

Environment Research and Technology Development Fund

環境省環境研究総合推進費終了研究等成果報告書

自然保護地域における協働管理のための情報交流システムの開発：
奄美大島をモデルとして
(4-1409)

平成26年度～平成28年度

Development of an Information Exchange System for Collaborative Management
in Nature Reserve Areas: Amami Oshima Island as a Model

中央大学
東京大学
国立研究開発法人国立環境研究所

平成29年5月

環境省
総合環境政策局総務課環境研究技術室
環境保健部環境安全課環境リスク評価室
地球環境局総務課研究調査室

自然保護地域における協働管理のための情報交流システムの開発：

奄美大島をモデルとして

(4-1409)

I. 成果の概要	.....	i
1. はじめに（研究背景等）		
2. 研究開発目的		
3. 研究開発の方法		
4. 結果及び考察		
5. 本研究により得られた主な成果		
6. 研究成果の主な発表状況		
7. 研究者略歴		
II. 成果の詳細		
(1) 生物多様性指標・評価手法の開発	.....	1
(中央大学・国立研究開発法人国立環境研究所)		
要旨	.....	1
1. はじめに	.....	2
2. 研究開発目的	.....	2
3. 研究開発方法	.....	4
4. 結果及び考察	.....	2 3
5. 本研究により得られた成果	.....	6 3
6. 国際共同研究等の状況	.....	6 6
7. 研究成果の発表状況	.....	6 6
8. 引用文献	.....	6 8
(2) 生物多様性ワークベンチの構築	.....	6 9
(東京大学)		
要旨	.....	6 9
1. はじめに	.....	6 9
2. 研究開発目的	.....	7 0
3. 研究開発方法	.....	7 1
4. 結果及び考察	.....	8 1
5. 本研究により得られた成果	.....	1 0 5
6. 国際共同研究等の状況	.....	1 0 7
7. 研究成果の発表状況	.....	1 0 7
8. 引用文献	.....	1 0 8
III. 英文Abstract	.....	1 0 9

課題名 4-1409 自然保護地域における協働管理のための情報交流システムの開発：
奄美大島をモデルとして

課題代表者名 鷺谷 いづみ（中央大学理工学部人間総合理工学科 保全生態学研究室教授）

研究実施期間 平成26～28年度

累計予算額 119,181千円（うち平成28年度：36,398千円）

予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード 生物多様性、樹冠サイズ指数、ニホンミツバチ、トンボ、ウナギ、照葉樹林、
データベース、ワークベンチ、協働、情報交流

研究体制

(1)生物多様性指標・評価手法の開発(中央大学・国立研究開発法人国立環境研究所)

(2)生物多様性ワークベンチの構築(東京大学)

研究協力機関

国立研究開発法人国立環境研究所、東京大学

研究概要

1. はじめに(研究背景等)

生物多様性条約第10回締結国会議で採択された愛知目標の中には、自然保護地域を拡大し、生物多様性保全に寄与する連結性の高いシステムとするという目標が含まれている。新しい自然保護地域とその周辺地域において、土地および自然資源の公的管理者と地域の多様な主体の参加による生物多様性保全の視点からの協働管理を試行することは、既存の自然公園等の管理を生物多様性の保全と持続可能な利用という目標に適ったものに変えていく上でのモデルづくりとしての意義が大きい。そのような管理にあたっては、管理に関わる主体の間での対象地域の生物多様性と生態系サービス等の情報共有が鍵となる。科学と参加を旨とする自然保護地域の順応的なアプローチによる管理にとって、モニタリング・現状評価に資する科学的かつ誰にとっても理解が容易な生物多様性/生態系サービス指標と評価手法、情報共有のためのウェブサイトや公開データベース、情報共有・協働に資するワークショップなどの情報共有システムとしてのワークベンチは、合意形成・協働のための手段として重要な役割を果たすことが期待される。

2. 研究開発目的

本研究プロジェクトは、国立公園を含む自然保護地域の新たな協働管理に資する情報共有に必要なこれらのツールを保全生態学および情報学分野の最新の科学的知見を活用しつつ、現場での実践と密接に関係させながら開発することを目的とする。その目的の達成のために以下の計画を設定した。

樹冠サイズ指数による森林生物多様性評価手法の開発に向けた、空中写真画像処理方法を開発する。画像処理で算出された樹冠サイズ指数の妥当性を対象地域のグランドツルースで検証を実施する。樹冠サイズ指数カテゴリーを地図化し、生物多様性ホットスポットの候補となる地域でフロラ・植生調査等を行い、樹冠サイズ指数カテゴリーの生物多様性指標としての妥当性を検証する。樹冠サイズカテゴリーを奄美大島全域で地図化し、植生情報と合わせて潜在的生物多様性ホットスポットを抽出する。市民参加型調査データ等データベースのデータによりこの手法の有効性を確認する。ニホンミツバチが利用する植物を詳細に把握する手法、すなわち、働きバチが巣に持ち帰る花粉の分析手法を確立し、コロニーが利用し送粉に寄与する植物種を網羅的に把握し、採餌空間の範囲の推定を実施する。これにより確立した花粉分析によるニホンミツバチの利用植物把握を複数の自然巣を対象に行い、基盤サービス(送粉サービス)の空間生態学モデルによる評価法を検討する。ニホンミツバチによる供給サービス・調整サービス・文化的サービスについても検討し、研究成果に基づき「環境学習プログラム」の開発・試行、蜂蜜(供給サービス)を利用する「なりわい」の育成に向けた固有ミツバチの養蜂マニュアル(仮)をまとめる。現地でのセンサス調査で把握した森林性トンボ群集の現状を1990年代のベースラインデータを対象として現状の評価を実施する。結果はネイチャーガイド(手引き書)として公開する。これらの調査結果にもとづき、森林性トンボを多地点で調査し、取得されたデータを用いて「入れ子性」を分析し、指標に適した種もしくは種群を見出す。トンボ類の調査森林域を広げ、奄美大島のトンボ相の、現状の日本列島における位置づけを明らかにするとともに指標種の保全マニュアルを策定する。ウナギ属魚類(ニホンウナギ・オオウナギ)について、調査に適した河川域の抽出を実施する。ニホンウナギ・オオウナギに関して標準化した手法での調査、耳石の微

量元素・安定同位体比分析と超音波バイオテレメトリー手法による生息環境把握を行う。ウナギ属魚類を指標とした河川環境診断の手順をマニュアル化し、ウナギ属魚類を題材とした環境学習教案(小中学生対象)を作成する。

奄美大島ワークベンチ「(仮称)ケンムン広場」を設計するにあたって、奄美大島における収集すべき生物多様性情報の範囲(データ収集者・データ利用者・分類群)を明確にするため、関係者へのヒアリングを行う。収集するデータを考慮した、データアップロード、データベース、データ品質管理、データ閲覧などのツールを有するウェブベースのワークベンチのプロトタイプを設計する。また、奄美大島における参加型モニタリングプログラム向けの携帯端末版データアップロードツールを検討する。プロトタイプを既存のサーバ上に試作し、サブテーマ(1)で収集される生物データを投入する。全方位カメラを用いて奄美大島における調査フィールドの環境動画を取得して投入する。全方位カメラで撮影した環境動画に対して、生物情報等のアノテーション(関連する情報)を付加し、画像や音声と統合してデータ閲覧できるようにする。携帯端末等を用いて、市民・住民による画像・音声付きデータの投入の試行を開始する。データ管理者である研究者がデータ毎にクレンジングし、公開・非公開を設定した上で、分類群を限定して試験的にデータ公開する。奄美大島ワークベンチのユーザからシステム利用に関するコメントを収集する。蓄積した大容量データを用いて科学的、行政的なニーズにもとづいた処理を行うツール、奄美大島の自然管理における合意形成をサポートするデータ視覚化ツール等を検討する。奄美大島ワークベンチのユーザからのシステム利用に関するコメントをもとに、ワークベンチの改良を図る。サブテーマ(1)の研究成果を踏まえて検討した科学的あるいは行政的なニーズを満たす各種ツールを開発し、ワークベンチに実装してシステムを強化する。奄美大島におけるデータを既に蓄積している主体からのデータ提供を促すとともに、さらに多くのモニタリング参加者を得て、データベースへのデータ投入量を飛躍的に増大させる。奄美大島ワークベンチをプロトタイプから実運用に移行させる作業を進める。

3. 研究開発の方法

(1) 生物多様性指標・評価手法の開発

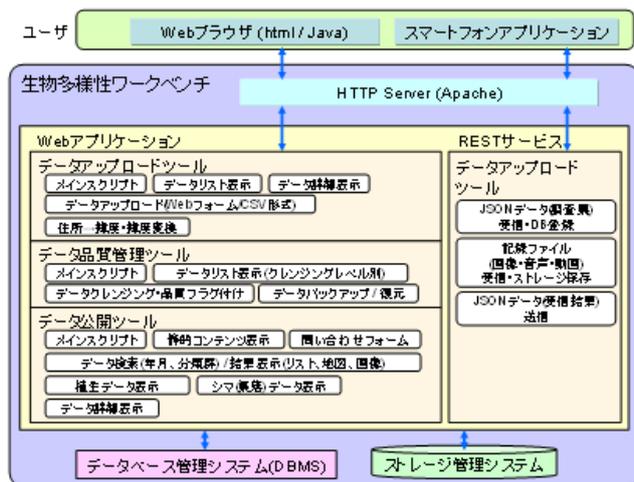
空中写真データから森林域の樹冠サイズ指数を算定する手法を開発するとともに、金作原国有林内の対象森林域の樹木の胸高直径と樹冠サイズ指数との関係性を検討した。これにより空中写真から成熟した森林域を特定することが可能であるかどうかを検証した。次に、胸高直径とその対象森林域におけるフロラ、倒木数、樹洞数を調査することで、奄美大島の成熟した森林域の生物相が生物多様性上どのような価値を有するのかを把握した。また、樹洞が見られる森林域ではCCDカメラを用いた樹洞内部の観察を行うことにより、樹洞内の環境と樹洞を利用する動物類も把握した。以上により、樹冠サイズ指数の算定が示す生物多様性の指標性が妥当であるかどうかを考察した。さらに、樹冠サイズ指数の算定エリアを奄美大島全域に拡張し、樹冠サイズ指数マップを作製した。

奄美大島における二ホンミツバチ個体群のコロニー分布調査を行った。把握したコロニー複数個を対象として営巣場所近傍の景観構造、花資源内容およびコロニーに持ち帰られた花粉荷の組成を把握するための手法の開発を行った。また、透明巣箱を用いてダンスから採餌距離と方向を読みとった上で、ドローンで撮影した適切な解像度の空中写真を組み合わせ、利用植物を把握する新しい手法を開発し、一部試行した。

トンボ相について1990～2000年代前半に取得されたベースラインデータと現在のデータを比較することで現状把握を行った。つぎに、止水域(10か所)・流水域(30か所)両方の生息地に生息するトンボ類のセンサス調査とそれら生息地の環境特性(止水域:周辺森林率、抽水植物・浮葉植物・沈水植物被度、池の面積、ティラピアの有無、NO₃-濃度、COD、流水域:周辺森林率、川幅、水深、流速、開空度、水温)の測定を行った。これにより取得されたデータをもとにトンボの種多様性に影響している要因の検討を統計解析によって実施した。

奄美大島の複数河川(川内川、住用川、役勝川)を選定し、ウナギ属魚類を含む通し回遊性の水生動物相の把握と、調査河川において回遊の障壁となりうる河川横断構造物の有無、個数および構造の把握を行った。把握された河川横断構造物の上下流を含む全27地点の調査河川区間を設定し、それぞれの区間において電気ショックによる採集調査および各種環境測定を行った。採集できたウナギ属魚類については調査当日中に凍結保存した後、全個体の体長・体重を計測し、生殖腺の目視観察による雌雄判別、耳石の採取を行った。その他の水生動物については現地種同定を行った後ただちに放流した。採取された耳石を用いて年齢査定および微量元素分析に供した。さらに、奄美市小湊集落に河口をもつ大川にて超音波バイオテレメトリー手法を用いたオウナギの生息環境把握実験も実施した。

(2) 生物多様性ワークベンチの構築



図(2)-1 生物多様性ワークベンチプロトタイプ構成図。

生物多様性ワークベンチの構築にあたって収集するデータとして、植生データ、パノラマ環境画像、樹洞画像、鳥の音声、ニホンミツバチの動画、生物モニタリングデータ、シマ(集落)遺産、奄美野生生物保護センターの職員・マンダースマスターが収集する生物情報、プロジェクト・事業ベースの生物情報を対象とした。蓄積するデータの内容を考慮して、MySQL上でデータベースを設計し、生物多様性ワークベンチの設計では図(2)-1に示す構成図にもとづいた。ワークベンチとして使用するハードウェア(サーバ本体、ストレージ)は、多くのサイトアクセス、長期運用、大量データの蓄積を考慮して東京大学が運用しているDIAS(データ統合・解析システム)から借用した。ストレージは10TBを用意し、必要に応じて拡大することとした。

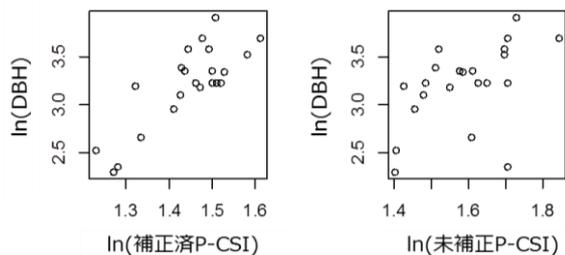
生物多様性ワークベンチに蓄積させるデータとして本研究が取得するデータだけでなく、市民科学データの蓄積もサポートするために、市民参加型モニタリングプログラム向けのスマートフォン版データアップロードツール(アプリケーション)を開発した。また、サブテーマ(1)の研究計画に対応する生息地環境データの収集として、本サブテーマでは、全方位カメラによる環境動画、ドローンによる空撮画像の蓄積を遂行し、ワークベンチにおけるそれらのデータの閲覧ツールの開発も行った。

4. 結果及び考察

(1) 生物多様性指標・評価手法の開発

空中写真から算定された樹冠サイズ指数(Pixel-based Crown Size Index; P-CSI)と対象森林域の林冠木平均胸高直径には有意な正の相関がみられた。とくに、推定誤差を小さくするための画像補正を施した補正済P-CSIは未補正P-CSIと比べて決定係数が向上することが確認された(補正済: $R^2=0.68$ 、未補正 $R^2=0.26$) (図(1)-1)。補正済P-CSIに標高、傾斜、斜面方位が及ぼす影響について検討したところ、いずれも有意な効果をもたらしていない点と、他気候帯における先行研究事例との比較からも $R^2=0.68$ という精度は高い点から、実用可能な結果と考えられた。本研究によって開発された樹冠サイズ指数の算定手法は、空中写真から広域的に森林林冠木の胸高直径分布を指標する有用な手法であるといえる。

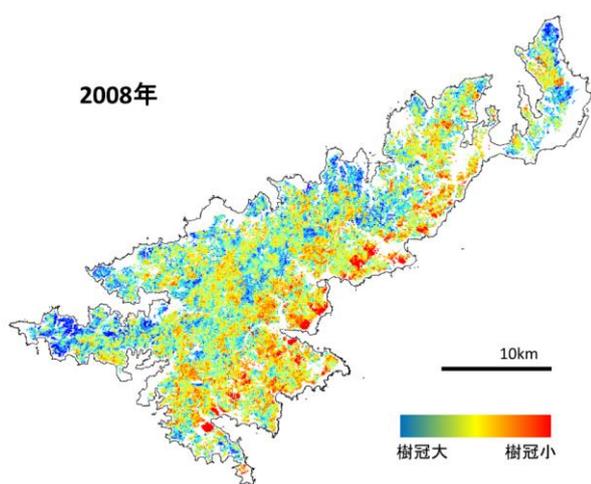
奄美大島の亜熱帯照葉樹林帯において林冠木の胸高直径は、樹洞数および着生植物の種数に有意な正の効果をもたらしていることが明らかとなった。森林における生物多様性指標のなかでも、樹木サイズ(胸高直径)はリモートセンシングによるモニタリングが比較的容易である。すなわち、樹木サイズを表す変数間にはアロメトリ関係があるため、衛星画像や空中写真から樹冠サイズ指数を推定する手法を用いて省力的な広域モニタリングを行うことができると考えられる。本研究では、生息地範囲が広い鳥類などについても樹洞を利用している痕跡を確認することができたことから、着生植物のような生育地が狭い生物から鳥類まで幅広いスケールでの生物多様性モニタリングに本手法は有効である(図(1)-2)。以上のメリットを踏まえ、補正済Mesh-based Crown Size Index(補正済M-CSI)を求めることで、奄美大島全域の樹冠サイズ指数マップも作成した(図(1)-3)。今後全域マップにもとづいて様々なスケールでの生物多様性モニタリングが実現することが期待できる。また、本研究



図(1)-1 補正済P-CSIおよび未補正P-CSIの自然対数と林冠木平均胸高直径の自然対数の散布図。



図(1)-2 樹冠サイズ指数によって特定される大径木老齢林域は希少種を含む様々な動植物に生息地を提供している。



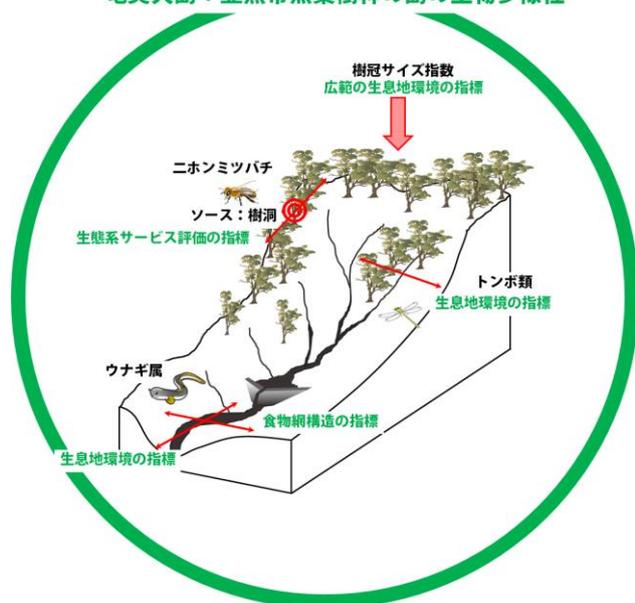
図(1)-3 2008年度における奄美大島全域のCM-CSI。

樹洞であり、樹冠サイズ指数の研究結果でも示されたように、樹洞を有する樹木が多く生育する老齢林がニホンミツバチによる安定的な生態系サービスを維持する上で肝要であると考えられる。

奄美大島のニホンミツバチが異なる地域個体群もしくはエコタイプといえる特性をもつことが明らかになり、試料を提供した共同研究者のミトコンドリアDNA分析により遺伝的に他地域のニホンミツバチと区別できることが示唆された。このことは、養蜂への利用のために人為的な移動が頻繁に行われる可能性の高いニホンミツバチの「保全単位」を明確にする上で保全生態学的な意義が大きい。また、透明巣箱をもちいてダンスから採餌距離と方向を読みとった上で、ドローンで撮影した適切な解像度の空中写真を組み合わせ、利用植物を把握する新しい手法を開発し、一部試行した。このような手法の組み合わせにより、今後ニホンミツバチが提供する生態系サービスとその空間特性に関して多くの知見を得ることが期待される。なお、調査結果にもとづいて、養蜂マニュアルを作成するとともに現地養蜂家等との意見交流会も実施した。

止水性・流水性トンボ両方の調査において、トンボの種多様性には水域周辺の森林域の存在が大きく貢献していることが明らかとなった。止水性トンボでは、クロスジギンヤンマ、マルタンヤンマ、リュウキュウトンボ、オオハラビロトンボといった抽水植物が繁茂し、周辺に森林による陰がある生息地環境を選好する種が、出現種数の特に多い調査池に限定的に生息していた。一方、流水域では、調査河川の出現種数の増加に寄与する希少種

奄美大島：亜熱帯照葉樹林の島の生物多様性



図(1)-4 本研究におけるそれぞれの生物多様性指標が果たす役割の概略図。

で明らかとなった、1965年以降一定に樹冠サイズ指数が大きな照葉樹林帯の大部分は、奄美群島国立公園(仮称)の特別保護地区と重なっていた。

ニホンミツバチに関する現地調査の結果、過去の営巣情報も含め、27コロニーの営巣情報が得られた。そのうち、樹洞コロニーと墓コロニーを対象として花粉荷採集器による花粉荷の採集と花粉の同定を行った。その結果、周辺の森林率が95%となる樹洞コロニーでは、主に森林域の高木・低木および路傍植物から花粉を得ていることが明らかとなった。一方墓コロニーでは、周辺の森林率は60%程度で森林だけでなく周辺の栽培植物からも花粉を得ていた。そのため、果樹園における栽培植物への送粉サービスの提供が示唆された。しかしながら、人目に付きやすいコロニーは一般に駆除されるリスクが高く、持続的な送粉サービスを受受するためには、人里のコロニーのソースと考えられる森林域のニホンミツバチ野生個体群の保全が重要である。とくに、森林域のニホンミツバチの営巣場所は

には、ヒメミルンヤンマ、チビサナエ、リュウキュウトンボ、アマミヤンマ、アマミトゲオトンボといった森林に覆われた薄暗い河川を選好する種が含まれていた。このことから、トンボ類に注目することで、陸域生態系のみならず水域生態系も含めたスケールにおいて森林域が生物多様性保全上重要であることを示すことができた。なお、調査結果によって奄美大島のトンボ全種を記載したネイチャーガイドと保全マニュアルを作成した。

奄美大島の河川に生息するウナギ属魚類のうち、オオウナギが占める割合が圧倒的に高く(98%)、感潮域から上流域まで幅広く生息が確認できた。河川横断構造物がオオウナギの個体数密度に及ぼす影響を検討した結果、河口からの落差の数および河口からの距離に負の効果認められ、河川横断構造物が無い河川では広く生息が確認された。また、耳石の微量元素分析の結果、奄美大島のオオウナギについても温帯性ウナギ属と同様の回遊多型が見られた。本調査で採集したオオウナギのうち、最

も体サイズが大きかった個体(1320mm)は30歳と見積もられ、河川生態系を構成する動物種のうちオオウナギは最も寿命が長い動物であると考えられた。ウナギ属魚類は水生甲殻類、魚類だけでなく、陸生昆虫類や爬虫類も消費しており、陸域・水域両方の食物網の構成種であることが判明した。バイオテレメトリー手法にもとづく河川内移動量では、500m程度であると推察され、移動は主に夜間に行っていることがわかった。回遊性魚類・甲殻類についても河川横断構造物の負の影響が検出され、オオウナギが多く生息する河川区間では回遊性動物全体の出現種数も多く、河川環境の指標としてオオウナギは適当である。生息地範囲が広く、食材としても市民にとって身近な存在であるオオウナギは、河川環境の保全のシンボル種として有効に機能すると考えられた。以上の知見をもとに、ウナギ属魚類特にオオウナギを指標として河川環境を診断するマニュアルおよび小中学生向けの環境学習教案を作成した。

以上の研究成果から奄美大島の亜熱帯照葉樹林帯における生物多様性指標を具体的に提案した(図(1)-4)。

(2) 生物多様性ワークベンチの構築

前述の生物多様性ワークベンチプロトタイプ構成図(図(2)-1)にもとづいて、生物多様性ワークベンチ「ケンムン広場(<http://kenmun.dias.nii.ac.jp/>)」を立ち上げた。「ケンムン広場」では投入されたデータの信頼性を担保するために、専門家によるデータクレンジング・品質管理の体制が組まれている。具体的には、モニタリング参加者がアップロードしたデータについてアクセス制限のかかったWebページ上でリスト表示し、専門家がデータをクリックすると、データクレンジングページが表示される。これによりデータの質を保つとともに、参加者への同定学習のフィードバックが期待できる。アップロードされるデータには、生物種名、性別、個体数、画像・動画・音声、調査日、調査時刻、天気、環境、備考、調査地位置情報を付加することができる。

奄美大島における市民参加型の生物モニタリングのためのスマートフォンアプリケーション「どこでもケンムン調査」を開発した。一般に広く普及し、形態性の高いスマートフォンでデータ収集を行い、一元的なデータ管理が可能なクライアントサーバシステムを構築した。クライアント側はAndroidとiPhoneの両スマートフォンに対応しており、アプリには、ユーザが動植物などの画像、動画、音声、調査対象、調査地などの情報を記録する。スマートフォンの機能により、位置情報、方位や照度等センサー情報は自動的に記録される。奄美大島ではモニタリング調査を実施すると思われる地域で通信インフラが利用できない可能性もあるため、スマートフォンアプリによるデータ収集時にはサーバ側への通信は必須としない。通信インフラが利用不可であった場合、収集されたデータは一旦スマートフォン内に保持され、ネットワークに接続可能なときにサーバに送信されるようにした。なお、「どこでもケンムン調査」はGoogle PlayとApp Storeで一般公開しており、スマートフォンを所有する人ならば誰でもインストールすることができる。

生物多様性ワークベンチ「ケンムン広場」では、スマートフォンアプリケーションユーザが収集したデータのほか、サブテーマ(1)が収集した植生データ、パノラマ環境画像、樹洞画像、鳥の音声、ニホンミツバチの動画、生物モニタリングデータ、サブテーマ(2)がドローン、全方位カメラを用いて収集した生息地環境データ、地元専門家が所有するシマ(集落)遺産データ、奄美野生生物保護センターが所有する生物情報も対象としてデータ投入を行った。2017年2月現在、ワークベンチに蓄積されたデータは5.8TBに達しており、データ件数の合計は3.6万件にのぼる。これらのデータを活用した奄美大島における生物多様性モニタリングが展開されることが今後期待できる。

「ケンムン広場」の運用にあたって、Webサイトユーザに対してアンケートを行い、システム利用に関するコメントを収集した。これによって得られたコメントにもとづいて、システムの改良を行い、より実用性の高いワークベンチへと改善させた。また、さらなる高い実用性の実現に向けて、蓄積されたデータの処理ツール・視覚化ツールについても検討した。以上の作業により、ワークベンチの調査データの表示方法からWebサイト上の文章、デザイン改訂に至るまでの随所で改善を図り、「ケンムン広場」の質を高めることができた。

現在までのスマートフォンアプリケーションのインストールユーザ数は計84名であり、報告件数は329件である。最終年度においてはデータベースへの調査投入量を増大することに成功し、市民参加によるスマートフォンアプリケーションを用いた生物データの収集が実現可能であることが示された。しかし、飛躍的なデータ投入量増大にはまだ至っておらず、アプリケーションを使った活動を普及させるためのコミュニティ構築の必要性が実運用に向けての課題となった。一方で、生物多様性ワークベンチ実運用への移行へ向けてWebサイトの稼働を監視するためのプログラム改善、サイト不具合報告の受付窓口の設置、ニーズに応じてツール群が増加したことに対するWebサイトデザインの改修を行った。また、Webサイト利用者が論文作成の際にWebサイトのデータページを引用するためのURLが表示されるような仕組みもつくった。

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

本研究で開発した樹冠サイズ指数の算出法と地図化は、画像さえあれば任意の空間領域に適用して保全上

有用な森林域を見いだすことができることから、今後、保全生態学の研究手法として広く活用されることが期待される。本研究でモデルとした奄美大島では、樹冠サイズ指数が大きく大径木が集中する森林域は、自然性の高いフロラの存在や樹洞数の多さによって特徴づけられた。樹洞はルリカケス、リュウキュウコノハズク、ナガネズミなど奄美大島固有の動物の営巣場所として重要である。希少動物のモニタリングは、希少さゆえの難しさがあるが、本指標により、営巣場所の存在ポテンシャルを評価できる。

ニホンミツバチは営巣にも花資源にも森林、とくに老齢林に依存する森林の昆虫であること、奄美大島の個体群は遺伝的・生態的に独特な固有の個体群であることが明らかにされた。また、森と里を結ぶ生物多様性と生態系サービスの指標として利用するための知見が得られた。

止水・流水性トンボについていずれも水域周辺の森林環境が種多様性と希少種の生息に大きな効果をもつことが明らかとなった。流水性トンボの出現種数が多いホットスポットともいえる河川区間は、国立公園の指定予定地内に位置していることが判明した。指定予定地の科学的妥当性を森林と河川の連結性の視点からも明らかにすることができた。

全島の河川を対象とした魚類相調査からオオウナギが河川の生物多様性の指標としてふさわしいことが1)河川全域(感潮域～上流域)における生息し、個体数が多いことから河川横断構造物の影響を評価することができること、2)河川生態系における上位捕食者で、陸域と水域両方の由来の餌資源を消費する陸域・水域の食物網の接点に位置づけられることなどから示された。

現在、データ工学の分野ではクラウドソーシング関連の研究が急速に発展しつつあるが、本研究では、市民参加型モニタリングのためのデータ収集スマートフォンアプリケーションを開発・一般公開し、参加者が本アプリケーションを使用し、データ品質管理を経た高品質なモニタリングデータを蓄積するというプロトタイプ段階での成果をあげることができた。

(2)環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

本研究によって開発されたスマートフォンアプリケーションを奄美野生生物保護センターでも活用してもらい、アマミノクロウサギの糞塊調査やマングース捕獲に資するツールとして更なる開発・改善が進行している。

<行政が活用することが見込まれる成果>

新たに計画されている国立公園は、従来の国立公園とは異なる生物多様性と生態系サービスに関する情報を多様な主体の間で共有したうえで、科学と参加を旨とした順応的管理が行われる必要がある。多様な主体の参加による協働管理における対策を含む人々に応じて変化する生物多様性の状態を、包括的にまたは、森・川・里・海のつながりにおいて評価する指標種(群)として、本研究で取り上げた指標はいずれも有効性が確かめられた。とくに、樹冠サイズ指数は、モノクロの空中写真や衛星画像は過去に撮影された画像や他の目的で取得された画像など、自治体などの諸機関がすでに所有している資料や比較的安価に取得できる画像を用いて計算できるため、過去にさかのぼって、あるいはさまざまな空間的なスケールで生物多様性から見た森林の質を評価し地図化できる利点がある。本研究で開発された低コストの解析・地図化手法は、自治体や発展途上国の行政機関なども利用可能である。なお、この手法の妥当性は、いくつもの観点から線引きがなされた国立公園とその特別保護地域がこの指標によって抽出された生物多様性の高い森林域と重なっていることから確認できる。

奄美大島のニホンミツバチは、本州・四国・九州とは遺伝的にも生態的にも異なる地域個体群であることが示唆された。しかし、九州等からニホンミツバチが養蜂のために持ち込まれている情報もあり、ハイブリッドの形成など国内外来種問題を回避するための予防的な対策が重要である。これに関連して固有のニホンミツバチを保全しながら持続可能な養蜂を行うためのマニュアルをパンフレットにまとめたので、ぜひ活用し、国内外来種問題が顕在化しない広報を続けていただきたい。

トンボの保全上重要な森林域は既にすべてが国立公園に含まれていることが明らかにされた。地域や市民の参加によるモニタリングおよび保安全管理には、本研究が公表した写真図鑑(ネイチャーガイド)と保全マニュアルは、今後始まることが期待される協働管理において広く活用されることをのぞきたい。

奄美大島の河川域の水域と陸域をつなぎ、また河口から上流域までを生息に利用するオオウナギが、連結性の保たれた健全な河川環境に指標として重要であることが明らかになり、森・川・里・海のつながりなど、生態系の健全性と生物多様性をみつめるまなざしを養う環境学習の素材を提供することができた。

科学技術の発展において、「情報爆発の時代」として特徴づけられる現代、情報工学の発展はめざましく、当該分野で開発されたさまざまなツールが社会的に果たしている役割はきわめて大きく、それはさらに拡大しつつある。そのような時代にあって、生物多様性の保全や自然再生、国立公園などの自然保護区の管理などにおいて、事業・実践を「情報化」することは他分野にも増して強く求められている。それは事業・実践には多様な主体が参加して科学的に進めることが求められているからである。その情報化の一つのモデルを示したのが、今回、新た

な国立公園の設置が計画されている奄美大島においてプロトタイプを試作したワークベンチである。このような情報の収集・蓄積・活用を支援する情報基盤としてのワークベンチは参加型の事業を多く所轄する自然環境行政にとってこそ特に重要な意義を有する。森林域等の国立公園化が予定されている奄美大島をモデル地域として取り上げた本研究の成果は、国レベルから基礎自治体レベルの生物多様性にかかわる事業におけるワークベンチ構築にそのまま利用できるデータベース関連ツールやアプリケーションなど多様な要素を含んでおり、その社会実装と活用が強くのぞまれる。

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) 藤原愛弓、和田翔子、鷺谷いづみ: 保全生態学研究、20、131-145 (2015)、奄美大島のニホンミツバチの保全に向けた生態特性の把握: 体サイズ、営巣場所、天敵、繁殖期のコロニーの活動と分封
- 2) 松本齊、大谷雅人、鷺谷いづみ: 保全生態学研究、20、147-157 (2015)、奄美大島における保全上重要な亜熱帯照葉樹林の指標候補としての大径木
- 3) Matsumoto, H., M. Ohtani and I. Washitani: Tropical Conservation Science 10, 1-12 (2017), Tree crown size estimated using image processing: a biodiversity index for sloping subtropical broad-leaved forests.
- 4) Fujiwara, A., H. Kudo and I. Washitani: Entomological News (in press), A preliminary report on *Vespa analis eisa* (Hymenoptera: Vespidae) as a potential natural enemy of *Apis cerana japonica* (Hymenoptera: Apidae) on Amami Island.
- 5) Okuyama, H., T. Wakamiya, A. Fujiwara, I. Washitani and J. Takahashi: Conservation Genetics Resources (in press), Complete mitochondrial genome of the honeybee *Apis cerana* native to two remote islands of Japan.
- 6) Sakai, M., S. Suda, T. Okeda and I. Washitani: Ecological Research (in press), Identifying priority habitats and monitoring species for conservation and restoration of lentic Odonata habitats: assemblage nestedness on Amami-Oshima Island, Japan.

<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) 安川雅紀、服部純子、松本齊、鷺谷いづみ、喜連川優: 情報処理学会第77回全国大会(2015)
「スマートフォンを用いたクラウドソーシングによる生物モニタリングデータ収集アプリケーションのプロトタイプ開発」
- 2) 海部健三: 第62回日本生態学会大会(2015)
「ウナギの降河回遊生態と保全管理の課題」
- 3) 松本齊、大谷雅人、鷺谷いづみ: 日本生態学会第62回全国大会(2015)
「奄美大島の亜熱帯照葉樹林の生物多様性指標候補としての大径木」
- 4) 藤原愛弓、和田翔子、鷺谷いづみ: 日本生態学会第62回全国大会(2015)
「奄美大島のニホンミツバチの保全生態学的特性」
- 5) 和田翔子、藤原愛弓、鷺谷いづみ: 日本生態学会第62回全国大会(2015)
「奄美大島におけるニホンミツバチの花資源利用」
- 6) 服部純子、安川雅紀、喜連川優: 情報処理学会第78回全国大会(2016)
「生物モニタリングにおける位置情報付与の利便性を向上したスマートフォン・アプリケーションの開発」
- 7) 境 優、須田真一、桶田太一、鷺谷いづみ: 日本生態学会第63回全国大会(2016)
「奄美大島におけるトンボ相と景観構造との関係」
- 8) 藤原愛弓、吉田丈人、鷺谷いづみ: 日本生態学会第63回全国大会(2016)
「奄美大島の異なるランドスケープにおけるニホンミツバチ野生群の花資源利用」
- 9) 脇谷量子郎、板倉光、海部健三: 日本生態学会第63回全国大会(2016)
「島嶼部における河川横断構造物の魚類相に与える影響」
- 10) 工藤遥香、藤原愛弓、鷺谷いづみ: 日本生態学会第64回全国大会(2017)
「奄美大島におけるニホンミツバチのコロニー成長と採餌活動—観察巣箱を用いた調査—」
- 11) 井上奈津美、井上遠、外山雅大、吉田丈人、鷺谷いづみ: 日本生態学会第64回全国大会(2017)
「亜熱帯照葉樹林におけるCCDカメラを用いた樹洞の内部環境と利用生物の把握」

- 12) 境 優、須田真一、桶田太一、鷺谷いづみ:日本生態学会第64回全国大会(2017)
「止水性トンボ群集の入れ子構造から保全上重要な生息地とモニタリング種を抽出する:奄美大島の事例」
- 13) 安川雅紀、喜連川優:第9回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(DEIM 2017)、E7-2、(2017)
「ドローンを用いた生物多様性研究のためのモザイク画像作成に関する検討」

7. 研究者略歴

課題代表者:鷺谷いづみ

東京大学理学部卒業、理学博士、現在、中央大学理工学部教授

研究分担者

1) 喜連川優

東京大学工学部卒業、工学博士、現在、東京大学生産技術研究所教授

2) 海部健三

一橋大学社会学部卒業、農学博士、現在、中央大学法学部准教授

3) 安川雅紀

東京理科大学基礎工学部卒業、工学博士、現在、東京大学地球観測データ統融合連携研究機構
特任助教

4) 吉岡明良

東京大学農学部卒業、農学博士、現在、国立環境研究所研究員

4-1409 自然保護地域における協働管理のための情報交流システムの開発：奄美大島をモデルとして

(1) 生物多様性指標・評価手法の開発

学校法人中央大学

理工学部 教授

鷲谷 いづみ

法学部 准教授

海部 健三

国立研究開発法人国立環境研究所

福島支部 環境影響評価研究室 研究員

吉岡 明良

<研究協力者>

中央大学 助教

境 優

中央大学 専任研究員

須田 真一

中央大学 専任研究員

脇谷 量子郎

神戸大学 特別研究員

板倉 光

平成26(開始年度)～28年度累計予算額：62,583千円（うち平成28年度：18,398千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

2017年3月7日に国立公園に指定された奄美大島照葉樹林域の順応的管理モニタリングの生物多様性指標（状態指標）候補として、大径老齢木集中林域をリモートセンシングで把握する「樹幹サイズ指数」および指標種（群）のニホンミツバチ、トンボ類、ウナギ類を取り上げ、それらの指標性および評価手法を検討した。空中写真（モノクロも可）から画像解析により算出する樹冠サイズ指標は、グランドトゥルースで測定した単位面積あたりの樹木平均サイズと相関し、後者は林床植物・着生植物の種多様性およびケナガネズミ・リュウキュウコノハズクなど希少動物の営巣に適した樹洞の存在量とも相関することが示され、包括的な生物多様性指標として有効であることが示唆された。作成した全島指数マップでは国立公園特別保護地区の照葉樹林の指数値が大きいことが示された。本土とは遺伝的に異なる個体群の存在が示唆されるニホンミツバチについては、遺伝的・生態的な固有性が示され、樹洞に営巣し高木からギャップ植物まで森林の多様な植物の授粉を担う生態に加え、森の恵みの蜂蜜・果樹の授粉などの生態系サービスの利用実態も把握された。コロニーの利用空間をダンスから把握するために開発した透明巣箱は、研究成果にもとづき作成した保全マニュアルとともに環境学習のツールとして期待できる。センサス調査により止水性、流水性いずれのトンボの種多様性および希少種の生息には森林による被陰が重要な要因として寄与すること、流水性のトンボの多様性の高い河川域はすべて国立公園内に含まれており、健全な森・川のつながりの指標としてふさわしいことが示された。参加型モニタリング・保全管理に利用可能なネイチャーガイドと保全管理マニュアルを作成した。ウナギ類を含む魚類調査・耳石

分析からはオオウナギが陸・川・海のつながりの指標種として適切であることが示され、異なる河川域をその点から評価した。

[キーワード]

亜熱帯照葉樹林、樹冠サイズ、ニホンミツバチ、トンボ類、オオウナギ

1. はじめに

生物多様性条約第10回締結国会議で採択された愛知目標の中には、自然保護地域を拡大し、生物多様性保全に寄与する連結性の高いシステムとするという目標が含まれている。新しい自然保護地域とその周辺地域において、土地および自然資源の公的管理者と地域の多様な主体の参加による生物多様性保全の視点からの協働管理を試行することは、既存の自然公園等の管理を生物多様性の保全と持続可能な利用という目標に適ったものに変えていく上でのモデルづくりとしての意義が大きい。そのような管理にあたっては、管理に関わる主体の間での対象地域の生物多様性と生態系サービス等の情報共有が鍵となる。科学と参加を旨とする自然保護地域の順応的なアプローチによる管理にとって、モニタリング・現状評価に資する科学的かつ誰にとっても理解が容易な生物多様性/生態系サービス指標と評価手法、情報共有のためのウェブサイトや公開データベース、情報共有・協働に資するワークショップなどの情報共有システムとしてのワークベンチは、合意形成・協働のための手段として重要な役割を果たすことが期待される(図1)。サブテーマ(1)では、対策・管理などと相互作用して変化する生物多様性の状態を把握するための「状態指標」としての生物多様性指標をとりあげる。

2. 研究開発目的

順応管理のためのモニタリングにおいて有用と考える生物多様性指標の候補としては、森林域の生物多様性の包括的な指標としてのポテンシャルをもつ「樹冠サイズ」、生態系サービスの点からも注目される指標種である「ニホンミツバチ」、森と河川のつながりの健全性の指標ともいえる「トンボ類」、河川および河川と海のつながりの指標である「ウナギ属」を取り上げ、次のような研究を行う。本研究プロジェクトは、国立公園を含む自然保護地域の新たな協働管理に資する情報共有に必要なこれらのツールを保全生態学および情報学分野の最新の科学的知見を活用しつつ、現場での実践と密接に関係させながら開発することを目的とする。その目的の達成のために、サブテーマ(1)では、以下の計画を設定した。

・ 樹冠サイズ

樹冠サイズ指数による森林生物多様性評価手法の開発に向けた、空中写真画像処理方法を開発する。画像処理で算出された樹冠サイズ指数の妥当性を対象地域のグランドツルースで検証を実施する。樹冠サイズ指数カテゴリーを地図化し、生物多様性ホットスポットの候補となる地域でフロラ・植生調査等を行い、樹冠サイズ指数カテゴリーの生物多様性指標としての妥当性を検証する。樹冠サイズカテゴリーを奄美大島全域で地図化し、植生情報と合わせて潜在的生物多様性ホットスポットを抽出する。市民参加型調査データ等データベースのデータによりこの手法の有効性を確認する。

・ ニホンミツバチ

ニホンミツバチが利用する植物を詳細に把握する手法、すなわち、働きバチが巣に持ち帰る花粉の分析手法を確立し、コロニーが利用し送粉に寄与する植物種を網羅的に把握し、採餌空間の範囲の推定を実施する。これにより確立した花粉分析による日本ミツバチの利用植物把握を複数の自然巣を対象に行い、基盤サービス（送粉サービス）の空間生態学モデルによる評価法を検討する。ニホンミツバチによる供給サービス・調整サービス・文化的サービスについても検討し、研究成果に基づき「環境学習プログラム」の開発・試行、蜂蜜（供給サービス）を利用する「なりわい」の育成に向けた固有ミツバチの養蜂マニュアルをまとめる。

・トンボ類

現地でのセンサス調査で把握した森林性トンボ群集の現状を1990年代のベースラインデータを対象として現状の評価を実施する。結果はネイチャーガイド（手引き書）として公開する。これらの調査結果にもとづき、森林性トンボを多地点で調査し、取得されたデータを用いて「入れ子性」を分析し、指標に適した種もしくは種群を見出す。トンボ類の調査森林域を広げ、奄美大島のトンボ相の、現状の日本列島における位置づけを明らかにするとともに指標種の保全マニュアルを策定する。

・ウナギ属

ウナギ属魚類（ニホンウナギ・オオウナギ）について、調査に適した河川域の抽出を実施した。ニホンウナギ・オオウナギに関して標準化した手法での調査、耳石の微量元素・安定同位体比分析と超音波バイオテレメトリー手法による生息環境把握を行った。ウナギ属魚類を指標とした河川環境診断の手順をマニュアル化し、ウナギ属魚類を題材とした環境学習教案（小中学生対象）を作成した。

