

ベントナイトの土壤改良への利用と効果

沼尾 林一郎 (群馬県農業試験場)

土壤生産力増強の重要手段の一つとして、従来客土が行われてきた。しかし乍ら、客土を必要とする農地の近傍に適切な客土材料を求めることは多くの場合至難であり、かつその操作には多大の労力経費を要するために、客土事業はあまり普及をみていないのが現実の姿である。

近時、土壤粘土鉱物についての研究が急速に発展し、粘土鉱物と土壤生産力との関係について新たな知見が得られつつある。他方、従来の多量客土にかわる土壤生産力の積極的な増進方策として、優良粘土鉱物の利用について注目が払われつつあるが、ベントナイトはその代表的なものであつて、農業面への利用は年々急速な増大を示している。著者は1953年以来ベントナイトの土壤改良への利用について試験研究を実施し続けているが、今日までに得られた結果を中心として解説を加える。

1. ベントナイトの来歴と特性

ベントナイトは1888年にアメリカのTaylor W.が“Taylorite”と称して市販したのが始まりである。その後約10年をへて、Knight W.C.が同名の他の鉱物のあることに気付き、これと区別するために、この粘土の賦存していた地層名(中生界白亜系に属するFort Benton)にちなんで“Bentonite”と改名した。ベントナイトはモンモリロナイトを主成分とする粘土であるが、モンモリロナイト発見の歴史は更に古く、1847年フランスのSalvetat G.がMontmorillon地方で発見した粘土中のバラ色の粘土鉱物に対して命名したのが始まりである。

ベントナイトは火山灰、凝灰岩、粗面岩等が特殊の変質作用を受けて生成されたものであると考えられ、その鉱床は主として第三紀層や中生界の地層中に見出されているが、時には古生界の岩層内からも発見されている。その分布は世界の各地に亘っており、アメリカ、カナダ、メキシコ、日本、中国、フランス、オランダ、ポーランド、ソビエト、イタリー及び南アフリカ等にその埋蔵が報告されている。日本に於ては、北海道、秋田、山形、福島、新潟、長野、群馬及び島根等の諸県にその産出がみられる。

ベントナイトは既述の如く膨脹格子型の粘土鉱物モンモリロナイトを主構成成分とする粘土であるが、このほかに副成分として、石英、クリストバライト、イライト、沸石及び種々の炭酸塩鉱物等を混入していることが知られている。ベントナイトを水中に投ずると、すみやかに水を吸収してその容積を著しく増大するが、このような性質は膨潤性と呼ばれている。また、更に多量の水を吸収すると、ついには崩壊して水中に分散する。粘土粒子の表面における水の吸着を外部膨潤、層間への水の吸着を内部膨潤と呼んでいるが、ベントナイトは以上のような両種の膨潤が起るために膨潤性がきわめて大きい。ベントナイトの膨潤性は吸着陽イオンの種類、媒質の反応等によつて変化する。著者及び山田が吸着陽イオンと膨潤性との関係について調べた結果は第1表のとおりである。

粘土や腐植のようなコロイド物質は種々の陽イオンを吸着する性質をもっているが、このような性質の大小または強弱はその質的な内容に支配される。次に、粘土に例をとり、これを構成している種々の

第1表 吸着陽イオンがベントナイトの膨潤性に及ぼす影響
(沼尾、山田、1958)

陽イオンの種類	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al
膨潤度 (g/g)	7.44	2.60	2.80	2.56	2.32	2.14

粘土鉱物の塩基置換容量を示せば第2表のとおりである。即ち、モンモリロナイトは塩基置換容量がき

第2表 主な粘土鉱物の塩基置換容量
(Gr im, 1942)

