

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

4-2003 植物相の定量的解析による世界自然遺産候補地西表島の
管理基盤情報の確立
(JPMEERF20204003)

令和2年度～令和4年度

Development of Fundamental Management Information for Iriomote Island
by a Quantitative Floristic Study toward its Nomination to World Heritage

〈研究代表機関〉
琉球大学

〈研究協力機関〉
一般財団法人沖縄美ら島財団植物研究部
国立研究開発法人 国立環境研究所
国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所
鹿児島大学

○図表番号の付番方法について

「Ⅰ. 成果の概要」の図表番号は「0. 通し番号」としております。なお、「Ⅱ. 成果の詳細」にて使用した図表を転用する場合には、転用元と同じ番号を付番しております。

「Ⅱ. 成果の詳細」の図表番号は「サブテーマ番号. 通し番号」としております。なお、異なるサブテーマから図表を転用する場合は、転用元と同じ図表番号としております。

令和5年5月

目次

| | |
|---|----|
| I 成果の概要 | 1 |
| 1. はじめに (研究背景等) | |
| 2. 研究開発目的 | |
| 3. 研究目標 | |
| 4. 研究開発内容 | |
| 5. 研究成果 | |
| 5-1. 成果の概要 | |
| 5-2. 環境政策等への貢献 | |
| 5-3. 研究目標の達成状況 | |
| 6. 研究成果の発表状況 | |
| 6-1. 査読付き論文 | |
| 6-2. 知的財産権 | |
| 6-3. その他発表件数 | |
| 7. 国際共同研究等の状況 | |
| 8. 研究者略歴 | |
| II. 成果の詳細 | |
| II-1 植物相の定量的解析による世界自然遺産候補地西表島の管理基盤情報の確立 (琉球大学) | 7 |
| 要旨 | |
| 1. 研究開発目的 | |
| 2. 研究目標 | |
| 3. 研究開発内容 | |
| 4. 結果及び考察 | |
| 5. 研究目標の達成状況 | |
| 6. 引用文献 | |
| III. 研究成果の発表状況の詳細 | 18 |
| IV. 英文Abstract | 21 |

I. 成果の概要

課題名 4-2003 植物相の定量的解析による世界自然遺産候補地西表島の管理基盤情報の確立

課題代表者名 内貴 章世（琉球大学熱帯生物圏研究センター西表研究施設 准教授）

重点課題 主：【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

副：【重点課題14】生態系サービスの持続的な利用やシステム解明に関する研究・技術開発

行政要請研究テーマ（行政ニーズ）

（4-2）侵略的外来種の早期発見・早期防除技術等の開発

（4-3）絶滅危惧種の新種記載及び国内希少野生動植物の同定の簡便化に対応するDNAバーコード・ライブラリの充実促進等に向けた研究

（4-6）国立公園における利用と保護の両立を図る公園計画策定手法の開発

研究実施期間 令和2年度～令和4年度

研究経費

33,245千円（合計額）

（各年度の内訳：令和2年度：11,959千円、令和3年度：10,639千円、令和4年度：10,647千円）

研究体制

（サブテーマ1）植物相の定量的解析による世界自然遺産候補地西表島の管理基盤情報の確立
（琉球大学）

他のサブテーマはない。

研究協力機関

一般財団法人沖縄美ら島財団植物研究部、国立研究開発法人国立環境研究所、国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所、鹿児島大学

本研究のキーワード 西表島、国立公園、植物相、フロラ、絶滅危惧種、外来種

1. はじめに（研究背景等）

世界的に熱帯・亜熱帯域の自然林が減少している中、沖縄県西表島には豊かな森林生態系が残っている。二次林も含め、島の9割は自然林で覆われ、日本の維管束植物の約1/6（約1200種）が分布する。2016年4月に西表島のほぼ全域が国立公園に拡張指定され、2021年5月には、日本政府からユネスコ世界遺産センター事務局に世界自然遺産候補地として奄美大島、徳之島、沖縄本島北部の「やんばる」とともに、国際自然保護連合（IUCN）よりユネスコへ世界自然遺産登録勧告がなされた。再推薦にあたって政府が推薦書とともに提出した包括的管理計画（改訂版）では、西表島での行動計画の一つに「植物相調査と植物誌編纂・活用」があげられている。しかし、西表島は上記4島の中でもっとも植物相調査が進んでおらず、どこに、どんな植物が、どのように分布しているのか、という基礎的な情報が圧倒的に不足している。研究開始前に生物の世界的な分布情報を集約した地球規模生物多様性情報機構（GBIF）のデータベースにおいて、西表島で採集された位置情報付きの植物

標本データを検索したところ、わずか約700点しかなく、植物相解明にはほど遠い状態であった。また、自然遺産登録による観光客増加や観光スタイルの変化による新たな場所への立ち入りが植生や希少種の生育に影響を与える懸念があるにもかかわらず、現在の植物相の実態が把握できておらず、今後の影響を評価する起点情報すら存在しない。科学的な進展と政策基盤データ整備の両面で早急な植物相調査が必要であることから本研究を立案した。

2. 研究開発目的

本研究は、いまだ情報量の少ない西表島の植物相について、全島を対象とした網羅的かつ定量的な調査によって、国立公園における効果的な管理策の策定、植生モニタリング、絶滅危惧植物の保全、侵略的外来種防除に役立つ基盤データとして、全維管束植物の最新の種リストと分布図、植物種の多様性と植生に関するマップ、解析可能な絶滅危惧植物の潜在分布地予測マップを整備することを目的とした。

3. 研究目標

| | |
|-----------------------------------|--|
| <p>全体目標 (本研究はサブテーマが1つである)</p> | <p>【研究目標】 本研究では①西表島のどの地域で植物の種数が多いのか明らかにする、②絶滅危惧種はどのような環境下に生育しているのか解明することによって、以下のアウトプットを整備する。 (1) 西表島の全維管束植物の種リストおよび分布図 (絶滅危惧種、外来種を含む) (2) 西表島全島をカバーする210地点の植生マップ (植生のタイプを地図化) および多様性マップ (多様性ホットスポットの抽出) (3) 生態ニッチモデリング解析による西表島に分布する第4次レッドリスト掲載の全絶滅危惧植物・侵略的外来種の将来予測マップ (解析可能な種に適用)</p> |
|-----------------------------------|--|

4. 研究開発内容

西表島の維管束植物の分布や多様性を網羅的・定量的に明らかにするために、西表島を全国標準地域メッシュ3次メッシュ (約1km四方、以下「メッシュ」と表記) に区切り、踏査による植物の分布調査に加え、各メッシュに1個のベルトトランセクト調査区 (5m×100m、以下「トランセクト」と表記) を設置し、これを10mごとに区切り、区画ごとにGPSデータ、斜度と斜面方位データ、全維管束植物種の出現の記録と標本およびDNA解析用サンプルの作成を行った。2017年から2019年にかけて代表者らが上記調査法を用いて行った研究で西表島の123メッシュのデータを得ている。西表島の面積は289.3km²であり、居住地・耕作地・大河川流域等を除くと、約210メッシュの調査を行うことで3次メッシュにはほぼ1つの密度で調査区を設定できるため、本研究では残り87メッシュのデータを取得する計画としていた。到達不可能なメッシュ、天候不良等で調査ができなかったメッシュがあったため、一部予定を変更し、85のメッシュで調査を行い、合計208メッシュでデータを得ることができた (達成率99%)。

調査で得られた全ての分布情報や標本情報はデータベース化し、必要に応じてDNAバーコーディングや系統解析を行った。これらの情報をもとに、西表島の維管束植物種リスト (過去の標本データも含む)、各維管束植物種の分布図 (トランセクト調査に基づく3次メッシュごとの在・不在図と、踏査・トランセクト調査の両方に基づく位置情報のプロット図)、種多様性マップ (トランセクトに出現した維管束植物数)、植生マップ (各トランセクトにおける種-個体数の構成データを用いて植生タイプを類型化し地図上に表示)、絶滅危惧植物マップ (環境省レッドリスト2020に掲載されているVU (絶滅危惧II類) 以上の維管束植物がトランセクトに出現する割合等を表示)、生態ニッチモデリング解析による絶滅危惧植物および侵略的外来植物の潜在的分布地予測 (解析可能な種のみ) をアウトプットとして作成した。

5. 研究成果

5-1. 成果の概要

本研究によって、ほとんどの維管束植物種について、西表島のどこに分布しているかという科学的な基礎情報が得られた上、島のどこで多様性が高いか、島のどこに絶滅危惧植物が多いかといった定量的な情報や植生モニタリングのための起点データも多数得られ、これらは優先的に保全する場所や立ち入り制限を行う場所の選定など、保全の基盤情報としても活用可能である。

本研究では研究目標に記した以下のアウトプットを整備した。

○目標のアウトプット(1)に対応するもの

・西表島の維管束植物種リスト

過去の標本データも含め、西表島に分布する証拠標本のある 1,375 種の維管束植物をリストにした。日本新産 1 種、西表新産 3 種のほか、これまで証拠標本の無かった 7 種と、これまでごく限られた生息地しか知られていなかった絶滅危惧植物 12 種の島内新産地を見出した。

・各維管束植物種の分布図

トランセクト調査に基づく 3 次メッシュごとの在・不在図と、踏査・トランセクト調査の両方に基づく位置情報のプロット図を作成した。一部の種は非常に狭い範囲にしか分布しない可能性が高いことがわかった。

○目標のアウトプット(2)に対応するもの

・種多様性マップ・・・トランセクトに出現した維管束植物数を 3 次メッシュごとに表示し、島のどこで種多様性が高いかを示す図を作成した。西表島の北東部や中南部で多様性が高い傾向がみられた。

・植生マップ・・・各トランセクトにおける種-個体数の構成データを用いて Isopam 法で植生タイプを類型化し地図上に表示した。西表島の植生は 5 タイプに類型化された。

・絶滅危惧植物マップ・・・環境省のレッドリスト 2020 に掲載されている VU (絶滅危惧 II 類) 以上の維管束植物がトランセクトに出現する種数、割合等を 3 次メッシュごとに表示した。