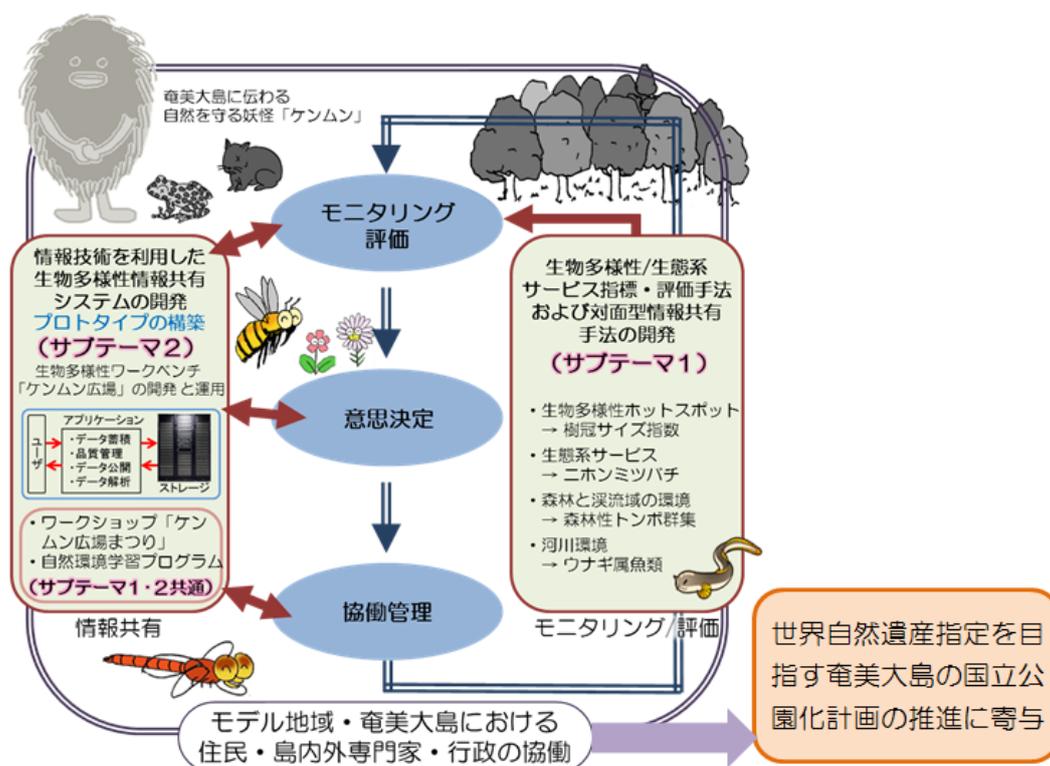


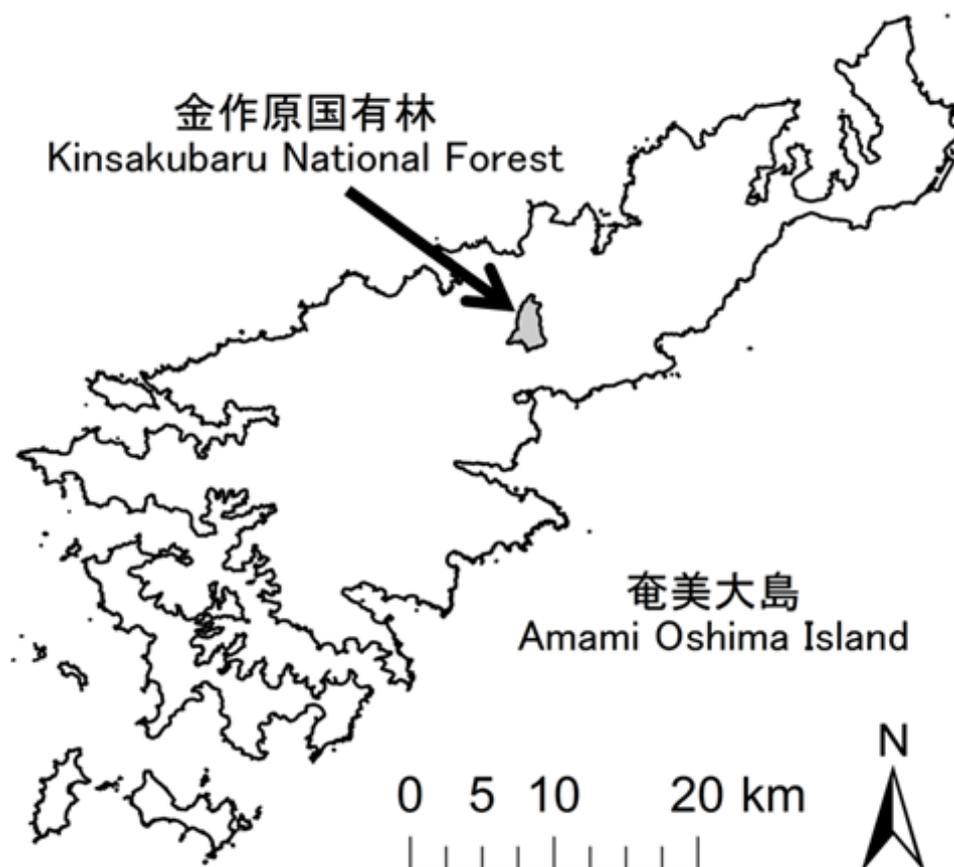
図1 本研究における2つのサブテーマの役割と関係。

3. 研究開発方法

1 樹冠サイズ

(1) 調査地

まず、奄美大島の中央部に位置する金作原国有林（鹿児島県奄美市、北緯28.320°～28.356°、東経129.439°～129.464°、面積477 ha）を研究対象地として（図(1)-1）、リモートセンシングデータに基づく樹冠サイズ推定および、グランドトゥールズデータの取得を行った。金作原国有林は、一部を除いて林冠が閉鎖した亜熱帯常緑広葉樹林である。1965年から1984年にかけての皆伐後に再生した二次林パッチと比較的長期にわたり大規模な人為を免れている森林パッチとのモザイク構造を反映して、林冠木樹冠サイズには不均一性が認められる。林冠層の優占種は大径木林域・二次林域ともにスダジイ *Castanopsis sieboldii* (Makino) Hatus. ex T. Yamaz. et Mashibaが圧倒的な優占を誇っており、それについてイジユ *Schima wallichii* (DC.) Korth. subsp. *noronhae* (Reinw. ex Blume) Bloemb.が多かった。国有林域の標高は165 m～450 mであり、尾根や谷を挟んで方位の異なる斜面が分布する。1965年から1984年にかけての空中写真（国土地理院撮影）では、北部および南部に数ha～100 ha程度の皆伐パッチが複数認められる（図(1)-2）。この領域に該当する二次林パッチを本研究では「皆伐域」とし、空中写真で皆伐が確認できない森林域は「非皆伐域」とした。

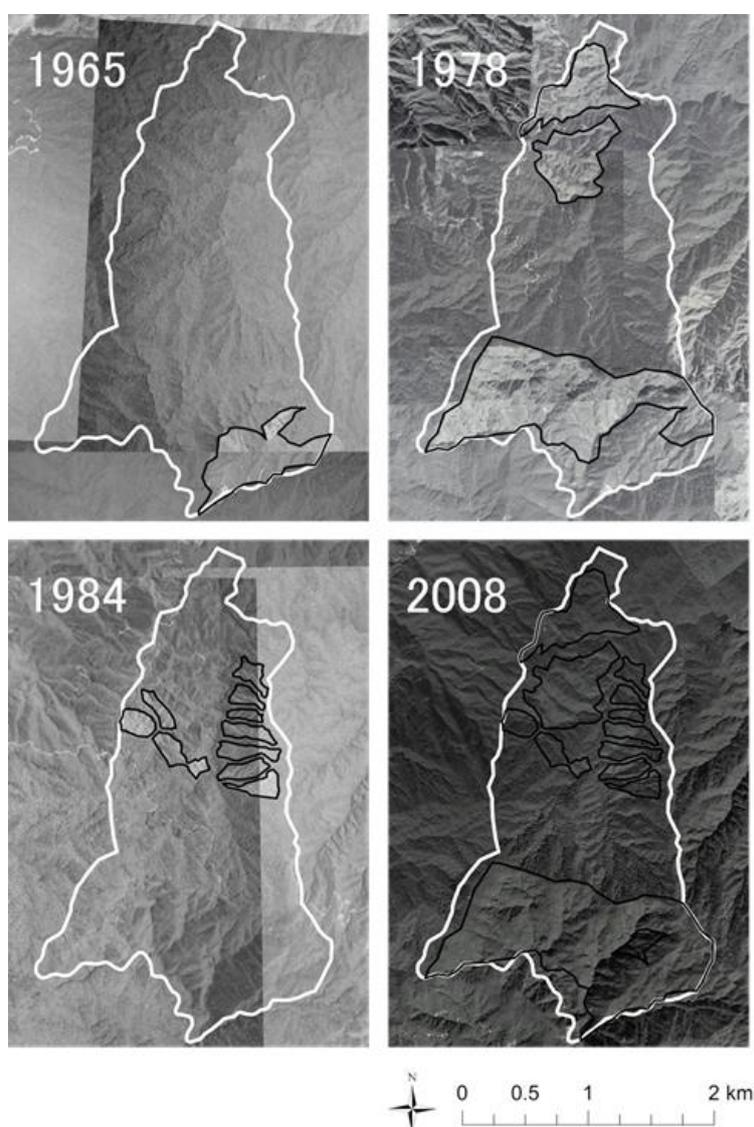


図(1)-1 奄美大島および金作原国有林の位置（データ出典：国土数値情報（森林地域データおよび行政区域データ）国土交通省）。

(2) 樹冠サイズ推定

金作原国有林における樹冠サイズ推定のため斜面方位ごとの明るさや影の変動パターンを軽減するための画像補正手法を検討した。補正後の空中写真画像に粒度分析を施して樹冠サイズを推定し、グランドトゥルースとの比較により精度を検証した。また高解像度リモートセンシングは空中写真のみならず衛星画像やレーザー測量など空間解像度の異なる多様なデータソースが存在する。それらの利用可能性を検討するため、異なる解像度での樹冠サイズ推定の有効性を検討した。すなわち、空中写真を異なる解像度にリサンプリングしたうえで粒度分析の手法に基づく樹冠サイズ推定を行った。

山地森林域の空中写真では、斜面方位ごとに明るさや樹冠の影のパターンは異なるが、個々の樹冠の近傍範囲を対象とすると、いずれの斜面方位においても樹冠頂端付近の輝度値が高く（明るく）、樹冠境界付近の輝度値が低い（暗い）。この特徴を利用し、次式を用いて補正を行った



図(1)-2 金作原国有林の空中写真（国土地理院撮影）。1965、1978、1984年の写真では該当年の写真で確認される伐採地を黒枠線で示し、2008年の写真では1965～1984年に確認された伐採地を黒枠線で示した。

$$(式1) X = k \quad \left(\mu + F^{-1} \left(\frac{k-1}{20} \right) \sigma \leq x < \mu + F^{-1} \left(\frac{k}{20} \right) \sigma \right) \quad k = 1 \sim 20$$

X : 変換後の相対輝度値

x : 変換前の輝度値

k : 1から20までの整数値

F : 標準正規分布の累積分布関数

μ : 近傍範囲内の輝度値の平均値

σ : 近傍範囲内の輝度値の標準偏差

樹冠サイズ推定には、数学的形態学に基づく粒度分析を用いた。数学的形態学はErosionとDilationという操作を順次適用することで画像内のオブジェクトの形状を分析する技術である。ErosionとDilationでは、画像内の各画素に対して、それを中心とする一定範囲の近傍領域 (λ) の輝度値を用いて画像処理を行う。Erosionでは近傍領域に含まれる画素の輝度値の最小値を中心画素の輝度値とし、Dilationでは近傍領域に含まれる画素の輝度値の最大値を中心画素の輝度値とする。ErosionののちにDilationを行う操作をOpeningという。画像にOpeningを施すと、想定した近傍領域よりも小さいオブジェクトが画像から消去される。

任意の領域S内の代表的なオブジェクトサイズは、領域内の合計輝度値をOpening前後で比較することにより求められる。領域Sにおける元画像の輝度値の合計を V_S 、近傍領域 λ によるOpening処理後の輝度値の合計を $V_S(\lambda)$ として、その比を $R_S(\lambda)$ とする (式2)。

$$(式2) R_S(\lambda) = V_S(\lambda) / V_S$$

λ に対して $R_S(\lambda)$ をプロットすると、Openingの近傍領域 λ が拡大するにつれて $R_S(\lambda)$ は減少する。 $R_S(\lambda)$ の減少量が最大となる (一次導関数 $dR_S(\lambda)/d\lambda$ に最大を与える) ときの λ が、領域S内のオブジェクトのサイズクラスと適合する。

本研究では、空中写真画像を樹冠オブジェクト (輝度値が高い) および背景 (樹冠間の暗い領域で輝度値が低い) からなるとみなし、以下の手順により樹冠オブジェクトのサイズを推定した。①半径1画素 (0.40 m) から10画素 (4.00 m) まで10段階の円形近傍領域 λ でOpeningを施した。②半径15画素 (6.00 m) の円形領域をSとして $R_S(\lambda)$ を計算した。③ $R_S(\lambda)$ の減少量をもっとも大きくなるときの λ を、画素ベースの樹冠サイズ指数 (Pixel-based Crown Size Index : P-CSI) とした (補正済P-CSI)。P-CSIはSの範囲においてもっとも多く面積を占める樹冠サイズクラスを示す。

予備的解析の結果、Openingの近傍領域 λ は半径1画素～10画素で本研究対象地にある樹冠サイズの範囲と対応しており、半径10画素を超えると外れ値による結果のばらつきが大きくなった。また樹冠サイズが均一な林分ではSが大きいほど正確な推定が可能であるが、異なる樹冠サイズのモザイクが存在する森林ではSが大きすぎると異質なパッチを含むことで推定誤差が大きくなる。そこで本研究では、1つ以上の樹冠が含まれる大きさとしてSを定めた。画像補正の効果を検討するため、補正を行っていない画像に対しても同様の処理を行った (未補正P-CSI)。

補正済P-CSIおよび未補正P-CSIの両方で、1 haプロットごとにプロット内のP-CSI平均値を計算した。画像補正の効果を検討するため、1 haプロットあたりの林冠木平均胸高直径を目的変数、補正済P-CSI平均値・未補正P-CSIを説明変数として、両対数（自然対数）でそれぞれ回帰した。

標高や傾斜が樹冠サイズ推定に影響している可能性を検討するために、1 haプロットを単位として4通りの重回帰分析を行った。目的変数は林冠木平均胸高直径の自然対数とし、説明変数は補正済P-CSIの自然対数にくわえて、標高の平均値・標高の標準偏差・傾斜角の平均値・斜面方位と太陽方位角のなす角（以後「差角」と表記）の平均値から1つずつを追加した。標高は10 m DEM（国土交通省「基盤地図情報」、<http://www.gsi.go.jp/kiban/>、2015年1月7日確認）を用い、ArcGISを用いて傾斜角と斜面方位を算出した。差角は0° から180° の値をとり、斜面が太陽に面しているとき（日向斜面）に0°、太陽の反対方向に面しているとき（日陰斜面）で180° になる。

斜面方位と補正効果の関係を検討するため、未補正P-CSIと補正済みP-CSIの差を目的変数、1 haプロットにおける差角の平均値を説明変数とする回帰分析を行った。

リサンプリング画像の樹冠サイズ推定精度を検討するため、リサンプリング画像で算出したP-CSIそれぞれについて1 haプロットあたりの平均値を求めた。P-CSIを説明変数、林冠層平均胸高直径を目的変数とする両対数（自然対数）回帰分析を行った。

つぎに、奄美大島全域を1辺100mのメッシュ（面積1 ha）に分割し、メッシュ内のP-CSI平均値を計算してメッシュベースの樹冠サイズ指数（Mesh-based Crown Size Index : M-CSI）を算出した。空中写真は隣り合う撮影コース・隣り合う写真番号の間で一定の重複領域が存在するように撮影される。複数の空中写真が重複しているメッシュのM-CSIは、当該メッシュにおいてもっとも大きい面積でP-CSIを計算できた空中写真の値を用いた。そのために、各メッシュにおいて植生図から判断された「非高木林冠域」および、P-CSI算出過程で影や非林冠領域と判断されて除かれた領域を除く面積（「P-CSI算出面積」）を計算した。メッシュごとに重複した空中写真で計算されたP-CSI算出面積を比較し、P-CSI算出面積が最大の写真を用いて当該メッシュのM-CSIを算出した。

予備的解析の結果、地理的に隣り合う2枚の空中写真が異なる撮影コースに属する場合に、重複領域に属するメッシュに対してそれぞれの画像から算出されたM-CSIが大きく異なる場合があることが認められた。異なる撮影コースに属する写真では撮影時の焦点の合い方が異なるために、小さい樹冠の識別精度に差が生じるためだと考えられた（図(1)-3）。そこで本解析では、隣接する撮影ラインの空中写真で



図(1)-3 隣接する撮影ラインの画像が隣り合う場所の空中写真。個別の樹冠への焦点の合い方が異なる。

表(1)-2 解析に用いた1/25,000現存植生図の植生区分と面積。

本研究における植生区分	1/25,000現存植生図植生区分				面積 (ha)
	植生区分	大区分	中区分	細区分	
常緑広葉樹区分	自然植生区分	ヤブツバキクラス域自然植生	亜熱帯常緑広葉樹林	アマミテンナンショウスダジイ群集	145
				オキナウラジロカシ群集	9
				ケハダルリミノキースダジイ群集	2,298
	代償植生区分	ヤブツバキクラス域代償植生	常緑広葉樹二次林	ポチョウジースダジイ群団	36
				タイミンタチバナミヤマシロバ	22
				イ群落	
落葉広葉樹林	シマサルスベリ群落	ハドノキーシマサルスベリ群落	44,337		
常緑針葉樹区分	ヤブツバキクラス域代償植生	常緑針葉樹二次林	亜熱帯常緑広葉樹二次林	706	
			ギョクシカースダジイ群集	16,243	
落葉広葉樹区分	ヤブツバキクラス域代償植生	落葉広葉樹二次林	リュウキュウマツ群落	4,092	
			ポチョウジイジュ群落		
			ハドノキーウラジロエノキ群団(二次林)		

ともにP-CSI産出面積が0.8 ha以上であるメッシュを抽出してM-CSIの差を算出した。隣接撮影ライン間でのM-CSIの差の平均値に基づきM-CSIに補正を加えることで(表(1)-1)、補正済M-CSI(Corrected Mesh-based Crown Size Index: CM-CSI)を算出した。なお以降の分析および図示は、すべてP-CSI算出面積が0.5 ha以上のメッシュを対象として行った。

1965年度(1965年6月~1966年2月)および1984年度(1984年5月~1985年2月)に撮影された1/20,000空中写真(表(1)-1)を用いて同様の解析を行い、各年代のM-CSIを算出した。なお1965年度および1984年度については、撮影年次に近い年に整備された詳細な植生図を確認できなかったことから、現存植生図を用いた「非高木林冠域」の除外は行わなかった。各撮影年代で撮影ライン間のM-CSIの補正に用いた値を表(1)-1に示す。

異なる年代で撮影された画像のCM-CSIを比較するため、1965年度から2008年度にわたって大規模な人為攪乱の痕跡が認められず大径木が集中する神屋国有林南部の森林パッチのCM-CSIが各年代で同一になるように値を補正した。また、過去50年間における樹冠サイズの変化を確認するため、1965年度と2008年度のCM-CSIの差を計算した。

1/25,000現存植生図における林冠植生区分とCM-CSIとの対応を検討するため、1/25,000現存植生図で高木の林冠が存在する植生区分を「常緑広葉樹」、「常緑針葉樹」、「落葉広葉樹」に区分した(表(1)-2、図(1)-4)。常緑広葉樹区分は現存植生図における区分に基づき「自然植生」と「代償植生」に細分した。なお「ハドノキーシマサルスベリ群落」の植生大区分は落葉広葉樹であるが、本植生区分は内陸部の常緑広葉樹(自然植生)内に分布が限定され、海岸部に多く分布する「ハドノキーウラジロエノキ群団(二次林)」とは分布様式が異なる。そのため「ハドノキーシマサルスベリ群落」は常緑広葉樹区分に含めた。またマングローブ林や低木群落、および人工的な林地である植林地や果樹園は分析に用いなかった。

常緑広葉樹(自然植生)区分、常緑広葉樹(代償植生)区分、常緑針葉樹区分、落葉広葉樹区分のCM-CSIをWilcoxon検定の多重比較(Bonferroni法)により比較した。3年度のすべてでCM-CSIを算出することができ、かつ1/25,000植生図においてそれぞれの植生区分が0.5 ha以上を占めるメッシュを解析対象とした。

行政界および流域に基づき、奄美大島を12地域に区分して、各地域における年度ごとの平均CM-CSIを算出した。行政界では旧基礎自治体(笠利町、龍郷町、名瀬市、住用村、大和村、宇検村、瀬戸内町)の領域に相当する7地域に分類した。奄美大島中南部の旧名瀬市、旧住用村、大和村、宇検村、瀬戸内町については、さらに1/25,000植生図において常緑広葉樹林が集中している17流域に属する領域を「中南

部山地域」として区別して扱った。17流域はArcGIS 10のSpatial Analystエクステンションを用いた10 m DEMの解析で作成した。解析には全ての年度でCM-CSIを算出できたメッシュのみを用いた。

「奄美群島国立公園（仮称）公園区域及び公園計画図（奄美大島全域）」

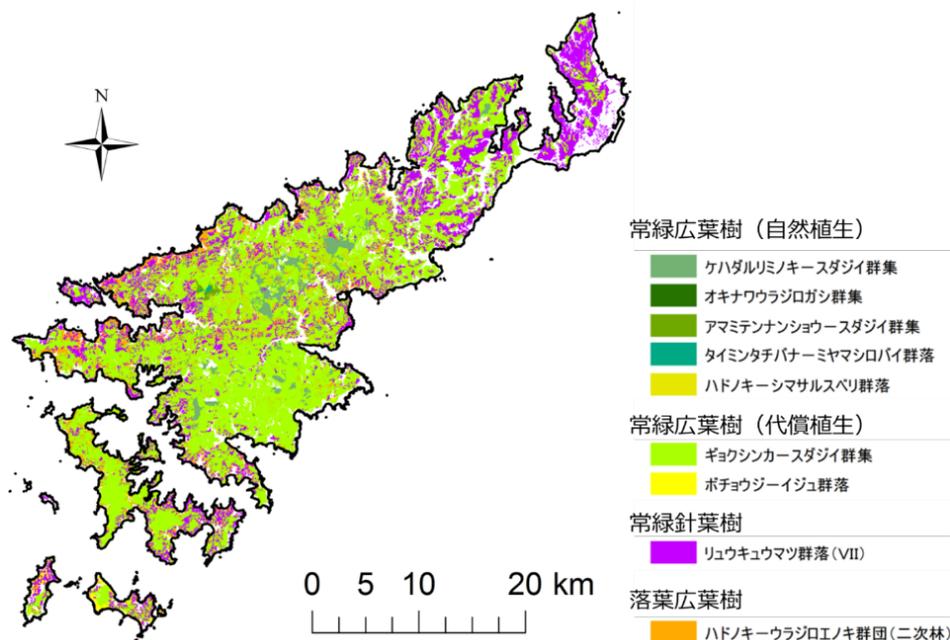
（<http://www.env.go.jp/press/files/jp/103899.pdf>、2017年2月2日確認）に基づき、奄美群島国立公園で特別地域の指定が予定されている領域のGISデータを作成した。各年度でCM-CSIを算出できたメッシュを対象として、特別保護地区、第1種特別地域、第2種特別地域および特別地域以外の森林域における平均CM-CSIを算出した。第3種特別地域の指定は海岸付近の眺望点に偏っていたため、第3種特別地域は解析に用いなかった。なお、画像およびGIS解析には、ArcGIS 10およびERDAS IMAGINE 2011を用いた。

（3）グランドトゥルース

空中写真判読により、林冠木の樹冠サイズが比較的均一な1 haプロットを金作原国有林に22個設置した。プロットは林冠が閉鎖した常緑広葉樹林域に設置し、様々な樹冠サイズ・斜面方位の地点に設けた。急峻な地形のため大面積でのグランドトゥルースを取得することが困難であったため、各プロット内に2個ずつの100 m²方形区を設置し、林冠木の胸高直径を計測した。

また、尾根筋から斜面上部にかけて、40の100 m²方形区を設けた。うち8方形区は皆伐域に設け、残りの32方形区は非皆伐域に配置した。各方形区は、空中写真判読および現地での観察に基づき、林冠木の最大サイズや種組成が比較的均一な森林域に配置した。調査地の林冠層樹高は地形や林齢により8 m～20 mであったが、急峻な地形により大面積の方形区を多数設置するのは困難であったため、方形区は一律に10 m×10 mとした。

樹木サイズが樹洞数や着生植物の種多様性に及ぼす影響を検討するため、調査を行ったすべての林冠木



図(1)-4 奄美大島の1/25,000現存植生図（環境省第7回自然環境保全基礎調査および基盤地図情報（国土地理院）を用いて作成）。凡例の区分は表(1)-2にしたがう。

の胸高直径を説明変数として、樹幹あたりの樹洞数および着生植物種数を一般化線形混合モデル（ポアソン分布、リンク関数：log）で解析した。樹木サイズと樹洞および着生植物との関係は樹種により異なる可能性があるため、ランダム効果として樹種、皆伐の有無、小流域を加えた。小流域は ArcGIS 10 (ESRI Inc., Redlands, USA) を用いた空間解像度 10 m の DEM (digital elevation model) データ（国土交通省「基盤地図情報」、<http://www.gsi.go.jp/kiban/>）の解析により、5 ha 以上の集水面積をもつ集水域として作成した。

なお、「偶発的な着生植物」と判断されたタマシダ *Nephrolepis cordifolia* (L.) C. Presl、ヤリノホクリハラン *Colysis wrightii* (Hook.) Ching、ヨゴレイタチシダ *Dryopteris sordidipes* Tagawa、スジヒトツバ *Cheiropleuria integrifolia* (D. C. Eaton ex Hook.) M. Kato, Y. Yatabe, Sahashi et N. Murak. については着生植物の解析からは除外し、下層のフロラに含めた。

方形区単位で大径木の存在とマイクロハビタットや着生植物との関連を検討するため、皆伐域と非皆伐域で方形区あたりの林冠層平均胸高直径、樹洞数（枯死立木に存在する樹洞も含む）、枯死立木数、倒木数、着生植物種数を Wilcoxon 検定により比較した。さらに非皆伐域を対象として、方形区あたりの林冠層平均胸高直径を説明変数として、樹洞数、枯死立木数、倒木数、着生植物種数との関連を一般化線形混合モデル（ポアソン分布、リンク関数：log、ランダム効果：小流域）で解析した。統計解析には ArcGIS 10 および ERDAS IMAGINE 2011 (Leica Geosystems Geospatial Imaging, LLC., USA)、R 3.0.1 を用いた。

大径木の集中する森林域に特有なフロラの特徴を見出すため、非皆伐域の各方形区における林冠層平均胸高直径を説明変数、階層ごとの維管束植物の存在データを目的変数として、一般化線形混合モデル（二項分布、リンク関数：logit、ランダム効果：小流域）で解析した。

以上により、昨年度の調査結果で示された樹冠サイズ指数と有意な正の相関がみられる林冠層木の胸高直径が、フロラ、樹洞数、倒木数といった生物多様性に関わる応答変数を有意に説明するかどうかを確認し、樹冠サイズ指数の生物多様性指標としての妥当性を検証した。

各方形区において、林冠層（林冠を構成する木本階層）に出現したすべての樹木について、樹種を同定して胸高直径と双眼鏡を用いた目視により、付着している着生植物の種名および樹洞（長径 20 cm 以上）の個数をそれぞれ記録した。

各方形区内の胸高直径（胸高で測定できない場合は測定可能な最上部の直径）が 20 cm 以上の枯死立木、もっとも太い部分の直径が 20 cm 以上の倒木の本数をそれぞれ記録した。

各方形区内に出現した維管束植物について、林冠層、下層、着生植物別に出現種を記録した。なお、下層は林冠よりも下に樹冠をもつ木本および草本からなる階層として定義した。

これら現地調査のデータは、採取などが懸念される希少種を除いたうえで、web ページ（「奄美大島生物多様性ワークベンチ ケンムン広場」、<http://kenmun.dias.nii.ac.jp/>）にて公開している。

また、金作原国有林と湯湾岳国有林において 1964 年から 1984 年の間に強度伐採の痕跡が確認できない森林域を対象として、鳥類繁殖期の終盤に当たる 2016 年 6 月に樹洞の内部構造と動物類の利用を把握するために観察を行った。本観察は、樹洞内部が撮影できるような伸縮性ポールに装着された CCD カメラを用いて実施した。

2 ニホンミツバチ

(1) 開花フェノロジー調査

亜熱帯海洋性気候で、本土と異なる植物のフロラを有する奄美大島では、昆虫のフェノロジーが本土のものとは異なる可能性がある。そこでまず、適切な調査時期の選定のために、いくつかの情報源を用いて、奄美大島の植物の開花フェノロジーの情報をデータベース化した。季節ごとの開花植物種数とその推移を明らかにするために、奄美諸島に分布する植物を449種についてニホンミツバチが花粉荷として利用しないと考えられる植物（例；ランの仲間、シダ植物）、ニホンミツバチが利用するのが難しい構造の花を持つ植物（例えば絶対共生系のクワ科イチジク属・コミカンソウ科カンコノキ属、花が微小なウキクサなど）は除き、各種の開花時期を調べた。1年を月と旬（上旬：1～10日、中旬：11～20日、下旬：21日から月末）によって36期間に分け、a. 図鑑情報、b. 現地での直接観察（現地調査2013年5月7～12日、2013年6月21～28日）、c. インターネット上の写真の撮影日によって植物種の開花時期のデータベースを作成した。なお、インターネット上の写真からの情報取得に関しては、a. 撮影場所が奄美群島内だと明記されていること、b. 撮影日が明記されている、または画像自体に撮影日の情報が含まれていること、c. 掲載写真により同定を確かめられること、の3点を全て満たしている情報のみ採用した。

(2) 調査対象コロニー

調査対象とする野生ニホンミツバチのコロニーは、奄美市内の山地の亜熱帯照葉樹林内のオキナワウラジロガシの樹洞内につくられたコロニー（N28.22, E129.27以下、樹洞コロニー）と、大和村内、海岸近くの集落にある石墓の内部空間につくられたコロニー（N28.22, E129.24以下、墓コロニー）の2つを、奄美大島全域を対象とした探索により確認できた11コロニーの中から選択した。とくに、広葉樹の大径木の樹洞はニホンミツバチの本来の営巣場所であるとされており、周囲の環境から考えても、樹洞コロニーではニホンミツバチ本来の採餌生態の観察にもっとも適していると考えられた。

(3) 営巣場所花資源調査

2つのコロニーを中心とし、ニホンミツバチの主要な採餌範囲と考えられている半径2.0 km 圏内の花資源調査を実施した。調査は、フェノロジーの調査の結果に基づき、森林性の草本植物の開花種数が多い秋（2013年10月15日～11月6日）、森林性の木本植物の開花種数が多い春（2014年2月11日～3月9日）、および初夏（2014年6月20日～7月10日）に実施した。なお、秋は台風シーズンの終わりの時期に、初夏は梅雨明け前後の時期にあたる。また、春には樹洞コロニーにおいて分封が確認され、春から初夏の間に樹洞コロニーは消滅したため、初夏には樹洞コロニーの調査は実施しなかった。環境省1 / 25,000現存植生図（第7回自然環境保全基礎調査、2009年現地調査）の植生区分（大区分）および基盤地図情報（国土地理院）をもとに、主要な植生区分を網羅するように、センサスルートを設定し、開花が認められる植物種および、ニホンミツバチがよく利用する1,000花以上のパッチ（同種の開花植物が空間的に連続して存在するまとまり）を形成している種を、その位置情報とともに記録した。センサスルートは、墓コロニーの周りに合計10.83 km、樹洞コロニーの周りに合計7.01 km設定した。センサスルートでは観察が難しい林冠を構成する高木層の開花量は、センサスポイントで観察した。センサスポイントは、双眼鏡で林冠を観察可能な、道路から250 m 以内に面する山の斜面を、墓コロニーの周りの10か所（森林域8（常

緑広葉6、常緑針葉2)、非森林域2(海岸2))、樹洞コロニーの周りの5か所(森林域5(常緑広葉4、亜熱帯常緑広葉1))である。墓コロニーから半径2 km圏内に海岸の植生を観察できるポイントが少なかったため、コロニーから2.8 kmの距離にある海岸域の開花植物種も参考のため記録した。調査は、晴天または曇天日を選び、人里内では徒歩で、それ以外の場所では自動車で低速走行しながら行った。同時に、開花植物の花粉を花粉荷分析用の参照花粉として持ち帰った。

(4) 花粉荷の採集

花粉荷の採集は、透明アクリル板に穴を多数開け、各コロニーの巣の出入り口の形状に合うように設計して製作した花粉荷採集器を用いて行った。この装置により働き蜂が巣に持ち帰る花粉荷が採集できる。予備調査で、先行研究で用いられた直径4.5 mmの穴では花粉荷が働き蜂の後肢からほとんど落下しないことが判明したので、事前に穴の大きさの検討を行った。直径4.0 mm、4.2 mm、4.3 mmの穴の開いた花粉荷採集器を用意し、花粉荷を後肢につけた働き蜂の中で、穴を通して帰巢した個体数と、そのうちの花粉荷を落下させた個体数をそれぞれ10分間計数し、結果を比較した。その結果に基づいて適切な直径を定め、花粉荷採集器を製作し調査に用いた。花粉荷採集器の穴を通して帰巢することに順化させるため、花粉荷採集を始める前日に花粉荷採集器と同じ形状で大きい穴の開いた透明アクリル板を巣の出入口に設置した。花粉荷採集器以外の出入り口は全て紙粘土で塞いだ。調査期間中、4~8日間、働き蜂の活動量が減少する雨天時(藤原、未発表)を避けて2時間を調査単位として日中1~5単位/日の花粉荷採集を行った。2時間ごとに区切って花粉荷を回収することで、急な雨の多い奄美大島において、採集した花粉荷が濡れて全て損失してしまうことを防ぐとともに、1日の中でニホンミツバチが利用する花資源の時間推移を観察することが可能となる。

(5) 花粉荷の分析

花粉荷は研究室に持ち帰って顕微鏡を用いて種、属もしくは科を以下の手順で同定した。まず、ハロゲン光源下(Megalight100)で、目視により花粉荷をその色と表面の質感に基づき類別クラスに分け、それぞれの花粉荷の個数と重さを計測した後に、次に述べるように類別クラスごとに顕微鏡観察によって種を同定した。各類別クラスあたりの花粉荷数が5個以下の場合は全ての花粉荷を、5個を超えた場合は無作為に5個の花粉荷を選び、これらの花粉荷の各々をマイクロチューブ内の5 mlの10%ショ糖液(防腐剤として2.5%のフェノールを含む)に入れ、ボルテックスミキサーで十分に懸濁した。数滴の懸濁液からプレパラートを作成し、顕微鏡下で優占する花粉粒の植物種を同定した。これまでの研究から花粉荷は、それぞれ1~3種の植物の花粉粒から構成され、ほとんどは1種の花粉粒から構成されていることがわかっているので、花粉荷を構成する優占花粉粒について同定を行い、少量の異種花粉粒の混入はコンタミネーションの可能性を考えてデータから除外した。花粉荷の同定には、現地調査で採取した参照花粉を用いた。参照花粉は、スライドガラスの上でその葯を潰し、10%ショ糖液(防腐剤として2.5%のフェノールを含む)を数滴加えてプレパラートを作成し、その顕微鏡写真を撮影して参照用画像データとして用いた。

(6) 聞き取り調査によるさらなる営業情報の把握

聞き取りにより、ニホンミツバチの営巣に関する情報を収集した。聞き取りの対象者としたのは、奄美大島の自然環境に関する情報収集にたずさわる環境省奄美野生生物保護センターの職員6名、環境省の希少野生動植物種保存推進員1名、ファイリマングース*Herpestes auropunctatus*の駆除を職務とし、定期的に全島の森林域を巡回している「マングースバスターズ」15名、奄美大島大和村役場の職員5名と大和村中央公民館館長、島内でニホンミツバチを扱っている養蜂家4名、および奄美大島全域の集落で地元学の調査をしている研究者1名の計33名である。聞き取り内容は、直接的間接的に把握しているニホンミツバチが営巣した対象物、巣の地理的位置及び営巣状況に加え、過去のニホンミツバチの営巣に関して、聞き取りを実施した。

聞き取った内容について踏査を行なって現場での営巣状況の確認を試みた。現場にたどりつくことができた場合は、GPSで位置座標を取得し、現在の営巣の有無および過去の営巣の痕跡があればそれを記録した。営巣場所と周辺環境を写真・ビデオで記録し、樹洞への営巣の場合は、樹種、樹高、胸高周囲長、巣の入り口の長径、短径を記録した。

(7) 個体サイズの計測

形態計測の試料とするため、奄美大島に営巣するニホンミツバチのワーカー個体の採集を行った。森林内の樹洞に営巣している2コロニー、墓に営巣している2コロニー、野生個体群から養蜂家が捕獲し、飼育している3コロニーの計7コロニーから、それぞれワーカーを15個体ずつ、計105個体を、捕虫網を用いて採取した。比較のための試料として、鹿児島県の霧島市と日置市付近にそれぞれ生息している野生個体群由来の7コロニーから各15個体ずつ、計105頭を採集した。また、岩手県一関市内の樹洞に営巣している1コロニー、墓に営巣している2コロニー、同地域の野生個体群由来の4コロニーの計7コロニーから、各15個体、計105頭のワーカーの採集を行った。

これらのワーカー個体は、採集瓶に入れたのち、クーラーボックスに保存して持ち帰り、その後冷凍庫で保存した。形態計測の際にはあらかじめ、室内でおよそ15分間自然解凍した後、右前翅の長さ・右前翅の幅・径室の幅、右左の翅間の幅、頭幅、舌長を双眼実体顕微鏡の下でマイクロメータを用いて計測した。

各計測値については、地域間で有意な差があるかどうかを以下のように分析した。各部位の計測値に関してBartlett検定を行い、等分散性を確認し、等分散性が確認された場合は、分散分析を行って、Bonferroni法による多重比較を行った。等分散が確認されなかった場合は、Kruskal-Wallis検定を行って有意差の有無を多重比較によって検討した。これらの検定には、R (Ver. 2.14.0) を用いた。

(8) 採餌活動および繁殖に関わる行動の観察

亜熱帯照葉樹林内に存在するオキナワウラジロガシの樹洞のコロニー（表(1)-3、No. 1のコロニー、以下、樹洞コロニー）と里地の石墓のコロニー（表(1)-3、No. 5のコロニー、以下、墓コロニー）を対象に、巣の入り口にビデオを設置して、巣を出入りするワーカーおよび繁殖カースト（オス蜂）の行動の録画を行った。調査日は、晴天・曇天と、雨天（曇天時々雨を含む）が各コロニーの観察に関して複数日含まれるように設定した。具体的には、ワーカーについては、繁殖期間に、樹洞コロニーで5日間（晴天あるいは曇天時に計21時間、雨天あるいは雨時々曇天時に計17時間）、墓コロニーで6日間（晴天あるいは曇天時に計21時間、雨天あるいは雨時々曇天時に計17時間）を観察した。

曇天時に計27時間、雨天あるいは雨時々曇天時に計25時間)録画を行った。録画と同時に、各巢の付近にそれぞれデータロガー(おんどとり Jr.)を設置し、営巣場所の出入り口の気温を測定した。さらに、各調査日とその周辺日における奄美大島の気象の概況については、気象庁の過去の気象データ(「過去の気象データ検索(国土交通省気象庁)」<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>)から、各調査日前の3日間の天気、平均気温、降水量、日照時間、平均風速のデータを参照した。

以上の方法で記録した録画データから、およそ1時間おきに各10分間のデータを抽出し、カウンターを用いて、足に花粉荷をつけて帰巣するワーカーの個体数、花粉荷をつけずに帰巣するワーカーの個体数を計数し、これらの合計を総帰巣個体数とした。

ミツバチは幼虫の成長に必要なタンパク源の全てを花粉に依存しており、ワーカーが持ち帰る花粉荷の量は、巣内の幼虫量に正の相関がある。そのため、帰巣する全ての個体数(総帰巣個体数)に占める花粉荷を持ち帰る個体数の割合を、育児のための花粉荷の採餌量指標(花粉荷率)として算出した。

オス蜂については、樹洞コロニーにおいて12日間(晴天あるいは曇天時に計106時間、雨天あるいは雨時々曇天時に計42時間)録画を行い、録画データから、およそ1時間おきに各10分間のデータを抽出し、カウンターを用いて、主に繁殖シーズンに生産されるオス蜂の出巣個体数とその出巣の時間帯の把握を行った。樹洞コロニーでは、分封を観察する機会に恵まれた。観察された2回目の分封については、コロニーの出巣過程の一部始終をビデオ録画し、女王蜂の出巣の時間帯を確認した。

(9) 奄美大島におけるニホンミツバチの天敵相の把握

墓コロニーと樹洞コロニーの周囲においてワーカーに対して捕食、威嚇などの行動を行う生物種、営巣場所に同居する生物種、寄生生物種の有無を、目視による観察とビデオ録画データに基づき、確認可能な限り記録した。また、営巣場所の踏査を行った際にも、ニホンミツバチの天敵となりうる生物種や同居する生物種を発見した場合には、写真あるいはビデオ映像により記録した。研究を通じて得られた画像や動画は、(「ケンムン広場：奄美大島における生物多様性モニタリングサイト」、<http://kenmun.dias.nii.ac.jp/>)で公開している。また、現在本土のニホンミツバチコロニーで罹患が報告されているサックブルード病による幼虫出し行動やアカリンドニ *Acarapis woodi* への罹病の兆候と

表(1)-3 現地踏査で営巣状況を確認できた自然巣の概略を示す。*は採餌活動量の調査を行ったコロニーを示す。

コロニーNo.	営巣対象	営巣場所	営巣場所タイプ
1*	オキナワウラジロガシ	自然林	樹洞
2	スダジイ	自然林	樹洞
3	スダジイ	自然林	樹洞
4	ガジュマル	集落	樹洞
5*	墓	集落	墓
6	墓	集落	墓
7	墓	集落	墓
8	墓	集落	墓
9	石塔の中	集落	石塔
10	民家屋根裏	集落	屋根裏
11	民家屋根裏	集落	屋根裏



図(1)-5 本研究で製作したダンス解析観察のための透明巣箱の様子。

なるような巣周辺におけるワーカーの徘徊行動の有無をチェックした。

(10) 花粉荷分析とランドスケープ

花粉荷分析によって同定された種を高木、低木、路傍植物、栽培植物、海浜植生に分類し、現地での観察と、環境省1 / 25,000現存植生図（第7回自然環境保全基礎調査、2009年現地調査）の植生区分（大区分）に基づいて、対象としたコロニー周辺の森林率も把握した。これらの結果を踏まえて空間生態学的な概念モデルを検討した。

(11) 透明巣箱を用いた採餌空間の把握

採餌活動の空間的把握に資するための透明巣箱によるダンスの解析と、ドローンによって撮影した空中写真を利用して、採餌に利用する植生パッチの把握を行った。調査は、1) 森林と果樹園がモザイクをなす地域（本茶峠）および2) 畑地に囲まれ、約1.5km離れた場所に森林が存在する笠利の農業地域の二ヵ所で行った。透明巣箱は、ガラスを木枠にはめこんで手作りしたものである（図(1)-5）。この巣箱の利点は、両面からのビデオ撮影で巣内のハチのほぼすべての行動を記録できることである。この透明巣箱に、2016年3月23日に木箱で飼育していたミツバチコロニーを導入した。

ビデオ撮影は2016年3月24日10時から4月10日18時までに行い、研究室でビデオ画像を用いて、巣の出入り口の近くで踊られたダンスの解析により餌場までの距離と方角を推定した。ドローンで把握した空中写真画像にダンスにより読みとった距離と方向を重ねることで、利用していた植生パッチを推定した。

3 トンボ類

(1) ベースラインデータと現在のトンボ相との比較

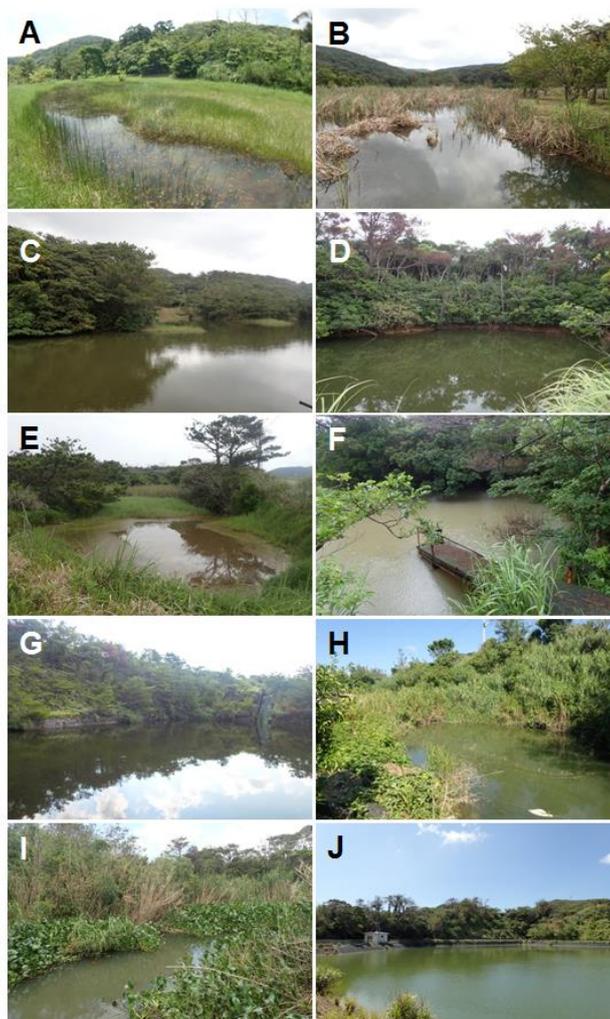
1990～2000年代前半に取得されたベースラインデータが存在する、大和村奄美フォレストポリス周辺を選定した。なお、大和村内の他地域および宇検村と奄美市においても若干の補足的な調査を行った。調査期間は、2014年6月25～30日、7月23～25日、9月6～9日、10月7～10日、12月8～11日の計5回を設定した。

調査地内の河川域2箇所（マテリアの滝と水辺の広場内の河川、ともに住用川水系）に調査サイトを設定し、各サイトあたり2時間程度のセンサス調査により、出現したトンボ成虫の種と性別、出現頻度を記録した。また、羽化や産卵など、定着や繁殖に係わる行動が見られた場合にはこれらも記録した。調査は多くの種の活動が見られる晴天～薄曇時の日中に行ったが、朝夕の薄暮時にのみ活動する種も含まれるため、調査時間帯などに留意し、種の見落としがないように配慮した。なお、調査地には池沼環境も存在することから、水辺の広場内の止水域にも2箇所の調査サイトを設定し、止水性トンボ類も含めた地域のトンボ相全体の把握も同時に試みた。12月の調査時には繁殖の有無を確認するため、幼虫（ヤゴ）

(3) 流水性トンボ

流水域の調査では、調査河川として大棚川、小宿大川、知名瀬川、名音川、文田川、役勝川、大和川、湯湾釜集落内の河川、住用川の8つを選定した。それぞれの河川において川幅が1～10m程度の調査区間(200m)を合計30カ所選定し、トンボ相、生息地環境の調査を実施した(表(1)-5)。それぞれの調査区間のトンボ相の構成種を把握するために、ラインセンサス調査を行った。各調査区間内を川沿いに歩き、トンボの目視または採集を行い、種の同定を行った。これを各調査区間で約30分行い、同定した種を調査区間ごとに記録した。トンボの種によって出現時期に差があるため、すべての種を網羅するように調査時期は2016年5月、6月、9月の3回に設定し、調査を実施した。なお、名音川(4カ所)、役勝川(6カ所)、住用川(3カ所)に設定した調査区間は、すべて国立公園予定地内に位置しており、他の調査区間は、源流域を国立公園内とする河川に位置する。

河川環境として調査区間内で川幅、水深、流速、開空度、水温を測定した。まず川幅・水深は各調査区間を代表していると考えられる地点でそれぞれ5カ所、10ヶ所測定し、その平均をその調査区間の値とした。流速に関しても同様に、各調査区間を代表していると考えられる場所において5ヶ所、それぞれ5秒平均で3回電磁流速計(VE10、KENEK社)を用いて測定し、その平均を調査区間の流速の値とした。水温は、防水水温ロガー(ティドビット v2、Onset社)を用いて測定した。水温ロガーは、各調査区間に



図(1)-6 止水域調査地の写真。

て一か所河床に杭と針金で固定し、さらに日が当たらないように上部を礫で覆って設置した。すべての調査区間で共通して記録された9月4日AM9:30から9月5日AM9:40までの10分おきデータをソフトウェア（HOBOWare、Onset社）によって抽出した。これによって得られた水温データの平均をそれぞれの調査区間の水温とした。開空度は魚眼レンズ（4.5 mm F2.8 EX DC Circular Fisheye HSM、Sigma社）を装着した一眼レフカメラ（D40、Nikon社）を用いて各調査区間5か所で撮影された全天空写真（画角180°）から算出した。

