

課題番号：4-2202

研究課題名：希少植物の発芽実生が自生地に定着するために必要な  
生理生態解析とリアルタイムモニタリング技術の開発研究  
研究代表者名：瀬戸口浩彰（京都大学）

体系的番号：JPMEERF20224002

重点課題：⑬生物多様性の保全に資する科学的知見の充実や対策手法の技術開発に向けた  
研究

行政ニーズ：非該当

研究実施期間：2022年度～2024年度

### 【研究体制】

サブテーマ1

瀬戸口浩彰（京都大学）

阪口翔太（京都大学）

サブテーマ2

加藤 颯（千葉大学）

サブテーマ3

上原浩一（千葉大学）



# 1.研究背景、研究開発目的及び研究目標(1)

## 【研究背景】

次期生物多様性国家戦略では、2030年／2050年までの取り組みとして

「生物多様性の主流化における自然共生社会像」

「生物多様性と生態系の健全性の回復」 が明記されている。

しかし生態系が脆弱な海洋島である小笠原諸島では、世界自然遺産指定により多くの施策が実行されてきたが、生態系の基盤を成す植物において固有種の絶滅リスクが著しく高い。

多くの希少種では、自生地で種子発芽による実生苗が育たず世代更新が出来ないために、現存個体の老化と樹勢の衰えが深刻である。

**種子は稔るのになぜ実生更新が出来ないのか？**、その理由はわかっていない。

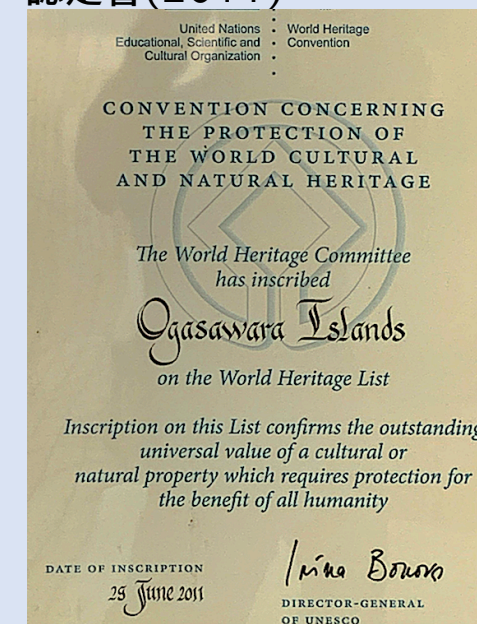
## 【研究開発目的】

小笠原諸島を研究の対象地域に設定して、希少植物が自生地にて発芽実生による次世代更新を可能にすることを目的とする。

そのための3サブテーマによる研究アプローチによって知見を得る：

- ①実生苗更新が可能となる環境条件を植物の生理生態データから明らかにする。
- ②実生苗の生育環境を衛星回線で常時監視するモニタリングシステムで見守るシステムを作る。
- ③土壌成分や共生菌類相の分析から生育に適した土壌条件を設定する。

## 小笠原諸島世界自然遺産 認定書(2011)



# 1.研究背景、研究開発目的及び研究目標(2)

## 【研究目標】

希少植物種が生息域内保全地域において、種子による実生更新を可能にする為の科学的知見を得る。

- ・この目標を達成するための具体的な研究活動は、小笠原諸島の父島と母島の世界自然遺産指定地域・国立公園の中で行う。
- ・国内希少野生動植物種であるムニンノボタン、コバトベラ、タイヨウフウトウカズラの3種を対象とする。
- ・達成すべき目標水準は以下の4つとする。
  - ①植物種ごとに実生苗が健康に生育するための無機的环境条件（光量や土壌水分量など）や有機的环境条件（土壌中の共生真菌類など）を明らかにする。
  - ②前述①の内容を明らかにするための手法のマニュアル化をする。
  - ③環境変化の影響を受けやすい実生苗の育成を可能にする。
  - ④衛星回線を用いたリアルタイムモニタリングを実現する。



