

## 農業開発阻害因子としてのメコンデルタの土壌条件

松 野 正\*

### Soil Conditions that affect Agricultural Development of the Mekong Delta

by

Tadashi MATSUNO

For the agricultural development of the Mekong delta, two groups of soils pose difficult problems, one being acid sulfate soils that extend over a million hectare and the other being coastal saline soils along the coast line having 1.2 million hectare extension.

Acid sulfate soils occur extensively in the Plain of Reeds along the Cambodian border and in the Ha-Tien Plain. A more scattered occurrence is also seen in the Trans Bassac lowlands.

They are formed on brackish water sediments in the broad depressions which are located far away from the main river courses. In addition, swampy conditions under which they occur hinder the access of any reclamation means.

Strong soil acidity resulting from oxidation of the accumulated sulfides in the sediments can be mollified either by heavy liming or by washing with a large amount of fresh water. Both require quite a heavy investment. In case of the Mekong delta, however, the Ha Tien area produces limestones, which are now being quarried for cement industry. Making the best use of this local resource for the reclamation of acid sulfate soils should merit serious consideration.

Coastal saline soils may be classified as saline alkali soils according to Buringh's criteria. They are neutral to slightly acid in reaction, but sufficiently high in free salts and high in exchangeable sodium percentage.

The salinity is caused by a salt water intrusion during the low flow period of the Mekong river, i.e., during the dry season. The high tidal range (~3 m along the South China Sea coast) is a factor that enhances the salt intrusion in the Mekong delta.

Engineering measures such as construction of embankments, dike and channel plugs, and flap-gated culverts, are necessary to prevent the salt intrusion. Where salinity is not very serious, adjusting the rice growing stages to the water salinity condition, such that transplanting of rice seedlings is done during the low salinity period, lessens the adverse effects.

As the irrigation water intake in the upstream areas during the low flow period could enhance the salt water intrusion in the lower reaches, care should be taken in planning the irrigation schemes for the dry season crops.

\* 日本工営株式会社

## は じ め に

ベトナム領メコンデルタは今後の農業開発の場として大きな期待を負っている地域であるが、ここにはまた農業の生産性を制約するいくつかの自然的障害因子が立ちはだかっている。すなわち、農業上きわめて大きな障害になっているのは、大別すると広範な酸性硫酸塩土壌の生成分布と、メコンデルタの南シナ海およびタイ湾沿岸部での乾季における海水の侵入による塩害である。

Moormann (1961) によれば、南ベトナム全体には100万ヘクタール以上の酸性硫酸塩土壌が分布していると報告している。これらの酸性硫酸塩土壌のかなりの部分は未耕地として、その改良対策は行なわれず放置されている現状である。また、海水の侵入をうけている塩性アルカリ土壌地域は、大面積が未利用のまま残されているだけでなく、利用されている所でも塩害のため稲作上大きな制約があり生産力は低い。これらのほかにもデルタ西部のタイ湾沿いの U Minh 地区にはかなりの面積の泥炭地があって利用上問題をなげかけているが、ここでは農業上阻害因子となっている自然条件を、大きく酸性硫酸塩土壌と塩害土壌(塩性アルカリ土壌)に分け論を進めて行くことにする。

### I 自 然 的 条 件

メコンデルタの地質的生成に関しては、一説によれば、約4000年前の海侵時に4 mに及ぶ海水準上昇があり、上流の現カンボジア領内の低地に海水が侵入し大きな湖を作ったが、その後の海退と堆積作用によって現在の表層地質が形成されたとされている。それゆえ、現在の地形の骨格ができたのは約2000年前と考えられている。

このようにメコンデルタはその大部分が沖積世の堆積物からなっている。このデルタに堆積物を供給している Mekong 河は南ベトナムに入って Tien Giang 河 (Mekong 河本流) と Hau Giang 河 (Bassac 河) に分かれている。Tien Giang 河はさらに多くの分流に分かれて南シナ海に流れ込んでおり、また Hau Giang 河は Chau Doc, Long Xuyen, Can Tho の各省を流れて南シナ海に通じている。

なお、現在の Mekong 河によって運搬されている Silt の平均量は平時 100 gr/m<sup>3</sup>、豊水時は 300 gr/m<sup>3</sup> である。

メコンデルタの周縁部、特にカンボジアとの国境地帯には古沖積段丘がみられ、これらは一般に表層は砂質土壌で被覆され下層は粘土質からなっている。しかしベトナム領メコンデルタに限定すればその面積は非常に小さい。

また Chau Doc 省と Ha Tien 省には最大標高 600 m の花崗岩質の残丘群がありデルタにおける重要な石材の供給源となっている。なお Ha Tien 近辺のタイ湾沿いの地帯には石灰岩

の産出がみられセメント原料として利用されているが、将来酸性硫酸塩土壌の改良資材としても重要な意味をもつと思われる。

メコンデルタの自然植生の特徴をみると Mangrove 林が約 280,000ヘクタールも分布している。これらの大部分は Ca Mau 地域、Dong Nai 河のデルタ地域に分布している。そして Mangrove 林は毎年拡大している。

