

## ゼオライトによる土壌中の水分・塩分制御

安田 裕\*、田熊 勝利\*、福田 武治\*\*、荒木 有美枝\*\*\*  
鈴鹿 淳一\*\*\*\*、福島 由香子\*\*\*\*

平成10年6月26日受付

\*鳥取大学農学部生存環境科学講座、\*\*水資源開発公団、\*\*\*昭和株式会社、\*\*\*\*鳥取大学農学研究科

## Effects of Zeolite on Water and Salt Control in Soil

Hiroshi Yasuda\*, Katsutoshi Takuma\*, Takeharu Fukuda\*\*, Yumie Araki\*\*\*  
Jinichi Suzuka\*\*\*\* and Yukako Fukushima\*\*\*\*

\**Department of Environmental Sciences, Faculty of Agriculture, Tottori University, Tottori 680-8553*

\*\**Aichi Office, Water Resources Development Public Corporation, Tenjin 5-35 Inuyama, Aichi 484-0073*

\*\*\**Showa co., Ltd., Hirakawa 1-72 Chiyoda Tokyo 102-0093*

\*\*\*\**The Graduate Course of Agriculture, Tottori University*

To evaluate effects of zeolite on water and salt control in soil, laboratory tests and plantation tests in the field were carried out. Prior to the column tests to evaluate the cation exchange, basic physical tests and basic chemical tests were carried out. While the powder type zeolite indicates high CEC and water retention capacity, it gives low hydraulic conductivity to sand. On the other hand, high CEC of the zeolite is expected to mitigate salt damage to the plants under salt water irrigation. According to the basic chemical tests, the effects of mitigation to salt damage owe to a reaction to exchange Na in salt water for Ca of zeolite. Results of plantation tests indicated that zeolite has an effect to mitigate the salt damage of plants and that the leaching of  $\text{CaCl}_2$  substitutes absorbed Na in zeolite for Ca. Substituted zeolite gives high productivity to sand. Zeolite amendment is an effective way to improve soil condition in an arid and semiarid environment.

(Received 26 June 1998)

*Keywords: Zeolite, Cation exchange, Salt irrigation, Water retention capacity.*

### 緒 言

近年、アフリカ・サヘルでみられるような半乾燥地域において植生が衰退し、乾燥地域と同様の地況を呈するような、いわゆる砂漠化現象が、各地にみられ大きな問題となっている。また、乾燥地における塩類集積の問題は、乾燥地の限定された灌漑水が塩水化していることから、乾燥地における農業環境を阻害する悪循環の根元を

形成している。

従って、人口抑制などの社会政策的な対応が基本的に重要であるが、農業・農村開発の立場からは水資源の有効利用、塩害の防止、土壌保全や砂丘の移動防止のための植生の保護・育成などの対策を講じて土地の生産力及び環境の維持・保全さらには改善をはからねばならない。

一方で、エネルギーとしての石炭は、例えば東アジアの潜在工業大国と位置づけられる中国では、主エネルギー

一として大量使用されている現状であり、産業廃棄物としての石炭灰の処理が、風下の隣国である日本にとっても重大な関心事であることは否定できない。

石炭灰から、安価に大量生産できるゼオライトは高い水分・化学物質の制御効果を持つことから、その乾燥地農業分野への応用が高く期待されているものである。

そのため、本研究においては、ゼオライトの基本的な物理性、化学性について室内実験を行った後、実際の農地を想定して、カラム試験を実施し、塩水灌漑の塩害除去効果機構を解明しようとしたものである。さらに、実際に作物に対する効果を知るために、栽培実験を実施したものである。

## ゼオライト

### ゼオライトの特性

ゼオライトは、主要な化学組成が  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$  の結晶性アルミノケイ酸塩である。その結晶水は加熱によって放出され水蒸気になることから、ゼオライト (zeolite) と命名され、「沸石」と邦訳されている。

ゼオライト中の空洞あるいは空洞が連続した孔路を、細孔という。結晶水を包蔵している細孔は、結晶水が脱離すると多孔質の吸着媒となる。この脱水ゼオライトは網目構造の細孔を通じて各種の分子を空洞または孔路内に吸着するが、この細孔は均一径を持つため、分子径がこの孔径より小さい分子しか吸着しない。この選択的な分子吸着作用は分子ふるい効果と呼ばれ、ゼオライトの最も大きな特徴である [1, 3]。

また、ゼオライトは高い陽イオン交換容量 (CEC) を示し、交換性陽イオン含量に優れているため、そのイオン交換により、前述の分子ふるい作用のほか、吸着特性、触媒能といった様々な性質を持つ。これらの性質を応用して乾燥剤、ガス精製、炭化水素分離、洗剤用ビルダー、放射性廃棄物処理、石油精製、環境浄化、排煙処理等に利用されており、農業分野に於いても、土壌改良資材としてのほか家畜給餌補助剤、家畜排泄物処理等に使用されている。