## 2.研究目標の進捗状況

### (1) 進捗状況に対する自己評価（サブテーマ1）

#### サブテーマ1：生息域内における実生の生理生態解析と生育環境条件の最適化

##### 【サブテーマ1の研究目標】

小笠原諸島の世界自然遺産指定地域かつ特別保護地域において、実生更新が出来ていない国内希少野生動植物種の植物3種：ムニンノボタン、コバトベラ（以上、父島）、タイヨウフウトウカズラ（母島）を対象にして、播種と実生の育成を行う。研究期間中に親個体のフェノロジー、実生苗が示す生育特性（発芽特性、異なる環境下での発芽率、生存率、生育量、光合成特性、葉のクロロフィル蛍光測定による健康状態の測定）を測定しつつ、サブテーマ2，3から提供される無機的環境条件や土壌中の共生細菌叢などの情報を総合して、植物種毎に実生の生育に適切な環境条件を把握する。至適環境条件の選定にあたっては、実生苗の成長量などの数値と環境要因の数値の相関を統計的に検証する。

##### 【令和4年度の研究計画】

- ・父島でコバトベラとムニンノボタン、母島でタイヨウフウトウカズラの播種と実生苗の育成を進め、異なる環境下での発芽や生育状況のデータを年間に5回ほど取る。
- ・不明であったタイヨウフウトウカズラのフェノロジーを生息域外保全地で調査し、雌雄個体間で人工交配を行って遺伝的に多様な種子を作る。発芽特性についても調べる。
- ・PAM（パルス変調クロロフィル蛍光測定）による葉の健康状態とIRGAを用いた光合成特性の解析を行う。

##### 【令和5年度の研究計画】

前年度と同様に葉の健康状態、光合成特性の測定、幼植物のサイズ計測を定期的に行う。  
サブテーマ2・3のデータも共有しながら、3種類の植物ごとに至適な環境条件を統計検定で検証する。

##### 【令和6年度の研究計画】

前年度と同様に計測を行い、サブテーマ2・3のデータと併せて研究全体のテーマである至適環境条件の検証を行う。  
また、全体の統括をして、実生苗育成の至適条件を明らかにする手法をプロトコル化する。

##### 【自己評価】 計画通り進展している

## 2.研究目標の進捗状況

### (2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し（サブテーマ1）

#### 【具体的な理由・根拠】 目標に設定していた全ての項目を実施した

- コバトベラで1回目の播種と実生育成の実験を終えて、現在2回目の播種と実生育成の実験を父島の9箇所で行い、知見の再現性を確認している。母島のタイヨウフウトウカズラでも同様に、現在2回目の播種と実生育成の実験を行っている。ムニンノボタンでも結実期の1月に播種と実生育成実験を行い、データを取得中である。
- タイヨウフウトウカズラのフェノロジーを生息域外保全地で2年にわたって調査して、ほぼ同じ傾向が把握できた。発芽特性も明らかにできて、これまで、実生苗が自然下で出来なかった理由が明らかになった。
- 研究対象種の光合成特性を各々明らかにして、実生苗の生存率を改善する施策に活かす知的基盤ができた。
- サブテーマ2には観測場所の提供を、サブテーマ3には分析用の根と土壌を提供して、研究の基盤作りにおいて連携することが出来た



#### 【目標達成の見通し】

実生育成地の環境計測データの取得においてはサブテーマ2からの供給を予定していたが、既製品の購入に切り換えた。しかし設置現場の湿度環境でロガーの電気回線がショートしてしまい、データを回収できない事態が生じた。現在、防水ケースを別のものに更新して、データは回収が出来ているため、サブテーマ1における目標達成は十分に可能である。これまでの知見は、すべて学会発表レベルに留まっているので、早期に論文化して査読付き科学雑誌に投稿したい。

