

河川底質客入造成田における水稻の生育障害の実態

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	在原, 克之 渡辺, 春朗
巻/号	68巻2号
掲載ページ	p. 103-111
発行年月	1997年4月

河川底質客入造成田における水稻の生育障害の実態*

在原克之**・渡辺春朗**

キーワード 底質, 造成田, 酸性障害, 土壌 pH, 酸性硫酸塩土壌

1. 緒言

千葉県は、1984年のとりまとめによれば水田面積の約74%が強グライおよびグライ土に土壤分類され¹⁾、その面積の多くは、九十九里海成沖積平野や利根川河成沖積平野に分布している。このため、1978年以降続けられてきた水田転作や水田汎用化は難しいものであり、排水対策を中心とした農業土木的対策が取られてきた。

利根川河成沖積平野は海拔が低く水田の汎用化が難しい状況にあり、大雨や集中豪雨の際には冠水による水稻被害が発生するなど、農業生産のうえで問題のある地域であった。これらの問題を解決するため、下総町と成田市では、河川改修の浚渫によって発生する底質を客土用土として水田造成する改良対策が1983年から着手された。

下総町は利根川河口から約60kmの沿岸に位置している。沿岸に水田が分布し、面積約800haの90%が強グライ土、グライ土に分類される。成田市は下総町の南に位置し、利根川支流の根木名川が市中央を流れている。水田は、根木名川沿岸と印旛沼周辺に約2800haあり、約90%が強グライ土、グライ土に分類される。

両市町における客土造成の内容は、下総町では利根川の底質を、成田市では根木名川の底質を、それぞれ、沿岸に分布する水田の原地表面より約60cmの高さに上乗せ客土し造成するもので、工事は6年間にわたり、施工面積は約300haに及んだ。は場整備の方法は、浚渫された底質をパイプラインで工区内に設けた一次堆積場へ圧送し、6～8カ月間堆積した後に大型重機で底質をは場へ搬入し客土に利用するというものであった。

本事業により、田面が嵩上げされ集中豪雨時の冠水による水稻被害は減少した。しかしながら、造成後の水稻

栽培において、水稻の生育抑制や著しい減収が発生し農業上の新たな問題となった。

本報告は、強グライ土水田へ底質を上乗せ客土した造成田において発生する水稻障害の実態、障害発生の際年変化を調査し、農耕地への底質の利用を検討したものである。

2. 調査地域および調査方法

調査は、利根川の底質145万m³を228haの水田に上乗せ客土した下総町と利根川支流の根木名川の底質37万m³を87.8haの水田に上乗せ客土した成田市の2地域を対象に下記の調査を行った。

1) 一次堆積場における底質の堆積状況と化学性

客土に利用される底質の一次堆積場における堆積状況や化学性を1986年10月に成田市で調査した。グライ化の程度は0.2% α, α' ジビリジル液の呈色と土色により判定した²⁾。土壤化学性のうち、水溶性SO₄²⁻はイオンクロマト法、土壤有機物はNCアナライザー法により分析した。

2) 客土用土の違いによる水稻障害の発生と土壤理化学性

1987年の水稻栽培期間中に成田市において、用土として用いられた底質の違いと水稻障害の発生について明らかにするため、水稻の生育、土壌のpH(H₂O)、EC、水溶性SO₄²⁻等の化学性と自記式貫入硬度計による貫入抵抗を調査した。

3) 造成後の年数経過に伴う土壤化学性の違い

造成後の経過年数に伴う土壤化学性の違いを明らかにするため、下総町において造成後1作目は場46地点、2作目は場30地点、3作目は場22地点の計98地点について、1988年11月から12月にかけて、県内水田のほぼ作土層に相当する深さ15cmまでを採土し化学性を調査した。

4) 造成後の年数経過に伴う水稻障害の発生

造成後の年数経過と障害の発生について明らかにするため、上述の下総町の地点で1988年の水稻成熟期に調

* 本報告の概要は1988年10月日本土壤肥料学会関東支部大会において発表した。

** 千葉県農業試験場 (266 千葉市緑区大膳野町 808)
1995年9月25日 受付・受理

日本土壤肥料学雑誌 第68巻 第2号 p.103~111(1997)

査した。被害程度は収量を、無：正常，少：10～30%の減収，中：30～60%の減収，多：60%以上の減収に分類した。

5) 分けつ期の土壌 pH(H₂O) と水稲生育の関係

土壌 pH(H₂O) と水稲の生育・収量の関係を明らかにするため、1987年に成田市の造成後2作目は場において、分けつ期の生育を11地点、収量を18地点で調査した。

3. 結 果

1) 一次堆積場における底質の堆積状況と化学性

底質は粒径と流速の違いから、パイプラインの吹き出し口近くに粗い砂が厚く、周囲に粘質のものが厚く溜まっていた。浚渫直後、厚さ約1.5mに堆積していた底質は、約6カ月間の堆積により粗い砂が堆積するパイプライン吹き出し口部分の厚さは変わらないものの、粘質な底質が堆積している周辺部では約80cmまで減少し表層には亀裂の発達が著しかった。

堆積された底質の化学性を第1表に示した。表層に堆積された粘質な底質の表面は亀裂の発達により酸化され斑紋結核が多くみられ、ジピリジル反応は弱かった。しかし、表層5cmと土性がほぼ同一である深さ5～20cmの土層では亀裂は少なく、土色は2.5GYの還元色を呈しており、ジピリジル反応が顕著であった。

斑鉄の生成が認められる表層5cmのpH(H₂O)は3.9と低く、生成された水溶性SO₄²⁻とECは高かった。しかし、深さ5～20cmでは表層5cmに比べてpH(H₂O)は5.7と高く、ECは低かった。過酸化水素水処理試料のpH(H₂O₂)は、表層5cmの3.7に対して深さ5～20cmの土層では3.2と低かった。

