

灌漑による畑土壌の改良に関する研究

第3報 灌漑による畑土壌の改良機構に関する研究

小林 嵩・品川 昭夫

Studies on the Improvement of the Upland Soils by Means of Irrigation Practice

III. On the Mechanisms of the Improvement of the Upland Field
of Volcanic Ash Soil by Irrigation

Takashi KOBAYASHI and Akio SHINAGAWA
(Laboratory of Soil Science)

I 緒 言

著者らは前報⁽¹⁾⁽²⁾において畑地ことに火山灰土壌よりなる開墾畑地が灌漑によつてその生産力が急速にかつ顕著に熟畑既耕地と同等またはそれ以上に向上することを明かにした。そしてこれは灌漑によつて土壌に集積した灌漑水所含各種の無機成分ことに石灰、苦土、加里及び珪酸等が直接養分として作物に利用されるのみでなく、またこれらが土壌の諸性質の改善に役立ち、間接に作物の生育を良好にし、この両者の総合的結果に基くものであると報告した。筆者らはさらに研究を進め、灌漑による土壌の急速なる生産力の向上に対し、いかなる因子が最も大きい影響を与えているのか、あるいは如何なる機構によつて改良されているかについて分析的解明を行った。

本研究の成績の1部についての概要はすでに報告⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾済みであるが、その後の成果とともにその詳細をとりまとめてここに第3報として報告する。

II 試 験 成 績

I. 土壌の性質に関する試験

1. 粘土の性質に及ぼす灌漑及び珪酸の影響

前報⁽⁴⁾⁽⁶⁾にて報告したように灌漑によつて短期間内に生産力を高めたが、この場合腐植の質的変化は顕著でないにもかかわらず土壌の置換容量が顕著に灌漑によつて高められている。この事実は当然灌漑によつて土壌の植物養分を吸収保持するに大きな役割をもつ吸収母体いいかえると粘土分になんらかの変化を与えているのではないかと考えられる。

わが国の火山灰土壌の粘土鉱物はその大部分が非晶質の Allophane であることはすでに多数の研究者⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾によつて明かにされているが、この土壌の母材である火山噴出物から Allophane が生成される過程及び生成集積した Allophane がさらにいかに変化してゆくかについては未だ解明されていない点が多い。FIELDER⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾らはニュージーランドの火山灰土壌の生成過程を追究検討し、火山ガラスが Si, Al 及び Fe の無定形の含水酸化物 (*amorphous hydrous oxide*) を経て Allophane B となり、さらに Allophane A となり、次に resilication によつて Kaolin 型鉱物へ変化すると述べ、青峰⁽⁹⁾は阿蘇火山灰土壌にて SiO₂ の存在下で Allophane から 1:1 型鉱物への変化を認めている。両氏の研究はいずれも天然状態の土壌より分離した粘土を材料として Allophane

の変化過程を推論したものである。著者らは畑地灌漑という人為的作為によつて灌漑水中に含まれている珪酸が火山灰土壤に多量吸收集積された結果、上述の Allophane から 1:1 型鉱物への変化が起るのではないかと考え、灌漑によつて改良された土壤と 然らざるものの粘土分について以下の研究を行つて比較検討した。

1) 実験材料

第2報における現地試験地(熊本県球磨郡上村神殿原)の土壤で未耕地の黒色火山灰土壤及び同黄褐色火山灰土壤(いもご)並びに試験圃場の無灌漑区及び灌漑区の土壤である。いずれも未風乾のまま 2 mm の篩を通したものをそのまままたはこれに他の処理を行つて試験に供した。処理別供試土壤は第1表の通りである。

第1表 供試土壤
Table 1. Description of soil samples

供試料番号 Sample No.	処 理 別 Treatments
1	黒色火山灰土壤(未耕土) Virgin black volcanic ash soil.
2	同上, 灌漑直後採取土 Irrigated field soil of black volcanic ash soil, sampled immediately after irrigation finished.
3	同上, 無灌漑, 金肥単用区, 二作跡採土 Non irrigated field soil of black volcanic ash soil, sampled after harvest of the 2nd cultivated crop, dressed N-P-K fertilizer for each crop.
4	同上, 灌漑, 金肥単用区, 二作跡採土 Irrigated field soil of black volcanic ash soil, sampled after harvest of the 2nd cultivated crop, dressed N-P-K fertilizer for each crop.
5	同上, 土壤 100gm 当 SiO_2^* 2.88gm 添加土 Virgin black volcanic ash soil treated by addition of SiO_2^* 2.88gm per 100gm of dry soil.
6	黄褐色火山灰土壤(いもご)(未耕土) Virgin yellowish brown volcanic ash soil. (Imogo).
7	同上, 灌漑直後採取土 Irrigated field soil of yellowish brown volcanic ash soil, sampled immediately after irrigation finished.
8	同上(未耕土), 土壤 100gm 当 SiO_2 3.88gm 添加土 Virgin yellowish brown volcanic ash soil treated by addition of SiO_2^* 3.88gm per 100gm of dry soil.

* Added SiO_2 as the silicic acid solution obtained by removal of Na from Na_2SiO_3 solution by ion exchange resins.

ここに用いた SiO_2 は珪酸曹達の稀薄溶液よりイオン交換樹脂によつて Na イオンを除いて調製した珪酸の稀薄溶液である。

珪酸処理は供試土壤に上記の方法によつて調製した珪酸の溶液を相当量加えて反応せしめた後自然風乾にて畑状態の水分含量まで乾かし、未風乾のまま供試した。

以上の供試土から粘土を調製した。その方法は次の通りである。10% H_2O_2 にて有機物を完全に分解除去した土壤を pH 4.0 の HCl の稀薄溶液にて分散せしめ、沈降法によつて 2 μ 以下の部分を採取し、Ca-Clay として沈澱せしめ、蒸溜水, methanol, acetone の順で洗滌したものを風乾し、

50% H₂SO₄ を入れたデシケーター中で湿度を調整して供試した。

2) 実験方法

化学分析は常法により、置換容量は SCHOLLENBERGER の駢安法によつた。示差熱分析、X線分析、脱水曲線及び電子顕微鏡撮影はいずれも常法によつた。

3) 実験結果と考察

上記の試料について行つた化学分析の成績は第2表に、X線廻折の成績は第3表に、示差熱分析の結果は第1図に、脱水曲線は第2図に、電子顕微鏡写真は写真第1にそれぞれ示した。

Table 2. Chemical analysis of clay fraction (<2μ)

No. of treated soil	+H ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂ / Al ₂ O ₃	SiO ₂ / Fe ₂ O ₃	C. E. C. m.e./100gm of clay
1	34.28	20.26	38.91	4.01	0.95	0.24	0.90	0.83	15.5
2	39.95	21.87	30.57	3.76	1.15	0.40	1.22	1.13	18.9
3	33.74	19.12	34.42	6.65	0.72	0.26	0.91	0.84	17.5
4	39.80	23.37	32.04	4.58	1.00	0.39	1.24	1.13	19.6
5	28.48	27.95	35.72	6.40	0.56	0.22	1.33	1.19	21.4
6	18.51	25.51	42.74	8.05	0.82	0.25	1.01	0.91	24.2
7	23.98	26.35	35.68	7.32	1.25	0.30	1.25	1.10	27.5
8	24.40	30.85	36.55	5.40	0.95	0.18	1.43	1.31	32.5

第2表の 2μ 以下の Ca-clay の化学分析の成績によれば、SiO₂ 含量は灌漑によつて黒色火山灰土壌において 20.26% から 21.87% へ、2作跡の土壌では 19.12% が 23.37% と増大し、珪酸添加の土壌では 27.95% の含量を示している。黄褐色火山灰土壌においても無灌漑区の 25.54% が灌漑区では 26.35% となり、珪酸添加の土壌では 30.85% を示している。これに反し、Al₂O₃ は灌漑または珪酸添加によつて減少している。従つて灌漑または珪酸添加した土壌の珪礬分子比は然らざるものに比べて大きくなつてゐる。しかし、処理を異にしたいずれの土壌も珪礬比は1前後を示し、Allophane が主体であることを示している。灌漑による珪礬比の増大をみると、未耕地の黒色火山灰土壌が 0.9、黄褐色火山灰土壌が 1.03 を示し、また単に開墾して金肥を単用して栽培し2作を経過した無灌漑区の土壌の粘土の珪礬比は前記の未耕地のそれと殆んど同値を示している。しかるに、灌漑区土壌の粘土の珪礬比は黒色土で灌漑直後採取したものが 1.22、2作跡のものが 1.24 を示し、黄褐色土で2作経過したものが 1.25 を示している。また珪酸を添加したものが黒色土で 1.33、黄褐色土で 1.43 を示している。かように、灌漑または珪酸の添加によつて土壌は明かに珪礬比を増大している。また、粘土の置換容量は灌漑または珪酸添加によつて増大し、珪礬比の増大に比例して大きくなつてゐる。