Mangrove 林の後背地には酸性土壌や塩分を含む土壌を好む Kayu-Puteh 林がある。Kayu-Puteh (*Melaleuca leucadendron* L.-Myrtaceous tree or Gelam) は 10-20 m の高さになり、幹は細長く一様な林を形成する。これは大部分 Rach Gia 地区、U Minh 地区(約190,000ヘクタール)に分布している。また Plain of Reeds の内陸部にも一部分布している。

## II メコンデルタの土壌

### 1. 土壌の分布状況

メコンデルタの土壌について Lilienthal (1969) の報告書によれば、土壌統 (Soil Series) の段階まで分類されている。それを引用すると次のとおりである。

メコンデルタの土壌には堆積環境を異にする淡水、半鹹水、鹹水成の低地土壌のほか、段丘土壌、残丘群周辺の崩積土壌がある。しかし圧倒的の大部分 (94%) は低地土壌で占められる。

鹹水成土壌についてみると Sand ridge, Tidal flats, Mangrove swamp に分布しており、その各々は次のとおりである。

Sand ridge は大土壌群 (Great soil group) では沖積土 (Alluvial soils) に属しており、標高 2-5 m に位置しすでに鹹水の影響はみられない。海岸沿いに何列も並び 26,600ヘクタールにわたって分布している。

Tidal flats には Kanh Hung, Go Cong series が分布しており、デルタ下流域で 900,000ヘクタール以上も占めており、砂質粘土から粘土質の土性を示し、海岸に近づくに従ってアルカリ含量が高くなる。大土壌群では塩性アルカリ土 (Saline alkali soils) に属する。

Mangrove swamp は塩性アルカリ土の大土壌群に属し、排水不良でシルト質粘土の土性を示し 225,400ヘクタールの面積を占める。

半鹹水成土壌のうち Long My, Hiep Hoa series は沖積平坦部のいわゆる Back swamp 地域の Plain of Reeds に主として分布し、700,000ヘクタールの面積を占めている。土性は粘土質からシルト質粘土であり、酸性硫酸塩土壌 (Acid sulphate soils) であって、沖積土の大土壌群の中の特別な酸性硫酸塩土壌相 (Soil phase) に分類される。

Ap Bac, Thoai Son, U Minh series は全部で 470,000ヘクタールの面積を占める未耕地である。Ap Bac series は Plain of Reeds の最低位部にある。Thoai Son series は Rach Gia と

Ha Tien 間のデルタの北西部に位置する。これらの土壌は分類学上、沖積土の酸性硫酸塩土壌相に属する。

U Minh series は泥炭土および黒泥土 (Peat and Muck soils) の大土壌群であり、デルタの西部に位置し現在は森林に覆われているが、排水され耕地化すると酸性硫酸塩土壌の生成が予期される地域である。

Cai San, Than My, Cai Be, Phung Hiep series は655,000ヘクタールの面積を占め、大土壌群では沖積土に属する。

自然堤防上に位置している Long Xyuen series は上部デルタの Bassac 河と Mekong 河の堤防沿いに102,000ヘクタールの面積で広がっている。大土壌群は沖積土に属している。

主として Mekong 河の北に位置する Cai Lay と My Tho series は 247,000ヘクタールを占めている。大土壌群は沖積土に属している。

これらの各々については表1に示すとおりである。

これらのうち、とくに大面積を占め農業生産上問題が横たわっている酸性硫酸塩土壌と塩性アルカリ土についてみることにする。

## 2. 酸性硫酸塩土壌 (Acid sulphate soils)

メコンデルタにおける酸性硫酸塩土壌の分布はきわめて広く、前述のように約100万ヘクタールにも及んでいる。とくに Plain of Reeds と Ha Tien Plain を主体に Trans Bassac 地域にも部分的に散在している。

酸性硫酸塩土壌は水積状態 (Hydromorphic condition) によって生成され、半鹹水 (Brackish water) の侵入を受けた低地に多くみられる。

酸性硫酸塩土壌については古くから研究されており、最近では Moormann (1961), Rojana-soonthon (1967), Kanapathy (1973), Bloomfield and Coulter (1973), Van der Kevie (1973) などの研究がある。

この酸性硫酸塩土壌の生成過程は海水に由来した硫黄と硫酸塩が還元作用によって硫化鉄 (FeS) を生成し、最終的には黄鉄鉱 (FeS<sub>2</sub>) に変化する。この硫酸塩の還元作用はひとつの生化学的反応であり、とくに有機物 (たとえば Mangrove, Kayu-Puteh のはえている場合) が存在する場合にその反応は微生物の還元作用により強力に促進される。この硫化鉄や黄鉄鉱は共に黒色であり還元された土壌に対して帯黒色の色調を与える。これらの土壌は排水作用等により酸化作用が促進され硫酸第一鉄 (FeSO<sub>4</sub>) と硫酸 (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) が生じ、さらに酸化が進めば硫酸第二鉄 [Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>] を生成し、それが加水分解して帯黄色の塩基性硫酸第二鉄 [Fe(OH)SO<sub>4</sub>] となる。これらの酸化反応にも微生物が関与する。この硫酸生成反応が土壌の酸性化をもたらす主因である。

