

津波による浸水を受けた農地の除塩対策に関する検討

植物による除塩対策

屋祢下 亮

Keywords : restoration of agricultural land, seawater flooding, salt-removal, halophyte

農地復旧, 海水浸水, 除塩, 耐塩性植物

1. はじめに

東日本大震災に伴う津波は 10m 以上の高さで東北地方の沿岸部を襲い、仙台平野では沿岸から内陸部へ 5km 以上も移動した。その結果、津波の浸食、あるいは海水の浸水による土壤塩分濃度の上昇によって作付け不能になった農地が、青森、岩手、宮城、福島、茨城、千葉 6 県の総農地面積の 2.6%にあたる 23,400ha に及んでいる。特に日本有数の穀倉地帯である仙台平野での被害が大きく、15,000ha の農地が作付け不能となつておらず、仙台平野南部の名取市や岩沼市では、震災による地盤沈下で農地が海水に冠水したままになっている。

イネやムギなどの作物は通常、土壤塩分濃度が 0.5% 以上になると、ナトリウム障害によって枯れてしまう。海水の塩分濃度は 3% 程度であることから、海水が浸水した農地では、塩分を除去しないかぎり作付けすることができない。その中で、(独) 農村工学研究所は、インド洋津波や熊本県八代市で高潮被害を受けた農地の復旧事業などを参考に「津波による浸水を受けた低平地水田の除塩対策」を公開している¹⁾。この対策は、①排水設備の整備→②地下排水溝の整備→③Ca 資材の散布→④代かきや破土の実施→⑤淡水供給と排水による除塩、という手順で実施される。但し、作業手順でも明らかなように、この対策は代かきと給水を繰り返すことによって Na イオンを洗い流すことを基本としており、津波によって給排水設備が破損してしまった農地には適用できない。宮城県では、津波の浸水を受けた農地の 10% にあたる 1,100ha にしか、この除塩対策を施すことができないとされている。

他方、作付け不能になってしまった農地を放置するのではなく、トマトやナタネなど、ある程度の塩分濃

* 1 技術センター建築技術研究所環境研究室

度に耐える作物を植え付け、被災農地を有効利用しようとする試みが始まられている。しかし、被災農地を復旧するためには、土壤から Na イオンを吸収し排出することができる、いわゆるファイトレメーション機能を備えた植物を植え付けることが望まれる。

そこで、本報では、植物の耐塩性に関する研究事例を概説するとともに、日本全国の沿岸部より収集した植物や日本芝の耐塩性について評価した結果を紹介し、植物を用いた農地の除塩対策の可能性について述べる。

2. 植物の耐塩性メカニズムについて

土壤の塩分濃度増加によって植物に生育障害が生じてしまうのは、根圏の浸透圧が高くなり吸水力が低下すること、あるいは植物の細胞内に浸透した Na イオンによって代謝活性が低下することが原因と考えられている。植物にとって生育障害が生じるほど高濃度の塩分とは、これまでに蓄積された知見より塩分濃度が 100mM 以上であることを指し、この濃度以上の塩類を含む土壤ではほとんどの植物に生育障害が発生してしまう²⁾。一方、海水に浸っていても生育できる植物種も存在し、それらを解析することによって植物の耐塩性メカニズムが解明されつつある。間藤は、塩分ストレスに対する植物の生理反応には、以下に記す 4 つの反応があるとしている²⁾。

- 1) Na イオンのパーティショニング…細胞内に浸透した Na イオンを液胞に隔離し、代謝反応が Na イオンによって阻害されることを防ぐ。
- 2) 浸透圧調整物質の生産…1)の反応と並行して細胞質内にベタインやプロリンといった調整物質を生成・蓄積し、細胞質内外の浸透圧勾配を解消する。
- 3) カリウムの吸収…予め植物体内にカリウムを蓄積し浸透圧を高めることによって、根圏の高浸透圧

性に対して吸水力を確保する。

- 4) Na の再転流、排出・茎葉に浸透した Na イオンを根に再転流する、あるいは葉部にある塩腺という特殊な器官から Na イオンを体外に排出する植物種もある。

