

干拓地土壤に関する研究

第1報 塩成干拓地土壤の生成過程に関する一考察

米田茂男・川田登

A Study on Polder Soils in Japan

I. A note on the Soil-Forming Process of the Halogenetic Polder Soils.

Shigeo YONEDA and Noboru KAWADA.

緒言

本邦の海岸に沿つて分布する水田中には現に海水の影響を受け、土壤中に多量の水溶性塩類を含有し、之が水稻生育の制約因子として作用する場合もあれば、或は現在では土壤の含塩量は正常水田と殆んど大差ないが過去に於て海水の影響を蒙つた水田も少くない。その代表的のものが干潟地を利用した耕地や干拓地及び満潮時に河口よりの海水の逆流が行はれ、かかる海水を多量に混入した灌漑水を使用している水田にみられ、又最近では四国周辺及び瀬戸内海の沿岸其他の地区に於て地盤沈下又は海面の高潮の何れかによる塩害地の水田に之が認められる。

干拓地はその立地条件の差によつて（1）内陸の淡水湖の干拓地（2）海岸の淡水湖の干拓地（3）海岸の半鹹湖の干拓地（4）海岸の鹹湖の干拓地（5）海面干拓地等に區別⁽¹⁾されるが、之を土壤生成論的にみると、上記海岸線に沿つて分布する干拓新田の如く、現在又は過去において海水の影響を蒙つた土壤と内陸の湖面干拓の如く、殆んど其の影響を蒙っていないものと2大別することができる。

本邦の干拓新田の主要部分は前者の型に属し、土壤の生成過程において海水に由来する水溶性塩類、主としてナトリウム塩とマグネシウム塩の影響の下に発達した特殊の土壤とみることが出来る。

土壤化学的には可溶性塩類の過剰か又は置換性 Na 及び Mg の異常量を含むか或はその両者を含む土壤及び之等塩基が H イオンで置換された不飽和度の高い、所謂退化型の土壤である。

VILFENSKY⁽⁶⁾ は土壤の生成論的分類の基本型として土壤の生成に關与する諸因子中最も強く働いて土壤に特徴を附与するものに基づいて（1）熱成土壤（Thermogenetic）（2）植成土壤（Phytogenetic）（3）水成土壤（Hydrogenetic）（4）塩成土壤（Halogenetic）に4大別している。本分類において塩成土壤とは塩類土、アルカリ土等ナトリウム塩の存在の下で生成された土壤と規定されているが、かかる分類基準からすると海岸沿いの干拓地の多くは塩成土壤に類別することができる。

従つて、干拓後の年次の経過に伴う土壤成分の移動、溶脱及び集積の状況と之に伴う地力の変移、干拓土壤の分類、更には之が改良法を究明するに當つては土壤生成論の見地に基づく層位分化の観察及び各層位の化学的組成の変化の実態を鮮明することが基礎的課題である。

因つて筆者等は岡山縣下の瀬戸内海沿岸に分布する干拓地を対象として先づ干拓後の年次の経過に伴う土壤の含塩量の変化と之に伴う置換性塩基の形態変化を中心として、土壤の動的変化の推移を究明した。

尙本研究に於て対象とする塩成干拓地土壤には比較的最近に干拓された土壤に加えて可なりの年代を経過した所謂干拓新田をも含める。江戸時代には幕府も諸藩も財政を豊にするため全国的に新田開墾が盛になつたが特に児島湾を中心とする大干拓事業は有明湾の大干拓と共に有名である。吉井、旭、高梁の3川は協同して児島湾頭に面積約225方町の中国第一の岡山平野を展開しているが岡山平野の約半ばは古来児島湾沿岸を干拓して得た人工平野とみなされ、之に由来する耕地面積は約1万5千町歩内外に達している。更に現在でも児島湾第7区を始め高梁川干拓、福田干拓、笠岡干拓其他干拓施行中及び計画中のものを合すと岡山県内のみでも数千町歩に達している。