### 人工ゼオライト

火力発電所から排出される石炭灰をアルカリ処理で人工的にゼオライト転換して得られるゼオライトのことを、人工ゼオライトと呼ぶ。

この人工ゼオライトは、天然ゼオライトに比べて形が均一であり、陽イオン交換容量 (CEC) が天然ゼオライトよりも高く、また一連の作業工程の中で Ca 型置換が行われるため、天然ゼオライトでは僅かしかなかった

Ca を多く含むことになり、より Ca 型に近いものを得ることができる。

今回使用した人工ゼオライトは、木村化工機製人工ゼオライトの粒状 (以下 KG) と粉状 (以下 KP)、新日鐵製人工ゼオライトの粉状 (以下 SP) の、3 種類とした。

### 天然ゼオライト

天然ゼオライトは、O、Si、Al、アルカリ、アルカリ土壌等地殻に最もありふれた元素を主成分とし、低温・低圧条件下で生成するため、天然に比較的多く産出する鉱物である。堆積岩中に伴うゼオライトは、非常に微粒であるが量的に膨大であり、採掘費も安価なので資源的に重要な意味を持っている。

今回の実験では、天然ゼオライトのイズカライトの粒状 (以下 IG) を使用した。イズカライトは、島根県瀬戸内郡の仁万鉱山より産出されたゼオライトを加工したものである。

## 基礎実験

### 実験内容及び方法

試料としては、鳥取砂丘砂、並びにこれに粒状、粉状人工ゼオライト、粒状天然ゼオライト (以下 KG、KP、IG と表す) を均一に質量比で 1、5、10、20% 混合したものをを用いた。

培地土とした砂は、鳥取大学乾燥地研究センター内で採取した砂丘砂を用いた。砂丘砂の物理性については、自然含水比  $w_n$ 、4.36%、砂粒子密度  $\rho_s$ 、 $2.63 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  であった。

この実験におけるゼオライトの混合率は、次式で与えられる。

$$M = W_r / (W_r + W_s) \times 100$$

ここに、M : 混合率 (%)、 $W_r$  : ゼオライトの風乾重量 (g)、 $W_s$  : 砂丘砂の風乾重量 (g)

#### (1) 基礎物理試験

① pF 試験 : pF1.0 ~ 2.5 を吸引法で、2.6 ~ 4.2 を遠心法で行った。② 透水試験 : 100ml 用簡易型変水位透水試験を行った。

#### (2) 基礎化学試験

① 土の pH 試験 : 風乾細土に対する蒸留水の質量比が 1 : 2.5 となるように蒸留水を試料に添加し、攪拌機で攪拌し、30 分以上 3 時間以内静置した。ポータブル pH 計にて、15 分後の pH 値を採用した。② CEC 試験

: CEC 並びに交換性陽イオンを測定した。

### (3) イオン交換水流過試験

灌漑水としての利用を想定し、そこで塩水流過の初期段階として、各試料にイオン交換水を流過させると、どのような化学物質が含まれているかを知る必要から 600ml 流過したときの流出水の EC 変化、並びに最初の 100ml 中に含まれる各イオン濃度を測定した。

### 結果

基礎物理試験の結果から得られたゼオライト混合砂の性質を以下に述べることにする。まず、土壤水分保持特性 (pF 曲線) を KG, KP について、図-1 に示す。ゼオライトの混入は明らかに砂丘砂の水分保持特性を上昇させる効果があることが明白である。実際の作物栽培への応用を勘案し、pF 試験の水分特性曲線より、砂丘砂の有効水分域を pF(2.3 ~ 3.0) と仮定した有効水分率の結果をみると、砂丘砂を標準として、KP20% で 2.6 倍、KG20% で 2.1 倍、IG20% で 1.3 倍と増加している [4]。

一方、透水試験結果 (図-2) をみると、KP20% の透水係数は、砂丘砂に比対数レベルで  $10^{-2} (\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$  も低下しており、排水性の悪さが顕著である。保水性、排水性の両面から考えて、混合率は 5% 未満が好ましいと考えられる。

基礎化学試験の結果から、土の pH については、KG、KP 混合土が高い pH 値を示していることがわかる。また、IG 混合土の pH の変化は、ほとんどみられなかった。CEC 試験結果を表-1 に示す。CEC 値については、ゼオライト混合率の増加に伴い、高くなっており、ゼオライトが持つ高いイオン交換能を裏付ける結果となっている。

