	64.3	35.9	61.1	3.0	64.1	4.7	4.0×10^{-6}
	Rice straw (Autumn)	0～10	94.4	62.3	36.3	59.4	4.3	63.7	6.8	5.1×10^{-7}
		10～20	92.7	63.3	34.3	58.7	7.0	65.7	10.7	4.2×10^{-7}

完備していないグライ土では全孔隙中に占める液相割合がきわめて高く，容気度ならびに透水係数のオーダーは逆に低下の傾向にある。

一方，耐水性粒団の分布をみると(Fig44)，褐色低地土では堆肥および稲わら連用により2.0 mm以上の大粒団割合が著しく増加するのに対し，グライ土では逆に減少して各粒団群の分布割合が近似しており，土塊が均一化の方向にある。これらの現象は，粘土含量が比較的少なく，凝集力の弱い土壌では有機物施用により土壌粒子間の凝集力を増加させる面が，また粘土含量が高く粘着性の強い大土塊の生じやすい土壌では凝集力の緩和される傾向にあることが推定され，粗大有機物施用による土壌物理性改善の仕組みが土壌タイプによって異ることを示唆している。

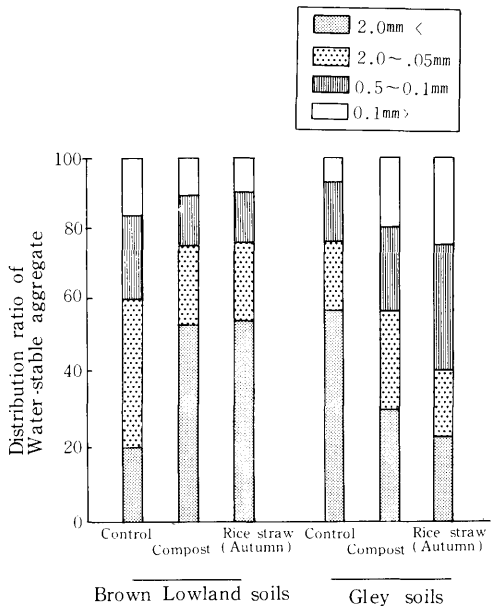


Fig. 44. Distribution of water-stable aggregate in paddy soils treated with successive application of bulky organic matter (1968)

また，褐色低地土において有機物連用が土壌の工学生の面に及ぼす影響をみると(Table54)，液性限界おもび塑性限界は粗大有機物施用によって全般に高まっており，かつ湿潤土では塑性指数も増加の傾向にある。また塑性限界における剪断強度を示すタフネス指数も，粗大有機物連用土壌では明らかに低下しており，傾向としては稲わら連用土壌の方が推肥連用土壌に比べ顕著である。

Table 54. Effects of successive application of organic matter on atterberg factors of Brown Lowland soils

Treatment	Moisture condition of samples	Liquid limit (%)	Plastic limit (%)	Plasticity index	Flow index	Toughness index
Control	Dried	68.9	46.2	22.7	12.8	1.77
	Wet	54.9	39.6	15.3	7.2	2.13
Compost	Dried	79.0	51.7	27.3	19.6	1.30
	Wet	59.2	44.3	14.9	7.4	2.01
Rice straw (Autumn)	Dried	69.5	46.2	23.3	17.6	1.32
	Wet	60.0	43.7	16.3	7.4	1.71

Table 55. Comparison of specific gravity of H_2O_2 treated and non-treated soil

(Brown Lowland soils)

Treatment	Horizon	Specific gravity*		
		Non-treated soil	H_2O_2-treated soil	Humus**
Control	Plowed soil	2.525	2.672	1.324
	Subsurface soil	2.531	2.667	1.304
Compost	Plowed soil	2.533	2.668	1.333
	Subsurface soil	2.517	2.647	1.387
Rice straw (Autumn)	Plowed soil	2.507	2.656	1.311
	Subsurface soil	2.500	2.666	1.242

Specific gravity*　；ピクノメーター（比重瓶）による測定値

Humus**　；下記の計算による，

$$\frac{Wo}{Po} + \frac{Wm}{Pm} = \frac{Ws}{Ps}$$

ただし　Ws　：原土の重さ

Wm　：H_2O_2 処理土の重さ

Wo　：腐植の重さ

Po　：原土の真比重

Pm　：H_2O_2 処理土の真比重

Po　：腐植の真比重

なお，褐色低地土の原土および過酸化水素処理土の真比重をみると（表55），原土に比べH_2O_2処理土の方がやや大きな値を示すが，処理間での差異はほとんど認められない。しかしながら，原土と過酸化水素処理土の真比重を基に算出した腐植の真比重をみると，有機物連用土壌が無施用土壌に比べて大きな様子がうかがえる。