供 試 土 壤

供試土壤としては岡山県下瀬戸内海沿岸及び児島湾岸の干拓地及び干拓新田の表土16種を用いた。

試料番号	採取地点	説 明
1701	児島干拓7区, 岡大実験農場	昭和19年干拓着工, 昭和24年度より耕作す。畑地
1732	同 上	同 上
1702	同 上	同 上
2704	児島干拓7区, 農協実験圃場	昭和19年干拓着工, 小麦作地, 生育不良
1733	福田干拓東地区	干拓工事施行中, 満潮時には海水を蒙る
1706	福田干拓西地区	干拓工事施行中, 干陸後の未耕地
2718	上道郡津田村	堤塘より約30m内側で, 潮廻しの隣接地, 水稻跡, 一毛作田, 元祿年間に干拓す。干拓後約260年を経過する
2701	児島郡灘崎村	明治32年に干拓す, 苗代田, 二毛作田
2708	児島干拓6区, 興陽高校圃場	明治14年干拓着工, 排水溝を設置せる果樹園
1730	岡山市三幡地区	水稻跡麦作地, 元祿年間に干拓す
1719	同 上	同 上, 秋落田
2752	邑久郡幸島村	水稻跡休閑地, 一毛作田, 元祿年間に干拓す
2726	上道郡津田村	水稻跡麦作地, 秋落田, 元祿年間に干拓す
2759	浅口郡連島町	水稻跡休閑地, 但し二毛作可, 干拓後約170年を経過
2760	同 上	水稻跡休閑地, 干拓後約100年を経過
2709	上道郡光政村	水稻跡休閑地, 一毛作田, 地盤沈下による塩害発生田, 元祿年間に干拓す

実 験 の 部

反応及び可溶性塩類 供試土壤の反応及び可溶性塩類を示せば第1表の通りである。

pH 値 風乾土の pH 値は 3.8~7.4 の範囲にあり, 概して干拓初期の土壤は中性に近い反応を示すが干拓年次の古い土壤中には, pH 値 5 以下の可なり強酸性の土壤も少くない。

可溶性塩類 土壤中の塩分は Cl として 0.005~0.922 % の, 又全固形物量は 0.034~1.993 % の範囲にあり, 試料によつて大差が認められる。若干の例外を除けば干拓初期の土壤の含塩量は多いが, 年月の経過と共に減少する傾向が認められる。津田 A 試料及び光政試料は共に干拓後 260 年以上を経過しているに拘らず含塩量は可なり多いが, 前者は潮廻しの隣接地であるため除塩の進行していないことに, 又後者は地盤沈下によつて新しく塩害を生じつつある水田であることに基づく。尙両試料の試坑地の地下水位は, 前者は 71cm, 後者は 66cm, 且つ地下水の塩分は

第1表 供試土壤の反応及び可溶性塩類
Table 1 pH and soluble salt content of soils

試料番号 Lab. No.	土 壤 Soils	土層の深さ Depth in cm.	反 應 pH (H ₂ O)	可 溶 性 塩 類 Soluble salt (%)		土 性 Soil class
				全 固 形 物 Total solids	塩 素 Cl	
1701-1	7 区A	0-10	7.35	0.466	0.194	Clay
1732-1	7 区B	0-20	7.36	1.993	0.922	"
1702-1	7 区C	0-10	7.27	0.686	0.243	"
2704-1	7 区D	0-15	7.28	0.431	0.261	"
1733-1	福 田A	0-12	6.36	1.639	0.787	Loam
1706-1	福 田B	0-15	6.46	1.517	0.700	"
2718-1	津 田A	0-19	3.75	0.880	0.092	Clay loam
2701-1	灘 崎	0-15	6.56	0.094	0.035	Clay
2708-1	6 区	0-15	5.75	0.330	0.035	"
1720-1	三 崎A	0-13	6.07	0.077	0.014	Sandy loam
1719-1	三 崎B	0-10	6.45	0.034	0.005	Sand
2752-1	幸 島	0- 8	4.97	0.052	0.028	Clay loam
2726-1	津 田B	0-11	4.49	0.104	0.018	Sandy loam
2759-1	連 島A	0- 9	5.01	0.118	0.014	Loam
2760-1	連 島B	0-16	5.28	0.040	0.014	Clay loam
2709-1	光 政	0- 8	4.37	0.488	0.230	Loam

Clとして前者は0.585%, 後者は1.024%である。(昭和26年12月—27年2月の調査)

第1表の成績によれば, 若干の例外を除き塩化物が可溶性塩類の大部分を構成していることが判る. 津田A試料は例外で, SO₄として0.444%を含有し, 硫酸塩が主体をなしている. 尙本試坑地では表土中に赤褐色の斑鉄多く, 特に7~19cmの層位に黒斑状の硫化

物の集積するを認めた. 以上の事実より本試料のpH値が3.75で特に低いのは硫化物の酸化生成物に起因すると考えられる.

