

# 海水から生まれる資源

## — 新たな海水利用を目指して —

和嶋 隆昌

千葉大学大学院工学研究院地球環境科学専攻 准教授

### 1. はじめに

21 世紀において、資源の枯渇という問題に直面し、海洋資源の有効利用技術の開発は今世紀の重要な課題である。特に、資源に乏しく、海に囲まれている我が国では、海水中の資源を効率的に回収・有効利用するためのさまざまな研究が行われてきている。

海水は、約 96.7%が淡水であり、約 3.3%が溶存塩である(図 1)。その溶存塩のうち約 93.5%が Na, Mg, Ca, K, Cl, S, Br の 7つの元素で占められている。海水の主成分である淡水の分離・回収、すなわち海水の淡水化は中近東の海水淡水化プラントをはじめ、様々な場所で数多く実用化されている。一方、海水からの溶存資源の工業的規模での回収は、塩化ナトリウム(食塩)およびその副産物である塩化カリウム、塩化マグネシウムなどのマグネシウム化合物、臭素に限定されている。現在まで、海水からのリチウム、ウラン、金、ホウ素などのレアメタルの回収技術に関する多くの研究がなされており、著者も、海水からのリチウム回収や海洋深層水からのリン回収などの研究を進めてきた。しかしながら、海水中に大量に存在しているナトリウム(10.8 g/L)やマグネシウ

ム(1.3 g/L)などの阻害のため、微量のリチウム(0.15 mg/L)、ウラン(3.3 μg/L)や金(0.03 ng/L)のみを海水中から分離回収することは極めて困難であり、これらの研究は未だ実用化には至っていない。

一方で、近年の中国やインドを始めとする新興国の経済成長は、エネルギー、鉱物、食糧など、あらゆる資源の確保が困難な状況を生み出しており、さらに、世界的に進行する異常気象や世界人口の増加に伴い、世界各地で深刻な食料・水不足を招いている。

このような中で著者は、海水や塩水を農業に利用するための簡易脱塩材の開発を目指して研究を進めている。海水中の溶存塩は NaCl が約 78%を占めており、この高濃度の NaCl が海水による植物の生育を阻害する。そのため、海水から高濃度の NaCl を簡易に植物が生育可能なレベルに減少できれば海水の大部分を占める淡水や多くの溶存塩を植物の生育に利用可能になるのではと考えた。そこで、本稿では、新たな海水利用として、食料資源を確保するための海水の農業利用を目指した脱塩材の開発への取り組みの一部を紹介する。

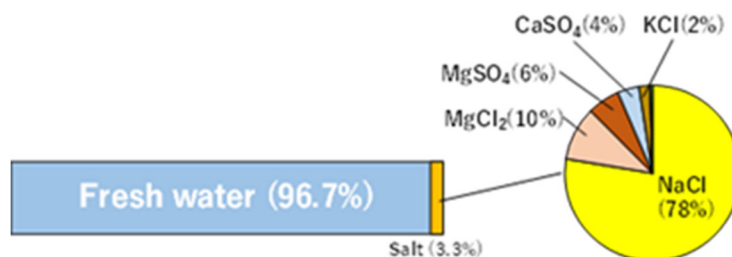


図 1 海水の組成 (海水の科学と工業(1994))

## 2. 海水の農業利用

地球上に存在する全水資源量は約 13 億 8,600 万  $\text{km}^3$  であり、中でも海水が約 97.5%と最も多い。残りの約 2.5%が淡水であるが、その淡水の約 70%は南極大陸やグリーンランドなどの世界各地に存在する氷河であり、残りの約 30%もほとんどが土壌中の水分や私たちが利用できない地下水として存在する。そのため、私たち人類が実際に利用可能な淡水は最終的に約 10 万  $\text{km}^3$  で、地球上の全水資源量の約 0.01%にすぎないといわれている。