土性を同じくする表層5cmと深さ5～20cmの交換性塩基を比較すると、土壌断面形態からみて酸化の進んでいる表層5cmの方が各塩基飽和度は低下しており、MaO/CgO比でみると、カルシウムに比べてマグネシ

ウムの減少が顕著であった。

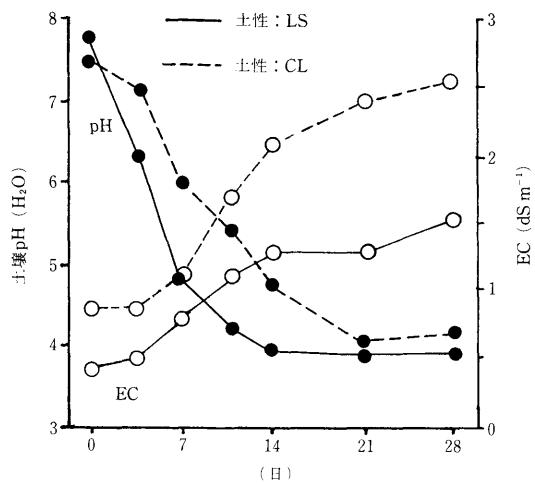
深さ20～32cmの底質は壤質で、土色は2.5Y～10YRであり、亀裂の発生は少ないが上部から酸化が進んでいる様子がうかがえた。この土層の水溶性SO₄²⁻は0.11gkg⁻¹と少なくECも0.4dSm⁻¹であった。

深さ32cm以下は貝化石を含む粗い砂で、過酸化水素水処理のpH(H₂O₂)は2.5と低く水溶性SO₄²⁻は4.18gkg⁻¹と多かった。また、マグネシウム飽和度は74.4%で一般の土壌と比較して著しく高かった。

未酸化状態の底質の通風静置培養によるpH(H₂O)とECの変化は第1図に示したように、粘質な底質のpH(H₂O)の低下は遅かったが、ECは砂質のものに比べて高かった。

2) 客土用土の違いによる水稲障害の発生と土壤理化学性

一次堆積された底質は、大型重機により工区内へ搬送



第1図 静置培養に伴う土壌 pH(H₂O) と EC の変化

第1表 一次堆積場における客土用底質の堆積状況と化学性 (成田市, 1986年10月調査)

採土深 (cm)	土性	土色	ジピリ ジル 反 応	斑紋 結核	pH		EC (dS m ⁻¹)	水溶性 SO ₄ ²⁻ (g kg ⁻¹)	交換性塩基(g kg ⁻¹)			CEC (cmol (+) kg ⁻¹)	飽和度(%)		MgO/ CaO
					(H ₂ O)	(H ₂ O ₂)			CaO	MgO	K ₂ O		マグネシウム	塩基	
0～5	CL	2.5Y	g ₁	D ₂	3.9	3.7	1.54	5.16	5.78	1.55	0.42	34.7	22.2	84.1	0.27
5～20	CL-SCL	2.5GY	G ₂	D ₀	5.7	3.2	0.62	4.60	4.60	1.99	0.50	32.5	30.4	101.4	0.32
20～32	SL-LS	2.5Y ～10YR	g ₀	D ₂	4.9	3.9	0.40	0.11	1.45	1.35	0.68	16.0	41.9	83.1	0.93
32～	LS-FS	7.5GY	G ₂	D ₀	4.3	2.5	0.68	4.18	1.02	0.90	0.11	6.0	74.4	138.1	0.88

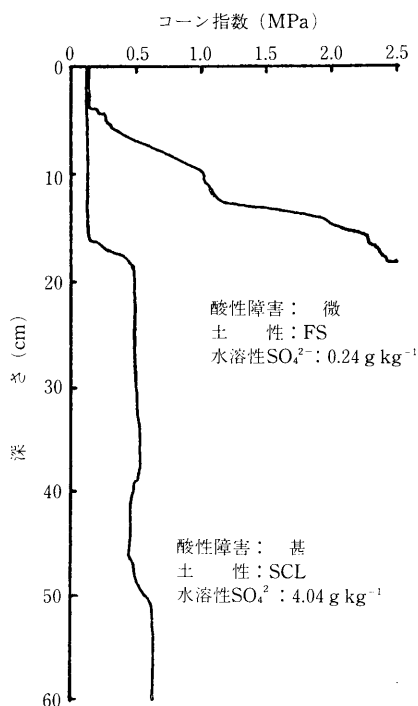
注1) g₀:しばらく放置しても呈色しない, g₁:しばらく経つと弱く呈色, G₂:即時鮮明に呈色する。

注2) D₀:斑紋結核はなし, D₁:斑紋結核を含む, D₂:斑紋結核に富む。

第2表 客入用土の理化学性と水稻障害の発生（成田市，1987年調査）

作土の 土性	T・C (g kg ⁻¹)	CEC (cmol(+) kg ⁻¹)	最 高 分 げ つ 期					収量 (kg ha ⁻¹)
			pH (H ₂ O)	EC (dS m ⁻¹)	水溶性 SO ₄ ²⁻ (g kg ⁻¹)	分げつ期 草丈 (cm)	分げつ期 茎数 (本 m ⁻²)	
SCL	31.9	25.0	3.4	1.68	4.04	23.8	112	750
L	10.3	14.6	3.8	0.79	2.63	33.8	253	1500
FS	6.1	6.2	5.9	0.36	0.42	47.6	396	3380
FS	3.9	8.7	7.4	0.25	0.24	34.1	170	1870
FS	4.2	6.5	6.8	0.29	0.04	47.4	469	4490

