

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

研究区分 : 環境問題対応型研究（一般課題）

研究実施期間 : 2022（令和4）年度～2024（令和6）年度

課題番号 : 4-2202

体系的番号 : JPMEERF20224002

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

Project Title : Ecophysiological Studies and Real-time Monitoring Technology for
Enabling Growth of Endangered Plant Seedlings in in situ Habitats

研究代表者 : 瀬戸口 浩彰

研究代表機関 : 京都大学

研究分担機関 : 千葉大学

キーワード : 生物多様性、絶滅危惧植物、種の保存、生理生態解析、リモートセンシング

注：研究機関等は研究実施期間中のものです。また、各機関の名称は本報告書作成時点のものです。

令和7（2025）年11月



環境研究総合推進費
Environment Research and Technology Development Fund



独立行政法人
環境再生保全機構
ERCA Environmental Restoration and Conservation Agency

目次

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書	1
研究課題情報	3
<基本情報>	3
<研究体制>	3
<研究経費の実績>	4
<研究の全体概要図>	4
1. 研究成果	5
1. 1. 研究背景	5
1. 2. 研究目的	5
1. 3. 研究目標	5
1. 4. 研究内容・研究結果	7
1. 4. 1. 研究内容	7
1. 4. 2. 研究結果及び考察	8
1. 5. 研究成果及び自己評価	9
1. 5. 1. 研究成果の学術的意義と環境政策等への貢献	9
1. 5. 2. 研究成果に基づく研究目標の達成状況及び自己評価	11
1. 6. 研究成果発表状況の概要	11
1. 6. 1. 研究成果発表の件数	11
1. 6. 2. 主要な研究成果発表	11
1. 6. 3. 主要な研究成果普及活動	12
1. 7. 國際共同研究等の状況	12
1. 8. 研究者略歴	12
2. 研究成果発表の一覧	14
(1) 産業財産権	14
(2) 論文	14
(3) 著書	14
(4) 口頭発表・ポスター発表	15
(5) 「國民との科学・技術対話」の実施	16
(6) マスメディア等への公表・報道等	17
(7) 研究成果による受賞	17
(8) その他の成果発表	17
権利表示・義務記載	17

Abstract

研究課題情報

<基本情報>

研究区分 :	環境問題対応型研究(一般課題)
研究実施期間 :	2022(令和4)年度～2024(令和6)年度
研究領域 :	自然共生領域
重点課題 :	【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 【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 :	
課題番号 :	4-2202
体系的番号 :	JPMEERF20224002
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 :	瀬戸口 浩彰
研究代表機関 :	京都大学
研究分担機関 :	千葉大学

注：研究協力機関は公開の了承があった機関名のみ記載されます。

<研究体制>

サブテーマ1 「生息域内における実生の整理生態解析と生育環境条件の最適化」

<サブテーマリーダー(STL)、研究分担者、及び研究協力者>

役割	機関名	部署名	役職名	氏名	一時参画期間
リーダー	京都大学	大学院人間・環境学研究科	教授	瀬戸口浩彰	
分担者	京都大学	大学院人間・環境学研究科	助教	阪口翔太	2022年度～ 2024年度

サブテーマ2 「衛星通信を利用した遠隔地リアルタイムモニタリングの開発」

<サブテーマリーダー(STL)、研究分担者、及び研究協力者>

役割	機関名	部署名	役職名	氏名	一時参画期間

リーダー	千葉大学	大学院園芸学 研究科	准教授	加藤顕	
------	------	---------------	-----	-----	--

サブテーマ3 「実生育地の土壤成分と共生細菌類・菌類叢、病原菌の解析」

<サブテーマリーダー (STL)、研究分担者、及び研究協力者>

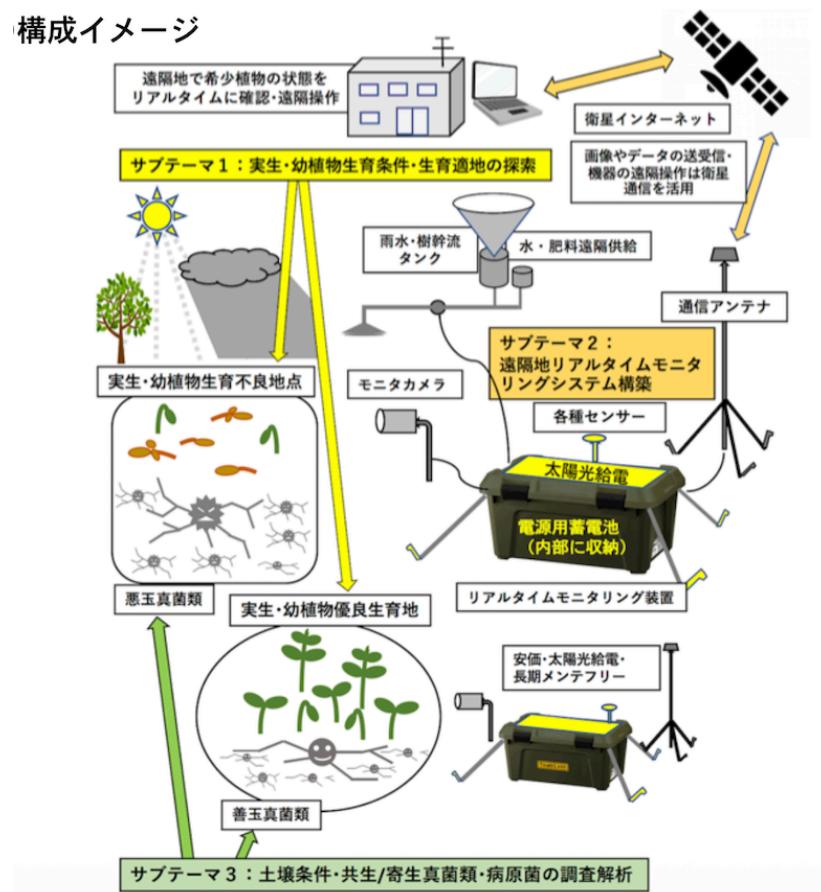
役割	機関名	部署名	役職名	氏名	一時参画期間
リーダー	千葉大学	大学院国際学 術研究院	教授	上原浩一	