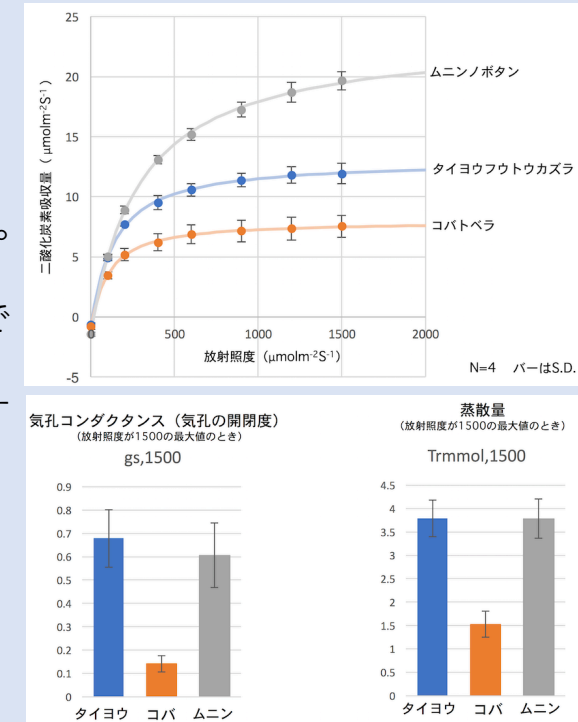


図. 研究対象種3種の光合成特性

図. 母島 堺ヶ岳における第1回目の播種・育成実生（左）と第2回目の播種地（2023年6月）

## 2.研究目標の進捗状況

### (1) 進捗状況に対する自己評価（サブテーマ2）

サブテーマ1：生息域内における実生の生理生態解析と生育環境条件の最適化

#### 【サブテーマ2の研究目標】

実生苗が成長するために必要な無機的环境条件を遠隔地でもリアルタイムにモニタリングする方法：衛星通信を利用したリアルタイムモニタリングによるデジタル技術システムを確立する。光量や土壌水分量などの無機的环境データを測定し、実生苗の生育状況は画像データで送信して、希少種を常時モニタリングできるようにする。システムを構築する上では2つの課題に取り組む：一つは衛星回線を用いた情報通信を利用することで、離島など電波の入らない場所から、観測データをリアルタイムで収集できるようにする。第2に、設置する観測機器などは3次元プリンターで作成することにより、低コストで機器を設置する。

#### 【令和4年度の研究計画】

3Dプリンターにより設置するセンサーを作成して設置し、一定期間の運用を行う。環境データ収集には、特に土壌水分量、温度・湿度、光量の3つのセンサーに注目し、継続的に安定したデータ取得ができるかを試す。また、衛星回線を通して、データを容易に送受信できるシステムを構築して小笠原に1箇所設置し、運用を開始する。この年度は父島におけるムニンノボタンの播種・実生育成地に設置してデータ回収を始める。得られた環境データはサブテーマ1、3に提供する。

#### 【令和5年度の研究計画】

前年度と同様に環境測定センサーをさらに作成し、初年度に設置した装置の状況からより改良したセンサーやプログラムをシステムに反映する。これによってより実用的なシステムを改良して構築を目指す。

#### 【令和6年度の研究計画】

衛星回線と独自のセンサーによる得られたデータ収集の安定性を検証し、最適な頻度によるデータ収集、最適なメンテナンス期間を明らかにする。また、装置を設置する場所の最適化を行い、希少種管理に適した運営をする。

【自己評価】 計画通り進展している

## 2.研究目標の進捗状況

### (2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し（サブテーマ2）

#### 【具体的な理由・根拠】 目標に設定していた全ての項目を実施した

- ・計画通りにセンサーを作成して、東京都文京区（小石川植物園温室）と千葉県松戸市（千葉大園芸学部）の間でリアルタイムモニタリングを行うことが出来た。このときの研究対象には、同じ個体を挿し木で増殖したタイヨウフウトウカズラを用いた。
- ・光量と土壌の含水率を様々に調節して生育状況を調べた結果、本種では土壌含水率が生育に重要であり、含水率が $0.111\text{m}^3/\text{m}^3$ になると地上部が萎れる萎凋点になることが判明した。これに基づきインサマット衛星通信には土壌含水率のデータを優先して送信することにした。
- ・最初の予定では父島のムニンノボタン生育地を予定していたが、小石川植物園で上記のモニタリングを行ったことに基づき、母島のタイヨウフウトウカズラ生息域外保全地（桑ノ木山）に変更して、モニタリング装置の設置を完了した。



