

# 下水汚泥の農業利用に関する研究

## 第1報 下水汚泥の理化学的特性

平山 力・桜井 鎮男\*・小林 登\*\*

### Utilization of Sewage Sludge in the Field of Agriculture Part 1. On the Chemical and Physical Properties of Sewage Sludge

Chikara HIRAYAMA, Shizuo SAKURAI and Noboru KOBAYASHI

県内の主要な下水処理場から産出される下水汚泥の理化学性について調査した。その結果、下水汚泥中にはカリの含量は少なかったが、その他の肥料成分、有機物含量は豊富に含まれ、その含有量は、既応の調査結果と大差ないことが認められた。また、下水汚泥中には多くの重金属が含まれ、中でも亜鉛含量の高いことが目立った。

このようなことから、これら下水汚泥の農緑地利用をねらう場合の問題点として、連用にとまなう亜鉛等土壌蓄積が懸念された。

## I 緒 言

近年、県内においても都市化の進展により、公共下水道の普及が進められているが、それに伴って汚泥の発生量が急増し、これらの処分方法が大きな問題となっている。昭和61年度の聞き取り調査結果<sup>1)</sup>によると、県内における1日あたりの下水汚泥の発生量は94tに達し、これらの大部分は現在埋立てまたは焼却しているという。

汚泥は下水処理過程における沈澱残渣物であり、これらの中には有機物はもとより窒素、りん酸等多くの肥料成分が含まれている。このため、これら有効な成分を資源として活用し、肥料または土壌改良資材として農緑地等に利用しようとする試みがあり、現在資源リサイクルの面から関心が寄せられている。

本研究は、このような背景のもとに、とくに本県産下水汚泥を対象として、これらの農緑地利用の可能性を検討するための基礎資料を得ることをねらって、昭和58年より調査試験を行なったものである。本報では、県内産

下水汚泥の理化学性の調査結果から、得られた2, 3の知見についてその概要を報告する。

## II 調査方法

### 1 処理場の選定

第1表に示したとおり、県内の主要な処理場A~Jの10か所を選び、その内訳として添加凝集剤別に高分子系列A~E、消石灰、塩化第二鉄系列F~Jに2分した。また、実際の調査では、これら下水汚泥と比較検討するため、代表的なし尿処理場KとLの2か所を付け加えた。

### 2 供試汚泥

下水汚泥はそれぞれの処理場より発生する脱水ケーキを供試した。脱水ケーキは初沈汚泥と活性汚泥の全剰汚泥を混合して濃縮後、高分子(高分子化合物:プレストール、ハイモロック、ダイヤブロック等)あるいは消石灰、塩化第二鉄を凝集剤として添加し、凝集沈澱物を脱水して産出されるが、これら現物を各処理場から時期別に採取し、場内ガラス室で風乾処理し、粉碎した後、2mmの篩で篩別し分析試料とした。し尿汚泥も採取後の調

\* 現下館地区農業改良普及所

\*\* 現常陸太田地区農業改良普及所

整は下水汚泥の場合と同様とした。

### 3 分析方法

分析は下水汚泥分析法<sup>9)</sup>に準じて行なったが、汚泥中の肥料成分、重金属分析等の一部については、これまでの常法<sup>10)</sup>にしたがった。また、下水汚泥についてはそれぞれの試料について窒素の無機化率をみたが、この場合のインキュベーション試験の方法は次のようである。

まず本場畑土壌(0.5mm篩別)風乾土100g相当量をそれぞれ添加攪拌、同時に対照として硫酸窒素を10mg添加したもの、さらに無窒素(無添加)のものも作り、よく土壌と混和した後、最大容水量の60%になるように蒸

留水を加え、アルミ箔を覆って30℃恒温室に保存した。その後定期的に取り出し、10%KCl溶液で浸出し無機態窒素を蒸留法及びイオン電極法で測定した。また、りん酸の形態別分析は土壌養分分析法<sup>11)</sup>に準じて行なった。

## Ⅲ 調査結果

### 1 県内の主要処理場の概要と発生汚泥の性状

県内の主要処理場について昭和58年に前述の下水処理場10か所、し尿処理場2か所を送定し、聞き取り調査を行なった結果を示したのが第1表である。

これによると、下水処理汚泥については、汚水処理の

第1表 県内の主要下水処理場の概要と発生汚泥

(昭58調査)

項目 処理場	汚泥別	凝集剤別	脱水法	処理水量 (千t/日)	発生生汚泥		発生脱水ケーキ		性状	
					量(t/年)	含水率(%)	量(t/年)	含水率(%)	色	臭
A	下水汚泥	高分子	ベルトプレス	33.6	494	99.6	8.7	80.3	黒色	下水臭あり
B	"	"	遠心分離	12.6	33	98.9	1.2	80.7	"	"
C	"	"	ベルトプレス	2.5	6	99.2	0.1	75.2	"	"
D	"	"	"	6.1	22	98.1	0.4	74.4	"	"
E	"	"	遠心分離	1.9	16	99.6	0.3	82.0 78.5	"	"
F	"	消石灰、 塩化第二鉄	真空漏過	25.6	219	99.3	4.8	79.1	茶褐色	"
G	"	"	加圧脱水	30.2	166	98.8	2.5	60.3	"	"
H	"	"	"	4.1	13	98.0	0.8	65.0	"	"
I	"	"	真空漏過	1.8	5	98.0	0.3	76.3	"	"
J	"	"	加圧脱水	52.6	113	98.0	11.1	62.0 68.5	"	"
K	し尿汚泥	-	遠心分離	1.8	4	98.7	0.1	75.0	"	硫化水素臭に た独特の臭あり
L	"	-	"	5.0	17	98.3	0.3	72.0 73.5	"	"

注) A(県北), B(県南), C(県西), D(県北), E(鹿行), F(県北), G(県南), H(県南), I(鹿行), J(鹿行), K(県西), L(県北)

過程で汚水中の汚泥を沈澱させるために用いる凝集剤としては、高分子と消石灰、塩化第二鉄の2種類が使用されており、これらの脱水法としては、真空漏過、ベルトプレス、遠心分離、加圧脱水の5つの方式が用いられていた。また、本調査の比較検討のため選んだし尿処理場についてみると、2か所とも凝集剤の添加は行われてお

らず、脱水法はいずれも遠心分離であった。今回選定した処理場の中で、処理水量の最も大きいものは52.6千t/日、最も小さいもので1.8千t/日の規模であった。また調査か所全体の年間の汚泥発生量は、下水汚泥では1,087t、発生脱水ケーキで30.2tとなっており、このうち汚泥の水分含有率は98.0~99.6%とこれらのほと

下水汚泥の農業利用に関する研究

んどが水分で占められている。一方、脱水処理後の水分含有率は、高分子汚泥の平均値78.5%に対して石灰汚泥68.5%と石灰汚泥に比べて高分子汚泥でやや高目となっているが、概観すると60.3～82.0%の範囲となっており、ダンプによって系外に運搬するに十分な状態に脱水されている。し尿汚泥の水分状態もほぼ下水汚泥と大差なかった。性状の観察では、まず下水汚泥について凝集剤高分子を添加されたものの色相は、生、風乾のいずれも黒色を呈し、凝集剤として消石灰、塩化第二鉄を添加されたものは茶褐色であった。また、いずれも独特の下水臭

を発生し、風乾することにより臭はやや弱まった。し尿処理についての色相は、下水汚泥の消石灰系列と同様であったが、臭いはこれに若干硫化水素臭がプラスされた状態であった。なお、調査時点で手ざわりでみた性状はいずれも可塑性は大きい粘着性に乏しく、脱水乾燥の進むにつれて固結性はあきらかに増大した。また、脱水方法の違いが性状に及ぼす影響についてはあきらかでなかった。

2 下水汚泥の化学成分組成

下水汚泥の化学成分組成については第2表に示した。

第2表 下水汚泥の化学成分組成

汚泥別	凝集剤	代表値	強熱減量 (%)	pH (H <sub>2</sub> O)	肥料成分 (%)							重金属 (ppm)					
					T-N	T-C	C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Cd	Cu	Zn	Pb	As	Hg
高分子処理 (n=16)		最高値	84.9	8.6	7.2	46.6	6.5	6.2	0.4	11.1	0.9	2.8	283	1,900	118	15.2	1.8
		最低値	47.4	5.3	3.8	17.8	3.8	2.7	0.2	1.6	0.4	1.4	216	582	33	2.6	0.9
		平均値	62.0	7.1	5.3	28.1	5.2	4.3	0.2	3.7	0.7	2.3	268	1,424	84	8.3	1.3
		標準偏差	14.3	1.3	1.4	9.4	0.4	1.2	0.07	2.5	0.03	1.1	37	89	33	3.8	0.05
		変動係数	23.1	18.3	26.4	33.5	7.7	27.9	29.2	67.6	4.6	47.8	21	63	39	45.8	5.6
下水汚泥		最高値	65.8	12.9	4.8	25.2	8.2	3.7	0.4	42.3	2.8	17.7	364	2,979	130	10.9	2.3
		最低値	35.7	10.5	2.3	11.7	5.1	1.4	0.04	10.0	0.8	1.0	82	417	48	0.7	0.6
		平均値	49.1	11.5	3.3	19.1	6.0	2.8	0.1	19.3	1.6	5.4	206	1,123	84	6.2	1.5
		標準偏差	9.4	0.7	0.5	3.1	1.0	0.7	0.1	8.8	0.9	5.5	89	534	28	3.1	1.1
		変動係数	19.1	6.1	15.2	16.2	16.7	25.0	68.8	45.6	56.4	101.9	43	48	33	50.0	47.3
し尿汚泥 (n=8)		最高値	87.4	7.7	4.3	25.7	6.0	7.6	0.4	3.7	5.5	1.3	130	660	2.7	2.8	0.8
		最低値	80.2	7.2	2.8	20.3	5.6	4.0	0.3	3.0	3.2	0.5	107	540	1.8	2.0	0.5
		平均値	84.2	7.5	3.6	23.0	6.4	5.2	0.3	3.4	4.5	0.9	119	590	2.3	2.5	0.7
		標準偏差	3.6	0.8	0.4	1.3	0.6	1.1	0.06	0.4	2.3	1.1	0.4	2.6	2.1	0.5	0.6
		変動係数	4.3	10.7	11.1	5.7	9.3	21.2	15.0	11.8	51.1	122.2	0.3	0.4	91.3	20.0	85.7

ここでは下水汚泥を凝集剤処理別に高分子及び石灰それぞれの系列別にまとめ、さらにこれらとの比較でし尿汚泥についても示した。

強熱減量についてみると、高分子処理の下水汚泥の平均値は62.0%に対して、消石灰処理の平均値は49.1%と低く、し尿汚泥等は前記両者よりも高く84.2%であった。pHをみると、高分子、し尿汚泥いずれも平均値7.1、7.5でほぼ中性を示したが、石灰処理では平均11.5と極端に

高い値であった。下水汚泥中の肥料成分としての窒素、りん酸、カリ（以下N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O等成分は記号で記す）含量についてみると、高分子処理系列ではN：3.8～7.2%、平均5.3%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>：2.7～6.2%、平均4.3%、K<sub>2</sub>O：0.2～0.4%、平均0.2%、石灰処理系列ではN：2.3～4.8%、平均3.3%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>：1.4～3.7%、平均2.8%、K<sub>2</sub>O：0.04～0.4%、平均0.1%と石灰処理系列に比べて高分子系列でやや高かった。また両系列を通して、

N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>に比べてK<sub>2</sub>Oの値が極端に低いことが目立った。

次に下水汚泥との関連でし尿汚泥についてみると, N: 2.8~4.3%, 平均3.6%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 4.0~7.6%, 平均5.2%, K<sub>2</sub>O: 0.3~0.4%, 平均0.3%の値を示し, おおむね前述の下水汚泥の組成に類似したが, し尿処理汚泥のP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>の値は下水汚泥に比べて高い傾向を示した。

T-Cは高分子系列で17.8~46.6%, 平均28.1%, 石灰系列で11.7~25.2%, 平均19.1%となり, 後者に比べて前者でやや高い値がみられた。またし尿汚泥のT-Cについてみると, 20.3~25.7%, 平均23.0%で下水汚泥の高分子と石灰処理との中間の値を示し, C/N比はいずれも5~6の値であった。CaO, MgOは下水汚泥で高分子処理および石灰処理のそれぞれ平均値でみると, 前者では3.7%, 0.7%, 後者では19.3%, 1.6%と石灰処理におけるCaOの値が極端に高く, この値は石灰系列のpH 11.5の高い値に反映されている。し尿汚泥のCaO含量は下水汚泥の高分子系列の値と大差なかったがMgOの値は下水汚泥の値に比べてやや高かった。

次に下水汚泥の重金属濃度についてみると, 下水汚泥のCd, Cu, Znは, 高分子処理系列ではCd: 1.4~2.8ppm, 平均2.3ppm, Cu: 216~283ppm, 平均268ppm, Zn: 582~1,900ppm, 平均1,424ppmを示し, 石灰処理系列ではCd: 1.0~17.7ppm, 平均5.4ppm, Cu: 82~364ppm, 平均206ppm, Zn: 417~2,979ppm, 平均1,123ppmの値であった。さらにPb, As, Hgについてみると, 高分子処理系列ではPb: 33~118ppm, 平均84ppm, As: 2.6~15.2ppm, 平均8.3ppm, Hg: 0.9~1.8ppm, 平均1.3ppmの値を示し, 石灰処理系列ではPb: 48~130ppm, 平均84ppm, As: 0.7~10.9ppm, 平均6.2ppm, Hg: 0.6~2.3ppm, 平均1.5ppmの濃度がみられた。

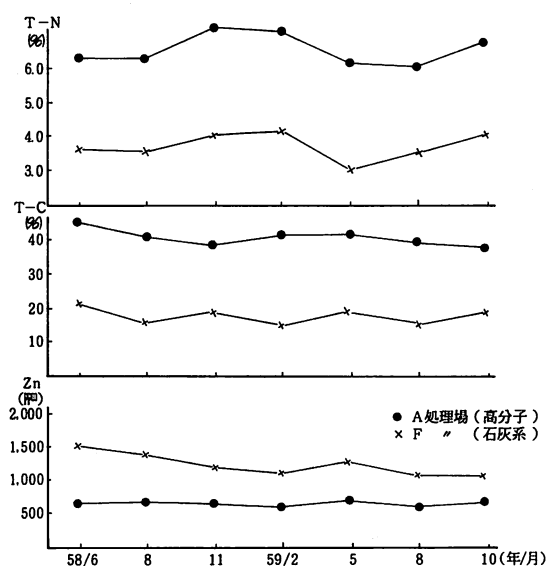
一方, し尿汚泥の重金属についてみると, Cd: 0.5~1.3ppm, 平均0.9ppm, Cu: 107~130ppm, 平均119ppm, Zn: 540~660ppm, 平均590ppm, Pb: 1.8~2.7ppm, 平均2.3ppm, As: 2.0~2.8ppm, 平均2.5ppm, Hg: 0.5~0.8ppm, 平均0.7ppmを示し, 各項目とも下水汚泥に比べて一般的に低い傾向がみられ, とくにCd, Zn, Pb, As

等でその傾向が目立った。

### 3 化学成分の季節変化と処理場別相違

#### 1) 季節変化

代表処理場としてA, F 2か所, 代表項目にT-N, T-C, Znをとりあげ第1図に示した。



第1図 化学成分の季節変化

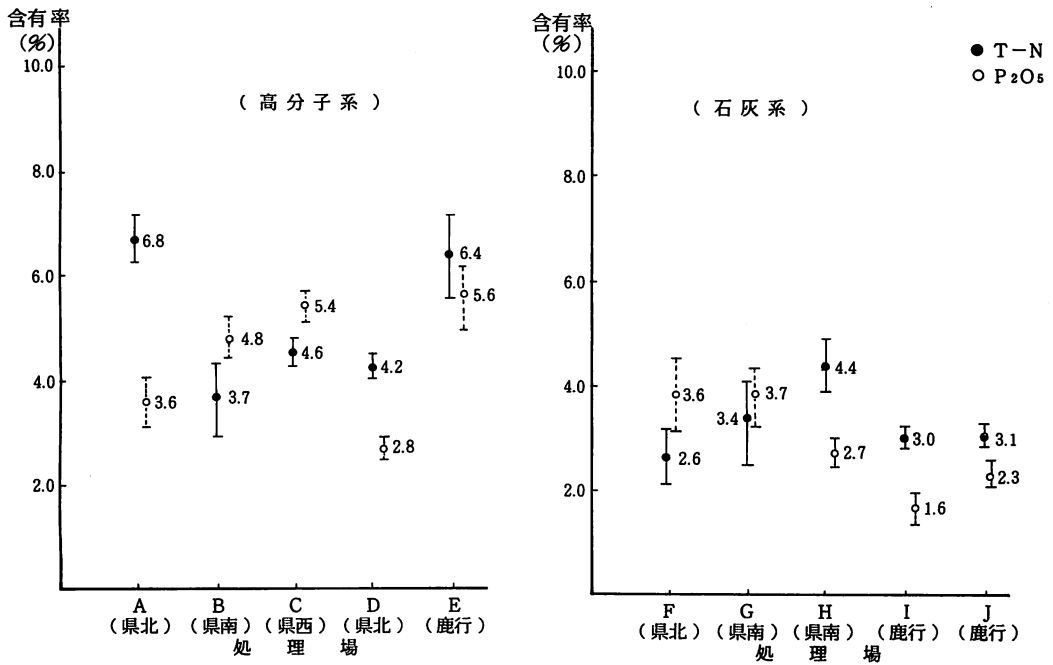
T-Nは6~8月の夏季に低く, 11~2月の冬期にやや高まる傾向がうかがわれたが, T-C, Znについては変化はあきらかでなかった。

#### 2) 処理場別相違

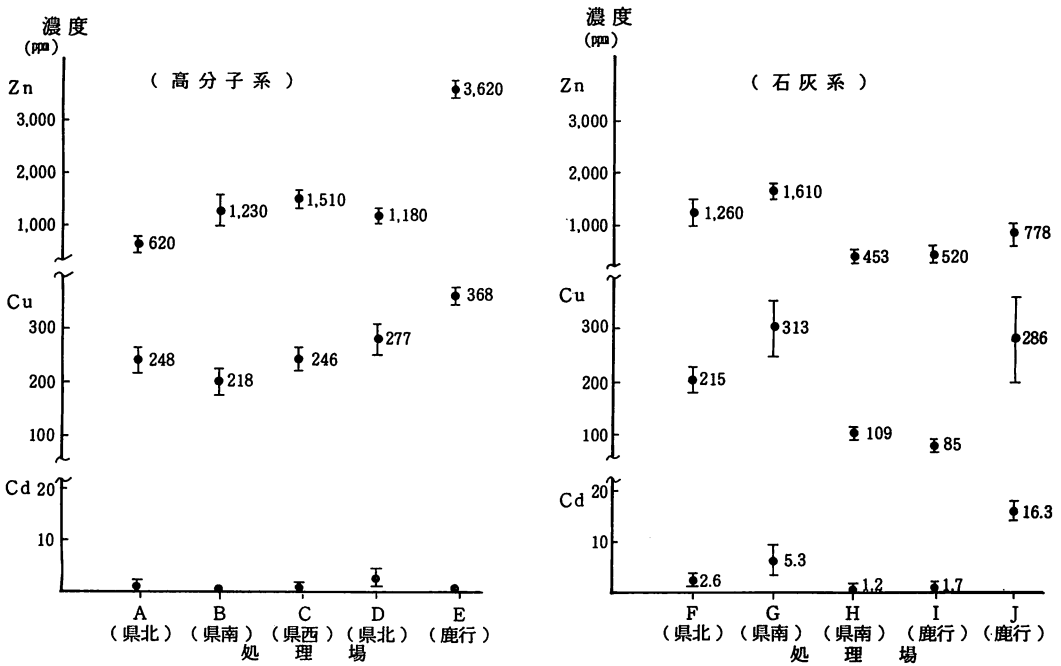
第2図には汚泥中のN, P成分, 第3図にはCd, Cu, Znの重金属濃度を高分子系と石灰系に分けそれぞれの平均値について変動幅を添えて項目別に示した。

N, P成分: 使用する凝集剤別に下水汚泥中のN, P成分を概観した場合, 石灰系列に比べて高分子系列で高い傾向を示したことは前述したが, 使用凝集剤別に各処理場をみると処理場間にあきらかな差がみられた。まず, 高分子系列を処理場別にみると, Nでは県北のA, 鹿行のE処理場の値が常に高い傾向を示し, 次いで県西のC, 県北のD, 県南のBの順であった。P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>では, 鹿行のE, 県西のC処理場が常に高い値を示し, 県南のB, 県北のA, D処理場がこれに次いだ。中でも県北のA処理

下水汚泥の農業利用に関する研究



第2図 汚泥中N, P成分の地域性



第3図 汚泥中重金属濃度の地域性

場はNは高かったが、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>は比較的低く、鹿行のE処理場ではN、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>共に高い値がみられた。

石灰系列では、県南のH、G処理場でNが高く、鹿行のJ、Iがこれにつき、さらに県北のF処理場の順となり、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>では、県南のG、県北のF処理場で高く、県南のH、鹿行のJ、I処理場がこれに次いだ。

重金属：高分子系列のZnについてみると、最も高い値を示したのが鹿行のE、次に県西のC、県南のB、県北のD処理場の順となり、Cuはやはり鹿行のEで高く、次いで県北のD、県西のC、県北のA、県南のB処理場の順、Cdは県北のD、県西のC処理場でやや高い傾向がうかがわれた。

次に石灰系列をみると、Znでは県南のG処理場が最も高く、次いで県北のF、鹿行のJ、I、県南のHの順、Cuは、鹿行のJ、県南のGで高く、さらに県北のF、県南のH、鹿行のI処理場の順であった。なお、Cu濃度の高かったJ、Gでは値の変動幅も他の処理場に比べて大きかった。Cdでは鹿行のJが最も高く、次いで県南のG、県北のFの順となり、県南のH、鹿行のI各処理場では極端に低い値となった。

#### 4 下水汚泥中の形態別窒素及びりん酸

形態別N及びP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>については第3表、第4表に示した。

第3表 下水汚泥の形態別窒素

供試汚泥	T-N (mg/100g)	形態別窒素 (mg/100g)		
		NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	有機態-N
下水汚泥 (高分子処理)	3,400 (100)	794.0 (23.4)	41.6 (1.2)	2,565.4 (75.4)
下水汚泥 (石灰、塩化 第2鉄処理)	2,700 (100)	860.6 (31.6)	17.6 (0.7)	1,821.8 (67.7)

注) ( )内はT-Nに示める割合(%)

第4表 下水汚泥の形態別りん酸

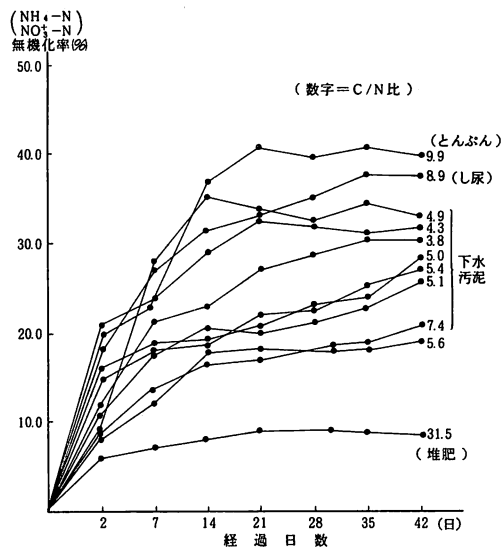
供試汚泥	T-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	形態別りん酸の割合(%)		
		Ca型	Al型	Fe型
下水汚泥(高分子処理)	4.37	0.46	2.93	0.98
下水汚泥(石灰、塩化 第2鉄処理)	2.85	0.28	0.45	2.12

Nについてみると、高分子処理の場合、T-Nの75.4%が有機態Nで占められており、NH<sub>4</sub>-Nは23.4%、NO<sub>3</sub>-Nは僅か1.2%程度であった。石灰処理の場合も高分子処理と同様、有機態Nが67.7%、NH<sub>4</sub>-N31.6%、NO<sub>3</sub>-N0.7%でいずれの処理法でも有機態Nが最も多く、次いでNH<sub>4</sub>-N、NO<sub>3</sub>-Nはいずれも極端に少なかった。

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>の形態についてみると、高分子処理ではA $\theta$ 型、Fe型、Ca型の順に少なくなり、石灰処理汚泥ではFe型が高く、次いでA $\theta$ 型、Ca型の順となった。

#### 5 窒素の無機化率

下水汚泥のN無機化率については第4図に示した。ここでは比較対照として、豚ふん(大宮町、小場養豚組合、昭59.6採取)、堆肥(山方町、大林肥育団地：材料オガクズ、ラッカセイから混入、昭59.6採取)、ならびにし尿汚泥(勝田市、昭59.6採取)についても示した。



第4図 下水汚泥の窒素の無機化率

第4図から、下水汚泥の無機化率についてみると、供試した下水汚泥のC/N比は4~5程度であり、インキュベート期間35~42日間の無機化率は30%前後を示した。比較対象とした資材の同期間における無機化率をみると、豚ふん(C/N比9.9)は40%、し尿汚泥(C/N比8.9)は38%、堆肥(C/N比31.5)は約9%程度であった。

なお、C/N比の高かった豚ふんやし尿汚泥では下水汚泥に比べて全般的に無機化の速度が早く、インキュベート開始後14日程度で、下水汚泥の無機化率の約1.5倍となった。

#### Ⅳ 考 察

下水汚泥を肥料あるいは土壌改良資材として農緑地に利用しようとする関心の高まっていることは前述したが、これに先だって県内から産出される下水汚泥の理化学的特徴をあきらかにし、事前に問題点を整理しておくことはきわめて重要である。このような立場から県内の主要な処理場を対象に、高分子処理汚泥および石灰処理汚泥をそれぞれ5点ずつ選び分析調査を行なうと同時に、比較のためにし尿汚泥2点も加えて調査した。