<研究経費の実績>

年度	直接経費 (円)	間接経費 (円)	経費合計 (円)	備考 (自己充当等)
2022	23,787,000	7,136,000	30,923,000	30,923,000
2023	22,998,000	6,899,000	29,897,000	29,897,000
2024	23,434,800	7,030,440	30,465,240	30,466,000
全期間	70,219,800	21,065,440	91,285,240	91,286,000

注：環境研究総合推進費の規定する研究経費の支援規模を超えた額は自己充当等によるものです。

<研究の全体概要図>



1. 研究成果

1. 1. 研究背景

2010年のCOP10で採択された愛知目標の達成に向けて、日本でも生物多様性国家戦略2012-2020が策定された。国会で採択された生物多様性基本法（2008年）においては「地域の生物多様性の保全」と「野生生物種の多様性の保全等」が基本施策とされた。現在策定中の次期生物多様性国家戦略でも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。奄美大島、徳之島、沖縄島北部及び西表島が世界自然遺産に認定され、マングースが根絶されたことは記憶に新しい。生物多様性の維持に向けて物事は順調に進んでいるように見受けられる。

しかし2011年に世界自然遺産に登録された小笠原諸島では、生態系の基盤を成す植物においては固有種の絶滅リスクが顕著である。大陸と接したことがない小笠原諸島には独自の進化を遂げた固有植物種が多くあり、固有種率は36%、木本植物に限ると64%になる。多くが国内希少野生動植物種、IA(CR)類に指定されており、保護増殖事業対象種になっているものも多い。しかし多くの希少種では、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。小笠原諸島の国内希少野生植物種の一つであるタイヨウフウトウカズラでは、20年間に渡る保全増殖事業で多数の種子を播種してきたが、生き残った個体は一つもなく、現存個体ですら枯死が進んで衰退の一途を辿っている。コバトベラの野生株は残り4個体であり、いずれも老木である。これらの問題を解決するために、コンサル会社ではなく、大学の学術レベルの分析と対応策を行い、国内希少野生植物種を絶滅の危機から救うサイエンスが必要とされている。

さらに小笠原諸島でいま、起きている深刻な現象が「降水量の減少傾向」による乾燥化である。その原因はわかっていないが、多くの希少種において個体数の減少や実生更新の障害になっていると考えられている。しかし保護対象の植物は島内に散在しており、環境省のレンジャーやアクティブルーなどによる巡回では、守り切ることが困難になりつつある。ここで必要とされるのが、農業分野ではすでに実用化されている「生育環境と植物の生育状況の遠隔モニタリング」である。希少野生植物種を絶滅の危機から救うサイエンスには、この項目が必要な時代になっている。

また、海洋島は大陸と接続したがないために、希少野生植物種が根で共生している菌類叢も独自のものであることが期待されるが、このような情報が不在である。このようなサイエンスの知見も含めて、希少植物の発芽実生が自生地に定着するために必要な研究が必要とされている。

1. 2. 研究目的

本研究は、小笠原諸島を研究の対象地に設定して、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に設定したものである。具体的な研究対象には、種の保存法に基づいて環境省から「国内希少野生動植物種」かつ「保護増殖事業対象種」に指定されたコバトベラ、ムニンノボタン、タイヨウフウトウカズラの3種を研究対象に選定した。そして次の3つのサブテーマによる研究アプローチによって知見を得ることを目的にした：①実生苗の発芽と初期成長、もしくは世代更新が可能となる環境条件を明らかにする。そのために植物の生理生態データとフェノロジー、播種と実生の育成検証試験などのデータを取得し、適切な実生苗形成と育成環境を明確にする、②実生苗の生育環境を衛星回線で遠隔から常時監視するモニタリングシステムを作成し、希少植物個体の枯死を未然に防ぐシステムを構築する。③土壤成分や共生菌類相の分析から生育に適した土壤条件を設定することにより、希少種の実生更新を可能にする科学的知見とシステムを築く、以上の3項目を目的とした。

また、本研究は環境省による行政推薦課題に選定されており、絶滅回避の施索が急がれる国内希少野生植物種3種を対象にしている事情を研究開始当初から抱えていた。そのために、わずか3年間の研究期間ではあったが、期間内に安定した実生苗形成の実践を行うことも重要な目的とした。

1. 3. 研究目標

<全体の研究目標>

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
-------	----------------------------------------------------

全体目標	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。植物種毎に実生が成長して次世代更新をするために必要な無機的・有機的環境条件を明らかにして、テーラーメイド的な育成方法や汎用的な先端的モニタリング方法を環境省に提供できるようにする（アウトプット）。アウトカムとしては、研究対象にした希少植物種の実生苗が作出されるので、これらを環境省事業での補強に用いて頂き、世代更新に利活用して絶滅を回避することを目指す。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。達成するべき目標水準は、①これらの植物種ごとに実生苗が健康に生育するための無機的環境条件（光量や土壤水分量、リンなどの無機塩類量など）や有機的環境条件（土壤中の共生真菌類、実生の成長を促すコンパニオン植物種など）を明らかにすること、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こと、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して利活用の方法をマニュアル化すること、とする。
------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<サブテーマ1の研究目標>