○目標のアウトプット(3)に対応するもの

・生態ニッチモデリング解析による絶滅危惧植物および侵略的外来植物の潜在的分布地予測と将来予測マップを作成した (解析可能な種のみ)。

5-2. 環境政策等への貢献

<行政等が既に活用した成果>

(1) 植生モニタリング

環境省が行っている『「奄美大島、徳之島、沖縄島北部及び西表島」世界自然遺産推薦地における観光利用による影響把握手法検討等業務』において、環境省が西表島に設置した利用人数カウンター付近のトレイル幅・植生がどのように変化するかをモニタリングする受託業者の事業に対して助言をし、本研究で用いているベルトトランセクト法を応用した永久プロットの設定と植生調査を事業者および環境省西表野生生物保護官事務所員と共同で行った。

(2) ノヤギ対策

本研究成果の副次的な利用として、環境省および沖縄県が行っている西表島で野生化したヤギ (ノヤギ) の駆除事業において、本研究で踏査した全ルートの GPS トラッキングデータおよびノヤギ個体や糞の目撃情報を西表野生生物保護官事務所に提供し、ノヤギ対策に活用していただいている。

<行政等が活用することが見込まれる成果>

(1) 指定植物、国内希少野生動物種への登録または国立公園特別保護地区の将来的な変更

本研究で西表新産種として見いだしたイラクサ科のホソバノキミズは、1つの河川の中上流域にのみ分布している。これまで知られていなかったこと、本研究ですでに 208 地点の調査を行って

るにもかかわらず他では見られないことから、今後も他の場所で発見される可能性は低いと考えられる。そのため、国立公園法に基づく指定植物または種の保存法に基づく国内希少野生動物植物種への指定が望ましく、また将来的に国立公園特別保護地区の拡大が検討される場合は、この河川の中上流域が含まれるのが望ましいと考えられる。

(2) レッドリストにおける絶滅危惧植物のランク変更の検討資料としての利用

西表島全島にわたる網羅的な植物調査は本研究が初めてであり、植物の分布に関しても新たな知見が得られている。絶滅危惧種に関してはトランセクト以外でも詳細な分布データを取得している。今回の調査で出現頻度が高いにもかかわらず絶滅危惧IA類 (CR) となっている種がいくつかあった。これとは逆に、出現数が少ないにもかかわらず絶滅危惧II類 (VU) など絶滅危惧種のランクが低い、あるいは絶滅危惧種に選定されていない種もあった。環境省のレッドリストのランクは全国を対象としたものであるため、西表島での分布状況のみでランク変更を判断することはできないが、今後ランク変更を検討する際の根拠資料として本研究のデータが活用できると考えられる。特に日本では八重山地域にしか分布しない種に関してはすぐにでもランクの変更を検討してもよいと考えられる。

(3) 緊急対策外来種アメリカハマグルマの西表島における詳細な分布情報の提供

緊急対策外来種に選定されているキク科のアメリカハマグルマを対象とし、西表島の県道、農道、林道、農地等、人的活動の影響がみられるほぼ全ての場所で目視およびドローンを使用した空撮画像を用いて詳細な分布図を作成した。また、この分布情報をもとに、生態ニッチモデリング解析を行って潜在的分布地予測マップを作成した。アメリカハマグルマは西表島の人間活動が活発な地域ほぼ全域でみられ、特に大きな群落を作っている場所、内陸部や隔離された場所への侵入が明らかになった。生態ニッチモデリング解析の結果からは、現在は分布が見られないが、潜在的な分布域と予測される地域 (仲良川下流など) が存在しており、これらの地域には今後分布が拡大するおそれがある。今後の駆除事業において本研究結果が優先的に対策を行う場所の選定の際の基礎資料として活用できると考えられる。

5-3. 研究目標の達成状況

| 全体目標 (=サブテーマ1目標) | 目標の達成状況 |
|--|--|
| 本研究では①西表島のどの地域で植物の種数が高いのか明らかにする、②絶滅危惧種はどのような環境下に生育しているのか解明することによって、以下のアウトプットを整備する。 | <p><u>①目標どおりの成果をあげた</u> 85箇所ベルトトランセクト法による調査および踏査によって西表島の維管束植物15,957点の標本を作成し、従来の123箇所のトランセクトデータと合わせて208箇所31,966点の標本を得た。これらに基づき、各維管束植物種の分布図を作成し、種数の多い場所を特定した (P11~13)。</p> <p><u>②目標どおりの成果をあげた</u> ①のデータに基づき絶滅危惧植物の多い場所を特定し、一部の種において分布を説明する環境変数も推定できた (P14, 15)。</p> |
| (1) 西表島の全維管束植物の種リストおよび分布図 (絶滅危惧種、外来種を含む) | <p><u>(1) 目標どおりの成果をあげた</u> ①のデータに基づき西表島の全維管束植物 (1,375種) の種リストおよび分布図を作成した (P12)。</p> <p><u>(2) 目標どおりの成果をあげた</u> ①のデータに基づき西表島の208地点の植生マップおよび多様性マップを作成し、西表島の北東部や中南部に多様性の高い地域があることを明らかにした。</p> |
| (2) 西表島全島をカバーする210地点の植生マップ (植生のタイプを地図化) および多様性マップ (多様性ホットスポットの抽出) | |

| | |
|--|---|
| <p>(3)生態ニッチモデリング解析による西表島に分布する第4次レッドリスト掲載の全絶滅危惧植物・侵略的外来種の将来予測マップ（解析可能な種に適用）</p> | <p>(3)目標どおりの成果をあげた 解析可能な種数は限られたものの、潜在的分布地予測図を作成することができ、さらに気候変数の寄与が高いと判断される絶滅危惧植物については気候変動による将来予測図も作成することができた。</p> |
|--|---|

6. 研究成果の発表状況

6-1. 査読付き論文

<件数>

10件

<主な査読付き論文>

【サブテーマ1】

- 1) Y. KAJITA, H. TOYAMA, K. AKAI and A. NAIKI: Acta Phytotaxon. Geobot. 72, 2, 167-177 (2021) (IF: 0.395), Morphology, phenology, and chromosomal observations in *Najas minor* and *Najas chinensis* from Iriomote Island, Okinawa, Japan.
- 2) 梶田結衣、米倉浩司、遠山弘法、赤井賢成、天野正晴、阿部篤志、山本武能、設楽拓人、齊藤由紀子、横田昌嗣、内貴章世: 大阪市立自然史博物館研究報告 76, 125-141 (2021) (IFなし), 沖縄県西表島における外来植物目録.
- 3) 梶田結衣、遠山弘法、山本武能、内貴章世: 大阪市立自然史博物館研究報告 76, 97-124 (2021) (IFなし), 西表島の維管束植物 221 種の繁殖フェノロジー: ルートセンサスによる 3 年間の記録.
- 4) A. NAIKI, M. AMANO, K. YONEKURA, K. OKOSHI, Y. SAITO, T. YAMAMOTO, T. SHITARA and A. ABE: Acta Phytotaxon. Geobot., 73, 3, 219-226 (2022) (IF: 0.395), A new locality of *Elatostema lineolatum* Wight var. *majus* Wedd. from Iriomote Island, Japan.
- 5) S. TAGANE, S. FUJII, S. K. HIROTA, A. NAIKI and T. YAHARA: Phytokeys, 211: 33-44 (2022) (IF: 1.317), *Hydrangea marunoi* (Hydrangeaceae), a new species from Osumi Peninsula, southern Japan.
- 6) Y. W. LOW, S. RAJARAMAN, C. M. TOMLIN, J. A. AHMAD, W. H. ARDI, K. ARMSTRONG, P. ATHEN, A. BERHAMAN, R. E. BONE, M. CHEEK, N. R. W. CHO, L. M. CHOO, I. D. COWIE, D. CRAYN, S. J. FLECK, A. J. FORD, P. I. FORSTER, D. GIRMANSYAH, D. J. GOYDER, B. GRAY, C. D. HEATUBUN, A. IBRAHIM, B. IBRAHIM, H. D. JAYASINGHE, M. A. KALAT, H. S. KATHRIARACHCHI, E. KINTAMANI, S. L. KOH, J. T. K. LAI, S. M. L. LEE, P. K. F. LEONG, W. H. LIM, S. K. Y. LUM, R. MAHYUNI, W. J. F. MCDONALD, F. METALI, W. A. MUSTAQIM, A. NAIKI, K. M. NGO, M. NISSALO, S. RANASINGHE, R. REPIN, H. RUSTIAMI, V. I. SIMBIK, R. S. SUKRI, S. SUNARTI, L. A. TRETOWAN, A. TRIAS-BLASI, T. N. C. VASCONCELOS, J. F. WANMA, P. WIDODO, D. S. A. WIJESUNDARA, S. WORBOYS, J. W. YAP, K. T. YONG, G. S. W. KHEW, J. SALOJÄRVI, T. P. MICHAEL, D. J. MIDDLETON, D. F. R. P. BURSLEM, C. LINDQVIST, E. J. LUCAS and V. A. ALBERT: Nature Commun. 13, 5031 (2022) (IF: 17.694), Genomic insights into rapid speciation within the world's largest tree genus *Syzygium*.
- 7) H. NODA, A. NISHIMURA, H. KATO, A. NAIKI, W. XIAO, M. MARTINEZ, M. MARUTANI, J. MCCONNELL and K. TAKAYAMA: Mol. Phylogenet. Evol. 171, 9, 107455 (IF: 5.019) (2022), Multiple origins of two *Ochrosia* (Apocynaceae) species endemic to the Bonin (Ogasawara) Islands.

- 8) 梶田結衣、米倉浩司、内貴章世：植物研究雑誌 98, 2, 97-100(2023) (IFなし), 西表島から日本新産外来植物シマミズハコベの報告.
- 9) 大越光太郎、天野正晴、山本武能、内貴章世、齊藤由紀子：沖縄生物学会誌 61, 69-72 (2023) (IFなし), ココヤシ *Cocos nucifera* (ヤシ科) の野生個体を西表島に記録する.
- 10) 山本武能、米倉浩司、阿部篤志、天野正晴、遠山弘法、設楽拓人、田金秀一郎、長谷川文、加島幹男、梶田忠、副島顕子、内貴章世：植物研究雑誌 98, 4 (印刷中) (2023) (IFなし), 沖縄県西表島産希少植物の島内分布調査と記録の確認.