酸性硫酸塩土壌の土壌分類学上の位置についてみると、現在の分類では大土壌群の沖積土に

表 1 Summary of Soil Series and Their Characteristics

Series	Area (ha)	Clay percentage	pH	Great Soil Group	Phase separation
Ap Bac (Ab)	114,400	A —	3.5	Alluvial Soils	Acid Sulphate Soils
		B —	3.5		
Bien Luc (BL)	55,400	A Clay~ Sandy Clay	—	Alluvial Soils	Acid Sulphate Soils
		B Clay	—		
Cai Be (Cb)	351,900	A 45~60	4.5~5.0	Alluvial Soils	
		B 45~70	5.0~6.0		
Cai Lay (CL)	132,900	A 54~68	4.0~4.5	Alluvial Soils	
		B 42~73	2.6~4.5		
Cai San (Cs)	99,800	A 45~52	4.0~5.0	Alluvial Soils	
		B 48~52	4.5~5.5		
Go Cong (Gc)	494,900	A Clay	6.0	Saline- Alkali-Soils	
		B Clay	7.0		
Going Tram (Gt)	69,900	A 40~45	4.0~5.0	Saline- Alkali-Soils	
		B 20~40	5.5~6.6		
Hiep Hoa (Hh)	96,200	A 50~56	4.0	Alluvial Soils	Acid Sulphate Soils
		B 50~57	4.0		
Ham Luong (HL)	26,000	A Loam	5.5~6.0	Alluvial Soils	
		B Clay	4.5		
Khanh Hung (Kh) (Coastal phase)	409,500	A 45~62	4.5~5.5	Saline- Alkali-Soils	
		B 15~62	5.5~7.8		
Khanh Hung (Kh) (Swamp phase)	39,000	A —	—	Alluvial Soils	Acid Sulphate Soils
Long My (Lm)	601,600	A 50~60	4.0	Alluvial Soils	Acid Sulphate Soils
		B 35~66	4.0		
Long Xuyen (Lx)	101,800	A 40~45	5.0~5.8	Alluvial Soils	
		B 19~60	7.3~8.0		
Moc Hoa (Mh)	48,600	A Loam	4.0~4.5	Alluvial Soils	
		B Loam	5.0~5.5		
My Tho (Mt)	14,500	A 40~62	5.5~8.0	Alluvial Soils	
		B 25~63	5.5~8.4		
Phung Hiep (Ph)	98,700	A 44~62	4.0~5.0	Alluvial Soils	
		B 32~63	5.5~6.0		
Phung Vinh (Pv)	26,600	A 5~25	4.7~5.5	Alluvial Soils	
		B 40~70	5.5~8.0		
Mangrove Swamp Soils (Sa)	225,400	—	—	Saline- Alkali-Soils	Acid Sulphate Soils
Thanh My (Tm)	104,800	A 50~56	4.0~5.0	Alluvial Soils	
		B 35~64	4.5~5.5		
Thoai Son (Ts)	176,000	A —	—	Alluvial Soils	
Tri Ton (Tt)	49,400			No data	
U Minh (Um)	181,500	A Peat		Peat and Muck	
		B Clay	3.5		

A : 表層土

B : 下層土

属し、その土壌相区分として酸性硫酸塩土壌に分けられているにすぎない。最近 Van der Kevie (1973) はアメリカ新分類案における大土壌群および亜群として取り扱う事を提案し、酸性硫酸塩土壌を、その性質から Sulfaquept, Typic Sulfaquept, Sulfic Tropaquept に分け、さらに泥炭や黒泥土が表層に堆積している場合には Histic Sulfaquept, Histic Sulfic Tropaquept としている。今後さらに酸性硫酸塩土壌の分類の問題が論議されることは明らかであり、種々の提案があることが想像される。

酸性硫酸塩土壌を農業的に利用するための改良法としては現在のところ石灰施与により硫酸塩を石膏 (CaSO<sub>4</sub>) に変える方法と、真水により表層部を洗浄し排水によって硫酸塩を除去する方法が最もよいとされている。しかし、これらの大面積の改良には巨額の投資が必要となり、その便益の経済的評価をする必要がある。なお、大面積の土地利用法としては養魚池の造成、水牛の放牧なども考えられている。

### 3. 塩性アルカリ土 (Saline alkali soils)

塩成土壌は世界のいたるところ、とくに乾性および半乾性の地域で乾・雨季の区分が明瞭なところに間帯性土壌 (Intrazonal soil) の塩性土壌 (Saline soils) およびアルカリ土 (Alkali soils) として分布している。

塩性土壌は植物の生育を害するほど多量の可溶性の塩類を含んでいる土壌である。

アルカリ土壌は、強アルカリ性を呈し可溶性塩類については多少の量を含んだり、あるいは含まなかったり一定していないが、吸着複合体の表面に植物の生育を妨げるに足るだけの置換性曹達を吸着している土壌である。この種の土壌はまた粘土および腐植が分散しやすく、土壌に劣悪な物理的性質を与える。