置 換 性 塩 基

定量法 置換容量及び置換性塩基は中性醋酸アンモン法及びP_{URI}⁽²⁾の炭酸アンモン法に準拠して定量した.

試料を0.5N炭酸アンモン溶液にて先づ浸出した後0.5N塩化カリ溶液にて浸出し, 再び0.5N炭酸アンモン溶液にて浸出して得た濾液を蒸発乾涸し, 残渣を熱水にて浸出し, 之に標準酸液の少過剰を加え, 然る後標準アルカリ液にて滴定するP_{URI}法は, 強酸性土壤の置換容量の定量法として好適することを認めた.

中性醋酸アンモン浸出液を用いてCaを常法により, 又Na及びKを濾過棒法による微量定量法によつて分離定量した.

上記の第1回目の炭酸アンモン浸出液を蒸発乾涸せる後残渣をN炭酸アンモン溶液にて浸出して得た濾液を再び蒸発乾涸し, 標準酸液の少過剰を加え, 之を標準アルカリ液にて滴定して置換性Na+K+Mgを求めた. この値よりNa+Kを控除してMgを算出した.

分析成績を示せば第2表の通りである.

置換容量 置換容量を土壤100g当りのmg当量にて示せば7.63~24.85の範囲にありかなりの差異が認められる. 第1表に示した土性と置換容量の値より判る如く, 児島湾の内部に位置する干拓地は置換容量が何れも24mg当量内外の極めて重粘なる埴土より成るに対して旭川より吉井川の間を介する旧干拓地及び児島半島の西部及び高梁川河口附近の干拓地の土壤は置換容量

第2表 置換性塩基の組成
Table 2 Exchangeable bases, relative proportion

試料番号 Lab. No.	土 壤 Soils	土壌 100g 当りの mg 当量 (m. e. per 100g soil)					置換容量に対するパーセント Equivalent per cent of the base exchange capacity					
		置換容量 Base exchange capacity	置 換 性 陽 イ オ ン Exchangeable cation					Ca	Mg	Na	K	H
			Ca	Mg	Na	K	H					
1701-1	7区A	24.25	8.08	11.25	3.87	0.28	0.77	33.32	46.39	15.96	1.15	3.18
1732-1	7区B	24.85	8.86	7.64	6.13	1.37	0.85	35.65	30.74	24.67	5.51	3.43
1702-1	7区C	23.56	6.07	8.67	5.35	2.52	0.95	25.76	36.80	22.71	10.70	4.03
2704-1	7区D	23.41	4.46	9.03	6.99	2.66	0.27	19.05	38.57	29.86	11.36	1.16
1733-1	福田A	15.02	3.97	4.01	4.65	1.39	1.00	26.43	26.70	30.96	9.25	6.66
1706-1	福田B	14.88	4.22	7.12	1.35	1.15	1.04	28.36	47.85	9.07	7.73	6.99
2718-1	津田A	15.05	1.77	1.13	0.09		12.06	11.76	7.51	0.60		80.13
2701-1	灘 崎	24.97	6.94	7.01	1.63	2.02	7.37	27.79	28.07	6.53	8.09	29.52
2708-1	6 区	23.55	7.44	4.43	1.98	1.30	8.40	31.59	18.81	8.41	5.52	35.67
1720-1	三幡A	11.27	7.11	1.60	0.73	0.24	1.59	63.09	14.20	6.48	2.13	14.10
1719-1	三幡B	7.63	3.97	1.30	0.14	0.09	2.13	57.03	17.04	1.83	1.18	27.92
2752-1	幸 島	16.34	7.19	0.79	0.43	0.40	7.53	44.00	4.83	2.63	2.45	46.09
2726-1	津田B	9.46	2.54	0.67	0.19		6.06	26.85	7.08	2.00		64.07
2759-1	連島A	10.89	5.33	1.14	0.23	0.16	4.03	48.94	10.47	2.11	1.47	37.01
2760-1	連島B	15.17	8.18	1.07	0.26	0.11	5.55	53.92	7.05	1.71	0.73	36.59
2709-1	光 政	12.33	4.71	2.28	0.41	0.25	4.68	38.20	18.49	3.33	2.03	37.95

