

火山灰土台地の開田土壌に関する研究 (第1報)

小林 嵩・品川 昭夫

Studies on the Paddy Soils in Upland of Volcanic Ash Soil (I)

Takashi KOBAYASHI and Akio SHINAGAWA
(Laboratory of Soil Science)

緒 言

従来、火山灰土台地における開田はわが国の各地で実施されてきたが、南九州ことに熊本、宮崎及び鹿児島県においても古くから火山灰土台地において開田が行われ、現在もなお各地において実施されている。

一般にわが国の火山灰土台地の大部分は畑地として利用されているが、その生産力は極めて低く、かつ、その向上も困難である。しかし、かかる地区もこれを水田化することによつて水稻は勿論、その裏作物の生産もしからざる畑地に比べて著しく高まるのが普通である。また、水稻の収量は開田年次の古い程大きい。現在、鹿児島県下における水稻の多収穫田はこのような火山灰土台地における開田地区にあつて、しかも開田年次の古い水田である。

筆者らはすでに生産力の低い不良火山灰土の畑地に多量の水を灌漑することによつて急速にその生産力を高めうることを熊本県合志地区及び同県球磨地区における数年間の圃場試験によつて明らかにしたが⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾、開田の場合は毎年多量の水を灌漑するので当然土壌の諸性質の改善が行われ、その生産力の向上が期待できるものと考える。

多量の水を灌漑することによる畑地の生産力の向上は灌漑水中の各成分、ことに石灰、苦土、加里及び珪酸などが土壌によつて吸収され多量集積することによつて、これらが養分としての直接的効果と石灰並びに珪酸などによる土壌の諸性質そのものの改善による間接的效果とに基因するものである。そしてこの場合、灌漑によつて富化された珪酸は土壌の遊離礫土と結合し、珪礫比を高めて土壌の礫土性を弱め、かつ、土壌の塩基置換容量を増し、磷酸の吸収固定を弱めるなど土壌の性質の改善に役立つことを明らかにしたが、土壌粘土の主要部を占める Allophane の質的变化、いいかえると 1:1 型粘土鉱物への変化は認められなかつた。これは灌漑後の時日の経過が短いためと考えられるが、開田土壌の如く長年月に亘つて灌漑が行われている場合は珪酸の富化 (resilication) による Allophane の 1:1 型粘土鉱物への変移が起りうるものと考える。

かかる観点から火山灰土壌の灌漑による改良機構に関する研究の一環として、開田後相当年数を経過したそしてその年数を異にする火山灰土台地の水田土壌を供試して、その諸性質の変化、とくにその粘土鉱物の変移について研究し、2, 3 の成績をえたのでここに第1報として報告する。

供 試 土 壌

本研究に供した土壌についての記載は Table 1 の通りである。なお、供試土壌はいずれも火山灰土の台地を開田した排水良好な従つて多量の水が灌漑されている水田のものである。熊本県球磨郡

湯前町後原の開田後 200 年以上を経過した水田は鋤床層の発達が見られるが、その他の水田ではみられない。湯前町後原の水田は約 5 km, 多良木町田村崎の水田は約 8 km の水路に依つて球磨川の水を灌漑し、鹿児島県末吉町高松の水田は約 8 km の水路に依つて導いた菱田川の水を灌漑している。なお、同地区の畑土壌は所謂熟畑のものである。

Table 1. Descriptions of soil samples used

Sample No.	Land category	Depth of soil sampling cm	Color of soil	Locality of sampling	Age of making rice field	Yield of hulled rice (kg/10 are)
1	Paddy field	0~15	Grayish black	Ushirobara, Yunomae-cho, Kuma district, Kumamoto Prefecture	More than 200 years old	450~525
2		15~65	Black			
3		0~15	Grayish black	Takamatsu, Sueyoshi-cho, Sōo district, Kagoshima Prefecture	60 " "	375~420
4		30~45	Black			
5		0~15	Black	Tamurasaki, Taragi-cho, Kuma district, Kumamoto Prefecture	30 " "	300~375
6		15~45	Yellowish brown			
7	Upland field	0~30	Grayish black	Takamatsu, Sueyoshi-cho, Sōo district, Kagoshima Prefecture	—	—
8		55~	Black			