世界の淡水利用は、灌漑利用:70 %、工業利用:23 %、家庭利用:7 %であり、日本においても、灌漑利用:66.2 %、工業利用:17.8 %、家庭利用:16.0 %、と農業への利用が最も高い(表 1)。食料資源は人間が生きていく上で必須の資源であり、その確保は急務となっている。農業における食料資源の生産では、農業用水や耕作地の確保が最も重要な要素である。近年、土壌の砂漠化など水資源の減少が顕著になっており、農業用水が容易に確保できない地域が増加している。水資源不足の解決策として、海水淡水化技術が注目されるが、これらの技術は、主に高純度が要求される飲料水利用や工業用水利用が目的であり、農業利用に対しては高コストな方法がほとんどである。海水は NaCl を高濃度に含むため作物に塩害をもたらすが、他に K・Mg・Ca や微量な Fe など作物に必要な元素を多く含んでいる。そのため、農業用水の場合、海水から多くの溶解物を除き高純度の水を製造する必要はなく、高濃度な NaCl を中心に溶存塩を大幅に除去することで農業用水として利用可能になると考えられる。

現在、厳しい水不足の状況にあるアフリカ・アジア諸国といった地域では食糧不足の問題も抱えている。水資源の確保は食料資源の確保と密接に関係しており、これらの地域で海水や塩水から農業用水が確保されれば、水不足と食糧不足が同時に解決されることが期待される。

## 3. 天然ゼオライトによる脱塩

脱塩材としては安価かつ豊富に存在する国産天然資源として天然ゼオライトに着目した。我が国の天然ゼオライトは、火山活動によって生じた火山灰が海底や湖底に堆積し、地下深くにおいて高圧下、地熱水の存在に

表 1 淡水の利用用途 (%)

Continent	Irrigation	Industry	Domestic
Africa	88	5	7
Asia	85	9	6
Europe	31	55	14
North America	49	42	9
South America	59	23	18
Total	70	23	7
Japan	66	18	16

より変成して形成された天然鉱物で、北海道南西部から日本海側一帯にかけて分布するグリーンタフ(緑色凝灰岩)中に広く存在している。多孔質で比表面積が大きく構造中に負電荷を持つため、陽イオン交換能、吸着能、触媒能をもつ機能性物質であり、工業触媒、吸着剤、ビルダー(洗剤助剤)、乾燥剤、イオン交換剤、さらには排水処理、肥料および飼料添加材など幅広く利用されている。

ゼオライトは  $\text{SiO}_4$  と  $\text{AlO}_4$  が四面体構造で三次元に連なった構造で  $\text{Si}^{4+}$  の一部が  $\text{Al}^{3+}$  に置き換わっているため負に帯電していることから、構造骨格外に正電荷として  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  などの陽イオンを交換可能な状態(交換性陽イオン)で保持している。この交換性陽イオンを  $\text{Ca}^{2+}$  にして硬水中の  $\text{Mg}^{2+}$  とイオン交換することで硬水の軟水化に利用されている。同様に天然ゼオライトにより海水中の  $\text{Na}^+$  を交換性陽イオンにイオン交換することで脱塩ができると考えられる。また、豊富かつ安価に存在する国産天然資源として利用用途の拡大が求められていること、天然素材であるため処理による有害物質の混入の懸念がないこと、も脱塩材として着目した理由として挙げられる。

鉱物種や含まれる交換性陽イオン、陽イオン交換容量が異なる天然ゼオライトを国内 5 か所の鉱山から採取し、海水の脱塩処理を行ってみた(図 2)。なお、海水は伊万里湾表層から採取した海水を用いている。

海水に対し天然ゼオライトを固液比で 1:10 の割合で添加し 2 時間攪拌した後濾過し、再び天然ゼオライトを

添加し攪拌する操作を10回繰り返した処理海水の組成とpHを表2に示す。陽イオン交換容量の高い飯坂産モルデナイトと郡山産クリノプチロライトでNa<sup>+</sup>が大きく減少すること、モルデナイトの処理はpH 5-6とクリノプチロライトの処理でのpH 6.8-7.3よりもpHを酸性にさせること、クリノプチロライトではモルデナイトで減少しないMg<sup>2+</sup>も減少すること、がわかった。

次に郡山産クリノプチロライト型天然ゼオライトの交換性陽イオンをNa<sup>+</sup>, NH<sup>4+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>に置換して海水からの脱塩能の比較を行った。調製した置換型天然ゼオライトを用いて上記と同様の操作を5回繰り返した海水の組成を表3に示す。減少させる主ターゲットであるNaClに着目すると、Na<sup>+</sup>はNH<sup>4+</sup> ≒ K<sup>+</sup> ≒ Ca<sup>2+</sup> > Mg<sup>2+</sup> > Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>はMg<sup>2+</sup> ≒ Ca<sup>2+</sup> > Na<sup>+</sup> ≒ K<sup>+</sup> ≒ NH<sup>4+</sup>, の順で減少量が多く、結果としてCa<sup>2+</sup>置換型が最も海水の脱塩に有効であると考えられる。