塩性アルカリ土壌は過多の可溶性塩類を含むとともにその中の吸着複合体の表面に高い割合の曹達イオンを吸着している土壌をいっている。

これら塩成土壌の分類にはいろいろあるが、多くは電気伝導度 (EC) の milli mhos/cm と置換性曹達百分率 (Exchangeable sodium percentage) (ESP) によって区分されている。いま、アメリカの土壌分級基準をみると次のようである。

	ESP %
非ソロネッツ化 (非アルカリ土)	0 ~ 5
弱ソロネッツ化 (弱アルカリ土化)	5 ~ 10
中庸度ソロネッツ化 (中庸度アルカリ土化)	10 ~ 15
強ソロネッツ化 (強アルカリ土化)	15 ~ 20
ソロネッツ	> 20

また、Buringh (1968) はいろいろな区分を総合して ECe(milli mhos/cm) と ESP (置換性

曹達百分率) の値で次のように区分している。

	ECe	ESP (%)
塩性土 (Saline soils)	> 4	< 15
アルカリ土 (Alkali soils)	< 4	> 15
塩性アルカリ土 (Saline alkali soils)	> 4	> 15

さらにいま一つの指標として pH をあげ、多くの場合塩性土壌では pH は8.5未満であるが、アルカリ土壌では  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  または  $\text{NaHCO}_3$  の存在によって pH は8.5以上を示し、塩性アルカリ土壌では一般に pH は8.5以下であると述べている。

さらに、海水による塩類土化作用およびアルカリ土化作用は異なった生成過程であることを指摘し、オランダの干拓地土壌の土壌吸着複合体の置換性陽イオンの百分率を次のようにあげている。

	$\text{Ca}^{++}$	$\text{Mg}^{++}$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$
正常土壌	88	8	3	1
海水と平衡状態にある土壌	21	36	10	33
海水で一時的に浸積された土壌	48	25	6	21

筆者らはメコンデルタの Trans Bassac 地域について Soc Trang を中心として約 50,000ヘクタールについて土壌調査を行なった (1973)。

これらは IBRD (世銀) の Tiep Nhut Pioneer Agricultural Project の調査の一環として行なったものである。その時の主要なる12箇所の土壌の理化学的性質の分析結果をみると表2のようである。

これらの結果を Buringh (1968) の区分に当てはめてみると大部分の EC が 4 milli mhos/cm (表2の EC 値は5倍の水で浸出したものであり、飽和浸出液に換算し直す必要がある) 以上であり、ESP (置換性曹達百分率) は15%以上であり、pH は8.5以下の値を示し、塩性アルカリ土 (Saline alkali soils) の定義に該当する。

さらに興味あることはオランダの干拓地土壌の置換性塩基割合と比較すると明瞭に海水の影響を強く受けた比率を示していることである。とくに表層部は“海水で一時的に浸積された土壌”に、下層部は“海水と平衡状態にある土壌”と類似の傾向にある。

それゆえ筆者はメコンデルタの塩成土壌を分類学上、間帯性土壌の塩性アルカリ土 (Saline alkali soils) の大土壌群に区分するのが妥当であると考え。メコンデルタの塩性アルカリ土壌は約120万ヘクタールの面積を占めている。

表 2 Summarized Data on Chemical and Physical Analysis of Soils in the Project Area

