

令和 5 年 5 月 20 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K05709

研究課題名（和文）塩湿地の生物多様性保全に向けた絶滅危植物数種における種子発芽・生育立地特性の解明

研究課題名（英文）A study on the seed germination and habitat characteristics of several threatened halophyte species for the biodiversity conservation of salt marshes

研究代表者

黒田 有寿茂（Kuroda, Asumo）

兵庫県立大学・自然・環境科学研究所・准教授

研究者番号：30433329

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,900,000円

研究成果の概要（和文）：絶滅危惧の状況にある塩湿地植物の種子発芽特性と生育立地特性を明らかにするために、発芽試験と野外調査を行った。発芽試験の対象としたキク科ヨモギ属のフクド *Artemisia fukudo* およびイグサ科イグサ属のドロイ *Juncus gracillimus* について、温度・光条件に関する休眠・発芽特性、海流散布の可能性、永続的な埋土種子集団の形成可能性、種子保存の可能性のほか、これら絶滅危惧種を含む塩湿地植物計14種のフェノロジー、塩湿地植生の帯状構造、現地における年間の地温データなど、域内・域外保全方法の検討に資する有用な知見・情報を得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

塩湿地植物の種子発芽特性に関する知見は少数の種に限られており、生育立地特性を発芽試験や野外調査など複数の手法から多面的に調べ、評価した事例も少ない。今回得られた知見・データに加え、認識された今後の課題に関し調査を実施していくことで、塩湿地植物の域内・域外保全ならびに塩湿地における生物多様性保全の推進に向け一層の貢献ができるものと考えられる。また、得られた知見・データを行政機関や社会に向け発信することで、海岸域における環境施策の立案・改善や環境学習の支援につながることを期待できる。

研究成果の概要（英文）：Germination tests and field surveys were conducted to clarify the seed germination and habitat characteristics of threatened halophyte species. For *Artemisia fukudo* and *Juncus gracillimus*, dormancy and germination characteristics in relation to temperature-light conditions, thalassochory potential, the possibility of forming persistent soil seed bank, and the feasibility of seed storage were examined. The phenology of 14 halophyte species including these two threatened species, the zonal structure of salt marsh vegetation, and annual soil temperature fluctuation in the field were also investigated. The results and data obtained will contribute to promoting in-situ and ex-situ conservation of threatened halophyte species.

研究分野：植物生態学

キーワード：生物多様性保全

1. 研究開始当初の背景

海と陸との境界部にあたる海岸域には、砂浜、砂丘、礫浜、岩場、塩湿地などの様々な環境が存在し、その多様性に応じ、種組成や構造の異なる植生が成立している。澤田ほか(2007)は、これら海岸域に特有の立地を主な生育地とし、それ以外の立地にはほとんど出現しない在来の維管束植物を海岸植物と定義し、その該当種として64科280種を抽出した。これは国内に分布する在来維管束植物種数の約4%に相当する。海岸域は大きなスケールで見れば線状あるいは点状であり、占める面積も小さいが、特異で多様な種が分布する、国内の生物多様性保全上、重要な環境といえる。

しかしながら、自然性を保った海岸域は特に1960年代の高度経済成長期以降、急激に減少してきている。環境庁自然保護局(1998)によると、全国の海岸(汀線)の比率は自然海岸が53.1%、半自然海岸が13.0%、人工海岸が33.0%となっており(ほか河口部が1.0%)、人為改変を加えられた海岸がほぼ半数に達している。そして海岸域の環境の中でも特に改変されやすいのが、河口部や内湾に成立する塩湿地(塩性湿地、塩沼地と同義)である。塩湿地は海水・汽水による冠水と陸化が交互に繰り返される海域-陸域間のエコトーンの一つであり、人為が加わる以前には河口や内湾の一帯に広がっていたと考えられる。しかし塩湿地は古くから開発により縮小し、海岸域の護岸化と河川改修が進んだ現在では、比較的自然性の高い河川の河口部や下流部にわずかに残存しているケースがほとんどである。環境庁自然保護局(1998)において、塩湿地が成立すると推測されるのは自然海岸と半自然海岸に含まれる泥浜海岸であるが、その割合はそれぞれ1.3%、3.5%とごく少ない。