これらの結果をふまえ、Ca型郡山産クリノプチロライト天然ゼオライトを用いて、カラムによる海水の脱塩処理を検討した。直径14 mm, 長さ30 cmのガラスカラムに粒径1 mmの天然ゼオライトを40 g詰め、100 mLの1 M Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 溶液を10 mL/minで2時間循環させた後にCa(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 溶液を抜き、800 mLの蒸留水を10 mL/minで流し洗浄を行うことでCa置換天然ゼオライトカラムを調製した。なお、Ca置換天然ゼオライトカラムは同様の

操作で4本調製した。調製したCa置換天然ゼオライトカラムに40 mLの海水を4 mL/minで循環させ、120 min経過後、処理溶液をすべて回収しpHをpHメーターで塩分濃度を塩分濃度計で測定した。処理溶液は再び新しいCa置換天然ゼオライトカラムに同様の操作で循環させた。この操作を4回繰り返して測定を行った。海水とカラム処理海水の化学組成、塩分濃度、pHを表4に示す。カラムの処理回数が増えるにつれてCa<sup>2+</sup>濃度のみが増加し、その他のイオンが減少することで、塩分濃度は徐々に減少した。pHは6.5付近で一定になる傾向が見られた。

水道水、海水、Ca置換型カラムで1回処理した溶液(Solution-1)と4回処理した溶液(Solution-2)の4つの溶液を用いて、栽培試験を行った。供試作物にはカイワレ(Radish sprout)を用い、コットンを詰めた容器に種を10粒のせ、スプレーを用いて各溶液で種を湿らせ、室温にて10日間行った。その結果、海水で発芽が確認されなかったが、Ca置換型天然ゼオライトカラムで処理した海水では発芽が確認され、1回処理のSolution-1より4回処理のSolution-2の方がよく発芽しており、水道水とほぼ同様の様子が観察された(図3)。

以上の結果より、天然ゼオライトを用いて海水を農業利用可能なレベルに脱塩処理できることが明らかになった。

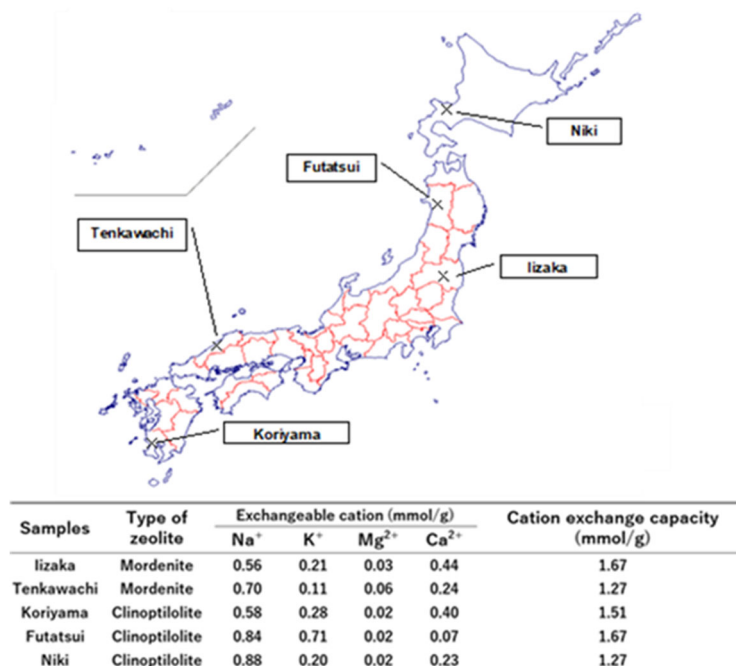


図2 天然ゼオライトの採取場所と特性 (Wajima: Anal. Sci. (2013))

表 2 海水と処理海水の化学組成と pH

Samples	Chemical compositions (mg/L)							pH
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
Seawater	10437	379	1296	417	18399	67	2661	7.77
Iizaka	2736	175	1164	6040	16626	57	1941	5.90
Tenkawachi	5518	153	1257	1984	13577	52	1825	4.98
Koriyama	3816	86	545	4481	13613	48	1806	7.33
Futatsui	7748	327	746	1054	14854	55	1941	6.81
Niki	6115	61	700	2365	13896	51	1969	6.84