サブテーマ1名	生息域内における実生の整理生態解析と生育環境条件の最適化
サブテーマ1実施機関	京都大学
サブテーマ1目標	<p>全体目標の中での位置づけ このサブテーマでは、全体目標の中で ①播種と実生苗の育成を行う場所の選定（調査地の設置）を行う。また、②実生苗の育成を行い、成長量や植物の健康状態を経時的に測定すること、③サブテーマ2から無機的環境データを、サブテーマ3から土壤のデータの提供を受けて、対象種ごとに実生苗の生育に適した環境条件を選定する。</p> <p>本サブテーマの目標 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、タイヨウフウトウカズラを対象にして、播種と実生の育成を行う。研究期間中に実生苗が示す生育特性（生育量、光合成の至適光量、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壤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関係を検証する。</p> <p>また、サブテーマ2・3の知見を総合して、アウトプットとしての実生苗育成用のマニュアルを作成する。アウトカム用には各希少種の苗を域内で増殖して、世代更新用の個体を作出する。また、サブテーマ2の知見を元にして、遠隔地で希少植物の実生に自動灌水する装置の開発と実装も進める。</p>

<サブテーマ2の研究目標>

サブテーマ2名	衛星通信を利用した遠隔地リアルタイムモニタリングの開発
---------	-----------------------------

サブテーマ2実施機関	千葉大学
サブテーマ2目標	<p>全体目標の中での位置づけ 実生苗が成長するために必要な無機的環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。光量や土壤水分量などの無機的環境データを測定し、実生苗の生育状況は画像データで送信する。</p> <p>本サブテーマの目標 リアルタイムモニタリングシステムを構築する上で、大きな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。また、設置する機材として観測機器を独自に3次元プリンターで低コストにて作成することにより低コストで機器を設置し、電波状況に依存せずに独立運用できる環境情報システムを構築して、希少種を常時モニタリングできるようになる。</p>

<サブテーマ3の研究目標>

サブテーマ3名	実生生育地の土壤成分と共生細菌類・菌類叢、病原菌の解析
サブテーマ3実施機関	千葉大学
サブテーマ3目標	<p>全体目標の中での位置づけ 実生苗が成長して次世代更新をするために必要な土壤に関する無機的・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。</p> <p>本サブテーマの目標 植物の生育促進や枯死に強く関わる、植物体に共生・寄生する土壤真菌類と、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、生育地の土壤成分も解析し、実生や幼植物が健全に育成する土壤・生物環境の特定と活用を目指す。</p>

1. 4. 研究内容・研究結果

1. 4. 1. 研究内容

本研究課題では、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ための研究研究を実施した。申請者らは父島で4個体だけが生き残るコバトベラの種子96個を2021年1月に9箇所の異なる環境下に播種して経過観察を始めた。その結果は意外なことに、母樹近くの陽地環境では生育が悪くて研究開始当初の生存率は33%、その後の1年間で全てが枯死してしまった。他方で母樹から離れたオガサワラビロウの暗めの林床では発芽率、生存率が100%で成長も良い知見が得られた。この意外な事実は、希少種の発芽実生苗（以下、幼植物）が母樹とは異なる環境下で生育する可能性を示唆している。

幼植物が生き残る条件は植物種毎に異なると予想されるので、希少種ごとにテーラーメイドで調べる必要がある。しかしその調査項目や解析手法は共通であるために、研究手法のマニュアル化が可能である。そこでムニンノボタン、コバトベラ、タイヨウフウトウカズラの3種（いずれも国内希少野生動植物種、保護増殖事業対象種、絶滅危惧評価CR）を対象にして種子を様々な条件（明暗・乾湿・共存樹木種）にした9箇所ずつで播種と栽培を開始して、研究手法を改善しながら幼植物の3年間の経年変化を解析した。研究内容は以下の3項目である：①植物としての生理生態的特性を解析して健康状態を生育環境条件の間で比較し、研究対象の3種の実生苗が安定して発芽・生育できる条件を明らかにする。また、安定して保護増殖事業を進めるために、タイヨウフウトウカズラを対象にして、生息域外保全と域内保全の連携体制を

構築した（サブテーマ1）、②幼植物は成木に比べて環境の変化に弱いので、光量や土壤水分含有量などの無機的環境と生育状況を頻繁に把握したい。そこでKDDIが提供している低軌道衛星通信（インマルサット通信システム）を利用して遠隔地でもデータ送受信が可能なリアルタイムモニタリングシステムを開発した（サブテーマ2）、③小笠原諸島には独自の真菌類が多く存在しており、植物の根系共生にも深く関わっている。また島の土壤にはリン酸が微量な場所が多いので（理由は不明）無機イオン類の含有量を調べた（サブテーマ3）。

これら3サブテーマの知見を総合して、実生苗による世代更新を促し希少種を絶滅から回避させるシステムを築くように務めた。たとえば、サブテーマ1と2の知見を融合して、生育に必要な最下限の土壤水分含有量をセンシングして、自動的に実生苗に灌水する装置を作成した。以上の研究手法と成果は重点課題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に貢献する。

1. 4. 2. 研究結果及び考察

全体として、小笠原諸島におけるコバトベラ、ムニンノボタン、タイヨウフウトウカズラの希少種3種が発芽実生によって世代交代を進めるための研究成果を得て、環境省の保護増殖事業で取り扱う方法を具体的に提案することができた。また、研究対象にしたこれらの国内希少野生動植物種において、これまで発芽を妨げていた要因、発芽実生苗の生存を困難にしていた要因をそれぞれ明らかにすることが出来た。「発芽と実生の生育に適した環境」や「成長した個体の至適光量、土壤水分量、土壤特性、成長にプラスとなる真菌叢」の特定に至ることが出来た。また、遠隔地から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ことができた。このリアルタイムモニタリングは、今後にKDDIが始めるスターリングによって、さらに画像データの送付などが遠隔操作で可能になる見込みである。また、サブテーマ2の知見をサブテーマ1で応用して自律型自動灌水装置を作成・稼働させることによって、発芽実生の生存率を上げることが期待できる。また、サブテーマ3の土壤成分の知見を生息域内保全値の選定に活かすことも実践できた。このように、サブテーマ間の連携も進めることができた。以上の成果により、例えばこれまで環境省の外部委託による保護増殖事業で20年間にわたって1個体も増殖が出来なかった植物（タイヨウフウトウカズラ）で全28遺伝子型64個体を網羅した生息域外保全地を作ったうえで、ここで結実させた種子を生息域内に播種し、実生育成に成功して94個体を育成することに成功した。コバトベラでは2-3年間生きている48個体と1年間生きている30個体の合計78個体を生息域内にて育成中で、従来の保護増殖事業よりも遙かに高い生存率を維持している。ムニンノボタンでも発芽実生を高頻度で生育する手法を見いだして、遺伝的に多様性がある実生苗を安定して作出することが可能になった（30個体）。最後に、環境省小笠原自然保護官事務所のアクティプレンジャーと3週間ほど一緒に行動して、これらの実生苗の作成と維持管理について会得して頂き、引き継ぎとして終了した。