塩湿地植物は塩湿地の主要な生産者であり、その生物多様性と生態系機能の維持に重要な役割を果たしているが、上述のように塩湿地は著しく縮小しており、多くの種が存続の危機にさらされている。澤田(2014)によると、在来の塩湿地植物61種のうち28種(45.9%)が絶滅危惧種(環境省第4次レッドリスト掲載種)に指定されており、その割合は他の海岸植物(海浜植物、海崖植物など)と比較しても高くなっている。このような状況下、塩湿地植物の保全は急務の課題となっているが、そのためには既存の生育地を保護するだけでは不十分である。それは、海岸域に生育する塩湿地植物は、台風時の高潮、大雨時の出水といった大規模な自然撓乱の際に、個体群が消失してしまうリスクが高いためである(ただし自然撓乱は負の影響だけでなく、進出・定着可能な新たなハビタットを提供するという正の影響ももたらす)。このことから、塩湿地植物の保全に向けては実生のセーフサイトや個体の生育適地の形成につながる域内保全を積極的に講じていく必要がある。また個体群の規模が著しく縮小し、絶滅リスクが高まっている場合には、施設での種子保存や個体の栽培といった域外保全も必要となってくる。そして、これらの具体策を検討・立案していくためには、塩湿地植物の各種がどのような環境・条件下で発芽・定着し、繁殖・分散に至るか知見を蓄積していく必要がある。こうした観点から、本研究では、塩湿地植物の種子発芽特性と生育立地特性に着目し、調査・解析を行う。

2. 研究の目的

本研究の目的は、絶滅危惧の状況にある塩湿地植物数種の種子発芽特性と生育立地特性を明らかにし、その域内保全・域外保全方法を提言することである。

3. 研究の方法

種子発芽特性と生育立地特性を明らかにするために、(1)発芽試験、(2)野外調査(フェノロジー調査、植生調査、地温測定)を行った。発芽試験の対象種は種子が十分に確保できたキク科ヨモギ属のフクド *Artemisia fukudo* およびイグサ科イグサ属のドロイ *Juncus gracillimus* とし、野外調査の主な対象地は瀬戸内海沿岸(播磨灘および周防灘沿岸)の塩性湿地とした。

(1) 発芽試験

① 温度・光条件に対する休眠・発芽特性

恒温機・変温機を使用し、温度・光条件に関する休眠・発芽特性を調べた。温度条件は6種類(12.5℃、17.5℃、22.5℃恒温、20-5℃、25-10℃、30-15℃変温)、光条件は2種類(明暗交替条件、暗条件)で、これに前処理(冷湿処理)の有無を組み合わせた計24条件で発芽試験を行った。これらの結果から一次休眠の有無や非休眠種子の発芽可能温度域を明らかにし、後述の発芽試験で適用した。

② 海流散布の可能性

水流散布(海流・潮流や河川の流水による種子散布)のうち、特に海流散布の可能性を調べるために、海水を模した3.45%NaCl水溶液に種子を入れ、浮遊の有無を確認した後、発芽試験を行った。

③ 塩水湛水条件下における発芽可能性

塩性湿地には潮の干満に応じ海水や汽水が流入する。そうした塩水湛水条件下における発芽可能性を調べるために、NaCl水溶液の濃度を4段階(3.45%、1.72%、0.86%、0%)に調整した塩

水で発芽床を湿らせ、発芽試験を行った。なお、本試験はドロイについてのみ行った。

④永続的な埋土種子集団の形成可能性

土壌中で長期間(1年以上)発芽能力を維持する種子集団を形成するか検証した。具体的には、種子と生育地の土壌を入れたメッシュ袋を生育地周辺の地表面下 20 cm に埋め、一定期間経過後、メッシュ袋を回収し、種子の生残状況を確認した後、発芽試験を行った。生育地では出水などの自然攪乱によりメッシュ袋が消失する可能性があるため、栽培施設(兵庫県立人と自然の博物館の植物栽培施設)内の裸地でも同様に埋土処理を行った。なお、本試験はフクドについてのみ行った。