6-2. 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

6-3. その他発表件数

| | |
|------------------|----|
| 査読付き論文に準ずる成果発表 | 0件 |
| その他誌上発表 (査読なし) | 0件 |
| 口頭発表 (学会等) | 5件 |
| 「国民との科学・技術対話」の実施 | 1件 |
| マスコミ等への公表・報道等 | 0件 |
| 本研究費の研究成果による受賞 | 1件 |
| その他の成果発表 | 4件 |

7. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

8. 研究者略歴

研究代表者

内貴 章世

京都大学総合人間学部卒業、京都大学大学院理学研究科博士後期課程修了、博士（理学）、
現在、琉球大学熱帯生物圏研究センター准教授

研究分担者

梶田 忠

東北大学理学部卒業、東北大学大学院理学研究科博士後期課程修了、博士（理学）、
現在、琉球大学熱帯生物圏研究センター教授

山本 武能

東北大学理学部卒業、京都大学大学院理学研究科博士後期課程修了、博士（理学）、
現在、琉球大学熱帯生物圏研究センターポスドク研究員

II. 成果の詳細

II-1 植物相の定量的解析による世界自然遺産候補地西表島の管理基盤情報の確立

琉球大学

| | |
|-------------|------|
| 熱帯生物圏研究センター | 内貴章世 |
| 熱帯生物圏研究センター | 梶田 忠 |
| 熱帯生物圏研究センター | 山本武能 |

研究協力者

| | |
|---------------------------|-------|
| 一般財団法人沖縄美ら島財団植物研究部 | 阿部篤志 |
| 一般財団法人沖縄美ら島財団植物研究部 | 米倉浩司 |
| 一般財団法人沖縄美ら島財団植物研究部 | 天野正晴 |
| 国立研究開発法人国立環境研究所 | 遠山弘法 |
| 国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所 | 設楽拓人 |
| 鹿児島大学総合研究博物館 | 田金秀一郎 |

[要旨]

豊かな森林生態系が残っており、2021年に世界自然遺産に指定されたにもかかわらず、いまだ情報量の少ない西表島の植物相について、ベルトトランセクト法および踏査による定量的・網羅的な調査をおこなった。このデータにもとづき、西表島の維管束植物種リスト、各維管束植物種の分布図、種多様性マップ、植生マップ、絶滅危惧植物マップ、および解析可能な種については生態ニッチモデリング解析による絶滅危惧植物および侵略的外来植物の潜在的分布地予測を行った。

標本情報が存在するもののみ計数した結果、西表島には1,375種の維管束植物（自生種1,109種、外来種等266種）が確認され、自生種については日本新産1種、西表新産3種を見いだした。3次メッシュ（約1km四方）1つにつき1個設定したトランセクト調査区（5m×100m, 208地点）には40～166種の維管束植物が出現した。出現種数は島の東北部や中南部で多く、島の周辺部や大河川の下流域等では少ないという傾向がみられ、植生は5タイプに類型化された。環境省のレッドリスト2020における絶滅危惧II類(VU)以上の維管束植物（絶滅危惧植物）は、183種が確認できた。トランセクト調査区の84%（175/208）で1種以上の絶滅危惧植物が出現し、トランセクトにおける絶滅危惧植物の出現数は0～11種、出現率は0～7.4%であった。種多様性と絶滅危惧種数は相関が弱く、種数の少ない島の周辺部の低地林でも出現率が高い場所がみられた。また、十分な分布データの得られた絶滅危惧植物37種および緊急対策外来種のアメリカハマグルマについて生態ニッチモデリング解析によって潜在的分布地予測をおこなった。このうち絶滅危惧植物11種とアメリカハマグルマで比較的良好な予測ができた。また、この絶滅危惧植物のうち気候変数の寄与度が高い5種については将来分布予測もおこなった。本研究において当初設定した目標はほぼ達成できた。

1. 研究開発目的

本研究は、いまだ情報量の少ない西表島の植物相について、全島を対象とした網羅的かつ定量的な調査によって、国立公園における効果的な管理策の策定、植生モニタリング、絶滅危惧植物の保全、侵略的外来種防除に役立つ基盤データとして、全維管束植物の最新の種リストと分布図、植物種の多様性と植生に関するマップ、解析可能な絶滅危惧植物の潜在分布地予測マップを整備することを目的とした。

2. 研究目標

(本研究はサブテーマが1つである)

本研究では①西表島のどの地域で植物の種数が高いのか明らかにする、②絶滅危惧種はどのような環境下に生育しているのか解明することによって、以下のアウトプットを整備する。

- (1) 西表島的全維管束植物の種リストおよび分布図（絶滅危惧種、外来種を含む）
- (2) 西表島全島をカバーする210地点の植生マップ（植生のタイプを地図化）および多様性マップ（多様性ホットスポットの抽出）
- (3) 生態ニッチモデリング解析による西表島に分布する第4次レッドリスト掲載の全絶滅危惧植物・侵略的外来種の将来予測マップ（解析可能な種に適用）

3. 研究開発内容

【サブテーマ1】植物相の定量的解析による世界自然遺産候補地西表島の管理基盤情報の確立

1) ベルトトランセクト法と踏査による植物調査

研究目標で述べた、西表島の維管束植物の分布や多様性を網羅的・定量的に明らかにするために、全国標準地域メッシュ3次メッシュ（約1km四方で緯度の間隔30秒、経度の間隔45秒、以下「メッシュ」と表記）に1個のベルトトランセクト調査区（5m×100m、以下「トランセクト」と表記）をなるべく谷筋から尾根筋までをカバーするように設置し、これを10mごとに区切り、区画ごとにGPSデータ、斜面方位データを取得し、出現した全維管束植物を記録した上で、分布情報の証拠となるよう標本の作成を行った（図1.1）。また、各標本と紐付けてDNA解析のための試料も作成した。胸高直径1cm以上の樹木は毎木調査（胸高直径と樹高を計測）を行った。

2017年から2019年にかけて代表者らが上記の調査法を用いて行った研究で西表島の123メッシュのトランセクトデータを得ている。西表島の面積は289.3km²であり、居住地・耕作地・大河川流域等を除くと、約210メッシュの調査を行うことで3次メッシュにほぼ1つの密度で調査区を設定できるため、本研究では残り87メッシュのデータを取得する計画としていた。到達不可能なメッシュ、天候不良等で調査ができなかったメッシュがあったため、一部予定を変更し、85のメッシュで調査を行い、合計208メッシュでデータを得ることができた（達成率99%）。

また、踏査による植物調査によって、トランセクト外で採集した植物は絶滅危惧植物や侵略的外来種も含めGPSデータを記録した上で標本とDNA解析の試料を作成した。

同定が困難な種、新産種と考えられる植物、その他分類学的または植物地理学的に興味を持たれる植物については他のプロジェクトとの共同研究も含め、DNAバーコーディングまたは系統解析を行った。

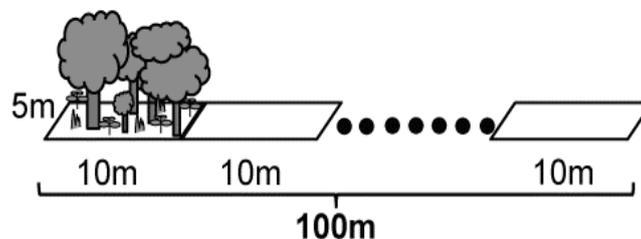


図1.1：本研究で用いたベルトトランセクト調査区画のイメージ。

2) リストやマップ類の作成

本研究で得られた全ての分布情報や標本情報はデータベース化し、1) で取得したデータをもとに、以下のリストやマップ類を作成した。維管束植物種リストに関しては、過去に採集された標本データも利用した。

目標のアウトプット(1)に対応するもの

- ・西表島の維管束植物種リスト(過去の標本データも含む)
- ・各維管束植物種の分布図(3次メッシュごとの存在、および位置情報を地図上に表示)

目標のアウトプット(2)に対応するもの

- ・種多様性マップ(トランセクトに出現した維管束植物数を地図上に表示)
- ・森林内に侵入した外来植物マップ(トランセクトに出現した外来植物を地図上に表示)
- ・植生マップ(各トランセクトにおける種-個体数の構成データを用いて Isopam 法 (Schmidtlein et al 2010¹⁾)で植生タイプを類型化し地図上に表示)
- ・絶滅危惧植物マップ(環境省レッドリスト 2020²⁾に掲載されている VU(絶滅危惧 II 類)以上の維管束植物がトランセクトに出現する割合等を表示)

目標のアウトプット(3)に対応するもの(解析法等については次項で述べる)

- ・生態ニッチモデリング解析による絶滅危惧植物および侵略的外来植物の潜在的分布地予測および将来分布予測(解析可能な種のみ)

3) 絶滅危惧植物および侵略的外来植物の生態ニッチモデリング解析

生態ニッチモデリング解析とは、種の分布データと環境データを統計的に関連付け、種の分布を規定する環境要因や環境的に対象種が生育可能な地域を予測する手法である(Guisan and Thuiller 2005³⁾; Elith and Leathwick 2009⁴⁾)。西表島には地形が急峻で踏査が困難な場所が少なからずあるため、特に絶滅危惧植物の生息している場所を生態ニッチモデリング解析によって推定することは効率的な保全のためにも有用であると考えられる。

本研究での解析のフローを図 1.2 に示す。トランセクト調査および踏査で得られた分布情報にもとづき、西表島に分布する第 4 次レッドリスト掲載の絶滅危惧植物 137 種のうち空間間引き処理後に 10 地点以上の記録があった 37 種、全 1046 地点のデータを分布データとして用い、トランセクトデータや踏査ルートは不在データとして利用した。環境データのうち、気候変数は 12 種類(最暖月最高気温、最寒月最低気温、最湿潤四半期平均気温、最乾燥四半期平均気温、最暖四半期平均気温、最寒四半期平均気温、最湿潤月降水量、最乾燥月降水量、最湿潤四半期降水量、最乾燥四半期降水量、最暖四半期降水量、最寒四半期降水量)、地形データは 13 種類(標高、方位、傾斜、曲率、主要道路・登山道からのコスト距離、海からの距離、夏至の日照時間、冬至の日照時間、夏至の日照時間と冬至の日照時間の差、表層地質、土壌、地形湿潤指数、谷の深さ)を使用し、MaxEnt ver. 3.4.4 によって潜在分布域の予測および各環境変数の重要度を算出した。潜在分布域モデルは AUC (Area Under the ROC Curve) と CBI (Continuous Boyce Index) の 2 つの指標で予測精度評価をおこなった。

