

海水の農業利用に関する基礎的実験

和嶋隆昌^{*1}, 志水倫恵^{*1}, 池上康之^{*1}

A Study on Utilization of Seawater for Agriculture

Takaaki WAJIMA^{*1}, Tomoe SHIMIZU^{*1}, and Yasuyuki IKEGAMI^{*1}

^{*1} Saga Univ., Inst. of Ocean Energy
1-48, Kubara, Yamashiro-cho, Imari, Saga, 849-4256 Japan

In this study, we examined the utilization of seawater for agriculture using Radish sprout. The solution with high content of not only NaCl but also other salts, such as KCl, MgCl₂, CaCl₂, NaNO₃, KNO₃, Mg(NO₃)₂, Ca(NO₃)₂, and NH₄NO₃, is unsuitable for the growth of Radish sprout. Although Radish sprouts cannot grow in seawater, it can be grown in the diluted seawater, and the growth in the diluted seawater is better than that in distilled water. The cations contents in seawater can be adjusted by the treatment of natural zeolite, but the Cl⁻ removal is needed for agricultural utilization.

Key Words : Seawater, Agriculture, Radish sprouts, Na⁺, Cl⁻, Natural zeolite

1. 緒 言

21世紀に入り、人口の増加、生活水準の向上、科学技術の発達による「資源の枯渇」「環境負荷の増加」が懸念されている。特に、水資源、食料資源は生物が生きる上で必要不可欠な資源であり、その持続的な確保は人類にとって永遠の課題である。そのような中、海洋温度差発電は、海洋の表層海水と深層海水の温度差により、少ない環境負荷で発電によるエネルギー供給が可能であり、かつ、汲み上げた海水を海水淡水化、海洋肥沃化、リチウム資源の回収などに複合利用することで、エネルギー・水・食料・鉱物資源を供給できる複合システムとして注目されている⁽¹⁾。

食料資源の確保では、水産のみならず農業も重要である。農業による食料資源の生産では、農業用水の確保が重要となる。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：66.2%、工業利用：17.8%、家庭利用：16.0%と、農業利用が最も高い⁽²⁾。近年の水資源の減少は、土壌の砂漠化など環境問題の主要な構成要素であり、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ている⁽³⁾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の方法がほとんどである。

海水は作物に必要な元素を全て含んでいるが、作物に塩害をもたらすNaClを高濃度に含むため、直接的な農業利用が困難である。そのため、NaClによる塩害の影響のみを抑えることで、海水を農業利用できる可能性がある。しかしながら、海水の農業利用に関する知見は非常に少なく、特に、基礎的な情報が見当たらない。

本研究では、カイワレ(Radish sprout)を用いた簡易栽培により、海水の農業利用に関する基礎的検討を行ったので、その結果を報告する。

*原稿受付 2007年02月28日

^{*1} 佐賀大学海洋エネルギー研究センター
(〒849-4256 佐賀県伊万里市山代町久原字平尾 1-48)
E-mail: wajima@ioes.saga-u.ac.jp

2. 実験方法

2・1 供試試料および栽培方法 供試試料には、カイワレ(Radish sprout)を用いた。栽培は、市販の栽培容器(内バスケットサイズ: 11 cm × 11 cm, アタリヤ農園(株)製)を用いた。内バスケットに二つ折りのキムワイプを敷き、外容器には栽培溶液 40 mL を入れ、キムワイプに十分浸透させ、種を撒種した。なお、溶液は、毎日 40 mL 交換した。栽培は、室温を約 25 °C に設定した室内で 10 日間行った。

2・2 調整試薬による栽培 試薬で溶液を調整し、海水中の溶存元素の栽培への影響を調べた。溶液作成に用いた試薬は、NaCl, KCl, MgCl₂ · 6H₂O, CaCl₂ · 2H₂O, NaNO₃, KNO₃, Mg(NO₃)₂ · 6H₂O, Ca(NO₃)₂ · 4H₂O, NH₄NO₃, MgSO₄ · 7H₂O (いずれも特級試薬, Wako) であり、Cl⁻, NO₃⁻濃度が海水中に最も含まれる Cl⁻のモル濃度である 580 mM になるように調整した。MgSO₄溶液は、人工海水の作成⁽⁴⁾と同様に、MgSO₄ · 7H₂O 14 g を蒸留水 1 L に添加し、0.03 M の溶液を調整した。Table 2 に、作成した溶液の pH を示す。すべての溶液は、pH 5.5 - 7.0 であり、中性を示した。各容器には、種子重量が 4.0 g (約 230 個)のカイワレの種を撒種し、調整した溶液を用いて栽培を行った。10 日間栽培後、写真撮影および比較観察を行った。

