

## 有明海北西岸の海成沖積平野における埴質水田土壌 の二、三の物理的特性

鬼 鞍 豊\* 有 村 玄 洋\*

有明海沿岸の浅海性堆積物ならびにこれに由来する水田土壌については、生成・調査・分類学的研究<sup>1,2)</sup>、粘土鉱物学的研究<sup>3,4,5,6)</sup>、干陸後の年代経過に伴う土壌化学性の変化<sup>7,8,9)</sup>など広汎な研究が行なわれた。物理性関係についても、水田圃場減水深の調査研究<sup>10)</sup>、地耐力の調査<sup>11,12)</sup>、水田基盤整備の立場からみた報告<sup>13)</sup>などがあるが、水田土壌生成過程と対応させて土壌物理性の特徴を明らかにしようとしたものは少ない。本報告では、当該地域における湿から乾方向の水田土壌の生成に伴う土壌の構造、保水性、コンシステンシーなどの変化を調査・測定した結果の概要を述べる。

### 供試土壌の説明

#### 1. 調査圃場

諫早、佐賀および筑後各平野の埴質水田地帯に関しては、既往の土壌調査成績を収集し、新しい分類基準に基づいて再編成を行ない、土壌図が作成された\*\*。これに基づいて海成沖積性埴質水田土壌の土壌型を代表し、水稻移植栽培が継続されている地点を選んだ。

**No. 1** 長崎県森山町地先の諫早干拓地、新しい有明海沖積物に由来する微粒質海成沖積性グライ性水稻土、1957年潮止め後、干陸化、土壌断面は ApgG/A12gG/Bm nG/G の層序をしめす。菅野の分類<sup>14)</sup>によれば中間型グライ性水稻土、亜型は B III に属す(施肥改善の分類によればグライ土壌・強粘土満俺型、国土調査法の分類によれば川副統に属する)。

**No. 2** 佐賀県川副町大井道南川副干拓地。新しい有明海沖積物に由来する細粒質海成沖積性グライ性水稻土。1957年潮止め後、干陸化。土壌断面は Apg/A12gG/B1mn/B2mnG/G の層序をしめす。中間型グライ性水稻土、亜型は B IV (グライ土壌・強粘土満俺型、川副統)。

**No. 3** 長崎県小野島町新地。古い有明海沖積物に由来する微粒質海成沖積性水稻土。1847年の干拓地。土壌断面は Apg/A12gG/B1mn/B2mn/B3mnG/G の層序をし

めす。表面水型グライ性水稻土、亜型は CVa (灰色土壌・粘土満俺型、佐賀統)。

**No. 4** 佐賀県川副町南里。古い有明海沖積物に由来する細粒質海成沖積性水稻土。約 400年前の自然陸地化と推定される。土壌断面は Apg/A12g/B1im/B2mi/B3m nG/G の層序をしめす。表面水型グライ性水稻土、亜型は CVc (灰色土壌・粘土満俺型、佐賀統)。

有明海周辺の海成沖積性埴質水田地帯においては、浅海性堆積物を母材として、湿→乾の方向に、No. 1→No. 2→No. 3→No. 4 の順序で水田土壌の生成が進む。これに伴い、グライ層は低下し、酸化的B層 (Bg 層) の分化が進み、耕土層と Bg 層の土壌構造が発達するという断面形態上の特徴が認められる。したがって酸化的層位と還元的層位とでは、土壌の乾燥・酸化履歴の相違に基づいて、その物理性に違いがあるものと推測される。

#### 2. 一般的な理化学性

土壌物理性と深い関連をもつと思われる二・三の一般の理化学性の特徴を説明する。

埴質土壌の物理性を考察する場合、粘土鉱物組成が重要となる。供試土壌の粘土鉱物組成はモンモリロナイトが優位で、カオリンおよびイライトを随伴するが、この構成割合はすべての供試土壌について全く同じではない。

土性はすべて埴質であるが、供試土壌間の粒径組成の最も特徴的な差違は微砂/粘土の比にあらわれており、HCを示す Nos. 1, 3 は約0.7の比をとるのに対し、HC~SiCを示す Nos. 2, 4では約1.0以上の値をとるものが多い。