##### 1 性状と肥料成分

下水汚泥の色相は、高分子で処理された汚泥は黒色、石灰処理汚泥は茶褐色を呈した。いずれも独特の下水臭が感ぜられ、乾燥化に伴なって共通して固結する性質を示した。また、汚泥の水分含量は処理場で脱水された最終的なものはおおむね60.3～82.0%の範囲で、橋元ら<sup>12)</sup>の堆肥の水分含量と類似しており、この程度の水分状態であれば、ダンプ等による系外搬出上とくに支障はないという。しかし、これをコンポスト化し、農緑地利用をめざす場合には、取り扱い上さらに50%前後に脱水する必要がある、また、臭気の除去や粘性の改善等残された課題は多い。

下水汚泥のN、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>Oを平均値で見ると、高分子処理でそれぞれ5.3%、4.3%、0.2%、石灰処理で3.3%、2.8%、0.1%を示し、いずれの成分も高分子処理に比べて石灰処理で低い値を示した。一方、し尿汚泥についてみると、N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>Oそれぞれ平均値で3.6%、5.2%、0.3%とその値は下水汚泥並であった。なお、K<sub>2</sub>O含量は下水、し尿汚泥とも共通して低かった。CaOは高分子汚泥平均値で3.7%を示したのに対し、石灰汚泥では19.3%と前者より約5倍も高く、このため高pH(pH 11.5)を示した。また、T-Cは高分子汚泥平均値で28.1%、石灰汚泥19.1%、さらにし尿汚泥23.0%を示し、

C/N比ではいずれの汚泥も平均値で5～6の範囲であることがうかがい知れる。

農林水産省<sup>13)</sup>では昭和56年3月に、これまでの調査結果から下水汚泥の化学的組成について堆肥との比較でとりまとめた。その結果によると、Nは0.33～9.38%の範囲で平均値3.58%、堆肥の平均値1.64%に比べて約2倍以上である。P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>は0.27～19.75%の範囲で平均値5.18%を示し、堆肥の平均値0.77%に比べて約7倍高く、K<sub>2</sub>Oは0.1～0.45%の範囲で平均値0.32%、堆肥の平均値1.76%に比べてその値は約1/6と低い。さらにT-Cについてみると、3.4～44.8%、平均値24.9%となり、堆肥の平均値28.0%に比べると汚泥でやや下まわる程度、C/N比では下水汚泥1.7～20.0の範囲で平均値7.9、堆肥18.7に比べるとその値は1/2以下と低い。

以上のように、農水省のとりまとめと今回の県内下水汚泥の調査結果を比較すると、若干の特徴はみられたものの組成内容には大差のないことが認められた。ただ下水汚泥中には共通してK<sub>2</sub>Oの含有量の低かったことが目立った。この理由の一つとして、K<sub>2</sub>Oは水に溶け易い性質を有することから、汚泥の脱水処理過程でK<sub>2</sub>Oが流出し、これから汚泥中の濃度低下に結びついたものと考えられる。

調査結果では、汚泥の化学成分はいずれも変動幅の大きいことが目立った。また特定汚泥にしぼってみたNの季節変化では、理由はあきらかでないがその値に時期的な変化がうかがわれた。さらに下水汚泥のNの無機化率は試験結果によると約30%前後となったが、これは山田ら<sup>14)</sup>のいう37%前後、海老原ら<sup>6)</sup>の報告された平均値24.6%との比較で見ると、丁度中間の値である。一方、下水汚泥中の形態別N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>組成をみると、Nは約70%が有機態で占められ、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>は高分子と石灰処理で若干異なるが、Al型、Fe型の多いことがあきらかとなった。

山田ら<sup>14)</sup>は、下水汚泥のNの組成は、家畜ふん堆肥に比べて非加水性Nを含まないことと、アミノ酸態Nの多いことに特徴があり、これは下水汚泥に限らず食品工場やふん尿処理場等の活性汚泥にはほぼ共通したものであり、

従来の有機質資材とはNの組成からみてあきらかに異なっているとしている。さらに下水汚泥の $P_2O_5$ の形態を石灰処理汚泥についてみた結果では、Fe型>A $\theta$ 型>Ca型の順であったとし、本調査結果と符合している。

いずれにしても、下水汚泥は排水路の末端部沈澱物であり、この内容がそれをとりまく流域一帯の都市化の程度、産業の種類とその季節活動、その他複雑な要因による影響によってそれぞれ特徴づけられていると推察される。したがって、今後これら下水汚泥の持つ有効成分の利用をねらうにあたっては、その品質、成分が安定していることが望ましく、少なくとも各処理段階でなお一層の脱水、脱臭に努めると同時に、これら成分の均一、安定化の工夫が重要であると考ええる。

## 2 重金属

下水汚泥の成分の中で最も懸念されるものは重金属含量である。調査結果からとくに目立ったのはZn濃度であるが、この値は高分子処理で582~1,900ppm、石灰処理で417~2,979ppmの範囲となり、下水汚泥中の重金属濃度では最も高かった。前述した農水省のとりまとめた結果<sup>13)</sup>では、Znは167~3,315ppmの範囲となっており、さきの値とはほぼ符合している。し尿汚泥のZnは540~660ppmの範囲で、下水汚泥に比べて1/3~1/5程度低かった。また、Cd、Cuについてみると、高分子処理でCd:1.4~2.8ppm、Cu:216~283ppm、石灰処理でCd:1.0~17.7ppm、Cu:82~364ppmの範囲を示し、農水省<sup>13)</sup>のとりまとめたCd:0.01~6.86ppm、Cu:3.0~680ppmの範囲に比べれば若干差異がみられた。なお、し尿汚泥はCd:0.5~1.3ppm、Cu:107~130ppmでZnと同様一般的にその値は低い傾向にあり、その他Pb、As、Hgは本報告の結果と符合した。

## 3 調査結果からみた問題点

以上、県内の下水汚泥の肥料成分と重金属濃度についてみたが、結果的に肥料成分は豊富であったが、重金属濃度も多量含有していることがあきらかとなった。仮にこれら下水汚泥の農緑地利用を目的とした場合、土壤への連用によって当然重金属が土壤に蓄積する危険があり、土壤施用のための濃度規制が問題となってくる。

最近、環境庁では、これら農緑地利用を配慮して、汚泥の施用が土壤汚染および周辺環境悪化に及ぼす影響を防ぐ観点から、1981年以来、「汚泥の農用地等環元問題研究会」を設けて検討を進め、1983年研究会の報告書<sup>13)</sup>がまとめられた。さらにこれを関係官庁、都道府県等に意見を求め、これをふまえて1984年11月、下水汚泥を農用地に使用する場合の管理基準を暫定的に定めた。これによると、農用地における土壤中の重金属等の蓄積防止に係る管理指標をZnの含量とし、その管理基準値は乾土当り120ppmとしている。その際のZnの測定方法は表層(0~15cm)について強酸( $H_2SO_4/HNO_3$  5,  $HClO_4$  20の混液)分解法により、原子吸光法によって分析した。そしてこの根拠として、土壤汚染を未然に防止するための監視上有効な物質としてZnを代表させ、作物栽培にあたって十分安全を見込んだ基準とするのが適当であるとの考え方から、我が国農用地土壤の自然賦存量の上限値とした。

下水汚泥はいわゆる目的生産物とは異なり、二次的に産出される廃棄物であるため、化学成分組成や重金属含量が一定せず、変動幅がきわめて大きい。また、排出源を特定するむづかしい一面もある。さらに、下水汚泥には腐敗・変質・吸湿性・病原菌の伝染や悪臭等性状にかかわる改善課題も多い。

いずれにしても、このような下水汚泥の農緑地利用をねらう場合には、醗酵処理や増量材を添加するなど有効成分の均一化、有害成分の低減化、さらに使い易さを配慮したコンポスト化をはかり、少なくとも特殊肥料としての認可をうけることが前提となる。さらに実際の作物栽培をとおして、生育収量に及ぼす影響と連用による重金属の土壤蓄積程度をよく検討することがきわめて重要と考える。

## V 要 約

現在、下水汚泥の農緑地利用等資源リサイクルの面から関心が寄せられているが、このような背景のもとに、県内産の主要な下水汚泥について、理化学性の調査を行った。その結果をまとめると次のようである。



## 下水汚泥の農業利用に関する研究

1. 下水汚泥は添加凝集剤の種類によって、高分子処理汚泥と、石灰処理汚泥の二種類に分けられる。

2. 処理場から産出される下水汚泥の水分含量は、60.3～82.0%の範囲にあり、高分子処理汚泥は黒色、石灰処理汚泥は茶褐色を呈した。いずれも下水臭があり、可塑性が大きく粘着性弱く、乾くと固結する性状を示した。

3. 下水汚泥中の有機物含量、肥料成分はおおむね豊富であったが、 $K_2O$ は高分子、石灰いずれの処理汚泥も極端に少なかった。

4. 石灰処理汚泥の $CaO$ 含量は平均 19.3%と高く、 $pH$ も 11.5 と極端に高かった。

5. 下水汚泥中の重金属濃度は全般的に高く、とくに $Zn$ 濃度の高いことが目立った。

6. 下水汚泥中の形態別 $N$ をみると、約70%が有機態で占められ、 $P_2O_5$ は高分子、石灰処理汚泥共に $A\ell$ 型、 $Fe$ 型の多いことがうかがわれた。

7. 下水汚泥の $N$ の無機化率は、約30%前後であることがうかがわれた。

8. 下水汚泥中の化学成分組成は、各処理場、各成分いずれも時期的に変動幅の大きいことを知った。

謝辞：本調査研究を進めるにあたっては、県下水道課並びに関係市町村処理場関係者、場内環境部、管理部の関係者の方々に大変お世話になった。心から感謝の意を表すると共に厚くお礼を申し上げる。また、ご多忙中にもかかわらず、本稿のご校閲をいただいた農試場長松田明氏、同副場長石川実氏、同土壌肥料部長酒井一氏に対し、心から厚くお礼を申し上げる。

## 引用文献

- 1) 県下水道課：聞き取り調査結果。(1987)。
- 2) 下水汚泥資源利用協議会：下水汚泥コンポストの指標(1980)。
- 3) 橋元秀教：有機物資源としての下水汚泥、下水汚泥—リサイクルのために—, 105～122, 土肥学会編, 博友社,(1979)。
- 4) 土木学会：下水汚泥の処理, 処分および利用に関する研究報告書(1969)。
- 5) 真行寺孝・日暮規夫・安藤光一・松本直治：下水汚泥の多量連用が土壌及び作物に及ぼす影響, 千葉農試研報 27. 61～70,(1986)。
- 6) 海老原武久・山田要・松村壽：汚泥の農用地への利用に関する研究, 第1報, 汚泥の理化学性と連用試験について, 群馬農試研報, 19. 49～58,(1979)。
- 7) 松崎敏英：汚泥の農業利用に関する研究, 神奈川農総研報 115. 1～16,(1975)。
- 8) 兼田裕光ほか：北海道の有機性廃棄物の性状と化学成分, 北海道農試資料, 11. 11～12,(1980)。
- 9) 下水汚泥資源利用協議会：下水汚泥分析方法1～94。(1983)。
- 10) 農林水産省農蚕園芸局農産課編：土壌・水質および作物体分析法(1979)。
- 11) 土壌養分測定委員会編：土壌養分分析法, 養賢堂, P 235～239(1970)。
- 12) 橋元秀教・石川実：堆肥の成分組成に関する研究, 茨城農試研報 6. 1～15,(1964)。
- 13) 汚泥の農用地等還元問題研究会：汚泥の農用地等の還元問題について, 1～21,(1983)。
- 14) 山田裕：上・下水汚泥の肥料および土壌改良資材としての評価, 環境部会共同研究報告, 12.(1983)。

# 下水汚泥の農業利用に関する研究

## 第2報 下水汚泥の畑施用が作物の生育収量に及ぼす影響

松本英一・平山力

### Utilization of Sewage Sludge in the Field of Agriculture Part 2. Effect of Applications of Sewage Sludge on growth and yield of Field Crops

Eiichi MATSUMOTO and Chikara HIRAYAMA

下水汚泥の畑施用が作物の生育収量に及ぼす影響について、化学肥料代替性としての観点からその効果を普通作物を中心に検討した。その結果は次のようである。

下水汚泥の畑施用による作物の生育収量への化学肥料代替効果はあきらかに認められた。その効果は石灰処理汚泥に比べて、高分子処理汚泥で顕著にみられた。

汚泥の基肥窒素代替率では1/3～3/3で対照区と同等かこれを凌駕した。さらに作物の収穫残渣等有機物の併用すき込みの効果もめだつた。

汚泥施用にともなう汚泥中の肥料成分の吸収利用はあきらかにみられたが、作物体中の重金属分析結果ではいずれの作物も施用量と濃度の関係ではあきらかでなかった。

## I 結 言

県内の処理場から生産される下水汚泥の理化学的特徴については前報<sup>1)</sup>で報告したとおりである。これによると、処理場から排出される汚泥はその性状から水分含量も多く異臭もたつた。また化学分析結果では窒素、りん酸等肥料成分が豊富に含まれている反面、亜鉛、銅等重金属濃度も多く含まれていることがあきらかとなった。

このようなことから、近年、肥料成分の多く含まれるこれら汚泥の農業利用をねらって、醗酵処理するかさらにバーク等増量材を加える等によりコンポスト化し、特殊肥料として利用しようとする傾向がみられる。このような背景のもとに、これらの土壤還元が畑作物の生育収量、さらに土壤の理化学性に及ぼす影響を知ることはきわめて重要であり急務となっている。

すでに下水汚泥の土壤還元が畑作物の生育収量さらに

土壤に及ぼす影響について検討された事例<sup>5.7.10.11.13)</sup>は数多くみられるが、本県でとりあげられた例は数少ない。

本報では、昭和59～61年の3か年にわたり場内は場で実施した栽培試験の結果から、とくに下水汚泥の畑施用と畑作物の生育収量との関係についてとりまとめた概要について述べる。

## II 試験方法

### 1 試験は場

供試は場は場内の213号で、土壤は厚層腐植質黒ボク土(大津統)に該当する。土壤の理化学性は第1表に示したとおり、作土の土性はLの土壤、pHは中庸、T-Cは5.5%でかなり富み、りん酸吸収係数は2.360と高く火山灰土の性格が強い。

第1表 供試土壌の理化学性

(乾土あたり)

層位・層厚	項目 土性	pH		T-C (%)	T-N (%)	C/N	CEC (m-e)	置換性塩基 (mg/100g)			有効態 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g) (トルオーク)	りん酸 吸収係数
		H <sub>2</sub> O	KCl					CaO	MgO	K <sub>2</sub> O		
I 0~17 <sup>(cm)</sup>	L	6.5	6.1	5.5	0.45	12.2	23.4	340	45	7.2	10.4	2,360
II 17~32	L	6.3	6.0	5.1	0.43	11.9	21.0	280	40	6.6	8.4	2,410
III 32~	CL	6.1	6.0	5.3	0.43	12.3	25.2	260	32	4.9	4.3	2,680

2 供試汚泥

供試汚泥はすでにコンポスト化されたものでいずれも肥料取締法に定める特殊肥料として登録済のものを対象とした。現在県内で市販されている汚泥コンポストとしては処理場での添加凝集剤の違いによって高分子処理汚泥と石灰処理汚泥の2種類がみられるが、本試験では高分子処理汚泥として高分子A(高分子処理汚泥, 特殊肥料)及び高分子B(バーク入り高分子処理汚泥, 特殊肥料), 石灰処理汚泥として石灰A(A処理場, 石灰処理汚泥)及び石灰B(B処理場, 石灰処理汚泥, 特殊肥料)

の4タイプを用いた。なお、供試汚泥の化学性は第2表に示したとおりである。すなわち、水分含量はいずれも20~50%の範囲、T-N、T-Cは概ね3~5%、15~30%。さらにC/N4~13%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>2~7%、K<sub>2</sub>O0.1~0.4%となっており、重金属含量では、とくに目立つZnで500~1,500ppm、次にCu160~370ppm、Pb10~126ppm、Cdで0.8~14.5ppm、Hgで0.2~0.6ppmであったが、供試汚泥の中には年次によっては極端に高い値も認められる。さらには石灰Bの分析結果のごとく項目全般にわたって低い値であった点も注目される。

第2表 供試汚泥コンポストの化学性

(市販現物)

種類	(年次)	水分 (%)	T-N (%)	T-C (%)	C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	CaO (%)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Hg (ppm)
高分子A	(59)	20	4.4	21.2	4.8	3.7	0.25	2.1	940	161	-	1.4	-
	(60)	30	3.1	15.0	4.8	5.8	0.30	1.9	1,120	240	46.2	1.3	0.8
	(61)	28	5.2	20.5	3.9	7.0	0.28	1.9	1,210	264	26.7	3.0	0.8
	$\bar{x}$	26	4.2	18.9	4.5	5.5	0.28	2.0	1,090	222	36.5	1.9	0.8
高分子B	(59)	38	3.2	41.3	12.9	3.4	0.32	2.3	550	200	-	1.4	-
	(60)	40	4.1	31.2	7.7	4.0	0.27	1.7	770	274	30.0	0.8	0.2
	(61)	41	3.7	29.3	7.9	2.0	0.21	1.6	740	246	9.8	1.2	0.2
	$\bar{x}$	40	3.7	33.9	9.5	3.1	0.30	1.9	687	240	19.9	1.1	0.2
石灰A	(59)	50	3.9	19.2	4.9	2.1	0.06	16.2	1,160	221	-	3.0	0.6
	(60)	30	2.8	14.8	5.4	3.5	0.11	13.2	1,470	365	126.3	14.5	0.6
	$\bar{x}$	40	3.4	17.0	5.2	2.8	0.08	14.7	1,315	293	126.3	8.8	0.6
石灰B	(61)	34	1.3	5.4	4.3	0.9	0.11	36.6	113	29	4.5	4.4	0.03

注) 重金属濃度: 酸分解法によって求めた値, 値は $\bar{x}$ で示した。

高分子A: 高分子処理汚泥, 特殊肥料。

高分子B: バーク入り高分子処理汚泥, 特殊肥料。

石灰A: A処理場, 石灰処理汚泥。

石灰B: B処理場, 石灰処理汚泥, 特殊肥料。

下水汚泥の農業利用に関する研究

3 試験設計

たとおり本試験でねらった汚泥施用と畑作物の生育収量

試験区の構成と汚泥施用量を第3表に示した。前述し

との呼応は、あくまで化学肥料の代替として役立つか否

第3表 試験区の構成と汚泥施用量

項目 作別	区の構成	施肥量 (kg/10a)			汚泥コンポスト (kg/10a)			有機物 (kg/10a)	耕種概要
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	高分子A	高分子B	石灰A(B)		
(トウモロコシ)	1 対照区						(A)	(月) (日)	
	2 基肥N 1/3 代替区	15	15	15	750		850	施肥 5/21	
	3 " 2/3 " 区				1,500	800	1,700	播種 5/28	
	4 " 3/3 " 区				2,250	1,200	2,550	追肥 7/17	
	5 " 6/3 " 区	30			4,500		5,700	NK各 5 kg/10a	
	6 無肥料区							収穫 8/17	
(オオムギ)	1 対照区						(A)		
	2 基肥N 1/3 代替区	4	10	10	200		230	施肥 10/30	
	3 " 2/3 " 区				400	210	450	播種 11/1	
	4 " 3/3 " 区				600	450	680	追肥 3/8	
	5 " 6/3 " 区	8			1,200		1,360	NK各 2 kg/10a	
	6 無肥料区							収穫 6/7	
(ソルゴー)	1 対照区						(A)		
	2 基肥N 1/3 代替区	10	10	10	320	320	360	4区に 施肥 6/27	
	3 " 2/3 " 区				640	640	730	麦稈 播種 7/3	
	4 " 2/3 " 区				640	640	730	400 kg/ 収穫 10/4	
	5 " 2/3 " 区				640	640	730	10a	
	6 " 3/3 " 区				960	960	1,090	施用	
	7 無肥料区								
(オオムギ)	1 対照区						(A)		
	2 基肥N 1/3 代替区	4	10	10	140	140	220	4区に 施肥 10/30	
	3 " 2/3 " 区				280	280	450	生ソルゴー 播種 10/31	
	4 " 2/3 " 区				280	280	450	2 t/10a 追肥 3/13	
	5 " 2/3 " 区				280	280	450	施用 NK各 2 kg/10a	
	6 " 3/3 " 区				420	420	670	収穫 6/16	
	7 無肥料区								
(ダイズ)	1 対照区						(B)		
	2 基肥N 1/3 代替区	2	6	6	60	100	270	4区に 施肥 6/19	
	3 " 2/3 " 区				120	205	535	麦稈 播種 6/20	
	4 " 2/3 " 区				120	205	535	400 kg/ 収穫 10/14	
	5 " 2/3 " 区				120	205	535	10a	
	6 " 3/3 " 区				180	310	805	施用	
	7 無肥料区								
(オオムギ)	1 対照区						(B)		
	2 基肥N 1/3 代替区	4	10	10	120	205	540	有機物は 施肥 10/29	
	3 " 2/3 " 区				240	410	1,080	特に施用 播種 10/29	
	4 " 2/3 " 区				240	410	1,080	せず 収穫 6/1	
	5 " 2/3 " 区				240	410	1,080		
	6 " 3/3 " 区				360	615	1,620		
	7 無肥料区								

注) 第3作~第6作の5区は肥料と汚泥を作土 15 cmに全層混和した。なお、第1, 2作のN倍量区は第3作以降4区に組替えた。

汚泥施用量算出の供試汚泥N濃度は、第2表に示した各年次ごとの値によって求めた。

かに視点をおき、汚泥の施用量は基肥の施用N量に併わせ試験区をN代替率 1/3, 2/3, 3/3, そして6/3 (59年度のみ) 区を設定した。また、第3作以降には2/3代替区に有機物施用区と全層混和区を併設した。有機物施用区は前作の作物残渣を第3表に示したように施用した。全層混和区は肥料及び汚泥を作土15cmに全面全層混和した。すなわち第2作まで継続した6/3代替区は第3作以降2/3代替有機物区に変更した。各種汚泥の現物施用量は第3表に示したとおりである。供試した各作物はいずれも茨城県の耕種基準に準じて栽培した。試験区は1区16㎡2反復とした。

#### 4 分析法

汚泥は下水汚泥分析法<sup>3)</sup>、土壌及び作物体は土壌環境基礎調査における土壌、水質及び作物体分析法<sup>9)</sup>によった。

### Ⅲ 試験結果

#### 1 生育収量

第1作として栽培したトウモロコシの生育収量については第4表に示した。

これによると、トウモロコシの草丈は全般的に生育初

期で対照区に比べて汚泥施用区で抑制される傾向がうかがわれ、この傾向はとくに代替率の高い区ほど目立った。しかし、その後の汚泥施用区の生育は順調に回復し、収穫期の調査時点では、ほとんど対照区と同等かややまさる傾向がみられた。したがって収量調査の結果では、茎葉、雌穂の生草重、乾物重いずれもさきの生育を反映して、汚泥施用区のほとんどが対照区をうまわり、その傾向は高分子、石灰いずれのタイプも施用量の増大にもなって収量は増加し、高分子B系列では代替率2/3区で収量は最高となったが、石灰A、高分子A両系列では、代替率3/3区でピークとなった。

第5表には2作目として栽培したオオムギの生育収量を示した。これよりオオムギの草丈、茎数をみるとその傾向はおおむね第1作トウモロコシと同様、生育初期は全般的に汚泥施用区で抑制の傾向にあったが、後半には回復し6月3日の収穫期でみた茎数では高分子A系列の2/3、3/3代替区の値は対照区をあきらかに凌駕した。このようなことから汚泥施用区の子実収量も対照区並かそれを上まわる結果となった。オオムギの千粒重調査結果では、対照区の30.4gに対して石灰A系列では最高1/3代替区の32.9gをピークにいずれもその値は対照区

第4表 トウモロコシの生育収量(第1作)

区 別	項 目	草 丈 (cm)		生草収量 (kg/a)			左 同 比 (%)	乾物収量 (kg/a)	
		7/7	8/17	茎葉重	雌穂重	計		茎葉重	雌穂重
対 照 区		80.6	214.0	339	285	644	100	68.0	74.1
石 灰 A	1/3 代替区	78.6	219.2	338	283	621	99	68.0	73.6
	2/3 " 区	74.1	214.5	365	280	645	103	80.0	72.8
	3/3 " 区	69.9	214.9	417	274	691	110	85.6	71.2
	6/3 " 区	67.6	218.8	361	269	630	101	80.9	69.9
高 分 子 A	1/3 " 区	81.0	211.9	361	301	662	106	80.6	78.3
	2/3 " 区	80.5	219.8	373	288	661	106	81.0	74.9
	3/3 " 区	77.1	219.4	402	276	678	119	83.5	71.8
	6/3 " 区	69.1	226.1	413	274	687	110	86.0	71.2
高 分 子 B	2/3 " 区	83.9	223.4	427	315	742	119	85.4	81.9
	3/3 " 区	83.9	223.4	394	284	678	109	84.2	73.8
— N 区		56.3	170.3	204	136	340	54	55.0	35.4

注) 2連の平均値を示す。

下水汚泥の農業利用に関する研究

を上まわったが、高分子A、B系列では各区とも対照区の値に比べて同等かやや下まわる傾向にあった。これらの原因の1つには倒伏程度や葉色の観察結果からして過繁茂に起因すると考えられる。

第3作目に栽培したソルゴの生育収量の調査結果は第6表に示した。ここでは、これまでの供試作物でみられた初期の生育抑制は石灰系列でみられたものの、高分子系列ではみられなかった。すなわち石灰系列では汚泥

第5表 オオムギの生育収量(第2作)