潜在的分布地予測図を作成した絶滅危惧植物のうち、予測精度および気候変数の寄与度が高い 5 種について、分布の将来予測図(2041~2070 年の平均値)を作成した。気候モデルには 5 種の全球気候モデル(Global Climate Model: GCM; GFDL-ESM4, UKESM1-0-LL, MPI-ESM1-2-HR, IPSLCM6A-LR, MRI-ESM2-0)を用い、それぞれの GCM ごとに、気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC)の第 6 次評価報告における共通社会経済経路(Shared Socio-economic Pathways: SSP, Karger et al. 2021)シナリオのうち SSP1-2.6(持続可能な発展の下で気温上昇を 2°C 未満に抑える)、SSP3-7.0(地域対立的な発展の下で気候対策を行わない)、SSP5-8.5(化石燃料依存型の発展の下で気候政策を導入せず最大排出量となる)を用いて、分布がどのように変化するかをシミュレーションした。

侵略的外来植物に関しては、環境省において緊急対策外来種に選定されているキク科のアメリカハマグルマを対象とし、西表島の県道、農道、林道、農地等、人的活動の影響がみられるほぼ全ての場

所で目視およびドローンを使用した空撮画像を用いて詳細な分布図を作成した。また、このデータをもとに MaxEnt による生態ニッチモデリング解析を行い、潜在分布域の予測をおこなった。

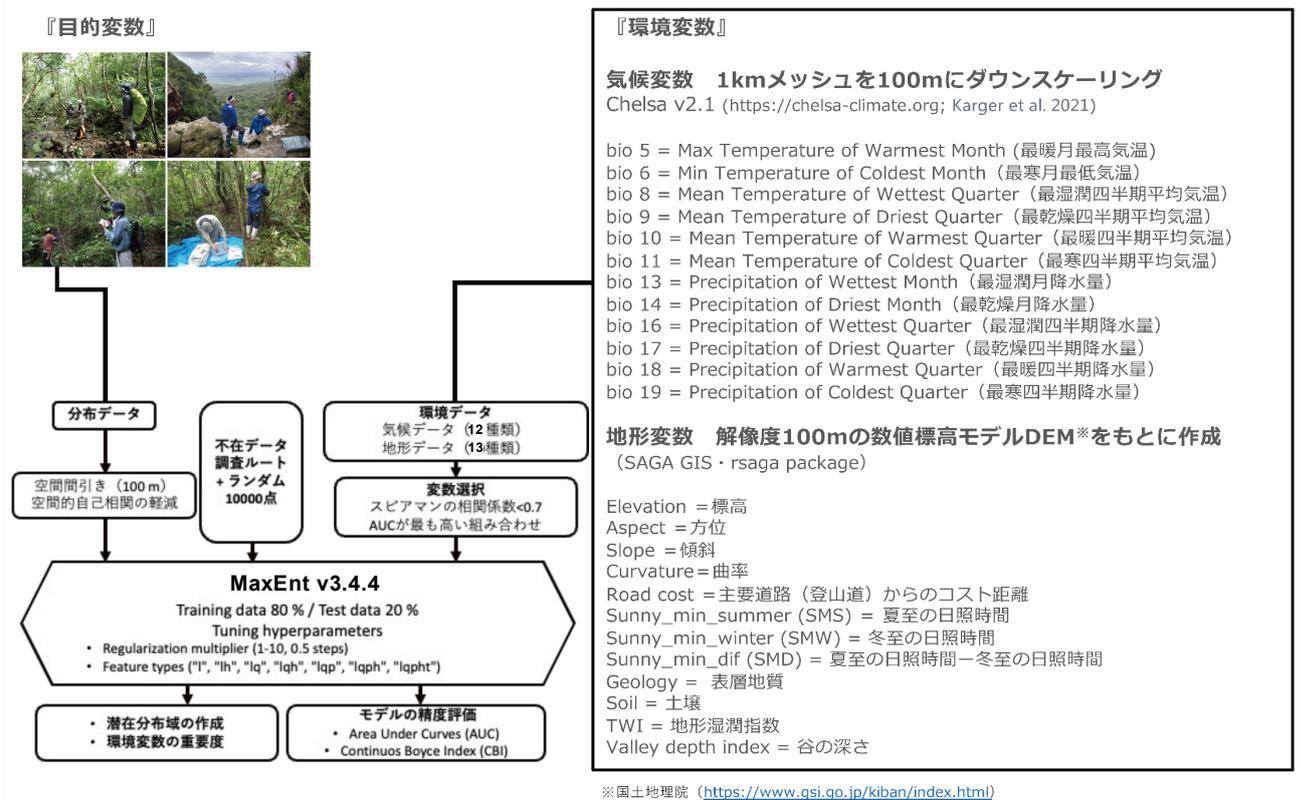


図1.2：絶滅危惧植物における生態ニッチモデリング解析のフロー。

4. 結果及び考察

1) 維管束植物の分布、種多様性

研究期間中に85箇所のトランセクトおよび踏査によって西表島の維管束植物15,957点の標本を作成した。2017-2019年度の123箇所の標本16,009点とあわせて31,966点になる。これらのデータと、過去に西表島で採集された標本データをあわせると、西表島では1,375種（自生種1,109種、外来種等266種）が確認され、自生種に関しては日本新産1種、西表新産3種を見だし、維管束植物種リストを作成した（図1.3）。なお、標本は琉球大学理学部植物標本室（RYU）に収蔵し、標本データは地球規模生物多様性情報機構（GBIF）のデータベース登録に向けてデータのクリーニングを行っている。

各維管束植物種の分布図（図1.4、一例）は、トランセクトで得られたデータをもとに、各3次メッシュでの出現の有無を地図上に示したものと、トランセクトおよび踏査で得られたデータをもとに、地図上に出現地点をプロットしたものを作成した。分布が非常に偏る植物がいくつかあり、特にオオトキワシダ、ランダイミズ、本研究で見いだされた西表新産のホソバノキミズなどは1つの河川流域の限られた範囲でしかみられなかった。

多様性マップとして、トランセクトに出現した維管束植物の種数をメッシュの入った地図上に示した。最少40種、最多で166種出現し、内陸部、特に島の北東部および中南部では130種以上の地点が多く、島の周辺部や大河川（浦内川、仲間川）下流域などは種数が100種未満の地点が多いという傾向がみられた。標高と種数の関係をみると、標高が高くなるにつれて出現種数が増える傾向があった。