注) 品種：コシヒカリ。



第2図 客入された底質と土壌貫入抵抗の関係（成田市，1987年調査）

注) コーン断面積：2 cm²，円錐角：30°。

された。このため、一次堆積場の周辺部に堆積した底質が搬入されたほ場では粘質な底質を主として造成され、一次堆積場にあてられたほ場ならびに一次堆積場の周辺ほ場では砂質の底質が主に用土として利用される結果となった。

造成後2作目のほ場における用土の理化学性と水稻障害の発生状況の関係を第2表と第2図に示した。

粘質、壤質の用土が客入されたほ場は、最高分げつ期

におけるpH(H₂O)は3~4と低く、ECは0.79~1.68 dS m⁻¹で水溶性SO₄²⁻は2.63~4.04 g kg⁻¹であった。また、粘質なほ場の深さ60 cmまでの貫入抵抗は0.5 MPa以下であった。しかしながら、土壌中の塩素濃度は0.15 g kg⁻¹であり、被害発現濃度とされる0.5~0.7 g kg⁻¹以下であった³⁾。

粘質な底質が客入されたほ場では、移植直後から葉がよれたり、葉鞘から折れて株が枯死する障害がみられた。次に、枯死はしないが分げつの発生が少なく、草丈の伸長抑制される障害が現れた。出穂期から成熟期にかけての症状としては、それまで緑色を呈していた葉が3、4日で暗緑色、暗褐色と変化し枯れるものであった。上述の症状が現れたほ場では収量が750~1500 kg ha⁻¹と著しく低かった。

砂質の用土が客入されたほ場のpH(H₂O)は5.9~7.4で一般水田と比較して同程度からやや高かった。ECは低く、水溶性SO₄²⁻も0.04~0.42 g kg⁻¹であった。しかしながら、砂質ほ場の多くは、第2図に示したように深さ12 cmで貫入抵抗は1.15 MPaであった。pH(H₂O)が5.9、6.8のほ場では葉色が淡く推移したが生育は順調であり、収量は4000 kg ha⁻¹前後であった。しかし、pH(H₂O)が7.4のほ場では、最高分げつ期の茎数が170本 m⁻²と少なく草丈が短かった。このほ場の収量は1870 kg ha⁻¹と少なかった。

3) 造成後の年数経過に伴う土壌化学性の違い

下総町における造成後の経過年数別、土性別の土壌化学性を第3表に示した。造成後1作目ほ場のpH(H₂O)は砂質ほ場の方が粘質、壤質ほ場に比べてやや低いが、土性別の平均ECは約0.4 dS m⁻¹で差がなかった。しかし、砂質ほ場のpH(H₂O)は造成後の年数経過に伴って上昇する傾向を示したのに対して、壤質ほ場では造成後2作目が最も低く3作目では上昇した。粘質ほ場では年数経過に伴ってpH(H₂O)は低下の傾向を示し、

第 3 表 造成後経過年数別, 土性別の土壤化学性 (下総町, 1988 年調査)

造成後年数	土性	調査 点数	pH (H ₂ O)	EC (dS m ⁻¹)	土 壤 可給態(mg kg ⁻¹)				CEC 交換性塩基(g kg ⁻¹)			塩 基			MgO/ CaO	水溶性 SO ₄ ²⁻ (g kg ⁻¹)	
					有機物 (g kg ⁻¹)	N	SiO ₂	P ₂ O ₅	(cmol(+)) kg ⁻¹	CaO	MgO	K ₂ O	飽和度 (%)	カルシウム 飽和度 (%)			マグネシウム 飽和度 (%)
造成後 1 作目 (点数=46)	粘質	4	5.3	0.41	16.5	26.8	325	158	13.5	1.66	0.46	0.19	64.4	44.4	17.0	0.28	1.79
	壤質	8	5.2	0.47	12.8	23.3	187	149	11.4	1.43	0.43	0.18	65.4	43.9	18.2	0.29	1.55
	砂質	34	4.8	0.34	4.4	4.7	98	77	6.5	0.76	0.23	0.13	63.9	41.8	17.6	0.30	1.04
造成後 2 作目 (点数=30)	粘質	11	4.3	1.19	14.4	19.2	279	124	16.8	3.01	0.63	0.28	85.0	62.4	19.0	0.26	6.41
	壤質	12	4.9	0.80	11.8	33.1	273	112	12.4	2.15	0.40	0.31	83.3	62.3	15.9	0.21	3.15
	砂質	7	5.3	0.48	6.6	17.3	162	131	9.1	1.30	0.34	0.23	75.0	50.7	18.7	0.27	1.70
造成後 3 作目 (点数=22)	粘質	12	4.1	1.41	19.9	26.4	332	158	20.1	2.68	0.85	0.56	78.8	51.7	21.3	0.33	9.37
	壤質	5	5.6	0.46	11.3	37.4	230	144	11.9	1.56	0.39	0.31	68.9	47.3	16.2	0.24	1.57
	砂質	5	6.1	0.35	6.0	23.6	182	168	7.6	1.20	0.24	0.21	80.5	58.3	16.2	0.21	1.01

注 1) 可給態窒素は湛水静置培養による。 注 2) 可給態 P₂O₅は Bray 第 2 法による。

第 4 表 造成後経過年数に伴う水稲障害発生程度 (下総町, 1988 年調査)

造成後 年 数	土 性	被害程度別は場点数				被 害 の 加重平均
		無	少	中	多	
造成後 1 作目 n=46	粘質	3	1	0	0	0.25
	壤質	1	4	1	2	0.50
	砂質	0	11	15	8	1.91
造成後 2 作目 n=30	粘質	3	0	4	5	1.92
	壤質	1	5	2	3	1.63
	砂質	5	1	0	1	0.57
造成後 3 作目 n=22	粘質	5	3	0	4	1.25
	壤質	5	0	0	0	0
	砂質	5	0	0	0	0