周辺環境として、標高、調査区間周辺の森林率の調査を行った。調査区間の中心の緯度経度および標高についてポータブルGPS（Oregon600、Germin社）を用いて測定した。調査区間の森林率として調査区間の中心から500m圏内の森林率と位置データをもとにArcGIS 10（地理情報システム）を用いて解析を行った。トンボ目の多くの種は羽化水域周辺で成熟し、繁殖行動を行うため、500m圏内で水域と周囲を行き来する個体の生活圏をほぼ包含していると考えた。

（4）データ解析

止水性トンボについては、入れ子構造を把握するために本調査によって得られたトンボ出現種の存在データに基づいて入れ子性をBinary Matrix Nestedness Temperature Calculator（BINMATNEST）を用いて検定した。BINMATNESTで定義されたプログラムでは、完全な入れ子構造は0°と示され、100°になると入れ子性は見られない。

止水性・流水性トンボに対して、出現種数に影響を与えている環境要因は何であるかを明らかにするために出現種数を応答変数、環境要因を説明変数とした一般化線形混合モデル（GLMM）を作成した。一般化線形混合モデルは応答変数のばらつきにポアソン分布などの正規分布以外の確率変数を仮定することができ、線形予測に対数関数を指定した対数リンク関数を用いることで、本研究のような非負のカウントデータにも対応可能である。また、調査区間差といった観測されない複雑な要因がもたらす影響をランダム効果としてモデル内に考慮することもできる。

本研究では調査区間*i*において*y_i*種の流水性トンボが出現する確率について次式に示すポアソン分布を仮定した。

$$p(y_i|\lambda_i) = \frac{\lambda_i^{y_i} \exp(-\lambda_i)}{y_i!} \quad (1)$$

このとき一般化線形混合モデルでは定数 λ_i を次のようにモデル化する。

$$\ln \lambda_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_m x_{im} + r_i \quad (2)$$

β_0 は切片、 $\beta_1 \sim \beta_m$ は係数、 $x_{i1} \sim x_{im}$ は説明変数、 m は説明変数の数である。 r_i はランダム効果であり、平均0、標準偏差*s*の正規分布に従うと仮定する。

$$p(r_i|s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}s^2} \exp\left(-\frac{r_i^2}{2s^2}\right) \quad (3)$$

説明変数*x*は環境要因であり、止水性トンボについては、池面積、森林被覆率、抽水植物被度、浮葉植物被度、沈水植物被度、池水のNO₃濃度とCOD濃度、捕食者の有無であり、流水性トンボについては、川幅、水深、開空度、水温、流速、標高、森林率である。なお、ランダム効果*r_i*はいずれも各調査区間同

士のその他の環境差とした（すなわち、調査区間のID）。ここでモデルの各パラメータ β は、最尤推定により次の尤度関数 L を最大化する値を計算した。

$$L = \prod_{i=1}^n \int_{-\infty}^{\infty} p(y_i | \beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_m, r_i) p(r_i | s) dr_i \quad (4)$$

また、GLMMの構築に先立って、説明変数の多重共線性を回避するために、環境要因同士のピアソンの相関係数も求めた。相関係数が止水性トンボでは0.6、流水性トンボでは0.5より大きかった場合、どちらか一方の環境変数を取り除き、説明変数の選定を行った。最終的に決定されたフルモデルからさらに説明変数の全組み合わせを検討し、それぞれのモデルのAIC（赤池情報量規準）を計算した。AICはモデルの予測の悪さを示した数値であるので各モデルの中からAICが最少となるモデルを最も予測能力が高いモデル（ベストモデル）として選択した。以上の分析はすべてR 3.3.1を用いて実行した。GLMMの分析についてはパッケージglmmML、AICによるモデル選択についてはパッケージMuMInを用いた。

4 ウナギ属

(1) 現地調査

奄美大島内の河川（川内川・住用川・役勝川）について通し回遊の障害となる河川横断構造物の有無を確認した。その結果、川内川および住用川ではダムまたは大規模な砂防堤を有しており、役勝川では上流域まで河川横断構造物が確認されなかった。これら三河川は全て奄美大島においては全長が10km以上ある比較的大規模な河川であり、奄美大島の東岸に位置する住用町に河口を持つ。そのため、ニホンウナギやオオウナギなどのウナギ属魚類について河川間比較を行うとき常に問題となる加入量の相違について、特別な補正を行う必要はない。

奄美大島における河川の健全性を計る大きな要素となる河川の連続性を評価するために、ウナギ属魚類を指標種に用いて、奄美大島東岸に河口をもつ3水系に設定した計27地点において定量調査した(図(1)-6)。これら大規模河川での定量採集調査に加え、大和村中部に源流をもち、奄美大島西岸に向かって流れる全長約4.0kmの名音川における定性調査、また同様に大和村中部に源流をもち、奄美大島西岸に向かって流れる全長約0.6kmの大金久川における全域調査を補足的に行った(図(1)-7)。

川内川・住用川・役勝川のそれぞれの調査地点において、流程方向に20m以内の範囲で流路幅全域、もしくは方岸5mの範囲を区切り、電気ショッカーによる採集調査および、各種環境計測を行った。採集されたウナギ属魚類は当日中に凍結保存した後、全個体の全長および体重を計測し、生殖腺の目視観察から性別を判別し、耳石を採取保存した。その他の水生生物は現場で種同定した後、ただちに放流した。

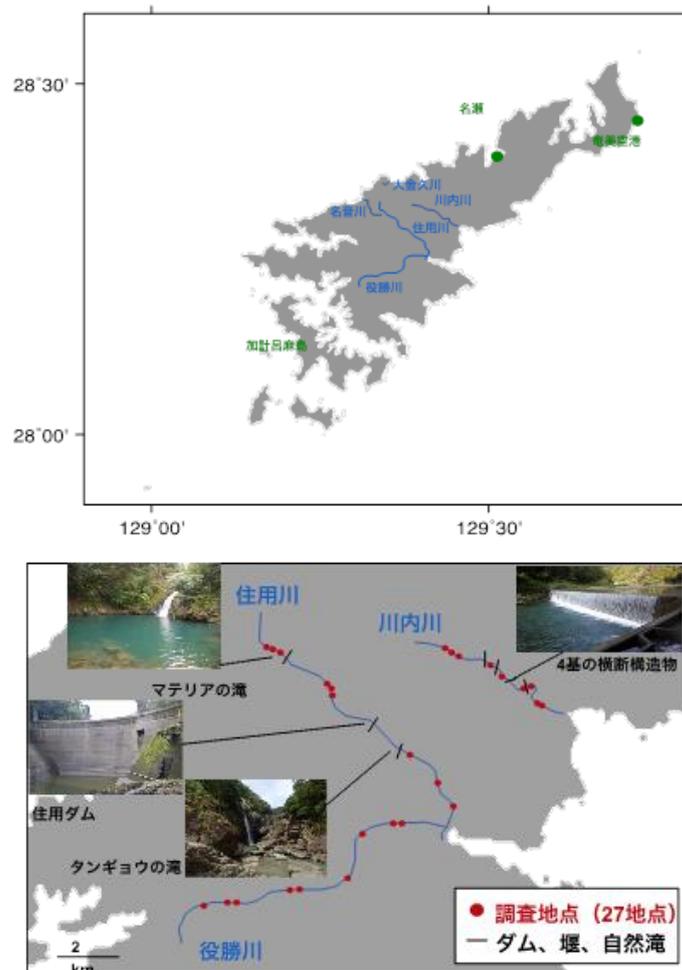
現地調査を行った3河川27地点の魚類と甲殻類の確認種数、およびウナギ属魚類の個体数密度に対して、堰やダム、滝といった流路の落差が与える影響を明らかにするために、各調査地点での確認種数およびウナギ個体数密度を目的変数 y とし、河口からの距離、堰や滝などの落差の数、および河口からの最大落差を説明変数 x として一般化線形混合モデル（GLMM）解析をおこなった。尚、データの分布はポアソン分布を使用し、リンク関数はlogとして、河川ごとの潜在的なデータのばらつきを分離するためのランダム効果として河川をとり挙げた。また、ウナギ個体数密度の解析に関しては、目的変数 y を調査地点におけるウナギ属魚類の採集個体数とした上で、採集面積をオフセット項としてモデルに加えることにより、目的変数が密度と同義となるようにした。

(2) 回遊多型

標本から採取した耳石については、年齢査定と耳石微量元素分析を合わせて行う目的で、耳石をエポキシ樹脂（エポフィックス、ストルアス社）に包埋し、スライドガラス上に接着させた状態で長軸方向に片面を研磨し、その後一度スライドガラスから外して研磨面を改めてスライドガラスに接着させ、核面まで長軸方向に研磨を行った。研磨には回転研磨機（マルトー社）を用いた。その後、 $3\ \mu\text{m}$ 、 $1\ \mu\text{m}$ 、 $0.25\ \mu\text{m}$ 、の順にダイヤモンドペーストを用いて研磨面を琢磨し、耳石年齢査定用標本とした。

一部の耳石標本に関しては回遊履歴推定のための耳石微量元素分析を、東京大学大気海洋研究所にて行った（図(1)-8）。耳石微量元素分析用標本の耳石研磨・琢磨表面にPt-Pdコーティングを施した後、波長分散型X線分析装置（EPMA JXA-8900R、日本電子）を用いて耳石断面の最大半径（核から縁辺までの最長距離）、もしくは断面が弧状に長い標本については、耳石長軸方向の成長方向に沿ってSrおよびCaの濃度（%乾燥重量）を線分析により測定した。標準試料には CaSiO_3 と SrTiO_3 を用いた。分析に際し、加速電圧と照射電流はそれぞれ15 kVと1.2 nAに調整した上で、電子線束径は $10\ \mu\text{m}$ とし、 $10\ \mu\text{m}$ 間隔で分析を行った。測定は各測点で20秒/回とした。耳石Sr、Ca濃度測定後、各点のSr/Ca比を算出した。

微量元素分析で得られた結果にもとづいた回遊履歴の分類では、エルバーマーク以降縁辺までの各



図(1)-7 調査河川の位置および定量調査を行った3河川における調査地点の位置。

年輪間のSr/Ca比の平均値を算出し、Sr/Cax1000の値が2.5未満を示す区間を淡水生息期間、2.5以上を示す区間を汽水生息期間とし、(1) 淡水定着個体（全ての期間を通じて淡水生息期間を示した個体）、(2) 汽水定着個体（全ての期間を通じて汽水生息期間を示した個体）、(3) 移動個体（汽水生息期間の後に淡水生息期間に移行した上流移動個体、および淡水生息期間の後に汽水生息期間に移行した下流移動個体）に分類した。

(3) 年齢と食性

耳石年齢査定用標本は、1% HClによる1分間のエッチング、1% Toluidine blueによる1から2時間の染色により輪紋を明瞭化させた後、輪紋を計数し、耳石輪紋による年齢査定を行った。

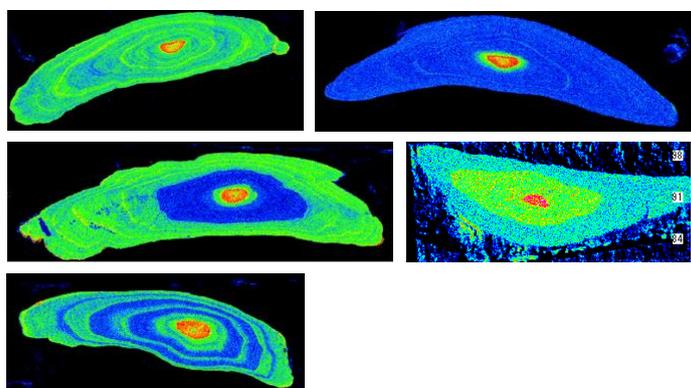
摘出した胃は長軸に沿って切開し、胃内容物があればその全重量、また目視および検鏡により胃内容物の同定を行った後に、各生物種もしくは分類群の個体数および重量を計測した。胃内容物は可能な限り種まで同定し、体の一部のみや、消化が進んだものなどは、同定可能な分類群単位まで行った。大分類群レベルで同定不能なものは、不明胃内容物とした。尚、ウナギ属の胃に広く一般的に見られる、寄生性の線虫類は胃内容物から除外した。また、標本の胃内容物をもとに、各区間のウナギ属の餌生物の重要度を評価するため、餌重要度指数（IRI: Index of Relative Importance）を下記の式により求めた。

$$IRI = (\%N + \%W) * \%F$$

ここで、%Nはウナギ属胃内容物中のある餌生物種出現個体数/全ての餌生物種出現個体数*100、%Wはウナギ属胃内容物中のある餌生物種重量/全ての餌生物種重量*100、%Fはある餌生物を捕食していたウナギ属個体数/全ての摂餌個体数*100である。

(4) バイオテレメトリー

平成27年12月1日から平成28年2月23日にかけて、奄美市小湊集落に河口をもつ大川の河口から800 m地点より1500 m地点の間に9基の受信機（アクアサウンド社AQRM-1000）を河床に設置し、同河川で採集した後、超音波発信機（アクアサウンド社AQPX-1040PT）挿入手術を施したオオウナギ3個体を用いて超音波バイオテレメトリー手法による生息環境把握実験を行った。



図(1)-8 ストロンチウム強度マップ。青はストロンチウム濃度の低い箇所、赤は高い箇所、緑は中間を示す。汽水定着型（左上）、淡水定着（右上）、下流移動個体（左中）、上流移動個体（右中）、複数回移動個体（左下）。

4. 結果及び考察

1 樹冠サイズ

林冠木平均胸高直径に対する両対数回帰分析の結果、補正済P-CSI・未補正P-CSIはともに有意な正の効果を示した（それぞれ $p < 0.01$ 、 $p < 0.05$ ）。補正済みP-CSIによる回帰分析では、未補正P-CSIと比較して決定係数が向上した（それぞれ $R^2 = 0.68$ 、 $R^2 = 0.26$ ）（図(1)-9）。

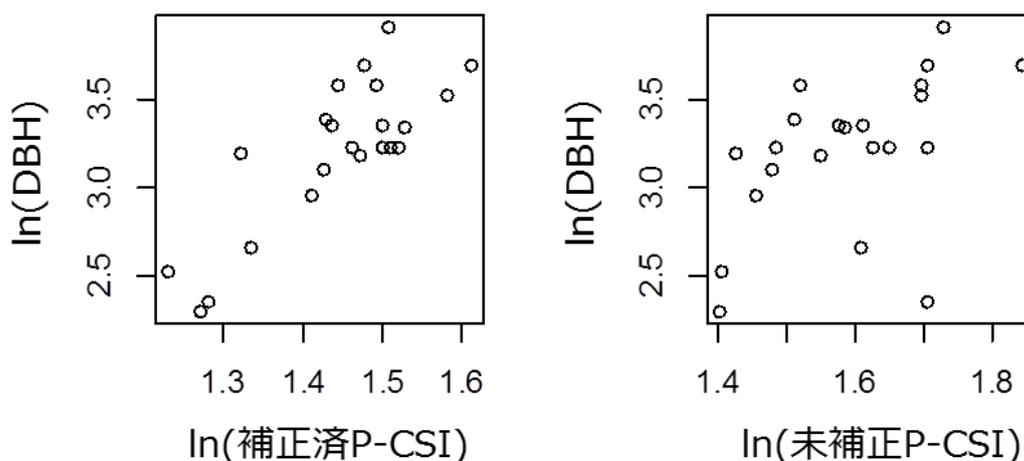
林冠木平均胸高直径の自然対数に対して、補正済P-CSIの自然対数に加えて標高の平均値、標高の標準偏差、傾斜角の平均値、差角の平均値のそれぞれを説明変数に追加した4通りの重回帰分析の結果、いずれの解析でも補正済P-CSIの自然対数のみが1%水準で有意な正の効果を示した。標高の平均値（ $\beta = 0.001$ 、 $p = 0.60$ ）・標高の標準偏差（ $\beta = -0.029$ 、 $p = 0.15$ ）・傾斜角の平均値（ $\beta = -0.015$ 、 $p = 0.58$ ）・差角の平均値（ $\beta = 0.001$ 、 $p = 0.44$ ）はいずれも有意な効果を示さなかった。

斜面方位と太陽方位角がつくる差角の平均値は、未補正P-CSIと補正済みP-CSIとの差に対して有意な負の効果を示し（ $\beta = -0.008$ 、 $p < 0.01$ ）、差角が小さいほど未補正P-CSIが過大評価される傾向が認められた。

異なる解像度にリサンプリングすると、解像度0.40 mの画像では右上に小径木の集中する領域が認められるが、解像度が低くなるにつれて小径木を単独のオブジェクトとして認識することが困難になった。空中写真より判読される本調査地の樹冠サイズは直径1.5 m～8 mである。異なる解像度の画像において、1樹冠を構成する画素数を樹冠サイズごとにみても直径1.5 mの樹冠は、解像度0.40 mの画像では約11画素から構成されるが、解像度が1.20 mを下回ると1画素の大きさを下回っていた。

リサンプリング画像の解析で算出した $P-CSI_{0.60} \sim P-CSI_{1.60}$ による林冠木平均胸高直径への両対数回帰分析の結果、リサンプリング後のP-CSIは林冠層平均胸高直径に対していずれも有意な正の効果を示したが、回帰分析の決定係数は解像度が低くなるにつれて低下し、解像度1.40 mおよび1.60 mでは0.5を下回った。

本研究で行った画像補正により算出した補正済P-CSIは、 $R^2 = 0.68$ の精度で林冠木平均胸高直径を推定することができ、標高、傾斜および斜面方位の有意な効果も見いだされなかった。この結果は他地域・



図(1)-9 補正済P-CSIおよび未補正P-CSIの自然対数と林冠木平均胸高直径の自然対数の散布図。

表(1)-7 100m²方形区あたりの林冠層平均胸高直径および樹洞数、枯死立木数、倒木数、着生植物種数の基本統計量。

	皆伐域 Clearcut			非皆伐 Non-clearcut		
	平均値	標準偏差	レンジ	平均値	標準偏差	レンジ
	Average	Standard deviation	Range	Average	Standard deviation	Range
胸高直径 DBH	11.8	2.9	8.1 - 16.7	33.5	12.2	17.4 - 72.6
樹洞数 Tree hollow	0.5	0.7	0 - 2	1.4	2.0	0 - 9
枯死立木数 Standing dead tree	0.3	0.4	0 - 1	0.4	0.7	0 - 2
倒木数 Fallen log	-	-	-	0.6	0.8	0 - 3
着生植物種数 Epiphyte species richness	0.3	0.4	0 - 1	1.6	1.2	0 - 4

また樹冠サイズの判別クラスが入力画像の画素サイズに依存するため、異なる解像度の画像を用いた解析結果を直接比較することは困難である。異なる解像度の画像における樹冠サイズ推定結果を比較する場合は、事前にリサンプリングを行い、解像度を一致させたうえで比較する必要がある。

調査を行った40コドラートにおいて、林冠層を形成していた木本植物は46種562本が記録された。そのうち幹数が5以上記録された18種について、幹数および胸高断面積、胸高直径の平均、標準偏差、レンジを皆伐域、非皆伐域に分けて示した(表(1)-6)。幹数5以上の種は大部分が皆伐域と非皆伐域の両方で記録されたが、シバニッケイ *Cinnamomum doederleinii* Engl. は皆伐域でのみ、オキナウラジロガシは非皆伐域でのみそれぞれ記録された。胸高断面積でみた優占度は皆伐域と非皆伐域で違いが認められた。皆伐域において胸高断面積の割合が比較的高い種はスダジイ(53.2%)、イジュ(28.0%)、トクワガキ *Diospyros morrisiana* Hance (2.9%)、イスノキ(2.7%)であり、非皆伐域においてはスダジイ(64.6%)、イジュ(10.8%)、イスノキ(8.3%)、オキナウラジロガシ(2.8%)が比較的大きな比率を示した。

長径20cm以上の樹洞は合計42個確認された。皆伐域・非皆伐域ともに樹洞をもつ樹木の胸高直径の頻度分布はすべての林冠木の胸高直径の頻度分布と比べて大きい側に偏っていた(図(1)-10)。

偶発的な種を除く着生植物は、カシノキラン *Gastrochilus japonicus* (Makino) Schltr.、キバナノセ

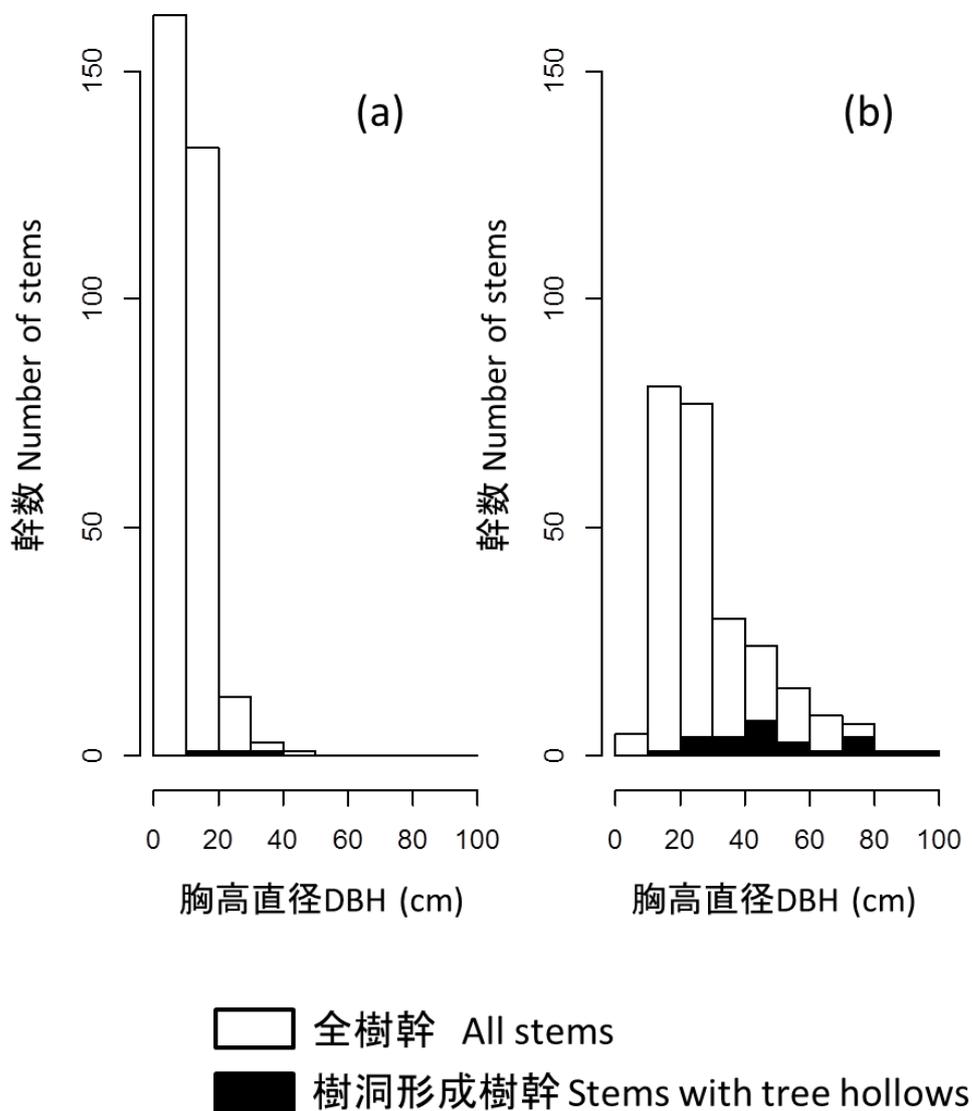
表(1)-8 非皆伐区の100m²方形区における林冠層平均胸高直径を説明変数、マイクロハビタット及び着生植物種数を目的変数とした一般化線形混合モデルの結果。

目的変数	樹洞数	枯死立木数	倒木数	着生植物種数
Response variable	Tree hollow	Standing dead tree	Fallen log	Epiphyte species richness
Estimate	0.039	-0.001	0.040	0.026
SE	0.004	0.027	0.014	0.010
p	< 0.01	0.96	< 0.01	< 0.01

ツコク *Dendrobium catenatum* Lindl.、シマオオタニワタリ *Asplenium nidum* L.、ノキシノブ *Lepisorus thunbergianus* (Kaulf.) Ching、マツバラシ *Psilotum nudum* (L.) P. Beauv.、マメヅタ *Lemmaphyllum microphyllum* C. Presl、リュウキュウマメヅタ *Lemmaphyllum microphyllum* C. Presl var. *obovatum* (Harr.) C. Chr.、ウラボシ科未同定種 *Polypodiaceae* gen. sp. が確認された。

一般化線形混合モデルによる解析により、林冠木の胸高直径は樹洞数 ($\beta = 0.057$, $SE = 0.038$, $p < 0.01$) および着生植物の種数 ($\beta = 0.008$, $SE = 0.006$, $p < 0.01$) に、ともに有意な正の効果を示した。

皆伐域および非皆伐域における方形区あたりの林冠層平均胸高直径、樹洞数、枯死立木数、倒木数、着生植物種数の平均値と標準偏差、レンジを表(1)-7に示す。林冠層平均胸高直径は皆伐域の8方形区がす



図(1)-10 (a)皆伐域における樹洞をもつ林冠木層構成樹幹とすべての樹冠相構成樹幹、(b)非皆伐域における樹洞をもつ林冠層構成樹幹とすべての林冠層構成樹幹の胸高直径の頻度分布。

表(1)-9 非皆伐区の100m²方形区における林冠層平均胸高直径を説明変数、各階層の植物種の存在を目的変数とした一般化線形混合モデルの結果。

正の効果 Positive Effect							
階層 layer	種名 Japanese	学名 Scientific	Estimate	SE	p	生活形 Life form	散布体 Diaspore
lower	アオバノキ	<i>Symplocos cochinchinensis</i>	0.228	0.107	0.034	Tree	Drupe
lower	キノボリシダ	<i>Diplazium donianum</i>	0.089	0.042	0.032	Herb	Spore
lower	ケシンテンルリミノキ	<i>Lasianthus curtisii</i>	0.075	0.038	0.046	Shrub	Berry
lower	コバノカナワラビ	<i>Arachniodes sporadosora</i>	0.101	0.044	0.021	Herb	Spore
lower	ミヤマノコギリシダ	<i>Diplazium mettenianum</i>	0.898	0.032	< 0.01	Herb	Spore
lower	ミヤマハシカンボク	<i>Blastus cochinchinensis</i>	0.102	0.047	0.030	Shrub	Capsule
負の効果 Negative Effect							
階層 layer	種名 Japanese	学名 Scientific	Estimate	SE	p	生活形 Life form	散布体 Diaspore
canopy	ナギ	<i>Podocarpus nagi</i>	-0.302	0.004	< 0.01	Tree	Drupe
lower	イヌマキ	<i>Podocarpus macrophyllus</i>	-0.351	0.153	0.022	Tree	Drupe
lower	ウラジロカンコノキ	<i>Glochidion acuminatum</i>	-0.171	0.062	< 0.01	Tree	Capsule
lower	コバンモチ	<i>Elaeocarpus japonicus</i>	-0.111	0.052	0.031	Tree	Drupe
lower	シキミ	<i>Illicium anisatum</i>	-0.183	0.064	< 0.01	Tree	Follicle
lower	シバニッケイ	<i>Cinnamomum doederleinii</i>	-0.074	0.037	0.048	Tree	Berry
lower	センリョウ	<i>Sarcandra glabra</i>	-0.084	0.043	0.048	Shrub	Drupe
lower	ホンバシヤリンバイ	<i>Rhaphiolepis indica</i> var. <i>liukuensis</i>	-0.225	0.112	0.045	Shrub	Pome
lower	ムツチャガラ	<i>Ilex maximowicziana</i> var. <i>kanehirae</i>	-0.109	0.045	0.016	Tree	Drupe
lower	リュウキュウモチ	<i>Ilex liukuensis</i>	-0.085	0.042	0.045	Tree	Drupe

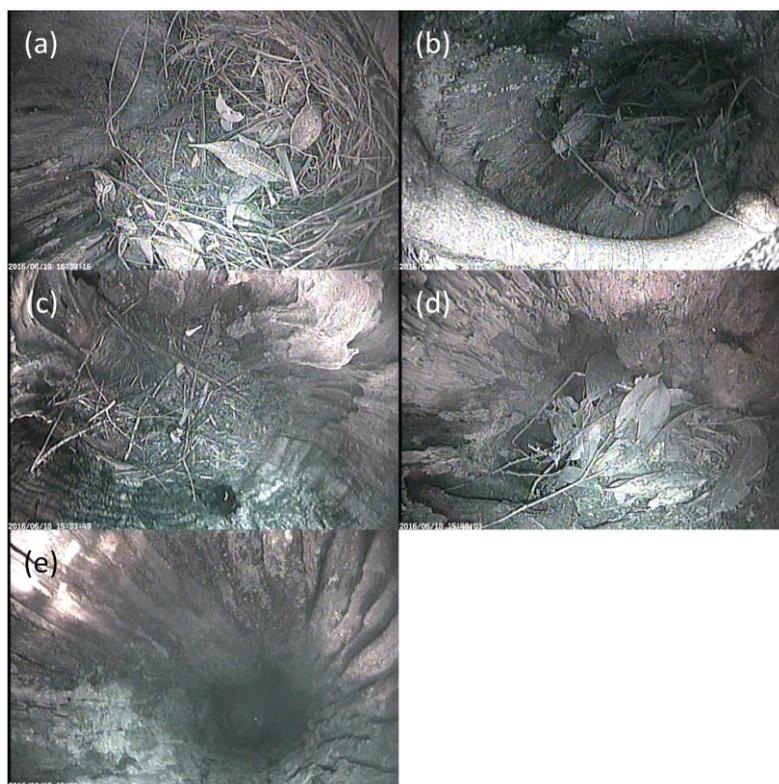
階層 canopy:林冠層、lower:下層
生活形 Tree: 高木・小高木、Shrub: 低木、Herb: 草本
散布体 Berry: 液果、Capsule: 蒴果、Drupe: 核果、Follicle: 袋果、Pome: 梨状果、Spore: 孢子

べて16.7 cm以下であったのに対し、非皆伐域の32方形区では17.4 cmから72.6 cmの範囲であった。Wilcoxon検定の結果、林冠木平均胸高直径($p < 0.01$)、倒木数($p = 0.02$)、着生植物種数($p < 0.01$)で非皆伐域の値が有意に高かった。樹洞数および枯死立木数は5%水準での有意な効果は認められなかった。

非皆伐域を対象とした一般化線形混合モデルによる解析の結果、林冠層平均胸高直径は、方形区あたりの樹洞数($\beta = 0.039$, $p < 0.01$)、着生植物種数($\beta = 0.026$, $p < 0.01$)、倒木数($\beta = 0.040$, $p < 0.01$)に有意な正の効果を示した。枯死立木数($\beta = -0.001$, $p = 0.96$)に対しては有意な効果は認められなかった(表(1)-8)。

本調査の結果、147種の維管束植物が同定された。非皆伐域の方形区の20%以上で記録されているが皆伐域では記録されなかった種は、下層におけるアオガシ *Machilus japonica* Siebold et Zucc. ex Meisn.、アオバノキ *Symplocos cochinchinensis* (Lour.) S. Moore、オオシイバモチ *Ilex warburgii* Loes.、キノボリシダ *Diplazium donianum* (Mett.) Tardieu、クチナシ *Gardenia jasminoides* Ellis、コバノカナワラビ *Arachniodes sporadosora* (Kunze) Nakaike、サネカズラ *Kadsura japonica* (L.) Dunal、スジヒトツバ、バリバリノキ *Litsea acuminata* (Blume) Sa. Kurata、フキノキ *Schefflera heptaphylla* (L.) Frodin、ホコザキベニシダ *Dryopteris koidzumiana* Tagawa、マメヅタ、ミヤマハシカンボク *Blastus cochinchinensis* Lour.の13種および着生植物のノキシノブであった。

また全方形区の5%以上で出現した種のうち、林冠層平均胸高直径が40 cm以上の方形区でのみ記録された種はアマミエビネ *Calanthe amamiana* Fukuy. およびミヤマノコギリシダ *Diplazium mettenianum* (Miq.) C. Chr.、ヤリノホクリハランの3種であった。方形区のエッホ平均胸高直径が5%水準で有意な正の効果を示したのは、下層でコバノカナワラビなど6種であり、うちケシンテンルリミノキ *Lasianthus curtisii* King et Gambleを除く5種は皆伐域では記録されなかった。林冠層平均胸高直径が5%水準で



図(1)-11 樹洞カメラで撮影した鳥類もしくは哺乳類の利用が確認された樹洞内部の様子。(a)(b)ルリカケスの営巣後に残された巣材。(c)(d)ケナガネズミの営巣後に残された巣材。(e)リュウキュウコノハズクの幼鳥。目が光に反射しており、映像では2羽の幼鳥が樹洞の中にいることがわかる。

有意な負の効果を示したのは、下層でイヌマキ *Podocarpus macrophyllus* (Thunb.) Sweet など9種であり、うちセンリョウ *Sarcandra glabra* (Thunb.) Nakai を除く8種は皆伐域の方形区の50%以上で記録された。林冠層ではナギ *Podocarpus nagi* (Thunb.) Zoll. et Moritzi ex Makino にのみ林冠層平均胸高直径の有意な正の効果があり、着生植物では有意な効果は見いだされなかった。表(1)-9では、林冠層平均胸高直径が有意な効果をもっていた種について、生活形と散布体のタイプを記した。林冠層平均胸高直径が有意な正の効果をもっていた6種のうち5種は低木または草本種であり、うち4種は微小散布体で分散するキノボリシダとコバノカナワラビ、ミヤマノコギリシダ、ミヤマハシカンボクであった。一方、林冠層平均胸高直径が有意な負の効果をもっていた10種のうち8種は高木・小高木種であり、すべて鳥などによる被食散布を行う種である。

本研究の結果により、奄美大島の亜熱帯照葉樹林において樹木サイズは樹洞数や着生植物の種数に有意な正の効果認められることが示された。また局所スケール(100m²程度)においても、樹木サイズの大きい非皆伐域では倒木数および着生植物種数が皆伐域より有意に多く、非皆伐域における林冠層の胸高直径は樹洞や倒木などのマイクロハビタットの存在量や着生植物の種数に有意な効果が認められた。このような樹木サイズとマイクロハビタットや着生植物の多様性の関係は、他の気候帯における既往の研究においても見いだされている。奄美大島の常緑広葉樹が優占する森林においても、大径木が集中する森林域は、生物の生息・生育場所となるマイクロハビタットや照葉樹林の生物多様性指標である着生植物が豊富であ

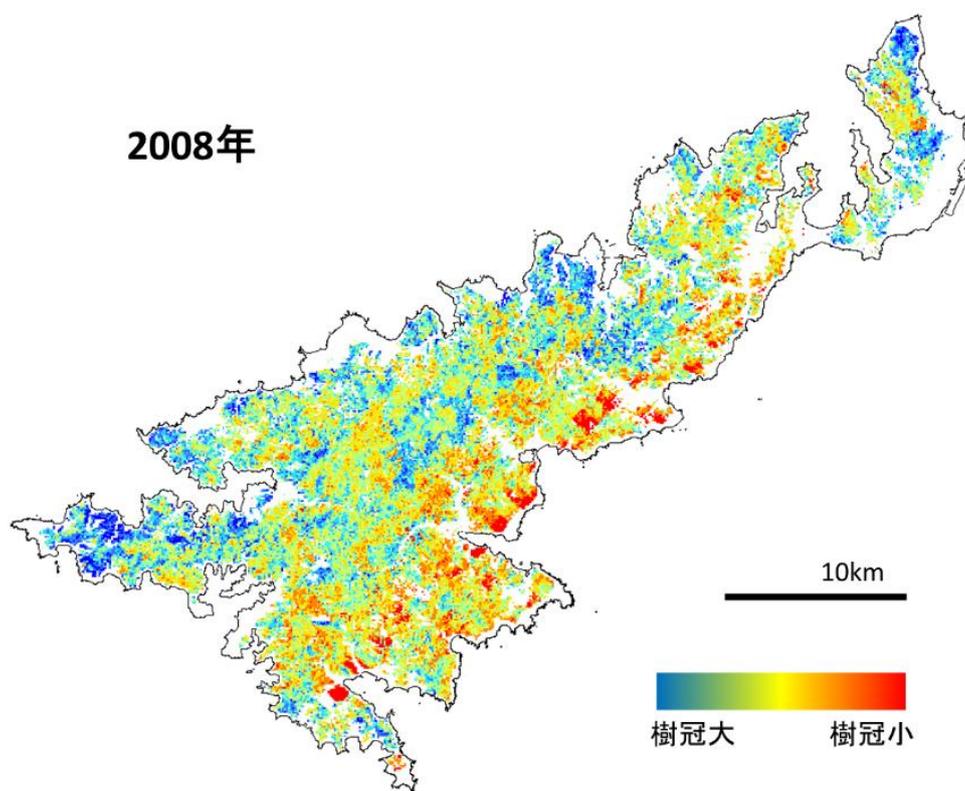
り、保全上重要な森林域の指標として有効であることが示唆された。

森林の生物多様性指標の中でも、樹木サイズ（胸高直径）はリモートセンシングでのモニタリングが比較的容易である。すなわち、樹木サイズを表す変数間にはアロメトリー関係があるため、衛星画像や空中写真から樹冠サイズ指数を推定するリモートセンシング技術を用いて省力的な広域モニタリングを行うことができる。

なお本研究は常緑広葉樹が優占する森林を対象に検討を行ったが、奄美大島の沿岸部にはウラジロエノキ *Trema orientalis* (L.) Blume やリュウキュウマツ *Pinus luchuensis* Mayr などの先駆種が優占する森林が分布する。そのような森林は常緑広葉樹の優占する森林域とは異なる生物多様性を有するため、奄美大島全域などの広域で樹木サイズを指標としたモニタリングを行う際は、現地で成立している林冠植生タイプを踏まえて評価する必要がある。

本研究で分析対象としたマイクロハビタットの中では枯死立木数のみ樹木サイズの有意な効果が検出されなかった。亜寒帯針葉樹林においては、大径（胸高直径 > 15 cm）の枯死立木は樹木サイズの大きい老齢林が多いという報告がある。しかし奄美大島のように温暖湿潤な亜熱帯林では枯死木の腐朽が早く、また常襲する台風による風倒のため、亜寒帯や温帯の森林と比べて枯死立木の状態で残存することが少ないと考えられる。

本研究の調査地（合計 0.4 ha）で確認された着生植物は 8 種であり、既往の老齢照葉樹林における結果（宮崎県綾町の暖温帯照葉樹林：0.1 ha で 16 種、沖縄県やんばるの亜熱帯照葉樹林：3.6 ha で 19 種）と比べて少ない。本研究の方形区には小径二次林分も含まれるため、単純な面積と種数の比較には注意が



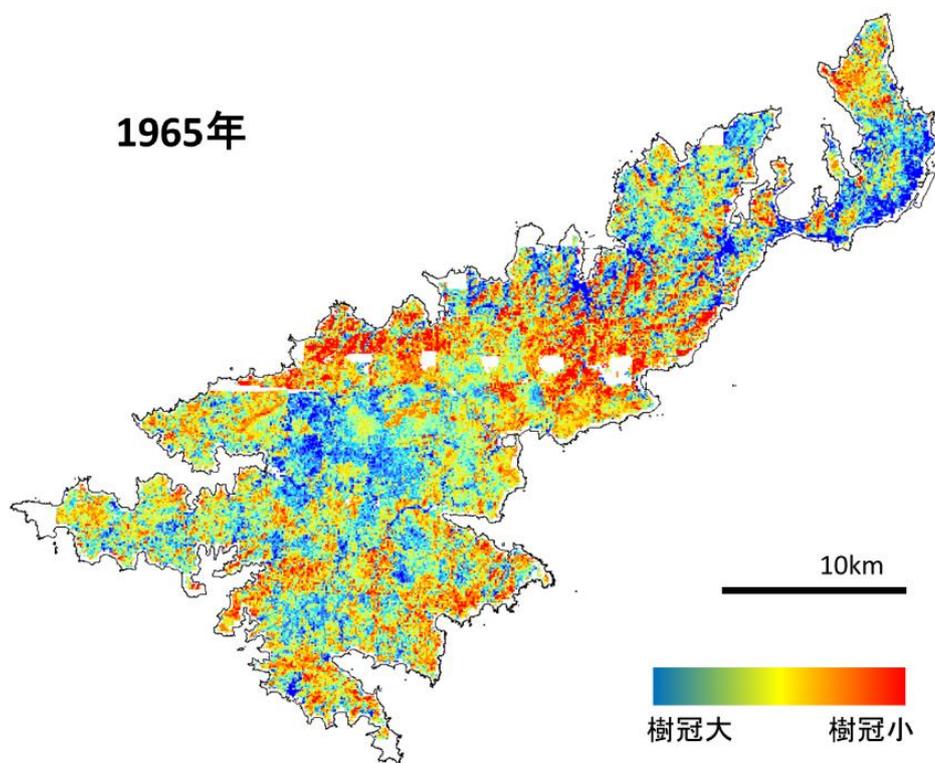
図(1)-12 2008年度における奄美大島全域のCM-CSI。

必要であるが、過去の人為の影響を受けて着生植物が減少している可能性が示唆される。本研究の調査地では、過去に林道の開設や小面積皆伐が頻繁に行われており、残存した大径木を含む林分も乾燥化などのエッジ効果が働いて着生植物が減少した可能性が考えられる。また、奄美大島に生育する着生植物にはラン科など園芸価値の高い種が多く、採取による個体数減少の可能性もある。

非皆伐域の20%以上で記録されているが皆伐域では欠落する種は、下層と着生に限られ林冠層では見いだされなかった。やんばるの亜熱帯照葉樹林においても、高木・小高木種は老齢林と二次林でフロラの連続性が比較的保たれるが、林床植生や着生植物は二次林でより欠落しやすいことが報告されている。亜熱帯照葉樹林における皆伐などの人為干渉に対しては、林冠層を構成する種に比べて、林床植生や着生植物がより脆弱性が高いことが示唆される。

皆伐域で欠落していた種は、シダ植物などの微小散布体で分散する種や耐陰性が強く湿った環境を選好する種であった。非皆伐域において大径木の集中する森林域でのみ記録された種や、林冠層の平均胸高直径が有意な正の効果を持っていた種についても同様の傾向が認められた。森林内に生育し微小散布体で分散する種の散布距離は、低頻度で生じる長距離分散イベントを除くと一般的に短いため、皆伐などの攪乱後の再移入が難しい可能性がある。また、一般的に、耐陰性が強く湿度の高い生育環境を要求する種は、攪乱による上層木の消失で乾燥・強光化した環境への定着は難しい。

一方、皆伐域における林冠木としては、風散布の先駆性高木であるイジュの優占度が高かった。非皆伐域において胸高直径が有意な負の効果をもっていた種の多くはイヌマキなど鳥散布性の高木種であり、皆伐域においても高い頻度で記録されている。林冠層からの風散布や鳥散布は比較的長い距離の分散が可能

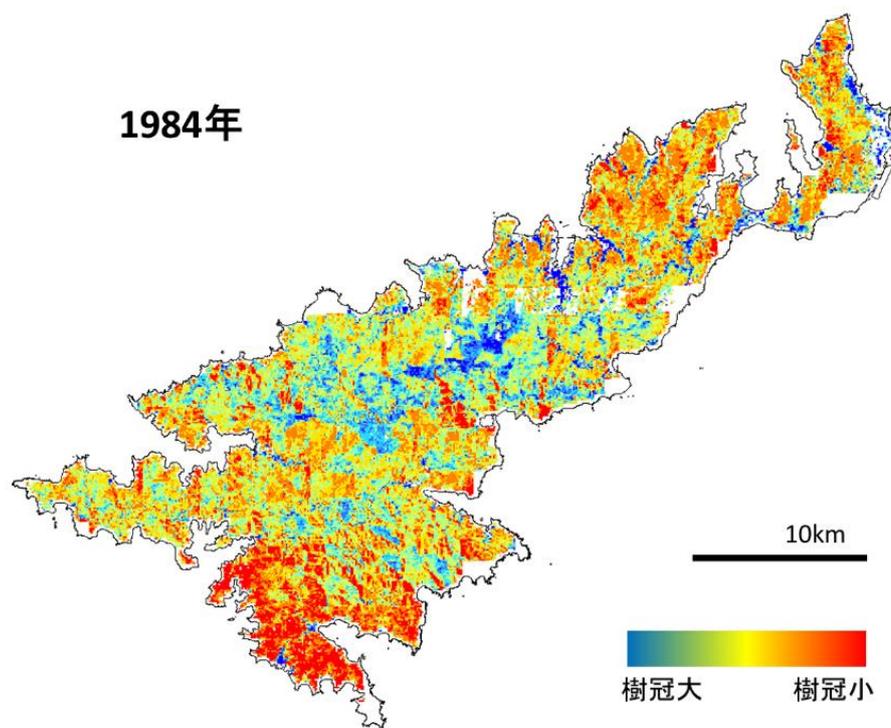


図(1)-13 1965年度における奄美大島全域のCM-CSI。

であるため、伐採などの攪乱が生じても周囲の残存樹林から種子が分散されることでいち早く回復したと考えられる。またシバニッケイは林冠木の記録が皆伐域のみであり、非皆伐域の下層における出現頻度に対して林冠木平均胸高直径が有意な負の効果を示した。本種は海岸からやや内陸の尾根筋に生育する種であり、定着には皆伐跡地をはじめとする明るい環境を要求しているものと思われる。

奄美大島の亜熱帯照葉樹林において認められたこれらの傾向は、既往の暖温帯照葉樹林におけるフロラ研究や、ヨーロッパの AFS 研究の結果と矛盾しない。奄美大島の亜熱帯照葉樹林においても、大径木が集中する森林域は、森林本来のフロラを比較的保っており、大規模な人為攪乱に脆弱な植物を保全するうえでも重要性が高いと考えられる。