Profile & sample number	Depth (cm)	Particle size distribution(%)			pH	EC <sub>5</sub>	Total Carbon Nitrogen ratio (%)	C/N	Available (mg/100 g soil)			Water soluble (%)			Exchangeable cation (milligram equivalent/100 g soil)			Ca/Mg ratio (%)	ESP <sup>2)</sup> (%)	BS <sup>3)</sup> (%)	
		Sand	Silt	Clay					1:5 extract	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	NaCl	Na <sup>+</sup>	NaCl	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>				Na <sup>+</sup>
22-58	0-15	10.8	30.0	65.2	5.6	2.70	3.04	0.20	15	1.1	84	95	0.24	19.2	8.5	5.9	1.0	3.0	1.4	20	96
22-59	15-42	4.8	30.0	65.2	6.0	1.70	1.80	0.11	16	1.8	77	102	0.26	19.2	6.1	9.3	1.1	2.2	0.7	16	97
22-60	42-76	2.8	30.0	67.2	6.3	2.00	1.60	0.20	8	1.2	99	125	0.32	20.8	6.4	9.9	1.3	2.8	0.6	18	8
22-61	76-	8.8	24.0	67.2	7.8	1.40	0.56	0.06	9	2.4	84	136	0.35	21.0	5.8	9.1	1.0	3.1	0.6	21	90
97-478	0-12	2.8	34.0	63.2	4.7	0.90	2.88	0.15	19	Tr.	34	109	0.28	32.5	4.2	7.3	0.3	3.1	0.6	28	46
97-479	12-22	6.8	22.0	71.2	5.3	0.78	2.28	0.13	17	Tr.	34	100	0.25	20.8	6.8	5.7	0.4	2.8	1.2	23	75
97-480	22-30	12.8	24.0	63.2	5.9	0.68	1.60	0.11	14	Tr.	39	115	0.29	20.9	5.8	8.5	0.4	4.1	0.7	29	90
97-481	30-120	6.8	26.0	67.2	7.8	1.24	1.16	0.09	12	1.4	80	169	0.43	24.2	7.0	9.6	0.8	5.9	0.7	32	96
97-482	120-170	0.8	34.0	65.2	7.6	1.30	1.40	0.08	17	1.1	75	179	0.46	26.5	7.0	10.0	0.8	7.7	0.7	38	97
97-483	170-	4.8	32.0	63.2	7.3	1.46	1.72	0.09	19	0.7	96	193	0.49	23.8	7.0	7.7	0.7	7.7	0.9	41	97
120-580	0-10	6.8	20.0	73.2	4.8	0.56	3.20	0.17	18	0.9	19	47	0.12	14.5	8.4	2.4	0.4	1.6	3.5	15	88
120-581	10-20	6.8	20.0	73.2	5.4	0.44	2.12	0.12	17	Tr.	19	60	0.15	25.1	5.2	9.3	0.4	1.9	0.6	16	67
120-582	20-45	4.8	22.0	73.2	5.8	0.62	1.64	0.09	18	Tr.	34	97	0.25	21.0	4.8	8.5	0.5	2.8	0.6	23	79
120-583	45-180	2.8	26.0	71.2	7.5	1.96	0.80	0.06	13	0.9	80	226	0.57	26.1	6.4	10.1	0.8	8.5	0.6	41	99
120-584	180-	4.8	44.0	51.2	7.7	1.86	0.88	0.05	17	1.3	87	218	0.55	25.1	6.6	5.1	0.7	9.1	1.3	49	86
58-236	0-22	4.8	28.0	67.2	4.9	3.80	4.80	0.36	13	0.1	108	312	0.79	28.7	6.1	10.0	1.2	10.0	0.6	44	95
58-237	22-30	8.8	26.0	65.2	4.9	3.80	4.32	0.29	14	0.1	104	259	0.66	26.9	6.8	9.0	1.1	9.4	0.8	43	98
58-238	30-40	6.8	30.0	63.2	6.1	1.96	1.28	0.09	14	1.9	108	256	0.65	24.0	5.8	9.0	0.9	8.3	0.6	42	100
58-239	40-80	4.8	36.0	59.2	6.3	2.20	0.48	0.08	6	1.7	87	268	0.68	26.3	7.5	8.0	1.0	9.4	0.9	43	98
58-240	80-	8.8	30.0	61.2	7.2	2.10	0.92	0.09	10	1.6	108	212	0.54	25.6	6.3	9.0	1.0	8.3	0.7	41	96
92-426	0-7	10.8	28.0	61.2	5.5	2.46	2.80	0.16	17	0.3	108	266	0.68	18.2	5.0	7.7	1.0	2.4	0.6	19	88
92-427	7-20	8.8	36.0	55.2	6.6	1.50	1.68	0.13	12	1.3	34	176	0.45	17.7	5.4	8.9	0.8	1.7	0.6	14	95
92-428	20-30	4.8	36.0	59.2	6.7	1.36	0.52	0.05	10	1.1	19	178	0.45	18.2	4.6	7.1	0.8	1.4	0.6	13	76
92-429	30-40	2.8	40.0	57.2	6.7	1.48	0.92	0.08	11	0.9	36	178	0.45	21.7	4.3	7.5	0.7	7.7	0.6	47	93
92-430	40-75	4.8	50.0	45.2	6.8	1.38	0.36	0.03	12	0.9	19	162	0.41	20.2	4.2	6.4	0.9	7.5	0.7	47	94
92-431	75-85	18.8	44.0	37.2	6.8	1.44	1.20	0.11	10	1.2	22	136	0.35	19.2	3.6	4.7	0.4	6.4	0.8	51	79
92-432	85-100	18.8	58.0	23.2	6.8	1.10	0.92	0.05	18	0.7	24	131	0.33	16.4	2.7	3.3	0.2	6.1	0.8	58	75