区 別	項 目	草丈・稈長 (cm)			茎 数 (50 cm)			子実重 (kg/a)	稈重 (kg/a)	千粒重 (g)	倒 伏 程 度	葉 色 (収穫時)
		3/4	4/9	6/3	3/4	4/9	6/3					
対 照 区		12.1	39.0	81.0	239	184	157	54.9	44.0	30.4	0.5	0
石 灰 A	1/3 代替区	10.6	37.1	80.9	228	190	147	55.0	41.8	32.9	0	0
	2/3 " 区	10.0	36.2	81.0	210	181	153	55.8	44.4	31.9	0	0
	3/3 " 区	10.3	37.4	80.7	190	173	144	55.6	43.4	32.2	0	0
	6/3 " 区	9.3	35.5	79.4	183	162	144	60.1	45.8	32.2	0.5	0.5
高 分 子 A	1/3 " 区	10.4	37.3	80.6	223	182	151	62.2	47.4	29.4	0.5	0
	2/3 " 区	10.7	40.0	78.8	263	210	177	54.5	48.9	28.0	2.5	0
	3/3 " 区	10.7	38.1	75.1	261	180	160	57.1	45.8	30.6	1.0	0.5
	6/3 " 区	10.7	40.0	81.5	240	216	155	57.1	51.1	28.5	2.5	0.5
高 分 子 B	2/3 " 区	11.0	40.7	74.7	262	164	182	55.7	47.6	27.0	4.0	0
	3/3 " 区	11.8	41.2	77.3	267	211	185	55.2	46.3	26.8	4.0	0
— N 区		8.5	26.2	60.4	187	125	116	45.8	43.7	33.5	0	0

注) 2連の平均値を示す。倒伏程度は0(無)~4(甚)、葉の緑色は0(淡)~2(濃)

第6表 ソルゴの生育・収量(第3作)

区 別	項 目	草 丈 (cm)		茎 数 (1 m <sup>2</sup> )		生草収量 (kg/a)	同 左 比 (%)	乾物収量 (kg/a)
		8/7	9/25	8/7	9/25			
対 照 区		159	245	102	78	804	100	225
石 灰 A	1/3 代替区	138	237	92	93	700	87	196
	2/3 " 区	129	219	110	85	708	88	198
	3/3 " 区	126	230	67	80	858	107	240
	2/3 有機区	155	248	123	95	1,013	126	284
高 分 子 A	1/3 代替区	164	255	110	67	908	113	254
	2/3 " 区	174	264	110	67	917	114	257
	3/3 " 区	173	260	110	62	913	114	256
	2/3 有機区	175	256	93	53	875	109	245
	2/3 全層区	150	253	108	80	942	117	264
高 分 子 B	1/3 代替区	168	257	105	57	1,067	133	299
	2/3 " 区	177	259	90	72	942	117	264
	3/3 " 区	163	264	60	53	950	118	266
	2/3 有機区	166	261	108	77	917	114	257
	2/3 全層区	144	250	95	68	838	104	235
— N 区		83	194	110	112	533	66	149

注) 2連の平均値を示す。

の代替率が高まるにともなって草丈、茎数の値は低下した。しかし、ここで注目されることは2/3代替有機物区の値にみられるように、石灰系列でも前作のオオムギの稈のすき込みなどを行った場合は他の区に比べて抑制程度が軽減された。しかし、収量は乾物、生草とも石灰汚泥の低代替率区では対照区を若干下まわったが、全量汚泥代替区の収量は対照区を上まわった。有機物施用区は石灰、高分子とも各系列で対照区を凌駕した。

また、本栽培ではとくに高分子汚泥区を対象に2/3代替量を作土全層に混和した区を併設したが、これら全層混和区の生育状況をみると初期生育で対照区に比べて草丈、茎数のやや抑制される傾向がみられたが、後半には回復し、生草及び乾物でみた収量は対照区を上まわった。

第4作オオムギの生育収量を第7表に示した。草丈、茎数は生育全般をとおして対照区に比べて、石灰汚泥各区で抑制される傾向がみられたが、高分子汚泥各区はA・Bタイプともオオムギの生育は対照区と同等かやや上まわる傾向を示し、収量調査の結果によっても概ね対照区を上まわり、A、B両系列ともに子実収量は有機物施用

区でピークとなった。石灰汚泥各区はさきの生育様相を反映して、それぞれ対照区の収量を下まわる結果となったが、石灰系列においても有機物を施用した2/3代替有機物区のみが対照区以上となった。

また、収穫期のは場でオオムギの倒伏程度と葉色について観察した結果をみると、対照区に比べてあきらかに高分子A、B系列で中～甚程度の倒伏がみられており、葉色も高分子系列でやや濃い色相がみられた。

第5作ダイズの生育収量は第8表に示した。ダイズに関しては汚泥施用にともなう生育初期の抑制はみられず、主茎長でみた生育は汚泥施用区全般をとおして対照区を上まわった。したがって子実収量はいずれの区も対照区並かそれ以上となった。

第6作オオムギの生育収量を第9表に示した。これによると、まず石灰汚泥各区の生育は有機物の施用された2/3代替有機物区以外、生育全般をとおして対照区を下まわる傾向を示し、子実及び稈重の調査結果も生育と同様の傾向であった。高分子系列をみるとA、Bタイプ各区とも生育収量で対照区を上まわり、とくに2/3代替有

第7表 オオムギの生育収量(第4作)

区 別	項 目	草 丈 (cm)			茎 数 (50cm)			穂長 (cm)	子実重 (kg/a)	同左比 (%)	稈 重 (kg/a)	千粒重 (g)	倒伏 程度 (収穫時)	葉 色
		3/13	4/15	6/3	3/13	4/15	6/3							
対 照 区		12.8	39.7	86.8	264	198	133	4.0	38.3	100	43.6	25.4	1.7	0
石 灰 A	1/3 代替区	11.4	35.1	82.5	249	178	115	3.5	28.2	74	36.6	26.6	1.0	0
	2/3 " 区	11.0	35.2	82.4	245	171	118	3.8	35.6	93	41.2	26.1	0	0
	3/3 " 区	11.8	38.8	80.6	216	196	109	3.9	32.3	84	35.0	27.5	0	0
	2/3 " 有機区	11.1	39.8	84.6	236	217	145	4.0	44.6	116	45.5	27.2	2.0	0
高 分 子 A	1/3 代替区	10.6	36.0	87.1	264	237	142	4.2	42.0	110	47.1	24.8	3.0	0
	2/3 " 区	11.6	41.4	91.3	263	230	145	4.8	46.4	121	56.3	25.1	3.0	1
	3/3 " 区	10.4	39.7	88.2	271	280	172	4.3	41.3	108	55.8	24.3	4.0	1
	2/3 " 有機区	11.7	41.7	88.0	277	210	173	4.6	53.5	140	60.0	26.6	3.0	1
	2/3 " 全層区	11.2	37.1	82.6	156	147	107	4.6	46.1	120	35.5	30.9	2.0	1
高 分 子 B	1/3 代替区	12.2	41.9	89.6	263	271	175	4.0	43.0	112	53.4	24.2	4.0	0
	2/3 " 区	13.0	42.0	88.6	297	232	171	4.1	35.7	93	50.4	23.8	3.0	0
	3/3 " 区	10.6	38.6	89.4	273	187	170	4.1	43.8	114	50.0	24.5	3.0	0
	2/3 " 有機区	12.0	39.8	79.0	257	252	143	4.1	50.0	131	58.3	23.9	3.0	0
	2/3 " 全層区	12.5	40.3	85.0	188	161	118	4.4	41.0	107	44.6	27.7	1.0	0
— N 区		8.2	23.0	54.2	75	76	54	3.2	8.1	21	15.4	31.2	0	1

注) 倒伏程度 0(無)～4(甚), 葉色 0(淡)～2(濃)。2連の平均値で示す。

下水汚泥の農業利用に関する研究

第8表 ダイズの生育収量(第5作)

区 別	項 目	主茎長		百粒重 (g)	子実 収量 (kg/a)	同左比 (%)	全重 (kg/a)
		(cm)	節数				
	対 照 区	47.3	11.0	30.9	34.4	100	60.5
石 灰 A	1/3代替区	49.0	11.6	31.8	36.0	105	61.3
	2/3 " 区	54.8	11.5	31.6	35.9	104	63.3
	3/3 " 区	50.7	11.1	32.9	32.3	94	56.4
	2/3 "有機区	52.9	10.2	32.9	32.8	95	57.5
高 分 子 A	1/3 " 区	55.5	11.6	32.3	36.3	106	63.6
	2/3 " 区	50.9	11.4	32.0	35.8	104	62.8
	3/3 " 区	54.6	11.6	29.7	35.0	102	61.4
	2/3 "有機区	44.9	10.5	31.5	35.0	102	59.4
	2/3 "全層区	45.7	10.0	32.4	28.4	83	49.7
高 分 子 B	1/3 " 区	52.3	11.7	30.2	33.4	97	57.5
	2/3 " 区	58.1	12.5	31.2	33.7	98	59.2
	3/3 " 区	58.8	12.1	30.6	35.9	104	62.8
	2/3 "有機区	57.2	12.2	31.9	39.4	115	69.7
	2/3 "全層区	42.4	10.5	33.1	33.8	98	56.9
	— N 区	40.3	10.3	29.8	27.7	81	48.1

注) 倒伏程度 0(無)~4(甚), 葉色 0(淡)~2(濃)  
2連の平均値で示す。

機物施用区で目立った。

以上, 下水汚泥コンポストの畑施用が作物の生育収量に及ぼす影響を化学肥料の代替性としての観点から普通作物を供試して検討した。

その結果, いずれの作物も汚泥施用による化学肥料代替としての効果はみられた。しかし処理汚泥の種類, 連用回数, 代替率, 有機物施用や全層混和等施用方法によってもそれぞれの効果に特徴がうかがわれた。

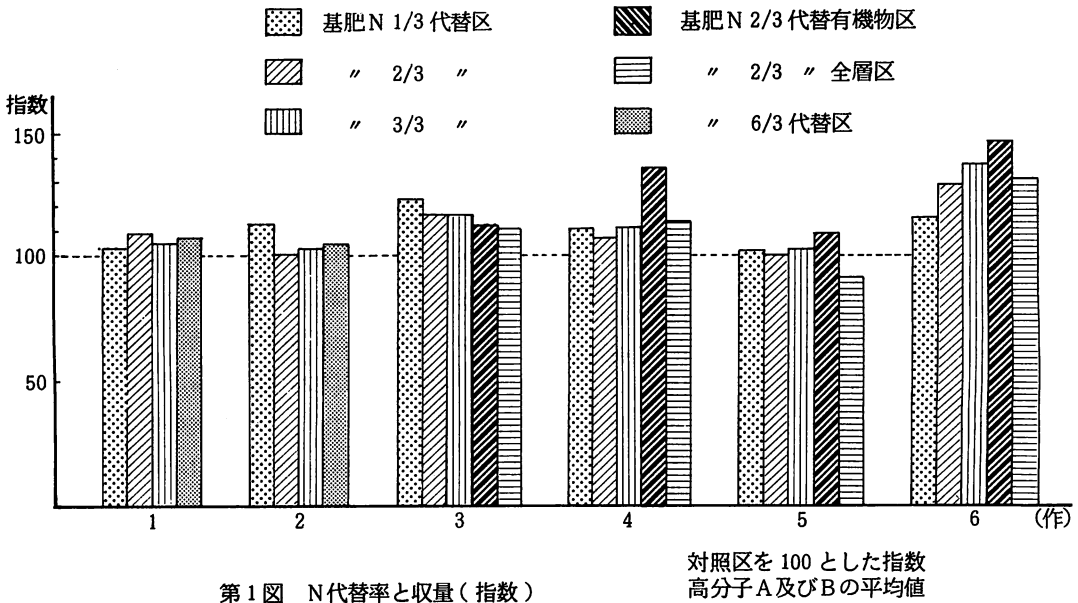
各作のN代替率と収量の関係を示したのが第1図である。石灰処理汚泥は肥料代替性が劣るとの判断で, 高分子処理汚泥について示し, 対照区を100とした場合の指数で示した。各種汚泥の平均値をもとにN代替率1/3~3/3のレベルで収量を比較すると, 6作平均で110~113で代替率間に明確な傾向はみられない。また, 本試験では第3作以降に2/3代替有機物区を設定したが, 第3作以降はいずれの汚泥タイプもこれらの区が指数平均でも126を示し最高収量となり, 2/3代替区を上まわった。

第9表 オオムギの生育収量(第6作)

区 別	項 目	草丈・稈長(cm)		茎 数(50cm)		穂 長 (cm)	子実重 (kg/a)	同佐比 (%)	稈 重 (kg/a)	千粒重 (g)	倒 伏 程 度	葉 色 (収穫時)
		3/12	5/21	3/12	5/21							
	対 照 区	18.9	70.4	225	118	3.9	31.3	100	32.6	26.0	0	0
石 灰 B	1/3代替区	13.6	59.6	174	89	3.7	25.7	82	27.5	25.6	0	0
	2/3 " 区	14.6	65.2	180	100	4.2	22.6	72	24.7	27.3	0	1
	3/3 " 区	10.8	60.7	121	65	4.5	21.5	69	22.3	28.0	0	1
	2/3 "有機区	13.7	70.7	143	98	5.0	35.7	114	34.1	28.3	0	1
高 分 子 A	1/3代替区	17.5	70.3	239	127	4.7	32.3	103	33.5	26.3	0	0
	2/3 " 区	19.2	72.9	259	151	4.5	38.4	123	38.7	25.7	0	0
	3/3 " 区	19.5	75.3	251	134	4.3	48.0	154	42.8	25.3	0	0
	2/3 "有機区	19.5	76.3	221	132	4.3	47.2	151	43.9	26.4	0	0
	2/3 "全層区	23.8	75.4	200	173	4.3	43.8	140	43.3	26.1	0	0
高 分 子 B	1/3代替区	20.8	75.7	340	153	4.4	39.7	127	36.3	25.0	0	0
	2/3 " 区	20.1	76.2	262	150	3.8	41.7	133	42.6	22.8	0	0
	3/3 " 区	21.2	74.1	267	162	3.7	37.7	120	38.2	24.5	0	0
	2/3 "有機区	20.6	74.0	271	153	3.7	43.7	140	43.2	25.3	0	0
	2/3 "全層区	22.3	71.5	246	146	3.6	37.9	121	39.4	25.2	0	0
	— N 区	16.5	62.7	155	70	4.4	13.1	42	20.4	27.1	0	0

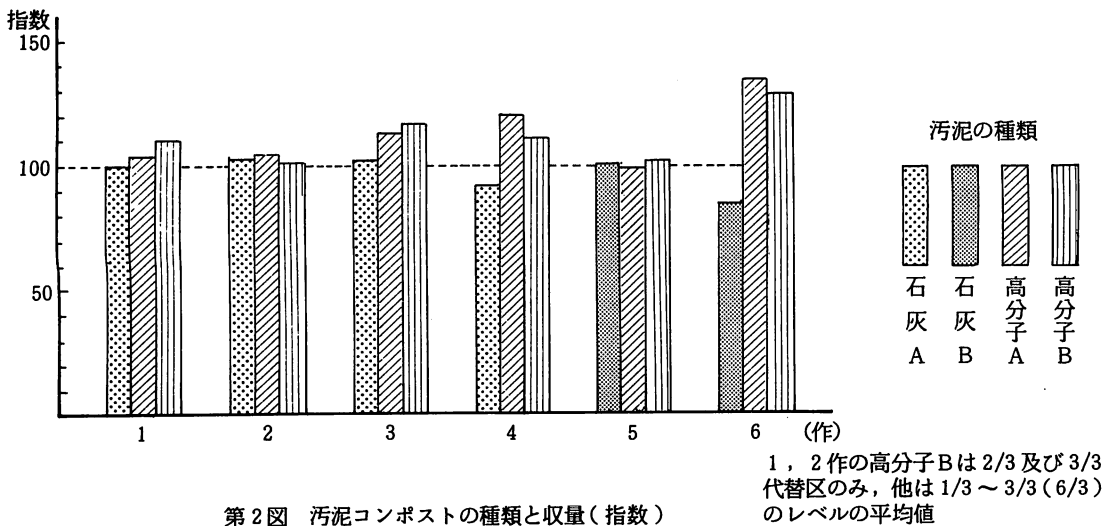
注) 2連の平均値を示す。



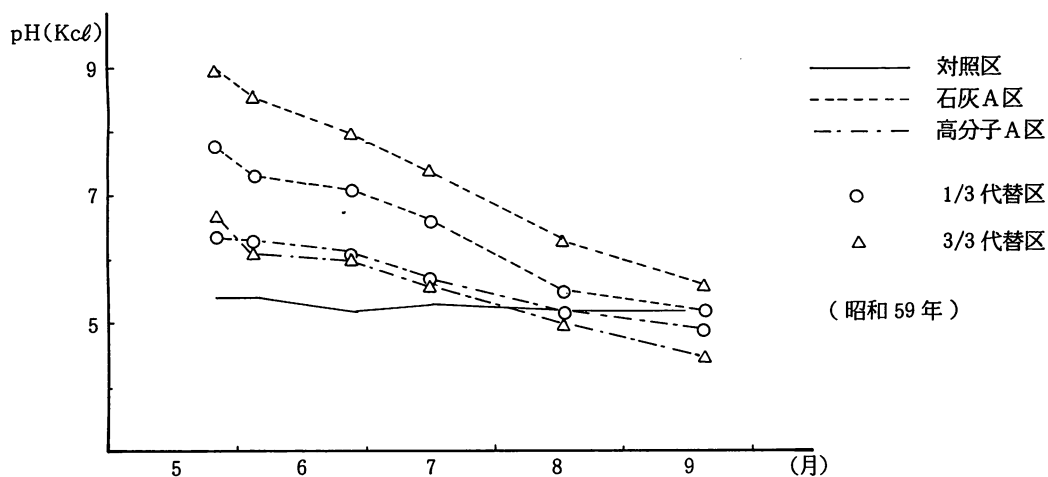


次に汚泥コンポストの種類と収量の間をみたのが第2図である。高分子AおよびBの収量は各作とも対照区を上まわったが、石灰汚泥系列は高分子汚泥系列に比べ収量は下まわり、とくに4作目以降で対象区に比べて低くなる傾向がみられた。これは4作目以降においてみられた初期生育の抑制が生育後半から、収量まで影響した

ことが原因と考えられ、このことは、この種の汚泥を化学肥料の代替としてねらう場合の難点としてあげられる。第3図には第1作トウモロコシ栽培は場の作土 pH の経時変化を示した。これによると、汚泥施用区の pH は施用直後は石灰、高分子とも高く、その後緩やかに低下している。とくに石灰汚泥区では肥料代替をねらってい



下水汚泥の農業利用に関する研究



第3図 トウモロコシ栽培土 pH の推移

ることから汚泥を条に施用されていることもあって施用直後の pH が 7 以上となっており、このことが石灰汚泥区の作土 pH の上昇に結びつき、このような pH 条件に作付された作物がそれぞれ初期生育の抑制に結びついたものと考えられる。

以上のように、高分子処理汚泥の化学肥料代替効果はあきらかに認められたが、石灰処理汚泥については連用することにより効果は漸減した。また、代替率では 1/3 ~ 3/3 レベルでは殆んど差はなかった。また、各作物とも初期生育の抑制は石灰処理汚泥で目立ち、さらに有機物の併施の効果は顕著であった。

## 2 養分吸収

### 1) 肥料成分

肥料成分の吸収量を第10表に示した。これより、汚泥施用区の N 吸収量を全般的にみると概ね対照区を上まわったが、第4作目以降の石灰汚泥施用区の吸収量は前述のような作物の生育、収量の低下を反映して対照区に比べ小さかった。また吸収量と代替率との関係はあきらかでなかった。

$P_2O_5$  については、各作物とも N 同様汚泥施用区の吸収量は対照区を上まわった。

K については、N、P と異なり明確な傾向は認められ

なかった。

N 利用率は第11表に示した。第3作以降高分子汚泥施用区では N 利用率 100 以上の値があきらかにみられたが、石灰汚泥施用区では第3作以降処理区を問わず概ね N 利用率は著しく低下した。代替率と N 利用率の関係は明確な傾向はみられなかった。

以上のように、作物体の N、P 等肥料成分の吸収は概ね汚泥施用区の吸収量が対照区を上まわる傾向を示したが、石灰汚泥系列にみられたごとく生育抑制があった場合はあきらかに吸収量の低下がみられた。

### 2) 重金属

前述第2表に示したとおり下水汚泥は肥料成分も多いが、重金属類等の有害成分も含有している。これら重金属類の中で比較的少量に存在するものに亜鉛 (Zn) および銅 (Cu) があげられる。このようなことから、本試験においても作物体中の肥料成分の吸収量調査を行うと同時に収穫物について重金属の分析調査を行い、その中から Zn と Cu について第4、5図に示した。ここでは対照区の濃度を 100 とした場合の指数で 1/3 代替区および 3/3 代替区の濃度を汚泥タイプ別に示した。

これより Zn について平均値でみると、各作物とも汚泥施用区の濃度は対照区と同等かやや高い傾向がうかが

第10表 養分吸収量

(kg/a)

年度		59						60						61					
		トウモロコシ			オオムギ			ソルゴー			オオムギ			ダイズ			オオムギ		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
対 照 区		2.35	0.75	1.21	1.79	0.50	1.78	2.08	0.83	2.73	0.85	0.26	1.56	2.75	0.44	1.09	0.67	0.21	1.19
石灰A(B)	1/3代替区	2.40	0.78	0.92	1.93	0.60	1.70	1.80	0.86	1.74	0.65	0.23	1.51	2.77	0.28	1.25	0.55	0.21	1.17
	2/3 "区	2.57	0.88	1.47	2.13	0.58	1.72	2.04	0.73	2.40	0.80	0.30	1.79	2.84	0.26	1.33	0.50	0.18	1.08
	3/3 "区	2.62	0.97	1.52	1.72	0.53	1.94	2.04	1.06	6.20	0.78	0.32	1.38	2.58	0.47	1.17	0.46	0.21	0.88
	2/3 "有機区	-	-	-	-	-	-	2.19	1.05	4.26	1.01	0.32	1.96	2.62	0.40	1.20	0.79	0.25	1.48
	6/3 "区	2.28	0.91	1.38	2.00	0.58	1.92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
高分子A	1/3代替区	2.84	0.80	1.49	2.13	0.64	1.92	2.46	1.12	2.57	1.06	0.32	1.56	2.93	0.35	1.19	0.79	0.25	1.12
	2/3 "区	2.79	0.87	1.54	1.98	0.55	1.82	2.78	1.13	3.16	1.31	0.44	1.93	2.84	0.38	1.16	1.02	0.35	1.37
	3/3 "区	2.74	0.84	1.63	1.85	0.57	1.91	2.82	0.82	3.56	1.56	0.42	2.23	2.90	0.28	1.14	1.56	0.45	1.82
	2/3 "有機区	-	-	-	-	-	-	2.33	0.96	3.33	1.44	0.52	2.20	2.74	0.39	1.09	1.23	0.36	1.91
	2/3 "全層区	-	-	-	-	-	-	2.56	0.90	3.67	0.99	0.25	1.44	2.14	0.25	0.99	1.19	0.34	2.15
6/3 "区	2.69	0.86	1.61	2.17	0.62	2.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
高分子B	1/3代替区	-	-	-	-	-	-	3.38	1.22	5.26	1.08	0.33	1.98	2.51	0.27	0.93	0.92	0.28	1.41
	2/3 "区	2.84	0.94	1.67	2.02	0.56	1.73	2.72	1.27	4.59	0.87	0.38	1.87	2.75	0.55	1.04	0.92	0.42	1.65
	3/3 "区	2.65	0.91	1.63	1.92	0.58	1.78	2.93	1.09	7.08	1.08	0.47	1.99	2.72	0.48	1.34	0.90	0.39	1.54
	2/3 "有機区	-	-	-	-	-	-	2.90	1.13	3.42	1.36	0.49	2.13	3.12	0.41	1.52	1.14	0.41	1.62
	2/3 "全層区	-	-	-	-	-	-	2.28	0.80	3.48	0.95	0.23	1.70	2.57	0.86	0.99	0.86	0.21	1.51
無肥料区	1.30	0.34	0.65	1.53	0.52	0.64	1.19	0.55	4.16	0.42	0.13	0.60	2.31	0.26	0.96	0.41	0.19	0.81	

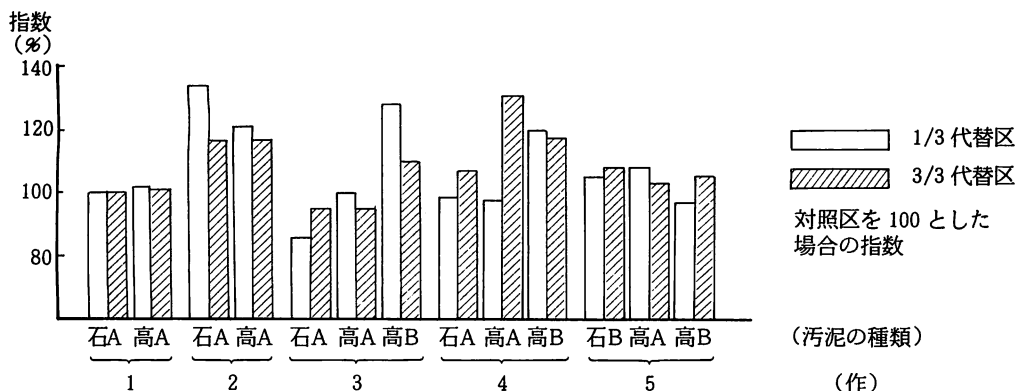
第11表 N利用率

(%)