以上の成績から灌漑による珪礬比及び置換容量の増大は灌漑によつて添加された灌漑水所含珪酸⁽²⁾によるところが大きいと考える。

第1図の示差熱曲線においては灌漑の有無及び珪酸添加による差は殆んど認められない。すなわち、供試粘土はいずれも 150~200°C の著しい吸熱ピークと 900~1000°C の発熱ピークを示すのみで、いずれも Allophane であることを示している。黒色土の粘土の場合にみられる 300°C 附近及び 500~600°C の僅かな吸熱ピークは混在する微量の Gibbsite 及び 1:1 型鉱物に起因するものと考えられる。

第2図の脱水曲線についてみると、いずれも 120°C 以降においては連続的に脱水し、Allophane の特徴を示すのみで灌漑の有無あるいは珪酸添加の影響は殆んど認められない。

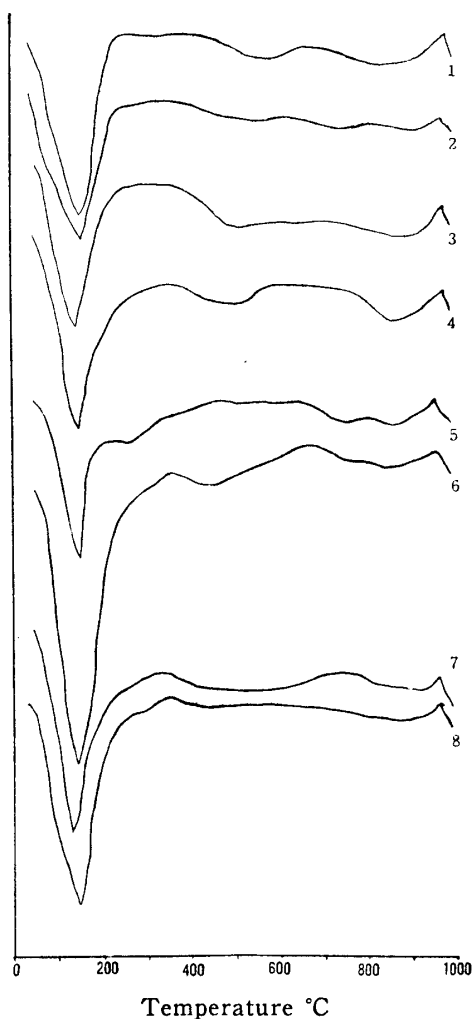


Fig. 1. Differential thermal curves of clay fractions($<2\mu$).

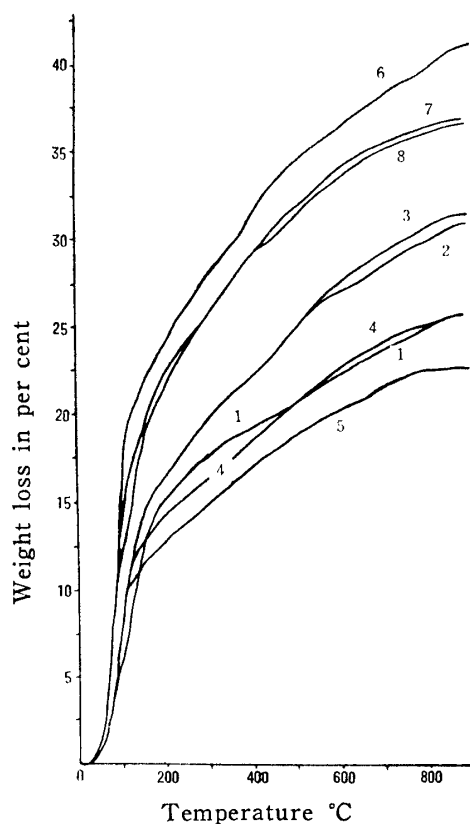


Fig. 2. Dehydration curves of clay fractions($<2\mu$).

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

$d(\text{\AA})$	I	$d(\text{\AA})$	I	$d(\text{\AA})$	I	$d(\text{\AA})$	I	$d(\text{\AA})$	I	$d(\text{\AA})$	I	$d(\text{\AA})$	I	$d(\text{\AA})$	I
(4.51)	2	(4.51)	2	(4.51)	2	(4.51)	2	(4.51)	2	(4.00)	1.5	(4.00)	1	(4.00)	1
(4.08)	2	(4.00)	2	(4.00)	2	(4.00)	2	(4.08)	2	(3.56)	1.5	(3.56)	1	(3.56)	1
3.34	3	3.34	3	3.34	3	3.34	3	3.34	3.5	3.28	0.5	3.28	0.5	3.28	tr
(2.59)	1	(2.59)	1	(2.59)	1	(2.59)	1	(2.59)	1	(2.66)	0.5	(2.66)	0.5	(2.66)	0.5
(2.38)	1	(2.38)	1	(2.38)	1	(2.38)	1	(2.35)	1	(2.38)	0.5	(2.38)	0.5	(2.38)	0.5
2.10	0.5	2.10	0.5	2.10	0.5	2.10	0.5	2.10	0.5	2.10	0.5	2.10	0.5	2.10	0.5
1.85	0.5	1.85	0.5	1.85	0.5	1.85	0.5	1.85	0.5						
1.52	0.5	1.52	1	1.52	1	1.52	1	1.52	0.5						
1.39	0.5	1.39	0.5	1.39	0.5	1.39	0.5	1.39	0.5						
				1.28	0.5	1.28	0.5								

第3表のX線廻折の成績においてはいずれの試料でも3~8本の廻折線が認められるが、これは主として混在するカオリン系の鉱物に起因するものと考えられるが、いずれの線も強度が甚だ弱く、かつ(001)に相当する7.1-7.2Åの線が全く認められない点より考えて混在する1:1型鉱物も

その量は極めて少なく、かつ、結晶度とくに結晶面に垂直方向の結晶度が甚だ不完全であると考えられる。

電子顕微鏡写真(第3図)においても球状糸状を呈するもののみで灌漑による差は認められない。

以上の成績すなわち、熱分析、X線廻折及び電子顕微鏡写真等の結晶鉱物学的方法によつて灌漑による粘土鉱物の変化は殆んど認められないことは灌漑によるこの程度の珪酸の富化や短期間(この場合は灌漑後1カ年経過している)の経過では Allophane の結晶鉱物への変化は殆んど期待することはできないと考えるのが妥当である。

従つて灌漑による 2μ 以下の粘土分の変化は珪礬比と塩基置換容量の増大のみである。Allophane は無定形であり、かつ SiO_2 含量が著しく少ないためにその中の Al は遊離原子価を有しているものと考えられるが、この遊離原子価に灌漑水中の SiO_2 が結合し $=\text{Al}-\text{SiO}_2-\text{H}$ となり、Al の活性を減少せしめ、かつ珪酸の遊離原子価たる H イオンが陽イオン吸着に大きく関係するため灌漑によつて珪礬比が増大すれば置換容量がそれに伴つて大きくなるものと考えられる。

要するに、畑地灌漑に依つて改良された火山灰土壌と然らざるものの粘土について検討した結果、灌漑によつて添加された珪酸は粘土 (2μ 以下) の珪礬比を明かに増大し、かつ塩基置換容量もこれに伴つて増大するが、Allophane の結晶鉱物への変化は認められない。

2. 土壌の等電点に及ぼす灌漑の影響

土壌の等電点の pH 値は MATTSON⁽¹²⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾, 塩入⁽¹⁵⁾, 永田⁽¹⁶⁾らによると珪礬比の小なるに従つて高いことを報告している。そしてこの等電点が堆肥または石灰の施用によつてことに礬土質土壌のそれが低下することについては弘法⁽¹⁷⁾, 今井・野本⁽¹⁸⁾, 野本⁽¹⁹⁾らによつて明かにされている。既にのべたように灌漑によつて土壌の珪礬比が増大していることからこれに関連して土壌の等電点に変化を来しているものと考え筆者らはこの点を明かにするため、処理を異にする土壌について等電点の測定を行つた。

1) 供試土壌

第2報の現地試験地における黒色火山灰土壌の未耕土及び試験圃場における無灌漑区並びに灌漑区の土壌を供試した。処理別供試土壌について記載すれば第4表の通りである。

第4表 供試土壌
Table 4. Description of soil samples

供試土壌 Sample No.	処 理 別 Treatments
1	黒色火山灰土壌(未耕土) Virgin black volcanic ash soil
2	同上, 灌漑直後採取土 Irrigated field soil of black volcanic ash soil, sampled immediately after irrigation practice
3	同上, 無灌漑, 金肥単用区, 二作跡採取土 Nonirrigated field soil of black volcanic ash soil, sampled after harvest of the 2nd cultivated crop, dressed fertilizer N-P-K only
4	同上, 灌漑, 金肥単用区, 二作跡採取土 Irrigated field soil of black volcanic ash soil, sampled after harvest of the 2nd cultivated crop, dressed fertilizer N-P-K only