実験方法

1. pH は硝子電極法, 全有機炭素は TYURIN 法, 全窒素及び置換酸度は常法によつた。
2. 置換容量, 置換性塩基は SCHOLLENBERGER の醋酸アンモニア法によつた。
3. 磷酸固定量の測定は 1/50 mol H₃PO₄ 液を用いて行つた。
4. 器械的分析は国際土壌学会法によつた。
5. 非アロフェン粘土及びその調製

6% H₂O₂ 処理を反覆して有機物を分解した細土を塩酸酸性 pH 4.5 で分散させ, 1 μ 以下の部分を完全に採集してえた粘土分及び残土を JEFFRIES and JACKSON 氏法⁽¹⁾ による deferration 操作を 2 回反覆して溶解した各量の和を Allophane 粘土の量とし, さらに後者の不溶解部は NaOH にて pH 9.5 で分散せしめ, 1 μ 以下の部分を再び完全に採集し, 最初にえた粘土の deferration 操作の際の不溶解部と合して非 Allophane 粘土の量とした。

6. 非アロフェン粘土の示差熱分析は 1 分 1°C の熱上昇率にて行い, X線分析は North American Philips 社製の計数管 X線スペクトロメーター (Norelco) により, Cu Kα ray, 管球電圧 30 kV, 管球電流 15 mA, scanning speed 2°, time constant 4 の実験条件下で行つた。電子顕微鏡写真撮影は < 2 μ の粘土分の蒸溜水分散試料について行つた。

実験結果及び考察

1. 粘土鉱物

本研究に供した土壌の採集地域の火山灰畑ことに原野の土壌の主要粘土鉱物は Allophane であることはすでに青峰・吉永⁽⁵⁾, 菅野⁽⁶⁾ その他に依つて明らかにされている。

本研究においてはこの火山灰土壌の主要粘土鉱物である Allophane が長年に亘る灌漑によつてその質的, いいかえると結晶鉱物ほどの程度まで変移しているかについてその量的関係を調べた。このために, 珪酸, 鉄, 礬土の無定形水酸化物並びに Allophane を溶解するといわれている上記の JEFFRIES and JACKSON の Mg 還元法によつて非 Allophane 粘土の量を求めた。その成績は Table 2 に示す通りである。

Table 2. Mechanical analyses of the fine soils (% on an oven dry basis)

	Sample number							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Organic matter	9.74	25.70	9.75	27.37	20.74	2.96	10.76	20.19
Coarse sand (2~0.2 mm)	9.61	8.62	3.54	10.65	6.42	6.26	36.30	10.82
Fine sand (0.2~0.02 mm)	17.46	21.06	39.46	14.25	21.90	47.28	29.59	22.30
Silt (0.02~0.002 mm)	33.19	25.13	26.17	28.38	32.19	22.57	10.38	29.18
Clay (0.002 mm>)	29.62	20.08	20.81	18.53	21.02	20.36	11.53	17.09
Allophane free clay fraction								
$\frac{\text{Total clay}}{\text{Allophane free clay fraction}} \times 100$	86.6	79.5	68.6	63.6	68.0	52.3	47.2	55.2

Table 2 によると全粘土量に対する非 Allophane 粘土量の割合は畑土壌より水田土壌が顕著に大きい。そして水田土壌においてはその開田年次の古い程, また表層の土壌が下層土より大きい。反之, 畑土壌においては表層土が下層土に比べて小さい価を示している。

