

Environment Research and Technology Development Fund

## 環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

「奄美・琉球における森林地帯の絶滅危惧種・生物多様性保全に関する研究」  
(4-1503)

平成27年度～平成29年度

Development of Techniques for Conservation of Endangered Species and Biodiversity  
in Forested Areas of Amami and Ryukyu Islands

〈研究代表機関〉

国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所

〈研究分担機関〉

琉球大学

東京農工大学

長崎大学

〈研究協力機関〉

Yambaru Green

奄美野鳥の会

沖縄県環境科学センター

平成30年5月

## 目次

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| I. 成果の概要                                                                | 1  |
| 1. はじめに（研究背景等）                                                          | 1  |
| 2. 研究開発目的                                                               | 1  |
| 3. 研究開発の方法                                                              | 2  |
| 4. 結果及び考察                                                               | 3  |
| 5. 本研究により得られた主な成果                                                       | 7  |
| 6. 研究成果の主な発表状況                                                          | 9  |
| 7. 研究者略歴                                                                | 10 |
| II. 成果の詳細                                                               |    |
| II-1 施業履歴や林齢が絶滅危惧植物を含む相互作用系に与える影響の解明・・・11<br>(国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所) |    |
| 要旨                                                                      |    |
| 1. はじめに                                                                 | 11 |
| 2. 研究開発目的                                                               | 12 |
| 3. 研究開発方法                                                               | 12 |
| 4. 結果及び考察                                                               | 12 |
| 5. 本研究により得られた成果                                                         | 19 |
| 6. 国際共同研究等の状況                                                           | 20 |
| 7. 研究成果の発表状況                                                            | 20 |
| 8. 引用文献                                                                 | 21 |
| II-2 絶滅危惧哺乳類の絶滅を回避するためのモニタリング手法の開発・・・22<br>(国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所)   |    |
| 要旨                                                                      |    |
| 1. はじめに                                                                 | 22 |
| 2. 研究開発目的                                                               | 22 |
| 3. 研究開発方法                                                               | 22 |
| 4. 結果及び考察                                                               | 24 |
| 5. 本研究により得られた成果                                                         | 31 |
| 6. 国際共同研究等の状況                                                           | 31 |
| 7. 研究成果の発表状況                                                            | 31 |
| 8. 引用文献                                                                 | 32 |
| II-3 奄美・琉球の常緑広葉樹二次林における樹木の生産力と生態学的機能評価・・・33<br>(琉球大学)                   |    |
| 要旨                                                                      |    |
| 1. はじめに                                                                 | 33 |

|                 |    |
|-----------------|----|
| 2. 研究開発目的       | 33 |
| 3. 研究開発方法       | 33 |
| 4. 結果及び考察       | 34 |
| 5. 本研究により得られた成果 | 42 |
| 6. 国際共同研究等の状況   | 42 |
| 7. 研究成果の発表状況    | 42 |
| 8. 引用文献         | 43 |

## II-4 溪流の環境DNAを用いた森林伐採の影響解明とモニタリング手法の開発・・・44 (東京農工大学)

### 要旨

|                 |    |
|-----------------|----|
| 1. はじめに         | 44 |
| 2. 研究開発目的       | 45 |
| 3. 研究開発方法       | 45 |
| 4. 結果及び考察       | 46 |
| 5. 本研究により得られた成果 | 56 |
| 6. 国際共同研究等の状況   | 57 |
| 7. 研究成果の発表状況    | 57 |
| 8. 引用文献         | 58 |

## II-5 林業と生物多様性の共存のための順応的管理に関する研究・・・59 (長崎大学)

### 要旨

|                 |    |
|-----------------|----|
| 1. はじめに         | 59 |
| 2. 研究開発目的       | 60 |
| 3. 研究開発方法       | 60 |
| 4. 結果及び考察       | 62 |
| 5. 本研究により得られた成果 | 74 |
| 6. 国際共同研究等の状況   | 74 |
| 7. 研究成果の発表状況    | 74 |
| 8. 引用文献         | 75 |

## III. 英文Abstract・・・・・・・・・・77

## I. 成果の概要

課題名 4-1503 奄美・琉球における森林地帯の絶滅危惧種・生物多様性保全に関する研究  
 課題代表者名 正木 隆（国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所 企画部研究企画科長）  
 研究実施期間 平成27～29年度  
 累計予算額 108,811千円（うち平成29年度：35,645千円）  
 予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード 生態系管理、亜熱帯照葉樹林、世界自然遺産候補地、モニタリング手法開発、地域の合意形成

### 研究体制

- （1）施業履歴や林齢が絶滅危惧植物を含む相互作用系に与える影響の解明（国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所）
- （2）絶滅危惧哺乳類の絶滅を回避するためのモニタリング手法の開発（国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所）
- （3）奄美・琉球の常緑広葉樹二次林における樹木の生産力と生態学的機能評価（琉球大学）
- （4）溪流の環境DNAを用いた森林伐採の影響解明とモニタリング手法の開発（東京農工大学）
- （5）林業と生物多様性の共存のための順応的管理に関する研究（長崎大学）

### 研究協力機関

奄美野鳥の会、沖縄県環境科学センター

## 1. はじめに（研究背景等）

奄美・琉球は生物多様性のホットスポットであり、世界自然遺産候補地として日本政府が登録を目指してきた。しかし、多くの固有種が絶滅を危惧されていて、その保全を担保することは世界自然遺産登録の条件として、そして生物多様性国家戦略上も重要である。ヤンバルクイナなど一部の絶滅危惧種はマングース防除対策の進展により回復傾向にあるものの、森林施業・外来種植林・林道建設など人間活動で生じた二次的自然への評価は定まっていない。林業をはじめとする経済活動を行いながら世界自然遺産としての価値を維持するためには、絶滅危惧種の絶滅リスクが回避されうる森林管理計画を策定することが必須である。そのためには、奄美・琉球における（1）二次的自然が絶滅危惧種の存続性や生物多様性保全に与える影響を観測する技術の開発と、それに基づいた（2）コアエリアとその周辺のバッファゾーン全体のモニタリングによる順応的管理を行う統合的な管理手法の開発を行う必要がある。特に人間活動の影響を受けやすいと予想される高齢林・老齢林や溪流環境に依存する絶滅危惧種を対象としたモニタリング手法を開発し、現状を把握するとともに、生物多様性調査による二次的自然の評価を行う必要がある。これら生態学的データに加えて森林管理の方針・実施地域・管理手法などの意思決定に関する社会経済学的解析結果を加味することで、地域の絶滅危惧種及び生物多様性の統合的保全のための順応的管理が可能となる。

## 2. 研究開発目的

奄美・琉球において、林業による木材生産を行いながら世界自然遺産としての価値を維持するためには、絶滅危惧種の絶滅リスクが回避されうる森林管理計画を策定することが必須である。本研究では高齢林・老齢林や溪流環境に依存する種を対象とし、（1）分布のモニタリング手法の開発、（2）林業活動が及ぼす影響の解明、及び（3）地域の合意形成のための社会経済学的評価を行う。生態学的データと林業活動のデータを地域社会経済と関連付けて解析し、総合的に評価する手法を開発する。これを森林管理計画の策定に反映させながら、生物多様性保全と地域経済の両面から見た持続可能な最適解を探索する。以上に基づ



き、行政が保全のガイドラインを策定し、林業従事者を含む地域住民との合意形成が可能な森林管理計画を提案することを目標とする。



図1 課題全体イメージ

### 3. 研究開発の方法

#### (1) 施業履歴や林齢が絶滅危惧植物を含む相互作用系に与える影響の解明

森林施業による植物種多様性への影響を明らかにするため、非皆伐、二次林、伐採跡において植物社会学的手法による植生調査を、69個の10m四方の方形区内で行った。階層構造を目測で判定し、各階層に出現する種をリストアップして植被率を評価した。送粉系についてルートセンサスで開花植物を探索し、1回15分間で訪花昆虫を観察した。得られたデータは非皆伐、二次林、伐採跡、市街地で区分し、それぞれでネットワーク構造を解析した。また、絶滅危惧植物種の内、やんばる地域の象徴種でもあるオキナワセッコクの分布情報を収集し、個体サイズや着生木のサイズ等の現地踏査を行った。さらに、航空機レーザー測量(LiDAR)データから地盤高(DEM)、地表面高(DSM)、林冠高(DCHM)を整備し、空中写真や施業履歴情報と合わせることで森林の広域構造を把握し、大径木を抽出する技術を開発した。

#### (2) 絶滅危惧哺乳類の絶滅を回避するためのモニタリング手法の開発

絶滅危惧哺乳類(オキナワトゲネズミ等)の絶滅を回避するための研究開発として、1)非侵襲的なモニタリング手法として、巣箱カメラ法の開発、2)文献、標本情報、過去のデータの基づく分布と動態に関する研究、3)施業履歴・LiDARデータを用いた生息地評価、4)外来捕食者(ネコ・イヌ)に関する糞分析や自動撮影カメラによる調査研究を実施した。

#### (3) 奄美・琉球の常緑広葉樹二次林における樹木の生産力と生態学的機能評価

やんばる地域の非皆伐成熟林に5箇所の試験地を設置し、自然度の高い林分における大径木の種構成、サイズ構造や、樹洞の発生状況を取りまとめた。樹洞の調査は、生立木に加え枯死木も対象とした。ここでは、幹、枝、根などに発生した穴について、開口部からの奥行きが上下左右もしくは正面方向のいずれかでも10cm以上あるものを樹洞と定義した。また、ケナガネズミとヤンバルテナゴガネが利用している樹洞の探索を、試験地内に限らず、やんばる地域および奄美大島の森林で広域的に実施した。

そして、非皆伐成熟林と65～70年生二次林に設置されている既存の固定試験地の反復調査により、それ

ぞれの林分で動態や樹木の直径成長量を明らかにした。さらに、森林の更新や野生生物の餌資源に関わるスダジイの堅果生産量を、双眼鏡を用いて簡易にモニタリングする手法を開発した。やんばる地域と奄美大島において、複数名が双眼鏡を用いて対象木の樹冠を30秒間観察する行動を原則4回繰り返し、堅果数をカウントする手法が有効であるか検証した。

#### (4) 溪流の環境DNAを用いた森林伐採の影響解明とモニタリング手法の開発

##### 1) 従来手法による生息地把握と森林伐採の影響解明

奄美大島における希少カエル、オットンガエル、アマミシカワガエル、アマミハナサキガエルを対象とし、従来手法(現地踏査とICレコーダによる自動録音)を用いて生息地情報を得る。得られた生息地情報は、GIS等を駆使して算出した環境要因の変数を用いて解析し、3種にとって必要な環境条件を明らかにする。この際、調査地点周辺の林齢を考慮することで、森林伐採の影響を検証する。

##### 2) 環境DNA手法による生息地把握手法の開発

踏査と同時に採水を行い、採水サンプル内に含まれる環境DNA(eDNA)の解析を行うことで、今後のモニタリングのための簡便な手法を開発する。まず渓流水から環境DNAを抽出可能な採水方法を決定する。抽出した遺伝子の確認のために、オットンガエル、アマミシカワガエルのプライマー・プローブを作成する。作成したプライマー・プローブを用いて、現地で採水したサンプルを解析し、従来手法の結果と比較する。

##### 3) 環境DNA手法の有効性検証

溪流環境におけるeDNAの検出可能距離や、生物量の反映の有無を確かめるため、実験的に野外に幼生を導入し、eDNAの検出と定量を行う。また、野外調査によって、対象としたカエル幼生の目視確認数との比較や、季節変化とeDNA濃度の対応を明らかにし、正確な検出や生物量の推定のために必要なことを明らかにする。

#### (5) 林業と生物多様性の共存のための順応的管理に関する研究

1) 林業及び森林管理の経緯、現状及び方向性：市町村及び県の森林担当部署及び林業に携わる組織において、公有林と私有林の伐採状況、行政の管理方針、雇用などについて、聞き取り調査を行った。また、公的な林業関係資料からも情報を収集した。

2) 森林ツーリズムの現状と世界自然遺産登録の影響：ツーリズム業者、観光客等に対するアンケート及び聞き取り調査を行い、業者、活動場所、内容などについて明らかにした。また、奄美大島中部と国頭村に自動カメラを置き、訪問者数の月別変化、利用内容などを追跡した。さらに、遺産登録の影響について考察した。

3) 森林の多面的価値等に関する地域住民の評価：森林の機能に対する重要性の認識、世界遺産登録に関わる不安や期待について相互に比較評価するため、森林組合、野鳥の会、ツーリズム協会の関係者及び沖縄島の一般市民を対象にアンケート調査を行った。

4) 森林管理方針が地域及び希少種保全へ与える影響の評価：林業及びツーリズムと希少種保全との間でどのようにバランスをとればよいかについての方策を探った。まず、伐採は現行の地域に限られると仮定し、とくに重要と考えられる国立公園のゾーニングと伐期のコントロールをもとに複数の選択肢を作成し、長期的に安定する林齢構成を示した。そして、伐採面積、森林伐採の希少種への影響、ツーリズム対象種の生息状況等をもとに選択肢を比較評価し、考察した。

5) 林業、ツーリズム、希少生物保護の共存と持続性について：林業及びツーリズムを取り巻く環境や森林管理上の留意点、屋久島の事例などをもとに、今後の持続性について考察した。

## 4. 結果及び考察

### (1) 施業履歴や林齢が絶滅危惧植物を含む相互作用系に与える影響の解明

維管束植物の種多様性は非皆伐、二次林、伐採地の間で大きく変わらなかった。しかし、非皆伐では高木、亜高木の種数が多く、階層構造の発達が認められた。また、林齢と種数との関係では、高木層、亜高木層、低木層、絶滅危惧種の種数が林齢と有意な正の相関、外来植物の種数とは有意な負の相関が認められた。このことは階層構造の発達に伴って木本種の多様性が高くなっており、絶滅危惧種も長期間攪乱がない場所で生育していることを示している。一方で、外来植物は草本が多いため、林冠の閉鎖に伴い光量不足

により減少していると考えられた。主要樹種であるイスノキ、イタジイ、イジュのうち、植被率と総種数、絶滅危機種数、着生種数と有意な正の相関がみられたのはイスノキであった。

やんばるの送粉系は在来のはなバチ、チョウ類、ハエ類に加え、外来送粉者のセイウミツバチが主な送粉者であった。ネットワーク解析の結果、非皆伐は二次林より種当たりリンク数が少なく、攪乱に伴う連鎖絶滅に対して脆弱であることが示唆された。また、外来送粉者のセイウミツバチは非皆伐では優占度が低かったが、二次林では主要な送粉者となっており、伐採跡や市街地では最も優先する送粉者となっていた。外来植物も伐採跡や市街地では優占しており、送粉系の変質が明らかになった。

オキナワセッコクは120個体(株)以上を着生木と併せて確認した。樹冠内の太枝や分枝の垂直面に着生する傾向があり、幅広い個体サイズが見られたことから安定した更新が示唆された。また、着生箇所の枝・幹の直径が大きいほど個体サイズが有意に大きく、かつ、着生木は林内で大径の立木に偏っていた。これらから、枝や幹が長い時間安定していることが、本種の着生や成長に重要であると言える。選択性指数を用いた解析の結果、着生木の樹種はイスノキに高い選択性が認められた。成長が遅く堅固な材を持つイスノキは、着生のための安定した基質を提供していると考えられた。着生木の分布は戦後の未皆伐林に集中していたことから、オキナワセッコクは、記録が整備されていない未皆伐成熟林の指標となり得る。

国頭村域の広域的な森林構造を、空中写真、LiDAR(航空機レーザー測量)データ、森林施業の記録で解析した。空中写真とLiDARデータを対比すると、尾根では、林齢に関わらず樹冠や樹高が小さく、谷では、近年の伐採地を除き、樹冠や樹高が大きかった。これらは風の影響と考えられた。空中写真を見ると、終戦時点の優良林分は脊梁山脈沿いの分布していた。この優良林分は、1950年代から旧2号線沿い、1960～70年代にかけて与那覇岳の東側、1980年代には辺野喜川上流の部分で更新が進み、西銘岳の南、普久川上流、県道2号線以南の国有林・県営林に残存していると考えられた。

これまでに得られた位置情報では、ヤンバルテナゴコガネの営巣木は、終戦時点の優良林分の中でも特に樹冠が大きい林分の残存部分に位置する場合が多いと推察された。そこで、1946年米軍撮影空中写真M57を立体視し、樹冠径10m以上を目安に、当時、特に優良だった林分の残存箇所を林班単位で抽出した。また、新たな営巣木を探索する試みとして、M57上で特に樹冠の大きな単木を立体視で選定し、CS立体図(曲率:Curvatureと傾斜:Slopeに注目して着色した微地形図)とGIS、GNSS(GPS)を用いて現地踏査を行った。その結果、間違いなくM57上の大径木と考えられる立木や、その可能性が高い立木に到達できた。この森林調査法は、資質の高い高齢大径木林を、より安全かつ面的に調査する方法として有用であると考えられた。

## (2) 絶滅危機哺乳類の絶滅を回避するためのモニタリング手法の開発

### 1) 巣箱カメラ法の開発

自動撮影カメラを内部に入れることができる木製の巣箱(以下、巣箱カメラ)を開発し、沖縄島北部及び奄美大島において野外試験を行った。巣箱カメラによりオキナワトゲネズミ及びアマミトゲネズミを継続的に撮影することに成功し、撮影画像の解析から、幼獣の撮影時期、すなわち繁殖時期に関する情報や、巣箱内からの糞の採集により遺伝構造や食性分析に使用可能なサンプルを非侵襲的に得ることができる手法を開発することに成功した。

### 2) 分布と動態

特に絶滅が危惧されているオキナワトゲネズミの分布変遷について、文献、標本情報などを用いて分析を行った結果、本種の分布域は種の発見当時(1930年代)から現在までに、分布面積が約98.4%減少していることが明らかとなった。オキナワトゲネズミの現在の分布域は、マングース防除事業によるマングース捕獲に記録がなくまとまった老齢林が残されている西銘岳周辺に限定されていることが明らかとなった。また、自動撮影データ及び、環境省や沖縄県によるマングース防除事業における混獲情報を解析した結果、スダジイの堅果の豊作にあわせて撮影頻度、捕獲頻度が増加する傾向がみられることを明らかにした。

### 3) 施業履歴・LiDARデータを用いた生息地評価

オキナワトゲネズミの分布域周辺の林相について解析を行い、今後オキナワトゲネズミの個体群を回復する上で重要な林分を特定し、回復経路についての提案を行った。ケナガネズミの生息の有無の指標として、本種のものと推定される食痕の有無に基づき、森林簿、LiDARデータを用いた解析を行った結果、ケナガネズミは林齢が高く、樹冠高の高い場所を生息場所として優位に選択していることが示唆された。



#### 4) 外来捕食者(ネコ・イヌ)に関する調査研究

奄美大島南西部に位置する油井岳周辺の林道で収集したネコの糞内容物と、同地域で継続的に実施している自動撮影カメラによる撮影動物の比較を行った。ネコの餌生物に対する選択制について解析した結果、ネコは鳥類よりも哺乳類、外来種よりも在来種(特に固有哺乳類)を選択的に捕食していることが示唆された。

#### (3) 奄美・琉球の常緑広葉樹二次林における樹木の生産力と生態学的機能評価

やんばる地域の非皆伐成熟林に設置した5箇所の試験地で記録された胸高直径(DBH)30cm以上の生立木の幹本数密度は、215.4本/haであった。樹種別にみると、スダジイが131.5本/ha、イジュが37.1本/ha、イスノキが23.8本/haとなっており、この3種で89.3%を占めた。なお、生立木の幹本数密度は、同40cm以上では75.5本/ha、同50cm以上では26.6本/haとなっていた。DBH30cm以上の生立木の胸高断面積優占度では、5試験地を通してスダジイが51~70%を占め、共通の第1優占種となった。一方で、第2優占種はイジュやイスノキなど、試験地間で違いがみられた。

樹洞は、全樹種合計でみると、DBH40cmを超える幹で発生率が高くなることが判明した。樹種別では、スダジイはDBH30-40cmで樹洞発生率19.8%、DBH40-50cmで同32.1%、DBH>50cmで同40.6%と、DBHが大きくなるにつれ樹洞発生率が高くなる傾向が確認された。イジュは、DBH30-40cmで樹洞発生率5.1%、DBH40-50cmで同12.5%、DBH>50cmで同0.0%と、DBHが大きくなっても樹洞発生率は低いままであった。一方で、イスノキはDBH30-40cmで樹洞発生率59.1%、DBH40-50cmで同60.0%、DBH>50cmで同75.0%と、DBHが比較的小さくとも高い樹洞発生率を示すことが明らかになった。

希少野生生物の樹洞利用については、まずケナガネズミについて、合計16本の樹洞利用木が確認された(やんばる地域10本、奄美大島6本)。樹種別では、スダジイ10本、イスノキ4本、ホルトノキとハゼノキが1本ずつとなっており、奄美大島では記録されたすべての幹がスダジイであった。樹洞利用木のDBHについて、平均値と標準偏差を2地域合計で集計すると、スダジイが $48.4 \pm 16.8$ cm、イスノキが $44.0 \pm 12.9$ cmとなっていた。ヤンバルテナゴコガネについては、合計17本の樹洞利用木が確認された。樹種別では、スダジイ10本、イスノキ6本、オキナワウラジロガシ1本となっていた。樹洞利用木のDBHは、スダジイが $49.6 \pm 12.7$ cm、イスノキが $47.7 \pm 9.9$ cmなどとなっていた。

固定試験地の反復調査の結果からは、本研究で使用した非皆伐成熟林の試験地が、2012年9月の台風攪乱の影響を大きく受けていることが明らかになった。全樹種をあわせた2016年の胸高断面積合計は、攪乱を受ける直前の2012年と比べ、19.5%減となっていた。なかでもスダジイの減少が顕著で、同様の比較で34.2%減となっていた。このことから、スダジイは台風攪乱の影響を受けやすい樹種であることが判明した。また、樹木の平均直径成長量は、非皆伐成熟林の試験地においてスダジイが0.15cm/年、イジュが0.12cm/年、イスノキが0.08cm/年となっていた。65~70年生二次林では、スダジイが0.15cm/年、イジュが0.12cm/年、イスノキが0.05cm/年となっていた。やんばる地域の森林内における主要樹種の平均直径成長量は年間0.20cm未満であり、そのなかでもイスノキは特に成長が遅いことが判明した。

双眼鏡を用いたスダジイ堅果生産量のモニタリングは、観察対象木の個体レベルの豊凶を定量的に評価することが可能であった。十分なサンプル数の観察対象木をやんばる、奄美大島の両地域に設定することで、地域レベルの豊凶を継続的に記録できる手法として活用できることが裏付けられた。

#### (4) 溪流の環境DNAを用いた森林伐採の影響解明とモニタリング手法の開発

##### 1) 従来手法による生息地把握と森林伐採の影響解明

従来手法による生息地確認では、オットンガエル409地点、アマミシカワガエル306地点、アマミハナサキガエル114地点の情報を得た。これを、集水面積、TWI、標高、斜度、日照量、集水域内の平均林齢、500mバッファ内の平均林齢、対象地の林齢、斜面方位、地質、流域内の道路長(1車線道路、2車線もしくはトンネル、未舗装別)、500mバッファ内の道路長、を用いて説明する決定木による解析を行ったところ、アマミシカワガエルについては標高138.5 m以上、TWI5.9以上、オットンガエルについては集水面積が0.135 km<sup>2</sup>未満かつ標高149m以上の場合に在となることが大多数であることが示された。林齢が影響する場合は少ないと考えられた。3種の種間関係を考慮したJoint Species Distribution Modelによる解析の結果では、オットンガエルとアマミシカワガエルは環境の好みから想定される以上に同所的に存在しており、これら2種をまとめて

保全することの効果が高いことが示された。

## 2) 環境DNA手法による生息地把握手法の開発

オットンガエル、アマミシカワガエル、アマミハナサキガエルのプライマー・プローブ3セットを作成し、それぞれ対象種特異的なDNAのみ増幅させることを確認した。3季節分の採水を行った、26地点について検証したところ、検出したサイト数は種ごとに、また季節によって異なり、オットンガエルでは8月、アマミシカワガエルとアマミハナサキガエルでは5-6月が最も多かった。これは、水中の幼生のバイオマスを反映したと考えられ、環境DNA手法においても適した季節を選ぶことの重要性が示された。また、レコーダ調査と環境DNA調査との結果には齟齬が見られ、種によって齟齬の大きさは異なった。これはレコーダは成体にとっての繁殖地を、環境DNAは幼生の生息地を主に示すためと考えられた。繁殖コールが遠くまで届き、幼生の移動距離が長い種ほど齟齬は大きくなりやすいため、種の特性に合わせて手法を使い分ける必要があることが分かった。特にアマミハナサキガエルでは、環境DNAを用いた調査が有効であると考えられた。

## 3) 環境DNA手法の有効性検証

室内実験では、対象生物のバイオマスと環境DNA脱落量とに正の関係が認められた。しかし、野外実験では認められず、導入地点でさえ非検出のことがあった。溪流では、複雑な水の流れにより環境DNAが均一に水中に拡散せず、採取した水がその場の環境DNA総量を反映しない可能性がある。アマミシカワガエルを用いた同地点異季節における複数回の環境DNA追跡においては、本種のバイオマスがピークとなる6月から9月ごろに濃度が高いことが示されたものの、個体数との関係は認められず、バイオマスとの関係も沢によって異なっていた。越冬幼生が存在するはずの沢でも、冬季は検出されないことが多かった。今後、溪流における採水方法を検討し、例えば採水量や採水地点数、1か所でのサンプル数などを増やすことで、検出率や濃度の精度を上げる必要があることが明らかになった。

## (5) 林業と生物多様性の共存のための順応的管理に関する研究

### 1) 林業及び森林管理の経緯、現状及び方向性について

森林伐採面積及び推移は奄美大島とやんばるでは大きく異なる。奄美大島では九州本土へ発電用のチップとして搬出し、伐採面積は大きい、国立公園設立に伴って減少傾向にあり、1個所当たりの伐採面積は縮小している。やんばるでは伐採面積が小さい上、年変動が大きい。需要はおがこ等、島内向けであり、小さいが、島内材への需要が伸び、伐採面積は増加傾向にある。

奄美大島では宇検村における森林伐採に要する人員は1年間で10名程度、宇検村内の搬出量が約2/3であることから島全体で15名程度となる。さらにチップ工場が雇用する4名を加えると約20名となるが、現場で雇用される人の多くは兼業であり、雇用期間は半年に満たないとのことであるから、森林伐採が生白雇用力は10名強程度と見てよいであろう。同様に、やんばるでの雇用力を推定したところ、計6名程度で、補助金が支えているために伐採面積に比して大きいと推測された。

世界自然保護遺産の候補に指定されたことの影響として、生態系保護地域、国立公園の特別保護地区と第一種特別地域等の禁伐域が拡大した。ほかに第二種特別地域における制限があるが、以前からの制限と比較すると大きな影響はないと言える。奄美大島では、会社有林の撤退、伐採面積の減少にも表れているが、国頭村では島内需要や自然保護活動に左右されてきた経緯から、伐採面積に影響を及ぼしているとは言えない。

表(5)-1 森林伐採面積と1個所あたりの伐採面積(括弧内)の推移(単位ha)

|       | H24年度         | H25           | H26           | H27           | H28        |
|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| 奄美大島計 | 99.0<br>(2.9) | 66.5<br>(2.8) | 81.0<br>(3.3) | 50.1<br>(2.7) | 26.8 (1.3) |
| 国頭村   | 13.7<br>(1.6) | 9.4<br>(3.0)  | 4.6 (1.5)     | 1.5 (1.5)     | 8.9 (3.1)  |

### 2) 森林ツーリズムの現状と世界自然遺産登録の影響

奄美大島では森林を対象としているコース数は約30あり、生物を対象としているガイドが70%であった。対象地はのべ42区域で金作原（原生林観察）、奄美市住用（アマミノクロウサギのナイトツアー）、湯湾岳の3区域に集中する傾向が見られた。金作原は参加グループあたりの人数も多く、参加者全体に占める割合はさらに大きかった。奄美大島では森林ツーリズムの雇用力は30人強と推計された。国頭村では9つの業者が計17名を雇用しているが、専業はおらず、雇用力は小さい。

カメラが捉えた画像からは、訪問者数が最も多かった奄美市金作原では8月に計1330人を記録した。地域差は大きく他地域は1/4以下であった。集中する時期は総じて8月で、奄美市住用の林道ではナイトツアーだけで計195台の通過があった。また、やんばるでは8月にドライブ通過が多いが、登山は5月と11月に多いことなどが明らかになった。他に時間帯、年齢層、利用目的などもわかり、利用インパクトを評価するためのツールになりうることを示唆された。

観光客に対するアンケート調査では3分の1程度が山を訪れ、14.3%はガイドを利用していた。世界遺産登録が達成されれば、さらに多くの人々が利用すると推察されるが、一時的に終わる可能性も高い。野生生物保護センター入館者数が上昇傾向にないこと、過去には近年よりも多い時期があったこと、リーマンショック、LCCの運行開始なども影響していると推察されることなどから、入林者が単純に増加するとは考えにくい。地代についても明らかな変動は見られなかった。

### 3) 森林の多面的価値等に関する地域住民の評価

林業関係者（林業G）、自然保護関係者（自然G）、一般市民（一般G）の間で明瞭な差が見られた。野生生物保護、林業、ツーリズムの重要性については、林業Gでは林業と生物保護を比較的同等に評価しているのに対して自然Gでは生物保護の方が重要とする回答者が多かった。ツーリズムの評価では、奄美大島に比べて沖縄島での評価が低かった。世界遺産に登録した後の林業に対する不安または期待については、いずれのグループ（一般Gは対象外）も不安という回答が多く、77～100%を占めた。生物保護に対する不安または期待については、全体に期待する方が多かったが、林業Gに比べて自然Gの方が明らかに期待は大きかった。このように林業Gと自然Gとの間で概ね明確な差異が見られた。両者間での合意形成においては、これらの差異を考慮しつつ進める必要がある。

### 4) 森林管理方針が林業、ツーリズム及び希少種保全へ与える影響の評価

ツーリズムは局所的で林業とは異所的に共存しているので、林業と希少種保全を両立させるのがより難しい課題である。まず国立公園のゾーニング及び現在伐採が行われている所有形態をもとに区域を区分し、標準伐期齢（50年）から超長伐期（200年）や禁伐に至るまで、各区域に林業活動の幅をもたせることによって、規制レベルや伐期齢に関わる複数の選択肢を設定した。そして、各選択肢を長期間続けること（シミュレーション）によって安定する林齢構成を求めた後、奄美大島で得られたデータをもとに林業、希少種保全、ツーリズム（アマミノクロウサギ）の評価指標を定め、選択肢を比較評価した。シミュレーションの結果はいずれの選択肢をとっても、今後は高齢級林が大幅に増加すると予測された。伐採面積については多くの選択肢で現行の規模よりも大きくなるが、林業の規模拡大に対する地元の期待が大きくなるのではないので、現行の規模かつ標準伐期という選択肢を選ぶのが妥当であろうと判断された。

### 5) 林業、ツーリズム、希少生物保護の共存と持続性について

ツーリズムと林業は異所的に共存しているが、今後は問題が生じる2つの可能性が考えられる。林業域の拡張とツアー集中域の拡散であり、ツアーのインパクトについては詳細な研究が必要である。世界自然遺産登録に向けての動きは禁伐域を拡大した一方で、林業やツーリズムには、より大きな範囲の経済的背景が影響を与えてきたと推察される。国内の他の世界遺産地域での入込客数のは減少傾向であるのが趨勢であり、より大きな視野で注視していかなければならない。

## 5. 本研究により得られた主な成果

### (1) 科学的意義

やんばる地方は生物地理学的に貴重な生態系が維持されてきたにも関わらず、重要な生態系機能の一つである送粉系に関してこれまで全く情報がなかった。また、情報に乏しかった絶滅危惧種オキナワセッコクの分布及び生態情報を蓄積することができた。一方、画質が悪い終戦前後の米軍撮影空中写真からでも、一度に2



枚の画像情報を統合する立体視することで、限界はあるが、一定の価値ある林分情報を引き出せることがわかった。

年間を通じて継続的な観察をすることが困難であったトゲネズミ類に関して、新たに開発した巣箱カメラ法によって、季節的な活動性のシフトを観察することができるようになった。また、これまで不明であった、オキナワトゲネズミ分布の変遷と近年の動態と、さらにマツ球果の食痕とLiDARデータからケナガネズミの環境選好性について、明らかにした。また一方、外来捕食者ノネコが在来種を選択的に捕食することを明らかにした。オキナワトゲネズミは、スダジイ堅果の豊作に伴い自動撮影カメラによる撮影頻度やマングース防除事業における混獲数が増加する傾向が明らかとなり、本種の個体群動態を評価する上で、スダジイの堅果生産のモニタリングの重要性を指摘した。また、オキナワトゲネズミの現在の主要な生息地は、はこれまでマングースが定着した履歴の無い老齢林を中心としており、老齢林で自動撮影頻度が高くなることを明らかにした。

やんばる地域で戦後の伐採から再生した65年生二次林の動態や成長量等が明らかになり、非皆伐成熟林との比較から、伐採された亜熱帯林が再生するタイムスケールなども予見できた。希少生物の生息環境として重要な樹洞は、65年生二次林では非皆伐成熟林と比べて大幅に少ないことが判明した。非皆伐成熟林においては、最優占種のスダジイに加えイスノキの大径木にも多くの樹洞が発生しており、これがヤンバルテナゴコガネやケナガネズミに利用されやすい可能性が示唆された。

希少カエルの生息域を把握するために、環境DNAを用いる手法が適用可能であることが明らかになった。また、これまで林道沿いに限られていた稀少カエルの生息情報について、ICレコーダを用いた鳴き声調査により林内のデータを得て、より詳細な生息適地の把握を行い、森林伐採の影響を含めた環境要因との関係解析を行った。

パルプチップ材を中心とする林業地域において、世界遺産登録及び森林伐採が野生生物種の保護に与える影響について、林齢をパラメーターとしてシミュレーションを行い、指標種の動態及び地域経済への影響を考察するためのプロトタイプモデルの開発は国内では初めての試みであり、より精緻なモデルを開発するための基礎を構築した。

## (2)環境政策への貢献

### ＜行政が既に活用した成果＞

LiDAR DEMから作成したCS立体図は、やんばる野生生物保護センターに提供し、業務で活用されている。また、2016年9月に国立公園指定された「やんばる国立公園」に関し、2016年12月に返還された米軍北部訓練場の国立公園追加指定に必要な地種区分について、環境省、林野庁に情報提供した。また一方、世界自然遺産指定に係るIUCNの現地調査のための資料作成、視察地の選定、現地説明のためのヒアリング、現地対応を行った。

### ＜行政が活用することが見込まれる成果＞

やんばるの象徴種でもあるオキナワセッコクについて、新たな自生株を多数発見し、環境省やんばる野生生物保護センターに情報提供した。送粉系の研究成果について、沖縄県、国頭村の養蜂事業に関連した情報提供、助言を行った。森林計画やゾーニングに直接活用できるほか、保全に係る取り組みに貢献できる。本研究のCS立体図とGIS、GNSS(GPS)を用いた森林調査法は、資質の高い高齢大径木林を、より安全かつ面的に調査する方法として有用である。

オキナワトゲネズミの分布回復を促進する上で重要な林分や経路(回廊)について提案を行った。また、オキナワトゲネズミやケナガネズミについて、分布や生態に関して環境省やんばる野生生物保護センターならびに国頭村と情報共有した。希少種の分布及び生息地の履歴を明らかにすることは、保護・保全計画ならびに事業計画を立案するうえで、重要な知見となる。