図. 小石川植物園でタイヨウフウトウカズラの生育状況をモニタリングしている様子。

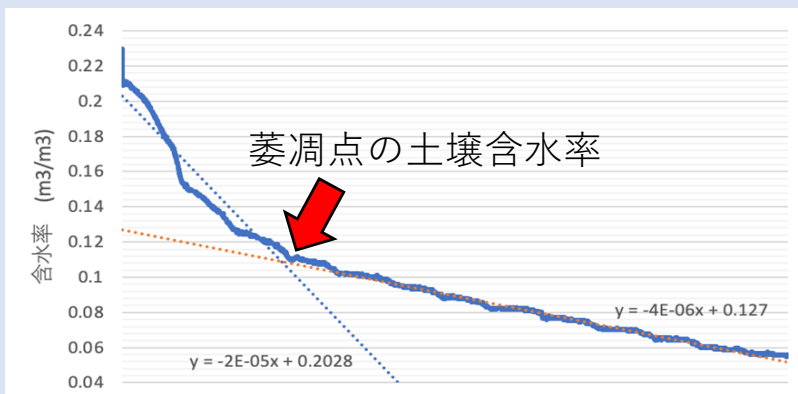


図. 左：タイヨウフウトウカズラの土壌を乾燥状態にしたときの萎凋点となる水分量の測定結果例。右：気象センサーを小笠原諸島母島に設置し、データ収集を開始した様子（2023年3月撮影）

#### 【目標達成の見通し】

インサマット衛星通信においては、送信情報量に上限があるために、画像情報などの大容量データを送信することはできない。そのために、研究対象とする植物ごとに生育特性を把握して、生死の鍵になるような重要項目を絞り込むことによって、可能にすることが出来ると考えている。モニタリングを行うための環境測定装置についても安価かつ多湿な屋外環境で使うことが出来るように、3Dプリンターなどを使って可能にする計画である。

## 2.研究目標の進捗状況

### (1) 進捗状況に対する自己評価（サブテーマ3）

#### サブテーマ3：実生生育地の土壌成分と共生細菌類・菌類叢、病原菌の解析

##### 【サブテーマ3の研究目標】

実生苗が成長して次世代更新をするために必要な土壌に関する無機的・有機的環境条件、および実生苗の生育に影響を与える周辺の植生を明らかにする。

また、植物の生育促進や枯死に強く関わる、植物体に共生・寄生する土壌真菌類と、保護対象となる希少植物や周辺の植生との関係（生物間相互作用）を明らかにし、希少植物の成長を阻害し枯死させる寄生菌や、実生・幼植物の定着・成長を促進する共生菌を特定する。また、生育地の土壌成分も解析し、実生や幼植物が健全に育成する土壌・生物環境の特定と活用を目指す。

##### 【令和4年度の研究計画】

研究対象に設定した希少植物3種で、成熟した植物体および実生や幼植物（自然状態で発芽した実生・幼植物と人為的に植えた個体）を対象として、生育地の土壌と周辺に生育する他種も含め個体ごとに少量の根を採集する。そしてメタバーコーディング解析により土壌および根に共生／寄生する真菌類のリストを作成する。結果を解析して生息域内の土壌微真菌相の生物種間ネットワーク構造を明らかにする。

##### 【令和5年度の研究計画】

サブテーマ1により得られた希少植物の実生・幼植物の優良な生育地点と、生育不良地点で同様な調査・解析をして結果を比較する。また土壌の物理・化学的特性も解析する。両地点を比較することにより成長促進に有望な菌叢や、生育を阻害、病害する菌の特定とその特徴、土壌条件を明らかにする。

##### 【令和6年度の研究計画】

共生微生物相の分布と動態のデータを融合し自生地の実生や幼植物の生育可能な環境条件を見だし、保全や世代更新する優良な土壌条件を明らかにする。調査解析手法は他地域、他種にも活用出来るようにプロトコル化する。

