

要であり、高収穫への道であろう。

石塚³⁷⁾も指摘しているように第23図の(1)(2)(3)(4)(5)(6)(9)(10)は無機質水田であり、(7)(8)は有機質水田である。また(2)(3)(4)(5)(6)(10)は酸化型水田であり、(1)(7)(8)(9)は還元型水田である。

またその断面形態もいろいろである。筆者はそれぞれの水田土壌を実際に見ておらず、その物理・化学性の測定もなく、栽培管理、土壌管理の方法等も詳細には知り得ていないので余り多くを述べられないが、それぞれの断面形態と、本論文での知見とから多収穫に対する各土壌類型の土壌管理法および施肥管理法を推論してみると次のようなことが考えられる。

水稲の多収穫に対し、土壌肥料学の立場から考えてみると、水稲の生産に最も大きく関与するのは、窒素の供給の仕方であるから、水稲に対する窒素の供給方法と、水稲根の吸収能の良否に集約できると考える。

窒素の供給方法としては、1つには土壌の窒素の吸着保持を高め、窒素供給を円滑にかつ持続させることであり、他の1つは窒素の追肥等、施肥によりその供給を持続させることである。

また水稲根の吸収能を高めるには、養分吸収のそ害要因を除去することであり、その要因は例えば物理的要因としては下層土の物理的不良性であり(例えば緊密性等)、化学的要因としては主に土壌還元に基づく生育そ害性物質の存在があげられる。

一般に土壌還元によって養分吸収はそ害されるが、排水・中干し等によって、そのそ害作用が軽減されることは多くの研究によって明らかである。また下層土の物理的不良性も深耕・心土耕・心土破碎等の土地改良によって、根の伸長が促進され、養分吸収が高められることも多くの研究者によって明らかにされている。

したがって各土壌類型に対する土壌管理、施肥管理の適切な方法を考えてみると次のようになる。

泥炭土壌では(7)、(8)のように客土・排水が充分になされ、泥炭の分解が促進され、粘土値は客土による粘土の富化と腐植の消耗により高くなり、

窒素施与に対する Response が高まる。

反面排水・中干し等の土壌管理により生育そ害性物質の除去と、酸化の促進により土壌還元にともなう養分吸収の低下を防ぐことができ、増収性が高められる。

強グライ土壌では、むしろ排水・中干し等により、生育そ害性物質の除去と酸化を促進することにより根の活性を高め、窒素施与による増収性がさらに高められるものとする。

灰褐色土壌では、土壌条件は酸化的で粘土含量が多く、窒素施与による Response が高いのが一般的であるが、往々にして土壌の物理性の不良な場合がある。例えば(4)はこの物理的不良性を改良し、追肥をやりやすくして増収性を高めているものとする。

黄褐色土壌は、酸化的であるので、むしろ窒素供給の方法に重点をおくべきで、客土によるか、窒素追肥管理によるかが考えられるが、(2)、(6)、(10)、では追肥等による適正な施肥管理によって多収を得ているものとする。

非黒色火山灰土壌でも、客土か窒素追肥等の施肥管理かが考えられるが、(5)ではむしろ客土によって増収性を高めているものとする。

すなわち、多収穫の事例にもみられるとおり、どの土壌類型でも多収は得られるが、各土壌類型の特性によって前記のように最適な土壌管理、施肥管理を行なわなければならないことが推論される。

本多収穫事例は、おそらく前記のような最適な土壌管理、施肥管理が基盤となって稲作が組立てられ多収穫を上げたものと考えられる。

すなわち、土壌類型の特性と生産性との関係の認識は、土壌類型のそれぞれの特性を的確には握し、多収への最適な土壌管理施肥管理法を確立することであると考える。

VII 水田土壌類型に対する土地改良

水稲の生育する場となる水田土壌は必ずしも稲の生産には好適ではなく、全国的に見ても、その90%前後は第53表のように不良水田土壌となつて

いる。その不良要因については、水稲の根系が十分にその機能を発揮しえないような物理、化学的な要因である。

滝嶋⁸¹⁾は、「水稲の生育障害に関して水稲栄養に関する水田土壌の不良性とは一義的にその可給態養分と生育有害物質の多少によって代表されよう。これらの因子は相反する作用を水稲根におよぼし、直接、間接にその生理機能を低下せしめ、結果として水稲体内における養分代謝の平衡が破れ、生育の凋落に拍車かけられる」と述べその生育障害現象として、秋落ち、夏落ち、赤枯れ、不稔青立ち、早青立ち、塩害等をあげ、その要因として種々の無機物（硫化水素および硫化物、CO₂ および CO、Fe⁺⁺、還元態磷酸）、有機成分（ガス成分、有機酸）が考えられるとしているが、その中でとくに泥炭質湿田土壌中の有害物質として、有機酸、醋酸、また Fe⁺⁺ を指摘している。

秋落ちについては、大杉ら⁶⁵⁾、塩入ら⁷²⁾⁷³⁾⁷⁴⁾、鈴木ら⁷⁷⁾⁷⁸⁾、三井ら⁴¹⁾⁴⁵⁾、岡島、高城ら^{58~61)}、馬場ら⁷⁾によって、青枯れについては、鈴木ら⁷⁹⁾、吉野⁹⁷⁾によって、赤枯れについては、山田⁸⁹⁾、黒沢ら⁴²⁾によってそれぞれ広範かつ詳細な報告がなされており、硫化水素については志賀⁷⁰⁾によって泥炭地水田については、石塚ら³⁵⁾、山根ら⁹⁰⁾、滝嶋ら⁸⁰⁾⁸¹⁾によって生育障害を生理異常として詳細な研究がなされている。また下層土の物理性の不良による根系伸張の障害は数多く報告されている。

北海道においては、塩入らのいう老朽化水田による秋落現象は筆者らの調査からはほとんど認められず、そのほか生育有害物質による生育障害も泥炭地および一部の火山泥流地帯を除いてはきわめて少ない。

北海道における生育障害の主な要因としては、排水不良や、近年自働耕耘機等による耕鋤と「代かき」のねりすぎによる土壌還元促進に基づく養分吸収の低下、また耕土～下層土の物理性不良さらには養分保持力の不良性（透水過良も含む）等が一般的なものとしてあげられるが、これらは土地改良によって、その有害要因の除去が達せられることが知られている。

第 53 表 全国不良水田土壌の原因別面積
(農林統計 1958年)

	土 壤	面 積	面積割合
1	酸性土壌	177,131 ^{ha}	6.2%
2	火山灰土壌	64,147	2.3
3	泥炭土壌	86,817	3.1
4	重粘性土壌	61,904	2.2
5	多腐植土壌*	68,709	2.4
6	鉄欠乏土壌	161,767	5.7
7	砂礫土壌	97,589	3.4
8	要素欠乏土壌**	51,813	1.8
9	鉍毒土壌	4,486	0.2
上記合計		774,385	27.3
全国面積		2,835,783	100.0

*泥炭質土壌の一部面積は本土壌に包含した。

**要素とは苦土、マンガン、硼素、その他である。

したがって、その主な土地改良として、排水、耕土および下層土改良、客土の問題を、その土壌類型との関連においてとり上げてみる。

1. 排水

北海道の水田土壌は、府県のそれに比べ、夏季の気温上昇も府県より低いので、還元程度も比較的弱く、還元による有害程度も比較的弱い。しかし水田土壌の状態を良好にするため、積極的に排水により、土壌を酸化的にしなければならぬ。

排水不良地の排水効果については古くから認められ、実際にもかなり以前より実施されている。排水によって、通気・通水性が良好となり、地温も上昇し、酸化的となり、有機物の分解、土壌構造の発達等が促進される利点があるが、反面有効成分の溶脱が起きる。この溶脱の多少は土壌の状態によって異なる場所であるが、いずれにせよただ単なる排水施行は地力の減耗に連なるもので、排水方法（例えば地下水水位調節、間断排水とか）あるいは客土等の併用、施肥改善などによって、補完的改良をも加えねばならない。

排水を要する土壌類型としては、泥炭土壌、黒泥土壌、強グライ土壌、グライ土壌、灰褐色土壌の一部および黒色火山灰土壌の一部排水不良のものが考えられる。

第 54 表 暗渠排水の効果に関する試験⁹⁾

試験地	年次 項目	昭和 16 年		昭和 17 年		昭和 18 年		昭和 19 年	
		暗 渠	未 施 行	暗 渠	未 施 行	暗 渠	未 施 行	暗 渠	未 施 行
岩見沢市	取 量	4.7 ^俵	3.0 ^俵	6.9 ^俵	5.9 ^俵	7.5 ^俵	5.4 ^俵	6.5 ^俵	5.3 ^俵
	指 数	158	100	116	100	140	100	122	100
秩父別町	取 量	5.2	3.5	5.3	4.7	6.3	5.7	6.2	5.9
	指 数	145	100	120	100	123	100	107	100
沼 田 町	取 量	3.8	3.0	5.6	4.2	3.7	3.4	—	—
	指 数	134	100	136	100	109	100	—	—

注) 岩見沢市：下層に泥炭を有する粘性の強い沖積土 (Clay) 暗渠=渠深 0.9m×渠間 14m
 秩父別町：頁岩質の粘性強い沖積土 (Clay) 暗渠=渠深 1.0m×渠間 15m
 沼 田 町：堅密な洪積土 (Clay) 暗渠=渠深 1.0m×渠間 15m

第 55 表 排水中の成分量の年次変化⁹⁾ (mg/ℓ)

試験地名	年次	pH	水溶性 有機物	全形 固物	鉄	礫 土	磷 酸	マンガン	石 灰	苦 土	硫 酸	加 里	ソーダ
神 楽 町	昭和 18年	—	10.74	—	0.80	2.76	trace	3.55	13.97	4.03	—	4.75	71.00
	19年	6.0	10.59	90.8	6.33	1.77	"	3.19	12.66	8.52	0.72	3.05	33.00
岩 見 沢 市	昭和 16年	5.6	48.03	271.2	18.17	1.08	"	5.87	19.09	8.57	1.70	4.73	89.19
	17年	5.5	44.24	210.0	18.49	0.90	"	4.06	20.74	9.57	1.20	3.73	32.50
	18年	5.4	46.77	212.4	16.37	1.84	"	2.97	21.15	10.08	1.10	5.09	72.54
	19年	5.2	50.56	205.6	10.37	1.16	"	5.15	18.22	9.58	1.60	4.63	82.45

注) ① 神楽試験地は石英粗面岩質の洪積土で、表土、下層土ともに土性は埴土である。
 ② 岩見沢試験地は沖積土で、表土は埴土、下層土は泥炭である。

排水工法については、暗渠排水があり、もちろんその渠深、渠間の程度の問題があるが、一般に施行直後は渠深の浅いものが良く、年次を重ねるにつれて、渠深の深いものが良くなり、渠間についてはできるだけ狭い方が良くとされている⁹⁾。それらの組み合わせについてはおおよそ次のようなものが考えられる。

	渠 深	渠 間
1	0.7m	6m, 9m, 12m, 15m
2	0.9m	9m, 14m
3	1.0m	9m, 12m
4	1.2m	14m, 18m, 22m

暗渠排水の効果については、第54表のとおりきわめて顕著な効果を示し、10~60%の増収を期待できた。

また排水による養分の溶脱は見逃せない大きな問題で、第55表のように水溶性有機物、鉄、石

第 56 表 暗渠排水、客土の併用試験成績

区 別	東 神 楽 町		神 楽 町	
	取 量	割 合	取 量	割 合
無 客 土	5.8 ^俵	100	4.8 ^俵	100
6m ³ 客 土	6.9	119	—	—
12m ³ 客 土	6.7	115	—	—
18m ³ 客 土	7.4	126	6.1	130

灰、加里などの流亡が大きく、対策のないまま放置するならば、大きな地力の減耗を来すことになる。とくに鉄の溶脱が大きく老朽化促進の原因ともなるので、例えば客土による鉄の富化ならびに溶脱防止を考えることが必要であり、とくに溶出の激しい泥炭地では排水と客土の併用が以上の理由からも不可欠である。

また排水による地力減耗を考えての客土の併用は第56表のように顕著な効果が認められる。

第 57 表 土壌類型別深耕効果主要試験成績^{(15)~(22)}

試験地名	市町村名	土壌類型	層位 cm	土 性	腐 植 %	全炭素 %	全窒素 %	炭素率 %	塩基置換容量 me	乾土 効果 mg	2~5か年平均 kg/a			試験年数
											わら重	玄米重	指数	
元村	美唄	泥炭土壌	13	SiC	5.9	3.41	0.23	15	19.2	10.1	46.4 (S28-S30)	39.9	101	3
			28	SiC	6.7	3.86	0.19	20	18.8	6.3				
伝庄	長沼	同	11	SiC	5.7	3.33	0.33	10	22.9	—	44.1 (S32-S34)	43.2	109	3
			33	SiC	4.3	2.52	0.26	10	21.0	—				
中村	美唄	グライ土壌	14	SiCL	7.1	4.13	0.39	11	18.7	13.3	54.3 (S28-S32)	39.3	105	5
			30	SiC	4.7	2.71	0.22	12	18.7	3.8				
吉田	妹背牛	同	8	LiC	3.7	2.23	0.24	9	27.3	6.8	44.3 (S34-S35)	58.0	124	2
			14	LiC	2.6	1.48	0.19	8	31.1	6.5				
青野	風連	同	14	SiC	4.4	2.56	0.21	12	17.7	8.1	48.1 (S35-S37)	46.0	124	3
			22	HC	1.4	0.79	0.08	10	22.0	3.3				
前田	鷹栖	同	11	HC	6.7	3.87	0.38	10	22.1	5.3	39.7 (S34-S36)	55.1	113	3
			21	HC	9.3	5.37	0.42	13	24.9	4.6				
鷲尾	永山	同	15	L	5.1	2.95	0.26	12	21.4	11.0	46.0 (S36-S38)	55.0	108	3
			33	LiC	7.8	4.50	0.41	11	31.3	1.0				
大路	鷹栖	同	11	LiC	7.3	4.24	0.31	14	19.1	2.1	44.0 (S34-S36)	55.3	125	3
			24	HC	1.6	0.94	0.13	7	19.5	3.6				
渡辺	一巳	灰褐色土壌	13	LiC	7.5	4.34	0.35	13	30.5	11.5	37.1 (S34-S35)	48.6	107	2
			23	HC	2.3	1.34	0.14	10	27.3	1.5				
加藤	士別	同	16	LiC	6.1	3.52	0.33	11	14.7	3.2	41.9 (S35-S37)	53.5	103	3
			29	LiC	3.1	1.77	0.18	10	14.1	1.8				
清水	富良野	同	14	CL	4.6	2.65	0.25	11	20.4	4.8	41.8 (S36-S38)	47.7	110	3
			29	CL	3.4	1.96	0.18	11	19.9	3.0				
癸巳	美唄	同	10	LiC	7.6	4.40	0.34	13	15.9	12.3	44.8 (S28-S32)	34.0	105	5
			16	HC	5.2	2.99	0.33	9	16.6	6.3				
高松	富良野	黒色 火山灰土壌	14	CL	9.2	5.33	0.42	13	27.5	3.2	42.6 (S36-S38)	52.7	109	3
			37	LiC	8.7	5.05	0.32	16	26.3	5.6				
小西	士別	黄褐色土壌	15	LiC	7.4	4.32	0.38	11	21.9	5.4	42.8 (S35-S37)	49.5	107	3
			27	HC	8.0	4.66	0.43	11	27.1	4.2				
森田	永山	同	13	CL	12.5	7.27	0.59	12	25.7	4.3	46.8 (S36-S38)	57.1	101	3
			28	CL	13.4	7.79	0.56	14	25.9	2.4				
中野	風連	同	8	LiC	4.6	2.66	0.25	11	17.9	11.3	40.9 (S35-S37)	53.4	102	3
			14	LiC	4.6	2.65	0.26	10	18.6	2.5				