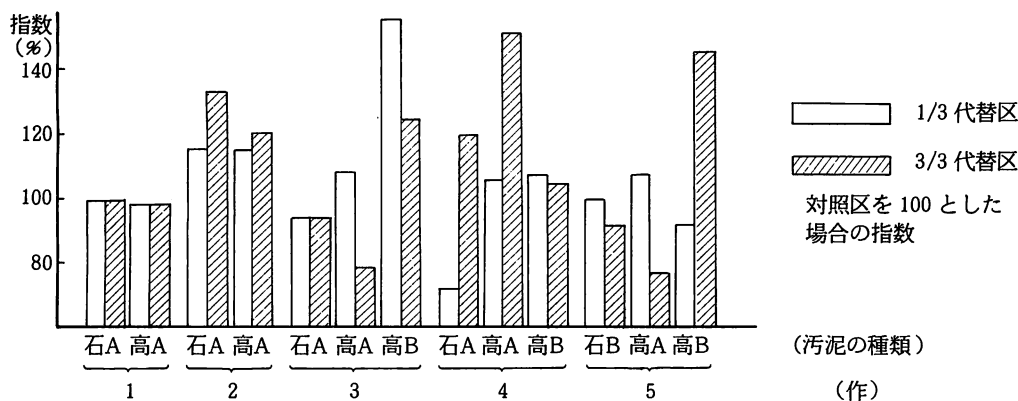
年度		59		60		61	
		トウモロコシ	オオムギ	ソルゴー	オオムギ	ダイズ	オオムギ
		対 照 区	52.5 (100)	43.3 (100)	89 (100)	72 (100)	220 (100)
石灰A(B)	1/3代替区	55.0 (105)	66.7 (154)	61 (69)	38 (53)	230 (105)	35 (54)
	2/3 "区	63.5 (121)	100 (231)	85 (96)	63 (88)	265 (121)	23 (35)
	3/3 "区	66.0 (126)	31.7 (73)	85 (96)	60 (83)	135 (61)	20 (31)
	2/3 "有機区	-	-	100 (112)	98 (94)	155 (70)	95 (146)
	6/3 "区	28.0 (53)	39.2 (91)	-	-	-	-
高分子A	1/3代替区	77.0 (147)	100 (231)	127 (143)	107 (149)	310 (141)	95 (146)
	2/3 "区	74.5 (142)	75.0 (174)	159 (179)	148 (206)	265 (120)	153 (235)
	3/3 "区	72.0 (137)	53.3 (123)	163 (183)	190 (264)	295 (134)	288 (443)
	2/3 "有機区	-	-	114 (128)	170 (236)	215 (98)	205 (315)
	2/3 "全層区	-	-	137 (154)	95 (132)	-	195 (300)
6/3 "区	39.8 (76)	53.3 (123)	-	-	-	-	
高分子B	1/3代替区	-	-	219 (246)	110 (153)	100 (45)	128 (197)
	2/3 "区	77.0 (147)	81.7 (189)	153 (172)	75 (104)	220 (100)	128 (197)
	3/3 "区	65.5 (129)	65.0 (150)	174 (196)	110 (153)	205 (93)	123 (189)
	2/3 "有機区	-	-	171 (192)	157 (218)	405 (184)	183 (282)
	2/3 "全層区	-	-	109 (125)	88 (122)	130 (59)	113 (174)

注) ( )内は対照区の値を100とした場合の指数

下水汚泥の農業利用に関する研究



第4図 作物体中の Zn 濃度 (乾物)



第5図 作物体中の Cu 濃度 (乾物)

われた。しかし代替率との関係ではあきらかでなかった。

Cu についても、あきらかな傾向は得られなかった。

第12表は高分子A汚泥を供試して栽培した野菜の可食部の重金属濃度を調べたものである。この試験は昭和61年度本試験は場に併設した形で汚泥コンポストの施用が野菜類の生育収量と養分吸収に及ぼす影響を把握するねらいから行ったもので汚泥コンポスト施肥量は10aあたり1~2tとした。

これから野菜類の重金属濃度についてみると、乾物あたりの濃度は作物の種類による差が大きかった。すなわち、Znではカンショの5ppm前後からハウレンソウの110

~140ppmの範囲の値まで検出された。Cu, PbはZnほど作物による差はなかった。また、これらの分析結果から汚泥施用による重金属濃度の推移をZnのみでみると、コマツナ、コカブ(茎葉)、エダマメ、ダイコン等で汚泥施用量の増加によって濃度の高まりがうかがわれた。その他の作物ではまったく判然としない。またCuやPbについても、必ずしもZnと同様の傾向はみられなかった。

以上示したように普通作物や野菜類に対する汚泥施用にともなう作物体への重金属吸収は、Znでは供試作物の種類により、汚泥施用量の増大にともなって体内濃度

第12表 コンポスト施用が野菜類の重金属吸収に与える影響

分類	作物名	品 種 名	処理	乾 物 (ppm)				新 鮮 物 (ppm)				水分 (%)	
				Zn	Cu	Pb	Cd	Zn	Cu	Pb	Cd		
葉	コマツナ	ミスギコマツナ	0	73.5	7.0	10.6	1.00	6.98	0.67	1.01	0.10	91	
			1	62.0	6.8	10.4	1.00	5.08	0.56	0.85	0.08	92	
			2	95.5	5.7	16.1	1.20	11.65	0.70	1.96	0.15	88	
	コカブ (茎葉)	五 郎 丸	0	44.5	9.9	11.0	0.95	4.01	0.89	0.99	0.09	81	
			1	75.0	11.8	16.5	0.95	6.75	1.06	1.49	0.09	81	
			2	65.5	15.3	19.0	0.85	5.90	1.37	1.71	0.08	81	
	ホウレンソウ	タ イ タ ン	0	141	8.4	-	0.95	24.0	1.40	-	0.16	83	
			1	112	8.6	-	0.64	21.0	1.60	-	0.12	81	
			2	144	10.3	-	0.61	23.0	1.60	-	0.10	84	
	ハクサイ	金 将 2 号	0	75.2	3.5	-	-	3.91	0.18	-	-	95	
			1	57.9	3.8	-	-	3.47	0.23	-	-	94	
			2	60.7	3.6	-	-	3.16	0.19	-	-	95	
菜	チンゲンサイ	青茎パクチョイ2号	0	49.5	4.2	-	-	2.97	0.25	-	-	94	
			1	43.2	3.9	-	-	2.68	0.24	-	-	94	
			2	49.0	3.8	-	-	2.89	0.22	-	-	94	
コーサイタイ	紅 葉 苔	0	54.4	4.4	-	-	5.55	0.45	-	-	90		
		1	50.3	5.1	-	-	5.53	0.56	-	-	89		
		2	59.6	5.0	-	-	6.68	0.56	-	-	89		
果	キュウリ	近成四葉胡瓜	0	52.4	5.5	2.8	0.26	2.51	0.26	0.13	0.01	95	
			1	49.2	4.8	3.4	0.27	2.56	0.25	0.18	0.01	95	
			2	52.4	5.2	4.5	0.49	2.41	0.24	0.21	0.02	95	
	ナス	中 生 真 黒	0	37.0	4.0	4.2	0.7	3.96	0.43	0.45	0.07	89	
			1	35.0	4.0	3.6	0.6	3.96	0.45	0.41	0.07	89	
			2	35.5	3.7	4.8	0.8	3.37	0.35	0.46	0.08	90	
	丸ナス	米 国 丸 ナ ス	0	24.0	7.4	2.0	0.6	3.46	1.07	0.29	0.09	86	
			1	20.5	7.7	3.3	0.5	2.44	0.92	0.39	0.06	88	
			2	19.5	6.2	5.0	0.7	1.87	0.60	0.48	0.07	90	
	トウモロコシ	ミルキーコーン	0	45.1	3.5	2.4	-	12.36	0.96	0.66	-	73	
			1	46.6	3.0	2.6	-	12.77	0.82	0.71	-	73	
			2	42.0	4.0	3.6	-	11.51	1.21	0.99	-	73	
エダマメ	エ ン レ イ	0	33.7	10.2	3.8	0.2	9.44	2.86	1.06	0.06	72		
		1	30.5	8.8	1.4	0.2	8.54	2.46	0.39	0.06	72		
		2	45.4	7.9	4.2	0.2	12.71	2.21	1.18	0.06	72		
カボチャ		1	58.0	2.8	5.6	0.2	9.28	0.45	0.90	0.03	84		
根	コカブ	五 郎 丸	0	48.8	5.4	6.2	0.34	3.85	0.43	0.49	0.03	92	
			1	72.0	8.8	8.2	0.52	5.69	0.70	0.65	0.04	92	
			2	34.4	6.3	7.6	0.52	2.72	0.50	0.60	0.04	92	
	ダイコン	夏みの早生三号	0	29.8	3.8	4.2	0.40	1.85	0.24	0.26	0.02	94	
			1	56.8	4.8	7.0	0.50	3.24	0.27	0.40	0.03	94	
			2	61.6	6.7	7.8	0.44	3.88	0.42	0.49	0.03	94	
	カンショ	紅 高 系	0	4.8	3.7	2.1	-	1.32	1.02	0.58	-	73	
			1	4.9	3.5	2.0	-	1.35	0.96	0.55	-	73	
			2	6.4	3.7	2.2	-	1.76	1.02	0.61	-	73	
	菜	ニンジン	MS春蒔五寸人参	0	37.2	6.8	4.4	0.5	4.20	0.77	0.50	0.06	89
				1	39.1	9.0	6.8	0.3	4.30	0.99	0.75	0.03	89
				2	31.3	8.9	1.9	0.3	3.29	0.93	0.20	0.03	89
サトイモ	土 垂	0	23.2	6.4	3.4	-	4.18	1.15	0.61	-	82		
		2	34.3	4.8	8.1	-	6.17	0.86	1.46	-	82		

注) 処理: 0 (対照区), 1 (コンポスト 1t/10a区), 2 (コンポスト 2t/10a区)

の高まる場合もわかれた。その他重金属類では一定の傾向は認められなかった。

## Ⅳ 考 察

### 1 生育・収量に及ぼす影響

これまで、他県においても数多くの下水汚泥施用試験が行われているが、その多くは下水汚泥に堆肥的な効果を期待したものであった。このような意図から施用効果をねらう場合には、土壌に対して多量の投与が見込まれる。それにともない重金属類の土壌蓄積が懸念される。このようなことから本試験は、これを回避する方法として化学肥料の代替として下水汚泥中の窒素に着目しその効果を検討した。

#### 1) 高分子処理汚泥

第1～2図に示したように、高分子処理汚泥は普通畑作物に対しN代替をねらって土壌施用を行った場合、対照区の化学肥料と同等あるいはこれをうわまわる収量を示した。このことは汚泥中のNが化学肥料並に作物に吸収利用されたことを示すもので、高分子処理汚泥中のNが予想外に作物に吸収利用され易いタイプで存在していることを示している。

また、本試験の結果では、汚泥N代替率と収量との関係については判然としなかったが、今後これら汚泥についてその利用をねらう場合には、懸念される重金属の土壌蓄積を回避する立場からも好適N代替率は1/3～2/3程度にとどめる必要があろう。

#### 2) 石灰処理汚泥

石灰処理汚泥は3作目まで及びN要求量の少ないダイズでは化学肥料と同等の収量を示したが、連用を重ねると収量は低くなり、また高分子処理汚泥に比べて作物の収量は劣った。この理由の一つには、連用に伴う石灰の過剰蓄積による土壌pH値の上昇があげられよう。

すなわち、今回の試験では化学肥料の代替としての汚泥の利用をねらったことから、施用方法も化学肥料並の作条施用とした。このため、汚泥の現物が畦間に局所的に存在し、多量の石灰分の畦間蓄積が土壌pHを極度に高めこれが作物の根の伸長に大きく影響したことが考え

られる。

### 3) 汚泥の有機物的効果

有機物の施用は2/3代替区のみに行った。試験結果では有機物施用区はいずれも明らかに増収した。下水汚泥は有機物含量が高いが、有機物成分の主体は微生物菌体であり<sup>12)</sup>、C/N比は今回供試した汚泥では3.9～12.9と堆きゅう肥に比べかなり低く、こう稈類とは組成がかなり異なる。また橋元<sup>4)</sup>も指摘しているように、下水汚泥は地力増強の有機物資材とするよりも、一種の有機質肥料とみなすべきであろう。高分子及び石灰汚泥施用区で有機物の併施により収量の増加がみられることから、汚泥自体の有機物効果は小さいものと考えられる。

### 2 作物体重金属濃度

作物の重金属含有率は作物の種類による差が大きいことが指摘されている<sup>6,7,11)</sup>。西村・高橋は<sup>8)</sup>、蘚苔植物から被子植物にわたる117種の植物の重金属含量を測定した。それによれば、Znはイチョウの12ppmからミズゴケの799ppmまでの幅があり、平均で92ppmであった。同様にCuは検出限界以下のスギナからソウショウニンジンの310ppmまで平均13.7ppmであった。Zn含量は植物が高等になるにしたがって低くなる傾向を認めている。

汚泥施用が作物の重金属含量に及ぼす影響については、石灰処理汚泥を供試した南坊ら<sup>7)</sup>、道立中央農試<sup>5)</sup>ではZn, Cu含量に影響はないかあっても小さいが、真行寺ら<sup>10)</sup>によればZn含量は高まったとしている。一般に高分子処理汚泥は土壌を酸性化し、重金属の多くは酸性側で可溶化するために、石灰処理汚泥を施用した場合に比べ重金属に吸収しやすくなると考えられている。本試験では、石灰および高分子処理の汚泥を用いたが、いずれの場合もZn含量は対照区と同等かやや高まった程度であった。またCuについては、処理区間の差異は明確でなかった。

汚泥の種類では、石灰汚泥施用区におけるZnの作物体含量は必ずしも高分子汚泥施用区より低くならず、石灰汚泥を多量連用し、作物中のZn濃度が高まったとする千葉農試<sup>10)</sup>と符合した。石灰汚泥施用区の作物体Zn含量の増大は、第3図に示した石灰汚泥施用区における

pHの経時的低下によって説明できる可能性がある。つまり生育期をとおして石灰汚泥施用区のpHは低下し、その結果作物のZn吸収量が増加することが考えられる。

野菜類の重金属吸収については高分子汚泥を用いて検討したが、Znでは作物によっては高まる傾向がうかがわれた。これらの傾向は他の試験結果<sup>5, 10, 13)</sup>と同様であった。

Chaney<sup>2)</sup>は食物連鎖の関連で飼料作物中のZnの有害濃度を乾物ベース500～1,500ppm、正常濃度としては15～150ppmと推定した。本試験で供試した作物の中で最も高いZn濃度を示したのはハウレンソウの140ppmであった。前述の調査結果によれば、作物(植物)種の違いが作物自体のZn濃度に大きく特徴づけられることを考慮すれば、汚泥施用にともなう作物体内のZn濃度の増減は問題とならない範囲と考えられる。

なお本報では、下水汚泥の施用が畑作物の生育・収量に及ぼす影響と作物による重金属を含めた養分吸収状況にしぼって報告したが、さらに汚泥の施用が土壌の理化学性に及ぼす影響については次報で報告する予定である。

## V 摘 要

石灰および高分子化合物を凝集剤とする下水汚泥の畑施用が作物の生育・収量に及ぼす影響を化学肥料代替性の観点から検討した。その結果をまとめると次のとおりである。

1. 汚泥の施用によりいずれの畑作物も概ね化学肥料区と同等あるいはそれ以上の生育収量が得られ、化学肥料の代替性はあきらかに認められた。
2. 汚泥の種類別では高分子処理汚泥が石灰処理汚泥より優った。
3. 汚泥による窒素代替率をみると1/3～3/3区のレベルではあきらかな収量差はみられなかった。しかし、各汚泥系列に併設した有機物施用区の効果はあきらかにみられた。
4. 作物体の重金属濃度は汚泥施用区で亜鉛含量がやや高まる傾向があった。また、野菜類の重金属濃度は、作物によっては亜鉛が高まるが、その他の重金属では明

確ではなかった。

謝辞：本試験を行なうにあたり、県下水道課、霞ヶ浦流域下水道事務所、利根浄化センターの関係者、日立市下水道部処理センター大和田勤係長には大変な世話になった。

また、ご多忙の折、松田明場長、石川実副場長にはご校閲をいただいた。以上の方々に心から厚くお礼申し上げます。

## 引 用 文 献

- 1) 平山力ら：下水汚泥の農業利用に関する研究 第1報 下水汚泥の理化学性 茨農試研報27(1988)
- 2) Chaney, R. L.: 農地に利用した汚泥中の有害物質の挙動 下水汚泥の緑農地利用 — 国際シンポジウム — 158-209 下水汚泥資源利用協議会(1983)
- 3) 下水汚泥資源利用協議会：下水汚泥分析方法(1983)
- 4) 橋元秀教：有機物資源としての下水汚泥 下水汚泥 — リサイクルのために — 105-122 土肥学会編 博友社(1979)
- 5) 北海道立中央農試環境保全部：石灰系下水汚泥コンポストの農業利用に関する試験成績書(1986)
- 6) 前野道雄ら：農耕地における土壌、農作物の重金属含量 神奈川農総研報117 11-21(1977)
- 7) 南坊憲司ら：下水汚泥を含む土壌で栽培された農作物の重金属等に関する調査 下水道協会誌 Vol 13 No 145 44-56(1976)
- 8) 西村和雄ら：同一土壌に生育する植物の重金属組成の特徴 土肥誌52 439-444(1981)
- 9) 農林水産省農蚕園芸局農産課編：土壌環境基礎調査における土壌、水質及び作物体分析法(1979)
- 10) 真行寺孝ら：下水汚泥の多量連用が土壌及び作物に及ぼす影響 千葉農試研報27 61-70(1986)
- 11) 只野正之ら：農用地の重金属類概況調査 群馬農試研報21 37-46(1981)
- 12) 吉田富男：下水汚泥と微生物 下水汚泥 — リサイクルのために — 124-144 博友社(1979)
- 13) 山田正幸ら：汚泥連用が土壌および作物に及ぼす影響 群馬農業研究 A総合2 43-52(1985)

# 霞ヶ浦周辺干拓地土壌の改良に関する研究

## 第6報 高浜入底土の乾燥化と理化学性の変化

平山 力

### Improvement of the Polder Soil on Neighboring Areas of Lake Kasumigaura Part 6. Changes in physical and Chemical Properties of the Bottom Soil Takahama-iri on dehydrating Process

Chikara HIRAYAMA

高浜入底土の畑利用をねらう一環として、底土の乾燥化とそれに伴う理化学性の変化について底土採取後15年間追跡した。また、底土中の重金属含量についても調査した。

その結果、底土の乾燥化に伴って、土壌の酸性化、有効成分の減少、そして含水比の減少、仮比重、固相、気相の増加、透水性の増大等、土壌の物理性の変化に顕著なものが認められた。

また、高浜入底土の重金属濃度は、周辺既耕地の値と大差ないことがうかがわれた。

## I 緒 言

最近、霞ヶ浦浄化対策の一環として、湖底に沈積した底土（ヘドロ）を浚渫し、水質の改善に役立てようとする試みがなされており、さらにこれと同時に浚渫された底土を、資源リサイクルの立場から農業に利用しようとする試み<sup>1),2)</sup>も行なわれ、農業利用の立場から底土を見直す気運が高まっている。

もちろん、底土の農業利用をねらうにあたっては、底土の理化学的特徴やその後の脱水、乾燥に伴う土壌の変化の方向、底土利用による作物の生育収量状況等を事前に知ることは、きわめて重要であることはいうまでもない。このような段階において、過去にうずもれていた調査試験結果についてその概要をあきらかにすることは、きわめて意義深いものとする。

高浜入底土の農業利用については、すでに昭和46～51年の6か年間、農水省、関東農政局の委託により、ポットを中心とした基礎試験が行なわれた。このねらいには当時高浜入の2,092 haに及ぶ水域を干拓し、新造成地<sup>21) 22)</sup>を畑地として利用しようとする計画があった。干拓計

画は事情により試験継続の状態中止されたが、ここにそれらの概要と、<sup>16) 17) 18) 19)</sup>その後継続追跡した2, 3調査試験の結果の中から、ここでは底土の乾燥化とそれに伴う理化学性の変化について、その概要を報告する。

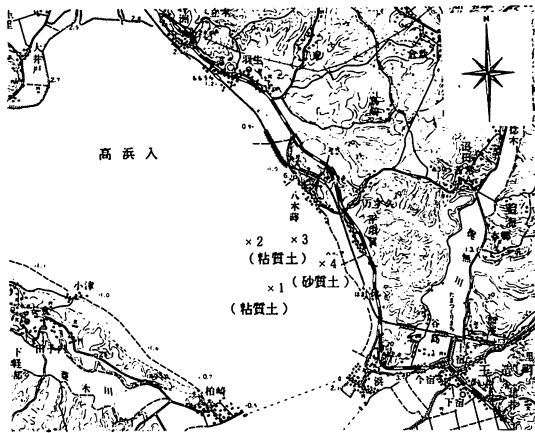
## II 調査方法

高浜入底土についての理化学的特徴とその後の脱水乾燥に伴う若干の変化については、すでに隣接干拓地土壌との比較で報告<sup>3)</sup>したとおりであるが、ここではさらにその後の乾燥化に伴う変化について追跡した。供試土壌は第1図に示す高浜入水域から採取した。なお、この場合、対象土壌として本新島干拓地上土壌表層土を用いたが、その選定した理由には、高浜入底土も今後、干拓や浚渫等、脱水乾燥が繰り返される中で、ほとんど底土の生成、母材、粘土鉱物が同一<sup>3)</sup>とみられることから、本新島土壌と同様の経過をたどることが予想されたからである。

### 1 供試土壌の概要

高浜入底土：採取場所は干拓の予定されていた高浜入





第1図 湖底土採取地点位置図

水域の南に寄ったほぼ中央部、玉造町八木蔭湖岸から約300～400 m地先、水深4～4.5 mの湖底から底土の採取を行なった。採取方法は農家の漁舟を借用し、舟体中央部に稲わらで作ったカマスを固定し、竹ざおの先端部にバケツを取り付け、手作業により湖底からすくい上げた。この場合採取した底土の湖底における採取深は、バケツの深さからみて約0～30 cm以内の堆積部位と推定された。主要な粘土鉱物についてはすでに報告<sup>3)</sup>したとおり、2:1型のモンモリロナイト系及び1:1型のカオリナイト系が主体であり、採取時は多水分のペースト状(ねり歯みがき状)を呈し、土性は手ざわりで重粘土(HC)である。土色は新鮮土で10GY 1/2の緑黒色、室内に持ち帰り風乾されると2.5Y 5/1の黄灰色に変化し、乾燥化にともなう収縮、固結の増大はきわめて大きい。

本新島土壌：霞ヶ浦南部に位置する干拓後18年目の土壌で、前述したとおり、土壌の生成、粘土鉱物組成、土性等おおむね高浜入底土に類似している。供試土壌の採取は、表層0～30 cmの層厚でこの層位では乾燥化が進みすでにジビルジル反応がみられず、土色5Y 4/2の灰色土壌に変化している部分を対象とした。

## 2 採取及び搬入時期

高浜入底土の採取は昭和46年9月27～29日、本新島土壌については同年10月25日である。また、採取し

た底土の場内搬入は、採取した日から約20日間、ペースト状の底土が、ほぼ車に積込みできる状態で脱水するまで現地にとどめ、その後行なった。

## 3 調査方法

調査の対象とした供試土は次のようである。すなわち、昭和46年9月採取した底土は場内に搬入後、ただちに畑作物栽培試験用として準備されたシンタックスポット(50 cm×44 cm×40 cm、88 ℓ容、a/455)に充填した。この場合、ポットあたりに充填した現物底土量は重量で90 kgである。充填後多水分のまま放置され、同ポットに昭和47年夏作を第1作として以来昭和51年まで5年間畑作物の栽培が行なわれた。栽培結果は後報に譲るが、その後跡地は畑状態のまま裸地条件で昭和61年まで15年間屋外に放置された。ここでとりあげた理化学性の追跡調査はこれらのポットについて、とくに無処理区を選んで対照土との比較でみたものである。

なお、当時採取した底土についても一般化学性のほかに、重金属の濃度も調査した。これについては現地採取時点の試料について分析した結果のみにとどめ、追跡調査は省略した。ここで用いた底土の一般化学性、物理性、重金属の分析法は常法<sup>4)5)6)</sup>にしたがった。

## Ⅲ 調査結果と考察

### 1 乾燥化と化学性

底土の乾燥化とそれに伴う化学性の変化は第1表に示した。

供試土は前述したとおり、作物栽培を5年間行なったこともあって、その間作物の作付けに先だってpH7.0を補正目標値とし、I層(0～15 cm)の炭カル施用による土壌改良を行なった。その後、52年より61年までの10年間はpHの補正は行なわれていない。

まず、pHについてみると、初年目でI層(0～15 cm)、II層(15～30 cm)でKCℓ浸出値5.1、5.6を示し、I層のpHはII層に比べて早くも酸性化していることが認められた。さらにこれを年次的にみると、3年目の値で炭カル施用の影響がみられたものの10年目I層のKCℓ浸出値は4.6、15年目の値は4.3と酸性化の傾向

## 霞ヶ浦周辺干拓地土壌の改良に関する研究

第1表 高浜入底土の乾燥化と化学性

(乾土 100 gあたり)

土 壤	畑 年 次	層別	pH		水溶性 C <sub>l</sub> <sup>-</sup> (%)	可酸化 性 S (mg)	T-N (%)	T-C (%)	C/N	塩基置 換容量 (m. e)			石 灰 飽和度 (%)	有効態 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Troug (mg)	りん酸 吸 収 係 数	遊 離 酸 化 鉄 (%)	無機化窒 素生成量 (30℃) (mg)		
			H <sub>2</sub> O	KCl						CaO	MgO	K <sub>2</sub> O							
本新島 土 壤 (対照土)	1 **	I	5.5	5.2	0.01	88	0.31	2.61	8.4	26.3	335	95	21	45.5	8.4	780	1.38	2.9	
	(干陸後18)		5.1	4.8	0.00	89	0.26	2.45	9.4	26.0	194	59	14	26.6	4.5	786	1.31	2.7	
	1	I	5.4	5.1	0.07	613	0.52	5.20	10.0	28.3	583	296	156	73.6	5.1	1,620	1.80	8.8	
			(昭47)	6.0	5.6	0.09	840	0.54	5.28	9.7	28.3	275	98	84	34.7	3.5	1,620	1.85	18.6
	3	I	6.6*	5.8*	0.01	544	0.47	5.03	10.7	27.5	694*	264	71	90.1	8.9	1,610	1.73	6.7	
			(昭49)	5.8	5.5	0.04	683	0.51	5.00	9.8	28.2	377	118	73	47.7	3.3	1,600	1.80	12.4
	高浜入 底 土	5	I	5.2	4.9	0.00	370	0.46	4.83	10.5	27.8	570	210	30	56.5	8.0	1,600	1.54	4.3
				(昭51)	5.8	5.3	0.04	420	0.50	4.80	9.6	28.0	362	85	67	46.2	3.3	1,615	1.74
	底 土	10	I	4.7	4.6	0.00	178	0.37	4.41	11.9	27.5	206	136	16	26.8	3.6	1,570	1.37	3.8
				(昭56)	5.5	5.2	0.02	361	0.48	4.70	9.8	28.1	320	86	65	40.7	2.7	1,600	1.60
		15	I	4.6	4.3	0.00	93	0.33	4.42	13.4	27.6	173	72	14	22.9	3.1	1,583	1.17	3.1
	(昭61)			5.1	4.8	0.01	226	0.46	4.62	10.0	28.1	246	83	40	31.3	2.7	1,600	1.53	4.8