非 Allophane 粘土の完全分析を行つた結果から求めた珪礬比はいずれも 2~5 を示し, 一定の傾向は認められない。電子顕微鏡写真によつて 2 μ 以下の fraction を調べた結果は Fig. 3-2 の如く, 畑土壌の場合は僅かであるが水田土壌にはかなり多量の珪藻が混在しているのが認められた。上記の如く粘土の珪礬比の値が灌漑の有無によつて一定の傾向を示さない理由は混在する珪藻の量に左右されるためであると考えられる。すなわち, 火山灰土壌を水田化することによつて珪藻の繁殖が盛んとなつてこれによつて珪酸の固定が行われ, これが土壌の珪礬比を高めている 1 つの原因であることは明らかである。火山灰土畑を水田化することによつて灌漑水所含珪酸が土壌そのものによつて固定集積されるとともに珪藻の繁殖によつても固定されるのであるが前者については前報⁽¹⁾⁽²⁾において報告した通りであるが, 後者に依つて固定された珪酸が火山灰土の水田土壌の生成論的に, あるいは作物に対する直接的な, すなわち養分として吸収利用される方面に大きな役割を演じているのではないかと考えられる。この点に関してはなお今後の研究によつて明らかにしたい。

非 Allophane 粘土の示差熱分析の結果は Fig. 1 に示した。畑土壌 (試料 7, 8) は 100~200°C の H₂O に起因する吸熱ピーク以外は殆んど直線的であり, Allophane と同じ曲線を示している。また, Aluminum hydrous oxide に起因すると考えられる 200~300°C の吸熱ピーク, 1:1 型鉱物と思われる 500~600°C の吸熱ピークはいずれもその強度は極めて弱い。反之, 水田土壌においては 1:1 型鉱物に起因すると考えられる 500~600°C の吸熱ピークは顕著に認められ, しかも, 表層土の方が下層土よりより強く現われている。

非 Allophane 粘土の X 線分析の結果は Fig. 2 及び Table 3 の通りである。

Table 3 によると, 水田土壌の第 1 層においては 7.2 Å 附近, 4.4 Å 附近, 1.6 Å 附近のピークが明瞭に認められ, 非 Allophane 粘土の主体は 1:1 型鉱物で, これは恐らく Halloysite と考え