CEC は 26~42me/100g の範囲にあって概して高く、土壌機能の一つの基本的な指標とみられ<sup>15)</sup>、粒度と粘土鉱物組成の関数である比総表面積も 150~230m<sup>2</sup>/g と大きく、土壌の活性は基本的に高いといえるであろう。

全炭素含有量は 2% を越えるものはなく、概して低い。置換性塩基状態は河成堆積物由来の水田土壌にくらべて特異的であり、土壌亜型 CVc の No. 4 では脱塩はほぼ完了するが、中間型グライ性水稻土の還元的層位に

\* 九州農試環境第2部 1971.7.29. 受理

\*\* 菅野一郎その他(未発表)

表一 供試土壌の一般的物理化学性

地点 土壌型	層 位	深 さ (cm)	粒径組成 (%)			土 性	微砂/粘土	比面** 総積 表面 (m <sup>2</sup> /g)	全 炭 素 (%)	C E C (me/100g)	置換性塩基(me/100g)***				塩和 基度 飽 (%)	遊** 離 鉄 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
			粗 砂	細 砂	粘 土						Ca	Mg	K	Na		
No. 1, 諫早干拓地 中間型グライ性 水稲土 (B III)	ApgG	0~13	0.2	6.9	38.7	54.2	HC	0.71	1.92	42.1	21.0	13.6	3.2	3.8	99	0.74
	A12gG	13~21	0.3	5.8	39.0	54.8	HC	0.71	1.62	44.1	23.6	12.6	4.5	5.9	106	0.81
	BmnG	21~40	0.1	3.8	39.0	57.2	HC	0.68	1.32	45.0	22.5	14.6	5.4	11.1	120	0.73
	G	40~85+	2.2	6.2	37.9	53.6	HC	0.71	1.40	38.4	13.5	16.5	6.7	20.8	150	0.26
	Apg	0~7	0.2	9.2	46.1	44.5	SIC	1.04	1.76	34.3	7.3	15.9	3.7	5.5	94	1.03
No. 2, 南川副干拓地 中間型グライ性 水稲土 (B IV)	A12gG	7~12	0.3	8.6	45.6	45.5	HC	1.00	1.70	34.6	6.5	15.4	3.2	4.7	86	1.13
	B1mn	12~35	0.2	5.6	46.5	47.7	HC	0.98	1.41	35.8	5.2	15.0	2.8	5.2	79	1.52
	B2mnG	35~65	0.1	5.1	46.6	48.1	HC	0.97	1.42	40.0	8.9	17.0	4.4	10.2	102	1.67
	G	65~90+	0.2	9.6	44.0	46.2	HC	0.95	1.46	37.4	11.0	18.4	5.3	18.5	142	0.38
	Apg	0~10	0.3	3.8	41.7	54.2	HC	0.77	1.66	27.8	11.4	8.4	0.5	0.5	75	0.72
No. 3, 諫早, 小野島 表面水型グライ性 水稲土 (CVa)	A12gG	10~17	0.2	5.1	37.9	56.8	HC	0.67	1.19	31.1	15.0	12.6	0.3	1.8	96	0.91
	B1mn	17~47	0.6	3.8	38.8	56.8	HC	0.68	0.69	36.2	17.6	14.6	0.5	2.3	97	0.75
	B2mn	47~65	0.3	3.8	41.7	54.2	HC	0.77	0.65	39.1	13.7	18.9	1.5	3.8	97	0.93
	B3mnG	65~76	0.0	2.5	39.8	57.7	HC	0.69	0.81	39.1	17.1	15.7	2.4	5.5	104	0.52
	G	76+~	0.1	3.7	39.4	56.8	HC	0.69	1.20	43.8	17.8	16.4	5.5	13.8	122	0.18
No. 4, 佐賀, 南里 表面水型グライ性 水稲土 (CVc)	Apg	0~10	0.7	10.9	45.6	42.7	SIC	1.07	1.69	26.4	10.8	6.8	0.5	0.5	70	0.74
	A12g	10~13	1.1	10.3	46.3	42.2	SIC	1.10	1.73	25.9	12.0	6.5	0.3	0.5	75	0.86
	B1im	13~31	1.1	10.8	49.3	38.8	SIC	1.27	0.58	29.6	15.3	9.5	0.2	0.6	86	1.08
	B2mi	31~88	0.5	9.7	46.4	43.4	SIC	1.07	0.60	33.6	15.1	15.1	0.5	0.7	93	0.56
	B3mnG	88~104	0.1	14.7	47.4	37.8	SIC	1.25	0.89	29.5	7.3	17.7	1.7	1.1	94	0.56
G	104~122+	0.1	14.8	45.4	39.6	SIC	1.15	0.96	29.5	6.6	17.5	2.3	1.4	94	0.42	