注) I層 0~15 cm II層 15~30 cm 土壌採取: 本新島土壌昭46.10.25, 高浜入湖底土昭46.10.27~29日  
シンタックポット充填畑状態屋外放置, 2連平均値表示。\* pH補正7.0, 5年以降裸地 無処理区(2連平均値表示)  
無機化窒素生成量(30℃) = NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N 合計量を示す。 \*\* 干陸後の経過年数

はあきらかに認められた。

霞ヶ浦周辺干拓地の新鮮な底土を空気にさらし、脱水酸化を進める過程で、多くの場合強酸性化するとは、すでに小林<sup>7)8)</sup>によってあきらかにされている。すなわち、その原因は底土中に含まれている硫化物が酸化して硫酸が生成されるためであるとし、さらにこれら霞ヶ浦底土の硫化物の存在は、往年の海による影響であるとした。とくにこれらの解明の中で、硫化物から硫酸に酸化するにあたっては、硫酸還元菌が係わるが、これらの菌の活動は畑状態水分でもっとも活発化するためであることも付け加えられた。

村上<sup>9)</sup>は中海、宍道湖周辺干拓地にみられる酸性硫酸塩土壌の特徴として、酸性化する原因である硫酸根の根源は可酸化性Sであるとしている。また、ZUUR<sup>10)</sup>によれば、可酸化性Sが湖沼干拓地底土に生成される成因而して次のように述べている。すなわち、干拓地の底土は干陸前は環元状態の中で嫌気的条件下にあり、このような

条件にあつては硫酸還元菌は有機物の存在において硫酸根の還元を行ない、底土中の有機物をCH<sub>2</sub>Oで示せば、  

$$4\text{Fe}(\text{OH})_3 + 4\text{CaSO}_4 + 9\text{CH}_2\text{O} = 4\text{FeS} + 4\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{CO}_2 + 11\text{H}_2\text{O}$$

$$2\text{FeS}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 7\text{O}_2 = 2\text{FeSO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$$
 となる。そして、ここで生成されたFeSの大部分は硫黄バクテリア等微生物の働きによって、除々にFeS<sub>2</sub>になりこれが可酸化性Sの成因而結びつくとし、底土中における有機物の量が酸性化の原因となる可酸化性Sの生成に大きく影響しているとしている。霞ヶ浦周辺干拓地土壌には、県外他の干拓地土壌にもみられない多量の有機物が含まれており、この理由の一つには、すでに報告<sup>3)</sup>したとおり粘土鉱物の調査結果から底土中にアロフェンの存在がみられる点から考察しても、周辺火山灰台地からの火山灰土の混入の影響があげられ、これに起因する有機物が底土の酸性化に大きく関与していることは十分推察される。

高浜入底土についても乾燥化に伴う酸性化の内容を

みるため、本新島土壌との比較で可酸化性 S と有機物源である全窒素 (T-N), 全炭素 (T-C) の年次変化を調査した。結果では高浜入底土の初年目 II 層の可酸化性 S は乾土 100 g あたり 840 mg 含有していたのに対し、上部の I 層では 613 mg と初年目でありながら、II 層に比べて I 層の値が約 30 % 程度減少していることが認められた。さらに、I 層の含有量を 10 年目でみると 178 mg と初年目の約 1/3、15 年目では 93 mg と初年目に比べて約 1/9 と極端に低下し、値はほぼ本新島土壌並になるなど、年次の経過によってあきらかに漸減していることが認められた。さらに、T-N, T-C についてみると、初年目の高浜入底土の値は I 層の比較でみてもそれぞれ 0.52 %, 5.20 % とほぼ本新島土壌の約 2 倍と高い。しかし、これらも年次の経過に伴って値の減少する傾向はあきらかであり、この傾向は T-C に比べて T-N で目立った。

年次の経過に伴って底土中の他の化学成分の漸減する傾向はさらに石灰 (CaO), 苦土 (MgO), カリ (K<sub>2</sub>O), 有効態リン酸 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 遊離酸化鉄 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 等それぞれ同様であったが、これらの中ではとくに有効態リン酸、遊離酸化鉄に比べて置換性塩基類の減少が顕著であった。無機化窒素の生成量は初年目 I 層で乾土 100 g あたり 8.8 mg であったのに対し、II 層で 18.6 mg と I 層の 2 倍量みられたが、10 年目の I 層をみると 3.8 mg でほぼ初年目の 1/2、15 年目では 3.1 mg で初年目のほぼ 1/3 に低下し、本新島土壌並であったことがうかがわれた。なお、水溶性塩素 (Cl<sup>-</sup>) は畑状態経過 3 年目ではほとんど認められなかった。高浜入底土のリン酸吸収係数が本新島土壌に比べて高い値であったことはすでに報告<sup>3)</sup>したとおりである。

金子<sup>11)</sup> は八郎瀧底土 (重粘土: HC) の畑状態初年目と 10 年目の化学性の変化をコンクリート框栽培試験を通じて検討した。これによると、pH の変化は作付けごとに pH 矯正を行なったためにその変化を把握することは困難であったが、T-C, T-N の含有量についてみると、畑作初年目に比べて畑作 10 年目でその値は約 1/2 に減少し、さらに可酸化性 S では 10 年目で初年目

の 1/22、置換性塩基の中では CaO はあきらかではなかったが、MgO, K<sub>2</sub>O は約 1/3 に減少したと述べ、畑状態の継続は底土中の可給態養分の溶脱を助長し、地力の消耗に結びつくおそれがあると指摘した。前述したように、高浜入底土にみられた畑地化の推移に伴ってみられた化学成分の変化の傾向は、まさにこれに符合するもので、これらの底土を畑地として利用する場合には、とくにこれを補かんするための地力対策が重要であることが示唆された。

## 2 乾燥化と物理性

底土の乾燥化とそれに伴う三相割合、透水係数の変化については第 2 表に示したとおりである。

初年目の底土の含水比測定は、ポット充填の翌年夏作刈取り跡地の調査となったが、この段階での I 層の含水比は 139.5 %, II 層 181.0 % で II 層に比べて I 層における脱水・酸化促進の傾向はあきらかであった。また、5 年目 I 層をみると 74.8 % で初年目の 1/2 に減少し、10~15 年経過ではおおむね 60 % 前後とさらに僅かではあったが、乾燥化の進んでいる兆候はうかがえた。

仮比重は初年目 I 層で 0.31 g/ml であったのに対し、15 年目をみると 0.64 g/ml となっており、その値は初年目の約 2 倍に相当した。三相分布割合から I 層の気相についてみると、初年目は 9.8 % であったものが、5 年目 21.2 % と初年目の 2 倍、10 年目で 24.0 %, 15 年目に至って 24.3 % とその値は本新島土壌を凌駕するほどあきらかに増大し、孔隙率、飽水度でみられる傾向もまったく同様であった。

透水係数では初年目 I 層で 10<sup>-6</sup> オーダーを示したのに対し、5 年目で 10<sup>-4</sup> で本新島土壌並となり、10 年目に至って 10<sup>-3</sup> オーダーとあきらかに乾燥化にともなって透水性の改善されている傾向がみられた。

また、これら三相分布、透水係数の変化についても II 層に比べて I 層で乾燥化に伴う影響は大きく、この傾向は前述化学性でみた結果と同様であった。

以上、高浜入底土の畑状態経過による乾燥化と土壌の変化を 15 年目まで継続概観したが、初年目に比べてそ

第2表 三相分布と透水係数

(未風乾土)

土 壤	畑年次 (干陸)	層別	含水比 (%)	仮比重 (g/ml)	三 相 分 布 (%)			孔隙率 (%)	飽水度 (%)	透 水 係 数 (K20cm/sec)
					固 相	液 相	気 相			
本 新 島 土 壤 (対照土)	1 (18)	I	73.7	0.69	26.4	50.6	23.0	73.6	68.8	$6.3 \times 10^{-4}$
	15 (33)	I	56.5	0.72	34.1	40.2	25.7	70.9	63.8	$5.1 \times 10^{-4}$
	1 (昭47)	I	139.5	0.31	20.0	71.2	9.8	81.0	86.9	$4.1 \times 10^{-6}$
		II	181.0	0.26	14.8	80.4	4.8	85.2	94.4	$2.6 \times 10^{-6}$
	3 (昭49)	I	104.5	0.47	27.8	54.9	17.3	72.2	76.0	$1.8 \times 10^{-5}$
		II	124.8	0.38	22.2	69.3	8.5	77.8	89.1	$4.7 \times 10^{-6}$
高 浜 入 底 土	5 (昭51)	I	74.8	0.52	34.6	44.2	21.2	65.4	67.6	$1.3 \times 10^{-4}$
		II	111.5	0.45	22.7	65.7	11.6	77.3	85.0	$7.1 \times 10^{-5}$
	10 (昭56)	I	61.3	0.61	34.0	42.0	24.0	66.0	63.6	$1.8 \times 10^{-3}$
		II	93.0	0.57	21.8	63.6	14.6	78.2	81.3	$6.5 \times 10^{-5}$
15 (昭61)	I	57.6	0.64	35.5	40.2	24.3	64.5	62.3	$2.1 \times 10^{-3}$	
	II	79.0	0.62	25.7	55.6	18.7	74.3	74.8	$4.3 \times 10^{-5}$	

注) I層: 0~15 cm II層: 15~30 cm

(2連平均値表示)

の値は年次の経過によって変化し、含水比の減少、仮比重、固相、気相の増加、透水性の増大等から底土の乾燥促進がはっきり認められ、結果的には本新島土壌に近づいていることが示唆された。したがって、これらのことはあきらかに畑状態の経過が底土の脱水、乾燥にもとづく土壌構造の生成発達に寄与し、これが土壌コロイド粒子の配列さらに透水に有効な孔隙量の増大などに結びつき、これらのことが透水性を良好にしているものと考えられる。充填当初は土壌粒子のもつ著しい膨潤水のため、ゼリー状構造を呈し、透水性はきわめて悪かったが畑状態経過にもとづく土壌粒子の脱水、乾燥は著しい土壌の収縮を招来し、土粒子、土塊面にクラックの発生を惹起し、底土でみられる構造変化も塊状構造から粒状構造へと進展していったものと推察される。

八郎瀧の調査結果<sup>11)</sup>では、畑作初年目の含水比179%のときの気相率は2.7%であった。しかし、畑作10年で含水比58%、気相17.5%となっている。透水係数をみると、初年目 $10^{-5}$ オーダーであったものが、10年目で $10^{-3}$ オーダーに変化し、畑地経過に伴うこれらの変

化はきわめて大きかったとし、高浜入底土でみた調査結果も前述したとおりまったくこれに符合する形となった。

第3表 液性及びそ性限界

(未風乾土%)

土 壤	畑年次 (干陸)	層別	液性 限界	そ性 限界	そ性 指数	現含 水 土比	コン シ ン ス テ 指 数
本 新 島 土 壤 (対照土)	1 (18)	I	89.5	43.5	46.0	75.0	0.31
	15 (33)	I	79.4	49.1	30.3	55.4	0.79
	1 (昭47)	I	218.0	123.0	95.0	144.0	0.78
		II	280.0	148.0	162.0	184.5	0.59
	3 (昭49)	I	123.0	78.6	74.4	88.0	0.47
		II	238.4	88.1	150.3	125.6	0.75
高 浜 入 底 土	5 (昭51)	I	97.0	62.4	34.6	71.5	0.74
		II	174.0	79.2	94.8	117.4	0.60
	10 (昭56)	I	81.7	53.5	29.2	66.7	0.51
		II	124.0	65.3	58.7	91.0	0.56
15 (昭61)	I	76.5	51.8	24.7	59.6	0.68	
	II	106.2	60.6	45.6	82.4	0.52	

注) I層: 0~15 cm, II層: 15~30 cm (2連平均値表示)

次に底土のコンシステンシーの変化である。これらの性質と乾燥化との関係では、とくに乾燥化の進まない段階では機械作業にあたっては可塑性と粘着性で問題となり、乾燥の促進された段階では収縮、固結に伴う土塊の生成や耕耘砕土を行なうにあたって当然機械作業上支障のない土壌条件が求められる。このような立場からみれば、この種の調査は現地ほ場で行なうことが望ましいが、ここでは一応の方向性を知るねらいからポット充填底土について追跡し、その結果を第 3 表に示した。

この結果によると、I 層における液性限界、塑性限界の含水比は、畑状態経過 5 年目まではあきらかに高浜入底土が本新島土壌をうまわったが、10 年目ではほぼ同等の状態に達していることがうかがわれた。また、液性限界と現土含水比との差 / 塑性指数によって求めたコンシステンシー指数についてみると、ポット充填条件で調査したこともあったが、全般的に値はプラスとなっており、本試験で得られた値でみたかぎり、機械作業上問題はみあたらなかった。しかし、底土は脱水、乾燥に伴って土壌は収縮して密化されきわめて固い土塊とな

り、これが、耕耘の際の砕土性あるいは作物の発芽、苗立ちに支障をきたすおそれのあることはすでに述べたとおりであるが、年次の推移とこの辺の調査は本試験では省略した。

### 3 高浜入底土の重金属

既報<sup>9)</sup>では高浜入底土の重金属調査結果の記載は省略したが、底土の理化学性の調査の一環として当時採取した底土について重金属に関する調査も行なった。測定した分析試料は昭和 46 年 9 月現地で採取したものである。すなわち、第 1 図に示した地点を中心に周辺 2 か所から、1 ㍔の広口ポリビンに別々に底土を採取し、室内に持ち帰り風乾処理後、前述したとおり常法<sup>6)</sup>にしたがって分析した。分析は底土中の全量分析とし、乳鉢にて粉碎後 0.5 mm の篩を通過させた後、一定量を硫酸、硝酸、過塩素酸を添加して分解した。その後浸出液について日立製 208 型原子吸光度計を用いて分析した。この場合、対照土壌として底土採取前後に現地から持ち帰った地区周辺の既存干拓地土壌、本新島、八木、全郷入の 3 地区の I 層 (0~15 cm) も含めて分析した。結果は第 4 表に示したと

第 4 表 高浜入底土の重金属含有率

(乾土<sup>10)</sup>)

土 壤	地 点	土 性	T-C (%)	Cd	Cu	Zn	Pb	As	Ni	Cr
本新島干拓地土壌	1	HC (重粘土)	2.6	0.26	45.6	68.5	17.4	4.6	17.2	18.6
八 木	"	"	4.8	0.29	44.0	76.3	20.7	4.7	19.6	19.0
余郷入	"	"	5.9	0.30	47.6	79.3	21.5	4.5	21.3	22.4
	2	S (砂 土)	1.8	0.13	13.9	18.6	7.2	1.0	7.9	7.3
	1*(1)**	HC	5.2	0.28	51.4	78.5	21.5	5.7	20.0	19.8
	(2)	"	"	0.28	52.0	76.5	21.0	4.2	19.5	21.0
	2 (1)	"	"	0.32	48.6	79.8	23.0	5.3	21.0	18.8
	(2)	"	"	0.27	49.3	73.1	21.7	5.0	18.7	20.0
高 浜 入	3 (1)	SiC (微砂質埴土)	5.1	0.27	48.5	74.3	19.4	3.9	18.0	17.5
	(2)	"	"	0.28	50.6	73.0	18.6	3.9	18.4	17.6
	4 (1)	S	1.6	0.11	14.1	19.1	8.2	1.5	8.7	8.6
	(2)	"	"	0.12	14.1	20.5	8.6	1.7	10.0	8.6

注) \* 第 1 図参照 \*\* 地点周辺 2 か所より別々にサンプル採取した。三混酸全分析による。干拓地土壌 (0~15 cm)

おりである。

底土の水深 4.5 m 下の堆積層厚は前述したバケツの深さからほぼ 0 ~ 30 cm 程度の部分のものと推定されたが、これらについて分析した結果から高浜入底土のカドミウム (Cd) についてみると、その含有量は粘土分の多い埴土で 0.27 ~ 0.32 ppm, 砂土で 0.11 ~ 0.12 ppm を示し、この値はほとんど周辺の既存干拓地土壌の含有量と大差なかった。銅 (Cu) は埴土では 48.5 ~ 52.0 ppm, 砂土では 14.1 ppm, 亜鉛 (Zn) : 埴土では 73.0 ~ 79.8 ppm, 砂土で 19.1 ~ 20.5 ppm を示し、これらの値も隣接土壌と大差ない。鉛 (Pb) : 埴土では 18.6 ~ 23.0 ppm, 砂土で 8.2 ~ 8.6 ppm, 砒素 (As) : 埴土で 3.9 ~ 5.7 ppm, 砂土 1.5 ~ 1.7 ppm, ニッケル (Ni) : 埴土 18.0 ~ 20.0 ppm, 砂土 8.7 ~ 10.0 ppm, クロム (Cr) : 埴土 17.5 ~ 21.0 ppm, 砂土 8.6 ppm で、これらの値からうかがわれるように重金属の含有量はいずれも埴土と砂土によって大きく異なった。しかし、結果的にはこれらの値は周辺部に分布する既成干拓地土壌の値と大差ないことがうかがわれた。

浅見<sup>12)</sup>らは霞ヶ浦底質の重金属含有量を高浜入を含む 7 か所で調査した。その結果では供試底質の土性についてはあきらかではないが、平均値として、Cd 0.30 ppm, Cu 51.6 ppm, Zn 92.1 ppm, Pb 23.8 ppm, Ni 23.1 ppm, Cr 28.9 ppm であったという。また、県内農耕地土壌の非汚染土における調査結果<sup>13)</sup>から水田土壌表層土について、その平均値をみると、Cd 0.35 ppm, Cu 40.5 ppm, Zn 71.4 ppm, Pb 17.2 ppm, As 11.0 ppm, Ni 15.9 ppm, Cr 23.0 ppm であったとしている。

いずれにしても、さきの調査結果はおおむねこれら調査結果の範囲内にあるものであり、これらの値は高浜入底土も含めて霞ヶ浦を中心とした湖岸一帯沖積土壌の自然賦存量を示すものと考えられる。

#### 4 底土の乾燥化に伴う変化の方向

本試験を行なった本来のねらいは、高浜入を干拓し、畑地として利用する場合に予想される問題点を事前に知り、改善のための手がかりをあきらかにするためのものであった。このような観点から得られた知見をまとめると次のようである。

#### 1) 酸性化

底土の pH 低下の原因は、底土の乾燥酸化にもとづく水溶性硫酸の増加によるもので、この母体は可酸化性 S に起因することは前述した。本試験でみられた結果では、酸性改良を行なった 5 年目までの pH の変化は緩慢であったがそれ以降の値の低下が目立った。すなわち、初年目 I 層の KCl 浸出 pH が 5.1 であり、この時の可酸化性 S が乾土 100 g あたり 613 mg であったのに対し、5 年目では pH 4.9、この段階での可酸化性 S は 370 mg、10 年目の pH は 4.6、可酸化性 S 178 mg、15 年目をみると pH は 4.3 と 10 年目の値に比べて値は低下しているが、可酸化性 S の含量をみると 93 mg で、この値はすでに安定したとみられる本新島土壌とほぼ同等となっている。

一方、底土の乾燥に伴う pH の変化を追跡する場合、可酸化性 S を含みながら、インキュベートを行なっても pH の低下がきわめて小さい場合が認められる。このような例の多くは、新鮮土でとくに土壌中の塩類含量や Fe(II) 含量の高い脱水酸化の進まない場合にみられる。

作付け時点で 6 ~ 7 程度の好適 pH を示していたため炭カルの施用等の土壌改良を省略し、そのまま作物栽培を進めると、その後底土中の脱塩、酸化が促進されることによって、pH が急激に 4.0 以下に低下し、生育途中で酸性障害の発生を招くことがある。このような土壌については、その後土壌を急激に乾かさないように工夫することや、炭カル等石灰資材追施による中和等、その時点で適切な土壌管理には十分留意する必要がある。

#### 2) 土壌の化学成分の溶脱

底土中にはもともと有効態リン酸含量の少ないことはすでに報告<sup>3)</sup>したが、窒素の変化を本調査結果からみると、全窒素 (T-N) で初年目 I 層 0.52 % であったものが、10 年目で 0.37 %、15 年目で 0.33 % とあきらかに含有量の低下が認められた。また同時に底土から無機化してくる無機態窒素を  $\text{NH}_4 - \text{N} + \text{NO}_3 - \text{N}$  の含量でみると、初年目 I 層で乾土 100 g あたり 8.8 mg、II 層 18.6 mg あったものが 5 年目で I 層 4.3 mg、15 年目で 3.1 mg と漸減した。同様に置換性塩基、遊離酸化鉄等の推移をみると前述したとおりいずれの成分も年次の経過に伴なっ

## IV 摘 要

てあきらかに溶脱していることが認められており、とくに畑地利用を意図するにあたっては、石灰質資材等や有機物の施用に留意し、地力維持増強対策をはかることが重要である。

## 3) 機械作業への影響

初年目のI層の含水比139.5%, II層181.0%, 5年目でみるとI層74.8%, II層111.5%と5年目のI層の値は、対照土として用いた本新島土壌とほぼ同等となり、コンシステンシー指数の調査結果では初年目よりほとんどプラスを示し、機械の走行難易の面からみれば、問題はなかった。これらの結果はあくまでもポット条件であったが、このことはあきらかに畑条件の経過が、以外と早く底土の脱水、乾燥を早め、容易に機械利用上支障のない条件確保が得られ易いことを示唆するものと考えられる。しかし、底土は粘土含量の多い重粘土であり、問題はこれらの乾燥固結による土塊の生成である。佐藤ら<sup>14)</sup>は耕耘の立場から重粘性土壌の土塊分布の異なるほ場でニンジン栽培の結果、大土塊(直径3cm以上)の多い区は、発芽、初期生育がきわめて不良であり、その後の水管理の適切でない場合には収量にも著しく影響したと報じており、さらに籠橋ら<sup>15)</sup>は水稲作跡地ほ場で大土塊(直径2cm)と小土塊(直径2cm以下)および標準(慣行砕土)の3区を設け、そ菜類を供試して検討した。その結果、そ菜類の根の発育は土塊の大小によりあきらかに差異があり、大土塊区は根群は垂直型、太根が多く根毛の発生が比較的少なかった。これに対して小土塊区の根群は、畦の上層部に水平に分布し、細根が多かったとし、さらに根菜類では大土塊区で著しく品質低下をもたらすものがみられたという。

一般に重粘土は砕土が困難であるため土塊が粗大となり易い。作土中における土塊の存在は、土壌の孔隙あるいは水分状態に関与し、作物の根の伸長に大きく影響することは当然予想される。したがって、このような土壌においてはとくに土塊の生成をできるだけ回避できるような土壌管理上の配慮が重要となる。

高浜入底土の畑利用をねらう一環として、底土の乾燥化とそれに伴う理化学性の変化について、シンタックスポット充填条件で追跡調査を行なった。また供試底土採取時点での重金属含有量についても調査した。以上の結果を要約するとつぎのようである。

1 底土の脱水、乾燥化が促進されるに伴って、土壌のpHの低下はあきらかに認められ、とくにその傾向は底土中の塩基類の溶脱がかなり進んだ段階で顕著になる傾向がうかがわれた。

2 底土の乾燥化は、土壌中の有効成分の溶脱を促すが、とくに底土を畑地として利用するにあたっては有機質資材や土壌改良資材の施用等、地力保全対策が重要となることが示唆された。

3 乾燥化によって、底土の含水比の減少、仮比重、固相、気相の増加、透水性の増大等土壌の物理性の内容に顕著な変化のあったことが確認され、ほぼ10年目で本新島土壌に近づいていることがうかがわれた。

4 底土中の重金属含有量は、おおむね霞ヶ浦を中心とした湖岸一帯の沖積土壌の自然賦存量を示していることがうかがわれた。

なお、本研究の一部は、昭和52年4月8日に開催された日本土壌肥料学会(於:宇都宮大学)において発表した<sup>20)</sup>。

謝辞: 本研究を行なうにあたり、絶えず親切なご助言とご指導をいただいた、元農試化学部長石川昌男氏(後場長、現退職)、同吉原貢氏(後副場長、現退職)ほか、関係者の方々、さらに元農地計画課主査宮本正氏(後専技、現退職)、関東農政局高浜入干拓事務所の関係者の方々には本研究を推進するにあたって大変ご協力、ご援助をいただいた。また、ポットの管理や分析試料の調整など実際実施するにあたって絶えずおしめないご協力をいただいた農試管理部技師、笹沼照子氏、同技術員小坪まさ子氏ほか関係者の方々に対して、心から感謝の意を表すると共に心から厚くお礼を申し上げる。同時にご多忙中にもかかわらず、本稿のご校閲をいただいた農試場長松田明氏、同副場長石川実氏に対し心から厚くお礼を

