

土を鍛える！

「土壤肥料屋」後藤道場 農家のための「肥料高騰対策講座」

4

東京農業大学 土壤学研究室

教授 後藤 逸男

このシリーズの締めくくりとして、前回に引き続きゼオライトを取りあげます。今号ではさらに具体的に、ゼオライトを肥料と土づくりの助っ人として使うには、ゼオライトそのものを畑やハウスに直接施用する方法と、堆肥やぼかし、あるいは育苗培土原料として使う2通りの方法があることを解説していきます。



筆者略歴

東京農業大学教授(応用生物科学部)。農学博士。農家のための土と肥料の研究會「全国土の会」会長。農業生産現場に密着した実践的土壤学を目指す。著書に「根こぶ病」「施肥管理と病害発生」「土壤学概論」「土壤サイエンス入門」など。

■肥料と土づくりの助っ人！天然ゼオライトを上手に使おう（その2）

ゼオライトを土壤改良資材として直接施用する方法

20 年ほど前ですが、千葉県佐原市(現・香取市)の農家のナスハウス、東京都世田谷区内にある東京農大の試験畑、静岡県富士宮市内にある東京農大富士畜産農場の牧草地で、ゼオライトの施用効果を実証するための栽培試験を行いました。

●ナスハウスの場合

ナスハウスは海岸に近く、海成砂土と呼ばれる、ほとんど砂からできた土壌でした。そのため、土の胃袋に相当する陽イオン交換容量(CEC)はわずかに過ぎませんでした。

そこで福島県産ゼオライトを10a当たり1・2t施用して、2年間にわたり収量を比べてみました。

その結果、第1表(次頁)のように初年には「無施用区」(Ⅱ対照区)の10a当たり9・8tに対し、「ゼオライト区」では11tと12%の増収効果が認められました。ゼオライトを施用しなかった2年目にも15%ほど増収しました。その後も試験を続けたかったのですが、ゼオライトの効果ははっきりしたため農家がハウス全面にゼオライトを施用してしまいました。

●世田谷の試験畑の場合

世田谷の畑では5年間試験を続け

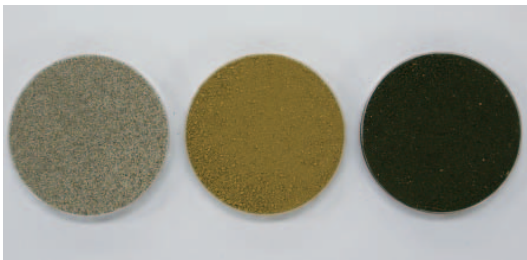
ました。土壌は黒ボク土ですが、表層の腐植層をほとんど削り取った造成地のため、腐植含有量は5%程度でCECは約20でした。畑には第2表(次頁)のような4試験区を設け、「ゼオライト区」と「ゼオライト+緑肥区」には試験開始前に10a当たり5tのゼオライトを作土全層に施用しました。春作にはエダマメ、秋作にはホウレンソウなどの野菜、その間にソルゴー、4～5年目の秋にはエンバクあるいはライムギを栽培しました。そして「緑肥区」と「ゼオライト+緑肥区」にはソルゴー、エンバク、ライムギを鋤き込みました。野菜に対する施肥はすべて化学

肥料で、施用量は全区同一とし、緑肥作物は野菜の残効で栽培しました。5年間の収量を集計した結果、第2表のようにゼオライト単独の施用効果は全くありませんでしたが、「緑肥区」では16%増収しました。このように、ゼオライトよりむしろ緑肥の方が効果的でした。また「ゼオライト+緑肥区」では、26%の増収効果が認められました。