\* 国際法による

\*\* EGME 法 (Heilman et al., 1965)

\*\*\* 水溶性塩基を含む

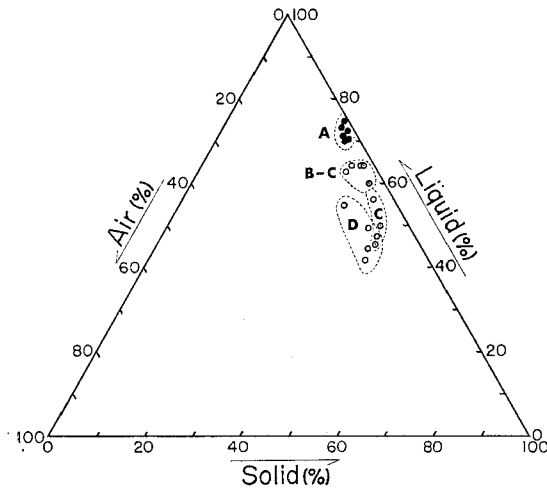
\*\*\*\* Dithionite-citrate 法 (Mehra &amp; Jackson, 1958)

においてはソーダの含有量が高く、また、一般に、置換性の石灰/苦土比が小さい。

結果

1. 構造

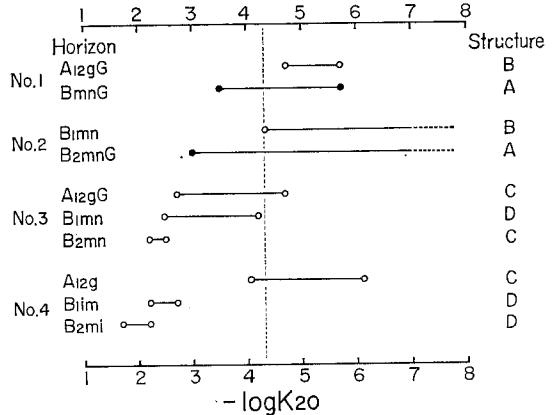
三相分布 供試土壌各層位の実容積測定装置 100型によって測定した三相分布を図一に示す。B G～Gの還元層位は気相が極めて少なく、固相が約26%の状態にある。耕土層(Apg層)およびBg層は還元層位にくらべて液相が減り、固相と気相とが増加する方向の分布をとり、この傾向は中間型グライ性水稲土においてよりも、表面水型グライ性水稲土においてより明瞭である。現地構造状態を土壌構造の形状と発達度によって、A；水ようかん様あるいは発達微弱な大型の塊状構造、B；発達弱度の大型の塊状構造、C；発達中～良好の塊状構造、D；発達良好な果核状構造(Apg層でみられる)および大型塊状と果核状の複合構造\*をとるものの四種に大別すれば、図一で示されるように、この構造の群別と三相分布とは対応がみられる。土層の乾燥・酸化が強まるにつれて、土壌の保水性が低下し(後述)、凝集力が強められて固相率が増し、同時に構造・亀裂・孔隙の生成も伴って気相率も増すのであろう。すき床層



図一 三相分布

- 注 1) ●印；BG, G, ○印；Apg, Bg, ◎印；A12gの各層を示す。  
 2) A；水ようかん様あるいは発達微弱の大型塊状構造  
 B；発達弱度の大型塊状構造  
 C；発達中～良好の塊状構造  
 D；発達良好の果核状構造あるいは複合構造