樹洞を利用している動物を見出す調査では、合計で 39 本（金作原国有林：24 本、湯湾岳国有林 15 本）の樹木が有する 47 個の樹洞の内部環境を撮影できた。深さ 3cm 以上の樹洞の中には、撮影された映像から底が確認できないほど深いものも含まれていた。本研究で用いた CCD カメラの性能上、樹洞内の約 1.3m 以上では樹洞底部や堆積物を確認することができなかつたため、底が確認できなかった樹洞は 1.3m 以上の深さをもつものと考えられた。以上の樹洞のうち、鳥類・哺乳類の利用の痕跡が確認できたのは 5 個、無脊椎動物の利用が確認できたのが 6 個だった。鳥類では、ルリカケス、リュウキュウコノハズク、哺乳類では、ケナガネズミ（図(1)-11）が確認された。いずれの動物も深さ 3cm 以上の樹洞に利用の痕跡がみられた。以上の調査結果から、樹冠サイズ指数が大きい森林域にみられる大径木には樹洞が良く形成されており、さらにその樹洞には固有種や絶滅危惧種を含む希少種の利用を確認することができた。本研究による CCD カメラを用いた樹洞内部環境の把握は、樹冠サイズ指数の算定と連携して生物多様性保全上重要



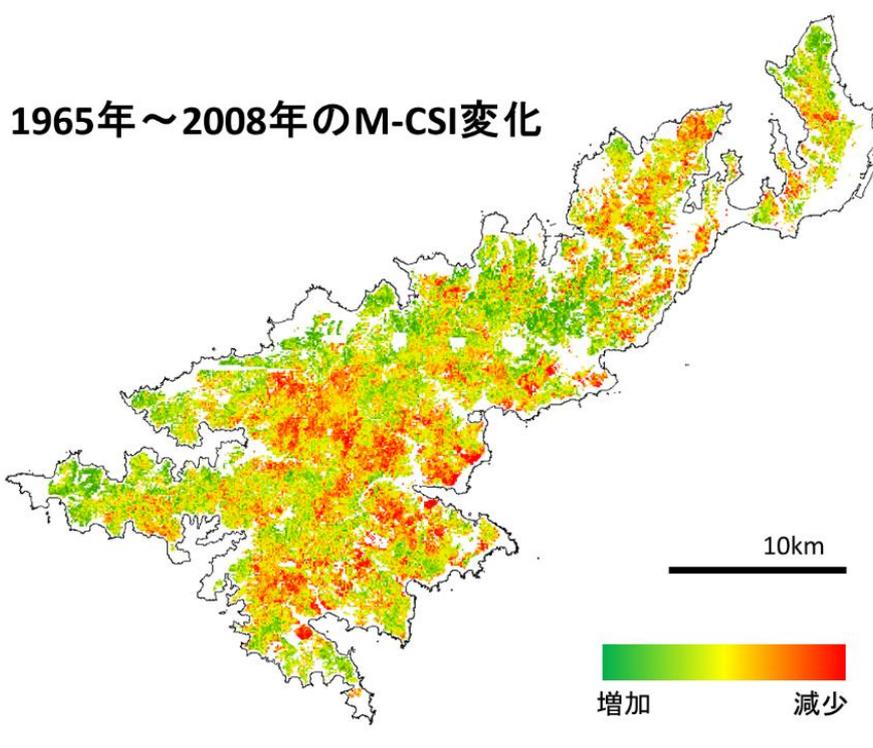
図(1)-14 1984年度における奄美大島全域のCM-CSI。

な森林域のモニタリング手法として有効であると思われる。

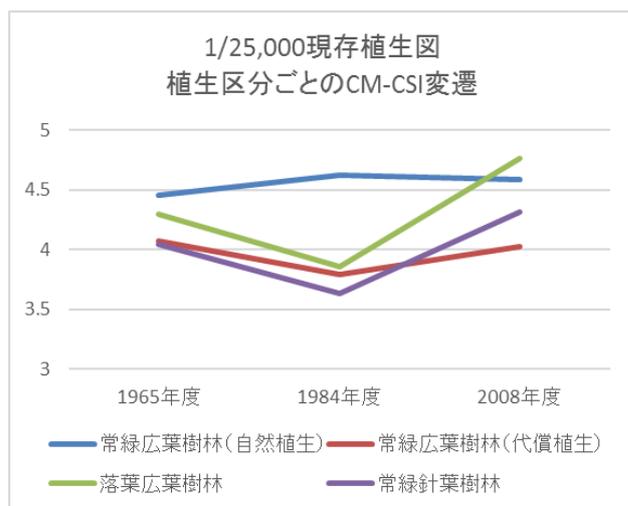
奄美大島の国立公園指定に向けた検討では、亜熱帯照葉樹林を中心とする生態系全体を対象として管理し、保全や再生、利用を進める「生態系管理型国立公園」という新しい国立公園像が提唱されている（「奄美地域の自然資源の保全・活用に関する基本的な考え方（案）（環境省那覇自然環境事務所）」、http://kyushu.env.go.jp/naha/nature/mat/data/m_3/m_3_3_3.pdf）。

戦後に大規模な森林伐採が行われた奄美大島において、固有動物の生息場所となるマイクロハビタットに富む老齢林は全島の森林面積の9.1%と減少が著しい。一般に、長期にわたり大規模な攪乱を免れた老齢林は、林床フロラの保全や森林の自然再生における種の供給源として重要である。奄美大島の亜熱帯照葉樹林においても、生物多様性保全のためには大径木の集中する老齢林の保全に特に留意した管理が求められるであろう。その際に、樹冠サイズ指数を用いた老齢林の分布域の把握は、広域的かつ効率的な生物多様性保全を実践するために十分な判断材料を提供することが期待できる。

2008年に撮影された空中写真を用いて算出した奄美大島全域のCM-CSIを図(1)-12に示す。笠利半島や名瀬周辺、西海岸でCM-CSIが大きく、南東部でCM-CSIが小さい傾向が認められた。大面積の常緑広葉樹林が分布する奄美大島中南部の内陸域には、CM-CSIの大きい領域がパッチ状に点在している。2008年度の空中写真から算出したCM-CSIが高い領域は、1/25,000現存植生図において常緑広葉樹（自然植生）、常緑針葉樹、落葉広葉樹が優占する領域と良く対応していた。



図(1)-15 奄美大島全域における2008年度のCM-CSIと1965年度のCM-CSIとの差。



図(1)-16 1/25,000現存植生図における植生区分ごとのCM-CSIの変遷。

1965年度、1984年度年に撮影された空中写真を用いて算出した奄美大島全域のCM-CSIを図(1)-13、14に示す。

1965年度時点では奄美大島中南部の内陸域に樹冠サイズが大きい領域が分布していたが、1984年度には樹冠サイズが低下している。名瀬市街地の周辺や農地的土地利用が行われている笠利半島平野部ではCM-CSIの値が大きい。

1965年度から2008年度にかけてのCM-CSIの増減を図(1)-15に示す。奄美大島中南部の内陸域および龍郷町と奄美市（旧名瀬市域）にまたがる半島部で減少が大きく、名瀬市街地周辺や奄

美大島北西部の海岸沿いでは値が増加している傾向が見られる。

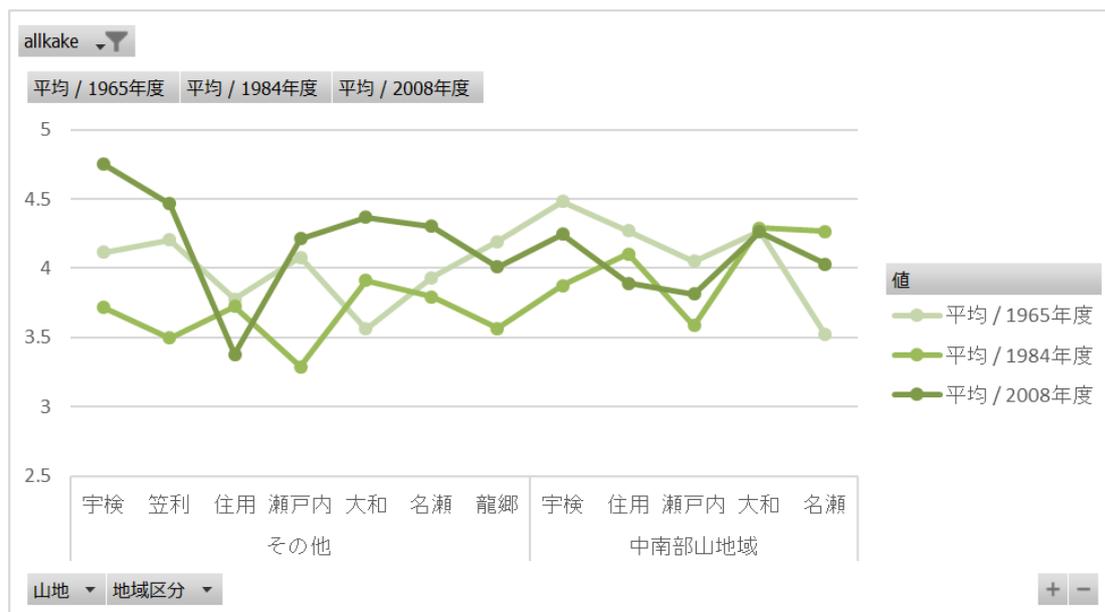
Wilcoxon検定の多重比較の結果、1/25,000現存植生図に基づく4植生区分における平均CM-CSIは、いずれの年度においてもそれぞれ5%水準で有意に異なっていた。

1/25,000現存植生図で常緑広葉樹林（自然植生）と区分される地域では、CM-CSIはいずれの年度でも4.45を超えており、平均樹冠サイズ指数の顕著な増加や減少は認められなかった（図(1)-16）。その他の植生区分ではいずれも、1965年度から1984年度にかけて0.25以上の減少幅で減少したのちに、1984年度から2008年度にかけて増加する傾向が認められた。特に落葉広葉樹林区分と常緑針葉樹林区分では、1984年度以降のCM-CSI増加幅がそれぞれ0.90および0.68と大きい値を示したが、常緑広葉樹林（代償植生）区分の増加幅は0.23と比較的小さかった。

奄美大島の旧基礎自治体および中南部の17流域の範囲で区分した地域区分ごとのCM-CSI平均値を図(1)-17に示す。1965年以降の樹冠サイズの変遷は中南部の17流域とそれ以外では異なる傾向を示した。中南部の17流域では、CM-CSIの平均値は1965年度で高く1984年度や2008年度では値が低下する傾向を示した。なお大和村では3年度のCM-CSIがほぼ同じ値を示し、旧名瀬市域では1965年度の値が最も低かった。中南部17流域以外では、CM-CSIは1965年度から1984年度にかけて減少し、その後2008年度で最も高くなる傾向を示した。中南部17流域以外では旧住用町域のみ2008年度のCM-CSIが最も低くなった。

奄美群島国立公園におけるCM-CSIは、2008年度においては特別保護地区と特別地域外がそれぞれ4.28、4.27と高く、次いで第1種特別地域（4.05）、第2種特別地域（3.95）の順であった。特別保護地区は1965年度から1984年度にかけて増加したのち2008年度には減少し、第1種特別地域は1965年度から1984年度にかけて減少したのち2008年度にかけては大きな変化は見られなかった。第2種特別地域及び特別地域外はともに1965年度から1984年度にかけて減少したのち2008年度にかけて増加したが、増加幅は特別地域外で大きかった（図(1)-18）。

解析を行った3年度すべてにおいてCM-CSIが4.08以上であったメッシュ数は、奄美大島全域では5288メッシュ（12%）であったが、その67%にあたる3565メッシュは特別地域に含まれていた。特に中南部山



図(1)-17 奄美大島の旧基礎自治体および中南部の17流域で区分した地域ごとのCM-CSI平均値。

地域においては3年度すべてでCM-CSIが4.08以上であった3527メッシュのうち3366メッシュ（95%）が特別保護地区、第1種特別地域または第2種特別地域に含まれている。

以上のことから、本研究の成果として以下の点を示すことができた。

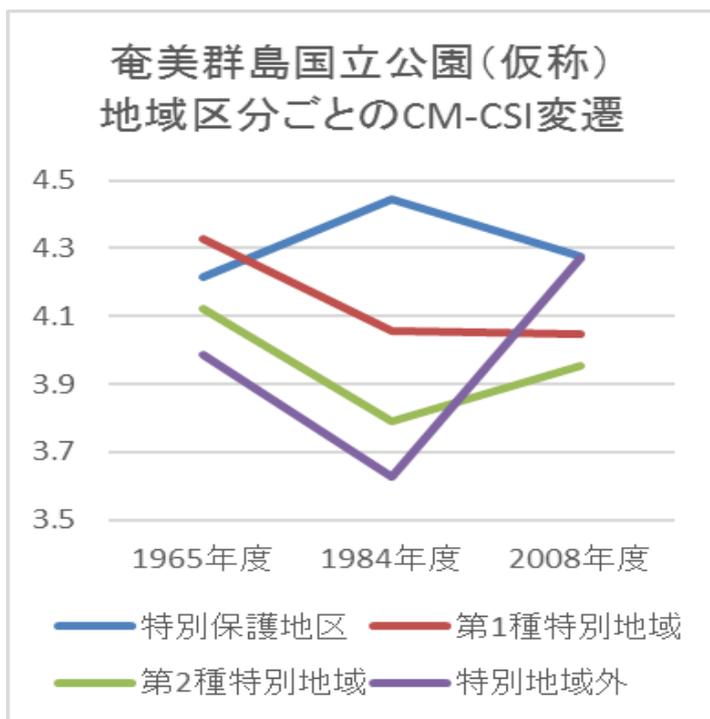
- ・空間解像度40 cmの空中写真を解析することで広域の樹冠サイズの地図化を行うことができる。
- ・植生図が未整備である過去の時点からの林冠植生のモザイク動態を可視化することができる。
- ・複数の空中写真をつなぎ合わせる際に隣接する空中写真間で推定樹冠サイズに違いが生じる場合があるため、適切な補正や解釈時の注意が必要である。

松本ほか（2015、未発表）による現地踏査によれば、奄美大島中南部の常緑広葉樹林が優占する森林域では、特に1/25,000現存植生図で自然植生に区分されるパッチにおいてスダジイやイジュ、イスノキなどの大径木が認められる。北部や西部の海岸沿いでは、主にリュウキュウマツやウラジロエノキなどの先駆種が林冠の優占種となっている。現在の奄美大島において樹冠サイズの大きい森林パッチは、林冠構成種に基づき2種類に区分できると考えられる。中南部山地域にみられる樹冠サイズの大きい森林パッチは常緑広葉樹の大径木が集中している。一方で、北部や西部の海岸沿いに連続的に分布するパッチでは、幅の広い樹冠を形成する先駆種が林冠を構成しているために上空から見た樹冠サイズも大きくなると考えられる。奄美大島の亜熱帯常緑広葉樹林における生物多様性の保全にあたっては、樹冠サイズが大きい森林のなかでも特に前者が保全上の重要性が高いといえる。

1946年に米軍が撮影した空中写真によれば、奄美大島中南部の山地域では樹冠サイズの大きい森林が大面積で分布する。海岸付近では集落を中心として山の上部まで耕作地が開墾されており、耕作地と大径木林パッチとの間には高木の樹冠がまばらな疎林が認められる。このような土地利用の形態は、温帯の照葉樹林帯や落葉広葉樹林帯における里地里山の土地利用と類似している。その後、北部や西部の海岸付近では耕作地や疎林に対する人為的干渉の減少に伴い先駆的な高木樹種が侵入・定着し、2008年度時点では樹冠サイズの大きな先駆樹種が林冠を構成する森林が成立している。一方で中南部山地域にお

いては、1954年に奄美群島復興特別措置法が制定された後の大規模な皆伐によって、大径木が集中する常緑広葉樹林パッチが縮小・孤立した。皆伐跡地においては、長期にわたり常緑広葉樹林が優占していたために先駆種の種子供給源が限られており、萌芽更新や周囲からの種子供給によって常緑広葉樹の二次林が再生したと考えられる。このため2008年度時点における中南部山地域では、皆伐後に再生した常緑広葉樹二次林のパッチと皆伐を免れた大径木林パッチからなるモザイクとなっている。

大面積の常緑広葉樹林が分布する中南部山地域において、1965年度以降の樹冠サイズが一貫して大きかったメッシュの大部分が特別地域に含まれることから、奄美群島国立公園（仮称）の保全地域指定は、亜熱帯照葉樹林の大径木林パッチを保全するうえで有効といえる。また、国立公園の地種区分による平均樹冠サイズの変遷は、各地種区分を構成する林冠植生の割合を反映していると考えられた。特別保護地区では大規模な人為攪乱を免れた常緑広葉樹の大径木パッチを多く含むため、各年度で比較的大きい樹冠サイズを維持していた。第1種特別地域は中南部山地域を中心に特別保護地区の大径木林パッチをつなぐように指定されているため、皆伐後には常緑広葉樹二次林の再生が卓越し、樹冠サイズの急激な増大は見られなかった。特別地域に含まれない森林は沿岸部に多く先駆樹種の成長が卓越したため、2008年度にかけての樹冠サイズの増大が大きくなった。



図(1)-18 奄美群島国立公園（仮称）における地種区分ごとのCM-CSI変遷。

環境省は「奄美群島国立公園（仮称）指定書及び公園計画書（環境省原案）」

（<http://www.env.go.jp/press/files/jp/103906.pdf>）において、亜熱帯照葉樹林の保護に関する基本方針として、「固有又は希少な動植物の生息・生育する高齢林及び高齢林分を含む森林を厳正に保護する」ことおよび「過去に伐採された照葉樹二次林や林種転換された林分の高齢照葉樹林への誘導、転換を図る」ことを挙げている。常緑広葉樹林の大径木パッチや常緑広葉樹二次林のパッチが特別保護地区および第1種特別地域に指定されていることから、奄美群島国立公園による保全地域指定は亜熱帯照葉樹林の保護に関する基本方針を達成するうえで有効であることが示唆された。

2 ニホンミツバチ

開花フェノロジーの調査の結果、6月下旬には「海辺の植物」「人里の植物」「低地・山地の植物」の全てのカテゴリーの開花のピークがあるほか、2月下旬から4月下旬頃にかけて、森林性の植物に対応する「低地・山地の植物」の開花種数が特に多く、10月は「人里の植物」の開花種数が特に多かった。森林性の植物のうち、高木および低木は、2月下旬から6月下旬にかけて開花種数が多く、それ以外の季節は開花種数が少なかった。一方、草本植物は、1年を通して開花種数が比較的多いが、特に9月中旬から10月にかけて開花種数が多いことが示された。また、これらの開花フェノロジー調査期間において、木本植物92種、草本植物149種の計241種の参照花粉を後述の花粉分析に活用するために採取した。

現地での聞き取り調査の結果、過去の営巣情報も含め、27コロニーの営巣情報が得られた。それらの営巣対象の内訳は、樹洞11コロニー、墓等の石の人工構造物8コロニー、民家の屋根裏や壁の隙間7コロ



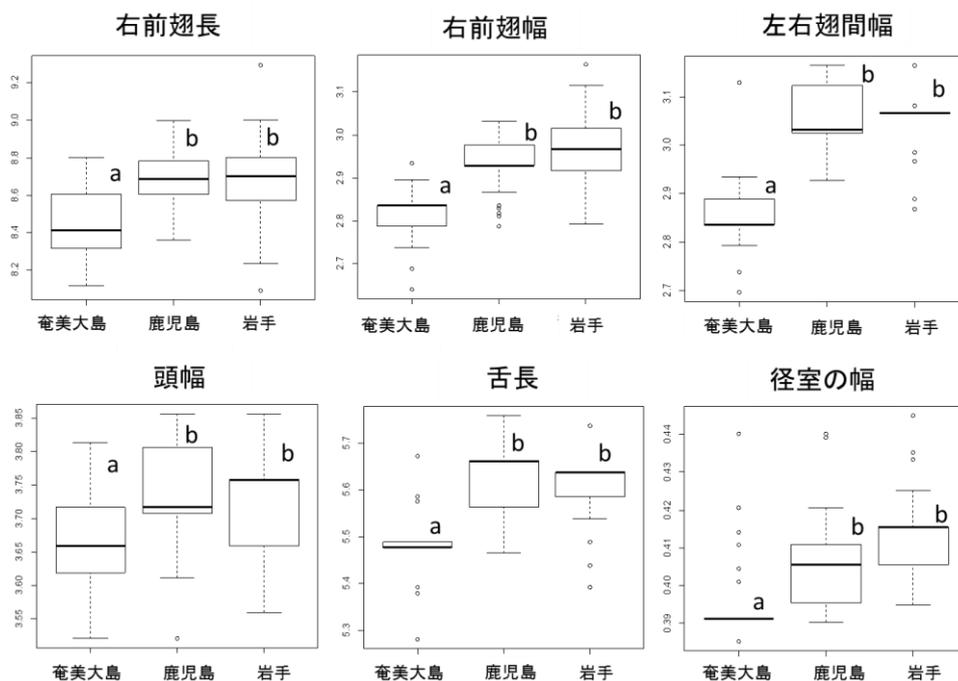
図(1)-19 観察されたニホンミツバチ11巣の写真。

ニー、農業用機械1コロニーであった。これらのうち、営巣場所の地理的位置が踏査により直接確認できたのは11コロニーであった。その内訳を表1に示した。樹洞に営巣していた4コロニー、墓等の石の人工構造物が5コロニー、民家の屋根裏が2コロニー（図(1)-19）である。

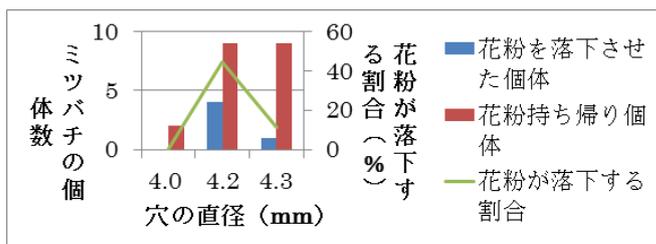
樹洞コロニーのうち、自然性の高い森林内で確認されたコロニーは、オキナワウラジロガシ *Quercus miyagii* Koidz.（樹高20 m、胸高周囲長231.0 cm、巣の入り口の長径18.3 cm、短径7.3 cm、図(1)-19、No.1）、スダジイ *Castanopsis sieboldii* (Makino) Hatus. ex T. Yamaz. et Mashiba（樹高12.5m、胸高周囲長146.5 cm、巣の入り口の長径10 cm、短径1.7 cm、図(1)-19、No.2）、スダジイ（樹高13.5 m、胸高周囲長153.3 cm、巣の入り口の長径7 cm、短径3.1 cm、図(1)-19、No.3）に営巣していた。また、海岸近くの集落のガジュマル *Ficus microcarpa* L. f.（樹高12 m、胸高周囲長545 cm、巣の入り口が特定できなかった、図(1)-19、No.4）への営巣が確認された。また、現在は存在していないが確かに営巣していたと判断できる痕跡が認められたコロニーのうち、人里の墓、民家、学校の植栽木の樹洞に営巣した6コロニーが、殺虫剤などで駆除されていた。

なお、聞き取りにより、1940～1960年頃のニホンミツバチの営巣および蜜利用についても情報を得ることができた。例えば、大和村在住の80代の男性は、森林伐採業務に従事していた祖父が、たびたび巣を見かけ、スダジイの伐採した樹洞から、蜜の採集をしたと述べた。

計測した各体サイズについて、分散分析を行ったところ、右前翅の長さ、右前翅の幅、左右の翅間の幅、頭幅、舌長、径室の幅は、奄美大島、鹿児島県（霧島市と日置市）、岩手県の3地域間で有意に異なっていた（いずれの計測部位についても $p < 0.0001$ ）。多重比較による各地域間のサイズの比較の結果、



図(1)-20 日本列島の3地点（奄美大島・鹿児島・岩手）間のニホンミツバチのワーカーの6形質（右前翅の長さ、右前翅の幅、左右の翅間の幅、頭幅、舌長、径室の幅）の比較。アルファベットの違いは、有意差があることを示す。



図(1)-21 花粉荷採集器の穴の大きさの検討の結果。

昆虫などの生物は温暖な南の地域ほど、体温調節のための熱放散を容易にする適応として、体サイズが小さくなり体重当たりの体表面積が大きくなることが知られている。また、ポリネーターになる昆虫と花の形態には相互適応が認められるため、花の大きさを介した自然選択による適応の可能性もある。

以上の奄美大島のニホンミツバチに特有の体サイズのため、花粉分析にあたってはそのサイズに適合する花粉荷採集器を作成する必要があるがあった。これを検討した結果、本土のニホンミツバチでは直径4.5 mmの穴サイズが一般的であるのに対して、奄美大島のニホンミツバチから花粉荷を採集するには採集器の穴の直径が4.2 mmのとき最も採集効率が高かった (図(1)-21)。したがって、以降の花粉荷に関する調査では直径4.2 mmの穴を設けた花粉荷採集器を用いた。

録画された帰巢するワーカーの活動は、樹洞コロニー、墓コロニーいずれにおいても、天候等の違いに応じて顕著に異なっていた。樹洞コロニーでは、雨天日が3日間連続した翌日の晴天時々曇天には、総帰巢個体数が最大1616頭 / 10分、花粉荷持ち込み個体数も最大163頭 / 10分と多かった (表(1)-10、図(1)-22(a))。その翌日の曇天日には、総帰巢個体数は最大730頭 / 10分、花粉荷持ち込み個体数は54頭 / 10分となり、全ての時間帯で前日に比較して減少した (表(1)-10、図(1)-22(b))。雨天日の2日間は、それぞれ総帰巢個体数は最大で6頭 / 10分、55頭 / 10分、花粉荷持ち込み個体数は最大で0頭 / 10分、1頭 / 10分であり、著しく活動個体数が低下した (表(1)-10、図(1)-22 (d)(e))。また、曇天であって

すべての部位において、奄美大島のみが他の2地域と有意に異なり、平均値が小さいことが示された (図(1)-20)。それに対して、鹿児島県 (霧島市と日置市) と岩手県の間には、いずれの計測部位に関しても有意な差は確認されなかった。一般に、

表(1)-10 各調査日の出巢個体数とその前3日間の気象の概況。各巢の出巢個体数は、1時間あたり10分間計測した値ののべ個体数を示す。総帰巢個体数の () 内は各巣箱で調査を行った時間を示す。

総帰巢個体数 (No.1)	総帰巢個体数 (No.5)	天気	平均気温	降水量(mm)	日照時間 (h)	風速(m/s)
6983 (8h) 2878 (9h)		雨	14.7	64.5	0	2.2
		雨時々曇り	15.9	8.5	0	4.5
		晴れ一時雨	14.2	0.5	3.5	7.4
		晴れ後一時曇り	14.1	0	7.6	2.3
		曇り後時々雨	16.9	6	0.2	3
		曇り時々雨	17.5	18	0	2.2
	214 (7h)	雨	14.8	59	0	2.7
		雨時々晴れ	13.1	16	0.9	5.7
		晴れ時々雨一時曇り	13.3	0.5	4.1	3.5
		晴れ	13.3	0	5.7	2.1
		晴れ	13.2	0	7.9	2
		晴れ	14.3	0	9.4	2.2
17 (7h) 94 (10h) 13 (4h)	1047 (9h) 1073 (9h) 2831 (9h) 4635 (9h)	晴れ後曇り	15.9	0	3.1	1.8
		雨時々曇り一時晴れ	18.9	17	1.4	3.6
		曇り時々雨一時晴れ	18.3	7.5	2.4	2.5
		晴時々曇り	17	0	6	1.7
		晴時々曇り	19.5	0	4.5	2.4
		雨時々曇り	17.9	7	0	3.1
		雨時々曇り	16.1	2	0	2.9
		曇り後雨	17.6	2	0	3.1
		曇り時々雨	17	2	0.2	6
		晴れ時々曇り一時雨	14.9	5	4.1	3.6
		曇り一時雨	13.5	0	0	3.9

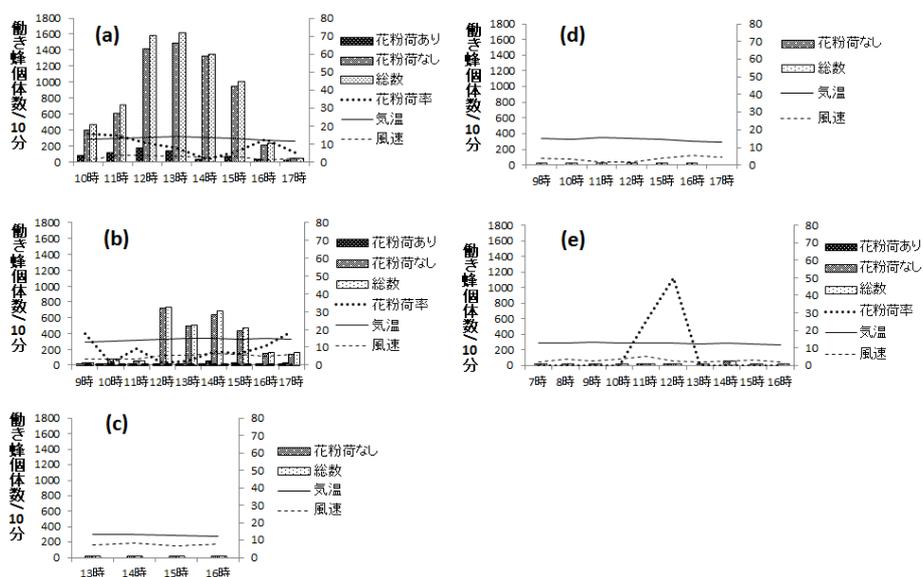
も、風速が6.6m / s以上と強かった日には、総帰巣個体数が最大5頭 / 10分、花粉荷持ち込み個体数は0頭 / 10分と、ほとんど活動が認められなかった (図(1)-22 (c))。

墓コロニーでは、雨天日の合間の晴天・曇天日には、それぞれ総帰巣個体数は最大で1230頭 / 10分、484頭 / 10分、1537頭 / 10分であり、花粉荷持ち込み個体数は1035頭 / 10分、371頭 / 10分、1370頭 / 10分であった (表(1)-10、図(1)-23(a)～(c))。また、樹洞コロニーと同様に、雨天日は、前日の天気に関わらず総帰巣個体数、花粉荷持ち込み個体数が減少していた (図(1)-23 (d)～(f))。調査中に分封が認められた樹洞コロニーでは、分封が認められなかった墓コロニーに比べて、晴天・曇天時における花粉荷率が顕著に低かった。

オス蜂は、12日間の調査期間中、晴天日には樹洞コロニーにおいて最大で132頭 / 10分の出巣が観察された (図(1)-24(a))。一方で、墓コロニーは最大でも11頭 / 10分と出巣数は樹洞コロニーと比較して少なかった。樹洞コロニー、墓コロニーともに、雨天時や、風速6m / sを超える日には、まったく出巣しなかった (図(1)-24 (c))。両コロニーとも、主に13時台～15時台がオス蜂の出巣個体数のピークであったが、わずかに10～11時台から出巣する個体や (図(1)-24 (a) (d))、16時台に出巣する個体も確認された。

樹洞コロニーにおいて、第一分封 (女王蜂および、コロニーの半分程度のワーカー、オス蜂が新たなコロニーをつくるために巣別れする現象) を現場において確認した。その8日後には、第二分封 (コロニーで新たに生まれた新女王蜂が、第一分封の約半分程度のワーカー、オス蜂とともに巣別れする現象) が確認されたので、その過程をビデオで詳細に記録した。

13時に、ワーカー、オス蜂個体が多数、巣の入り口周辺を飛び回り始め、13時6分に新女王蜂の出巣が



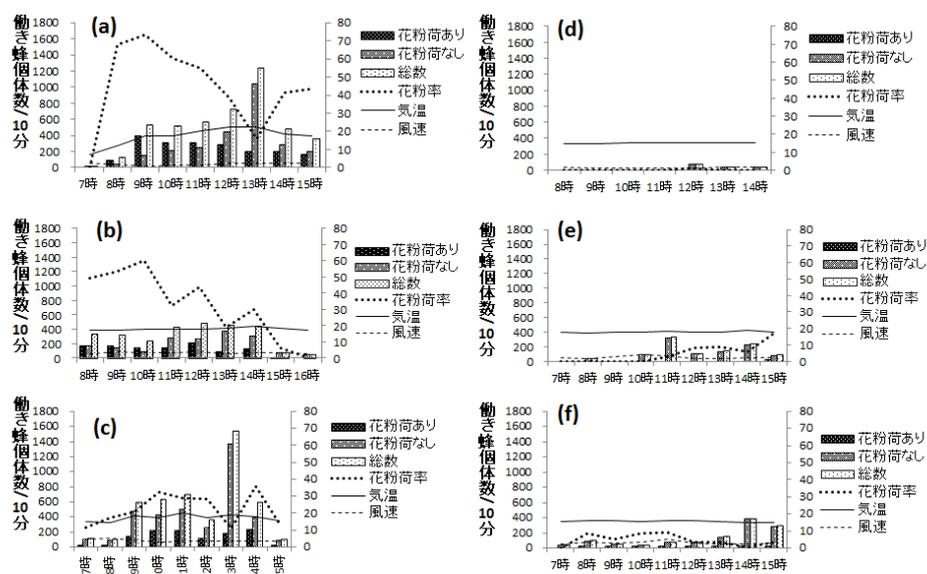
図(1)-22 コロニーNo. 1における採餌活動量の日周変化：(a)：晴天時々曇天日、日照時間7.6時間、降水量0mm、(b)：曇天日、日照時間0.2時間、降水量0mm、(c)：曇天日、日照時間0.4時間、降水量0mm、(d)雨時々曇天日、日照時間0時間、降水量3mm、(e)：雨時々曇天日、日照時間0時間、降水量2mm。縦軸は個体数、横軸は調査を実施した時間帯を示す。

確認された (図(1)-25 (a))。13時8分には、巣から約15 m 程度離れた、樹高約15 m のスタジイの枝に蜂球 (蜂が集合した塊) を形成した (図(1)-25(b))。13時45分から、蜂球が約1分40秒かけて崩れはじめ、約30~40 m離れた樹の枝に再び集合して二次的な蜂球が形成された。蜂球はその場所でおよそ1日維持された後、集合していたハチたちは蜂球を解体して新たな営巣場所をめざして飛び去った。

その約2週間後、樹洞コロニーでは、巣を引き継いだ新女王蜂が14時14分に出巣し、14時35分に帰巢したのを確認した。この時の交尾飛行のために費やした時間は約21分であるが、オス蜂との交尾が成功した証拠である交尾標識は付けていなかった (図(1)-25(c))。墓コロニーでは、観察期間中には、分封は確認されなかった。

現地での観察を通して、捕食者として3種の潜在的な天敵となりうる生物を確認できた。樹洞コロニーにおいて、シダクロスズメバチ *Vespula shidai amamiana* がニホンミツバチのワーカー1頭を捕獲したのを確認した (図(1)-26(a))。シダクロスズメバチは、巣の前でホバリングし、ワーカーを捕獲後、頭部の後ろに大顎で噛みついて切断した後、肉団子にして持ち去った。これらの一連の行動を2回観察することができた。さらに巣の入り口に飛び込んで捕獲した例も1回観察された。このうち1回は、1頭のワーカーがシダクロスズメバチの攻撃に対して、腹部を曲げ、毒針を出して抵抗したことが確認された。また、コガタスズメバチ *Vespa analis eisa* が巣の周囲をホバリングし、ニホンミツバチを1個体捕獲したのを確認した。ワーカーは、これらのスズメバチ類の襲撃に対して、僅かに気にするようなそぶりを見せる個体がいたものの、集団での防衛行動は確認されなかった。

墓コロニーでは、ヒヨドリ *Hypsipetes amaurotis* によるミツバチの捕食が複数回目視で確認された (図(1)-26 (c))。いずれも営巣場所の入り口付近でミツバチを嘴で捕獲した後、10 mほど離れた樹木にとまって捕食した。ヒヨドリの襲撃時、10数頭のニホンミツバチが巣の周囲を飛び回り、襲撃が終わって



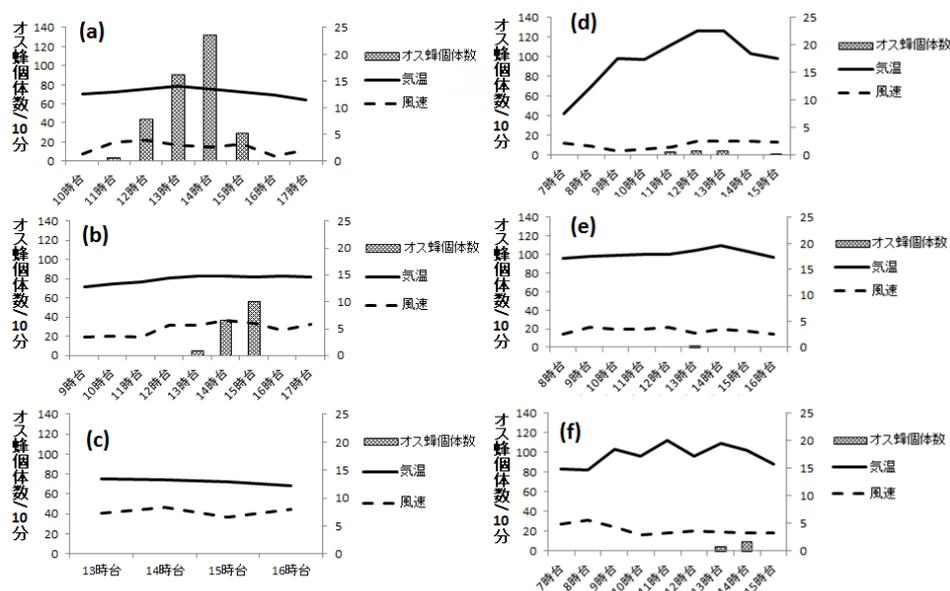
図(1)-23 コロニーNo. 5における採餌活動量の日周変化：(a)：晴天日、日照時間7.9時間、降水量0mm、(b)：曇天日、日照時間0時間、降水量0mm、(c)：晴天日、日照時間4.1時間、降水量0mm、(d)雨天日、日照時間0時間、降水量11mm、(e)：雨時々曇天日、日照時間0時間、降水量3mm、(f)雨時々曇天日、日照時間0時間、降水量2mm。縦軸は個体数、横軸は調査を実施した時間帯を示す。

も微風などの僅かな刺激にも敏感に反応した。この状態は、襲撃が終わってから1時間程度は持続した。

営巣場所に同居する生物種として、墓コロニーではアシナガキアリ *Anoplolepis gracilipes* (図(1)-26 (d))、オオズアリ *Pheidole noda* (図(1)-26 (e)) の2種が確認された。この2種はその後も季節を通じてニホンミツバチの営巣場所の周囲で確認され、巣の入り口に近づいた個体に対しては門番のワーカーが翅で飛ばしたり、体当たりしたりして追い払う行動が確認された。巣の入り口付近では、ウスグロツヅリガ *Achroia innotata* の成虫が1頭確認された (図(1)-26 (i))。また、ウスグロツヅリガに寄生する寄生蜂のスミシヒメコマユバチ *Apanteles galleriae* (図(1)-26 (j)) も1個体確認された。また、樹洞コロニーでは、巣の入り口付近において、ヤマナメクジ *Meghimatium fruhstorferi* (図(1)-26 (f)) が確認された。ヤマナメクジに対し、ニホンミツバチは特に追い払う行動はみせなかった。墓に営巣したNo. 6のコロニーでは、墓の納骨空間を空けて巣を直接確認した際、営巣場所の周辺にワモンゴキブリ *Periplaneta Americana* (図(1)-26 (g)) がおよそ数十頭あまり確認され、ヤマナメクジと同様に追い払うような行動は確認できなかった。また、ミツバチの巣の下で、落下したミツバチの巣の一部を食べるハチノスツヅリガ *Galleria mellonella* の幼虫、蛹が複数個体確認された (図(1)-26 (h))。

目視による観察と、ビデオ録画による調査では、サックブルード病による幼虫捨てや、アカリندانニへの感染などによる成虫の徘徊などの異常行動は認められなかった。

本研究の現地調査により把握された自然営巣場所の約半数程度が、大径木の樹洞への営巣であった。人が入ることが少ない森林域においても、3つのコロニーが樹洞に営巣しており、営巣木は、オキナワウラジログシとスダジイであった。ニホンミツバチの自然巣を対象とした大阪市における営巣場所の調査では、墓、民家の屋根裏、床下、排水パイプなどの人工構造物への営巣が24例中21例と多いことが報告されている。奄美大島における樹洞への営巣率の高さは、森林面積率の高さと、樹洞のある大径木が残



図(1)-24 コロニーNo. 1 (a~c) とNo. 5 (d~f) におけるオス蜂の出巣個体数の日周変化のうち代表的な6日間のデータを示す: (a): 晴天、日照時間7.6時間、(b): 晴天曇天日、日照時間0.2時間、(c): 晴天時々曇天日、日照時間0.4時間、(d)晴天日、日照時間7.9時間、(e): 曇天日、日照時間0時間、(f)晴天、日照時間4.1時間。縦軸は個体数、横軸は調査を実施した時間帯を示す。



図(1)-25 コロニーNo. 1で観察されたニホンミツバチの繁殖行動：(a)分封時に確認された新女王、(b)樹高約15mの高木の枝に形成された蜂球、(c)交尾のために出巣した新女王。この蜂は観察日の14:14に出巣し、14:35に帰巣した。巣に戻るまでの時間は21分間であり、交尾が成功した証拠である交尾標識はつけていなかった。

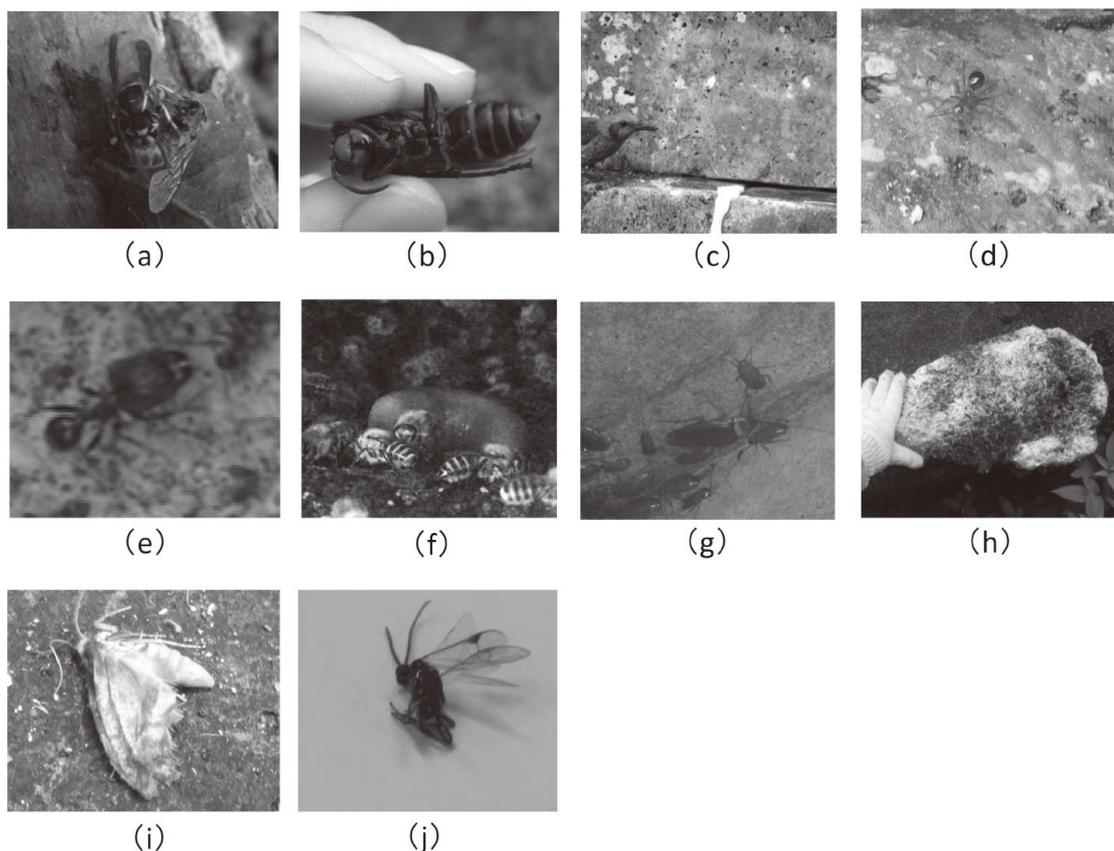
存していることによるものと考えられる。

本研究で得られた樹洞への営巣のうち、2つの営巣木はマングースバスターズからの情報提供をもとに確認されたものである。マングースバスターズは、主に森林域に設置された総延長約570 kmのルートを定期的に巡回しており、ルート近傍にニホンミツバチが営巣していれば見つける可能性がある。仮に、ルートに沿った5 m幅（片側2.5 m）を営巣確認可能域とすれば、合計面積は2.85 km²となる。これは、奄美大島の森林面積605.53 km²（奄美大島の面積712.39 km²のうち85 %が森林であるとした場合の値）からみれば0.5 %程度にすぎない。営巣確認可能域以外でもニホンミツバチコロニーの面積当たりの存在率が同等であると仮定すれば、単純な積算により、奄美大島の森林域において、400コロニーのニホンミツバチの潜在的営巣（0.7コロニー / km²）を期待することができる。マングースバスターズの踏査するルートには、営巣に適すると考えられる樹洞を有する大木が多く生育する森林域も含まれるため、この推算是過大評価である可能性があるが、奄美大島の森林内には、今回確認できた以上のニホンミツバチが生息していることは確かであろう。一方で、墓や屋根裏などへの営巣は、人目につきやすいため、存在に比してより多くの情報が得られたものと考えられる。これらのコロニーは、営巣しても薬剤などで駆除されやすく、野生個体群の維持には寄与することは少ないと考えられる。