2. 深耕および下層土改良

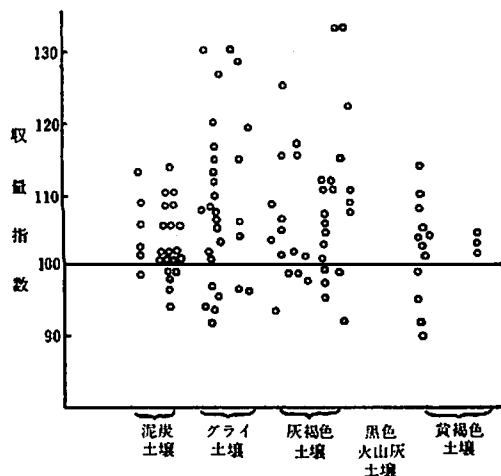
1) 深耕

深耕は土壤環境を改良し、根の分布領域を拡大し、その生育をおう盛にし、増収を図ることを目的とするが、深耕方法、深耕後の施肥管理等が十分でない場合はその効果を十分発揮させ得ないこともある。

深耕の適地判定には、地下水の高低と土壤断面形態等によらねばならないと思うが³²⁾、筆者らの試験成績では必ずしも一定の傾向は認められないものの、その効果は一般に期待しても良いようである。

(1) 深耕の効果

施肥改善事業における主な深耕試験成績は第57, 58表および第24図にて示されるが、そのほとんどが効果を示し、最大は25%の増収となり、概してグライ土壤が最も効果を表わし、灰褐色土壤がこれに次ぎ、黒色火山灰土壤、泥炭土壤、黄褐色土壤間には余り差がないようであるが、上川農業試験場の第24図では一般に効果は認められ、15%前後の増収を期待できるが、土壤類型別ではその効果についての一定の傾向は認められない。また全国的な傾向としては、小山の灰色、灰褐色、黒色、黄褐色土壤のグループが、泥炭、グライ、砂礫土壤に比べて効果が高いようで4~10%の増収が認められている³³⁾。



第 24 図 深耕と土壤類型³⁰⁾
(上川農業試験場)

第 58 表 洪積重粘土壌の特性と土地改良試験成績

1) 渡辺試験地¹⁸⁾¹⁹⁾²⁰⁾

i) 土壤断面

層 厚	土 性	湿土の色	密 度	粘 着 性
13—	LiC	灰 黒 色	18	中
	LiC	灰 褐 色	21	中
23—	LiC	灰 褐 色	23	強

ii) 心土破砕効果 (昭和33年)

試 験 区	収 量 kg/a	指 数
標 準 区	30.3	100
心土破砕区	31.3	103

iii) 深耕効果 (昭和34, 35年)

試 験 区	収 量 kg/a		指 数		収 量 kg/a (平均)	指 数
	34年	35年	34年	35年		
標 準 区	44.7	46.6	100	100	45.7	100
深 耕 区	48.8	48.3	109	104	48.6	106

2) 多田試験地成績¹⁸⁾¹⁹⁾

i) 土壤断面*

層 厚	土 性	湿土の色	密 度	粘 着 性
16—	LiC	灰 色	20	中
	LiC	灰 褐 色	23	強
25—	LiC	灰 褐 色	23	強

ii) 心土破砕・深耕効果 (昭和33年)

試 験 区	収 量 kg/a		指 数		収 量 kg/a (平均)	指 数
	33年	34年	33年	34年		
標 準 区	37.8	45.0	100	100	41.4	100
心土破砕区	42.6	47.6	114	106	45.1	109
深 耕 区	49.5	48.2	131	107	48.9	118

* 多田試験地の断面調査はないので、同一土壤区における代表(森村—滝川市)断面調査を登載した。また密度は山中式硬度計によった。

第 59 表 NH₃-Nの消長 (普通耕と深耕との比較, mg/100 g dry soil)

区別	土壤採取月日													
	5.27	6.3	6.11	6.18	6.25	7.3	7.10	7.24	8.12					
1) 12cm 耕	4.9	3.3	2.1	3.0	3.9	2.9	2.0	1.6	1.3					
2) 24cm 耕	4.2	3.8	2.5	1.7	3.4	1.7	0.8	1.3	1.2					

(2) 深耕の深さ

土層の状態によって多少異なるが、20~30 cm くらいが作業的にも栽培的にも適当といえる。

(3) 深耕の効果の理由

深耕による水稲の生育相の特徴およびその効果について、上田¹⁹⁾は「初期生育はやや劣るが、中期以降は逆に生育がおう盛となる。初期生育の劣るのは、表層の肥料濃度がうすくなり、また生育初期には根部の伸長に重点がおかれ、地上部の生育がおくれる。その生育のおくれは登熟において2~5日程度である」とし、その効果の要因として、肥料吸収根域の拡大、溶脱した Fe, Mn の作土への富化、滲透を良好にして土壌を酸化的にする。地温が上昇することなどを指摘し、それらの好条件による穂数の増加を直接の要因にあげている。

また深耕の効果の期待できるものとして、排水

良好な水田をあげ、排水不良な水田を効果の期待できない水田としている。そして、その深耕効果持続年数は5~6年とし、心土が不良な場合には心土耕を、非黒色火山灰水田では混層耕が効果があるとし、施肥は、増肥では徒長倒伏の危険が多く、減肥では減収を来たすので適量施肥が良いと述べている。

また上川農業試験場の試験成績では、深耕効果の要因として次の事項をあげている。

i) 施肥範囲が拡大されるので第59表のとおり土壌の NH₃-N は低く推移し、8月中旬ごろに普通耕とはほぼ同程度となる。作物体の窒素含有率は第60表、第25図のように深耕がやや高目に推移する。

ii) 減水深および地温はそれぞれ第26、27図のとおり高まる。また第61表のとおり酸化的条件となり、第62表のように根の活力も大きくなる。

第 60 表 生育時期別養分含有率³⁰⁾ (乾物%)

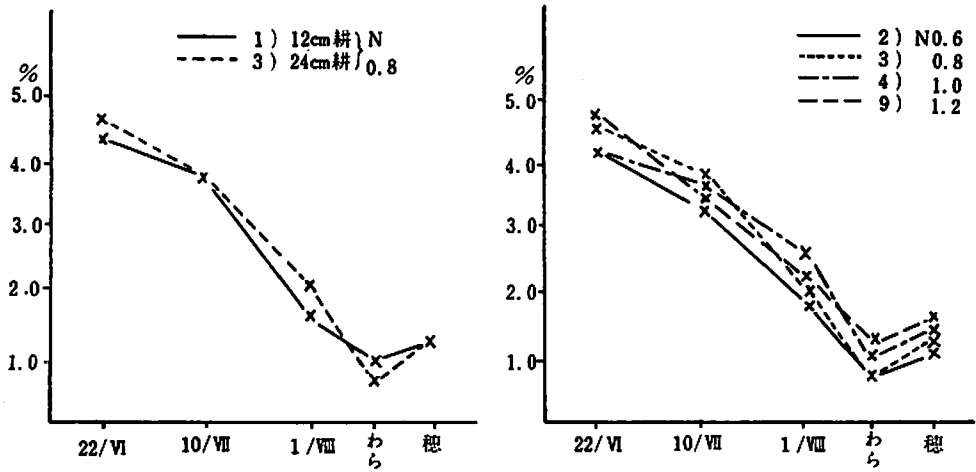
部位時期別 試験区	N					P ₂ O ₅					K ₂ O				
	茎葉部				穂部	茎葉部				穂部	茎葉部			穂部	
	22/VI	10/VII	1/Ⅷ	成熟期	22/VI	10/Ⅶ	1/Ⅷ	成熟期	22/VI	10/Ⅶ	1/Ⅷ	成熟期			
1) 12cm 耕 N 0.8(kg/a)	4.44	3.72	1.61	0.74	1.23	0.96	0.81	0.69	0.30	0.77	3.04	2.55	2.40	2.35	0.32
2) 24cm 耕 N 0.6	4.38	3.39	1.83	0.67	1.20	0.95	0.80	0.64	0.33	0.83	3.04	2.58	2.52	2.53	0.35
3) 同 N 0.8	4.66	3.76	2.00	0.62	1.23	0.90	0.83	0.69	0.33	0.83	3.10	2.74	2.48	2.16	0.32
4) 同 N 1.0	4.35	3.72	2.48	0.90	1.41	1.01	0.75	0.78	0.33	0.74	3.33	2.66	2.61	2.62	0.35
5) 同 N 1.2	4.22	3.53	2.09	1.05	1.47	0.90	0.85	0.76	0.31	0.76	3.40	2.41	2.48	2.28	0.35

第 61 表 酸化・還元電位³⁰⁾ (mV)

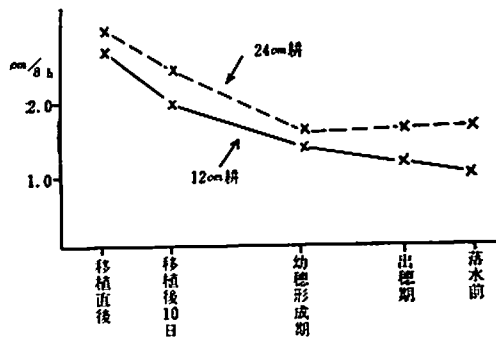
試験区	測定時期	測定位置	6月26日	7月3日	7月10日	7月17日	7月24日	7月31日
			1) 12cm 耕 N 0.8 kg/a	10 cm	209	79	78	160
		20 cm	188	55	51	146	175	62
3) 24cm 耕 N 0.8 kg/a	10 cm	180	158	131	251	123	148	
	20 cm	160	125	100	216	93	131	

第 62 表 根の酸化能ならびに CEC³⁰⁾

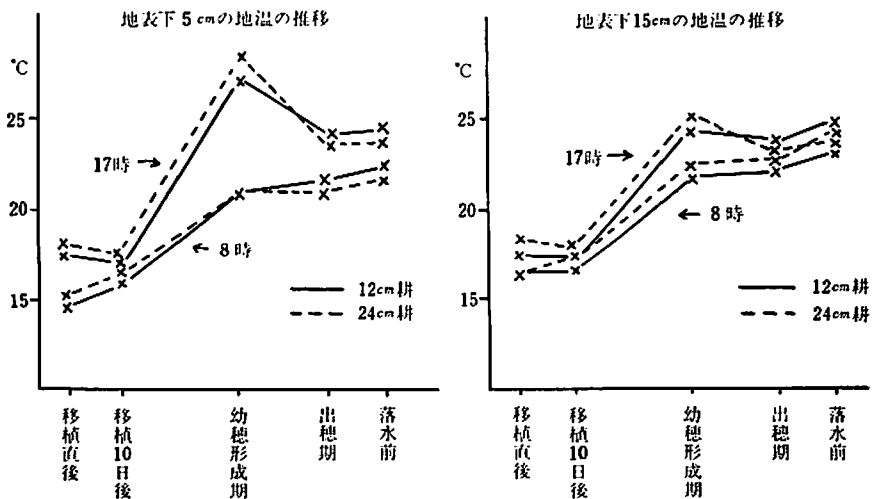
試験区	項 II	酸化能	CEC me	備 考
1) 12 cm 耕 N 0.8 kg/a		弱	1.23	7月31日測定
3) 24 cm 耕 N 0.8 kg/a		強	1.43	酸化能: α-ナフチールアミン法による
4) 同 N 1.0 kg/a		強	2.39	(20ppm 使用)
8) 同 P.K 増施		強	2.79	CEC: 生体根, 無処理



第 25 図 窒素含有率の生育時期別変化³⁰⁾



第 26 図 減水深 (9.00~17.00) の推移³⁰⁾



第 27 図 地温の推移³⁰⁾

第 63 表 深耕と施肥試験³⁰⁾ (kg/a)

試験区	項目	わら重	玄米重	収量比	m ² 当り穂数
1) 12 cm 耕	N 0.8 (kg/a)	35.7	42.5	86	368本
2) 24 cm 耕	N 0.6	35.3	41.9	84	328
3) 同	N 0.8	39.2	49.6	100	384
4) 同	N 1.0	44.7	56.5	114	500
5) 同	{ N 1.0 珪カル 20	42.6	54.4	110	—
6) 同	{ N 1.0 K追肥 0.4	49.1	57.8	116	—
7) 同	{ N 1.0 P.K 下層条施 0.8	48.5	60.2	125	—
8) 同	{ N 1.0 P.K 増施 P 2.2 K 0.4	48.8	56.5	114	—
9) 同	N 1.2	50.6	55.1	111	484

注) 共通肥料として、P₂O₅ 0.8, K₂O 0.8 kg/a 施用

iii) それらの相乗効果として、生産機能がおう盛で、かつ生育の最後まで衰えない。

iv) また第63表によれば、窒素の増施、磷酸の増施、下層条施などの改善によって効果はさらに増加する。

2) 下層土の改良 (とくに洪積重粘土壌)

前述の全国不良水田土壌の区分における重粘性土壌にはほぼ該当し、また北海道における特殊性土壌区分³⁰⁾のうちで、重粘土地帯、重粘酸性土壌地帯、重粘土酸性過湿地帯における水田が物理性の不良を呈する。

これらの水田は主に洪積台地上に分布し、主として砂岩、頁岩、凝灰岩、石英粗面岩等とその母材とし、一般に灰褐色を呈し、無構造にてきわめて堅密であり、第58表のように山中式硬度計にて20以上を示す。灰褐色土壌(洪積土系)がこれに該当すると考える。