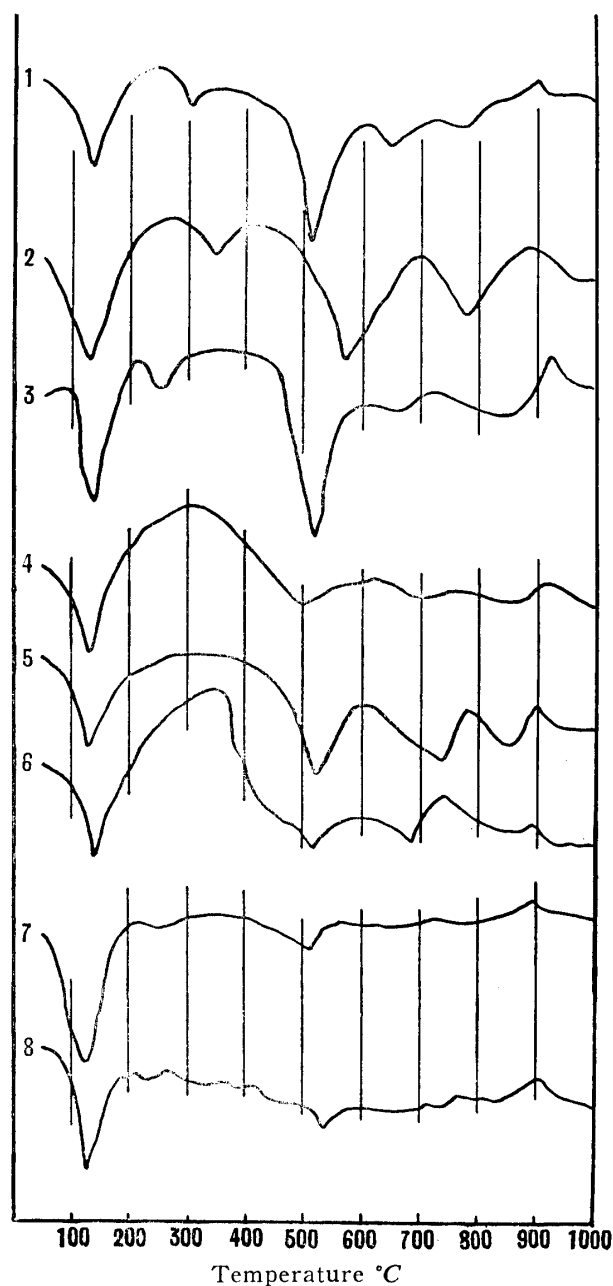


Fig. 1. Differential thermal curves of Ca-clay ($<1\mu$)

1-6 from paddy soils,
7-8 from upland soils.

開田年次の古い水田ほどその表層土の有機物含量が少ない。

塩基の集積状況をみると、水田土壌は畑土壌に比べてその表層土のみならず下層土においても顕著に塩基の集積が大きい。そして水田の場合は特に下層の黒色土層に塩基の含量が大きいのは灌漑に依つてもたらされた塩基の集積に依るものであると考える。球磨及び末吉地区とも畑地とくに原野の土壌は塩基に乏しい火山灰土壌であるが、これを水田化することに依つて畑地灌漑の場合⁽¹⁾⁽²⁾と同様に多量の塩基の集積がみられる。

られる。水田の下層土では表層土のように明瞭なピークは示さない、特に 7.2 \AA 附近のピークは殆んど認められない。そして表層土に比べて Halloysite の結晶度が低く、特に層面に垂直方向の週期が乱れていることが判かる。開田後 200 年以上を経過した水田の表層土 (試料 1) は 10.05 \AA 附近のピークが強く現われており、また 5.0 \AA 附近のピークも現われているので、Illite 系鉱物もかなりの量が存在するものと考えられる。反之、畑の表土では石英などの混在する一次鉱物に基因すると思われる 4.03 \AA , 3.35 \AA の鋭いピーク以外は全く Allophane と同じような pattern を示しているが、畑の下層土においては 7.1 \AA 附近、 4.4 \AA 附近のピークが認められるので、質的にも表層土より 1:1 型粘土鉱物の性格がより強く、かつ量的にみても非 Allophane 粘土の割合が大きい。供試土 1, 2, 5 及び 6 の球磨地区の水田土壌はいずれも 5.0 \AA 附近、 2.6 \AA 附近のピークが明瞭に現われているので Illite 系の恐らく Vermiculite が少量存在するものと考えられる。

2:1 型粘土鉱物が火山灰母材料中に含まれる角閃石から変化したものか、あるいは灌漑水によつて流入した雲母類に由来するものであるかについてはその可能性は考えられるが、この場合は容易に断定し難く、なお検討の要がある。