●富士宮の牧草地の場合

富士宮での試験は、ススキの原野であった未耕地を造成して行いました。試験地一帯は多腐植厚層黒ボク土と呼ばれる真つ黒な土壌で、20%以上の腐植を含み、CECはおよそ

写真1



海成砂土

CEC：
5 meq/100g

CECが小さい
ため、ゼオライ
トの効果が表れ
やすい

粘土が多く腐植
の少ない土壌

CEC：
40 meq/100g

CECが大きい
ため、ゼオライ
トの効果が表れ
にくい

腐植が多い
黒ボク表層土

CEC：
50 meq/100g

CECは大きい
がNH₄⁺（アンモ
ニウムイオン）
吸着力が弱い
ため、ゼオライ
トの効果が表れ
やすい

↑土壌の種類によるゼオライト効果の表れ方の違い。

40と大きいのですが、陽イオンを吸着する力は弱いのが特徴です。世田谷の試験畑と同じように4試験区を設けて3年間、牧草（オーチャードグラス）の栽培試験を行いました。ただし、「緑肥区」の代わりに牛ふん（毎年10a当たり約5t）を施用する「牛ふん区」（＝有機物区）を設けました。なお、その当時には牛ふんを肥料として使うという感覚はなく、土づくりのための有機物補給が目的だったので、全区に同量の化学肥料を施用しました。

初年に10a当たり5tのゼオライトと牛ふん、それに元肥を施用して

第1表 ナスハウスにおけるゼオライト施用試験結果

栽培期間	収量（t／10a）		
	対照区	ゼオライト区	増収比率
1年目	9.8	11.0	12.0%
2年目	8.5	9.8	15.2%

土壌：海成砂土 天然ゼオライト施用量：10a当たり1.2t

第2表 露地野菜畑でのゼオライトの施用試験結果（対照区の収量を100とする指数）

試験区	1 年目			2 年目			3 年目			4 年目				5 年目				5 年間の平均
	エダマメ	ソルゴー	コカブ	エダマメ	ソルゴー	ホウレンソウ	エダマメ	ソルゴー	コマツナ	エダマメ	ソルゴー	ホウレンソウ	エンバク	エダマメ	ソルゴー	ホウレンソウ	ライムギ	
対照区	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ゼオライト区	97	98	118	100	89	121	102	98	98	95	98	92	103	94	98	93	93	100
緑肥区	138	106	108	115	126	139	102	140	140	112	103	131	101	125	114	102	102	116
ゼオライト+緑肥区	141	124	106	122	112	154	108	150	150	111	109	136	95	126	113	102	102	126

ゼオライト：10a当たり5tを試験開始前のみ施用 緑肥：10a当たり5～10tのソルゴーやムギを毎年施用

第3表 牧草地におけるゼオライト施用試験結果

試験区	1年目		2年目		3年目		3年間の合計	
	収量 [*]	指数	収量 [*]	指数	収量 [*]	指数	収量 [*]	指数
対照区	3.75	100	4.45	100	4.4	100	12.6	100
ゼオライト区	4.51	120	4.58	103	4.6	105	13.7	109
有機物区	5.05	135	4.84	109	5.3	120	15.2	121
ゼオライト+有機物区	5.28	141	5.87	132	5.59	127	16.7	133

収量^{*}：生草収量 t／10a ゼオライト：10a当たり5tを試験開始前のみ施用 有機物：10a当たり5tの牛ふんなどを毎年施用

オーチャードグラスを播種しました。牧草地なので、2年目と3年目には牛ふんと肥料を表層施用しました。3年間の収量を合計して「対照区」を100とする指数で比較すると、第3表のように「ゼオライト区」では9%の効果がありました。が、「牛ふん区」の21%には及びませんでした。しかし、「ゼオライト+牛ふん区」では33%の増収となりました。