また、地域の森林を保全するに際して大径木に着目する必要性が示された。これは森林管理の意思決定に重要な情報となる。

さらに、国内希少野生動植物種に新たに指定されたオットンガエル、アマミシカワガエルについては、不足している基礎生態に関する情報を蓄積するとともに、安全で簡便なモニタリング手法の開発を行なった。これらの

成果は、希少種保全のための基礎資料として利用が見込まれる。

さらにまた、これまで同一の質問内容で林業と自然保護の関係者に同時にアンケート調査を行ったことはなかった。合意形成を進めるに当たっては、両者の間で見られた明確な相違があったことに留意する必要があることが示唆された。また、森林管理の選択肢を設け、多面的に評価した結果、さらに精緻な解析を進めることによって林業、希少種保全、ツーリズムの共存に向けた具体的な道筋についての可能性が示された。

## 6. 研究成果の主な発表状況

### (1) 主な誌上発表

#### <査読付き論文>

- 1) 杉村 乾：環境情報科学学術研究論文集、30, 145-150 (2016) 奄美大島における林業、ツーリズム及び希少種保全の共存のための森林管理方針について
- 2) 安田雅俊、関伸一、亘悠哉、齋藤和彦、山田文雄、小高信彦：哺乳類科学、57, 227-234 (2017) 絶滅危惧種オキナワトゲネズミ *Tokudaia muenninki* の分布の変遷
- 3) 玉那覇彰子、亘悠哉、他10名：哺乳類科学、57(2), 203-209 (2017) 沖縄島における絶滅危惧種ケナガネズミのロードキル発生リスクマップの作製および対策への提言
- 4) 高嶋敦史、稲福真一：九州森林研究、70, 17-20 (2017) 沖縄島やんばる地域における65～70年生二次林の動態
- 5) Iwai N: Wildlife Res., 44, 147-152 (2017) Estimating tadpole-detection rates using visual field surveys: effects of survey time, tadpole species, and tadpole density
- 6) Iwai N: Anim. Biol., 68, 105-111 (2018) Relationship between chorusing activity and number of oviposition events in the Otton frog
- 7) Abe S, Kotaka N, Takashima A, Abe T, Saito K, Masaki T: Ecological Research, (2018) Host selection and distribution of *Dendrobium okinawense*, an endangered epiphytic orchid in Yambaru, Japan (online first)
- 8) Iwai N, Yasumiba K, and Akasaka M: Herpetologica (accepted), Calling Site Preferences of Three Co-occurring Endangered Frog Species on Amami-Oshima Island

#### <査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

### (2) 主な口頭発表(学会等)

- 1) Sugimura K: EcoSummit 5th Meeting, Montpellier, France, (2016) “Forest management options to sustain forestry, tourism and rare species conservation in the Amami Oshima Island, Japan”
- 2) Kotaka N et al.: International Wildlife Management Congress, Sapporo, Japan, (2015) “Current status of the critically endangered Okinawa Spiny Rat in Okinawa Island, Japan.”
- 3) Watari Y et al.: Conference program and abstracts of the 2nd International Conference on Island Evolution, Ecology and Conservation: Island Biology 2016 “Selective predation on island endemic vertebrates by feral cats revealed by cat diet and prey availability.”
- 4) 高嶋敦史、稲福真一：第72回九州森林学会大会(春日市)、(2016). 沖縄島やんばる地域における戦後の伐採から再生した二次林の動態
- 5) Sugimura K et al.: IUFRO Landscape Ecology Conference 2017, Halle, Germany, (2017) “The effects of forest management options on the mature forests, endangered wildlife species populations and employment opportunities on the Amami Oshima Island, Japan.”
- 6) 安部哲人、工藤孝美、齋藤和彦：第73回九州森林学会大会(諫早市)、(2017) 森林施業がやんばるの森林植物群集に与える影響
- 7) 中谷裕美子、小高信彦、他9名：沖縄生物学会第54回大会、(沖縄県西原町) (2017) やんばる地域におけるノイヌの生息状況および希少種の捕食事例。



- 8) 休場聖美、岩井紀子：日本爬虫両棲類学会第56回大会(熊本市)、(2017) アマミイシカワガエルにおける鳴き声解析と経時変化.
- 9) 岩井紀子、休場聖美、井川武、高原輝彦：日本爬虫両棲類学会第56回大会(熊本市)、(2017) アマミイシカワガエルの幼生密度および発育段階と環境DNA濃度の季節変化
- 10) 阿部真、小高信彦、高嶋敦史、安部哲人、齋藤和彦、正木隆：第128回日本森林学会大会(鹿児島市)、(2017) やんばる固有種オキナワセッコクの着生木選択
- 11) 高嶋敦史：第128回日本森林学会大会(鹿児島市)、(2017) 沖縄島やんばる地域における非皆伐成熟林の動態と台風攪乱の影響
- 12) 安田雅俊、小高信彦：日本哺乳類学会2017年度大会(富山市)、(2018) オキナワトゲネズミにおける日周活動の季節的な遷移
- 13) 阿部真、齋藤和彦、中西晃、小高信彦、高嶋敦史：第129回日本森林学会大会(高知市)、(2018) 絶滅危惧種オキナワセッコクの生育環境：施業履歴と森林構造
- 14) 岩井紀子、休場聖美：日本生態学会第65回大会(札幌市)、(2018) アマミイシカワガエルにおける変態サイズと成体サイズの地域間比較

## 7. 研究者略歴

### 研究代表者

正木 隆

東京大学大学院農学生命科学研究科博士課程修了、農学博士、森林総合研究所森林植生研究領域領域長(研究計画時)、現在、森林研究・整備機構森林総合研究所企画部研究企画科長

### 研究分担者

#### 1) 安部 哲人

広島大学大学院生物圏科学研究科博士課程前期修了、現在、森林研究・整備機構森林総合研究所九州支所森林生態系研究グループ長

#### 2) 安田 雅俊

東京大学大学院農学生命科学研究科博士課程修了、現在、森林研究・整備機構森林総合研究所九州支所森林動物研究グループ長

#### 3) 高嶋 敦史

九州大学大学院生物資源環境科学府博士課程修了、農学博士、現在、琉球大学農学部助教

#### 4) 岩井 紀子

東京大学大学院農学生命科学研究科博士課程修了、農学博士 現在、東京農工大学特任准教授

#### 5) 杉村 乾

ハワイ大学地理学科卒業、森林総合研究所企画部上席研究員、現在、長崎大学環境科学部教授

## II. 成果の詳細

### II-1 施業履歴や林齢が絶滅危惧植物を含む相互作用系に与える影響の解明

国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所

企画部 研究企画科長 正木 隆 (研究計画時、森林植生研究領域長)  
九州支所 森林生態系研究グループ長 安部 哲人  
関西支所 森林資源管理研究グループ長 齋藤 和彦

<研究協力者>

森林総合研究所 森林植生研究領域チーム長 阿部 真  
琉球大学農学部(当時) 中西 晃(平成29年度)

平成27～29年度累計予算額：29,435千円(うち平成29年度：8,911千円)

予算額は、間接経費を含む。

#### [要旨]

維管束植物の種多様性は、非皆伐では高木、亜高木の種数が多く、階層構造の発達が認められた。また、1ha当り絶滅危惧種数は二次林より非皆伐が多くなった。林齢と種数との関係では、高木層、亜高木層、低木層、絶滅危惧種の種数が林齢と有意な正の相関、外来植物の種数とは有意な負の相関が認められた。このことは階層構造の発達に伴って木本種の多様性が高くなっており、絶滅危惧種も長期間攪乱がない場所で生育していることを示している。一方で、外来植物は草本が多いため、林冠の閉鎖に伴い光量不足により減少していると考えられた。やんばるの森の主要樹種のうち、植被率と総種数、絶滅危惧種数、着生種数と有意な正の相関がみられたのはイスノキであった。やんばるの送粉系は在来ハナバチ、チョウ類、ハエ類に加え、外来送粉者のセイヨウミツバチが主な送粉者であった。ネットワーク解析の結果、非皆伐は二次林より攪乱に弱く、連鎖絶滅に対して脆弱であることが示唆された。また、外来送粉者のセイヨウミツバチは攪乱を受けた植生で主要な送粉者となっており、送粉系全体に変質した状態であることが明らかになった。セイヨウミツバチは特殊な訪花習性をもつことから、花の進化系への影響力が強い送粉者と考えられる。絶滅危惧種オキナワセッコクは120個体(株)以上を着生木と併せて確認した。着生木は林内で大径の立木に偏っており、長い時間安定した森林であることが本種の生育地として重要であると言える。また、着生木の樹種についてイスノキに高い選択性が認められた。成長が遅く堅固な材を持つイスノキは、着生のための安定した基質を提供していると考えられた。国頭村の森林を広域的にみると、尾根で樹冠や樹高が小さく、谷で樹冠や樹高が大きかった。これは風の影響と考えられた。終戦時点の優良林分は脊梁山脈沿いの分布していた。この優良林分は、1950年代から旧2号線沿い、与那覇岳の東側、比地川上流～伊湯岳、辺野喜川上流で更新が進み、西銘岳の南、普久川上流、県道2号線以南の国有林・県営林に残存していると考えられた。これまでに得られた位置情報では、ヤンバルテナガコガネの営巣木は、終戦時点の優良林分の中でも特に樹冠が大きい林分の残存林分にある場合が多いと推察された。そこで、終戦時点で特に優良だった林分の残存箇所を林班単位で抽出した。また、終戦時点で特に樹冠の大きな単木を立体視で選定し、CS立体図とGIS、GNSS(GPS)を用いて現地踏査を行った結果、その可能性が高い立木に到達できた。

#### [キーワード]

絶滅危惧種、送粉システム、施業履歴、林齢

## 1. はじめに

やんばる国立公園の特別保護地区を抱え、沖縄やんばるの生物多様性上、最重要な地域になっている沖縄県国頭村は、琉球王府の時代から林業の歴史を持つ地域であり、現在も沖縄の主要な林業地である。林業による木材生産を行いながら、世界自然遺産としての価値を維持するためには生態系の健全性や絶滅危惧種の生育が担保される必要がある。また、やんばる地域全体の森林管理を生態系に配慮したものにするためには、広域での森林分布や絶滅危惧種の分布の解析が必須である。

## 2. 研究開発目的

本研究では、森林施業が種多様性や生態系機能に与える影響を解明すると共に、施業履歴や林齢によって植物種多様性や生態系機能にどのような影響があるかを明らかにする。そのため、生態系機能の指標として、植物の繁殖や農業生産にとって重要な送粉系を取り上げる。また、樹木に着生して生育する絶滅危惧種オキナワセッコクの分布・生育条件等を明らかにし、施業による影響を解析する。そのために、森林簿や造林事業の記録等、林齢や施業履歴をGISデータ化し、さらに、空中写真やLiDAR（航空機レーザー測量）データ等のリモートセンシングデータと併せて、生物多様性保全に関わる森林の広域構造を分析する。

## 3. 研究開発方法

森林施業の影響を明らかにするために、やんばる地域の森林の施業履歴を林班図や空中写真の判読により林分単位で明らかにした。このデータをベースに林齢や各林分を非皆伐、二次林、伐採跡に区分し、植物種多様性や送粉機能との関連を解析した。植物種多様性を明らかにするために、非皆伐、二次林、伐採跡の各区分において各20箇所以上で植生調査をおこなった。調査区は10m四方とした。調査は植物社会学的手法でおこなった、目測で階層構造を判定し、各階層に出現する種をリストアップし、それぞれの種について10%単位で植被率を目視判定した。植被率10%未満の種については1%単位で植被率を判定した。非皆伐、二次林、伐採跡の種多様性を比較するため、種数面積関係を解析した。種数面積関係の解析にはEstimateS Ver. 9.1.0を用いた。

送粉系は大国林道等の林道網に沿ってランダムにルートセンサスを行い、開花を発見するたびに1回15分間の訪花昆虫の観察を行った。訪花昆虫は目視同定不可の場合は捕虫網で捕獲し、研究室に持ち帰って種を同定した。結実調査も同様にルートセンサスで発見した花数を記録し、結実期に実の数を記録した。強制受粉試験は周囲に同株他個体がある場所で行い、ピンセットで花から葯を採取して他個体の花に受粉させた。送粉者と花とのネットワーク解析はRのbipartiteパッケージを用いて行った。

絶滅が危惧される固有種オキナワセッコク (*Dendrobium okinawense*) について、聞き取りの他、林分履歴や樹冠状態に基づく踏査によって探索し、着生高、着生木（ホスト）樹種、ホストサイズを記録した。また、確認した一部については着生木に登攀して、個体サイズと樹上の微環境を計測した。

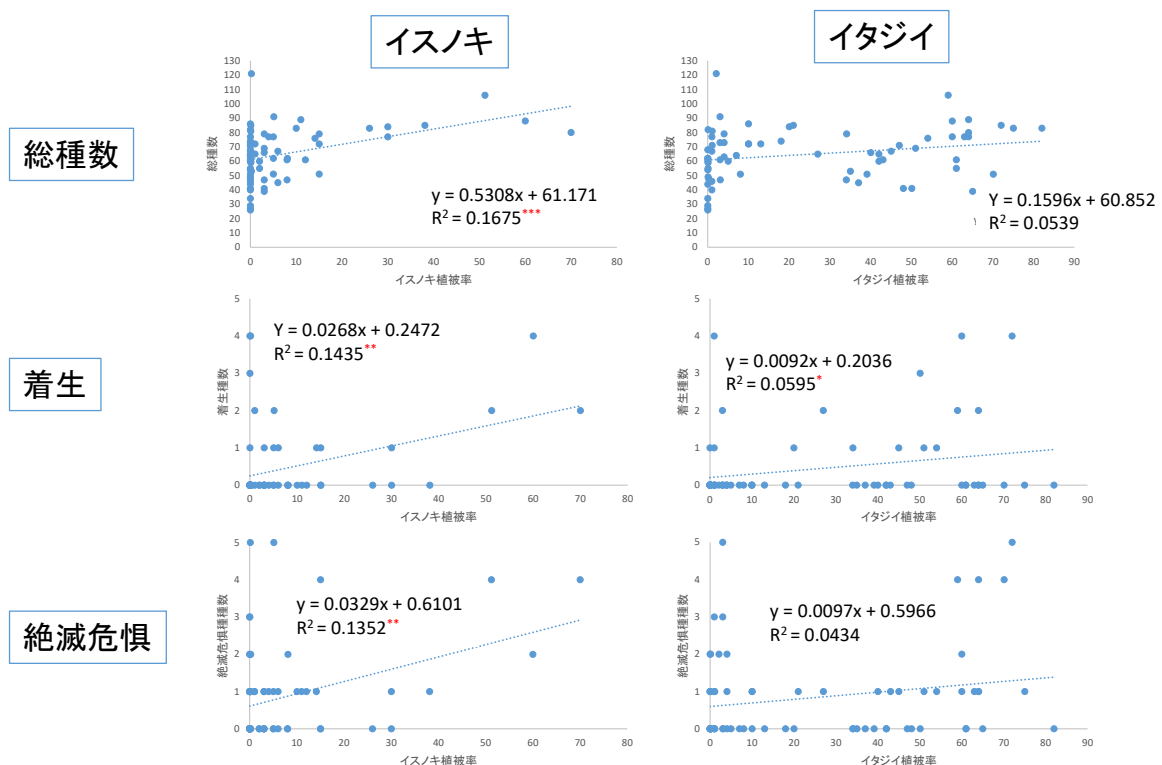
人の利用の歴史の分析については、国頭村および沖縄県の造林事業の記録を入手し、野外調査情報とそれらの履歴を重ね合わせられるようにGISデータ化した。林齢に関しては、森林簿の林齢を用いて既に林齢マップを作成している。しかし、この林齢マップでは、元段々畑だった沿岸部の民有林82～122林班の森林簿と林班図のリンクができておらず、これらの領域が白地になっている。この白地を可能な限り埋めるために、民有林82～122林班の森林簿と林班図のリンクの方法を検討した。

森林の広域構造の分析については、LiDARデータを入手し、DEM（Digital Elevation Model：地盤高）やDSM（Digital Surface Model：地表面高）、DCHM（Digital Canopy Height Model：林冠高）を整備した。これらのデータと時系列の空中写真、施業履歴を用いて、森林依存性の貴重な野生生物に関わる大径木を抽出する技術を開発した。

## 4. 結果及び考察

維管束植物の種多様性は非皆伐、二次林、伐採地の間で大きく変わらなかった。しかし、非皆伐では高木、亜高木の種数が多く、階層構造の発達が認められた。また、1ha当り絶滅危惧種数は非皆伐13.48

±3.22種、二次林7.93±2.87種（伐採跡2種）と非皆伐が多くなった。また、林齢と種数との関係では、高木層、亜高木層、低木層、絶滅危惧種の種数が林齢と有意な正の相関、外来植物の種数とは有意な負の相関が認められた。このことは階層構造の発達に伴って木本種の多様性が高くなっており、絶滅危惧種も長期間攪乱がない場所で生育していることを示している。一方で、外来植物は草本が多いため、林冠の閉鎖に伴い光量不足により減少しているものと考えられた。また、草本層、着生植物、つる植物の種数と林齢との関連はみられなかった。着生植物の散布図を見ると、林齢が高くても全く出現しない林分が多い一方で、一部の林齢の高い林分では多種が出現しており、散布制限が強く効いたメタ個体群状の分布が影響しているものと考えられた。主要樹種であるイスノキ、イタジイ、イジュのうち、植被率と総種数、絶滅危惧種数、着生種数と有意な正の相関がみられたのはイスノキであった（図(1)-1）。

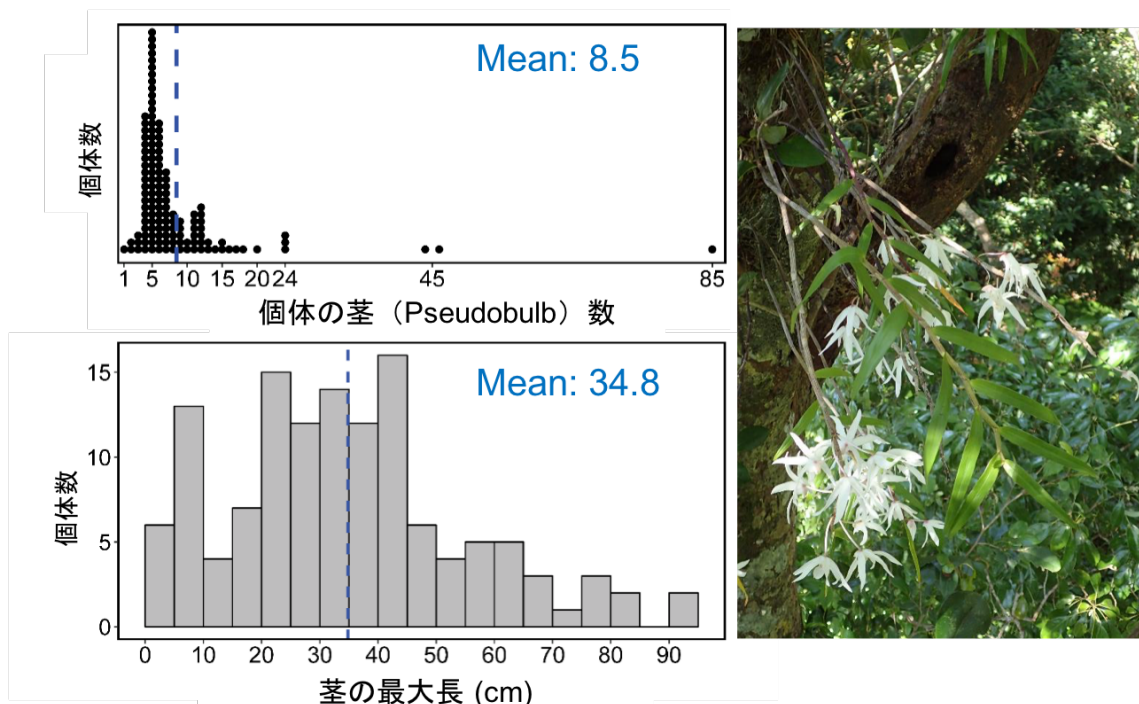


図(1)-1 主要樹種イスノキとイタジイの植被率と種数の関係（イジュは示していないがイタジイと同様に有意な相関はみられなかった）

やんばるの送粉系は在来のはなバチ、チョウ類、ハエ類に加え、外来送粉者のセイヨウミツバチが主な送粉者であった。その他、ガ類、アリ類、甲虫類、鳥類などの訪花が確認された。ネットワーク解析の結果、非皆伐より二次林の方が種当たりリンク数が多く、連鎖絶滅に対する頑健性が強いことが明らかになった。これは非皆伐ではスペシャリスト的な関係が多いためであり、攪乱に対して脆弱な送粉系が形成されていることを示唆する。また、外来送粉者のセイヨウミツバチは非皆伐では優占度が低かったが、二次林では主要な送粉者となっており、伐採跡や市街地では最も優先する送粉者となっていた。同様に外来植物も伐採跡や市街地では優占しており、送粉系全体に変質した状態であることが明らかになった。セイヨウミツバチはコロニー維持のために情報を共有して集中的に訪花する習性があり、在来送粉者に対する強い競争相手となる。訪花習性以外にも体サイズや行動圏などが特異的なことから、花の進化系への影響力が強い送粉者と考えられる。沖縄県では養蜂が盛んであることから、セイヨウミツバチは世界自然遺産保全と人間の生活の対立の中で重要な問題になる可能性がある。

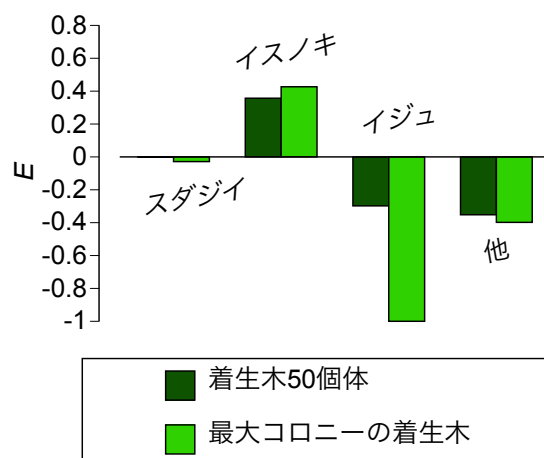


オキナワセッコクについて、120個体（株）以上を着生木と併せて確認した。幅広い個体サイズが見られたことから安定した更新が示唆された（図(1)-2）。また、平均9.7m高の高所に着生していたこと



図(1)-2 オキナワセッコクの個体サイズ分布

から接近には専門的な技術が要求されるが、個体サイズの指標としては茎（psuedobulb/仮茎）の本数と最大長が有効であり、双眼鏡等で観察可能である。さらに、各個体は樹冠内の太枝や分枝の垂直面に着生する傾向があったが、着生箇所の枝・幹の直径が大きいほど個体サイズが有意に大きく、かつ、着生木は大径の立木に偏っていた。これらから、枝や幹が長い時間安定していることが、本種の着生や成長に重要であると言える。さらに、選択性指数を用いた解析の結果、着生木の樹種についてイスノキに高い選択性が認められた（図(1)-3）。成長が遅く堅固な材を持つイスノキは、着生のための安定した基質を提供していると考えられた。さらにまた、空中写真や森林GISを参照し、着生木の分布は戦後の未皆伐林に集中していたことから、オキナワセッコクは、記録が整備されていない未皆伐成熟林の指標となり得る。

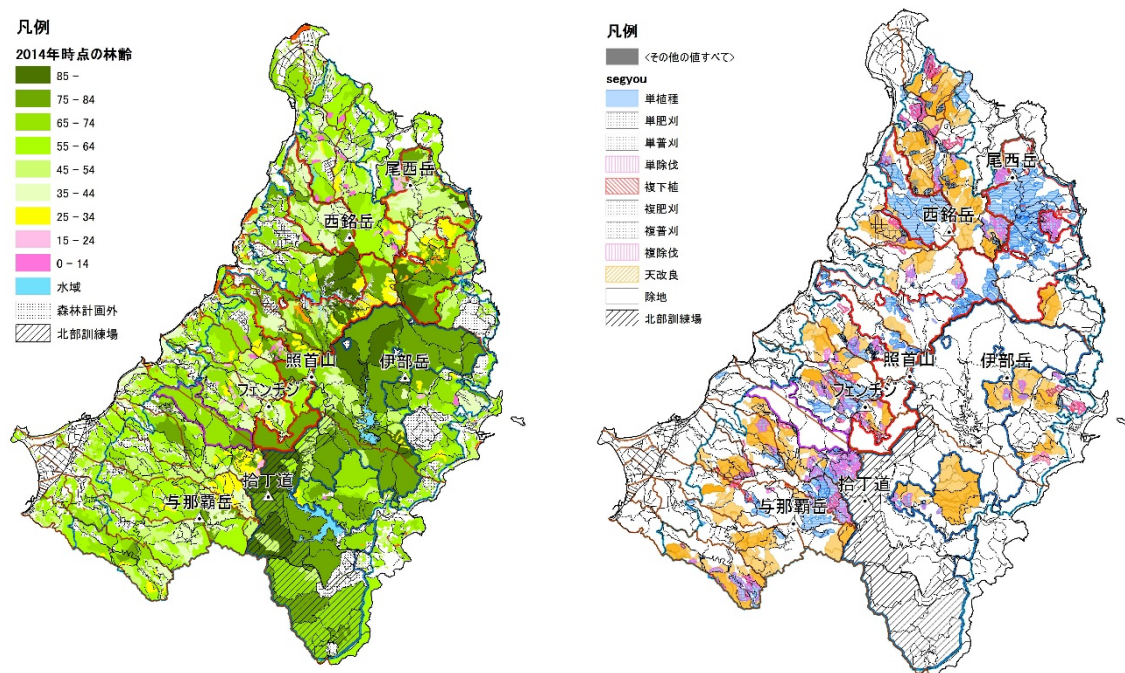


図(1)-3 樹木種組成に対する着生木組成の偏り  
縦軸はIvlevの選択性指数。着生木の構成種について、毎木調査区(60×60m)の構成種と比べた相対的な偏りの大きさを正負で示す

(国頭村域の森林の広域構造)

・森林簿の林齢、造林事業の記録の分析

今回、これまで空白だった国頭村の沿岸部分の民有林82～122林班（以下、民有林は、県営林を除いた民有林とする）を埋めた林齢マップを作成した。今回埋めた領域は、歴史的な地割り影響を受けて一筆の区画が非常に細かい。そのため、従来の資料では複数の地番の区画が一まとめにされている場合が多く、森林簿の地番と結びつけられなかった。そこで、新たに一筆の区画と地番がわかる資料を入手し、森林簿の地番と突合させたところ、民有林82～122林班をほぼ埋めた林齢マップができた（図(1)-4左）。マップから、国頭村の沿岸部分は、ほぼ戦後更新された領域（黄緑、薄緑、ピンク色）であることがわかった。



図(1)-4 国頭村の林齢マップと施業履歴マップ

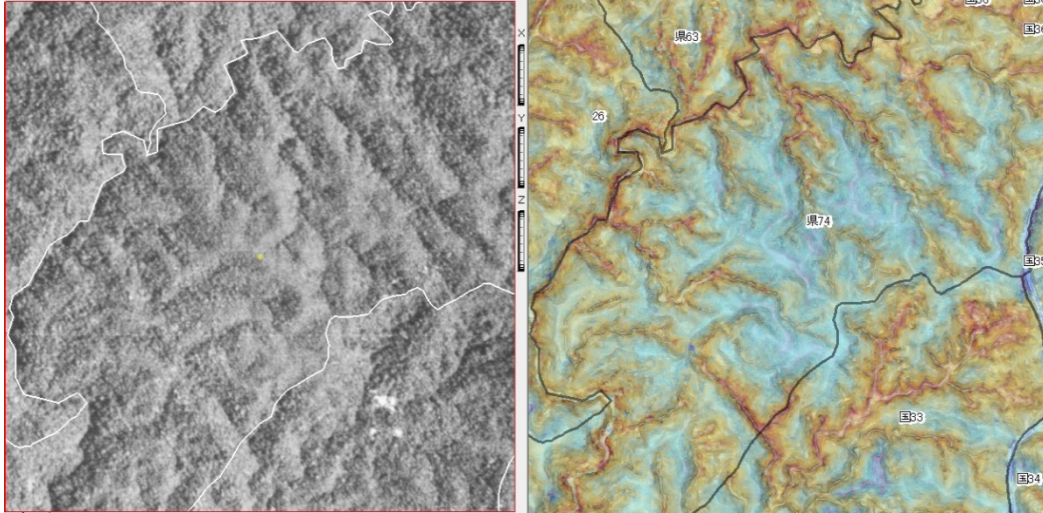
沖縄の森林簿の林齢については、上限値がある点に注意が必要である<sup>1)</sup>。2014年時点で揃えると、民有林、県営林の上限値は85年、国有林は91年である。つまり、2014年時点の民有林、県営林の林齢85年は「85年以上」、国有林の林齢91年は「91年以上」を意味していると考えられ、同じ林齢でも林相が大きく異なる可能性がある。この問題については、過去に関係機関に尋ねたが明快な情報は得られなかった。沖縄戦による資料喪失と戦後の再構築の過程で生じた問題と推察している。

施業履歴については、2014～18（平成26～28）年度の造林事業の記録を沖縄県と国頭村から入手し、GISデータ化した。それ以前の記録は、既にGISデータ化していたが、すべてが1施業1ポリゴンにはなっていないため、本プロジェクトで1施業1ポリゴンに統一した（図(1)-4 右）。図のとおり、国頭村域の県営林と民有林のほとんどに施業が入っており、県営林は植栽・播種による人工林（青色の領域）、民有林は育成天然林施業が行われた天然林（橙色の領域）が多かった。

・LiDARデータ、空中写真の分析

LiDARデータは、沖縄県が2011年に取得したデータの提供を受けるとともに、沖縄県が取得しなかった国有林と字安波の村有林部分を新たに入手し、DEM、DSM、DCHMを整備した。DEMについては、判読を容易にするために、長野県林業総合センターの戸田堅一郎氏が考案した「CS立体図」（曲率と傾斜：Curvature & Slope に注目して着色した微地形図）に加工した。

CS立体図上に透過表示したDCHMと空中写真を対比すると（図(1)-5）、尾根では林齢に関わらず樹冠や樹高が小さく、谷では、近年の伐採地を除き、樹冠や樹高が大きかった。これらは風の影響と考えられた。島嶼気候の沖縄では、風は、森林の生育ポテンシャルを規定する重要な要素であるといえる。今後、より定量的な解析が進むことが期待される。



図(1)-5 戦後、皆伐のない県74林班の1946年の林相（左）とCS立体図上に透過表示した2011年のDCHM

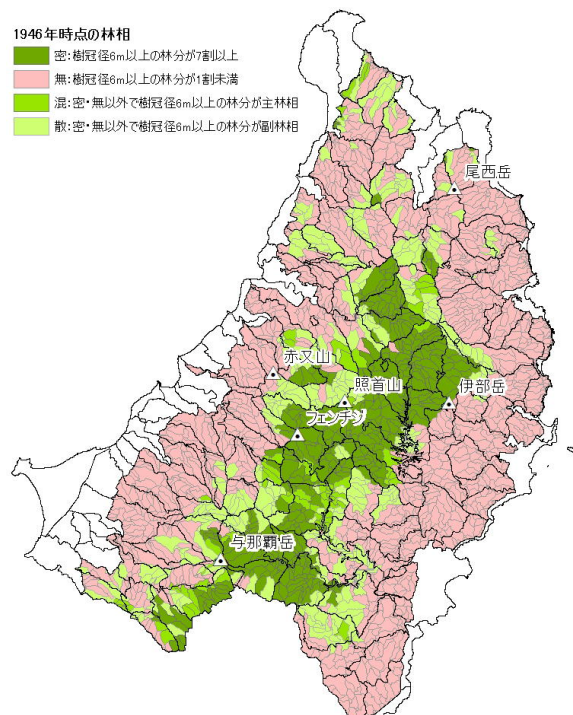
注：右図は、DCHM値の小～大を青～赤で表現した。

左図中央の樹冠の小さい領域と右図中央のDCHMの小さい領域が一致している。

（国頭村域の森林の戦後の利用過程）

- ・国頭村域の森林の終戦時点の林相

1946年の米軍撮影空中写真M57のオルソフォトを主に用いて、終戦時点の林相を図化した（図(1)-6）。分析の範囲は、国頭村域の内、森林資源として重要な県営林、国有林、民有林1～81林班とした。



図(1)-6 1946年の林相



判読は、北海道地図製10mメッシュDEM とArcGIS9.2のHydrologic Modelingを使って累積流量400セルで小流域を発生させ、そのポリゴン単位に行った。大きすぎるポリゴンは地形を見ながら手動で分割した。ポリゴン数は、約2350個（最大42.7ha、最小0.03ha、平均6.8ha、標準偏差5.5）となった。林相は、樹冠径6m以上の林分の割合に注目し、密：樹冠径6m以上が7割以上、無：樹冠径6m以上が1割未満、混：「密」、「無」以外で樹冠径6m以上が主林相、散：「密」、「無」以外で樹冠径6m以上が副、の順に区分した。

図(1)-6を見ると、優良林分である「密」の区分は脊梁山脈沿いの分布し、その対極の「無」の区分は、沿岸の集落に近い領域に分布していた。詳細に見ると、脊梁部に位置する与那覇岳やフェンチジ岳の付近は、すぐ間際まで「無」の区分が迫っており、人口の多い西部の利用庄の影響と推察された。一方、人口の少ない東部も同等の「無」の領域が広がっているが、こちらは尾根が丸い地形が多く、風の影響と考えられた。

#### ・国頭村の森林の戦後の利用経過

国頭村の森林の戦後の利用過程を分析するために、2014年時点の林齢のポリゴンと1946年の林相のポリゴンを重ね合わせた。国頭村の各字は、終戦後、自集落の再建に数年を要しており、表(1)-1では、戦後の年代区分を、1945年からではなく、1950年からの10年刻みとした。

表(1)-1を見ると、戦後の更新面積は、1950年代が最も大きく、その後、小さくなるが、1990年代以降は、顕著に小さくなっていた。

更新された林相に着目すると、1946年時点の優良林分である「密」の区分の更新面積は1950～80年代で大きく、構成割合で見ると1980年代が25%で最大だった。1946年からの時間経過を考え合わせると、1980年代は優良林分の利用割合が高かったと推察された。これは、この時期、林道建設が進み、奥地天然林が利用しやすくなった結果と考えられた。一方、小径木の割合が高いと考えられる「散」または「無」の区分は、1950年代の更新面積が大きかった。これは、燃料革命以前であるため、薪炭材の需要に対応して適寸の材が利用された結果と考えられた。

最も古い1920年代以前の更新年代の林相を見ると、1946年時点で大径木林分だった「密」の区分が63%を占める一方、「散」または「無」の区分も、それぞれ12%、16%存在した。最も古い区分については、森林簿の林齢が同じでも林相が異なる場合があることに留意が必要である。