5	同上, 無灌溉, 金肥, 石灰, 堆肥併用区, 二作跡採取土 Nonirrigated field soil of black volcanic ash soil, sampled after harvest of the 2nd cultivated crop, dressed N-P-K, CaCO ₃ and compost
6	同上, 無灌溉, 金肥単用区, 四作跡採取土 Nonirrigated field soil of black volcanic ash soil, sampled after harvest of the 4th cultivated crop, dressed fertilizer N-P-K only
7	同上, 灌溉, 金肥単用区, 四作跡採取土 Irrigated field soil of black volcanic ash soil, sampled after harvest of the 4th cultivated crop, dressed fertilizer N-P-K only
8	同上, 無灌溉, 金肥, 石灰, 堆肥併用区, 四作跡採取土 Nonirrigated field soil of black volcanic ash soil, sampled after harvest of the 4th cultivated crop, dressed N-P-K, CaCO ₃ and compost
9	同上, 灌溉, 金肥単用, 四作跡再灌溉直後採取土 Irrigated field soil of black volcanic ash soil, sampled immediately after once again irrigation followed the harvest of the 4th cultivated crop, dressed fertilizer N-P-K only

2) 実験方法

UMETSU⁽²⁰⁾の電気浸透法を利用した弘法⁽¹⁷⁾, 今井⁽¹⁸⁾らの方法に準じ, 湿润土 5 g/ml 溶液 100 cc を用いて測定した

3) 実験結果

実験結果は第5表に示す通りである。第5表によると, 供試した黒色土の未耕土の等電点の pH は 3.9~4.2 であるが灌溉によつて改良した直後の土壌の等電点の pH は 3.4~3.6 に低下した。しかし, 無灌溉で金肥のみを施して2回作付した跡の土壌の等電点の pH は 3.9~4.2 を示し未耕土と殆んど変りはないが, 灌溉して金

Table 5. Changes of isoelectric point of soil by irrigation

Sample No.	Isoelectric point pH
1	3.9~4.3
2	3.4~3.6
3	3.9~4.2
4	3.0~3.5
5	3.3~3.6
6	3.7~4.0
7	2.9~3.2
8	3.0~3.2
9	2.5~2.8

肥単用で2回作付した跡の土壌は 3.0~3.5 に低下している。また, 無灌溉で金肥を単用して4回作付した跡の土壌の等電点の pH は 3.7~4.0 で未耕土のそれと大差はない。しかし, 灌溉して金肥単用で4作跡の土壌は 2.9~3.2 の等電点を示した。また, 灌溉によつて改良し金肥単用で4作栽培した跡に再び灌溉した跡の土壌の等電点はさらに低下して 2.5~2.8 を示した。三要素に石灰及び堆肥を併用した場合の無灌溉で2作跡の土壌の等電点の pH は 3.3~3.6, 同じく4作跡の土壌が 3.0~3.2 を示した。すなわち, 石灰や堆肥の施用によつて等電点は明かに低下している。堆肥, 石灰施用区の等電点の低下は弘法, 今井らが述べているように腐植構造の変化による土壌の熟化現象を示すものであると考えられるが, 灌溉による等電点の低下は灌溉によつて多量に吸収せられた珪酸の acidoid としての作用に起因するものとする。

3. 土壌の水中沈定容積に及ぼす灌溉の影響

土壌の水中における行動は土壌の膠質の組成及び性質などによつて相違することは青峰⁽²¹⁾, 柏木⁽²²⁾らに依つて明かにされている。

柏木は有機物に頼るとむ火山灰土壌よりなる未耕土の表層土は開墾年次を経過し熟畑化するに従つて水中沈定容積を増大することを認め, これは表層土が腐朽物質などの未熟な腐植が多量に存在し, ジェリー状を呈しているために沈定容積は小さいとし, 開墾年次が進むに従つて腐朽物質は真正腐植酸に変化し, 粘土と複合体を形成してその解膠を促し, 分散度を増大するため沈定容積が大とな

るものだろうと説明している。

筆者らは腐植に類るとみ塩基に欠乏した強酸性の火山灰土壌について灌漑に依つて熟畑土壌の性格を帯びた土壌について水中沈定容積並びに水中濁濁の状況を調査した。

供試土壌は前項等電点測定に供したものである(第4表参照)。

水中沈定容積の測定は乾土 5 gm 相当の湿潤土を 30 cc の目盛を有する比色管にとり、蒸留水 25 cc を加えて 10 分間よく振盪した後、直立静置し、48 時間後沈定容積を読み、かつ、8、24 及び 50 時間をそれぞれ経過した直後の上液の濁濁度を観察した。その成績は第6表の通りである。

Table 6. Changes of the settling volume of soil in water by irrigation
cc/lgm of dry soil

Sample No.	Settling volume cc.	Turbidity of upper liquid		
		After 8hrs.	After 24hrs.	After 50hrs.
1	2.66	—		
2	3.12	++++	+++	++
3	2.64	—		
4	2.85	+++	++	++
5	2.66	+++	+	+
6	2.64	—		
7	2.68	+++++	+++	++
8	2.86	+++++	++	++
9	2.80	+++++	+++++	+++++

第6表の成績によると、水中沈定容積は2.6~3.1を示し有機物の少ない土壌のそれに比べて著しく高い値を示している。そして灌漑区の土壌の沈定容積は無灌漑区のそれに比べて高い値を示しているが無灌漑区でも石灰及び堆肥を併用した区の土壌の沈定容積は金肥単用区のそれより顕著に高い値を示している。また、無灌漑区の土壌は水にて振盪した直後土壌は完全に沈降して上液は透明となつたが、灌漑区及び無灌漑区の石灰堆肥併用区の土壌は無灌漑の未耕土及び同じ金肥単用区の土壌に比べると上液の濁濁が強く50時間経過してもなお濁濁状態を保つた。

以上、土壌の等電点及び水中沈定容積の測定結果から考えると、灌漑直後及び2カ年位の時日の経過では腐植の量及び質的变化は既報⁽²⁾のように顕著でないことから、上述の灌漑区における土壌コロイドの性質の変化は吸収された珪酸に起因するものと考えられる。すなわち、遊離原子価を有し、かつ、火山灰土の高い等電点の原因となる Al と SiO₂ とが結合し、等電点の低下をきたさしめ、腐植、粘土などの結合剤としての Al の作用を弱めるために水で振盪する際分散性を増し上液の濁濁化を起したものと考えられる。

この事実は Allitic の性質の強い火山灰土壌が灌漑によつて富化された活性の珪酸の作用によつて所謂熟化または Sialitic の性質への移行に要する年月を著しく短縮しうることを物語る1つの事例と考えられる。

4. 土壌の塩基置換容量に及ぼす石灰、苦土及び珪酸の影響

前報⁽¹⁾⁽²⁾において報告したように灌漑によつて土壌の置換容量が増大することを認めたが、これらはいかなる因子によつて惹起されるかを明かにするため、灌漑によつて多量添加される塩基ことに石灰及び苦土並びに珪酸についてこれらが土壌の置換容量に対する影響を検討した。

1) 供試土壌 供試土壌は前項記載の現地灌漑試験地所在地の黒色火山灰土壌と黄褐色火山灰土

重 壤(いもご)でいずれも未耕土である。その一般性状については第2報⁽²⁾に記載した。この両土壤に石灰を炭酸石灰で、苦土は硫酸苦土で珪酸はさきに述べたように珪酸曹達水溶液よりイオン交換樹脂によつて Na イオンを除去してえた珪酸溶液を添加した。いずれも溶液として第7表に示す量を供試土壤に加え自然状態で畑状態の水分含量まで乾燥した後 2 mm の篩を通して湿潤のまま供試した。珪酸と石灰を添加した場合は、まず珪酸溶液を添加して畑状態まで乾燥したのち、さらに石灰溶液を加えて再び自然状態で畑状態まで乾かし後 2 mm の篩を通して供試した。

2) 実験方法 塩基置換容量の測定は SCHOLLENBERGER の醋安法によつた。

3) 実験結果 実験の成績は第7表の通りである。第7表によると、土壤の塩基置換容量に対す

Table 7. Change of cation exchange capacity of soil by the addition of CaO, MgO and SiO₂

Soil	No.	Soil treatments	pH (H ₂ O) after treatment of soil	Cation exchange capacity m.e./100gm
Black volcanic ash soil	1	CaO* added 150 mg/100gm	5.45	52.0
	2	SiO ₂ * // 1.5gm/100gm	5.00	55.5
	3	SiO ₂ // 3.0gm/100gm	4.60	56.9
	4	CaO, 150mg, SiO ₂ 1.5gm/100gm added	5.50	57.2
	5	Irrigated field soil	6.45	60.1
	6	MgO* added 100mg/100gm	5.30	53.3
	7	None	5.20	54.6
Yellow brown volcanic ash soil	1	CaO added 150 mg/100gm	6.50	5.2
	2	SiO ₂ // 2.0gm/100gm	6.20	11.8
	3	SiO ₂ // 4.0gm/100gm	5.75	12.2
	4	CaO 150mg, SiO ₂ 2.0gm/100gm added	6.90	11.3
	5	Irrigated field soil	6.85	9.6
	6	MgO added 100mg/100gm	6.75	7.4
	7	None	6.30	7.1

* Added CaO as Ca(HCO₃)₂ solution, SiO₂ as the silicic acid solution obtained by removal of Na from Na₂SiO₃ dilute solution by means of ion exchange resins, and MgO as MgSO₄·7H₂O solution.