##### 【自己評価】 計画通り進展している



## 2.研究目標の進捗状況

### (2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し（サブテーマ3）

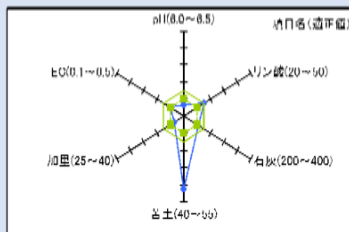
#### 【具体的な理由・根拠】 目標に設定していた全ての項目を実施した

- ・父島のコバトベラ9箇所、ムニンノボタン9箇所、母島のタイヨウフウトウカズラ9箇所  
でサブテーマ1で播種と実生育成を行う場所の土壌を診断・分析して、土壌学における  
知見を得ることが出来た。これらのデータと種子発芽率、実生苗の生育状況などを比較して  
各希少種の実生苗の生育に適切な土壌環境を推定する基盤を作ることが出来た。
- ・一部の土壌については真菌叢の解析をすることが出来た。例えば母島のタイヨウフウトウ  
カズラの生育地からは11種類の母島固有の真菌を発見することが出来た。
- ・サブテーマ1で育成した実生苗から根を採取して、共生菌根菌種・真菌種の解析に着手する  
ことができた。また、コバトベラやタイヨウフウトウカズラの自生個体からも根を採取して  
同様の解析を始めることが出来た。



図. 母島の堺ヶ岳で育成したタイヨウフウトウカズラ実生苗の根系。

組織名	氏名	診断箇所				
小笠原	瀬戸口浩彩	9. 堺ヶ岳				
採取地	土壌の種類	露地/施設	前作	後作	生育状況	土壌採取日
表層	母島赤色土	露地				2022/5/27
分析項目	pH	リン酸	石灰	苦土	加里	EC
測定値	5.7	50.9	240	137.7	18.6	0.09
評価	▽	△	○	▲	▽	▽
<small>(評価) ▲:過剰 △:やや過剰 ○:適正 ▼:やや不足 ▽:不足</small>						
参考測定値	硝酸態窒素	ナトリウム				
改良別数	33.5					
耕作されたあとのような様子。もしくは島の農業地の可能性が有ります。						
作成：東京郡小笠原支庁産業課 農業研修所 小笠原材料島字元地 TEL 04998 3 2121 FAX 04998 3 2129						



Trophic Mode	割合 (%)
腐生菌	8.14%
共生菌	5.80%
病原菌-腐生菌-共生菌	3.85%
病原菌-腐生菌	3.05%
腐生菌-共生菌	1.93%
病原菌	1.67%
病原菌-共生菌	0.72%
不明	74.85%

図. 母島 堺ヶ岳における土壌成分分析の結果（左）と 検出された真菌類叢のグループの内訳（右）

#### 【目標達成の見通し】

サンプリングと解析は順調に進んでおり、今後「土壌の化学・物理特性」「土壌と根の真菌叢」について、希少植物種ごとに、ならびに実生の生育状況に対応した違いについて比較検証する。また、生育状況の良い個体の系統があることがタイヨウフウトウカズラの生息域外保全でわかっており、同様のことがコバトベラやムニンノボタンでも期待される。このような生育が順調な系統の個体に特有の真菌叢や土壌特性について明らかにしていく。

### 3. 研究成果のアウトカム（環境政策等への貢献） 1

#### 【行政等が活用することが見込まれる成果】

- ・ 研究対象にした国内希少野生動植物種3種の保護増殖について、適切な播種と実生苗の育成条件を提供することが出来た。

例えば母島のタイヨウフウトウカズラでは、

- ① 結実が4月～5月に集中することから、この時期にベイトステーションを設置したり果実を金属ネットで覆ってネズミによる食害を防ぐことが重要であること。
- ② 本種の種子は果実の完熟から2週間～1ヶ月は休眠する（胚乳のデンプン組織が子葉に置換するのに要する期間）性質があるが、その後は暗黒化でも休眠することなくほぼ全ての種子が発芽する性質がある。そのために、休眠期間中に落葉落枝に埋まると、黄化（白色化）して胚軸が延びきったまま枯死することになる。