2. その他の性質

開田土壌と畑土壌とについて 2, 3 の性質を検べて Table 4 の成績をえた。

Table 4 によると、水田土壌は畑土壌に比べて表層土の有機物の含量が顕著に少ない。また

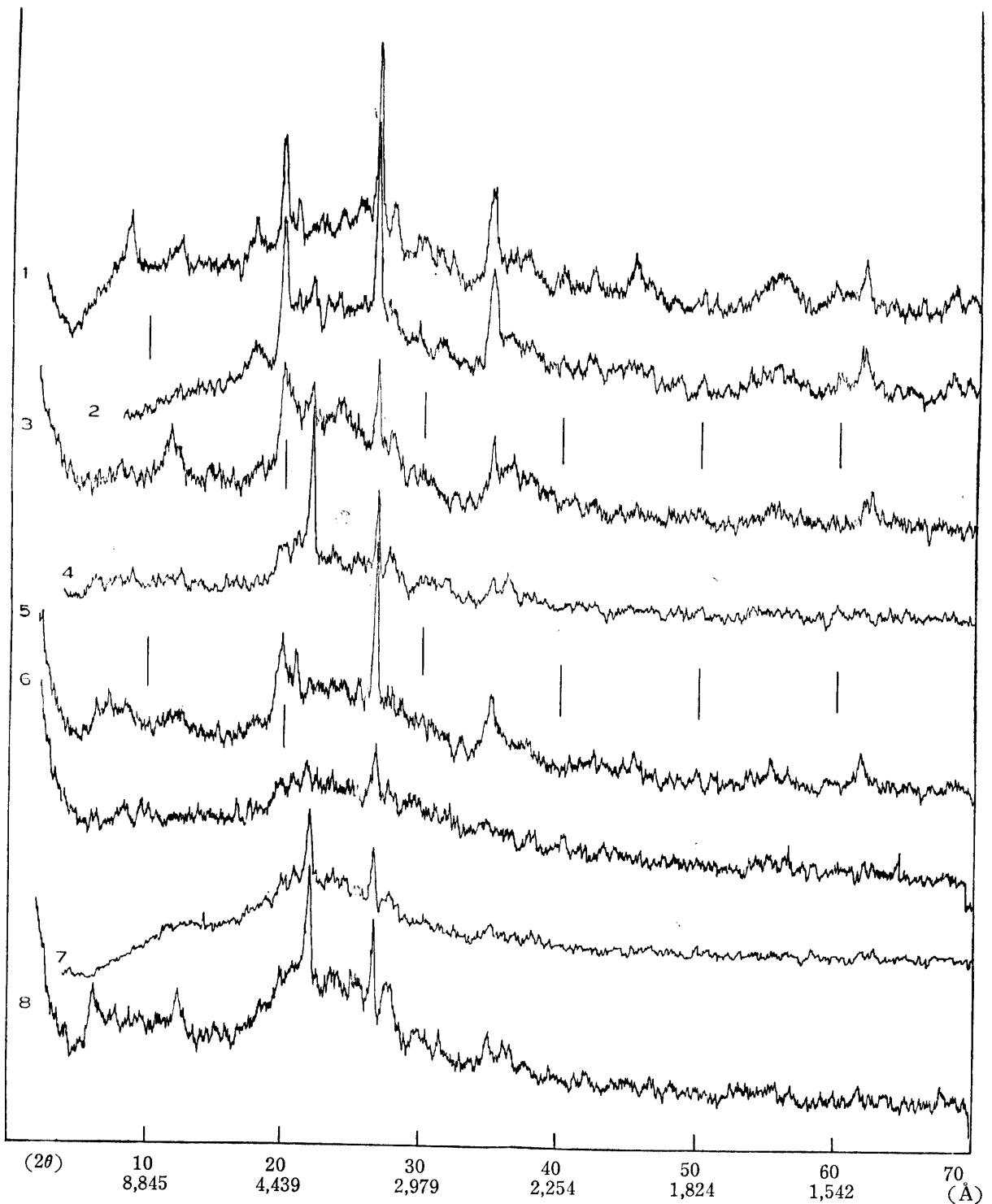


Fig. 2. X-ray diffraction diagram of Ca-clay ($<1\mu$)
 1-6 from paddy soils,
 7-8 from upland soils.