| A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P |
|------|------|------|--------|-----------------|----|--------------------------------------|--------------|----------|------|-------|-----|----------|-------|----------|--|
| ID | ID | 科番号 | Family | name | 分類 | 和名(青字:西表島にのみ) | 別名 | 西表(一部周辺) | 生態情報 | 環境省RL | 沖縄県 | 原RDB pp. | 西表産草具 | 西表標準引用文献 | 西表植物に関するその他文献 |
| I266 | 1265 | 10 | 3305 | Primulaceae | | <i>Ardisia cymosa</i> Blume | シナヤブソウ | | | | | | | | |
| I267 | 1266 | 329 | 3305 | Primulaceae | | <i>Ardisia pusilla</i> A.DC. | ツルコウソウ | シナマノリョウ | | VU | | | | | |
| I268 | 1267 | 11 | 3305 | Primulaceae | | <i>Ardisia pusilla</i> A.DC. var. | リュウキュウツルコウソウ | | | | | | | FO 813 | T 82; Mesamune 6: 305 (sub T 82) |
| I269 | 1268 | 330 | 3305 | Primulaceae | | <i>Ardisia quinquevulva</i> Blume | シリアクサ | | | | | | | FO 810 | T 82 |
| I270 | 1269 | 331 | 3305 | Primulaceae | | <i>Ardisia sieboldii</i> Miq. | モクナバナ | | | | | | | FO 811 | T 82 |
| I271 | 1270 | 1000 | 3305 | Primulaceae | | <i>Lysimachia arvensis</i> (L.) | ルリハコソウ | | | | | | | | T 82 (as <i>Anaxallis arvensis</i> f. T 82; Mesamune 6: 307. |
| I272 | 1271 | 1010 | 3305 | Primulaceae | | <i>Lysimachia decurrens</i> G.Forst. | シマギンレイカ | | | | | | | | T 82 (as var. <i>subsessilis</i>) |
| I273 | 1272 | 1011 | 3305 | Primulaceae | | <i>Lysimachia japonica</i> Thunb. | コナスビ | | | | | | | | T 82; Mesamune 6: 307. |
| I274 | 1273 | 1012 | 3305 | Primulaceae | | <i>Lysimachia mauritiana</i> Lam. | ハマボソ | | | | | | | | T 83; Ishimine et al. (1982): 160. |
| I275 | 1274 | 1013 | 3305 | Primulaceae | | <i>Lysimachia sikokiana</i> Miq. | モロコシソウ | | | | | | | | T 83; Mesamune 6: 308. |
| I276 | 1275 | 1023 | 3305 | Primulaceae | | <i>Mussa perlatius</i> (Lour.) Merr. | シマイズセリョウ | シナマノリョウ | | | | | | | T 82 (as <i>M. tenera</i>) |
| I277 | 1276 | 1079 | 3305 | Primulaceae | | <i>Mirsine sesuini</i> H.Lév. | タミミナバナ | | | | | | | | T 82 (as <i>Rapanea nerifolia</i>) |
| I278 | 1277 | 431 | 3306 | Theaceae | | <i>Camellia japonica</i> L. | ヤブナツバキ | ホウザンソウバキ | | | | | | | T 82 (as <i>Rapanea nerifolia</i>) |
| I279 | 1278 | 422 | 3306 | Theaceae | | <i>Camellia lutchuensis</i> T.H.S. | ヤブナツバキ | | | | | | | | T 82 (as <i>Rapanea nerifolia</i>) |
| I280 | 1279 | 433 | 3306 | Theaceae | | <i>Camellia sasanqua</i> Thunb. | ヒサザサカ | | | | | | | | T 70 |
| I281 | 1280 | 1240 | 3306 | Theaceae | | <i>Pvrenaria virata</i> (Koidz.) | ヒサカサザンカ | | | | | | | | T 70 |
| I282 | 1281 | 1294 | 3306 | Theaceae | | <i>Schima wallichii</i> (DC.) Korth. | イジュ | | | | | | | | T 71 (sub <i>Tutcheria</i>) |
| I283 | 1282 | 1396 | 3337 | Symplocaceae | | <i>Symplocos caudata</i> Wall. ex | ヤエヤマクロバキ | | | | | | | | T 71 (as <i>S. lukuensis</i>) |
| I284 | 1283 | 1397 | 3337 | Symplocaceae | | <i>Symplocos cochinchinensis</i> | アヲバキ | | | | | | | | T 84 (as <i>Bobus kotoensis</i>) |
| I285 | 1284 | 1398 | 3337 | Symplocaceae | | <i>Symplocos slauca</i> (Thunb.) | ミスズバキ | | | | | | | | T 84 (as <i>Bobus slauca</i>) |
| I286 | 1285 | 1399 | 3337 | Symplocaceae | | <i>Symplocos konishii</i> Hayata | コシノバキ | | | | | | | | T 84 (as <i>Bobus lukuensis</i>) |
| I287 | 1286 | 1400 | 3337 | Symplocaceae | | <i>Symplocos lukuensis</i> Matsum. | イリオモバキ | | | | | | | | T 84 (as <i>Bobus lukuensis</i>) |
| I288 | 1287 | 1401 | 3337 | Symplocaceae | | <i>Symplocos rafalharae</i> | オカラクロバキ | | | | | | | | T 84 (as <i>Bobus japonica</i> var. T 84) |
| I289 | 1288 | 1402 | 3337 | Symplocaceae | | <i>Symplocos grandifolia</i> Siebold | ナガバクバキ | | | | | | | | T 84 (as <i>Bobus japonica</i> var. T 84) |
| I290 | 1289 | 1338 | 3338 | Diapensiaceae | | <i>Shortia rotundifolia</i> (Maxim.) | シマウチワ | | | | | | | | T 81; Mesamune 6: 287. |
| I291 | 1290 | 1392 | 3338 | Styracaceae | | <i>Styrax japonicus</i> Siebold et | ゴウトウエノキ | | | | | | | | T 81 (as <i>S. japonica</i> var. T 81) |
| I292 | 1291 | 270 | 3342 | Actinidiaceae | | <i>Actinidia rufa</i> (Siebold) et | シマサルナシ | | | | | | | | T 70 |
| I293 | 1292 | 1299 | 3342 | Actinidiaceae | | <i>Saurauia tristylia</i> DC. var. | タカサゴシラタマ | | | | | | | | T 70 (as <i>S. kawasoenae</i>) |
| I294 | 1293 | 1064 | 3345 | Ericaceae | | <i>Monotropastrum humile</i> | ギンリョウソウ | | | | | | | | T 81 (as <i>M. globosum</i> var. T 81) |
| I295 | 1294 | 1253 | 3345 | Ericaceae | | <i>Rhododendron amanoi</i> Ohwi | サキシマツツジ | | | | | | | | T 81 (as <i>R. scabrum</i> var. T 81) |
| I296 | 1295 | 1254 | 3345 | Ericaceae | | <i>Rhododendron latouchae</i> | セイシカ | | | | | | | | T 81 (as <i>R. ellipticum</i>) |
| I297 | 1296 | 1255 | 3345 | Ericaceae | | <i>Rhododendron simsii</i> Planch. | タウヤマツツジ | | | | | | | | T 81 (as <i>R. ellipticum</i>) |
| I298 | 1297 | 1465 | 3345 | Ericaceae | | <i>Vaccinium bracteatum</i> Thunb. | シャシヤンボ | | | | | | | | T 81 (as <i>R. ellipticum</i>) |
| I299 | 1298 | 1488 | 3345 | Ericaceae | | <i>Vaccinium wrightii</i> A.Gray | ギーマ | | | | | | | | T 81 (as <i>V. wrightii</i>) |
| I300 | 1299 | 1060 | 3346 | Mitrasomonaceae | | <i>Mitrasomon vamanotoi</i> | ヤッコソウ | | | | | | | | T 28; Mesamune 4: 78 |
| I301 | 1300 | 1089 | 3348 | Icacinaceae | | <i>Notthaodytes nimmonianus</i> | クマシバキ | | | | | | | | T 64 (as <i>Mbapia ovata</i> var. T 64) |
| I302 | 1301 | 293 | 3352 | Rubiaceae | | <i>Adia canthioides</i> (Otano) ex | シマササバキ | | | | | | | | T 100 |
| I303 | 1302 | 334 | 3352 | Rubiaceae | | <i>Azosterma solaniflorum</i> | イリオモソウ | | | | | | | | T 100 (as <i>A. iromotensis</i>) |

図1.3 : 本研究で作成した西表島の維管束植物種リスト (一部イメージ) .

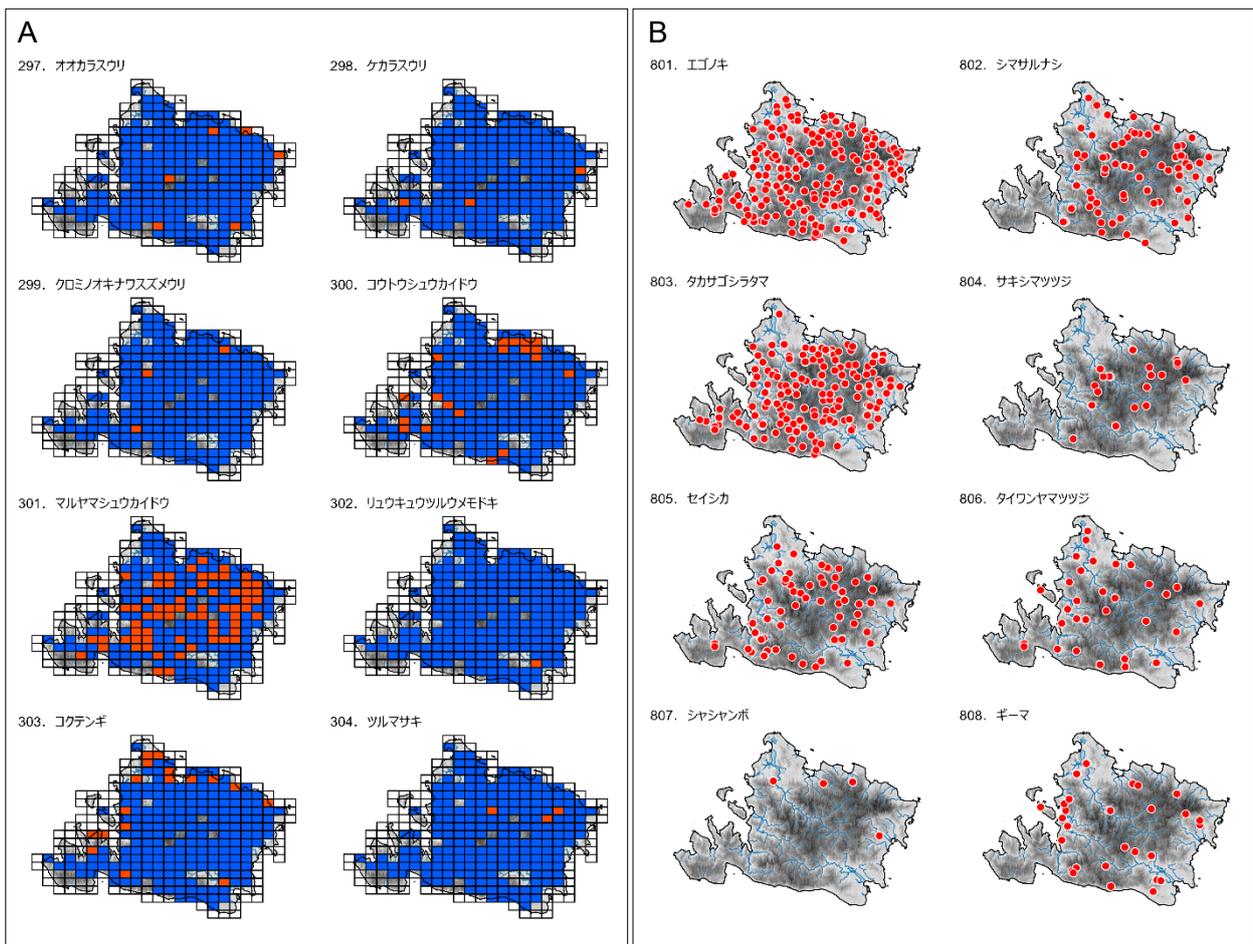


図1.4 : 各維管束植物の分布図 (一例) . A. ベルトトランセクト調査区 (5m×100m) で確認された518種の維管束植物について、3次メッシュごとの存在を示したもの。B. トランセクトと踏査で確認された1039種について採集地点をプロットしたもの。A, Bとも8種を1ページとし、Aは65ページ、Bは130ページある。

2) 森林内に侵入している外来植物

外来植物は266種が確認され、このうち59種は本研究によって新たに西表島に分布することがわかった (Kajita et al. 2022⁶⁾)。現在のところ、国立公園の特別保護地区や第一種特別地域の辺縁や内陸部まで侵入している外来植物にはフトモモ (フトモモ科)、ギンゴウカン (マメ科)、ソウシジュ (マメ科)、トクサバモクマオウ (モクマオウ科)、オガサワラスズメノヒエ (イネ科)、ウシノタケダグサ (キク科) 等があった。このうち森林内まで侵入しトランセクトにも出現した主な樹種はフトモモ、ギンゴウカン、ソウシジュ、トクサバモクマオウで、特に、栽培品からの逸出であるフトモモは集落跡地付近、山小屋跡地付近を中心に多数みられ、県道や農道、林道脇に多数みられるギンゴウカンは、島の南東部では森林内にも侵入していることが明らかになった (図1.5)。

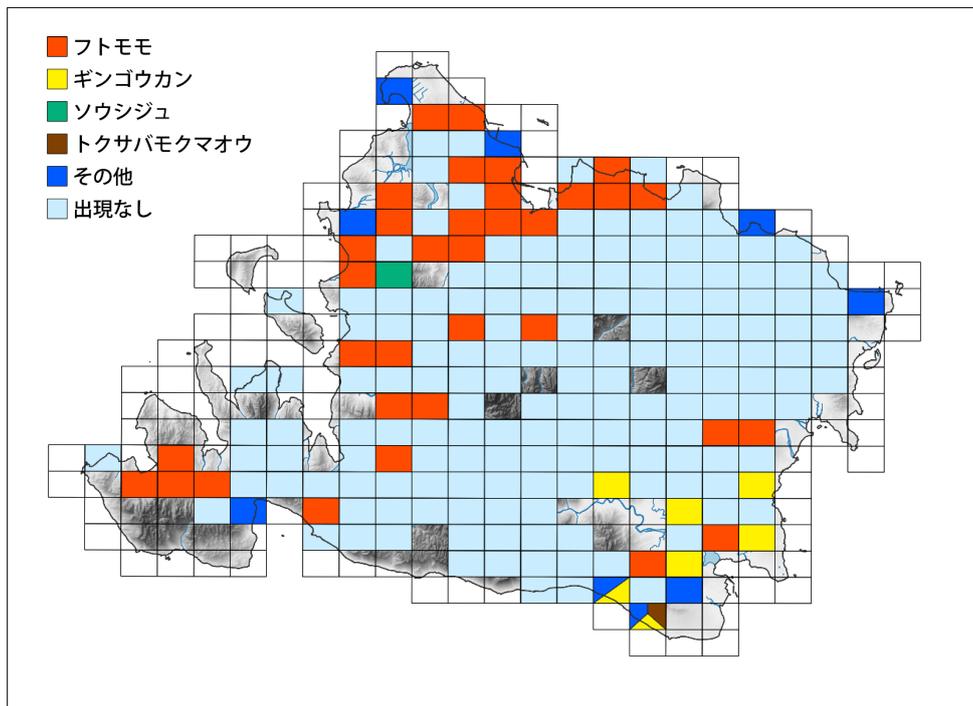


図1.5 : ベルトトランセクト調査区 (5m×100m) に出現した外来植物.