粘土鉱物	C.E.C. (me/100g)
モンモリロナイト	60~100
イライト	20~40
カオリナイト	3~15
ハロイサイト	6~10

わめて大であるが、これに対してカオリナイトやハロイサイトでは小さい。但し、粘土鉱物の塩基吸着の機構はきわめて複雑であり、粘土鉱物の構造によつて異なるものである。単に特定の条件下で測定した塩基置換容量の大きさのみでは不充分であつて、更に塩基の吸着強度との関連において比較検討する必要がある。このような観点からしても、モンモリロナイトはカオリン系鉱物やアロフエンなどに比べてきわめて優れた特徴をもっている。

次に、ベントナイトの化学的組成につき群馬県産のものを例にとつて示せば第3表のとおりである。これら成分のうち、珪素とアルミニウム(1部マグネシウムまたは鉄)

第3表 群馬産ベントナイトの化学的組成 (沼尾、齊藤、1960)
(%)

試料番号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	H ₂ O (+)	H ₂ O (-)	計
	1	64.72	13.78	2.67	tr.	0.57	0.78	0.43	1.03	5.92	
2	69.20	13.76	0.16	"	0.45	0.60	0.29	0.90	5.52	9.40	100.28
3	67.64	14.54	0.13	"	0.55	1.13	0.51	1.66	4.58	10.55	101.29

は主としてモンモリロナイトの結晶構造中に含まれており、その他の成分は主として置換性塩基として粘土に吸着されているが、ベントナイトが置換性塩基に著しく富んでいることも重要な特徴の一つである。水懸濁液の反応は一般にかなり強い塩基性を呈する。

2. 水田土壌の改良効果

現在、全国的に広く実施されている施肥改善調査事業の結果によれば、水田土壌の基幹の類型区分として11土壌群51土壌種が設定されている。これら土壌群のうち、礫層土壌や礫質土壌、砂土型の灰色及び灰褐色土壌等は漏水または秋落型の水田に属するものとみられる。これらの水田は粘土分に乏し

く、かつ粘土は主として1:1型の粘土鉱物から成っているものが多いと考えられ、塩基の吸収保持力が弱い。また、黒色土壌や黄褐色土壌は火山灰質のものが大半を占めているとみられ、前者は腐植に富んでいるが何れも粘土鉱物はアロフェンまたはこれに近い非晶質物質が主体をなしているものと思われる。従つて、塩基の吸収保持力がきわめて弱く、かつばん土性を示すものが多いと考えられる。特に、近年火山灰台地地帯の水田化が増加しつつあるが、これらの水田は火山灰質畑土壌の不良性を多分に保有しており、かつ漏水が大である。

以上のような不良水田の改良については、各種の対策が既に明らかにされているが、基本的には優良粘土を客入施用することが最も望ましいことであると考えられる。著者は群馬県下の各種の水田に於てベントナイトの施用試験を行なつてきたが、沖積砂質水田及び黒色火山灰土水田における結果の一例を示せば第4及び5表のとおりである。次に、これら水田に対するベントナイトの効果について考察を加えてみよう。

第4表 沖積砂質水田に対するベントナイトの効果

(沼尾、山田、1954)

区 名	水 稻 収 量 (10 a 当り)		
	藁 重	玄 米 重	同 指 数
対 照 区	573.4 ^{Kg}	422.3 ^{Kg}	100
ベントナイト1.9トン区	729.4	507.8	120

試験地：群馬県伊勢崎市、灰褐色土壌砂土型

第5表 黒色火山灰土水田に対するベントナイトの効果

(沼尾、山田、1958)

区 名	水 稻 収 量 (10 a 当り)		
	藁 重	玄 米 重	同 指 数
対 照 区	283.6 ^{Kg}	255.8 ^{Kg}	100
ベントナイト1.9トン区	349.7	327.3	128

