

令和 3 年 8 月 13 日現在

機関番号：82617

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K07275

研究課題名(和文) 生息域外保全による遺伝的劣化を防止する指針提示-野生絶滅種コシガヤホシクサを例に

研究課題名(英文) Proposal of guidelines to prevent genetic deterioration due to ex situ conservation-for an extinct species in the wild, *Eriocaulon heleocharioides*

研究代表者

田中 法生 (Tanaka, Norio)

独立行政法人国立科学博物館・植物研究部・研究主幹

研究者番号：10311143

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：コシガヤホシクサは、域外保全下で不可欠な繁殖過程において、近交弱勢が生じることが示された。遺伝的多様性および母性交配での結果を考慮すると、絶滅した自生個体群からの救出時に決定的に生じたものではなく、域外保全方法によって左右されうると考えられた。特に、水中環境での栽培の併用や、送粉環境の改善、近交弱勢の弱い個体を利用するなど、栽培保全方法の選択によって改善できることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

野生絶滅種においては生息域外保全個体群が全てであるため、その保全管理と将来的な野生復帰の指針は極めて重要である。本成果は、その重要性が学術的に再確認されるとともに、今後の改善の指針を示す重要な知見となる。この知見および研究ノウハウはコシガヤホシクサの実際の保全を促進することはもちろん、他の野生絶滅種および絶滅危惧種の域外保全管理および指針研究の先事例として有用な意味を持つ。

研究成果の概要(英文)：Eriocaulon has been shown to undergo inbreeding depression during reproductive process under ex situ conservation. Given the genetic diversity and behavior of maternal mating, it was considered that it did not occur decisively at the time of rescue from the last habitat and could be influenced by ex situ conservation methods. In particular, it can be improved by selecting a cultivation condition, such as cultivation in underwater environment, improvement of pollination environment, and use of individuals with weak inbreeding depression.

研究分野：植物系統分類学

キーワード：生息域外保全 野生絶滅種 野生復帰 遺伝的劣化 コシガヤホシクサ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 生息域外保全の最重要目的の1つは、生息域内への野生復帰(再導入)の供給源を保存することにあるが、生息域外保全個体群と導入先の生息域内個体群との遺伝的差異による遺伝子汚染と生息域外保全過程での個体群の遺伝的劣化という主に2つの問題がある。本課題で扱う後者は、栽培環境・管理方法に起因する遺伝的多様性の低下および形質の変化とそれに伴う野生環境における適応度の低下であるが、これを放置すれば、野生復帰や野生集団再生の成功を妨げるだけでなく、野生集団へ悪影響を与え、種の存続の障害となる可能性すらある。しかし、この問題は、理論上ではその懸念が指摘されてきたが、実験的検証は予察的報告があるのみである。特に種子保存が困難・条件が未明な種では、植物体での保存が必須となるため、特にこの問題への早急な対応が必要である。

(2) 本来の生息域外でのみ個体群が維持されている野生絶滅種において、この問題は特に深刻である。コシガヤホシクサ(ホシクサ科)は、環境省が指定する10種の野生絶滅植物種の1つで、水上(葉が水上に出る)から水中(葉が水中にある)の変動環境で生育できる日本固有の一年生の水生植物である。自生記録のある2カ所の生息地からはいずれも絶滅し、下妻市砂沼の個体群のみが生息域外保全されている。本種は一年草である上、種子の寿命が2~3年程度と短く、毎年の種子繁殖が必須である。高い繁殖頻度は、遺伝的多様性低下の主要因と考えられる近交弱勢の影響をより大きくすると推測でき、研究の必要性和本研究モデルとしての有効性は高いと考えられた。

代表者らは、国立科学博物館筑波実験植物園において、コシガヤホシクサの生息域外保全とそれを基盤にした元生息地(砂沼)への野生復帰のための研究・保全を行ってきた。その結果、野生復帰地(砂沼)の関係者と合意形成を行い、1994年の絶滅原因である水管理変更を絶滅以前に戻して最後の生息環境を復元し、その環境の土性および水深に関する生育可能条件、交配は八工媒による自家・他家の混合交配様式であること、種子の発芽・保存特性等を明らかにし、野生復帰および生息域外保全の基礎的情報を得た。コシガヤホシクサの生息域外保全による遺伝的劣化を示唆する状況が実際に観察された。その中で、本来は他殖性でありながら、生息域外の栽培環境が原因で自家受粉が過剰になり、近交弱勢が促され適応度が低下する可能性が推測された。

2. 研究の目的

野生絶滅植物コシガヤホシクサにおいて懸念される、生息域外の栽培環境が原因で起こる近交弱勢などによる遺伝的劣化の可能性を検証し、その対策指針を示すことを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 交配方法が後代の適応度に与える影響の調査

継続的に交配試験を行っている28系統について、自家交配および他家交配のF1からF5世代の播種および栽培実験を行い、発芽・成長・生存の各指標を記録した。

(2) コシガヤホシクサの遺伝的多様性の調査

本種および同属他種(ホシクサ2集団、イトイヌノヒゲ3集団、クロホシクサ1集団、イズノシマホシクサ6集団)についてMIG-seq法を用いて、保存個体群の平均ヘテロ接合度(H_e)と近交係数(F_{is})を検出し、遺伝的多様性について検出し、本種の遺伝的多様性を相対的に評価した。