\* 乾燥酸化履歴の強いBg層では発達良好な大型の塊状構造が認められるが、この構造単位土塊は発達良好な果核状構造をとる構造単位土塊の集合体である。このような構造状態を複合構造とした。



図二 透水係数

- 注 1) 構造の群別は第1図に同じ  
 2) 縦の細い破線は  $5 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$  を示す

(A12g層)は、代かきを伴う水稲移植栽培がとられるかぎり、その土壌のApg層やBg層にくらべて固相率は同程度であっても、気相率は明らかに低い。

透水係数 現地構造を保った試料の透水係数は当該土層の亀裂・孔隙による間隙構造量の指標である。DIK透水性測定装置を用い、変水位法によって測った結果を図二に示す。図では透水係数値は逆数の対数(-logK<sub>20</sub>)を用い、当該層位について得られた値の上限と下限との中をもって示した。灌漑期における水田の浸透量に水理的条件の変化が関与しうる下限の透水係数は  $10^{-5} \text{cm/sec}$  とされている<sup>16)</sup> ので、実用上、間隙構造量の多少を判定するための暫定的な基準として  $5 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$  (図中縦の破線で示す) をとり、この値より大きい透水係数を示す層位では間隙構造量が多く、土壌透水能は良好とみなし、より小さい場合は不良とみなした。

和水性が極度に高く、水ようかん様の構造組織をもつG層の土壌透水能が不良であることは明らかであるため測定しなかったが、中間型グライ性水稲土の下層土の透水係数は  $5 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$  より小さい場合が多く、間隙構造量に乏しく、土壌透水能は不良といえる。表面水型グライ性水稲土のBg層の透水係数はおしなべて  $5 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$  より大きく、土壌透水能は良好である。すき床層は  $5 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$  より小さい値をとる場合がある。これらの結果も現地構造の群別結果とおおむね対応するように思われる。表面水型グライ性水稲土のすき床層の透水係数はBg層のそれにくらべて小さい傾向にあるが、事実この種の水田では水稲移植栽培を行なうかぎり、灌漑期の降下浸透はこの層によって規制される場合が多い<sup>17)</sup>。

2. 保水性

吸引法と遠心法とによって測った湿潤土の保水性曲線

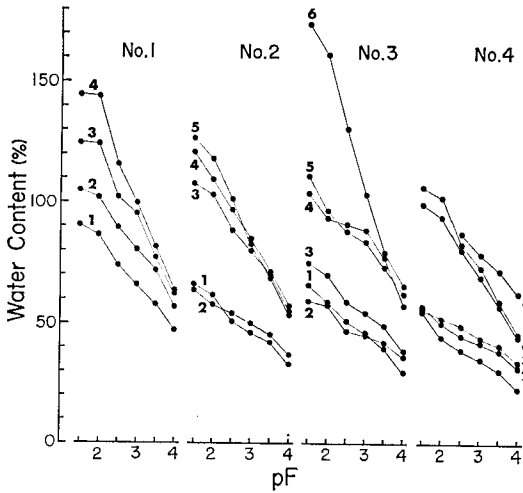


図-3 保水性曲線

- 注 No. 1……1; ApgG, 2; A12gG, 3; BmnG, 4; G.  
 No. 2……1; Apg, 2; A12gG, 3; B1mn, 4; B2mnG,  
 5; G,  
 No. 3……1; Apg, 2; A12gG, 3; B1mn, 4; B2mn,  
 5; B3mnG, 6; G  
 No. 4……1; Apg, 2; A12g, 3; B1im, 4; B2mi,  
 5; B3mnG, 6; G