→管理環境下では播種地に落葉落枝が積もらないようにネットなどの覆いを取り付ける。

**最も簡単に保護増殖を行う場合には、落葉落枝が溜まらない斜面地に播種すれば良い。**

- ③ ただし、アカギ林の下では生育が出来ないために、避けるべきである（理由は今後サブテーマ3等で明らかになると見込まれる）。

このようなことが保護増殖事業に応用でき、必要経費と労力を削減することが出来る。



図. 播種から1年後のタイヨウフウトウカズラの生存状況  
左：堺ヶ岳の自然林下 右：石門入り口のアカギ林床  
(2023年6月)

両方ともに金網で落葉落枝の堆積を防いだが、アカギ林の下では発芽後にすべて枯死した。

### 3. 研究成果のアウトカム（環境政策等への貢献） 2

#### 【行政等が活用することが見込まれる成果】（続き）

- ・ 同様な知見は父島のコバトベラでも応用できると思われる。野生個体が僅か4個体であるため、もう少し労力を費やす保護増殖の手法として、播種と育成初期の一年間は林内の土壌含水量が高めの場所で育成し、その後に本来の生育地に寒冷紗などで馴化させながら「補強」する施策が良いと考えられる。



図. 播種して6ヶ月後のコバトベラの育成地.  
左：コバトベラ自生地. 1/7の個体が生育.  
右：土壌含水量が高めのビロウ下の播種地.  
6/7の個体が生育.

- ・ 今後に生育環境をリアルタイムでモニタリングすることが可能になったり、共生真菌叢や土壌成分が明らかになることは、国内希少野生動植物種の保護増殖とその維持管理に貢献することが期待される。

#### 【行政等が既に活用した成果】

該当なし

## 4. 研究成果の発表状況 1

【誌上発表（査読あり）：0件】

【誌上発表（査読なし）：3件】

- 1) 長澤淳一・瀬戸口浩彰（共著）、さらに知っておきたい日本の絶滅危惧植物図鑑、創元社、4-25 (2022) ISBN: 978-4422430447 第1章 絶滅危惧種のいま（執筆担当：瀬戸口浩彰）
- 2) 加藤 顕、青柳寛太郎、蝦名 益仁、早川 裕弐、堀田 紀文、日本地球惑星科学連合2022大会要旨集（2022）森林内コネクティビティを明らかにする空隙のパターン分析
- 3) 加藤 顕、青柳寛太郎、峠 嘉哉、第73回（令和4年度秋季）学術講演会要旨集（2023）レーザー3次元データを用いた空隙解析

【口頭発表（学会等）：9件】

- 1) 瀬戸口浩彰、阪口翔太、川喜多遥菜、井鷲裕司、茂木雄二、葉山佳代；第22回日本植物分類学会千葉大会、(2023)、遺伝的多様性を考慮したタイヨウフウトウカズラの生息域内・域外保全。
- 2) 増田和俊、瀬戸口浩彰、長澤耕樹、鈴木節子、久保田涉誠、佐藤真、阪口翔太、第22回日本植物分類会千葉大会、(2023)、海洋島における雌雄異株化のゲノム基盤：小笠原産ムラサキシキブ属での検証。
- 3) 川喜多遥菜、阪口翔太、永野惇、長澤耕樹、福島慶太郎、高橋大樹、増田和俊、瀬戸口浩彰；第70回日本生態学会仙台大会(2023)、遺伝子とフィールドから読み解く海洋島の適応放散：小笠原諸島の事例。自由集会W01 日本から発信する島嶼生物学4～island syndrome（植物編）～
- 4) 加藤 顕、鈴木 智、小玉 哲大、平林 聡、第134回日本森林学会大会、(2023)、レーザーによるリアルタイム森林計測システムの開発。
- 5) 加藤 顕、青柳寛太郎、峠 嘉哉、第73回（令和4年度秋季）学術講演会、(2023)、レーザー3次元データを用いた空隙解析。
- 6) 吉本賀永子、川井絢子、梅木清、上原浩一、第22回日本植物分類学会千葉大会、(2023)、DNAバーコーディング法を用いた小笠原諸島におけるアカギの繁茂要因の調査。