⑤種子保存の可能性

制御環境下における種子保存の可能性と効果的な保存方法を検証・検討するために、種子を紙封筒とアルミパック(抜気封入)に入れ、低温下(約 4℃)で保存し、一定期間経過後、発芽試験を行った。

(2)野外調査

①フェノロジー調査

播磨灘および周防灘沿岸の塩性湿地において、塩性湿地植物の生育状態(展葉、開花、結実、種子散布など)を毎月観察・記録した。塩性湿地を含む海岸域が高潮や河川の氾濫など不測の攪乱を受けやすい環境であることから、本調査は特定の個体をモニタリングするのではなく、個体群全体を見て記録するようにした。

②植生調査

播磨灘および周防灘沿岸の塩性湿地 2 箇所(フクド生育地、ハママツナ *Suaeda maritima* subsp. *asiatica* 生育地)において、汀線から内陸方向に複数のラインをひき、その上に 2 m×2 m の調査区を連続的に設置して、群落高、植被率、出現種(維管束植物)の被度を記録した。

③地温測定

播磨灘沿岸の塩性湿地 1 箇所(河川敷上のフクド生育地の周辺)の深さ 1 cm、5 cm、20 cm にデータロガーを埋め、地温を 1 時間間隔で連続測定し、一定期間経過後に回収した。

4. 研究成果

(1)発芽試験の結果

①温度・光条件に対する休眠・発芽特性

発芽試験の結果、フクド種子は冷湿処理なし、明暗交替条件の全ての温度条件下で 90%以上の高い発芽率を示した。このことから、フクド種子は散布後、非休眠状態にあり、おおよそ 10-30℃程度の幅広い温度帯で発芽可能であることがわかった。また、冷湿処理あり、明暗交替条件の全ての温度条件下においても 95%以上の発芽率を示したことから、低温による二次休眠の誘導は生じないことがわかった。一方、暗条件では温度条件によって 50-60%の発芽率を示したことから、発芽において若干の光要求性をもつことがわかった。ドロイ種子については、冷湿処理の有無に関わらず、明暗交替条件、変温条件下で 90%以上の高い発芽率を示した。一方、暗条件では全く発芽は認められず、恒温条件下でも 0-5%のごく低い発芽率にとどまった。このことから、ドロイ種子も散布後、非休眠状態にあり、10-30℃程度の幅広い温度帯で発芽するが、発芽において変温要求性と光要求性をもつことがわかった。

②海流散布の可能性

3.45%NaCl 水溶液に種子を入れ攪拌したところ、フクド、ドロイいずれの種子も速やかに沈降した。また、30 日間沈降した種子を対象に発芽試験を行ったところ、フクド、ドロイいずれの種子も 95%以上の高い発芽率を示した。なお、温度条件と光条件はいずれの種も 30/15℃変温、明暗交替条件に設定した(冷湿処理はフクドなし、ドロイあり)。これらの条件は後述の発芽試験も同じである。

③塩水湛水条件下における発芽可能性

ドロイ種子について、3.45%および 1.72%NaCl 水溶液で湿らせた発芽床では全く発芽が認められなかったが、0.86%NaCl 水溶液では約 70%の種子が発芽した。0%のコントロールでは 95%以上の発芽率を示した。

④永続的な埋土種子集団の形成可能性

生育地周辺に埋土したフクド種子について、約 1 年(386 日間)経過後に掘り出したところ、94%の種子が健全な状態で回収され、これらを対象に発芽試験を行ったところ、95%以上の高い発芽率を示した。また、約 2 年(755 日間)経過後に掘り出したところ、96%の種子が健全な状態で回収され、これも 95%以上の発芽率を示した。一方、栽培施設内の裸地に埋土したフクド種子について、約 1 年経過後に掘り出したところ、健全な状態で回収されたものは 85%で、発芽率は約 30%にとどまった。また、約 2 年経過後に掘り出したところ、健全な状態で回収されたものは 72%で、発芽率は同じく約 27%にとどまった。