を図-3に示す。土壤構造の場合と同じく、保水性も層位による相違が著しい。供試土壤中最も未熟な No. 1 では、G層から順に ApgG 層まで、各層位の自由水、外部毛管水、内部毛管水および膨潤水の各々についての保水量が漸減する。亜型 BIV の No. 2 になると、A層と B1mn層以下の層位とでは土壤保水性に確然とした差違があり、前者で各状態水の保水量が低い。表面水型の Nos. 3, 4 では、B1g層より上位の層と B2g 層より下位の層で保水性が明らかに違ってくる。このように土壤生成に応ずる乾燥・酸化および脱塩が進むにつれて、同じ吸引圧における土壤の含水比は低下し、とくに低吸引圧領域におけるほどその傾向が著しく、保水性が低下した層位群とそうでない層位群との保水性の違いは極めて明瞭である。しかし、表面水型グライ性水稻土の Bg層で、B2g層は B1g 層と明らかに保水性が異なり、前者は還元層位と同じ傾向を示すことは今後の問題として残る。

3) コンシステンシー

アッターベルグ限界 風乾土を湿潤土に変更して JIS に従い測定した。カサグランド塑性図上の位置を図-4に示す。液性限界 ( $\omega_L$ ) は73~132%、塑性指数 ( $I_p$ ) は34~90%の範囲で A 線に沿ってわずかに圧縮性側に分布する。寺沢の塑性区分<sup>18)</sup>に従えば、還元的層位は殆んどが I・Hh<sub>2</sub> の範囲にあり、酸化的層位は殆んどが II・Hh<sub>1</sub> の範囲に属し、両者の塑性図上の位置は明らかに異なる。

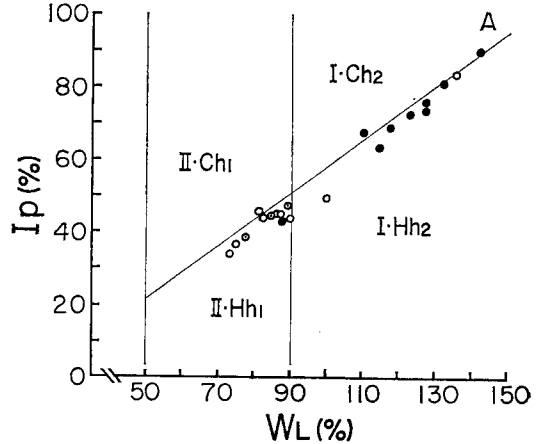


図-4 カサグランド塑性図上の位置

- 注 1) ●印; G, BG, ○印; Apg, Bg, ◎印; A12g の各層位を示す  
 2) 塑性区分は寺沢<sup>18)</sup>による

粘土含有量あるいは比総表面積と  $\omega_L$  および塑性限界 ( $\omega_P$ ) との関係を見ると、図-5で示されるように、両者の間の正の相関は明らかでないが、還元的層位の  $\omega_L$  あるいは  $\omega_P$  は酸化的層位のそれにくらべて明らかに高く、とくに  $\omega_L$  の場合に著しい。この理由の一つとして還元的層位においては置換性ソーダ含有量の高いことが挙げられるが、これのみが理由でないことは、脱塩が進行し、BG~G層の置換性ソーダ含有量が Bg 層と同程度にまで低下した亜型 CVc の No. 4 の例によっても明らかであった。次に酸化的層位の一群あるいは還元的層位の一群についてみると、微砂/粘土比の大きい Nos. 2, 4 では、その比が小さい Nos. 1, 3 にくらべ、粘土含

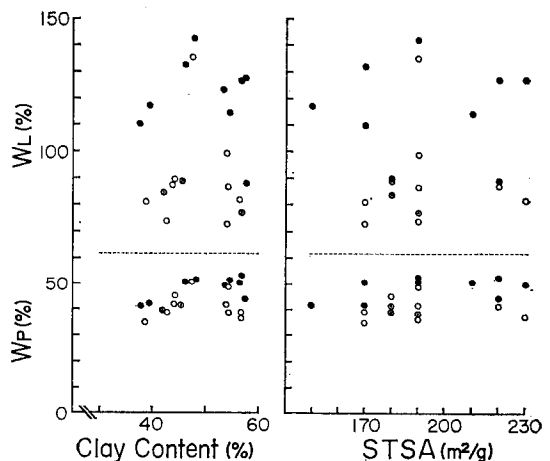
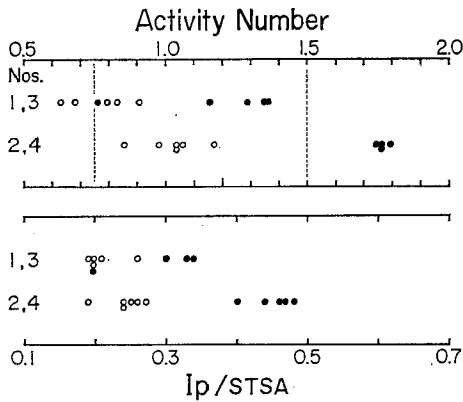