注 1) 被害程度 無: 正常, 少: 10~30%の減収, 中: 30~60%の減収, 多: 60%以上の減収。

注 2) は場点数加重平均 無=0, 少=1, 中=2, 多=3として算出。

造成後 3 作目では pH(H₂O) が平均で 4.1 であった。

砂質と壤質のは場における EC は, 造成後 1 作目に比べて 2 作目で高く, 3 作目は場では低下した。しかし, 粘質は場では年数経過に伴って上昇し, 造成後 3 作目は場の EC は平均 1.41 dS m⁻¹ であった。

調査 98 地点における水溶性 SO₄²⁻ と EC ($r=0.92^{**}$), 交換性マグネシウムと水溶性 SO₄²⁻ ($r=0.81^{**}$), 交換性マグネシウムと EC ($r=0.75^{**}$) との間にはそれぞれ高い正の相関関係が認められ, 粘質は場では造成後の経過年数に伴ってマグネシウム飽和度が高くなり, 砂質と壤質のは場では年数経過に伴って低下する傾向を示した。

土壤有機物含量や可給態窒素, ケイ酸, リン酸含量に

ついては, 粘質は場が多く砂質で少なかったが, 造成後の年数経過に伴う変化は認められなかった。

4) 造成後の年数経過に伴う水稲障害の発生

造成後の年数経過に伴う収量被害を土性別に第 4 表に示した。

造成後 1 作目では 46 地点中 10 地点で 60%以上, 16 地点で 30~60%の減収であり, 被害程度の大きいほ場の大半は砂質のは場であった。しかし, 砂質は場における造成後 2 作目の被害程度は 1 作目は場に比べて軽く, 3 作目は場では障害の発生が認められなかった。

造成後 1 作目の壤質は場における被害程度は, 砂質は場とはほぼ同程度であったが, 砂質のは場と違い, 造成後 2 作目においても 1 作目と同程度の被害の発生が認められ, 既存水田の収量に対して 30%以上の減収となるほ場が 11 地点中 5 地点あった。しかしながら, 造成後 3 作目の被害は, 造成後 1, 2 作目に比べて軽かった。

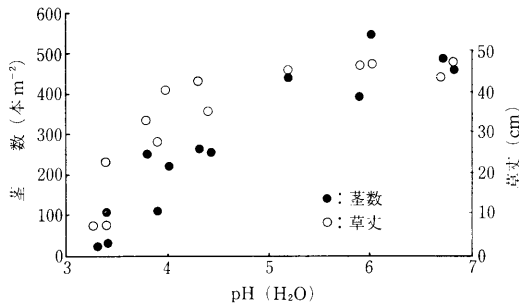
粘質は場における造成後 1 作目の被害程度は, 砂質および壤質のは場に比べて軽く, 近隣地域の既存水田の収量に対して 30%以上減収したほ場は認められなかった。しかし, 造成後 2 作目のほ場では障害の発生が著しく, 定植直後から枯死株の発生が多く, 草丈の伸長や分けつ発生の不良な部分が見られ, 12 地点中 5 地点で一般水田の収量に対して 60%以上減収した。被害の発生は, 3 作目は場でも認められ, 調査 12 地点中 4 地点で 60%以上の減収となった。

5) 分けつ期の土壤 pH(H₂O) と水稲生育の関係

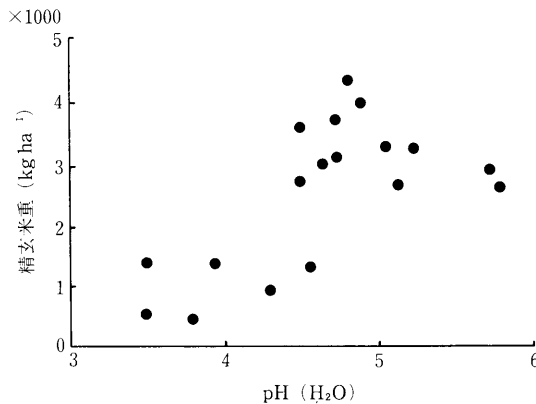
土壤 pH(H₂O) と水稲生育の関係を第 3 図に示した。分けつ期における草丈は, pH(H₂O) が 5 以上のは場では 45~50 cm であったが, pH(H₂O) が 4.5 以下のは場では pH(H₂O) の低下に伴って草丈の伸長は抑制さ

れる傾向を示した。特に、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ が4以下のほ場では、定植直後から枯死する株の発生が多かった。この時期における茎数も同傾向であり、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ が5以上のほ場では茎数が400~550本 m^{-2} で近隣の既存水田の水稲生育と差はなかったが、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ が4.5以下のほ場8地点の平均は160本 m^{-2} と少なかった。

成熟期の土壌 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ と収量の関係は第4図に示したように、土壌 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ 4.5を境に収量差が認められ、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ 4.5以上のほ場の平均収量は約3200kg ha^{-1} で、近隣の一般水田の収量に比較して約30%の減収にとどまった。これらのほ場のなかには、生育前期から出穂期にかけてはほぼ正常な生育をしていたが、成熟期後半、落水によって急速に障害が発生し登熟不良により減収したほ場が多くみられた。 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ 4.5以下のほ場は減収が著しく、収量は1500kg ha^{-1} 以下であっ



第3図 分けつ期における土壌 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ と茎数、草丈の関係 (成田市, 造成後2作目, 1987年調査)
注) 品種: コシヒカリ。



第4図 成熟期の土壌 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ と収量の関係 (成田市, 造成後2作目, 1987年調査)
注) 品種: コシヒカリ。

