

耐塩性芝と塩を利用した河川・海岸堤防の緑化

京都府立桂高等学校・宮城県小牛田農林高等学校

1. 序 論

現在、地球の約30%が乾燥・塩類集積・アルカリ化によって荒地化してきている。植物にとって塩は、生存を脅かす存在であるが、この塩を利用して生存している植物がわずかに存在する。その一つが日本芝 (*Zoysia japonica*) である。私達はこの植物の自生地環境から、塩が自生地維持の鍵であると考えた。きっかけは、2012年から開始した津波堆積土の緑化試験である。復旧作業で発生した、塩分を含む堆積土を緑化土壌として利用しようというものである。堆積土は、高い塩性・アルカリ性を持ち、植物が生育しにくい条件にも関わらず、日本芝は順調に生育した。また、宮城県牡鹿半島先端の金華山で自生する固有日本芝種 (金華山種) の調査でも、海岸間際で自生している日本芝が、他の優占植物に遷移せずに長期間自生していることが判明した。これは、日本芝が塩を利用していると考えられる大きな根拠となった。そこで、日本芝が、塩をどのように利用しているのかを検証すると共に、この能力を有効に利用する方法の研究を行った。

2. 研究及び調査

●日本芝の耐塩性と塩分が及ぼす効果

2.1 耐塩性のある日本芝を用いて津波堆積土を緑化する

農地の除塩時に取り除かれた津波堆積土は、2012年の時点で130万tに及ぶ。これらは、津波によって運ばれてきた土砂で、高濃度塩分を含むヘドロである。そのため、ほとんどの植物は生育せず利用方法が限られている。研究班は、堆積土を加工せず緑化用土壌として用いる実験を実施した。

① 実験材料及び方法

供試植物：日本芝 (若草山種)

供試材料：津波堆積土・石灰

試験畦畔：石灰 (固化剤) を混入した1つの試験畦畔に、津波堆積土区・津波堆積土単体区・pH調整を

行ったスラッジ灰 (固化剤) 区の3区画に分割して設置

植栽方法：日本芝の9cmポット苗を製作、各試験区に点状に植栽【1m²/16個】

(以降ドット状貼り付け法と呼ぶ)

調査方法：2年間にわたり観察調査

② 調査結果

当初は、高濃度塩分の津波堆積土単体区と、塩分と高アルカリ土壌 (pH9) の石灰散布区については、日本芝の生育不良を予想したが、結果、自然降雨だけの環境下で、各試験区とも枯死株は発生しなかった。



図1 津波堆積土試験圃場・日本芝以外の植物が繁茂しない

驚くべきは、植栽した日本芝が1年半にわたり、遷移せずに優占種となり続けたことだ。(図1) 本来、日本芝を含む草本植物は、遷移過程の下層に位置する植物で、芝地を維持するのに人為的に除草管理するか、シカ等草食動物との共生が必要となる。今回の場合、周辺部に草食動物の棲息もなく、人為的にも管理していないことから、他の要因が考えられた。そこで試験区全体に共通に含まれる塩分に着目した。

2.2 日本芝の耐塩能力テスト

日本芝の耐塩能力を調べた。自生環境の異なる芝種を用い、無処理区・1%・3%・5%濃度の塩水を200ml/dayを灌注するテストを実施した。

① 研究材料

供試植物：京都種（京都府豊国廟で発見）

若草山種（奈良県若草山に自生）

金華山種（金華山海岸沿いに自生）

試験方法：塩水1%（通常植物の限界濃度）・3%（海水濃度）・5%（高濃度塩水）

7日間毎に塩水／3日灌水・淡水／3日灌水・無灌水／1日を設定した。

無処理区は、通常灌水／6日・無灌水／1日を設定した。塩分成分は食塩を使用。

（設定理由：海岸自生環境に近い状態を目指した。）

計測方法：ダイレクトECメータによる塩分濃度計測及び、葉の状態観察。

② 調査結果

変化は7日目から現れた。3%試験区で、京都・若草山種は塩類障害の影響を受けた枯死葉が目視で70%発生。対して金華山種は50%程度の枯死葉の発生であった。無処理区と比較すると、明らかに塩分による影響が確認された。



図2 試験開始2週間

2週目の計測時で確認された枯死葉は京都種90%・若草山種70%・金華山種60%となった。京都・若草山種に比べ、金華山種の塩害の発生は少なく、耐塩能力差が確認できた（図2）。結果、内陸部で人為的に管理されてきた京都種・鹿との共生で自生する若草山種・海岸沿いに自生する金華山種の順で耐塩能力に差が見られ、自生地環境で耐塩能力差が明確になった。