表 3 海水と処理海水の化学組成

Samples	Chemical compositions (mmol/L)						
	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Seawater	475	-	10.3	56	11.7	55	27.8
Na <sup>+</sup> -type	477	-	0.3	51.2	6.8	541	28.0
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -type	402	66.5	0.9	51.9	9.3	562	27.6
K <sup>+</sup> -type	415	-	59.8	52.4	10.1	548	27.5
Mg <sup>2+</sup> -type	450	-	5.7	73.7	10.4	507	27.2
Ca <sup>2+</sup> -type	406	-	3.1	57.3	51.1	506	27.1

(Wajima: Int. J. GEOMATE (2019))

表 4 海水とカラム処理海水の化学組成, 塩分濃度, pH

	Concentration (mg/L)						Salinity (%)	pH
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		
Seawater	12191	682	1360	403	21891	2724	3.40	7.79
1-times	5027	140	592	2330	12409	1520	2.15	7.48
2-times	2501	74	330	3132	9643	1136	1.45	6.85
3-times	857	33	135	2644	6036	667	0.95	6.55
4-times	405	0	70	2466	4959	504	0.66	6.73

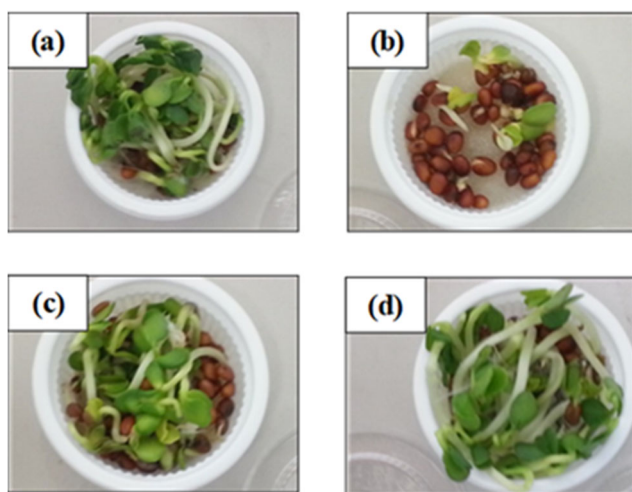


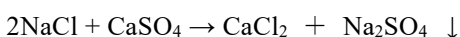
図 3 カイワレ栽培試験結果:(a) 水道水、(b) 海水、(c) Solution-1、(d) Solution-2 (Wajima: Int. J. GEOMATE (2019))

#### 4. 塩害土壌への適用を目指して

現在、塩害は世界の農業生産を減少させる主要因の一つとなっている。灌漑水や地下水への海水の混入、塩化ナトリウムなどの塩類の土壌中への蓄積や、台風などの強風による海水を含んだ海風の内陸への入り込み、など植物の生育が過剰の塩類によって阻害されることを塩害という。日本で発生した塩害事例の多くは、台風や高波による海水の流入、海岸近くの防風林の除去による海水の飛散、ハウスなどの施設栽培での肥料成分の土壌蓄積などによる農作物の生育阻害、などである。一方、地球的規模では、乾燥・半乾燥地域における地表面からの過度の蒸散による土壌表層への塩類集積、作

物生産や飲料水確保のための不適切な灌漑による地表面への塩類集積、などが主な原因として挙げられる。土壤塩類化は自然および人為的要因によってもたらされる環境問題であり、現在、世界の農地の1/5が塩の被害により塩害土壤となっているといわれている。このような土壤塩類化にともなう農業生産量の低下は世界各地で起こっており、これからの人口増加に対応する耕作地の確保のために除塩技術が求められている。

従来の塩害土壤からの除塩技術は、主に土壤の透水性を良くして過剰な塩分を天水で流し出す方法である。地表面排水や暗渠排水が挙げられ、大量の水にてリーチングする方法などがある。しかしながら、大量の水の確保、大規模な工事、適切な管理が必要となるため適用できる場所は限られる。一般的には、化学的手法を用いる場合が多く、例えば石膏( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )を施用することで、土壤粒子表面に吸着していた  $\text{Na}$  イオンを  $\text{Ca}$  イオンで交換させ、 $\text{Na}$  を中心とした塩類のリーチング、さらに、亀裂が生じることで透水性や通気性が回復し、その結果植物の植生が回復することにより土壤粒子の団粒構造が徐々に復活し改良される。利用される改良剤としては、塩化カルシウム、天然石膏、リン酸石膏、脱硫酸石膏、あるいは比較的溶解度の低い炭酸カルシウムがある。石膏はオランダですでに1945年に海水が氾濫した際の土壤改良に用いられている。石膏の主成分である  $\text{CaSO}_4$  と塩化ナトリウムを混ぜると以下の反応が起きる。