サブテーマ1では、小笠原諸島の国内希少野生動植物種3種（コバトベラ、ムニンノボタン、タイヨウフウトウカズラ）を対象にして、生息域内における実生の生理生態解析と、種子発芽や生育初期における実生苗が生き残るのに最適な生育環境条件を明確にする研究と検証を行った。最初に行ったのは、各種の光合成特性（蒸散を含む）である。光合成総合解析システム IRGA (LI-COR LI-6400)による光合成特性（最大光合成速度に達する光合成有効放射照度、気候コンダクタンス、蒸散量）を各種で計測して、播種・実生育成に最適な環境を設定した。また、このデータから不適だと考えられる場所を含めて播種・実生実験を行い、生存率や葉の健康度 (Fv/Fm: Walz MINI-PAM II) で評価を行った。その結果、コバトベラでは播種と実生育成は明るい林床で行い、1年後に自生地に移植して遮光率50%の寒冷紗で保護しつつ順化させることが望ましいとわかった。ムニンノボタンでは、播種と実生育成は照度とは関係なく育ったが、発芽実生のサイズが小さいために、うえに常緑広葉樹の葉が堆積することによって全滅することがわかった。自然界では台風などの攪乱によって樹木がない場所、あるいは落葉落枝が滑り落ちる急斜面に生育していることとよく符合していた。保護増殖事業においては、播種の段階で金網の覆いあるいは竹ひごなどを用いて落葉落枝から守ることで発芽実生苗を成長させることができることがわかった。母島の固有種であるタイヨウフウトウカズラでは、雲霧帯である標高260m以上の場所で、播種の段階で金網の覆いあるいは竹ひごなどを用いて落葉落枝から守ることが必要であることがわかった。また、アカギ林の下では発芽直後に成長が止まって枯死することから、播種地の植生を確認する必要があると考えられた。サブテーマ3の研究から、堺ヶ岳から林道を隔てた斜面で、タイヨウフウトウカズラの元自生地であった場所のリンの濃度が高いことが明らかになつたため、この場所の光環境を整えて、播種と実生形成、移植を行つた。移植個体は順調に生育したために、本種の生息域内保全地として適していると評価できた。サブテーマ2では植物種ごとの「初期しおれ含水率」が特定できたため、このデータを用いた自動灌水装置をタイヨウフウトウカズラとコバトベラ用に試作した。土壤水分センサーが閾値を下回ると自動的に移植苗に灌水されることを確認した。

サブテーマ2では、実生苗を遠隔でモニタリングできる仕組みを構築した。「多数の実生個体にセンサーを設置する」「Wifiなどの既存の通信ネットワークがない離島の奥地でも運用できる」「収集したデータをリアルタイムに送ることができる」という大きく3つのテーマに対し、解決できるモニタリングシステムを

構築する。サブテーマ2では遠隔でモニタリングができるシステムを構築するために、3年間で研究を行った。1年目には、既製品であるHOBO社の温湿度計や土壤水分計を用いて長期モニタリングを行った。絶滅危惧種であるムニンノボタンやタイヨウフウトウカズラの枯れる条件を把握した。枯れる条件を把握する実験は東京大学小石川植物園で、灌水条件を変えて何度も実験を行い、枯れる条件を明らかにした。特に、温度・湿度、光量の3つの指標に注目した。衛星通信ができる機材としてKDDI社のものを導入した。2年目には、既成品でない独自のセンサーシステムの開発を始め、無線通信でデータを収集するようなシステムを構築できた。多くの子機を絶滅危惧種の個体の横に多数設置し、そのデータを無線によって親機でデータ収集をし、収集したデータを衛星通信回線で送るような仕組みを構築した。子機は乾電池で1年稼働できるものにできたが、親機は乾電池だけでは運用できなかった。そのため、ソーラーパネルによる独自電源による運用をできるようにした。最終的に、子機10台を父島の保護区に設置し、衛星通信機材も親機の横に設置し、1日に1回リアルタイムデータを送れる仕組みを完成することができた。ソーラー発電による給電にも成功し、毎日水分、温度、湿度のデータをメールで受信できるようになった。環境政策への貢献として、ソーラーパネルからの給電による独立電源で、衛星通信装置を運用することができ、さらに親機を中心に最大100台の子機が接続可能な気象データ収集システムを完成することができた。このシステムのおかげで、衛星通信があれば、インターネットがない離島や世界中どこでも気象データをリアルタイムに把握することができる。これまでのようにレンジャーが実生苗個体を巡回して確認する必要がなく、毎日送られてくるリアルタイムデータを確認し、枯れそうな個体に水をやりに行けばよくなるため、業務負担を大幅に軽減できる。学術的な意義として、絶滅危惧種が枯れる水分条件を明らかにできた。ムニンノボタンに関しては、初期しおれ含水率は $0.059 \text{ m}^3/\text{m}^3$ (± 0.014) で、ムニンノボタンでは $0.029 \text{ m}^3/\text{m}^3$ (± 0.018) であった。こうした値を得たことで、枯れる条件がわからなかった絶滅危惧種のモニタリング条件を明らかにすることができた。この結果、モニタリング指標としての値（水分値）と、モニタリングできる装置の開発を完成できたことで、どこでも遠隔でモニタリングできるようになった。モニタリング指標も示すことができたことで、事前知識がなくても、水分の限界値に近づいた時に灌水を行う判断ができるようになった。