したがって、海水の浸水によって作付け不能になってしまった農地を復旧するにあたって、有用な植物を検索することは可能と思われる。

3. 日本に分布する耐塩性植物

秋吉らが行った研究事例（1995）³⁾より、日本各地にどのような耐塩性植物が分布しているのか紹介する。秋吉らは、塩害地の緑化に適用できる植物種を検索するため、日本各地の海岸線より採取した 161 種の植物について耐塩性を調査した。調査にあたって、採取した植物をポットに植え付け、1 ヶ月間、海水を与え続けて栽培し、生き残った植物種を海水耐性植物として選抜した。

その結果、採取した 161 種の植物のうち、海水耐性植物として選抜されたのは 22 種だった（表-1）。それら 22 種を系統分類すると、特定のグループに海水耐性植物が出現することが明らかとなった。特に、双子葉植物のアカザ科と単子葉植物のスズメガヤ亜科に海水耐性植物が多数見出された。

アカザ科に属するシロザは畑地や荒れ地でよく見られる一年草だが、海浜にも生育している。また、ハマアカザは海岸線や砂浜に見られる一年草で、耐塩性に関する実験植物として世界中で使われている。他にも、

海浜植物としてよく知られているハママツナ、ザクロソウ科のツルナやマツバギク、イソマツなどが海水耐性植物として選抜された。ハマアカザを用いて耐塩性メカニズムを解明しようとした研究事例を参照すると、ハマアカザは植物体内に入ってきた Na イオンを細胞質から液胞内に移送して代謝反応が Na イオンによって阻害されることを防ぐとともに、プロリンなど浸透圧調整物質を生成して細胞質内の浸透圧バランスを保っている⁴⁾。

単子葉植物においては、前述したスズメガヤ亜科に属するギョウギシバやコウライシバ、オニシバが海水耐性植物として選抜された。これら芝類は九州から南西諸島の砂浜や潮干帯に群落を形成する。なお、コウライシバやオニシバなどシバ属植物は塩腺という器官を備えており、植物体内に浸透した Na イオンを葉の裏側にある塩腺から体外に排出することが知られている⁵⁾。他、海水耐性植物として選抜されたヒガンバナ科のハマオモトやカヤツリグサ科のテンツキも海浜でよく見られる植物である。

以上のことから、海水耐性植物として選抜された植物の多くは、土壤から浸透、吸収した Na イオンを体内に蓄積する、あるいは体外に排出する機能を備えており、農地の除塩に有用な植物として考えられた。

4. Zoysia (シバ) 属植物の耐塩性について

次いで、日本各地の海岸線より採取した植物より海水耐性植物として選抜されたコウライシバなどシバ属植物の耐塩性について、詳細に解析した研究事例⁶⁾を

表-1 日本各地の海岸線より採取した植物種の海水耐性評価結果 一覧³⁾
Table 1 The list of see water-tolerant plants selected from a gene resource of Japanese seashore

双子葉植物-1			双子葉植物-2			単子葉植物		
科名	種数		科名	種数		科名	種数	
	耐塩性	中間型		耐塩性	中間型		耐塩性	中間型
アカザ科	4	1	1	マメ科	12	ガマ科		1
ナデシコ科		1	1	アカバナ科	2	ヒガンバナ科	1	
ザクロソウ科	2		1	ヒルギ科	3	ヤマノイモ科		1
スペリヒュ科	1	1	ガガイモ科	1	ユリ科	1	1	
ヒュ科			キキョウ科	1	アヤメ科		1	
ヤマゴボウ科			ヒルガオ科	4	タコノキ科		1	
イソマツ科	1		ゴマノハグサ科	1	ツユクサ科		1	
サクラソウ科		1	ナス科	4	イネ亜科		1	
タデ科		9	オオバコ科	2	タケ亜科		1	
アブラナ科		2	クマツヅラ科	2	キビ亜科		10	
ギヨリュウ科	1	2	イラクサ科	2	Arundoideae		2	
パパイヤ科		1	トウダイグサ科	2	イチゴツナギ亜科	1	5	1
ウリ科		6	カタバミ科	1	カゼグサ亜科	4	2	1
ベンケイソウ科	2		セリ科	1	カヤツリグサ類	1		5
ユキノシタ科		1	アカネ科	1				
トベラ科		1	キク科	1				
バラ科	4		ドクダミ科	5				