図-5 液性限界あるいは塑性限界と粘土含有量あるいは比総表面積 (STSA) との関係

- 注 ●印; G, BG, ○印; Apg, Bg, ◎印; A12g の各層位を示す

有量あるいは比総表面積は小さいにもかかわらず  $\omega_L$  あるいは  $\omega_P$  が同じ程度の値をとる。このことは微砂含有率が土壌の物理性に対し微妙に影響することを示す一つの事例であろう。

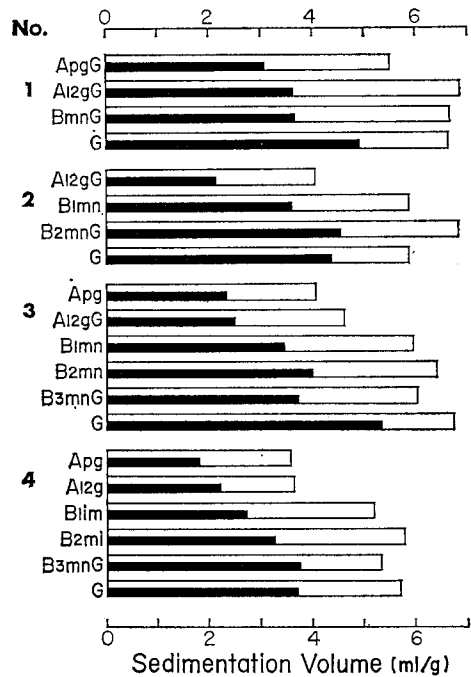
**活性度** 供試土壌の Activity Number(A) をの図一6 上半に示した。酸化的層位の A は還元層的位のそれより低く、微砂/粘土比の大きい Nos. 2, 4 はその比が小さい Nos. 1, 3 にくらべて、酸化的層位も還元層的位もともに A の値が明らかに高い。A は塑性指数を  $< 2\mu$  粘土含有量で除したものであるから、もしも活性な微砂が多量含まれるとすれば、その土壌活性度の判定には必ずしも至当とはいえない。これは塑性指数を比総表面積で除した値を検討すればいくぶん回避できると思われる。この値を図一6 の下半に示す。得られた結果は Activity Number の場合と軌を同じくするものである。前述のフッターベルグ限界の項で得られた結果とも照合すれば、微砂/粘土比が高い土壌は、その粘土含有量から予測される以上に高い液性限界を示すものであろう。細砂の一次鉱物検鏡によれば Nos. 2, 4 の風化雲母含有量は平均15%、Nos. 1, 3 では3%であり、この傾向は微砂についても同様であろうと推察される。しかし、微砂/粘土比の高い Nos. 2, 4 が示す特異性が風化雲母の多量の存在に由来するのか、あるいは一次鉱物の質は関与しないのか、この点は不明である。



図一6 Activity Number および塑性指数/比総表面積比の分布  
注 ●印; BG, G, ○印; Apg, A12g, Bg の各層位を示す

**水中沈定容積** 青峰の方法<sup>19)</sup>によって測定した。風乾土の水中沈定容積の土壌間ならびに層位間の相違の傾向は湿潤土の場合と似ているが、湿潤土ほどに相違の特徴が明瞭でない。図7には湿潤土およびその強力音波処理(20kc, 30分間)後の水中沈定容積を示す。湿潤土の水中沈定容積を各土壌ごとに見ると、還元層的位>酸化的B層>A層の順であり、この傾向は中間型より表面水型