(3) 野生復帰地における域外保全個体群の生存可能性と適正管理の検討

野生復帰地における域外保全個体群の生存可能性を検討するための基盤として、復帰地での生存阻害要因の解明とそれを踏まえた適正管理方法の検討を行った。

4. 研究成果

(1) 成長の指標とした葉枚数および最大葉長においては、交配様式および保存履歴(植物園での2013年-2019年継代系統、越谷市での2012年-2019年継代系統)における差異は検出されなかった。これは、F1からF5すべてにおいてほぼ同一の結果となった。種子発芽から繁殖期までのF5の生存率については、交配様式間全体での比較では差異は検出されなかったが、自家交配系統の一部において水中環境における低下が検出された。これはF1での明確な水中生存率の低下と異なる。自家交配の繰り返しによる除去淘汰効果の可能性と、系統による近交弱勢の程度の違いが検出されている可能性が考えられた。

断片的に検出された他家交配の影響について、階層ベイズモデルを用いた詳細な解析を行うことで、母性効果による他家交配の影響の変化を明らかにした。葉枚数、最大葉長、花序数の全てにおいて、他家交配の影響は負と中立の影響が過半数を占め、正の影響は過半数以下だった(葉枚数:0.33%, 0.4%, 0.33%; 最大葉長0.3%, 0.4%, 0.27%; 花序数:0.33%, 0.33%)。また、最大葉長と花序数に関しては、時間の経過とともに負の影響の割合が増加していた。母性効果由来の他家交配の影響が断片的であったことは、正の影響を持つ母株が保全集団中では低頻度であり、遺伝的多様性の消失が現在進行中である可能性を示唆している。また、負の影響が時間とともに累積的に増加する事は本種が常習的な自殖種である証拠でもある。

(2) コシガヤホシクサが1集団のみ保存されることから、同属他種(ホシクサ2集団、イトイヌノヒゲ3集団、クロホシクサ1集団、イズノシマホシクサ6集団)との比較から相対的に評価することとした。MIG-seq法を用いてSNPを検出し、遺伝的多様性の諸指標を算出した。コシガヤホシクサの保存個体群の平均ヘテロ接合度(期待値)Heは0.201、近交係数Fisは0.087で、2018年度、2019年度栽培においてほとんど差異は無かった。ホシクサ属の分子系統解析から近縁であることが示されたイトイヌノヒゲ(He=0.176、Fis=0.268)、イズノシマホシクサ(0.152、0.061)、属内では別の系統に位置するホシクサ(0.220、0.038)、クロホシクサ(0.224、-0.033)は、同等は少し低い数値を示した。さらに多面的な評価が必要であるが、ヘテロ接合度からは、コシガヤホシクサはホシクサ属の種として一般的な遺伝的多様性を持つことが示された。

(3) 生育環境を網によって防御することによって生存率が有意に向上することから、野生復帰地の生存可能環境として、基本となる土壌特性および水深以外に、捕食生物または波浪が生存制限要因となっていることが推測された。捕食生物の影響は波浪よりも強く、波浪は特に生育初期(6月初旬)の生存数低下の防止に効果的であることがわかった。捕食生物の特定はできないが、2cm程度のメッシュを通過できる生物は決定的要因ではなく、その通過が可能な防御網での生存がより高いことがわかった。捕食生物においても生育初期の防除が特に効果的であることがわかった。防御網のメッシュの密度の低減や防御網設置時期の限定化を提示できる今回のデータは、復帰地の環境の改変を最小限にするために重要な知見となる