2.3 試験圃場における塩化マグネシウム・カルシウムを用いた耐塩テスト

2.2の結果を受け、学校内に試験圃場を設置、実際に緑化された場所での耐塩能力を証明する実証実験を実施した。

① 研究材料及び方法

供試植物：京都・若草山・金華山種

試験方法：20㎡の試験圃場に各芝種の植栽区を設定。塩化カルシウム・マグネシウム、無処理区の3区を設けて実施。塩化カルシウム・マグネシウムは道路の融雪剤を1㎡/500g使用。（校庭での砂飛散防止に使用する量を基準とした）

測定方法：ダイレクトECメータによる測定及び生育状態観察

② 調査結果

今回の試験では日本芝に塩害の発生は見られなかった。土壌塩分は散布後約2週間地表にとどまり、徐々に下層へ移動、降雨後毛細管現象で上昇・再降下を繰り返し減少していくことが判明した（表1）。塩分濃度は3ヶ月程度で消失した。散布後、カタバミが塩害で枯死する傾向があった。メシバ・オヒシバの耐塩性雑草は、初期に草勢が落ちる傾向はあったが、その後回復して成長した。しかし、散布後数ヶ月間、圃場に日本芝以外の植物が新たに発生せず、塩分によって種子発芽が抑制されていると考えられた。（図3）

表1 「NaCl₂・CaCl₂の塩分濃度の推移」

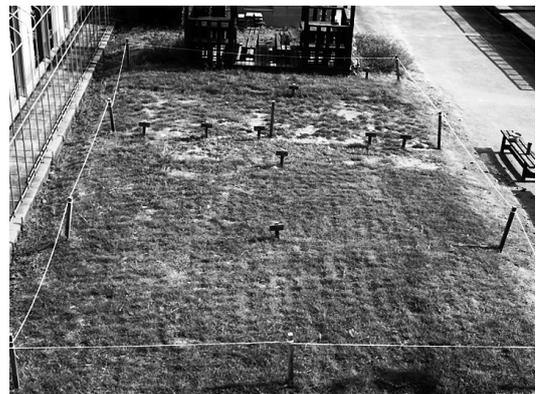
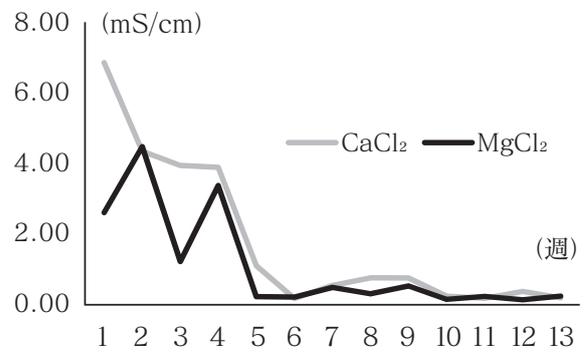


図3 （2013年11月～）・2014年7月・日本芝以外の植物がみられない（桂高校 試験圃場）

2.4 MgCl₂を用いた発芽抑制効果

2.3で得られた知見を証明するため、圃場周辺で3種の雑草種子(各100粒)を採種し、塩分土壌下で発芽試験を実施した。

① 研究材料及び方法

供試植物:カタバミ・オヒシバ・メヒシバ

供試材料:1.8ℓプランター・MgCl₂

試験方法:MgCl₂散布区(14g)と無処理区を設定。種子の発芽率を調査。

② 試験結果

今回試験に使用したオヒシバ・メヒシバは耐塩性雑草で、カタバミを対象植物とした。カタバミを含む耐塩性がない雑草の多くで塩分による種子発芽抑制効果は顕著に見られた。塩分を施さない対象区に雑草が繁茂したことから、種子が塩分の影響を受けて発芽できないことが判明した。耐塩性雑草は塩分下において、オヒシバの発芽率は抑制されたが、メヒシバは逆に発芽率が上昇した(表2)。これらのことから塩分は、一部の植物を除く、多くの植物の発芽を抑制する可能性があることが判明した。

表2 カタバミとオヒシバとメヒシバの発芽率

カタバミ	1週	2週	3週	4週	5週
塩分なし	0	2	8	30	34
塩分あり	0	0	0	4	6
オヒシバ	1週	2週	3週	4週	5週
塩分なし	0	6	34	42	44
塩分あり	0	0	4	2	4
メヒシバ	1週	2週	3週	4週	5週
塩分なし	0	4	6	10	12
塩分あり	0	12	12	38	44