2・3 希釈海水による栽培 海水を直接希釈し栽培に利用する方法を調べた。海水には、伊万里湾表層より採取した海水を用いた。海水を 1, 2, 4, 5, 10 倍に蒸留水で希釈し栽培を行った。また、比較として蒸留水による栽培も行った。各容器には、種子重量が 7.5 g (約 430 個)のカイワレの種を撒種した。10 日間栽培後、写真撮影および比較観察を行った。また、それぞれの生重量、乾重量 (110 °C で 8 時間処理)、最長草丈、平均草丈を計測した。

海水成分と pH を Table 1 に示す。化学組成、pH とも、一般的な海水と同様であった。なお、海水中の K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Cl⁻, Br⁻, SO₄²⁻ はイオンクロマトグラフ (DX-120, Dionex) で Na⁺, Sr²⁺ は JCP - AES (ICPS-7500, Shimadzu) で測定した。pH は pH メーター (MA-130, METTLER TOLEDO) によって測定した。

Table 1 Chemical composition and pH of seawater.

Na ⁺	10753
K ⁺	383
Mg ²⁺	1280
Ca ²⁺	377
Sr ²⁺	7.1
Cl ⁻	19409
Br ⁻	57
SO ₄ ²⁻	2139
pH	8.1
Unit: mg/L	

2・4 天然ゼオライト処理水の作成と栽培 人工海水⁽⁴⁾を天然ゼオライトで処理し、溶液の調整及び栽培を試みた。天然ゼオライトは、市販の飯坂産天然ゼオライト (日東) を用いた。これは、和嶋ら^(5,6)が用いたものと同じのものであり、国内の天然ゼオライトでは高い陽イオン交換容量を持つ試料である。

まず、天然ゼオライトによる処理プロセスの検討として、添加量、処理時間、処理回数、海水中の Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ への影響を調べた。添加量の影響は、天然ゼオライト試料 5 - 40 g を人工海水 100 mL に添加し、24 時間攪拌した後、濾過し、濾液中の Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ をイオンクロマトグラフにより測定し、調べた。次に、処理時間の影響は、天然ゼオライト 10 g を人工海水 100 mL に添加し 0 - 3 時間攪拌し、それぞれの時間で濾過した濾液を同様にイオンクロマトグラフで測定し、調べた。最後に、処理回数への影響は、天然ゼオライト 10 g を人工海水 100 mL に添加し 1 時間攪拌した後、濾過し、濾液に再び新しい天然ゼオライト試料 10 g を添加し、同様の操作を繰り返し、操作回数ごとに濾液を採取し、イオンクロマトグラフで濾液中の Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ を測定し調べた。更に、7 回処理後の溶液を用いて、カイワレの栽培を行った。比較として、人工海水、蒸留水を用いた栽培を行い、10 日間栽培後、写真撮影および比較観察を行った。

Table 2 pH of the solution for our experiment.

	NaCl	KCl	MgCl ₂	CuCl ₂	NaNO ₃	KNO ₃	Mg(NO ₃) ₂	Ca(NO ₃) ₂	NH ₄ NO ₃	MgSO ₄
pH	5.5	5.6	5.8	5.8	6.4	6.3	6.5	6.3	5.6	5.9

3. 実験結果及び考察

3・1 各元素の栽培への影響 Fig. 1 に調整試薬による栽培結果を示す。MgSO₄を除き、すべてにおいて発芽が認められなかった。これは、MgSO₄以外の溶液濃度が高すぎるため生育が抑制されるものと考えられる。これらのことより、農業利用を考える場合、塩害の原因であるNaClのみでなく、他の成分についても、NaClと同様な高濃度にならぬように注意する必要があることがわかった。

3・2 希釈海水による栽培 Table 3 およびFig. 2 に希釈海水による栽培の結果を示す。Fig.2(a)に示すように、海水ではカイワレは育たなかったが、希釈率を上げるに従って、カイワレは発芽し育つことが確認された。重量や草丈は4倍希釈から蒸留水よりも良くそだっており、Fig. 2(b), (c)の比較からも希釈海水が良好に育っている様子が確認された。希釈により海水中のNaClによる塩害が抑制され、ミネラル(K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺)が含まれているため、蒸留水より良好に育つと考えられる。