カルシウム飽和度、ナトリウム飽和度とは、以下の式に示すとおり、全吸着サイトをカルシウムイオン、ナトリウムイオンが占める割合である。これらを測定すると、砂丘砂の Na イオン飽和度が約 60% と高くなっている。これは、砂丘砂の持つ少ない吸着基に塩水流過時間の経過に伴い、Na イオンが吸着したためと考えられる。両飽和度ともに、(砂丘砂) > (KG 混合土) > (IG 混合土) となっている。イオン交換の反応時間などもこの飽和度に影響を及ぼしているものと考えられる。

$$\text{カルシウム飽和度 (\%)} = \frac{\text{Ca (meq)}}{\text{CEC (meq)}} \times 100$$

$$\text{ナトリウム飽和度 (\%)} = \frac{\text{Na (meq)}}{\text{CEC (meq)}} \times 100$$

表-1 CEC 試験結果 (meq/100g dry solid)

	CEC	K	Na	Ca	Mg	塩基飽和度 (%)
砂	4.43	2.17	0.02	0.24	0.53	68.7
KG1%	24.60	2.13	0.98	2.25	0.95	25.6
KG5%	94.13	2.55	8.09	16.90	0.53	29.8
KG10%	123.89	2.90	10.18	22.30	0.03	28.6
KG20%	193.66	3.46	17.04	34.09	0.11	28.2
KP1%	30.13	2.03	0.79	2.97	0.45	20.7
KP5%	160.62	2.43	4.44	16.49	0.64	14.9
KP10%	236.31	3.20	8.21	29.86	0.04	17.5
KP20%	360.50	4.41	15.57	52.71	0.01	20.2
IG1%	22.02	2.10	0.85	1.06	0.01	18.2
IG5%	67.20	2.16	3.21	2.62	0.02	11.9
IG10%	77.95	2.72	5.49	4.25	0.40	16.5
IG20%	132.03	2.84	9.21	6.78	0.01	14.3

イオン交換水流過流出イオン測定試験をみると、砂丘砂並びに IG 混合砂の EC 値の変化は低く、イオン交換水で簡単に脱着する水溶性陽イオンが希少であった。KG、KP は、最初の 100ml が高い EC 値を示しており、イオンが存在している。特に KG、KP からの Ca イオン、Na イオンの流出が高濃度であった。IG は、極端に低いイオン濃度となっており、水溶性陽イオンはほとんどなかったといえる。

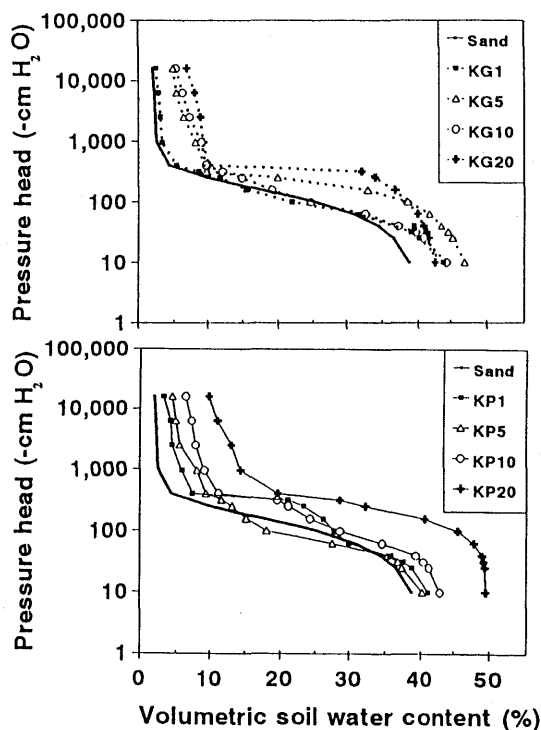


図-1 ゼオライト混合砂の水分保持特性

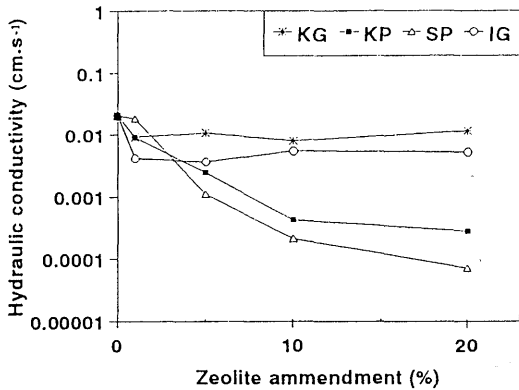


図-2 ゼオライト混合砂の透水係数

カラム試験

実験内容及び方法

前述したように、KG、KPはCaイオン、Naイオンを高濃度で流出していることから、この実験では、イオンの吸着、脱着といった化学反応をカラム実験により確認するため、人工ゼオライトは洗浄して使用した。洗浄の容易さからKG5%を用い、砂丘砂、KG5%、IG5%混合土の組み合わせとした。

それぞれのカラムは、イオン交換水で一昼夜飽和をさせた。そのカラムにNaClaq 2000ppmを15、30、60分流通させる。流通時間終了後、カラムを取り出し、混合土上部に溜まった溶液を除去し、6cmごと5層に土を押し出し分割する。分割された試料を風乾させ、これを供試土とする。