る影響は珪酸が最も大きく、ことに黄褐色火山灰土壤において顕著である。このことは第2報で報告したように黄褐色火山灰土壤による灌漑水中の珪酸の吸収が黒色火山灰土壤のそれに比べて極めて大きいことと対比して意義深きことに考えられる。また、さきに報告したように灌漑によつて土壤の腐植の量及び質的变化が短時日の内では顕著でないのかかわらず置換容量が顕著に増大していることは添加された珪酸の影響が大きいことを示すものである。置換容量に対する石灰及び苦土の影響は顕著でなく、石灰はむしろそれを減少せしめる傾向がみられるが、珪酸と石灰を共に添加した場合は顕著に置換容量を増大せしめた。この成績から灌漑による土壤の置換容量の増大は灌漑水中の珪酸と石灰の共同作用によるところが大きいと考える。

5. 土壤の磷酸吸収力, 固定磷酸の溶出並びに土壤磷酸の有効化

に及ぼす石灰, 苦土及び珪酸の影響

前報⁽¹⁾⁽²⁾において灌漑が土壤の磷酸吸収力を低下することを知つたが、この原因は灌漑によつて添加した塩基類及び珪酸などの働きであると考えられるので、ここでは石灰, 苦土及び珪酸を土壤に

添加してその影響を検討した。

1) 供試土壌

供試土壌は前項記載の要領によつて処理した土壌を供試料とした。

2) 実験方法

土壌による磷酸吸収力は $\frac{1}{50}$ mol H₃PO₄ 溶液を用い、供試土 (生土 2.5 gm) に水 25 cc と磷酸液 25 cc を加え、時々振盪して1夜放置した後常法に従つて定量し乾土 100 gm 当りの mg 数で示した。

土壌磷酸の溶出量は供試土について LOHSE and RUHNKE⁽²³⁾ の易溶性磷酸の溶出法を用い、これを Diniges の比色法によつて磷酸を定量した。

土壌の固定磷酸の溶出量の測定は土壌の磷酸吸収力検定の際磷酸を吸収した土壌を硝子濾過器に移し、まず吸引して残存する磷酸溶液を除き、そのうち、80% の methanol にて磷酸の反応のなくなるまで洗滌した。かくしたえた土壌を風乾して後、さきの LOHSE and RUHNKE の易溶性磷酸溶出法によつて溶出する磷酸を比色定量し、固定した磷酸との比率を求めた。

Table 8. Changes of phosphoric acid absorption, solubility of fixed phosphoric acid and availability of phosphate of soil by addition of CaO, MgO and SiO₂

Soil	No.	Treatments	Absorption power of P ₂ O ₅		Solubility of fixed P ₂ O ₅ %	Available P ₂ O ₅ of soil p.p.m.
			pH after reaction	mg/100gm of dry soil		
Black volcanic ash soil	1	CaO added 150 mg/100gm	3.00	3691	43.3	6.8
	2	SiO ₂ // 1.5gm/100gm	2.80	3833	44.0	7.9
	3	// // 3.0gm/100gm	2.70	3783	45.5	8.5
	4	CaO 150mg, SiO ₂ 1.5gm/100gm	3.05	3281	42.6	12.7
	5	Irrigated field soil	3.70	2537	43.1	10.1
	6	MgO added 100 mg/100gm	2.75	3250	40.5	6.3
	7	None	2.90	3879	37.6	6.1
Yellow brown volcanic ash soil	1	CaO added 150 mg/100gm	2.90	3114	42.1	9.1
	2	SiO ₂ // 2.0gm/100gm	2.80	3855	51.5	9.2
	3	// // 4.0gm/100gm	2.70	3662	59.4	14.2
	4	CaO 150mg SiO ₂ 2 gm/100gm	2.85	2765	45.1	10.2
	5	Irrigated field soil	3.15	2932	43.3	11.3
	6	MgO added 100 mg/100gm	2.85	3490	42.1	8.6
	7	None	2.90	4180	34.0	8.0

えた成績は第8表の通りである。第8表の成績によると、磷酸吸収力に対してはいずれの成分もそれを減少せしめる傾向がみられるが石灰と珪酸を同時に添加したものは黒色土及び黄褐色土のいずれも極めて顕著に減少した。

土壌によつて固定された磷酸の有効化に対してもいずれの成分も顕著に増大したがその中で特に珪酸が大きく、特に黄褐色土において著しい。

土壌固有の磷酸塩の有効化に対する各成分の影響は石灰及び苦土の効果は少なく、珪酸及び珪酸と石灰を同時に添加した場合に顕著である。

珪酸が土壌磷酸の溶解度または有効化に関係あることは ARRHENIUS⁽²⁴⁾ 及び FISHER⁽²⁵⁾ 並びに HALL⁽²⁶⁾ らの多くの人々によつて報告されているが、本研究においても筆者らは珪酸が土壌磷酸の

有効化を増し、施した磷酸分の固定量を減少するに役立つことを認めた。

以上の成績から灌漑によつて土壤に添加される石灰及び珪酸が土壤の磷酸塩の有効化を助け、施用磷酸の固定を減少せしめてその肥効を増進するに役立つことがうかがえる。

6. 土壤の磷酸吸収型式に及ぼす灌漑並びに珪酸添加の影響

灌漑または珪酸の添加によつて土壤の珪酸比が増大し、土壤コロイドの等電点が低下する傾向がみられることはすでに前に報告したが、これに関連して土壤の磷酸吸収型式が灌漑並びに珪酸添加の処理によつていかように影響されるかについて検討した。

1) 供試土壤

供試土壤としてさきに記載した黒色火山灰土壤と黄褐色火山灰土壤の両種を供試した。灌漑した土壤は第2報⁽²⁾で報告した熊本県球磨郡上村神殿原における現地灌漑試験において灌漑に依つて改良された試験区の土壤であり、無処理の土壤は同地の未耕地土壤である。また、珪酸添加の土壤は前記未耕地にすでに記載した方法によつてえた珪酸溶液を黒色土で乾土 100 gm につき SiO_2 として 3 gm、黄褐色土においては乾土 100 gm につき SiO_2 として 4 gm の各々に相当する量を添加して処理したものである。

2) 実験方法

土壤の磷酸吸収の測定は塩入⁽¹⁵⁾の方法に準じた。供試土壤の生土を 2.5 gm に 1/50 mol H_3PO_4

Table 9. Adsorption power of phosphoric acid in various pH value of medium of soil treated by addition of SiO_2 or irrigation practice

Soil	Treatments					
	None		SiO_2 added		Irrigated	
	pH of filtrate after reaction	Adsorbed P_2O_5 mg/100gm of dry soil	pH of filtrate after reaction	Adsorbed P_2O_5 mg/100gm of dry soil	pH of filtrate after reaction	Adsorbed P_2O_5 mg/100gm of dry soil
Black volcanic ash soil	2.90	3879	2.70	3783	3.50	3266
	4.10	3070	3.40	2460	3.95	2090
	5.38	1830	4.30	2100	5.32	1200
	6.25	1198	4.80	1160	5.75	1019
	6.75	1100	6.25	925	6.18	900
	7.30	1090	7.30	925	6.82	1105
	8.60	1070	9.60	960	7.40	1210
	9.50	1070	10.05	1180	9.35	1209
	10.00	860	10.35	1294	10.03	1672
Yellow brown volcanic ash soil	2.90	4180	2.70	3662	3.15	2932
	4.10	2947	3.30	3042	3.50	2656
	5.65	2397	3.71	2537	5.92	1696
	6.35	1893	5.50	1849	6.32	1608
	6.65	1590	6.80	1544	7.70	850
	7.20	1423	7.30	1300	9.20	947
	7.80	1230	7.80	1022	10.60	947
	9.85	900	10.30	1022	11.30	1187
	10.70	870	11.00	1471	—	—
	11.15	620	11.25	1538	—	—

に水及び N/10 NaOH を加えて pH を調整した液を 50 cc 加え時々振盪し 1 夜放置した後溶液の 磷酸を定量した。反応後の pH 値は濾液について硝子電極で測定した。