サブテーマ3では、実生苗が成長して次世代更新するために必要な土壤に関する無機的・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ことを目的とした。

本サブテーマの目標：植物の生育促進や枯死に強く関わる、植物体に共生・寄生する土壤真菌類と、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、生育地の土壤成分も解析し、実生や幼植物が健全に育成する土壤・生物環境の特定と活用を目指す。

1. 無機的環境の解析ではタイヨウフウトウカズラ、ムニンノボタン、コバトベラの自生地について土壤の物理的、化学的特性の解析を行った。その結果ほとんどの地域で共通してリン酸が不足し、それが播種発芽と生育を困難にしていることを明らかにした。
2. 有機的環境の解析では希少植物と周辺の植生、真菌類を解析した結果、希少種は多様な分類群の真菌と共生していることがわかった。さらに、すべての調査地において共生ネットワークはgeneralistが少なく不安定性の高いモジュール構造であることが明らかとなった。また、真菌類の中で希少植物の生長に有益な真菌と有害な真菌を特定した。タイヨウフウトウカズラで問題となっている病害についても、その原因菌を特定した。

1. 5. 研究成果及び自己評価

1. 5. 1. 研究成果の学術的意義と環境政策等への貢献

＜得られた研究成果の学術的意義＞

サブテーマ1の学術的な意義としては、国内希少野生動植物種3種の光合成特性を初めて明らかにすることが出来たことが挙げられる。すなわち、最適な光合成機能を発揮するために適した光量（光合成有効放射量）や気孔コンダクタンス、蒸散量を把握することが出来たことには大きな意義があると考える。とりわけコバトベラでは、直射光が当たる乾燥低木林に生育することから、強光条件で高い光合成能を発揮すると想像していたが、実は研究対象の3種のなかで最も弱い光量で光合成速度が飽和していることは意外な発見であった。おそらく過剰な光エネルギーをクロロフィル蛍光で放出しているのであろうが、この知見が「明るい林床で発芽実生を育てる」ことにつながった。また、コバトベラでは自生地に4個体だけが生き残っている状態であるために、遺伝的多様性が低くなっている遺伝子座のアリルがホモ過剰になっていることを危惧していたが、実際には個体毎に固有アリルがヘテロ接合している割合が高く、個体間交配によって遺伝的に多様な実生個体を作出できることがわかった。この現象は保全生物学・島嶼生物学として学術的にも、予想を見事に裏切る興味深い知見であることが革新的である。これとともに、今後の保護増殖事業が明るいことを示唆しており、環境政策においても積極的な推進を保証するものといえる。

サブテーマ2の学術的な意義としては、絶滅危惧種が枯れる水分条件を明らかにできたことが挙げられる。ムニンノボタンに関しては、初期しおれ含水率は $0.059 \text{ m}^3/\text{m}^3$ (± 0.014) で、ムニンノボタンでは $0.029 \text{ m}^3/\text{m}^3$ (± 0.018) であった。こうした値を得ることで、これまで枯れる条件がわからなかった絶滅種のモニタリング条件を明らかにすることできた。そしてモニタリングの指標となる値を得た：モニタリング指標としての値（水分値）と、モニタリングできる装置の開発が完成できたことで、どこでも遠隔でモニタリングできるようになった。モニタリング指標も示すことができたことで、事前知識がなくても、水分の限界値に近づいた時に灌水を行えば良い判断ができるようになった。

サブテーマ3においては、研究対象とした各希少植物の自生地および保全候補地の土壤診断を行った結果、ほとんどの地点において植物の育成に重要なリン酸が不足していることが明らかになり、希少植物の播種後の育成が困難となる原因の一つであると考えられた。これには人の入植前には多く営巣していた海鳥が激減し、フンなどによる有機物の供給が途絶えるなどの歴史的要因もあると考えられる。このように人間の営みによって海鳥の営巣がなくなり、海洋生態系と陸上生態系が分断されてしまったことを示唆していることは、新たな認識を我々に求めるものである。また、希少植物と、周囲の植物、真菌類の生物間相互作用の解析からは、希少種は多様な分類群の真菌と共生しているが、共生ネットワークにはgeneralistが少なく不安定性の高いモジュール構造であることがわかった。個々の希少植物における有用菌、有害菌の検出と特定についてはいくつかの菌を特定することができたことは、海洋島における新たな知見として学術的な意義が大きい。

＜環境政策等へ既に貢献した研究成果＞

サブテーマ1では環境政策への貢献として、約20年間にわたって頓挫していた国内希少野生動植物種3種の保護増殖事業を「発芽実生からの世代更新」によって可能に出来たことが挙げられる。とくに小笠原諸島は国立公園としてだけでなく、ユネスコの世界自然遺産に登録された場所であり、ここで独自に進化した固有種の絶滅を防ぐための具体的な手法を提案できたことも政策への貢献であろう。また、保護増殖事業の手法を明確にすることによって育成方法の属人化を防ぐことになり、環境省の現場の担当者の交代や保護増殖事業を落札したコンサル会社が入れ替わっても、一定のレベルの保護増殖ができることが期待される。

サブテーマ2における環境政策への貢献として、ソーラーパネルからの給電による独立電源で、衛星通信装置を運用することができ、さらに親機を中心に最大100台の子機が接続可能な気象データ収集システムを完成することができた。本システムによって、衛星通信があれば、インターネットがない離島や世界中どこでも気象データをリアルタイムに送信することができる。これまでのようレンジャーが実生苗個体を巡回して確認する必要がなく、毎日送られてくるリアルタイムデータを確認し、枯れそうな個体に水をやりに行けばよくなるため、業務負担を大幅に軽減できる。

サブテーマ3では、人間の営みが海洋島における生物間相互作用に大きな負の影響を与えてしまったことを示唆した。本研究で目的にした国内希少野生動植物種3種の保護増殖事業において、この負の影響を補うために、例えばリン酸塩肥料の施肥、あるいは海鳥の営巣を促すための整備など、環境行政が生態系の復元に寄与できる可能性を環境政策として提言していることが挙げられる。