申し上げる。

### 引用文献

- 1) 茨城農試：昭和 61 年度，試験成績概要書 P 122 (1987)
- 2) 隅田裕明，山本一彦，松坂泰明：湖沼底泥の水田客入効果について，日土肥誌，52，No.6 (1981)
- 3) 平山力ら：霞ヶ浦周辺干拓地土壌の改良に関する研究，茨農試特研報，No.3 (1977)
- 4) 土壌養分測定法委員会編：土壌養分分析法 (1970)
- 5) 土質工学会編：土質試験法 93～132 (1970)
- 6) 農林水産技術会議：土壌及び作物体中の重金属分析法 (1971)
- 7) 小林 嵩：干拓地不良土壌改善に関する研究，茨城農試臨時報告，3 (1939)
- 8) 小林 嵩：湖沼干拓地不良土壌の改良に関する研究，農林省農地局計画部資源課 (1951)
- 9) 村上英行：中海，宍道湖地域における酸性硫酸塩土壌の分布とその特性，酸性硫酸塩土壌の特性と改良法 (第 1 報)，日土肥誌，38，No.4 (1967)
- 10) Zuur, A. J : Soil Sci , 74, 75 (1952)
- 11) 金子淳一：八郎瀧干拓地ヘドロにおける機械化適応性の向上と耕地化過程に関する研究，秋田農試研報，22, P 98～100 (1977)
- 12) 浅見輝男，三瓶英敏：霞ヶ浦および流入河川底質の重金属分布 (第 2 報)，霞ヶ浦底質のカドミウムなど重金属の分布，日土肥誌，50，2，(1979)
- 13) 茨城県公害技術センター：農用地等における重金属類自然賦存量調査結果報告書 (1985)
- 14) 佐藤雄夫，湯村義男：耕耘の立場からみた重粘性土壌の物理性に関する研究，東海近畿農研報 19 (1970)
- 15) 籠橋 悟ら：水田導入野菜類の生育におよぼす土壌空気および土塊の大きさの影響に関する研究，20 (1970)
- 16) 茨城農試：高浜入干拓畑地化新技術開発調査試験成績書 (1972)
- 17) 茨城農試：高浜入干拓畑地化新技術開発調査試験成績書 (1973)
- 18) 茨城農試：高浜入干拓畑地化新技術開発調査試験成績書 (別冊) (1973)
- 19) 関東農政局高浜入干拓事務所，茨城県：高浜入干拓畑地化新技術開発調査試験成績書 (1974)
- 20) 平山 力ら：土肥要旨集 23 P 104 (1977)
- 21) 関東農政局：国営高浜入土地改良事業計画書 (高浜入干拓) (1968)
- 22) 関東農政局高浜入干拓建設事業所：高浜入干拓建設事業概要 (1969)



# 霞ヶ浦周辺干拓地土壌の改良に関する研究

## 第7報 高浜入底土の乾燥化と畑作物の生育適応性

平山 力

### Improvement of the Polder Soil on Neighboring Areas of Lake Kasumigaura Part 7. Growth Adaptability of Upland Crop on the Bottom Soil of Takahama-iri

Chikara HIRAYAMA

高浜入底土を利用して畑作物の栽培を行なう場合、底土の乾燥化とそれに伴う生育の適応性を各種畑作物を供試して5か年間ポット試験により検討した。

その結果、石灰資材等の施用による土壌改良を行えば高浜入底土においても、おおむね、既耕地土壌と同等あるいはそれをうわまわる生育収量の得られることがあきらかになった。

## I 緒 言

供試底土は水深4.5mのところ堆積していた底泥であったことから、採取直後は極度に和 waters されたチェリー状構造をもった土壌<sup>1)2)</sup>である。したがって、これらの底土を用いて畑作物を栽培するにあたっては、まず、底土の乾燥をいかに早く促進させ、各畑作物の発芽、苗立ち、根の伸長を容易にする土壌条件をどうして確保するかその手法を知ることが必要であるが、同時にこのような底土を利用して畑作物を栽培する場合、その生育収量性に及ぼす影響はどうかその適応性を検知することは、今後これら底土の農業利用を考える場合、きわめて重要である。

このようなことから、ここではまず手始めに、高浜入底土の肥沃の程度を知るために(1)、畑作物の三要素試験、続いて底土の物理性改善、酸性化防止等、底土の理化学性改善を資材施用の面からねらった(2)、改良資材施用効果試験、さらに底土の乾燥化に伴う各種畑作物の生育適応性を知るための(3)、畑作物の生育適応性試験等を昭和47年から51年までの5か年間、ポット試験により若<sup>9)10)11)12)</sup>干の検討を試みた。その結果、2、3の知見が得られた

のでその概要について報告する。

## II 高浜入底土における畑作物の 三要素試験

高浜入底土における施肥の効果と肥沃の程度を知るため、畑作物を供試してポット栽培試験を行なった。

### 1 試験方法

1) 試験規模：a/2,000ポット試験の2連制である。供試底土は高浜入湖中央から昭和46年9月に採取したものを場内に搬入し、さらに脱水期間において昭和47年3月ポットに充填した。充填時の水分含量は69.5%、含水比162%、仮比重0.35g/mlのものをポットあたり12kg充填した。供試底土の理化学性は第1～2表に示したとおりである。

底土中には粘土が49.2%含有し、新鮮生土のpHが、充填時測定値で6.7、さらにこれを畑状態で経過後のpHが4.5、全窒素(T-N)、全炭素(T-C)がそれぞれ0.53%、5.16%、塩基置換容量(C.E.C)が28.3m.e石灰含量乾土100gあたり263mg、有効態りん酸(トルオーグ法)乾土100gあたり3.6mgである。

第1表 供試底土の理化学性

(乾土あたり)

粒 径 粗 成 (%)					pH		T-N	T-C	CEC	Cl <sup>-</sup>	置 換 性 塩 基 (mg/100g)				有効態 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (トルオーグ) (mg/100g)	
CoS	FS	Silt	C	土性	新鮮 生土	畑状 態土	風乾土 (%)	(%)	(m.e)	(%)	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O		
1.7	18.9	30.2	49.2	HC	6.7	4.5	5.3	0.53	5.16	28.3	0.08	263	96	75	100	3.6

(分析 昭47.3)

第2表 供試底土の容積重

土 性	水 分		容 積 重 (g/100cc)	三 相 分 布 (%)			孔 隙 率 (%)
	水分率 (%)	含水比 (%)		固 相	液 相	気 相	
HC	69.5	162.0	34.6	20.3	70.2	9.5	79.7

2) 区の構成及び施肥量：第3表に示したとおりである。

第3表 試験区の構成

区別	項目	(g/ポット)				
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	炭カル	堆肥
無石灰三要素区		1.0	1.0	1.0	0(0)	0
三要素区		1.0	1.0	1.0	100(7.2)	0
無肥料区		0	0	0	100(7.2)	0
無窒素区		0	1.0	1.0	100(7.2)	0
無りん酸区		1.0	0	1.0	100(7.2)	0
無加里区		1.0	1.0	0	100(7.2)	0
石灰倍量三要素区		1.0	1.0	1.0	200(0)	0
堆肥三要素区		1.0	1.0	1.0	100(6.5)	50
対照A(沖積土)区		1.0	1.0	1.0	20(0)	0
対照B(火山灰土)区		1.0	1.0	1.0	100(2.0)	0

- 注) 1. N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, 塩安, 過石, 塩加, ( 内再補正置(第2作)  
 2. 酸度改良目標値 pH 7.0 (供試原土 pH 4.5 - 畑状態)  
 3. 対照A区: 沖積土(既耕地水田-本新島土壌表土・土性・LiC)  
 対照B区: 火山灰土(農試畑は場-水戸市上国井町, 土性, L)  
 4. 堆肥: 完熟堆肥

区の構成は無石灰三要素区, 三要素区, 無肥料区, 無窒素区, 無りん酸区, 無加里区, 石灰倍量三要素区, 堆肥三要素区, そして対照区としてA(沖積土)区とB(火

山灰土)区を設けた。対照区として供試した沖積土は, 本新島干拓地土壤表土<sup>3)</sup>(0~30cm)を用い, 火山灰土は農試水田は場表土(0~30cm)とした。

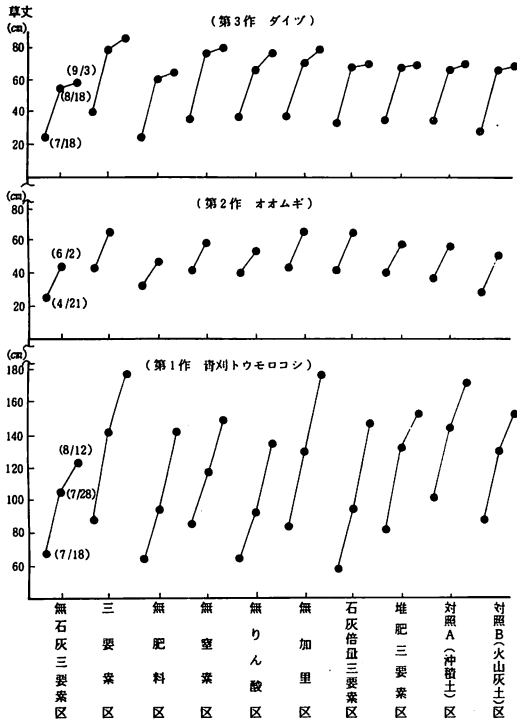
無石灰三要素区以外はいずれも作付けにあたって炭カル施用による酸度改良を行ない, この場合の補正は, 供試土の畑状態時のpH値, 4.7を改良目標値7.0にするに要する炭カル量を試算し施用した。施肥量はポットあたりN, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>Oをそれぞれ1.0g, 炭カルはそれぞれの区にポットあたり100g, このうち対照区(沖積土)は50g, 2倍量区は200gとなった。なお2年目も作付けにあたって炭カル施用による酸度改良は行なったが, この場合は, それぞれポットあたり7.2g, 堆肥三要素区は6.5g, さらに対照区(火山灰土)について2g施用した。堆肥施用区は完熟堆肥をポットあたり50g施用した。

3) 供試作物: 第1作は青刈トウモロコシ(交1号), 第2作, オオムギ(ムサシノムギ), 第3作ダイズ(農林2号)とし, 栽培法は耕種基準にもとづき第1作青刈トウモロコシは播種6月24日, 刈取り8月12日, ポットあたり3株とした。第2作オオムギは播種11月2日, 刈取り6月2日, ポットあたり3株とした。第3作ダイズは播種5月20日, 刈取り11月5日, ポットあたり3株とした。

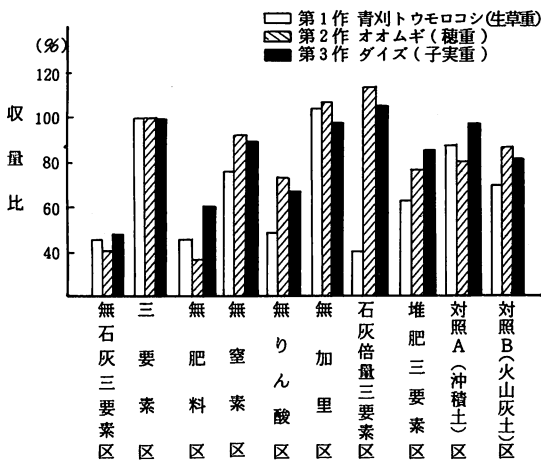
## 2 試験結果

### 1) 生育収量

第1作から第3作までの各作物の生育収量をまとめて第1, 2図に示した。



第1図 各作物の生育



第2図 三要素, 石灰施用の効果

これより, まず第1作の青刈トウモロコシの生育収量をみると, 播種時における底土の水分含量は69.5%とかなり多水分条件であったが, ポット条件でごく表層土の部分は乾燥され易かったこともあって, 多湿による発芽

障害もみられず苗立ちは順調であった。その後の生育では, 一般的に底土の各区は対照土区等に比べて生育は若干劣る傾向がみられたが, その後生育はとり戻し, とくに三要素区, 無加里区の生育はあきらかに対照A(沖積土)区をうわまわった。これに対し無肥料区, 無りん酸区は一般的に生育は劣る傾向を示した。無窒素区は初期の生育は無加里区同様他区をうわまわる傾向にあったが, その後の生育は対照B(火山灰土)区並の様相を呈した。無石灰区の生育は, さきの無窒素区の生育と同様, 初期から生育中期の7月中旬頃まで生育は順調であったが, 7月の28日の生育調査時点あたりから生育抑制の兆候がみられ, 生育後期の8月12日の調査時の観察では, 葉先が黄褐色に変色するなど酸性障害の発生が目立ち, 生育は完全に抑制された。これに対して石灰を補正目標値相当量の2倍量投入した区の生育についてみると, 生育は初期に極端に抑制され, この状態は生育中期頃まで及んだが, 後半に至ってから生育はとり戻し, 結果的には堆肥三要素区と同等になった。

また, 堆肥三要素区の生育は各処理区の中では無加里区, 三要素区について良好であったが, 生育の特徴としては初期, 中期の生育は比較的良好であったが, 後期の生育はやや抑制される傾向がうかがわれた。

第2作はオオムギを栽培した。生育は第1作でみた栽培結果とほぼ同様, 無加里区がもっともよく, ついで三要素区, 石灰倍量三要素区, 無窒素区, 堆肥三要素区の順となり, 対照A(沖積土)区の生育は, 一般的にみてこれらよりやや劣った。これに対して, 無りん酸区, 無肥料区, そして対照B(火山灰土)区の順に生育は劣る傾向を示し, 無石灰三要素区は第1作でみた結果と同様生育全般をとおして劣る傾向を示した。

第3作のダイズについてみると, その生育は三要素区 > 無窒素区 > 無加里区 > 無りん酸区の順となったが, これらの区の生育は対照としたいずれの区よりも生育はうわまわる傾向を示した。しかし, 無肥料区, 無石灰三要素区については前回同様, 生育全般をとおして劣った。

収量はおおむね生育に符合したが, 第1作の青刈トウモロコシについてみると, 最高収量は生草重で無加里区,

ついで三要素区、対照A(沖積土)区さらに無窒素区の順となり、無りん酸区、無肥料区、無石灰三要素区、石灰倍量三要素区は全般的に劣り、これらの中では石灰倍量三要素区の収量低下が目立った。

つぎに第2作のオオムギについてみると、穂重は石灰倍量三要素区がもっともよく、前作の傾向とは逆の傾向を示した。ついで無加里区、三要素区、対照B(火山灰

土)区、対照A(沖積土)区、堆肥三要素区、無りん酸区の順となり、無肥料区、無石灰三要素区の収量は極端に劣った。第3作ダイズ子実収量の結果は第2作と同様の傾向であった。

2) 養分吸収

窒素、りん酸、加里含有率及び吸収量を第1作青刈トウモロコシについて示したのが第4表である。

第4表 肥料成分吸収量(第1作・青刈トウモロコシ)

区 別	項 目	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O	
		含有率(%)	吸収量(g)	含有率(%)	吸収量(g)	含有率(%)	吸収量(g)
無石灰三要素区		0.65	1.37	0.37	0.78	2.40	5.04
三要素区		0.75	2.48	0.63	2.08	2.93	6.38
無肥料区		0.68	0.85	0.52	0.65	2.20	2.75
無窒素区		0.65	1.63	0.25	0.38	2.50	3.75
無りん酸区		1.02	1.26	0.18	0.22	2.40	2.95
無加里区		0.53	1.56	0.37	1.09	2.51	7.40
石灰倍量三要素区		0.78	0.94	0.25	0.30	3.01	1.21
堆肥三要素区		0.75	1.16	0.35	0.54	2.42	3.75
対照A(沖積土)区		0.59	1.44	0.30	0.74	1.43	3.50
対照B(火山灰土)区		0.58	1.37	0.33	0.41	2.20	3.60

これによると、生育収量のまさった三要素区、無加里区の窒素、りん酸、加里の吸収量は、いずれも対象に比べて高く、生育収量の劣った無りん酸区のりん酸吸収量

はあきらかに劣った。

3) 跡地土壌の化学性

化学性は第1作と第3作跡地について第5表に示した。

第5表 跡地土壌の化学性

(乾土あたり)

区 別	項 目	pH		全炭素 (T-C) (%)	全窒素 (T-N) (%)	C/N	有効態 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	置換性塩基 (mg/100g)		
		H <sub>2</sub> O	KCl					CaO	MgO	K <sub>2</sub> O
第1作 (青刈 トウモ ロコシ)	無石灰三要素区	5.74	4.54	5.23	0.51	10.3	6.4	245	178	185
	三要素区	7.23	7.14	5.10	0.49	10.4	7.3	536	224	179
	石灰倍量三要素区	7.70	7.48	5.12	0.47	10.9	6.5	724	247	170
	堆肥三要素区	5.98	4.48	5.62	0.53	10.6	8.9	552	231	185
	対照A(沖積土)区	6.05	5.70	3.44	0.26	13.2	10.4	153	41	64
第3作 (ダイズ)	無石灰三要素区	4.20	3.93	5.05	0.50	10.1	7.0	235	180	164
	三要素区	5.75	5.30	5.02	0.47	10.7	8.0	520	210	165
	石灰倍量三要素区	6.90	6.73	4.80	0.43	11.2	6.1	658	230	151
	堆肥三要素区	5.12	4.76	5.65	0.50	11.3	9.2	530	212	167
	対照A(沖積土)区	6.10	5.64	3.41	0.28	12.2	10.7	156	45	60

(作土)

これによると、第1作、第3作の跡地pHはいずれも無石灰三要素区で低下していることが認められたが、同時に堆肥三要素区の値の低いことも目立った。全窒素、全炭素は対照A（沖積土）区に比べていずれの区も約2倍の含有量を示したが、底土処理区の中ではとくに石灰倍量三要素区でいずれの値もやや低下していた。また、生育では第1作目極端に抑えられた石灰倍量三要素区のpHは7.48の高い値にとどまっていることがみられたが、高収量の得られた第3作目のpHをみると6.73とほぼ目標値レベルにとどまっていることが認められた。有効態りん酸含量は第1作で乾土100gあたり6.4～8.9mg、第3作で6.1～9.2mgと対照A、B区10.4～10.7mgに比べて底土各区は低く、これに対して底土の置換性塩基は石灰含量では無石灰区以外、乾土100gあたり500～700mg、苦土200～250mg、加里150～180mgの範囲であったのに対し対照土区のそれらは150mg、40mg、60mg程度の含有量に比べて一般的に高かった。このように跡地の分析結果によってもさきの生育収量の様相がうかがい知れる。

### 3 考察

以上、高浜入底土を供試して、その底土の本来持っている肥沃性を知るねらいから、ポット試験によって2～3畑作物を供試して栽培試験を行なった。用いた供試土はこの段階においては水分含量が多く、十分に脱水、乾燥の進んでいない生土であったが、冬作物とも播種後における発芽、苗立ちは一般的に良好で、その後の生育も順調であった。

生育結果を概観すると、まず高浜入底土は無石灰の状態で経過させると酸性化する特徴がみられることからこれを矯正するための石灰施用による土壌改良の効果は顕著に認められた。したがって、これら底土の農業利用を意図し、今後これら底土を用いて畑作物等の栽培を行なう場合には、必須として石灰施用によって十分な土壌改良を行なう必要のことがうかがい知れた。すなわち、作付けにあたって、炭カル等の石灰資材を用いて土壌改良を行なえば高浜入底土においても既耕地並あるいはそれをうわまわる生育・収量の得られる見通しがあきらかに

なった。

各処理区の中では無加里区の生育収量が全作をとおしてよく、いずれも三要素区並かこれをうわまわった。無窒素区は全般的にみれば三要素区をやや下まわったもののほぼ対照A（沖積土）区並であることがうかがわれ、これらの栽培試験結果からみた範囲では、加里や窒素の肥沃性では、かなり期待できることが示唆された。

無りん酸区は全般的に劣る傾向を示した。これらの理由の一つには、乾土100gあたり3.6mgの有効態りん酸含量という県内既耕地土壌<sup>4)</sup>等の比較でみても少なかったことがあげられる。

また、本試験では堆肥の施用効果があきらかでなかった。とくに全作の生育をとおしてみられた特徴として、堆肥区は生育後半の抑制が目立った。このことは前述したとおり、堆肥施用区では跡地のpHが低下し、酸性化していたことが一つの原因としてあげられよう。酸性化を促進させた理由についてはあきらかではないが、一つには、堆肥等の底土混入が、ポットの底土表層部の通気性、通水性の変化に影響し、これが底土の脱水、乾燥の促進に結びつき、このようなことから底土表層部分の酸性化が進み、これが根の伸長にかなりかかわっていたことが考えられる。

## Ⅲ 改良資材施用効果試験

重粘性で和湿度が高く、乾かすことにより酸性化すると同時に固結する特徴をもつ底土の理化学性の改善をねらい、石灰による酸性改良のほかにモミガラ、生ワラ等の粗大有機物の投入・さらに砂客土、EB-a等高分子化合物を原料とした土壌団粒剤の添加による改良効果を各種畑作物を供試してポット試験で検討した。

### 1 試験方法

1) 試験規模：a/2,000のポットを用い2連制とした。底土の充填は、現地より採取しカマスに入った状態で場内に搬入したものをよくほぐし、ポットあたり12kg充填した。充填時の底土の水分含量は69.5%、含水比162%、容積重は0.35g/mlであった。供試底土の理化学性は前述

(第 1～2 表参照)したとおり、概要は次のようである。

すなわち、粒径組成分析による粘土含量は 49.2% で土性は HC (重粘土) に該当する。土壌 pH は採取時点の新鮮土で 6.7, 畑状態 (上述水分率 67.5%) で 4.5, 新鮮土をそのまま急激に室内で脱水風乾した場合 5.3 といずれの場合も酸性化した。全窒素・全炭素は 0.53%, 5.16% を示し、CEC は 28.3 m.e と周辺既耕地水田土壌に比べて若干大きい傾向がうかがわれたが、底土の塩基含量は中庸である。

2) 区の構成と資材施用量: 区の内容は第 6 表に示した。改良資材の施用は充填したポットの作土部分 (0～15 cm) を対象に、試験開始時に行ったが、石灰施用によ

る酸度改良は第 2 作目の作付前も行ない、この場合の補正目標 pH は 7.0 とした。なお、ポットあたりの各資材量をそれぞれ 10 a あたりの施用量に換算すると、砂客土 (CL) 区: すなわち、土性を手ざわりで埴土を埴壤土まで持っていくのに要する砂混入量で 20 t, 同様 SL 区: すなわち、砂壤土に持っていくのに要する砂混入量で 40 t となり、モミガラ、生ワラでは少量区で 1 t, 多量区で 2 t に相当する。また、EB-a は少量区で 3 l, 多量区で 6 l となり、実際の処理にあたっては、原液を水 100 倍にうすめて用いた。施用量はポットあたり N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O でそれぞれ 1.0 g を塩安、過石、塩加で施用した。

第 6 表 試験設計

(g/ポット)

区 別	項 目	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	改 良 資 材				
					炭カル	砂	モミガラ	生ワラ	EB-a
無 処 理 区		1.0	1.0	1.0	0 0	—	—	—	—
石 灰 施 用 区		"	"	"	(100)13.6	—	—	—	—
砂 客 土 (CL) 区		"	"	"	( " )11.0	(1,000)	—	—	—
" (SL) 区		"	"	"	( " ) 8.0	(2,000)	—	—	—
モミガラ少量区		"	"	"	( " )12.5	—	( 50)	—	—
" 多量区		"	"	"	( " )11.0	—	(150)	—	—
生ワラ少量区		"	"	"	( " ) 6.8	—	—	( 50)	—
" 多量区		"	"	"	( " ) 6.8	—	—	(150)	—
EB-a 少量区		"	"	"	( " ) 8.0	—	—	—	(1.5)
" 多量区		"	"	"	( " ) 6.8	—	—	—	(3.0)
EB-a + 生ワラ少量区		"	"	"	( " ) 6.8	—	—	(150)	(3.0)

備考: N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O は作付けごとに塩安、過石、塩加で ( ) 内は試験開始時施用。炭カル ( ) 外数字は第 2 作作付け前の再補正量を示す。EB-a (陽荷電高分子化合物) ……タキイ種苗 KK

(CL): 土性が埴壤土になるまで砂を混入した。

(SL): 土性が砂壤土になるまで砂を混入した。

3) 供試作物と耕種概要: 第 1 作イタリアンライグラス (鳥取在来), 第 2 作, インゲン (新江戸川インゲン), 第 3 作, オオムギ (ムサシノムギ) を供試した。耕種概要はイタリアンライグラスの播種, 11 月 17 日, 播種量ポットあたり 0.3 g, 第 1 回刈取り 2 月 22 日, 第 2 回刈取り 4 月 24 日, ポットは場内ガラス室にセットした。インゲンの播種は 5 月 25 日, ポットあたり 3 株, 刈取り 8

月 11 日, オオムギは播種 11 月 12 日, ポットあたり 3 株, 刈取り 6 月 8 日である。なお, イタリアンライグラス跡のインゲン, オオムギは場内網室を使用し, イタリアンライグラス栽培跡地のインゲンの播種は前作の残根を十分取り除いて行った。

## 2 試験結果

1) 生育収量: 各作物の試験結果をそれぞれの収量で

第3図に示した。これによると、底土に対する各種改良資材の施用効果はあきらかに認められ、とくに石灰、モミガラ区で顕著であった。また、土壤改良剤EB-aの施用は、第1作目イタリアンライグラスの栽培でその効果はみられたが、第2作以降その効果は次第に漸減する傾向を示した。これに対して、生ワラの施用は第1作目でその効果はきわめて少なかったが、第2、3作目では次第にその効果が認められ、とくに第3作目のオオムギでは多量施用区で最高の収量が得られた。また、砂客土についてみると、全般的にその効果は少なく、EB-a、生ワラ併用区もほぼ同様の傾向がうかがわれた。

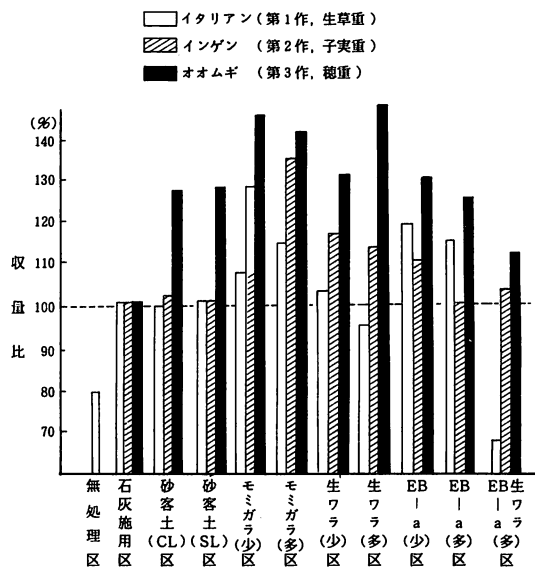
つづいて改良資材の少量、多量施用と生育、収量との関係についてみると、全般的に少量区でまさる傾向がみられたが、前述したとおり、生ワラ施用区のみは第3作目で最高収量となった。