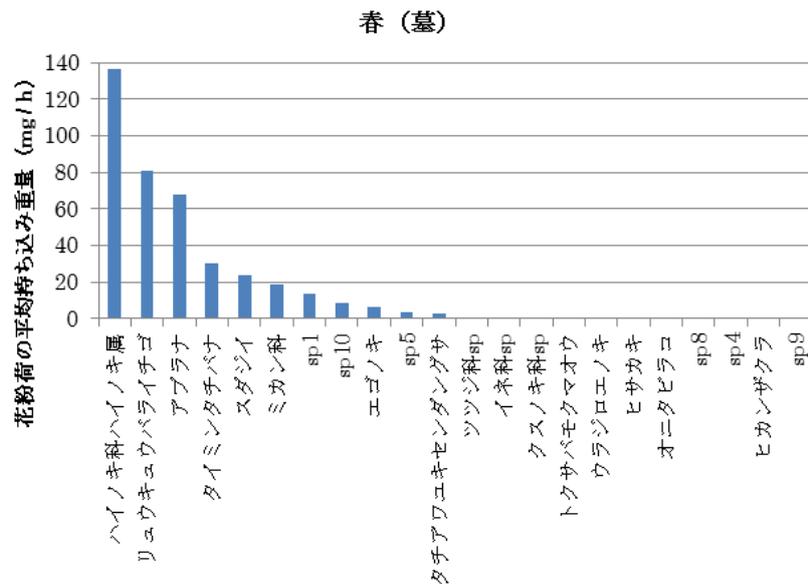
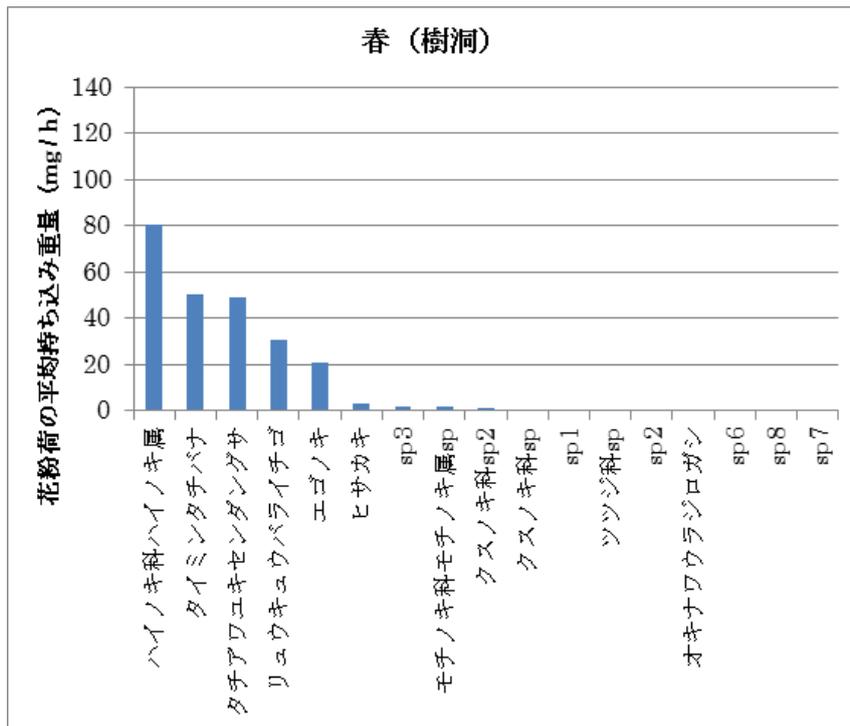
一般的なニホンミツバチが営巣のために必要とする容積は約18,000 cm³以上であるとされている（ニホンミツバチの養蜂家 私信）。開口部の長径が数cm以上の樹洞であれば空洞の容積がその条件を満たす可能性があるが、そのような樹洞は胸高直径30 cm以上の大径木にできやすいとされる（井上ほか 未発表）。本研究で把握された、ニホンミツバチの営巣が確認された樹木は、いずれも胸高直径およそ46 cm以上、樹高12 m以上の大径木であり、樹洞の開口部も数cm～10数cmであった。これらことから、ニホンミツバ

チの野生個体群の維持にとって、営巣可能な容積の樹洞を有する大径木を含む森林の保全が、本質的に重要であると考えられる。このことは、先述の樹冠サイズ指数を用いた大径木森林域の特定は、フロラのみならずニホンミツバチ個体群を維持する上で保全上重要な生息地を知る重要な鍵となり得ることを示している。

樹洞コロニーでは、周辺の森林率が95%程度であり、主に森林域の高木や低木および路傍植物から花粉を得ていた（図(1)-27）。一方で、墓コロニーでは、周辺の森林率は60%程度であり、森林だけでなく周辺の栽培植物の花資源からも花粉を得ており、人里に近いコロニーは周辺の果樹園などに送粉サービスを提供している可能性が考えられた（図(1)-27）。しかし、先述のように人目につきやすいコロニーは駆除されるリスクが高く、持続的な送粉サービスを享受するためには、人里のコロニーのソースとなる森林域のニホンミツバチ野生個体群の保全や、人里における駆除リスクの軽減が重要であると思われる。特に、森林域のニホンミツバチ野生個体群の保全に関しては、コロニー形成に適した樹洞を有するような老齢林域を保全することが肝要であると考えられる。



図(1)-26 観察されたニホンミツバチの捕食者と同居者：(a)シダクロスズメバチ、(b)コガタスズメバチ、(c)ヒヨドリ、(d)アシナガキアリ、(e)オオズアリ、(f)ヤマナメクジ、(g)ワモンゴキブリ、(h)ハチノスツヅリガ、(i)ウスグロツヅリガ、(j)スムシヒメコマユバチ。



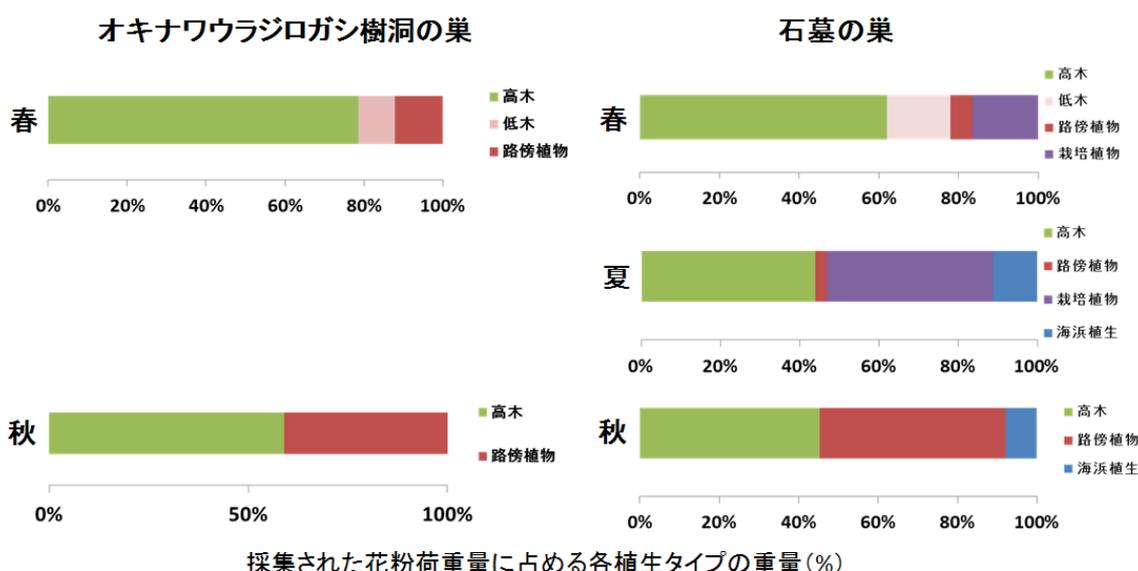
図(1)-27 春の花粉荷分析により把握された樹洞（上）、墓コロニー（下）の花資源利用。

花粉分析により明らかになったコロニー周辺のランドスケープの構成要素や季節に伴うニホンミツバチの花資源利用の変化（図(1)-28）にもとづいて、時空間的な概念モデルを検討した（図(1)-29）。その結果、ニホンミツバチの送粉サービスの評価には、コロニー周辺のランドスケープ構成要素と季節によって変化する花資源の時空間分布、花資源の質（コロニーからの距離、方向、パッチサイズ、植物種など）、コロニーサイズを乗法的に重み付けしたモデルの構築が妥当であると推察された。今後の研究では、蓄積したデータを用いた本モデルの改良・構築を進め、ニホンミツバチのコロニーごとの潜在的

な送粉サービスの定量化が実現することが期待できる。

ダンスから読みとった採餌距離は本茶峠の群れが平均0.630km(n=20)、笠利の群れが平均1.909km(n=33)となった。森林に囲まれた本茶峠の巣の群れの方が農業地域の笠利の群れと比較してより近距離で採餌を行っていることが明らかにされた。ミツバチは樹林の花資源を高頻度に利用すると考えられる。笠利では、近距離にタンカンなどのミツバチによる花粉利用が確認されている植物があったにも関わらず、遠方にある樹林まで飛んでいたことから、近距離にまばらに存在する花資源よりも、遠くでも、まとまった花資源パッチを利用する可能性が示唆された。ドローンを用いた鮮明な空中写真、ダンス、ダンス個体の花粉荷の分析を組み合わせた解析により、ミツバチの採餌活動の空間的パターンを詳細に把握することが可能であると考えられる。

本研究により、奄美大島のニホンミツバチは、九州以北のニホンミツバチとは体サイズが異なることに加えて、異なる生態学的特性をもつことが示唆された。奄美大島は、九州と地理的に隔離された後、約150万年が経過しているとされており、ニホンミツバチもその間の地理的隔離により固有の地域個体群を形成している可能性が高い。すなわち、九州以北とは異なる地史および自然選択の歴史により、独自の「保全単位」として扱うべき地域個体群であることが示唆される。したがって、詳細な遺伝的分析にもとづき系統的・生物地理学的位置付けが明確になされるまでは、予防的なアプローチとして、九州以北のニホンミツバチとは独立した地域個体群として扱うべきである。現地の養蜂家数名に対する聞き取りにより得られた情報では、過去に本土からニホンミツバチの持ち込みがあったとの情報も得られたため（現地の養蜂家 私信）、本州や九州から移入されたニホンミツバチとの遺伝的交雑を防ぐための保全策が必要である。加えて、今回の調査では、現在本土の各地で感染が拡大しているサックブルード病による幼虫出しや、アカリンダニ感染の兆候は確認されなかった。これらの病気やダニへの感染の更なる



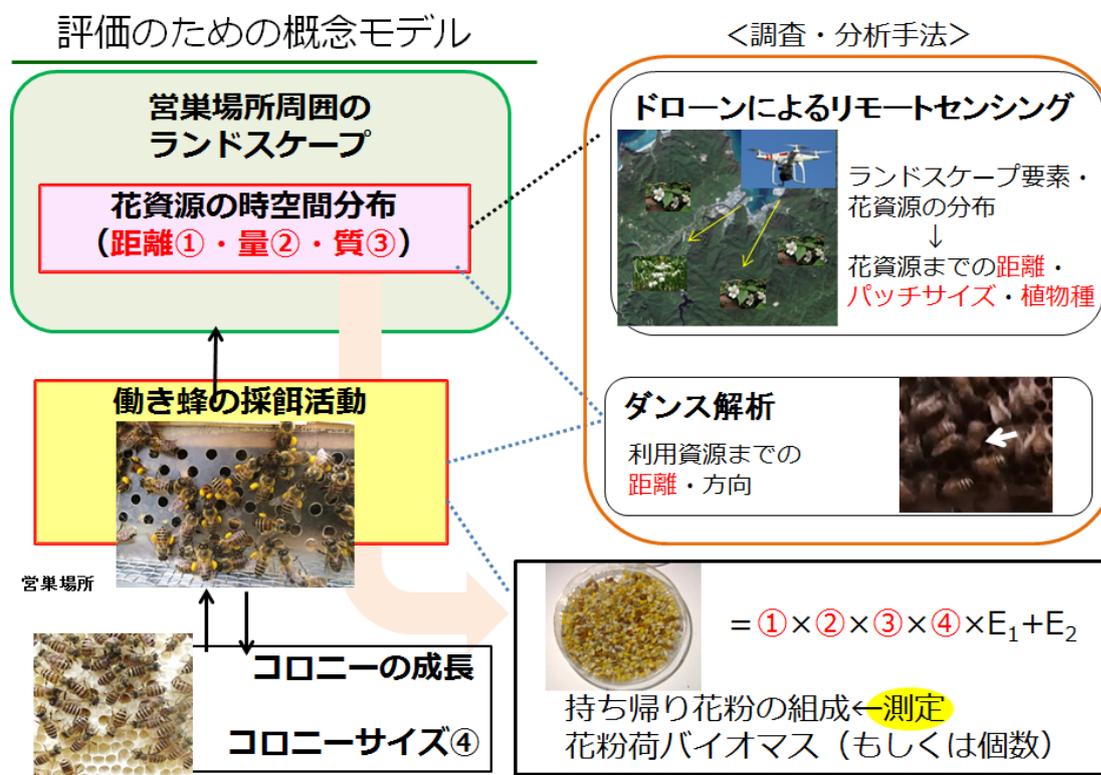
図(1)-28 樹洞コロニーおよび墓コロニーで採集された花粉荷に占める各植生タイプの重量。

拡大を防ぐためにも、ニホンミツバチのコロニーを本土から持ち込むことは、厳に慎むべきである。

オキナワウラジロガシの樹洞コロニーが複数回の分封をしたことが観察されたことから、自然度の高い森林内の樹洞では、大きなコロニーを成長させることが可能であることが示唆された。容積の大きい樹洞に営巣し、高木の優占種を含む森林の花資源を広く利用できることができれば、コロニーの良好な成長を介してニホンミツバチの野生個体群の維持・成長に寄与することが期待される。したがって、奄美大島のニホンミツバチを保全するためには、樹洞を有する大径木が集中する森林域の保全が何にも増して重要である。

奄美大島ではニホンミツバチの養蜂に期待が寄せられているが、持続可能な養蜂のためには、そのような森林域に育まれるソース個体群としての野生個体群が十分な規模で維持されることが必要である。大きなソース個体群が存在すれば、シンク個体群としての飼育群を相応に大きくすることが可能だからである。シンク個体群への持ち出しが大きすぎるとソース個体群の維持が難しくなる。大きなソース個体群を維持し続けることができる範囲内で養蜂に利用するためには、ニホンミツバチの野生個体群の大きさを見積もり、その動態に影響する要因を明らかにし、持続的な利用が可能な飼育群の大きさを推定することが必要であると考えられる。

以上の研究成果から、奄美大島のニホンミツバチ個体群の保全と持続的な利用のための養蜂マニュアル「奄美大島のニホンミツバチ—その保全と持続可能な利用のために—」を発行した。また、マニュアルにもとづく意見交流会を現地で開催し、約40名の出席者と積極的な意見交流を行った。



図(1)-29 ニホンミツバチによる基盤サービス(送粉サービス)を時空間的に把握するための評価モデルの構造。ドローンによって得られた空中写真は、サブテーマ(2)により蓄積したものを利用。

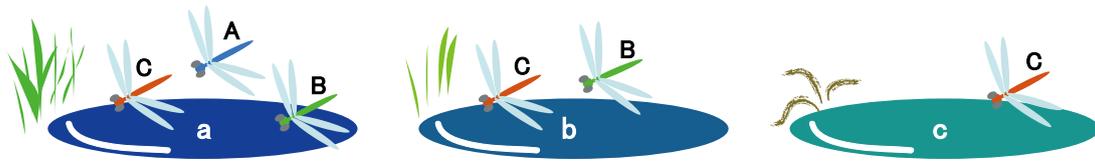
発している局地豪雨に伴う急激な水量の増加による幼虫の生息基盤（沈積物や細かな砂の堆積）や幼虫そのものの流失、羽化の失敗などが挙げられる。

本調査結果では、止水性トンボ類は種は5科28種確認することができた。このうち、オオギンヤンマ、アキアカネ、オオキイトンボ、ウスバキトンボの4種は、文献およびベースラインデータとの比較から飛来種と判断される。ウスバキトンボは今年度の調査においても成虫は6月から10月まで継続して確認され、10月には幼虫も確認されたが、12月の調査では成虫・幼虫共に全く確認できなかったことから気温・水温の低下に伴い死滅したものと考えられる。今のところ国内での越冬は八重山諸島のみで確認されている。オオギンヤンマとオオキイトンボについては、複数の成虫ならびに産卵などの定着を伺わせる行動も観察され、オオギンヤンマについては12月に幼虫も確認されたことから定着化が進行しているとも考えられる。アキアカネについては、奄美大島では過去に龍郷町で1例記録されているのみであることから、他所からの飛来に基づく偶産と判断される。

飛来種を除く止水域での確認種についてもベースラインデータとの比較を行った結果、種数で見ると過去は6科24種であったのに対し、今年度は5科23種となった。過去のみ確認された種はムスジイトンボ、オオヤマトンボ、ヒメトンボの3種、今年度のみ確認された種はマルタンヤンマとオオハラビロトンボの2種であった。水辺の広場の池沼は1990年代に人工的に造成されたものであり、当初は植生のまばら

表(1)-12 止水性トンボ群集の入れ子性。1と0はそれぞれ在、不在を示している。

種名	池A	池B	池C	池D	池E	池F	池G	池H	池I	池J
アオモンイトンボ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ウスバキトンボ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ギンヤンマ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
タイワンウチワヤンマ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ハネビロトンボ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ハラボトトンボ	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
ベニトンボ	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
リュウキュウベニイトンボ	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0
オオギンヤンマ	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
オキナワチョウトンボ	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0
タイリクシヨウジョウトンボ	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0
オオヤマトンボ	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1
オオメトンボ	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0
オオシオカラトンボ	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0
リュウキュウギンヤンマ	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0
ムスジイトンボ	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0
シオカラトンボ	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
アオビタイトンボ	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
クロスジギンヤンマ	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
コシブトンボ	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
コフキヒメイトンボ	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
ハネナガチョウトンボ	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
マルタンヤンマ	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
リュウキュウトンボ	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
オオハラビロトンボ	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
オオキイトンボ	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22	21	15	14	13	13	13	13	11	8



図(1)-30 止水性トンボ群集の入れ子構造と保全上重要な生息地環境およびモニタリング種の抽出の概念図。種A～Cは良好な生息地環境を持つ池aに、種B、Cは普通な生息地環境を持つ池bに、種Cは不良な生息地環境を持つ池cに生息している。この図より池b、cにはない、池aの生息地環境が保全上重要な生息地環境であり、種Aは池の保全・再生にあたってのモニタリング種になり得ることを示している。

な開放的な環境であったが、その後水草が過剰に繁茂した結果、現在では水面がみえないほどにヒメガマやシログワイなどが密生する場所が卓越し、開放水面はごく限られている。ムスジイトンボは浮葉植物が生育する明るい開放的な水域、オオヤマトンボは水面が大きく広がる水深のある水域、ヒメトンボは植生のまばらな明るく浅い湿地を選好するため、植生の繁茂によってこれらの種の生息環境が失われた結果、現在確認できなくなっているものと推測される。これらのことから、水辺の広場の池沼に生息する止水性トンボ類については、種数的には緩やかな減少傾向にあり、その原因としては、植生の過剰な繁茂による水辺環境の多様性の消失（均一化）にあると考えることができる。今年度のみ確認されたマルタンヤンマとオオハラビロトンボは、奄美大島では2000年代後半に新たに確認された種で、島内での分布を拡大している途上にあるものと推測される。マルタンヤンマは産卵や幼虫も確認され、オオハラビロトンボは羽化まもない成虫や交尾産卵も確認されたことから両種ともすでに定着化しているものと考えられる。マルタンヤンマは樹林に囲まれた抽水植物が繁茂した水域、オオハラビロトンボは木陰の薄暗い水域を選好するため、現在の水辺の広場の環境はこれらの種にとってはむしろ生息に適した状態になっているとも考えられる。

水辺の広場の池沼は、現在国内唯一のハネナガチョウトンボの生息地となっている。本種も植生の繁茂による影響で個体群の衰亡が著しく、一時期は絶滅が危ぶまれるほどであったが、今年度の成虫期の調査では、常時複数の個体が確認され、交尾産卵も複数回確認されたことから、現時点においては健全な個体群を維持していると考えられる。これは地元行政の協力のもと、日本トンボ学会会員有志らによる植生管理を中心とした保全活動によるところが大きく、結果として他の止水性トンボ類の保全にも大きく寄与していることから、活動の継続と発展が望まれる。

補足的に各地で行った調査では、森林性（河川性）トンボ類の生息環境は随所に維持されていたのに対し、池沼性（止水性）トンボ類の生息環境は劣化消失が著しく、ベースラインデータ取得時に調査を行った水域のほとんどは管理放棄や植生の変化、それらに伴う乾燥化などによってすでに生息地として機能していない状況にあった。その中において比較的良好な環境が維持されていた奄美市笠利町のため池においても4科12種しか確認できなかったことから、若干の種数の減少はみられたものの、奄美フォレストポリス内の池沼は現状において島内における止水性トンボ類の最も良好な生息地、というだけに留まらず、奄美大島のトンボ相全体の維持、という観点からも極めて重要な場所といえる。さらに流水性トンボ群集はベースラインデータ取得時と変化なく維持されていることから、奄美フォレストポリス周辺は奄美大島におけるトンボ類の種多様性が最も高い地域であり、保全上重要なホットスポ

ットであることが確認された。

(2) 止水性トンボ

本調査では、6科26種の止水性トンボの生息を確認することができた。また、先行研究に類似して、本研究で得られた奄美大島の止水性トンボ群集は有意な入れ子性をもつことも確認された（表(1)-12、 $T = 26.16^\circ$, $P < 0.00001$ ）。このような生物群集にみられる入れ子性の形成要因として、生物種の選択的定着、選択的絶滅、生息地の入れ子性、生息地の環境特性に対する生物種の脆弱性や耐性などが指摘されている。これらの要因は基本的に対象とする生物種の生息地選好性と対象の生息地の質の関係によって説明される。特に、トンボ類に関しては生息地選好性について種ごとに詳細に記述された図鑑類が充実しているため、観察された入れ子性がどのような要因によってもたらされているのかを特定することが比較的容易である。すなわち、現地調査結果と既存文献に示された種ごとの生態情報を、トンボ群集の入れ子構造によってリンクさせることでトンボ類保全に必要な生息地環境の特定を行うことが可能である。具体的には、図(1)-30に示したように、良好な生息地に特有の生息地環境は保全上重要であり、良好な生息地にのみ生息している種は、良好な生息地の保全、不良な生息地の再生にあたってのモニタリング種として捉えられる。

本研究では、クロスジギンヤンマ、コフキヒメイトトンボ、ハネナガチョウトンボ、マルタンヤンマ、リュウキュウトンボ、オオハラビロトンボ、オオキイロトンボが1～2個のため池でのみ確認される希少種であった（表(1)-12）。これらの種はすべて幼虫にとって主要な生息地となる抽水・沈水植物が繁茂した生息地を好むことが知られている。中でも、クロスジギンヤンマ、マルタンヤンマ、リュウキュウトンボ、オオハラビロトンボは、そのような生息地環境に加えて、陰や止まり木を提供する森林が周囲にある環境を好むことも報告されている。一方、すべての池で確認された種は（普通種）、アオモンイトトンボ、ウスバキトンボ、ギンヤンマ、タイワンウチワヤンマ、ハネビロトンボであった（表(1)-12）。これらの普通種も一般的には希少種と同様に繁茂した抽水植物や沈水植物を好む習性をもつことが知られているが、それと合わせて特に開放水面を好み、噴水、貯水池、プールなどといった人工的止水環境にも生息する。特に、普通種のギンヤンマは希少種のクロスジギンヤンマと近縁であるが、前者は開放水面を好むのに対して、後者は森林におおわれた閉鎖的な止水域を好むといった異なる環境への適応がみられる。以上のような希少種と普通種の選好性の違いは、森林率と抽水植物被度が高くなるほどトンボの出現種数が増えるといったGLMMの結果によく反映された（表(1)-13）。

表(1)-13 GLMMのフルモデル（出現種数～森林被覆率+抽水植物被度+浮葉植物被度+沈水植物被度+池面積+NO₃⁻濃度）からすべての説明変数の組み合わせを検討して得られた上位7つのモデル結果。

説明変数								
順位	森林被覆率	抽水植物被度	池面積	沈水植物	NO ₃ ⁻ 濃度	浮葉植物被度	A/C	ΔA/C
1	+						9.9	0.00
2	+		-				10.1	0.16
3	+	+					11.1	1.20
4	+			+			11.4	1.51
5		+					11.7	1.79
6	+	+	-				11.7	1.80
7	+				+		11.8	1.94

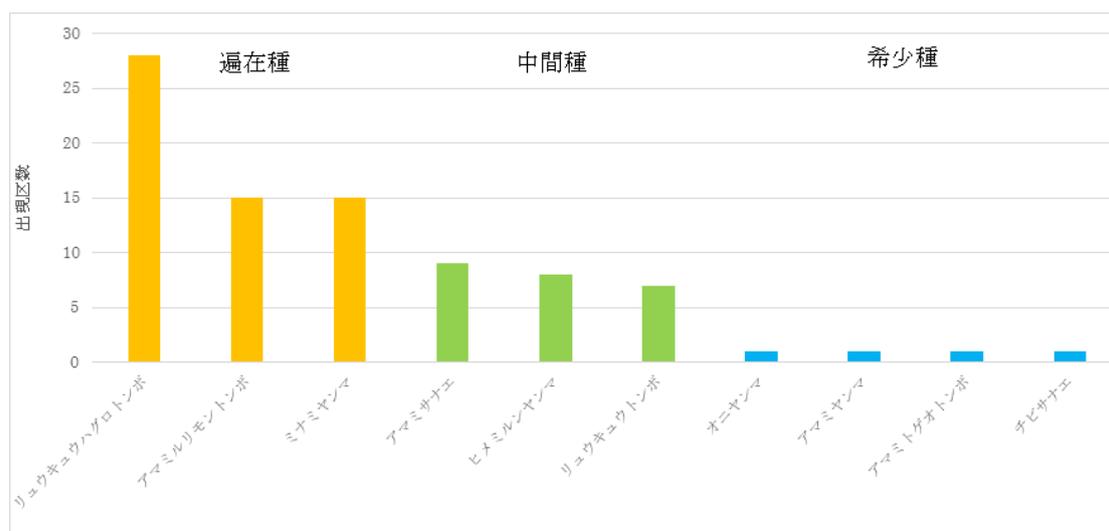
止水環境の保全・再生は喫緊の課題である。本研究では、トンボ類を指標としてその群集の入れ子構造から、どのような止水環境を保全上優先すべきかを提示することができた。これらの結果を踏まえ、止水域における保全・再生の具体的内容を検討し、実践に移行していくことが今後重要となるだろう。特に、奄美大島では本土と比べてアメリカザリガニなどの外来種の影響が小さいため、保全上重要な生息地を維持または再生することが、有効な止水性生物相の保全につながると思われる。

(3) 流水性トンボ

各調査区間におけるトンボ出現種を表(1)-14に示した。表(1)-14は流水性トンボ類の出現種数の多い順に右からならべたものである。最も流水性トンボ類の出現種数が多かったのは役勝川④で7種、最も少なかったのは大和川②で0種であった。出現種数の多いほうから10位までの調査区間は、すべて新しい国立公園内を流れる河川に該当した(役勝川全6カ所、住用川全3カ所、名音川①)。

南西諸島固有種であるリュウキュウハグロトンボは、最も普遍的にみられ、大棚川①と大和川②以外のすべての調査区間に出現した(図(1)-31)。また、アマミルリモントンボ(奄美群島固有亜種)、ミナミヤンマ(奄美群島固有個体群)も半数の調査区間で観察することができた。7~9区のみで確認された種は、アマミサナエ(奄美群島固有亜種)、ヒメミルンヤンマ(奄美群島固有亜種)、リュウキュウトンボ(南西諸島固有種)であった。また、1区のみで確認された種は、オニヤンマ(奄美群島固有個体群)、アマミヤンマ(奄美群島固有亜種)、アマミトゲオトンボ(奄美群島固有種)、チビサナエ(奄美群島固有個体群)であった。本研究では、これらの出現区数の違いから、遍在種(半数以上の調査区間で確認)、中間種(7~9区間で確認)、希少種(1区のみで確認)の3つにトンボ種を分類して考察を行った。

測定した河川環境要因、および河川周辺環境要因の値を表(1)-15に示した。各環境変数において様々な値をとることができ、水深は9.15cm(小宿大川①)~62.1cm(住用川②)、川幅は1.0m(小宿大川①)



図(1)-31 各流水性トンボ種の出現区数のランクダイアグラム。出現区数をもとに15区以上で確認された「遍在種」、7~9区で確認された「中間種」、1区のみで確認された「希少種」の3つに分類した。

～8.0m（住用川②）、開空度は5.68%（住用川③）～76.7%（知名瀬川④）、流速は17.64 cm/s（名音川①）～89.39 cm/s（役勝川④）、森林率は11.3%（大瀬川③）～100%（役勝川③、名音川③、湯湾釜②）であった。ただし、水温については調査区間の間であまり大きな差はみられなかった。

環境要因同士で相関分析を行った結果、水深と川幅、水温と開空度にそれぞれやや強い正の相関があったため、フルモデルの説明変数から川幅と水温を除外した。したがって、フルモデルの説明変数は、水深、開空度、流速、森林率である。これらの4つの説明変数のすべての組み合わせからモデルのAICが最小となるベストモデルを選択してみたところ、水深と開空度を説明変数とするモデルであることが判明した。ベストモデルの水深の最尤推定値は正の値を取り、開空度の最尤推定値はマイナスの値を取っていることから（表(1)-16）、流水性トンボの出現種数は、河川上空の樹冠が閉鎖している薄暗い河川でかつ水深が深い区間で多くなるということになる。次に分類した3つのタイプのトンボ種（遍在種、中間種、希少種）の構成に注目すると、出現種数が多い調査区間では、中間種と希少種が出現しており、これらの種が各調査区間の種数の違いをもたらす要因として大きく寄与していることが明らかとなった（図(1)-32）。

中間種・希少種に分類した7種のうち、ヒメミルンヤンマ、チビサナエ、リュウキュウトンボ、アマミヤンマ、アマミトゲオトンボの5種は、日陰や陰湿な場所を好む習性をもつ種であることが知られている。そのため、開空度が小さく陰鬱な環境を持つ河川では、これらの習性をもつ中間種と希少種が出現することで出現種数の多さに貢献していると考えられた。一般的に、直射日光の有無における生息場所の選択はトンボの体温調整のためであり、気温が通常の活動を行えないほど高いとき、陰になった場所に避難することがわかっている。特に、森林性のトンボは周囲の気温が上がると森林の陰に隠れることがよ

表(1)-15 調査河川区間内と周辺的环境変数一覧。森林率以外の変数は平均値を示す。

	水深	川幅	開空度(%)	水温	流速	森林率
役勝川④	42.3	7.5	22.5	24.1	89.4	98.0%
役勝川③	44.2	7.6	21.9	NA	78.9	99.5%
住用川①	31.4	4.5	17.6	23.3	70.1	80.6%
役勝川①	17.1	2.2	13.9	23.5	42.2	97.1%
役勝川②	15.2	3.4	10.8	23.5	30.9	96.2%
役勝川③	34.6	5.7	15.1	23.5	52.3	100.0%
名音川①	19.8	5.0	18.5	22.5	17.6	99.5%
役勝川⑤	25.2	5.7	13.3	23.9	58.3	98.3%
住用川②	62.1	8.0	27.1	23.9	52.9	97.0%
住用川③	38.5	4.7	5.7	23.4	4.0	91.3%
大瀬川②	16.9	2.8	53.4	23.9	39.2	50.6%
小宿大川①	9.2	1.0	18.0	23.7	17.2	97.5%
知名瀬川①	15.6	2.4	26.7	23.8	40.6	99.5%
知名瀬川②	20.0	2.3	11.0	24.1	46.7	97.0%
知名瀬川④	28.4	3.7	76.7	NA	21.9	64.9%
名音川②	38.3	6.6	15.7	22.9	54.2	99.4%
名音川③	29.2	7.3	25.8	22.9	52.8	100.0%
大瀬川③	14.0	3.3	65.8	24.9	48.7	11.3%
小宿大川②	14.7	3.0	17.8	24.7	34.2	68.2%
湯湾釜②	12.6	2.1	24.2	24.2	39.2	100.0%
大瀬側①	16.6	2.0	17.7	23.0	43.6	88.8%
小宿大川③	9.9	7.8	71.4	25.6	18.1	85.7%
小宿大川④	18.5	2.3	71.2	22.9	37.2	60.5%
知名瀬川③	23.0	2.8	29.3	24.5	24.1	92.2%
名音川④	15.0	3.0	9.2	23.5	42.9	92.2%
文田川①	13.1	2.1	14.2	24.5	32.1	72.9%
文田川②	10.8	2.5	47.7	25.1	30.8	62.2%
大和川①	15.2	2.3	52.3	24.5	43.9	79.6%
湯湾釜①	11.8	3.2	28.0	24.1	34.0	97.0%
大和川②	14.2	7.2	62.1	25.1	54.8	71.8%

く知られており、森林に覆われた奄美大島の河川を特徴づけるのは、森林で被陰された環境に適応した流水性トンボ種であると考えられる。

つぎに、遍在種に着目すると調査区間ごとに出現種数にばらつきがみられた。例えば、川幅や水深が小さい小河川に注目すると、普遍種であっても出現種が限られていた。一般的に、生物の種数はその生息地の面積が増えるに従って増加する。すなわち、GLMMのモデル結果において河川サイズを指標する水深が流水性トンボの出現種数に正の効果をもたらす点を示されたのは、生息地の大きさが出現種数をもたらす確率的な正の効果に起因すると推察される。以上のことから、奄美大島において本来的に卓越する亜熱帯性の常緑照葉樹林が流水性トンボの生息地として重要な被陰環

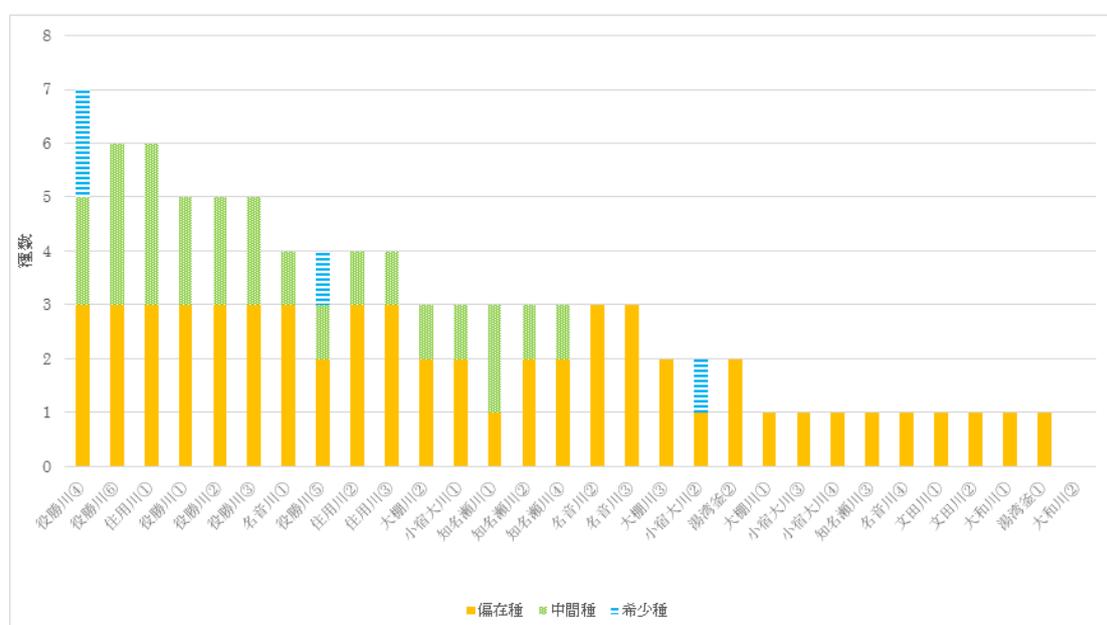
表(1)-16 ベストモデルに与えられた各推定値。

	最尤推定値	標準誤差	z値	Pr(| z |)
切片	0.845	0.299	2.83	0.005
水深	0.0224	0.00746	3.00	0.003
開空度	-0.0129	0.00653	-1.98	0.480

境を提供している点と、河川サイズがもたらす確率論的な正の効果の点の二つが、流水性トンボの出現種数を最大化する上で重要な要因であると結論される。

本研究結果で確認することができた流水性トンボの出現種は、2014年と同様、奄美大島に生息するすべての流水性トンボ種を含んでいることから、流水域は止水域と比べて良好な生息環境が現在でも保たれていると考えられる。一方で、本研究において1区のみに出現したアマミトゲオトンボやアマミヤンマ、チビサナエは生息場所が限定的であることから、保全上注目すべき種であるといえるだろう。とくに、本研究の調査において流水性トンボが4種以上出現した河川区間は、すべて新たに国立公園に指定された森林域内に属しているため、国立公園の管理のもとそれらの流水性トンボ種の保全に資する生息地環境の維持が求められる。とりわけ、今回出現種数が7種と最多であった役勝川④は、アマミトゲオトンボを含む希少種が出現しており、保全上の重要な生息地に位置付けることができる。

奄美大島の新たに国立公園化された森林域内および周辺の溪流に生息する流水性トンボの種構成の特徴を把握し、森林が流水性トンボの種多様性に及ぼす影響を明らかにすることができた。トンボ類は水

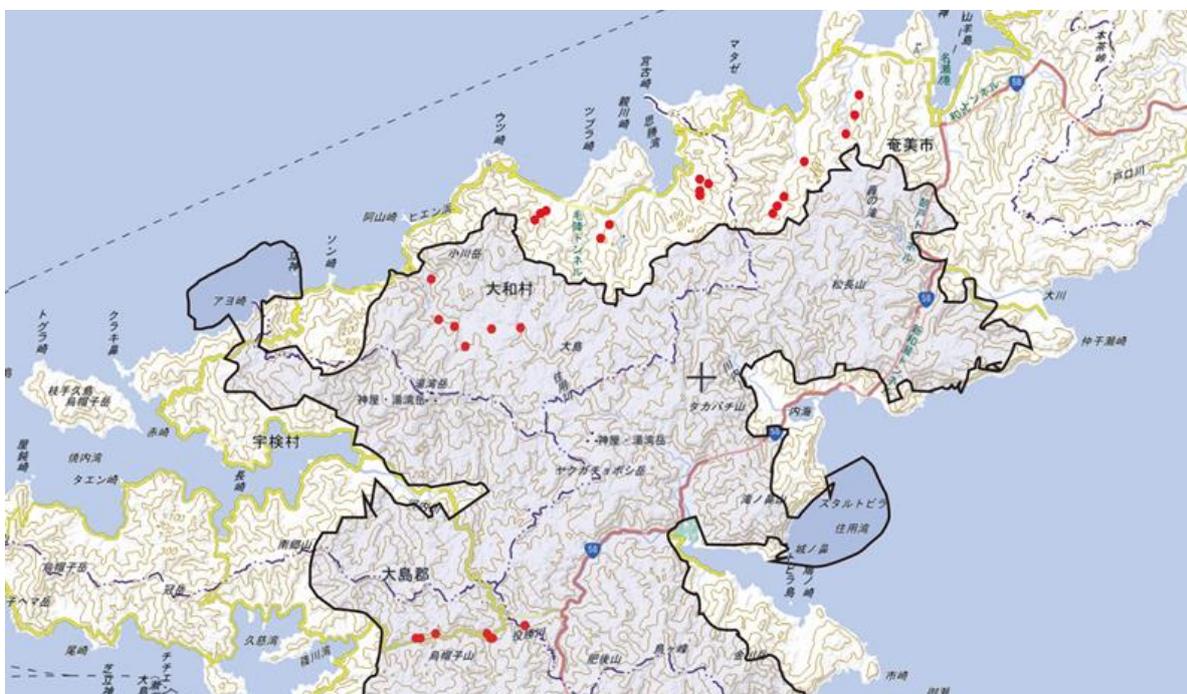


図(1)-32 各調査区の出現種数とその構成種。

域・陸域の健全なつながりを示す指標種として有用な種であり、種に適した生息場所を提供する生息場所の特徴等を明らかにすることは、保全のための必須条件となる。したがって、本研究で具体的に示した河川サイズが大きく、かつ森林に被陰されるような河川環境を残していくことが今後の適切な奄美大島の森林および溪流の保全・管理にとって重要であると思われる。とくに、森林に依存した流水性トンボが奄美大島には多く生息しているため、河川上空の光環境にかかわる河畔林の役割は重視する必要がある。また、新しい国立公園の指定地は流水性トンボのホットスポットを包含していたため、流水性トンボの視点からも指定エリアの選定は適切であったと判断される（図(1)-33）。本研究で得られた知見が今後の河川環境保全に寄与することを願いたい。

(4) ネイチャーガイドと保全マニュアル

3か年にわたる止水性・流水性トンボの調査結果に基づき、2014年度には、ネイチャーガイドを、2016年度には、ネイチャーガイドを改定しさらにトンボ類の保全マニュアルを追加した冊子を発行した。冊子には、奄美大島に生息するトンボ種の特徴、生態、分布を写真とともに掲載し、一般の方々にも理解しやすい内容になっている。また、本研究の止水・流水域の調査結果から提示される具体的保全策についてコラムとして掲載し、研究成果にもとづく保全の指針をわかりやすく解説した。これらの冊子は奄美大島内のすべての小中学校や現地関係者に配布した。また、2014年度作成のネイチャーガイドのPDF版は既に「ケンムン広場」にアップロードされており、だれでも閲覧できるようになっている（2017年3月現在）。



図(1)-33 本研究の河川調査区間。調査した区間の中心部分を赤丸で示した。黒線の内部は国立公園に指定予定の区である。

4 ウナギ属

(1) 調査河川の概要把握

本研究で対象とした調査河川の概要と調査結果を以下に河川ごとに示す（図(1)-34）。

・川内川

大和村南東部に源流をもち、奄美大島東岸に向かって流れる全長約10.0kmの河川で、河口から約2.8kmと3.7kmおよび4.5kmの地点に河川横断構造物を確認した。2月中旬の採集調査では、河口から約1.8kmの地点にてオオウナギ、シマヨシノボリ、チチブモドキ、ユゴイ、ミナミテナガエビ、ヒラテテナガエビ、モクズガニ、河口から2.8kmの構造物の下流部にてニホンウナギ、オオウナギ、ナガノゴリ、ゴクラクハゼ、ボウズハゼといった、いずれも通し回遊性動物が確認された。また、河口から約8km地点では、複数の河川横断構造物の上流にも関わらず、陸封種のキバラヨシノボリのほか、ボウズハゼ、モクズガニ、ヒラテテナガエビ、ヤマトヌマエビといった、通し回遊性の動物が複数確認された。

・住用川

大和村中部に源流をもち、奄美大島東岸に向かって流れる全長約16.0kmの奄美大島最長の河川で、河口から約5.4kmの地点に河川横断構造物が、約6.7kmの地点に堤高25mの住用ダムが発電用に設置されている。2月中旬の採集調査では、河口から約2kmおよび4.8kmの地点およびにて、ニホンウナギ、オオウナギ、シマヨシノボリ、ゴクラクハゼ、チチブモドキ、ボウズハゼ、ナガノゴリ、ボラ属、ミナミクロダイ、モクズガニ、ミナミテナガエビといった、いずれも通し回遊性の動物が確認された。これに対して、住用ダムの上流にあたる河口から8.9kmの地点では、通し回遊性の動物は甲殻類（ヒラテテナガエビ、モクズガニ）のみが確認され、通し回遊性魚類は確認出来なかった。陸封種としては、キバラヨシノボリがみられた。

・役勝川

瀬戸内町に源流をもち、奄美大島東岸に向かって流れ、住用川の河口近くに注ぐ全長約15.0kmの河川である。現在までのところ、国土地理院の地形図（1/25000）および平成27年2月に行った踏査調査では、本流に河川横断構造物は確認されていない。そのため、いずれの流程においても



図(1)-34 調査地点で確認された水生生物（一部）。

通し回遊魚の生息を確認することができた。

(2) ウナギ属魚類の基礎生態

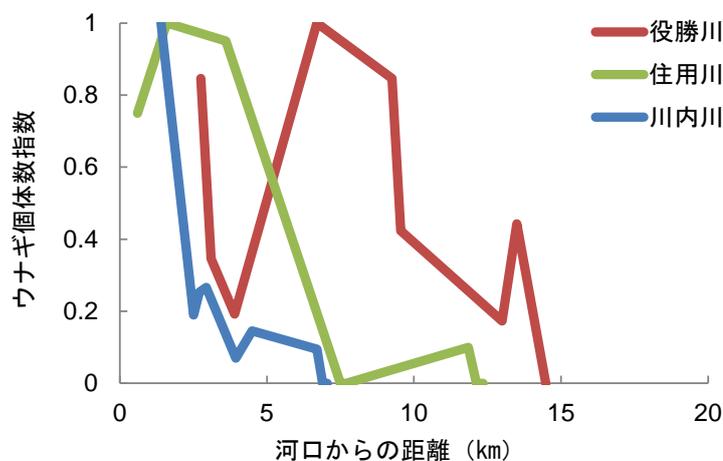
川内川、住用川および役勝川における採集調査により、3河川計27の調査区間で84個体のオオウナギと5個体のニホンウナギ、調査区間外において23個体のオオウナギを採集した。また、名音川における定性調査により、オオウナギ1個体、大金久川における全域調査によりオオウナギ209個体とニホンウナギ2個体を採集した。5河川全体で324個体のウナギ属魚類を採集し、そのうち317個体(97.8%)がオオウナギであった。捕獲調査の結果より、奄美大島の河川においては、ニホンウナギは河川環境の指標として適切ではなく、オオウナギが適切であることが明らかとなった。

3河川の定量採集調査(表(1)-17)により、川内川においては河口から1.4-6.7 kmの範囲(河口から河川全長の67.0%)、住用川においては河口から0.6-11.9 kmの範囲(同74.4%)、役勝川においては河口から2.8-13.5 kmの範囲(同90.0%)でオオウナギが採集された。このことから、オオウナギの河川内分布は、感潮域から上流域にかけての河川全域に至るものと考えられる。

一般化線形混合モデル(GLMM)解析の結果、ウナギ属個体数密度に対しては、河口からの落差の数(係数±誤差= -0.43877 ± 0.16500 , z value= -2.659 , $p= 0.00783$)および河口からの距離(係数±誤差= -0.07507 ± 0.03826 , z value= -1.962 , $p= 0.04978$)にも負の相関がみられた。

ウナギ属魚類は降河回遊魚であり、世代ごとにシラスウナギと呼ばれる稚魚が沿岸から河川に進入するため、河川の上流域で成育する個体は、過去に下流から遡上した個体であることから、上記のように河川内の個体数密度に対し、河口からの落差の数、および河口からの距離と負の相関がみられることは整合性がある。そのため、河川横断構造物の建造による落差数の増加は、その上流側の水域における個体数密度の低下に直結するものと考えられ、実際に3河川の河川内分布にも、その傾向が見られた(図(1)-35)。また、同属のヨーロッパウナギにおいては、ダム等が河川遡上を阻むだけでなく、水力発電ダムタービンによる降河個体の斃死も報告されており、このような構造物を「回遊の障壁」としてヨーロッパウナギ資源の減少要因の一つに挙げている。

定量採集調査を行った3河川のうち、回遊の障壁となりうる横断構造物をもたない役勝川の感潮域および淡水域で採集され、且つ耳石微量元素分析に供するのに十分な測点が確保できる耳石径