松野：農業開発阻害因子としてのメコンデルタの土壌条件

92-433	100-125	32.8	38.0	29.2	5.6	2.12	1.80	0.10	18	0.9	55	193	0.49	17.7	3.7	6.0	0.5	7.2	0.6	50	98
101-456	0-10	12.8	20.0	67.2	4.0	2.60	4.72	0.23	20	0.3	92	222	0.56	36.2	10.0	9.0	1.2	6.4	1.1	29	73
101-457	10-45	4.8	18.0	77.2	4.9	1.86	3.68	0.20	18	0.5	108	173	0.44	27.7	9.0	9.4	1.2	5.7	1.0	28	91
101-458	45-70	8.8	24.0	67.2	6.3	1.44	1.28	0.07	18	0.5	87	183	0.47	22.2	6.2	9.3	0.7	5.7	0.7	33	98
101-459	70-130	6.8	36.0	57.2	6.9	1.62	1.28	0.07	18	0.2	75	166	0.42	21.8	8.2	6.8	0.8	5.4	1.2	31	97
101-460	130-	4.8	24.0	71.2	6.8	1.40	1.52	0.11	13	0.2	96	186	0.47	23.0	5.2	10.8	0.8	5.9	0.5	34	98
4-180	0-10	6.8	22.0	71.2	6.8	1.40	1.44	0.11	13	1.0	75	21	0.05	28.7	7.8	11.1	0.9	4.6	0.7	25	85
4-181	10-45	6.8	32.0	61.2	7.6	2.10	0.84	0.05	16	1.6	104	50	0.13	27.6	8.3	10.2	0.9	5.0	0.8	26	88
4-182	45-120	0.8	40.0	59.2	7.9	2.40	0.96	0.05	19	1.8	87	65	0.17	26.0	6.4	10.2	1.0	8.0	0.6	39	98
6-14	0-14	8.8	24.0	67.2	5.3	0.28	1.28	0.09	14	0.8	5	15	0.04	18.5	4.7	5.5	0.4	1.2	0.9	14	64
6-15	14-30	10.8	26.0	63.2	7.0	0.41	0.80	0.06	13	0.8	51	50	0.13	20.6	7.3	9.9	0.7	2.7	0.7	18	100
6-16	30-60	0.8	34.0	65.2	7.8	0.64	0.48	0.04	12	1.5	63	54	0.14	22.7	7.7	11.0	0.8	3.2	0.7	19	100
6-17	60-	0.8	30.0	69.2	8.4	1.00	0.28	0.03	9	2.6	75	57	0.15	26.8	11.3	10.9	0.9	3.7	1.0	18	100
7-18	0-17	2.8	38.0	59.2	5.3	0.52	1.36	0.12	11	1.4	24	26	0.07	15.8	6.1	5.6	0.4	1.3	1.1	13	85
7-19	17-33	0.8	38.0	61.2	7.2	0.38	1.24	0.11	11	1.5	43	35	0.09	19.4	7.2	9.5	0.5	1.9	0.8	14	98
7-20	33-90	4.8	28.0	67.2	8.2	0.67	0.24	0.02	12	3.4	70	50	0.13	24.2	8.1	11.7	1.0	2.8	0.7	16	98
7-21	90-	2.8	32.0	63.2	8.3	0.75	0.24	0.02	12	3.7	75	51	0.13	25.2	9.5	11.2	0.8	2.9	0.8	16	97
10-29	0-14	2.8	30.0	67.2	5.1	3.50	2.52	0.19	13	1.5	82	214	0.54	23.6	5.1	8.6	1.0	8.2	0.6	44	97
10-30	14-27	2.8	32.0	65.2	5.9	2.50	2.20	0.16	13	1.9	84	201	0.51	23.6	6.7	7.2	1.0	8.0	0.9	42	97
10-31	27-64	2.8	40.0	57.2	6.5	2.90	0.80	0.06	13	0.4	80	228	0.58	24.2	6.5	6.7	0.8	9.6	1.0	48	98
10-32	64-	12.8	32.0	55.2	6.8	3.80	0.80	0.07	11	0.5	84	251	0.64	28.5	7.0	9.2	0.8	11.1	0.8	48	99
19-54	0-15	6.8	24.0	69.2	7.2	2.60	2.00	0.16	12	0.9	84	197	0.50	19.9	5.9	9.0	1.1	3.7	0.7	12	99
19-55	15-42	0.8	28.0	71.2	6.1	1.60	1.00	0.09	11	2.1	72	184	0.47	24.3	6.6	11.8	1.1	4.3	0.6	24	98
19-56	42-76	8.8	24.0	67.2	7.0	2.00	0.88	0.08	11	2.8	84	154	0.39	22.1	7.2	9.7	1.0	3.9	0.7	23	99
19-57	76-	10.8	28.0	61.2	7.2	2.20	0.56	0.06	9	1.0	84	162	0.41	24.6	7.8	10.3	1.0	4.3	0.8	24	75
27-50	0-16	2.8	34.0	63.2	6.3	1.60	1.20	0.11	10	1.5	82	165	0.42	24.7	7.5	11.5	0.9	4.1	0.7	23	97
27-51	16-32	8.8	24.0	67.2	7.5	1.90	0.60	0.05	12	2.0	96	169	0.43	19.8	4.9	9.0	1.4	4.3	0.5	28	99
27-52	32-85	4.8	22.0	73.2	7.5	1.40	0.52	0.05	13	3.0	89	180	0.46	19.5	5.9	7.5	1.2	4.6	0.8	29	98
27-53	85-	4.8	26.0	69.0	7.2	2.20	0.52	0.04	15	2.8	94	197	0.50	18.5	6.9	9.0	1.2	0.7	0.8	5	96

3) Base saturation

2) Exchangeable sodium percentage

1) Cation exchange capacity

Source: Nippon Koei Feasibility Report of Tiep-Nhut Project.