3) 植生タイプ

Isopam 法 (Schmidtlein et al 2010¹⁾) によって植生タイプを類型化し地図上に表示したものを図1.6に示す。西表島の植生は4階層にわたるクラスタリングによって最終的に16タイプにまで細分化されたが、2階層目の5タイプにAからEと名付けて詳細を示す (図1.6B)。Aタイプは海岸付近に発達する林、Bタイプは島の周辺部低地林や大河川の内陸部周辺の林、Cタイプは島の周辺部および内陸の大河川 (浦内川、仲間川、仲良川) 沿いのやや湿った場所に発達する林、D, Eタイプは内陸の高標高の場所に発達する林であった。植生タイプ別での出現種数は、Aタイプが最も少なく (40~103種)、Eタイプが最も多かった (105~166種)。

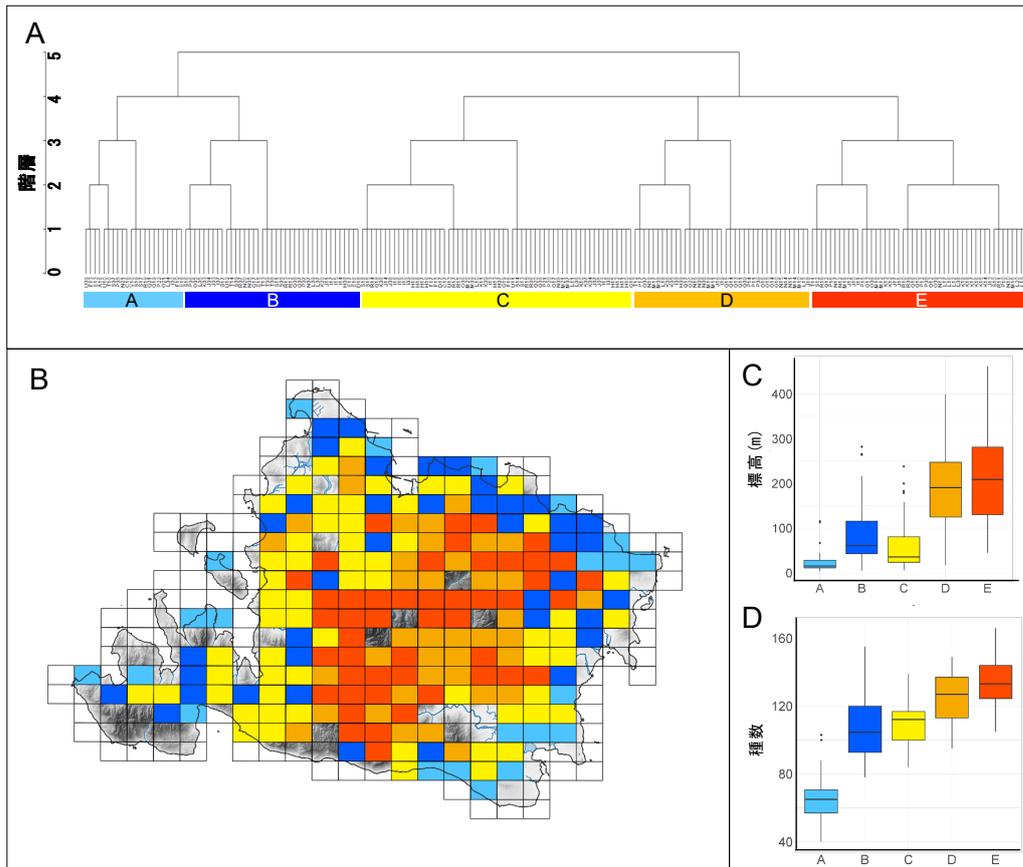


図1.7：ベルトトランセクト調査区（5m×100m）に出現した維管束植物データに基づいてIsopam法(Schmidtlein et al 2010¹⁾)によって得られた植生タイプ。
A. 樹形図. B. 5つの植生タイプを示したマップ. C. 各植生タイプと標高. D. 各植生タイプと出現した種数.

3) 絶滅危惧植物の出現率と保全上重要な地域

環境省のレッドリスト2020における絶滅危惧II類(VU)以上の維管束植物は、トランセクト調査区においては61種、踏査によるものも含めると138種が出現した。トランセクトでは調査区の84% (175/208地点)で1種以上の絶滅危惧植物が出現し、最大で11種が出現した。種多様性と同様に内陸部、特に北東部と中南部で出現種数が高い傾向がみられたが、種多様性と絶滅危惧種数の相関は弱く (相関係数 $r = 0.3671289$)、種の多様性と絶滅危惧植物の多様性は必ずしも一致しないことが明らかになった。そこで保全上重要な地域を可視化するために、トランセクトの全出現種数に占める絶滅危惧種の割合を算出して地図上に示した。また各絶滅危惧植物がトランセクトを実施した208メッシュ中何メッシュに出現したかに関して、1メッシュなら1ポイント、2メッシュなら1/2ポイント、 n 地点なら $1/n$ ポイントとして点数化し、各トランセクト内でこれらを足し合わせた数値を「非代替性の指数」として地図上に示した。これによって、絶滅危惧植物の多い森林が島の内陸部のみではなく島の広い範囲に散在すること、また保全上重要な、非代替性の高い森林は島の北東内陸部に特に集中しているが、島周辺部の低地にも点在していることが明らかになった。特に低標高地で非代替性の高い森林は集落に隣接しており、人間活動の影響を受けやすいため、今後適切な管理・保全について検討が必要である。

4) 絶滅危惧植物および侵略的外来植物の生態ニッチモデリング解析による潜在的分布地予測および分布の将来予測

生態ニッチモデリング解析による絶滅危惧植物37種の潜在的分布地予測図を作成した。これらのうち11種（ヒメハブカズラ、アカハダコバンノキ、サキシマハブカズラ、オナガエビネ、コニシハイノキ、リュウキュウセッコク、ヨウラクヒバ、台湾ンミヤマトベラ、コウトウシュウカイドウ、ナガバコバンモチ、台湾ンエビネ）では比較的高い予測精度（AUC, CBI ともに > 0.86 ）が得られた一方で、オオニンジンボクのように出現地点数が多く、なおかつ分布に偏りがあるにもかかわらず予測精度が不十分な種もみられた。また岩壁に生育するマツムラソウやツルキジノオなど、分布が微地形に依存する種なども予測や説明が困難であった。これらはより適切な変数の選択・追加や、西表島外の分布や環境データを取り入れた解析をおこなうことで改善する可能性があり、今後の課題である。

分布を説明する環境変数としては傾斜、曲率、日射量、谷の深さが多くの種に共通して選択されたが、いずれもモデルに対する重要度は低く、重要度の高い変数は種ごとに異なっていた。一方で潜在分布域としては多くの種において島の中央部で高い確率が予測された。これは西表島においては島の周辺部と中央部で複数の環境要因が異なっており（e. g. 島の周辺部は標高が低く高温少雨、開拓され道路が多い \leftrightarrow 島の中央部は高標高で低温多雨、自然度が高い）、種ごとに異なる環境要因に依存する複数の絶滅危惧植物が結果的に島の中央部に多く分布しているためと考えられる。

分布の将来予測に関しては、現在の分布予測精度が高かった上記11種のうち、気候変数の重要度が高いコニシハイノキ、ヨウラクヒバ、台湾ンミヤマトベラ、コウトウシュウカイドウと、分布予測の精度はあまり高くないが気候変数の重要度が高い木本種のクサミズキの5種について将来予測図（2041～2070年の平均値）を作成した。コニシハイノキ、ヨウラクヒバ、台湾ンミヤマトベラ、コウトウシュウカイドウは多くのモデル・シナリオで現在よりも分布が縮小すると予測された。一方でクサミズキは現在よりも分布が拡大すると予測された。

緊急対策外来種となっているアメリカハマグルマは、西表島の人間活動が活発な地域ほぼ全域で見られ、西表島全体の分布図（図1.8A）では、内陸部や隔離された場所への侵入、詳細な分布図（図1.8B, C）では特に大きな群落を作っている場所が明らかになった。生態ニッチモデリング解析の結果（図1.9）からは、現在は分布が見られないが、潜在的な分布域と予測される地域（仲良川下流など）が存在しており、これらの地域には今後分布が拡大するおそれがある。このような地域付近を優先して防除対策を行う必要があると考えられる。