表(1)-1 2014年時点の林齢／更新年と1946年の林相の関係

| 2014年の林齢 | 更新年代         | 1946年の林相区分の面積 |       |        |        |        | 1946年の林相区分の面積の構成割合 |      |      |      |      |      |      |
|----------|--------------|---------------|-------|--------|--------|--------|--------------------|------|------|------|------|------|------|
|          |              | 密             | 混     | 散      | 無      | (空白)   | 総計                 | 密    | 混    | 散    | 無    | (空白) | 総計   |
| 85 -     | 1920年代以前     | 639.8         | 85.9  | 119.9  | 163.0  |        | 1008.6             | 0.63 | 0.09 | 0.12 | 0.16 | 0.00 | 1.00 |
| 75 - 84  | 1930年代       | 911.3         | 207.3 | 706.9  | 1787.0 |        | 3612.4             | 0.25 | 0.06 | 0.20 | 0.49 | 0.00 | 1.00 |
| 65 - 74  | 1940年代       | 92.3          | 60.4  | 480.7  | 2141.9 |        | 2775.3             | 0.03 | 0.02 | 0.17 | 0.77 | 0.00 | 1.00 |
| 55 - 64  | 1950年代       | 367.0         | 107.0 | 595.0  | 1531.4 | 0.1    | 2600.5             | 0.14 | 0.04 | 0.23 | 0.59 | 0.00 | 1.00 |
| 45 - 54  | 1960年代       | 309.8         | 74.0  | 281.3  | 904.3  |        | 1569.4             | 0.20 | 0.05 | 0.18 | 0.58 | 0.00 | 1.00 |
| 35 - 44  | 1970年代       | 310.8         | 65.6  | 269.4  | 704.7  | 0.1    | 1350.7             | 0.23 | 0.05 | 0.20 | 0.52 | 0.00 | 1.00 |
| 25 - 34  | 1980年代       | 148.9         | 22.8  | 206.5  | 206.3  |        | 584.4              | 0.25 | 0.04 | 0.35 | 0.35 | 0.00 | 1.00 |
| 15 - 24  | 1990年代       | 17.2          | 5.9   | 31.3   | 81.0   |        | 135.4              | 0.13 | 0.04 | 0.23 | 0.60 | 0.00 | 1.00 |
| 0 - 14   | 2000年代以降     | 12.9          |       | 30.9   | 85.5   |        | 129.4              | 0.10 | 0.00 | 0.24 | 0.66 | 0.00 | 1.00 |
| 水域(ダム)   | 1980年代が多い    | 60.8          | 10.2  | 98.6   | 131.9  |        | 301.5              | 0.20 | 0.03 | 0.33 | 0.44 | 0.00 | 1.00 |
| 森林計画外    | 山地開発農地が多い    | 35.5          | 5.6   | 156.2  | 1270.8 |        | 1468.0             | 0.02 | 0.00 | 0.11 | 0.87 | 0.00 | 1.00 |
| 分析対象外    | 民82-122林班    |               |       |        |        | 3897.7 | 3897.7             | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 |
| データの隙間   | 民県国の森林GISの隙間 | 8.6           | 1.2   | 7.8    | 32.9   | 0.0    | 50.5               | 0.17 | 0.02 | 0.15 | 0.65 | 0.00 | 1.00 |
|          | 総計           | 2914.9        | 645.9 | 2984.5 | 9040.7 | 3897.8 | 19483.8            | 0.15 | 0.03 | 0.15 | 0.46 | 0.20 | 1.00 |

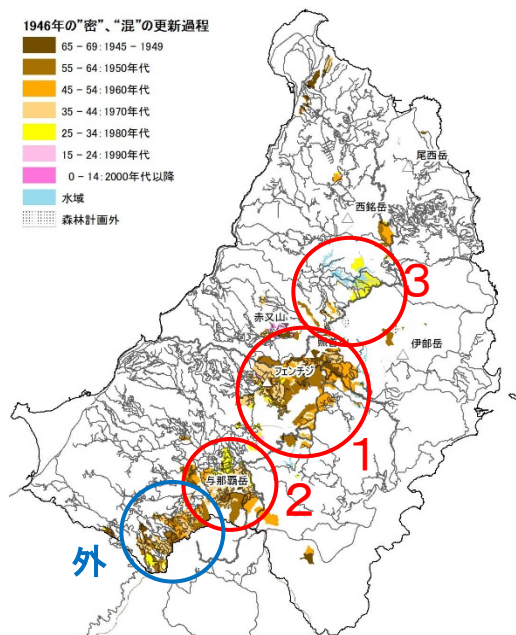
#### ・戦後の更新過程の分析

1946年時点の優良林分の更新過程に着目すると、「密」、「混」の領域は、道路やダム建設と関連して、大きく3つ時期に更新されていた（図(1)-7）。一つは、照首山からフェンチジ岳にかけてで、この領域は、1950年代に旧2号線が開設されたことで更新された。二つは、与那覇岳の東側で、この領域は、最初は米軍が演習のために、後には民間業者が森林利用のために開設したブル道を利用し、1960～

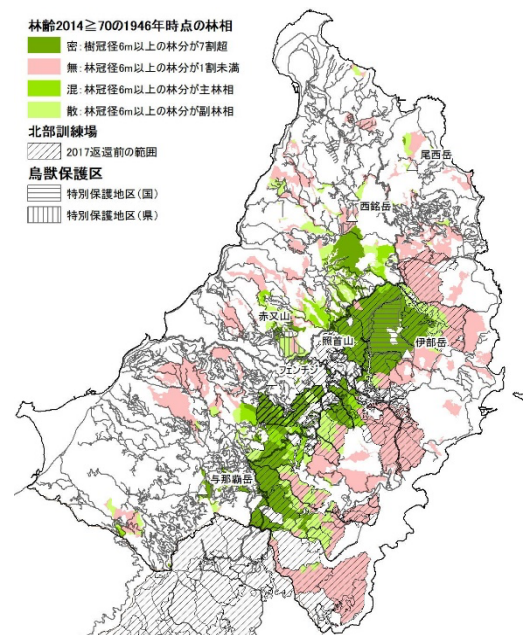


70年代にかけて更新された。三つは、辺野喜川上流で、この領域は1980年代にダム建設に伴う付替道や奥与那那道の開設によって更新された。これらの外、空中写真では1970年代に、比地川上流域～伊湯岳の優良林分がブル道を利用して更新されていたが、森林簿の林齢では1950年代の更新だった。施業履歴の確認には、空中写真の併用が不可欠と考えられた。

1946年時点の優良林分の残存状況に着目すると、林齢70年以上かつ「密」の領域は、西銘岳の南、普久川上流、県道2号線以南の国有林・県営林に分布し、西銘岳の南を除く大部分は、昨年までの米軍演習地に含まれた（図(1)-8）。一方、林齢70年以上かつ「散」、「無」の領域は、林齢70年以上の林分の7割弱を占めた。戦後、更新されていない林分でも、既に戦前に更新されていたり、大径木林になるポテンシャルを持っていなかったりする場合が多いと推察された。



図(1)-7 戦後更新された「密」、  
「混」の領域の分布



図(1)-8 2014年時点で林齢70年以上の  
林分の分布

(希少種の営巣木が確認された林分の特性の分析)

#### ・調査プロットの特性

本プロジェクトでは、オキナワセッコクやヤンバルテナガコガネの営巣木を含む、生物多様性上、重要な林分を5箇所を設定し、プロット調査を行った。また、本プロジェクト開始後、オキナワセッコクやヤンバルテナガコガネが生息する営巣木の発見が続いた。

設定した5箇所のプロットについて、空中写真の画像や林齢、施業履歴の特徴を分析した。その結果、4箇所は、戦後、皆伐を経験していない林分で、内1箇所は育成天然林施業の履歴があった。残りの1箇所は1970年代以前のクリアカットでない乱伐に曝された領域の端に該当した（希少種保護のため図は提示しない）。オキナワセッコクやヤンバルテナガコガネが生息する営巣木は、戦後の非皆伐林分に残存していると考えられた。

一方、営巣木のある林分には、高齢成熟林分の指標と考えられるイスノキが多いことが明らかにされたため、イスノキの樹冠色に注目し、現地調査で得られた各樹種の立木位置を空中写真で確認した。3月に撮影された空中写真では、イスノキの樹冠色は濃緑色で、淡緑色のイタジイとの区別は可能だったが、イジュとの区別は困難だった（図(1)-9）。このほか、空中写真上の樹冠色は、斜面方位による明暗や、標高による開葉時期による差もあり、一定しない。そのため、希少種の営巣可能性がある林分の抽出は、空中写真の樹冠色ではなく施業履歴に着目し、1946年時点の優良林分で、戦後、皆伐に曝されていない林分を抽出する方法が有効と考えられた。



図(1)-9 営巣が確認されたイスノキ、イジュ、イタジイ、ヤマモモの樹冠の色合い

・戦後、皆伐に曝されていない重要林分の抽出（希少種保護のため図は示さない）

これまでに得られた位置情報では、ヤンバルテナガコガネの営巣木は、終戦時点の優良林分の中でも特に樹冠が大きい林分の残存部分にある場合が多いと推察された。そこで、国頭村全域を撮影した最も古い空中写真である1946年米軍撮影空中写真M57を、Stereo Analyst for ArcGIS9.3.1を用いて立体視し、樹冠径約10m以上を目安に、1946年時点の特に優良な林分で、戦後、伐採されていない林分を抽出した。伐採（皆伐と乱伐＝強度の択伐）領域は、その後の空中写真や施業履歴データを同時参照して除いた。

この抽出作業は、国頭村域の民有林1～81林班、県営林、国有林の約1.4万haを対象に、抽出林分を実際に踏査することを想定して林班単位で行ったため、優良林分の抽出は、少ない林班では甘めに、多い林班では厳しめになった。従って、国頭村域の林相区分の一つとして用いる場合は、改めて精査が必要である。

実際に新たな営巣木を搜索する試みとして、上記のM57上で特に樹冠の大きな立木を立体視によって19本選定し、CS立体図とGIS、GNSS（GPS）を用いたナビゲーションで現地踏査を行った。その結果、間違いなくM57上の大径木と考えられる立木1本（イタジイ、胸高直径約1m）と、その可能性が高い立木・根株・倒木の計9本に到達できた。現地で発見し、後からM57上で確認した大径木も1本あった。M57を立体視して計測した位置と高精度GNSS（Trimble製Geo7）で測量した位置の差は10m前後だった。現地踏査で見つけられなかった選定木の場所には、朽ちた株か幹のマウンドが残っている場合があり、枯損等で消失したと考えられた。また、周辺には代替わりと考えられる大径木が育っており、イスノキも存在した。この試みでは、バスターズの毘掛け道から林内に入り、約1600mを踏査する間に、胸高直径約35～50cmのイスノキを7本確認した。

## 5. 本研究により得られた成果

### （1）科学的意義

やんばる地方は生物地理学的に貴重な生態系が維持されてきたにも関わらず、重要な生態系機能の一つである送粉系に関してこれまで全く情報がなかった。本研究で送粉系全般を評価できたことは、やんばるの森の送粉系のアウトラインを示すことができた、という点において今後の当該地域における送粉研究の足掛かりとなるであろう。また、種の保存法で指定されているにもかかわらず、これまで情報に乏しかった絶滅危惧種オキナワセッコクの分布及び生態情報を蓄積することができた。一方、近年のPCのハード、ソフトの性能向上によって、画質が悪い終戦前後の米軍撮影空中写真からでも、一度に2枚の画像情報を統合する立体視することで、限界はあるが、一定の価値ある林分情報を引き出せることがわかった。

## （２）環境政策への貢献

### ＜行政が既に活用した成果＞

本研究プロジェクトにおいてLiDAR DEMから作成したCS立体図は、既にやんばる野生生物保護センターに提供し、業務で活用されている。

### ＜行政が活用することが見込まれる成果＞

絶滅危惧種オキナワセッコクの分布情報は森林計画やゾーニングに直接活用できるほか、同種の保全に係る取り組みに貢献できる。また、本種の生育環境の指標として重要性を指摘したイスノキの大径木はサブテーマ２、３の成果にあるように絶滅危惧哺乳類の生息場所も提供することから、やんばるの生物多様性保全のための重要な指標として提案可能であり、森林計画に反映することで、林業と自然保護との両立が可能となることが期待される。本研究のGIS・GNSS（GPS）を用いた森林調査法は、ハブが生息する沖縄やんばるにおいて、資質の高い高齢大径木林を、より安全かつ面的に調査する方法として有用である。

## 6．国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

## 7．研究成果の発表状況

### （１）誌上発表

#### ＜論文（査読あり）＞

- 1) 齋藤和彦：環境情報科学論文集、25、245-250（2011）森林簿にもとづく沖縄県国頭村域の林齢分布の分析
- 2) Abe S, Kotaka N, Takashima A, Abe T, Saito K, Masaki T: Ecological Research, (2018)  
Host selection and distribution of *Dendrobium okinawense*, an endangered epiphytic orchid in Yambaru, Japan (online first)

#### ＜査読付論文に準ずる成果発表＞

特に記載すべき事項はない。

#### ＜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）

- 1) 阿部真、小高信彦、高嶋敦史、安部哲人、齋藤和彦、正木隆：第128回日本森林学会大会（2017）  
「やんばる固有種オキナワセッコクの着生木選択」
- 2) 安部哲人、工藤孝美、齋藤和彦：第73回日本森林学会九州支部会 研究発表講演（2017）  
「森林施業がやんばるの森林植物群集に与える影響」
- 3) 阿部真、齋藤和彦、中西晃、小高信彦、高嶋敦史：第129回日本森林学会大会（2018）  
「絶滅危惧種オキナワセッコクの生育環境：施業履歴と森林構造」

### （３）知的財産権

特に記載すべき事項はない。

#### (4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 高嶋敦史、齋藤和彦：環境研究総合推進費シンポジウム2015@辺土名高校「やんばるの森にふさわしい生態系管理のために」（主催：森林総合研究所、2015年12月、沖縄県大宜味村、観客約90名）にて講演、「調べてなっとく！やんばるの森」
- 2) 安部哲人：環境研究総合推進費シンポジウム2017@沖縄県青年会館「世界自然遺産登録に向けたやんばるの森の生態系管理」（主催：森林総合研究所、2017年12月10日、那覇市、観客約70名）にて講演、「送粉系は縁の下の力持ちーやんばるの生態系サービスの現状ー」

#### (5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 沖縄タイムス（2017年12月13日、27ページ、「送粉者生息の森「切らず保護を」やんばる生態系シンポ」）

#### (6) その他

特に記載すべき事項はない。

### 8. 引用文献

- 1) 齋藤和彦：環境情報科学論文集、25, 245-250（2011）森林簿にもとづく沖縄県国頭村域の林齢分布の分析



## Ⅱ－２ 絶滅危惧哺乳類の絶滅を回避するためのモニタリング手法の開発

国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所

九州支所 森林動物研究グループ長 安田 雅俊

九州支所 主任研究員 小高 信彦

<研究協力者>

国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所

野生動物研究領域 特任研究員 山田 文雄

野生動物研究領域 主任研究員 亘 悠哉

東北支所 育林技術研究グループ長 八木橋 勉

関西支所 生物多様性研究グループ主任研究員 関 伸一

平成27～29年度累計予算額：28,471千円（うち平成29年度：8,882千円）

予算額は、間接経費を含む。

### 〔要旨〕

世界自然遺産の登録に向けて準備が行われている奄美・琉球の森林地帯に生息する固有種のうち、特に絶滅が危惧される哺乳類であるトゲネズミ類及びケナガネズミを対象に、モニタリング手法の開発、生息地の評価、捕食者となる外来種に関する調査研究を実施した。巣箱カメラ法を用いることにより、トゲネズミ類を通年、非侵襲的にモニタリングすることができるようになり、撮影個体のサイズを推定することにより幼獣の出現時期、すなわち繁殖期を推定することが可能となった。また、巣箱カメラ内に残された糞は、本種の遺伝構造や食性を解明するための試料として利用可能である。

### 〔キーワード〕

巣箱カメラ法、トゲネズミ類、ケナガネズミ、施業履歴、外来種

### 1. はじめに

世界自然遺産の登録に向けて準備が行われている奄美・琉球の森林地帯は、トゲネズミ類やケナガネズミをはじめとする絶滅危惧種の重要な生息地であるとともに、沖縄島北部や奄美大島では林業活動が行われている地域である。同地域の固有種の中でも、オキナワトゲネズミは沖縄島北部の極めて限定された地域にのみ分布し<sup>3)</sup>、その生息地は林業活動地域と隣接している。種の絶滅を回避しながら持続的な経済活動を行うためには、これらの希少種の現状を把握し、個体群の現状について科学的データに基づく評価を行いながら持続可能な森林の利用・管理計画を立てる必要がある。

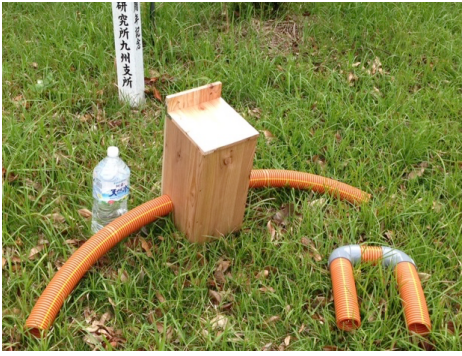
### 2. 研究開発目的

本研究では、絶滅危惧哺乳類（オキナワトゲネズミ等）の絶滅を回避するための研究開発として、1）非侵襲的なモニタリング手法として巣箱カメラ法の開発、2）文献、標本情報、過去のデータ等に基づく分布と動態に関する研究、3）施業履歴・LiDARデータを用いた生息地評価、4）外来捕食者（ネコ・イヌ）に関する糞分析や自動撮影カメラによる実態把握のための調査研究を実施した。

### 3. 研究開発方法

#### 1) 巣箱カメラ法の開発

初年度には、自動撮影カメラを内部に入れることができる木製の巣箱（以下、巣箱カメラ；縦20cm×横20cm×高さ40cm）を開発し、野外試験を行った（図(2)-1）。巣箱にはスギ材を用い、出入口は側面下部の左右2ヶ所とした。近距離にピントが合うように調整した自動撮影カメラ1台を巣箱内の上部に下向



図(2)-1 本研究で開発した  
巣箱カメラ（左）と餌場（右）

する欠点があった。そこで新たに、吸湿性が低く、腐朽しにくい塩化ビニル製の巣箱カメラ（以下、塩ビ製巣箱カメラ）を2タイプ開発し、野外試験を実施した（図(2)-2）。

## 2) 分布と動態



図(2)-2 開発した2タイプの塩ビ製巣箱カメラ

A：縦置きタイプ（出入口2ヶ所）。内部と外部は木製巣箱カメラと同様に直径5cmのプラスチック製チューブ2本で連絡。B：横置きタイプ（出入口3ヶ所）。内部と外部は5cmの穴1個と10cmの穴2個で連絡

既存の自動撮影調査データや環境省・沖縄県のマングース防除事業からデータ提供を受け、オキナワトゲネズミの分布変遷と近年の動態について解析を行った。個体群の変動要因の解析には、サブ課題3からのスダジイ堅果の豊凶データを利用した。

## 3) 施業履歴・LiDARデータを用いた生息地評価

サブ課題1で得られた詳細な施業履歴に関するデータやLiDARデータを用いて、オキナワトゲネズミ及び、ケナガネズミの生息地評価を行った。オキナワトゲネズミについては個体群を回復するために重要な林分について提案するとともに、現在の分布域の土地所有形態、やんばる国立公園（2016年に指定）における地種区分について解析した。

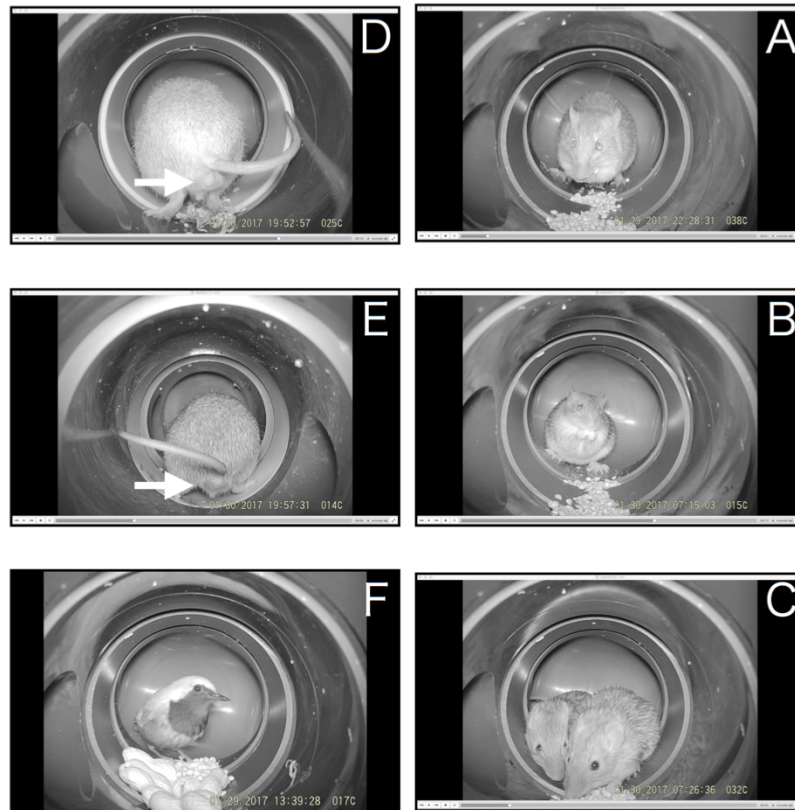
## 4) 外来捕食者（ノネコ）による捕食の実態解明

ケナガネズミ、アマミトゲネズミの自動撮影調査を実施している油井岳調査地（奄美大島）において、林道沿いに落ちているノネコの糞を収集し、内容物を分析した。餌動物ごとの出現頻度と自動撮影カメラによる撮影頻度を利用して、ノネコの餌動物選択性を解析した。また、オキナワトゲネズミの生息地内に設置した自動撮影カメラのデータを解析し、外来種の生息状況を明らかにした。

#### 4. 結果及び考察

##### 1) 巣箱カメラ法の開発

巣箱カメラ法によりオキナワトゲネズミの繁殖期を特定する技術を開発した。本技術は、捕獲の必要がない非侵襲的な方法であり、絶滅のおそれが高く、国の天然記念物に指定されている奄美・琉球地域のトゲネズミ類に広く応用可能である。オキナワトゲネズミの既知の分布域に設置した巣箱カメラでは、年間を通じてほぼ継続的に撮影することができた。撮影されたオキナワトゲネズミは、体サイズや



図(2)-3 塩ビ製巣箱カメラ（横置きタイプ）によって撮影された小型動物  
A～E：オキナワトゲネズミ（A：成獣、B：幼獣、C：複数の幼獣、D・E：辜丸下垂（矢印）した雄）、F：アカヒゲ

外見の特徴(生殖器の状態等)から成獣と幼獣を判別することができた(図(2)-3)。沖縄島北部やんばる地域においては、木製巣箱カメラと塩ビ製巣箱カメラにより、オキナワトゲネズミの成獣が通年撮影されただけでなく、幼獣の撮影にも成功した。成獣と幼獣は体サイズにより明確に区別できた(図(2)-3、A：成獣、BとC：幼獣)。幼獣の出現時期は、巣箱1では2016年1月下旬、巣箱2では5月下旬～6月中旬、巣箱3では10月中旬～11月下旬、巣箱4では11月下旬、巣箱5では2017年1月下旬であった。これまでオキナワトゲネズミの繁殖期は冬期と言われてきたが、本研究では秋から翌春にかけて幼獣の出現がみられたことから、従来言われていたよりも繁殖期が長期にわたる可能性が示唆された。トゲネズミ類の個体群動態を解明するためには、本手法によって、さらに多くの繁殖事例をそれぞれの種の生息地において集める必要がある。最終年度の調査では、奄美大島に設置した巣箱カメラに落ち葉を運び込むアマミトゲネズミが撮影され、巣箱カメラ内に落ち葉が詰め込まれた状態を確認した(図(2)-4)。この事例は、トゲネズミによる巣箱カメラの繁殖場所としての利用の可能性があり、巣箱カメラ法を用いた本種の繁殖生態の解明が期待される。





図(2)-4 アマミトゲネズミにより落ち葉が運び込まれた事例

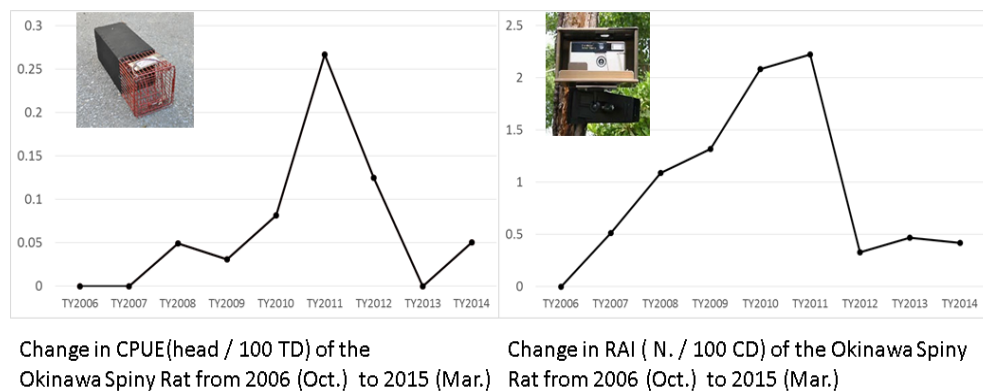
オキナワトゲネズミは、夏は昼間に頻繁に撮影され、冬は夜間に頻繁に撮影されており、夜間の撮影頻度は、月最低気温と強く相関することが明らかとなった。オキナワトゲネズミのもつこの特異な習性は、本種が昼行性のマングースと夜行性のノネコのどちらにも捕食されうることを意味する。本種の絶滅リスクの低減には、これら外来捕食者の個体数管理が不可欠であることを強く示唆する。なお、ケナガネズミ用に開発した樹上用カメラでは1例の利用が確認された。

## 2) 分布と動態

文献調査および標本ラベルの調査を行い、オキナワトゲネズミの分布変遷を明らかにした。オキナワトゲネズミは、1930年代の種の発見当時には、名護市北部の源河川流域以北に広く分布していたと考えられたが、1990年代には大宜味村の塩屋湾と東村の平良を結ぶいわゆるSTライン以北のみで記録され、近年は沖縄島の最北部の西銘岳周辺のわずかな地域のみで分布が確認されるようになった。種の発見当時からの約80年間で、生息面積は98.4%減少したと推定された。

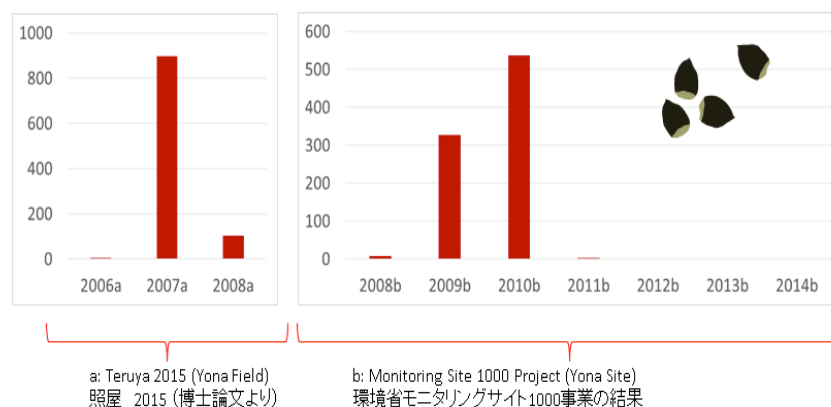
オキナワトゲネズミの分布が確認されている西銘岳周辺に2006年から設置している自動撮影カメラのデータに基づくオキナワトゲネズミの撮影頻度（100日当たりの撮影回数）データと、マングース防除事業による混獲データを基に算出した捕獲効率（CPUE）のデータには、大きな年変動があることが明らかとなった（図(2)-5）。撮影頻度と捕獲効率は、ともに、モニタリングサイト1000のコアサイトである与那フィールドでスダジイ堅果の豊作が記録された2007、2009年、2010年に増加する傾向がみられた（図(2)-6）。オキナワトゲネズミの個体群にはスダジイ堅果の豊凶に伴う大きな年変動があることが示唆され、このことは、生息地評価や絶滅リスクの評価を行う際に、堅果生産量を把握する必要があることを示唆している。





マングース防除事業による錯誤捕獲データ(環境省・沖縄県)      自動撮影法によるモニタリングデータ(小高ほか未発表)

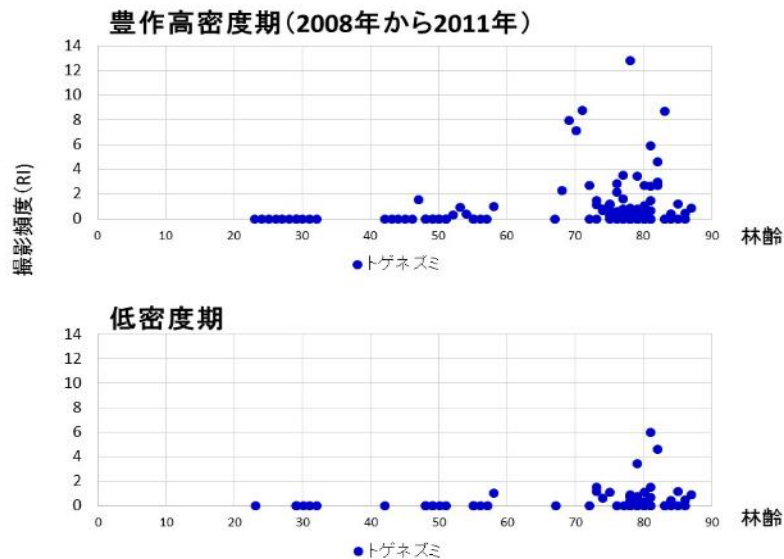
図(2)-5 オキナワトゲネズミの捕獲効率(左)と自動撮影頻度(右)の経年変化(2006～2014年)



図(2)-6 与那フィールドにおけるスダジイ堅果生産量の年次変化

### 3) 施業履歴・LiDARデータを用いた生息地評価

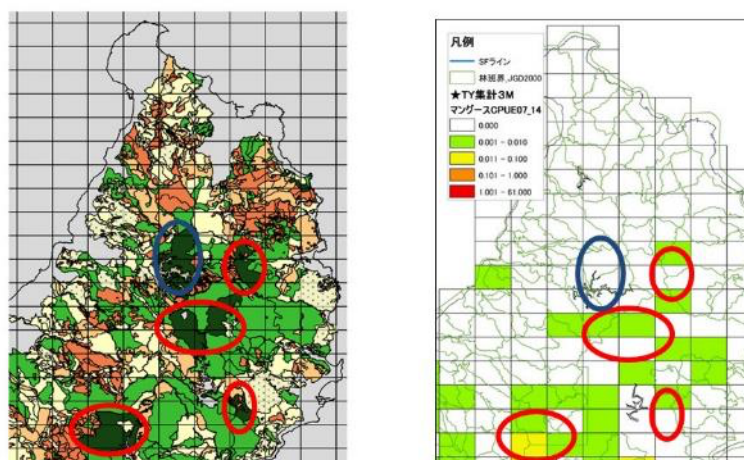
西銘岳周辺に2006年から設置している自動撮影カメラの設置地点の林齢についてサブ課題1と連携して解析を行い、堅果生産についてはサブ課題3と連携して、オキナワトゲネズミの撮影頻度との関係を解析した。スダジイ堅果の豊作の影響を受けたと考えられる高密度次期(2008年から2011年)とそれ以外の低密度時期に分けて林齢との関係を調べた。オキナワトゲネズミでは林齢70年以上の老齢林で撮影頻度が高い傾向がみられた(図(2)-7)。この結果は、特にオキナワトゲネズミの低密度期に顕著で、オキナワトゲネズミの保全のためには、森林における利用可能な餌が不足すると考えられる、堅果の凶作時に出現頻度の高い老齢林の保全が重要であると考えられた。



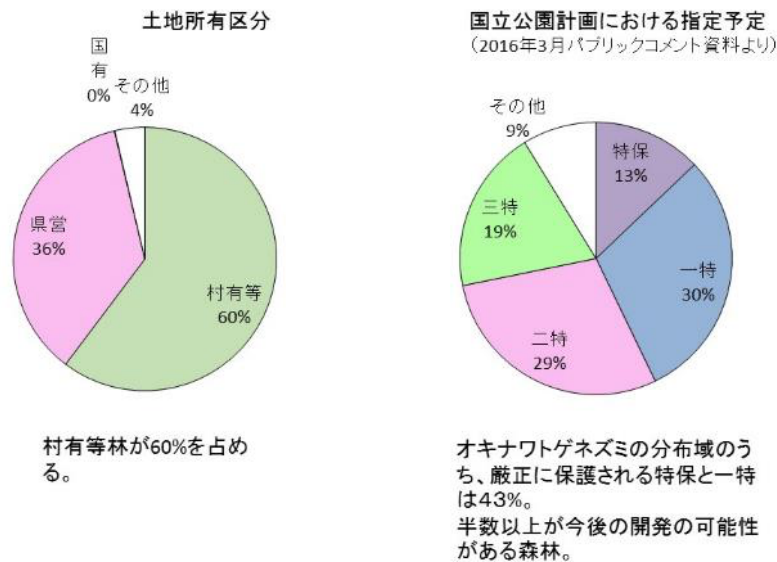
図(2)-7 オキナワトゲネズミの撮影頻度と林齢の関係  
豊作高密度時（上）と低密度時

オキナワトゲネズミの生息地である国頭村内の老齢林の分布と、2007年から2014年までのマングースの捕獲状況（CPUE：100畝日当たりの捕獲個体数）を図示した（図(2)-8）。オキナワトゲネズミにとって好適と考えられる老齢林のパッチが国頭村に点在するが、西銘岳周辺（青枠）のパッチ以外は、かつて、マングースがマングース対策事業により捕獲された地域であり<sup>1)2)</sup>、マングースの捕食の影響を受けた地域と考えられた。国頭村内の老齢林は、今後のオキナワトゲネズミの分布回復場所として重要な場所と考えられ、これらの老齢林パッチからの外来種排除が重要と考えられた。また、赤丸で示した老齢林のうち、県道2号以北の林分は、マングース防除事業の進展に伴い、近年マングースの生息が確認されなくなっている。これらの老齢林は、今後、オキナワトゲネズミの生息回復が期待される地域であり、これらの林分をつなぐ地域を回廊と位置付け保全を行う必要がある。

サブ課題1と連携してオキナワトゲネズミの分布域の土地所有区分と国立公園計画における指定状況を解析した（図(2)-9）。分布域の中では村有林の面積が大きく、また、国立公園区分では特別保護



図(2)-8 国頭村における老齢林の位置とかつてのマングースの分布  
老齢林（左図の濃い緑）と環境省によるマングース  
捕獲状況（2007～2014）



図(2)-9 2008年以降のオキナワトゲネズミの分布域における土地利用区分と国立公園計画における指定状況

区および第一種特別保護地域が43%にとどまり、今後伐採の可能性がある2種、3種、国立公園指定外の地域が57%となっていた。オキナワトゲネズミ保全のためには、土地所有者である国頭村や、地域の林業主体である国頭森林組合との情報共有を行い、個体群の存続や回復に配慮した施業計画を立案する必要がある。