が7~17mg当量で、砂土乃至塩漬土より成り、概して軽い土壌の分布するを知つた。

置換性陽イオン 置換性陽イオンの組成も区々であるが概して干拓初期の土壌の置換複合体は塩基で略々飽和され、置換性 Mg 及び Na の含有比率が正常土に比べて異常に高く、且つ置換性 H の夫が小であるに対して干拓年次の古い土壌の置換性塩基は正常土に近似した組成を示し、多くの土壌において置換性 H の含有比率が可なり増大している。

生成論的考察

本実験によれば塩成干拓地土壌の含塩量、pH 値及び置換性塩基の形態の間には一連の関連性が認められ、且つそれが主として干拓後の年月の経過に伴つて土壌の蒙る洗脱作用そのものに関連することが推察できる。因つて是等の点につき若干の考察を試みる。海岸沿いの干拓地土壌を塩成土壌とみなす場合には、同じく塩成土壌に属する所謂アルカリ土壌に関する既往の生成論的研究と比較検討することは意義が深い。

DE' SIGMOND⁽⁵⁾は土壌の動的变化なる観点よりアルカリ土壌の成因を、生成論的に次の4過程に分ち、各過程に特徴的な化学変化を基礎として以下に示す如く分類している。

(1) 塩類化作用 Salinization

可溶性塩類の集積する過程

(2) アルカリ化作用 Alkalinization

塩類化作用が高度に進行した場合に Na イオンが置換複合体中の Ca イオンを置換する過程

(3) 脱塩化作用 Desalinization

可溶性塩類が洗脱される過程

(4) 退化作用 Degradation

洗脱作用が高度に進行する場合、アルカリゼオライトと腐植複合体が加水分解し、置換性塩基がHイオンで置換される過程

アルカリ土壤の生成における第1過程はアルカリ塩類の集積、即ち塩類化作用によるソロンチャツクの生成で、かかる階程にある土壤を含塩土(Saline soil)と名付ける。第2過程は置換複合体のナトリウム化で、かかるアルカリ化作用を生じている土壤を含塩アルカリ土(Saline alkali soil)と名付けている。且つ DE' SIGMOND⁽³⁾ 及び KELLEY と BROWN⁽⁴⁾ はアルカリ化作用の始発点を置換性I価カチオンの総塩基に対する当量パーセントが約12%の点を以て下限とみなしている。

第3過程は可溶性塩類が降水又は灌漑水によつて自然的又は人工的に洗脱される脱塩化作用でかかる階程にある土壤を溶脱アルカリ土(Desalinized alkali soil)と名付けている。脱塩化作用に続く第4過程を退化作用と呼び、かかる階程を経た最終生成物を退化アルカリ土(Degraded alkali soil)と命名している。VILENSKY は一度退化したアルカリ土壤に再び塩類の集積を来す作用を再生作用(Regradation)と呼び、DE' SIGMOND⁽⁴⁾ は、かかる再生アルカリ土(Regraded alkali soil)は第一類中に包括せしめても亦第5類として附け加えても宜いとの見解を述べているが筆者等は塩成干拓地土壤の分類に於ては特に再生作用を重要視し、之を第5類として取扱うことにした。