図(1)-35 役勝川、住用川、川内川のオオウナギ個体数密度指数分布。各河川の最高密度調査地点を1としている。

をもつ6個体に関して、耳石微量元素分析を行った。その結果、河川進入後に一貫して淡水生息履歴を示した淡水定着個体1個体、河川進入後に一貫して汽水生息履歴を示した汽水定着個体4個体、汽水水域内ではあるものの、低塩濃度水域に生息した後、より塩濃度の高い汽水水域に移動した下流移動個体1個体が認められた。

(図(1)-36)。このことから、奄美大島の河川に生息するオオウナギに関しても、温帯性ウナギ属と同様の回遊多型が存在することが示された。

川内川、住用川および役勝川の計27区間の定量採集調査および調査区間外で採集されたオオウナギ107個体の全長は 385.5 ± 172.6 mm (平均±標準偏差)であり、年齢は 12.8 ± 4.9 齢であった(図(1)-37)。このうち、住用川の上流域に位置するst. 3で採集された1320mm、30 齢の個体が最大且つ最高齢であった。また、年齢と全長から推定された年間成長量は 30.6 ± 6.9 mm/年であった(図(1)-38)。

川内川、住用川および役勝川の計27区間の定量採集調査および調査区間外で採集されたオオウナギ107個体およびニホンウナギ5個体を分析した結果、オオウナギ56個体から胃内容物が見出された。胃内容物は各分類群別に餌生物の個体数組成(%N)、湿重量組成(%W)、出現頻度(%F)および餌重要度指数(IRI)をそれぞれ求め、表(1)-18に示した。見出された胃内容物はIRIの高い順にボウズハゼやヒナハゼ、シマヨシノボリ等の魚類、ヒラテテナガエビやヌマエビ科等のエビ類、モクズガニ等のカニ類、不明な甲殻類、セミ上科幼虫やコガネムシ科等の昆虫類、爬虫類(オキナワキノボリトカゲ)が認められた。これらの結果より、奄美大島の河川において、オオウナギは餌重要度の観点から魚類とともに、エビ類、カニ類といった甲殻類に対する強い依存を示すものの、陸生動物と考えられる昆虫類やオキナワキノボリトカゲといった、主だった生活圏が重複しない生物までも餌生物として利用する、多様な食性をもつことが示された。また、胃内容物の中から、比較的下位の分類群まで同定できた水性動物には、陸封性動物は見出されず、全て回遊性動物であった。この結果より、奄美大島におけるオオウナギの摂餌生態上、他の回遊性動物が非常に重要であることが示された。

発信機を装着したオオウナギからの発信は実験開始から終了まで継続的に確認された。3個体とも最下流部のSt. 9を除く全てのステーションで受信が確認され、特にSt. 3とSt. 4において高頻度

表(1)-17 役勝川、住用川、川内川における調査結果。

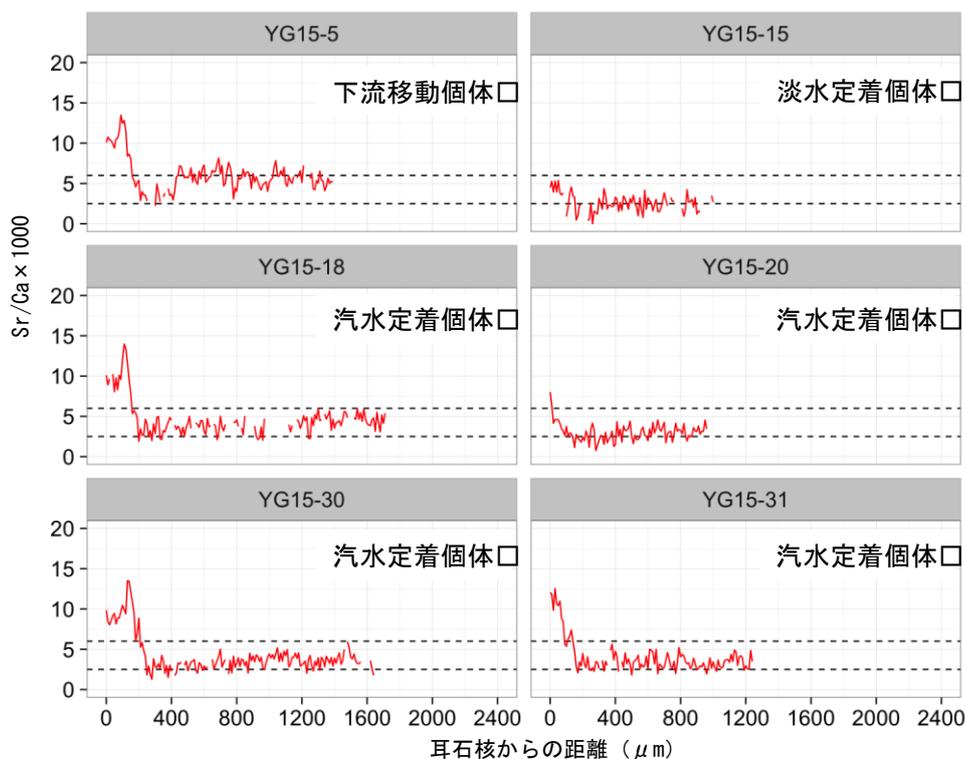
調査エリア名	調査地点名	河口からの距離(km)	流程(m)	面積(m ²)	ウナギ属捕獲数 (○内はニホンウナギ)	ウナギ属密度 (個体/m ²)	確認種数 (魚類/甲殻類)	河口からの 落差の数	河口からの 最大落差(m)	平均川幅 (m)	平均水深 (m)	主な底質	平均流速 (cm/秒)
役勝川	st.1	14.48	20	82.7	0	0.000	2/3	0	0	4.1	0.2	巨礫、礫	63.4
役勝川	st.2	13.5	20	130	3(2)	0.023	6/5	0	0	6.5	0.4	礫、砂	37.9
役勝川	st.3	13	20	114.7	1(0)	0.009	4/4	0	0	5.7	0.2	巨礫、礫	56.3
役勝川	st.4	9.55	20	180	4(1)	0.022	4/4	0	0	9	0.5	巨礫、礫	61.9
役勝川	st.5	9.25	16	181.9	8(0)	0.044	5/2	0	0	11.4	0.4	巨礫、礫	78.7
役勝川	st.6	6.7	20	290.7	15(1)	0.052	6/2	0	0	14.5	0.7	巨礫、礫	53.4
役勝川	st.7	3.9	20	100	1(1)	0.010	4/1	0	0	14.7	0.5	礫、巨礫	24.5
役勝川	st.8	3.1	20	222	4(0)	0.018	4/1	0	0	36	0.4	砂、礫	7.4
役勝川	st.9	2.75	20	90	4(0)	0.044	3/3	0	0	23.7	2.1	砂、礫	19.4
住用川	st.1	12.35	20	172	0	0.000	1/2	3	30	8.6	0.3	巨礫、礫	17.7
住用川	st.2	12.13	20	87.3	0	0.000	1/2	3	30	4.4	0.4	礫、砂	18.8
住用川	st.3	11.85	20	244.7	1(0)	0.004	2/3	3	30	12.2	0.6	砂、礫	6.8
住用川	st.4	7.7	20	100	0	0.000	1/2	2	30	17	0.4	礫、砂	16.6
住用川	st.5	7.6	20	100	0	0.000	2/2	2	30	21.7	0.2	礫、巨礫	34
住用川	st.6	7.5	20	100	0	0.000	0/1	2	30	18.7	0.5	砂、礫	17.5
住用川	st.7	3.6	20	158	6(0)	0.038	5/3	0	0	7.9	0.3	巨礫、礫	14.4
住用川	st.8	1.6	20	100	4(0)	0.040	5/2	0	0	22	0.5	礫、巨礫	19.3
住用川	st.9	0.6	20	100	3(0)	0.030	2/2	0	0	37.7	0.4	砂、泥	5.8
川内川	st.1	7.05	20	131.3	0	0.000	2/3	4	2.8	6.6	0.3	礫、砂	50.2
川内川	st.2	6.9	20	118	0	0.000	3/3	4	2.8	5.9	0.3	礫、砂	18.6
川内川	st.3	6.7	20	67.3	1(0)	0.015	2/4	4	2.8	3.4	0.5	礫、砂	34.5
川内川	st.4	4.5	20	217.3	5(0)	0.023	6/2	3	2.8	10.9	0.7	砂、礫	37.3
川内川	st.5	3.94	20	187.3	2(0)	0.011	4/2	2	2.1	9.4	0.7	砂、巨礫	15.9
川内川	st.6	2.94	20	118	5(0)	0.042	4/3	1	2.1	5.9	0.3	礫、砂	32.1
川内川	st.7	2.7	20	100	4(0)	0.040	7/3	0	0	13.5	0.4	礫、砂	21.9
川内川	st.8	2.51	20	100	3(0)	0.030	4/1	0	0	18	0.6	砂、礫	5
川内川	st.9	1.4	20	114	18(0)	0.158	10/6	0	0	5.7	0.3	礫、巨礫	53.8

で受信が認められた (ee11で99.6%、ee12で96.3%、ee13で43.3%)。受信が認められたステーションの両端であるSt.1と8はおおよそ500m離れていることから、オオウナギのホームレンジは少なくとも500m程度であると推察される。ただし、St.1もさらに上流方向に移動したのちに調査範囲内に戻っている可能性は否定できない。また、ステーション間の移動が夜間に生じた割合は、ee11で68.1%、ee12で65.7%、54.5%であり、オオウナギは主に夜間に移動しているものと推察される。

(3) 回遊性魚類・甲殻類の河川内分布

川内川、住用川および役勝川の定量採集調査において確認された魚類および甲殻類を表(1)-19に示す。全ての調査区間の結果から魚類14種、甲殻類10種、計24種の回遊性動物、および魚類2種、甲殻類1種、計3種の非回遊性動物が認められた。このことから、奄美大島の河川生物相において、回遊性動物はその主要な部分を占めることが示された。

一般化線形混合モデル (GLMM) 解析の結果、各地点での確認種数に対して、河口からの最大落差が負の相関を示した (係数±誤差 = -0.032952 ± 0.009033 , $z \text{ value} = -3.648$, $p = 0.000264$)。このことから、ダムや堰といった河川横断構造物が、その上流側への回遊性動物の遡上分散を妨げている実態が示された。また、回遊生物種ごとの遡上能力差があるため、各地点での種の構成には差が生じているものと考えられる。奄美大島の河川においてオオウナギは河川全域にかけて分布し成育しているものの、その個体数密度は河口からの落差の数および距離に対して負の相関を示し、回遊性動物の種数とともに、河川横断構造物等による影響を受けることが示された (図(1)-39)。そのため、オオウナギの個体数の多い水域においては、他の回遊性動物相も比較的高



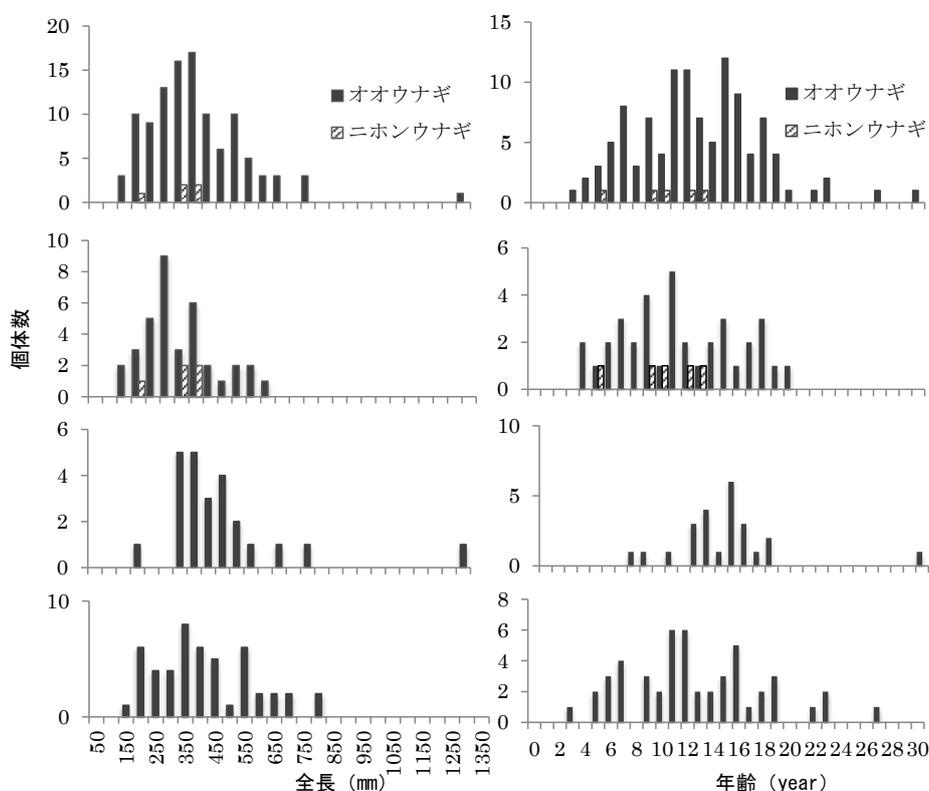
図(1)-36 役勝川のオオウナギ耳石微量元素分析による回遊履歴。

い多様度をもつことが明らかとなった。

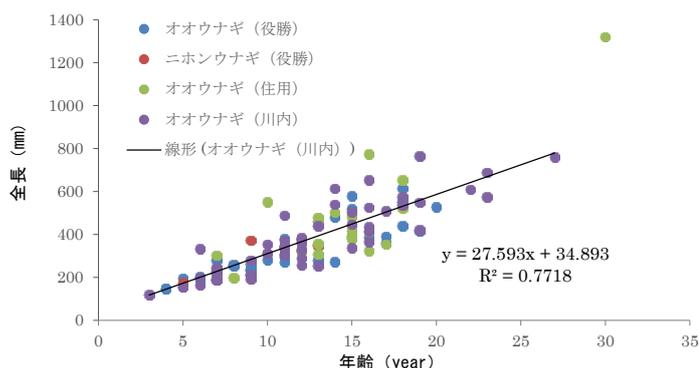
オオウナギと同属のヨーロッパウナギに関して、近年その資源量の減少要因のひとつとして「回遊の障壁」となるダムが挙げられており、その影響として河川内における遡上分散の際の障壁だけでなく、降河回遊時の発電タービンの巻き込みによる斃死も大きな問題となっている。奄美大島においても、住用川中流域に位置する住用ダムは発電用ダムとして建設されており、その放水口の周辺において粉碎されたモクズガニの死骸が多数確認された。このことから、ウナギ属魚類をはじめとした他の回遊性動物にとっても、脅威となっている可能性が考えられる。

(4) 河川環境指標生物としてのオオウナギの適性

本研究により、オオウナギが奄美大島の河川の感潮域（潮汐の影響を受けて水位が変化する範囲。奄美大島の河川では汽水域）から上流域まで幅広く分布することが確認された。奄美大島の河川で採集された回遊性魚類は14種に登るが、このうち、オオウナギと同じように感潮域から上流域まで分布する魚類は存在しなかった。本種は、河川の全域を利用するため、ダムなど河川横断構造物による移動の障害の指標として利用することが可能である。実際に本研究では、遡上を阻害する河川横断構造物の存在しない役勝川と比較して、水力発電ダムの存在する住用川、取水堰や砂防ダムなど複数の河川横断構造物が存在する川内川では、上流域におけるオオウナギの個体数密度が低く、河川横断構造物による遡上の障害が示された。このことから、本種の個体数密度を、海と川のつながりの指標として活用できる。また、本種を指標とすることにより、河川全



図(1)-37 役勝川、住用川、川内川におけるウナギ属魚類の全長および年齢の頻度分布。



図(1)-38 役勝川、住用川、川内川におけるウナギ属魚類の全長および年齢の関係。

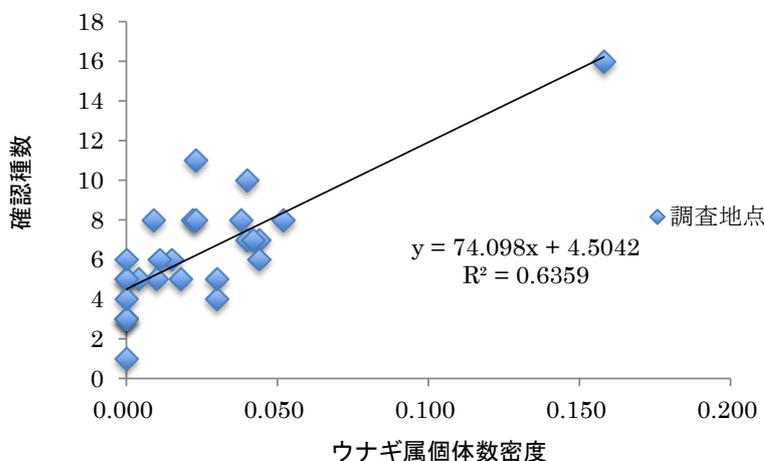
の健全性の指標として適している。また、陸生の動物も餌生物として利用していることから、河川と陸とのつながりを示す指標としても適している。

本研究の調査対象河川に生息するオオウナギの平均年齢は12.8歳、最高齢は36歳で、最大全長は1.3 m、重量は7.5 kgであった。おそらく本種は、奄美大島の河川において、最も長く、大きく成長する野生生物である。このため、例えば成長履歴から、成育の悪かった年代を特定するなど、過去に遡って環境の変化を推測できる可能性がある。

河川の感潮域から上流域まで幅広く分布し、多様な餌生物を捕食し、長い時間をかけて1 mを超える大きさにまで成長するオオウナギは、奄美大島の河川のアンブレラ種であり、河川環境の指標生物として、非常に優れていることが、本研究によって明らかにされた。

(5) 河川環境保全のシンボル種としてのオオウナギ

河川環境の指標として優れているオオウナギは、奄美大島の河川環境保全のシンボル種としても大きな役割を果たすことができる可能性を有する。ウナギ属魚類は、大規模回遊を行うことなどから、「謎の生物」として社会の注目を集めている。また、オオウナギは古来より奄美大島で「カワウナギ」と呼ばれ、重要なタンパク源として食されてきた。現在でも、みそ煮込みなどで



図(1)-39 地点ごとのウナギ属個体数密度と確認種数の関係。

域に同じ指標を適用することが可能になる。

本研究の結果より、オオウナギは多様な餌生物を利用する、河川における高次捕食者であることが示された。高次捕食者である本種が成育するためには、豊かな餌生物が必要である。このため、オオウナギは河川

の食物網

の健全性の指標として適している。また、陸生の動物も餌生物として利用していることから、河川と陸とのつながりを示す指標としても適している。

調理され、食用に供されている。

謎の生物として、または食料として注目を集めているだけでなく、オオウナギは長寿命で大きく成長することから、人間の親しみを感じさせる可能性も高い。実際に、奄美群島の複数の場所で、オオウナギに餌付けをして親しんでいる事例が見られる。

表(1)-18 役勝川、住用川、川内川におけるウナギ属魚類の胃内容物。

餌生物	%N (n)	%W	%F (n)	IRI	
魚類	27.1 (23)	29.2	24.2 (16)	1364.6	
エビ類	27.1 (23)	6.9	21.2 (14)	720.1	
甲殻類	カニ類	10.6 (9)	32.8	12.1 (8)	525.7
	不明	15.3 (13)	13.4	16.7 (11)	478.7
昆虫類	11.8 (10)	4.9	15.2 (10)	253.0	
爬虫類(キノボリカゲ)	1.2 (1)	9.9	1.5 (1)	6.1	
不明	7.1 (6)	9.9	9.1 (6)	154.2	
合計	100.0 (85)	100.0	100.0 (66)	3502.3	

%N：胃内容物出現頻度、%W：湿重量比率、%F：摂餌個体比率

存在であると言える。また、本種は同属のニホンウナギと比較しても警戒心が弱く、日中でも容易にその姿を見ることができる。

「謎の生物」として、伝統的な食料として親しまれてきたこと、また、長寿命で大きな身体に成長し、奄美大島のほとんどの河川で、比較的容易に目にすることができるオオウナギは、島に住む人々の関心を河川環境に向け、保全にむけた議論を促進するシンボル種として、適している。

以上の本研究で得られた知見をもとに、ウナギ属魚類、特にオオウナギを指標として河川環境を診断するマニュアルおよび小中学生向けの環境学習教案を作成した。

さらに、本種は一般的で目にしやすいという特性を持つ。奄美大島の河川では、固有亜種のリュウキュウアユが注目されるが、リュウキュウアユは役勝川や住用川など、奄美大島東部の一部の河川以外にはほとんど生息していない。これに対して、オオウナギは本研究で調査を行った、東岸と西岸に存在する5河川の全てで捕獲することができたことから、奄美大島の河川において、一般的な

表(1)-19 役勝川、住用川、川内川の定量採集調査区間の魚類・甲殻類（*は非回遊性を示す）。

種名	役勝川									住用川									川内川									
	st.1	st.2	st.3	st.4	st.5	st.6	st.7	st.8	st.9	st.1	st.2	st.3	st.4	st.5	st.6	st.7	st.8	st.9	st.1	st.2	st.3	st.4	st.5	st.6	st.7	st.8	st.9	
ニホンウナギ		○				○	○																					
オオウナギ	○	○	○	○	○	○	○	○	○				○					○	○	○		○	○	○	○	○	○	
リュウキュウアユ		○	○		○		○											○	○			○	○		○			
ボウズハゼ	○	○	○	○	○	○							○					○	○			○		○		○		
ヒラヨシノボリ	○	○			○													○	○	○								
シマヨシノボリ	○	○		○	○	○											○					○		○	○		○	
クロヨシノボリ																											○	
ゴクラクハゼ						○	○	○	○									○				○		○	○	○	○	
ナガノゴリ			○	○		○	○	○	○									○	○			○	○	○	○	○	○	
ミズハゼ																											○	
テンジクカワアナゴ								○										○									○	
ユゴイ																									○		○	
オオクチュゴイ																												
イッセンヨウジ																						○						
ヒラテテナガエビ	○	○	○	○	○	○				○	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	
ミナミテナガエビ	○	○	○	○	○	○	○	○	○									○	○	○		○	○	○	○	○	○	
ツブテナガエビ																		○										
コンジテナガエビ																											○	
コツテナガエビ		○	○	○																								
ヤマトヌマエビ	○	○	○							○	○	○	○								○	○	○					
オニヌマエビ																											○	
ヒメヌマエビ				○					○			○						○	○					○	○		○	
モクズガニ		○							○									○	○	○								
ケフサイソガニ																											○	
キバラヨシノボリ*										○	○	○	○	○							○							
フナ*																											○	
リュウキュウサワガニ*														○								○						
回遊性種数	5	11	8	8	7	8	5	5	6	2	2	4	2	2	1	8	7	4	5	5	5	8	6	7	10	4	16	
非回遊性種数	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究では、森林の生物多様性保全上重要な大径老齢木集中林域の抽出に有効な「樹冠サイズ指数」を地形の複雑な山地の広葉樹林に適用可能な画像解析法で算出する手法の開発に成功した。これまでリモートセンシングによる植生調査法としては、BGRカラーに加えて遠赤外線を用いる手法、さらに多くの波長を用いるハイパースペクトル分析、レーザースキャナを用いた3次元モデルの取得などさまざまな高度手法が開発されてきた。しかし、さまざまな目的で取得された空中写真を利用し画像解析によって樹種や地形的な制約を克服することのできる本手法は、これまでリモートセンシングでの把握が難しかった多様な樹種からなる広葉樹林にも広く適用できる手法であり、リモートセンシングによる植生情報の取得に新たな途を開いたともいえる。

本研究で開発した樹冠サイズ指数の算出法と地図化は、画像さえあれば、任意の空間領域に適用して保全上有用な森林域を見いだすことができることから、今後、保全生態学の研究手法として広く活用されることが期待される。本研究でモデルとした奄美大島では、樹冠サイズ指数が大きく大径木が集中する森林域は、自然性の高いフロラの存在や樹洞数の多さによって特徴づけられることが特定の森林域のみならず広域にわたる詳細なベルトトランゼクト調査によっても明らかにされた。樹洞は亜熱帯照葉樹林を主要な生息場所とする希少種が営巣に利用することが知られており、本研究でも、実際にルリカケス、リュウキュウコノハズクなどの二次営巣性鳥類やケナガネズミなど奄美大島固有の動物の利用が確認された。希少動物の調査は、希少さゆえの難しさがあるが、本指標により、営巣場所の存在ポテンシャルを把握することを予備的な知見として利用できる可能性がある。樹冠サイズ指数の高さは、樹洞や倒木などの多様で変化に富んだハビタット構造の存在のほか、長期にわたって伐採を免れていることによるフロラ・ファウナの保存性、階層構造をもつ森林ならではの微環境特性を介して森林と結びつきの強い動植物とその関係性、すなわち、森林の生物多様性の豊かさを指標することが期待されるが、本研究の研究成果は、その仮説を概ね検証するものであるともいえる。

本研究で開発した、樹冠サイズ指標とその算出・地図化の手法は、構成種とその関係が多様かつ複雑に入り組んでいる温帯・亜熱帯・熱帯の森林の生物多様性を包括的に把握する手法として、今後、広く生物多様性の評価に主眼をおいた森林植生の研究に利用されることが期待される。

本研究により、奄美大島のニホンミツバチが異なる地域個群もしくはエコタイプといえる特性をもつことが明らかになり、試料を提供した共同研究者のミトコンドリアDNA分析により遺伝的に他地域のニホンミツバチと区別できることが示唆されたことは、養蜂への利用のために人為的な移動が頻繁に行われる可能性の高いニホンミツバチの「保全単位」を明確にする上で保全生態学的な意義が大きい。本研究では、ミツバチが巣に持ち帰る花粉の分析により森林域の樹洞コロニーは、主に森林域の高木や低木およびギャップ植物を花資源として利用していること、人里域の墓コロニーでは、森林だけでなく周辺の栽培植物の利用および周辺果樹園などへの送粉サービスの提供を示唆する結果が得られた。また、透明巣箱をもちいてダンスから採餌距離と方向を読みとった上で、ドローンで撮影した適切な解像度の空中写真を組み合わせ、利用植物を把握する新しい手法を開発し、一部試行した。このような手法の組み合わせにより、今後ニホンミツバチが提供する生態系サービスとその空間特性に関して多くの知見を得ることが期待される。

ニホンミツバチの営巣状況の調査からは、本来の営巣場所が老齢林に多く存在する樹洞である

ことが明らかになった。里地で養蜂に利用されるポテンシャルをもつニホンミツバチは、いわば、奄美大島の広大な森林域で食・住とも老齢林に依存して維持されているソース個体群からのコロニー供給を受けてなりたつシンク個体群である。そのような「メタ個体群構造」をもつ個体群の保全には、ソース個体群の保全をもっとも優先事項としなければならないことは保全生態学の原則であるともいえる。したがって、里地においてニホンミツバチが提供する生態系サービス（授粉、蜂蜜生産）を利用するためには、ソース個体群の生息環境としての森林域の保全が重要である。老齢林が広がりギャップや若齢林がモザイクをなす森林域はニホンミツバチの保全とその生態系サービスの確保にとって重要である。多くの人々が蜂蜜生産機能の点から関心をもつニホンミツバチは、森と里を結ぶ生物多様性と生態系サービスの指標であるといえるだろう。

森林における野生植物の送粉、果樹など作物の授粉のサービスおよび一部で始まっているニホンミツバチの養蜂による蜂蜜の供給サービスの持続的な維持にとって欠かせない森林の野生ソース個体群の保全にとっての要件が明らかにされたことは、今後ニホンミツバチの持続的な養蜂をこの地域で発展させる上での基礎的な知見が得られたという意味でも重要な成果である。一方で、本州のニホンミツバチの導入利用がすでに行われているとの情報が得られ、今後奄美大島のニホンミツバチの保全にとっては重大な脅威となることが考えられる。そこで、研究によって得られた多くの知見を伝えると共に、ハイブリッド形成など国内外来種問題を回避するための予防的な行動を呼びかけるための情報交換の場を設け、マスコミでも広く取り上げられた。固有の個体群を維持することは、まだ解明されていないことが少なくなくニホンミツバチの生態研究の前提でもあり、科学研究の発展にとっても重要な成果であるといえる。

奄美大島にみられる止水性・流水性両方のトンボについていずれも水域周辺の森林環境が種多様性と希少種の生息に大きな効果をもつことが明らかとなった。このことから、陸域生態系のみならず水域生態系も含めたスケールにおいても奄美大島に広がる照葉樹林の生物多様性上の価値をトンボ類が指標し、評価可能であることが確認された。とくに、流水性トンボに着目した研究では、流水性トンボの出現種数が多い河川区間は、国立公園の指定地内に位置していることが判明した。指定地の科学的妥当性を森林と河川の連結性の視点からも明らかにすることができたことは、政策科学としての性格も持つ保全生態学の成果として意義が大きいといえる。

本研究では、奄美大島のウナギ属魚類をふくむ回遊性水生生物の河口から上流域への移動に河川横断構造物や滝等が甚大な影響を与えていることが具体的に解明された。また、全島の河川を対象とした魚類相調査から奄美大島において、ウナギ属魚類のうちオオウナギが果たす生物多様性の指標性を以下にまとめることができた：(1)河川全域（感潮域～上流域）に幅広く生息する唯一の魚類であり、河川全域における河川横断構造物の影響評価に適した種である、(2)河川生態系における上位捕食者であり、陸域と水域両方の由来の餌資源を消費することから陸域・水域の食物網のつながりの強度を示す指標となる、(3)奄美大島の河川生物の中でも突出した長寿命な特性をもち、長期的な環境変動を成長履歴などから評価できる、(4)生態への興味や食材として、また個体数が多く身近に見られる大型魚類として市民に親しみがあがり、人々の関心を河川環境に向け、保全へむけた議論を促進するシンボル種としてふさわしい。

(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>

新たに計画されている国立公園は、従来の国立公園とは異なる生物多様性と生態系サービスに関する情報を多様な主体の間で共有したうえで、科学と参加を旨とした順応的管理が行われる必要がある。多様な主体の参加による協働管理における対策を含む人為に応じた変化する生物多様性の状態を、包括的に、または、森・川・里・海のつながりにおいて評価する指標種（群）として、本研究で取り上げた指標は、いずれも有効性が確かめられた。

本研究では、樹冠サイズ指数が森林域の生物多様性の包括的な指標として有効であることは、林床植物や着生植物など森林に特有な植物のフロラや希少動物の生息環境の構成要素として重要性の高い樹洞の存在量との関係から明らかにされた。樹冠サイズ指数は、モノクロの空中写真や衛星画像は過去に撮影された画像や他の目的で取得された画像など、自治体などの諸機関がすでに所有している資料や比較的安価に取得できる画像を用いて計算できるため、過去にさかのぼって、あるいはさまざまな空間的なスケールで生物多様性から見た森林の質を評価し地図化できるという利点がある。解析に用いるArcGISは、行政や研究機関、企業等に既に広く導入されているものであり、本研究で開発された低コストの解析・地図化手法は、自治体や発展途上国の行政機関なども利用しやすいものと思われる。今後広く温帯域から熱帯域までの多様な広葉樹林の生物多様性の現状分析・評価やモニタリングに利用されることが期待される。なお、この手法の妥当性は、いくつもの観点から線引きがなされた国立公園とその特別保護地域がこの指標によって抽出される生物多様性の高い林域と重なっていることから確認できるだろう。

国立公園の管理においては、樹冠サイズ指数のマップを保全上重要な種や種群のモニタリング調査を実施する際の「基図」として活用することが有効であると思われる。そのためには、5～10年おきに空中写真もしくは衛星画像をもとにマップを更新することがのぞましい。それにより、森林の成熟度の変化とその空間的な異質性を把握し、適切な空間スケールで森林動態を捉えたいうえでのきめ細かい森林の保全管理が実践できると思われる。

本研究により、奄美大島のニホンミツバチは、本州・四国・九州とは遺伝的にも生態的にも異なる地域個体群であることが示唆された。しかし、九州等からニホンミツバチが養蜂のために持ち込まれているという情報もあり、ハイブリッドの形成など国内外来種問題を回避するための予防的な対策が重要である。本研究ではアウトリーチ活動として現地で3度の公開発表を実施し、地元市民の方々との対話を積極的に行ってきたが、意見交換のためのフォーラム「奄美大島のニホンミツバチーその保全と持続可能な利用のためにー」を開催したところ、大きな反響があり地元メディア（南海日日新聞、奄美エフエム）では計3回もこの問題が取り上げられ、フォーラムの参加者も40人に上った。奄美大島の固有のニホンミツバチを保全しながら持続可能な養蜂を行うためのマニュアルをパンフレットにまとめたので、ぜひ活用し、国内外来種問題が顕在化しないように広報を続けていただきたい。また、環境学習にも役立つ観察巣箱を開発したので、その活用ものぞまれる。

トンボの保全上重要な森林域はすでにすべてが国立公園に含まれていることが本研究で明らかにされた。地域や市民の参加によるモニタリングおよび保全管理には、本研究の成果の一つとして公表した写真図鑑（ネイチャーガイド）と保全マニュアル（ケンムン広場および紙媒体）は、

今後はじまることが期待される協働管理において広く活用されることをのぞみたい。

ウナギ類を対象とした調査分析からは、奄美大島の河川域の水域と陸域をつなぎ、また河口から上流域までを生息に利用するオオウナギが、連結性の保たれた健全な河川環境に指標として重要であることが明らかになった。伝統的な食品でもあり地元住民の関心の高いオオウナギのモニタリングを住民や子どもたちの参加を得て実施するための情報を整備したのでこれを活用することで、森・川・里・海のつながりなど、生態系の健全性と生物多様性をみつめるまなざしを養う環境学習などを実施していただきたい。

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) 藤原愛弓、和田翔子、鷲谷いづみ：保全生態学研究、20、131-145 (2015)、奄美大島の二ホンミツバチの保全に向けた生態特性の把握：体サイズ、営巣場所、天敵、繁殖期のコロニーの活動と分封
- 2) 松本斉、大谷雅人、鷲谷いづみ：保全生態学研究、20、147-157 (2015)、奄美大島における保全上重要な亜熱帯照葉樹林の指標候補としての大径木
- 3) Matsumoto, H., M. Ohtani and I. Washitani: Tropical Conservation Science 10, 1-12 (2017), Tree crown size estimated using image processing: a biodiversity index for sloping subtropical broad-leaved forests.
- 4) Fujiwara, A., H. Kudo and I. Washitani: Entomological News (in press), A preliminary report on *Vespa analis eisa* (Hymenoptera: Vespidae) as a potential natural enemy of *Apis cerana japonica* (Hymenoptera: Apidae) on Amami Island.
- 5) Okuyama, H., T. Wakamiya, A. Fujiwara, I. Washitani and J. Takahashi: Conservation Genetics Resources (in press), Complete mitochondrial genome of the honeybee *Apis cerana* native to two remote islands of Japan.
- 6) Sakai, M., S. Suda, T. Okeda and I. Washitani: Ecological Research (in press), Identifying priority habitats and monitoring species for conservation and restoration of lentic Odonata habitats: assemblage nestedness on Amami-Oshima Island, Japan.

<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) 鷲谷いづみ(監修)、須田真一、桶田太一(調査・解説) 自主出版(2015)
「ネイチャーガイド 奄美大島のトンボ」
- 2) 山田利明、川本英夫編：エコ・ファンタジー 環境への感度を拡張するために、春風社、

69-80 (2015)

「第6章 ケンムン広場：生物多様性モニタリング研究における保全生態学と情報学の協働（執筆担当：鷺谷いづみ・安川雅紀・喜連川優）」

- 3) 内山勝利、神崎繁、中畑正志編：新版 アリストテレス全集 第9巻、岩波書店、1-4 (2015)
「研究誌としての『動物誌』とミツバチ（執筆担当：鷺谷いづみ）」
- 4) 鷺谷いづみ（監修）、須田真一、境 優、桶田太一（調査・解説）自主出版（2017）
「総天然色 ネイチャーガイド 奄美大島のトンボ」
- 5) 鷺谷いづみ（監修）、藤原愛弓、工藤遥香、安川雅紀（調査・解説）自主出版（2017）
「奄美大島のニホンミツバチ—その保全と持続可能な利用のために—」

（2）口頭発表（学会等）

- 1) 海部健三：第62回日本生態学会大会（2015）
「ウナギの降河回遊生態と保全管理の課題」
- 2) 松本斉、大谷雅人、鷺谷いづみ：日本生態学会第62回全国大会（2015）
「奄美大島の亜熱帯照葉樹林の生物多様性指標候補としての大径木」
- 3) 藤原愛弓、和田翔子、鷺谷いづみ：日本生態学会第62回全国大会（2015）
「奄美大島のニホンミツバチの保全生態学的特性」
- 4) 和田翔子、藤原愛弓、鷺谷いづみ：日本生態学会第62回全国大会（2015）
「奄美大島におけるニホンミツバチの花資源利用」
- 5) 境 優、須田真一、桶田太一、鷺谷いづみ：日本生態学会第63回全国大会（2016）
「奄美大島におけるトンボ相と景観構造との関係」
- 6) 藤原愛弓、吉田丈人、鷺谷いづみ：日本生態学会第63回全国大会（2016）
「奄美大島の異なるランドスケープにおけるニホンミツバチ野生群の花資源利用」
- 7) 脇谷量子郎、板倉光、海部健三：日本生態学会第63回全国大会（2016）
「島嶼部における河川横断構造物が魚類相に与える影響」
- 8) 工藤遥香、藤原愛弓、鷺谷いづみ：日本生態学会第64回全国大会（2017）
「奄美大島におけるニホンミツバチのコロニー成長と採餌活動—観察巣箱を用いた調査—」
- 9) 井上奈津美、井上遠、外山雅大、吉田丈人、鷺谷いづみ：日本生態学会第64回全国大会（2017）
「亜熱帯照葉樹林におけるCCDカメラを用いた樹洞の内部環境と利用生物の把握」
- 10) 境 優、須田真一、桶田太一、鷺谷いづみ：日本生態学会第64回全国大会（2017）
「止水性トンボ群集の入れ子構造から保全上重要な生息地とモニタリング種を抽出する：
奄美大島の事例」

（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) 公開研究発表会「ケンムン広場：奄美の生物多様性」（主催：東京大学「自然保護地域における協働管理のための情報交流システムの開発：奄美大島をモデルとして」研究グループ、後援：

環境省那覇自然環境事務所、鹿児島県、奄美群島広域事務組合、2015年2月20日、奄美サンプラザホテル、観客約100名) を開催

2) 公開シンポジウム「ケンムン広場：奄美のくらしと生物多様性」(主催：宇検村、日本学会議環境学委員会自然環境保全再生分科会、中央大学・東京大学「自然保護地域における協働管理のための情報交流システムの開発：奄美大島をモデルとして」研究グループ、後援：環境省那覇自然環境事務所、鹿児島県、奄美群島広域事務組合、2015年11月28日、宇検村元気の出る館、観客約60名) を開催

3) 意見交流会「奄美大島のニホンミツバチーその保全と持続可能な利用のためにー」(主催：中央大学・東京大学「自然保護地域における協働管理のための情報交流システムの開発：奄美大島をモデルとして」研究グループ、2017年2月9日、奄美市AiAiひろば、観客約40名) を開催

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 南海日日新聞 (2015年2月21日、地方版、8面)
- 2) 奄美新聞 (2015年2月21日、地方版、9面)
- 3) 南海日日新聞 (2015年11月29日、地方版、9面)
- 4) 奄美新聞 (2015年11月29日、地方版、9面)
- 5) 奄美エフエム (2016年9月6日、トンボの成果について15分ほど紹介)
- 6) 奄美エフエム (2017年2月8日、ニホンミツバチの成果について15分ほど紹介)
- 7) 南海日日新聞 (2017年2月9日、地方版、8面)
- 8) 南海日日新聞 (2017年2月12日、地方版、10面)

(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。

(2) 生物多様性ワークベンチの構築

国立大学法人東京大学

生産技術研究所 教授

喜連川 優

地球観測データ統融合連携研究機構 特任助教

安川 雅紀

<研究協力者>

東京大学 特任研究員

服部 純子

平成26～28年度累計予算額：56,598千円（うち平成28年度：18,000千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

新設国立公園における協働管理への活用を想定し、多様なデータを収集・蓄積してデータベース化・統合しインターネット上で公開・情報共有するWebベースの生物多様性ワークベンチ「ケンムン広場」を構築した。本ワークベンチは、サブテーマ(1)で取得したデータ(植生、トンボ、樹洞、ニホンミツバチデータ等)、サブテーマ(2)で収集したデータ(ドローンによる画像、パノラマ環境動画等)、行政が所有するデータ(マンガース捕獲データ)、地元専門家が所有するデータ(シマ遺産データ)、市民参加型プログラムによって参加者が収集する生物の調査データ等、合計約5.8TBの大量データをデータベース化した。市民参加型プログラムによる調査データ(調査票、画像、音声、動画)収集は、開発して2015年11月に一般公開したデータ記録・送信を行うスマートフォンアプリケーションを通して行える。インストールユーザ数は約1年半で計84名、報告件数は429件に達し、クラウドソーシング研究におけるスマートフォンアプリケーションを用いたデータ収集の有効性を確認し、国立公園化後の利用に向けた準備を完了した。また、参加型プログラムの調査データに対して専門家がクレンジング(雑多なデータを解析可能な状態に修正すること)を行える品質管理ツールを開発・実装し、高品質データの蓄積を実現した。広範な主体からの聞き取りにより科学的・行政的・文化的なニーズを把握してツール群を開発・実装した。具体的には、ニホンミツバチの8の字ダンスデータとドローンによる周辺森林画像とを統合したニホンミツバチ解析機能、植生調査データおよびパノラマ環境画像を統合した植生データ表示機能、樹洞調査データ表示機能、トンボ調査データ表示機能、マンガース捕獲マップ表示機能、シマ遺産表示機能、超高解像度の全方位カメラによる撮影動画を用いた環境動画表示機能等である。Webサイトの改良、稼働監視等により本ワークベンチをプロトタイプから実運用へ移行する準備は完了し、新設国立公園の協働管理の体制が整い次第多様なニーズに応える情報基盤として活用可能である。

[キーワード]

データ工学、クラウドソーシング、データベース、協働管理

1. はじめに

生物多様性条約第10回締結国会議で採択された愛知目標の中には、自然保護地域を拡大し、生

物多様性保全に寄与する連結性の高いシステムとするという目標が含まれている。新しい自然保護地域とその周辺地域において、土地および自然資源の公的管理者と地域の多様な主体の参加による生物多様性保全の視点からの協働管理を試行することは、既存の自然公園等の管理を生物多様性の保全と持続可能な利用という目標に適ったものに変えていく上でのモデルづくりとしての意義が大きい。そのような管理にあたっては、管理に関わる主体の間での対象地域の生物多様性と生態系サービス等の情報共有が鍵となる。科学と参加を旨とする自然保護地域の順応的なアプローチによる管理にとって、モニタリング・現状評価に資する科学的かつ誰にとっても理解が容易な生物多様性/生態系サービス指標と評価手法、情報共有のためのウェブサイトや公開データベース、情報共有・協働に資するワークショップなどの情報共有システムとしてのワークベンチは、合意形成・協働のための手段として重要な役割を果たすことが期待される。

2. 研究開発目的

本研究プロジェクトは、国立公園を含む自然保護地域の新たな協働管理に資する情報共有に必要なこれらのツールを保全生態学および情報学分野の最新の科学的知見を活用しつつ、現場での実践と密接に関係させながら開発することを目的とする。その目的の達成のために、サブテーマ（2）では、以下の計画を設定した。

奄美大島ワークベンチ「（仮称）ケムン広場」を設計するにあたって、奄美大島における収集すべき生物多様性情報の範囲（データ収集者・データ利用者・分類群）を明確にするため、関係者へのヒアリングを行う。収集するデータを考慮した、データアップロード、データベース、データ品質管理、データ閲覧などのツールを有するウェブベースのワークベンチのプロトタイプを設計する。また、奄美大島における参加型モニタリングプログラム向けの携帯端末版データアップロードツールを検討する。プロトタイプを既存のサーバ上に試作し、サブテーマ（1）で収集される生物データを投入する。全方位カメラを用いて奄美大島における調査フィールドの環境動画を取得して投入する。

全方位カメラで撮影した環境動画に対して、生物情報等のアノテーション（関連する情報）を付加し、画像や音声と統合してデータ閲覧できるようにする。携帯端末等を用いて、市民・住民による画像・音声付きデータの投入の試行を開始する。データ管理者である研究者がデータ毎にクレンジングし、公開・非公開を設定した上で、分類群を限定して試験的にデータ公開する。奄美大島ワークベンチのユーザからシステム利用に関するコメントを収集する。蓄積した大容量データを用いて科学的、行政的なニーズにもとづいた処理を行うツール、奄美大島の自然管理における合意形成をサポートするデータ視覚化ツール等を検討する。

奄美大島ワークベンチのユーザからのシステム利用に関するコメントをもとに、ワークベンチの改良を図る。サブテーマ（1）の研究成果を踏まえて検討した科学的あるいは行政的なニーズを満たす各種ツールを開発し、ワークベンチに実装してシステムを強化する。奄美大島におけるデータを既に蓄積している主体からのデータ提供を促すとともに、さらに多くのモニタリング参加者を得て、データベースへのデータ投入量を飛躍的に増大させる。奄美大島ワークベンチをプロトタイプから実運用に移行させる作業を進める。

3. 研究開発方法

(1) 蓄積するデータの検討

本ワークベンチで蓄積すべき奄美大島におけるデータを検討するため、データ所有者に対してヒアリングを実施した。ヒアリングでは、研究者・行政・地域の専門家を対象に

- ・データ所有者名・分野
- ・データ名
- ・データの種類
- ・ファイル形式
- ・データ量
- ・データ提供の可・不可
- ・データベース化の際のニーズ

の各項目について情報を収集した。ヒアリングの結果から、生物多様性情報の範囲を決定し、蓄積するデータについて決定した。

(2) ワークベンチプロトタイプ的设计

前述で決定した蓄積するデータを考慮して、奄美大島における生物多様性ワークベンチのプロトタイプを設計した。

データを蓄積するためのデータベースの設計では、モニタリングにおける調査項目、モニタリング時に記録した画像・音声・動画ファイル、データの確かさを記述するデータ品質フラグ、データ公開について記述するデータ公開フラグ、データ管理情報等について記録できるようにリレーショナルデータベースを定義した。

生物多様性ワークベンチプロトタイプ内のツール群は、データ収集からデータ公開までを行うことを考慮し、データアップロード、データ品質管理、データを検索できるデータ公開等のツールを検討した。ただし、上記ツールはインターネットの普及を考慮して、Webベースのアプリケーションとして開発した。また、データアップロードに関しては、スマートフォン版のアプリケーションも開発した。各ツールを統合して、システムの構成図を作成した。