この反応により塩害の原因である  $\text{NaCl}$  を溶解度が低い硫酸ナトリウムにすることで、植物への影響を減少させる。しかし、土壤の回復には  $\text{CaCl}_2$  とともに最終的には流し出す必要があり、降水量などの天候によって大きく左右されること、降水量の少ない乾燥地帯や半乾燥地帯などでは効果が見込めないこと、農業利用できるレベルまで除塩するためには雨季を含めて長い時間を要すること、などの要因から塩害土壤の農業利用のための早期回復には不向きである。

そこで、著者は天然ゼオライトと層状複水酸化物を用いた新たな塩害土壤改良材を検討している。粘土鉱物の一種である層状複水酸化物(Layered double hydroxide: LDH)は陰イオン交換能をもつことから陰イ

オン性粘土や anionic clay とも呼ばれており、一般式は  $[\text{M}^{2+}_{1-x}\text{M}^{3+}_x(\text{OH})_2]^{x+} \cdot [(\text{A}^n)_{x/n} \cdot m\text{H}_2\text{O}]^{x-}$  ( $\text{M}^{2+}$ :2 価の陽イオン,  $\text{M}^{3+}$ :3 価の陽イオン,  $\text{A}^n$ :n 価の陰イオン)で表される複水酸化物である。数少ない無機陰イオン交換体であり、2 価の陽イオンと 3 価の陽イオンの水酸化物からなるホスト層と、陰イオンおよび水分子からなるゲスト層が交互に積層した層状構造を持つことが特徴である。水酸化物基本層は 2 価金属イオンの一部を 3 価金属イオンが置換することにより正電荷をもち、その電荷を補うために中間層へ陰イオンと水分子を取り込み、電気的中性を保持している。焼成処理により焼成層状複水酸化物にすることで酸化物になり、水溶液中で陰イオンを中間層に取り込み層状複水酸化物の構造を再構築する性質を持ち、その性質を用いて様々な液中の陰イオンの除去が研究されている。塩害土壤中天然ゼオライトによる  $\text{Na}^+$ 、焼成層状複水酸化物による  $\text{Cl}^-$  の捕獲を行うことができれば、処理土壤中の植物の育成が可能となり、捕獲された  $\text{Na}^+$  と  $\text{Cl}^-$  は施肥の際にゼオライトと層状複水酸化物からのイオン交換で植物に影響しないレベルで徐々に放出され、肥料を保肥できる可能性が期待できる(図 4)。

海水を  $500^\circ\text{C}$  で焼成したハイドロタルサイトで処理し、その後天然ゼオライトで処理した海水を用いてカイワレの栽培を行った。海水、焼成ハイドロタルサイトで処理した海水(CHT-solution)、さらに天然ゼオライトで処理した処理溶液(Final-solution)の化学組成とそれぞれの溶液を用いて 10 日間栽培したカイワレの様子を表 5 と図 5 に示す。焼成物の処理により海水の pH が増加し陰イオンである  $\text{Cl}^-$  と  $\text{SO}_4^{2-}$  が減少し、 $\text{Mg}^{2+}$  も減少した。焼成物の再構築反応で海水中の陰イオンを取り込み  $\text{OH}^-$  を放出するため pH がアルカリ性になり、そのため  $\text{Mg}^{2+}$  が水酸化物として沈殿し減少すると考えられる。さらに天然ゼオライトで処理をすると pH が減少し、 $\text{Na}^+$  と  $\text{K}^+$  も減少し、 $\text{Mg}^{2+}$  と  $\text{Ca}^{2+}$  が増加した。これは、天然ゼオライトの陽イオン交換により、 $\text{Na}^+$  が取り込まれ  $\text{H}^+$  や  $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  が溶液中に放出されるためと考えられる。カイワレは、海水と CHT-solution では発芽が確認されなかったが、最終処理液ではカイワレの発芽が確認された。このことから、天然ゼオライトと焼成層状複水酸化物で栽培可能な脱塩が行えることが確認できた。