紹介する。

シバ属植物の耐塩性を解析するにあたって、ノシバ (*Zoysia japonica*)、コウライシバ (*Z. matrella*)、ナガミノオニシバ (*Z. sinica*)、改良日本芝「みやこ」の4種を供試材料として用いた。なお、「みやこ」はノシバとコウライシバの種間雑種である。これら4種より切り出したランナーを1/5000 aのワグネルポットに植え付け、2ヶ月間ほど刈り込みしながら養生した。ターフが形成された後、週3回、200mlの0、0.5、1、3% NaCl溶液を与える試験区を3ポットずつ設け、4週間栽培した。塩水処理終了後、植物体を地上部と地下部に切り分け、枯れた部分を除いて地上部乾物重を計測した。その結果を図-1に示す。いずれの草種とも塩水

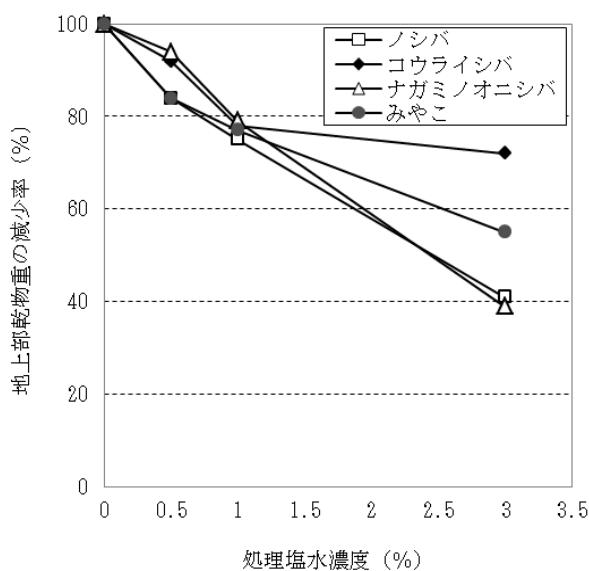


図-1 塩水処理したシバ属植物の地上部重の減少率

Fig. 1 Reductions in dry weights of zoysiagrasses by a supply of NaCl solution



図-2 塩水処理したノシバと「みやこ」の生育状況

Fig. 2 Figure of *Z. japonica* and cv. Miyako after a supply of NaCl solution

の処理濃度が高くなるにしたがって、地上部乾物重が減少したが、その減少率は種間で有意に異なっていた。ノシバとナガミノオニシバは3%NaCl処理区で地上部重が大きく減少し、淡水処理区の40%程度になった。それに対して、「みやこ」やコウライシバは淡水処理区の55~70%が生存した。3%NaCl溶液を4週間処理したノシバと「みやこ」の生育状況を図-2に示す。

次いで、各試験区より切り分けた地上部を蒸留水で洗浄したのち、地上部に含まれる無機成分、および遊離アミノ酸の含量について分析した。分析した無機成分のうち、塩水処理によって地上部中のNa含量が増加した(図-3)。特に塩水処理によって地上部乾物重が大きく減少したノシバでは、3%塩水処理によってNa含量が大きく増加した。それに対して、地上部重がそれほど減少しなかったコウライシバ、「みやこ」では、3%塩水処理区でも地上部のNa含量が大きく増加することはなかった。なお、同時に計測したCa、Mg、K含量には塩水処理による変化は認められなかった。また、いずれの供試品種においても、塩水処理によってプロリン含量が増加したが、そのうちノシバでは、塩水処理によってプロリン含量が顕著に増加することが認められた。

以上のことから、シバ属植物において耐塩性に種間差異が認められること、また、ノシバは3%NaCl溶液処理によって地上部が枯れてしまうが、その際、他の草種に比べて地上部のNa含量とプロリン含量が高くなることが明らかとなった。前述したように、プロリ