したがってこれらの水田土壌は通気・通水性がきわめて不良であり、作土は還元状態を呈し、水稲根は下層土が堅密なため十分な伸長が妨げられ、生育は不良となる。

本土壌の恒久対策としては、暗渠により排水をよくし、土層内に亀裂を作り、しだいにその構造を良化することであるが、応急対策としては心土破碎等により水稲根の伸長と根域の拡大を計ることによって、その生育を良好にし、収量の増加を図ることができる。

心土破碎は、第58表によれば約3~10%程度の増収が見込まれる。また心土耕の効果の高い見見も多い。

3. 客土

客土とは、性質の異なった土壌を客入することによって、土壌の性質を基本的に変えてしまうことで、例えば泥炭土壌には鉍質土壌を、砂質土壌には粘土分の多い土壌を、粘土分の多すぎる土壌には砂質土壌を、有機質の少ない土壌には有機質の多い土壌を作土の30%以上を混ぜることが、北海道では奨励されてきた³⁰⁾。

一般には砂質の漏水田に粘土を客入することによって、減水深の低下、養分保持力の増大、水温、地温の増大を確保し、重粘土壌に砂質土壌を客入することによって、土壌の粘性を緩和し、耕鋤作業を容易にし、透水性、空気の流通を良好にするなどの効果を期待でき、水稲の増収を上げることについてのデータは数多い。

前者の砂質漏水田については、灰褐色土壌、黄褐色土壌、黒色火山灰土壌、非黒色火山灰土壌の砂質の水田が相当し、後者の重粘性土壌については、強グライ土壌・グライ土壌が相当する。

さらに泥炭土壌水田に対する客土については、石塚、田中³⁰⁾は鉍質土壌を客入することにより、植物の必要とする養分を供給し、かつ泥炭の分解を促進させ、作物養分の可給化をはかるという両面のみでなく、土壌組織を堅密にすることにより

土壤容積重を増大させ、根と接触する土壤量を増加するという面からも水稲に対する養分供給に重要な意義があるとし、具体的に、客土によって、早期に可給態のNH₃-Nが生じ、これら可給化した窒素を水稲が有利に利用する結果、増収になることを実証している。

しかし客土は、前述のとおり適切に行なわなければ、その効果を発揮することはできない。例えば「上川管内旭正地区における水稲生育不良現象¹⁶⁾」は、付近に適当な優良粘土がないため、黒色火山灰土壤に砂質土壤が以前に客土されていたため、改善がなされずに水田年数が経過するにつれて発生したもので、養分保持力の不良、漏水の大きいこと(地温低下にも結びつく)等が主要因とみられ、この場合客土が有効手段ではあるが、実際には適切にできないので、有機物施用、窒素増施、浅植えによって解決した事例もある。

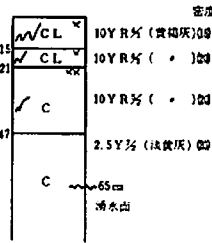
VIII 土壤類型と基盤整備に関する問題点

近年農業の近代化を図るため、水田作の機械化による労働生産性の向上を目的に、いわゆる水田の基盤整備事業が諸所において実施されているが、これら基盤整備に起因する諸事象とこれに関連する問題点を論ずることとする。

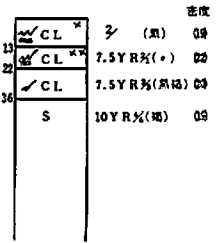
本課題については、北海道では上川農業試験場が昭和39年より研究に着手しているところであり沼田町における灰褐色土壤(洪積重粘土壤)と、旭川市永山町における黄褐色土壤(表土腐植層、沖積土)の2地点について調査を実施し、諸事象を明らかにした³¹⁾。

1. 減水深調査

沼田試験地



永山試験地



凡例 〰: 腐植にすこぶる富む W: 腐植に富む
 /: 腐植を含む X: 斑鉄に富む
 ×: 斑鉄を含む

減水深は、垂直滲透畦畔漏水、葉面蒸発、水面蒸発などの総合されたものであるが、基盤整備の実施によって、減水深は第64、65表のとおりかなり低下する。

第 64 表 透水量の変化

試験地別		透水量 (mm/24 h)
沼田	基盤整備前土壤	21.6
	後土壤	3.7
永山	基盤整備前土壤	23.5
	後土壤	12.1

注) 変水位透水試験器による。

それらの原因について小田切³¹⁾は、第66表による畦畔漏水の低下と、表層土壤がブルドーザなどによりねりつぶされて、土壤粒子間の間隙が著しく狭小とされること(従来は堅密な盤層の形成によるためと考えられていたが)による垂直滲透の低下とを指摘している。

2. 土壤支持力調査

基盤整備の実施された水田土壤は、ある荷重に対するめり込み度合が大きく、また一定支持力に達するまでの日数も明らかに延引される。これは

第 65 表 現地水田の減水深

調査事項	減水深-畦畔漏水 (mm/24 h)						減水深			畦畔漏水 (総体-垂直)			
	6月上旬	6月中旬	6月下旬	7月中旬	7月下旬	平均	6月下旬	7月中旬	7月下旬	6月下旬	7月中旬	7月下旬	
沼田	基盤整備前水田	7.3	4.3	7.0	3.8	—	5.6	15.3	8.2	—	8.3	4.4	—
	同 後水田	3.3	2.7	4.5	2.5	—	3.2	9.0	6.3	—	4.5	3.8	—
永山	基盤整備前水田	—	11.5	11.5	16.0	19.4	14.6	—	31.8	40.4	—	15.8	21.0
	同 後水田	—	3.5	3.2	4.8	2.6	3.5	—	3.0	4.4	—	(+) 1.8	(+) 1.8

第 66 表 畦畔漏水の例

試験地	項目	畦畔漏水(mm/m)		畦畔率(m/m ²)
		6月下旬	7月中旬	
沼田	基盤整備前	125.8	145.7	0.308
	同 後	54.6	79.2	0.094
永山	基盤整備前	424.2	400.0	0.161
	同 後	27.7	37.5	0.082

基盤整備時、土壌構造が、ぬりつぶしや機械の重圧によって破壊され、それが代掻きによって水中に分散し、固定しがなくなったことによるとしている。この傾向は沼田のような重粘土壌において一層はなほだしいことが第67表からうかがえる。

3. まとめ

1) 減水深が著しく低下し、特に透水能の低下は排水不良をきたし、還元化を促進することとなり、水稲生育を悪化させ、また機械導入上に大きな支障を来たす。また一方土壌の支持能の低下を来たすことにより機械導入や水稲栽培上、移植の場合は深植えとなり、直播においては種籾が沈下し、深播きとなり、いずれも生育に支障を来たす。

2) 前記 1) については、とくに排水不良な土壌類型として、泥炭土壌、黒泥土壌、強グライ土壌、グライ土壌においては注意をし、排水や土壌支持力の増大に意を用うべきである。

3) 反面排水過良な灰褐色土壌、黒色火山灰土壌、非黒色火山灰土壌などでは、水持ち向上の見地からも基盤整備は有利となる。

4) また盛土、切土の水稲のできむらの対策も合わせ、表土処理の必要性の有無等についても施肥対策で解決の可能性も大きい。

5) 透水能、土壌支持能の低下による障害の除去、ならびに表土処理に対する対策などについては排水、土壌改良試験、地力増強法試験等によって早急にその結論をださねばならない。

6) 泥炭土壌に対しては、目下農林省北海道農業試験場で研究中であるが、元来支持能の低いものであるもので、十分な客土を伴わないと基盤整備はその目的を達することが難しい。例えばそれらの十分な検討なしに基盤整備が実施され、水稲栽培が困難になっている事例が見られる。

したがって各土壌類型の特徴を考え、十分な対策も含めての基盤整備であることが必要である。

第 67 表 土壌支持力の経日的変化³⁾ (めり込みの深さ mm)

試験地	経過日数	荷重量g/cm ²	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	11日目	13日目
			沼田	基盤整備前	6	11	11	8	8	5	6
18	28	24			22	18	16	15	15	16	15
基盤整備後	6	18		18	9	8	7	7	8	6	6
	18	38		38	37	30	26	28	25	20	18
永山	基盤整備前	6	3	3	0	0	0	0	0	0	0
		18	5	6	3	2	3	2	1	2	2
	基盤整備後	6	3	4	2	1	0	0	0	0	0
		18	7	8	5	2	3	2	1	2	2

注) 平板載荷試験による測定

IX 水田土壌類型と生産性との対応

前章までに水田土壌類型の生産性について詳細に述べてきたが、ここではその要点を指摘し、これらが実際の農家における施肥の実態と、どのような関係があるのか、さらにまた、水稲の生産に大きな位置を占めている施肥をどのように考えた

ら良いのかを、水田土壌類型と主に施肥の場面での対応を論ずることとする。

1. 水田土壌類型と生産性

前項におけるそれぞれの土壌類型の生産性に関係のある要因と特徴とをとりまとめ、その土壌類型の生産性との関係を明らかにしたい。

土壌類型の大別は第6表における泥炭土壌、黒泥土壌、グライ土壌、灰褐色土壌、黄褐色土壌、

黒色火山灰土壌、非黒色火山土壌の 7 土壌類型群である。

生産性について黒泥土壌は泥炭土壌に、黒色火山灰土壌および非黒色火山灰土壌は黄褐色土壌に準じさせ、グライ土壌(類型群)の代表として強グライ土壌(亜群)を選んだ。

しかし酸化、還元に関係のある、5つの土壌類型亜群の代表として比較検討した。

すなわち①泥炭土壌類型亜群、②強グライ土壌類型亜群、③灰褐色土壌類型亜群(沖積土系)、④灰褐色土壌類型亜群(洪積土系)、⑤黄褐色土壌類型亜群の生産性に対する特徴の比較がそれである(このあとの説明には、亜群名を省略し、①、②……の番号を使用する)。

1) 土壌類型の収量に対する関係

さきの V の 1~1)~(2)~ii)の土壌類型間の収量の分散分析によれば、各土壌類型とも窒素の多肥による増収は明らかであり、灰褐色土壌(洪積土系)のみが有意に最も低収であるほかは、ほかの土壌類型間の傾向では顕著な差異は認められなかった。しかしながらおおそ次のような関係が得られた。

強グライ土壌 > 泥炭土壌 > 黄褐色土壌 \geq 灰褐色土壌(沖積土系) > 灰褐色土壌(洪積土系)

さらに窒素施与による増収性については(ここでは増収率を勾配におきかえてみる)、さきに設定した A 群のうちで、灰褐色土壌(沖積土系)が最も増収率が高く、ついで強グライ土壌となり、その他の B 群〔泥炭土壌、灰褐色土壌(洪積土系)、黄褐色土壌〕では増収率は緩慢で、B 群内では類似的の傾向をもっている。

増収傾向としては、A 群、B 群にのみ有意で、各土壌類型間の差は明らかではなかった。A 群では N 0→1.2 kg/a までは、1.0 kg/a 当り玄米重で 15~20 kg/a 増収する。

また B 群では増収率は A 群より低い、無窒素区が低収である場合には、増収率が高くなる場合もある。ただこのうちで黄褐色土壌のみは増収性は直線的でなく拋物線をとる傾向があり、窒素を上げることにより、つまり N 1.0 kg/a より収量は漸減するものと考えられる。

2) 土壌類型における三要素ならびに堆肥の施用効果

一般に土壌類型に無関係で、次の関係がある。

収量：無磷酸 \geq 無加里 \gg 無窒素

ただ泥炭土壌のみでは、有意に次のとおりとなる。収量：無磷酸 > 無加里 > 無窒素

すなわち加里の肥効が高い。また泥炭土壌ではとくに無窒素の収量が高く、窒素的地力の高いことを示している。

磷酸は一般に 5~8 kg/10a 程度毎年施用されているので、磷酸には肥沃で農家の水田では磷酸の肥効が認められないものが多い。

つぎに堆肥の効果についてみると、有意に堆肥の効果の認められたものは、泥炭土壌、灰褐色土壌(沖積土系)、黄褐色土壌でその効果は 4~9% の増収にとどまる。堆肥の効果については多くの研究業績があり、その効果の理由については、筆者の今回の研究対象ではないので、本試験成績のみからの考察にとどめる。

堆肥の効果としては、その物理、化学的な両面が考えられるが、上記の効果については、例えば泥炭土壌に対しては、とくに P_2O_5 、 K_2O 、 SiO_2 の供給等の効果と考えられ、ほかの 2 土壌類型に対しては、酸化型土壌タイプに対する可給態窒素の富化はもちろんであるが、窒素供給の持続性、肥料保持力の増大等の総合効果と考えた。

しかしその効果は余り大きいものは期待できなく、絶対収量としては 2.6~3.7 kg/a で、窒素を 0.15~0.20 kg/a 増施した場合の増収量と同程度である。また窒素を与えた場合より無窒素での堆肥の効果が高かった。

堆肥の効果と土壌条件の関係については、筆者の試験では、還元型の排水不良な土壌類型では効果は認められていない。このことは現地試験の考察と合わせて考えてみると、堆肥を施用することによって、反面有機物施与により土壌還元を促進し、このことによる水稲の生育に与えられる有害条件が、物理・化学的な効果を相殺することによって、効果が認められないだろうと推定した。しかし堆肥施用によって多く減収した水田は認められなかった。

3) 妹背牛町における現地試験からの考察

妹背牛町における4試験地の生育、収量の結果(V~1~4)から総合し、それら各試験地を土壌類型におきかえて考えると、泥炭土壌、強グライ土壌は生育初期より分けつおう盛で、最後の穂数においても多く確保され、直接収量増に結びついている。反対に灰褐色土壌(沖積土系)、黄褐色土壌は分けつ、穂数の確保が比較的困難で、それが低収に結びついている。

また泥炭土壌では、生育日数がやや長く要した。収量では泥炭土壌、強グライ土壌>灰褐色土壌(沖積土系)、黄褐色土壌であり、養分吸収の面ではとくに泥炭土壌が窒素の吸収が多く、 K_2O (無加里)、 SiO_2 の吸収が少なかったほかは、各土壌類型間に明らかな差異は認められなかった。

これらの結果を総じて、妹背牛町での土壌類型の特徴のまとめは次のようである。

- 泥炭土壌：分けつがおう盛で、穂数多く比較的収量は高いが、窒素施与による増収性は低い。
- 強グライ土壌：分けつがおう盛で、穂数多く比較的収量が高く、窒素施与による増収性は高い。
- 灰褐色土壌(沖積土系)：分けつが比較的悪く、穂数も少なく、収量は高くないが、窒素施与による増収性は高い。
- 黄褐色土壌：分けつが比較的悪く、穂数も少なく、収量も高くないが、窒素施与による増収性は低い。