＜環境政策等へ貢献することが見込まれる研究成果＞

貢献の見通しについては、特に幅広い分野にわたって貢献できる研究成果として、サブテーマ2で開発したリアルタイムモニタリングシステムが挙げられることを強調したい。我が国全体が「人手不足」であるのと同様に、環境行政の現場でも、例えば自然保護官事務所の自然保護官やアクティブルンジャーが絶滅危惧種の状況をモニタリングするために出かけることは頻繁には行えない。その一方で、環境行政の現場では絶滅危惧種や国内希少野生動植物種の数が増えていくために、将来的にはさらにタイトな労働環境になることが予想される（2030年までに、国内希少野生動植物種は700種に増やされることが確定している）。本研究で開発されたリアルタイムモニタリングは、計測した環境要因の数値をデジタルで送り出すだけであるが、これは旧式のインマルサット通信システムに機能を制約されたものである。近日中に一部の大手通信会社が始めるスターリンク通信システム（多くの人工衛星が低軌道に留まって、スマートフォンのアンテナが立たない場所がほぼなくなる）の場合には、情報の送信にかなりの拡張性が見込めるため、今後にリアルタイムモニタリングシステムを飛躍的に利用できるようになると期待される。

1. 5. 2. 研究成果に基づく研究目標の達成状況及び自己評価

<全体達成状況の自己評価> · · · · · 2. 目標を上回る成果をあげた

<サブテーマ1達成状況の自己評価> · · · · · 2. 目標を上回る成果をあげた

<サブテーマ2達成状況の自己評価> · · · · · 2. 目標を上回る成果をあげた

<サブテーマ3達成状況の自己評価> · · · · · 2. 目標を上回る成果をあげた

1. 6. 研究成果発表状況の概要

1. 6. 1. 研究成果発表の件数

成果発表の種別	件数
産業財産権	0
査読付き論文	4
査読無し論文	1
著書	1
「国民との科学・技術対話」の実施	4
口頭発表・ポスター発表	17
マスコミ等への公表・報道等	0
成果による受賞	2
その他の成果発表	0

1. 6. 2. 主要な研究成果発表

成果番号	主要な研究成果発表 (「研究成果発表の一覧」から10件まで抜粋)
1	瀬戸口浩彰, 葉山佳代, 茂木雄二. 母島固有の絶滅危惧植物種タイヨウフウトウカズラの生息域外保全～桑ノ木山での保全の経緯と将来に向けて. 小笠原研究年報 2023, 47: pp. 11-23.
2	Kawakita H., Sakaguchi, S., Kato, S., Kato, H., Tanaka, T., Komaki, Y., Ideno, T., Setoguchi, H. 2024. Potential of ex-situ conservation strains revealed by genetic analysis of oceanic island's endangered species <i>Pittosporum parvifolium</i> . Ecology and Evolution. https://doi.org/10.1002/ee.3.70506

3	加藤 頴, 青柳 寛太郎, 中島 史雄, 上原 浩一, 濑戸口 浩彰, 森林内空隙構造と微気象との関係, 日本緑化工学会誌, 2024, No. 50 Vol. 1, p. 1-6, DOI: https://doi.org/10.7211/jjsrt.50.1
4	勝田 真一, 加藤 頴, 小牧 義輝, 田中 健文, 上原 浩一, 濑戸口 浩彰, 水分・光環境の違いが小笠原諸島絶滅危惧種2種に及ぼす影響, 日本緑化工学会誌 2024, No. 50 Vol. 1 pp. 25-30, DOI: https://doi.org/10.7211/jjsrt.50.25

注：この欄の成果番号は「研究成果発表の一覧」と共通です。

1. 6. 3. 主要な研究成果普及活動

本研究課題での成果普及活動は、合計で4件行った（下記の表における成果番号5～8）。そのうち、3件は研究対象である小笠原諸島の父島と母島において、島民を対象にして行ったものである。これらの発表においては、単に研究成果を広めるだけに留めず、「いま小笠原諸島の森で起こっている不都合な真実」と「世界自然遺産や国立公園としての今後の向き合い方」「自然ガイドなどの観光産業としての自然環境への向き合い方」などについて提言を行った。これ以外にも、父島で活動をしている特定非営利活動法人「小笠原野生生物研究会」と連携を密にとって、保全活動を行った。

成果番号	発表年度	成果情報	主たるサブテーマ
5	2023	父島小笠原世界遺産センターにて「小笠原諸島の絶滅危惧植物について」 講演（瀬戸口浩彰） 2023年3月14日	1
6	2023	京都府立植物園にて植物園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種と生態系」 講演（瀬戸口浩彰） 2023年9月24日	1
7	2025	母島村民会館にて島民対象の講演会. 「コバトベラを通して学ぶ小笠原の自然の多様性とその未来」（川喜多遙菜）、「遺伝分析でわかった小笠原固有ムラサキシキブ属の起源と雌雄性の進化」（増田和俊）. 2025年2月6日	1
8	2025	小笠原ビジターセンター講演会（島民と観光客対象の講演会.）「コバトベラを通して学ぶ小笠原の自然の多様性とその未来」（川喜多遙菜）、「遺伝分析でわかった小笠原固有ムラサキシキブ属の起源と雌雄性の進化」（増田和俊）. 2025年2月8日	1

1. 7. 国際共同研究等の状況

特に記載する事項はない

1. 8. 研究者略歴

<研究者（研究代表者及びサブテーマリーダー）略歴>

研究者氏名	略歴（学歴、学位、経歴、現職、研究テーマ等）
瀬戸口浩彰	研究代表者及びサブテーマ1リーダー 東京大学理学系研究科博士後期課程修了 博士（理学） 東京都立大学助教、京都大学准教授を経て、 現在、京都大学大学院人間・環境学研究科教授