試験地：群馬県吾妻郡中之条町、冷水流入田、黒色土壌壤土腐植型

(1) 滲透能抑制と水温上昇

水田は適度の排水のあることが稲作に対して好ましいと考えられるが、土壌の滲透能が過大であると、

水温地温の低下を招き、更に土壌及び施肥成分の流亡が促進されるので、水稻生育にとって好ましい条件ではない。また、水利経済の面からも不利である。水稻生育に対する最適水温は30~32℃とされており、低水温下に於て水稻生育が阻害され、稔実不良におちいることは一般に知られているところである。また作物根の養分吸収が呼吸に基くエネルギーによつて積極的に行われることはHoagland¹⁾以来知られているところであり、呼吸作用に密接な関係のある温度が養分吸収に対して重要因子であることは多言を要しないところである。低水温下に於て、水稻の無機成分吸収が著しく阻害されることは高橋²⁾、馬場³⁾等によつて既に明らかにされている。

漏水性水田に対してベントナイトを施用すると、土壌の滲透能が著しく抑制され、水温地温の上昇がみられるが、特に水温上昇の効果は気温の低い水稻生育の初期に大であり、かつ冷水流入田に於て顕著である。

(2) 塩基吸着能の改善

塩基吸着能は土壌生産力を規定する重要な因子であると考えられるが、土壌中に含まれる塩基吸着母体としては種々の結晶性粘土鉱物、非晶質物質及び腐植等があげられる。既述の如く、漏水秋落型の水田や火山灰水田土壌の塩基吸着母体は主として1:1型粘土鉱物またはアロフエン及びこれに近い不定形鉱物質並びに腐植等から成つているものとみられる。従つて、塩基吸着基は概して質的に劣るものが多く、かつ腐植質の土壌を除けば何れも量的にも少ないものが大部分を占めていると考えられる。

以上のような水田にベントナイトを施用すると、土壌の塩基吸着基の量的質的な改善が同時に行われ、加うるに土壌の滲透能が抑制されるので、肥料成分の流亡が抑制され、水稻に対する養分供給が合理的

第6表 ベントナイトの添加が水田土壌の滲透能及びNH₄-N溶脱量に及ぼす影響

(沼尾、山田、1955)

区名	* 7日目		* 17日目		* 7日目		* 17日目	
	滲透速度	同指数	滲透速度	同指数	溶脱NH ₄ -N	同指数	溶脱NH ₄ -N	同指数
対照区	cc/hr 197	200	cc/hr 104	100	mg/hr 16.98	100.0	mg/hr 15.2	100.0
ベントナイト 1% 添加区	104	53	59	54	2.89	17.0	0.40	26.3
ベントナイト 2% 添加区	29	15	23	22	0.29	1.7	0.07	4.6

(注) * 施肥後日数を示す。

に行われるものと思われる。著者は、ベントナイトの施用によつて、アモニアの流亡が著しく減少し水稻の窒素吸収率が高まることを確認している。

ベントナイトは種々の塩基を豊富に含んでいるので、その施用によつて土壌中の置換性塩基が増加するが、このような直接的な効果のほか、塩基吸着能や滲透能を改善し、灌漑による土壌中への塩基の集積富化を助長することも見逃し得ない重要な効果であると考えられる。

第7表 ベントナイトの施用が水稻の窒素吸収に及ぼす影響

(沼尾、山田、1956)

区	名	水稻収量 (Kg/10a)			水稻のN 吸収量 (Kg/10a)	水稻の N吸収率 (%)
		藁重	精収重	同指数		
対 照 区	無 N 区	676.1	565.5	89	9.83	—
	N 68Kg区	769.9	634.9	100	12.71	42.7
	N 9.0Kg区	788.6	697.5	109	14.22	48.9
	N 11.3Kg区	859.1	706.9	111	15.81	53.1
ベントナイト施用区 (1.1トン/10a)	N 68Kg区	841.5	703.1	111	14.31	66.4
	N 9.0Kg区	895.5	736.9	116	16.19	70.7
	N 11.3Kg区	995.7	714.8	113	17.68	69.8