4) 土壌類型の主要理化学性と生産性

さきにⅥの1.水田土壌の理化学性に基づく土壌類型の特徴の項で次の関係を述べた。

分析項目	土壌類型の傾向
粘 土	③②①④>⑤
磷酸吸収係数	④>⑤③①②
全 炭 素	①>⑤④②③
全 窒 素	①>⑤④②③

すなわち粘土では、⑤黄褐色土壌が明らかにほかの土壌類型より少なく、磷酸吸収係数では④灰褐色土壌(沖積土系)が明らかに大きく、全炭素、全窒素では①泥炭土壌が明らかに多いことが分か

る。

それらのことを総合して、第49表のような関係表が作られた。

2. 施肥の実態調査

施肥の実態調査²³⁾は、土壌調査と併行して、当該市町村にて、それぞれ農業経営の内容も含めて実施した。今回はその中より各土壌類型別に施肥と収量の関係をとりまとめた。

調査方法は各市町村駐在の農業改良普及員が当該土壌類型別に小経営、中経営、大経営の三階層別に水田率50%以上のものから5戸ずつ適宜選定し実施した。

小経営は経営面積	2.0 ha 以下
中経営は経営面積	2.0~3.0 ha
大経営は経営面積	3.0 ha 以上

農家の各土壌類型別に施用窒素量と収量との関係を見たのが第68表であるが、年次による豊凶の差、および10年間における稲作技術の進歩等を考えると、そのまま読みとることは困難ではあるが、昭和33年ころからのデータは比較的その傾向をは握できると思われる。

すなわち、各土壌類型内においても、市町村によって施肥量、収量の変動の大きいことが分かる。このことは栽培環境なり、市町村の技術指導の多様性を物語るものと考えられる。しかしながら同一市町村内における各土壌類型の特徴は、傾向として見られるようである。すなわち

1) 泥炭土壌は、ほかの土壌類型のいずれのものよりも窒素の施用量が少なく、その割りに収量が低くなく、むしろ高いものが多い。

2) グライ土壌と灰褐色土壌(沖積土系)では、窒素量は前者では4.0~7.5 kg/10 a、後者では4.0~9.0 kg/10 aと多少後者の方が多くようであるが、有意に多いとはいきれなく、同程度と見てよいであろう。収量ではほとんど同程度で、全土壌類型中で黄褐色土壌と共に最多収と見られる。

3) 黄褐色土壌はグライ土壌、灰褐色土壌(沖積土系)よりも施用窒素量はやや多いが、収量では同程度と見られる。窒素施与による増収性は低い。

第68表 土壤類型別施肥実態調査成績²³⁾

調査年次 市町村名	窒素量 (kg/10a)							収量 (kg/10a)						
	泥炭土壌	グライ土壌	灰褐色(沖積土系)土壌	灰褐色(洪積土系)土壌	黄褐色土壌	黒色火山灰土壌	非黒色火山灰土壌	泥炭土壌	グライ土壌	灰褐色(沖積土系)土壌	灰褐色(洪積土系)土壌	黄褐色土壌	黒色火山灰土壌	非黒色火山灰土壌
昭28.12 ~ 29.3 美 市	3.75	5.25	3.38	3.38	—	—	—	356	353	324	305	—	—	—
昭29.12 ~ 30.4 岩 見 沢 市	3.49	4.58	5.93	—	—	—	—	206	209	216	—	—	—	—
昭31.1 ~ 3 長 沼 町	3.30	4.99	5.29	—	—	—	—	314	335	344	—	—	—	—
昭32.1 ~ 4 越 川 町	—	—	—	—	—	—	6.23	—	—	—	—	—	—	105
昭33.1 ~ 4 山 仁 町	—	5.74	5.66	—	—	—	7.13	—	213	194	—	—	—	183
昭33.1 ~ 4 滝 川 市	3.60	5.70	3.98	4.31	4.73	—	—	371	368	362	323	420	—	—
妹 背 牛 町	3.30	5.63	5.63	—	6.30	—	—	408	398	408	—	402	—	—
沼 田 町	3.75	4.91	4.39	4.24	7.58	—	—	387	371	375	332	347	—	—
深 川 市(一巴村)	5.25	4.16	3.64	4.65	4.99	—	—	360	342	365	333	381	—	—
昭33.12 ~ 34.3 鷹 栖 村	4.24	6.45	7.28	7.46	—	—	—	413	407	404	368	—	—	—
東 昭34.12 ~ 35.4 士 別 町	—	7.09	—	7.46	—	—	—	—	404	—	—	383	—	—
昭34.12 ~ 35.4 士 別 町	3.85	7.45	7.28	5.57	6.47	—	—	319	382	376	360	346	—	—
風 昭35.9 ~ 10 旭 川 市	4.22	4.80	4.97	—	5.80	—	—	333	355	339	—	349	—	—
昭35.9 ~ 10 旭 川 市	4.55	3.78	—	—	4.85	—	—	418	452	—	—	455	—	—
比 布 町	—	5.82	6.75	—	5.76	8.18	—	—	441	464	—	483	439	—
富 昭36.9 ~ 10 共 良 野 和 村	5.36	6.23	7.59	—	—	7.48	—	467	457	436	—	—	432	—
昭36.9 ~ 10 共 良 野 和 村	6.35	6.84	8.75	7.73	—	—	—	514	470	468	402	—	—	—

注) *: 昭和29年の冷害時の収量であるためきわめて低収

**: 昭和31年の冷害時の収量であるためきわめて低収

4) 黒色火山灰土壌は、施用窒素量は最も多いにかかわらず、収量はグライ、灰褐色(沖積土系)黄褐色の各土壌類型より低い。窒素施与による増収性は低い。

5) 灰褐色土壌(洪積土系)では、施用窒素量は灰褐色土壌(沖積土系)とほぼ同程度か、むしろ多いが、収量は各土壌類型中最も少ない。

また施用磷酸、加里の量については、各土壌類型の傾向は全く認められないが、全般の傾向としては、いずれも市町村別、農家別の変動が大きく磷酸では2.5~8.0 kg/10a、平均4.6 kg/10a、加里は2.0~7.5 kg/10a、平均3.8 kg/10aとなり

余り多い量ではなかった。

本調査結果から、うかがわれる農家の施肥傾向は、おおむね土壌類型の特性を反映し、さらにそれらの施肥に基づく生産も、筆者の調査研究結果に、ほぼ一致するようである。

3. 施肥基準

水稲の施肥に対する肥料要素については、北海道では現在のところN, P₂O₅, K₂O, SiO₂, MgO等が考えられているが、今後の課題として、水田の老朽化等も考え、Fe, MnO₂等も考慮せねばならないだろう。

筆者は現在までの知見から、北海道における水

稲の施肥基準に対し、主として N, P₂O₅, K₂O, SiO₂, MgO の要素をとらえ、とくに水稲の生育収量に大きく影響を与える窒素の施肥を中心に述べてみる。

施肥基準といえば、一般にどこの水田に、各要素何 kg を施用するのかと、絶対施肥量を直ちに連想するものが多いが、前段から述べたように厳密には水稲の生育は、その年の気象条件、土壌条件（実際には、詳しくは地点によっても土壌条件が異なる）、栽培条件に直接支配されるもので、施肥も直接ここに結びつくこととなり、その場所、その条件での絶対施肥基準はあっても、ある広がりをもった、すなわちある幅をもった（ある許容範囲において）考え方をとらねばならないし、土壌条件を中心に、気象条件、栽培条件に対する施肥反応の面でもとらねばならない。

北海道における水稲生産の現況は、農林水産統計によれば、昭和40年度全国平均 390 kg/10 a に比べ、北海道平均は 334 kg/10 a で比較的高水準にある。しかし、その安定性については、全国の最低である。すなわち昭和30～39年の10か年間の農林水産統計からの偏異係数を求め、これを一応安定度の指標とすれば、全国の偏異係数が4.65に対し北海道は23.50 ときわめて大きい。このことは年次による気象条件の変動が大きく、実際には低温、寡照等による水稲収量の変動によるものであり、いわゆる冷害等による収量の変動と見なされる。

したがって多収もさることながら、安定性向上が北海道の稲作に対する大きな課題である。

すなわち北海道における稲作の施肥基準は、目標収量と安定性の面からとらえねばならない。前述したように水稲の収量では、窒素の肥効が最も大きく、また平年以上の良好な気象条件下では多肥による増収は大きい、反対に低温、寡照になると多窒素は第69, 70表のごとく稔実障害、生育遅延による登熟不良を大きくし、大いなる減収をもたらす。

すなわち水稲収量は、気象条件を背景として窒素量に左右されるといっても過言ではない。長期予報の不十分な現在、安全確収に対する施肥とし

第 69 表 施肥量別の不稔歩合と出穂期（上川農試）

品種名 項目	施 肥	フク	シオ	ササ	ホリ	ユー	ホク
		ユキ	カリ	ホナ	ウ	カラ	セツ
不稔歩合 (%)	普通肥	31.5	25.6	14.9	42.4	28.8	18.3
	多 肥	32.0	26.9	26.4	51.5	43.3	22.8
出穂期 (月日)	普通肥	8.8	8.10	8.10	8.14	8.18	8.16
	多 肥	8.9	8.11	8.10	8.13	8.19	8.17

注) 普通肥はN 8 kg/10 a, 多肥はN 12 kg/10 a

第 70 表 低温下における窒素量の水稲の生育・収量に及ぼす影響

(北見農試, 1966年: 冷害年)

項目	N用量	N 0	N2.5	N5.0	N7.5	N10.0	N12.5
	kg/10a	月日					
出穂期		8.17	8.19	8.20	8.20	8.21	8.21
成熟期		9.27	9.30	達せず	達せず	達せず	達せず
不稔歩合%		27.2	26.9	31.7	36.5	42.0	41.3
玄米重 kg/10 a		222	290	341	328	357	335
収量比率%		65	85	100	96	105	98
青米歩合%		17.7	19.9	27.7	30.2	29.8	29.9

注) 供試品種は耐寒性のきわめて強い北見農試育成中の系統「北育33号」である。

て、慎重に考えねばならない。とくに昭和39～41年にかけての異常気象によるいわゆる冷害を見るとき、強くこのことを意識しなければならない。

すなわち稲作立地における自然条件、土地改良、土壌改良、基盤整備、栽培法等の実態を充分は握して適正な目標収量（安全確収をたてまえて）を立てるべきである。目標収量を過大に高い水準におくことは安全性を低めることになるので、この設定は各地域の農家における収量実績、農業試験場での試験成績（現地試験を含めて）等を充分考慮してなさるべきである。

「北海道における農作物の収量と気象要因の関係について」⁹⁾と「北海道地帯別施肥標準（昭和36年）」¹⁰⁾、「北海道地帯別施肥標準（改定案、昭和41年）」¹¹⁾や、従来の試験場での試験成績とを合わせ考えると、その目標収量は、おおむね安定地帯（主に上川、空知地方、渡島、檜山の一部等）では、420～480 kg/10 a, 準安定地帯（網走、十勝、上川北部、留萌地方等）では 330～360 kg/10 a, 準安定地

帯（その他の地域）では 360~420 kg/10 a におくべきである。そしてそれに対応する窒素量は 5~10 kg/10 a の範囲に止むべきである。

窒素量は具体的には気象条件、土壌類型、土壌の理化学性の相異等により異なるので、その絶対量を指摘することは難しいが、窒素量は安定地帯から不安定地帯にゆくにつれて少なく、また土壌類型では泥炭土壌で少なく、火山灰土壌で多く、土壌の理化学性では、粘土含量の多いものではある範囲内で多目に、粘土含量の少ない砂質土壌では窒素の流亡、損失が多いので、窒素はかなり多く施用することが必要である。もちろん、生産の向上のためには施肥だけでは不十分で、土地改良等を実施しなければならず、この段階でも施肥を合わせ考えねばならない。

また磷酸の施与については、石塚、田中³⁶⁾が指摘しているように、生育初期における磷酸の吸収を盛んにすることにより活着を良化し、初期生育を促進することにある。したがって栄養生長と生殖生長の分離の困難な北海道の水稲の生育相において、いわゆる冷害時にはこの生長期間がかなり長く重なり合って生育相が乱れるので、磷酸施与によってこの分離を完全にすることが大きな意義となり、このため、ただ単に磷酸を多く施与するのではなく、初期生育に根の周囲に可溶性磷酸が多量に存在させることが必要である。このため施肥法としては、北海道では従来 P_2O_5 5.0~8.0 kg/10 a を施用量とし、その一部を表層施用するように実際に指導されている。前述したように、本道の水田土壌は磷酸吸収係数が大きいので、一般に磷酸量は多く、とくに磷酸吸収係数の大きい水田では多目にすべきである。

加里については、一般にその吸収量は筆者の試験成績によると、10~13 kg/10 a 程度であり、天然供給量では 7~10 kg/10 a 位あるので、施肥としては、その奪取量、その他生育促進、損失等も考慮して 5 kg/10 a 程度が適当であろう。ただ泥炭土壌に対しては10~20%程度の増量が必要である。

珪酸については、過去の農業試験場の試験成績によって、泥炭土壌に対して珪カルで、150 kg/

10 a の施用が指導されている。

苦土については、昭和41年の普及奨励事項として泥炭土壌の水稲に対し MgO が稔災を向上し、増収に役立つとして MgO で 4~8 kg/10 a の施用が指導された。

X 総括および結論

1. 研究の目的

北海道は約24万 ha の水田を有し、現在では日本における重要な食糧基地ともなり、また全国においても新潟県と1、2を競う米産地域ともなっている。このことは50年以上にもわたる稲作の試験研究に負うところきわめて大きいものがあり、その研究分野は多岐にわたり、稲作技術に関する知見もまた多い。

しかしながら、水田土壌に関する知見はきわめて少なく、全道的な水田土壌の研究にいたってはほとんどないといっても過言ではない。

また土壌調査によって分類された水田土壌類型に対し、その生産性に関する edaphological な研究は全国的にも少なく、本道においては皆無に等しい。

筆者は幸い1953年より1962年にわたり、農林省の補助事業としての「施肥改善事業」を担当することになり、約10年間にわたり水田土壌調査と施肥改善試験に従事し、土壌類型区分、土壌分析、施肥試験、施肥実態調査を行なった。そしてこれらの結果から、本道における水田土壌の特質とその生産性についてその関係を明らかにすることとした。

2. 研究方法

農林省による「施肥改善事業」の分類と小山方式に準じ、北海道における水田土壌の実態（土壌断面、地形、母材等）とを対比し、修正した水田土壌類型区分を設定した。

調査地域は主要水田地域を中心として全道におよび、その面積は約 56,000 ha である。

土壌分析点数は966点、施肥試験地数109か所、分析項目は土壌粒径組成、容積重、pH、塩基置換

容量、全置換性塩基、塩基飽和度、窒素および磷酸吸収係数、全炭素、全窒素、湿潤土、風乾土の各種温度（20°C, 30°C, 40°C）処理による $\text{NH}_3\text{-N}$ 生成量等である。