無石灰区の生育は各作を通して全般的に劣り、とくに第2、3作目の栽培では、生育半ばにして酸性障害の発生を招き、いずれの作物も葉先より黒褐色に変色し、次

第に枯死状態になり収穫はほとんど期待できなかった。

2) 肥料成分の吸収量

肥料成分の含有率、吸収量については第7表に示した。



第3図 改良資材の施用と畑作物の収量

第7表 肥料成分吸収量

(ポットあたり)

区 別	項 目	N				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>				K <sub>2</sub> O			
		含有率(%)	吸収量(g)		含有率(%)	吸収量(g)		含有率(%)	吸収量(g)				
イタリアン ライグラス (第1作)	石灰施用区	4.2	10.1		0.46	1.11		4.71	11.4				
	砂客土(SL)区	4.2	9.8		0.46	1.08		4.80	11.2				
	モミガラ(多)区	4.5	11.3		0.48	1.21		4.90	12.3				
	生ワラ(多)区	4.1	9.4		0.48	1.10		4.90	11.2				
	EB-a(少)区	4.5	10.3		0.45	1.30		4.73	13.7				
オオムギ (第3作)	石灰施用区	(稈) 0.49	(穂) 3.1	(稈) 2.2	(穂) 8.2	(稈) 0.15	(穂) 0.8	(稈) 0.68	(穂) 2.1	(稈) 3.3	(穂) 1.4	(稈) 15.0	(穂) 3.7
	砂客土(SL)区	0.53	2.7	3.2	9.2	0.15	0.7	0.90	2.4	3.0	1.3	18.2	4.4
	モミガラ(多)区	0.56	3.3	3.4	11.6	0.14	0.7	0.85	2.5	3.3	1.5	20.1	5.3
	生ワラ(多)区	0.59	3.2	3.8	12.5	0.14	0.8	0.90	3.1	3.3	1.6	21.1	6.2
	EB-a(少)区	0.48	3.0	2.7	9.6	0.15	0.7	0.80	2.2	3.4	1.2	19.0	3.8

ここでは第1作のイタリアンライグラスと第3作のオオムギについて示したが、N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>Oの含有率、吸収量いずれも、生育収量のまさった各区の値がおおむね他の区に比べてまさる傾向がみられ、とくに第1作のイタリアンライグラスのモミガラ多量区、第3作オオム

ギにおける生ワラ多量区のN吸収量の高い値が目立った。

3) 跡地土壌の理化学性

底土に対する改良資材の施用効果は、上述したとおり畑作物の栽培をとおしてあきらかにみられたが、これらの効果と跡地土壌の作土の理化学性との関係をみたのが

第 8 表である。ここでは第 1 作と第 3 作跡地の土壤三相割合と pH の変化、そして第 3 作跡地の化学性について示した。これより気相率をみると、いずれも無処理区に比べて改良資材施用区で高い傾向がみられ、とくに高い収量を示したモミガラ施用区で顕著となった。すなわち、第 1 作跡地無処理区の気相率が 12.6%であったのに対し、モミガラ施用区は少量区で 21.4%、多量区で 22.7%といずれも値はうわまり、第 3 作跡地においても無処理区 21.2%に対してモミガラ少量区 27.0%多量区 28.1%と値は高く、第 1 作跡地の結果と同様であった。次に固相率をみると、第 1 作目跡地では無処理区の固相率 28.6%であったのに対し、モミガラ少量区 24.1%、多量区 19.1%、生ワラ少量区 27.9%、多量区 25.0%の値からあきらかなように、無処理区に対して有機物資材施用各区の値の低いことが目立ったが、第 3 作目跡地の固相率をみると、無処理区 30.4%に対して、石灰施用区で 33.0%、砂客土 (S L) 区で 44.5%、モミガラ多量区で 40.5%、生ワラ多量区で 38.0% EB-a 少量区、43.9%の値からう

かがわれるように、無処理区の値に対して資材施用各区の値はうわまり、固相の変化では第 1 作跡地でみた様相とは逆の傾向となった。

液相は第 1 作目跡地の無処理区で 58.8%示していたのに対し、砂客土 (S L) 区で 52.6%、モミガラ少量区 54.5%、生ワラ少量区 53.4%、EB-a 少量区 51.9%にみられるように、無処理区の値に対して資材施用各区の値は低い傾向がうかがわれ、これらの結果は第 3 作目跡地でも同様であり、その傾向はとくに顕著となった。

このように、底土に対する改良資材の施用は栽培跡地の土壤三相分布割合の調査結果をみても、それぞれの資材によってその変化はあきらかであり、いずれの資材も共通して気相率の増大に結びついていることがうかがわれた。

次に土壤の pH についてみると、炭カルの施用されていない無処理区の pH は第 1 作跡地で 4.4、第 3 作跡地で 4.0 といずれも強酸性を呈し、前述の酸性障害の発生をうらづける形となったが、その他の処理区ではその値は

第 8 表 跡地土壤の理化学性

(乾土 100g あたり)

区 別	項 目	固相(%)		液相(%)		気相(%)		pH(KCℓ)		CEC* (m·e)	置換性塩基*(mg/100g)				石 灰* 飽和度 (%)	NH <sub>4</sub> -N (NO <sub>3</sub> -N 合計(30℃) (mg/100g))
		1作	3作	1作	3作	1作	3作	1作	3作		CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O		
無	区	28.6	30.4	58.8	45.4	12.6	21.2	4.4	4.0	27.1	234	72	47	43	30	3.2
	石灰施用区	28.0	33.0	58.0	44.0	16.0	22.2	6.3	5.9	29.6	524	167	56	56	65	3.7
	砂客土(CL)区	24.5	36.8	58.5	39.2	17.0	24.0	6.6	6.1	26.2	436	150	68	56	55	4.8
	“(SL)区	28.3	44.5	52.6	30.5	19.1	25.0	6.4	5.4	17.0	288	104	53	50	36	5.5
	モミガラ少量区	24.1	30.9	54.5	33.7	21.4	27.0	6.5	5.4	31.6	518	174	69	96	65	8.5
	“ 多量区	19.1	40.5	57.4	34.8	22.7	28.1	6.6	5.3	30.6	450	141	56	96	57	8.7
	生ワラ少量区	27.9	37.1	53.4	34.0	18.9	26.4	6.8	6.1	30.6	555	191	69	88	68	12.1
	“ 多量区	25.0	38.0	55.0	35.0	20.0	27.0	6.8	6.1	30.6	518	188	100	106	66	14.3
	EB-a少量区	28.6	43.9	51.9	30.0	19.5	26.5	6.3	5.5	29.6	550	215	78	98	69	6.7
	“ 多量区	30.0	43.9	54.8	30.3	15.0	25.0	6.6	5.6	31.0	550	207	56	90	69	5.1
	EB-a 生ワラ多量区	30.2	40.1	55.8	35.2	13.8	24.7	6.8	6.0	30.6	518	200	63	81	66	7.3

注) \*印 第 3 作跡地



ほぼ中庸であった。

跡地の塩基置換容量 (CEC) や置換性塩基は第3作のみについてみたが、これらの値はいずれも結果的に収量のうわまわったモミガラ、EB-a、生ワラ施用区では無処理区に比べて若干高い値がみられたが、砂客土区では逆に低い傾向がうかがわれた。この原因についてはあきらかでないが、その一つには前述の三相分布割合からもうかがわれるとおり、改良資材の底土混入が土壌の粘土組成や構造の生成発達にかなり影響したことが推定される。石灰含量はさきにもみた pH の変化と符合し、無石灰区で乾土 100 g あたり 234 mg 示したのに対し、石灰施用区で 500 mg 前後の値を示し、石灰飽和度も 60 % 前後であった。苦土含量は無処理区ではかなり低かったが、改良資材施用区はいずれもややうわまわっており、とくに EB-a 区で目立った。資材施用各区のカリ、ナトリウム含量は全般的に無処理区の値をうわまわったが、中でも生ワラ多量区 EB-a 少量区で高い値が目立った。また、 $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$  の含量でみた無機化 N 量は、無処理区で乾土 100 g あたり 3.2 mg であったのに対し、石灰施用区で 3.7 mg、砂客土 (CL) 区で 4.8 mg、モミガラ少量区で 8.5 mg、多量区 8.7 mg、生ワラ少量区 12.1 mg、多量区 14.3 mg EB-a 少量区で 6.7 mg にみられるように、全般的に生ワラ施用区で高い値が目立った。

### 3 考 察

以上、高浜入底土の理化学性改善を意図し、その利用の面から、通常容易に確保できる土壌改良資材の施用と畑作物の生育収量との関係をポット試験によって検討した。その結果、改良資材の施用は底土の理化学性改善にかなり役立つことがあきらかとなった。資材の種類は酸性改良のための石灰資材はもちろんであるが、その他についてもモミガラ区、EB-a 区、生ワラ区、砂客土区いずれの施用区もその効果はみられたが、なかでもモミガラ区が顕著であり、試験結果では持続効果も認められた。また、このことは跡地土壌の三相分布割合の調査結果からもうかがわれるように、モミガラを施用した場合、気相率は無処理区に比べて1作目で約10%、3作目で約6%増加していることからあきらかである。モミガラ、

生ワラ等有機物資材施用が重粘土の凝集性を抑え、団粒化生成を促進させる改良資材として効果の高いことはすでにあきらかにされているが、<sup>5)2)</sup> 本試験の結果によってもほぼ同様であると考える。土壌団粒生成剤である EB-a の施用は、第1作目ではその効果は顕著であった。しかし、持続効果についてみると、本試験の結果ではあきらかではなく、これらの資材の施用については今後さらに検討を要する全地があるようである。

第1作イタリアンライグラス生草重でみた生ワラ施用区の効果は少量施用区で僅かにみられ、多量施用区ではむしろ、収量低下が目立った。しかし、前述したように第2、3作と作付年次が進むにともなって収量も高まり、生ワラ施用による効果はあきらかに発揮された。本試験結果でみられた第1作目の収量低下の原因の一つには多水分条件下に施用した生ワラの影響による一時的な還元が、作付けされた根の伸長に影響したことが考えられるが、施用時期、施用量さらに施用の方法等を工夫すれば、生ワラであってもモミガラと同様の効果が期待できるものとする。

砂客土についても、本試験では土性の改善をねらい、少量 (埴壤土)、多量 (砂壤土) について検討した。しかし、試験結果によれば、底土の跡地土壌に対する物理性改善にはある程度役立つことが認められたが作物の生育・収量に対しては期待された効果として結びつかなかった。また、生ワラと EB-a の併用についてもその効果の検討を行なったが、本試験の結果では併用の効果は少なく、この理由についてもあきらかでなかった。

以上、底土の理化学性改善をねらって各種改良資材を用い作物栽培をとおしてその効果を検討した。その結果、改善の効果は資材の種類によりそれぞれ異なることがあきらかとなったが、各資材共通してその施用は底土の気相率の増大など物理性改善にかなり役立ち、作物の生育収量でみられたさきの効果は、あきらかにこれをうらがきするものとする。

## IV 畑作物の生育適応性試験

高浜入底土の農業利用とりわけ、底土を用いて畑作物

の栽培をねらうにあたっては、まず、これら底土で作物の生育ができるか否かを検知すると同時に、底土の乾燥化とそれに伴う畑作物の生育適応性を知る必要がある。そこで、底土をシンタックスポットに充填し、改良資材としてモミガラを用い、さらに堆肥施用の影響も検知するため堆肥区を併設し、昭和47～51年の5か年間、各種畑作物を供試してその適応性を検討した。

1 試験方法

1) 試験規模：規模はシンタックスポット(50cm×44cm×40cm, 88ℓ容, a/455)を用い2連制とした。底土の充填は、現地より採取した底土で前述第1・2表に示したとおり、水分率69.5%, 含水比162.0%のものをポットあたり90kg充填した。なお、充填時の仮比重は0.35g/mlで前述したものと同じである。

2) 区の内容：区の構成は第9表に示したが、供試底土が多水分条件であるためその改善をねらって、無処理区のほかにもモミガラ区をセットし、ポットあたり220gを表層(0～10cm)に施用したもの、そして堆肥施用区としてポットあたり250gの完熟堆肥表層(0～10cm)に施用したもの、さらに対照(沖積土)区は前述<sup>3)</sup>した本新島土壌(0～30cm)を供試した。なお、底土に対してはいずれも表層(0～15cm)に対して補正目標pH7.0相当量の炭カルをポットあたり440gを施用し、対照(沖積土)区についても同様pH補正のための炭カル施用量をポットあたり80gを施用混和した。施肥は各作物共通してポットあたりN, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>Oを塩安、過石、塩加でそれぞれ3.3g, 4.4g, 3.3g施用した。なお、pHの矯正は冬作の作付けにあたって随時行なった。

第9表 試験区の構成

区別	項目	(g/ポット)					
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	炭カル	モミガラ	堆肥
無処理区		3.3	4.4	3.3	440(1,006)	0	0
モミガラ区		"	"	"	"	220(1,100)	0
堆肥区		"	"	"	"	0	250(1,250)
対照(沖積土)区		"	"	"	80(158)	0	0

注) N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>Oは塩安、過石、塩加で施用、pH補正は7.0目標。

( )内5か年間総施用量 炭カル1,006g (400g + 276g + 130g + 80g + 80g)

炭カル158g (80g + 30g + 18g + 15g + 15g), モミガラ: 220g×5年 堆肥: 250g×5年

3) 耕種概要：供試作物と耕種概要は第10表に示したとおりである。

第1作付段階では底土の脱水酸化が十分でない土壌条件であったため、湿害を考慮して供試した作物はインゲン(新江戸川インゲン)、ナス(真黒ナス)、青刈トウモロコシ(交1号)、短根ニンジン(V S春蒔5寸)の4種類、第2作はオオムギ(ムサシノムギ)を供試した。第3作は夏作としてコカブ(改良樋の口)、アツギ(群馬白)、第4作はカンラン(金盃甘)を作付けた。第5作はダイズ(農林2号)、ラッカセイ(関東33号)、リクトウ(農林籾26号)、第6作、オオムギ(ムサシノムギ)第7作は短根ニンジン(U S春蒔5寸)、タマネギ(泉州黄)、第8作、オオムギ(ムサシノムギ)・第

9作、ナス(真黒ナス)、第10作、オオムギ(ムサシノムギ)等試験開始後5か年間で12種類の畑作物を供試した。各作物の栽培法は県の耕種基準にしたがった。

2 試験結果

1) 生育収量：供試した畑作物の種類の中にはオオムギ、ナス、短根ニンジン等繰返し作付けられたものも含まれる。各作物の生育収量は第11～22表に示したとおりである。

これによると、いずれの作物も作付け後の発芽、苗立ちは順調であることが認められたが、ナスの第1作、第9作、短根ニンジンの第1作、第7作、オオムギの第2作、第8作にみるごとく、生育はいずれの作物も底土の水分含量の多い第1～2作の段階に比べて、乾燥化の進

## 霞ヶ浦周辺干拓地土壌の改良に関する研究

第 10 表 耕種概要

年次	作	作物名(品種)	耕種概要		
昭 47	第1作	インゲン(新江戸川)	播種 5月25日	刈取り 8月11日	栽植密度(ポット) 8株
	"	ナス(真黒ナス)	定植 6月21日	7月26~9月9日	2"
	"	青刈トウモロコシ(交1号)	6月24日	8月12日	8"
	"	短根ニンジン(US春蒔5寸)	5月25日	9月12日	10"
	第2作	オオムギ(ムサシノムギ)	11月12日	6月8日	10"
昭 48	第3作	コカブ(改良樋の口)	8月3日	11月12日	8"
	" "	アヅキ(群馬白)	8月3日	11月4日	8"
	第4作	カンラン(金盃甘)	10月16日	5月16日	4"
昭 49	第5作	ダイズ(農林2号)	6月1日	9月15日	8"
	"	ラッカセイ(関東33号)	5月20日	10月26日	8"
	"	リクトウ(農林糯26号)	5月20日	10月19日	8"
	第6作	オオムギ(ムサシノムギ)	11月13日	6月6日	10"
昭 50	第7作	短根ニンジン(US春蒔5寸)	5月24日	9月11日	10"
	"	タマネギ(泉州黄)	育苗9月12~10月27日 定植11月2日	12月11日	10"
	第8作	オオムギ(ムサシノムギ)	11月15日	6月3日	10"
昭 51	第9作	ナス(真黒ナス)	定植 6月18日	7月18~9月5日	2"
	第10作	オオムギ(ムサシノムギ)	11月11日	6月9日	10"

第 11 表 インゲンの生育収量(第1作)

(ポットあたり)

区 別	項 目	6/19		7/7		さや数 (莢)	さや重 (g)	根 重 (g)	子実重量 (g)	比 (%)
		草丈(cm)	分枝数(本)	草丈(cm)	分枝数(本)					
無 処 理 区		31.5	3.0	51.0	6.2	122.0	210.4	45.6	164.0	100
モミガラ区		38.0	4.0	62.5	8.2	174.0	242.0	61.2	194.0	118
堆 肥 区		32.0	2.5	50.2	5.0	130.0	207.5	44.0	128.3	78
対照(沖積土)区		31.5	3.0	44.0	5.0	110.3	187.0	43.3	158.0	93

注)(2連平均値表示)

んだ第7~9作の段階でうまわっており、収量の調査結果もこれに符合した。とくに短根ニンジンを供試した第1作の栽培結果では、とくに岐根株が目立ち、上物とされる1個170g以上の正常なものは少なかったが、底

土の乾燥がかなり進んだ第7作目の栽培では大部分のものは品質的に上物に該当し、全体の総重量でもほぼ倍以上となった。オオムギ、ナスの栽培結果においても、栽培初期段階でみられた様相と作付け回数が増え、乾燥の

第12表 ナスの生育収量(第1作, 第9作)

(個体あたり)

区 別	項 目	主茎長 (cm)	分枝数 (本)	展開葉 (数)	代 表 葉			総個体 (個)	総重量 (g)	同 比 (%)
					葉 長 (cm)	葉柄長 (cm)	葉 幅 (cm)			
第1作	無 処 理 区	47.5	5.0	28.5	17.5	7.5	12.5	6.5	324	100
	モ ミ ガ ラ 区	43.5	5.5	30.0	20.5	8.5	13.5	9.4	469	145
	堆 肥 区	43.0	5.1	27.8	17.0	7.1	12.1	6.0	305	94
	対照(沖積土)区	40.6	4.3	26.8	15.3	6.7	11.7	5.8	286	88
第9作	無 処 理 区	49.7	6.4	39.6	18.0	8.0	13.0	18.7	1,025	100
	モ ミ ガ ラ 区	51.0	7.8	41.5	21.4	9.1	14.6	19.2	1,070	104
	堆 肥 区	52.0	7.8	42.3	19.7	9.7	14.5	20.0	1,074	105
	対照(沖積土)区	49.5	6.7	40.0	16.5	8.3	13.0	17.4	960	94

注) 生育調査 第1作 7月28日 第9作 7月25日  
採果基準 40~60g/個(2連平均値表示)

第13表 青刈トウモロコシの生育収量(第1作)

(ポットあたり)

区 別	項 目	草 丈 (cm)			生草重 (g)	同 比 (%)	乾物重 (g)
		7/20	7/28	8/13			
	無 処 理 区	87.0	141.0	178.0	1,045	100	330
	モ ミ ガ ラ 区	89.0	158.0	186.0	1,250	120	353
	堆 肥 区	80.5	131.5	152.0	635	61	155
	対照(沖積土)区	101.0	144.0	172.5	910	87	245

注) (2連平均値表示)

第14表 短根ニンジン(第1作, 第7作)

(ポットあたり)

区 別	項 目	草 丈 (cm)			本数(本)		重量(g)		上物 重比 (%)	総重量 (g)	1株あたり		
		7/28	8/20	9/14	上物	下物 (岐根)	上物	下物 (岐根)			根長 (cm)	根径 (cm)	葉重 (g)
第1作	無 処 理 区	8.7	21.0	36.6	1.2	8.8	314	354	100	672	8.5	4.1	15.0
	モ ミ ガ ラ 区	8.8	20.4	32.7	2.0	8.0	318	446	101	764	9.4	4.5	21.0
	堆 肥 区	8.5	22.3	39.8	2.0	8.0	304	546	97	850	9.8	5.0	26.7
	対照(沖積土)区	7.5	21.2	37.0	3.1	6.9	570	594	182	1,164	11.3	5.0	30.3
第7作	無 処 理 区	9.1	23.5	42.4	10.0	0	1,740	0	100	1,740	18.3	5.4	16.8
	モ ミ ガ ラ 区	9.4	23.0	47.4	10.0	0	1,850	0	106	1,850	21.5	6.2	31.3
	堆 肥 区	9.5	24.0	52.1	10.0	0	1,936	0	112	1,936	21.0	6.8	35.1
	対照(沖積土)区	9.3	22.7	39.5	4.0	6.0	874	756	50	1,630	18.0	5.7	20.0

注) 品質区分 LL 300~450g, L 170g < M 100g < S 60g < SS 40g < 上物 170g < とした。  
(2連平均値表示)

## 霞ヶ浦周辺干拓地土壌の改良に関する研究

第15表 オオムギの生育収量(第2作, 第8作)

(ポットあたり)

区 別	項 目	4/21		6/8			稈重 (g)	同 比 (%)	穂重 (g)	同 比 (%)
		草丈 (cm)	茎数 (本/株)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/株)				
第2作	無 処 理 区	19.4	5.8	64.6	3.1	6.5	45.5	100	26.5	100
	モ ミ ガ ラ 区	22.0	6.5	67.4	3.0	9.4	61.0	134	35.0	132
	堆 肥 区	18.7	5.0	61.0	2.7	6.0	41.0	90	25.3	95
	対照(沖積土)区	20.5	6.1	65.9	3.0	6.8	48.5	107	29.5	111
第8作	無 処 理 区	36.3	16.5	78.6	3.3	16.0	119.0	100	97.3	100
	モ ミ ガ ラ 区	35.5	18.3	79.5	3.7	18.5	121.0	102	101.5	104
	堆 肥 区	37.5	21.4	81.0	3.5	20.5	137.4	115	126.7	130
	対照(沖積土)区	33.0	19.6	77.5	3.3	20.0	110.5	93	103.0	106

注)(2連平均値表示)

第16表 コカブの生育収量(第3作)

(ポットあたり)

区 別	項 目	地 上 部		全 重 (g)	根 重 (g)	同 比 (%)
		草丈(cm)	葉数(枚)			
無 処 理 区		19.4	18.8	340	238	100
モ ミ ガ ラ 区		20.0	19.0	359	293	123
堆 肥 区		18.0	17.6	320	223	94
対照(沖積土)区		15.0	14.7	286	206	87

注)(2連平均値表示)

第17表 アヅキの生育収量(第3作)

(ポットあたり)

区 別	項 目	9/3		10/8		全 重 (g)	子実重 (g)	同 比 (%)
		草丈(cm)	葉色	草丈(cm)	葉色			
無 処 理 区		43.8	+	51.3	+	240	127	100
モ ミ ガ ラ 区		44.8	+	52.8	+	289	138	109
堆 肥 区		44.9	+	58.5	+	285	151	119
対照(沖積土)区		42.5	+	57.8	+	277	128	101

注)(2連平均値表示)

第18表 カンランの生育収量(第4作)

(個体あたり)

区 別	項 目	4/4		5/16		全 重 (g)	結球重 (g)	同 比 (%)
		草丈(cm)	展開葉幅(cm)	草丈(cm)	展開葉幅(cm)			
無 処 理 区		14.1	15.1	21.5	30.5	420	334	100
モ ミ ガ ラ 区		14.3	15.7	22.2	31.7	560	390	117
堆 肥 区		14.0	15.3	21.0	30.7	421	326	98
対照(沖積土)区		13.6	14.5	20.8	31.0	490	355	106

注)(2連平均値表示)

第19表 ダイズの生育収量(第5作)

(ポットあたり)

区 別	項 目	7/18		9/3		全 重 (g)	子実重 (g)	同 比 (%)
		草 丈 (cm)	茎 数 (本/株)	草 丈 (cm)	茎 数 (本/株)			
無 処 理 区		37.5	1.5	76.6	2.6	387.6	101.2	100
モ ミ ガ ラ 区		39.5	1.3	78.5	2.5	380.5	98.5	97
堆 肥 区		36.3	1.3	75.3	2.3	376.5	96.0	95
対 照 ( 沖 積 土 ) 区		35.8	2.2	69.6	3.6	399.2	108.3	107

注) (2連平均値表示)

第20表 ラッカセイの生育収量(第5作)

(株あたり)

区 別	項 目	7/8		8/5		茎菜重 (g)	莢実重 (g)	子実重 (g)	同 比 (%)	屑子実重 (g)	100粒重 (g)
		主茎長 (cm)	分けつ数 (本)	主茎長 (cm)	分けつ数 (本)						
無 処 理 区		24.0	7.0	19.0	10.9	52.0	29.0	194	100	3.0	45.3
モ ミ ガ ラ 区		24.1	6.9	19.3	11.0	52.1	28.7	191	99	3.4	45.1
堆 肥 区		23.7	6.9	19.1	11.5	51.7	27.9	183	94	3.9	44.8
対 照 ( 沖 積 土 ) 区		24.3	7.3	19.3	11.7	52.3	28.8	196	101	3.7	45.4

注) (2連平均値表示)

第21表 リクトウの生育収量(第5作)

(ポットあたり)

区 別	項 目	7/8		8/5		わら重 (g/ポット)	同 比 (%)	玄米重 (g/ポット)	同 比 (%)
		草丈(cm)	茎数(本)	草丈(cm)	茎数(本)				
無 処 理 区		52.0	43	92.0	70	504	100	144.8	100
モ ミ ガ ラ 区		49.5	40	98.0	87	531	105	156.3	108
堆 肥 区		49.0	46	106.2	116	583	116	168.0	116
対 照 ( 沖 積 土 ) 区		50.0	45	111.0	108	565	112	157.3	109