試験地：群馬県桐生市、灰褐色土壌砂土型

(3) 火山灰土壌のぼん土性改良

既に述べたように、火山灰土壌の粘土は大部分アロフェン及びこれに近い不定形鉱物質から成っているものとみられる。而して、来歴の古い火山灰土水田においては、長年月に亘る灌漑水による珪酸及び塩基の供給並びに人為的な肥培等の結果、ぼん土性は軽減されているものと思われるが、新規造成の開田においては、ぼん土性が強く、火山灰質畑土壌の性格を多分に保有しているものが多い。開田当初、漏水がかなり大であり、かつ磷酸増施の必要性が高いのもこの点を示す一証左であろう。著者は、火山灰質新開田土壌にベントナイトを施用した結果、土壌コロイドの陽性荷電が弱化し、活性アルミニウムが減少し、磷酸吸収係数が低下する事実を認めている。また、水稻栽培試験の結果、水稻体の磷酸濃度が高まり、その吸収量はかなり増大することを明らかにしている。

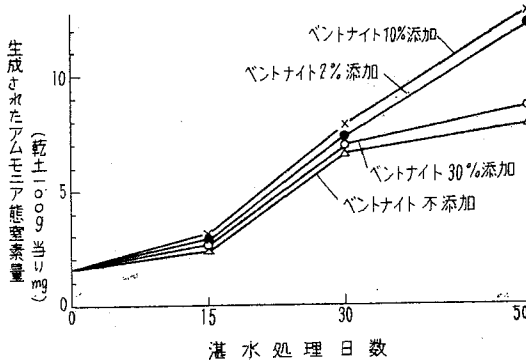
以上のような効果は、ベントナイトが土壌アロフェンから遊離されるアルミニウムイオンを容易にかつ強く吸着してその活性化を抑制するためであると考えられる。

(4) 有機態窒素の無機化促進

Ensminger及びGieseking⁴⁾; Pinck Dyal及びAllison⁵⁾等は2:1型粘土鉱物が土壌有機物のStabilityを増大すると報じている。永田⁶⁾は砂丘土にベントナイトを客入した結果、有機物の分解が抑制されたと報じている。また、原田⁷⁾はアルブミンにベントナイトを添加してその影響について実験を行い、ベントナイトの割合が多量の場合にはアルブミンの無機化が抑制されるが、少ない場合にはむしろ無機化が促進されると述べている。前記の諸実験においては、原田の実験を除いては何れもベントナイトがきわめて多量に用いられており、実際の圃場における施用量とは著しく異なる条件下における結果である。

著者⁸⁾は、ベントナイト施用田と不施用田における土壌有機物の推移を比較検討した結果、前者にお

いては後者に比べてその含量がかなりの低下を示していること、またこのような傾向が特に腐植に富む黒色土壌において著しいことを認めた。そこで、ベントナイトが土壌有機物の無機化を促進するのではないかと考え、種々の土壌を用い、ベントナイトの添加割合と土壌有機物の無機化との関係について実験を行った。その結果、ベントナイトの添加割合が少ない場合には明らかに無機化が促進され、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の生成増加がみられたが、その添加量を増して土壌：ベントナイト=100：30になると無機化促進作用はかなり減退することを認めた。第1図は実験結果の一部を例示したものである。以上の諸点から



第1図 ベントナイトの添加が土壌中の有機態窒素の無機化に及ぼす影響

(沼尾、齊藤、1960)

考察して、圃場における実用的な施用量程度(通常土壌の1~3%)に少量のベントナイトが施される場合には、土壌中の易分解性有機物は無機化が促進されるものとみられる。従つて、かくして放出された窒素は水稻体への供給に関与するものと思われる。