ゼオライト施用結果の検証

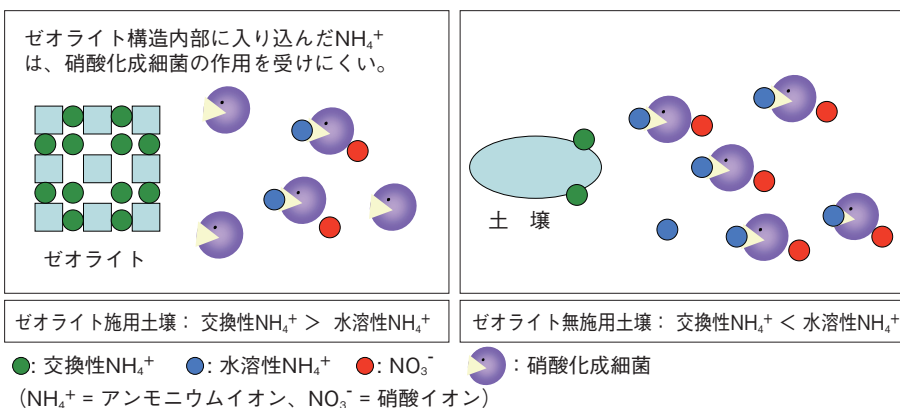
私 たちがゼオライトの研究を始めたころに行った、これら3カ所での栽培試験結果を検証することになりました。まず最初に収量を比較すると、ナスハウスと牧草地ではゼオライトの単独施用で増収しましたが、世田谷の野菜畑では効果がありませんでした。これらの違いは栽培する作物ではなく、写真1のような土壌の種類に原因がありました。前回お話ししたように、ゼオライトの土壌改良資材としての効能は保肥力の改善、すなわち土壌の胃袋を大きくすること、アンモニウムイオンを特異的に吸着することです。ゼオライトのCECは土壌の10倍くらい大きいのですが、通常の施用量

は10 a当たり数百kgから数tです。例えば、CECが150のゼオライトを10 a当たり1t施用し、作土15 cmに混和しても、土壌のCECはわずかに1しか増えません。海成砂土のようにCECが5程度の土壌では1tのゼオライトでもCECが20%増加しますが、粘土を多く含むCEC20～40の土壌では数%に過ぎません。ゼオライトの施用による増収効果が出やすいもうひとつの土壌は、富士宮のように腐植を多く含む真つ黒な土壌です。この種の土壌のCECは50程度と大変大きいのですが、陽イオンを吸着する力が弱いという性質があります。土壌中の陽イオンにはカルシウムイオン(Ca^{2+})、マグネシウムイオン(Mg^{2+})、カリウムイオン(K^{+})のほかにも肥料由来のアンモニウムイオン(NH_4^{+})などが存在しますが、アンモニウムイオンに対してはほかの陽イオンに比べて吸着力が弱いので、土壌の胃袋に保たれていないのです。その一方、ゼオライトはアンモニウムイオンをよく吸着するため窒素の効きがよくなり、増収につながります。

砂質の土壌や多量の腐植を含む土壌では10%程度の増収効果が期待できます。ただし、3カ所の栽培試験で明らかのように、10 a当たり1～5tものゼオライトを施用しなければ明瞭な効果は得られません。ゼオライトの価格を20 kg当たり1000円とすると、10 a当たり5万～25万円の投資になります。露地野菜ではなかなか採算が取れませんが、反収の高いハウスでの野菜や花き栽培で土壌条件が合えば、チャレンジする価値の高い土壌改良資材です。ゼオライトの施用効果はいつまでも持続するので、当面赤字になる覚悟さえあれば露地野菜でも使えます。あるいは、野菜の収量アップをねらう代わりに施肥量を減らして肥料代を下げる方法も考えられますが、残念ながらそのような試験は行っていない。私の経験では、施肥量を減らすよりも収量増による収益アップの方が有益だと思います。ただし、それには土壌診断結果に基づいた適正な施肥を行うことが前提条件です。