各供試土について、以下の測定を行った。

- ① EC測定について：1対5水浸出法でECを測定した。
- ② pH測定について：前述のpH試験による方法と同様に行った。
- ③ 水溶性陽イオン測定について：EC測定後の試料を測定液とする。この測定液のCaイオン、Naイオン濃度をICPS-5000（シーケンシャル形高周波プラズマ発光分析装置）で測定した。
- ④ 交換性陽イオン測定について：風乾細土5gに対して、1N酢酸アンモニア液100mlを100ml容の瓶に加え60分攪拌する。ろ紙でろ過して、これを測定液とする。測定液のCaイオン、Naイオン濃度をICPS-5000で測定した。

結果と考察

図-3,4に水溶性Na,Caイオン測定結果を示す。図より、最も水溶性Naイオンの軽減効果があったのは、IG5%混合土であった。IG5%混合土は、吸着サイトの数は少ないが初期交換性陽イオン量も少なく、また塩基

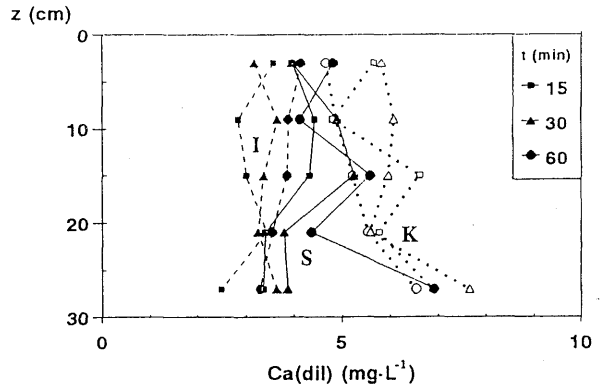


図-3 水溶性Caイオン濃度

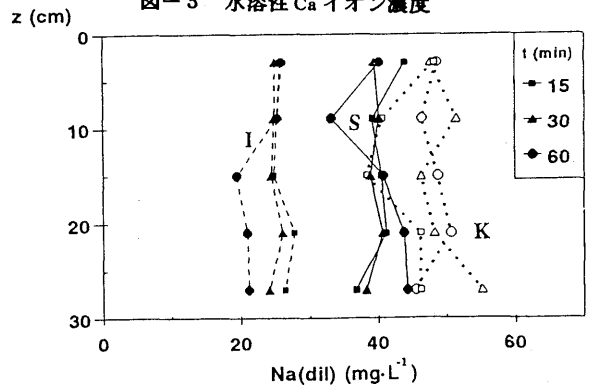


図-4 水溶性Naイオン濃度

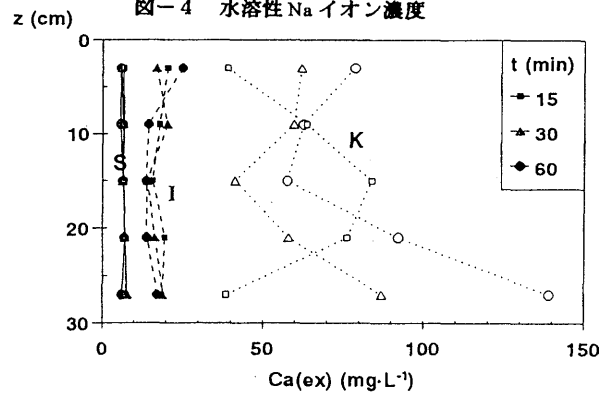


図-5 交換性Caイオン濃度

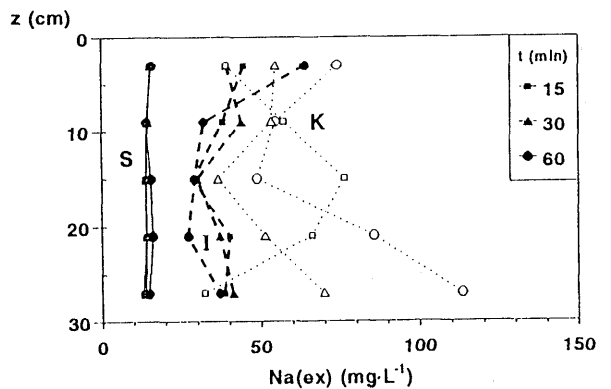


図-6 交換性Naイオン濃度

飽和度も11.9%と低い。それに対してKG5%混合土は、吸着サイトの数は多いが、初期交換性陽イオン量も多く、塩基飽和度も29.8%とIG5%よりも高い。これらの理由から、IGの方が水溶性Naイオンを減少させたと考えられる。しかし、水溶性イオンだけではなく交換性イオンも考慮し、その両面から交換反応を考えなければならない。そこで、図-5に交換性Caイオン量を、図6に交換性Naイオン量を示す。これは、吸着サイトへ吸着されている交換性Ca、Naイオン量の経時変化である。砂丘砂、IG5%混合土に比べてKG5%混合土のCaイオン量が多い。これは、CEC試験結果である初期交換性陽イオン量を考慮すると納得できる結果である。また、KG混合土の交換性Naイオンであるが、KG5%混合土の初期交換性Naイオン量は、約8 meqとなっており、ほぼこれ以上の量となっている。もともと交換性Naイオンを多く保持しているKGにさらにNaイオンが吸着されたためと考えられる。カラム第1層（深さ0~6cm）では、KG、IG混合砂で経過時間経過に伴い、吸着サイトへのNaイオンの吸着がみられる。図-7にNaClaq 60分経過後のCa、並びにNa飽和度を示す。これより、砂丘砂のNaイオン飽和度が60%と高くなっている。砂丘砂の持つ少ない吸着基にNaイオンが吸着したためと考えられる。カルシウム飽和度、ナトリウム飽和度のどちらも(IG) < (KG) < (砂丘砂)となっている。イオン交換の反応時間なども飽和度に影響を及ぼしているものと考えられる。