⑤種子保存の可能性

フクド種子について、紙封筒とアルミパックに入れ、約 2 年(733 日間)保管後に発芽試験を行ったところ、いずれも 90%以上の高い発芽率を示した。ドロイ種子についても同様に、紙封筒とアルミパックに入れ、約 4 年(1475 日間)保管後に発芽試験を行ったところ、いずれも 95%以上の高い発芽率を示した。

(2) 野外調査の結果

① フェノロジー調査

播磨灘および周防灘沿岸に生育する塩湿地植物計 14 種（シバナ *Triglochin asiatica*、ドロイ、シオクグ *Carex scabrifolia*、イソヤマテンツキ *Fimbristylis sieboldii*、アイアシ *Phacelurus latifolius*、ナガミノオニシバ *Zoysia sinica* var. *nipponica*、ハマサジ *Limonium tetragonum*、ホソバハマアカザ *Atriplex patens*、イソホウキギ *Bassia littorea*、ヒロハマツナ *Suaeda malacosperma*、ハママツナ、フクド、ウラギク *Tripolium pannonicum*、ハマボウ *Hibiscus hamabo*）の生育状態を毎月観察・記録し、これらの種の展葉、開花、種子散布などの時期をとりまとめた（黒田 2022）。フクドの開花時期は 9 月から 10 月で、果実は 11 月中旬頃より散布され、芽生えは 1 月に観察された。ドロイの開花時期は 5 月から 6 月で、果実は 7 月上旬頃より散布されていた。

② 植生調査

周防灘沿岸のフクド生育地において植生調査を行ったところ、もともと海域寄りの地点にナガミノオニシバがマット状に群落を形成しており、やや内陸に入った場所からハママツナ、ハマサジ、ホソバハマアカザ、フクドが出現し、これらの被度が増加した。播磨灘沿岸のハママツナ生育地では、もともと海域寄りの地点でハママツナが点状に群落を形成しており、やや内陸に入った場所からホソバハマアカザが出現し、さらに内陸に入った場所でアキノミチヤナギ、マツナ、ツルナなど海浜生の植物がみられた。群落高はいずれにおいても内陸に向かうにつれ高まる傾向が認められた。

③ 地温測定

ロガー回収後に得られた地温データ（℃）から 1 年分（2021 年 3 月から 2022 年 2 月）を抽出し、季節別（春季：3-5 月、夏季：6-8 月、秋季：9-11 月、冬季：12-2 月）に最低地温、平均地温、最高地温を整理した。結果は以下の通りである（いずれも℃；深さ 5 cm については明らかな異常値が記録されていたため省略している）。

季節	深さ 1 cm			深さ 20 cm		
	最低地温	平均地温	最高地温	最低地温	平均地温	最高地温
春季	-0.2	15.9	38.2	7.6	15.5	24.0
夏季	15.0	27.9	51.9	20.0	26.4	32.1
秋季	3.1	19.7	40.8	9.1	20.2	29.6
冬季	-2.7	5.8	20.9	3.6	7.2	12.8

深さ 1 cm では夏季に 50℃以上の最高地温が記録された。氷点下の地温は冬季のほか春季にも記録されていた。各季節および季節間における地温の変動幅は深さ 20 cm よりも深さ 1 cm で明瞭に大きかった。

(3) 考察・成果まとめ

温度・光条件を変えた発芽試験の結果から、フクドとドロイの種子はいずれも散布後、非休眠状態にあり、10-30℃程度の幅広い温度帯で発芽することがわかった。フクドについて、低温による二次休眠の誘導は認められず、生育地の最高地温（深さ 1 cm）は冬季ですでに 20℃を上回っていたことから、秋季に散布された種子の多くは冬季のうちに発芽するものと考えられる。実際、芽生えは 1 月には観察された。ドロイについては、夏季に散布された種子が速やかに発芽している可能性もあるが、生育地では芽生えを確認することができなかった。夏季の高温が二次休眠を誘導している可能性もあることから、本種の発芽フェノロジーを明らかにするためには現地での観察と共に追加の発芽試験が必要と考えられる。また、暗条件で全く発芽が認められず、発芽において光要求性をもつことが示されたことから、本種は埋土種子集団を形成しやすい特性をもっている可能性がある。