(5) ベントナイト珪酸の有効性

著者は、現地試験に供した水稻収穫物の化学分析結果から、ベントナイトの施用により水稻体の珪酸濃度が高まり、かつその吸収量がかなり増大する事実を認めた。ベントナイトの施用によつて、土壌条件が改善され水稻生育が旺盛になるので、このために土壌中の珪酸をより多量に吸収したのではないかと考えられるが、一部はベントナイト自体からの直接供給もあつたものと推定される。そこで、このような点を確認するために、砂耕法(石英砂)により、ベントナイト添加区と不添加区とを設けて水稻を栽培し、水稻による珪酸の吸収状況を比較検討した。その結果、ベントナイト不添加区では水稻がきわめて軟弱な生育を示し、試料採集期には殆ど倒伏して珪酸欠乏の徴候を示したが、これに対して、ベントナイト添加区では直立して明らかに生育が優り、乾物収量も高い値を示した。また、水稻体について珪酸の分析を行った結果は第8表のとおりである。以上の結果から、ベントナイトの珪酸が水稻によつて直接吸収利用されることが明らかである。

第8表 ベントナイト中の珪酸の有効性に関する実験 (沼尾、山田、1955)

試験区名	鉢当水稻苗株数	同左乾物重	水稻体中SiO ₂ 含量(乾物中)	水稻体のSiO ₂ 吸収量	ベントナイトから吸収されたSiO ₂ 量
対照区	50	1.34g	1.52%	0.020g	—g
1%相当量のベントナイト添加区	50	4.40	5.45	0.240	0.220
3%相当量のベントナイト添加区	50	6.87	7.94	0.547	0.527

但し、本実験は水稻を密に栽植して行つたものであるから、実際の圃場における水稻によるベントナイト中の珪酸の吸収がこのようにはげしく行われるものとは考えられないが、土壤に施用されたベントナイトが作物の珪酸供給源になり得ることは明らかであると思われる。

著者は、更に供試ベントナイトの分析結果からベントナイト中には少量の不定形のゲル状珪酸の存在を認め、前記の実験において水稻による珪酸吸収率の推計並びに砂耕培地中（水稻栽培を2ヶ年間継続実施した）から回収したベントナイトの粘土鉱物の同定結果等から、モンモリロナイトの結晶格子をなす珪素も水稻に吸収されることを明らかにした。また、同様の実験から、水稻栽培によつてベントナイトの変質が促進されることを証明したが、これらの諸結果については別の機会に報告^{8,9)}を行つていたので、ここでは省略したい。

以上、水田土壤に対するベントナイトの効果について総括的に要因の解析を行つたが、これらの要因は灌漑水の温度、漏水の程度及び土壤のタイプ等種々の条件によつてその主動的な発現の内容、程度を異にするものと考えられる。

3. 鉍毒土壤の改良効果

鉍山、温泉、工場等の近傍並びにその下流域においては、排水や鉍滓等の流入沈積により鉍毒の惨禍を蒙る場合が屢々あり、農林水産業上大きな問題になつている。また、古い果樹園等においては永年に亘る薬剤散布の結果、種々の金属イオンが土壤中に多量に集積し、このために作物に鉍毒を与えている例が屢々認められる。これらの鉍毒土壤の改良については、客土、深耕、石灰の投入、有機物及び磷酸質肥料の増施など種々の対策が明らかにされているが、著者は群馬県下に広く分布する銅及び亜鉛に基因する鉍毒土壤にベントナイトを施用し、顕著な効果のあることを明らかにした。

ベントナイトは金属イオンを強く吸着する特性をもつているので、鉍毒土壤中の金属イオンを不活性化し、そのために作物による過剰の吸収を抑制する。作物体に吸収された金属イオンは主として根部に多量に沈積し、地上部への移行はかなり制限されるが、他方根群の生理的機能特に養分吸収作用が著しく阻害されることが知られている。ベントナイトの施用によつて、過剰の金属イオンの吸収が抑制されれば、作物根の生理的機能は回復する筈であるから、種々の養分吸収が正常に近づくものと考えられる。