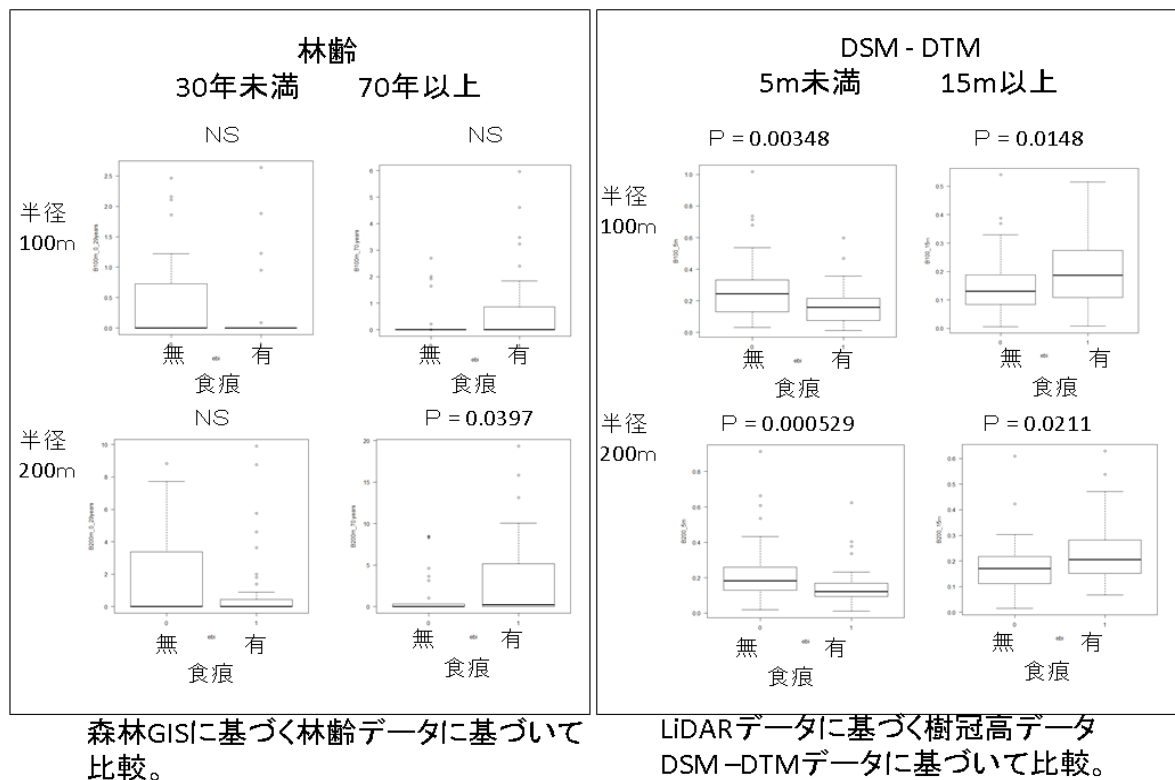
樹上性のケナガネズミの生息地評価や効率的な利用樹洞の探索のために、航空機LiDARデータを利用した生息地評価を試みた。LiDARデータは、DCHM (Digital Canopy Height Model: 林冠高) を用い、DCHM値の高い場所、高木が連続して分布している場所をケナガネズミの好適生息地と仮定して調査を実施した。沖縄島北部において、ケナガネズミによると推定されたリュウキュウマツ球果の食痕とLiDARデータを用いた生息地の絞り込みを行い、ケナガネズミの繁殖樹洞を発見することに成功した(図(2)-10)。



図(2)-10 ケナガネズミの樹洞探索と自動撮影カメラによるモニタリング

さらに、2015年秋に西銘岳周辺の林道上で、路上に落ちたリュウキュウマツの堅果を調査し、食痕有りの51地点と、食痕無しの45地点について、その周囲の森林環境について、森林簿に基づく林齢デー

タとLiDARデータに基づく解析を行った。この結果、林齢データから、食痕有りの地点は無地点よりも半径200m円内の林齢70年以上（戦後の皆伐が行われたかった地域）の林分面積が大きい傾向がみられた。いっぽう航空機LiDARデータからは、半径50mの円内に含まれる高さ15m以上の樹冠の面積率が食痕有りの地点で食痕無しの地点よりも高い傾向がみられ、100m, 200m円内では、高さ5m以下の場所（草原や伐採直後）を避け、15m以上の樹冠を選択する傾向がみられた（図(2)-11）。従来森林環境の解析に使われてきた林齢データよりも、航空機LiDARデータを用いることで、より詳細なスケールで、しかも高い感度でケナガネズミの生息環境を評価することができると考えられた。なお、沖縄島北部の森林には、ケナガネズミと同様の食痕を残す種としてクマネズミが生息するが、調査を実施した2015年は自動撮影データやマングース防除事業のデータから、同地域におけるクマネズミの生息密度が極めて低いと考えられたことから、路上の食痕をケナガネズミと推定した分析を行った。今後の研究では、ケナガネズミの利用樹洞の確認数を増やし、これらの樹洞木の立地条件の解析に本手法の応用をすることで、本種の繁殖、生息に重要な森林環境を解明することができると考えている。



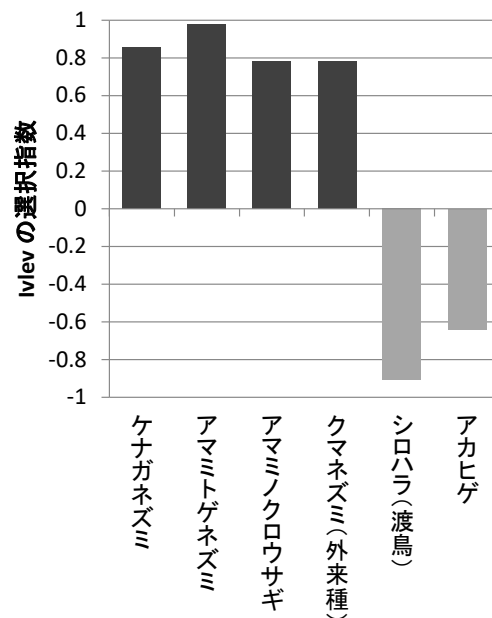
図(2)-11 リュウキュウマツ球果食痕が出現する環境

#### 4) 外来捕食者（ノネコ）による捕食の実態解明

トゲネズミ類やケナガネズミの重要な捕食者となるネコの糞を、奄美大島南西部の油井岳の林道上で収集し、内容物を同定した。さらに、同地域で実施している自動撮影カメラデータと比較することにより、ネコの餌動物の選択性について評価を行った。ネコの糞からは、希少哺乳類3種が高頻度に出現した（1位ケナガネズミ、2位アマミトゲネズミ、3位アマミノクロウサギ）。同時期の自動撮影カメラではノネコが3個体撮影された。自動撮影カメラによる動物の出現頻度は冬鳥シロハラで高く、ノネコの糞における動物の出現頻度と異なっていた。Ivlevの選択指数により、ネコの餌動物選択性をみると、おおむね哺乳類は食べられやすく、鳥類は食べられにくい傾向が認められた（図(2)-12）。哺乳類では、トゲネズミが最も食べられやすく、次いでケナガネズミ、アマミノクロウサギ、外来種クマネズミ

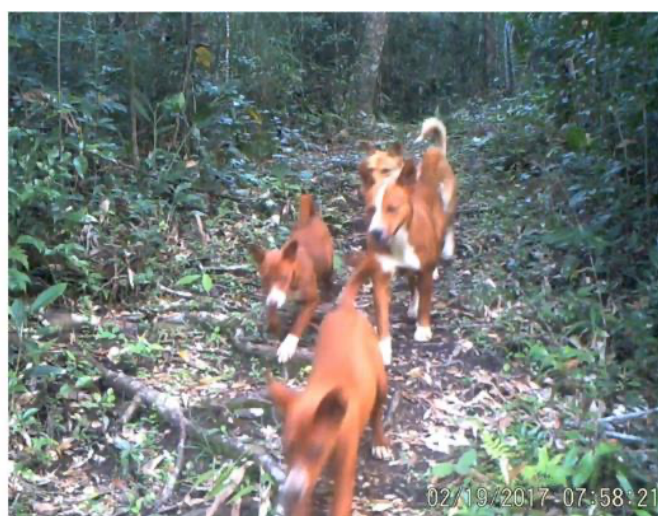


ミの順であった。このことから、ノネコは在来種選択的な捕食を行う習性をもつと言える。鳥類では、渡り鳥シロハラよりも留鳥アカヒゲが食べられやすい傾向が認められた。このように奄美大島の絶滅危惧種がノネコに選択的に捕食されていることが示唆された。トゲネズミは小型で、警戒心も低いことが、最も選択的に捕食されていることにつながっているのかもしれない。今後、利用可能な自動撮影カメラのデータを増やし、より詳細な解析を行う必要がある。



図(2)-12 奄美大島におけるノネコの餌動物の選択性。  
在来種に偏った捕食が認められた

オキナワトゲネズミの生息地周辺の西銘岳の林内で、イヌの群れが記録された。これらの情報は、国頭村、沖縄県、環境省やんばる野生生物保護センターと共有し、対策に活用された。



図(2)-13 オキナワトゲネズミの生息地内の特別  
保護区指定地域で撮影されたイヌの群れ

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

本研究により開発した巣箱カメラ法によって、絶滅の危機にあるオキナワトゲネズミを捕獲せずに分布や繁殖生態に関する情報、糞標本の採取などが可能となった。本手法は、絶滅が危惧される他のトゲネズミ類にも広く応用可能である。詳細な森林履歴のデータに基づくオキナワトゲネズミの分布回復のための重要林分の提案が可能となった

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

オキナワトゲネズミの生息情報やケナガネズミの利用樹洞の位置については、環境省やんばる野生生物保護センターと共有し、本種の保護対策に活用された。

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

本課題で開発した巣箱カメラ法を用いたトゲネズミ類のモニタリング体制を、沖縄島北部、奄美大島、徳之島において確立することで、個体群管理のための科学的データの収集が可能となる。  
巣箱カメラ法を用いた生態調査を実施することで、本種の保護増殖に係る知見が得られる。本研究により提案したオキナワトゲネズミの分布回復に重要な林分の情報をもとに、本種の個体群回復のための保全策の実践が可能となる。

## 6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文(査読あり)>

- 1) 安田雅俊、関伸一、亘悠哉、齋藤和彦、山田文雄、小高信彦： 哺乳類科学、 57, 227-234 (2017) 絶滅危惧種オキナワトゲネズミ *Tokudaia muenninki* の分布の変遷

#### <査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

#### <その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 小高信彦、安田雅俊： 九州の森と林業、 123, 4 (2018) 鳥獣シリーズ(20)オキナワトゲネズミ.

### (2) 口頭発表(学会等)

- 1) Kotaka N et al.: International Wildlife Management Congress, Sapporo, Japan (2015)  
“Current status of the critically endangered Okinawa Spiny Rat in Okinawa Island, Japan”
- 2) Watari Y et al.: Conference program and abstracts of the 2nd International Conference on Island Evolution, Ecology and Conservation: Island Biology 2016  
“Selective predation on island endemic vertebrates by feral cats revealed by cat diet and prey availability”
- 3) 安田雅俊、小高信彦：日本哺乳類学会2017年度大会 (2018)  
「オキナワトゲネズミにおける日周活動の季節的な遷移」
- 4) 中谷裕美子・小高信彦・他9名：沖縄生物学会第54回大会 (2017)  
「やんばる地域におけるノイヌの生息状況および希少種の捕食事例」

### (3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

### (4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 小高信彦、安田雅俊、亘悠哉：環境研究総合推進費シンポジウム2017@沖縄県青年会館「世界自然遺産登録に向けたやんばるの森の生態系管理」（主催：森林総合研究所、2017年12月10日、那覇市、観客約70名）にて講演、「かろうじて生き残ったオキナワトゲネズミ：絶滅を回避するために今できること」
- 2) 小高信彦：日本鳥学会2017年度大会 公開シンポジウム「生態学者 vs 外来生物 本気で根絶, 本気で再生 奄美・沖縄・小笠原」（主催：日本鳥学会、2017年9月18日、筑波大学）にて講演、「回復する森林生態系：沖縄島北部やんばる地域の固有鳥類と外来種マングース対策」
- 3) 亘悠哉：公開シンポジウム「奄美発!世界初!!不可能と言われた根絶プロジェクト～根絶まであと一歩、バスターズの12年とこれから～」(主催：環境省那覇自然環境事務所、2017年11月19日、鹿児島県龍郷町)にて講演、「帰ってきた奄美の生き物たち」
- 4) 小高信彦：沖縄県立辺土名高校 特設授業（沖縄県大宜味村）(2016)、環境科1年生「やんばるの自然」
- 5) 小高信彦：沖縄県立辺土名高校 特設授業（沖縄県大宜味村）(2017)、環境科1年生「やんばるの自然」

### (5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 沖縄テレビ（平成29年12月18日18:14～、「みんなのニュースおきCORE 河川環境シリーズ」で沖縄島北部におけるノイヌ問題について取材を受け、撮影動画を提供した）
- 2) 沖縄テレビ（平成29年12月14日18:00～、「みんなのニュースおきCORE 河川環境シリーズ」で絶滅危惧種オキナワトゲネズミの現状と保全上の課題について紹介した）

### (6) その他

特に記載すべき事項はない。

## 8. 引用文献

- 1) 環境省那覇自然環境事務所編：平成 28 年度沖縄島北部地域マングース防除事業報告書、南西環境研究所，那覇，285pp. (2017)
- 2) 沖縄県環境部自然保護課：平成 28 年度マングース対策事業報告書（概要版）、八千代エンジニアリング株式会社，那覇，201pp. (2017)
- 3) Yamada F, Kawauchi N, Nakata K, Abe S, Kotaka N, Takashima A, Murata C and Kuroiwa A: Mammal Study, 35, 243-255 (2010) Rediscovery after thirty years since the last capture of the critically endangered Okinawa spiny rat *Tokudaia muenninki* in the northern part of Okinawa Island

## Ⅱ－３ 奄美・琉球の常緑広葉樹二次林における樹木の生産力と生態学的機能評価

琉球大学

農学部 助教

高嶋 敦史

<研究協力者>

琉球大学農学部(当時) 中西 晃(平成29年度)

平成27～29年度累計予算額：11,924千円(うち平成29年度：4,980千円)

予算額は、間接経費を含む。

### [要旨]

奄美・琉球の原生的な亜熱帯性常緑照葉樹林の特徴を把握するため、沖縄島北部やんばる地域の非皆伐成熟林に5箇所の試験地を設置した。試験地内の林分構造は、スダジイが共通の第1優占種であったが、第2優占種はイジュやイスノキなど、試験地間で違いがあった。野生生物の生息環境として重要な樹洞は、胸高直径40cm以上の幹で発生確率が高くなる傾向が見られた。樹種別では、イスノキにおいて、直径が比較的細い幹でも樹洞発生率が高くなっていることが確認された。ケナガネズミやヤンバルテナガコガネといった希少野生生物が利用している樹洞は、スダジイやイスノキに多く確認された。とくにイスノキは、大径木の生育本数が少ないにもかかわらず、希少野生生物による樹洞の利用が多くなっていた。非皆伐成熟林や65～70年生二次林の反復調査からは、スダジイ、イジュ、イスノキといった主要構成種の年平均直径成長量は2mm未満で、なかでもイスノキの成長が遅いことが確認された。また、双眼鏡を用いたスダジイ堅果観測手法が、堅果の豊凶モニタリングに有効であることも確認された。

### [キーワード]

林分構造、林分動態、樹洞、野生生物、堅果生産

### 1. はじめに

奄美・琉球の亜熱帯性常緑照葉樹林は、生物多様性の高い固有の森林生態系を形成していることが知られている。しかしながら、大半の森林は過去の人為活動の影響を受けており、強度な伐採を経験していない非皆伐成熟林は限られた面積しか残されていない。そこで、これら非皆伐成熟林の構造や動態、さらには希少野生生物が利用する樹洞や種子生産の豊凶パターンなどを解明することは、森林生態系の保全に向けて極めて重要である。そのため、複数の試験地を設定して林分構造を把握するとともに、樹洞の発生パターンなどを解き明かす。また、簡易な種子豊凶モニタリング手法の開発にも取り組む。

### 2. 研究開発目的

奄美・琉球の亜熱帯性常緑照葉樹林の中でも、原生的な環境に近い非皆伐成熟林の特徴や、そこに生息する希少野生生物の樹洞の利用パターン、餌として重要なスダジイ堅果の豊凶パターンを明らかにし、保全対象の森林生態系メカニズムを解明する。

### 3. 研究開発方法

まず、奄美・琉球の原生的な亜熱帯性常緑照葉樹林の特徴を把握するため、空中写真により第二次大戦以降発達した林冠が維持されていることが確認された沖縄島北部やんばる地域の非皆伐成熟林に5箇所の試験地を設置し、大径木の構造や樹洞の発生状況を取りまとめた(表(3)-1)。生立木に加え枯死木も測定対象とし、K試験地とYN試験地では胸高直径(DBH)15cm以上、FK試験地、NK試験地、NI試験地では同30cm以上の幹について調査を実施した。



表(3)-1 非皆伐成熟林に設置した5試験地の概要

| 試験地 | 面積                | 測定対象幹     |
|-----|-------------------|-----------|
| K   | 0.36ha (60m×60m)  | 胸高直径≥15cm |
| YN  | 0.25ha (50m×50m)  | 胸高直径≥15cm |
| FK  | 0.50ha (100m×50m) | 胸高直径≥30cm |
| NK  | 0.16ha (40m×40m)  | 胸高直径≥30cm |
| NI  | 0.16ha (40m×40m)  | 胸高直径≥30cm |

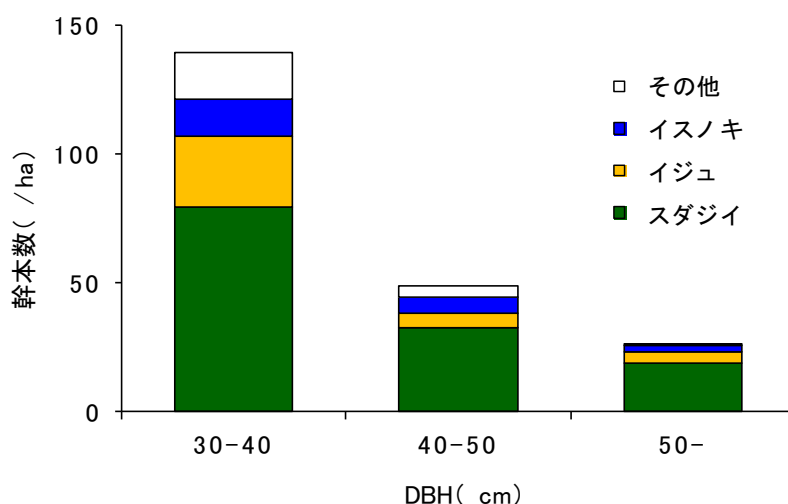
また、やんばる地域の亜熱帯性常緑照葉樹林の動態や樹木の成長量を検証するため、非皆伐成熟林に1箇所、第二次大戦後に伐採されたのち再生した65～70年生二次林に1箇所設置されている試験地の継続調査の結果を取りまとめた。前者は、琉球大学与那フィールド演習林内に位置し、モニタリングサイト1000森林・草原調査でコアサイトに登録されている「与那サイト」(100m×100m、1.00ha)の2004年度から2015年度にかけて毎年取得されたデータを使用した(測定は1～3月に実施されるため、測定年は2005～2016年)。なお、この試験地は、2012年9月に台風による大規模な攪乱を受けている。後者は、国頭村環境教育センター「やんばる学びの森」内に設定された試験地(100m×50m、0.50ha)の2008年6月から2009年7月にかけて取得されたデータと、本研究で調査した2015年11月の測定結果を使用した(測定間隔は7年とみなす)。測定対象は、ともに胸高周囲長(GBH)15cm以上の全ての生立木で、DBHに換算すると約4.8cm以上となる。なお、樹木の成長量は、各測定期間(前者は各1年間、後者は7年間)の期首と期末にともし生育し、正常な記録が行われた幹を対象にして集計した。

樹洞の調査は、非皆伐成熟林に設定した5箇所の試験地内の測定対象サイズに達した生立木と枯死木を対象に実施した。ここでは、幹、枝、根などに発生した穴について、開口部からの奥行きが上下左右もしくは正面方向のいずれかでも10cm以上あるものを樹洞と定義した。なお、ケナガネズミとヤンバルテナガゴガネによる樹洞利用木の探索は、5試験地内に限らず、やんばる地域および奄美大島の森林を対象に広域的に実施した。

さらに、奄美・琉球の亜熱帯性常緑照葉樹林で優占するスダジイの堅果生産量を、双眼鏡を用いて簡易にモニタリングする手法を開発した。具体的には、複数名が双眼鏡を用いて対象木の樹冠を30秒間観察する行動を原則4回繰り返し、カウントされた堅果数を記録した。

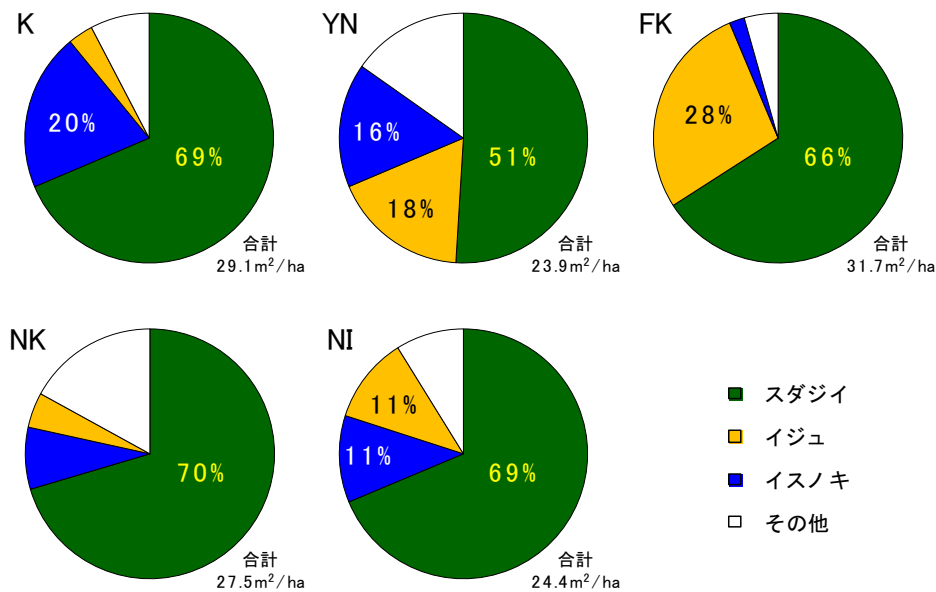
#### 4. 結果及び考察

##### (1) 亜熱帯性常緑照葉樹林における非皆伐成熟林の林分構造



図(3)-1 非皆伐成熟林5試験地を合計したDBH30cm以上の幹のDBH階別本数分布

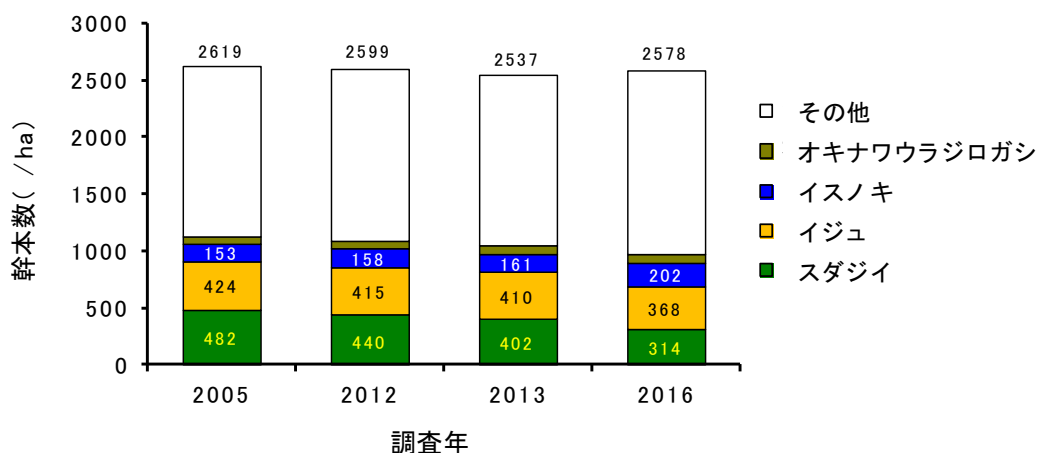
非皆伐成熟林に設置した5箇所の試験地（合計1.43ha）で記録されたDBH30cm以上の生立木のサイズ分布をhaあたりに換算して図(3)-1に示す。全樹種を合計したDBH30cm以上の生立木の密度は215.4本/haであったが、同40cm以上では密度が大幅に低下して75.5本/ha、同50cm以上では26.6本/haとなっていた。樹種別にみると、同30cm以上の幹はスダジイが131.5本/ha、イジュが37.1本/ha、イスノキが23.8本/haとなっており、この3種で89.3%を占めた。



図(3)-2 非皆伐成熟林5試験地におけるDBH30cm以上の生立木の胸高断面積優占度

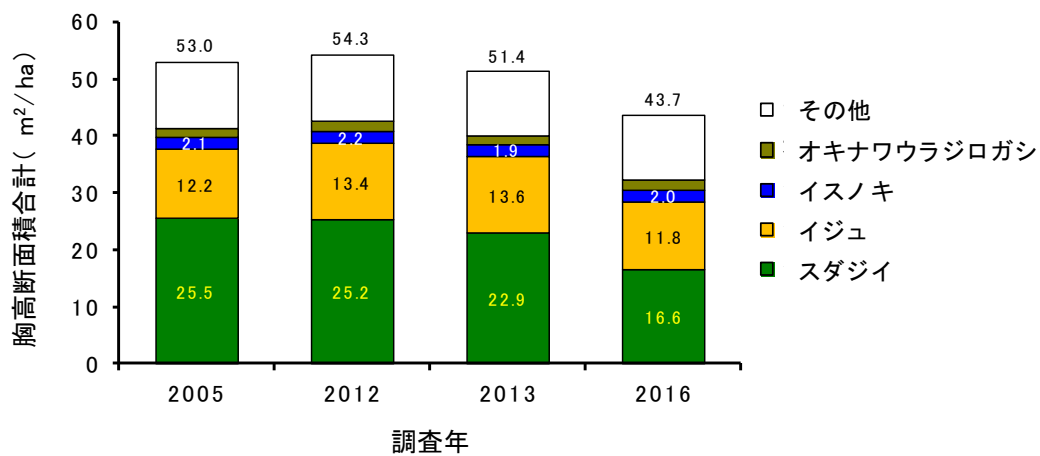
試験地ごとのDBH30cm以上の生立木の胸高断面積優占度を図(3)-2に示す。いずれの試験地もスダジイが50～70%を占めて突出した第1優占種となっているが、第2優占種がイスノキになる試験地やイジュになる試験地などがあり、非皆伐成熟林という括りの中でも大径木の林分構造にある程度の差異があることが判明した。一般に、イジュは攪乱や施業の影響を受けた林床の明るい林分で密度が高くなるため、イジュの優占度が高いFK試験地は、自然攪乱か試験地周辺の人為攪乱の影響が及んでいる可能性が疑われた。一方で、成長が遅いイスノキの優占度が高くなっているK試験地は、目立った攪乱の影響を受けていない可能性が考えられた。

## (2) 亜熱帯性常緑照葉樹林の林分動態および樹木の成長量



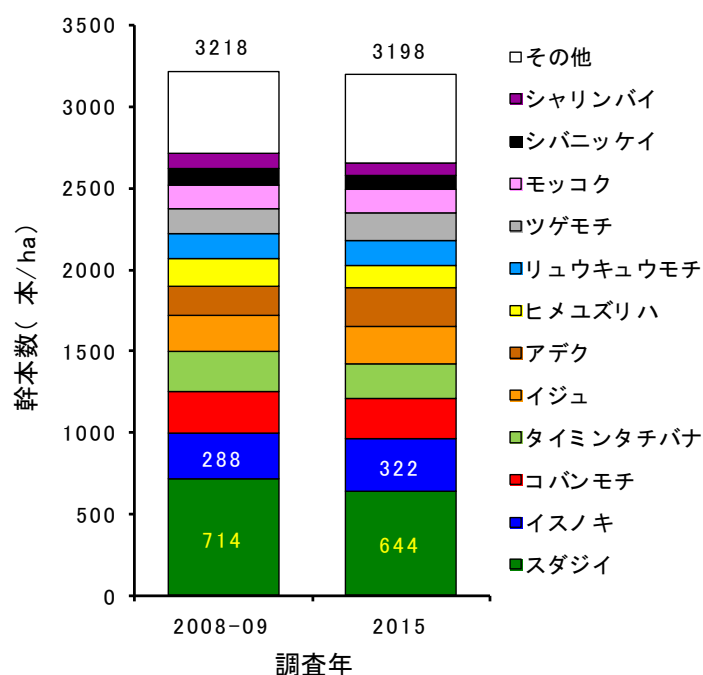
図(3)-3 非皆伐成熟林「与那サイト」における幹本数の推移

非皆伐成熟林の動態を2005年から2016年にかけて追ったモニタリングサイト1000「与那サイト」の継続調査で得られたデータから、期首の2005年、台風攪乱を受ける直前の2012年、攪乱を受けた直後の2013年、期末の2016年の幹本数密度を図(3)-3に、胸高断面積合計を図(3)-4に表した。



図(3)-4 非皆伐成熟林「与那サイト」における胸高断面積合計の推移

まず、幹本数密度は、全種合計では台風攪乱直後の2013年にやや減少したが、11年間の測定期間を通じて大きな変動は見られず、2,500～2,600本/ha前後で推移した。しかしながら、樹種別では林冠を優占するスダジイが単調減少の傾向を示し、とくに台風攪乱後に目立った減少が確認された。同じく林冠を一定割合占めるイジュも、スダジイほど急でないものの単調現象の傾向を示し、台風攪乱後に減少傾向が強まった。スダジイ、イジュともに台風攪乱直後の2013年を過ぎてから2016年までの間に大幅な減少がみられるが、このことは、台風攪乱直後は損傷して樹勢を落としながらも生存していた幹が、その後徐々に枯死していった現象を表している。一方で、林冠に達するものの低木層～亜高木層にも多く見られ遷移後期種とされるイスノキは単調増加の傾向を示し、台風攪乱後には目立って増加した。このことは、台風攪乱前に測定対象サイズ未満だったイスノキが、攪乱後には林内の光環境改善を受けて多

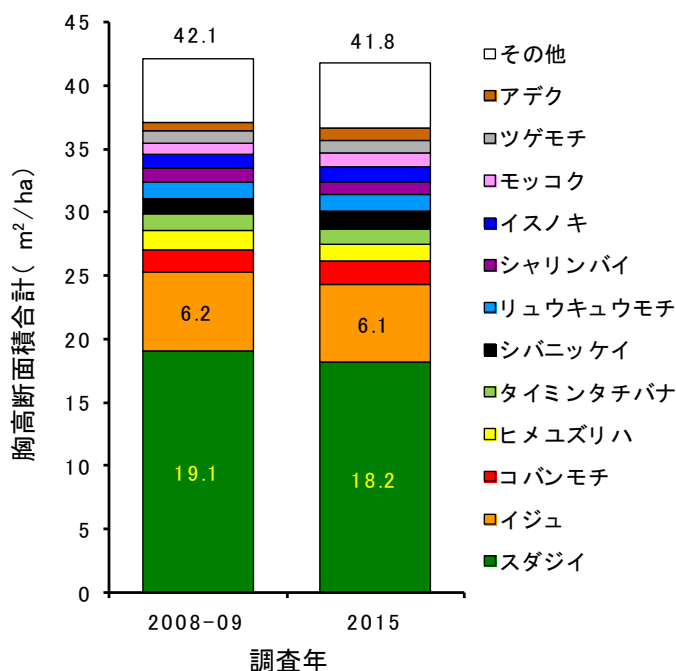


図(3)-5 「やんばる学びの森」内65～70年生二次林試験地における幹本数の推移

くが進界木として記録された現象を表している。

胸高断面積合計は、全種合計では台風攪乱直後の2013年から減少傾向に転じ、2016年には攪乱前の2012年と比べて19.5%の減少となった。なかでもスダジイの減少が顕著で、2012年と比べて34.2%の減少となった。2013年から2016年にかけても減少が続いているのは、先述のように、台風攪乱で樹勢を低下させた幹が徐々に枯死しているためである。

65～70年生の二次林の動態を2008-09年から2015年にかけて追った「やんばる学びの森」内に設定された試験地の2度の調査結果から、期首の2008-09年と期末の2015年の幹本数密度を図(3)-5に、胸高断面積合計を図(3)-6に表した。



図(3)-6 「やんばる学びの森」内65～70年生二次林試験地における胸高断面積合計の推移

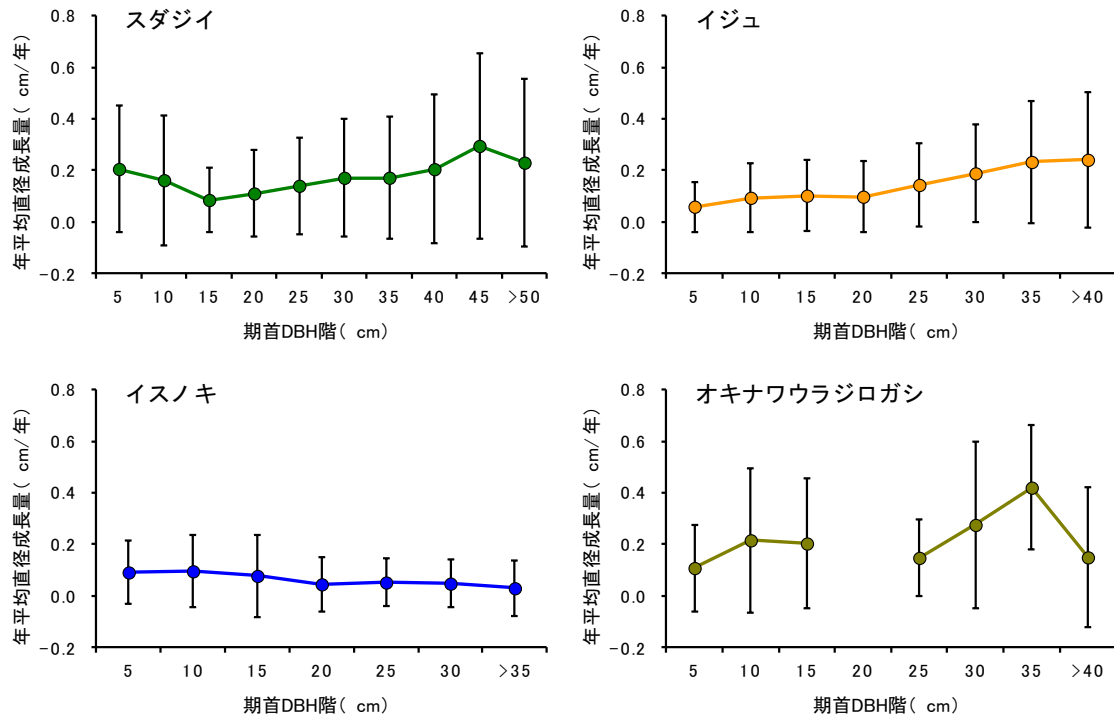
本試験地は、非皆伐成熟林「与那サイト」に大きな攪乱をもたらした2012年の台風による被害をそれほど大きく受けなかった。しかしながら、全樹種合計の幹本数密度はやや減少し、なかでもスダジイの減少が目立った。いっぽうで、遷移後期種のイスノキが幹本数を増やしている傾向が見られ、低木～亜高木層において徐々に優占度を高めつつある状況が確認できた。胸高断面積合計も全樹種合計でやや減少したが、減少率は0.9%に留まり、非皆伐成熟林の「与那サイト」の結果と比較すると大幅に低かった。樹種別ではスダジイの減少率が4.6%となっていたが、これも「与那サイト」の結果より大幅に低かった。この結果から、スダジイの幹本数密度の減少は、森林の遷移に伴う幹間競争による自己間引きの影響を受けているものと考えられた。