2.5 耐塩性日本芝の自生地環境の調査

東北での法面緑化にあたり、環境に適した、耐寒・耐塩・耐乾能力のある日本芝を探した結果、宮城県牡鹿半島沖の金華山に自生する芝がこの条件に該当し、この島の自生環境の調査を小牛田農林高校の研究班と共同で実施した。

① 調査活動

2012年~2014年に渡って、計5回の調査活動を実施した。

② 調査方法:

・自生地の植生及び生態の調査

- ・採集した葉体のDNA鑑定を実施。
- ・採集した個体を栽培し性質・性状の調査

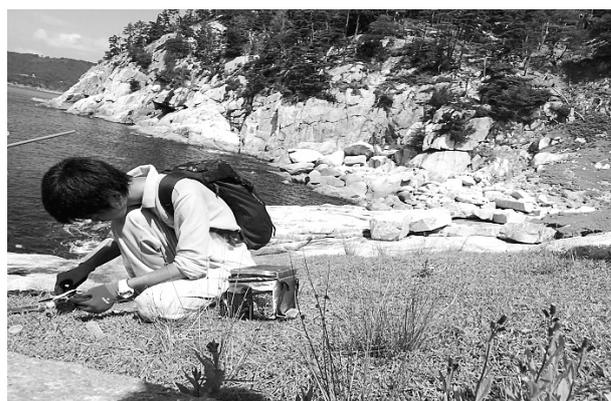


図4 宮城県小島半島先端「金華山」・DNA鑑定用葉体の採集様子

③ 検証方法

現地調査をもとに、DNAデータ・栽培データによる検証

・麻布大学(高槻成紀教授)【鹿の生態学】との情報交換による確認

④ 検証結果

研究班は、2008年の奈良県若草山・2011年の京都豊国廟での自生地調査を実施しており、鹿との共生(若草山)・徳川・豊臣の歴史的な経緯での人為的な管理(京都豊国廟)によって芝地が維持されてきたことを調査立証している。今回の調査では、金華山の芝地は、若草山のように江戸期以前から生息する野生鹿との共生で芝地が維持されたと考えた。実際DNA鑑定においても、採集ポイントごとに異なる遺伝子タイプが検出されいながら、一部のDNAアレルが共通して強いホモ状態を示していることから、相当長い期間(1000年単位で)固有している上に、鹿によって種子繁殖していると考えられた。一部のアレルのホモ状態は東北型固有の特徴であり、他地域との区別できると考えている。今回の(5回目)金華山南東部及び東部の調査では新たな発見があった(図4)。調査地の金華山東部は太平洋側に面し、山が海岸付近までせり出し、芝地が少なく地域であり、震災前は金華山固有の植物を守るために、鹿除け柵が海岸周辺に設置され、ほとんど海岸付近に鹿が降りられない場所であることもあり、鹿の集団が少ない地域でもある。震災によって鹿除け柵は所々崩壊しており、調査時は鹿除け柵内にも鹿糞は見られたが、牡鹿半島側に比べて極端に少ない状況であった。その環境の中、芝地は海岸間近の岩盤

地帯に展開し、芝以外の植物の生育がほとんど確認されず、単一植生傾向となっていた。これは、植物の遷移が行われていないことになる。仮説ではあるが、塩を利用して遷移を抑えている痕跡があり、研究の裏付けとなった。

3. 鳴瀬川河口法面への実践

●耐塩性芝と塩で、革新的な緑化の実現

河川堤防法面緑化・道路法面緑化の多くは、除草剤の使用が認められていない。除草剤が使用できない要因は、水質や生態系への影響・近隣住民の健康被害等の問題である。研究班では、耐塩性日本芝と塩分を用いることで問題を解決できないかと考えた。そこで国土交通省に研究成果を提示、鳴瀬川河口に240m²の試験圃場の提供を受け実証試験を実施した。東北での実施は、震災の復旧で堤防・防潮堤の建設が進行していたこと。生態系に配慮した負荷の少ない緑化技術が必要とされたためである。