第9表 銅鉍毒土壤に対するベントナイトの添加が水稻苗の銅及びその他の無機成分吸収に及ぼす影響（沼尾、高橋、1960）

区名	銅含有率(乾物中) PPM	その他の無機成分含有率(乾物中%)						水稻苗 100株の同指数 生体重	
		窒素	磷酸	加里	珪酸	石灰	苦土	g	
対照区	42.3	1.97	0.45	2.40	3.76	0.08	0.06	47.3	100
ベントナイト添加区	18.1	2.08	0.55	2.85	4.60	0.15	0.07	70.0	148
CaCO ₃ 添加区	37.2	1.93	0.51	2.75	3.80	0.23	0.06	61.0	128

(注) ポット試験により水稻苗を播種後45日間栽培して実験に供した。

第9表はこれらの関係を明らかにするために行なつた実験結果の一例を示したものである。ベントナイトはこのように鉍毒土壌の改良効果が大であるが、既に述べたような種々の対策を併せ行うことにより一層その効果を高め得るものと予想される。

4. 砂質及び火山性畑土壌の改良効果

永田¹⁰⁾は砂丘地土壌において試験を行い、ベントナイトの客入により大麦が増収し窒素の吸収率が高まつたと報じている。国分等¹¹⁾は火山灰土壌において試験を行い、ベントナイトの施用によりぼん土性が改良され、小麦及び大豆が増収したと報告している。また土塊の機械的安定性及び固結度が増し、耐蝕性が増大したと述べている。著者¹²⁾及び高橋、鈴木は群馬県下に広く分布する浮石質火山灰土壌畑において試験を行い、ベントナイトの施用により、土壌の保水力が増大し、塩基吸着能及びぼん土質の性質が改善され、小麦及び陸稲が増収することを認めている。また、畑地におけるベントナイトの施用方法について検討し、作条施用が効率的な施用方法であること及びこの場合肥料との混合施用によりその効果を一層高め得ることを明かにした。

第10表 浮石質火山灰土畑に対するベントナイトの効果

(群馬農試、1954)

区名	成熟期における			小麦収量(10a当り)		
	稈長	穂長	穂数	稈重	子実重	同指数
対照区	93.6 <i>cm</i>	10.1 <i>cm</i>	109	472.5 <i>Kg</i>	301.5 <i>Kg</i>	100
ベントナイト0.5 トン作条施用区	104.8	10.6	123	502.5	357.8	119
ベントナイト0.5 トン堆肥無機肥混 合作条施用区	104.4	10.5	128	581.3	382.5	127

試験地：群馬県利根郡昭和村、浮石質火山灰土壌

5. ベントナイトの施用方法と施用上の注意

ベントナイトの施用に当つては、いくつかの方法が考えられるので、その利点と欠点を述べ、更にベントナイトの施用に当つての注意事項について少しく解説する。

(1) 水田

水田におけるベントナイトの施用方法は原則的には次の二つの場合があげられる。

(i) 作土全層に混和する方法

耕起または代播前に全面散布し、作土全層に混和する方法であるが、既に述べた如く、ベントナイトの土壌改良または肥効増進剤的な効果を十二分に發揮せしめることが可能であり、かつその操作が比較的

に簡便である。しかし乍ら、漏水防止の効果は次に述べる(ロ)の方法に比べて幾分劣る。著者はこの場合、ベントナイトを単独に施用するよりも、予め無機質肥料または更に堆厩肥と混合して施用すると、一層効果が高まることを明らかにしている。その結果、群馬県においては、ベントナイトを母体にした複合肥料が製造され、好成績をあげている。

(ロ) 作土の直下または鋤床層に施用する方法

作土をはねのけて、その下層に散布または混合して床締を行なつてから作土を埋め戻す方法である。この方法は、漏水防止効果は前者に比べて遙かに高いが、ベントナイトの機能を十分に活用した方法であるとはいえない。また、その操作には多大の労力を要するので、一般的には行われていない。但し、極度の漏水田では採用される場合があり、また(イ)及び(ロ)の併用により一層その効果を高めることができる。