なお施肥試験は窒素用量試験、三要素試験、施肥改善、土地改良試験を組合わせたものである。

施肥実態調査は、美瑛市、岩見沢市、栗沢町、長沼町、鶴川町、由仁町、滝川市、妹背牛町、沼田町、深川市（一巳村）、鷹栖村、東川町、士別市、風連町、旭川市（永山町）、比布町、富良野市、共和村の7市9町2村について、昭和28年より昭和36年にかけて実施した。

また土壌類型と施肥および水稲の生育、収量反応との関係、水田土壌の理化学性と水稲生育との関係、土壌類型とその理化学性との関係については、統計的手法をもってそれらの関係を明らかにした。

3. 水田土壌の「特徴的土層」と斑紋・結核

1) 北海道における水田土壌の特徴的土層

小山の「特徴的土層」とはその定義、内容において、2, 3の相異点をもつが、筆者もまたその土層断面に特徴的な層位を認めた。それらはつぎのようなものである。すなわち ①泥炭層、②黒泥層、③グライ層、④灰褐色土層、⑤黄褐色土層、⑥黒色火山灰土層、⑦非黒色火山灰土層の7つである。

それらの土層の形態的特徴は次のとおりである。

(1)泥炭層：泥炭は挺水植物の遺体を主とし、ミズゴケ、ツルコケモモ、ヤチヤナギ等より成るもの（高位泥炭）と、ワタスゲ、ホロムイスゲ、ヌマガヤ等より成るもの（中間泥炭）と、ヨシ、ビロードスゲ等より成るもの（低位泥炭）との3種がある。地下水の影響を強くうけている。

(2)黒泥層：泥炭の植物繊維が肉眼的にほとんど認められない程度に分解し、湿土の色が明度3以下の黒色を呈し、全炭素含量がおおむね10%以上の土層、黒泥層の下層は泥炭層か亜泥炭層に移行する。

(3)グライ層：青灰～青緑色を呈し（場合によっては灰色も含める）、二価鉄の反応の顕著な土層。地下水が高く、土層は還元的である。また本土層は沖積土壌にも洪積土壌にも認められる。

(4)灰褐色土層：灰～灰褐色を呈し、酸化的で鉄、マンガンの斑紋が生成されている土層。グライ層が排水によって酸化されると本土層に移行する。小山の灰色土層とは異なる。

また本土層は沖積土壌にも洪積土壌にも認められる。とくに洪積土壌には黄褐色の腐朽斑紋を有するのが特徴的である。

(5)黄褐色土層：黄褐色を呈し、火山灰の理化学的諸性質をもたない無機質酸化土層。著しく透水性が過良で、酸化的形態を有し河川に近い沖積水田土壌に存在する。小山の「黄褐色土層」とは異なる。

(6)黒色火山灰土層：明度3以下の黒色を呈し、火山灰土壌の特徴を有する土層。本土層は腐植質火山灰の再堆積されたものであるため粘土含量が比較的多い。

(7)非黒色火山灰土層：清色の、白色、灰色、黄褐色、淡赤褐色を呈し、火山灰の理化学的特性のすべてを持つ無機質土層。北海道では主に粗粒なものが多い。

2) 斑紋および結核

斑紋の形成は地下水または灌溉水の影響による酸化、還元のかくりかえしにより行なわれるものであるが、本道の水田は、気象条件および環境条件等の他府県と異なった要因（たとえば、低温、寡雨、一毛作田、水田歴史の浅いこと等）により、その生成も充分でなく、還元条件に対する斑紋形態の関係も余り明瞭でなく、本道においては多くの知見のように斑紋による分類基準は設定し難い。

しかしながら斑紋は、糸状、糸束状、膜状、脈状、管状、結核状、点状、雲状等の種々のものが認められる。

4. 水田土壌類型の設定

農林省の「施肥改善事業」の類型区分法と、小山の分類法に準じ、北海道の水田土壌の実態から修正し、かつ整理して、つぎのように7土壌類型

北海道における水田土壌類型区分

土壌類型群	土壌類型亜群	土 壤 類 型 種
泥炭土壌	泥炭土壌	全層泥炭 重粘土泥炭 粘土泥炭 (壤土泥炭) (砂土泥炭)
	泥炭層土壌	重粘土泥炭層 粘土泥炭層 (壤土泥炭層)
	下層泥炭土壌	重粘土下層泥炭 (粘土下層泥炭) (壤土下層泥炭)
黒泥土壌	黒泥土壌	重粘土黒泥 (粘土黒泥) (壤土黒泥)
	(黒泥層土壌)	(重粘土黒泥層) (粘土黒泥層) (壤土黒泥層)
	(下層黒泥土壌)	(重粘土下層黒泥) (粘土下層黒泥) (壤土下層黒泥)
グライ土壌	強グライ土壌	重粘土質強グライ (粘土質強グライ) 沖積土系 壤土質強グライ 洪積土系 砂土質強グライ 砂礫質強グライ
	グライ土壌	重粘土質グライ (粘土質グライ) 沖積土系 (砂土質グライ) 洪積土系 (砂礫質グライ)
灰褐色土壌	灰褐色土壌	重粘土質灰褐色 粘土質灰褐色 沖積土系 壤土質灰褐色 砂土質灰褐色 (粘土質礫層灰褐色) (砂土質礫層灰褐色) 砂礫質灰褐色 洪積土系 砂礫土質灰褐色
黄褐色土壌	黄褐色土壌	重粘土質黄褐色 粘土質黄褐色 壤土質黄褐色 砂土質黄褐色 (粘土質礫層黄褐色) (砂土質礫層黄褐色) (砂礫質黄褐色) (砂礫土質黄褐色)
黒色火山灰土壌	黒色火山灰土壌	粘土質黒色火山灰 (壤土質黒色火山灰) (砂土質黒色火山灰) (粘土質礫層黒色火山灰) (砂土質礫層黒色火山灰) (砂礫質黒色火山灰) (砂礫土質黒色火山灰)
非黒色火山灰土壌	非黒色火山灰土壌	(粘土質非黒色火山灰) (壤土質非黒色火山灰) 砂土質非黒色火山灰 (粘土質礫層非黒色火山灰) (砂土質礫層非黒色火山灰) (砂礫質非黒色火山灰) (砂礫土質非黒色火山灰)

群, 12土壌類型亜群, 78土壌類型種を設定した。

5. 水田土壌類型別理化学的性質

北海道の水田土壌の理化学的特徴を府県のそれ

と対比しつつ, とりまとめてみると, おおむね次のようなことがいえる。

本道の水田土壌は, その歴史も新らしく, 府県のように老朽化, 塩基溶脱, 地力減耗等により, 天地返し, その他の土地改良による土層の攪乱の例が少なく, おおよそ自然の堆積状態のままであるため, 非黒色火山灰土壌, 泥炭土壌等の一部を除き大部分が上層, 下層とも同一土性分布を示している。

1) 土壌粒徑組成および容積重

土性はそのほとんどが重粘土質～粘土質を呈し, 泥炭土壌, 黒泥土壌, 強グライ土壌は重粘土質で, 粘土含量は多いが, グライ土壌, 灰褐色土壌, 黄褐色土壌と還元型から酸化型に移行するにつれ, 粘土含量が少なくなる傾向が見られた。また黒色火山灰土壌では粘土質を, 非黒色火山灰土壌では壤土質から砂土質を呈していた。

容積重では, 泥炭土壌, 黒泥土壌, 非黒色火山灰土壌が低く, 強グライ土壌, 灰褐色土壌, 黄褐色土壌の重粘性土壌では高かった。

2) 土壌反応 (pH)

泥炭土壌, 黒泥土壌, 一部の重粘性土壌の低いものを除き, 土壌類型に無関係で, 大部分は pH 5.0～6.0 に分布し, 5.5前後のものが多く全国平均よりやや低かった。

3) 塩基置換容量および塩基飽和度

塩基置換容量は非黒色火山灰土壌で小さいほかは, 土壌類型に無関係であり, その大部分は 20 me を示し, 全道平均 23.7 me で全国平均よりやや大きかった。

塩基飽和度は土壌類型に無関係で, 約40%を示し, 全国平均より低く, 塩基に未飽和な土壌であることがいえ, pH の低いことも一致する。

4) 窒素および磷酸吸収係数

窒素吸収係数では, 非黒色火山灰土壌がとくに小さいほかは土壌類型に無関係で, 大部分は 400 をこえて大きく, 全道平均値 470 で全国平均よりも大きかった。粘土質～砂質で腐植の少ない土壌では小さかった。

磷酸吸収係数では, 黒色火山灰土壌および灰褐色土壌 (洪積土系) で大きいほかは土壌類型に余り

関係なく、一般に重粘性で腐植の多いものが大きかった。大部分 1,000 以上で大きく、その全道平均は 1,438 で全国平均よりきわめて大きかった。これは本道の水田土壌の粘土含量、腐植含量が多いからである。

5) 全炭素、全窒素および炭素率

全炭素では、泥炭土壌、黒泥土壌、黒色火山灰土壌が著しく多く、非黒色火山灰土壌がとくに少なかったほか、土壌類型に余り関係なく 2.5~5% で、重粘土質では多く、砂質では少なかった。全道平均値は 4.65% で全国平均に比べ多く、本道の水田は有機物に多いことを示している。

全窒素では、泥炭土壌、黒泥土壌、黒色火山灰土壌がかなり多く、その他の土壌では土壌類型に余り関係なく 0.2~0.5% を示した。重粘土質ではやや多く、砂質ではやや少なかった。全道平均は 0.38% で全国平均より約 0.1% も多く、潜在地力の高いことを示唆している。

炭素率では、一般に土壌類型による判然とした傾向はみらず、全道平均 12.2 で全国平均に比べて大きかった。

6) アンモニア態窒素の生成

$\text{NH}_3\text{-N}$ の生成はおおよそ 2.0~5.0 mg/乾土 100 g で府県に比べてやや多かった。さらに還元型の泥炭土壌、強グライ土壌、グライ土壌に多く、酸化型の土壌になると少なくなる傾向が見られた。このことは、有機物含量と粘土含量が還元型土壌に比較的多く、酸化型土壌に比較的少ないということに由来するものと推定される。

7) 乾土効果

黄褐色土壌、黒色火山灰土壌で低かったほか、土壌類型に無関係で、そのほとんどは 15 mg 以下で全道平均は 8.2 mg で全国平均よりかなり低かった。

8) 温度上昇効果

土壌類型には無関係で全道平均 5.0 mg/乾土 100 g を示し、全国平均より低かった。

6. 水田土壌類型に対応する水稲の反応特に生育収量

1) 窒素と収量との関係

水稲は窒素反応が最も大きく、収量は窒素に大きく支配されるので、窒素と収量の関係を重視した。土壌類型の中から、酸化、還元型を代表するものとして ①泥炭土壌亜群、②強グライ土壌亜群、③灰褐色土壌亜群（沖積土系）、④灰褐色土壌亜群（洪積土系）、⑤黄褐色土壌亜群を選び、これらの土壌類型よりそれぞれ昭和 33~35 年にわたる 3~4 か所の施肥試験を、さらに統計的に検討して各土壌類型より 2 か所ずつを抽出して、統計的手法をもって検討した。

(1) 土壌類型の収量性（玄米重）について

各土壌類型の収量性（玄米重）を検討した結果は次のとおりである。

傾向としては

$$\textcircled{2} > \textcircled{1} > \textcircled{5} \geq \textcircled{3} > \textcircled{4}$$

となったが、実際には、④灰褐色土壌（洪積土系）のみがほかの土壌類型より有意に低収のほかは有意性が認められなかったので

$$\textcircled{2}, \textcircled{1}, \textcircled{5}, \textcircled{3} > \textcircled{4} \quad \text{となる。}$$

したがって④の低収のみしか指摘できない。

(2) 各土壌類型の窒素施与による増収性

各土壌類型の窒素施与による増収性は、土壌類型間では差異は認められず、その傾向は 2 つのグループにおいて有意な差異を示した。すなわち

A 群：②強グライ土壌、③灰褐色土壌（沖積土系）

B 群：①泥炭土壌、④灰褐色土壌（洪積土系）

⑤黄褐色土壌

窒素施与による増収性は、A 群では高く、B 群では低い。

回帰式（玄米重）は次のように表わされる。

$$\text{A 群：} Y = 34.2 + 22.4N \quad Y : \text{収量}$$

$$\text{B 群：} Y = 35.3 + 16.9N \quad N : \text{窒素量}$$

(3) 収量（玄米重）に対する三要素の効果

三要素試験の結果を総合すると、一般に
無磷酸 \geq 無加里 $>$ 無窒素

で、その肥効は窒素、加里、磷酸の順となるが、磷酸の肥効はほとんど認められなかった。とくに泥炭土壌では無窒素の収量が高く、窒素的地力の高いことが示唆された。さらに加里では、泥炭土壌にのみ有意に肥効が認められた。施肥試験は全

部が農家の水田で地均しをせずに実施したので、燐酸、加里については肥沃であったと考えられる。

(4) 堆肥の効果

堆肥の効果が有意に認められたものは、泥炭土壌、灰褐色土壌（沖積土系）、黄褐色土壌の3土壌類型であり、その増収割合は4～9%と高くはなかった。

泥炭土壌に対する堆肥の効果は、可給態窒素の富化よりもむしろ、 P_2O_5 、 K_2O 、 SiO_2 等の供給による効果と考えられる点が多い。また灰褐色土壌（沖積土系）、黄褐色土壌では、窒素供給の持続性、肥料保持の増大等の相乗効果によるものであろう。

(5) 各土壌類型の生育、収量反応

妹背牛町における土壌類型別試験と、前記土壌類型の生産性特徴とを合わせてみるとつぎのようなことがいえる。

すなわち、泥炭土壌は分けつおう盛で、比較的収量は高いが、窒素施与による増収性は低い。強グライ土壌は分けつがおう盛で、比較的収量高く、窒素施与による増収性は高い。灰褐色土壌（沖積土系）は分けつが比較的少なく、したがって収量もそれほど高くないが、窒素施与による増収性は高い。黄褐色土壌は分けつが比較的少なく、したがって収量も余り高くなく、窒素施与による増収性は低い。また灰褐色土壌（洪積土系）は分けつ少なく、収量低く、窒素施与による増収性は低い。

このことは窒素量 0～10 kg/10 a、普通栽培条件下における土壌類型の特徴である。したがって当該土壌類型に属する水田で多収を目ざすときはそれらの長所を生かし、欠点の改善に努めることが重要なこととなる。

7. 水田土壌類型の理化学性と その生産性

前記5土壌類型より任意に3か所ずつ選び計15か所について、1、2層について11項目、すなわち粘土含量、燐酸吸収係数、窒素吸収係数、全炭素、全窒素、炭素率、塩基置換容量、塩基飽和