3) 実験結果

実験の結果は第 9 表及び第 4 図並びに第 5 図の通りである。

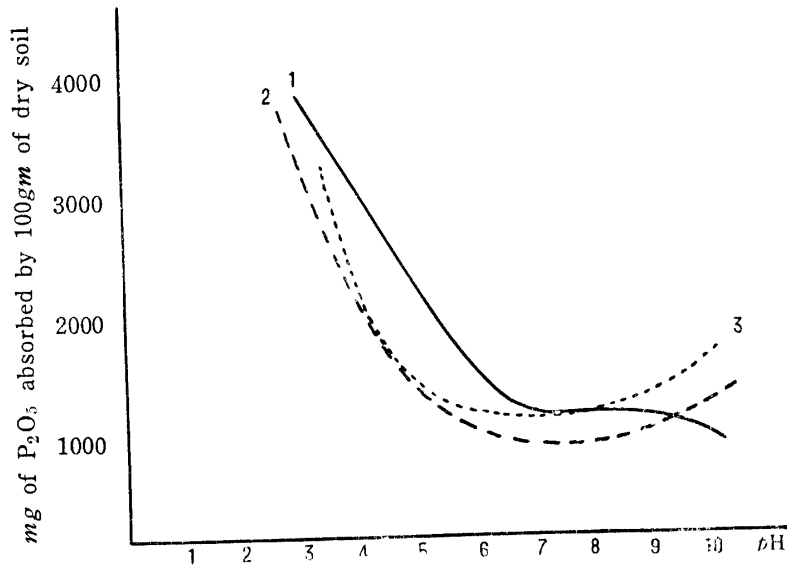


Fig. 4. Absorption type of phosphoric acid by soil.
(black volcanic ash soil)
1 ... Nontreated virgin soil
2 ... SiO₂ added soil
3 ... Irrigated field soil

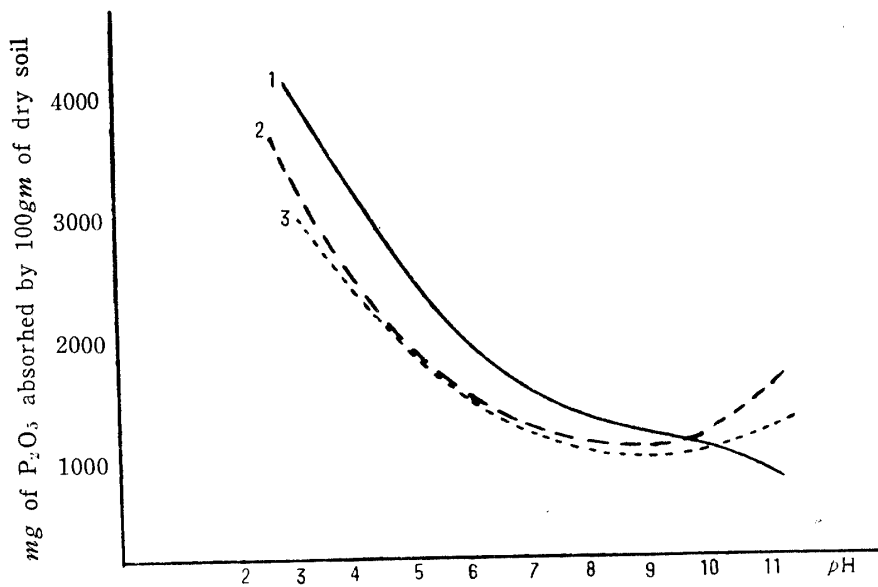


Fig. 5. Absorption type of phosphoric acid by soil.
(yellowish brown volcanic ash soil)
1 ... Nontreated virgin soil
2 ... SiO₂ added soil
3 ... Irrigated field soil

第9表及び第4, 5図によると,

(1) 磷酸吸収力は処理の如何にかかわらずいずれも酸性側では pH が小なるに従つて強くなつている。

(2) 灌漑によつて改良された土壤は黒色火山灰土壤で pH 6 附近から, 黄褐色火山灰土壤 (いもご) においては pH 7.7 附近から再びその吸収力を増している。

(3) 珪酸を添加処理した土壤においては黒色土において pH 7 前後から, 黄褐色土において pH 8 前後から再び吸収力を増している。

(4) 無処理土壤はいずれも塩基性が大きくなるに従つて磷酸吸収力を減少している。

(5) 灌漑跡土壤及び珪酸処理土壤とも反応酸性側において各反応における磷酸吸収力は無処理土壤に比べて極めて顕著に小さい。

以上の成績を塩入⁽¹⁵⁾の土壤の磷酸吸収型式と照合してみると, 無処理土壤は黒色土並びに黄褐色土とも第4型を, 灌漑跡土壤並びに珪酸処理土壤とも第3型式を示しているものと考えられる。すなわち, 磷酸吸収型式第4を示すこれらの礬土質土壤が灌漑または珪酸添加などの処理を行つた結果, いずれも磷酸吸収型式第3を示す珪酸質土壤の性格を示すようになった。なお, 塩入⁽¹⁵⁾は第3型と第4型との主なる相違は酸性側において磷酸吸収が急激に変移する点 (吸収型式図のⅡに相当する点) の pH 値が前者においては後者のそれより低い点にあることを述べているが本実験の結果においても灌漑跡土壤及び珪酸処理土壤の両土壤とも無処理土壤の場合のそれに比して低く, ことに黒色土においてそれが顕著にみられる。

以上を要約するに, 灌漑によつて土壤は磷酸吸収力を弱め, かつ磷酸吸収型式は礬土質型から珪酸質型へ移行する傾向が認められる。そしてこれには灌漑によつて土壤に富化される珪酸が大いに関与しているものと考えられる。

7. 土壤の色素吸収に及ぼす灌漑及び珪酸処理の影響

関⁽²⁷⁾は著しく塩基に欠乏し, しかも殆んど酸性反応を呈しない火山灰土壤の大多数が明度 (鮮紅) 以上に酸性色素 (酸性フクシン) に染り, 中度 (緑色) 以下に塩基性色素 (メチレンブルー) に染色することを明かにし, これによつて, この種の土壤の識別を行つた。本研究に供している黄褐色火山灰土壤はこの種の土壤に属するものであるが, ここにこの黄褐色土について前記の色素に対する染色反応を検し, 灌漑及び珪酸処理の影響をみた。

1) 実験方法

珪酸処理の方法は前に記した要領によつた。

染色方法は関⁽²⁷⁾の方法に従つた。すなわち, 風乾土 2.5 gm を小形の平底磁製皿にとり, メチレンブルーまたは酸性フクシンの濃水溶液を過剰加えた。酸性フクシンの場合は少許の醋酸を添加した。湯盞鍋上で暫時温め約1時間放置したのち, 水を加えて攪拌し数回傾瀉法に依つて洗滌した後, 濾紙上に移し濾液が無色となるまで水洗し, 後 100°C で乾燥したものを小形試験管に入れて染色度を観察した。

2) 実験結果

えた結果は第10表に示す通りである。

第10表によると, 酸性色素に対する染色度は無処理の原土が明鮮紅色に染色するのに対して, 灌漑跡土壤及び原土を珪酸で処理した土壤もいずれもにぶい黄橙色乃至淡赤色に染色した。これに対して塩基性色素の場合は無処理の原土をにぶい黄緑色に染色し, 灌漑または珪酸処理土壤を青緑色または青色に染色した。

Table 10. Influence of irrigation or SiO₂ on the degree of dyeing of soil by pigments

Soil treatments	Acid Fucsin	Methyleneblue
None	明 鮮 紅 色 Light red	に ぶ い 黄 緑 色 Dull yellowish green
Irrigated	に ぶ い 黄 橙 色 Dull yellowish orange	青 緑 色 Blue green
Added SiO ₂ 2gm/100gm of soil	淡 赤 色 Pale red	灰 青 色 Gray blue
// SiO ₂ 4gm/ //	に ぶ い 黄 橙 色 Dull yellowish orange	明 青 色 Light blue

原土の色は淡黄褐色, Color of original soil is pale yellowish brown.

すなわち,以上の成績は黄褐色火山灰土壌(いもご)の礬土質土壌が灌漑または珪酸処理によつて軽微ながら珪酸質土壌の性質を帯びるようになったことを示すものと考える。

8. 土壌の究極 pH に対する灌漑及び珪酸処理の影響

MATTSON⁽¹²⁾らは土壌の SiO₂/Al₂O₃ 分子比が大きいほど,究極 pH は低いといつているが,本研究において既に述べたように礬土性の強い火山灰土壌が灌漑によつて珪礬比を大きくし,その他の土壌の性質も軽微ながら珪酸質土壌の性格を帯びるようになったが,ここには灌漑または珪酸処理によつて土壌の究極 pH がどのように変化するかを検討した。

1) 供 試 土 壌

供試した土壌は黒色火山灰土壌の未耕土,これを灌漑に依つて改良した土壌並びに未耕土に珪酸を添加処理したものをを用い,黄褐色火山灰土壌ではその未耕土並びにこれを珪酸添加に依つて処理した土壌を供試した。珪酸処理の要領は前に述べたものに準ず。

2) 実 験 方 法

パワリの電気透析器を使用し,陰陽両イオンを除いた土壌について硝子電極を用いてその懸濁液の pH を測定した。

3) 実 験 結 果

その結果は第 11 表の通りである。

Table 11. Ultimate pH values of soils treated by irrigation or SiO₂ addition

Treatments	Ultimate pH of soil	Original pH of soil
Virgin yellow brown volcanic ash soil, none treatment	6.4	6.0
// + SiO ₂ 4gm	4.9	5.4
Virgin black volcanic ash soil, none treatment	5.2	4.9
// + SiO ₂ 3gm	4.8	4.8
// irrigated field soil	4.7	6.1