#### まとめ

ゼオライトによる水分制御効果のうち、保水性の点では、全てのゼオライトに効果が認められた。しかし排水性の点では、ゼオライトの形状が問題となり、粒状は排水性を損なわないが、粉状は、排水性を損なうことがなかった。

また、これまでの研究により、最適混合率は5%程度と考えられるので、ゼオライトによる塩分制御効果を確認するカラム試験では、混合率5%に絞って行った。人工ゼオライトは、CEC値が高く、塩分制御に効果的であると考えられているが、自らも陽イオンを多くもっており、これがイオン反応では悪影響を及ぼしているようである。また、本研究室で、人工ゼオライトの還元利用、すなわち、使用済み人工ゼオライトをCaCl<sub>2</sub> aq でCa置換し、それを再び利用する実験を行った。この実験結果から、置換により、人工ゼオライト混合土壌中のNaイオンを軽減できたという結果が出ている。人工ゼオライト施用については、改善の余地がありそうである。

これに対し、天然ゼオライトは、人工ゼオライトに比べるとCEC値は低い、初期交換性陽イオン量、並び

に塩基飽和度も低く塩分制御に効果的ではないかと考える。今後、より一層の化学反応を考慮した、研究が望まれる。

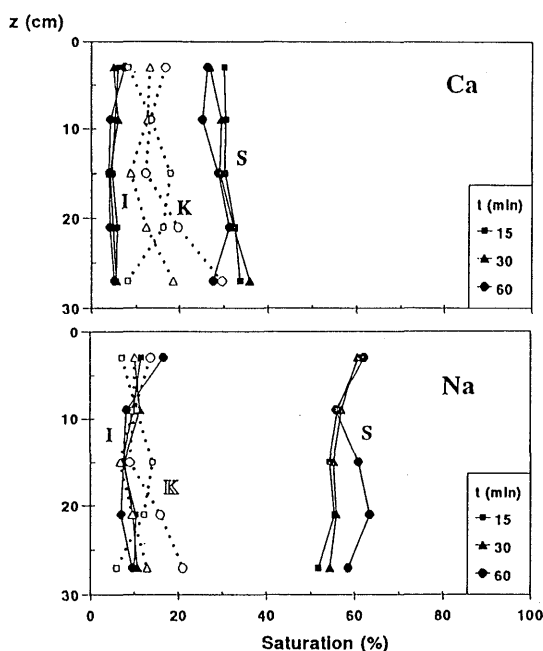


図-7 陽イオンの飽和度

#### 栽培実験

次に、ゼオライトの作物栽培への寄与を評価するために、実際に作物を栽培し、その適応性を観察した結果を報告する。

栽培作物としては、(1)ソバ、(2)ハツカダイコンを用いた、カラムにゼオライト混合砂を入れ、実験に供した。

#### ソバ栽培実験

径15cm、高さ30cmのカラムに、ゼオライトを混合した砂丘砂を25cmの深さまで詰め、ソバを栽培し、作物生育に最適なゼオライトの混合割合を判断した。また第4節まで生長した時点で塩水灌漑(2000ppm)を並行して行い、水道水灌漑(0ppm)のものとの生長の比較を行い、ゼオライトの塩害軽減効果を検討した。

測定項目は、①草丈の生長量、②花の累数、③実の収量及び乾物重量、④収穫後の植物体の最終草丈及び乾物重量とした。栽培期間は1997年8月1日から10月30日までの91日間である。