	専門は植物系統分類学、集団遺伝学、保全生物学 詳細は https://researchmap.jp/read0147826
加藤顕	サブテーマ2リーダー ワシントン大学森林資源学部博士課程修了 博士（学術） 博士取得後すぐに千葉大学に赴任し、 現在、千葉大学 大学院園芸学研究院 准教授 専門は、森林に関わるリモートセンシング技術開発、3次元データ解析 詳細は https://researchmap.jp/akirak
上原浩一	サブテーマ3リーダー 東京農業大学農学研究科博士後期課程修了 農学博士 現在、千葉大学 大学院国際学術研究院 教授 専門は、植物分類学、進化系統学 詳細は https://researchmap.jp/read0170309

2. 研究成果発表の一覧

注：この項目の成果番号は通し番号です。

(1) 産業財産権

成果番号	出願年月日	発明者	出願者	名称	出願以降の番号
	特に記載する事項はない				

(2) 論文

<論文>

成果番号	発表年度	成果情報	主たるサブテーマ	査読の有無
1	2023	瀬戸口浩彰, 葉山佳代, 茂木雄二. 母島固有の絶滅危惧植物種タイヨウフウトウカズラの生息域外保全～桑ノ木山での保全の経緯と将来に向けて. 小笠原研究年報 2023, 47: pp. 11-23.	1	無
2	2024	Kawakita H., Sakaguchi, S., Kato, S., Kato, H., Tanaka, T., Komaki, Y., Ideno, T., Setoguchi, H. 2024. Potential of ex-situ conservation strains revealed by genetic analysis of oceanic island's endangered species <i>Pittosporum parvifolium</i> . Ecology and Evolution. DOI: https://doi.org/10.1002/ece3.70506	1	有
3	2024	Masuda, K., Setoguchi, H., Nagasawa, K., Setsuko, S., Kubota, S., Sakaguchi, S. 2024. Phylogenetic origin of dioecious <i>Callicarpa</i> (Lamiaceae) species endemic to the Ogasawara Islands revealed by chloroplast and nuclear whole genome analyses. Molecular Phylogenetics and Evolution 203, 108234, DOI: https://doi.org/10.1016/j.ympev.2024.108234	1	有
4	2024	加藤 顕, 青柳 寛太郎, 中島 史雄, 上原 浩一, 瀬戸口 浩彰, 森林内空隙構造と微気象との関係, 日本緑化工学会誌, 2024, No. 50 Vol. 1, p. 1-6, DOI: https://doi.org/10.7211/jjsrt.50.1	2	有
5	2024	勝田 真一, 加藤 顕, 小牧 義輝, 田中 健文, 上原 浩一, 瀬戸口 浩彰, 水分・光環境の違いが小笠原諸島絶滅危惧種2種に及ぼす影響, 日本緑化工学会誌 2024, No. 50 Vol. 1 pp. 25-30, DOI: https://doi.org/10.7211/jjsrt.50.25	2	有

(3) 著書

<著書>

成果番号	発表年度	成果情報	主たるサブテーマ
6	2022	さらに知つておきたい日本の絶滅危惧植物図鑑（長澤 淳一, 濑戸口 浩彰 著）, 2022, ISBN: 4422430440, pp. 224, 創元社.	1

(4) 口頭発表・ポスター発表

<口頭発表・ポスター発表>

成果番号	発表年度	成果情報	主たるサブテーマ	査読の有無
成果番号	発表年度	成果情報	主たるサブテーマ	査読の有無
7	2022	加藤 頤、青柳寛太郎、蝦名 益仁、早川 裕式、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 3)	2	有
8	2022	加藤 頤、鈴木 智、小玉 哲大、平林 聰、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	2	無
9	2023	加藤 頤、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	2	無
10	2023	青柳寛太郎、加藤頤、中島史雄、瀬戸口浩彰、第135回日本森林学会大会(2024) 森林内空隙構造による微気象への影響評価	2	無
11	2023	勝田真一、加藤頤、小牧義輝、田中健文、瀬戸口浩彰、第71回日本生態学会大会(2024) 小笠原諸島における絶滅危惧種の生息環境把握	2	無
12	2023	瀬戸口浩彰、阪口翔太、川喜多遙菜、井鷺裕司、茂木雄二、葉山佳代(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. 日本植物分類学会第22回千葉大会, 口頭発表2023年3月2日～3月5日.	1	無
13	2023	川喜多遙菜、阪口翔太、永野惇、長澤耕樹、福島慶太郎、増田和俊、瀬戸口浩彰(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. 日本生態学会第70回仙台大会(2023年3月19日、仙台) 自由集会W01 日本から発信する島嶼生物学4.	1	無
14	2023	瀬戸口浩彰、谷吉和貴(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. 日本植物学会第87回大会, 口頭発表, 札幌.	1	無
15	2023	川喜多遙菜、阪口翔太、加藤朗子、加藤英寿、瀬戸口浩彰. 「小笠原諸島の絶滅危惧種コバトベラ <i>Pittosporum parvifolium</i> における生息域内・域外保全株の遺伝学的状況」2023年11月10日森林遺伝育種学会第23回大会(東京、東京大学農学部弥生講堂アネックス) 学生発表優秀賞受賞	1	無