これらのことより、カイワレに対し、海水は4倍希釈以上で塩害が抑えられ、蒸留水より良好な栽培が可能であることがわかった。

3・3 天然ゼオライト処理水の作成と栽培 Fig. 3 に、天然ゼオライト添加量の人工海水の化学組成への影響を示す。Na⁺は天然ゼオライト添加で減少し、Mg²⁺はほとんど変わらなかった。また、添加量が増えるに従い、K⁺, Ca²⁺が増加した。これは、海水中のNa⁺と天然ゼオライト中のK⁺, Ca²⁺のイオン交換によると推察される。

Fig. 4 に、天然ゼオライトによる処理時間の人工海水の化学組成への影響を示す。Na⁺の減少傾向とK⁺, Ca²⁺の増加傾向は、15 - 30 分程度で飽和している。このことより、海中における天然ゼオライトのイオン交換反応は速やかにおこると考えられる。

Fig. 5 に、天然ゼオライトによる処理回数の人工海水の化学組成への影響を示す。処理海水が増えるに従い、人工海水中のNa⁺, Mg²⁺は徐々に減少した。一方で、K⁺, Ca²⁺は人工海水中で増加した。特に、Ca²⁺は急激な増加をし、4回処理以上では約 2500 mg/Lで飽和している。これは、実験に用いた天然ゼオライトの交換性陽イオンとして、Ca²⁺を多く含むためと考えられる。

これらのことより、添加量、処理時間、処理回数を適切に選択することで、天然ゼオライトにより海中のNa⁺を減少させ、海水の化学組成を調整できると考えられる。

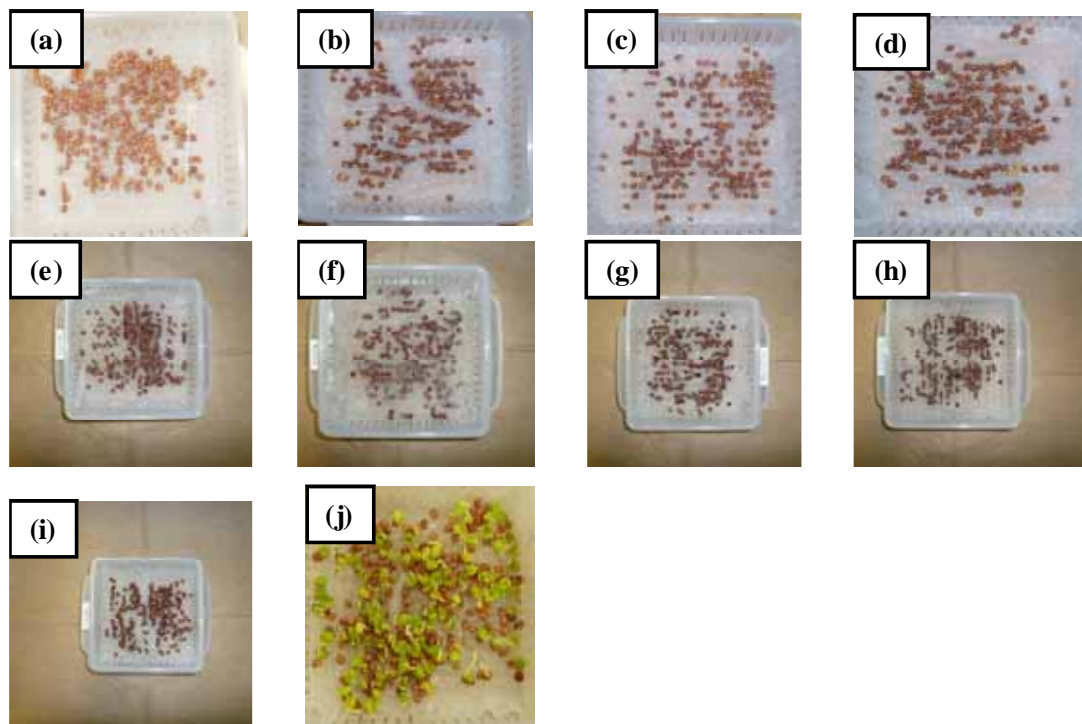


Fig. 1 The results of our experiment for various solutions.
(NaCl, (b) KCl, (c) MgCl₂, (d) CaCl₂, (e) NaNO₃, (f) KNO₃, (g) Mg(NO₃)₂, (h) Ca(NO₃)₂,
(i) NH₄NO₃, (j) MgSO₄

Table 3 The results of our experiment for diluted seawater.