### 混合率

ゼオライトの混合率はKG, KP, SP, IG に対して 1, 5, 10, 20 % として、それぞれにつき、清水、塩水(2000 mg·L<sup>-1</sup>)の灌漑を行い、これら 16 通り混合率と、混合率 0 % の砂丘砂を加えた計 17 混合率を、水道水灌漑用、塩水灌漑用として 2 組用意し、合計 34 の混合率を実験対象とした。

基礎物理試験の結果より、粉状ゼオライトは 5% 以上の混合率になると水はけが非常に悪くなり、植物の生長には適さないと考えられ(図-2)、また、KG 5 %、IG10% は水分条件からみて植物の生育に適すると推測できる。

図-8 に清水、塩水灌漑双方による収穫後のそばの草丈と乾物重量を示す。前述の推測の通り、0ppm 灌漑の粉状ゼオライト 5 % 以上のものは、草丈の生長を始めとして花数、実の収量、最終草丈及び乾物重量をみても、生育が明らかに悪いと分かる。その他、図-8 より、KG20% も作物の生育に適さないとと思われる。

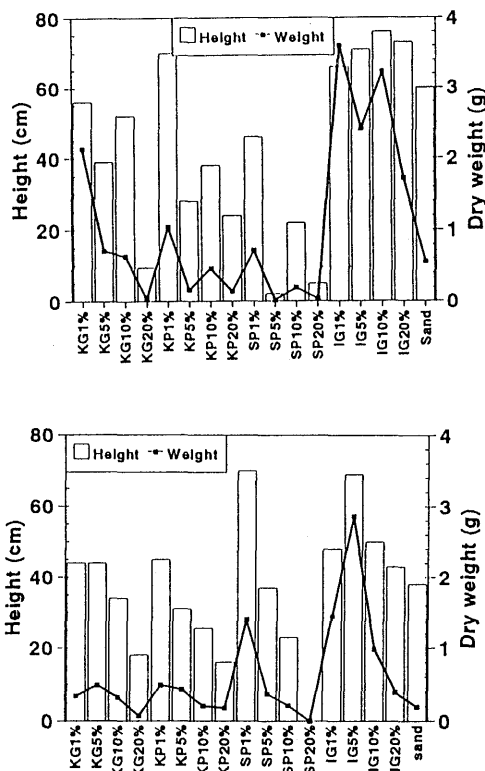


図-8 ソバ収穫後の草丈、乾物重量(上:清水灌漑、下:塩水灌漑)。

同項目からみてゼオライトの効果があったと考えられるのが、KG1、5%、KP1%、SP1%、IG1、5、10、20%で、これらは砂丘砂よりも生長が良かったといえる。IGは中でも最も生育が良く、作物の生長に最適といえる。

2000ppmの塩水灌漑に対してはいずれも収穫前に枯れたが、KG5%、KP1%、SP1%、IG1、5、10、20%は塩水灌漑中も草丈がよく生長している。また花数や最終草丈及び乾物重量を考慮して比較すると、SP1%、IG1、5、10%の生育が良好であるので、塩害軽減効果があったと認められる。

### ハツカダイコン栽培実験

本研究室で行った流過実験結果より、砂丘砂並びにイヅカライト混合砂の流過流出水には、可動陽イオン濃度の変化はほとんどみられないが、Kライト混合砂は可動陽イオンの流出が顕著であることが分かる。このことから、実際に圃場でKライトを使用する場合には、混合前に洗浄し可動陽イオンを洗い流すことで、作物の生育をさらに向上させることができると考えられる。

そこで、施用前のゼオライトの洗浄効果を検討することを目的として、洗浄ゼオライト、非洗浄ゼオライトを砂丘砂に混合し、径15cm、高さ30cmのカラムに25cmの深さまで詰め、ハツカダイコンを栽培し、その生長量、乾物重量を調査した。

使用するゼオライトは、洗浄方法が比較的容易なKGのみとし、洗浄と非洗浄を1、5、10、20%の割合で混合して実験を行った。以上8混合率と、混合率0%の砂丘砂を合わせた、合計9混合率で実験を行った。

栽培期間は12月10日から1月26日までの48日間である。

### 結果

ハツカダイコンの栽培の様子、収穫したハツカダイコンの生長量および乾物重量を、図-9に示す。冬期栽培は少なくとも80日以上必要であったが、都合上50日弱で収穫に臨んだため、図9の結果は生長途中のものとなる。しかし、図を見ても明らかなように、洗浄KG、非洗浄KGの生長の差はすでに顕著に現れている。根部はまだ肥大途中だったためはっきりした違いは認められず、乾物重量の差も、葉部、根部の大小によるものと考えられる。

砂丘砂よりも生長が良かったのは、洗浄KG1、5、10、20%、非洗浄KG1、5%で、ゼオライト混合の効果があったと言える。洗浄KG5%は中でも特に葉部、根部の生長が良かった。反対に、最も生育状況が劣悪であったのは非洗浄KG20%で、播種後48日経過しても双葉が出そろわず、全く生長しなかった。