度、風乾土および湿潤土の30°C incubate NH_3-N 乾土効果の分析値より各土壌類型間の特徴および分析項目間の相関を求めた。

1) 水田土壌の理化学性に基づく土壌類型の特徴とそれらの相互関係

土壌類型間の理化学性については次のような傾向が認められた。

分析項目	土壌類型の傾向
粘土含量	③②①④>⑥
燐酸吸収係数	④>⑤③①②
全炭素	①>⑤④②③
全窒素	①>⑤③④②

すなわち、粘土含量は黄褐色土壌が有意に少ないこと、燐酸吸収係数では灰褐色土壌（洪積土系）が有意に大きいこと、全窒素、全炭素では泥炭土壌が有意に多いことが認められた。また上記4項目では黄褐色土壌がともに低いことも明瞭である。

さらに土壌類型間の差を顕著に表現できる有意な項目、すなわち粘土含量、燐酸吸収係数、全炭素、全窒素のうち粘土含量、全炭素、全窒素に塩基置換容量の項目を加え、いわゆる地力を顕著に表現しうる4項目の間にきわめて密接な関係が成り立つ。

i) 全炭素含量と全窒素含量の間にきわめて高い正の相関がある。

ii) 北海道の水田土壌の塩基置換容量は、粘土よりもむしろ腐植に依存しているので、塩基置換容量は全炭素含量に対しきわめて高い正の相関を、粘土含量とは負の相関を示す。

iii) 粘土含量と全炭素含量とは負の相関にある。

2) 水田土壌類型の主要理化学性と 水稻収量の関係

前述のA群、B群の回帰式より、A群は無窒素状態ではB群より収量は比較的低く、窒素施用の段階ではB群より多収であり、窒素施与による増収性も高い。このことと、理化学性の相関を求め第49表（再掲）に示す関係が認められた。

さらに前述の塩基置換容量、粘土含量、全炭素の関係から塩基置換容量を指標とする養分保持、

区 別	項 目	Nによる増収性	粘土含量	塩基置換容量	全炭素	全窒素
A群 (土壌類型②③)		高	多	小	少	少
B群 (土壌類型①④⑤)		低	少	大	多	多

供給は、北海道の水田土壌では粘土よりもむしろ腐植に依存していることが指摘できるが、窒素施与による Response について、つぎのことを推論した。

i) 養分保持の指標としての塩基置換容量は、おおよそ 20~40 me の範囲内である (北海道では、この範囲であれば、全道の分析値からみて普遍化できる)。したがってこの範囲内においては、塩基置換容量の中の粘土の占める割合が大きいほど有利であるといえる。

ii) これらの関係は粘土含量と全炭素含量の比によって判断できる。

iii) すなわち粘土含量/全炭素含量 = 粘土値 (仮称) とすれば、粘土値は第49表より

$$A群 > 10 > B群$$

となり増収性に対する判断の分岐点は粘土値が10であり、窒素施与による増収性を高めるには、客土その他の方法によって粘土値を10以上とすれば良いことになる。また腐植を消耗させて粘土値を10以上にする場合は、追肥その他の施肥管理等によって増収性を高めることができる。また生産性に関する水田土壌調査においては、主に粘土含量、全炭素、全窒素、塩基置換容量、さらに火山灰に由来するものであるか否かを判断する指標として磷酸吸収係数を加え、これらの5項目を分析すれば、土壌類型と生産性との関係を明らかにすることもできる。

8. 土壌類型に対する土地改良

1) 排水

排水を要する土壌類型としては、泥炭土壌、黒泥土壌、グライ土壌、灰褐色土壌および黒色火山灰土壌の一部があげられる。排水によって通気、通水性が良好となり、地温も上昇し、酸化的となり、有機物の分解、土壌構造の発達等が促進され

その効果が発揮されるが、反面有効成分の溶脱が起きる。したがって客土や施肥改善などの補完的改良も加えねばならない。

2) 深耕の効果

深耕は一般に15%程度の効果が認められるが、筆者の試験では概してグライ土壌が最も効果があり、灰褐色土壌がこれに次ぎ、黒色火山灰土壌、泥炭土壌、黄褐色土壌間には余り差が認められない。その効果の要因としては、肥料吸収根域の拡大、溶脱した Fe, Mn の作土への返換富化、透水性を良好にして土壌を酸化的に、地温が上昇することなどが上げられる。

3) 下層土の改良

下層土の堅密な重粘性土壌等では心土破碎、心土耕により根系の伸張を促進し、収量を高めることができる。

4) 客土

泥炭土壌、砂質漏水型水田には粘土の客土を、重粘性土壌には砂質土壌の客土が効果的である。

9. 土壌類型と生産性

前述のとおり土壌類型と生産性については、色々な面でその関係が結びつけられ、密接不離の関係が認められた。それらの関係を一覧表にとりまとめてみると第71表のようになる。

なお黒泥土壌は泥炭土壌に準じ、また黒色火山灰、非黒色火山灰土壌は前述のとおり黄褐色土壌に準じて考えて良い。

さらに土壌類型の特性と生産性との関係について、今一步進めて水稻の多収に対する意義を土壌肥科学的立場から考察してみると、各土壌類型のそれぞれの特성에対応する最適な土壌管理と施肥管理を行なえば、どの土壌類型でも多収が得られることは多収穫事例から考えられる。

したがって土壌肥科学的問題としては、各土壌類型に対応する最適な土壌管理および施肥管理方法を確立することである。

本命題はきわめて難かしい問題ではあるが、本論文の知見から次のようなことを推論した。

1) 泥炭土壌：客土、排水を適正に実施し、泥炭の分解を促進し、根の活性を高め、窒素施与に

第 71 表 土壤類型と生産性に関する一覧表

項目	土壤類型	①泥炭土壤	②強グライ土壤	③灰褐色土壤 (沖積土系)	④灰褐色土壤 (洪積土系)	⑤黄褐色土壤
収 量		傾向 $\begin{matrix} ②, ①, ⑤, ③ > ① \\ ② > ① > ⑤ \geq ③ > ④ \end{matrix}$				
窒素施与による増収性		A 群: ②, ③ B 群: ①, ④, ⑤		A 群 > B 群 A 群 回帰式 $Y = 34.2 + 22.4N$ B 群 $Y = 35.3 + 16.9N$		
加里の肥効		とくに高い	普通	普通	普通	普通
堆肥の効果		有	無	有	無	有
分けつ、穂数		多	多	少	少	少
粘土含量		少	多 ③, ②, ①, ④ > ⑤	多	少	少
全炭素		多	少 ① > ⑤, ④, ②, ③	少	多	多
全窒素		多	少 ① > ⑤, ①, ②, ③	少	多	多
磷酸吸収係数		中	中 ④ > ⑤, ③, ①, ②	中	大	中
塩基置換容量		大	小	小	小	大
土壤還元		卅	卅	±	±	-
物理性		中	中	中	不良	良
養分保持力		不良	良	良	不良	不良
排水		要	要	一部要	要	不要
深耕の効果		小	大	大	大	小

対する Response を高める。

2) 強グライ土壤: とくに排水, 中干し等により酸化を促進し, 根の活性を高め, 養分吸収を促進する。

3) 灰褐色土壤: 追肥等の施肥管理を重点に, 物理性の不良のときは, 土壤改良により根の伸張を良好ならしめ, 養分吸収を高める。

4) 黄褐色土壤: 追肥等の施肥管理を充分にし窒素供給の持続を図る場合と, 客土によって窒素施与に対する Response を高める方法が考えられる。さきの施肥試験において, 窒素 1.0 kg/a になると増収傾向は拋物線的であることが示されたが, このことは基肥で増肥した場合, 肥料の流亡があり, 増収は直線的ではなく, 追肥が効果的であると推論される。

なお黒泥土壤は泥炭土壤に準じ, 黒色火山灰土

壤, 非黒色火山灰土壤は, 黄褐色土壤に準ずるがとくに黒色火山灰土壤では磷酸吸収が大きいので磷酸多肥が適切である。

しかしながら, これらのことについて, さらに具体的な内容づけが必要であり, 今後の詳細な研究にまたねばならない。

10. 施肥

土壤タイプの施肥反応は, 調査研究結果と施肥実態調査結果とがほぼ一致する。しかして具体的な施肥基準については, そこに生育する水稻の環境条件に応じ, 少なくとも北海道では目標収量を, ① 420~480 kg/10 a (安定地帯), ② 360~420 kg/10 a (準安定地帯), ③ 330~360 kg/10 a (不安定地帯) の 3 地帯に区分し, それぞれ 20~30% の許容範囲の中で, 窒素は 5~10 kg/10 a, 磷酸は 5.0~

8.0 kg/10 a, 加里は 5 kg/10 a である。

このうち窒素は、安定地帯から不安定地帯になるにつれて少なく、非黒色火山灰土壌では多目に泥炭土壌では少な目に、また粘土質ではやや多目に、砂質になるにつれて多目にすべきである。

磷酸では、磷酸吸収係数の大きい、例えば黒色火山灰土壌では多目にすべきである。

加里では、泥炭土壌で10~20%程度の増肥が効果的である。

また泥炭土壌に対しては、珪酸石灰 150 kg/10 a, 苦土 4~8 kg/10 a をそれぞれ施用することが有効である。

11. むすび

従来土壌調査によって設定された土壌類型は、土壌そのものの特性とかあるいは生産の可能性を論ずる段階にのみ止まったが、筆者は類型区分された土壌類型の理化学的特性およびそれらの施肥、土地改良試験等に対応させることによって、それぞれの土壌類型のもつ生産性を明らかにすることができた。

また水田土壌の形態的な類型区分のみでは、その生産性を明らかにすることは困難であるとの批判に対し、その理化学的特性を媒体にすることによって、はじめて合理的に土壌類型のもつ生産的特性を明らかにしうることを実証できたものと考えられる。

さらに多収を上げようとする場合に、各土壌類型の生産性を理解することによって、土壌類型それぞれの最適な土壌管理および施肥管理方法の基本的な考え方を明らかにした。

今後この分野の研究をさらに発展させ、具体的な方法を確立しなければならない。

引用文献

1) 馬場 豊, 1958: 水稻の胡麻葉枯病および秋落の発生機構に関する栄養生理的研究, 農技研報告, D7, 1.
 2) BRAY, R. H. and F. M. WILLHITE, 1929: Determination of total replaceable bases in soils. Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. 1, 144~145.
 3) CLARK, G. R., 1957: The study of the soil in the field. 4th ed., 55~56, 59. Oxford Univ. Press,

London.

4) 北海道産米百万石祝賀会発刊, 1921: 北海道の米.
 5) 北海道開発局, 1961: 土地資源開発計画調査資料「有機質土壌」, 15. (J. F. デヴィンス博士, R. E. ルーカス博士: 有機質土壌, ミシガン州立大学・農試, 土壌学部, 特別号425, 1959年の翻訳版).
 6) _____, _____: _____
 _____22~28.
 7) 北海道気象協会編, 1964: 北海道の気候
 8) 北海道農業試験場, 1961: 石狩国北部土性調査報告, 第1編, 上川支庁管内中央部地帯.
 9) 北海道土木部土地改良課・北海道農業試験場: 土地改良に関する試験および調査成績, (刊行年次不明).
 10) 北海道農務部・北海道施肥合理化対策推進協議会, 1961: 北海道地帯別施肥標準.
 11) 北海道施肥合理化対策推進協議会, 1966: 北海道地帯別施肥標準 (改定案).
 12) 北海道農林統計協会刊: 北海道農林水産統計, 農林1965版.
 13) 北海道立農業試験場, 1953: 施肥改善事業の調査研究成績, D, 施肥標準試験の部.
 14) _____, 1954: _____
 15) _____, 1955: _____
 16) _____, 1956: _____
 17) _____, 1957: _____
 18) _____, 1958: _____
 19) _____, 1959: _____
 20) _____, 1960: _____
 21) _____, 1961: _____
 22) _____, 1962: _____
 23) _____, 1953~62: _____

C. 旋肥実態調査の部

24) _____, 1957: 施肥改善事業報告, 第1編
 25) _____, 1960: _____, 第2編
 26) _____, 1962: _____, 第3編
 27) _____, 1963: _____, 第4編
 28) _____, 1964: _____, 第5編
 29) _____, 1966: 北海道における農作物の収量と気象要因の関係について (中間報告).
 30) 北海道立農業試験場上川支場, 1963: 土壌肥料に関する試験成績.
 31) _____, 1964: _____
 32) 北海道立北見農業試験場, 1965: 水稻試験成績書.
 33) HOŪ, K. C. and Y. T. MA, 1935: On the morphological aspects of the pedozolic rice paddy soils in Nanchang region, Kiangsi, China. Special soil publication. No. 3. National Geological Survey of China, Peiking.
 34) 市村三郎・斎藤伝七, 1951: 泥炭地とその農業, 北農叢書 29, 北農会.
 35) 石塚喜明・田中 明, 1955: 泥炭地稲作に関する研究, No 1~2, 土肥誌, 26; 88, 311.
 36) _____, 1963: 水稻の栄養生理, 第1版, 養賢堂.
 37) _____, 1963: 米作北海道一の水田には決った型