(3) ツール群のサーバ実装および生物データの投入

奄美大島における生物多様性ワークベンチのプロトタイプを構築するにあたり、まず、上記(1)の蓄積するデータ量および上記(2)のシステム構成図から、奄美大島における生物多様性ワークベンチとして使用するハードウェア(サーバ本体およびストレージ)を検討した。多くのサイトアクセス、長期の運用、大量データの蓄積を考慮して、DIAS(データ統合・解析システム)のハードウェアを借用することにした。DIASは文部科学省の研究費によって東京大学で運用しているシステムであるが、超大容量ストレージ用いた地球環境データ基盤として長期運用を行うことから、当該ワークベンチプロトタイプの構築に適していると考えたためである。ストレージは10TBを用意し、必要に応じてストレージサイズを拡大する予定である。

上記(2)での設計に沿って各ツールをphpおよびjavascriptを用いて開発して、上記サーバにインストールし、Webベースの生物多様性ワークベンチプロトタイプを構築した。上記(1)で検討したデータの一部について、データアップロードツールによる投入を開始し、データ品質管理

ツールを用いてデータクレンジングを行い、データ公開の試行を行うことにより、本プロトタイプ of 動作確認を行った。

(4) 全方位カメラによる環境動画の取得・蓄積

全方位の環境動画を取得・蓄積できる、動画取得システムを構築した。本システムは、全方位カメラ、動画取得PC、SSD (solid state drive)、バッテリー等で構成される。全方位カメラは、6個のCCDを用いて一度に全方位を超高解像度で撮影できるデジタルカメラである。動画取得PCは、全方位カメラからUSB3.0を経由してリアルタイムで動画データを取り込むためのパソコンである。SSDは、PCに取り込んだ動画データをリアルタイムで高速に記録するためのストレージデバイスである。バッテリーは、周辺に電源コンセントがない環境下で前述の機器に電源を供給するための移動可能な鉛電池である。これらを接続し、全方位カメラ以外の機器は雨よけのボックスに収納することにより、野外において環境動画を取得できるようにした。

(5) パノラマ環境動画に対するデータ閲覧ツールの開発

全方位カメラで撮影したパノラマ環境動画は約8,000画素×約4,000画素であり、1時間あたり約500GBと大容量である。元データのままではインターネットを通してWebページで閲覧することが出来ないため、約1分に分割し解像度を約半分に落して公開することとした。なお、今回は動画の解像度を半分に落したが、全方位カメラは仕様でフォーカスが固定されており実際の画質はオートフォーカスのデジタルカメラよりも劣るため、データ利用において半分の解像度でも支障はない。分割した動画は、それぞれデータベースに登録した。

データベースに登録した分割動画に対して、アノテーション(関連情報)に登録できるようなインターフェースを用意した。アノテーションとして、写り込んでいた生物種について対象とした。また、複数種が写り込むことが考えられるため、複数種を登録できるような仕様とした。

パノラマ環境動画閲覧ツールは、以下の要件で開発した。構築中である奄美大島の生物多様性ワークベンチ「ケンムン広場」で閲覧可能とするために、Webベースでパノラマ環境動画を閲覧できるようにした。当該動画は全方位で撮影しているため、Webページの表示領域内で球面を平面に投影して動画を閲覧できるようにした。また、表示領域内で方向やズームを変更できるようにする。アノテーションに対して、データベース内で該当する種についてデータ検索および検索結果表示(画像や音声等)ができるようにした。

(6) スマートフォン版データアップロードアプリケーションの開発

奄美大島における参加型モニタリングプログラム向けスマートフォン版のデータアップロードツールの開発を行った。一般に広く普及し携帯性の高いスマートフォンでデータ収集を行い、一元的なデータ管理が可能な、クライアントサーバシステムを構築した。本システムはサーバ側としてRuby on Railsフレームワークを使用したWebサービス、クライアント側としてスマートフォンのアプリケーションから構築される。クライアント側はAndroidとiPhoneの両スマートフォンに対応している。クライアント側スマートフォンアプリには、ユーザが動植物等の画像、動画、音声、調査対象、調査地等の情報を記録する。スマートフォンの機能により、位置情報、方位や照度等のセンサー情報は自動的に記録される。奄美大島ではモニタリング調査を実施する地域の多

くは、通信インフラが利用できない地域であるため、スマートフォンアプリによるデータ収集時にはサーバ側への通信は必須としない。収集したデータはスマートフォン内に保持され、ネットワークに接続可能な時にサーバに送信する事が可能である。スマートフォン内のデータはHTTP通信を用いてサーバに送信する。スマートフォン内のデータはスマートフォンアプリ側からのPOST処理によりサーバを動作させ、サーバ内のデータベースに登録する。サーバに登録されたデータは既存のWebアプリケーションと連携して、ユーザ別に調査情報の参照が可能となる。

(7) スマートフォンアプリケーションを利用した参加型モニタリングの開始

奄美大島における市民参加型の生物モニタリングのためのスマートフォンアプリケーションを開発して一般公開した。生物モニタリングのターゲットとして、環境保全の指標となり研究が進んでいるトンボとチョウ、及び奄美大島の文化財であるシマ遺産を対象にした。また現場の要望に沿って、奄美マングースバスターズが実施するアマミノクロウサギ糞塊調査のための糞塊情報収集スマートフォンアプリケーション、及び奄美大島におけるネコ情報収集スマートフォンアプリケーションを開発した。

具体的な開発方法は以下の通りである。

1) 市民参加型生物モニタリングのためのスマートフォンアプリケーション

本システムはスマートフォンで収集したデータをサーバに送信し、サーバ側でデータを一元管理するクライアントサーバシステムである。前年度まで行ったスマートフォンアプリケーション開発をさらに進め、入力項目の変更や調査票の編集機能の追加を行った。スマートフォンから次のデータをサーバに送信できる。

- ・画像、音声、動画
- ・調査対象の種名、性別、個体数
- ・調査地の緯度経度、住所、地名、環境、天候
- ・希少種情報、画像等の公開可否、位置情報の公開可否
- ・日時
- ・スマートフォンから取得可能なセンサー情報（高度、照度等）
- ・コメント

本スマートフォンアプリケーションはAndroidとiPhoneに対応し、「どこでもケンムン調査」としてGoogle PlayとApp Storeに一般公開した(*)。

また、利用者拡大に向けて、初心者や旅行者向けの新しいバージョンを開発した。旅行者でも手軽に利用できるよう、ユーザ登録不要、調査票の入力項目を減らす等した。また初心者の同定補助となる機能も追加した。「どこでもケンムン調査」とほぼ同等の機能を持つが、種名の選択や調査票作成がより容易である。同定補助機能の例として図(2)-1にトンボの種名選択の流れを示す。撮影した写真とトンボの色で絞った候補を並べて表示して、説明を見ながら正しい種を選択を導く流れである。



図(2)-1 初心者向けアプリケーションの種名選択の流れ。

* どこでもケンムン調査の公開先サイト：

Google Play : <https://play.google.com/store/apps/details?id=jp.ac.utokyo.iis.kenmun&hl=ja>

App Store : <https://itunes.apple.com/jp/app/dokodemokenmun-diao-zha/id1052651646?mt=8>

2) アマミノクロウサギ糞塊情報収集スマートフォンアプリケーション

上記と同様のクライアントサービシステムであり図(2)-2のようにAndroid端末上で動作する。位置情報を自動的に付与し、糞のサイズと個数を記録する。調査地は山間地で位置情報が自動で取得できない場合も多いため、オフライン地図の利用により、どこにいても地図上で調査地の記録や閲覧を可能にした。



図(2)-2 クロウサギ糞塊アプリにおける調査票作成の流れ。

3) ネコ情報収集スマートフォンアプリケーション

上記と同様のクライアントサーバシステムで図(2)-3のようにAndroidとiPhoneで動作する。写真を撮影して位置情報を自動的に取得し、ネコの柄や個体数、コメントとともに記録する。オフライン地図の利用により、スマートフォンの位置情報機能が使えない場合やネットワークに接続できない場合でも地図上で調査地の記録や閲覧が可能である。



図(2)-3 ネコ情報収集アプリケーションにおける調査票作成の流れ。

上記で開発したスマートフォンアプリケーションのうち、「市民参加型生物モニタリングのためのスマートフォンアプリケーション」について、本年度の11月に一般公開し、市民参加型モニタリングプログラムを開始した。なお、生物モニタリングのターゲットとして、環境保全の指標となり研究が進んでいるトンボとチョウ、及び奄美大島の文化財であるシマ遺産を対象にした。本プログラムへの参加募集は、本課題が主催した公開シンポジウムやサブテーマ(2)のWebシステムである「ケンムン広場」にて行った。また、同時に、プログラムの主旨を理解してもらえよう、当該スマートフォンアプリケーションのチラシを配布した。

「どこでもケンムン調査」、「アマミノクロウサギ糞塊アプリケーション」、「ネコ情報収集アプリケーション」は、本ワークベンチのデータアップロードシステムの一部であり、本システムは当該スマートフォンアプリケーションで収集したデータをサーバに送信し、サーバ側でデータを一元管理する、クライアント・サーバ型のシステムである。スマートフォンアプリケーションはAndroidとiPhoneに対応している。配布方法は、インターネット上での公開と、利用者への直接配布の2通りで配布した。「どこでもケンムン調査」はGoogle PlayとApp Storeで一般公開している。「どこでもケンムン調査」の生物モニタリングの対象は、環境保全の指標となり研究が進んでいるトンボとチョウを中心としたが、広く哺乳類や植物全般のデータも保存した。また、奄美大島の文化財のデータも調査対象とした。

利用者の要望に応じてスマートフォンアプリケーションを改修し、市民参加型モニタリングプログラムの参加者を広く募集することで、市民参加型によるスマートフォンアプリケーションを

用いた生物データ収集の実現可能性を検証した。

スマートフォンアプリケーションの改修では、生物の種名が分からない初心者への対応として、同定補助機能付きのスマートフォンアプリケーションをプロトタイプとして開発し一般公開した。なお、本アプリケーションは「奄美のトンボ」という名称をつけ、トンボの情報収集に特化した。トンボの色による種の検索が可能で、撮影した写真を見ながら色で絞り込んだ候補を並べて表示し、詳しい説明も表示して、正しい種を選択するよう導く工夫も行った。

本アプリケーションを利用する市民参加型生物モニタリングの参加者を募るため、観光客や地元の住民を対象とした宣伝活動を行った。前年度は、奄美大島宇檢村で開催した「ケムン広場・奄美のくらしと生物多様性シンポジウム 第2回公開シンポジウム」にて、本モニタリングの運用開始を告知し、地元新聞の記事にも紹介された。さらに参加者を増やすため、宿泊施設や公共機関に協力いただき、チラシの配布やポスターの掲示、ホームページでの告知等によって市民に利用を呼びかけた。

(8) 市民参加型モニタリングにおける収集データの公開

上記の「どこでもケムン調査」を利用して市民参加型モニタリングを開始し、モニタリングデータのデータベースへの蓄積を始めた。モニタリングのターゲットは、トンボとチョウ、および奄美大島の文化財であるシマ遺産である。

モニタリングデータは専門家によるデータクレンジング・品質管理によって公開を行った。具体的には、モニタリング参加者がアップロードしたデータについてアクセス制限のかかったWebページ上でリスト表示し、専門家がデータをクリックすると、図(2)-4のようにデータクレンジングページを表示する。専門家はページの写真(図(2)-4(a))を見ながら参加者の同定(図(2)-4(a)左上)が正しいか判定する。なお、図(2)-4(a)右上は専門家による同定の欄であるが、初期値は参加者による種名をコピーしている。もし間違っていれば、図(2)-4(a)右上の欄に正しい種名を入力し、同定判定結果欄で不正解(初期値は正解)を選択する。図(2)-4(b)で位置情報を修正する場合は、地図上のマーカーを移動させて正しい位置に修正する。データに信頼性がある場合(例えば、写真の生物が鮮明で模様等が識別できる場合)、データ信頼性フラグは「高い」を選択する(図(2)-4(b)下方)。同定が容易でない種等で写真等が添付されていない場合、データ信頼性フラグで「低い」を選択する。データ公開フラグでは、調査票を公開するかどうか、写真・動画・音声を公開するかどうか、位置情報を公開するかどうか、「可」または「不可」を選択する(図(2)-4(b)下方)。もしコメントがあればテキストを入力する。全ての項目チェックを終えたら「保存」をクリックし、データベースを更新する。調査票を公開するフラグを設定したデータについては、Webページにて各種データ検索機能によって自動的に公開する。なお、写真・動画・音声や位置情報が非公開になっているデータについては、データ検索ツールおよびページ表示ツールが当該部分について「非公開」と表示する。

(a) 種同定判定

(b) 位置情報・データ公開・データ信頼性

図(2)-4 データクレンジング・品質管理ページ。

(9) 生物データの投入

奄美大島の生物多様性ワークベンチに蓄積するデータの検討を行い、研究者であるサブテーマ(1)が所有するデータとして、植生データ、パノラマ環境画像、樹洞画像、鳥の音声、ニホンミツバチの動画、生物モニタリングデータを対象とした。専門家が所有するデータとして、シマ(集落)遺産データを対象とした。行政である奄美野生生物保護センターが所有するデータとして、職員・マングースバスターが収集する生物情報、プロジェクト・事業ベースの生物情報を対象とした。具体的な投入方法は、データ所有者にハードウェア暗号化ハードディスクを送付し、データ所有者が本ハードディスクに当該データ・情報をコピーし、サブテーマ(2)に返送し、本ハードディスクとサーバを接続し、データベース投入インターフェースを利用して当該データをデータベースに登録するという流れである。

また、サブテーマ(2)で取得するデータに対しても当該ワークベンチへの投入も行った。具体的には、サブテーマ(2)では、ドローン(無人飛行の小型マルチコプター)を用いた地表面の画像・動画、自動撮影カメラを用いたカメラ前を横切る物体の画像・動画、全方位カメラを用いた対象フィールド周辺のパノラマ環境動画を取得し、データベース投入インターフェースを利用して当該ワークベンチのデータベースに投入した。また、サブテーマ(2)で開発したスマートフォンアプリケーションを用いた参加型モニタリングによって画像・音声・動画の生物データ・シマ遺産データを取得し、データベース投入インターフェースを利用して当該ワークベンチのデータベースに投入した。

以下に該当する生物多様性ワークベンチのデータベースへのデータ投入を継続し、データ量を増大させた。

- (a) 研究者による調査データ
- (b) ドローンによる撮影画像
- (c) 自動撮影カメラによる画像
- (d) 市民参加型による調査データ

(a)は、研究者であるサブテーマ(1)が所有するデータであり、具体的には、樹洞画像、音声データ、ニホンミツバチの動画等である。(b)はサブテーマ(2)が所有するデータであり、ドローン(無人飛行の小型マルチコプター)を用いた地表面の画像や動画である。(c)はサブテーマ(2)が所有するデータであり、自動撮影カメラの前を物体が横切った際に撮影した画像や動画である。(a)～(c)については、データベース投入インターフェースを利用して当該ワークベンチのデータベースに投入した。(d)は、開発したスマートフォンアプリケーションによって調査データ(画像・音声・動画の生物データやシマ遺産データ)を当該ワークベンチのデータベースに投入した。

(10) 生物多様性ワークベンチWebサイトの利用に関するコメントの収集

奄美大島の生物多様性ワークベンチWebサイトのユーザから、システム利用に関するコメントを収集した。具体的には、図(2)-5のアンケート用紙をWebサイトユーザに配布し、回答をいただいた。質問項目としては、Webサイトメニュー(サイト説明、最新調査情報、データ検索、お知らせ、データ品質管理ツール)毎に、見やすいか(ページデザイン)、正常に表示されているか等について5点満点で記入し、ご意見があれば当該メニューの記入欄に記入する。これにより得られたコメン

トの中で対応が必要だと考えたコメントを表(2)-1に示す。表(2)-1のコメントに対して、ページ表示方法等の改善をそれぞれ行った。

アンケート用紙	
<p>ケンムン広場(http://kenmun.dias.nii.ac.jp/)の改良にむけてアンケートを実施します。以下の質問に回答していただき、このファイルを安川(yasukawa@iis.u-tokyo.ac.jp)までお送り下さい。</p> <p>ご協力よろしくお願いたします。</p>	
<p>・評価点について</p> <p>各質問について、当該サイトを閲覧いただき、該当する数字を評価点記入欄に記入して下さい。 (5:よい、4:ややよい、3:ふつう、2:ややわるい、1:わるい)</p>	
メニュー「ケンムン広場について」について	評価点記入欄
説明は読みやすく表示されていますか	
ご意見ご要望があればお書き下さい。	
メニュー「最新の調査情報」について	評価点記入欄
項目は正しく表示されていますか	
内容は理解しやすいですか	
表示する件数は5件で適切ですか	
ご意見ご要望があればお書き下さい。	
メニュー「データ検索」について	評価点記入欄
「リストから探す」は正しく機能していますか	
「リストから探す」における結果表示のページデザインに満足していますか	
「リストから探す」におけるデータ詳細ページの項目は正しく表示されていますか	
「リストから探す」におけるデータ詳細のページデザインに満足していますか	
「地図から探す」は正しく機能していますか	
「地図から探す」における結果表示のページデザインに満足していますか	
「地図から探す」におけるデータ詳細ページの項目は正しく表示されていますか	
「地図から探す」におけるデータ詳細のページデザインに満足していますか	
「画像から探す」は正しく機能していますか	
「画像から探す」における結果表示のページデザインに満足していますか	
「画像から探す」におけるデータ詳細ページの項目は正しく表示されていますか	
「画像から探す」におけるデータ詳細のページデザインに満足していますか	
「植生から探す」は正しく機能していますか	
「植生から探す」におけるデータ詳細のページデザインに満足していますか	
ご意見ご要望があればお書き下さい。	
メニュー「お知らせ」について	評価点記入欄
内容は読みやすいですか	

図(2)-5 アンケート用紙。

(1 1) 蓄積したデータを用いた処理ツール・視覚化ツールの検討

上記で蓄積したデータを利用したデータ処理ツールやデータ視覚化ツールを検討するため、研究者、専門家、行政の各主体がどのようなデータ処理ツールやデータ視覚化ツールを必要としているか、ニーズのヒアリングを行った。ヒアリングは、対面でのインタビューおよびEメールで行った。研究者としてサブテーマ(1)の研究者、専門家としてシマ遺産に詳しい現地専門家、行政として奄美野生生物保護センターのスタッフを対象とした。

表(2)-1 システム利用に関するコメント

1. メニュー「ケンムン広場について」について
1.1 私のパソコンでは、7行目の途中で改行されて表示されます
1.2 9行目だけです・まず調でなくなっています
1.3 私のパソコンでは、下から4行目「広場への入り方はこちら」でリンクができません
1.4 敬体と常体が混在しているので、統一した方がよいかもかもしれません
2. メニュー「最新の調査情報」について
2.1 スクロールするとケンムンの腕が動くのがとても可愛いです。表示件数は3件くらいの方がニュース等が目にとまりやすいのではないかと思います。
2.2 各情報の一番上に、種名があるとよりわかりやすいと思います
3. メニュー「データ検索」について
3.1 稀に画像一覧のうちいくつかの画像が表示されないことがあります（ネット環境の問題？）
3.2 なぜか2015年の植物3件（ホンゴウソウとアメリカハマグルマ）の画像が表示されませんでした
3.3 画像から探す の写真の上下にスペースが入るとより見やすいと思います
3.4 各情報の一番上に、種名があるとよりわかりやすいと思います

(1 2) 各種ツールの開発および実装

蓄積したデータを利用したデータ処理ツールやデータ視覚化ツールについて、研究者、専門家、行政に対してニーズ調査を行った。研究者としてサブテーマ(1)の研究者、専門家としてシマ遺産に詳しい現地専門家、行政として奄美野生生物保護センターのスタッフを対象とした。結果として、以下の(a)～(f)のツールについて開発を行いWebサイトに実装することとした。

- ・研究者(サブテーマ(1))
 - (a) トンボの調査地(池)毎に、池の写真、確認種数を整理して表示する機能(位置非公開)
 - (b) ニホンミツバチの調査において、ドローンをを用いた巣周辺の植生モザイク画像、巣の様子を示す画像・動画等を、統合して表示する機能
 - (c) 樹洞がある木に関して、調査地・画像・樹種・樹洞サイズ・胸高直径をデータベース化して公開する機能
- ・行政(奄美野生生物保護センター)
 - (d) マングース捕獲地点およびマングース捕獲罠地点をマップ表示・時系列表示する機能
- ・専門家(シマ遺産に詳しい現地専門家)
 - (e) ドローンによって撮影したシマ遺産(例：磯(海岸)、ソテツ群生地)の画像を公開する機能
 - (f) シマ遺産情報を整理して公開する機能

上記(a)～(f)のツールは、具体的には表(2)-2の方法で開発を行った。

表(2)-2 ツール開発方法

ツール名	開発方法
(a) トンボ調査データ表示	トンボ調査データをデータベースから検索して、「調査地(池)」対「種名」の表形式で表示できるようにする。調査地の画像は、リンクによってポップアップ表示できるようにする。
(b) ニホンミツバチ調査データ表示	ドローンによって撮影した複数画像からオルソモザイク画像を作成しサーバにアーカイブして、地図上で撮影画像を閲覧できるようにする。ニホンミツバチの巣箱情報、「8の字」ダンスデータを上記の地図上に統合して表示できるようにする。
(c) 樹洞調査データ表示	樹洞調査データをデータベースから検索して、樹洞番号に対して画像、調査地、樹種、胸高直径、地面から樹洞入口下端までの長さ、樹洞入口の縦幅、樹洞入口の横幅、調査年を表示できるようにする。
(d) マングース捕獲データ表示	マングース捕獲データをデータベースから検索して、地図上に捕獲位置をマーカーでプロットできるようにする。また、マーカーは、捕獲方法についてポップアップ表示できるようにする。
(e) ドローンによるシマ遺産画像の表示	ニーズ調査で要望のあったウーバル浜(奄美市笠利町大字笠利)について、ドローンを用いてソテツから珊瑚礁までの画像を撮影し、複数画像からオルソモザイク画像を作成しサーバにアーカイブして、地図上で撮影画像を閲覧できるようにする。
(f) シマ遺産情報表示	集落をキーワードにシマ遺産データをデータベースから検索し、検索結果を地図上にマーカーでプロットできるようにする。また、各マーカーは、シマ遺産データの詳細情報を表示できるようにする。

(13) 奄美大島ワークベンチ実運用への移行準備

奄美大島ワークベンチをプロトタイプから実運用に移行させる作業を進めるため、以下を実施した。

- (a) Webサイトの稼働を監視
- (b) サイト不具合報告の受付
- (c) Webサイトデザインの改修

(a)は、奄美大島ワークベンチWebサイトの各ページ(各ツール)にユーザがアクセスした際に、WebサーバソフトApacheの処理エラーを監視しエラーログをチェックして、Webサイト管理者がページの不良箇所の改善を逐次行うようにする。(b)は、当該Webサイトに問い合わせ窓口を設置して不具合報告を受け付け、不具合報告があった際にWebサイト管理者が不具合箇所の改善を行うようにする。(c)は、ニーズによってツール群が増えたため、ユーザが所望のツールを見つけ易くすることを目的としてページデザインを改修する。また、サイト利用者が論文の参考文献で奄美大島ワークベンチWebサイトのデータページを引用する際は当該ページのURLが必須となるため、各データページが別タブ表示によってURLが表示できるように改修する。

4. 結果及び考察

(1) 蓄積するデータの検討

蓄積するデータを検討するために、研究者・地域の専門家・行政に対して所有する奄美大島のデータについてヒアリングを行った。表(2)-3に、データ所有者に対するヒアリングの結果を示す。

表(2)-3 奄美大島における生物データについてのヒアリング結果。

データ所有者	データ名	データの種類	ファイル形式	データ量	データ提供の可・不可	データベース化の際のニーズ
サブテーマ (1) (研究者)	植生データ	生物	表	8000件	可	データ公開。調査地点毎の植生データ表示およびパノラマ環境画像表示。
	パノラマ環境画像	生物	画像	364MB	可	データ公開。パノラマ表示。
	樹洞画像	生物	画像	25MB	可	データ公開
	鳥の音声	生物	音声	305GB	可	データ公開。アノテーション付加機能。
	ニホンミツバチの動画	生物	動画	201GB	可	データ公開。
	生物モニタリングデータ	生物	表、画像	<1GB	可	データ公開。
中山清美先生 (地域の専門家)	シマ(集落)遺産	人文	テキスト、Word形式、画像、PDF	193GB	可	データ公開。シマ(集落)毎にまとめた表示。遺産の種類毎の表示。
奄美野生生物保護センター (行政)	職員・マンダースバスターが収集する生物情報、プロジェクト・事業ベースの生物情報	生物	テキスト、表、画像	不明	検討中	データ保存。データ公開。希少種非公開。データ解析機能。

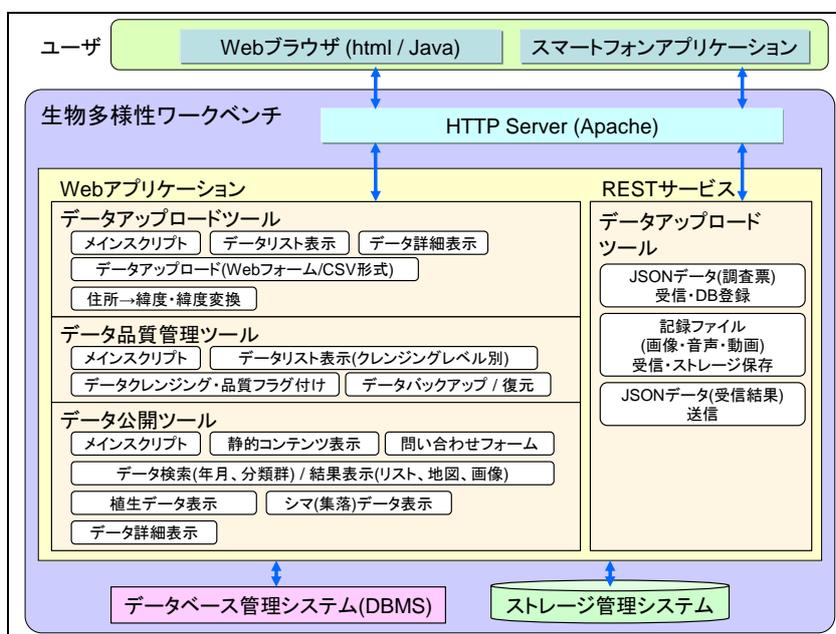
表(2)-3において、シマ遺産データは生物データではないが、データを確認したところ生物に関する情報も含まれていることが分かり、ワークベンチが国立公園を含む自然保護地域の新たな協働管理に資するシステムとなるためには、シマ遺産データ不可欠だと判断した。したがって、蓄積するデータの範囲は生物データとシマ遺産データとした。また、蓄積するデータは、表(2)-3の「データ提供の可・不可」において「可」のデータとした。今後、これらデータを蓄積することにより、生物データとシマ遺産データとを統合した情報共有が可能となる。

(2) ワークベンチプロトタイプ的设计

蓄積するデータを考慮した、奄美大島における生物多様性ワークベンチのプロトタイプを設計した。

データベースの設計では、MySQL上で実現することにした。MySQLは、オープンソースで公開されているRDBMS(リレーショナルデータベース・マネジメントシステム)の実装の一つである。MySQL上に、調査項目(日時、天候、環境、種名とその関連情報等)、画像・音声・動画ファイル、データ品質フラグ、データ公開フラグ、データ管理記録情報等で構成される変数とその型を定義してテーブルを作成した。

生物多様性ワークベンチプロトタイプ的设计では、図(2)-6のような構成図を作成した。生物多様性ワークベンチ内の左側のWebアプリケーションは、ユーザのWebブラウザを用いたツール群であり、データアップロードツール、データ品質管理ツール、データ公開ツールで構成される。また、各ツールは、機能を細分化したモジュールで構成され、データベースにアクセスすることが可能である。データ公開ツールでは、データ検索(リスト・画像・マップ)とその結果の表示機能、植生データ表示機能、シマ遺産データ表示機能を含む。生物多様性ワークベンチ内の右側のRESTサービスはユーザのスマートフォンアプリケーションを用いたツールであり、データアップロードツールで構成される。また、このデータアップロードツールは、機能を細分化したモジュールで構成され、データベースにアクセスすることが可能である。WebアプリケーションとRESTサービスは一つのデータベースを共用することにより、スマートフォンアプリケーションからアップロードされたデータは、Webアプリケーションであるデータ品質管理ツールでデータクレンジング作業を行うことが可能である。



図(2)-6 生物多様性ワークベンチプロトタイプの構成図。

(3) ツール群のサーバ実装および生物データの投入

上記(2)での設計に沿って各ツールを開発してサーバにインストールし、生物多様性ワークベンチプロトタイプを構築した。また、上記①で検討したデータの一部についてデータアップロードツールを用いて投入し、品質管理ツールを用いてデータクレンジングを行い、データ公開の試行を行った。

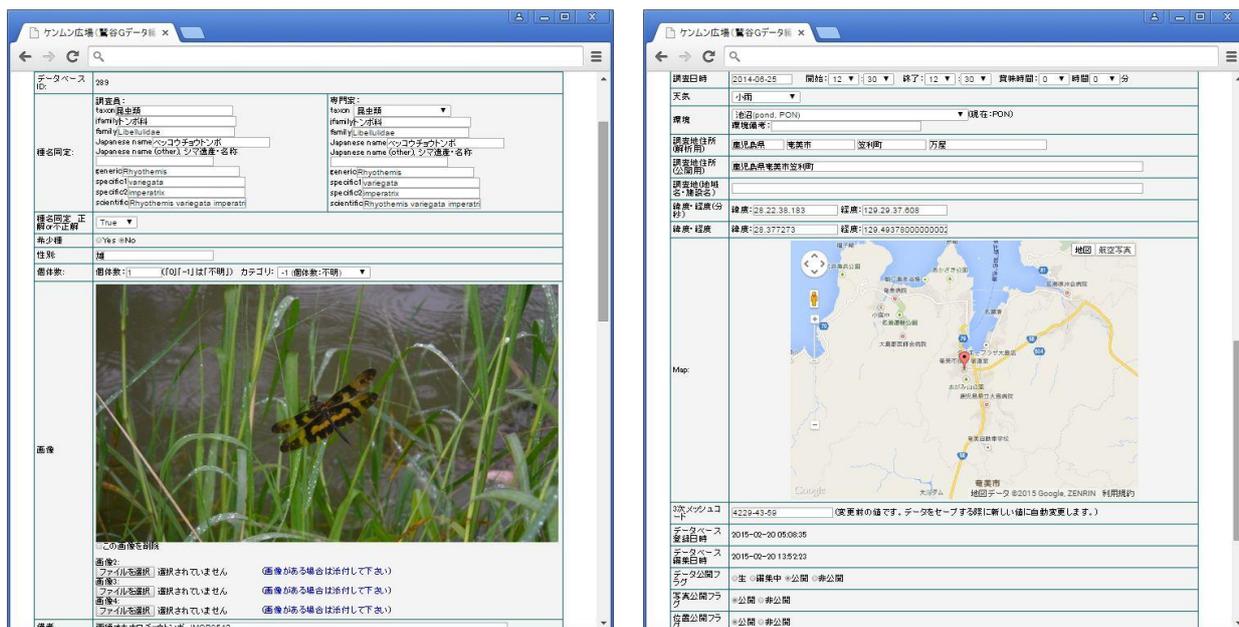
図(2)-7に、データ品質管理ツールの表示結果を示す。ただし、左右の画像は本来、左側が上で右側が下で繋がっている。最初の項目は種名に関するもので、左側に参加者が同定した種名、右側に写真をもとに専門家が同定した種名を入力することで、データクレンジングを行うとともに、参加者へ同定学習のフィードバックを行うことができる。必要があれば、専門家がコメントを入れることも可能である。右側の画像では、調査時刻、天候、周辺環境、位置情報について修正す

ることができる。また、データの公開・非公開、位置の公開・非公開、写真の公開・非公開のフラグを付加することができる。

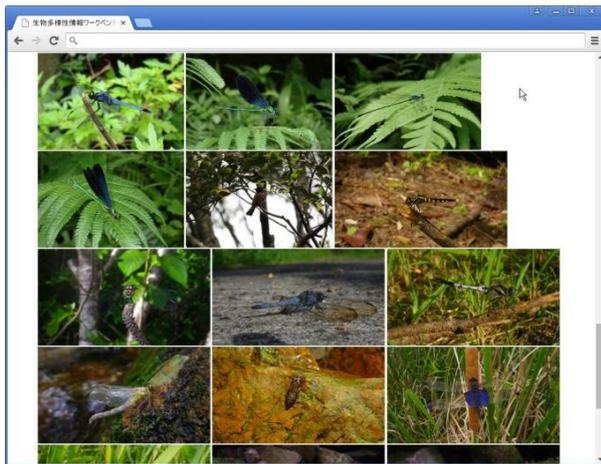
図(2)-8に、データ公開での表示結果を示す。図(2)-8(a)は、データ検索において、データベースに蓄積されているモニタリングデータのうち画像が存在する調査記録について検索できる機能であり、画像をサムネイルでタイル状に列挙したものである。興味のある画像をクリックすれば、そのデータの詳細を閲覧することが可能である。図(2)-8(b)は、年月、分類群、領域範囲を条件に、該当するモニタリングデータをマップ上にマーカーで貼り付けてデータ検索を行えるようにしている。マーカーをクリックすれば、そのデータの詳細を閲覧することが可能である。

図(2)-9は、図(2)-8(a)の画像サムネイルや図(2)-8(b)のマーカーをクリックしたときに表示される、当該データの詳細表示結果である。モニタリング時に記録した内容を表示するものであり、主に日時、天候、周辺環境、種名に関する情報、写真、位置情報等を閲覧することができる。

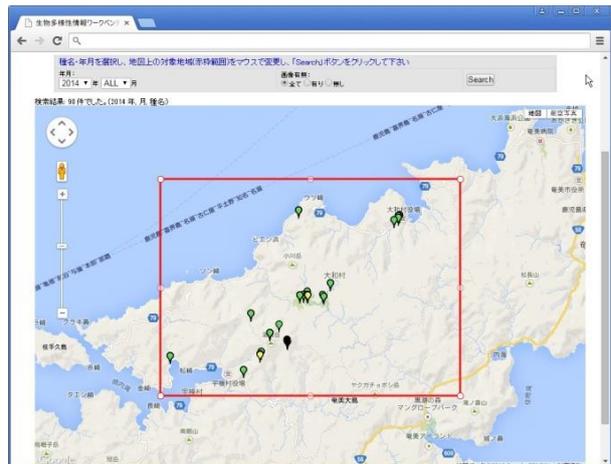
図(2)-10は植生データの表示結果であり、ある地点を中心とした単位領域内での維管束植物の存在確認を表示したものである。上段には、調査日時、位置情報、領域内の植生を表す各要素の値を表示した。中段には、調査地点を中心としたパノラマ環境写真を表示し、マウスで方向やズームを変更できるようにした。下段には、各種名に対する対象領域内での存在確認の有無を表示した。



図(2)-7 データ品質管理ツール。



(a) データ検索 (画像)



(b) データ検索 (マップ)

図(2)-8 データ公開ページ。

りんもみ広場:調査データ表示

種名	分類群: 雑草東植物 科名: フトモモ科 和名: アデク
性別	不明
個体数	数:1, カテゴリー:1
画像	保全生物学研究室防範画像: 
調査日	2014-11-27
調査時刻	開始:12:15:00, 終了:13:30:00, 買味時間:01:15:00
天気	晴れ
環境	広葉樹林(備考:林内)
備考	結果
データベース管理 者からのコメント	
調査地	湯浅帯
調査地住所	鹿児島県大和村
位置情報	緯度:28.2976 経度:129.3203
調査地マップ	

図(2)-9 データ詳細表示。

項目名	値
Plot No.	1
Quadrat No.	14
Date	2013-12-02
Investigator	松本 齊, 大谷 雅人
Latitude	28.346247
Longitude	129.449203
Average DBH of canopy layer trees [cm]	54.53709412
Number of tree hollows	3
Number of fallen logs	0
Number of standing dead trees	0
Height of canopy layer [m]	16.4333244
Height of subcanopy layer [m]	12.46666622
Height of understory layer [m]	5.00000000

環境写真


和名	学名	レイヤ名	存在確度
アデク	<i>Syzygium aurifolium</i> Hook et Arn.	Flora of canopy layer	0
イイギリ	<i>Idesia polycarpa</i> Maxim.	Flora of canopy layer	0
イジュ	<i>Schinus molle</i> (L.) Korth. subsp. <i>nanonshae</i> (Felsky ex Blume) Bloembergen	Flora of canopy layer	0
イスノキ	<i>Distylium racemosum</i> Siebold et Zucc.	Flora of canopy layer	1
イヌガシ	<i>Neolitsea aciculata</i> (Blume) Koidz.	Flora of canopy layer	0
イヌマキ	<i>Podocarpus macrophyllus</i> (Thunb.) Sweet	Flora of canopy layer	0
ウラボロガシ	<i>Quercus salicina</i> Blume	Flora of canopy layer	0
ウラボロコノキ	<i>Glochidion acuminatum</i> M.L.Ang.	Flora of canopy layer	0
エゴノキ	<i>Styrax japonicus</i> Siebold et Zucc.	Flora of canopy layer	0

図(2)-10 植生データ表示。

以上のように、ツール群をサーバに実装し、データ投入を開始して、ツール群が正常に動作することを確認した。本年度は、維管束植物、鳥類、昆虫類、シマ遺産の一部データについてデータベースに投入し、いずれも問題なくツール群は機能した。したがって、様々な分類群に対しても投入可能な状態といえる。

(4) 全方位カメラによる環境動画の取得・蓄積

構築した全方位動画取得システムを用いて、奄美大島のフォレストポリスにてテスト撮影を実施した。本システムは、正常に動画を取得できることを確認した。しかし、冬期のような気温の低い場合はバッテリーの電源出力が弱く、本システムを稼働できる時間が当初の見込みよりも短くなることが分かった。そこで、バッテリーについて、鉛電池のポータブル電源から、より大容量のリチウムイオンポリマータイプのモバイルバッテリーに取り換えることにした。これにより、稼働可能時間を従来よりも2.5倍にすることができた。

テスト撮影での動作検証を踏まえて、本システムを用いて奄美大島のフォレストポリスにて本撮影を実施し、環境動画を取得・記録してサーバに蓄積することができた。図(2)-11に全方位カメラによる環境動画のスナップショットを示す。画像の横方向が実世界の水平方向、縦方向が垂直方向である。また、画像の上端が天頂、左端から右端までが360度で繋がっている。動画の容量は、8000x4000画素、16フレーム/秒で約1TBであった。取得できる動画は超高解像度であるため、全長5cm以上の昆虫類がカメラに近い場所を通過するときは同定できる可能性があることが分かった。

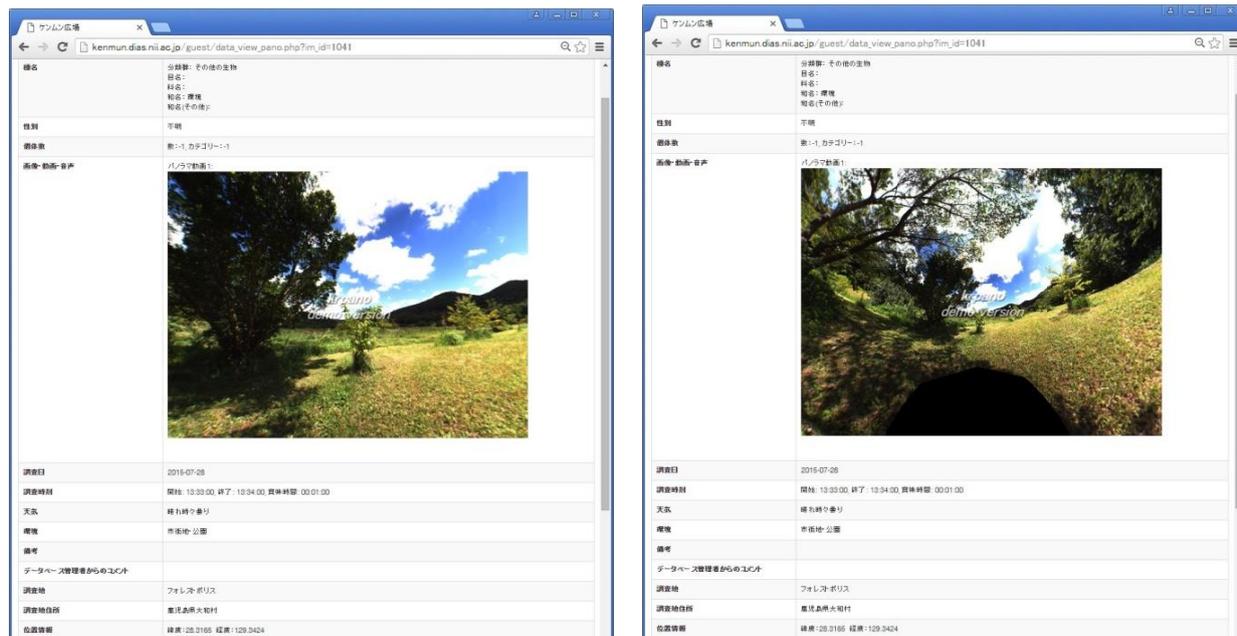


図(2)-11 全方位カメラによるパノラマ環境動画。

(5) パノラマ環境動画に対するデータ閲覧ツールの開発

全方位カメラで撮影したパノラマ環境動画に対して、上記で述べた要件にしたがって、Webベースのパノラマ環境動画閲覧ツールを開発した。

図(2)-12に当該閲覧ツールの表示結果を示す。パノラマ動画の解像度は約2,000×約1,000画素であり、1枚の撮影時間は約1分でサイズは60MB程度である。パノラマ表示用ライブラリを利用して動画を取り込み、動画を仮想空間に貼り付けて平面に投影して表示した。図(2)-11の動画をWebページに貼り付けて動画が正常に再生されることを確認した。また、図(2)-12のように、動画のビュースタイルを変更することができ、マウスで方向やズームを変更することも可能である。現在のところ、当該閲覧ツールは、Internet Explorer、Chrome、FirefoxのWebブラウザに対応している。



(a) Fisheye View

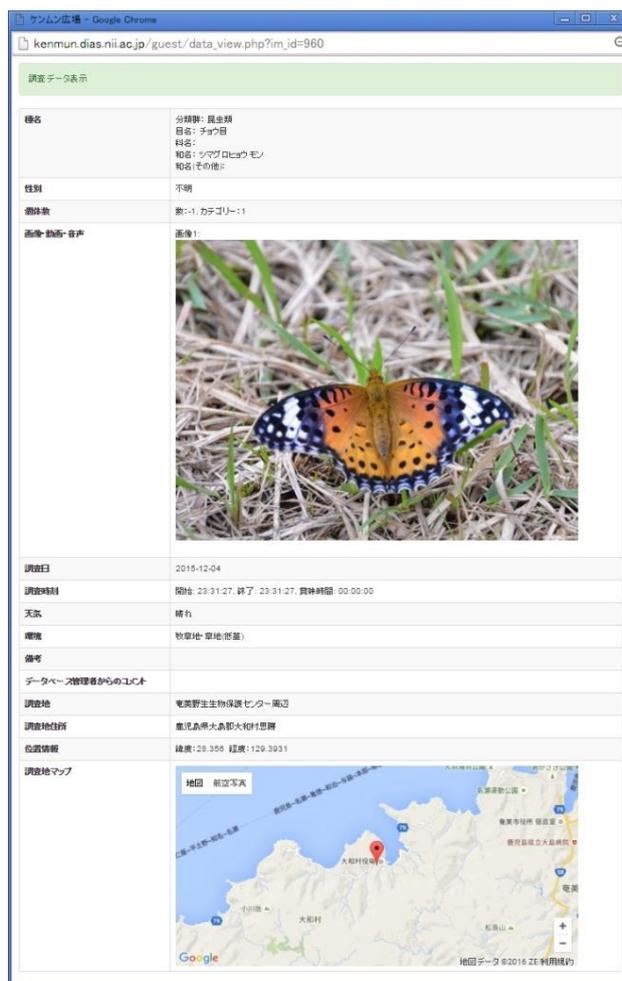
(b) Stereographic View

図(2)-12 パノラマ環境動画の閲覧ツール。

図(2)-13に当該閲覧ツールにおける、パノラマ環境動画とアノテーションとの統合例を示す。図(2)-13(a)下方では、「ツマグロヒョウモン」と「クロマダラソテツシジミ」という複数語がアノテーションとして登録されていることを確認した。また、アノテーションをキーワードとして、データベースを検索し、データ検索結果のサムネイル画像が表示されていることも確認した。なお、このデータ検索においてデータベースから複数データが検索された場合は、その個数分のデータが表示される。また、画像だけでなく音声等にも対応している。これら検索されたデータについては、図(2)-13(b)のようにデータ詳細を表示することが可能である。



(a) アノテーション付加



(b) アノテーションからのデータ検索・表示

図(2)-13 パノラマ環境動画とアノテーションとの統合。

(6) スマートフォン版データアップロードアプリケーションの開発

開発したシステムを用いて機能検証を行った。スマートフォンで記録した画像、動画、音声データが調査地の位置情報、センサー情報と共にスマートフォンアプリ上で記録できている事を確認し、スマートフォンアプリから送信したデータがサーバ側データベースに登録されていることを確認した。

スマートフォンアプリのデータ例



サーバ内データベースに保存されたデータ例

im_id	im_oid	im_uid	im_date	im_time	im_weather	im_wind	im_env1	im_sp1_jap	im_sex	im_action	im_lat	im_lon
1012	1	4	2015-02-27	13:15:00	快晴	静穏	環境1	種1	女性	飛翔	28	129
1013	2	4	2015-02-27	13:13:50	快晴	静穏	環境1	種1	女性	飛翔	35.58775313	139.59044896
1014	1	4	2015-02-27	15:18:00	快晴	静穏	環境1	種1	女性	飛翔	28.366667	129.5
1015	1	4	2015-02-27	16:16:00	快晴	静穏	環境1	種1	女性	飛翔	28	129
1016	2	4	2015-02-27	16:11:43	快晴	静穏	環境1	種1	女性	飛翔	35.58768668	139.59042867
1017	2	2	2015-02-21	11:04:04	快晴	静穏	環境2	種6	男性	摂食(吸 害)	28.31714326	129.35197607
1018	3	2	2015-02-21	10:24:15	快晴	静穏	環境2	種6	男性	静止	28.31714326	129.35197607