第 11 表によると,無処理の原土の場合には黒色並びに黄褐色のいずれの土壌も究極 pH を高めたが,同土壌を灌漑または珪酸添加の処理を行つた土壌の究極 pH は無処理の土壌に比べて低い値を示している。すなわち,以上の究極 pH の変化から灌漑並びに珪酸添加の処理がこの種礬土質土壌の性質を珪酸質土壌のそれへ軽微ながら移行するに役立つことを示している。

この成績から灌漑による土壌の究極 pH の低下は恐らく灌漑によつて富化された珪酸による粘土分の質的变化に起因するものと考えられる。

II 栽培試験

生産力の低い不良火山灰土壌が灌漑によつて急速にかつ顯著に生産力を高める原因が灌漑によつて添加された無機成分によつて土壌の性質が本質的に改善されたことと、これらの無機成分が作物の養分として直接役立つためであると述べ、前者に関してはすでに前章において略々解明することができたが、ここには後者について作物の栽培試験によつて灌漑によつて添加された無機成分ことに石灰、苦土及び珪酸についてその効果を試験した。

以下試験結果の詳細を述べる。

1) 供試土壌

本試験に供した土壌は第2報において報告した現地灌漑試験地熊本県球磨郡上村神殿原の原野未耕地の土壌で上層の黒色火山灰土壌とその直下の黄褐色火山灰土壌（俗称いもご）の2種である。この土壌の性質については第2報に報告したが、ここには本試験に必要なものを示すと第12表の通りである。すなわち、黒色火山灰土壌は強酸性で塩基に欠乏し腐植に頗るとむが、後者は反応は微酸

Table 12. Some chemical properties of soil used in pot culture experiments

Soil	pH (H ₂ O)	Exchange acidity y ₁	Exchangeable base (m.e./100gm)		Humus %	Cation exchange capacity (m.e./100gm)
			Ca	Mg		
Black volcanic ash soil	4.7	11.0	0.59	0.35	29.7	54.6
Yellowish brown volcanic ash soil	6.4	1.1	0.62	0.20	2.7	7.1

性であるが塩基及び腐植に頗る欠乏しているガラス質の火山灰土壌である。供試土壌は1作毎に更新した。

2) 試験の方法

本試験は5万分ノ1反のワグネル陶製植木鉢を用い、1ポット当り黒色土3kg、黄褐色土2.5kgを填充した。

1) 肥料及び添加物料 共通肥料として窒素（硫安）0.5gm（追肥共）、P₂O₅（磷酸—石灰）0.5gm、K₂O（硫酸加里）0.5gmを施した。

石灰は沈降炭酸石灰を、苦土は硫酸苦土を以つて施した。その用量は稈麦に対しては黒色土にCa 15 m.e., Mg 5 m.e. 相当量を、黄褐色土にCa 7.5 m.e., Mg 2.5 m.e. 相当量を施し、陸稻及び小麦に対しては黒色土にCa 10 m.e., Mg 3 m.e. 相当量を、黄褐色土にCa 6 m.e., Mg 2 m.e. 相当量を施した。この数量は乾土100gm当りのものである。

珪酸は珪酸曹達の約5%溶液を作り、これをイオン交換樹脂によつてNaイオンを除くことによつてえた珪酸溶液（SiO₂約2%液）を溶液のままポット当り黒色土でSiO₂として5.0gm、黄褐色土で10gmに相当する量を施し、そのまま放置して畑状態の水分含量に至らしめたのち、他の試験区のポットと同様の処理を行つた。

1) 管理 植木鉢は雨天以外は網室内に置いた。栽培期間の灌漑は主として雨水を用い井水または水道水の使用は行わなかつた。雨水不足の場合は蒸溜水を用い、灌漑水からの無機成分の添加を防いだ。

3) 成績

1) 生育経過の概要

(1) 麦類の場合. 生育初期において小麦及び稗麦とも石灰単用区では苦土欠の症状を顕著に現わして生育も頗る劣つた. しかし, これに苦土を併用した区の生育は苦土欠の徴候を示さず葉色は濃緑色を呈し生育頗る良好である. さらに珪酸を添加した区すなわち, 石灰, 苦土, 珪酸併用区の生育は一層良好で草丈, 莖数とも石灰・苦土併用区に優つた (写真第2参照).

生育後期においては石灰単用区の作物は生育頗る遅延し, 出穂登熟ともおくれ, 結実不十分であつた. 反之, 石灰苦土併用区は正常の生育をなした. さらに石灰苦土珪酸併用区の生育は正常で草丈及び莖数は石灰苦土併用区に勝り, 出穂, 登熟も順調で稔実良好であつた (写真第3参照).

(2) 陸稲の場合. 陸稲の生育は殆んど麦類のそれと同じ傾向である. 石灰単用区, 石灰苦土併用区, 石灰苦土珪酸併用区の順に草丈及び莖数が大きく, また, この順に登熟, 稔実が良好である. ただし, 陸稲の苦土欠の徴候は麦類の場合のように顕著でないが明かにその徴候がみられた.

2) 収量調査

麦類及び陸稲の収量を調査して第13及び14表の成績をえた.

第13, 14表によると, 麦類の場合石灰のみを施した区の収量は顕著に低く, これに苦土を併用すると効果頗る顕著で稈及び子実とも石灰単用区に比べて飛躍的に増収した. 石灰及び苦土にさらに

Table 13. Yields of wheat and naked barley in pot experiments (gm/pot)

Crop	Period of harvest	Plot	Yellowish brown volcanic ash soil (so-called "Imogo")			Black volcanic ash soil		
			Straw	Grain	pH (H ₂ O)	Straw	Grain	pH (H ₂ O)
Wheat	May, 1955	N-P-K	0	0	6.0	0	0	4.0
		N-P-K-Ca*	16.6	7.6	6.3	0	0	5.5
		N-P-K-Ca-Mg**	23.0	14.2	6.0	17.6	13.1	5.6
		N-P-K-Ca-Mg-SiO ₂ ***	26.4	18.0	5.9	18.7	15.4	5.4
Naked barley	May, 1956	N-P-K	0	0	6.0	0	0	4.2
		N-P-K-Ca	23.7	3.5	6.4	11.2	0.5	6.1
		N-P-K Ca-Mg	29.7	13.3	6.6	19.1	12.4	6.0
		N-P-K-Ca-Mg-SiO ₂	38.6	16.7	6.7	27.9	14.8	5.8
	May, 1957	N-P-K	—	—	—	—	—	—
		N-P-K-Ca	21.0	0.9	6.2	16.7	0	5.4
		N-P-K-Ca-Mg	32.7	18.9	6.2	35.2	21.3	5.4
		N-P-K-Ca-Mg-SiO ₂	37.4	19.4	5.8	41.2	24.0	5.5

* Ca...CaCO₃, ** Mg...MgSO₄,
 *** Added the silicic acid solution obtained by the same method as described in Table 7.

Table 14. Yield of upland rice in pot experiment (gm/pot)

Crop	Plot	Black volcanic ash soil					
		May, 1955*			May, 1956*		
		Grain	Straw	PH (H ₂ O)	Grain	Straw	PH (H ₂ O)
Upland rice	N-P-K	10.1	17.8	4.0	—	—	—
	N-P-K-Ca	12.4	26.3	5.7	19.5	27.6	5.5
	N-P-K-Ca-Mg	21.0	31.3	5.5	21.1	29.4	5.4
	N-P-K-Ca-Mg-SiO ₂	24.8	32.9	5.7	23.5	30.8	5.3

* Period of harvest of crop.