次に、世田谷と富士宮の栽培試験で「緑肥あるいは牛ふんとゼオライト」との併用が有効でした。ゼオライトは有機物と相性が大変よいのです。そのメカニズムをお話ししましょう。窒素を含んだ有機物が土壌に施用されると主に糸状菌（かび）により分解され、アンモニウムイオンが放出されます。次に、このアンモニウムイオンが硝酸化細菌と呼ばれる細菌（正確には2種類）の作用により硝酸イオンに変わります。この硝酸イオンが野菜の養分になり根から吸収されますが、陰イオンであるため土壌には吸着されにくく、降雨や灌水により下層に流れてしまいます。ゼオライトを施用した土壌では、有機物分解により放出されるアンモニウムイオンが下図のようにゼオライトのジャングルジム構造の中にはまり込んで吸着されてしまいます。この場合、すべてのアンモニウムイオンがゼオライトに吸着されるのではなく、一部は水溶性アンモニウムイオンとなり、一定のイオンバランス（化学平衡）が保たれます。この水溶性アンモニウムイオンが土壌中の硝酸化細菌により硝酸イオンに変化し、水溶性アンモニウムイオン濃度が下がると、ゼオライトに吸着されていた交換性アンモニウムイオンがゼオライトから放出され、水溶性アンモニウムイオンに変わる、という流れです。

図 ゼオライト施用の有無による硝酸化成作用の違い



土壌中の粘土鉱物や腐植にも陽イオンを吸着する能力がありますが、吸着されたアンモニウムイオン（交換性アンモニウムイオン）に対する水溶性アンモニウムイオンの割合はゼオライト施用土壌より大きいので、その分ゼオライト施用土壌よりアンモニウムイオンが硝酸イオンに変わ

る速度が速まります。

このように、ゼオライトを施用した土壌では硝酸化成細菌による硝酸化成作用が抑制されるため窒素肥料の肥効が高まり、それが収量アップにつながります。これらは「有機物から放出されたアンモニウムイオンがいったんゼオライトに蓄えられ、徐々に野菜の主力養分である硝酸イオンに変えられる」と考えれば分かりやすいでしょう。

ゼオライトの特性を生かした使い方

土

壤や栽培条件さえ合えば、ゼオライトを土壌改良資材として直接施用することも有効ですが、次はどのような土壌や作物でも役立つゼオライトの利用法を紹介しましょう。その使い方のコツは、アンモニウムイオンの特異吸着性の活用にあります。

有機物とゼオライトの相性を利用した使い方として、ゼオライト堆肥（写真2）とゼオライトぼかし（写真3）があります。堆肥あるいはぼかしの原料に10～20%のゼオライトを混ぜる方法です。その効果は、ゼオライトがアンモニウムイオンを吸

着するので、アンモニアガスの揮散量が減り悪臭防止に役立つのと、できあがった堆肥やぼかし中にアンモニウムイオンが含まれるので、畑やハウスに施用後のゼオライト無混和資材より窒素肥効が速まる効果があります。また、このようなゼオライト入り堆肥やぼかしを連用すれば、徐々にではありますが土壌中にゼオライトが施されることになり、長い目で見ると直接施用と同様の効果も期待できます。



→ゼオライト堆肥の製造。
右側が牛ふん堆肥、左側がゼオライトを10%添加して製造したゼオライト堆肥。

ゼ

オライトは有機物とだけではなく、硫安や尿素、リン安などの化学肥料や油かすなどの窒素を多く含む有機質肥料ともよく合います。有機物と同じく、アンモニウムイオンをゼオライトに貯め込む方法です。ただし、予めゼオライトを土壌に施用しておいてから窒素肥料を施用するのでは貯蔵効率が下がるので、肥料にゼオライトを10～20%混ぜて施します。その場合には全層施用より溝肥とするのが効率的です。



→ゼオライトぼかしの製造。
大豆油かすにゼオライトを20%添加したゼオライトぼかし製造の様子。

なお、肥料取締法では成形複合肥料の中にゼオライトを25～32%混合することが認められています。そのため、市販されている肥料の中にはすでにゼオライトが添加されていることもあるので、この方法は化学肥料の単肥や有機質肥料を単独で施用する場合に最適といえるでしょう。

ゼオライトは、カリウムイオンをアンモニウムイオンと同じように吸着します。また、ゼオライトに含まれるカルシウムイオンがリン酸と結合するので、リン酸やカリウムの肥効率向上も期待できます。ただし、野菜畑やハウスの土壌中にはそれらが蓄積傾向にあるため、ゼオライト施用のねらい目は、やはり窒素の肥効率向上といえるでしょう。