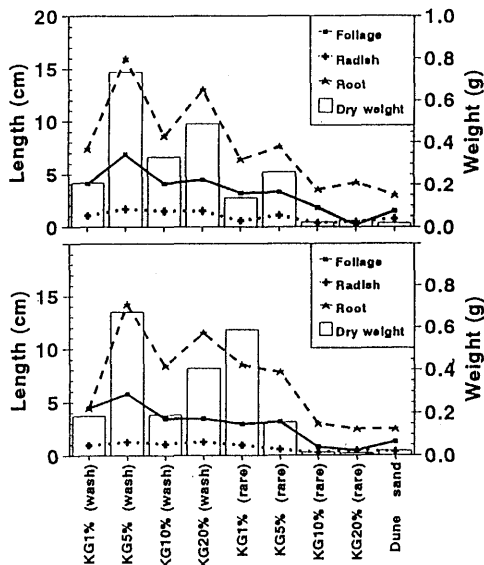


図-9 ハツカダイコン収穫後の葉部、主根部・全根部の長さ及び乾燥重量（上：清水灌漑、下：塩水灌漑）

以上より、洗浄 KG は総じて非洗浄 KG よりも生育が良く、その差は非常に顕著であり、洗浄効果はかなり高いといえる。

#### 総括

今回の実験より、

① IG は総合的にみて最も作物栽培に適しており、塩害軽減効果も高い。

② 粉状ゼオライト KP、SP は 1% 程度の低い混合率が適している。

③ KG は 5% 以下の混合率が最適であり、洗浄することでさらに効果が上がる。

以上のことがいえる。

ソバ栽培実験において、KG20%、KP 5、10、20% の生育が悪かったのは、混合砂中の可動陽イオンが原因の一つであったと考えられる。この改善を試みたのがハツカダイコン栽培実験で、KG を洗浄するだけで歴然とした効果が顕れたことから、いかに KG が本来保持している可動陽イオンが作物生育に悪影響かが伺える。また、こうしたゼオライトの洗浄によって、塩害軽減効果も高くなっているのではないかと推測できる。

今後は、ゼオライトの乾燥地農業への実用を目指し、乾燥地を想定した条件下でさらに多くの作物を試験栽培

することが必要である。その際、人工ゼオライトの問題点の改良を、具体的に模索していくことが課題となる。

#### ゼオライトの還元利用

一旦作物を栽培したゼオライト混合砂を還元後、再び作物栽培に供した。2 回とも塩水灌漑（2000ppm）を行い、還元した混合砂と未使用の混合砂とで塩害軽減効果を比較検討した。なお、文章中の“還元”はゼオライトが吸着した Na イオンを  $\text{CaCl}_2 \text{ aq}$  によって脱着させることを指している。“リーチング”は土壌に残った水溶性 Na イオンを水で洗い流すことを指している。

#### 実験概要

径 15 cm、高さ 30 cm のポットを 14 個用意する。そのうち 7 個にゼオライトを 10% 混合した砂丘砂（以下 KP10）を、残り 7 個に砂丘砂のみを詰める。混合砂及び砂丘砂の重量は 7 kg とする。

これらのポットにソバを栽培し、 $\text{CaCl}_2 \text{ aq}$  で還元、リーチングした後、ハツカダイコンを栽培した。次に挙げる 6 つの時期に、土層ごとの Ca イオン及び Na イオン濃度を測定した。①播種から一週間後（初期状態）、②塩水灌漑直前、③ソバ収穫後、④リーチング後、⑤塩水灌漑中、⑥ハツカダイコン収穫後、である。なお、ソバ栽培に使用しなかった KP10 は、ハツカダイコンを栽培する前にリーチングのみを行った。

同様に pH と電気伝導度 EC も測定した。また、ハツカダイコン収穫後にその新鮮重量（収穫直後の重量）と乾物重量、根の長さを測定した。

#### 結果

##### イオン濃度測定

a. 初期状態と塩水灌漑直前の Na イオン濃度を図-10 に示す。初期状態の KP10 は砂丘砂に比べ、Na イオン濃度が高い。このことから、ゼオライトに水溶性 Na イオンが残っていたと考えられる。塩水灌漑直前の Na イオン濃度は初期状態より低い。このことから、塩水灌漑を開始する（播種後約 1 か月）までに、水溶性 Na イオンは灌水（0ppm）によってリーチングされたと考えられる。

b. ソバ収穫後の土壌は高い Na イオン濃度を示す。ソバは塩水灌漑の期間が長く（約 2 か月）気温も高かったため、表層付近の塩類集積が進んだ。リーチング後に Na イオン濃度が下がったのは、還元及びリーチングの効果と言える。