III メコンデルタの塩害

湿潤なメコンデルタにおける塩害というのは、乾季における Mekong 河の流量低下に伴って南シナ海、タイ湾から海水が遡上することによって起こるものであり、比較的大きい潮位の変動がそれを助長している。すなわち、南シナ海に面しているサイゴンでは干満差が最高 3 m に達し、タイ湾では最高 1.6 m であって、乾季の干潮時にはかなり内陸まで塩水遡上が起こる条件がある。

メコンデルタへの海水の侵入時の濃度について Lilienthal (1969) は図1のように報告している。最高濃度時は当然乾季になる。

Bassac 河, My Thanh 河の流量は12月から減少し、塩類濃度の最も強くなるのは雨季の始まる前の5月である。しかし、次表にみるようにそれぞれの地点(図1参照)によりその高塩

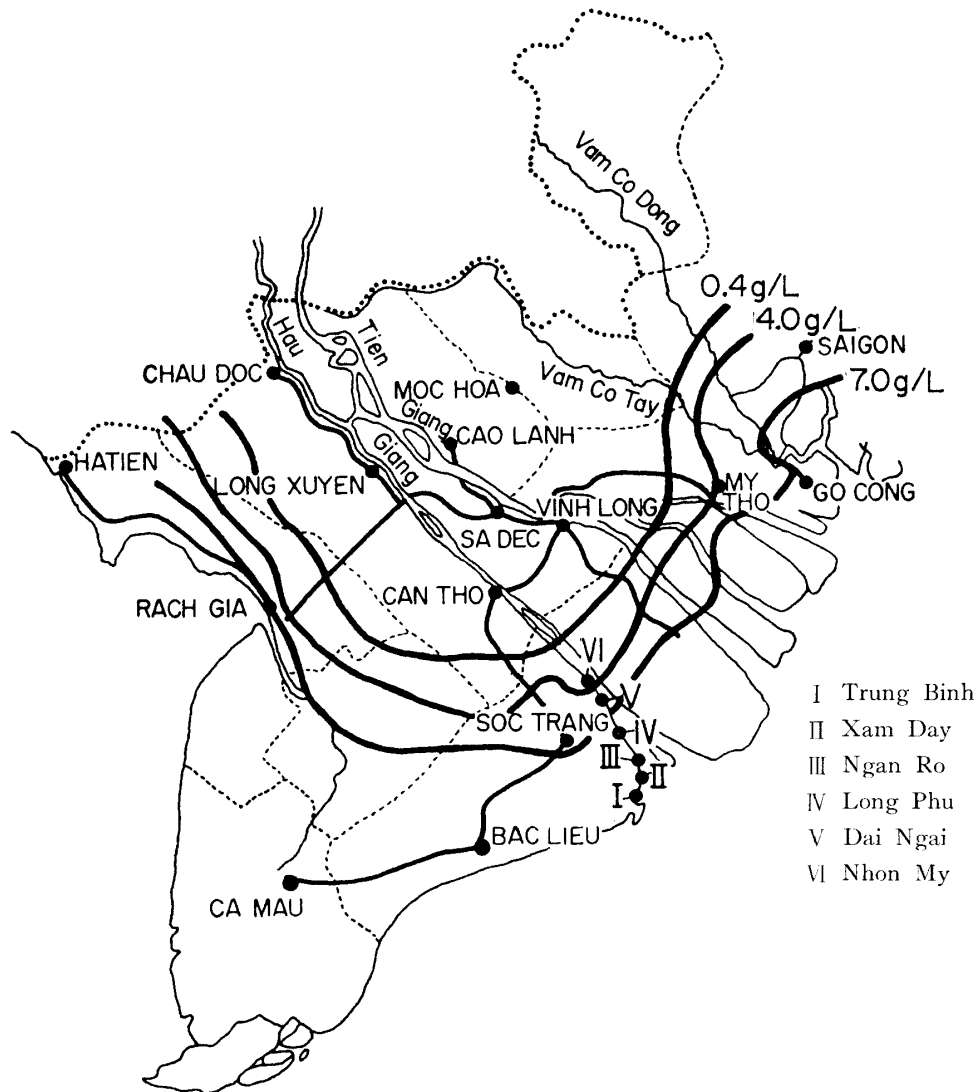


図1 Maximum Extent of Salinity Intrusion

類濃度の時期は大きく異なる。

塩類濃度の高い時期 (1972~73)  
( $>4$  milli mhos/cm)

	時 期	期 間
I Trung Binh	11月上旬～8月下旬	8. $\frac{2}{3}$ カ月間
II Xam Day	12月上旬～8月下旬	7. $\frac{2}{3}$ カ月間
III Ngan Ro	1月上旬～8月下旬	6. $\frac{2}{3}$ カ月間
IV Long Phu	2月中旬～7月中旬	5 カ月間
V Dai Ngai	3月下旬～5月下旬	2 カ月間

また、Dai Ngai から上流 7 km の地点の Nhon My (VI) は四季を通じて海水の侵入はみられない。Trung Binh はほとんど南シナ海に面しており雨季の最盛期のみ上流からの真水で薄められ、塩類濃度が低下するものと考えられる。