## 4. 研究成果の発表状況 2

### 【口頭発表（学会等）：9件】 続き

- 7) 【予定】瀬戸口浩彰、谷吉和貴； 第87回日本植物学会札幌大会、（2023）、小笠原諸島の異なる環境に生育する絶滅危惧3種の光合成特性。
- 8) 瀬戸口浩彰、公益社団法人日本植物園協会「種子・孢子・組織培養を使った保全フォーラム：小笠原の絶滅危惧種に注目して」、Zoomによるオンライン、（2022）、遺伝的多様性と地域との連携を考慮したタイヨウフウトウカズラの生息域内・域外保全。
- 9) 加藤 顕、青柳寛太郎、蝦名 益仁、早川 裕弐、堀田 紀文、日本地球惑星科学連合2022大会、（2022）、森林内コネクティビティを明らかにする空隙のパターン分析。

### 【知的財産権：0件】

### 【国民との科学・技術対話：5件】

- 1) 父島の陸域生態系観光ガイドを対象にした本推進費の研究内容紹介 「小笠原諸島の絶滅危惧植物について」（2023年3月14日、小笠原村父島世界遺産センター（オンライン併用のハイブリッド、聴講者数は未確認）
- 2) NPO法人シニア自然大学開講日特別授業 「世界自然遺産に指定されて12年～小笠原諸島の素晴らしさと課題」（2023年4月1日、大阪産業勧業館、聴講者約60名、オンラインによる同時配信での聴講者数は未確認）
- 3) 大阪府立天王寺高等学校2年生を対象にした特別授業「生物多様性はなぜ大切か」（2023年6月2日、京都大学大学院人間・環境学研究科、聴講者約50人）
- 4) 一般公開シンポジウム「世界自然遺産が大変～小笠原諸島のいま～」（主催：KYOTOエンデミカ、2023年6月18日、京都府宇治市 宇治市立植物園、会場の観客約40人、インスタグラムによる同時配信による聴講者数は未確認）
- 5) 【予定】京都府立植物園100周年記念学術講演会サイエンスレクチャー2023、「小笠原諸島の絶滅危惧植物と生態系」（2023年9月24日）

## 5. 研究の効率性

3つのサブテーマは相互に関連しており、得られた知見をサブテーマ間で共有し、またこれを自らの研究展開に反映させる「相補的な構成」にしている。こうした相補的な研究の組み立てによって、研究の効率的な運営が可能になっている。

サブテーマ1では、生息域内において播種と実生作成を行っている。これは作った実生苗をそのまま環境省の生息域内保全株として利活用して頂くための研究設定である。実生の生理生態解析と生育環境条件の最適化はこの研究単独では「何が要因なのか」を解明することは出来ないが、サブテーマ2と3の知見から無機的环境・有機的環境要因を明確にする（例えば土中の共生真菌の種類など）ことが出来る。

サブテーマ2と3にしてみれば、1における播種と実生苗の育成は研究対象の設営に相当するものであり、不可欠な内容である。このように本研究課題の3つのサブテーマは効率的に機能するデザインである。

なお、サブテーマ2で行うリアルタイムモニタリングは、各地の自然保護官事務所におけるレンジャーやアクティブレンジャーの負担を軽減し、生息域内保全集団を環境省に委譲するときに活用できるように役立つと考えている。現時点では高軌道衛星を使ったインサマット通信であるために、情報量の軽減を模索しているが、携帯電話・通信各社は近い将来の人口減少地域において地上基地局の代わりに低軌道衛星の運用を検討している。その際にはデータ通信容量も大きくなるために、コストパフォーマンスの面でも効率的かつ現実的なものに変容すると考えている。