土壌の磷酸固定力についてみると、表層土において水田土壌は畑土壌に比べて顕著に弱く、ことに水田の場合は開田年次の古い程弱い傾向がみられる。この成績において畑土壌の磷酸固定力が割合に弱いのは Table 2 の成績の示すように、この土壌の土性が水田土壌より砂質であることに因る

Table 3. X-ray diffraction data of clay fraction (Ca-clay, $< 2\mu$)

1		2		3		4		5		6		7		8	
d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I
				11.05	3			14.02	3					13.54	5
				10.16	4			12.10	4					11.05	3
10.05	11			7.42	10	10.00	3	10.40	4	10.04	3			9.62	5
7.10	8	7.25	3	5.54	4	7.14	4	7.16	4	8.67	2			7.18	6
		6.56	3	4.87	3	5.52	3	5.70	3	6.28	3	6.28	3		
5.00	8	5.01	5	4.44	14	4.95	3	4.98	5	5.01	5				
4.48	20	4.46	22	4.44	14	4.44	6	4.44	17	4.48	6	4.44	4	4.48	5
		4.21	3			4.26	4	4.25	6	4.29	5	4.29	4	4.29	3
				4.06	9	4.04	27	4.07	4	4.09	8	4.05	14	4.04	22
3.94	4	3.86	3			3.80	3	3.97	3	3.77	4	3.80	5	3.88	5
3.71	3	3.74	3	3.70	4					3.62	3	3.65	2	3.75	5
3.53	4	3.50	2	3.54	5	3.54	3	3.50	5					3.46	4
3.33	31	3.34	35	3.35	16	3.33	16	3.33	25	3.34	12	3.36	10	3.33	17
3.22	6	3.28	3	3.24	5	3.21	5	3.24	3	3.23	5	3.23	2	3.22	8
3.05	3	3.02	3	3.08	3	3.14	3	3.13	3	3.06	5			3.02	4
2.97	3					2.96	3	2.98	3	2.91	4			2.94	3
2.90	3	2.89	3												
2.81	4			2.78	4	2.82	3	2.72	5	2.80	5			2.84	5
2.58	15	2.60	17	2.58	8	2.70	2	2.58	10	2.60	3			2.48	2
2.48	3	2.49	3	2.47	6										
2.40	3							2.40	2					2.45	3
2.26	5	2.25	5							2.24	5			2.28	2
2.14	5	2.15	5			2.13	3	2.17	3						
2.06	8	2.08	3			2.02	3	2.03	3	2.09	2				
		1.97	3			1.97	5	1.99	5						
1.85	3	1.85	5					1.84	5						
1.79	3	1.71	4					1.78	5						
1.68	7	1.68	3					1.66	5	1.67	4				
		1.63	2					1.62	3						
1.55	3	1.55	3					1.55	3	1.58	3				
1.50	7	1.50	7	1.50	7			1.50	6	1.50	3				
1.38	4	1.37	5							1.44	4				

Table 4. Some properties of paddy soils in upland of volcanic ash soil

Sample No.	pH		Exchange acidity Y ₁	Organic carbon C %	Total nitrogen N %	C/N	Exchangeable bases (me/100g)		Base exchange capacity (me/100g)	Fixation of P ₂ O ₅ by soil	
	(H ₂ O)	(KCl)					Ca	Mg		pH After reaction	Amount of fixed P ₂ O ₅ (mg/100 gm)
	1	5.6	5.0	1.7	5.73	0.47	12.0	11.2	2.4	17.3	2.3
2	6.3	5.2	0.3	15.12	0.91	16.6	24.7	4.0	40.5	2.7	4262
3	5.3	4.7	2.6	5.74	0.37	15.4	8.6	3.0	17.8	2.4	957
4	6.3	5.0	0.2	16.10	0.69	23.2	19.8	3.4	45.8	2.6	4829
5	5.5	4.8	2.6	12.20	0.72	16.7	11.1	2.0	29.1	2.6	2864
6	6.7	5.7	0.1	1.74	0.12	14.5	3.9	2.7	8.0	2.6	4387
7	5.4	4.7	2.7	6.33	0.53	11.9	3.6	1.5	11.8	2.3	1132
8	5.8	4.7	0.5	11.88	0.55	21.7	5.8	1.8	29.1	2.3	3363