非皆伐成熟林の「与那サイト」の継続調査から得られた樹種ごとの年平均直径成長量を図(3)-7に示した。また、65～70年生二次林の「やんばる学びの森」内に設定された試験地から得られた樹種ごとの年平均直径成長量を図(3)-8に示した。

スダジイは、非皆伐成熟林、65～70年生二次林ともに、全直径サイズの幹を集計した年平均直径成長量が0.15cmとなった。非皆伐成熟林では、若い萌芽幹の多いDBH階5～10cmで比較的旺盛な成長がみられ、DBH階15cmで成長量が落ち込み、それ以上のサイズになるとDBH階45cmに達するまで幹が太くなるほど成長量が大きくなる傾向が確認された。65～70年生二次林では、DBH階25cmで成長量がやや落ち込んでいた。

イジュは、非皆伐成熟林、65～70年生二次林ともに、全直径サイズの幹を集計した年平均直径成長

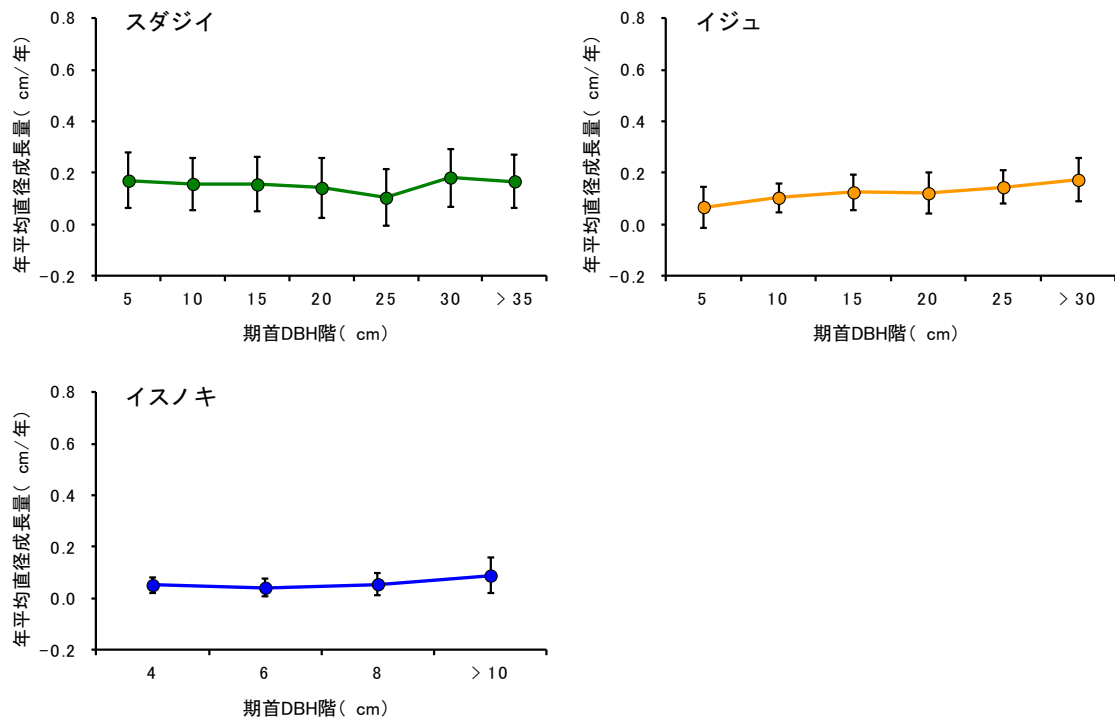




図(3)-7 非皆伐成熟林「与那サイト」における樹種ごとの年平均直径成長量

量が0.12cmとなった。また、両試験地とも、最大直径階に達するまで幹が太くなるほど成長量が大きくなる傾向が確認された。イジュは、イタジイのような萌芽更新はあまり見られずに実生更新が大半を占めていると推察されるため、DBH階5~10cm程度の小径木が旺盛な成長を見せることはなかった。

イスノキは、全直径サイズの幹を集計した年平均直径成長量が、非皆伐成熟林では0.08cm、65~70年生二次林では0.05cmとなり、スダジイやイジュと比べて大幅に成長が遅いことが明らかになった。

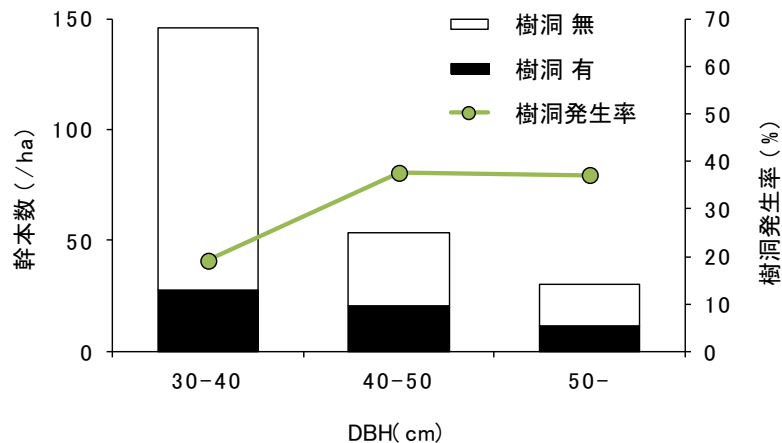


図(3)-8 「やんばる学びの森」内65~70年生二次林試験地における樹種ごとの年平均直径

### (3) 樹洞の発生と生物の利用状況

K、YN、FK、NK、NIの非皆伐成熟林5試験地（合計1.43ha）で、DBH30cm以上の幹の本数密度は、枯死木を含め230.1本/haとなっていた。内訳は、スダジイが144.1本/ha、イジュが37.1本/ha、イスノキが25.2本/haなどとなっていた。

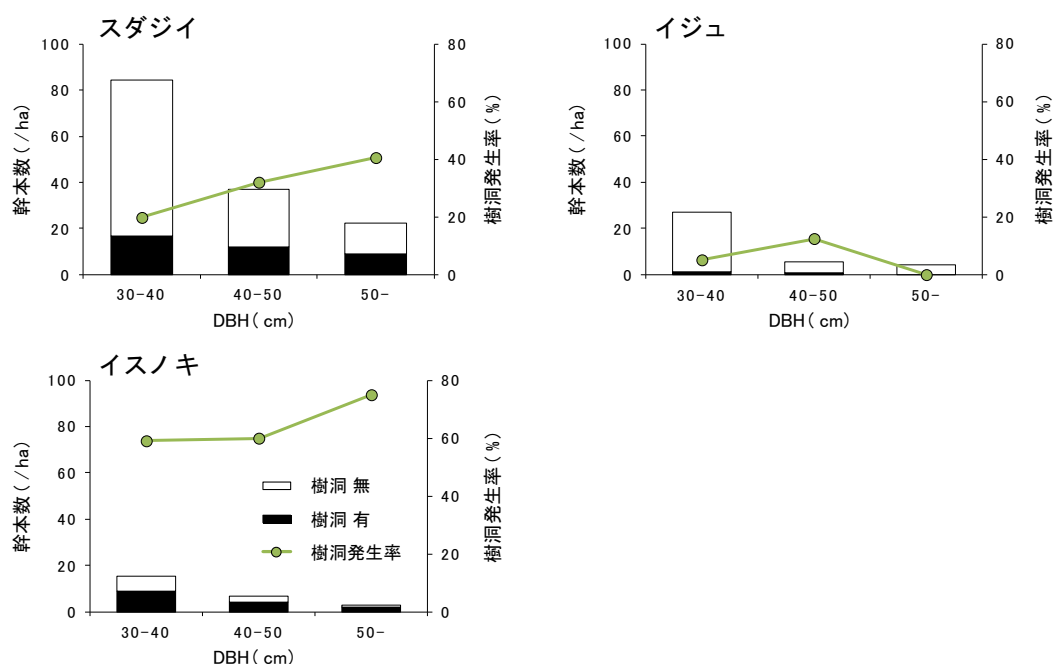
枯死木を含む全樹種合計のDBH階別幹本数分布を樹洞の有無で区別し、樹洞の発生率と重ねたグラフを図(3)-9に示す。DBH30-40cmに比べ、DBH40cm以上では幹本数は大幅に減少するものの、樹洞発生率は逆に高くなっている傾向がみられた。



図(3)-9 非皆伐成熟林5試験地の全樹種合計のDBH階別樹洞発生状況（枯死木を含む）

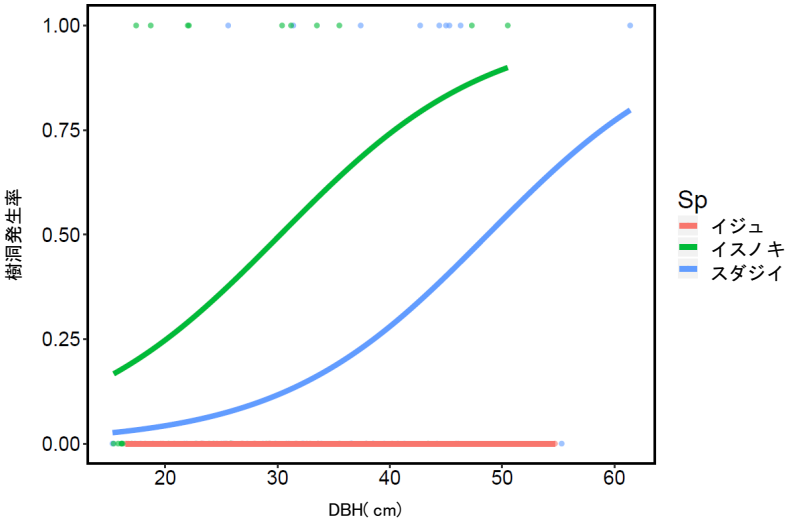
樹種別でみると、スダジイはDBH30-40cmで樹洞発生率19.8%、DBH40-50cmで同32.1%、DBH>50cmで同40.6%と、DBHが大きくなるにつれ、樹洞発生率が高くなる傾向が確認された（図(3)-10）。イジュは、DBH30-40cmで樹洞発生率5.1%、DBH40-50cmで同12.5%、DBH>50cmで同0.0%と、DBHが大きくなっても樹洞発生確率は低いままであった。一方で、イスノキはDBH30-40cmで樹洞発生率59.1%、DBH40-50cmで同60.0%、DBH>50cmで同75.0%と、DBHが比較的小さくても高い樹洞発生確率を示すことが明らかになった。

また、YN試験地で測定したDBH $\geq$ 15cmの測定対象幹について、樹種ごとにDBHと樹洞発生有無の関係



図(3)-10 非皆伐成熟林5試験地の樹種ごとのDBH階別樹洞発生状況（枯死木を含む）

性を示すロジスティック回帰分析を行うと、図(3)-11のような結果が得られた。イスノキとスダジイはDBHの増加に伴い樹洞発生率が上昇するが、イスノキのほうがより細い幹で高い樹洞発生率を示す結果となった。その一方、イジュには樹洞発生木が存在しなかった。



図(3)-11 DBHと樹洞発生有無の関係性を示すロジスティック回帰分析（YN試験地）

希少野生生物の樹洞利用について、まずケナガネズミについて、平成27～29年度の3年間で合計16本の樹洞利用木のデータが集まった（表(3)-2）。地域別では、やんばる地域で10本、奄美大島で6本となった。樹種別にみると、スダジイが最も多く10本を占め、次いでイスノキ4本、ホルトノキとハゼノキが1本ずつとなっていた。奄美大島では、記録されたすべての幹がスダジイであった。樹洞利用木のDBHについて、平均値と標準偏差を2地域合計で集計すると、スダジイが48.4±16.8cm、イスノキが44.0cm±12.9cmなどとなった。

表(3)-2 ケナガネズミによる樹洞利用木の集計表

| 樹種    | やんばる   |           | 奄美大島  |          | 2地域合計  |           |
|-------|--------|-----------|-------|----------|--------|-----------|
|       | 本数     | DBH (cm)  | 本数    | DBH (cm) | 本数     | DBH (cm)  |
| スダジイ  | 4 (2)  | 55.3±25.0 | 6 (1) | 43.8±8.2 | 10 (3) | 48.4±16.8 |
| イスノキ  | 4      | 44.0±12.9 |       |          | 4      | 44.0±12.9 |
| ホルトノキ | 1      | 52.9      |       |          | 1      | 52.9      |
| ハゼノキ  | 1      | 43.7      |       |          | 1      | 43.7      |
| 合計    | 10 (2) | 49.4±17.2 | 6 (1) | 43.8±8.2 | 16 (3) | 47.3±14.4 |

本数の( )内は枯死木

続いて、ヤンバルテナガコガネについては、平成27～29年度の3年間で合計17本の樹洞利用木のデータが集まった（表(3)-3）。樹種別にみると、スダジイ10本、イスノキ6本、オキナワウラジロガシ1本となった。スダジイのうち、半数の5本は枯死木であった。データが得られた17本のうち、10本は環境省が業務で得たデータからの情報提供であったが、7本は本プロジェクトの調査で発見したものであった。従来のヤンバルテナガコガネ保護増殖事業では、平成16～26年度の11年間で繁殖木の情報取得は4件に留まり、3年に1件程度しか情報が得られていなかった。しかし、本プロジェクトにおいて効率的な探索手法を開発したことが、繁殖樹洞の発見数増加につながったと考えられる。なお、この発見数増加

は、生息可能な林分や樹洞木の探索効率が高まったためで、ヤンバルテナゴコガネが増加したことを示しているわけではない。断片化され限られた樹洞木のある林分を、効率よく探索できるようになったことで発見事例が増えたものと考えられる。探索手法の詳細は、密猟防止の観点から公表できないが、これらのデータはすべて環境省やんばる野生生物保護センターを通じてヤンバルテナゴコガネ保護増殖事業と共有されている。

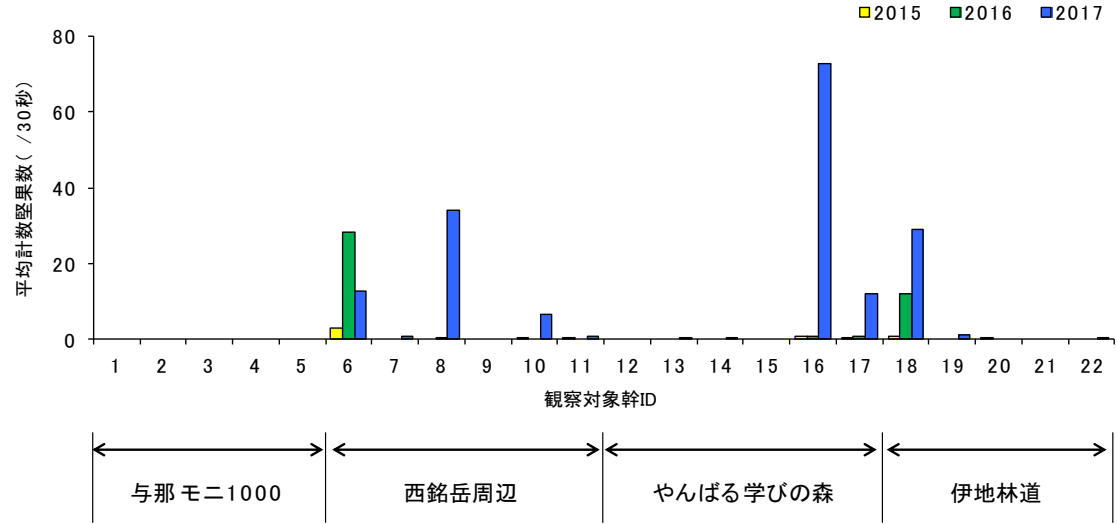
表(3)-3 ヤンバルテナゴコガネによる樹洞利用木の集計表

| 樹種         | 本数     | DBH (cm)              |
|------------|--------|-----------------------|
| スタジイ       | 10 (5) | 49.6±12.7             |
| イスノキ       | 6      | 47.7±9.9              |
| オキナワウラジロガシ | 1      | ※根元から52cm高の直径=100.3cm |
| 合計         | 17 (5) | 48.9±11.4             |

本数の( )内は枯死木

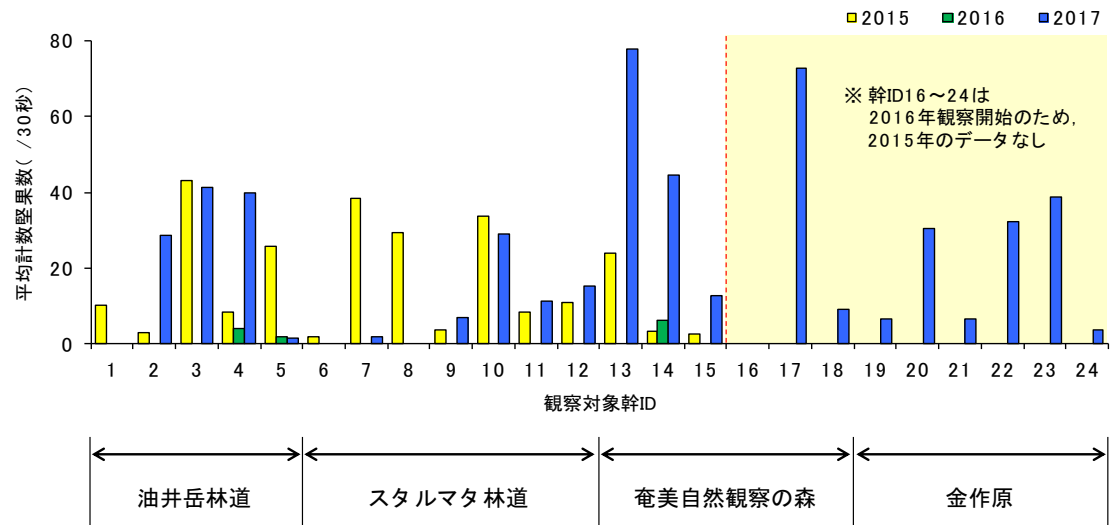
(4) 双眼鏡を用いたスタジイ堅果モニタリング手法の開発

所定の手法に従っておこなわれたスタジイ堅果の平均計測数について、やんばる地域の結果を図(3)-12に、奄美大島の結果を図(3)-13に示す。やんばる地域では、2015年はほとんど堅果が計数されない凶作であった。一方、2016年には2幹、2017年には5～6幹でまとまった堅果生産が確認できた。また、奄美大島は2015年と2017年が豊作で、2016年が凶作にあたるような結果であったが、個々の幹のレベルで堅果生産量を押さえることができた。これらの結果から、本研究で検討された双眼鏡を用いたスタジイ堅果のモニタリング手法は簡便であり、かつ精度の高い手法であることが確認できた。



図(3)-12 やんばる地域におけるスタジイの平均堅果計測数





図(3)-13 奄美大島におけるスダジイの平均堅果計測数

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

国立公園に指定され、世界自然遺産登録を目指すやんばる地域の亜熱帯性常緑照葉樹林において、非皆伐成熟林や65～70年生二次林の構造、動態・遷移段階、代表樹種の成長量などを明らかにした。また、希少野生生物が利用し、生息環境として欠かせない樹洞の密度やその発生確率なども明らかにした。さらに、森林の更新や生物の餌資源として重要なスダジイ堅果の簡易な豊凶モニタリング手法を確立することができた。

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

世界自然遺産候補地や、その周辺のバッファゾーンの森林管理計画をたてる際、林分の構造、動態・遷移段階、代表樹種の成長量などの数値を参考にして検討することが可能になった。また、希少生物が利用する樹洞の密度や発生メカニズムが徐々に明らかになってきており、保護や保全に向けた根拠として使用することができるようになった。

## 6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文(査読あり)>

- 1) 高嶋敦史、稲福真一：九州森林研究、70、17-20 (2017) 沖縄島やんばる地域における65～70年生二次林の動態

### (2) 口頭発表(学会等)

- 1) 高嶋敦史、稲福真一：第72回九州森林学会大会、316（2016）  
「沖縄島やんばる地域における戦後の伐採から再生した二次林の動態」
- 2) 高嶋敦史：第128回日本森林学会大会学術講演集、p241（P2-068）（2017）  
「沖縄島やんばる地域における非皆伐成熟林の動態と台風攪乱の影響」

### （３）知的財産権

特に記載すべき事項はない。

### （４）「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 高嶋敦史、齋藤和彦：環境研究総合推進費シンポジウム2015@辺土名高校「やんばるの森にふさわしい生態系管理のために」（主催：森林総合研究所、2015年12月、沖縄県大宜味村、観客約90名）にて講演、「調べてなっとく！やんばるの森」
- 2) 高嶋敦史：環境研究総合推進費シンポジウム2017@沖縄県青年会館「世界自然遺産登録に向けたやんばるの森の生態系管理（主催：森林総合研究所、2017年12月10日、那覇市、観客約70名）にて講演、「多様な動植物の暮らしを支えるやんばるの森の木々」

### （５）マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

### （６）その他

特に記載すべき事項はない。

## ８．引用文献

特に記載すべき事項はない。

## Ⅱ－４ 溪流の環境DNAを用いた森林伐採の影響解明とモニタリング手法の開発

東京農工大学

自然環境保全学専攻 准教授 岩井 紀子

<研究協力者>

島根大学 生物資源科学部 高原 輝彦

広島大学 両生類研究センター 井川 武

平成27～29年度累計予算額：18,864千円（うち平成29年度：6,288千円）

予算額は、間接経費を含む。

### 〔要旨〕

森林生態系には、林業が営まれる陸上生態系だけでなく、溪流や池沼などの水域生態系も含まれる。両生類は森林水域に生息し、環境の質に敏感な指標生物であり、奄美大島以南の島々には多くの希少な両生類が生息しているが、広域の分布解析による繁殖適地、生息適地の解明は行われていない。本研究では、従来の手法である踏査とレコーダによる分布調査によって分布情報を得るとともに、新たな手法として環境DNAを用いた在不在判定手法を確立した。従来手法によって得られた分布データから、好適な繁殖環境を解析した結果、アマミイシカワガエルとオットンガエルは互いに似た環境を好み、標高が高く、流量の少ない水域に多く繁殖していた。一方、アマミハナサキガエルは標高や流量に選好性を見せず、他2種との選好性の相似、相違ともにみられなかった。これら3種を同時に保全対象とする場合は、アマミイシカワガエルとオットンガエルに適した標高が高く流量が少ない地域に加え、アマミハナサキガエルの存在する下流部も対象とする必要があると考えられた。また、3種すべてにおいて、林齢の影響は限定的であり、森林伐採の影響は大きくないと考えられた。環境DNAを用いた在不在判定は、在地点を正しく在とする確率は8割以上であり、広域のモニタリングには十分適応可能と考えられた。また、対象種の生態に合わせて、適した季節に、複数回の水サンプルの採取を行うことが、判定精度を上げるためには必要であることが示唆された。しかし、環境DNA濃度は対象種の個体数やバイオマスと必ずしも相関せず、量的な判定の正確性は不十分であることが分かった。今後、より正確な検出や生物量の推定にはさらなる手法の改善が必要であることが示された。

### 〔キーワード〕

両生類、奄美大島、オットンガエル、アマミイシカワガエル、アマミハナサキガエル

### 1. はじめに

森林生態系は林業に資する陸上生態系だけでなく、溪流や池沼などの水域生態系も含有する。森林生態系における生物保全は、しばしば陸上生態系を対象とし、水域の生物が対象となることは少ない。しかし、水域の生物は陸上に比べて生息地が限定されるため、環境悪化の影響を受けやすいと考えられ、保全の必要性は高い。特に両生類は、水域で幼生ステージ、陸上で成体ステージを過ごし、双方の環境の影響を受けるため、環境指標種として注目されている<sup>1)</sup>。繁殖地、また、幼生の生息地としての水域環境が適した状態にあれば、陸域に移動後もその正の影響が持続する効果もあるとされ<sup>2)</sup>、両生類の繁殖地や幼生を対象とした保全策が求められる。そのためにはまず、繁殖地や幼生の生息地として適した環境を知ることが必要である<sup>3)</sup>。

奄美大島以南の島々には、多くの希少な両生類が生息している。国指定、県指定の天然記念物として、アマミイシカワガエル、オキナワイシカワガエル、アマミハナサキガエル、オットンガエル、ホルストガエル、ナミエガエル、イボイモリの7種が挙げられるが、これらの種の詳細な生態解明はされて

いないのが現状であり、広域の分布解析による繁殖適地、生息適地の解明も行われていない。

両生類の繁殖地や幼生の生息地は、従来、成体の繁殖のための鳴き声を確認したり、卵や幼生、繁殖を行っている成体の目視によって確認されたりしてきた。しかし、これら従来の目視による調査は、発見率は100%ではないことから、複数回の調査が必要である。また、レコーダを設置して鳴き声を確認する調査は、膨大な時間のデータを直接聞き取ることが必要であり、労力がかかっていた。限られた予算や労力の中で、長期間、広範囲における両生類のモニタリングを行うための新たな手法が望まれていた。

環境DNA分析は、野外では少量の水サンプルを採取して、そこに含まれるDNAを検出することで、対象種の在不在などを判定する手法であり、近年著しい手法の開発が進んでいる<sup>4)</sup>。同一のサンプルから複数種の在不在情報を得られ、調査が一度で済むことから、労力の少ない確実な方法として注目されている。現在まで、止水域で多く適用され、外来種の在不在判定を行えること、また、実験的に導入した対象種のバイオマスを推定することが可能であることが示されてきた<sup>5)</sup>。しかし、渓流水にはあまり適用されておらず、バイオマス推定への適用可能性も不明であった。

## 2. 研究開発目的

本研究では、奄美大島に生息する両生類を対象として水域における好適環境を明らかにし、森林伐採の影響を検証すること、その際、従来の方法を用いた在不在情報を得るとともに、環境DNAの手法を適用し、在不在情報獲得手法として確立することを目的とした。

## 3. 研究開発方法

### (1) 従来手法を用いた在不在データの作成と森林伐採の影響解析

#### 1) 従来の方法による在不在データの作成

踏査、ICレコーダによって、アマミイシカワガエル、オットンガエル、アマミハナサキガエルの在不在確認を行なった。在地点は、踏査時に卵、幼生、もしくは鳴き声を確認した地点とした。不在地点は、ICレコーダの設置により每晚10時から3分間の録音を行い、繁殖期ピークの10日～2週間程度の間に繁殖コールが確認されなかった地点とした。

#### 2) 森林伐採の影響解析

十分な在不在データが得られたアマミイシカワガエルとオットンガエルについて、在不在データを分類する決定木を作成し、また、ランダムフォレストによって変数の重要度を計算した。分類に用いた環境要因としては、集水面積、TWI、標高、斜度、日照量、集水域内の平均林齢、500mバッファ内の平均林齢、対象地の林齢、斜面方位、地質、流域内の道路長（1車線道路、2車線もしくはトンネル、未舗装別）、500mバッファ内の道路長、を用いた。林齢については、森林簿を用い、これに国有林地図からの情報を加え、ArcGIS上で加工した。道路については、国土地理院の2万5千分の1地図をもとに、ArcGIS上でライン化し、現地踏査による実際の道路状況から、未舗装、1車線舗装、2車線舗装、トンネル、に分類したものをを用いた。その他の変数については、国土地理院の標高データをもとにArcGIS上で計算した。

#### 3) 繁殖適地の種間比較

種間関係を考慮することが可能な、Joint Species Distribution Modelを用い、アマミイシカワガエル、オットンガエル、アマミハナサキガエル3種の繁殖適地を解析した。解析の際には、流量、水温、pH、EC、標高、斜度、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度、林齢、および近隣地点における同種の在不在を考慮した。近隣地点は、調査地点から150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1,000 m以内のMoran's Iを計算し、有意であった場合、最もMoran's Iが高かった距離内とした。

### (2) 環境DNAによる在不在判定

環境DNA実験に用いるプライマー・プローブを遺伝子配列における適切な位置に設計するため、対象とする西南諸島絶滅危惧両生類8種（オットンガエル、ホルストガエル、アマミイシカワガエル、オキナ



ワイシカワガエル、アマミハナサキガエル、ハナサキガエル、オオハナサキガエル、コガタハナサキガエル) について、それぞれの種の生息域全域を網羅した約100サンプルについて、ND5遺伝子の完全長である約1,800塩基をPCRにて増幅し、シーケンサーにより塩基配列を決定した。さらに得られた配列を用いて、Sliding Window解析を行い、塩基置換率の部位ごとの違いを検証した。これによって得られた、オットンガエル15個体分、アマミハナサキガエル16個体分、アマミイシカワガエル17個体分のミトコンドリアNADH dehydrogenase subunit 5 (ND5) 遺伝子の塩基配列を用いて、Primer Express Software (サーモフィッシャー社) によって、オットンガエル、アマミイシカワガエル、アマミハナサキガエル各種のDNAを増幅させるリアルタイムPCR用のプライマー・プローブを作成した。

作成したプライマー・プローブ3セットを用いて、上記3種それぞれのDNAを特異的に増幅させるかどうかについて組織抽出DNAを用いて検証した。

### (3) 環境DNAを用いた個体数推定の可能性検証

#### 1) 室内実験

カエル幼生のバイオマス、発育段階と環境DNA脱落速度との関係を明らかにするため、溪流性のタゴガエルを用いた室内実験を行った。容器に500mlの水を用意し、バイオマスの実験では幼生を0, 1, 2, 6, 10, 20個体、発育段階の実験ではステージ25、40、42の幼生を6個体ずつ、それぞれ加え、24時間後に水を回収して含まれる環境DNA濃度を測定した。

#### 2) 野外実験

タゴガエルの繁殖が確認されず、環境DNAも検出されなかった溪流の最上流部に、タゴガエル幼生62個体（高密度、2.49 g）、もしくは6個体（低密度、0.22 g）を網に入れて添加し、24時間後に添加地点から0、5、10、20、40、80 mの地点で1 Lずつの採水を行って環境DNA濃度を測定した。

#### 3) 野外調査

アマミイシカワガエルの幼生が確認されている7か所の沢において、2015年および2017年に異なる季節で複数回の採水を行ない、環境DNA量 (copies/s) を測定した。同時に、採水地点から上流10 m以内に観察された幼生の数を記録した。2017年の調査においては、上流10 m以内の幼生を捕獲してスケールとともに撮影し、画像上でその頭胴長を測定後、3乗した和を計算してバイオマスの指標とした。

## 4. 結果及び考察

### (1) 従来手法を用いた在不在データの作成と森林伐採の影響解析

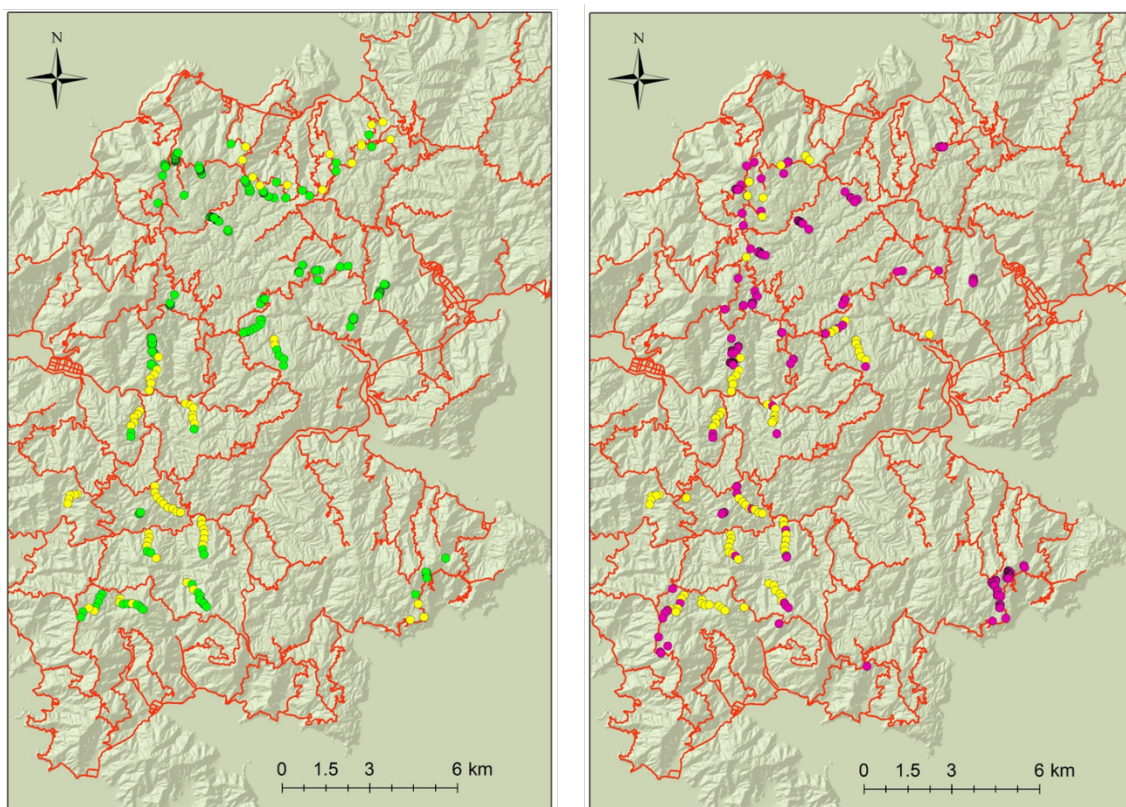
#### 1) 従来の方法による在不在データの作成

アマミイシカワガエルについては306地点、オットンガエルについては409地点、アマミハナサキガエルについては114地点のデータを取得した (図(4)-1)。

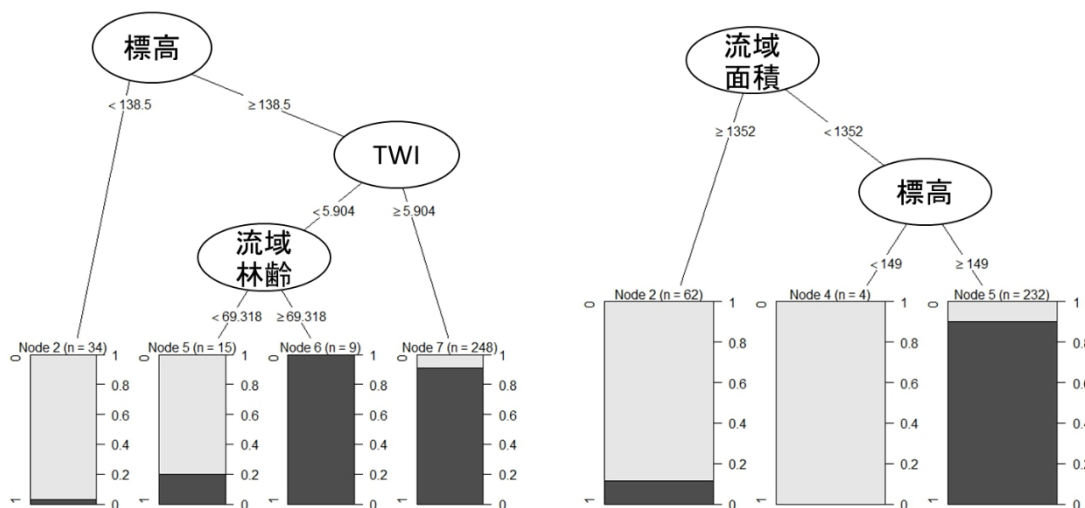
#### 2) 森林伐採の影響解析

決定木による解析の結果、アマミイシカワガエルは標高138.5 m以上、TWI5.9以上の場合、もしくは、標高138.5 m以上、TWI5.9未満で流域林齢が69.3年以上の場合に在となることが示された。また、オットンガエルでは、集水面積が0.135 km<sup>2</sup>未満かつ標高149m以上の場合に在となることが示された (図(4)-2)