- があるか、農業北海道(北海道新聞社), 1, 72~74.
- 38) 鴨下 寛, 1940: 青森県津軽平野の土壤型について, 農事試彙報, 3, 401~402.
- 39) ———, 1943: 岐阜県美野平野の土壤型について, 土肥誌, 17, 443~450.
- 40) KANNO, I., 1956: A scheme for soil classification of paddy fields in Japan with special reference to mineral paddy soils. Bull. Kyushu Agr. Ex. Sta., 4, 261~273
- 41) 菅野一郎, 1957: 無機質水田土壤の基本断面形態, 土肥誌, 27, 293~396.
- 42) 黒沢順平ほか6名, 1965: 水稲の赤枯れ(開田病)に関する研究, 岩手農試研究報告, 第9号.
- 43) 松井健ほか4名, 1961: 沖積平野の水田土壤の分類に関する試案(静岡県周辺の例).
- 44) 三井進午・橋元秀教・寺沢四郎, 1948: 老朽化水田における水稲根の生理的障害発生機作に関する研究, 土肥誌, 19, 59.
- 45) ———・麻生末雄, 熊沢喜久雄, 1951: 作物の養分吸収に関する動的研究, 第1報, 水稲根の養分吸収に対する硫化水素の影響について, 土肥誌, 22, 46.
- 46) 盛時雄, 1964: 上川旭正地区における水稲生育不良現象の実態と対策, 道農試集, 14, 90.
- 47) MÜCKENHAUSEN, E., 1957: Proposal for a unified designation of soil horizons. Submitted to Congress of the "Association for a Soil Classification and Soil Cartography" from Sept., 23~27.
- 48) 日本農業研究所, 1960: 水田土壤型別地力構成要素の解析に関する研究, 農研資料, 38.
- 49) 農林省農業改良局, 1953: 土壤分析法, 施肥改善資料, 4.
- 50) 農林省農業改良局研究部, 1956: 土壤断面調査法, 農業改良技術資料, 63.
- 51) 農林省農林水産技術会議事務局, 1960: 標準土色帖, 日本色彩社.
- 52) 農林省農林水産技術会議事務局, 1966: 土壤肥料分野における技術集録.
- 53) 農林省農政局農産課, 1965: 深耕対策試験成績, 地力保全対策資料, 13.
- 54) 農林省振興局研究部, 1957-a: 施肥改善事業成績, 土壤調査並に試験成績, 1~8.
- 55) ———, 1957-b: 施肥改善事業成績, 施肥改善資料, 13.
- 56) 農林省振興局研究部監修, 1958-a: 標準土色帖, 日本色彩社.
- 57) ———, 1958-b: 土壤肥料全編, 養賢堂.
- 58) 岡島秀夫・高城成一, 1953-a: 水稲体における硫化水素の行動, 第1報, 硫化水素による養分吸収阻害について, 東北大農研彙報, 5, 149.
- 59) ———, 1953-b: ———, 第2報 硫化水素の体内成分におよぼす影響, ———, 5, 166.
- 60) ———, 1953-c: ———, 第3報 水稲体内における Sulphide の検出について, ———, 5, 177.
- 61) ———, 1954: ———, 第4報 P₃₂の吸収移動に対する硫化水素の影響, ———, 6, 73.
- 62) ———, 1955: ———, 第5報 硫化水素による水稲根の呼吸阻害について, 土肥誌, 26, 323.
- 63) ———, 1956: ———, 第8報 硫化水素処理による水稲根含有燐の変化とその放出について, ———, 8, 185.
- 64) ———・高橋成人・本田 強, 1958: ———第9報, 硫化水素処理による生育相の攪乱について, ———, 9, 193.
- 65) 大杉 繁・川口桂三郎, 1938: 水田における硫酸アンモニア施肥による障害について, 第1~2報, 土肥誌, 12, 453. (1938): 13, 1 (1939).
- 66) 小山正忠, 1962: 特徴土層に基づく水田土壤分類, 農技研報, B (12), 303~372.
- 67) 佐々木清一, 1960: 北海道土壤地理論, 193~194.
- 68) SCHOLLENBERGER, C. J. and R. H. SIMON, 1945: Determination of exchange capacity and exchangeable bases in soil. Ammonium acetate method. Soil Sci., 59, 13~24.
- 69) 瀬尾春雄, 1959: 北海道農試で行なっている土性調査法について, ベドロジスト, 3, 1, 27~31.
- 70) 志賀一, 1962: 湛水土壤中における硫化水素の行動に関する研究.
- 71) 塩入松三郎ほか3名, 1941: 水田土壤乾燥の効果について, 土肥誌, 15, 331~333.
- 72) ———, 1943: 水田の土壤化学, 大日本農会.
- 73) ———・原田登五郎, 1943: 湛水状態の土壤中における窒素の形態変化, 土肥誌, 17, 375.
- 74) ———・横井 肇, 1950: 硫化鉄の溶脱機構, 土肥誌, 20, 157.
- 75) Soil Survey staff, 1963: Soil classification, a Comprehensive system. 7th. Approximation, Soil conservation service. U.S.D. A., Washington D. C.
- 76) 外崎正次, 1960: 大正中期以降における北海道稲作の発展, 北海道農業研究, 17, 130~159, 北海道立農業研究所.
- 77) 鈴木新一, 1954: 中国地方における水稲の秋落, 農及園, 29, 189.
- 78) ———・前田正男, 1956: 秋落水田土壤の理化学的特性に関する研究, No. 1~2, 中国農試報告, 3, 35, 69.
- 79) 鈴木ほか3名: 水稲の青枯れに関する研究, 第1~4報 土肥講要, 5, 55 (1959): 6, 27 (1960).
- 80) 滝嶋康夫・今野喜一・塩島光州, 1959: 泥炭地水田土壤に関する研究, 第16報 泥炭地水稲の養分吸収経過特に初期生育の不良性について, 土肥誌, 30, 439.
- 81) 滝嶋康夫, 1963: 水田特に泥炭質湿田土壤中における生育阻害性物質の行動に関する研究, 農技研報告, B 13.
- 82) THORP, J., 1939: Geography of the soils of China. National Geological Survey of China, Peiking.
- 83) 内山修男, 1949: 水田土壤形態論, 1~85, 地球出版社
- 84) 上田秋光, 1959: トラクターによる水田の深耕, 心土耕並びに混層耕, 農及園, 34, 11, 1713.

- 85) 浦上啓太郎・市村三郎, 1937: 北海道農事試験報, 60.
- 86) von POST, 1924: Das genetische der Organogenen Bildungen Schwedens Com. Intern. Pedol. IV. Comm 22: 287~304.
- 87) VYSOTZKY, G. N., 1905: Glej, Pochvovedenie (Pedology) 7, 291~327 (cited from Joffe, J. S., 1949: Pedology, 2nd ed., 419~420, New Brunswick New Jersey).
- 88) 渡辺 光, 1952: 日本の地形区, 地学雑誌, 61, 1~7.
- 89) 山田 登, 1959: 水稻の冠水抵抗に関する生理的研究 農技研報告, D 8, 1.
- 90) 山田 忍, 1951: 火山性地土性 調査法 と北海道における火山性土壌, 北海道農試報告, 44.
- 91) 山中金次郎, 1955: 水田土壌の生成機構に関する研究, 岐阜市農耕地土壌調査報告書, 108~118.
- 92) ———, 1958: 容積重(仮比重)の測定法, 土壌肥料全篇, 770~771, 養賢堂.
- 93) ———, 1959: 土壌の理学分析, 粒径組成, 地力保全基本調査における土壌分析法, 農林省振興局編, 1~9.
- 94) 山根一郎ほか, 1956: 硫化水素の発生に伴う根の障害が水稻におよぼす効果について, 東北大農研彙報, 10, 29.
- 95) 山崎欣多, 1960: 水田土壌の生成論的分類に関する研究, 富山農試報告, 特1, 1~99.
- 96) 柳沢宗男・高橋治助, 1964: 水田の生産力要因の解析に関する栄養生理学的研究, 農技研報告, B14, 別刷.
- 97) 吉野 実, 1961: 青枯れの栄養生理学的研究, 第2報 土肥講要, 8.
- 98) 吉沢孝之, 1963: 北陸地域における湿田の土壌タイプに関する研究, 北陸農試報告, 6 (別刷).
- 99) 吉田 稔, 1953: 土壌の吸着能に関する研究, (1) 塩基置換容量と塩基吸着強度について, 土肥誌, 23, 213~215.
- 100) ———, 1956: ———, (2) Ca と NH₄ イオンに対する土壌の吸着強度の比較, 土肥誌, 27, 241~244.
- 101) ———, 1957: ———, (3) 塩基吸着基の吸着特性による分類とその分別定量, 土肥誌, 28, 195~198.

STUDIES ON THE CHARACTERISTICS AND THE PRODUCTIVITIES OF THE PADDY SOILS IN HOKKAIDO.

by
Toshihiko NAKAYAMA

Summary

Author carried out a soil survey from 1953 to 1962 which covered about 56,000 ha. in 240,000 ha. of paddy fields in Hokkaido and classified practically the soils of those fields into several groups based on their profile characteristics and physical and chemical properties.

Furthermore, the author carried out 109 fertilization and soil improvement experiments on these soils and investigated the relationship between the soil groups classified practically and the results of the field experiments. As a result of the above mentioned investigation, the author found a relationship between characteristics of paddy soils and their productivity of soils in Hokkaido. A summary of the study is as follows.

1. Diagnostic Horizons

The author also recognized several diagnostic horizons on the soils surveyed in Hokkaido although they had a few different points in the definitions and the meanings from "Diagnostic Horizons" introduced by Oyama.

They are (1) Peat Horizon (2) Muck Horizon (3) Gley Horizon (4) Gray Brown Horizon (5) Yellowish Brown Horizon (6) Black Volcanic Ash Horizon and (7) Non-Black Volcanic Ash Horizon.

The morphological characteristics of these horizons are as follows:

(1) Peat Horizon; There are three kinds of peat soils. They are high moor peat composed of *Sphagnum*, *Vaccinium oxycoccus*, *Myrica gale*, etc., transitional moor peat composed of *Eriophorum*, *Carex middendorfi*, *Molinia coeculea*, etc. and low moor peat composed of *Phragmites communis*, *Cyperaceae*, etc. They are strongly affected by the underground water.

(2) Muck Horizon; It is decomposed to the point where the original plant fibers are not visible to the naked eye. The color of wet soil is black and the values are below 3. The total carbon content is generally higher than 10%. The underlayer of muck soils is usually peat soils or peaty soils.

(3) Gley Horizon; The color is bluish gray to bluish green and a strong reaction of free ferrous ion is recognized. The level of the underground water is high and, therefore, the horizon is reductive. This horizon is recognized both in alluvial and in deluvial soils.

(4) Gray Brown Horizon; The color is gray to gray brown. The horizon is oxidative. When gley horizon is drained, it becomes gray brown horizon. It is different from "Gray Horizon" introduced by Oyama. This horizon is recognized both in alluvial and in deluvial soils. Especially, it is characteristic that the latter (in deluvial soils) has yellowish brown mottles derived from decomposed gravel.

(5) Yellowish Brown Horizon; The color is yellowish brown. This horizon is inorganic and oxidative. The drainage is very good. It is located on alluvial soils near a river, and different

from "Yellowish Brown Horizon" introduced by Oyama.

(6) Black Volcanic Ash Horizon; The color is black and the values are below 3. It has characteristics of volcanic ash soils, and relatively high contents of clay since it is derived from soils in which humic volcanic ash was re-accumulated.

(7) Non-Black Volcanic Ash Horizon; The color is bright white, gray, yellowish brown, or light reddish brown. It is an inorganic horizon having all of the physical and chemical characteristics of volcanic ash soils. Most of these soils are course-textured in Hokkaido.

2. Paddy soil groups in Hokkaido

Paddy soils in Hokkaido were classified practically in 7 order I, 12 order II, and 78 order III, according to the modified classification method used in "Sehi-Kaizen Jigyō", which was a research project to improve fertilization methods in paddy fields, conducted by the Department of Agriculture and Forestry and the classification method introduced by Oyama.

Practical Classification of Paddy Soils in Hokkaido

Order I	Order II	Order III	
Peat Soils	Peat Soils	Peat Heavy Clay-Peat Clay-Peat (Loam-Peat) (Sand-Peat)	
	Peaty Soils	Heavy Clay-Peaty Clay-Peaty (Loam-Peaty)	
	Peat Soils below 50 cm from surface	Heavy Clay-Peat below 50 cm from surface (Clay-Peat below 50 cm from surface) (Loam-Peat below 50 cm from surface)	
Muck Soils	Muck Soils	Heavy Clay-Muck (Clay-Muck) (Loam-Muck)	
	(Mucky Soils)	(Heavy Clay-Mucky) (Clay-Mucky) (Loam-Mucky)	
	(Muck Soils below 50 cm from surface.)	(Heavy Clay-Muck below 50 cm from surface.) (Clay-Muck below 50 cm from surface) (Loam-Muck below 50 cm from surface)	
Gley Soils	Strong Gley Soils	Heavy Clayey Strong Gley (Clayey Strong Gley) Loamy Strong Gley Sandy Strong Gley Sandy Gravelly Strong Gley	Alluvial and Deluvial
	Gley Soils	Heavy Clayey Gley Clayey Gley (Loamy Gley) (Sandy Gley) (Sandy Gravelly Gley)	Alluvial and Deluvial

Gray Brown Soils	Gray Brown Soils	Heavy Clayey Gray Brown Clayey Gray Brown Loamy Gray Brown Sandy Gray Brown (Clayey Gravel Layer Gray Brown) (Sandy Gravel Layer Gray Brown) Sandy Gravelly Gray Brown Sandy Gravel Gray Brown	Alluvial and Deluvial
Yellowish Brown Soils	Yellowish Brown Soils	Heavy Clayey Yellowish Brown Clayey Yellowish Brown Loamy Yellowish Brown Sandy Yellowish Brown (Clayey Gravel Layer Yellowish Brown) (Sandy Gravel Layer Yellowish Brown) (Sandy Gravelly Yellowish Brown) (Sandy Gravel Yellowish Brown)	
Black Volcanic Ash Soils	Black Volcanic Ash Soils	Clayey Black Volcanic Ash Soils (Loamy Black Volcanic Ash Soils) (Sandy Black Volcanic Ash Soils) (Clayey Gravel Layer Black Volcanic Ash Soils) (Sandy Gravel Layer Black Volcanic Ash Soils) (Sandy Gravelly Black Volcanic Ash Soils) (Sandy Gravel Black Volcanic Ash Soils)	
Non-Black Volcanic Ash Soils	Non-Black Volcanic Ash Soils	(Clayey Non-Black Volcanic Ash Soils) (Loamy Non-Black Volcanic Ash Soils) Sandy Non-Black Volcanic Ash Soils (Clayey Gravel Layer Non-Black Volcanic Ash Soils) (Sandy Gravel Layer Non-Black Volcanic Ash Soils) (Sandy Gravelly Non-Black Volcanic Ash Soils) (Sandy Gravel Non-Black Volcanic Ash Soils)	

Remarks: () indicates the soil group assumed to be found hereafter in the soil survey in Hokkaido although it has not been recognized so far.

Peat soils, muck soils, black volcanic ash soils and non-black volcanic ash soils on which other soils, including additional soils, were accumulated are called like clay-peat, loam-muck, and sandy non-black volcanic ash soils. And when the textures of muck and volcanic ash soils themselves are to be indicated, and when peat and volcanic ash soils with additional soils still indicate the textures of the original peat and volcanic ash soils by sufficient mixture, those soils are called like clayey muck and sandy non-black volcanic ash soils. The same nomenclature is also employed in gley, gray brown, and yellowish brown soils.

Texture classes thus made are as follows:

1. Sandy Gravel: Sandy gravel layer begins less than 30 cm from the surface.
2. Sandy Gravelly: Sandy gravel layer begins from 30 cm to 60 cm from the surface.
3. Sandy Gravel Layer: Gravel layer begins more than 60 cm from the surface and sandy

soils accumulate above the gravel layer.

4. Heavy Clayey : Include sandy clay, light clay, silty clay, and heavy clay-textured soils.
5. Clayey : Include sandy clay loam, clay loam, and silty clay loam textured soils.
6. Loamy : Include sandy loam, loam, and silty loam textured soils.
7. Sandy : Include sand, and loamy sand-textured soils.