ものであるが、なお水田土壌より大きい値を示しているのは 礫土性が水田土壌より大きいためであると考える。

以上の実験結果から、火山灰土台地の開田土壌は長年に亘つて灌漑をつづけることによつて、短期間に多量灌漑する場合と同様に、塩基を多量にしかも下層土にまで集積し、また土壌の磷酸吸収力を著しく弱めるなどの他に、この土壌の粘土の主体をなす Allophane が 1:1 型 鋳物、恐らく

Halloysite, 加水 Halloysite に変るものと考えられる. Allophane が resilication をうけて 1:1 型鉱物に変移する過程については, すでに FIELDER ら⁽⁸⁾ 及び青峰ら⁽⁹⁾ に依つて論議されているが, この場合は下層土においてこの変化が顕著であることを示している. 本研究の場合のように火山灰土台地の水田においては灌漑という人為的作為によつて灌漑水中の珪酸が多量に与えられた結果, 表層土において Allophane の結晶化が起り, 長年月の間には下層土までかなりの変化が起り, その速度も畑の場合より著しく速いが, 未耕地や畑地においては珪酸の供給量が少なく, 雨水によつて表層から溶脱した珪酸が下層に集積富化されるため, むしろ下層土において Allophane の結晶鉱物への変化の割合が大きいといえる.

要するに, 火山灰土台地の開田土壌はその開田年次の古いほど, 明らかに Allophane 以外の粘土分おそらく 1:1 型粘土鉱物の量が多く, そしてこれと平行して水稻のみならずその他の作物の収量が高くなつてきていることは注目すべきことと考える.

粘土の質とその土壌の生産力との関係については種々論議されているが, その理論的解明については今後の研究にまたねばならない.

しかし, これまでの研究から現象論的に塩基に欠乏した火山灰土壌の改良の方法は, まず第1歩としては酸性及び礮土性の中和並びに低下による有害因子の除去であり, 次は土壌に欠乏している養分特に三要素 (N. P. K) 以外の苦土, 珪酸, マンガン等の十分な補給であり, 第三には土壌粘土の質的改善にあるといえる. その方法として種々考えられるが, ことに生産力の低い火山灰畑土壌においては既報⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾ の如く多量の水を灌漑して土壌の改良を行うか, あるいは, 潤沢に水がえられる場合はこれを水田化することによつてこの種土壌の性質を根本的に改善してその生産力を顕著に増進することができるものとする.

摘 要

畑地灌漑による火山灰土壌の改良に関する研究に関連して火山灰土台地における開田土壌について長期に亘る灌漑による土壌の性質の変化を研究した.

えた成績を要約すると次の通りである.

1. 火山灰畑土壌の粘土の主要部分は Allophane からなつていますが, 長期に亘つて灌漑を行つた開田土壌の粘土分はその開田年次の古いものほど, Allophane 以外の粘土分 (これは主として 1:1 型粘土鉱物) の占める割合が大きくなつていく. これは灌漑によつて富化された珪酸が粘土鉱物の変移に大きな役割を演じているものとする.

2. 畑土壌に比べて開田土壌は多量の塩基の集積がみられ, かつ, 後者においてはその表層土の磷酸吸収力が顕著に弱まつている.

3. 開田土壌の表層土の腐植の含量は顕著に減少し, しかも, 開田年次の古いもの程著しい.

4. 開田年次の古いものほど水稻び及他の作物の収量が高い.

以上の成績から火山灰土台地の開田は火山灰土壌の諸性質とくに粘土の質的改善をもたらし, その生産力の向上に大きな影響を与えているものと考えられる.

本研究の遂行にあつて種々測定の便宜をあたえていただいた東京大学農学部弘法健三教授及び九州大学農学部青峰重範教授の御好意に対し深謝する.

なお, 本研究に要した費用の一部は昭和31年度文部省科学研究費によつた. 記して感謝の意を表す.