① 実践場所及び方法（2014年6月1日）

☆試験圃場：宮城県東松島鳴瀬川河口の河川堤防240m²・対象区240m²×2

☆試験方法：試験圃場・・・塩化マグネシウム120kg／240m²（500g／1m²換算）土壤流失防止ネット、金華芝ポット苗（3800ポット）

貼付け方法：ドット状貼付け法（ポイント植栽）

※本研究班で開発した、乾燥に強い植え付け方法
対象区・・・通常土波土への植栽、市販ノシバマット（筑波系）

貼付け方法：べた張り法（芝マット1416枚）従来工法

☆モニタリング調査について

緑化状態を確認・EC測定等を実施する。

予定及び日程

※6～9月に小牛田農林高校と共同で4回のモニタリング調査実施

② 実践結果

試験圃場への植え付けは、事前のシュミレーション通り、植穴→塩化マグネシウム→土壤流失防止ネット→芝苗植栽→目土の手順で実施した。土壤硬度12.3mmと表面硬度は十分であったが、土壤内部の硬度が弱く崩れやすいことが判明、植穴を先に空ける方法から、穴あけ後すぐに芝苗を植えて穴の崩れを防止する方法に変更を余儀なくされた。その後手順を塩化マグネシウム→土壤流失防止ネット→目



図5 鳴瀬川河口法面金華芝ポット植え付け（桂高校・小牛田農林高校）

土と手順を変更して実施した（図5）。手順を変えたことで、植え付けてからの植穴部分のカットとなり、土壤流失防止ネットが芝苗の上に重なる問題が発生した、芝苗が覆われないよう修正は行ったが、後日のモニタリング調査で、防止ネットが重なったことで日照・給水不足をまねき枯死した株の発生が見られた。これは手順変更によって生じた事象と考えており、塩化マグネシウムや海水が苗の枯死に関係したことはないかと判断している。一部の枯死株は生じたが、それ以外の金華芝は塩害等の発生もなく順調に生育した。2ヶ月経過した状況は、雑草種の発生も少なく塩化マグネシウムの効果は発揮されていると考えている。また、同時に植栽した市販芝（対象区）は一見良好な状態に見えたが、1ヶ月後のモニタリングでは、匍匐茎は金華芝に比べて発生がほとんど無く、1m²当たり／1本（発生数）／2cm（長さ）であったのに対し金華芝は1m²当たり／4本／60cmであった。この違いは、金華芝を含む野生種が持つ特性と考え、今後検証していく。

土壤塩分濃度に関しては、概ね試験圃場でのデータと酷似しているため、同様の推移と考えている。

4. 考 察

本研究で使用した塩化マグネシウムは苦汁（にがり）にも使われる食品添加物で人体にも影響が少ないものである。また、溶解速度も他の塩化物に比べて緩やかで気温の影響も受けにくい塩化物である。また、これらを融雪剤として散布しても、地下水の水質に影響はないとされていることから、河川法面での実証試験を実施した。植栽方法のドット状貼り付け法は、乾燥に強い半面、大面積緑化に向いていないが、金華芝の供給面からドット状貼り付け法で実施した。植栽後、モニタリ

ング調査を約1ヶ月単位で3回実施した。その結果、金華芝は散布した塩化マグネシウムの影響を受けることなく順調に生育し、匍匐茎の展開も確認できた。また、植栽間の雑草の発生も対象区に比べて抑えられていることから効果は十分にあったと考えている。今後は芝が展開し十分に緑化した後の雑草抑制状況の確認、塩化マグネシウムの持続効果、追加散布の量及び時期を検証し、実用化を目指したいと考えている。宮城県での金華山芝生態調査・河川法面植栽・モニタリングでは、宮城県小牛田農林高等学校「芝研究班」の協力は不可欠であり、共同研究の重要なパートナーである。上記以外にも金華山ノシバDNA調査・種子採種活動だけでなく、金華芝利用拡大のための鳴子生産圃場 (5000m²) の設置においても共同で実施 (図6) している。



図6 桂高校・小牛田農林高校共同で実施

5. 謝 辞

私達の研究は多くの人に支えられてなりたっている。宮城県小牛田農林高等学校をはじめ、東北大学・サンケイ農産・東日本復興芝生産株式会社・国土交通省東北河川局の協力なくしては実現は難しかったと考えており心から感謝しています。

参考文献

- 1、芝草物語 北村文雄著
ソフトサイエンス社平成13年3月
- 2、草原の科学への招待 中村徹編
筑波大学出版会 2007年10月初版
- 3、生命にとって塩とはなにか 高橋栄一著
農文協 1987年11月初版

京都府立桂高等学校

吉野 温 野中 智巴
吉田 千紘 出射 静
山本 麻由 西岡 大穂
石平あんり 牧野みゆき
玉川 美果 仲山 風吹
砂川 寛登

宮城県小牛田農林高等学校

鈴木 浩貴 佐藤 周也