



↑露天掘りされているゼオライト（山形県米沢市板谷鉾山）。

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」

3

東京農業大学 土壤学研究室

教授 後藤 逸男

土壤改良資材であるゼオライトは、肥料資源の大部分を海外に依存しているわが国において、数少ない国産資源といえます。CEC（陽イオン交換容量）の大きな国産ゼオライトを有効に利用することで、窒素やカリ肥料の節約、野菜収量のアップを図ることが可能です。肥料高騰の今だからこそ、上手に使って資源と経費からムダをなくしましょう。



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1）

「ゼオライト」をご存じですか？

皆

さんは「ゼオライト」という土壤改良資材をご存じでしょうか？多くの農家の皆さんがその名前を聞いたことがある、あるいは使ったことがあるのではないのでしょうか。家庭園芸などでは「根腐病防止材」というものがよく使われますが、実はこれがゼオライトです。最近あまり見かけませんが、少し前までは猫のトイレに使われていた猫砂もゼオライトそのものです。

ゼオライトとは、ケイ酸とアルミ

ナを主成分とするアルミノケイ酸塩鉱物の仲間で、土壤の胃袋ともいえる陽イオン交換容量（CEC）が大変大きな鉱物です。天然品と人工品があり、天然ゼオライトは今からおよそ2000万年前の火山活動が活発だったころ、海底に堆積した火山灰が圧力や熱の影響で変化して生成したものです。一方、人工ゼオライトは火力発電所から発生する石炭灰（フライアッシュ）などケイ酸とアルミナを多く含む資材に、アルカリを加えて化学反応により合成したゼオライトです。人工ゼオライトのCECは天然ゼオライトより数倍も大きいのですが、多量の水素イオンを

含んでいるなどの理由で農業利用には適しません。天然ゼオライトの原料は火山灰なので、火山国の日本ではゼオライトが大量に産出されます。そのため、農業利用されるゼオライトといえば天然ゼオライトのことを指します。

このゼオライトを上手に使うと、窒素やカリ肥料を節約したり、野菜の収量を上げることができます。ただし、いい加減に使うと何の効果も得られません。そこで、今回はこのゼオライトを上手に使うコツを2回に分けてお話ししましょう。そのためには、まずゼオライトのことをよく理解する必要があります。

※1 陽イオン交換容量（CEC）…土壤が陽イオン（カルシウム、マグネシウム、カリウム、ナトリウム、アンモニア、水素など）を吸着できる最大量。この値が大きいものほど多量の陽イオンを吸着でき、保肥力が高い土壌とされる。

ゼオライトの上に浮かぶ 日本列島

日本は、天然資源の乏しい国といわれます。特に肥料資源ではその大部分を海外に依存しています。ゼオライトは数少ない国産資源です。その埋蔵量は無尽蔵ともい

われ、ゼオライトの専門家の中には「日本列島がゼオライトの上に浮かんでいる」と、例える人もいます。現在、秋田県・山形県・宮城県・福島県・島根県などに鉱山があり、ほとんどが前頁写真1のような状態で露天掘りされています。いずれも、

写真2



市販品 原石

↑ゼオライトの原石（右）とそれを粉砕した市販品（左）（山形県米沢市板谷鉱山産）。

第1表 国産およびインドネシア産ゼオライトの品質と価格

製 品	沸石含有率 %	C E C(meq/100 g)			価格 円/20kg
		実測値 (B)	表示値 (A)	B/A	
A	20	84.8	138	0.61	1,500~2,000
B	51	97.5	150	0.65	
C	52	103	149	0.69	
D	74	147	150	0.98	
E	79	148	150	0.99	
F	77	153	150	1.02	1,000~1,500
G	76	159	150	1.06	
H	82	164	150	1.09	
I	83	182	160	1.14	700~1,000
J	78	172	150	1.15	
西ジャワA	54	88.5	—	—	
西ジャワB	26	83.5	—	—	