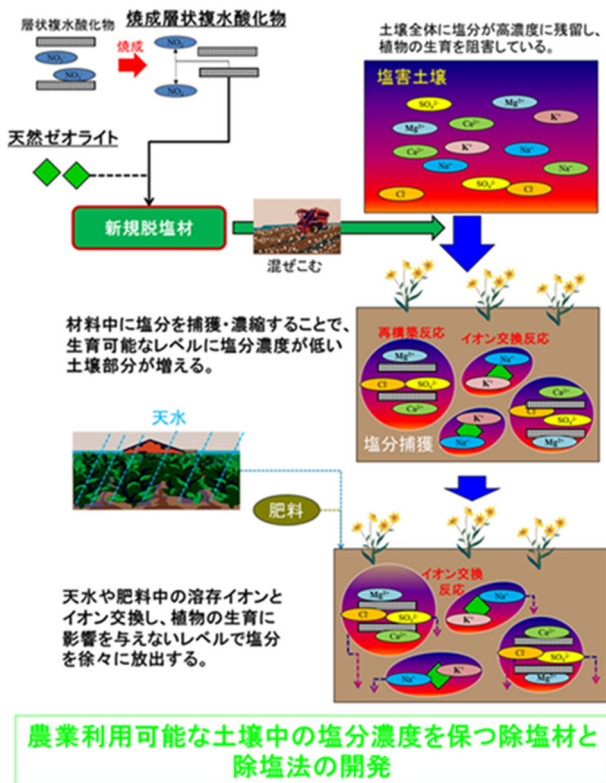


図 4 塩害土壌改良材の概略

表 5 海水，焼成物処理海水，最終処理海水の化学組成と pH

Samples	Chemical compositions (mg/L)						pH
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
Seawater	11283	412	1382	334	16370	2823	8.0
CHT-solution	13640	504	8	36	13483	584	12.1
Final-solution	1291	62	54	1347	8622	433	7.1

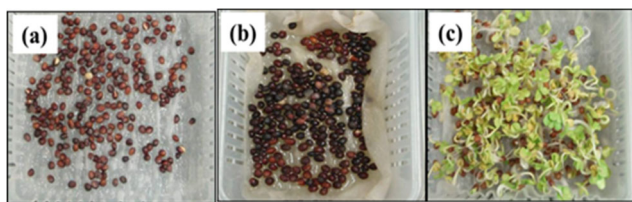


図 5 カイワレ栽培試験結果：  
(a)海水，(b) CHT-solution，(c) Final-solution  
(Wajima: Energy Environ. Res. (2014))

現在，ハイドロタルサイトは Mg-Al 型層状水酸化物で高価であるため，安価な Ca-Fe 型層状水酸化物を合成し，天然ゼオライトと安価な Ca-Fe 型層状水酸化物の焼成物を組み合わせた処理で海水か

ら農業利用可能な処理液を得ることに成功している。今後，捕獲した塩分の放出挙動や模擬塩害土壌における研究を進めることで新たな脱塩材の開発を目指す。

## 5. おわりに

天然ゼオライトを中心に海水を農業利用可能なレベルに処理する技術を検討し，その可能性を見出してきた。現在，天然ゼオライトの海水中での脱塩メカニズムや焼成層状水酸化物との相互反応機構などを検討している。今後，これらの知見をもとにして，海水からの高効率脱塩材や脱塩プロセスの設計，最終的には即効性のある塩害土壌改良材の開発へ繋げていきたい。