ベントナイトの施用量は土壌のタイプ及び漏水程度等によつて異なるものと考えられるが、一般的には1~1.5トン(10a当り)が適量であろうと思われる。

著者は種々の水田土壌において試験を実施した結果、ベントナイトの残効持続の様相が沖積土壌と火山灰土壌とは異なるという事を見出した。即ち、沖積土壌においては残効持続性が高く、3年を経過しても初年度と殆ど同程度に効果がみられるが、これに対して火山灰土壌においては残効持続性が比較的に低く、初年度には顕著な効果を示すにも拘わらず、その後年次の経過と共にかなり速かに効果の減退することが特異的に認められた。従つて、火山灰土水田においては、2年度以降毎年少量ずつ補給するのがよいと考えている。火山灰土水田における残効低下の原因については数年来研究を続行中であるが、土壌中に優勢に存在する活性アルミニウムに基くものであると考えている。

ベントナイトによる土壌改良の必要な水田は、既述の如く肥料成分の流亡が大であるので、農家の慣行施肥量は一般に普通水田に比べてかなり多量であり、更に分施方式がとられている。ベントナイトの施用によつて土壌条件が改善されるので、この点を考慮して施肥量(特に窒素質肥料)の調節を行なうことが必要である。

(2) 畑地

畑地におけるベントナイトの施用法には次の二つが考えられる。

(イ) 畑全面に散布し作土に混和する方法

耕起前に全面に散布し、作土に混和する方法である。この場合の施用量は一般的には1.5~2.0トン(10a当り)が適量とみられ、水田に比べて幾分多目に施す必要がある。

(ロ) 作条に施用する方法

作条に帯状に施用する方法であるが、この方法はベントナイトの集中効果を發揮し得るので、1回の施用量が少量(10a当り0.3~0.5トン)で済むという利点がある。但し、数年間継続施用しなければ畑全面の改良ができないことは当然である。著者はベントナイトの作条施用法について更に試験を行ない、ベントナイトは単独に施用するよりも、無機質肥料または更に堆厩肥と混合施用する方が一層効果の高いことを明らかにしている。

ベントナイトは、従来粉末度の高い工業用品がそのまま農業用に使用されていた。しかし乍ら、これらはかなり高価であり、実際的な利用普及上問題が残されていた。そして、著者は、これらの問題の解決に資するため、種々の粒度のベントナイトについて検討を重ねた結果、農業的な利用の目的には粒状

ベントナイト(粒径5~10 μ の粗碎物)が最も適していることを提唱した。現在、群馬県においては、粒状ベントナイトが耕土培養事業に使用されているが、安価なためにかかなりの普及をみている。

以上、ベントナイトの特性と土壤改良への利用及びその効果について大要を述べたが、ベントナイトのより効率的な利用普及にいくらかでも貢献し得るならば、著者の喜びこれに過るものはないと考えている。

主 な 参 考 文 献

- (1) Hoagland, D.R. and Arnon, D.I.: Soil Sci., 51, 431 (1941)
- (2) 高橋, 柳沢, 河野: 土肥学会誌, 22, 358 (講演要旨) (1952)
- (3) 馬場: 農技研報告, D7, 57 (1958)
- (4) Ensminger, L.E. and Giesecking, J.E.: Soil Sci., 53, 205 (1942)
- (5) Pinck, L.A., Dyal, R.S. and Allison, F.E.: Soil Sci., 78, 109 (1954)
- (6) 永田: 土肥学会誌, 30, 15 (1959)
- (7) 原田: 農技研報告, 139, 169 (1959)
- (8) 沼尾: 群馬農試研究報告 Ⅱ3 (ベントナイトの土壤改良への利用及びその効果に関する研究) (1961)
- (9) 沼尾, 山田, 齊藤: 粘土科学, 2, 1, 33 (1962)
- (10) 永田, 村松: 土肥学会誌, 28, 311 (1957)
- (11) 国分, 板川, 根本: 土肥学会講演要旨, 昭31, 6 (1956); 昭32, 4 (1957)
- (12) 沼尾: 低位生産地調査事業10周年記念論文集, 409 (1957)