c. ハツカダイコン収穫後の Ca 及び Na イオン濃度を図 4 と図 5 にそれぞれ示す。還元利用した KP10 は前回

未使用だったものに比べてCaイオン濃度が高く、Naイオン濃度が低い。

このことは、還元したKP10の方がNaイオンを多く吸着する事を示す。

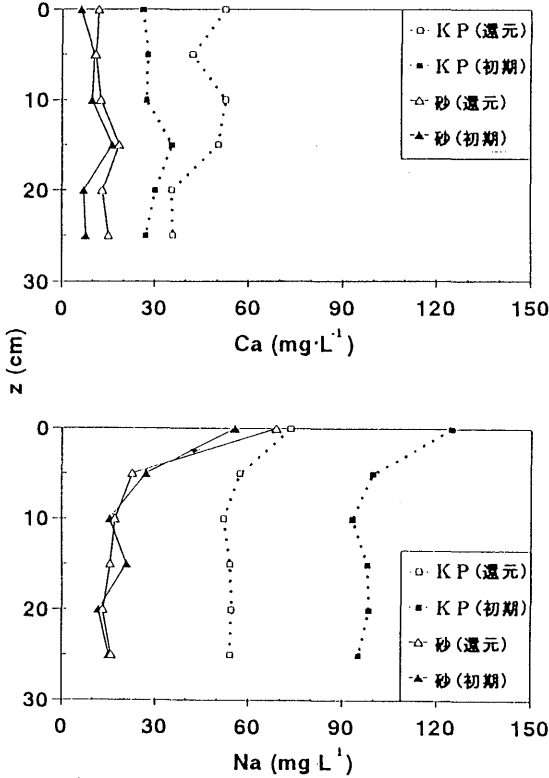


図-10 栽培土壌中のNa, Caイオンの濃度

栽培実験

ソバ(栽培実験1回目)は砂丘砂の方がKP10に比べて草丈も高く、全体的に生長が良かった。ただしKP10の、強い塩ストレスへの耐性は認められた。図-11にハツカダイコン収穫後の全根部長と乾燥重量を示す。KP10の方が砂丘砂に比べて主根部の生長が良く、径も大きかった。KP10で栽培したハツカダイコンの新鮮重量及び水分量(新鮮重量-乾燥重量)は、砂丘砂で栽培したものの1.2倍であった。これは、ハツカダイコンを栽培する前に行ったリーチングの効果と言える。

以上から、還元するとゼオライトのNaイオンを吸着する容量が増えることが分かった。

これは、還元によってゼオライトが灌漑水中から吸着したNaイオンだけでなく、製造時から吸着していたNaイオンも除去できたことが、主な原因と考える。栽培実験の結果には、還元の効果が見えなかった。しかしイオ

ン濃度の変化から、塩水灌漑の期間や回数が増え、塩類集積が進むにつれて、還元した混合砂と還元していないものとの差が現れてくると予想できる。

結論

ゼオライトが乾燥地農業において保水性があること、NaClのNaイオンをCaと置換することによる塩害軽減効果があることが示された。また、還元とリーチングにより、元からゼオライトに吸着されていたNaイオンを除去できれば、いっそうの塩害軽減効果を期待できる。

今後の課題として、還元せずに何年利用できるか、また、還元を繰り返すことでゼオライトのイオン交換機能がどのように変化するか等、土壌改良材としての耐久性を検討することが望まれる。検討方法としては、①強い水ストレスや塩ストレスの下での、長期に亘る栽培実験、②ゼオライト混合砂への塩水の流過と、還元を繰り返す室内実験、等が考えられる。また、耐塩性の異なる作物を栽培して比較することも必要である。

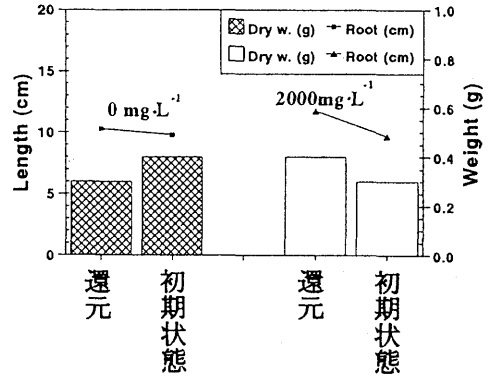


図-11 ハツカダイコン収穫後の全根部長、乾燥重量

参考文献

- 1) 原伸宜・高橋浩：ゼオライトー基礎と応用、講談社、東京(1974), pp.2-20.
- 2) 福田武治：ゼオライトによる土壌水分・塩分制御に関する実験的研究、鳥取大学農学研究科修士論文(1998)
- 3) 富永博夫：ゼオライトの科学と応用、講談社、東京(1987) pp.117-149.
- 4) Yasuda, H., Takuma, K., and Fukuda, T.,: Water retention changes of dune sand due to zeolite additions. Journal of Agricultural Meteorology, 52:641-644 (1997)