グライ性水稻土においてより明らかとなる。強力音波処理後の水中沈定容積は、供試土の粘土鉱物組成はほぼ相似たものであるから、ほぼ粘土含有量と比例するはずである。しかしA層の値はそれと粘土含有量が同じ程度のB層あるいはG層のそれにくらべて明らかに低く、B層あるいはG層にくらべて腐植にやや富むA層では、安定な二次粒子がより多いと推定される。水中沈定容積の湿潤土/音波処理後の比は、酸化的層位では平均0.57、還元層的位では平均0.67で前者が明らかに低い。このことは酸化的層位においては還元層的位にくらべて耐水性の二次粒子が多く、物理性に関与する実効的な比表面積も低下しているらしいことを示唆する。



図一7 水中沈定容積

注 ■; 湿潤土 □; 湿潤土の強力音波処理後の試料

考 察

有明海周辺の植質・モンモリロナイト質の浅海性堆積物が干陸化した直後の断面形態は全層グライであり、理化学的諸性状は Nos. 1, 2 のグライ層のそれと類似するとみてよい。その最も大きな特徴は2価鉄を含めて塩類濃度が高く、土粒子は凝固して堆積し、粘土の堆積構造は Random structure の傾向が強い様式をとるものと推測される<sup>20)</sup>。この点は河成堆積物、とくに粘土の活性が低い河成堆積物の場合と区別されなければならないであろう。

水ようかん様のグライ層は土壌の保水性が高く、難透

水性で仮比重は小さく、塑性は大で Activity Number が大きい。これの主な原因が2価鉄の存在によることは本村が明らかにしたところであり<sup>21)</sup>、さらに海成堆積物の特徴である多量のソーダの存在によって助長される。この水ようかん様堆積物は乾燥によって垂直方向の亀裂が発生しやすい。いいかえると、当初から水平方向の線収縮量が大きいとみなされることは初期海成干拓地でよく観察される<sup>1)</sup>。また、有明海沿岸の干拓地の乾燥が速かであるのは、気象条件すなわち晩秋から早春にかけての冬季の乾燥気候と有明海の潮汐の平均的な干満差が数mにも及ぶという利点も関与すると思われる。

全層グライの海成堆積物において水稲栽培が導入されると、地下水型グライ水稲土が生成されるが、この段階では耕土層の土壤飽和抽出液の電気伝導度は最低 4m. mho/cm 以上であって水稲生育には適していない<sup>22)</sup>。したがって、干陸化のまま放置されることが多く、この間に土壤の乾燥と表層土の脱塩が進み、A層が分化し、次いでB層の分化が行なわれようとする。この時点で水稲栽培が導入されるのが普通であり、Nos. 1, 2のごとき中間型グライ性水稲土がいち早く生成される。

亜型BⅢに属するNo. 1では、G層から耕土層まで土壤の物理性の変化は漸变的であり、耕土層の土壤も酸化的層位の土壤としての性格を未だ十分に獲得していない。しかし、亜型BⅣのNo. 2においては、A層は構造的、保水性およびコンシステンシーなどについておおむね酸化的層位として性格を備える。すなわち、耕土層は果核状構造をとり、土壤の保水性および塑性は低下し、安定な耐水性二次粒子が増加して、還元的な土壤の性格が消失する。B1mn層では構造は発達弱度の大型の塊状構造の段階にすぎず、土壤の物理性はB G～G層の場合と類似する。表面水型グライ性水稲土のNos. 3, 4では、Apg, A12g および B1g の各層の土壤は還元的土層のもつ土壤物理性の特徴を完全に失っているが、B2g層は現地構造、塑性およびコンシステンシーなどはB1g層土壤と同様の性質を示しているにもかかわらず、土壤保水性に関しては還元的土壤でみられる特徴を備えている。B G～G層の脱塩はほぼ終わっているが、その物理性は中間型グライ性水稲土のB G～G層のそれと大差ない。

このように当該地域の海成沖積性の埴質・モンモリロナイト優位の水田土壤についてみると、湿から乾方向に向う水田土壤の生成過程に応じて、表層から順次B1g層までが、当初の還元的土壤のもつ物理性の特徴を失っていく。これは基本的には土壤の乾燥・酸化に伴う2価鉄の挙動の変化、すなわち2価鉄ゲルの脱水不動化による土粒子の相互連結の強化<sup>21)</sup>によって説明することが可能と思われる。しかし、いわゆる遊離鉄の存在様式および