珪酸を併用した区はさらに稈及び子実の収量を増加した。すなわち、珪酸の効果は顕著に 麦類の増収に効果があることを認めたが、供試土のように苦土に欠乏しているものにおいては石灰及び珪酸のみを併用しても作物の生育は顕著に劣り、この場合苦土が絶体に必要であることを示している。

要するに、珪酸の効果は石灰及び苦土が充分補給されている場合に顕著な効果を示す。特に珪酸は生育の初期には生育を促進し、草丈、莖数を大きくし、生育の後期では出穂を早め、登熟を促し、また稔実を良好にするのが認められた。

陸稲の場合も麦類の場合と同じ傾向にある。

以上の作物の生育経過は現地における栽培試験において灌漑によつて改良された試験区と石灰を以つて改良された試験区とにおける作物の生育状態と似た傾向がみられる。すなわち、灌漑によつて改良された試験区の作物の生育はポット試験における石灰苦土珪酸併用区における作物の生育ことにその生育初期においては葉色が濃緑で、分蘖、草丈ともに大であり、後期においては出穂登熟を早め、稔実良好である。これに反し、石灰によつて改良された試験区の生育はポット試験における石灰単用区のそれに似ている。

以上のことから、現地試験における灌漑区の作物の生育の良好なる原因には灌漑によつて補給された苦土及び珪酸が大いに関与し貢献しているものと考えられる。

3) 収穫物の分析成績

ポット試験の収穫物について無機成分を定量して第 15, 第 16 表の成績をえた。

第 15 及び 16 表によると、

苦土の補給によつて作物とくに藁稈の苦土含量を増加し、吸収量を顕著に増大した。

珪酸の施用は作物体中の珪酸の濃度及び吸収量を増大した。

苦土及び珪酸の補給により作物体の磷酸の濃度(%)はむしろ低下の傾向にあるが、ポット当りの作物の吸収量は増加の傾向にある。これは稈麦において顕著である。

以上の栽培試験の成績から、灌漑によるこの種の不良土壌よりなる畑地の顕著なる生産力の増進

Table 15. Contents of mineral constituents of naked barley plant in the harvest period
(On an oven dry basis)

	Elements	Yellowish brown volcanic ash soil			Black volcanic ash soil		
		N-P-K-Ca	N-P-K-Ca-Mg	N-P-K-Ca-Mg-Si	N-P-K-Ca	N-P-K-Ca-Mg	N-P-K-Ca-Mg-Si
Straw (%)	SiO ₂	1.78	1.82	2.32	1.50	0.95	1.93
	P ₂ O ₅	0.22	0.23	0.13	0.45	0.03	0.06
	CaO	1.02	0.87	0.84	2.02	0.68	0.41
	MgO	0.35	0.40	0.55	0.33	0.43	0.62
Grain (%)	SiO ₂	0.07	0.09	0.13	0.16	0.07	0.19
	P ₂ O ₅	0.86	1.00	0.96	0.87	0.80	0.82
	CaO	0.10	0.08	0.10	0.19	0.04	0.04
	MgO	0.24	0.51	0.50	0.97	0.22	0.34
Amounts of each element absorbed by plant per pot (mg)	SiO ₂	424	558	917	167	190	567
	P ₂ O ₅	83	201	212	55	105	138
	CaO	245	269	341	24	135	127
	MgO	81	187	296	42	109	223

Table 16. Contents of mineral constituents of upland rice in the harvest period
(On an oven dry basis)

	Elements	Black volcanic ash soil		
		N-P-K-Ca	N-P-K-Ca-Mg	N-P-K-Ca-Mg-Si
Straw (%)	SiO ₂	2.04	2.02	3.90
	P ₂ O ₅	0.05	0.05	0.04
	CaO	1.04	0.79	0.65
	MgO	0.55	0.94	0.95
Grain (%)	SiO ₂	0.55	0.42	0.93
	P ₂ O ₅	0.36	0.36	0.30
	CaO	0.06	0.09	0.05
	MgO	0.23	0.30	0.36
Amounts of each element absorbed by plant per pot (mg)	SiO ₂	670	683	1112
	P ₂ O ₅	83	90	84
	CaO	229	251	211
	MgO	197	340	377

は灌漑によつて添加集積した各種の無機成分の直接的効果いかえれば養分としての効果に負うところが極めて大きく、ことに灌漑によつて集積した石灰の効果は勿論であるが同時に集積した珪酸及び苦土の効果はより大きいといえる。

III 摘 要

筆者らは灌漑によつて不良土壌よりなる生産力の低い畑地が急速にかつ顕著にその生産力を向上することを現地試験その他によつて明かにしたが、かかる灌漑の顕著なる効果の由つてきた原因を明かにせんとし、灌漑による土壌の本質的改善に関し、かつまた作物に対する養分としての直接的な影響について解明を行つた。

その結果を要約すると次の通りである。

1. 灌漑が畑土壌の性質に及ぼす影響について検討した結果

1) 2μ以下の粘土分(Ca-clay)について示差熱分析、X線廻折及び電子顕微鏡撮影等結晶鉱物学的方法によつて検討した結果粘土鉱物の結晶上の変化は殆んど認められないが珪礫比は明かに増大した。

2) 粘土分の置換容量は顕著に増大した。

3) 土壌の等電点が明かに降下した。

4) 土壌の水中沈定容積は灌漑によつて大きくなる傾向がみられ、かつ、この際無灌漑土壌の上液が速かに澄明となるにもかかわらず灌漑跡土壌は上液の潤濁度が大きく長時間この状態を保つた。

5) 土壌の磷酸吸収力を弱め、かつ土壌磷酸塩の有効化を大ならしめた。

6) 土壌の磷酸吸収型式を礫土質型(第4型)から珪酸質型(第3型)へ移行せしめる傾向がみられた。

7) 土壌の色素に対する染色試験の結果、礫土質の性質が灌漑によつて軽微ながら珪酸質へ移行しているのがうかがえた。

8) 土壤の究極 pH が灌漑によつて低下する傾向がみられた。

以上は要するに、灌漑に依つて土壤の諸性質が明かに変化をうけているが、本供試土壤の如く *Allophane* を主体とする粘土の結晶上の変化は殆んど認められない。そして以上の諸性質の変化は灌漑によつて富化された石灰及び珪酸特に後者の作用によるものであることが判つた。

2. 栽培試験の結果

石灰の効果は勿論であるが、苦土及び珪酸ことに本供試土壤においては苦土の効果が非常に大きいことが判つた。

これらの成分は総て灌漑に依つて土壤に集積するものであることから、灌漑の効果はこれらの無機成分が養分としての直接的な作用に負うところが極めて大きいといえる。

以上の研究結果を総括すると、灌漑による畑地の生産力の増進は灌漑水によつて添加された無機成分ことに石灰、苦土、加里及び珪酸などの内、石灰及び珪酸は土壤の諸性質の改善に役立ち、これと共に石灰、苦土、加里及び珪酸など総てが直接作物に対して養分として役立つているためであるといえる。

終りに臨み、一部の実験を担当された下川博通氏の労を謝すると共に本研究遂行上多大の便宜を与えられた熊本県の御好意に対して深謝す。なお本研究の一部は文部省科学研究費の助成によつてなされたものである、記して謝意を表す。

IV 文 献

1. 小林 嵩・尾形 保・吉田保則：九農試彙報，3 (2)，1~30 (1955)。
2. 小林 嵩：鹿大農学術報告，6，1~22 (1957)。
3. 小林 嵩・品川昭夫・下川博通：日土肥，講演要旨 第1集，30 (1955)。
4. 小林 嵩・品川昭夫：日土肥，講演要旨 第2集，41 (1956)。
5. 小林 嵩：日土肥，講演要旨 第3集，46 (1957)。
6. 小林 嵩・品川昭夫：日土肥誌，25 (補1)，9 (1954)。
7. AOMINE, S. and YOSHINAGA, N.: *Soil Science*, 79, 349~358 (1955)。
8. 江川友治・渡辺 祐・佐藤昭夫：農技研報告，B. 5, 39~107 (1955)。
9. 青峰重範・石居光夫：日土肥，講演要旨 第2集，16 (1956)。
10. FIELDER, M. and SWINDALE, L. D.: *N. Z. J. Sci., Tech.*, B. 36, 140~154 (1954)。
11. FIELDER, M.: *N. Z. J. Sci., Tech.*, B. 37, 336~350 (1955)。
12. MATTSO, S.: *Soil Science*, 31, 311~331 (1931)。
13. ————— : —————, 32, 343~365 (1931)。
14. ————— : *Jour. Amer. Soc. Agron.*, 18(6), 458 (1926)。
15. 塩入松三郎：日本学術協会報告，10 (3)，694~699 (1935)。
16. 永田正直：佐賀大文理学部農学教室報告，(1950)。
17. 弘法健三・赤塚 恵：日土肥誌，21，107~109 (1950)。
18. 今井富蔵・野本亀雄・徳永義治：東海近畿農試研究報告，2，151~158 (1955)。
19. 野本亀雄・岸田達男：日土肥，講演要旨 第2集，41 (1956)，同第3集，45 (1957)。
20. UMETSU : *Bioch. Zeitschr.*, 155, 442 (1923)。
21. 青峰重範：日土肥誌，18，35 (1948)。
22. 柏木大安：農林省農地局管理部営農課資料，(1954)。
23. LOHSE, H. W. and RUHNKE, G. N.: *Soil Science*, 35, 437~458 (1933)。

24. ARRHENIUS, O.: *Z. Pflanzenernähr, Dungung u Bodenk.*, **16A**, 307 (1930).
25. FISHER, R. A.: *J. Agr. Sci.*, **19**, 132 (1929).
26. HALE, A. D. and MORRISON, C. G.: *Proc. Roy.Soc. (London)*. **77B**, 455 (1905).
27. 関豊太郎: 日農化誌, **1** (4), (1925).

R é s u m é

As previously reported, the data of the irrigation experiments indicated that the productivity of poor field of volcanic ash soil was increased rapidly and remarkably by intensive irrigation.

The authors have undertaken the studies to find the principal factors and clarify the mechanisms of the excellent effect of the irrigation for the soil improvement and direct supply of nutrients to crop.