た。これらのほ場の減収原因は、移植直後の枯死株の発生、穂数不足や登熟の不良であった。

4. 考 察

1) 一次堆積場における酸化の進行

本調査で確認した一次堆積場における底質中の全イオウ含量は4~25g kg^{-1} と多く、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}_2)$ が3前後となり、交換性マグネシウム含量が交換性カルシウム含量に対して高いことから、酸性硫酸塩土壌と判断された。このような底質は、手賀沼の下層に堆積する底質でも確認されており、淡水化後堆積した底質には可酸化性イオウはないとする河内・米田⁵⁾の報告と合わせて考えると、千葉県内の湖沼や河川の下層に堆積する底質は海水の影響を受けており、基盤整備に利用した際、酸性障害の発生する危険性が高いと推察された。

一次堆積場における砂質と粘質の底質とでは、土壌断面形態、亀裂の発達ならびにジピリジル反応に違いがあり、砂質の方が粘質のものに比べて酸化の進行が速かった。この原因は以下の理由によるものと考えられる。

浚渫直後の粘質な底質は、含水比が200%以上であり、さらには、国分ら⁶⁾が報告するように、パーミキュライト、クロライトならびに雲母を主体とした粘土鉱物が多いため鉛直方向への透水性が著しく低く、村上⁷⁾が報告する可酸化性イオウが酸化し難い水分であったと考えられる。

まず、表層に堆積した粘質な底質の表面から水分が蒸発し、石川ら⁸⁾が明らかにしたヘドロ地盤で柱状構造が発達する土壌水分張力 $\text{pF} 1.5\sim 2.0$ に相当する亀裂が生成される。しかし、この段階では、粘質な底質中の可酸化性イオウの酸化は、極表層と $\text{pF} 1.5\sim 2.0$ の亀裂の表面に限られ、粘質な底質全体が酸化するには、水分の蒸発によって、石川ら⁸⁾の報告する角塊状構造の生成する $\text{pF} 2.5\sim 2.7$ の土壌水分張力の発現が必要であったと考えられる。一方、一次堆積場の下層に堆積した砂質の底質は、表層に発達した水分張力 $\text{pF} 1.5\sim 2.0$ の亀裂を通して入る空気や雨水により、可酸化性イオウが酸化され、交換性塩基の溶脱を生じると考えられる。つまり、含水比が低く、透水性が高い砂質の底質は、粘質のものに比べて、可酸化性イオウの酸化に好適な水分状態まで低下する時間が短いために、可酸化性イオウの酸化に違いを生じたと考えられる。そして、浚渫後6~8カ月間一次堆積場で放置しただけでは、粘質な底質の酸化は極表層や亀裂の表面に限られると判断された。

最も深い位置に堆積し、貝殻片を含む粗い砂層は、土色、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ ならびに $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}_2)$ から判断して未酸

化の状態にあるが、粗孔隙量が多く透水性が高いため、客土に利用された後、底質中の可酸化性イオウの酸化が速やかに起こるものと推定される。

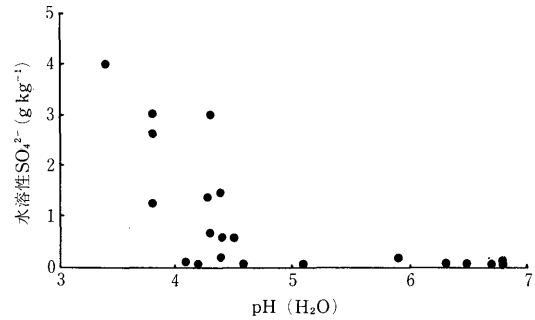
2) 客土用土の違いによる水稲障害の発生

(1) 酸性障害

客土用土の土性の違いによって、酸性障害の発生時期に違いが認められ、砂質の底質が用土として用いられたほ場では施工直後の作付けで酸性障害の発生程度がひどく、壤質や粘質のほ場では発生のピークが2作目、3作目と遅れている。一方、造成後の経過年数に伴う pH (H₂O) の変化は、砂質ほ場では造成後1作目、壤質ほ場では2作目、粘質ほ場では2、3作目に最も低く、収量が大きく変化する土壤 pH (H₂O) 4.5に近い値を示した。したがって、酸性障害の発生する時期が客土用土によって違うのは、粘質ほ場では、一次堆積場で可酸化性イオウの酸化が不十分な用土が用いられ、基盤整備後も、底質に含まれる可酸化性イオウの酸化が第1図に示したように砂質に比べて遅いためと考えられる。

障害の発生期間が、砂質ほ場では造成後1作目に限られたのに対して、粘質ほ場では2、3作の長期に及んだ。これは、砂質と粘質の底質とでは、全イオウ含量、水溶性 SO₄²⁻ に明らかに差があり、粘質の方が可酸化性イオウの含量が多く、さらには、前述したように、可酸化性イオウの酸化する速度が遅いために障害の発生期間が長いと考えられる。一方、砂質の底質は腐朽貝殻を含んでおり、山崎・鬼鞍⁹⁾が報告するように、可酸化性イオウの酸化によって生成された酸により貝殻片からカルシウムが溶出し、土壤コロイドへのカルシウムの吸着により、海水に由来する交換性ナトリウムやマグネシウム含量が低下し易いため生育・収量の回復が早いと推察された。