文 献

1. 小林 嵩・尾形 保・吉田保則：九農試彙報, 3(1), 1~30 (1955).
2. 小林 嵩：鹿大農学部学術報告, 6, 1~22 (1957).
3. 小林 嵩・品川昭夫：———, 6, 23~43 (1957).
4. JEFFRIES, C. D. and JACKSON, M. L. : *Soil Sci.*, 68, 57~73 (1949).
5. AOMINE, S. and YOSHINAGA, N. : *Soil Sci.*, 79, 349~358 (1955).
6. 菅野一郎他：九農試彙報, 3, 31~58 (1955).
7. BIRREL, K. S. and FIELDS, M. : *J. Soil Sci.*, 3, 156~166 (1952).
8. FIELDS, M. and SWINDALE, L. D. : *N. Z. J. Sci., Tech., B.* 36, 140~154 (1954).
9. 青峰重範・石井光夫：日土肥講演要旨, 第2集, 16 (1956).

R é s u m é

The authors have undertaken the studies on the properties of paddy soils in upland of volcanic ash soil irrigated for longer periods (30~more than 200 years) in connection with the studies on the improvement of upland field of volcanic ash soil by the intensive irrigation.

The results obtained may be summarized as follows:

1. It was recognized that the considerable amounts of allophane free clay fraction consisting mainly of the 1:1 type clay minerals, such as halloysite, hydrated halloysite, and etc., are contained in paddy soil in upland of volcanic ash soil irrigated for long period of time, whereas the clay fraction of volcanic ash field soil being adjacent to paddy field is chiefly consisted of allophane, and the amounts of allophane free clay fraction in paddy soil increase with an increase of age of making paddy field.

These facts abovementioned are considered as the results which have mainly been brought about by the resilication, that is, the addition of silica by irrigation for longer periods.

2. A large amounts of bases were accumulated in each horizon of paddy field and the phosphate fixation power of topsoil of it was distinguishly weakened in comparison with that of field soil.

3. The contents of humus in paddy soils were remarkably lowered, and these facts are notably recognized in the older rice fields.

4. The yields of rice and other crops in paddy field are increased with the elapse of year after making it in upland of volcanic ash soil.

It is considered from the results obtained that the properties, especially, the qualities of clay mineral of the low productive soil in upland of volcanic ash soil are notably improved by making paddy field, that is, by irrigation practice for longer periods, consequently the productivity of it was remarkably increased.



Fig. 3-1. Electron micrograph of Ca-clay ($<2\mu$) from topsoil of paddy field of volcanic ash soil, sample No. 1



Fig. 3-2. Electron micrograph of a diatom in clay fraction ($<2\mu$) from topsoil of paddy field of volcanic ash soil, sample No. 1

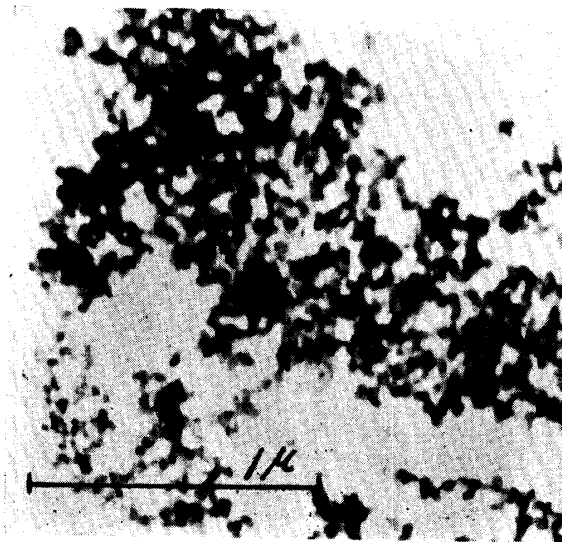


Fig. 3-3. Electron micrograph of Ca-clay ($<2\mu$) from topsoil of upland field, sample No. 7