The results obtained may be summarized as follows:

1. The results of studies on the improvement of soil characteristics.

(1) It was recognized by means of the thermal analysis, X-ray diffraction method and electron microscopic method that the crystalline properties of soil clay ($\alpha\mu$) are much the same as before irrigation.

(2) Cation exchange capacity of irrigated soil was remarkably heightened.

(3) Isoelectric point of irrigated soil was distinguishably lowered.

(4) Settling volume of soil in water tends to be large by irrigation and turbidity of its upper liquid is great and kept up for a long time, in spite of clarifying quickly in nonirrigated virgin soil.

(5) Absorption of phosphoric acid by soil was weakened and the solubility of soil phosphates was increased by irrigation.

(6) The type of the absorption of phosphoric acid by soil tends to change from that of allitic to siallitic type by irrigation.

(7) Dyeing of soil by pigments was indicated that the allitic nature to pigments changes to that of siallitic by irrigation.

(8) The ultimate *pH* value of soil was lowered by irrigation.

Changes of soil characteristics above mentioned largely due to the actions of lime and silicic acid especially the latter, accumulated in soil by irrigation.

2. Results of culture experiment.

It was clarified by pot culture experiments that magnesium and silicic acid, especially the former, contribute very remarkably to increase the productivity of soil tested.

The results obtained derived the conclusion that the increasing of the productivity of poor field of volcanic ash soil rapidly and remarkably by irrigation due to the actions of calcium and silicic acid for the improvement of the soil characteristics and the direct utilization of calcium, magnesium, potassium and silicic acid as nutrients, which were accumulated in soil by irrigation.

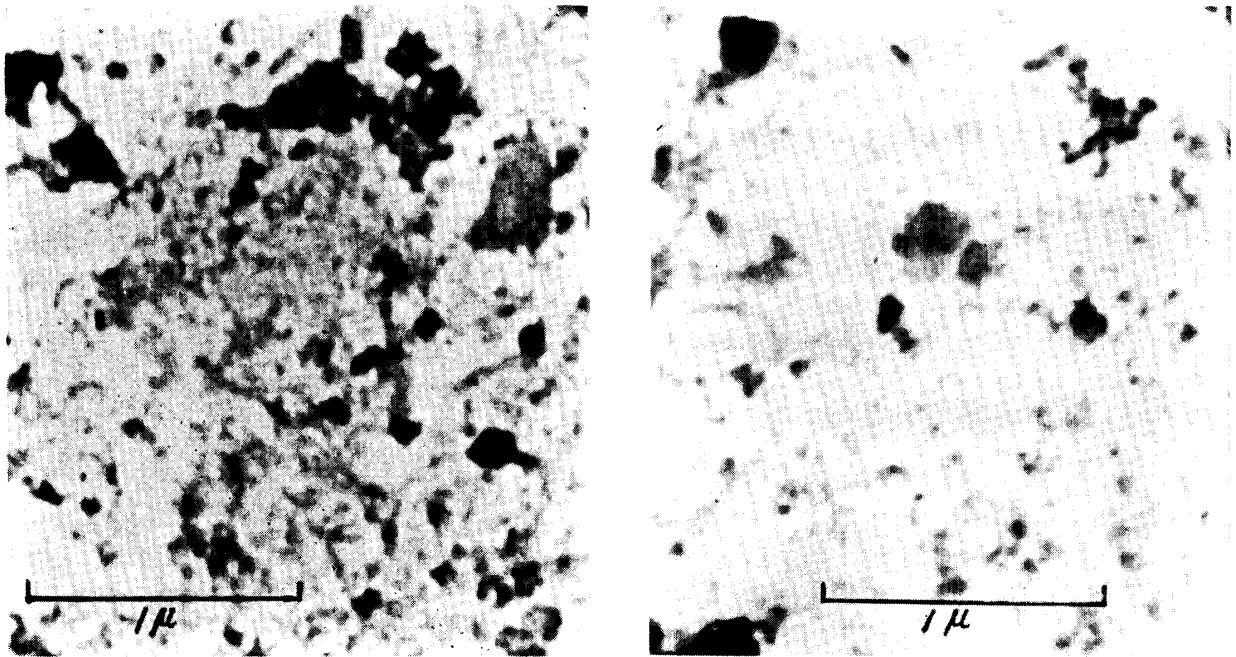


Fig. 3. Electron micrograph of Ca-clay($<2\mu$)
from irrigated soil

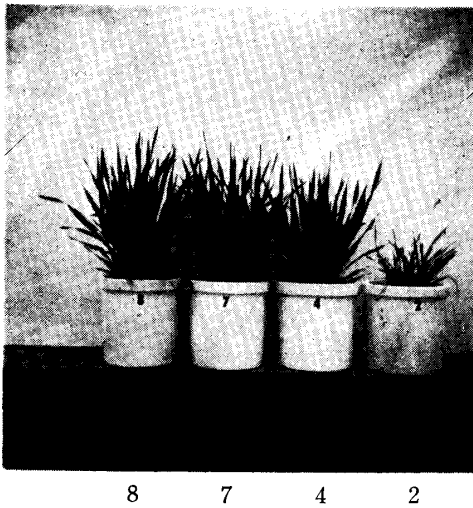


Fig. 6. Growth of naked barley in early
stage of growth in pot experiment
(black volcanic ash soil)

- 2 : N-P-K, CaCO_3
 4 : N-P-K, CaCO_3 , MgSO_4
 7 : N-P-K, // , // , SiO_2 (small)
 8 : N-P-K, // , // , // (large)

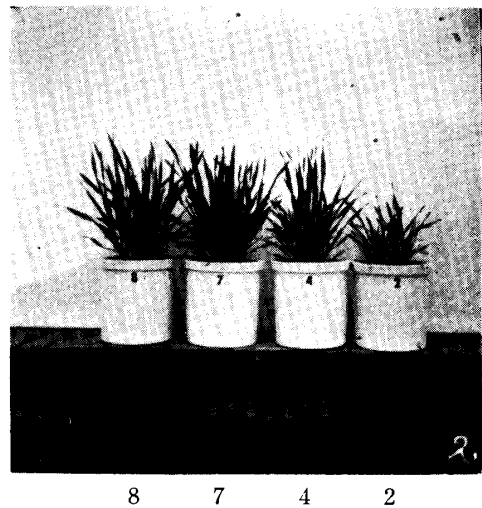


Fig. 7. Growth of naked barley in early
stage of growth in pot experiment
(yellowish brown volcanic ash soil)

- 2 : N-P-K, CaCO_3
 4 : N-P-K, // , // , MgSO_4
 7 : N-P-K, // , // , SiO_2 (small)
 8 : N-P-K, // , // , // (large)

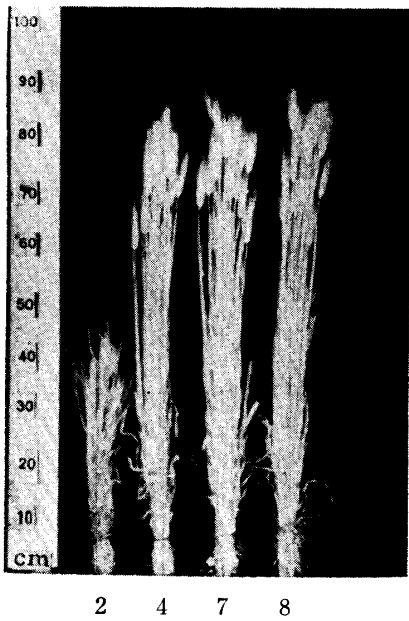


Fig. 8. Growth of naked barley in the harvest stage of growth in pot experiment (black volcanic ash soil)

- 2 : N-P-K, CaCO_3
- 4 : N-P-K, // , MgSO_4
- 7 : N-P-K, // , // , SiO_2 (small)
- 8 : N-P-K, // , // , SiO_2 (large)

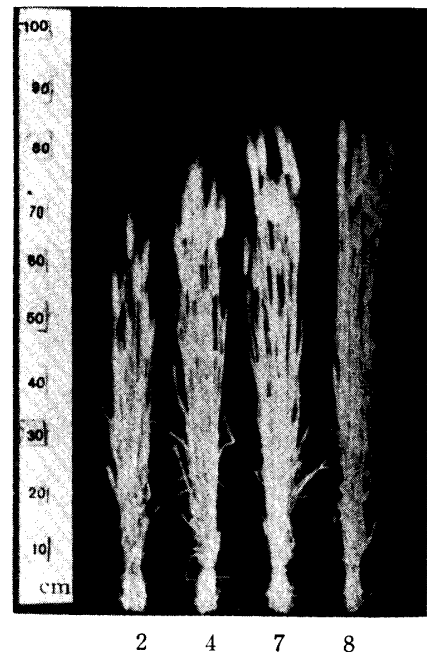


Fig 9. Growth of naked barley in the harvest stage of growth in pot experiment (yellowish brown volcanic ash soil)

- 2 : N-P-K, CaCO_3
- 4 : N-P-K, // , MgSO_4
- 7 : N-P-K, // , // , SiO_2 (small)
- 8 : N-P-K, // , // , // (large)