3. Physical and chemical properties of the paddy soils

Physical and chemical properties of paddy soils in Hokkaido, compared with those in other parts of Japan, are as follows:

(1) Mechanical components and volume weight

Textures of most soils surveyed were heavy clayey to clayey; those of peat soils, muck soils and gley soils were heavy clayey and contained large amounts of clay. However, the clay content tended to decrease as the soils were oxidized. For example, clay contents were gley > gray brown > yellowish brown soils.

On the other hand, textures of black volcanic ash soils were clayey, and those of non-black volcanic ash soils were loamy to sandy.

Volume weights of the soils were small in the case of peat, muck, and non-black volcanic ash soils and large in the case of strong gley, gray brown, heavy clayey soils of yellowish brown soils.

(2) Soil reaction (pH)

Although pH of peat, muck, and a part of heavy clayey soils were low, other soils had no relationships between soil pH and soil groups. The pH of most soils surveyed were ranged from 5.0 to 6.0, mostly around 5.5 which was lower than the average pH of Japanese paddy soils.

(3) Cation exchange capacities and Percentage base saturation

No relationship between soil C E C and soil groups was recognized, although only the C E C of non-black volcanic ash soils were low. Those of most soils surveyed were around 20 me. The average C E C of Hokkaido paddy soils was 23.7 me which was higher than that of the country as a whole.

Percentage base saturations were not related to soil groups and were around 40%. This percentage was lower than the average percentage of Japanese paddy soils. This low percentage of base saturation of Hokkaido paddy soils coincided with the low pH.

(4) Nitrogen and phosphorus fixing powers

Nitrogen fixing powers of the soils surveyed were not related to the soil groups, except non-black volcanic ash soils of which nitrogen fixing powers were particularly small. Those of most soils surveyed were larger than 400 and the average of Hokkaido paddy soils was 470 which was larger than that of the country as a whole. It was indicated that the nitrogen fixing powers of clayey to sandy soils which had a small amount of humus were relatively small.

Phosphorus fixing powers were also not related to soil groups, except black volcanic ash and gray brown soils (deluvial) of which phosphorus fixing powers were rather large. Generally, heavy clay soils, contained a high amount of humus, had large phosphorus fixing powers.

The phosphorus fixing powers of most soils surveyed were greater than 1,000 and the average

for Hokkaido paddy soils was 1438 which was noticeably greater than the average for the country as a whole. This was assumed to be caused by the large amount of clay and humus contents of Hokkaido paddy soils.

(5) Total carbon, Total nitrogen, and C/N ratios

The total carbon content was not related to the soil groups, except peat, muck, black volcanic ash soils in which total carbon was remarkably high and non-black volcanic ash soils in which total carbon was very low. The total carbon content of the soils surveyed was mostly 2.5 to 5.0% and was high in clayey soils and low in sandy soils. The average of Hokkaido paddy soils was 4.65% which was higher than that of the country as a whole. It indicated that the paddy soils of Hokkaido contain a relatively large amount of humus.

The total nitrogen content was comparatively high in peat, muck, and black volcanic ash soils. However, it was not related to other kinds of soil groups and was mostly 0.2 to 0.5%. It was relatively high in clayey and relatively low in sandy soils. The average of Hokkaido paddy soils was 0.38% which was about 0.1% higher than that of the country as a whole. This suggested that the paddy soils of Hokkaido have high potential productivities. No distinct relationships were recognized between C/N ratios and soil groups. The average of Hokkaido paddy soils, 12.2 was comparatively higher than that of the country as a whole.

(6) Formation of ammoniacal nitrogen

Ammoniacal nitrogen formation of Hokkaido paddy soils, about 2.0 to 5.0 mg/100 g dry soil, was comparatively greater than in other parts of Japan. It was recognized that peat, strong gley, and gley soils, which were reductive type of soils, formed a large amount of ammoniacal nitrogen and that these amounts were decreased as the soils were oxidized. This was assumed to be caused by relatively large contents of organic matter and clay in reduced soils.

4. Growth characteristics of rice plant in each paddy soil group

(1) Effect of nitrogen fertilization on the yield of rice plant

Effect of nitrogen fertilization was investigated because growth and yield of rice plants were affected most severely by nitrogen fertilization.

Field experiments on the effect of nitrogen fertilization in (1) Peat Soils, (2) Strong Gley Soils, (3) Gray Brown Soils (alluvial), (4) Gray Brown Soils (deluvial), and (5) Yellowish Brown Soils, which were selected as representations of oxidative and reductive soils, were carried out from 1958 to 1960. And results were discussed statistically.

(1) Rice productivity (weight of hulled rice) of each soil group tended to be (2)>(1)>(5)≥(3)>(4).

However, no significant differences were recognized among (2), (1), (5), and (3) statistically. Therefore, the order shown above was (2), (1), (5), (3)>(4). As a result, only the low rice productivity of (4) was indicated.

(2) Inceasability of rice yield of each soil group by nitrogen fertilization

Although a difference of increasabilities of rice yields by nitrogen fertilization was not recognized among soil groups used in the field experiments, it was recognized among A and B groups, in which A group represented (2) and (3) and B group represented (1), (4), and (5). The increasabilities

of A group were greater than those of B group. The regression curves of the weights of hulled rice were as follows.

$$\text{A group : } Y = 34.2 + 22.4 N$$

$$\text{B group : } Y = 35.3 + 16.9 N$$

(3) Effects of three elements on the yield of hulled rice

Yields of hulled rice in $-N$, $-P$, and $-K$ plots were generally $-P \geq -K \gg -N$, though those in Peat soils, in which the yield of $-N$ plot was relatively high, were $-P > -K > -N$.

(4) Effect of compost

Soil groups in which the effect of compost was recognized were peat soils, gray brown soils (alluvial) and yellowish brown soils. And the rates of yield increases were 4 to 9%.

(5) Characteristics of growth and yield of paddy rice in each soil group

The characteristics of growth and yield of rice plants in each soil group were considered to be as follows.

Peat Soils: Vigorous tillering, relatively high yield, and a small effect of nitrogen supply.

Strong Gley Soils; Vigorous tillering, relatively high yield, and a large effect of nitrogen supply.

Gray Brown Soils (alluvial); Relatively limited tillering, rather low yield, and a large effect of nitrogen supply.

Yellowish Brown Soils; Relatively limited tillering, rather low yield, and a small effect of nitrogen supply.

Gray Brown Soils (deluvial); Limited tillering, low yield, and a small effect of nitrogen supply.

As a result, it is important to facilitate the merit of each soil and to improve the fault, in order to get high yields in these soils.

5. Physical and chemical properties and the productivity of each paddy soil group

Physical and chemical properties of 5 soil groups, described above, were determined, and the correlations between each two of these properties were calculated.

And the correlation between these properties and soil groups was calculated. In this investigation, soils from three places in each soil group, total 15 soils, were employed. The determined properties were clay content, phosphorus fixing power, nitrogen fixing power, total nitrogen, total carbon, carbon-nitrogen ratios C/E/C, percentage base saturation, ammoniacal nitrogen incubated at 30°C of dried soil and wetted soil, and effect of drying soil.

(1) Characteristics of each soil group, in relation to physical and chemical properties, and these correlations

Following tendencies on the physical and chemical properties of soil groups were recognized.

Articles of analyses	Tendencies
Clay content	(3), (2), (1), (4) > (5)
Phosphorus fixing power	(4) > (5), (3), (1), (2)
Total carbon	(1) > (5), (4), (2), (3)
Total nitrogen	(1) > (5), (3), (4), (2)

It was indicated that clay contents of yellowish brown soils were smaller significantly than those of other soil groups, that phosphorus fixing powers of gray brown soils (deluvial) were

greater significantly and that total nitrogen and total carbon of peat soils were greater significantly. Yellowish brown soils obviously showed small values in all of four properties shown in the above table.

Furthermore, it was found that there were very close relationships among clay content, total carbon, total nitrogen, and C E C.

(a) A highly significant positive correlation between total carbon and total nitrogen was recognized.

(b) Since C E C of Hokkaido paddy soils depended on humus rather than clay, the C E C indicated a highly significant positive correlation with total carbon and a negative correlation with clay content.

(c) A correlation between clay content and total carbon was negative.

(2) Relationship between the main physical and chemical properties of paddy soil groups and the yields of paddy rice

Increasabilities of yields due to nitrogen supply and physical and chemical properties of A and B groups were summarized in the following table.

Group	Increasabilities of yields due to nitrogen supply	Clay content	C E C	Total carbon	Total nitrogen
A group (2, 3)	large	large	small	small	small
B group (1, 4, 5)	small	small	large	large	large

Although it might be pointed out based on the relationships among C E C, clay content, and total carbon, that the nutrient-holding capacities and the supplying powers of the paddy soils in Hokkaido depended on the humus contents rather than the clay contents, the following assumptions on the increasabilities of the rice yields due to nitrogen supply were obtained.

(a) C E C, as an indicator of the nutrient holding capacities of soils, was mostly between 20 and 40 m e/100 g. dry soil. Therefore, it might be assumed that the increasabilities of the rice yields due to nitrogen supply would become large as the C E C, furnished by clay, increased.

(b) This relationship could be interpreted by the ratio of the clay content to the total carbon.

(c) If clay content/total carbon=clay value (tentative name) was calculated, the clay value was,

$$A \text{ group} > 10 > B \text{ group}$$

and it was assumed that a turning point of the increasability of paddy rice yield due to nitrogen supply was the clay value 10. Therefore it was assumed that the clay value should be raised up to greater than 10 in order to enhance the increasability of rice yield due to nitrogen supply. There are two kinds of methods to raise up the clay value; the first is addition of soil or other soil improvement method to increase the clay content of the soil, the second is a method to decrease the humus content by the consumption of the humus. Therefore, practically, the former is a method to enhance the increasability of rice yield due to nitrogen supply by soil management, on the other hand, the latter is a method to enhance the increasability by fertilization method, for example, by introduction of additional fertilization, use of slowly effective fertilizer, etc.

Furthermore, it was indicated that relationship between soil groups and the productivities, in

soil survey of paddy fields, could be clarified if clay content, phosphorus fixing power (as an index to know whether the soils were derived from volcanic ash or not), total carbon, total nitrogen, and C E C were analyzed.

6. Soil groups and soil improvement

(1) Drainage

Soil groups to be drained were peat, muck, gley soils and a part of gray brown and black volcanic ash soils. In consequence of drainage works, properties of soils on aeration, water percolation, soil temperature, and soil structure would be improved, the soil would become oxidative, and the decomposition of organic matter would be promoted. However, leaching of nutrients would be also increased at the same time. Therefore, the addition of soils and improvement of fertilization method should be undertaken simultaneously with the drainage works.

(2) Effect of deep tillage

Generally, about 15% of yield increase of paddy rice was recognized. Deep tillage was the most effective in gley soils, and was the secondly effective in gray brown soils. However there were no obvious differences among the effects of deep tillage in black volcanic ash, peat, and yellowish brown soils.

The effects of deep tillage were caused by enhancement of root development, turning back of leached Fe and Mn to the surface soil, improvement of water percolation that made the soil be oxidative and the soil temperature raise.

(3) Improvement of under layer

Pan breaking and under layer tillage increased the rice yields, in heavy clay soils that had hard under layers, by enhancement of root development.

(4) Addition of soil

Addition of clayey soils to peat, and sandy easily leaching soils and that of sandy soils to heavy clay soils were effective.

7. Soil groups and the Productivities

Close relationships between soil groups and the productivities were recognized in this study, as described already. Those relationships were indicated in the following table.

In this table, peat soils apply correspondingly to muck soils. And yellowish brown soils apply to black volcanic ash and non-black volcanic ash soils.

It is obvious from actual instances that a high rice yield can be obtained by optimum soil management method and use of an optimum fertilization method suitable for characteristics of each soil group. Therefore soil scientific methods to obtain a high rice yield aim to establish an optimum soil management method and an optimum fertilization method suitable for each soil group.

Methods to get a high yield of paddy rice in each soil group were assumed from the results of this study as follows.

Peat Soils; Raise of increasabilities of rice yields due to nitrogen supply by addition of soil, optimum drainage, and promotion of peat decomposition.

Soil groups Article	Peat	Strong Gley	Gray Brown (alluvial)	Gray Brown (deluvial)	Yellowish Brown
Yields	Tendency (2), (1), (5), (3) > (4) (2) > (1) > (5) ≥ (3) > (4)				
Increasabilities of yields due to nitrogen supply	A group: (2), (3) B group: (1), (4), (5)	A group > B group Regression A; Y = 34.2 + 22.4 N Curve B; Y = 35.3 + 16.9 N			
Effect of potash	especially high	medium	medium	medium	medium
Effect of compost	recognized	non	recognized	non	recognized
Number of tillering and ear	many	many	not many	not many	not many
Clay contents	small	large	large (3), (2), (1), (4) > (5)	small	small
Total carbon	large	small	small (1) > (5), (4), (2), (3)	large	large
Total nitrogen	large	small	small (1) > (5), (4), (2), (3)	large	large
Phosphorus fixing power	medium	medium	medium (4) > (5), (3), (1), (2)	large	medium
C E C	large	small	small	small	large
Degree of soil reduction	‡‡	‡‡	±	±	-
Physical properties	medium	medium	medium	wrong	good
Nutrient holding powers	small	large	large	small	small
Drainage	necessary	necessary	partly necessary	necessary	un-necessary
Effect of deep tillage	small	large	large	large	small

Strong Gley Soils; Promotion of nutrient uptake and optimum root development especially by oxidation of soils by means of drainage and temporary drainage during a middle stage of rice growth.

Gray Brown Soils; Optimum root development and promotion of nutrient uptake by soil improvements when the physical properties of the soils were wrong. Generally, suitable fertilization methods such as additional fertilization should be introduced.

Yellowish Brown Soils; Maintenance of nitrogen supply by fertilization methods such as an additional fertilization, and raise of increasabilities of rice yields due to nitrogen supply by addition of soil.

In the above description, peat soils apply correspondingly to muck soil, and yellowish brown soils apply to black volcanic ash soils and non-black volcanic ash soils. However, in the case of black volcanic ash soils, a large amount of phosphorus should be supplied since the phosphorus

fixing power is large.

8. Epilogue

Although the establishment of soil groups in soil surveys hitherto, had been used only to discuss the characteristics of the soils surveyed and the possibilities of the soil productivity, the author was able to make the productivity of each soil group clear with the studies on the physical and chemical characteristics of the soil groups and on the fertilization and soil improvement experiments in each soil group.

Furthermore, the author believes that it was proved that the productive characteristics of soil groups could be demonstrated with the use of the physical and chemical characteristics, contrary to criticisms on the clarification of the soil productivity by only the use of morphological classification of soils. And suitable soil management and fertilization methods to obtain a high rice yield in each soil group were discussed.