メコンデルタの塩害の調節、防御に関連する問題としては(1) 地下水、表流水を含めた飲料用水の確保、(2) かんがい用水の塩類濃度の程度、(3) 土壌への塩の集積の問題がある。この最後の問題についてはすでに上に述べたのでここではふれない。

いま、飲料水と水稻栽培期間の各時期の塩濃度の許容範囲としては、いちおう次の基準をおくことができよう。

- 1) 飲料用水  $\leq 0.4$  gr/lit
- 2) 水稻栽培期間 (品種によって多少異なる)
 

播種期 (苗代期)	2 gr/lit
移植期	4 gr/lit
生育期	5~6 gr/lit
開花期	4 gr/lit
出穂期以降	6~7 gr/lit

これらの塩類濃度以下に保持するための対策としては次のような施設が考えられる。すなわち、(1) 海水の表面からの侵入防止のための堤防、河口閉塞 (Dike and channel plugs) の設置、(2) 閘門 (Navigation lock) の建設、(3) 逆流防止弁付排水工 (Flap-gated culvert) の建設等である。

#### IV 結 論

現在メコンデルタにおける農業生産上の阻害因子になっている自然条件の一つとして土壌条件がある。これはまた水利条件、水稻栽培条件と密接な関係にある。

土壌条件的に二大障害になっているのは、酸性硫酸塩土壌 (Acid sulphate soils) と塩性アルカリ土壌 (Saline alkali soils) であり、それらについてみると次のように要約できる。

メコンデルタの塩成土壌 (Saline and Alkali soils) は Thai Cong Tung (1966) によると塩性土壌 (Saline soils) に分類されているが、Buringh (1968) の区分により塩性アルカリ土 (Saline alkali soils) に分類されるのが妥当であろう。

この塩害をうける塩性アルカリ土についてみると、乾季における海水の侵入に伴うかんがい用水の塩類濃度の増大と、土壌への塩類の集積が問題である。水稻栽培上からみて、米田 (1964) は表層 10 cm の塩類の脱塩によって、その水稻栽培上収量に全く影響がないと述べている。しかし、東南アジアにおいてモンスーン気候下における土壌の脱塩に必要な用水量は正確には研究されていない。

乾季におけるかんがい用水について局部的にみると、Bassac 河については Dai Ngai の上流の Nhon My であれば四季を通じて水稻の栽培には十分満足される水質条件である。しかし、Nohn My の上流地域で水稻二期作のかんがい面積が増加することによって Bassac 河の海水の侵入がさらに上流までおよぶことが予期される。これらは乾季の Bassac 河の流量とかんがい面積との相関において、正確な調査、計画が実施されなければならないことを意味する。

また、塩類濃度が比較的弱いかんがい用水である場合には、その水稻栽培期間を調節し、塩害に抵抗性の弱い生育初期に真水を導入し、出穂期以降に塩水を用いるようにするならば、塩害による収量の減収はある程度防止される。

酸性硫酸塩土壌の積極的改良はメコンデルタではいまだ実施されていない。酸性硫酸塩土壌の改良法としては石灰施与をするか、真水の用排水によって表層の硫酸塩を除去するかのいずれかが考えられるが、いずれも大面積に実施するには巨額の投資を要し容易ではない。しかし、メコンデルタでは Ha Tien に石灰岩を産出しており、また、かつて石灰施与による改良方法も Moormann ら (1961) によって検討されており、資源の活用という観点からも、小面積ずつであっても石灰施与による改良が実現されることを期待したい。その際石灰資材の輸送の問題があるが、排水路をかねた運河を開さくし、水路によるものがもっとも現実性であろう。

もし、酸性硫酸塩土壌の抜本的かつ経済的な改良法が確立されるならば、東南アジアの農業の生産性向上に寄与するところきわめて大であろう。

#### 参 考 文 献

- Bloomfield, C. and Coulter, J. K. 1973. "Genesis and Management of Acid Sulphate Soils," *Adv. Agronomy*, Vol. 25, pp. 265-326.  
 Buringh, P. 1968. *Introduction to the Study of Soils in Tropical and Subtropical Region*. Center for Agric. Publ. and Documentation, Wageningen.  
 IBRD, 1974. *Study Report of Thiep-Nhut Pioneer Agricultural Project*. (prepared by Nippon Koei Co.)

松野：農業開発阻害因子としてのメコンデルタの土壤条件

- Kanapathy, K. 1973. *Proc. Int. Symp. Acid Sulphate Soils.*
- Lilienthal. 1969. *Mekong Delta Development Program.*
- Moormann, F. R. *et al.* 1961. *Researches on Acid Sulphate Soils and their Amelioration by Liming.* Ministry of Rural Affairs, Saigon.
- OTCA. 1968. *Lower Mekong River Basin.* Sambor Project Report.
- Thai Cong Tung. 1966. *Natural Environment and Land Use in South Vietnam.* Ministry of Agriculture, Saigon.
- 米田茂男 1964. 『本邦干拓地土壤の生成論的ならびに立地学的研究』岡山大学農学部研究報告.