第1表及び第2表の成績より明かな如く児島湾第7区及び福田地区の干拓初期の土壤は何れも含塩量は極めて多く且つ置換性Na+Kの当量パーセントは12%以上を示し明かに含塩アルカリ土型の土壤に属している。周知の如く干拓地土壤は、かつて海底に沈積せる土砂に由来するを以て、長年月に亘り海水の作用を蒙るためその間に海水中のナトリウム塩と塩基置換反応を生じ、ナトリウム粘土に転化するものであることは明白である。従つて塩成干拓地土壤に関する限りは第1過程たる塩類化作用は既に海底に沈積せる期間中に経過し、之に続いてアルカリ化作用を蒙つた状態に於て干陸されるものと解釈することができる。而して海岸沿いの塩害水田の総べてが必ずしもそうではなく、例えば海水を多量に混入せる灌漑水を使用せるため塩害を生じているが如き土壤にあつては含塩土型の土壤も存在する。

尙上記試料の置換性塩基の一特徴として置換性Mgが非常に多いが之亦海水中のマグネシウム塩の影響とみられ、之に関しては筆者の一人米田⁽⁵⁾は華北地区の、特に海岸地帯に分布する塩類土壤に於て同様の事実を認めた。HISSINK⁽⁶⁾は置換性Mgが異常に多い場合は土壤の構造並びに植生に不適当なる事実を指摘しているが児島湾干拓地の土壤の物理的状態の著るしく不良なること及び植生に不利なることの原因も一つには置換性Mgの含有比率の大なることに起因する場合も想像され、今後の研究を要する問題である。

干拓初期の含塩アルカリ土型の土壤が干拓後雨水又は灌漑水によつて洗脱作用を蒙ると先づ表土の含塩量は稍々減少するが、その初期の段階に於ては灘崎試料(2701)及び6区試料(2708)の如く置換性Na+Kの含量は依然として12%以上を占めている溶脱アルカリ土型の土壤に転化する。而して脱塩化作用が更に進行すると終には土壤の含塩量は最早正常土と大差なく、置換性Na+Kの含量も12%以下に減じ、置換性Mgの含有比率も正常土の夫に近似する一方、置換性Hの含有比率は次第に増大して退化アルカリ土型の土壤を結果する。三蟠2試料(1719, 1720)はその転移過程にある土壤、幸島(2752)、津田B(2726)及び連島2試料(2759, 2760)は明かに

退化アルカリ土の組成的特徴を示している。

従つて退化作用の過程にある土壤にも洗脱作用の強弱の程度によつて土壤の化学的性質にも若干の差は生じるが、何れにせよかかる組成的特徴を示す土壤が地盤沈下、堤塘の破損又は海水の逆流や高潮等の原因によつて再び海水の侵入を蒙り、アルカリ塩類の集積を結果する場合が屢々生じる。例えば光政試料(2709)の如く土壤の反応、置換性塩基の形態及び塩基飽和度の点では退化型又はそれに準じた特徴を有する反面土壤中の含塩量は未だ脱塩化作用を蒙らない土壤と大差ない場合で之が即ち再生アルカリ土型の土壤である。

之を要するに塩成干拓地土壤は生成論的に考究する場合、所謂アルカリ土壤の生成過程と原則的には可なり近似した様相を呈することが判る。而して兩種土壤を比較検討する場合、その相異なる点として次の2点を指摘することができる。その第一はアルカリ塩類の起源であり、その第二は生成過程に蒙る気象的条件で、特に後者は之が生成及び改良と関連して重要な意義を持つている。

塩類土壤の生成に於ける第1過程はアルカリ塩類の集積である。塩成干拓地土壤に於てはアルカリ塩類の起源はすべて海水に帰することができる。之に反してアルカリ土壤に於てはその起源は多種多様で、単に流入水によつてもたらされる場合もあれば、又海水、岩塩鉱或は下層の含塩層に由来する場合もある。更に多くのアルカリ地帯にみられる如く乾燥性気候そのものがアルカリ塩類の集積の根本原因をなす場合には塩類の起源を明になし得ない場合も少くない。而して塩成土壤に於てはアルカリ塩類の源は何処にあるにせよアルカリ塩類の集積そのものが問題である点からみれば土壤生成論的には之が起源に関してはそれ程重要ではなく、むしろ生成過程に蒙る気候的条件が問題の核心をなしている。即ちアルカリ土壤の多くが乾燥性気候の地帯に分布するに對して本邦の塩成干拓地土壤は湿潤性気候の下で発達する。従つて洗脱作用の進展と速度及びその様相は可なり趣を異にし、更に干拓新田に於ては多量の灌漑水の使用によつて洗脱作用は畑地の場合とでは著るしく相違する。以上の事實は更に之等土壤の改良を行う上にも至大の影響を及ぼすことは明白である。