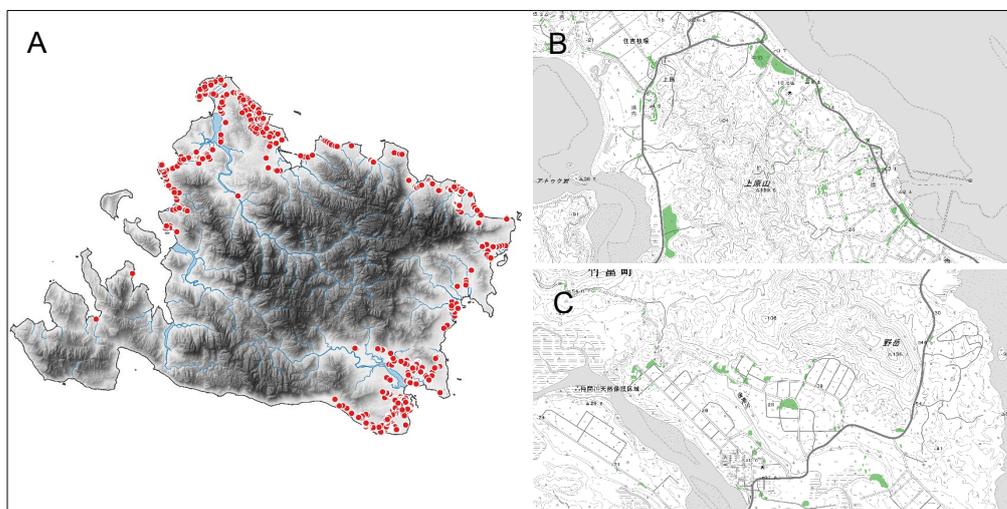


図1.8：アメリカハマグルマの分布．A. 西表島全体の分布図．
B, C. 詳細な分布図の例（緑色の部分が生息を確認できた地点・範囲）．

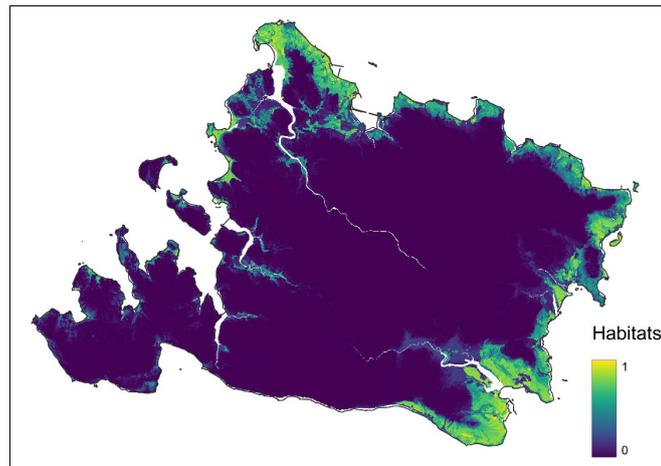


図1.9：アメリカハマグルマの潜在分布地の予測図。

5) 新産種とDNAバーコーディング、系統解析

本研究では、新産種、同定困難種、分布上興味を持たれる種等についてDNAバーコーディング・系統解析を行った。

日本新産種としてムクゲコケシノブ（コケシノブ科：仮称）を見いだした。また、本研究においてホソバノキミズ（イラクサ科：Naiki et al. 2022⁷⁾）、サガミトリゲモ（イバラモ科：Kajita et al. 2021⁸⁾）が西表島に新たに分布することを見いだした。さらに、文献上には現れるものの証拠標本の引用がされていない7種（オオトキワシダ、ワラビツナギ、ヒナノシヤクジョウ、ヤワラケガキ、ホルトカズラ、オギノツメ、ホソバムラサキ）について、実際に島内に生育していることを確認して証拠標本を採集することができた（山本ら2023⁹⁾）。

本研究により西表島でこれまで少数の生育地のみが確認されていたコブラン（ハナヤスリ科）、キクモバハラゴケ（コケシノブ科）、リュウキュウキジノオ（キジノオシダ科）、ナガバウスバシダ（ナナバケシダ科）、ヤエヤマカンアオイ（ウマノスズクサ科）、ヒメハブカズラ（サトイモ科）、タイワンミヤマトベラ（マメ科）、アカハダコバンノキ（コミカンソウ科）、シナヤブコウジ（サクラソウ科）、ゴムカズラ（キョウチクトウ科）、トリゲモ（イバラモ科）、コカゲトンボ（ラン科）では新たな生育地が発見された。これらのほとんどは絶滅危惧植物であり、今回の新たな分布地は保全のための重要な情報となる。

ホソバノキミズとホソバムラサキに関しては、台湾のものと塩基配列を比較したところ、ホソバノキミズは葉緑体DNAの*psbA-trnH* 遺伝子間領域 (287 bp) および核DNAのITS領域 (632 bp) (Naiki et al. 2022⁷⁾）、ホソバムラサキは葉緑体DNAの*matK* 領域 (816 bp) および*trnD-trnT* 遺伝子間領域 (797 bp) の配列が完全に一致した（山本ら2023⁹⁾）。この2種は現在のところ1箇所を確認されただけで、これまで知られていなかったこと、本研究等ですでに208地点の調査を行っているにもかかわらず他では見られないことから、今後も他の場所で発見される可能性は低いと考えられる。そのため、これらが生育する場所は重点的に保全されることが望まれる。なお、ホソバムラサキは2021年8月には1個体が生存しており、開花も観察されたが、2022年1月には枯死していることが確認された。現在西表島で野生下に生育する個体は確認できない。

トランセクト調査区で出現し、花や果実が無く同定が困難な植物種のDNAバーコーディングをおこなったところ、調査時にサネカズラとしていたものは全てがリュウキュウサネカズラであった。またヤマノイモ属の不明種（図1.10A）はソメモノイモの幼個体であることが判明し、本種は幼個体と成熟個体で葉形が大きく異なることが明らかになった（図1.10A, B）。これまで困難であった幼個体の同定が可能となり、これは今後の植生モニタリング調査などに資する知見である。



図1.10： A. ソメモノイモの幼個体，B. ソメモノイモの成熟（繁殖）個体．幼個体の形態は図鑑等に記載が無く、DNAバーコーディングで本種と判明した．

5. 研究目標の達成状況

| 全体目標（＝サブテーマ1目標） | 目標の達成状況 |
|--|---|
| <p>本研究では①西表島のどの地域で植物の種数が高いのか明らかにする、②絶滅危惧種はどのような環境下に生育しているのか解明することによって、以下のアウトプットを整備する。</p> <p>(1) 西表島の全維管束植物の種リストおよび分布図（絶滅危惧種、外来種を含む）</p> <p>(2) 西表島全島をカバーする210地点の植生マップ（植生のタイプを地図化）および多様性マップ（多様性ホットスポットの抽出）</p> <p>(3) 生態ニッチモデリング解析による西表島に分布する第4次レッドリスト掲載の全絶滅危惧植物・侵略的外来種の将来予測マップ（解析可能な種に適用）</p> | <p><u>①目標どおりの成果をあげた</u> 85箇所ベルトトランセクト法による調査および踏査によって西表島の維管束植物15,957点の標本を作成し、従来の123箇所のトランセクトデータと合わせて208箇所31,966点の標本を得た。これらに基づき、各維管束植物種の分布図を作成し、種数の多い場所を特定した。</p> <p><u>②目標どおりの成果をあげた</u> ①のデータに基づき絶滅危惧植物の多い場所を特定し、一部の種において分布を説明する環境変数も推定できた。</p> <p><u>(1)目標どおりの成果をあげた</u> ①のデータに基づき西表島の全維管束植物(1,375種)の種リストおよび分布図を作成した。</p> <p><u>(2)目標どおりの成果をあげた</u> ①のデータに基づき西表島の208地点の植生マップおよび多様性マップを作成し、西表島の北東部や中南部に多様性の高い地域があることを明らかにした。</p> <p><u>(3)目標どおりの成果をあげた</u> 解析可能な種数は限られたものの、潜在的分布地予測図を作成することができ、さらに気候変数の寄与が高いと判断される絶滅危惧植物については気候変動による将来予測図も作成することができた。</p> |

6. 引用文献

- 1) Schmidtlein S., L. Tichý, H. Feilhauer, U. Faude (2010) A brute-force approach to vegetation classification. *J. Veg. Sci.* 21 (6): 1162-1171.
- 2) 環境省 (2020). 環境省レッドリスト2020. <<https://www.env.go.jp/content/900515981.pdf>> [2023年4月26日閲覧].
- 3) Guisan, A. and Thuiller, W. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecol. Lett.* 8: 993-1009.
- 4) Elith, J. and Leathwick, J. R. 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 40: 677-697.
- 5) Karger, D.N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R.W., Zimmermann, N.E., Linder, H.P. & Kessler, M. (2021) Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *EnviDat*. <https://doi.org/10.16904/envidat.228.v2.1>
- 6) 梶田結衣・米倉浩司・遠山弘法・赤井賢成・天野正晴・阿部篤志・山本武能・設楽拓人・齊藤由紀子・横田昌嗣・内貴章世. 2021. 沖縄県西表島における外来植物目録. 大阪市立自然史博物館研究報告76: 125-141.
- 7) Naiki, A., M. Amano, K. Yonekura, K. Okoshi, Y. Saito, T. Yamamoto, T. Shitara and A. Abe. 2022. A new locality of *Elatostema lineolatum* Wight var. *majus* Wedd. from Iriomote Island, Japan. *Acta Phytotaxon. Geobot.* 73 (3): 219-226. 13.
- 8) Kajita, Y., H. Toyama, K. Akai and A. Naiki. 2021. Morphology, Phenology, and Chromosomal Observations in *Najas minor* and *Najas chinensis* from Iriomote Island, Okinawa, Japan. *Acta Phytotaxon. Geobot.* 72 (2): 167-177.
- 9) 山本武能・米倉浩司・阿部篤志・天野正晴・遠山弘法・設楽拓人・田金秀一郎・長谷川文・加島幹男・梶田忠・副島顕子・内貴章世. 2023. 沖縄県西表島産希少植物の島内分布調査と記録の確認—維管束植物相解明に向けて. *植物研究雑誌*98 (4): 178-191.