研究事例ファイル

およそ2000万年前に海底深くでできたゼオライトがその後の地殻変動で隆起し、現在ではゼオライトの山になっています。写真2の右がゼオライト鉱山から採掘された原石で、それを細かく粉砕して粒径を揃えた粒状のゼオライト（写真2の左）が農業用として市販されています。

ゼオライトが土壌改良資材として利用され始めたのは、昭和30年ごろからです。その10年後くらいだったと記憶していますが、農業界で脚光を浴びた時代がありました。「連作障害や塩類障害によく効くケイ酸鉱物」などと、いかにも「魔法の石」と思わせるような誇大効果によりゼオライトブームが沸き上がったのです。しかし、使ってみたら効果がな

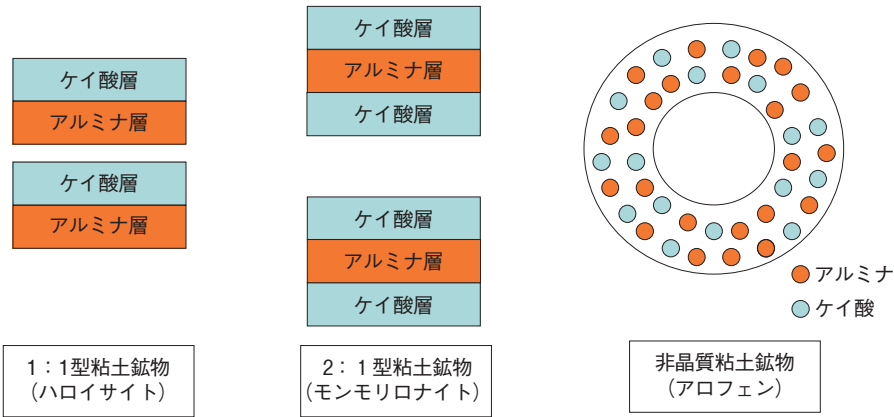
研究の手に始めに全国各地で市販されていたゼオライト10点を購入し、ゼオライトの主成分である沸石（クリノプロクロライトあるいは

モルデナイト）の含有率と、C E Cを測定しました。その結果、第1表のように値段の高いものほど沸石含有率とC E Cが低く、商品の袋に記載されたC E Cの表示値と実測値とのずれが大きい傾向にあることが分かりました。

その当時はゼオライトに限らず、怪しげな土壌改良資材がたくさん世の中に出回っていました。そこで、昭和59年に制定された「地力増進法」の中で科学的に施用効果が認められている土壌改良資材を政令指定土壌改良資材と定め、品質に関する表示を義務づけるようになりました。もちろん、ゼオライトは当初より保肥力を高める土壌改良資材として政令指定されています。ゼオライトにはそのような経緯があるため、すばらしい純国産農業資源であるにもかかわらず、十分に使いこなされていない現状にあります。

インドネシアもゼオライト産出国です。その代表的な産地から採取した2点のC E Cを国産の高品質ゼオライト（第1表の試料F・J）と比べてみると、半分くらいに過ぎません。ほかの外国産ゼオライトも調べましたが、日本のゼオライトが「世界一」でした。

第1図 土壌中の粘土鉱物の種類と構造（模式図）



第2表 ゼオライトとモンモリロナイトの化学組成の比較

成分（％）	ゼオライト（福島産）	モンモリロナイト（宮城県産）
ケイ酸（SiO ₂ ）	66.2	69.5
アルミナ（Al ₂ O ₃ ）	11.5	15.4
鉄（Fe ₂ O ₃ ）	1.67	1.87
マグネシウム（MgO）	0.66	3.75
カルシウム（CaO）	2.1	1.87
カリウム（K ₂ O）	4.3	0.18
ナトリウム（Na ₂ O）	1.04	0.4
CEC（meq／100g）	155	81.0