分けつ期、登熟期においても、土壤 pH (H₂O) が 4.5 以下のは場では生育が抑制され、著しく減収した。これは、第5図に示したように、土壤 pH (H₂O) が 4.5 以下になると水溶性 SO₄²⁻ が高くなることから、生成された SO₄²⁻ と土壤溶液中の塩類濃度の上昇に伴って浸透圧が増大したり、土壤 pH (H₂O) が低下したために鉄の溶解度が高くなり、TANAKA and NAVASERO¹⁰⁾の報告する鉄の過剰吸収を生じたためと考えられる。したがって、分けつ期や登熟期における酸性障害の発生は、地温の上昇や落水処理によって土壤中の可酸化性イオウの酸化が進行し、土壤 pH (H₂O) が低下するためと考えられる。そして、この時期の急速な被害の拡大は、村上¹¹⁾が報告するように、pH (H₂O) の低下に伴って可酸化性イオウの酸化がさらに促進され、pH (H₂O) の低



第5図 土壤 pH (H₂O) と土壤中の水溶性 SO₄²⁻ の関係 (下総町, 1988 年調査)

下を進めるといった加速度的に反応がおこるためと考えられる。

(2) 塩類障害

移植直後にみられた苗が枯死する障害は、砂質のは場では造成後1作目に、壤質と粘質のは場では造成後2、3作目に発生が多い点は酸性障害と似ているが、発生時期が移植後30日頃までに限られ、分けつ期から成熟期にかけての中干しや落水処理に伴って発生した鉄の過剰吸収による酸性障害とは症状は異なるものであった。つまり、この移植直後に発生する障害は、一次堆積場やほ場への客土後に可酸化性イオウの酸化によって生成した水溶性 SO₄²⁻ や土壤溶液中の塩類濃度が高いために浸透圧が高く、根からの吸水ができずに萎凋したり、田面水に溶存する SO₄²⁻ とマグネシウムを主とするカチオンが葉鞘部表面で結晶化して葉鞘・葉身が枯れたものと考えられた。したがって、この障害は移植時の土壤溶液や田面水中の塩類濃度によって発生が左右されるものであり、代かき後、落水することによって塩類を洗い流したり、移植後は灌漑水を常時供給することにより被害の軽減が図れると考えられる。

(3) 物理的障害

砂質の底質が上乘せ客土されたほ場では、造成後2作目以降は酸性障害の発生は少なかった。しかし、深山・岡部¹²⁾の報告するコシヒカリの適正穂数が確保されていたにもかかわらず、葉色は生育期間全般にわたって淡く、収量は10~20%程度の減収がみられた。このような症状を示すほ場の土壤 pH (H₂O) は、5.9~6.8であり、EC や水溶性 SO₄²⁻ は低く、土壤の化学性に由来する障害とは考えられず、むしろ、この障害の発生するほ場が砂質のは場に限られ、自記式貫入硬度計による貫入対抗が深さ12cmで1.15MPa以上とち密であることから、この障害は、代かき作業などにより作土層にお

る土壤の充填密度が増加し、根の伸長が阻害されて減収したものと考えられた¹³⁾。このような物理的障害については、有機物含量の少ない土壤において発生することを北川ら¹⁴⁾は報告しているが、耕作回数が増えて、稲わらの還元や耕耘が行われることにより土壤の充填密度が次第に低下し、水稻の生育・収量への影響は少なくなると考えられる¹⁵⁾。

(4) アルカリ障害

砂質の底質が上乘せ客土されたほ場では、前述の物理的障害が発生したほ場と同様に、葉色が生育期間全般にわたって淡く推移し、穂数が適正穂数の30%と少なく減収の著しい地点も認められた。このような地点は、一次堆積場に当てられたほ場のパイプラインの吹き出し付近に限られ、土壤は貝殻片を含み、粗砂50~60%、細砂35~40%の海成砂が客土された地点であった。この地点の土壤理化学的特徴として、自記式貫入硬度計による貫入対抗が大きいことに加えて、貝殻片の影響により土壤pH(H₂O)が7.4~8.0と高いことから、この障害は、田中ら¹⁶⁾や白鳥ら¹⁷⁾が千葉県佐原市の利根川浚渫土客入水田において確認したアルカリ障害である亜鉛欠乏症と推定された。

以上のように、河川の底質を客土用土として利用した場合、水稻に酸性障害を主体とする4種の障害が発生した。これらの障害の発生は、客土に用いられた底質の土性によって種類が大別でき、酸性障害と塩類障害は粘質、壤質ならびに砂質のほ場で共通して発生するが、物理的障害とアルカリ障害の発生は砂質のほ場に限定されると考えられた。発生面積の大半を占める酸性障害の発生時期、被害程度ならびに期間は、底質の土性と造成後の経過年数によって推測でき、砂質での発生時期は造成後1作目に、壤質、粘質では造成後2、3作目に被害が大きく、発生期間は砂質で1作、壤質では2、3作であるが、粘質では3作以上長期に及ぶことが明らかとなった。

これらの障害対策については、今後、さらに検討する必要があるが、河川底質の農用地利用に際して、主となる障害は酸性障害であり、改善対策の中心は、粘質な底質における可酸化性イオウの酸化の促進と考えられる。

可酸化性イオウを含む酸性硫酸塩土壌の改良方法として村上¹⁸⁾は、耕耘によって可酸化性イオウを酸化させた後にアルカリ資材を施用するとしている。しかし、底質のほ場への客土と整地工事は2、3月まで及ぶことが多く、水稻の早期栽培が行われている千葉県においては、耕耘による酸化の促進を図る期間が短い状況にある。

したがって、一次堆積場での重機による攪拌や造成工事実施時期の前進により水稻作付けまでの期間を確保し、底質の乾燥と可酸化性イオウの酸化を促すといった施工方法の改善が第一と考える。そして、上述の対策がなされた後に、本調査結果に基づいて、造成後の経過年数と用土の土性をもとに調査点数を設定し、pH(H₂O₂)とpH(H₂O)によって障害発生の時期や程度を推定するとともに、営農的対策として、池田ら¹⁹⁾が提唱する塩化カリウム浸出液の緩衝能曲線から求めた炭カル量と過酸化水素水処理によって求めた可酸化性イオウの中和に要する炭カル量の含量を施用する方法が望ましいと考える。