Sample (Dilution factor)	Weight, g		Hight,cm	
	Total fresh	Total dry	Highest	Average
Seawater	13.6	7.2	-	-
Seawater (2)	21	8.6	4	4
Seawater (4)	74.7	10.8	15	11
Seawater (5)	81.2	10.8	15	12
Seawater (10)	101.4	9.2	18	13
Distilled water	62.8	6.3	10	7

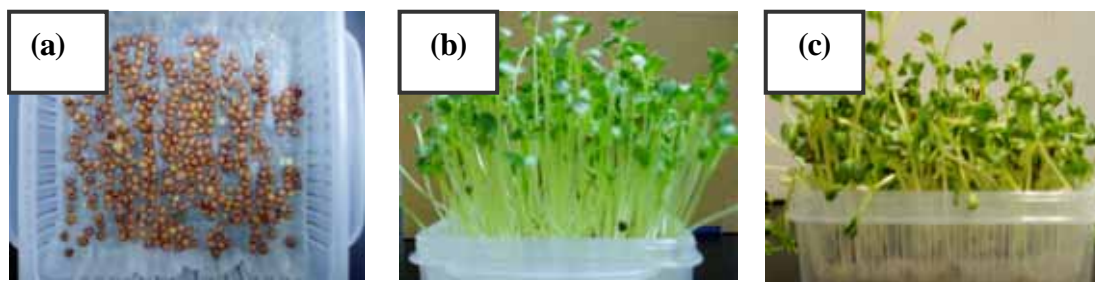


Fig. 2 The results of our experiment for diluted seawater.

(a) seawater (b) seawater (4) (c) distilled water

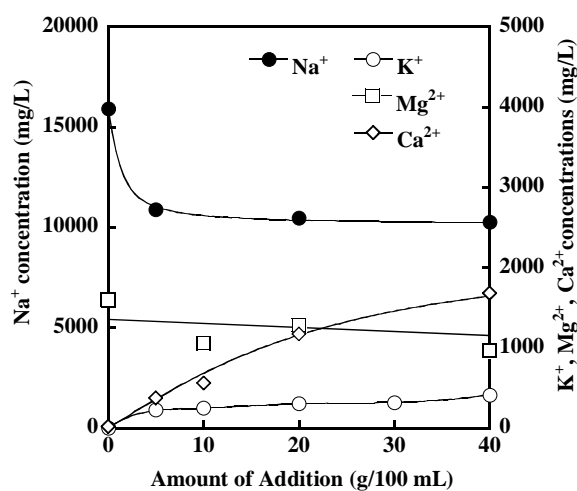


Fig. 3 Effect of amount of zeolite addition on the concentrations of Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , and Ca^{2+} in artificial seawater.

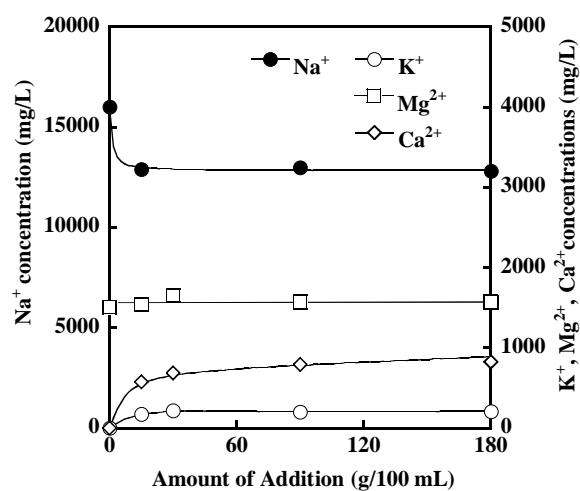


Fig. 4 Effect of reaction time on the concentrations of Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , and Ca^{2+} in artificial seawater.

4. 結 語

本研究では、海水の農業利用に関する基礎的検討を行った。その結果、塩害の原因であるNaClのみならず、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 NH_4^+ 溶液でも高濃度ではカイワレの栽培が不可能であることがわかった。また、海水を4倍以上に希釈することで、カイワレが栽培できることがわかった。さらに、天然ゼオライトによる処理で海水中の陽イオンが調整可能であり、天然ゼオライト処理により Na^+ を減少させた人工海水でカイワレが発芽することが確認された。