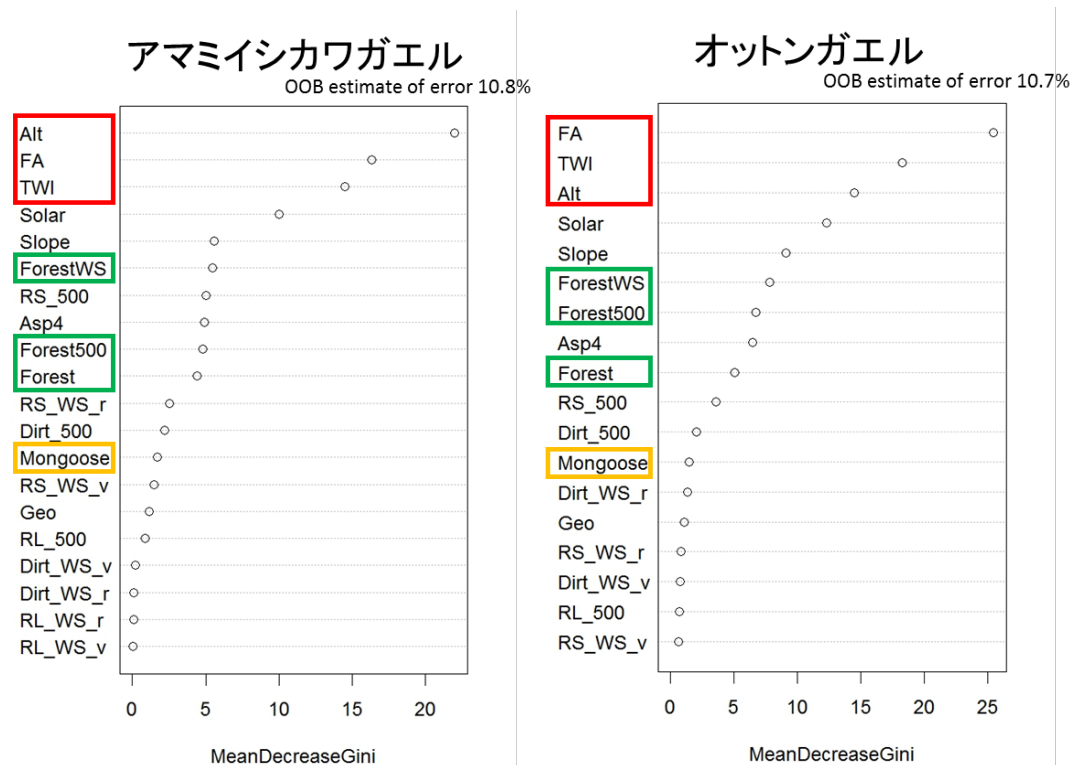
ランダムフォレストによる重要度の解析の結果、アマミイシカワガエル、オットンガエルともに標高、流量、TWIが上位3要因となった (図(4)-3)。林齢については集水域の平均林齢が両種ともに6位であったが、マングースについてはGini係数が低く、重要性が低いことが示された。道路に関する変数は、オットンガエルでは重要度が低かった一方で、アマミイシカワガエルでは集水域内の道路率が林齢と同程度に重要であった。



図(4)-1. アマイシカワガエル (左) とオットンガエル (右) の在不在データマップ。  
黄色が不在地点、緑またはピンクが在地点を示す。赤い線は道路を示す。



図(4)-2 アマイシカワガエル (左)、オットンガエル (右) の在不在に関する決定木



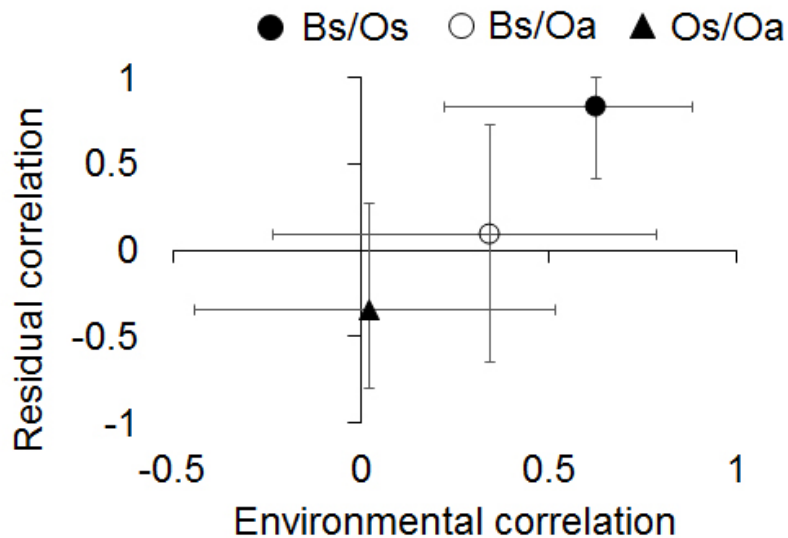
図(4)-3 アマミイシカワガエルとオットンガエルの在不在を決定するランダムフォレストで計算された重要度

決定木とランダムフォレストの結果から、アマミイシカワガエル、オットンガエルともに、標高が高く、水がたまる場所、ただし、流域面積が小さいような小水域が重要であることが明らかになった。これらは両種の繁殖特性に合致しており、繁殖地の適した環境がデータで裏付けされたといえる。林齢については、イシカワガエルにおいて69.3年以上という条件があったことから、TWIが低く、水があまりたまらないような場所でも利用できるためには、成熟した森林である必要が示された。しかし、この条件に当てはまったのは全体の3%であり、81%については標高とTWIで決まっていたことから、林齢が影響する場合は少ないと考えられた。

### 3) 繁殖適地の種間比較

67地点のうち、3種すべてが確認されたのは2か所、オットンガエルとアマミハナサキガエルだけであったのが2地点、オットンガエルとアマミイシカワガエルだけであったのが7地点、アマミイシカワガエルとアマミハナサキガエルだけであったのが5地点であった。オットンのみのサイトは0、アマミイシカワガエルのみは13地点、アマミハナサキガエルのみは15地点であった。

JSDMの結果、オットンガエルと奄美イシカワガエルについては流量が少ないほど繁殖地として利用していたが、アマミハナサキガエルについては関係は見られなかった。アマミイシカワガエルについては標高が高いことも正の影響を与えていた。種間関係としては、オットンガエルとアマミイシカワガエルはそれぞれの環境選好性を考慮して期待される以上に共存していたが、アマミハナサキガエルは他2種との関係は特に見られなかった（図(4)-4）。



図(4)-4. 環境相関と残差相関の関係。3種カエルを2種ずつペアにして種間関係を考慮している。Bs：オットンガエル、Os：アマミシカワガエル、Oa：アマミハナサキガエル。正の環境相関は対象の2種の環境選好性が似ていることを示す。バーは95%確信区間を示す。

種間関係を考慮した解析により、アマミシカワガエルの繁殖適地（標高が高く、流量が少ない）を保全することは、オットンガエルにとっても保全効果が高く、互いの競争関係による負の影響を心配する必要がないことが明らかになった。一方、アマミハナサキガエルは他2種の保全によって恩恵を被ることはなく独立なため、3種すべてを保全対象とする場合は、アマミシカワガエルとオットンガエルを対象にする施策と、アマミハナサキガエルを対象とする施策が必要となると考えられた。

林齢はどの種にも影響を与えるとは言えなかった。この解析に用いた地点は36年以上の林齢であったため、36年生以上であれば、これら希少カエル3種の繁殖地としては問題ないのかもしれない。



## 2) 環境DNAによる在不在判定

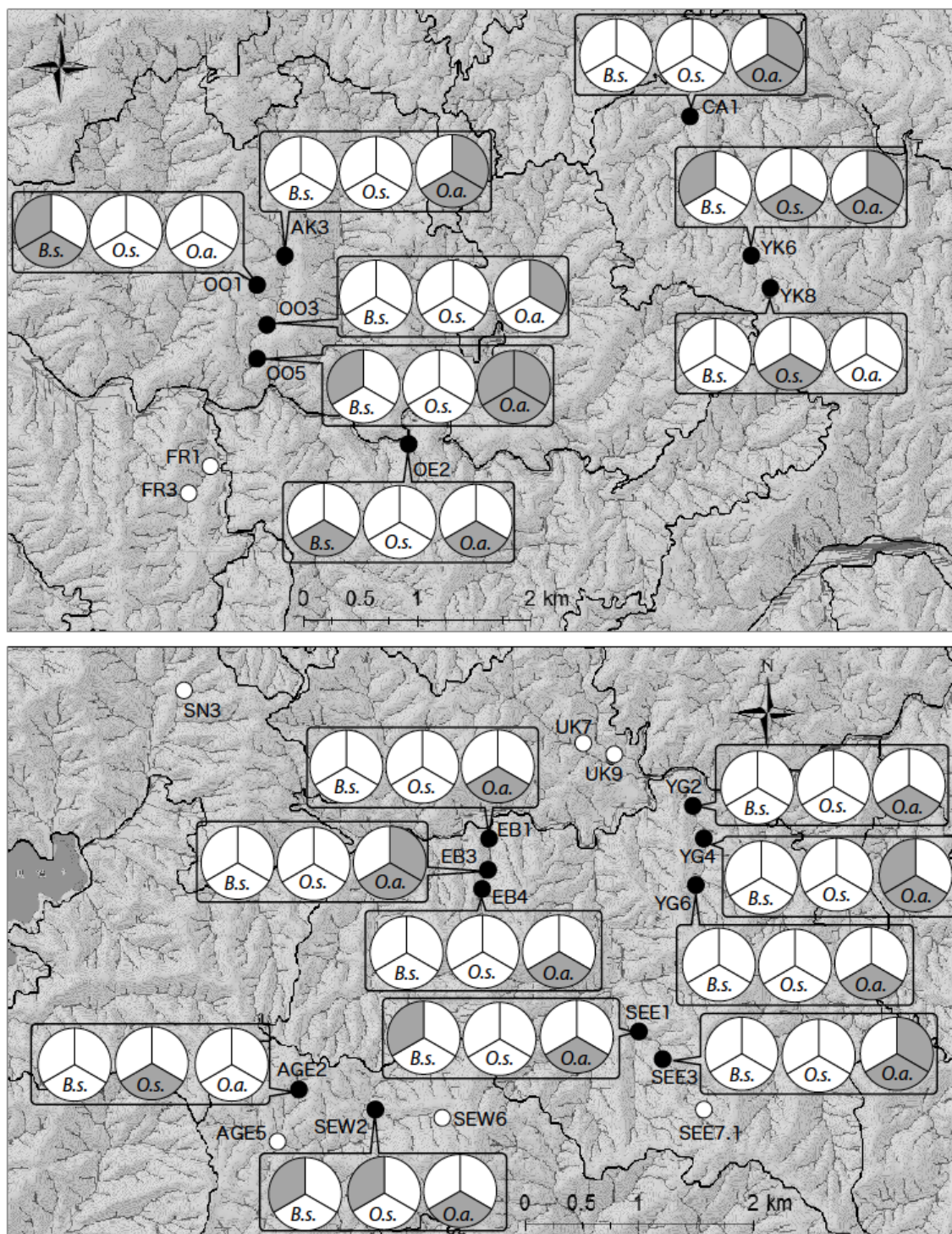
### 1) 環境DNA測定用プライマー・プローブを作成

作成したオットンガエル、アマミシカワガエル、アマミハナサキガエルのプライマー・プローブ3セットを用いて、それぞれ対象種特異的なDNAのみ増幅させることを確認した。

### 2) 環境DNAを用いた在不在の判定

作成したプライマー・プローブは、対象3種を種特異的に検出することに成功した。3季節分の採水を行った、26地点について、オットンガエル、アマミシカワガエル、アマミハナサキガエル3種の在不在を環境DNA法によって判定した結果、18地点でいずれかの種が検出された（図(4)-5）。検出したサイト数は種ごとに、また季節によって異なり、オットンガエルでは8月、アマミシカワガエルとアマミハナサキガエルでは5－6月が最も多かった。これは、水中の幼生のバイオマスを反映したと考えられる。オットンガエルは5月頃から繁殖が始まるが、ピークは7－8月であるため、卵や幼生のバイオマスが最も高くなる8月は環境DNAも多く、検出しやすかったと考えられる。アマミシカワガエルは2－4月に繁殖が行われ、変態は6月以降のため、また、アマミハナサキガエルについても、10－4月に繁殖し、5－6月頃から変態すると考えられるため、5－6月は幼生の個体数、バイオマスが高く、検出しやすかったと考えられる。オットンガエル、アマミシカワガエルはともに越冬幼生がみられるため、通年の検出が可能と考えていたが、冬季の検出数は少なく、越冬幼生が確認されていても検出されない地点もあった。冬季は個体数やバイオマス、また、活動性などの点から検出しにくい時期であり、環境DNA調査には不適と考えられた。このように、種によって環境DNA調査に適した時期が異なることは、これまで環境DNAの長所とされてきた、「一度の調査で複数種を調べられる」という点に頼りすぎるものの危険性を示している。例えば、5－6月のみ1回の調査で3種を対象にした場合、オットンガエルには不適な時期のため、過小評価してしまう可能性がある。環境DNA調査においては、対象とする種の特性に合わせ、時期を選ぶ必要がある。

環境DNAによる判定結果を、レコーダーによる判定結果（図(4)-1）と比較したところ、結果の異なる地点が見られた（表(4)-1）。これは、レコーダーは繁殖の鳴き声を対象とするのに対し、環境DNAは水中に対象種が放出するDNAを対象とするための齟齬と考えられる。鳴き声があってもその地点で繁殖が行われるとは限らず、また、レコーダーは遠くの声も拾うため、実際の繁殖地が遠い可能性もある。一方で、幼生は移動するため、繁殖地から離れた場所にいることもある。そのため、繁殖の鳴き声が遠くまで届き、幼生の移動距離が長い種ほど、レコーダーと環境DNAによる判定結果が異なりやすいと考えられた。そのため、対象とする種の生態と、得たい情報に合わせて、在不在の判定手法を選択することが必要であると考えられる。アマミハナサキガエルにおいては、レコーダーで検出された場所は全て環境DNAも検出された一方で、環境DNAのみで検出された地点も多く、環境DNAによる判定に適した種であると考えられた。これは、アマミハナサキガエルの声が小さく、遠くまで届かないため、ピンポイントで繁殖地にレコーダーをかけない限り判定しにくいことに加え、幼生の移動能力が高い可能性があり、そのために、環境DNAを用いたほうが多くの地点で検出するのだろう。オットンガエルやアマミシカワガエルは、声が大きかったり、遠くまで届いたりするため、繁殖地から遠くでもレコーダーで検出が可能であったと考えられる。陸上の繁殖地を対象とするのか、水中の幼生生息地を対象とするのか、またその両方なのか、に合わせて、レコーダー、環境DNAを使い分けたり、情報を補い合ったりすることが必要と考えられる。



図(4)-5. 環境DNAによるオットンガエル、アマミイシカワガエル、アマミハナサキガエルの検出結果。円グラフの右上は12月、下は5－6月、左上は8－9月に採水したサンプルにおいて、グレーが検出、白は非検出を示す。

表(4)-1. 従来手法（レコーダー）と環境DNAによる在不在判定の結果の組み合わせで分類した地点数。(a)オットンガエル、(b)アマミイシカワガエル、(c)アマミハナサキガエル。

|          |               | eDNA      |               |
|----------|---------------|-----------|---------------|
|          |               | detection | non-detection |
| acoustic | detection     | 2         | 2             |
|          | non-detection | 4         | 18            |

(a) *Babina subaspera*

|          |               | eDNA      |               |
|----------|---------------|-----------|---------------|
|          |               | detection | non-detection |
| acoustic | detection     | 3         | 4             |
|          | non-detection | 1         | 18            |

(b) *Odorrana splendida*

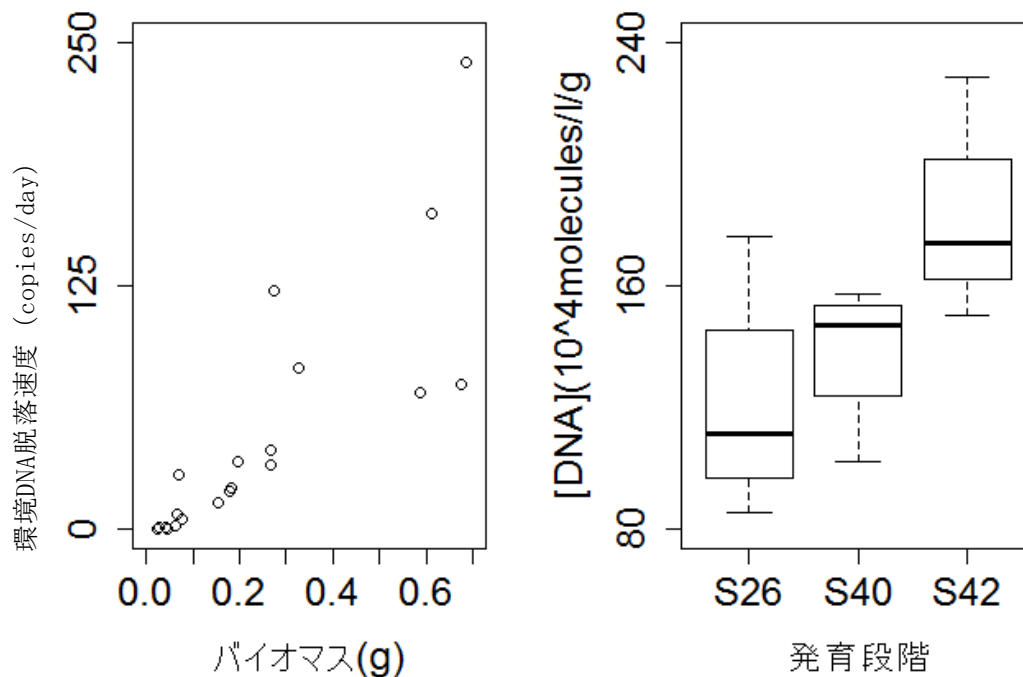
|          |               | eDNA      |               |
|----------|---------------|-----------|---------------|
|          |               | detection | non-detection |
| acoustic | detection     | 9         | 0             |
|          | non-detection | 6         | 11            |

(c) *Odorrana amamiensis*

### (3)環境DNAを用いた個体数推定の可能性検証

#### 1)室内実験

バイオマスと環境DNA脱落速度の関係は、図(4)-6のようになり、正の関係が認められた。発育段階と環境DNA脱落速度の関係では、ステージ26がステージ42よりも有意に脱落速度が遅いことが明らかになった。これにより、室内実験下では、ステージがそろっていれば個体数推定は可能である一方で、ステージが異なる場合、放出する環境DNA量は異なることから、ステージの異なる個体が存在する野外環境では、正確な個体数推定は難しい可能性があることが分かった。



図(4)-6. タゴガエル幼生のバイオマス（左）もしくは発育段階（右）と環境DNA脱落速度（copies/day）の関係。

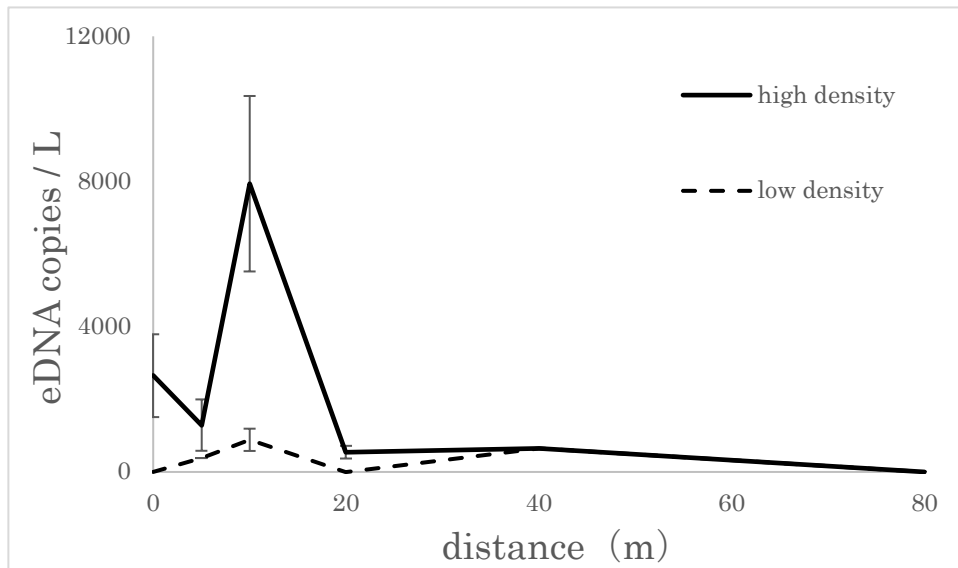
#### 2)野外実験

野外溪流に幼生を導入した実験の結果、40m地点までは検出されたが、低密度高密度ともに80m地点では検出されなかった（図(4)-7）。また、低密度条件の実験では、導入地点において非検出となり、不正確な判定を行うことがあることが示された。環境DNA濃度については、10m地点では上流より高くなるなど、距離とともに一様に減衰するわけではなかった。また、高密度は常に低密度よりも高い環境DNA濃度を示したものの、導入したバイオマスの比（2.49）を反映せず、各地点において1.0から6,800倍までの様々な比を示した。このことから、溪流におけるタゴガエル幼生の検出は、40 m以内であれば可能であるものの、低密度の場合、場所の特性によっては非検出となることもあること、また、環境DNA濃度は対象種のバイオマスを反映しないことが明らかになった。溪流では、複雑な水の流れにより、環境DNAが均一に水中に拡散していない可能性があり、そのために、採取した水がその場の環境DNA総量を反映しないのかもしれない。今後は、溪流における採水方法を検討し、例えば採水量や採水地点数、1か所でのサンプル数などを増やすことで、検出率や濃度の精度を上げていけるか明らかにする必要があるだろう。

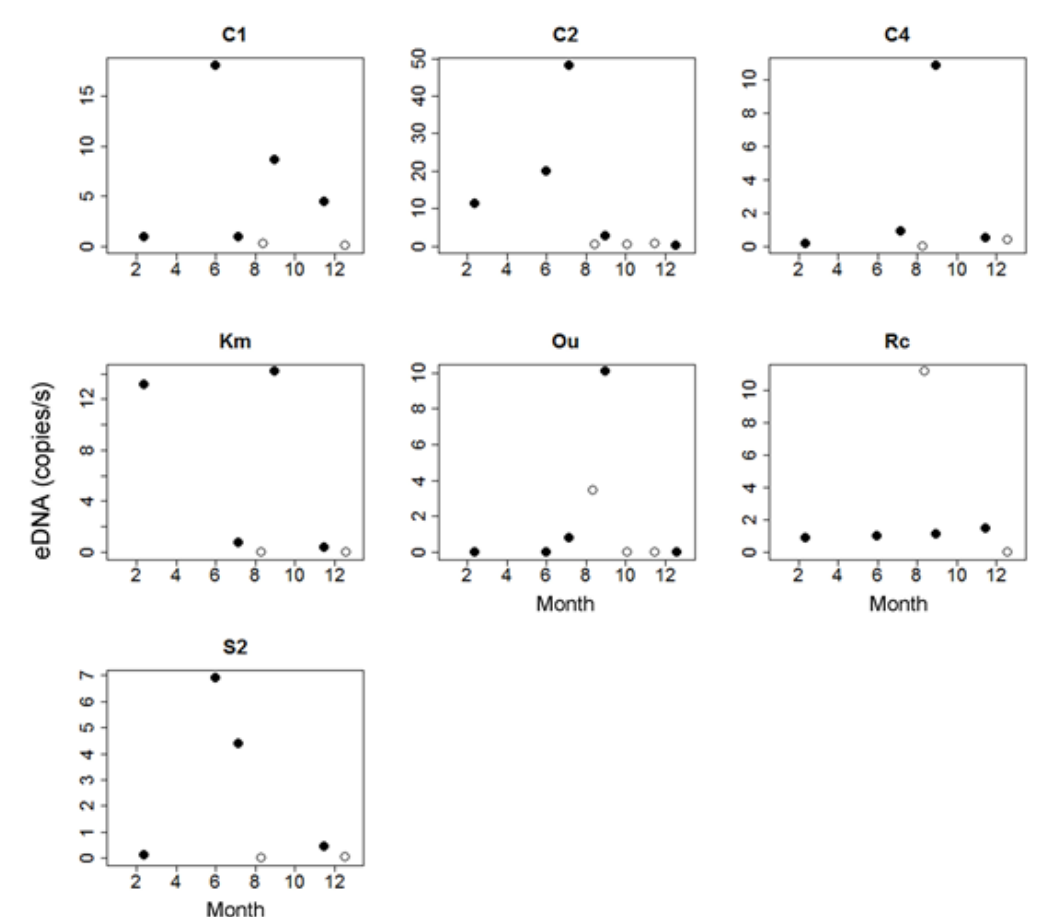
#### 3)野外調査

アマミイシカワガエルを対象とした野外調査では、10沢のべ53の環境DNAデータを得た。49データでは





図(4)-7. 野外溪流における幼生導入実験の結果. 実線が高密度、点線が低密度時を示す。バーはSE。



図(4)-8. 環境DNA濃度の季節変化。サンプル数がそろった7か所の沢について示す。白丸は2015年、黒丸は2017年のデータ。

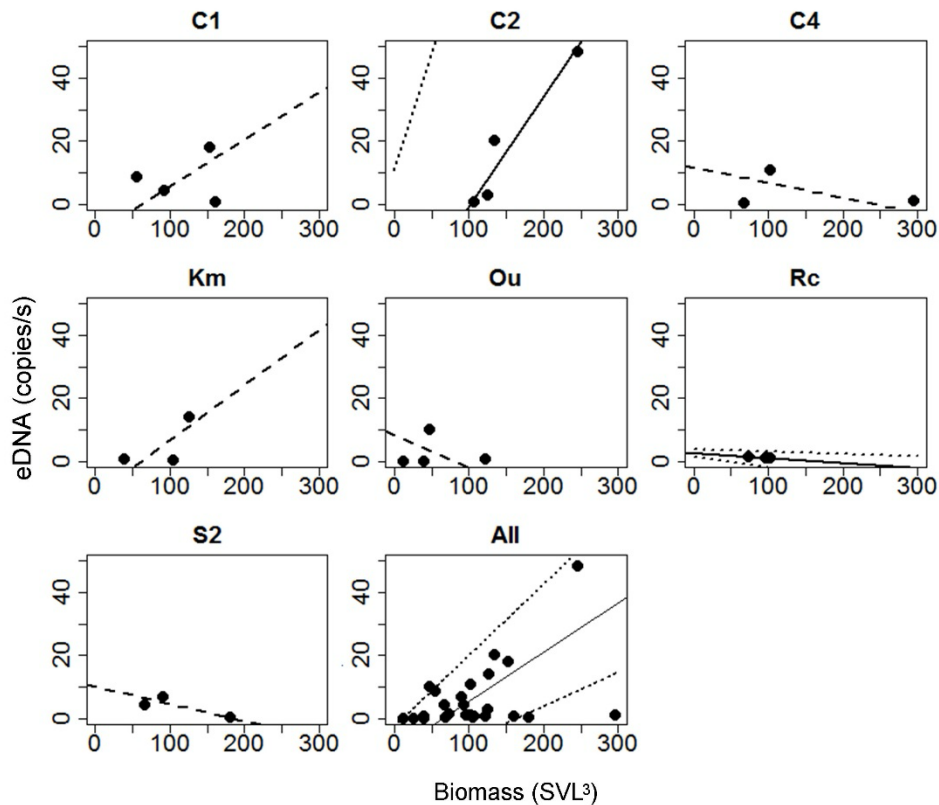
実際に幼生を観察し、そのうち41データで環境DNAを検出した（表(4)-2）。つまり、確実な在地点において、環境DNA手法によっても在と判定した確率は83.7%であった。

水中の環境DNA濃度は季節によって変動し、6月から9月ころに高い値を示すことが多かったが、沢によって、また年によってピークは異なった（図(4)-8）。アマミシカワガエル幼生は通年幼生であるため、冬季であっても検出されると考えていたが、冬季の濃度は非常に低く、検出には不適と考えられた。これは4. (2)-2)で明らかになったことと一致する。アマミシカワガエルの繁殖は2 - 4月に行われ、孵化幼生が6月頃から沢に出てくる一方、変態は6月から9月に行われる。新規の幼生が増加する6月から、成長が著しい夏季を経て、変態が終了する9月までの間が個体数やバイオマスの観点から最もアマミシカワガエル幼生の環境DNAが増加する時期と考えられる。環境DNA手法を用いた検出には、6-9月の夏季が適していると考えられた。アマミシカワガエルの検出時期は、4. (2)-2)では5-6月が適していると考えられ、8月よりも多くの地点で検出されていた。4-2-2では濃度変化は解析していないため、濃度が低くても検出しやすい条件があった可能性や、検出地点数が少なかったため、たまたま越冬幼生の少ない地点だった可能性が考えられる。このような不確実性を考慮すると、幼生個体数の多い時期に複数回サンプルを行うことが、検出精度を上げるためには必要であると考えられた。

表(4)-2. 視認と環境DNAによる検出、非検出組み合わせごとの箇所数。調査を行った8回について示す。

|      |     | Observed |          | Not observed |          |
|------|-----|----------|----------|--------------|----------|
|      |     | Positive | Negative | Positive     | negative |
| 2015 | Aug | 6        | 2        | 0            | 0        |
|      | Oct | 1        | 1        | 0            | 0        |
|      | Dec | 6        | 1        | 0            | 0        |
| 2017 | Feb | 6        | 0        | 1            | 3        |
|      | May | 4        | 1        | 0            | 0        |
|      | Jul | 6        | 1        | 0            | 0        |
|      | Aug | 6        | 0        | 0            | 0        |
|      | Nov | 6        | 2        | 0            | 0        |

観察された個体数と環境DNA濃度の関係は各沢でもすべての沢をまとめてでも認められなかった一方、頭胴長（SVL）の3乗を指標としたバイオマスと環境DNA濃度はすべての沢をまとめた場合、正の関係が認められた（図(4)-9）。各沢においては、C2で正の関係があった一方で、Reにおいては負の関係が認められ、沢によって異なっていた。野外実験で明らかになったように、溪流の両生類幼生を対象とした場合、その個体数やバイオマスを環境DNA濃度から推定することは難しいことが示された。採水量や採水サンプル数を増やすなどの、手法の再検討が必要であろう。



図(4)-9. アマイシカワガエル幼生のバイオマスと環境DNA濃度の関係. 7つの沢について沢別、および、すべての沢の値をまとめたものを示す。実線は有意な関係、ダッシュは有意ではなかった関係についての回帰直線。点線は有意性が見られた関係について、95%信頼区間の上限と下限を示す。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

これまで広域的な調査が行われていなかった、奄美大島の希少カエル3種について、広域の存在データを取得した。これにより、対象種の保全に必要な、好適な生息環境に関する情報を得ることが可能になった。実際に、存在データを用いた環境解析を行い、対象3種が必要とする繁殖適地の環境を示すことができた。

環境DNA手法を用いて溪流の希少性カエルに応用し、存在情報の取得を行うことを可能とした。これまで環境DNAの有用性は止水で示されることが多く、溪流における有効性を示した研究は少なかった。特に溪流の無尾目幼生という小型の生物において応用できたことは新しい知見である。一方で、溪流において、環境DNAを用いて対象生物のバイオマスや個体数を推定することは現段階では難しいことも明らかにした。これにより、本手法を適用する際の課題が明らかになり、今後、溪流の水の流れ特性を考慮したサンプル採取方法の確立などが必要であることを示した。

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

奄美大島に生息する希少種3種のカエルについて明らかにした、繁殖適地の環境についての情報は、今後これらカエルの保全施策において、基礎資料としての活用が見込まれる。また、対象3種を広域にモニタリングする際には、本研究によって確立された環境DNAによる在不在判定手法が使用可能とできるとともに、南西諸島に生息する他の両生類についても応用が容易に行えるようになっており、活用が見込まれる。

## 6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文(査読あり)>

- 1) Iwai, N: Animal Biology, 68, 105-111 (2018) Relationship between chorusing activity and number of oviposition events in the Otton Frog
- 2) Chambert T, Pilliod DS, Goldberg CS, Doi H, Takahara T: Ecology and Evolution, 8, 3468-3477 (2018) An analytical framework for estimating aquatic species density from environmental DNA
- 3) Doi H, Akamatsu Y, Watanabe Y, Goto M, Inui R, Katano I, Nagano M, Takahara T, Minamoto T: Limnology and Oceanography: Methods, 15, 939-944 (2017) Water sampling for environmental DNA surveys by using an unmanned aerial vehicle
- 4) Iwai N: Wildlife Research, 44, 147-152 (2017) Estimating tadpole-detection rates using visual field surveys: effects of survey time, tadpole species and tadpole density
- 5) 岩井紀子、石井光、大海昌平、亘悠哉、赤坂宗光：爬虫両棲類学会報、2016(1), 13-18 (2016) 奄美大島南郷地域に生息するアマミシカワガエル大型個体群の体サイズと地表徘徊性無脊椎動物量の関係
- 6) Iwai N, Yasumiba K, and Akasaka M. Herpetologica (accepted). Calling Site Preferences of Three Co-occurring Endangered Frog Species on Amami-Oshima Island

#### <その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 高原輝彦：環境技術、46, 636-641 (2017) 水生動物の生物量、季節分布と移動における環境DNAを用いた推定
- 2) 源利文、内井喜美子、高原輝彦、土居秀幸：環境技術、46, 648-652 (2017) 環境DNAモニタリング手法の課題と展望

### (2) 口頭発表(学会等)

- 1) 高原輝彦：第47回水環境フォーラム山口（山口県宇部市、招待講演）（2015年9月5日）  
「湖沼や河川に浮遊・存在するDNA断片を用いた生物モニタリング手法の開発」
- 2) 岩井紀子：日本爬虫両生類学会、B-26. (2015)  
「アマミシカワガエルの変態サイズ変異」
- 3) 小巻翔平、井川武、住田正幸、野澤昌文、林思民：日本爬虫両生類学会 (2015)  
「リュウキュウカジカガエルの集団動態」
- 4) 岩井紀子、休場聖美、赤坂宗光：日本生態学会第63回大会、(2016)  
「奄美大島における稀少カエル3種の繁殖適地」
- 5) 高原輝彦：一般社団法人国際環境研究協会 平成28年度環境研究総合推進費研究成果発表会（東京、招待講演）（2016年10月19日）  
“環境研究の最前線「水をすくって生き物調査－環境DNA研究で何がわかる？－”



- 6) 休場聖美、岩井紀子：日本爬虫両棲類学会第56回大会、B-34, (2017)  
「アマミイシカワガエルにおける鳴き声解析と経時変化」
- 7) 岩井紀子、休場聖美、井川武、高原輝彦：日本爬虫両棲類学会第56回大会、B-33, (2017)  
「アマミイシカワガエルの幼生密度および発育段階と環境DNA濃度の季節変化」

### (3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

### (4) 「国民との科学・技術対話」の実施

特に記載すべき事項はない。

### (5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

### (6) その他

特に記載すべき事項はない。

## 8. 引用文献

- 1) Wells KD: *The Ecology and Behavior of Amphibians*. University of Chicago Press, USA(2007)
- 2) Tarvin RD, Bermudez CS, Briggs VS, Warkentin KM: *Biotropica*, 47, 218-226 (2015). Carry-over effects of size at metamorphosis in red-eyed treefrogs: higher survival but slower growth of large metamorphs
- 3) Margurran AE: *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Science, UK (2004)
- 4) Thomsen PF, Willerslev E: *Biol. Conserv.*, 183, 4-18 (2015) Environmental DNA - An emerging tool in conservation for monitoring past and present biodiversity
- 5) Ficetola GF, Miaud C, Pompanon F, Taberlet P: *Biol. Lett.*, 4, 423-425 (2008) Species detection using environmental DNA from water samples