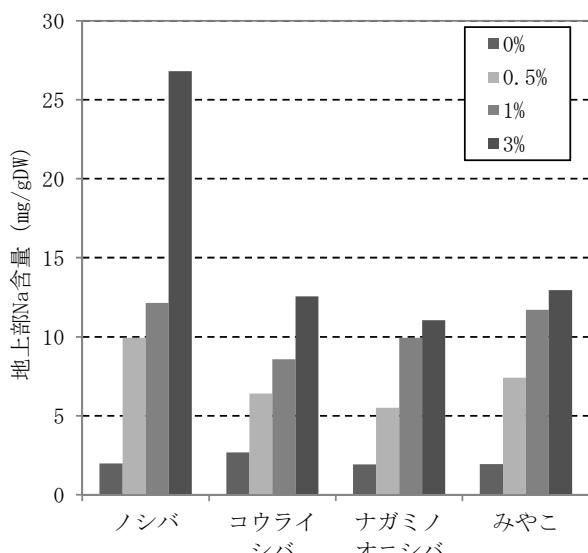


図-3 塩水処理したシバ属植物地上部のNa含量

Fig. 3 Concentrations of Na in shoots and leaves of *Zoysia* species after a supply of NaCl solution

ンは細胞質内に浸透してきた Na イオンに対する浸透圧調整物質として生成されること、およびシバ属植物は塩腺という器官を備えていることから、コウライシバや「みやこ」といった耐塩性に優れるシバ属植物は、植物体内に Na イオンが浸透した際、浸透圧調整するだけでなく、塩腺を通して Na イオンを能動的に体外に排出することによって塩分ストレスに耐えていると考えられた。

5. まとめ

最後に、東日本大震災によって引き起こされた津波によって作付け不能になった農地のうち、給排水設備の破損などによって塩分を洗い流すことができない農地の復旧技術の一つとして、植物による除塩対策の可能性について考察する。

これまでに日本各地の海岸線から収集し、海水耐性として選抜された植物は、体内に浸透した Na イオンを液胞という細胞内の器官に蓄積する、あるいは塩腺という器官を通して体外に排出することによって 3% の塩水にも耐える。したがって、海水が浸水した農地に植え付け可能で、農地から塩分を吸収できると考えられた。

但し、農地の復旧にあたって、海水耐性植物が土壤からどれだけの Na イオンを吸い上げるのか、土質によって Na イオンの吸収量が変化するのか、塩分を吸収した茎葉をどのようにして処理するのか、除塩後に海水耐性植物を除去するのみで農地として再利用することは可能か、といった解決すべき課題も多い。今後、

被災農地だけでなく、塩分集積地の有効利用も視野に入れて海水耐性植物の実用化に向けた研究を進め、東日本大震災からの復旧、復興にわずかながらでも貢献したい。

謝辞

本報は、(財)石油産業活性化センターより委託された研究成果、および(独)生研センターと大成建設(株)を含む民間 4 社の出資によって設立された(株)ジャパン・ターフグラスの研究成果の一部を要約したものです。

参考文献

- 農村工学研究所ホームページ：津波による浸水を受けた低平地水田の除塩対策,
<http://www.nkk.affrc.go.jp/2011fukkoushien/fukkyuuhouhou/nouchi/joentaisaku.html>
- 間藤徹：植物の耐塩性メカニズム、植物の化学調節, Vol.32, pp.198-206. 1997.
- 秋吉美穂、岡田美穂、吉田泰子、吉田光毅、遠藤昇：植物の海水耐性 (2) 日本の海岸における遺伝資源、大成建設技術研究所報, Vol.28, pp.353-360, 1995.
- Matoh, T., J. Watanabe and E. Takahashi : Sodium, Potassium, Chloride, and Betain concentrations in isolated vacuoles from salt-grown *Atriplex gmelini* leaves, Plant Physiol., Vol.84, 173-177, 1987.
- Marcum, K.B., S.J. Anderson and M.C. Engelke : Salt gland ion secretion: a salinity tolerance mechanism among five Zoysiagrass species, Crop Sci., Vol.38, pp.806-810, 1998.
- 大川原良次、廣瀬光子、金子誠二：Zoysia 属芝草における耐塩性と遊離アミノ酸、糖類の蓄積、日本土壤肥料学会講演要旨集, Vol.42, pp.68, 1996