その土壤物理性におよぼす影響は必ずしも完全に解明されているとは考え難いし、また粘土鉱物の属性が乾燥・酸化によってどのように変化するものか否かも不明である。したがって還元的土壤が、乾燥・酸化によって、物理性に影響する実効的な比表面積を低減する機作についてはなお今後の研究を必要とする。

## 要 約

有明海周辺の海成沖積性のモンモリロナイト質・埴質水田土壤について、湿から乾方向の土壤生成過程に応ずる二・三の物理性の変化を測定した。中間型グライ性水稲土亜型BⅢではApgG層、亜型BⅣではApgおよびA12gG層、表面水型グライ性水稲土亜型CVaおよびCVcでは、Apg, A12g および B1g層が還元的層位の土壤が示す物理性の特徴を失う。表面水型グライ性水稲土のB2g層は、土壤保水性については還元的層位の場合と類似するが、構造的およびコンシステンシーについてはB1g層の場合と類似の挙動をしめす。またA12g層は、移植水田の場合、二次的に構造的が悪化する。

## 謝 辞

粘土鉱物の同定について川崎弘技官、土壤調査に際して佐賀県農業試験場および長崎県農林試験場の関係各位のご協力を賜ったことに対し厚く感謝いたします。

## 文 献

- 1) 環境第2部：九州農試彙報, 1, 183～237 (1952)
- 2) Kanno, I., Honjo, Y., Arimura, S. and Tokudome, S.; *Soil Sci. Plant Nutr.*, 10, 1～19 (1964)
- 3) 青峰重範, 東俊雄, 井ノ子昭夫：九大農学芸雑誌, 14, 387～398 (1954)
- 4) 青峰重範, 和田光史：九大農学芸雑誌, 14, 377～386 (1954)
- 5) 菅野一郎, 桑野幸男, 有村玄洋, 徳留昭一：粘土科学の進歩, 4, 227～238 (1963)
- 6) 菅野一郎, 本荘吉男, 有村玄洋, 徳留昭一：粘土科学の進歩, 5, 109～123 (1965)
- 7) 松尾英俊, 後藤重義, 桜井俊武, 佐藤雄夫, 井ノ子昭夫：九州農試彙報, 7, 307～323 (1962)
- 8) 後藤重義, 松尾英俊：九州農試彙報, 9, 1～14 (1963)
- 9) Matsuo, H.: *Bull. Kyushu Agr. Expt. Sta.*, 11, 31～96 (1965)
- 10) 藤川武信, 永石義隆：九州農試彙報, 3, 287～306 (1955)
- 11) 山口英太郎, 永石義隆, 岡見, 村岡嘉郎：農土試技報, E第1号, 1～43 (1966)
- 12) 山口英太郎, 永石義隆, 岡見, 村岡嘉郎, 山下恒雄：農土試技報, E第2号, 1～46 (1967)

- 13) 鬼鞍豊, 有村玄洋: 日土肥誌, **41**, 205~212 (1970)
- 14) Kanno, I.: *Trans. Joint Mig. Comm. IV and V, Int. Soc. Soil Sci., New Zealand*, 1962, 617-624 (1962)
- 15) 青峰重範: 農林水産業特別試験研究昭和40年度試験成績概要 pp. 9, および同昭和41年度試験成績概要 pp. 9 (1966~67)
- 16) 中川昭一郎: 水田用水量調査計画法 pp. 104, 畑地農業振興会 (1967)
- 17) 鬼鞍 豊: 九州農試年報, 昭和44年度, 50~53 (1969)
- 18) 寺沢四郎: 農研報告, **B22**, 85~217 (1971)
- 19) 青峰重範: 日土肥誌, **17**, 569~575 (1943)
- 20) 桑原 徹: 粘土科学, **9**, 12~28 (1970)
- 21) 本村 悟: 農研報告, **B21**, 1~114 (1969)
- 22) 山崎慎一, 鬼鞍 豊: 九州農試彙報, **14**, 331~343 (1969)