## Ⅱ－５ 林業と生物多様性の共存のための順応的管理に関する研究

長崎大学

環境科学部 教授 杉村 乾

環境科学部 准教授 太田 貴大（平成28～29年度）

〈研究協力者〉

特定非営利活動法人奄美野鳥の会 鳥飼久裕・島 隆穂・永井弓子・川口秀美

一般社団法人沖縄県環境科学センター 迫田 拓

特定非営利活動法人やんばる学びの森 山川雄二（平成28～29年度）

平成27(開始年度)～29年度累計予算額：20,115千円（うち平成29年度：6,583千円）

予算額は、間接経費を含む。

### 〔要旨〕

奄美大島及び沖縄やんばるの森林には多くの希少種が生息するが、それらの保全と林業及びツーリズム利用を共存させていくことが課題となっている。両地域において森林伐採及びツーリズムの現況を把握したところ、除間伐的な施業を除く伐採（皆伐）は大半が宇検村、瀬戸内町、国頭村西部の町村有林を中心に行われているのに対し、ツーリズムのさかんな地域は奄美市と国頭村の中部に集中しており、両者は地域的に隔離（異所的に共存）していた。ツーリズム利用者については奄美市金作原がとくに多く、他の区域の4倍以上の利用があった。皆伐施業と森林ツーリズムがもたらす雇用については奄美大島では後者がより大きく、国頭村では前者がより大きいと推定された。世界自然遺産への指定が地域社会に与える影響については、林業生産、ツーリズム、地代のいずれにおいても他の複数要因の影響が大きく、世界遺産への関心や指定に伴う規制が主要因となる動態を示すとは限らないと推定された。また、林業、自然保護、ツーリズムに関わる人々の間での合意形成が必要であるが、これらの人々が意識する森林の価値については、前者が木材生産と希少種保護をほぼ同等に評価したのに対して、後二者では希少種の方が絶対または明らかに重要であると評価する人が多かった。両者の間の意識の差を埋めていくのが一つの課題と言える。ツーリズムは局所的であるので、林業と希少種保全を両立させるのがより難しい課題となるが、まず国立公園のゾーニング及び現在伐採が行われている所有形態をもとに区域を区分し、標準伐期齢（50年）から超長伐期（200年）や禁伐に至るまで、各区域に林業活動の幅をもたせることによって、規制レベルや伐期齢に関わる複数の選択肢を設定した。そして、各選択肢を長期間続けること（シミュレーション）によって安定する林齢構成を求めた後、奄美大島で得られたデータをもとに林業、希少種保全、ツーリズムの評価指標を定め、選択肢を比較評価した。シミュレーションの結果はいずれの選択肢をとっても、今後は高齢級林が大幅に増加すると予測された。伐採面積については多くの選択肢で現行の規模よりも大きくなるが、林業の規模拡大に対する地元の期待が大きいはないので、現行の規模をベースに選択肢を選ぶのがよいであろうと判断された。選択肢の条件設定の過程では、両地域とも国立公園の規制に加えて社会的な制約によって伐採面積がある程度抑えられていること、国頭村ではさらに地理的な制約が加わっていること、バイオマス燃料の需要が増加していることにも留意すべきであることなどが示唆された。

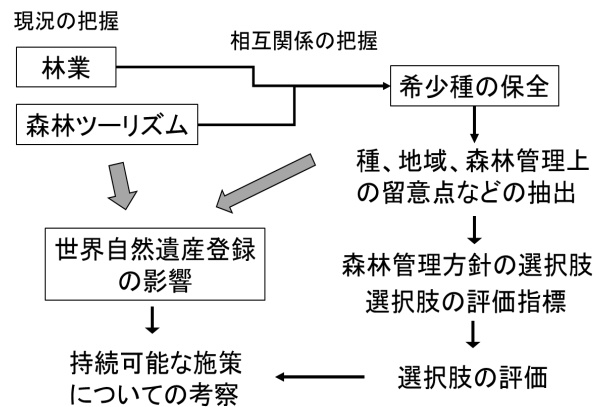
### 〔キーワード〕

伐期、林齢、林業、ツーリズム、希少種

### 1. はじめに

奄美大島と沖縄島やんばるは特に多くの希少種が生息する森林を有している。近年は世界自然遺産登録に向けて、天然林の皆伐をとまなう林業と希少種の保全を両立させると同時に森林ツーリズムの利用

も共存させることが課題となっている。これらの地域の希少種については、移入種マングースの影響が顕著であること<sup>1)</sup>、その駆除の成功によりいくつかの種は回復傾向にあること<sup>2)</sup>、1980年代に比べると回復は十分とはいえないこと<sup>3)</sup>など、多くの調査研究が見られるようになった。一方、林業と希少種保全の両立に関する研究としてはいくつか<sup>4),5)</sup>散見されるが、1990年代の半ばに伐採量が大幅に減少して以降の研究はほぼ皆無である。皆伐施業が与える最も顕著な影響は広域的な森林の若齢化であり、その結果として多くの鳥獣種の生息数が減少することが示されている<sup>4)</sup>。これらの種は、樹齢の進行にともない形成される樹洞に営巣場所とし



図(5)-1 研究の構成

て、または概ね51年生以上で50年生以下よりも多量に見られるシイの実<sup>6)</sup>に餌として依存している。また両地域において森林ツーリズムの実態を明らかにしたうえで、希少種保全や林業との関係を解析した研究もほとんど見られない。以上のことから、林業、森林ツーリズム、希少種保全の相互関係を把握し、共存を図るための長期にわたる施策の方向性を見出していくことが必要である。そこで本研究では、図(5)-1に示すような試みを行った。まず、林業（森林伐採に関する実績と方針）及び森林ツーリズムについての現況を把握し、これらと希少種保全との関係をもとに、特に注意を払うべき種や森林管理上の留意点などを抽出した。また、世界自然遺産登録が林業、ツーリズム、希少種保全に与える影響についても推察した。そして、森林管理に関わる複数の選択肢を提示し、選択肢の評価や登録の影響をもとに、持続可能な方針について考察した。

本研究の対象地は奄美大島とやんばるであるが、奄美大島は奄美市、大和村、宇検村、瀬戸内町が主たる対象、やんばるでは国頭村を主な対象としている。また、やんばると記すときは東村と大宜味村も含む北部三村を指している。

## 2. 研究開発目的

森林所有者の森林管理についての方針の相違について明らかにする。また、林業や森林ツーリズムが雇用や地域経済にもたらす効果などについて推定し、世界自然遺産への指定が地域社会に与える影響について、林業生産、ツーリズム、地代などの面から推定する。次いで、森林所有者、森林・林業関係者、自然保護などに関わる人々が有する森林の多面的価値を定量的評価する。また、世界自然遺産地域に指定された場合に地域経済及び希少種の保全へ与える影響を推定する。最後に、林業地域と生物多様性保全を優先すべき地域を特定し、林業と生物多様性に対する社会的評価を相対評価するなどの手法を用いて、林業活動や森林保護のレベルに関する現行のゾーニングの効果についての検証を行い、林業従事者を含む地域住民との合意形成の改善のための森林管理計画に関わる方針について提言を行う。

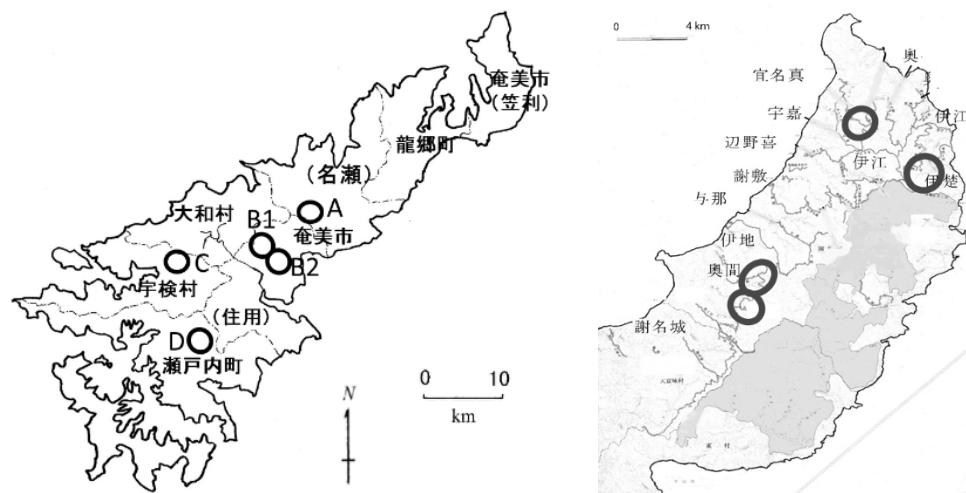
## 3. 研究開発方法

### 1) 林業及び森林管理の経緯、現状及び方向性について

奄美大島では宇検村役場建設経済課、瀬戸内町農林課、大島支庁林務水産課、三富興業（チップ工場）、あまみ大島森林組合等において、やんばるでは国頭村経済課、国頭村森林組合、沖縄県森林管理課において、各市町村における伐採箇所、伐採面積、所有形態、利用目的、近年の変化等及びどのような方向へ森林管理を誘導しようとしているのかについて、聞き取り調査及び資料収集を行った。また、奄美群島の概況、沖縄の森林・林業、2010年世界農林業センサスなどから、雇用や地域経済にもたらす効果を推定するための情報を収集した。さらに、国立公園化の影響も踏まえて今後の動向について考察した。

## 2) 森林ツーリズムの現状と世界自然遺産登録の影響

奄美大島では奄美野鳥の会に委託してツーリズム業者に対してアンケート調査を行うとともに観光客に対しては空港において面接調査を行った。そして、ツアーの訪問場所、ガイドの対象・内容、観光地の対象としての森林の相対的重要性について明らかにした。また、沖縄では沖縄環境科学研究センターに委託して国頭村役場世界遺産対策室及び東村観光推進協議会において聞き取り調査を行った。そして、ツーリズムを行っている団体、活動場所と内容などについて明らかにした。さらに、カメラを奄美大島6カ所、やんばる4カ所に2年間にわたって設置し、訪問者数の季節的变化、活動内容、週末と週日との比などについて明らかにした（図(5)-2）。世界自然遺産登録の影響については、2017年から2018年1月にかけてやんばるの林道上で観察された森林利用頻度についての調査結果を過去（2008～2010年）にかけて行った結果と比較するとともに、知床、白神、小笠原、屋久島における観光入込状況の変化等も踏まえて考察した。



図(5)-2 カメラ設置位置（左：奄美大島、右：国頭村）

## 3) 森林の多面的価値等に関する地域住民の評価

森林の機能（野生生物種の保護、林業、森林ツーリズム、国土保全または水源涵養）に対する重要性の認識、世界遺産登録が林業及び生物保護に及ぼす影響に対する不安や期待について、林業関係者と自然保護に関心を持つ人達の間で相互に比較評価するためのアンケート調査を行った。野生生物、林業、ツーリズムについては、どちらがどの程度重要か、9段階の一对比較のAHP法に準じた形式、これらに国土保全または水源涵養を加えた設問では順位評価を用いた<sup>7)</sup>。世界遺産の影響については、林業及び生物保護それぞれに対して不安または期待のいずれかを選択し、4段階で不安または期待の大きさを評価してもらった。調査は奄美大島森林組合員、国頭村森林組合作業班員、奄美野鳥の会・会員、国頭村ツーリズム協会の関係者及び沖縄島の一般市民を対象に行ったが、沖縄島一般市民に対しては世界遺産の影響についての設問は割愛した。

## 4) 森林管理方針が林業、ツーリズム及び希少種保全へ与える影響の評価

林業及びツーリズムの調査において得られた成果を含め、希少種保護との間でどのようにバランスをとればよいか、解析を進めるための方策を探った。森林伐採に対して制限がかけられる地域の面積が増えるとともに、ツーリズムがよりさかんになると想定される。森林の管理方針や伐採の現況は国有林、公有林、集落有林、個人有林など、異なる所有形態（管理主体）の間で明らかに異なっている。また、国立公園が課する伐採に対する一定の規制基準も有為に働いている。上記のことを念頭に森林管理



方針についての複数の選択肢を提示した。管理政策としては、保護地域の設定、伐期のコントロール、林道及び林業に対する補助金があるが、これらのうちで特に重要と考えられる保護地域の設定と伐期のコントロールをもとに選択肢を作成した。林道や保育については、データが十分でないうえ、本研究との関わりが見出されなかったので割愛することとした。そして、それらの選択肢を各々長期的に継続するとどのような林齢構成で安定するか示した。さらに、森林伐採の影響を受けやすい種と森林ツーリズムの対象として重要な種の生息域及び生息状況、それらと林齢の関係を示唆する情報について未発表を含む既存の調査データをもとに推定し、林業、ツーリズム、希少種保全に関わる評価基準を設け、選択肢を比較評価した。なお、選択肢の作成と評価に当たっては、サブ課題1及び3の成果を参照した。

#### 5) 林業、ツーリズム及び希少種保全の共存と持続性について

伐採が行われている区域、ツーリズム利用域、とくに留意すべき希少種が相対的に高密度で生息する区域の重なり合いを確認したうえで、林業、ツーリズム、希少種保全の共存に関わる森林管理上の留意点について考察した。並行して、ツーリズムの対象となっているアマミノクロウサギの糞塊調査及び繁殖期及び冬季の鳥類センサス調査を行い、今後のツーリズムポテンシャルについて、過去のデータと比較しつつ考察した。最後に、屋久島等、他の世界自然遺産地域の事例を参照しつつ、今後の持続性について考察した。

### 4. 結果及び考察

#### 1) 林業及び森林管理の経緯、現状及び方向性について

奄美大島とやんばるでの林業は共通点が多く、その形態は本土の針葉樹人工林施業とは大きく異なる。一部で広葉樹の植林も行われているが、基本的には天然林の伐採と天然更新である。また、育成天然林あるいは複層林改良などと称する除間伐事業が行われているが、本研究ではチップ材搬出目的の皆伐施業を対象とする。この施業では、まず、既存の林道・作業道を改修して運搬ルートを確保する。次に樹幹だけでなく枝も回収して架線により搬出する。伐採跡地には伐採木の萌芽更新のほか、ススキやパイオニア樹種が生えた後、シイ・カシ、イジュ、イスノキ等が優占する照葉樹林が再生するが、立地条件等によって成長の度合いは大きく異なる。次の伐期は、蓄積の増加を予測して林齢50年前後が目標である。過去の林業の推移を見ると、奄美大島では1960年代前半から1970年頃にかけて伐採のピークがあり、その後も皆伐施業が続いたことから、択伐林と伐採記録のない老齢林は5千ha余り（森林面積の約10%）にまで減少した<sup>8)</sup>。1990年代半ばに生産量の急激な低下があったが、これには3つの事由が背景にある。まず、輸入チップの材価が低下し、島材の競争力が低下した。次いでチップ工場が閉鎖され、島内に引き取り手がなくなった。さらに国有林、公有林等が全体的に若齢化し、適齢伐期の森林が少なくなってきたことが考えられる。2000年代半ばには輸入チップ材価格が上昇し、2007年から宇検村と大和村のチップ工場が稼働したうえ、1960年代に伐採された森林が50年生以上になりつつあることなどから、伐採量は増加に転じた。現在、後述するように大和村の工場は閉鎖されたが、宇検村では大幅に増産する計画はない。

森林伐採面積及びその推移は奄美大島とやんばるで大きく異なっていた。表(5)-1に示すように、奄美大島の伐採面積は大きいですが、国立公園設立に伴って減少傾向にある。また、大和村内で行われていた会社有林の伐採は国立公園化により停止する方向が決まった一方で、瀬戸内町では増加している。チップ工場は島内に2箇所、宇検村と大和村にあったが、宇検村の1箇所のみになった。面積が10haを超える箇所が過去5年で12箇所あったが、国立公園特別地域第二種（二特）の指定を受けると面積が10ha以下に制限される。宇検村と瀬戸内町内での伐採箇所の多くは二特地域内で行われており、1箇所当たりの面積は縮小傾向にある（表(5)-2）。やんばるでは国頭村のみが林業を行っているが、伐採面積は急激に減少した後、再び増加してきている。用途としては、奄美大島ではかつてはパルプ用チップであったが、九州本土の引取先が森林認証を取得している一方で大島材は認証材でないため、パルプ用としては受入れられなくなった。そのため、発電用チップとして搬出しているが、この動向に関しては、森林認証や再生可能エネルギー電力固定価格買取制度などに依存しており、国立公園化とは関係が無い。国頭村

でもチップ材として生産しているが、その需要はおがこ等、島内向けで小さいが、九州での燃料用バイオマスチップ材需要の増加により、島内での需要が伸び、伐採面積の増加をもたらした。

表(5)-1 森林伐採面積の推移（単位ha）

|       | H24   | H25   | H26   | H27   | H28   |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 奄美市   | 10.88 | 12.95 | 9.78  | 2.59  | 1.61  |
| 大和村   | 55.75 | 38.88 | 28.69 | 19.84 | 1.04  |
| 宇検村   | 30.79 | 8.47  | 38.72 | 26.01 | 12.78 |
| 瀬戸内町  | 1.54  | 6.16  | 3.62  | 1.64  | 10.27 |
| 龍郷町   |       |       | 0.21  |       | 1.12  |
| 奄美大島計 | 98.96 | 66.46 | 81.03 | 50.08 | 26.83 |
| 国頭村   | 13.70 | 9.35  | 4.62  | 1.49  | 8.88  |

（鹿児島県大島支庁提供資料及び国頭村役場での聞き取りにもとづき、各年度内の面積を示す）

表(5)-2 1個所あたりの伐採面積（平均値）の変化（単位ha）

|      | H24  | H25  | H26  | H27  | H28  |
|------|------|------|------|------|------|
| 奄美大島 | 2.88 | 2.81 | 3.33 | 2.72 | 1.31 |
| 国頭村  | 1.58 | 2.96 | 1.49 | 1.54 | 3.12 |

林業の地域社会に対する貢献としては、経済的利益と雇用が考えられる。奄美大島では2015年度チップ材生産額が114,987千円であった。伐採搬出コストを計算に入れると純利益はその3割程度であり、伐採業者も経営が楽ではない。貢献度合いとしては雇用面の方が大きいであろう。宇検村における森林伐採に要する人員は1年間で10名程度であった。この数値を得た2015年では宇検村内の搬出量が約2/3であることから島全体で15名程度となる。さらにチップ工場が雇用する4名を加えると約20名となるが、現場で雇用される人の多くは兼業であり、雇用期間は半年に満たないとのことであるから、森林伐採が生む雇用力は10名強程度と見てよいであろう。伐採面積当たりの生産量は奄美大島237～362 m<sup>3</sup>/ha（95%CI）に対して、国頭村では131～193 m<sup>3</sup>/ha（95%CI）であり、約1/2であることから、経済的利益はさらに小さい。一方、国頭村の林業は森林組合に統合されている。森林組合の職員は6名と現場作業員19名、計25名である。6つの作業班に分かれ、各作業班でそれぞれの雇用があり、上記のほかにさらに計26名とのことであった。ただし、この26名は期間雇用であり、正確な期間は把握されていない。伐採時期が約半年であることから13名分の雇用力であると推定すると全体で38名となる。さらに考慮すべきことは、6班のうち1班が伐採に当たり、他は県からの補助金により除伐を担当しているということである。これらのことから、現時点においては皆伐施業という林業が生む雇用力は計6名程度に相当すると言える。さらに、集材機に対して200万円ほどの補助が出ていることなどから、主伐に関わる真の雇用力は推定しがたい。奄美大島に比べて1/10以下という生産量を考えると、明確な雇用力は推定できないというのが結論である。

国立公園化が林業に対して与えている最も大きな影響として、特別保護地区と第一種特別地域が禁伐となっているほか、二特における制限がある。奄美大島では、環境省、5市町村の関係部署、森林組合、伐採業者、チップ工場、コンサルタント会社などが参加する協議会が設立され、林業に対する制限に関わる議論が行われた。その結果、以下の事項が取り決められている。

1. 80年生以上は保存林（禁伐）
2. 片側20mの保残帯を以下の所に設ける：道路脇（広域基幹林道以上の規格）、特保・一特の境界、1/25,000地図上で明記されている部分の河川（両側）及びこれら河川の分水嶺となっている尾根
3. 希少種が依存する環境：未設定であるが、おそらく環境省に委任する

4. 急傾斜地（ $>30^{\circ}$ ）は避ける
5. 架線での作業に支障ある樹木は伐採可
6. 一伐区の面積は10ha以下（協議会以前に環境省委員会で決定）

これらの条件に適合する部分を調査したところ、80年生以上は約2%（宇検村の森林簿により）、保残帯は地形図上でおおまかに測ったところ約1割であった。国立公園指定前から保安林指定を受けていれば、伐採面積は10haに制限されているので、二特指定であれば変わらない。宇検村では保安林以外で二特の指定を受けた森林は約700haであった。この区域では一伐区の伐採面積に制限が加えられたことになる。ただし、国立公園指定前から一伐区の面積は大半が10ha以下であったので、この制限はあまり影響を受けないと言える。国頭村の森林に関する資料<sup>9)</sup>では、二特での制限として皆伐の1伐区面積は2ha以内とするが、主要な公園利用地から望見されない場合は拡大可能となっている。二特指定地域はほぼ全て利用地から望見されないところにあるということであるので、この制限による影響はあまりないと言える。

世界自然保護遺産候補と国立公園指定の影響については、奄美大島とやんばるでは異なる。奄美大島では、国有林の約80%は生態系保護地域ないしは保護林（木材生産を目的としない森林）となったほか、前述したように会社有林が撤退するという動きに繋がり、伐採面積の減少にも表れている。やんばるでは返還された国有林は米軍基地となっていたため、伐採の対象ではなかった。また島内需要や島外の自然保護団体の活動に左右されてきた経緯から、世界遺産候補及び国立公園化が伐採面積に影響を及ぼしているとは言えない。地域の社会経済に対する影響としては、奄美大島では大和村で操業していた会社が停止したことによる雇用力の低下が見られたが、国頭村では明確な影響は見られていない。

## 2) 森林ツーリズムの現状と世界自然遺産登録の影響

奄美大島では森林を対象としているコース数は約30あり、生物を対象としているケースが多く、ガイド内容の70%が「動植物の観察」または「生物の撮影を楽しむ」であった（表(5)-3）。各ツアー業者から上げられた対象地を集計すると、のべ42区域がリストアップされた。複数の業者が上げた中で特に多かった対象地は、宿泊施設が集中する名瀬から車で1時間以内の金作原での原生林観察を含むツアーが11、アマミノクロウサギの出現頻度が高く、名瀬からは1時間以上かかるが他の候補地よりも至近にある中部域（奄美市住用）のナイトツアーが8、名瀬から2時間以上かかる湯湾岳が8であり、3区域に集中する傾向が見られた。金作原は参加グループあたりの人数も多く、ツアー参加者数全体に占める割合についてはさらに集中の度合いが強く表れていた。

表(5)-3 森林ツーリズムの種別コース数

| 種別 | 動植物の観察 | 生物の撮影 | トレッキング、散策、森林<br>浴、景観を楽しむ | 川遊び | その他 |
|----|--------|-------|--------------------------|-----|-----|
| 件数 | 28     | 4     | 11                       | 2   | 1   |

ツアー業者数は39、うち森林を対象に含む業者が20、ガイドの数は計36人（専業 25人）であった。未回答を含めると、森林ツアーガイド数は計47人（専業32人）と推計された。雇用力としては30人以上あることになる。国頭村では奄美大島ほど森林ツーリズムがさかんでないことは以下の点から明らかである。(a)森林ツアーを企画している業者数が7つと少ない、(b)複数の業者が対象地としている人気の場所がない、(c)最も人気のある種ヤンバルクイナを対象としているのは2業者のみである、(d)計15名を雇用しているが、専業はおらず、奄美大島よりも雇用力は小さい。

カメラが捉えた画像から得られた情報量は膨大であり、この報告時点ではまだ解析が不十分であるが、概ね以下のような結果が得られた。

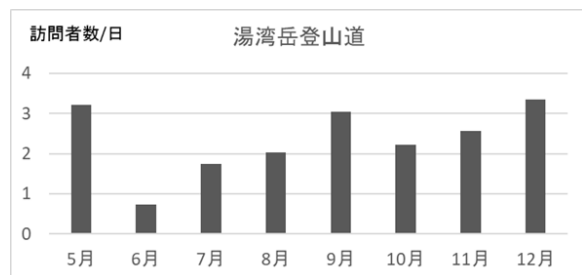
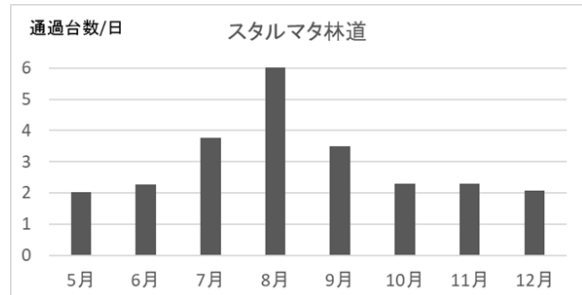
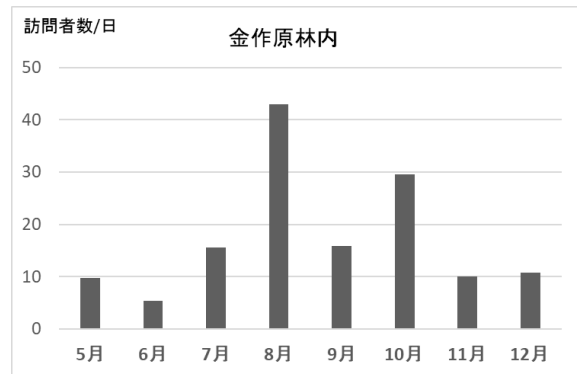
1. 集中する時期は場所によって異なるが、奄美大島では総じて8月が最も多かった。2016年、金作原ではツアーガイドも含めて計1330人、1日当たりの最大数は85人、奄美市住用の林道ではナイトツアーだけで計195台の通過（往復した場合は1台とカウント）があった（図(5)-3）。

2. 休日が集中する5月の連休（ゴールデンウィーク）と8月の盆休みの時期にもとくに多く、金作原では土日の約2倍、平日の2.5倍の入込があった（図(5)-4）。10月初旬の連休中には1日当たり最大138人を記録した。やんばるでも同様の傾向であったが、奄美大島の方が顕著であった。
3. 利用者数は奄美大島金作原に比べるといずれの地域でも1/4以下であると推定された（福島県での聞き取り調査を援用して、乗用車には平均2人乗車と仮定）。
4. 湯湾岳は若年層の利用が多く、推定年齢層であるが10～30代が約7割を占めていた。人口の高齢化による訪問者の急激な減少は起きないと予測された。
5. 一人の訪問者が人気のツアーに複数参加するかどうかを検証するために、金作原（昼間のツアー）とスタルマタ林道（ナイトツアー）の間で日毎の利用者数を比較したが、両者の相関は低かった（ $R^2 = 0.19$ ）。これは観光客の間で選ぶツアーがある程度多様化していることを示唆している。
5. やんばるではドライブ目的で訪れる人が多く、通過台数は奄美に比べて季節差が小さかった（図(5)-5）。また、週日利用が多く、林内利用は少なかった。これは林道が舗装されていることに加えて島内からの利用が多いためと推察された。
6. 駐車場前を通過する車台数と駐車台数のピークは一致しなかった（図(5)-5）：通過のピークは7～11月に対して、登山は5月と11月；西銘岳付近通過は11月に対して登山は7～8月；長尾橋通過は7～11月に対して、駐車は8月。
7. 高齢級林が多く残っている西銘岳付近の利用は与那覇・長尾橋に比べ1/3以下であった。

このように、カメラの画像からは豊富な、かつ多様な情報が得られ、利用者数の動態や利用内容をモニタリングするのに適していることがわかった。

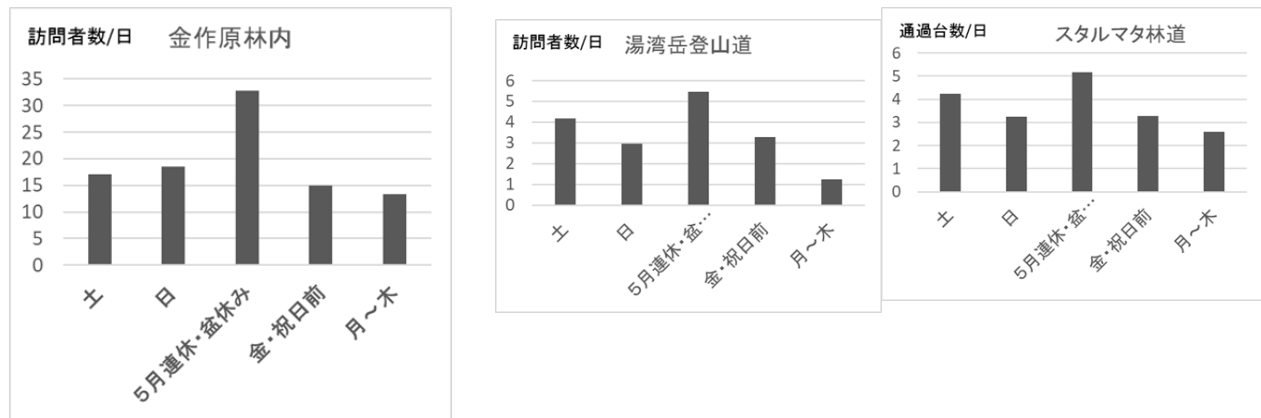
世界遺産登録がツーリズムに与える影響を推定するに当たって、複数の方法をとった。一つは、奄美空港で観光客に対して行ったアンケート調査である。112人から回答を得たが、そのうち33%がガイドを利用し、マングローブ林を除く森林を対象にしたガイドは43%であった。このことから、観光客のうち14%程度はガイドを利用して山間部の森林を訪れたことになる。また、「どこへ行ったか」については115件の回答が得られた。複数回答で得られた場所、それぞれについて「山」の印象の強さを10段階で尋ねた。その段階に応じて場所ごとにウェイト付けし、回答者数に積算し、観光客がどの程度の割合で山を訪れたか、印象をもとにした割合を計算すると0.33（33%）となった。世界遺産登録がツーリズムに与える影響としては、知名度の上昇や施設の整備などによって、ガイド利用の割合の増加及び山を訪れる割合の増加が考えられる。

一方でさほど大きな増加は見られない可能性もある。それは、野生生物保護センター入館者数の推

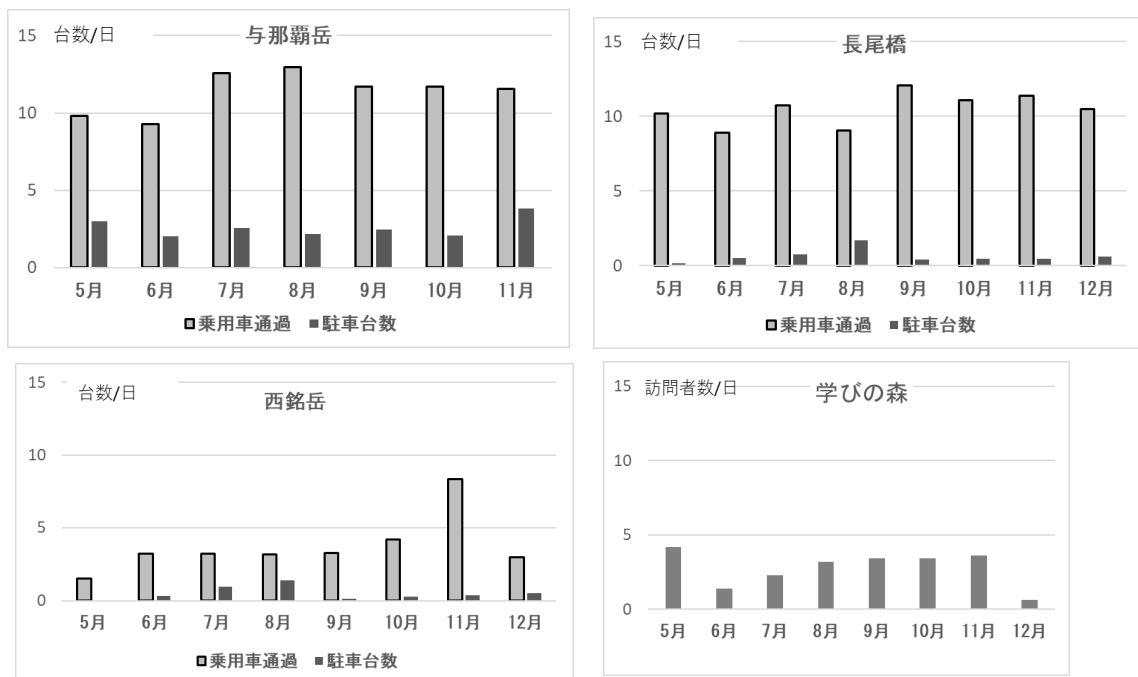


図(5)-3 ツアー対象地における訪問者数の推定（奄美大島）





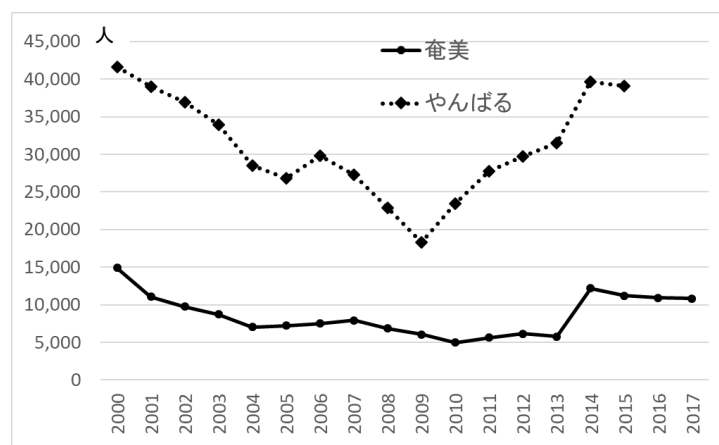
図(5)-4 週末・平日日等による訪問者数の相違（奄美大島）



図(5)-5 やんばるにおける乗用車通過または駐車台数と訪問者数

移を見ると、近年必ずしも上昇傾向にはないこと、さらに過去には近年よりも多い時期があったことから言える（図(5)-6）。2003年に環境省が世界自然遺産候補に選定して以来、様々な動向が広く知られるようになったはずであるが、2003年以降の上昇傾向は見られない。やんばるではリーマンショックによる落ち込みが大きい。また、2004年に上昇しているのはLCCが運行を開始した影響である。

さらに、2008年から2010年までの間に自然観察、登山、ドライブ、散歩、水くみ、利用目的は不明であるが林内に入っている人（車の台数）をカウントした結果と国立公園が設立された後（2017年）のカウント数を比較した結



図(5)-6 野生生物保護センター入館者数の推移

果を表(5)-4 に示すとともに以下に述べる。

今回の調査で最も多かった利用形態はドライブと登山（いずれも16件）で自然観察（11）、水くみ（8）と続いた。2007から2009年にかけての調査ではドライブ（64）が最も多く、続いて水くみ（49）、登山（35）、生物等の採集（32）、散歩・休息（21）、自然観察（14）が多かった。全体的に見ると、登山や自然観察など、より自然に親しむ活動の割合が増えていると言える。最も利用頻度の高い区間はいずれの時期も比地川から奥間川の上流域であった。