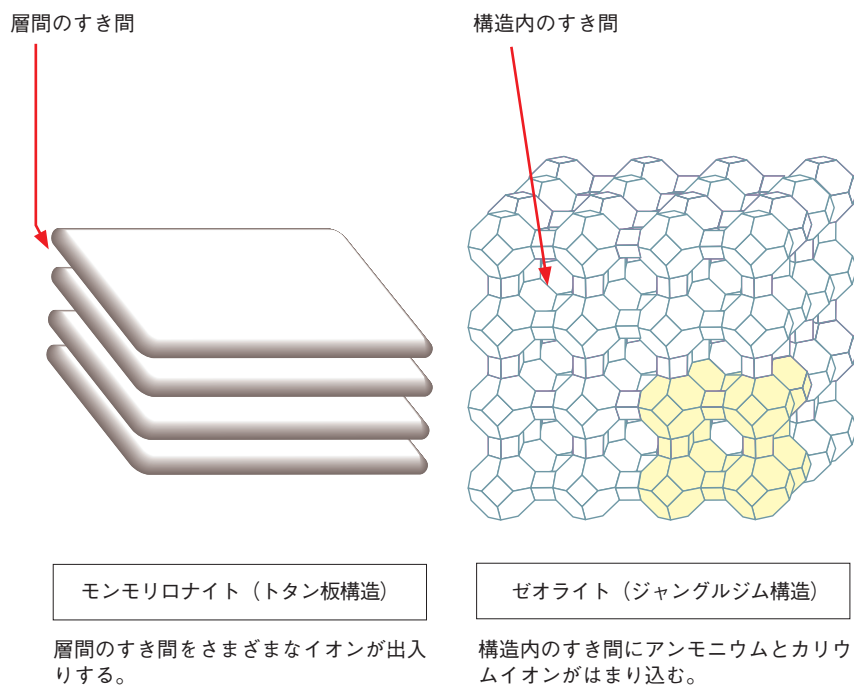
モンモリロナイトより大きな胃袋

ゼオライトとモンモリロナイトを、混同している人がたくさんいます。モンモリロナイトとは、土の保肥力（肥もち）の源である粘土鉱物のひとつです。粘土鉱物は、第1図のように結晶構造の違いにより、板状のケイ酸層とアルミナ層がそれぞれ1枚ずつ重なり合った1…1型、2枚のケイ酸層の間にアルミナ層が挟み込まれた2…1型、中空球状構造のアロフェンに大別されます。1…1型粘土鉱物（カオリン）に属するのはハロイサイトやカオリナイトで、ハロイサイトは日本の土壌中に含まれる最も一般的な粘土鉱物です。カオリナイトは、熱帯地域の赤い土に多量に含まれています。また、アロフェンは黒ボク土に含まれ、アルミナを多く含む粘土鉱物です。モンモリロナイトは世界一の土といわれるチェルノーゼムに多量に含まれ、日本では北陸地域の水田土壌中に少量が含まれています。このモンモリロナイトが、農業では「優良粘土鉱物」なのです。それはなぜでしょうか？

理由は、アルミナよりケイ酸が多く含まれているからです。一般に、アルミナに対するケイ酸の含有割合が多いほど粘土鉱物中に陰電荷（マイナスの電気）が多く生じます。陰電荷が多いほど、アンモニウムイオンやカルシウムイオン、マグネシウムイオン、カリウムイオンといった野菜の養分となる肥料成分を、電氣的に吸着できます。すなわち、そのように陰電荷をたくさん持っている粘土鉱物ほど、土の胃袋に相当するCECが大きいです。

それでは、ゼオライトはどうでしょう？ 第2表のようにケイ酸含有量はモンモリロナイトとほとんど変わらないのですが、アルミナが少ないため、モンモリロナイトよりたくさん陰電荷を持っています。モンモリロナイトのCECが100くらいであるのに対し、ゼオライトでは150にもなります。表には示していませんが、ハロイサイトはわずかに10程度、アロフェンではそれ以下のCECに過ぎません。このことから、ゼオライトの胃袋がいかに大きいか分かるでしょう。しかし、これで驚いてはいけません。ゼオライトには、まだまだ多くの秘密が隠されているのです。