摘 要

本邦の海岸線に沿つて分布する干拓地土壤は海水に由来するアルカリ塩類及びマグネシウム塩類の影響の下に発達せる土壤であるとの見地から之を塩成土壤に類別することができる。かかる土壤の干拓後の年次の経過に伴う動的变化を究明する目的で、先づ之が生成論的研究を行い次の結果を得た。

- 1 干拓初期の土壤は含塩量多く、且つ置換性Na及びMgの含有比率も極めて高く、含塩アルカリ土型の土壤である。
- 2 干拓後の雨水及び灌漑水の脱塩化作用によつて先づ表土の含塩量は稍々減少するが置換性Na+Kの当量比率が12%以上を占める溶脱アルカリ土型の土壤に転化する。
- 3 洗脱作用の高度の進行に伴つて表土中よりアルカリ塩類は略々洗除され、置換性Na、K及びMgイオンの含有比率も略々正常土の夫に近似した組成を示すに至るが、他方置換性Hの含有比率は次第に増大して終には退化アルカリ土型の土壤を結果する。
- 4 退化作用の過程を経た土壤が地盤沈下、堤塘の破損其他の原因によつて再び海水の侵入を蒙る場合には茲に再生アルカリ土型の土壤を結果する。

本研究は農林省岡山農地事務局の地盤沈下調査及び岡山縣委託研究の一部である。関係当局に謝意を表する次第である。

引用文献

- (1) KELLEY, W. P., and BROWN, S. M., (1924) : Univ. Calif. Publ. Tech. Paper 15.
- (2) PURI, A. N., (1935) : Soil Sci., 40 : 159—163.
- (3) DE' SIGMOND, A. A. J., (1927) : Proc. 1st Int. Cong. Soil Sci., 1.
- (4) DE' SIGMOND, A. A. J., (1927) : Calif. Agr. Exp. Sta. Sp. Pub.
- (5) DE' SIGMOND A. A. J., (1938) : The Principle of Soil Science. London.
- (6) 川村 (1948) : 農林土壤学 東京
- (7) 小林 (1952) : 農業技術 Vol. 7, No. 10—11.
- (8) 米田 (1951) : 宇都宮大学農学部学術報告 Vol. 1, No. 2.

Résumé

There are a good many of rice-fields along the sea-coast in Japan where the sea water keeps the soils in a salty condition. Polder soils which occur on the seacoast have been developed under the influence of alkali salts and they are subjected to processes of salinization or solotization. We grouped these soils as halogenetic soils of VILENSKY. They vary from very sandy to heavy clayey soils. It is the purpose of this paper to study the soil-forming process of the halogenetic polder soils after being diked and freed from sea water. The results obtained may be summarized as follows :

1. The young polder soils contain a large amount of the soluble salts of sea water, and of the exchangeable bases, the MgO and the Na₂O are more prominent. These soils nearly correspond to the saline alkali soils of DE' SIGMOND.
2. When the greater part of the sodium salts have been washed out of the upper soils by the rain or the irrigation water, the salt contents of surface soil are decreased but the exchangeable mono-valent cations (Na and K) remain unchanged at the beginning. These soils nearly correspond to the desalinised alkali soils of DE' SIGMOND.
3. With a continued supply of percolating nonsaline water, the leaching process continues and the salts of upper 50 to 60 cm. of the soils are thoroughly washed out. Of exchangeable bases, Na₂O and MgO are replaced by hydrogen and V values (according to HISSINK) now decrease.

This ultimate product of the solotization process is called degraded alkali soils by DE' SIGMOND.

4. When the older polder soils of degraded type are brought in a salty condition again both by seeping in the sea water from ocean and from tidal estuaries, salty soils are newly formed. These soils nearly correspond to the regraded alkali soils of DE' SIGMOND