表(5)-4 森林利用頻度の変化

| 調査期間<br>調査区間       | 2017     |      |       | 2007-09 |      |       |
|--------------------|----------|------|-------|---------|------|-------|
|                    | 調査距離(km) | 確認台数 | 台数/km | 調査距離    | 確認台数 | 台数/km |
| 大国/奥間              | 176.0    | 48   | 0.27  | 379.5   | 154  | 0.41  |
| 伊地/与那              | 5.7      | 1    | 0.18  | 69.4    | 7    | 0.10  |
| 奥与那                | 86.6     | 12   | 0.14  | 105.4   | 10   | 0.09  |
| 伊江/奥Ⅱ              | 16.1     | 3    | 0.19  | 101.9   | 7    | 0.07  |
| 宜名真/宇嘉/辺野喜Ⅰ        | 9.9      | 1    | 0.10  | 31.2    | 0    | 0.00  |
| 佐手辺野喜/我地佐手/<br>辺野喜 | 36.4     | 0    | 0.00  | 50.9    | 3    | 0.06  |

これは与那覇岳登山口、水場、長尾橋のたもとなどに駐車する車が多かったからである。今回の調査では前回よりも大国林道の利用頻度が下がっている。これは水くみの割合が23%から12%、ドライブが30%から11%へと落ちていることが大きな要因となっている。与那覇岳登山口の駐車台数は今回調査では0～4台、平均2.4台、前回調査では0～7台、平均2.7台であり、明確な違いはなかった。やんばるの北部では利用頻度が増加したが、大国林道で最も頻繁に利用されていた、比地川上流の水くみ場から奥間林道分岐の区間、約9.0kmで観察された10.4台/km（平均）に比べると頻度はかなり低かった。以上のことから、国立公園設立後には自然に親しむ活動の割合は増えたものの、明確な増加は見られなかったと言える。

以上のように、世界自然遺産登録がツアーガイドの利用を増加させることは推察されたか、入林者の増加を単純にもたらすとは考えにくい結果が得られた。

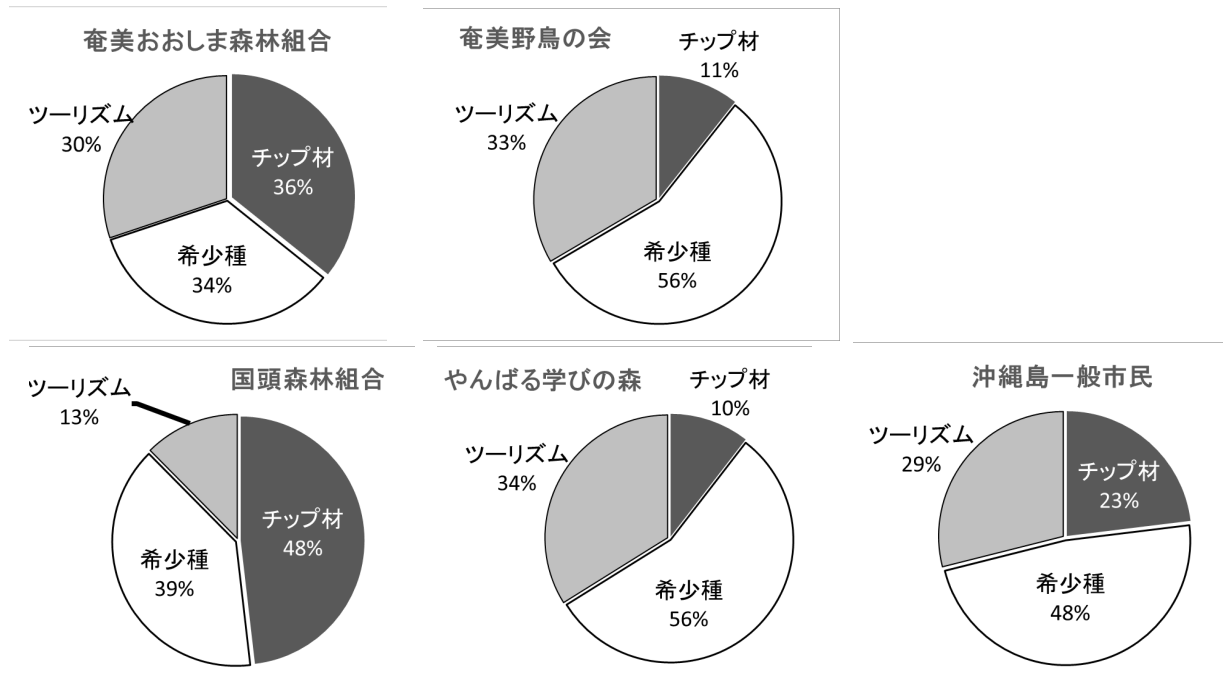
### 3) 森林の多面的価値等に関する地域住民の評価

奄美大島森林組合、国頭村森林組合、奄美野鳥の会、国頭村ツーリズム協会の関係者、沖縄島の一般市民からはそれぞれ、48, 8, 41, 6, 419名の回答が得られた。これらを林業関係者（林業G）、自然保護またはエコツーリズム関係者（自然G）、一般市民（一般G）の3グループに分けたところ、三者の間で以下のように明瞭な差が見られた。

野生生物保護、林業、ツーリズムの重要性については、林業Gでは林業と生物保護を比較的同等に評価（回答者の58%が“同等”と回答）しているのに対し、自然Gでは希少種保護の方をかなり高く評価する人（61%が“絶対にまたは明らかに重要”と回答）が多かった。ツーリズムの評価では、奄美大島に比べて沖縄島での評価が低かった。これは沖縄島では森林ツーリズムが相対的にさかんでないことを反映していると考えられる。一般Gについては林業Gと自然Gの中間に近い評価が得られた。図(5)-8は一对比較の評価で得られた数値をAHP法と同様のウェイト付けを行って三者の間で相対評価<sup>7)</sup>を行った結果を表している。この手法は比較的煩雑なため、紙面の都合上、手法に関する具体的な説明は割愛する。林業と希少種保全に対する評価が林業Gと自然Gの間で大きな差があったこと、奄美と国頭の間では差があまりなかったことが明白に表れている。また、ツーリズムと林業に対する期待が奄美に比べて国頭村の方で大きくなっているのは、国頭ではエコツーリズムあるいは林業で実際に携わっている人に回答を依頼したことを反映している。さらに、ツーリズムに対する評価が奄美と国頭でほぼ同じであった

ことは、国頭村ではエコツーリズムに携わっている人でも奄美で携わっていない人達と同等の評価、つまり評価が奄美に比べて低いことを示唆している。

国土保全または水源涵養を加えた順位評価については、奄美森林組合員は国土保全に最も高い評価を与え、野鳥の会会員は野生生物を一位、国土保全を二位に評価した。沖縄島においても同様に、森林組合員は水源涵養を一位に、学びの森関係者は二位（野生生物が一位）に評価した。一般Gは水源涵



図(5)-8 林業関係者と自然保護（奄美）またはエコツーリズム関係者（国頭）間の意識の差

養、森林ツーリズム、野生生物、林業の順に順位評価した。

世界遺産に登録した後の林業に対する不安または期待については、いずれのグループ（一般Gは対象外）も不安という回答が多く、77～100%を占めた。生物保護に対する不安または期待については、全体に期待する方が多かったが、林業Gに比べて自然Gの方が明らかに期待は大きかった。このように林業Gと自然Gとの間で概ね明確な差異が見られた。両者間での合意形成においては、これらの差異があることを認識し、差を縮める努力もしつつ進める必要がある。

#### 4) 森林管理方針が林業、ツーリズム及び希少種保全へ与える影響の評価

奄美大島及び国頭村の両地域とも森林伐採の対象は特定の所有形態（管理主体）に限られ、伐採箇所の大半は、宇検村、瀬戸内町、国頭村の町村有林であった。宇検村の村有林は国立公園指定以前から保護林（禁伐）、保全林（100年以上の長伐期）、循環利用林（標準伐期：40～50年）にゾーニングされていた。国立公園設定後は、前二者が特別地域の第一種、循環利用林が第二種に指定され、第二種地域で伐採が行われていた。瀬戸内町有林では、集落と貸付または分収の契約（両者の区別は不明瞭）が結ばれている森林が対象であるとのことであった（瀬戸内町役場）。国頭村では伐採の対象として村有林を優先的に選ぶが、地元の同意も同時に必要であるとのことであった。その他では、宇検村の集落有林が対象となっていた。国有林は世界自然遺産登録のために大半が生態系保護地域に設定され、林業のための伐採は行われていない。また、個人有林はまとまった面積を確保するのが難しいため、伐採されていない。奄美大島では広い面積を占める会社有林の伐採が停止されている。沖縄県営林（県有林及び県行造林）は平成29年10月に森林認証を取得したが、本研究期間中に森林伐採は行われなかった。

本研究では、一定の条件下で森林管理方針が林業、ツーリズム及び希少種保全へ与える影響の評価

を行ったが、以上のことから、一つの条件は伐採域が宇検村、瀬戸内町、国頭村の町村有林及び宇検村内の集落有林に限られるということである。もう一つの重要な条件としては、国立公園のゾーニングがある（表(5)-5）。奄美大島の第二種特別地域において課せられた条件については前述した。国頭村では「やんばる型森林業の推進」に定められた方針に従うことになっているが、伐採面積を5ha未満としている以外には、たとえば「尾根部の樹林帯を保全する」という記述のように具体的な数値は示されていない。

皆伐施業が与える最も顕著な影響は広域的な森林の若齢化であり、その結果として多くの種の生息数が減少することが奄美大島における既往の研究で示されている<sup>4),5)</sup>。これらの種は、樹齢の進行にともない形成される樹洞に営巣場所として、または概ね50年生以上でそれ以下よりも多量に見られるシイの実に餌として依存している<sup>6)</sup>。これらの生息環境条件と林齢の関係について、大径木（営巣場所）と

表(5)-5 林業が行われている町村における国立公園のゾーニング面積（ha）

|         | 宇検村・瀬戸内町 | 国頭村   |
|---------|----------|-------|
| 特別保護地区  | 946      | 789   |
| 第一種特別地域 | 3,537    | 4,268 |
| 第二種特別地域 | 8,761    | 2,897 |
| 第三種特別地域 | 0        | 3,313 |
| 特別地域外   | 16,697   | 5,168 |

シイの実（餌）の双方への依存度の高さから、森林伐採の影響を最も大きく受けてきたのはケナガネズミであると考えられ、その生息が確認された森林は胸高直径（DBH）が30cm以上の木がある、概ね80年生以上の森林がほとんどであった<sup>10)</sup>。一方、森林ツーリズムの対象として特に重要な種はアマミノクロウサギである。餌として、10年生以下で優占する草本と50年生以上の森林に多いシイの実に依存し、これらの森林が隣接する環境に多く見られる傾向があることが示されている<sup>11)</sup>。

以上のことから、奄美大島では世界自然遺産地域指定と森林管理との関係において、ケナガネズミとアマミノクロウサギを野生生物保護とツーリズムの指標種とし、林業との調整を図っていくことが一つの道筋であると判断した。そのためには、(i)大径木を有する森林の面積を増加させることによってケナガネズミの生息数を回復させていく、(ii)アマミノクロウサギの生息環境として森林伐採がどの程度許容されるのかを推定する、(iii)保護地域における伐採の制限、伐期の設定などによって林業がどのような影響を受けるか、といった視点からシミュレーションを行い、林業、ツーリズム、希少種保全の共存という目標に合うような森林管理方針を模索することとした。

まず、奄美大島を対象に林業、ツーリズム、希少種保全の評価を試みた。林業については伐採対象域を宇検村有林と集落有林、瀬戸内町有林に限定した。これらの町村においては、それ以外の林地は全て伐採の対象外となっており、他の市町村を合わせると全島では対象外の林地は58,297haであった。また、国立公園の第二種特別地域はバッファゾーンとして公園外の伐採対象域よりも強い制限をかけられている。伐期については多くの選択肢があるが、標準伐期を50年、最も長い伐期を200年とした。また、第二種特別地域では協議会が定めた前記の方針に従うこととした。極端な仮定を置くことによって中間的なケースはある程度、想定することができるので、管理方針の選択肢について以下のように単純に設定した。(A)林業効率重視：伐採対象域全てにおいて標準伐期の林業；(B)バッファゾーン長伐期：公園外は50年、第二種特別地域では100年伐期；(C)バッファゾーン超長伐期：公園外は50年、第二種特別地域では200年伐期；(D)バッファゾーン禁伐：公園外は50年伐期；(E)バッファゾーン禁伐、公園外は100年伐期；(F)バッファゾーン禁伐、公園外は200年伐期。

これらの方針を長期的に継続すると仮定すると将来的には林齢構成がそれぞれの方針に応じて安定する。林齢の分け方については、前述したように、草本の優占（10年生以下）、シイの結実量（51年生以上）、ケナガネズミの確認頻度（81年生以上）を考慮して定めた。6つの選択肢を長期間継続させ、安



定するようになった林齢構成（表(5)-6）は以下のことを示唆している。(1)今後も伐採域が宇検村と瀬戸内町に限られ、200ha以下の規模で推移していくならば、大半の森林は81年生以上の高齢級林となる。(2)伐採可能域での管理目標は標準伐期であるが、近年の伐採規模は長伐期中心の選択肢(E)に近い。目標と現実とがずれているが、今後も伐採面積が変わらないとすると、大きく2つの可能性があると考えられる。つまり、(i)比較的小さな地域で標準伐期の施業を行い、他の伐採可能地域では、伐採を長期間あるいは半永久的に見送る。(ii)蓄積量を重視するか、島外に需要のある大径木の生産に期待して長伐期を中心に見据える地域が増える。(3)選択肢の幅は伐採面積に大きな影響を与えるが、高齢級林の割合に対する影響は相対的に小さい。

次に、これらの林齢構成をもとに林業、ツーリズム、希少種保全の面から評価した。評価の基準として、林業は伐採面積（パルプチップ材生産量との間に有意な相関； $R^2=0.62$ ）、希少種はシイの結実量が多い森林の面積割合（51年生以上）と大径木の多い森林の面積割合（81年生以上）、ツーリズムに

表(5)-6 各選択肢の方針を長期間続けた場合の林齢構成（奄美大島）

| 選択肢 \ 林齢        | 0-10 | 11-50 | 51-80 | 81<  | 伐採面積/年  |
|-----------------|------|-------|-------|------|---------|
| (A) 林業効率重視      | 2.9% | 11 %  | 0%    | 86%  | 197ha   |
| (B) バッファゾーン長伐期  | 2.3% | 9.3%  | 1.6%  | 87%  | 159ha   |
| (C) バッファゾーン超長伐期 | 2.0% | 8.2%  | 0.8%  | 89%  | 140ha   |
| (D) バッファゾーン禁伐   | 1.8% | 7.1%  | 0%    | 91%  | 121ha   |
| (E) 公園外長伐期      | 0.9% | 3.5%  | 2.7%  | 93%  | 61ha    |
| (F) 公園外超長伐期     | 0.4% | 1.8%  | 1.3%  | 96%  | 30ha    |
| 現状              | 7.6% | 59%   | 25%   | 8.3% | 40-80ha |

については、伐採記録のない金作原原生林とアマミノクロウサギのナイトツアーが最も重要であるが、前者は小面積（100ha程度）の森林で国立公園特別保護地区であるため、管理方針は定まっている。それに対して、後者はかなり広い森林域が対象になっており、大半の地域で管理方針は定まっていない。そこでアマミノクロウサギの生息環境を基準に評価することとし、伐採跡（10年生以下）と50年生以上の森林が共存するのが良いという条件（既往の研究<sup>11)</sup>）をもとに以下の評価式を作成した。

$$\text{評価値} = 0.019 * (68 - M) * M + 0.57 * L$$

M：51年生以上の森林(%)、L：10年生以下の森林(%)

そして、(FR)林業（伐採面積）、(NT)シイの結実量（51年生以上の森林の割合）、(LD)大径木のある森林（81年生以上の割合）、(RH)アマミノクロウサギの生息環境の評価値を7つの選択肢(A)、(B)、(C)、(D)、(E1)、(E2)、(F)について算出し、(FR)、(NT)、(LD)、(RH)の評価値の平均に対する比をもとに4つの選択肢を比較した（表(5)-7）。ここで選択肢(E)を2つに分けたのは、前述したように、現時点での伐採面積はこの選択肢に近いが、今後は大きく分けて2つの可能性が考えられたためである。その2つの可能性に沿って、公園外を長伐期(E1)か標準伐期(E2)に分けた。(E2)では51-80年生の森林が0%で50年生以下の割合が(E1)に比べて増える。実際には国立公園第二種特別地域内で伐採されている場合が多いが、伐採可能面積は公園内外で大きな差はないうえ、今後の動向は不確かであることから、公園外で伐採されると想定した。

評価結果を表(5)-7に示すが、7つの評価値全てにおいて平均値以上を得た選択肢は無かった。また、(NT)と(LD)は現状に比べて大幅に改善される一方で、(RH)の評価が現状よりも低くなるという結果が得られた。現状の伐採面積をほぼ維持する場合、(RH)の評価値にはっきりと差が出たため、(E2)の方が受け入れやすいと考えられる。全てにおいて平均的な(D)を選択すべきという考え方も可能であるが、(RH)の評価が(E2)と同じであるため、伐採規模を変えない(E2)の方が現実的であると言える。選択肢(A)においても、奄美市と大和村以东において伐採が行われないという条件があるため、(NT)と(LD)の評価が最も低い、現状と比べるとこれらは高い評価を得ている。(A)は(FR)だけでなく(RH)の評価も最も高い。しかし、(A)では宇検村と瀬戸内町に限れば、51年生以上の森林は67%にとどまり、(NT)の改善の度

合いは低くなる。チップ材増産に対する明らかな需要はないので、この選択肢は現実的ではない。現時点では(E2)が最も現実的であると考えられるが、1960～1980年代は国産材が相対的に安価で大面積皆伐が行われていた。バイオマス燃料としてのチップ材需要は近年大きくなっており、島材に対する需要の変化や伐採面積の変動については長期的に見ると不確実性が高い。

表(5)-7 評価項目ごとに見た7つの選択肢の評価

| 選択肢   | 林業（伐採面積）<br>(FR) |      | 希少種保全              |                     | アマミノクロ<br>ウサギ(RH) |
|-------|------------------|------|--------------------|---------------------|-------------------|
|       |                  |      | 堅果(NT)<br>(>51年生%) | 大径木(LD)<br>(>81年生%) |                   |
| (A)   | 197              | (17) | 86% (9.5)          | 86% (9.5)           | 25 (15)           |
| (B)   | 159              | (13) | 88% (9.6)          | 87% (9.6)           | 21 (13)           |
| (C)   | 140              | (12) | 90% (9.9)          | 89% (9.9)           | 19 (11)           |
| (D)   | 121              | (10) | 91% (10.1)         | 91% (10.1)          | 16 (10)           |
| (E1)  | 60               | (5)  | 96% (10.3)         | 93% (10.3)          | 9 (5)             |
| (E2)  | 60               | (5)  | 91% (10.1)         | 91% (10.1)          | 16 (10)           |
| (F)   | 30               | (3)  | 98% (10.7)         | 96% (10.7)          | 4 (3)             |
| 平均値   | 118              | (10) | 91% (10)           | 90% (10)            | 16 (10)           |
| 現在値推定 | 60               |      | 33%                | 8%                  | 47                |

括弧外は本文の記述内容にもとづく評価、括弧内は平均値に対する比×10；値が大きいほど評価が高い

国頭村においては、村有林のみが伐採の対象であったが、県営林が認証を取得したことから、今後は県営林においても伐採が行われるようになると仮定するのが現実的である。県営林には国有林の一部も含まれるが、2015年農林業センサスでは公有林にカウントされている。ここでは、サブ課題1から入手した数値を用いた。また、特別地域では1割の残存林を確保するほか、「やんばる型森林業」<sup>8)</sup>では第二種特別地域について長伐期を視野に入れるという方針が明示されていることを念頭に置いて伐期を設定した。立地条件によって異なるため「やんばる型森林業」では標準伐期の年数を示していないが、50年とし、さらに村役場での聞き取り調査をもとに、以下の条件を加えた。(i)伐採に当たっては地域住民との合意形成プロセスが必要となる。不確定な時間を要するうえ、全てのケースで合意形成が成り立つとは限らない。実際には将来も伐採の対象とはならない公有林と標準伐期よりも高い林例で伐採することになる可能性は十分あるが、不確定要素が大きく複雑な過程を設けるよりも単純なモデル、すなわち、ほぼ1/2の面積が伐採の対象となると仮定した。(ii)土場の設置と林道建設が可能な個所が地理的に限られているため、全ての公有林が伐採対象とならない。そこで(i)の条件をクリアした公有林のうち、3～5割が伐採可能であるとした。以上の条件をもとに、奄美大島と同様に、7つの選択肢を設定して、林齢構成を求めた。(A)林業効率重視：公園外と第三種特別地域（三特）では標準伐期、第二種特別地域（二特）では100年伐期；(B)バッファゾーン長伐期：公園外は50年、三特は100年伐期、二特は200年；(C)バッファゾーン超長伐期：公園外は50年、二特と三特では200年伐期；(D)バッファゾーン禁伐：公園外は50年伐期；(E)公園外長伐期：二特は禁伐、公園外は伐期100年、三特は200年；(F)バッファゾーン禁伐・公園外超長伐期（200年）。

表(5)-1に示したように伐採面積の年変動は大きいので、すべての選択肢が現実的に可能な範囲であるが、近年は村有林のみが伐採の対象であったのに対して、今後は県有林も対象になることから、(F)を除く選択肢が現実的であると言えよう。また、(A)から(E)については三特と二特の区域において伐採可能としているが、希少種の生息域は実際には禁伐となるであろう。その生息域については非公開であるので、本研究ではモデルに組み込まないが、(A)の下限と近年の伐採面積の最大値に近いことから、この選択肢の可能性もかなり小さいと言える。(B)から(E)の選択肢の中でどれが現実的か、希少種保全あるいはツーリズムの面から、どの選択肢が望ましいか、現時点では判断が難しい。その理由は以下のように考えられるからである。(i)現時点では島内需要を満たすだけの生産量を目標にしているが、バイオマス燃料としての需要が高まっている現在、不確かではあるものの島外からの需要が伸びる可能





て2017年に誕生した。

持続性に関しては、金作原での集中的利用のインパクトが懸念されている。そのため、入口にゲートを設け、ガイドツアーのみに限定するなどの措置がとられている。一方で、アマミノクロウサギを見るツアーが奄美市住用に集中していることがアマミノクロウサギの生息環境への影響も懸念されている。こちらは制限が設けられていないが、隣接する林道では糞塊の観察数が明らかに少なかったことから、有意な影響はないのかもしれない。本研究の一環として、林道上のアマミノクロウサギの糞塊調査を行ったところ、大和村から宇検村にかけて多くの糞が見つかった。これらはナイトツアーのポテンシャルが高いことを示しているが、ツアーの集中がよいか分散がよいか、インパクトに関する調査が必要であろう。

奄美大島では、今後も伐採域が宇検村と瀬戸内町に限られ、200ha以下の規模で推移していくならば、大半の森林は81年生以上の高齢級林となる。しかし、例えば地域振興という目的のもとで、増大するバイオマス燃料としての需要を背景に、奄美市あるいは大和村にチップ工場が建設され、伐採面積が2～3倍程度に増加する可能性がある。逆に労働力人口の高齢化や架線集材技術が失われることによって林業活動が停止する可能性もある。ただし、架線を使わない場合はさほど高度な技術を要求しないため、パルプあるいはバイオマス燃料としてのチップ材に対する需要が低下しない限り、本土からの参入の可能性は残る。一方、国頭村では村と森林組合が一体的に林業に当たっているうえ、自然保護活動がより激しかった経緯などを考えると、現時点では林業生産拡大への可能性は奄美大島よりも低いと言える。しかし、両地域とも林業活動を完全に制限している特別保護地区と第一種特別地域の面積割合が41%（奄美）、35%（国頭）に留まっている。また、現時点では森林認証が一つの制限要因になっているが、国立公園内から算出される材は認証材と同等であると認めようとする動きもある（FSC事務局）。国立公園内の伐採については環境省の許認可が必要であることから、かつてのように小面積の保護区域外のほとんど全ての林地で皆伐施業が行われる、というようなことにはならないが、伐採面積が4倍度にまで増える可能性は否めない<sup>10)</sup>。やんばるでも同様の可能性があることは前述した。林業をとりまく環境の変化に留意していく必要がある。一方で、2015年時点で奄美大島の森林の60%以上が50年生以下であったが、今後は高齢級林面積が大幅に増加することが確実である。やんばるでは大径木が奄美に比べて育ちにくい立地環境にあるが、国頭村では林齢の平均が54年であり、伐採面積も小さいので奄美大島以上に、老齢林の割合は増加すると推測された。従って、大面積の皆伐だけでなく、マングースによる捕食圧があっても絶滅することがなかった種にとっては、伐採面積が予測した以上に増えず、絶滅がとくに危惧されている森林依存種の生息域が保護される限り、現行の皆伐林業と希少種の保護との両立は可能であると考えられる。

最後に、屋久島における世界自然遺産登録と林業の関係を見ながら、登録の影響について考えてみたい。屋久島は1993年に世界自然遺産に登録されたがヤクスギは1982年から禁伐になっている。林業はオビスギが植栽されている標高500m以下の地域で行われており、世界遺産登録以前の1970年代から需要が低下していることも考慮に入れると、世界遺産登録が林業に影響を与えた可能性はかなり小さいと言える。奄美大島とやんばるにおいても同様で、ピーク時に比べるとすでに伐採量が大幅に減少しており、量的に現時点以上に抑制する必要はないであろう。屋久島と異なる点は屋久島では登録を準備する前から国立公園に指定されていたのに対して、奄美大島とやんばるでは準備段階で国立公園指定のための線引き（公園の境界及びゾーニング）が行われ、伐採可能な区域が新たに限定された。やんばるでは森林認証を取得したが、これは遺産登録とは別の要因である。宇検村では国有・民有の区分と村が独自に設定した村有林の区分に応じて伐採域が限定されており、国立公園のゾーニングはこの区分に後追いの形で決定したので、林業に影響を与えたとは言えない。さらに、地代については、屋久島町と国頭村、宇検村の間で異なる傾向、林地と住宅地では似た傾向が見られた。屋久島町の基準地価は1980年代から継続して低下しており、1993年の遺産登録や観光客の増加などの影響は見られない。公表されている林地の値は2000年以降であるが、この傾向は同様である。一方、国頭村では1980年代から1990年代にかけて上昇し、2000年代半ばまで高値が維持されたが、後半からやや値を下げている。しかし、1980年代に比べれば高値である。このように両地域では世界遺産登録の影響は見られなかった。また、



宇検村では土地所有に対する執着が強く、林地の売買はほとんどないとのことであった。解析に十分な売買件数がないので、地代の変化を推定することはできない。一方で、国内他地域の林地は海外の投資家によって売買価格の上昇が引き起こされ、瀬戸内町において売買が成り立たなかった例も取り上げられたが、これはグローバル経済の趨勢の一つである<sup>12)</sup>。

以上のように、世界自然遺産登録に向けての動きは国立公園のゾーニングとして確かな影響を与えた一方で、林業やツーリズムにはより大きな範囲の経済的背景が影響を与えてきており、持続性を考えるうえではより大きな視野で注視していかなければならない。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

意思決定手法の開発は政策科学において重要なテーマであるが、本研究では、林業、ツーリズム、希少種保全を共存させるという目標のもとで、伐期と伐採に対する制限をパラメーターとしてシミュレーションを行い、指標種の動態やツーリズムへの影響を考察するためのプロトタイプモデルの開発を行った。これは国内で初めての試みであり、より精緻なモデルを構築するための基礎を構築した。

### (2) 環境政策への貢献

これまで同一の質問内容で林業と自然保護の関係者に同時にアンケート調査を行ったことはなかった。合意形成を進めるに当たっては、両者の間で見られた明確な相違があったことに留意する必要があることが示唆された。また、森林管理の選択肢を設け、多面的に評価した結果、さらに精緻な解析を進めることによって林業、希少種保全、ツーリズムの共存に向けた具体的な道筋についての可能性が示された。

#### <行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

カメラを用いた森林利用者のモニタリングについては、野生生物保護センターより継続の要請があった。このことはモニタリング結果が有用であり、成果が公表されたときには活用される可能性が高いことを示している。また、公園管理の立場から地元の警察から協力要請があったことから、成果が活用される可能性を示唆している。

林業と自然保護の関係者の間で合意形成を進めるに当たっては、両者の間で見られた明確な相違があったことに留意し、両者の間でコンセンサスが得られるような場を設定する必要があることが示された。また、森林管理の選択肢を設けて多面的に評価する手法は、現行の制度ではコントロールできない部分（例えば、伐採面積が数倍に増加する可能性など）を示すため、制度の改善のために活用される見込みがある。

## 6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文（査読あり）>

- 1) 杉村乾：環境情報科学学術研究論文集，30，145-150（2016），奄美大島における林業、ツーリス

ム及び希少種保全の共存のための森林管理方針について

#### <査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

#### <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）

- 1) Sugimura K, Torikai H, Nagai Y, Shima T, Kawaguchi H: IUFRO 8.01.02 Landscape Ecology Conference, Halle, Germany, (2017)  
“The effects of forest management options on the mature forests, endangered wildlife species populations and employment opportunities on the Amami Oshima Island, Japan”
- 2) Sugimura K: EcoSummit 5th Meeting, Montpellier, France, (2016)  
“Forest management options to sustain forestry, tourism and rare species conservation in the Amami Oshima Island, Japan”
- 2) Sugimura K: IUFRO 8.01.02 Landscape Ecology Conference, Tartu, Estonia, (2015)  
“Forest use and its regulation in the Gunung Halimun Salak National Park, West Java, in reference to the Japanese system”

#### （３）知的財産権

特に記載すべき事項はない。

#### （４）「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 杉村 乾：環境研究総合推進費シンポジウム2016@奄美博物館「森といきもの、そして人～奄美の森と共に歩む道～」にて講演。（主催：森林総合研究所、2016年11月28日、奄美市立奄美博物館、観客約160名）「奄美の森林利用の過去と未来」

#### （５）マスコミ等への公表・報道等

- 1) 南海日日新聞（2016年11月30日、1頁、「林業と共存は可能」）
- 2) 奄美新聞（2016年11月30日、1頁、「奄美の森林伐採量は増加」）

#### （６）その他

特に記載すべき事項はない。

### 8. 引用文献

- 1) Watari Y, Takatsuki S, Miyashita T: Biological Invasions, 10, 7-17 (2008) Effects of exotic mongoose (*Herpestes javanicus*) on the native fauna of Amami-Oshima Island, southern Japan, estimated by distribution patterns along the historical gradient of mongoose invasion
- 2) Fukasawa K, Miyashita T, Hashimoto T, Tatara M, Abe S: Proceedings of the Royal Society, B, DOI: 10.1098/rspb.2013.2075, (2013) Differential population responses of native and alien rodents to an invasive predator, habitat alteration and plant masting.
- 3) Sugimura K, Ishida K, Abe S, Nagai Y, Watari Y, Tatara M, Takashi M, Hashimoto T, Yamada, F: Oryx, 48, 241-249 (2014) Monitoring the effects of forest clear-cutting and mongoose *Herpestes auropunctatus* invasion on wildlife diversity on Amami Island, Japan

- 4) Sugimura K: Ann Arbor, University Microfilm International, Michigan, USA, 290pp. (1987)  
Forestry and wildlife conservation on Amami Oshima, Japan: an integrated study of  
wildlife and human society.
- 5) 杉村乾：第9回環境情報科学論文集、121～126（1995）森林政策決定の差異が奄美大島の壮齢林の  
断片化と希少鳥獣の生息環境に与える影響
- 6) 杉村乾：森林組合、518, 10-15, (2013) 奄美大島の林業と野生生物保護
- 7) Sugimura K, Howard TE: Forest Policy and Economics, 10, 161-173 (2008) Incorporating  
social factors to improve the Japanese forest zoning process
- 8) 沖縄県農林水産部森林緑地課：やんばる型森林業の推進－環境に配慮した森林利用の構築を目指し  
て－施策方針（案）（2013）
- 9) 農林水産省大臣官房統計情報部：2000年世界農林業センサス、第1巻・都道府県別統計書-林業編、  
鹿児島県
- 10) 杉村乾：環境情報科学学術研究論文集、30, 145-150（2016）奄美大島における林業、ツーリズム  
及び希少種保全の共存のための森林管理方針について
- 11) Sugimura K, Sato S, Yamada F, Abe S, Hirakawa F, Handa Y: Oryx, 34, 198-206 (2000)  
Distribution and abundance of the Amami rabbit *Pentalagus furnessi* in the Amami and  
Tokuno Islands, Japan
- 12) 東京財団：グローバル化時代にふさわしい土地制度の改革を～日本の水源林の危機Ⅲ．東京財団  
政策提言（2011）

### III. 英文Abstract

#### **Development of Techniques for Conservation of Endangered Species and Biodiversity in Forested Areas of Amami and Ryukyu Islands**

Principal Investigator: Takashi MASAKI

Institution: Forest Research and Management Organization, Forestry and  
Forest Products Research Institute (FFPRI)  
Matsunosato 1, Tsukuba-City, Ibaraki 305-8687, JAPAN  
Tel: +81-29-829-8113 / Fax: +81-29-874-3720  
E-mail: masaki@ffpri.affrc.go.jp

Cooperated by: University of the Ryukyus, Tokyo University of Agriculture and Technology,  
Nagasaki University

#### [Abstract]

**Key Words:** Ecosystem management, Subtropical broadleaved evergreen forest, The world natural heritage nomination, Developing monitoring methods, Regional consensus

For maintaining valuable ecosystems in the Amami-Ryukyus region, it is essential to develop forest management plans that can avoid the risk of extinction of rare wildlife species. We focused on species that were dependent on aged forests and streams. We (1) investigated the development of habitat monitoring methods, (2) estimated the influence of forestry activities, and (3) performed sociological or economic evaluation for building a regional consensus.

Nonclear-cut forests in the Yambaru area had a higher diversity of tree species than the secondary forests. Vegetation cover of *Distylium racemosum* exhibited a significant positive correlation with the number of all species, endangered species, and epiphytes such as endangered *Dendrobium okinawense*. The forests harboring large *D. racemosum* and the epiphytes would have a high priority of conservation. LiDAR DCHM showed that tree height was more in valleys and less on ridges.

We developed a nest box camera-trap system for monitoring the Okinawa spiny rat that is endemic to the Yambaru forest. This system could be applied not only for monitoring the critically endangered species but also for clarifying their ecology. We proposed the important forest stands for restoring the population of the Okinawa spiny rat using a precise forest age map.

Five mature nonclear-cut stands in the Yambaru area were surveyed, and we found that the most common dominant tree species was *Castanopsis sieboldii*, and the second dominant species were found to be different among stands. Wood cavities are necessary for the habitat of rare species, e.g., *Diplothrix legata* and *Cheirotonus jambar*. We also picked up the remaining matured forest stands for their conservation.

We conducted field surveys and succeeded in showing the preferable environment for three endangered frogs inhabiting the Amami-Oshima Island. We applied the new method using eDNA and confirmed its usefulness for understanding the frog distribution, with >80% accuracy; however, the method needs to be improved for understanding the biomass of the target species.

Forest cutting has been almost limited to relatively small areas. Tourism was most popular in the central part of the Amami-Oshima Island, which had more than four times as many visitors



as any other forest tourism locations. Foresters have evaluated forestry and nature conservation almost equally, and nature conservationists have evaluated that conservation is certainly more important. Regardless of the forest management option, old-growth forest areas will increase considerably largely due to socioeconomic conditions, as well as due to recently introduced regulations.