注) 茎数: 30cm間隔(2連平均値)

第22表 タマネギの生育収量(第7作)

(8株/ポットあたり)

区 別	項 目	4/9		5/30	玉 重 (g)	同 比 (%)	葉鞘重 (g)	同 比 (%)
		草丈(cm)	葉鞘数(数)	草丈(cm)				
無 処 理 区		38.0	5.3	74.0	2,024	100	2,352	100
モ ミ ガ ラ 区		39.5	5.7	76.4	2,312	114	2,424	103
堆 肥 区		39.4	5.4	76.0	2,560	126	2,660	113
対 照 ( 沖 積 土 ) 区		38.1	5.5	76.7	2,620	129	2,760	117

注) (2連平均値表示)

進んだ段階にみられた傾向は、おおむねさきの短根ニンジンでみられた結果と同様であった。なお、第1作の短根ニンジンの栽培結果から、対照（沖積土）区の生育収量が底土系列と同様上物の収穫が少なかった理由の一つには、作土の土塊が以外と多かった点があげられ、これが生育全般をとおして大きく影響したことが考えられる。

つぎに底土に対する各区の効果を試験結果から概観すると、とくに底土水分の多い試験開始から2か年間の段階では、モミガラ施用効果が顕著にみられた。しかし、試験の後半2段階に相当する4～5年目においては、むしろ、底土に施用した堆肥の効果が顕著に認められた。すなわち、これを無処理区の収量比で各作物をみると、モミガラ区で効果の高かったものは、無処理区100に対して、インゲン118、ナス145、青刈トウモロコシ120、第2作オオムギ132、第3作コカブ123、アヅキ109、第

4作カンラン117、さらに第7作のタマネギ114等があげられ、いずれも作付け初期段階のものが多かった。

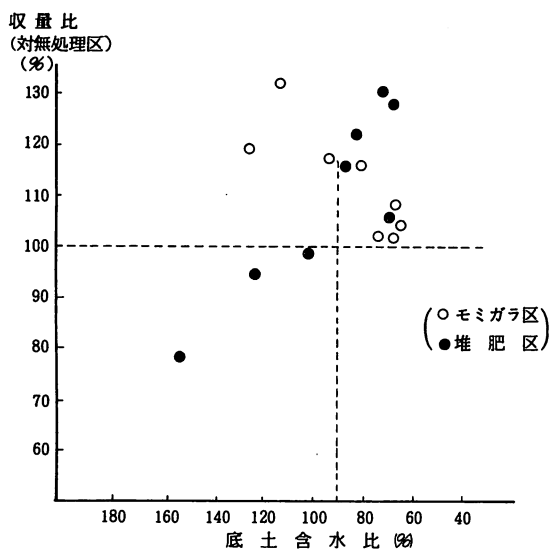
これに対して、堆肥施用の効果についてみると、第3作アヅキ119、第5作リクトウ116、第6作オオムギ122、第7作短根ニンジン112、タマネギ126、第8作オオムギ130、第10作オオムギ127等にみられるように、前述のモミガラ施用の場合とは反対に、底土の脱水乾燥のかなり促進された段階で効果が目立っている。

2) 生育収量と底土の含水比、気相率：本試験で底土に対してのモミガラあるいは堆肥の施用は、導入畑作物の生育適応性を高めることをねらったものであるが、これらの施用の効果を底土の含水比、気相率との関係で示すと第23表のようになり、第5、6図はこれを図示したものである。

これによると、前述したモミガラの効果は底土の含水

第23表 畑作物の収量と含水比

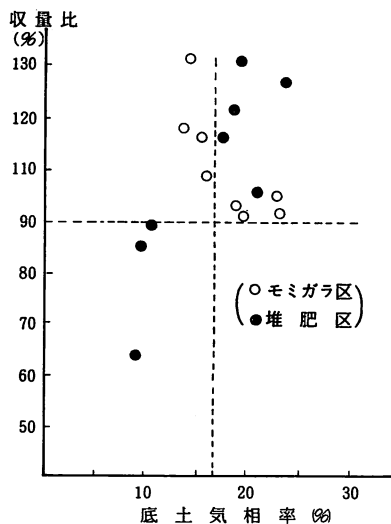
年次	作物名	収量比 (%)				含水比・気相率 (%)							
						無処理区		モミガラ区		堆肥区		対照区	
		無処理区	モミガラ区	堆肥区	対照区	含水比	気相率	含水比	気相率	含水比	気相率	含水比	気相率
1	インゲン	100	118	78	93	162.0	6.5	136.0	13.6	151.0	9.3	76.3	21.3
	ナス	100	145	94	88	-	-	-	-	-	-	-	-
	青刈トウモロコシ	100	120	61	87	-	-	-	-	-	-	-	-
	短根ニンジン	100	101	97	182	-	-	-	-	-	-	-	-
2	オオムギ	100	132	95	111	120.5	9.8	113.0	14.8	121.4	9.8	75.2	23.0
2	コカブ	100	123	94	87	-	-	-	-	-	-	-	-
	アヅキ	100	109	119	101	-	-	-	-	-	-	-	-
4	カンラン	100	117	97	106	98.5	11.4	92.6	15.9	103.0	10.6	71.6	23.0
3	ダイズ	100	97	95	107	-	-	-	-	-	-	-	-
	ラッカセイ	100	99	94	101	-	-	-	-	-	-	-	-
	リクトウ	100	108	116	109	85.1	13.6	80.5	17.0	86.2	15.2	70.4	22.7
6	オオムギ	100	103	122	108	72.7	17.4	70.4	18.7	82.5	17.0	68.0	24.5
4	短根ニンジン	100	106	112	50	-	-	-	-	-	-	-	-
	タマネギ	100	114	126	129	-	-	-	-	-	-	-	-
8	オオムギ	100	104	130	106	70.5	18.7	68.5	19.3	71.0	20.4	67.6	23.7
5	ナス	100	104	105	94	68.6	20.6	65.7	23.0	70.8	21.8	66.5	23.0
	オオムギ	100	107	127	110	68.4	21.2	68.0	23.0	69.0	24.3	65.1	24.6



第4図 含水比とモミガラ、堆肥の効果

比がおおむね90%以上でみられており、堆肥施用の効果はほぼ90%以下の水分条件で認められている。一方、これらの効果を気相率の関係でみると、モミガラではおおむね17%以下、堆肥では17%以上でみられる傾向がうかがわれた。

3) 跡地土壌の化学性：跡地土壌の化学性については第24表に示した。



第5図 気相率とモミガラ、堆肥の効果

まず、土壌のpHの変化についてみると、ここでは跡地1年目インゲン跡と、5年目ナス跡について示したが、いずれも対照(沖積土)区に比べて底土系列で値の低下がみられ、底土系列のなかでもとくに資機の施用されたモミガラや堆肥区の値が無処理区に比べて低い兆候がうかがわれた。また、全窒素(T-N)、全炭素(T-C)についてみると、全般的にモミガラや堆肥の施用された

第24表 跡地土壌の化学性

(乾土100gあたり)

区 別	項 目	pH		T-N (%)	T-C (%)	C/N	可酸化性 S (mg)	窒素無機化量 (30℃) (mg)	有効態 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (トルオーグ) (mg)	塩基置換容量 (m·e)	置換性塩基 (mg)			石灰遊離飽和度 (%)	遊離酸化鉄 (%)
		H <sub>2</sub> O	KCl								CaO	MgO	K <sub>2</sub> O		
1年目	無処理区	5.4	4.9	0.52	5.20	10.0	613	10.8	5.1	28.3	583	296	156	73.6	1.80
	モミガラ区	5.4	4.7	0.56	6.13	10.9	587	10.3	5.6	32.4	476	207	118	52.5	1.36
	堆肥区	5.3	4.6	0.62	6.36	10.3	580	16.4	6.9	33.1	520	220	103	56.1	1.17
	対照(沖積土)区	5.5	5.2	0.31	2.61	8.4	88	4.9	8.4	26.3	335	95	21	45.5	1.38
5年目	無処理区	5.2	4.7	0.46	4.83	10.5	370	5.3	8.0	27.8	570	210	30	56.5	1.54
	モミガラ区	5.3	4.5	0.59	5.42	9.2	280	6.2	7.1	30.5	434	180	35	50.8	1.03
	堆肥区	5.1	4.4	0.66	6.72	10.2	271	9.0	8.8	31.6	478	165	35	54.0	0.95
	対照(沖積土)区	5.3	5.0	0.28	2.48	8.9	93	4.5	6.4	26.0	308	83	30	42.3	1.31

注) 1年目：インゲン跡地，5年目：ナス跡地，窒素無機化量(30℃ incubate)，NH<sub>4</sub>-N+NO<sub>3</sub>-N



各区が無処理区の値に比べて高まり、可酸化性硫黄(S)、置換性塩基、遊離酸化鉄の含有量は、いずれも資材施用区で低い傾向がみられた。また、跡地土壌の窒素無機化量を室内30℃インキュベート40日間のみた結果では、底土の各処理区における生成された無機化窒素量はNH<sub>4</sub>-NとNO<sub>3</sub>-Nの含量で、乾土100gあたり5.3～16.4mgで対照(沖積土)区4.5～4.9mgに比べて全般的に高く、この傾向はとくに堆肥区で目立った。堆肥区で示すこのような傾向は、おそらく堆肥そのものもつ易分解性窒素に由来する部分が大きく関与しているものと考えられる。塩基置換容量は対照(沖積土)区1年目、5年目を問わず26.0m・e程度であったのに対し、底土系列では各処理区とも27.8～33.1m・eと1年目、5年目共に高く、なかでも資材の施用された区ではモミガラ区1年目で32.4m・e、

堆肥区で33.1m・eと無処理区28.3m・eに比べて高い値を示し、5年目に調査した結果によっても1年目と同様であった。

4) 資材施用と団粒組成: 畑作物の生育適応性拡大をねらって用いたモミガラや堆肥の施用効果が目立った跡地土壌について、塩基置換容量を測定した結果、いずれも無処理区に比べて値はうまわった。さらに、無機化窒素量についてみると無処理区に比べて塩基置換容量と同様施材を施用した区の値はうまわった。そこで、これらの関連性を追跡するため、それぞれの区の跡地土壌について団粒組成と団粒の粒径別窒素無機化量を調査し、その結果を第25、26表、第6図に示した。

まず、底土に対するモミガラあるいは堆肥の施用と土塊の分布割合との関係を第1作無処理区と第5作各処理

第25表 モミガラ、堆肥施用と土塊分布

(風乾土)

区 別	粒 径	土 壤 分 布 ( % )			
		1.0 cm <	1.0 ~ 0.5	0.5 ~ 0.2	0.2 >
第1作目	無 処 理 区	53.0	28.0	12.8	6.2
	無 処 理 区	8.3	12.8	23.4	55.5
第5作目	モミガラ区	7.2	6.8	26.1	60.4
	堆 肥 区	5.1	3.4	22.1	69.4

(1層)

第26表 モミガラ、堆肥施用と団粒組成

(風乾土)

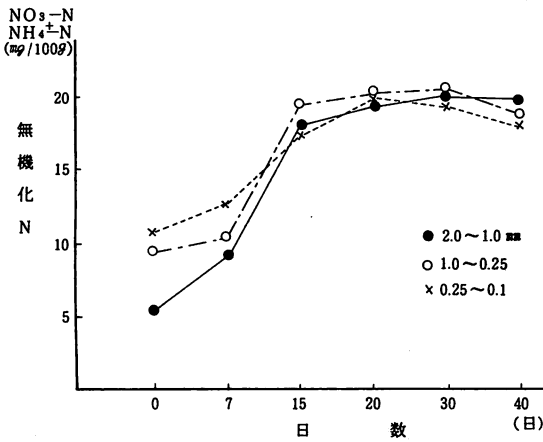
区 別	粒 径	団 粒 分 布 ( % )					
		2.0 mm <	2.0 ~ 1.0	1.0 ~ 0.5	0.5 ~ 0.25	0.25 ~ 0.1	0.1 >
第1作目	無 処 理 区	30.2	33.0	19.3	12.2	2.4	6.9
	無 処 理 区	1.2	13.6	26.6	21.0	22.6	17.0
第5作目	モミガラ区	1.5	26.5	25.9	29.2	8.1	8.8
	堆 肥 区	1.0	20.4	24.8	29.5	11.3	13.0

(1層)

区跡地土壌について、1層の風乾土を対象に調査した。その結果、第1作目無処理区では粒径1.0cm以上の土塊が53%、1.0～0.5cmの範囲のものが28%、0.5～0.2cmが12.8%、0.2cm以下のものが6.2%であった。これに対して、第5作目無処理区についてみると、0.2cm以下の粒径のものが55.5%、1.0cm以上の土塊が僅か8.3%

であった。続いてモミガラ区、堆肥区についてみると、0.2cm以下の土塊が60.4%、69.4%といずれも無処理区をうまわり、無処理区に比べて資材施用区では細粒化した土塊の多い傾向がうかがわれた。

つぎに風乾土を対象に、粒径2.0mm以上、2.0～1.0mm、1.0～0.5mm、0.5～0.25mm、0.25～0.1mm、0.1mm以下



第6図 団粒組成と無機化Nの推移

の6段階について、その分布割合について調査した。その結果、第1作目無処理区では2.0 mm以上のものが30.2%、2.0~1.0 mmのもの33.0%とこれらあわせて63.2%占めたのに対し、5作目の無処理区についてみると、2.0 mm以上の団粒が僅か1.2%、1.0~0.5 mmのもの26.6%、0.5~0.25 mmのもの21.0%、0.25~0.1 mmのものが22.6%となり、粒径1.0~0.1 mmの範囲のものだけで70.2%を占めた。一方、モミガラ区についてみると、2.0~1.0 mmのもの26.5%、1.0~0.5 mmのもの25.9%、0.5~0.25 mmのもの29.2%となり、粒径2.0~0.25 mmの範囲のものあわせて81.3%となった。堆肥区についてみると、モミガラ区同様、それぞれ20.4%、24.8%、29.5%と粒径2.0~0.25 mmのものあわせて74.7%となり、資材の施用区と無施用区の団粒組成の分布割合にあきらかな差異が認められた。

つぎに団粒からのNH<sub>4</sub>-N生成量の時期別推移を、室内30℃インキュベートによってみた結果によると、インキュベート開始から約7日間の時点で調査した値は、粒径の粗い2.0~1.0 mmの団粒からのNH<sub>4</sub>-N生成量はもっとも少なく、ついで1.0~0.25 mmの粒径のもの、そして0.25~0.1 mmの順で、初期段階では粒径の細いものほど高い値がみられた。これに対し、インキュベート15日経過時点を見ると、細団粒からのNH<sub>4</sub>-N生成量は、粗い団粒の値に比べて下まわる傾向を示し、これらの傾向は30~40日経過時までそのまま継続した。

### 3 考 察

本試験を開始したもとの背景は、高浜入の干拓畑地化計画であったが、このような干拓地で干陸直後畑地として作物の栽培を行なう場合や、さらに最近試みられている底土の農業への利用等いずれをねらうに際しても、底土中の過剰水分が問題となり、作物の栽培を行なうにあたっては、いかに早く乾燥化させるかその方法が問題であると同時に、多水分条件に適応する作物の選定も重要となる。このようなことから、本試験においてもできるだけ乾燥化の進まない初期段階では畑作物の中でもインゲン、ナス等比較的湿害に強いものを供試するように配慮したが、同時にオオムギや短根ニンジンのごとく比較的湿害に弱い作物も対象となった。これまでにも、幸田<sup>6)</sup>も指摘しているとおり、低湿地帯の田畑輪換栽培における畑作物と地下水位との関係から、インゲン、ナス等は地下水位30 cm未滿、短根ニンジン、タマネギ等は地下水位40 cm以下、そしてオオムギは地下水位50~60 cm以下、アツギ等は低湿地帯での栽培は不恰当という区分けがある。本試験の結果をみると、第1作の短根ニンジン、第2作のオオムギの生育は、あきらかに第7作にみられた生育を下まわったが、このことはもともと湿害に弱い作物を乾燥の進まない段階に供試した点に問題があったといえる。しかし、その他の作物についてみると、生育全般を通してほぼ順調な生育様相を呈し、収量においても対照区並かこれをうわまわる結果となった。もちろん、本試験では当初から畑作物の生育適応性を、炭カル施用による酸度改良依存ばかりでなく、モミガラや堆肥等の施用による底土の理化学性改善を期待し、その拡大をねらったこともあったが、以上の結果によれば、これら底土においても作付けにあたって欠かすを補う形で、事前に適切な土壤改善対策を行なえば、おおむね畑作物の栽培は期待できる見通しがあきらかとなった。

モミガラや堆肥の施用効果は、底土の乾燥過程で異なった。すなわち含水比90%以上の乾燥化の進んでいない段階ではモミガラが、90%以下の乾いた段階では堆肥の効果があきらかにみられ、さらにこれを気相率でみるとおおむね17%程度に該当した。すでにモミガラ等の有機

物質材を底土のごとき重粘土に添加した場合、これが土壌の凝集性を抑えて土壌の構造や団粒生成に役立つことについてはよく知られているが、<sup>7)2)</sup> 本試験跡地でみられた結果においても同様であった。すなわち、無処理区の団粒分析では1.0～0.1 mmの範囲のものが70.2%あったのに対し、モミガラ施用区では前者よりやや大きい粒団2.0～0.25 mmのものが81.3%分布していた。堆肥を施用した区についても同様のものが74.7%該当していたとおり、資材の施用はあきらかに団粒の組成分布に変化を与え、これらの生成発達に係わっていた兆候がうかがわれた。とくに堆肥施用区の団粒分布がモミガラ施用区に準ずる傾向を示した背景には、これらの施用が養分の供給面ばかりでなく、土壌の構造の改善のためにかなり役立つことがあげられよう。

底土に対する畑作物の生育適応性を知るためには、まず、畑作物が健全に生育しうる土壌条件を作りあげることが急務である。そのためには、底土のもつ理化学的特性にもとづいた対策を行なうことはいうまでもなく、その基本は、土壌の構造生成発達をいかに早く進めるかにかかっており、さらに土壌の乾燥化に伴う土壌管理が重要となる。

以上の結果は、シンタックスポットに充填した底土について、これら底土の乾燥化とそれに伴う畑作物の適応性を、モミガラや堆肥を施用した処理区との比較でみたものであるが、得られた知見のいくつかは、今後実際の現地は場で十分活用できるものと考えられる。

## V 摘 要

霞ヶ浦北部高浜入のほぼ中央部の底土の農業利用をねらって、高浜入の水深4.5 mのところの堆積していた底土を採取し、ポットに充填して畑作物を供試し、栽培試験を行なった。その結果を要約すると次のようである。

### 1. 畑作物の三要素試験

1) 高浜入底土における石灰施用の効果はあきらかに認められ、底土を適切に乾燥し、石灰資材施用による土壌改良を行なえば、畑作物の生育収量は、既耕地土壌並かこれをうわまわることがあきらかになった。

2) 3作物を用いて栽培試験を行なった結果、無加里区の生育収量が三要素区並かこれをうわまわり、ついで無窒素区の順となり、加里や窒素の肥沃性において優れていることがうかがわれた。これに対して、無りん酸区の生育収量は全般的に下まわる傾向がみられた。

3) 3作物を供試してみた結果では、堆肥施用の効果はあきらかではなかった。

### 2. 改良資材施用効果試験

1) 高浜入底土の理化学性改善をねらって、各種土壌改良資材を施用し、畑作物を供試してその効果を検討した。

2) 底土の理化学性改善には、石灰施用の効果はもちろん、モミガラ、EB-a、生ワラ、砂客土いずれの施用によっても効果はみられたが、とくにモミガラの施用効果が目立った。

3) モミガラの施用はとくに底土の気相率増大に役立つことがあきらかとなり、さらに底土の乾燥化に伴う凝集性を抑え、団粒化生成に役立つことを認めた。

4) 生ワラの効果は1作目ではみられなかったが、2作目、3作目と作付け回数増加に伴って、その効果が認められた。またEB-a(高分子団粒剤)の効果は第1作目で高かったが、その後の漸減の傾向はあきらかであった。

### 3. 畑作物の生育適応性試験

1) 底土の脱水、乾燥の進んでいない段階での畑作物の導入については、湿害抵抗性との関連で作物の種類を選ぶ必要がある。

2) 底土に対する適切な土壌改良資材の施用は、畑作物の生育適応性拡大に役立つことがうかがわれた。

3) 底土の乾燥過程におけるモミガラ、堆肥の効果を含水比と、気相率の関係でみると、モミガラの効果は含水比おおむね90%以上の多水分の段階で、堆肥の効果はおおむね90%以下の水分条件で効果がみられ、この段階における気相率はほぼ17%に該当することがうかがわれた。

4) モミガラ、堆肥の施用は、跡地土壌の団粒組成に影響することがうかがわれた。また、団粒の組成別にみ

た窒素無機化の調査結果では、時期別にみた無機化量の推移に若干差異のあることがうかがわれた。

なお、本研究の一部は、昭和 52 年 4 月 8 日に開催された日本土壤肥料学会（於：宇都宮大学）において発表<sup>13)</sup>した。

謝辞：本研究を行なうにあたり、絶えず親切なご助言とご指導をいただいた元農試化学部長石川昌男氏（後農試場長、現退職）、同吉原貢氏（後農試副場長、現退職）ほか関係者の方々、さらに元農地計画課主査宮本正氏（後専技、現退職）、関東農政局高浜入干拓事務所の関係者の方々には、本研究を推進するにあたって大変ご協力、ご援助をいただいた。また、場内には数多くのポット試験を設けて進めたが、これら毎日のポットの管理や分析試料の調整など実際実施するにあたって、おしみなご協力をいただいた農試管理部技師、笹沼照子氏、同技術員小坪まさ子氏ほか関係者の方々に対して、心から感謝の意を表すると共に、心から厚くお礼申し上げます。同時にご多忙中にもかかわらず、本稿のご校閲をいただいた農試場長松田明氏、同副場長石川実氏に対し心から厚くお礼を申し上げます。

## 引用文献

- 1) 平山 力ら：霞ヶ浦周辺干拓地土壤の改良に関する研究，第 2 報，干陸年次の異なる 2・3 干拓地土壤の物理的特徴，茨農試特研報 3，P33～67，(1977)
- 2) 平山 力ら：霞ヶ浦周辺干拓地土壤の改良に関する研究，第 5 報，湖底土に対する土壤改良資材の添加が土壤の物理性に及ぼす影響，茨農試特研報 3，P 115～133，(1977)
- 3) 平山 力：霞ヶ浦周辺干拓地土壤の改良に関する研究，第 6 報，高浜入底土の乾燥化と理化学性的変化，茨農試研報 27，(1987)
- 4) 茨城県：茨城県耕地土壤の実態と対策—地力保全基本調査のとりまとめ—(1978)
- 5) 農試研化学部土壤 2 科：研究成績 (1968)
- 6) 幸田浩俊：野菜類と普通作物による低湿地帯の田畑輪換栽培に関する研究，第 1 報，地下水位と作物の生育，収量，作土層の水分吸引圧，気相率および土壤養分の動態との関係，茨農試研報 22，(1982)
- 7) 農林水産技術会議事務局：重粘土地帯水田の土層改良と用排水組織に関する研究，研究成果 56，P 135～136，(1972)
- 8) 寺沢四郎：数種の土壤改良剤の土壤物理性に及ぼす影響，農技研報 B 19，(1968)
- 9) 茨農試：高浜入干拓畑地化新技術開発調査試験成績書 (1972)
- 10) 茨農試：同上 (1973)
- 11) 茨農試：高浜入干拓畑地化新技術開発調査試験成績書 (別冊)，(1973)
- 12) 関東農政局高浜入干拓事務所，茨城県：高浜入干拓畑地化新技術開発調査試験成績書 (1974)
- 13) 平山 力ら：土肥要旨集 23，P 104，(1977)

茨城県農業試験場研究報告 第27号

昭和63年3月31日発行

発行所 茨城県農業試験場  
〒311-42 水戸市上国井町

印刷所 新生プリント社  
水戸市見川2丁目28-18

Bulletin of the Ibaraki Agricultural  
Experiment Station

No. 27 1987

Contents

1. On the New Semi-Recommended Rice Variety "Tsukinohikari" In Ibaraki Prefecture  
..... Yoshiaki TAKAGI, Masatoshi ISHIHARA and Minoru ISHIKAWA
2. On the New Recommended Soybean Variety "Tachinagaha" In Ibaraki Prefecture  
..... Etsuo NAKAGAWA, Yoshio KASAI, Kazuo KINOUCHI, Yoshihiro  
NIITSUMA and Minoru ISHIKAWA
3. Studies on the Direct Underground Sowing in the Submerged Paddy Field  
Part 3. Method of Nitrogenous Fertilizer Application  
..... Mikio KANO, Kuni SAKAI and Akimitsu SHIOHATA
4. Studies on Regulating of Crude Protein Content in Malting Barley Grain under  
Upland Conditions  
Part 2. Effect of the Preceding Crop on Crude Protein Content of Malting Barley Grain  
..... Etsuo NAKAGAWA, Kazuyuki IWASE, Masahide TAKEI and  
Yoshihiro NIITSUMA
5. Utilization of Sewage Sludge in the Field of Agriculture  
Part 1. On the Chemical and Physical Properties of Sewage Sludge  
..... Chikara HIRAYAMA, Shizuo SAKURAI and Noboru KOBAYASHI
6. Utilization of Sewage Sludge in the Field of Agriculture  
Part 2. Effect of Applications of Sewage Sludge on growth and yield of  
Field Crops  
..... Eiichi MATSUMOTO and Chikara HIRAYAMA
7. Improvement of the Polder Soil on Neighboring Areas of Lake Kasumigaura  
Part 6. Changes in Physical and Chemical Properties of the Bottom Soil  
Takahama-iri on dehydrating Process  
..... Chikara HIRAYAMA
8. Improvement of the Polder Soil on Neighboring Areas of Lake Kasumigaura  
Part 7. Growth Adaptability of Upland Crop on the Bottom Soil of Takahama-  
iri  
..... Chikara HIRAYAMA