Ⅲ. 研究成果の発表状況の詳細

(1) 誌上発表

<査読付き論文>

【サブテーマ1】

- 1) Y. KAJITA, H. TOYAMA, K. AKAI and A. NAIKI: *Acta Phytotaxon. Geobot.* 72, 2, 167-177 (2021) (IF: 0.395), Morphology, phenology, and chromosomal observations in *Najas minor* and *Najas chinensis* from Iriomote Island, Okinawa, Japan.
- 2) 梶田結衣、米倉浩司、遠山弘法、赤井賢成、天野正晴、阿部篤志、山本武能、設楽拓人、齊藤由紀子、横田昌嗣、内貴章世: 大阪市立自然史博物館研究報告 76, 125-141 (2021) (IF なし), 沖縄県西表島における外来植物目録.
- 3) 梶田結衣、遠山弘法、山本武能、内貴章世: 大阪市立自然史博物館研究報告 76, 97-124 (2021) (IF なし), 西表島の維管束植物 221 種の繁殖フェノロジー: ルートセンサスによる 3 年間の記録.
- 4) A. NAIKI, M. AMANO, K. YONEKURA, K. OKOSHI, Y. SAITO, T. YAMAMOTO, T. SHITARA and A. ABE: *Acta Phytotaxon. Geobot.*, 73, 3, 219-226 (2022) (IF: 0.395), A new locality of *Elatostema lineolatum* Wight var. *majus* Wedd. from Iriomote Island, Japan.
- 5) S. TAGANE, S. FUJII, S. K. HIROTA, A. NAIKI and T. YAHARA: *Phytokeys*, 211: 33-44 (2022) (IF: 1.317), *Hydrangea marunoi* (Hydrangeaceae), a new species from Osumi Peninsula, southern Japan.
- 6) Y. W. LOW, S. RAJARAMAN, C. M. TOMLIN, J. A. AHMAD, W. H. ARDI, K. ARMSTRONG, P. ATHEN, A. BERHAMAN, R. E. BONE, M. CHEEK, N. R. W. CHO, L. M. CHOO, I. D. COWIE, D. CRAYN, S. J. FLECK, A. J. FORD, P. I. FORSTER, D. GIRMANSYAH, D. J. GOYDER, B. GRAY, C. D. HEATUBUN, A. IBRAHIM, B. IBRAHIM, H. D. JAYASINGHE, M. A. KALAT, H. S. KATHRIARACHCHI, E. KINTAMANI, S. L. KOH, J. T. K. LAI, S. M. L. LEE, P. K. F. LEONG, W. H. LIM, S. K. Y. LUM, R. MAHYUNI, W. J. F. MCDONALD, F. METALI, W. A. MUSTAQIM, A. NAIKI, K. M. NGO, M. NISSALO, S. RANASINGHE, R. REPIN, H. RUSTIAMI, V. I. SIMBIAK, R. S. SUKRI, S. SUNARTI, L. A. TRETOWAN, A. TRIAS-BLASI, T. N. C. VASCONCELOS, J. F. WANMA, P. WIDODO, D. S. A. WIJESUNDARA, S. WORBOYS, J. W. YAP, K. T. YONG, G. S. W. KHEW, J. SALOJÄRVI, T. P. MICHAEL, D. J. MIDDLETON, D. F. R. P. BURSLEM, C. LINDQVIST, E. J. LUCAS and V. A. ALBERT: *Nature Commun.* 13, 5031 (2022) (IF: 17.694), Genomic insights into rapid speciation within the world's largest tree genus *Syzygium*.
- 7) H. NODA, A. NISHIMURA, H. KATO, A. NAIKI, W. XIAO, M. MARTINEZ, M. MARUTANI, J. MCCONNELL and K. TAKAYAMA: *Mol. Phylogenet. Evol.* 171, 9, 107455 (IF: 5.019) (2022), Multiple origins of two *Ochrosia* (Apocynaceae) species endemic to the Bonin (Ogasawara) Islands.
- 8) 梶田結衣、米倉浩司、内貴章世: 植物研究雑誌 98, 2, 97-100 (2023) (IF なし), 西表島から日本新産外来植物シマミゾハコベの報告.
- 9) 大越光太郎、天野正晴、山本武能、内貴章世、齊藤由紀子: 沖縄生物学会誌 61, 69-72 (2023) (IF なし), ココヤシ *Cocos nucifera* (ヤシ科) の野生個体を西表島に記録する.
- 10) 山本武能、米倉浩司、阿部篤志、天野正晴、遠山弘法、設楽拓人、田金秀一郎、長谷川文、加島幹男、梶田忠、副島頭子、内貴章世: 植物研究雑誌 98, 4 178-191 (2023) (IF なし), 沖縄県西表島産希少植物の島内分布調査と記録の確認—維管束植物相解明に向けて.

<その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表（学会等）

【サブテーマ1】

- 1) T. YAMAMOTO, H. TOYAMA, T. SHITARA, N. SASHIMURA, S. TAGANE, A. ABE, K. YONEKURA, M. AMANO, R. FURUMOTO, M. YOKOTA and A. NAIKI: The 9th East Asian Plant Diversity and Conservation (2021) “Comprehensive and quantitative approach to the elucidation of the flora of Iriomote Island, Japan”
- 2) 恒成花織・伊東拓朗・横田昌嗣・芝林真友・陶山佳久・松尾歩・阿部篤志・内貴章世・瀬戸口浩彰・牧野能士・井鷲裕司：日本植物学会第85回大会（2021）
「日本に2度やってきた国内絶滅危惧種タイワンホトトギス個体群」
- 3) 山本武能・遠山弘法・設楽拓人・指村奈穂子・田金秀一郎・阿部篤志・米倉浩司・天野正晴・古本良・横田昌嗣・内貴章世：日本植物分類学会第20回大会（2021）
「西表島の植物相解明に向けて一全島調査により見えてきた多様性の分布の傾向」
- 4) 米倉浩司・内貴章世：日本植物分類学会第20回大会（2021）
「キク科の侵略的外来種*Praxelis clematidea* (Hieron. Ex Kuntze) R.M.King & H.Rob. 八重山諸島に侵入」
- 5) 米岡克啓・藤原泰央・山本武能・内貴章世・海老原淳・村上哲明：日本植物分類学会第22回大会（2023）
「日本の亜熱帯地域に生育するシダの独立配偶体—南太平洋地域に分布するシダ植物は 八重山諸島へ到達しうる—」

(3) 「国民との科学・技術対話」の実施

【サブテーマ1】

- 1) Facebookにおいて「西表フロラ (Flora of Iriomote Island)」のページを立ち上げ、研究内容（主に調査中に見かけた注目すべき植物）に関する発信を行っている。
ページURL: <https://www.facebook.com/Flora.Iriomote>（大学に届け出済み）

(4) マスコミ等への公表・報道等

【サブテーマ1】

特に記載すべき事項はない。

(5) 本研究費の研究成果による受賞

【サブテーマ1】

第16回日本植物分類学会大会発表賞

受賞者：山本武能

発表内容：山本武能・遠山弘法・設楽拓人・指村奈穂子・田金秀一郎・阿部篤志・米倉浩司・天野正晴・古本良・横田昌嗣・内貴章世：日本植物分類学会第20回大会（2021）
「西表島の植物相解明に向けて一全島調査により見えてきた多様性の分布の傾向」

(6) その他の成果発表

【サブテーマ1】

○ポスター発表（学会等）

- 1) 本宮万愛、高橋大樹、田金秀一郎、内貴章世、渡邊謙太、伊藤拓朗、陶山佳久：第54回種生物学会シンポジウム（2022）

「地史および人為によって形成された琉球列島におけるリュウキュウチク節分類群の遺伝的集団構造」

- 2) 本宮万愛、高橋大樹、田金秀一郎、渡邊謙太、内貴章世、陶山佳久：第70回日本生態学会大会（2023）。「琉球列島における照葉樹林構成種の遺伝的多様性の分布」

- 3) 設楽拓人、山本武能、阿部篤志、内貴章世：日本植物分類学会第22回大会（2023）

「生態ニッチモデルを用いた沖縄県西表島における絶滅危惧植物の潜在分布域の推定」

○博物館における展示

- 4) 2023年3月4日～19日の期間、沖縄県立博物館・美術館で開催された『奄美大島、徳之島、沖縄島北部及び西表島—世界自然遺産展』において、本研究の成果の一部がパネルで紹介された。

IV. 英文Abstract

Development of Fundamental Management Information for Iriomote Island by a Quantitative Floristic Study toward its Nomination to World Heritage

Principal Investigator: Akiyo NAIKI

Institution: Tropical Biosphere Research Center, University of the Ryukyus, 870

Uehara, Taketomi, Okinawa, JAPAN

Tel: +81-980-85-6560 / Fax: +81-980-85-6830

E-mail: naiki@lab.u-ryukyu.ac.jp

Cooperated by: Okinawa Churashima Foundation, National Institute for Environmental Studies, Japan, Forestry and Forest Products Research Institute, Japan, Kagoshima University

[Abstract]

Key Words: Iriomote Island, National park, Flora, Endangered plants, Invasive plants

We conducted a quantitative and comprehensive survey of the flora of Iriomote Island (Okinawa, Japan), which still contains little information about the flora despite its rich forest ecosystems and designation as a World Natural Heritage site in 2021, using the belt transect method and field trips. Based on this data, a list of vascular plant species, a distribution map of each vascular plant species, a species diversity map, a vegetation map, and an endangered plant map were made for Iriomote Island. In addition, we predicted the potential distribution areas of endangered plants and invasive alien plants through ecological niche modeling analysis for the species that could be analyzed.

On Iriomote Island, we identified 1,375 species of vascular plants (1,109 native and 266 alien species), including a new record for a species from Japan and new records for three species from Iriomote Island. One transect study area (5m x 100m, 208 sites) was established approximately per square kilometer, and 40 to 166 species of vascular plants appeared within the transect study area. The number of species was higher in the northeastern and south-central parts of the island, and lower in the peripheral regions and the lower reaches of large rivers. 183 species of endangered vascular plants in the Red List of Threatened Plants 2020 by the Ministry of the Environment, Japan, were confirmed to be distributed on Iriomote Island. They occurred mainly in limestone areas on the island's periphery, and in valley sides, especially on rock walls and earthen cliffs near waterfalls, in the island's inland areas. One or more endangered plant species occurred in 84% (175/208) of the transect survey areas, and the number of endangered plant species in the transects ranged from 0 to 11, with an occurrence rate of 0 to 7.4%. However, species diversity weakly correlated with the number of endangered species, and there were locations with high occurrence rates of endangered species, even in some lowland forests on the island's periphery, where the number of total species was low. The potential distribution areas of 37 endangered plant species for which sufficient distribution data were available and *Sphagneticola trilobata*, an invasive alien species, were predicted using ecological niche modeling analysis. As a result, relatively good predictions were made for 11 endangered plant species and *S. trilobata*. Future distribution predictions were also made for five endangered plant species for which climate variable has contributed significantly to their distribution.