## 参考文献

- ・ 日本海水学会・ソルト・サイエンス研究財団 共編「海水の科学と工業」東海大学出版会
- ・ 中島敏光「海洋深層水の利用」緑書房
- ・ M. M. Tilzer: Renewable, but not inexhaustible: The fresh water supply for a growing human population, 第二回オートアナライザーシンポジウム講演要旨集, 4-15 (2006).
- ・ 和嶋隆昌他：海洋深層水からのリチウム回収を目的としたパラオおよびフィジー海域における海洋調査とその評価, *海洋深層水研究*, **7**, 17-22 (2006)
- ・ 吉塚和治, 和嶋隆昌：海水からのリチウム回収技術の開発動向, *配管技術*, **12**, 14-18 (2007)
- ・ T. Wajima: Phosphate adsorption on zirconium-loaded activated carbon, and its application for phosphate recovery from deep-seawater, *Int. J. Chem. Eng. Appl.*, **7**, 388-393 (2016)
- ・ 和嶋隆昌：にがりを活用した硝酸性窒素除去材の開発, *日本海水学会誌*, **72**, 218-224 (2018)
- ・ T. Wajima: Synthesis of hydrotalcite from bittern, and its removal abilities of phosphate and nitrate, *Int. J. Chem. Eng. Appl.*, **6**, 228-231 (2015)
- ・ T. Wajima: Removal behavior of nitrate using Fe-layered double hydroxide derived from bittern, *J. Ion Exch.*, **29**, 147-152 (2018)

- T. Wajima: Ion exchange properties of Japanese natural zeolites in seawater, *Anal. Sci.*, **29**, 139-141 (2013)
- T. Wajima: Selective Removal of  $\text{Cl}^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  from seawater using Ag- and Pb-exchanged natural clinoptilolite zeolites, *Bull. Soc. Sea Water Sci. Jpn.*, **72**, 332-333 (2018)
- T. Wajima et al.: Removal of NaCl from seawater using natural zeolite, *Toxicol. Environ. Chem.*, **91**, 21-26 (2010)
- T. Wajima: Desalination of Seawater using Ca-A Zeolite for Agricultural Utilization, *Bull. Soc. Sea Water Sci. Jpn.*, **72**, 325-328 (2018)
- T. Wajima: Desalination of seawater using natural zeolite for agricultural utilization, *Int. J. GEOMATE*, **16**, 21-26 (2019)
- T. Wajima: Simple desalination process for making agricultural cultivation solution from seawater using natural zeolite and activated alumina, *Int. J. Sci. Technol.*, **5**, 159-166 (2019)
- 和嶋隆昌他：海水からの灌漑用水製造を目指した天然ゼオライトによる簡易脱塩処理に関する基礎的研究, *素材物性学雑誌*, **22**, 18-22 (2009)
- T. Wajima et al.: Simple two-step process for making agricultural cultivation solution from seawater using calcined hydrotalcite and natural zeolite, *Clay Sci.*, **14**, 7-12 (2008)
- D. Tsutsui, T. Wajima: Desalination of seawater using calcined hydrotalcite with different Mg/Al ratio, *ESTEEM Acad. J.*, **13**, 195-204 (2017)
- D. Tsutsui, T. Wajima: Desalination property of various calcined layered double hydroxides from seawater, *Int. J. Environ. Agric. Res.*, **4**, 15-21 (2018)
- T. Wajima: Desalination behavior of calcined hydrotalcite from seawater for preparing agricultural cultivation solution using natural zeolite, *Energy Environ. Res.*, **4**, 3-10 (2014)
- T. Wajima: Phosphorous removal ability of hydrotalcite reconstructed in seawater, *Bull. Soc. Sea Water Sci. Jpn.*, **73**, 339-342 (2019)
- F. Sekihata, T. Wajima: Desalination behavior of natural zeolite in seawater, *Int. J. GEOMATE*, **20**, 82-88 (2021)

#### 著者略歴

和嶋 隆昌 (わじま たかあき)

千葉大学大学院工学研究院地球環境科学専攻都市環境システムコース准教授。1998年京都大学工学部資源工学科卒業。2000年京都大学大学院エネルギー科学研究科修士課程修了。2004年京都大学大学院人間・環境学研究科博士課程修了, 京都大学博士(人間・環境学)。2004年佐賀大学海洋エネルギー研究センター非常勤研究員, 2007年秋田大学大学院工学資源学研究科助教を経て, 2013年より現職。所属学会は, 日本海水学会, 日本イオン交換学会, 化学工学会, 資源・素材学会, 環境資源工学会, 骨材資源工学会, 日本鉄鋼協会, 軽金属学会など。1976年生まれ。

主な著書

- 「吸着技術の産業応用ハンドブック」(リアライズAT株式会社)(2009) 分担執筆 <天然ゼオライトを用いた海水からの農業用栽培用水の製造>
- 「骨材資源ハンドブック」(骨材資源工学会)(2020) 分担執筆<骨材の用途, 水質汚濁, 場内外排水の処理, 脱水ケーキの処理, その他の骨材>