これらの知見より、海水の農業利用は可能であり、今後、天然ゼオライトのみならず様々な調整法を検討することで、海水からの農業用水の作成技術の確立が期待できる。

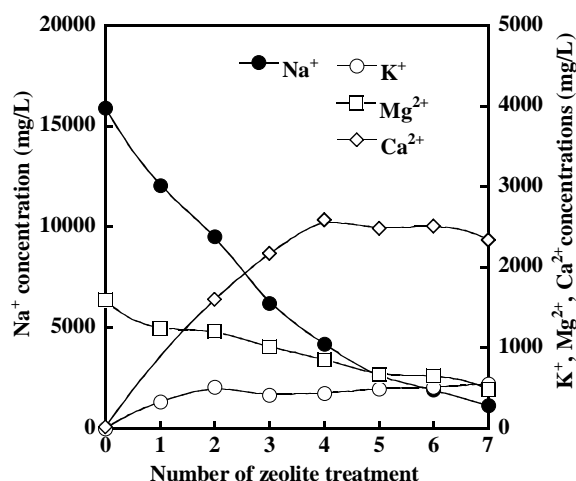


Fig. 5 Effect of number of zeolite treatment on the concentrations of Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , and Ca^{2+} in artificial seawater.

Fig. 6 に天然ゼオライト処理水による栽培の結果を示す。人工海水ではカイワレの発芽は確認できなかったが (Fig. 6 (a)), 天然ゼオライト処理水では発芽することが確認された (Fig. 6 (b))。しかしながら、蒸留水を用いた栽培 (Fig. 6 (c)) に比べて、育ちが悪いことも確認された。これは、天然ゼオライト処理は、陽イオンのみの調整であるため、陰イオンであるCl⁻による塩害の影響が残るためと考えられる。そのため、海水からのCl⁻の除去法と組み合わせることで、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} などのミネラルと含む栽培溶液が海水から作成可能と思われる。一例として、陰イオン除去に焼成ハイドロタルサイトを用いて天然ゼオライト処理と組み合わせる方法でカイワレの栽培に成功している⁷⁾。今後、他の陰イオン除去法との組み合わせや天然ゼオライトの種類による影響などを検討することで、効率的な海水からの農業用水作成プロセスの構築が期待できる。

謝辞

本研究は、21 世紀 COE プログラムによって支援されており、ここに謝意を表す。

文 献

- (1) 池上康之, 新しい海洋温度差発電の現状と展望, *ECOINDUSTRY*, Vol. 10, No.2 (2005), p. 7-16.
- (2) Tilzer, M. M., 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*, (2006) p. 4 - 15.
- (3) 後藤藤太郎, 海水淡水化の普及動向と技術課題, *水道公論*, Vol. 36, No. 2 (2000).
- (4) 奥修, 吸光光度法のノウハウ, 技報堂 (2002), pp. 70.
- (5) 和嶋隆昌, 吉塚和治, 池上康之, 砂岩砕石屑の有効利用を目的としたゼオライトへの転換法の開発, *応用地質*, 47 (2006), p. 292 - 296.
- (6) 和嶋隆昌, 池上康之, 天然ゼオライトを用いたアンモニア除去に関する基礎的実験, *OTEC*, 10 (2004), p. 53 - 58.
- (7) Wajima, T., Shimizu, T., and Ikegami, Y., New simple process of making agricultural cultivation solution from seawater, *Bull. Soc. Sea Water Sci. Jpn.*, 60 (2006), p.201 - 202.

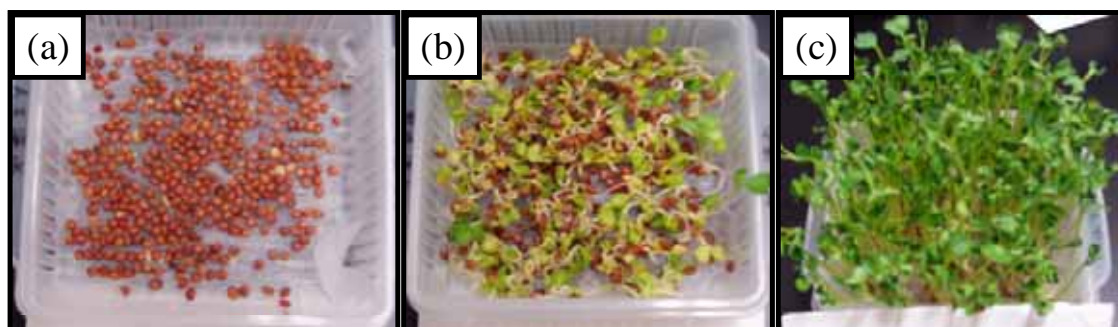


Fig. 6 The results of our experiment for (a) artificial seawater, (b) the solution treated with natural zeolite, and (c) distilled water.