16	2024	加藤 頸, 青柳 寛太郎, 中島 史雄, 上原 浩一, 濑戸口 浩彰, 第55回日本緑化工学会(2024) 森林内空隙構造と微気象との関係	2	無
17	2024	勝田 真一, 加藤 頸, 小牧 義輝, 田中 健文, 上原 浩一, 濑戸口 浩彰, 第55回日本緑化工学会(2024) 水分・光環境の違いが小笠原諸島絶滅危惧種2種に及ぼす影響	2	無
18	2024	加藤 頸, 青柳 寛太郎, 中島 史雄, 上原 浩一, 濑戸口 浩彰, 第55回日本緑化工学会(2024) 森林内空隙構造と微気象との関係	2	無
19	2024	勝田 真一, 加藤 頸, 小牧 義輝, 田中 健文, 上原 浩一, 濑戸口 浩彰, 第55回日本緑化工学会(2024) 水分・光環境の違いが小笠原諸島絶滅危惧種2種に及ぼす影響	2	無
20	2024	増田和俊, 濑戸口浩彰, 長澤耕樹, 鈴木節子, 久保田涉誠, 佐藤真, 永野惇, 阪口翔太 (2024) 小笠原産ムラサキシキブ属における雌雄異株性の獲得過程で起こったゲノム進化, 日本植物分類学会第23回大会, 口頭発表, 仙台.	1	無
21	2024	川喜多遙菜, 阪口翔太, 加藤朗子, 加藤英寿, 濑戸口浩彰 (2024). 絶滅危惧種コバトベラの遺伝分析で明らかになった域外保全株のポテンシャル, 日本植物分類学会第23回大会, 口頭発表, 仙台.	1	無
22	2025	川喜多遙菜、上田真樹、瀬戸口浩彰. 小笠原諸島父島の絶滅危惧種コバトベラにおける遺伝的特性と4年間の保全実践について. 2025年3月7日-10.日本植物分類学会第24回大会(高知;高知大学朝倉キャンパス)	1	無
23	2024	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. 小笠原諸島に固有なムラサキシキブ属3種の起源と過去の集団動態. 2025年3月7日-10.日本植物分類学会第24回大会(高知;高知大学朝倉キャンパス) 大会発表賞受賞	1	無

(5) 「国民との科学・技術対話」の実施

成果番号	発表年度	成果情報	主たるサブテーマ
24	2023	父島小笠原世界遺産センターにて「小笠原諸島の絶滅危惧植物について」 講演 (瀬戸口浩彰) 2023年3月14日	1
25	2023	京都府立植物園にて植物園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種と生態系」 講演 (瀬戸口浩彰) 2023年9月24日	1
26	2025	母島村民会館にて島民対象の講演会. 「コバトベラを通して学ぶ小笠原の自然の多様性とその未来」 (川喜多遙菜)、「遺伝分析でわかった小笠原固有ムラサキシキブ属の起源と雌雄性の進化」 (増田和俊). 2025年2月6日	1

27	2025	小笠原ビジターセンター講演会（島民と観光客対象の講演会。）「コバトベラを通して学ぶ小笠原の自然の多様性とその未来」（川喜多遙菜）、「遺伝分析でわかった小笠原固有ムラサキシキブ属の起源と雌雄性の進化」（増田和俊）。2025年2月8日	1
----	------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---

(6) マスメディア等への公表・報道等

成果番号	発表年度	成果情報	主たるサブテーマ
	特に記載する事項は無い		

(7) 研究成果による受賞

成果番号	発表年度	成果情報	主たるサブテーマ
28	2024	川喜多遙菜、森林遺伝育種学会第23回大会 学生発表優秀賞受賞	1
29	2024	増田和俊、日本植物分類学会第24回大会 大会発表賞受賞	1

(8) その他の成果発表

成果番号	発表年度	成果情報	主たるサブテーマ
	特に記載する事項は無い		

権利表示・義務記載

特に記載する事項は無い

この研究成果報告書の文責は、研究課題に代表者又は分担者として参画した研究者にあります。
 この研究成果報告書の著作権は、引用部分及び独立行政法人環境再生保全機構（ERCA）のロゴマークを除いて、原則的に著作者に属します。
 ERCAは、この文書の複製及び公衆送信について許諾されています。

Abstract**[Project Information]**

Project Title : Ecophysiological Studies and Real-time Monitoring Technology for Enabling Growth of Endangered Plant Seedlings in *in situ* Habitats

Project Number : JPMEERF20224002

Project Period (FY) : 2022-2024

Principal Investigator : Setoguchi Hiroaki

(PI ORCID) : ORCID0000-0003-0808-7502

Principal Institution : Kyoto University
 Kyoto City, Kyoto, JAPAN
 Tel: +81-75-753-6860
 E-mail: setoguchi.hiroaki.2c@kyoto-u.ac.jp

Cooperated by : Chiba University

Keywords : Biodiversity, Endangered plants, Species conservation, Ecophysiological analysis, Remote sensing

[Abstract]

In three nationally rare wild plant species targeted for this study, we successfully identified the factors that had previously inhibited seed germination and those that had hindered the survival of germinated seedlings. We were also able to determine the “environmental conditions suitable for germination and seedling growth,” as well as the “optimal light levels, soil moisture content, soil characteristics, and beneficial fungal communities” required for the growth of mature individuals. Furthermore, we achieved real-time monitoring from remote locations using satellite communication. This real-time monitoring is expected to be further enhanced through the upcoming introduction of Starlink services by KDDI, which will enable remote transmission of image data and other information. As a result of these achievements, we established an *ex situ* conservation site that covers all 28 genotypes (64 individuals) of *Piper postelsianum* for which, over the past 20 years, not a single individual had been propagated through Ministry of the Environment-commissioned conservation projects. Seeds produced by these individuals were sown *in situ*, leading to the successful cultivation of 95 individuals from seedlings. In the case of *Pittosporum parvifolium*, 78 individuals are currently being cultivated *in situ*, including 48 individuals surviving for 2–3 years and 30 individuals surviving for 1 year—representing a significantly higher survival rate compared to conventional propagation programs. For *Melastoma tetramerum*, we established a reliable method for the frequent and successful cultivation of seedlings from germinated seeds. This allowed us to consistently

produce genetically diverse seedlings, resulting in the successful growth of 30 individuals. Lastly, over the course of three weeks, we worked closely with the active ranger of the Ministry of the Environment's Ogasawara Nature Conservation Office to transfer the techniques for producing and maintaining these seedlings. The project was concluded following a successful handover.

・

This study was supported by the Environment Research and Technology Development Fund of the ERCA (JPMEERF20224002) funded by the Ministry of the Environment.