(4) 総合的考察

コシガヤホシクサは、域外保全下で不可欠な繁殖過程において、近交弱勢が生じることが示された。遺伝的多様性および母性交配での結果を考慮すると、絶滅した自生個体群からの救出時に決定的に生じたものではなく、域外保全方法によって、左右されうると考えられた。特に、水中環境での栽培の併用や、送粉環境の改善、近交弱勢の弱い個体を利用するなど、栽培保全方法の選択によって改善できることが示唆された。これらの知見をもとに、保全管理において、集団の遺伝的多様性の低下・均一化の回避を防ぐための実践的保全を行っていくことが必要となる。さらに今後、野生復帰地の環境整備の推進だけでなく、復帰地の繁殖環境を調査することによって、本種の総合的な保全を実施できると考えられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 Larridon, I., Tanaka, N., Liang, Y., Phillips, S. M., Barfod, A. S., Cho, S-H., Gale, S. W., Jobson, R. W., Kim, YD., Li, J., Muasya, A. M., Parnell, J. A. N., Prajaksood, A., Shutoh, S., Souladeth, P., Tagane, S., Tanaka, Nob., Yano, O., Mesterhazy, A., Newman, M. F. and Ito, Y. | 4. 巻 132 |
| 2. 論文標題 First molecular phylogenetic insights into the evolution of Eriocaulon (Eriocaulaceae, Poales) | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Plant Research | 6. 最初と最後の頁 589-600 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10265-019-01129-3 | 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 該当する |
| 1. 著者名 Tanaka, N., Horiuchi, Y., Nagata, S., Hasegawa, S. and Kamijo, T | 4. 巻 45 |
| 2. 論文標題 Effects of net sheltering, water depth, and soil management on the survival and reproduction of the wild extinct aquatic plant Eriocaulon heleocharioides in Sanuma Lake, Japan. | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Bulletin of the National Museum of Nature and Science, Series B | 6. 最初と最後の頁 1-10 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |
| 1. 著者名 Norio Tanaka, Yuju Horiuchi, Yujian Duang, Seri Hasegawa, Shoh Nagata and Takashi Kamijo | 4. 巻 44 |
| 2. 論文標題 Effect of net sheltering on the survival of a wild extinct aquatic species, Eriocaulon heleocharioides in its reintroduction site. | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Bull. Natl. Mus. Nat. Sci., Ser. B | 6. 最初と最後の頁 1-7 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |
| 1. 著者名 Horiuchi, Yuju, Takashi Kamijo, and Norio Tanaka | 4. 巻 56 |
| 2. 論文標題 Biological and ecological constraints to the reintroduction of Eriocaulon heleocharioides (Eriocaulaceae): A species extinct in the wild | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal for Nature Conservation | 6. 最初と最後の頁 125866 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnc.2020.125866 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-------------------|
| 1. 著者名 Tanaka, N., Tsuda, K., Horiuchi, Y., Nagata, S., Kamijo, T. and Nishihira, J | 4. 巻 46(4) |
| 2. 論文標題 Effect of herbivore predation and water-wave disturbance on the survival of wild extinct aquatic plant <i>Eriocaulon heleocharioides</i> (Eriocaulaceae) in the reintroduction site | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Bulletin of the National Museum of Nature and Science, Series B | 6. 最初と最後の頁 1-7 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計9件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 田中法生 |
| 2. 発表標題 生きた標本資料の価値を究める-野生絶滅種コシガヤホシクサの保全と野生復帰 |
| 3. 学会等名 日本生態学会関東地区会公開シンポジウム「生物標本情報の活用による保全遺伝学の新展開」(招待講演) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 津田京伽・堀内勇寿・永田翔・西廣淳・田中法生 |
| 2. 発表標題 野生絶滅種コシガヤホシクサの再導入地における生存に捕食生物と波浪が及ぼす影響 |
| 3. 学会等名 日本生態学会第67回全国大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 堀内勇寿・永田翔・上條隆志・田中法生 |
| 2. 発表標題 花粉DNA Barcodingによる植物園の送粉環境評価:ポリネーターガーデンと域外保全の模索 |
| 3. 学会等名 日本生態学会第67回全国大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 堀内勇寿・永田翔・上條隆志・田中法生 |
| 2. 発表標題 野生絶滅種コシガヤホシクサにおける交配方法に由来する形質変化と母性効果の検出 |
| 3. 学会等名 日本生態学会第66回全国大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 田中法生 |
| 2. 発表標題 越谷生まれの“地球の宝物”を守る-コシガヤホシクサ野生復帰プロジェクト- |
| 3. 学会等名 発見80周年記念シンポジウム-越谷で発見された地球の宝物「コシガヤホシクサ」(招待講演) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 田中法生 |
| 2. 発表標題 消えゆく水草を守る-水草の不思議とその危機、そして私たちにできること |
| 3. 学会等名 葛西臨海水族園水草講演会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 田中法生 |
| 2. 発表標題 The road ahead for the ex situ conservation of aquatic plants: a project to restore the extinct species Eriocaulon heleocharioides to the wild |
| 3. 学会等名 XIX International Botanical Congress (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 長谷川 セリ・堀内 勇寿・段 雨佳・永田 翔・上條 隆志・田中 法生 |
| 2. 発表標題 野生絶滅種コシガヤホシクサの生存と成長に交配方法と栽培環境が与える影響 |
| 3. 学会等名 第65回日本生態学会大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 田中法生、堀内勇寿、永田翔、上條隆志 |
| 2. 発表標題 野生絶滅種コシガヤホシクサの野生復帰を目指した保全研究-成果、現状、課題 |
| 3. 学会等名 日本生態学会第68回大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

〔図書〕 計2件

| | |
|------------------|-----------------|
| 1. 著者名 田中法生 | 4. 発行年 2018年 |
| 2. 出版社 成山堂 | 5. 総ページ数 245 |
| 3. 書名 水草の疑問50 | |

| | |
|-------------------------------------|-----------------|
| 1. 著者名 田中法生（分担執筆） | 4. 発行年 2019年 |
| 2. 出版社 地人書館 | 5. 総ページ数 230 |
| 3. 書名 絶滅危惧種の生態工学 生きものを絶滅から救う保全技術 | |

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究者紹介

<http://www.kahaku.go.jp/research/researcher/researcher.php?d=ntanaka>

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|