ゼオライトの選び方と施用法

3

カ所の栽培試験を行った際に、市販ゼオライトには大きな価格差があったため、使用するゼオライトはできる限り安価でCECが約150と大きなものを選びました。また、同じゼオライトメーカーであっても粒径による価格差もかなりあり、粒径が2mm程度に揃っているものは高

く、粉状品が最安値でした。選んだものはもちろん粉状品です。なお、同じゼオライト鉱山産であれば、粒径の違いによりCECが異なることはありません。このようなゼオライトの粒径による価格差は現状でも全く変わりません。

ただし、粉状品を肥料のように散布すると、写真4のように飛散して大変なことになります。特にハウスの場合には作業環境が著しく悪くなります。そこで、写真5のように袋の片側を鎌などで切り裂き、後ろに下がりながら袋を引っ張るのが良策です。この方法はゼオライトだけではなく、石灰資材や乾燥鶏ふんなどを施用する場合にも応用できます。また機械散布する場合には、ブロードキャスターよりライムソワーが適しています。

ゼオライトは、ゼオライト堆肥やゼオライトぼかしの原料として、あるいは肥料との混合資材として使う場合にも粉状品がよいでしょう。なお、粒状ゼオライトは「見かけは砂でも、中身は粘土」という、ほかの資材にはないすばらしい特性を持っています。自前でゼオライト培土を作る場合などには、少し割高でも粒状品を使ってください。



→作業環境の悪いゼオライト施用法。



→作業環境のよいゼオライト施用法。

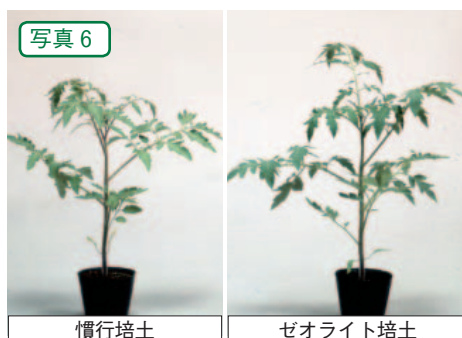
研究事例ファイル ～ゼオライトを主原料とする園芸用育苗培土～

私がゼオライトの農業利用について研究を開始したのは1977年です。現在も続けているので、今年で33年目を迎えます。その中で最も大きな成果がゼオライト培土（写真6）ではないかと思っています。

今でこそ野菜の育苗に市販培土を使うことは当たり前になっていますが、ゼオライト培土の研究を始めたころは、床土は手間暇かけて作るもので、買う人はいないといわれた時代でした。ただし、長野県のハクサイ産地では根こぶ病対策としてソイルブロックやパーポットなどによる隔離育苗が定着を見どころでした。また、トマトなどの果菜類では加熱消毒した山土に肥料を混合して粒状に成型した培土がすでに市販されていました。そこで、ゼオライトを主原料とする園芸用育苗培土の開発に着手し、1992年に日本とアメリカの特許を取得しました。

粒径1～2mmのゼオライトが主原料（重量割合で50%以上）で、保水材としてビートモスやバーミキュライト、パーライト、肥料成分としてリン安と必要に応じてマグネシウムや微量元素を混合し、それに培養した硝酸化成細菌を添加して育苗初期の硝酸生成を促進させます。このようなゼオライト培

土が1991年から市販されました。最初の数年は伸び悩みましたが、2000年ごろから全国で20万袋以上が使われるようになりました。この育苗培土の最大の特長は、ゼオライトのアンモニウムイオン吸着力により窒素の肥効が持続することです。そのため、特に育苗期間の長いネギなどに最適です。また、原料すべてが土壌改良資材であるため、定植後の土壌改良にも役立ちます。2008年に特許が切れたので、その前後から類似の培土が多く市販されるようになり、ゼオライトの普及に役立つことができました。なお、現在では従来のゼオライト培土をさらに改良して、育苗だけではなくほかの機能性を付加した新ゼオライト培土の開発に力を注いでいます。



↑ゼオライト培土によるトマトの育苗（右）。