また、フクド、ドロイのいずれも、3.45%NaCl 水溶液に 30 日間接触させた種子は 95%以上の高い発芽率を示した。ドロイについては、0.86%NaCl 水溶液で湿らせた発芽床で約 70%の発芽率を示した。これらのことから、両種の種子はいずれも耐塩性を持ち、ドロイについては塩分濃度が低ければ汽水条件下でも発芽することが示唆された。一方、フクド、ドロイいずれの種子も、NaCl 水溶液に入れ攪拌したところ速やかに沈降したことから、両種の種子が海流散布により長距離散布される可能性は低いことが示唆された。これら 2 種の域内保全においては、塩湿地環境の維持と地域個体群それぞれの存続が域内保全において重要な意味をもつと考えられる。

加えて、生育地周辺に埋土したフクド種子の発芽試験の結果から、本種の種子は土壤に深く埋もれた場合は永続的な埋土種子集団を形成するポテンシャルをもっていることが示された。域内保全や現地での個体群再生を図る際には、地上個体群だけでなく、埋土種子集団として存在する地下個体群のことも念頭においておく必要があると考えられる。一方、栽培施設で埋土した種子の発芽率は 30%弱と低く、埋土種子集団が形成されるかどうかは土壤条件に左右されることが示唆された。また、今回はメッシュ袋に入れ埋土処理を行ったが、この状態は、自然条件下での埋土状態と同じでないことに留意する必要がある。永続的な埋土種子集団の形成可能性の評価に向けては、これらを考慮した追加の実験が求められる。

種子保存の可能性については、フクド、ドロイのいずれの種子も今回適用した保存方法の種別（紙封筒、アルミパック）に関わらず、低温下で数年間、発芽能力を維持することが示された。

種子保存は域外保全を進める上で有効であるといえる。今後は長期保存や -20°C 程度のより低温下での保存可能性について検証していく必要がある。

上記の通り、今回発芽試験の対象としたフクドとドロイについて、基本的な休眠・発芽特性、海流散布の可能性、永続的な埋土種子集団の形成可能性、種子保存の可能性のほか、これら絶滅危惧種を含む塩湿地植物計14種のフェノロジー、塩湿地植生の帯状構造、現地における年間の地温データなど、域内・域外保全方法の検討に資する有用な知見・情報を得ることができた。塩湿地植物の種子発芽特性に関する知見は少数の種に限られており、生育立地特性を発芽試験や野外調査など複数の手法から多面的に調べ、評価した事例も少ない。今回得られた知見・データに加え、認識された今後の課題に関し調査を実施していくことで、塩湿地植物の域内・域外保全ならびに塩湿地における生物多様性保全の推進に一層の貢献ができるものと考えられる。

<引用文献>

- ① 澤田佳宏・中西弘樹・押田佳子・服部 保、日本の海岸植物チェックリスト、人と自然、17、2007、85-101
- ② 環境庁自然保護局、第5回自然環境保全基礎調査 海辺調査 総合報告書、環境庁自然保護局、1998、東京
- ③ 澤田佳宏、海浜植物のレッドリスト記載状況と保全上の課題、景観生態学、19、2014、25-34
- ④ 黒田有寿茂、播磨灘・周防灘沿岸における海岸植物20種のフェノロジー観察記録、人と自然、32、2022、115-131

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 黒田有寿茂	4. 巻 32
2. 論文標題 播磨灘・周防灘沿岸における海岸植物20種のフェノロジー観察記録	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 人と自然	6. 最初と最後の頁 115-131
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.24713/hitotoshizen.32.0_115	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------