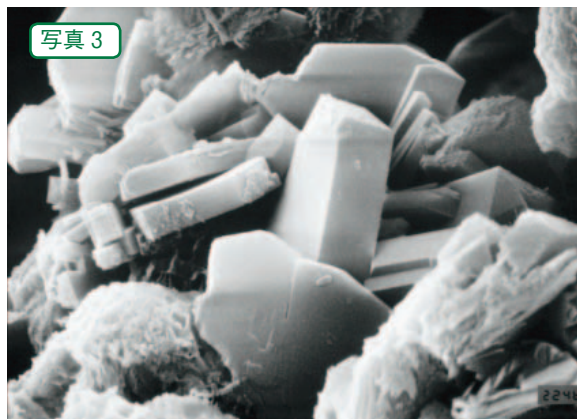
第2図 ゼオライトとモンモリロナイトの構造の違い



ゼオライトの構造は永久に不変

ゼオライトとモンモリロナイトでは、結晶構造が全く違います。モンモリロナイトは第2図のようなトタン板を積み重ねたような板状構造ですが、ゼオライトは三次元

網目状と呼ばれる構造で、分かりやすくいえばジャングルジムのようなものです。例えば、重ねたトタン板の上に人が乗ればへこんでしまいますが、ジャングルジムではそのすき間の中にたくさんの子どもが入り込んでもびくともしません。このように、ゼオライトはモンモリロナイトよりもその構造が頑丈で、モンモリ



←福島県産ゼオライトの電子顕微鏡写真（写真提供：日東粉化商事株式会社）
ゼオライト構造のすき間は電子顕微鏡でも見ることができないほど小さい。

ゼオライトのすき間はナノサイズ

ゼオライトのCECは大きいだけでなく、アンモニウムイ

オナイトは土壌に施用された後、徐々に構造が崩れてCECも小さくなってしまいう一方、ゼオライトは土壌中でも全く構造が変わらず、大きなCECはいつまでも持続します。

オンとカリウムイオンを特異的に吸着します。その理由は、ジャングルジムのすき間と両イオンの大きさがほぼ等しいため、すき間の中にすっぽりとはまり込んでしまうからです。これらのイオンは少しずつジャングルジムから出て植物の根に効率よく吸収利用されるので、肥料の利用率が高まるのです。また、ゼオライトが根腐病防止材や猫砂として役立つのも、アンモニウムイオンをよく吸着するためです。

すき間の大きさは1億分の1cm程度のナノサイズで、写真3のように、電子顕微鏡でも見ることができません。そのため、ゼオライトの中にはアンモニウムイオンやカリウムイオンより小さなイオンしか入り込むことはできません。「ゼオライトが微生物の住み家になる」と、よくいわれますが、それらのイオンより遥かに大きな微生物が実際にはゼオライトの中に入り込むことはできません。「アンモニウムイオンはゼオライトの中に入り込めるが、微生物は入れない」という性質が、実はゼオライトに吸着された窒素肥料をゆっくり効かせる効果を生み出すのです。ここが、ゼオライトを使う上でのキーポイントです。

ま

た、ゼオライトの効能として、土壌の保水性が高まるともよくいわれます。市販されているゼオライトは乾燥品であることが多いので、確かに水をよく吸収します。しかし、それらの水は吸着水と呼ばれ、植物が吸収利用できない水なのです。ゼオライトには保水力はありません。土壌の保水性を高める土壌改良資材には、バーミキュライトやパーライト、ピートモスなどが挙げられます。