塩類障害は、水稻の移植後30日頃までの生育初期に限られ、移植直後の土壤溶液や田面水中の水溶性SO₄²⁻や塩類濃度によることから、酸性障害の対策で述べた可酸化性イオウの酸化を促すための施工方法の改善と代かき後の落水や新鮮な灌漑水の供給による希釈により被害の軽減が図れるものと考えられる。

物理的障害とアルカリ障害は、砂質のほ場に発生が限定されることから、発生ほ場の推定が容易であり、症状が酸性障害、塩類障害と異なるので判定は容易であるが、営農的対策が図りにくく、発生が長期に及ぶことも考えられる。したがって、これらの障害対策については、ほ場整備時に下層へ埋没させる工法をとるべきと考える。

5. 要 約

河川改修に伴う強グライ土水田への底質の上乗せ客土に際して、水稻に発生する障害の実態を解明するため、底質の化学性、水稻の生育・収量ならびに造成後の年数経過に伴う障害発生程度について調査検討した。結果は要約すると以下のとおりである。

1) 底質は全イオウ含量が4~25 g kg⁻¹と多く、過酸化水素水処理後のpH(H₂O₂)が3前後となり、交換性マグネシウム含量が交換性カルシウム含量に対して高いことから酸性硫酸塩土壌と判断された。

2) 一次堆積場では、表層に粘質、下層に砂質の底質が堆積していた。6~8カ月間の堆積放置では、粘質の底質に含まれる可酸化性イオウの酸化は、ごく表層部に限られていた。

3) 造成後1作目は場のpH(H₂O)は砂質の底質の方が粘質、壤質の底質に比べてやや低いが、砂質のほ場ではpH(H₂O)は造成後の年数経過に伴って上昇する傾向を示した。対して、壤質のほ場では造成後2作目が最も低く、粘質のほ場では年数経過に伴ってpH(H₂O)

は低下の傾向を示した。

4) 水稻に発生した酸性障害による被害は、砂質ほ場と壤質ほ場では造成後 1 作目で多くみられたが、年数経過に伴って減少し 3 作目の発生は少なかった。しかし、粘質ほ場では、造成後 1 作目の被害は少ないが 2, 3 作目に著しい被害が発生した。

5) 分けつ期における水稻の生育は土壤 pH(H₂O) 4.5 を境に差がみられ、pH(H₂O) 4.5 以下のほ場では草丈が短く、莖数も少なかった。収量も同じ傾向を示し、pH(H₂O) 4.5 以下のほ場では 1 500 kg ha⁻¹ 以下であった。

6) 砂質のほ場は酸性障害の発生は造成後 1 作目に限られるが、土壤の充填密度が高いため水稻根の伸長が阻害され生育が抑制される。

謝 辞 本研究のとりまとめにあたり茨城大学増島博教授(現東京農業大学教授)には適切なご助言を賜った。本調査研究の遂行にあたり東京農業大学後藤逸男教授・千葉県農業試験場故森川昌記氏には貴重な援助をいただいた。また、現地調査に際しては香取農業普及センター阿部勝則氏、引地美佐夫氏ならびに千葉県農業試験場地力保全研究室の皆さんにご協力をいただいた。以上の方々に、心より感謝申し上げます。

文 献

- 1) 千葉県農林部：千葉県耕地土壌の実態 (1984)
- 2) ベドロジスト懇談会編：土壌調査ハンドブック, p. 74~75, 博友社, 東京 (1984)
- 3) 千葉県：農林公害ハンドブック改訂版, p. 91 (1990)
- 4) 在原克之・森川昌記・渡辺春朗：浚渫土の農用地利用に関する研究 (第 1 報) 手賀沼底質中の重金属含量とその化学性, 土肥要旨集, **33**, 175 (1987)
- 5) 河内知道・米田茂男：干拓地土壌に関する研究 (第 18 報) 干拓新田における土壌の化学的性質の経時的変化について, 岡山大学農学部学術報告, **20**, 89~100 (1962)
- 6) 国分欣一・増島 博・根本清一・長野間宏：圃場整備に伴う水田の排水及び土壌改良に関する研究, 農事試験報, **32**, 93~135 (1980)
- 7) 村上英行：可酸化性イオウの酸化についての二三の問題 (第 3 報) 酸性硫酸塩土壌の特性と改良法, 土肥誌, **39**, 112~116 (1968)
- 8) 石川重雄・竹中 肇・足立忠司・江崎 要・堤 聡・河野英一：干陸後のヘドロ地盤の乾燥過程について (I) 中海干拓の農地整備に関する研究, 農土論集, **110**, 109~123 (1984)
- 9) 山崎慎一・鬼鞍 豊：新干拓地土壌の脱塩過程, 九州農試報, **14**, 331~343 (1968)
- 10) TANAKA, A. and NAVASERO, S. A.: Growth of the rice plant on acid sulfate soils. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **12**, 107~114 (1966)
- 11) 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 (第 1 報) 酸性硫酸塩土壌の特性と改良法, 土肥誌, **38**, 112~116 (1967)
- 12) 深山政治・岡部達雄：水稻の品種特性と最適窒素保有量, 同上, **55**, 1~8 (1984)
- 13) 在原克之・渡辺春朗：グライ層の位置と土性からみた耕盤形成の実態, 同上, **64**, 623~629 (1993)
- 14) 北川靖夫・岡山清司・東城真治：転換畑における「いつき」現象の発現, 同上, **59**, 149~155 (1988)
- 15) 在原克之・渡辺春朗：客土造成田の水田土壌化について, 同上, **59**, 607~613 (1988)
- 16) 田中 明・下野勝昭・石塚喜明：垂鉛欠乏に起因する水稻の赤枯について, 同上, **40**, 415~419 (1969)
- 17) 白鳥孝治・鈴木 武・三好 洋：利根川浚渫土客入水田に分布する水稻の赤枯病類似障害, 千葉農試報, **9**, 73~81 (1969)
- 18) 村上英行：可酸化性イオウの酸化が水田土壌と水稻の生育に与える影響 (第 5 報) 酸性硫酸塩土壌の特性と改良法, 土肥誌, **39**, 514~519 (1968)
- 19) 池田一徹・三好利臣・夏秋道俊：圃場整備に伴う酸性硫酸塩土壌の改良, 佐賀農試報, **25**, 1~36 (1989)