効かないゼオライト中の ケイ酸

ゼ

オライトとモンモリロナイトのケイ酸含有量はどちらも約70%にも達しますが、ゼオライト中のケイ酸はほとんどがジャンゲルジム構造を作り上げているので、ゼオライトから溶け出して植物に吸収されることは期待できません。ただし、市販されているゼオライトの中には不純物として少量のモンモリロナイトが含まれていることがあります。モンモリロナイトは土壌中でゆっくりですが分解され、その際に2…1型結晶構造中のケイ酸が少量溶出します。このケイ酸の一部がイネのほか、キュウリやメロンなどケイ酸

を利用するウリ科野菜に吸収されることは大いに考えられます。特に最近の渡辺和彦らの研究で、ケイ酸がウリ科野菜の耐病性を高めることが分かっています。しかし、ケイ酸を効かせたいのであれば、モンモリロナイトよりケイ酸質肥料を使った方が合理的です。

ゼオライトは天然ミネラル鉱物で、微量要素の供給に役立つという話も時々耳にしますが、人工的に添加しない限り天然のゼオライトに微量要素補給効果は全くありません。

塩類濃度対策にも 役立たないゼオライト

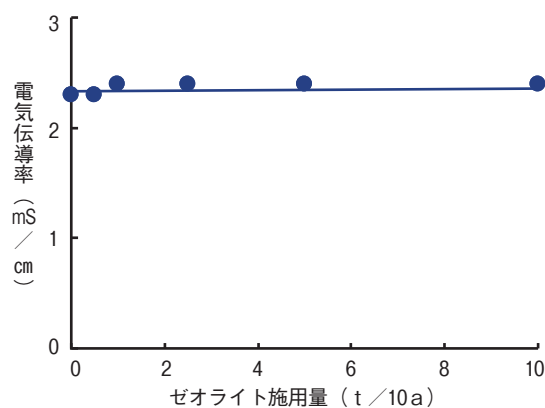
施

設野菜農家が最も期待するゼオライトの効能のひとつが、塩類濃度抑制のようです。しかし、ゼオライトにはそのような効果は全くありません。今から20年ほど前になりますが、ゼオライト研究が最前線のころ、塩類濃度を高めた砂地の土壌にゼオライトを施用して、電気伝導率（EC）の変化を調べる実験を行いました。実は、結果は最初から分かっていたのですが、ゼオライトの塩類濃度抑制効果を信じる農家を納得させるため、あえて行った実

験でした。案の定、第3図のような結果となりました。

土壌中の塩類濃度というと、その原因物質を塩分と思っている農家も多いようですが、その正体は「硝酸イオン」と呼ばれる窒素肥料成分そのもののものです。この硝酸イオンは、肥料として施した化学肥料や有機質肥料ばかりでなく、堆肥中の窒素成分が土壌微生物の作用で変化した最終生成物です。ゼオライトは大きなCECを持ち、陽イオンをたくさん

第3図 ゼオライトを施用しても電気伝導率は下がらない



吸着しますが、陰イオンである硝酸イオンを吸着する能力はありません。そのために、電気伝導率が高まったハウスにゼオライトを施用しても効果がありません。

塩

類濃度の上昇を抑えるには、土壌診断結果に基づいて窒素施用量を減らすことが最善の対策です。また、ソルゴーなどの緑肥を作付け、硝酸やリン酸、カリなどを吸収させてそのまま鋤き込む方法もあります。ただし、せっかく硝酸などの肥料成分を吸収させたソルゴーを刈り取ってハウスから出し、捨ててしまう人もいます。これは肥料が高騰しているこの時期に、大変もったいない行為といえます。

肥料の三要素のひとつであるリン酸イオンも陰イオンなので、ゼオライトには直接吸着されませんが、ゼオライトに吸着されているカルシウムと反応して植物に利用されやすいリン酸カルシウムとなります。間接的にはありますが、ゼオライトはリン酸肥料を効かせる助っ人にもなるのです。

これで、ゼオライトの基礎をご理解いただけたと思いますので、次回には具体的な使い方についてお話しします。