The Actual State of Damage to Paddy Rice in Paddy Fields Established from Sediment Dredged from Rivers

Katsuyuki ARIHARA and Haruo WATANABE
(Chiba Prefect. Agric. Exp. Stn.)

In order to solve the problems with paddies, in the case of soil dredging for the establishment of strong gley paddy fields from rivers we examined the growth and yield of paddies as well as problems occurring after their construction. The results are summarized as follows.

- 1) The total sulfur content of the sediment was 4-25 g kg⁻¹, and, when the soil was oxidized with hydrogen peroxide, its pH(H₂O₂) was 3. We concluded that the sediment was an acid sulfate soil because the Ex-MgO content was higher than the Ex-CaO content.
- 2) In the stockpile, the clayey sediment accumulated on the surface horizon whereas the sandy

sediment accumulated on the subsurface horizon. After sediment accumulation over 6-8 months, oxidation of acid sulfate materials contained in the clayey sediment occurred only in the surface horizon.

3) One year after paddy-field construction, the sandy paddy soil showed a lower pH(H₂O) than both the clayey and loamy paddy soils, although the pH(H₂O) of the sandy paddy soil increased for a few years after the construction of the paddy fields. The pH of the loamy paddy soil, on the other hand, declined.

4) In the sandy paddy fields, salt damage in the first crops was frequently found after land construction, whereas in the loamy paddy fields, salt damage was hardly found in the first crops but very poor yields occurred from the second and third crops.

5) There were differences between plant heights and the number of tillers on the border at soil pH(H₂O) 4.5; plants were short, and the number of tillers was low in fields below pH(H₂O) 4.5. The yield, which showed the same tendency as above, was less than 1 500 kg ha⁻¹ in the field with pH(H₂O) 4.5.

6) In paddies with sandy soil, salt damage was limited to the first crops, although the growth of rice plants in the paddy was restrained because the high solid ratio interrupted the growth of rice plants in the paddy.

Key words acid sulfate soils, damage associated with acidification, sediment, soil dressed paddy field, soil pH

(Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr., 68, 103-111, 1997)

書 評

Mass Spectrometry of Soils

Thomas. W. BOUTTON and Shin-ichi YAMASAKI 編

A 5 判, 520 pp., \$185.00 (ISBN: 0-8247-9699-3)

Marcel Dekker, Inc. (New York), 1996 年

質量分析法は、高感度・高選択性という特徴をもつ分析法であり、各種のイオン化法と質量分析計の組み合わせにより、多様な無機・有機質量分析法がある。本書は、土壤科学分野への質量分析法の種々の適用例の現状を、第一線の研究者が紹介したものである。執筆者には、本学会員の名前も多くみられる。二部構成となっており、第一部ではガス同位体比質量分析法、第二部ではその他の加速器・表面電離・有機・ICP 質量分析法が取り上げられている。

第一部は、軽安定同位体の同位体比質量分析法の自動化(BARRIE & PROSSER)、土壤有機物の安定炭素同位体比とその植生・気候変化の指標への利用(BOUTTON)、¹³C 天然存在比を用いた土壤有機物のターンオーバー測定(BALESIDENT & MARIOTTI)、土壤 CO₂・CaCO₃ の安定炭素・酸素同位体(CERLING & WANG)、土壤生成研究での土壤 CaCO₃ の安定炭素同位体組成の利用(NORDT, WILDING, HALLMARK & JACOB)、水素・

酸素同位体比の土壤・地球化学(MIZOTA)、土壤生態系中の CH₄・N₂O の炭素・窒素・酸素同位体比(WADA & UEDA)、土壤の ¹⁵N 天然存在比の特徴解析(YONEYAMA)、土壤窒素の形態変化の ¹⁵N トレーサー研究(HART & MYROLD)、土壤の硫黄循環への安定同位体法の適用(KROUSE, MAYER & SCHOENAU)、土壤-植物-水系での土壤水中の ¹⁸O と D (FÖRSTEL) の 11 編からなる。

第二部は、土壤科学への加速器質量分析法の適用(TRUMBORE)、表面電離質量分析法(BACON)、土壤の直接熱分解-質量分析法(SCHULTEN)、キュリーポイント熱分解-GC-MS による土壤有機物の化学構造の特徴解析(SAMUKAWA)、誘導結合プラズマ質量分析法(YAMASAKI) の 5 編からなる。

全体の半分以上が、ガス同位体比質量分析法に充てられており、同法の土壤科学分野での有用性の大きさが伺われる。また、第二部の熱分解質量分析法の 2 編以外は、無機質量分析法である。現在、有機質量分析でも、エレクトロスプレーイオン化法に代表される様々なソフトイオン化法の進歩が目覚ましい。それらを含めて、土壤科学分野においても、今後、質量分析法の役割が増大することは確実であり、その動向には無関心ではいられないだろう。

(農業環境技術研究所 松永俊朗)