図(2)-14 クライアント側(左)とサーバ側(右)における調査票データの保存例。

本システムはモニタリング調査のデータ収集にスマートフォンを利活用するモデルとして、実現可能性を認める。スマートフォンの高性能化とストレージの大容量化により、スマートフォンの標準機能のみでカメラ、ビデオ、ボイスレコーダーに相当する記録処理が可能であり、位置情報やセンサー情報が取得可能であることを確認した。スマートフォンの可搬性は、モニタリング調査のような野外活動における記録行為に有効であり、用途も増えることが期待できる。実運用にあたっては、スマートフォンで利用できる機能や処理精度は端末の仕様に依存する事が多く、制約事項への対応は今後の課題である。通信面では、データのサーバ送信はユーザの判断に依存する為、快適な通信環境を保証することが課題である。

(7) スマートフォンアプリケーションを利用した参加型モニタリングの開始

1) 市民参加型生物モニタリングのためのスマートフォンアプリケーション

図(2)-14、15のように、スマートフォンから送信したデータがサーバに正常に保存されることを確認した。

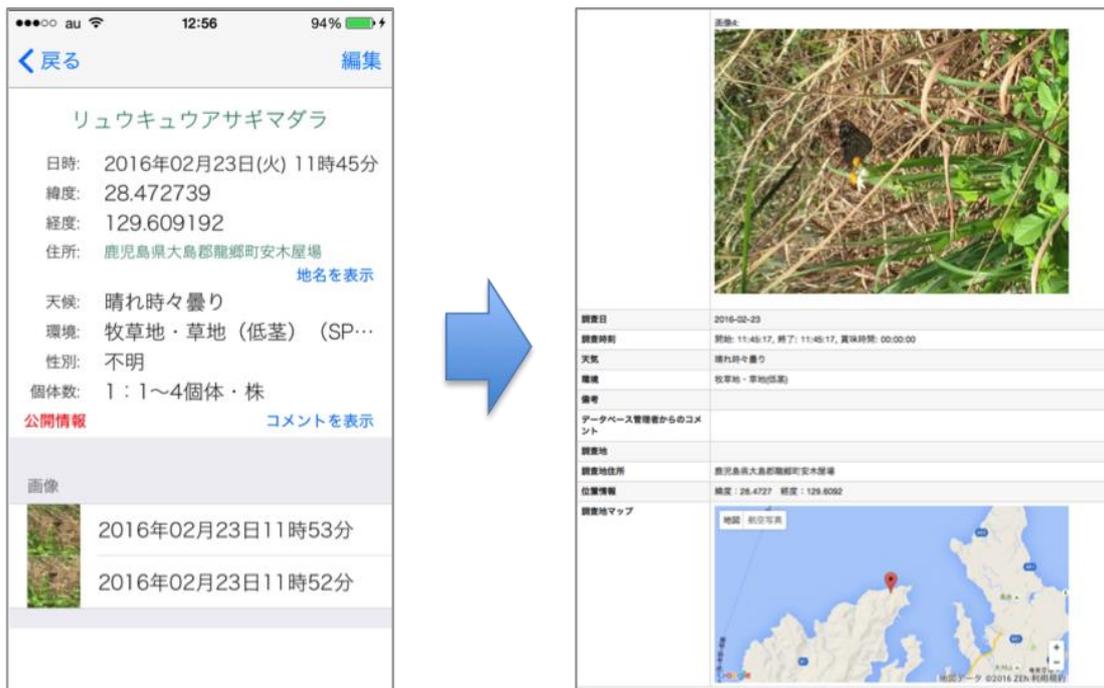
スマートフォンアプリケーションを公開して市民参加型モニタリングを開始したが、スマートフォンアプリケーションの現在までの利用状況は、Android版インストール数は15台、iPhone版は11台、登録ユーザ数は11名である。

2) アマミノクロウサギ糞塊情報収集スマートフォンアプリケーション

スマートフォンから送信したデータがサーバ側に正常に保存されることを確認した。奄美マングースバスターズ内で試用中であり、今後も必要に応じて改修を行う。

3) ネコ情報収集スマートフォンアプリケーション

スマートフォンから送信したデータがサーバ側に正常に保存されることを確認した。アプリケーション改良のため、関係者内で試用中である。課題としては、同一個体の識別、ネコの状態の詳細な入力項目の検討、ネコは動作が早く、車内からの目撃も多いため、即時の撮影や位置情報の記録に対応すること等があげられる。



図(2)-15 スマートフォン側(左)とサーバ側(右)における調査票の表示例。

(8) 生物データの投入

サブテーマ(2)では、ドローンを用いた地表面の画像・動画を取得した。図(2)-16に、ドローンから撮影した森林域の画像を示す。これは、ニホンミツバチの巣の上空に飛ばし、地上から高度60mで森林域の動画を撮影して切り取った画像である。解像度は、3,840×2,160画素である。タンカン果樹園やスダジイ、リュウキュウマツ等が写っていることが見て取れる。この画像および動画は、ニホンミツバチと周辺植生との関係性を解析するのに役立つため、サブテーマ(1)に提供している。



図(2)-16 ドローンを用いた森林域画像。

自動撮影カメラを用いてカメラ前を横切る物体の画像・動画を撮影した。自動撮影カメラは、フォレストポリスの獣道に1箇所(地点A)、遊歩道に1箇所(地点B)、フォレストポリスから湯湾岳の道路に2箇所(地点C, D)の計4箇所に設置した。画像は全体で約5,000枚、動画は約500枚撮影し、合計サイズは約55GBであった。生物の同定が可能なデータは約100枚であった。図(2)-17に自動撮影カメラで撮影された画像を示す。地点Aでは、広い獣道であったためか、大型の生物であるリュウキュウイノシシが多く撮影された。また、115年ぶりに名瀬測候所で雪が観測されたときに、図(2)-17(b)のように薄く雪の積もった山道が撮影された。地点Cでは、リュウキュウイノシシ、ルリカケス、アマミノクロウサギ、ネコが撮影された。図(2)-17(c)中段左側のように、アマミノクロウサギは他の生物種よりも暗く写る傾向があったため、それがアマミノクロウサギの特性なのか、当該カメラの特性との関係をより詳細に分析する必要があると考えられる。また、アマミノクロウサギが観測される地点で図(2)-17(d)のようにネコが観測されることから、アマミノクロウサギへの影響が懸念される。

図(2)-18に全方位カメラを用いた対象フィールド周辺のパノラマ環境動画を示す。本年度は、フォレストポリスの広場で、合計約6時間の撮影を行った。オリジナルのパノラマ動画は8,000×4,000画素である。周辺の植物や樹木を動画の背景として、トンボ類、ツマグロヒョウモンやイシガケチョウのチョウ類等、昆虫の動きを撮影することができた。



(a) リュウキュウイノシシ(地点A)



(b) 積雪(地点D、2016年1月24日)



(c) アマミノクロウサギ(地点C)



(d) ネコ(地点C)

図(2)-17 自動撮影カメラで撮影した画像。



図(2)-18 全方位カメラで撮影した動画。

表(2)-4に、奄美大島の生物多様性ワークベンチシステムに投入したデータを示す。

本年度は、研究者であるサブテーマ(1)が所有するデータとして、樹洞データ、鳥の音声データ、ニホンミツバチの動画を投入した。サブテーマ(2)が所有するデータとして、ドローンを用いた地表面の画像や動画、自動撮影カメラによる画像や動画を投入した。市民参加型プログラムにおいてスマートフォンアプリケーションによって調査データ(画像・音声・動画の生物データやシマ遺産データ)が投入された。現在の合計容量は、約5.8TBであり、前年度よりも42GB増加した。また、データ件数の合計は、約3.6万件であり、前年度よりも約1.9万件増加した。これにより、データを蓄積している主体からデータを収集し、参加型モニタリングからデータを収集することで、データベースへのデータ投入量を増大させることができた。本年度のデータ投入量は飛躍的な増大とはならなかったが、実運用の際には、市民参加型モニタリングにおいて今後自然に興味を持ちそうなグループを発掘し参加者コミュニティを構築しデータ入力研修会を開催して参加者を増加させることで、データ投入量の飛躍的な増大を実現できると考えられる。

表(2)-4 投入データ(2017年2月現在)

データ名	提供元	メディアの種類	件数 ()は前年比	サイズ ()は前年比
植生データ	サブテーマ(1)	テキスト	7,760 (0)	10MB (0MB)
環境画像(パノラマ)	サブテーマ(1)	画像	153 (0)	364MB (0MB)
樹洞カメラデータ	サブテーマ(1)	画像	413 (+393)	1.8GB (+0.9GB)
鳥の音声データ	サブテーマ(1)	音声	243 (+83)	313GB (+8GB)
ニホンミツバチの画像・動画	サブテーマ(1)	画像・動画	115 (+10)	203GB (+2GB)
その他の生物データ(含むトンボデータ)	サブテーマ(1)	画像、Excel形式	380 (+270)	1GB (+15MB)
ドローン	サブテーマ(2)	画像・動画	806 (+786)	27GB (+7GB)
自動撮影カメラ	サブテーマ(2)	画像・動画	24,062 (+16,827)	75GB (+17GB)
環境動画(パノラマ)	サブテーマ(2)	動画	50 (0)	5TB (0TB)
シマ遺産データ	故 中山清美先生	テキスト、Word形式、画像、PDF	2,212 (0)	193GB (0GB)
マンゲース捕獲データ	環境省奄美野生生物保護センター	Excel形式	72 (0)	<1MB (0MB)
参加型モニタリング(生物、シマ遺産)	サブテーマ(2)	画像、音声、動画	429 (+252)	9GB (+7GB)

(9) 生物多様性ワークベンチWebサイトの利用に関するコメントの収集

奄美大島の生物多様性ワークベンチWebサイトについて、ユーザに対してアンケートを実施し、システム利用に関するコメントを収集した。アンケートは6名のユーザから回答が得られた。表(2)-5に結果を示す。なお、各質問についてユーザは点数(5:よい、4:ややよい、3:ふつう、2:ややわるい、1:わるい)で記入するが、評価点平均は回答の点数を平均したものである。どの質問においても4点以上であり、サイト全体として高い評価が得られていることわかった。各メニューで有益なコメントが得られた。

表(2)-5 アンケート結果。

1. メニュー「ケンムン広場について」について	評価点平均
説明は読みやすく表示されていますか	4.5
コメント：	
1.1 私のパソコンでは、7行目の途中で改行されて表示されます	
1.2 9行目だけです・ます調でなくなっています	
1.3 私のパソコンでは、下から4行目「広場への入り方はこちら」でリンクができません	
1.4 敬体と常体が混在しているので、統一した方がよいかもしれません	
2. メニュー「最新の調査情報」について	評価点平均
項目は正しく表示されていますか	4.8
内容は理解しやすいですか	4.5
表示する件数は5件で適切ですか	4.3
コメント：	
2.1 スクロールするとケンムンの腕が動くのがとても可愛いです。表示件数は3件くらいの方がニュース等が目にとまりやすいのではないかと思います。	
2.2 各情報の一番上に、種名があるとよりわかりやすいと思います	
2.3 背景に合わせてフォントをもっとくだけた感じにしてもよいのでは	
3. メニュー「データ検索」について	評価点平均
「リストから探す」は正しく機能していますか	4.7
「リストから探す」における結果表示のページデザインに満足していますか	4.3
「リストから探す」におけるデータ詳細ページの項目は正しく表示されていますか	4.7
「リストから探す」におけるデータ詳細のページデザインに満足していますか	4.5
「地図から探す」は正しく機能していますか	5
「地図から探す」における結果表示のページデザインに満足していますか	4.7
「地図から探す」におけるデータ詳細ページの項目は正しく表示されていますか	4.7
「地図から探す」におけるデータ詳細のページデザインに満足していますか	4.5
「画像から探す」は正しく機能していますか	4.5
「画像から探す」における結果表示のページデザインに満足していますか	4.5
「画像から探す」におけるデータ詳細ページの項目は正しく表示されていますか	4.8
「画像から探す」におけるデータ詳細のページデザインに満足していますか	4.8
「植生から探す」は正しく機能していますか	4.8
「植生から探す」におけるデータ詳細のページデザインに満足していますか	4.5
コメント：	
3.1 稀に画像一覧のうちいくつかの画像が表示されないことがあります（ネット環境の問題？）	
3.2 なぜか2015年の植物3件（ホンゴウソウとアメリカハマグルマ）の画像が表示されませんでした	
3.3 画像から探す の写真の上下にスペースが入るとより見やすいと思います	
3.4 記録した年を指定せずに検索できるとより便利だと思います	
3.5 各情報の一番上に、種名があるとよりわかりやすいと思います	
3.6 データ詳細ページもフォントをやや大きく、くだけたデザインにしてもよいかもしれません	
3.7（自分の環境では）「リストから探す」データ詳細ページへのリンクが黒文字でリンクの有無がわかりにくい気がします	
3.8 「地図から探す」の赤枠は赤枠ごと（サイズを保ったまま）動かさないのでしょいか	
4. メニュー「お知らせ」について	評価点平均
内容は読みやすいですか	4.8
コメント：	
4.1 もう少し上に位置していても良いのではないかと思います。	
5. ウェブサイト全体について	評価点平均
構成(メニューやコンテンツの配置)は適切だと思いますか	4.8
コメント：	
5.1 せっかくなのでキャラクターをもっと使ってもよいのではと感じました。（例えば上部のメニューバーのアイコンのとなりに背景として入れるとか）	
6. 「データ品質管理ツール」について	評価点平均
ツールは正しく機能していますか	4
ツールにおける項目の配置に満足していますか	5
コメント：	
特になし	

(10) 蓄積したデータを用いた処理ツール・視覚化ツールの検討

蓄積したデータを利用したデータ処理ツールやデータ視覚化ツールについてニーズのヒアリングを行った。開発するツールを検討した結果が以下の通りである。

研究者(サブテーマ(1))

- ・トンボの調査地(池)毎に、池の写真、確認種数を整理して表示する機能(位置非公開)
- ・ニホンミツバチの調査において、ドローンを用いた巣周辺の植生モザイク画像、巣の様子を示す画像・動画等を、統合して表示する機能
- ・樹洞がある木に関して、位置・画像・樹種・樹洞サイズ・胸高直径をデータベース化して公開する機能

行政(奄美野生生物保護センター)

- ・マングース捕獲地点およびマングース捕獲忌地点をマップ表示・時系列表示する機能

専門家(シマ遺産に詳しい現地専門家)

- ・ドローンによって撮影したシマ遺産(例：磯(海岸)、ソテツ群生地)の画像を公開する機能
- ・シマ遺産情報を整理して公開する機能

奄美大島の生物多様性ワークベンチWebサイトについて、ユーザのシステム利用に関するコメント表(2)-1に対して、表(2)-6に示すようにページ表示方法等の改善をそれぞれ行い、正常に動作することを確認した。上記の改善は、当該ワークベンチWebサイトを利用し易くするためのものであり、実運用に向けた作業の一部ともいえる。

表(2)-6 システム利用のコメントに対応した改善

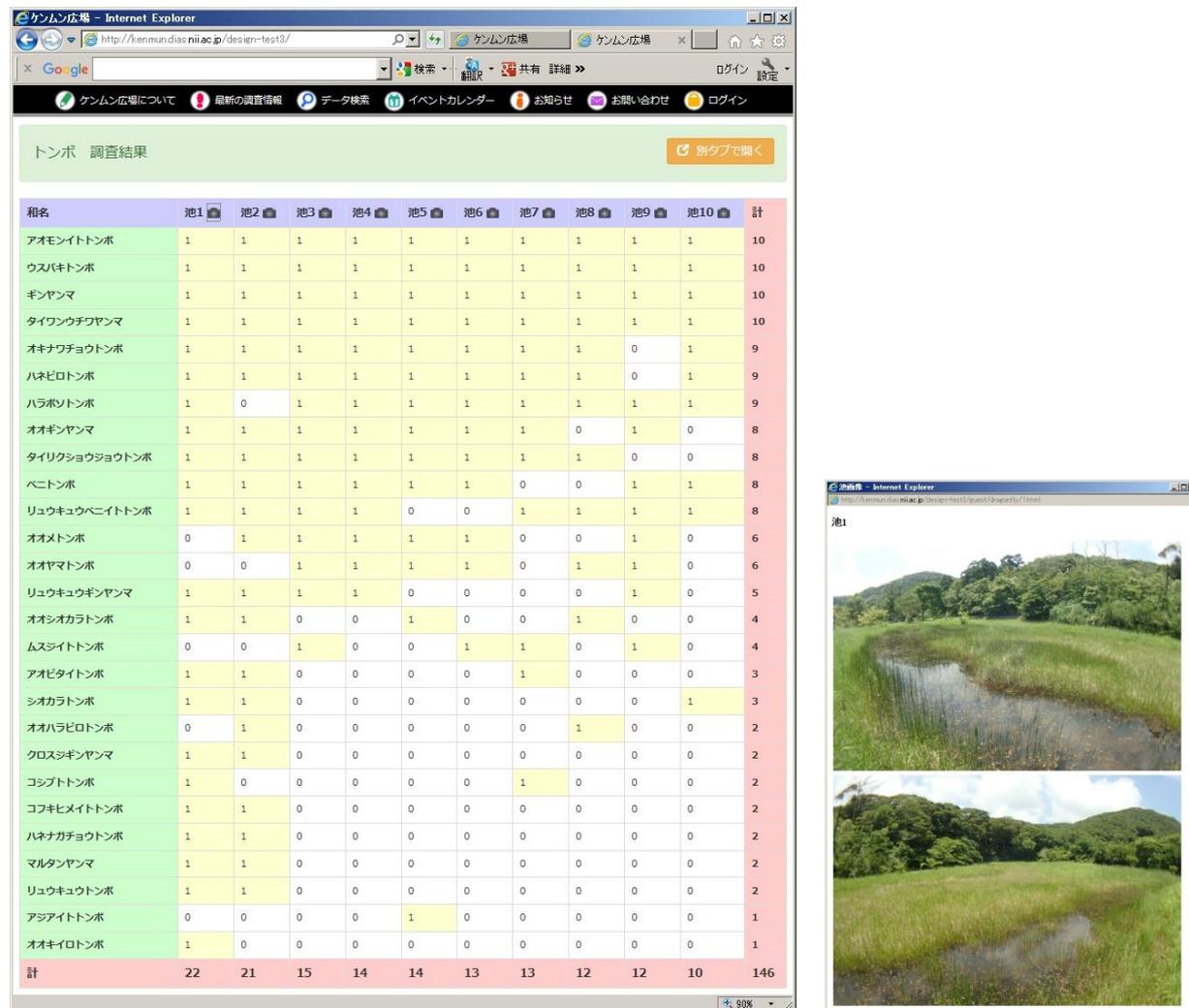
1. メニュー「ケンムン広場について」について
1.1 途中で改行されないように修正した。
1.2 文章をです・ます調に統一した。
1.3 現状のページデザインと合致しないため、「広場への入り方はこちら」を削除した。
1.4 文章をです・ます調に統一した。
2. メニュー「最新の調査情報」について
2.1 表示件数は3件くらいの方がページがコンパクトになりニュースが目にとまりやすいが、Webサイトがアクティブであることを優先してアピールするため、件数を5件から4件に変更した。
2.2 各情報の一番上に、種名を配置するよう表示を改善した。
3. メニュー「データ検索」について
3.1 スマートフォンからの画像アップロードが途中で失敗したため、サーバ上で画像ファイルが保存されなかったのが原因と考えられる。したがって、スマートフォンアプリケーションのデータアップロード機能においてアップロード完了を確認するプロセスを挿入し改善を行った。
3.2 3.1と同様の改善を行った。
3.3 各画像の縁に白スペースを作ることで、画像を見やすく改善した。
3.4 データ詳細情報の一番上に、種名を配置するよう表示を改善した。

ニーズによる各種ツールの開発・実装について、表(2)-2の方法に基づいて実施した。

・トンボ調査データ表示

トンボ調査データをデータベースから検索し、図(2)-19左のように「トンボの和名」対「調査地(池)」の表形式で表示するようにした。表を見易くするため、和名を緑地、池を青地とした。また、存在確認の有無について見易くするため、存在確認の有を「1」で黄色地、無を「0」で白

地とした。調査地のカメラアイコンをクリックすれば、ポップアップ表示によって図(2)-19右のように池の環境画像を表示するようにした。本表示によって、池の状態を知ることができるほか、保全上重要なホットスポットを特定することが可能になると考えられる。



池名	池1	池2	池3	池4	池5	池6	池7	池8	池9	池10	計
アオモンイトンボ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
ウスバキトンボ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
ギンヤンマ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
タイワンウチワヤンマ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
オキナワチョウトンボ	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	9
ハネヒロトンボ	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	9
ハラボソトンボ	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	9
オオギンヤンマ	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	8
タイリクショウジョウトンボ	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	8
ベニトンボ	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	8
リュウキュウベニイトンボ	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	8
オオメトンボ	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	6
オオヤマトンボ	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	6
リュウキュウギンヤンマ	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	5
オオシオカラトンボ	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	4
ムスジイトンボ	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	4
アオビタイトンボ	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	3
シオカラトンボ	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	3
オオハラヒロトンボ	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	2
クロスジギンヤンマ	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
コサプトンボ	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2
コフキヒメイトンボ	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
ハネナガチョウトンボ	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
マルタンヤンマ	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
リュウキュウトンボ	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
アジアイトンボ	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
オオキイロトンボ	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
計	22	21	15	14	14	13	13	12	12	10	146

図(2)-19 トンボ調査データ表示

・ニホンミツバチ調査データ表示

ニホンミツバチの調査データ表示について、ドローンによって撮影した複数の画像からオルソモザイク画像を作成してサーバにアーカイブし、図(2)-20(a)のように地図上で撮影画像を閲覧できるようにした。マーカーをクリックすると、ニホンミツバチの「8の字ダンス」データ(時刻、ダンス時間、ダンス角度、太陽高度、距離)を表示できるようにした。図(2)-20(a)の巣箱のマーカーをクリックすると、図(2)-20(b)のように巣箱情報を統合して表示できるようにした。また、巣箱情報は図(2)-20(c)のように、巣箱の画像・動画を含む詳細情報も閲覧できるようにした。本表示によって、ニホンミツバチの「8の字ダンス」と利用植物との関係を解析することが可能になると考えられる。



(a) ドローンによる撮影画像 (700m×1200m)



(b) 巣箱情報の表示



(c) 巣箱の詳細情報

図(2)-20 ニホンミツバチ調査データ表示

・ 樹洞調査データ表示

樹洞調査データをデータベースから検索し、図(2)-21左のように樹洞番号に対して画像、調査地、樹種、胸高直径、地面から樹洞入口下端までの長さ、樹洞入口の縦幅、樹洞入口の横幅、調査年の表形式で表示できるようにした。カメラアイコンをクリックすれば、ポップアップ表示によって図(2)-21右のように、樹洞の画像を表示するようにした。以上の表示によって、奄美大島

の樹洞の特徴を調べられるほか、樹洞データ利用促進に繋がると考えられる。

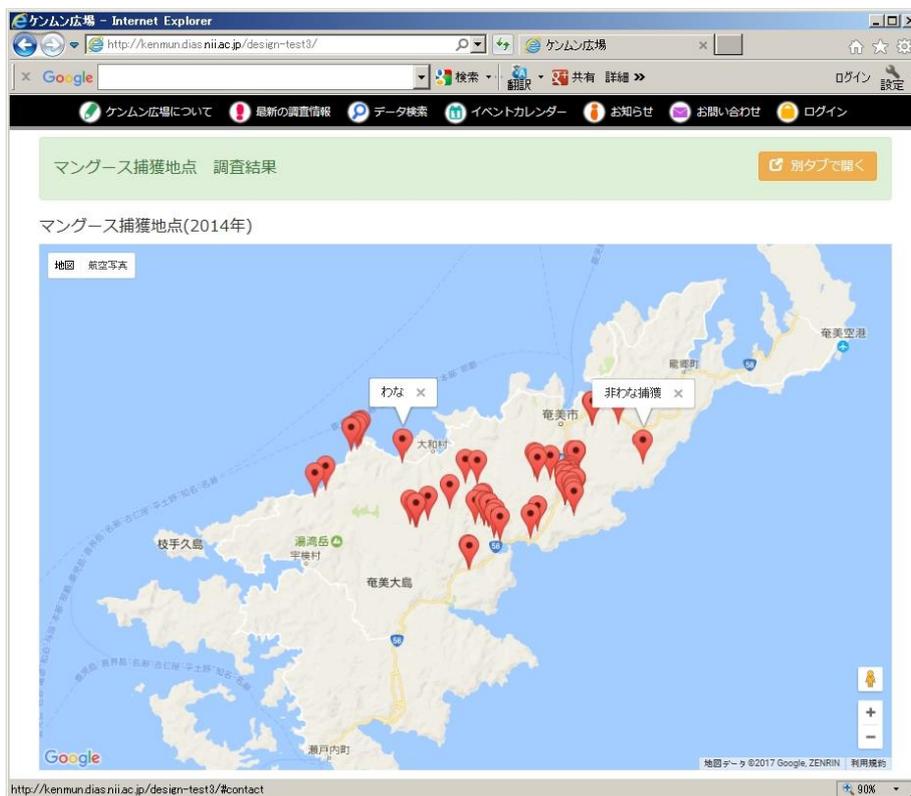
樹洞番号	画像	調査地	樹種	幹高直径 (cm)	地面から樹洞入口 下流までの長さ(m)	樹洞入口の 縦幅(cm)	樹洞入口の 横幅(cm)	調査年
1		金作原西電市有林	スタジイ	22	0	20	30	2014
2		金作原国有林	イジユ	38	6	10	15	2014
3		金作原国有林	イジユ	38	4	70	4	2014
4		金作原国有林	イスノキ	47	0.3	15	5	2014
5		金作原国有林	スタジイ	32	1.5	5	5	2014
6		金作原国有林	スタジイ	28	1.2	15	7	2014
7		金作原国有林	スタジイ	43	2	50	5	2014
8		金作原国有林	スタジイ	43	0	30	10	2014
9		金作原国有林	スタジイ	43	0	20	20	2014
10		金作原国有林	スタジイ	43	0	20	20	2014
11		金作原国有林	スタジイ	41	5	10	10	2014
12		金作原国有林	スタジイ	41	2	70	50	2014
13		金作原国有林	スタジイ	46	4	4	4	2014
14		金作原国有林	スタジイ	46	6	20	10	2014
15		金作原国有林	スタジイ	46	0	70	30	2014
16		金作原国有林	スタジイ	46	0	30	10	2014
17		金作原国有林	スタジイ	44	7	40	20	2014
18		金作原国有林	スタジイ	44	4	50	20	2014
19		金作原国有林	スタジイ	36	0	20	20	2014
20		金作原国有林	スタジイ	36	0.3	20	5	2014
21		金作原国有林	スタジイ	36	0.5	10	5	2014
22		金作原国有林	スタジイ	36	0.7	5	3	2014
23		金作原国有林	スタジイ	53	5	50	15	2014
24		金作原国有林	スタジイ	47	0	25	20	2014
25		金作原国有林	スタジイ	47	1	40	15	2014
26		金作原国有林	スタジイ	47	0	50	20	2014



図(2)-21 樹洞調査データ表示

- ・ マングース捕獲データ表示

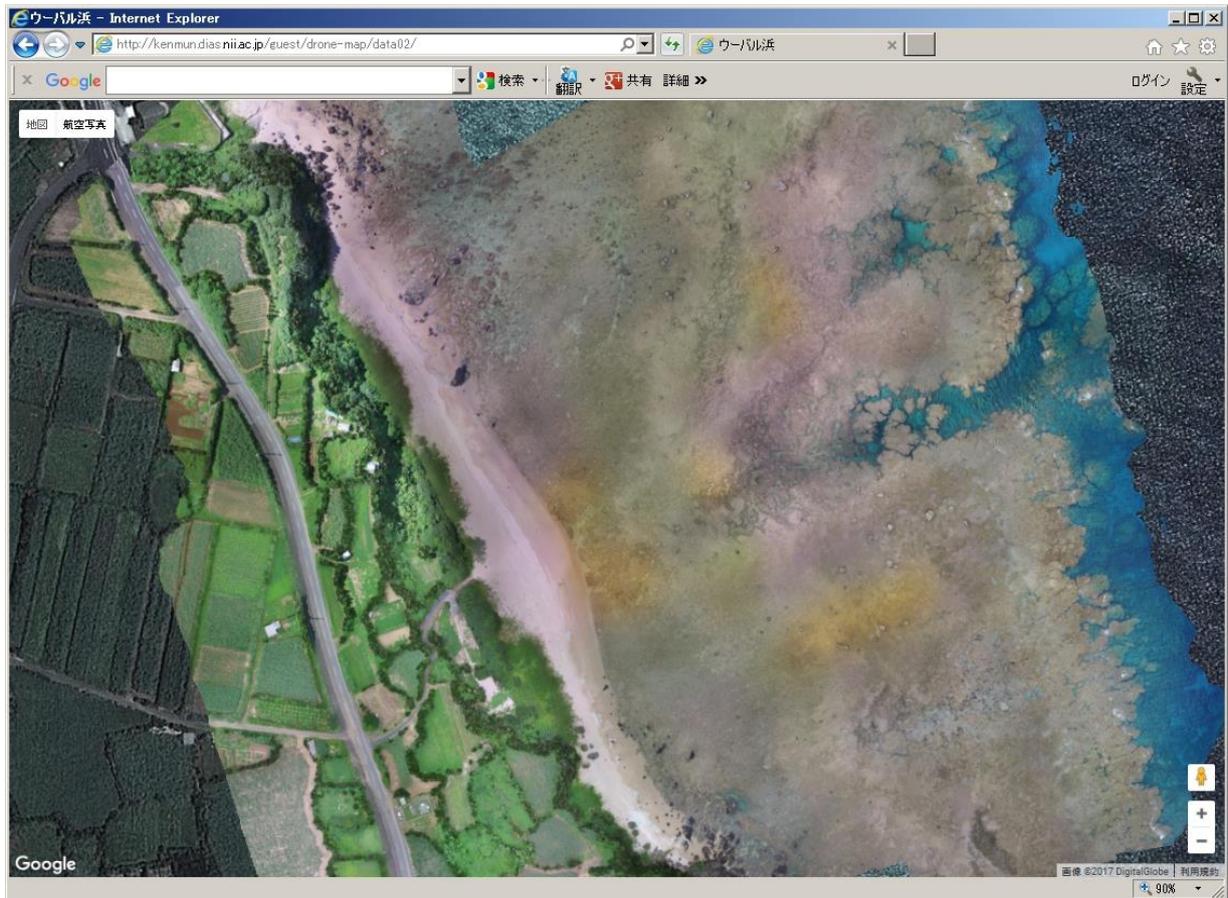
マングース捕獲データをデータベースから検索し、図(2)-22のように地図上に捕獲位置をマーカーでプロットして表示できるようにした。また、各マーカーをクリックすると、捕獲方法についてポップアップ表示できるようにした。提供いただいた捕獲データは2014年のみであったが、各年のデータをデータベースに投入すれば時系列表示も可能であり、マングースの個体数や分布の変化を理解しやすくなると考えられる。



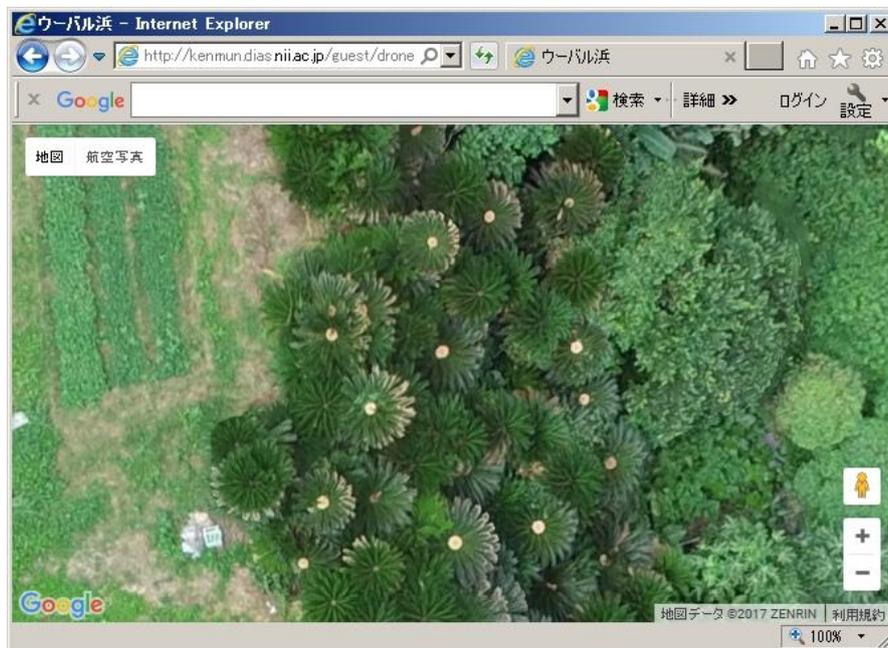
図(2)-22 マングース捕獲データ表示

- ・ドローンによるシマ遺産画像の表示

ドローンを用いてウーバル浜(奄美市笠利町大字笠利)のソテツ群生地から珊瑚礁までの画像を撮影し、複数の画像からオルソモザイク画像を作成しサーバにアーカイブした。そして、図(2)-23(a)のように、地図上で撮影画像を閲覧できるようにした。このような画像を蓄積していくことで、奄美大島の文化と密接な関係にあるソテツの利用方法や分布の変化、珊瑚礁の経年変化等を捉えることが可能になると考えられる。また、地図を拡大することによって図(2)-23(b)のように撮影画像を拡大することも可能であり、ソテツは単純に群生しているだけでなく、畑の生垣として利用されていることも見て取れた。



(a) ドローンによる浜の撮影画像



(b) ソテツ群生地の様子

図(2)-23 ドローンによるシマ遺産画像の表示

・シマ遺産情報表示

集落をキーワードにシマ遺産データをデータベースから検索し、図(2)-24左のように検索結果を地図上にマーカーでプロットして表示した。また、検索されたデータを見易くするため、データをリスト形式で地図の下に表示した。地図上の各マーカーはクリックするとポップアップ表示によって、図(2)-24右のようにデータの詳細情報を表示できるようにした。この表示ツールによって、集落毎のシマ遺産の分布や特徴を手軽に理解できるようになった。

遺産	大分類	中分類	小分類	場所	画像	ベスト8
比治の石(三島型)	不動産遺産	空間要素	生活・祭祀に關わる場	比治の石(三島型)	○	○
ハキヲ立神(赤木名立神)	不動産遺産	空間要素	信仰に關わる場	ハキヲ立神(赤木名立神)	○	○
サンゴの石塚	不動産遺産	実体要素	建築物・工作物	サンゴの石塚	○	○
舟倉大聖地(渡民聖地)	不動産遺産	実体要素	建築物・工作物	舟倉大聖地(渡民聖地)	×	○
穴ノ尾電線跡	不動産遺産	実体要素	遺跡	穴ノ尾電線跡	○	○
新島神社	不動産遺産	空間要素	信仰に關わる場	新島神社	○	○

図(2)-24 シマ遺産情報表示

(11) スマートフォンアプリケーションの改修および利用促進

スマートフォンアプリケーションの改修では、「どこでもケンンムン調査」をもとにトンボの情報収集に特化したアプリケーションを開発した。図(2)-25に本アプリケーションの画面キャプチャを示す。

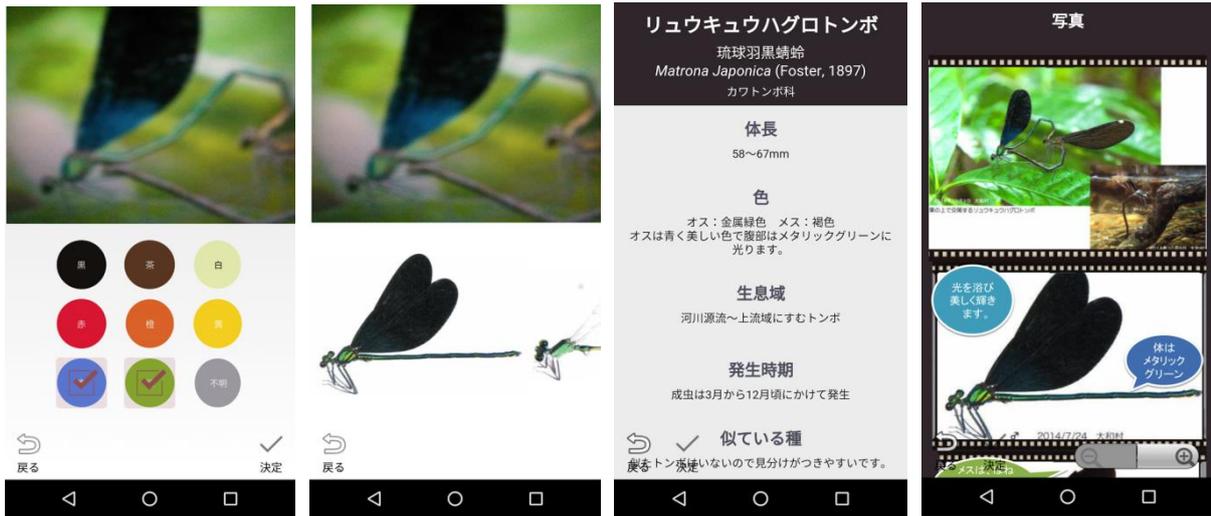
また、本アプリケーションは「奄美のとんぼ」としてAndroid版とiPhone版をGoogle PlayとApp Storeに公開した。

* 「奄美のとんぼ」の公開先サイト

Google Play :

<https://play.google.com/store/apps/details?id=jp.ac.utokyo.iis.kenmunlite&hl=ja>

App Store : <https://itunes.apple.com/jp/app/yan-meinotonbo/id1093047782?mt=8>



図(2)-25 トンボ情報収集アプリケーション

スマートフォンアプリケーション「どこでもケンムン調査」および「奄美のトンぼ」を利用する市民参加型生物モニタリングの参加者を募るため、観光客や地元の住民を対象とした宣伝活動を行った。具体的には、公共施設の3ヶ所、観光地1ヶ所、宿泊施設5ヶ所に配布した。図(2)-26に配布先とチラシに示す。奄美大島ではモニタリング参加者が多くなく、宣伝の効果はあまり見られなかった。市民参加型生物モニタリングの運用にあたり、参加者を確保するための調査意欲を維持する動機付けや、広く活動を普及させるためのネットワーク構築が今後の課題と考えられる。

	住所	名称
1	奄美市	AiAi広場
2	奄美市笠利町	奄美空港
3	奄美市笠利町	ばしゃ山
4	奄美市名瀬	奄美観光協会
5	奄美市名瀬	奄美市大浜海浜公園
6	奄美市名瀬	ウエストコート
7	奄美市名瀬	ニュー奄美
8	奄美市名瀬	サンブラザ
9	奄美市名瀬	セントラルホテル



図(2)-26 配布先一覧と配布したチラシ

2015年度と2016年度のスマートフォンアプリケーションの利用状況として、アプリケーション（「どこでもケンムン調査」および「奄美のトンボ」）のインストールユーザ数、報告者数、報告件数（調査票数）を表(2)-7に示す。

インストールユーザ数はiPhone版とAndroid版を合わせて、2015年は32名、2016年は52名であった。2016年の52名の中で32名は「奄美のトンボ」のインストールユーザ数である。アプリケーションをインストールしたユーザの中で、報告者数は2015年では9名、2016年では10名であった。2016年の10名のうち、「奄美のトンボ」を利用したのは1名であった。「奄美のトンボ」のインストール数が多いにも関わらず利用されなかったのは、トンボ以外の生物も調査することが多く、その場合は「どこでもケンムン調査」を利用することになり、トンボも「どこでもケンムン調査」で調査票を作成できることが原因であると考えられる。

2015年度のスマートフォンからの報告件数は177件、2016年は252件であった。252件の中で9件は「奄美のトンボ」から報告された。本年度はデータベースへの調査データ投入量を増大させることに成功し、市民参加型によるスマートフォンアプリケーションを用いた生物データ収集が実現可能であることを示せたが、飛躍的なデータ投入量増大には至らなかった。これは、広く活動を普及させるためのコミュニティ構築が十分ではなかったことが考えられ、実運用時の課題が明らかになった。

表(2)-7 スマートフォンアプリケーションの利用状況

	2015年度	2016年度
インストールユーザ数	32	52
報告者数	9	10
報告件数	177	252

（1 2）奄美大島ワークベンチ実運用への移行準備

奄美大島ワークベンチをプロトタイプから実運用に移行させる作業を進めた結果について、以下で述べる。

- Webサイトの稼働を監視

WebサーバソフトApacheが処理エラーの際に出力するログを定期的にチェックするようにした。

結果として、主なエラーは、データ検索ツールのプログラムにおいて初期化されていない変数が使われていた事象であることがわかった。これについてはプログラムを改善して対処した。

また、調査データの詳細表示において、「ファイルが見つからなかった」というログも見つかった。これは、スマートフォンアプリケーションで画像ファイルをサーバにアップロードした際に何らかの原因で通信が途絶え画像ファイルが壊れた状態になり、画像のサムネイルファイルが作成出来なかったため、データ詳細表示において画像にアクセス出来なかったということがわかった。これについては、スマートフォンアプリケーションにおいて、ファイル送信が完了したことを確認するプログラムを追加してアプリケーションを改善した。

- サイト不具合報告の受付

Webサイトに問い合わせ窓口を設置して不具合報告を受け付けた。

結果として、Webサイトのデータ検索において、年の選択に「2017」がないという報告があった。

年の選択は自動で生成していないのが原因であるが、年が新しくなった際に年の選択を逐次更新することで対処した。上記以外の不具合報告は今のところ受信していない。

・Webサイトデザインの改修

Webサイトのデータ検索の項目において各ツールを従来はタブで区切っていたが、ニーズによってツール群が大幅に増えたため、タブのメニューが横長になり過ぎてしまいページが見難くなる問題があったため、タブ形式から図(2)-27(a)のようにボタン形式(緑地)に変更し、ツールが今後増えた場合でも対処できるように改修した。

また、Webサイト利用者が論文の参考文献で奄美大島ワークベンチWebサイトのデータページを引用する際はURLが必須となるため、図(2)-27(a)のように「別タブで開く」というボタン(オレンジ地)を用意して、各データページが別タブ表示によって図(2)-27(b)上部のアドレスバーのようにURLが表示できるように改修した。

以上のように、Webサイトにおける安定稼働の維持管理、不具合報告の受付と報告に対応した改修、Webサイトのページデザイン改修等を行ったことで、奄美大島ワークベンチをプロトタイプから実運用に移行させる準備を完了した。

ケンムン広場 - Internet Explorer
http://kenmun.dias.nii.ac.jp/design-test3/

ケンムン広場について 最新の調査情報 データ検索 イベントカレンダー お知らせ お問い合わせ ログイン

データけんさく

リストから探す 地図から探す 画像から探す 植生を探す 音声データ 空撮画像
マンガース捕獲地点 シマ(集落)遺産 トンボ調査 樹洞調査 ニホンミツバチ調査

リストから探す [別タブで開く](#)

分類名 調査日 画像 全て あり なし

検索結果は「19」件でした。

1

調査日	場所	分類群	科名	和名	性別	画像
2016-10-21		不動産遺産	自然物	浜	U	○
2016-10-20		不動産遺産	建築物・工作物	石垣	U	○
2016-10-20		不動産遺産	居住に関わる場	集落	U	○

(a) ページデザイン改修結果

ケンムン広場(リストから探す) - Internet Explorer
http://kenmun.dias.nii.ac.jp/design-test3/guest/view_pub2_list.php?tabopen=true

ケンムン広場

ケンムン広場トップ

リストから探す

分類名 調査日 画像 全て あり なし

検索結果は「19」件でした。

1

調査日	場所	分類群	科名	和名	性別	画像
2016-10-21		不動産遺産	自然物	浜	U	○

(b) 別タブ表示によるURLの表示

図(2)-27 ページデザインの改修

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

生物多様性ワークベンチの構築は、多様な主体が参加する協働管理に有効な情報基盤として機能させるため、データベースに蓄積する多様かつ大量データからユーザが手軽に効率良く必要とする知見を得ることができるようシステムを構築するものである。これはデータ工学におけるデータベースの高度応用に関する研究としての意義をもつものである。本研究では、プロトタイ

プの設計・実装にあたって、サブテーマ（1）の研究に参加する研究者および環境省の現場事務所をはじめとする奄美大島の多様な潜在的ユーザから聞き取り調査で把握したニーズにもとづいてシステムを設計した。さらに、ワークベンチプロトタイプの社会的な価値を確かめるため、市民参加型モニタリングのためのデータ収集スマートフォンアプリケーションを開発して、市民参加型モニタリングプログラムを試行した。

現在、データ工学の分野ではクラウドソーシング関連の研究が急速に発展しつつあるが、長期間継続して多くの人によって大量データを収集することを目的にしたスマートフォンアプリケーションの研究開発は、我々が知る限り本アプリケーション開発が初めてである。このようなアプリケーションがクラウドソーシングにおいて有効に機能し、任意参加者のデータ収集に寄与するには、専門家のデータクレンジングおよび参加者へのフィードバックとスキル向上がかかせない。本研究では端緒的ではあるがそれを実現した。奄美大島のように森林域が通信圏外となる地域においてアプリケーションを利用するにあたって、GPSによる調査位置情報の自動取得に加えて、通信圏内まで情報を保持したのちの発信を可能にするなどの工夫をこらしたが、国立公園などの自然地域におけるデータ収集を市民が気軽に実施できるためには、このような機能は必須である。開発したアプリケーションは、多様な目的にあわせて改変することで広い社会的なニーズに応えるものになりうる汎用性を有しており、応用科学的な価値が高いといえる。

生物多様性情報収集への具体的な寄与をめざした本研究のアプリケーション開発は、今後、クラウドソーシングにおけるワーカー解析（例えば、参加状況変化や作業スキル変化）や、その解析結果を利用したクラウドソーシングにおけるデータ収集システム設計等の研究への将来的な展開が期待できる。一方、保全生態学の分野では、市民参加型モニタリングプログラムの開始により、奄美大島の時空間的に密度の高い大量のモニタリングデータが蓄積されることで、生物多様性評価手法開発の精度を高めることも期待できる。

本研究の情報工学としての成果としては、サブテーマ（1）の研究成果を踏まえて検討した科学的ニーズを満たすツール群を開発し、ワークベンチに実装してシステムを強化したこともあげられる。これは、ワークベンチ上のデータ利用により保全生態学の研究を促すという意味で、新しいタイプの異分野間の協働としても科学的な意義が大きい。特に、ニホンミツバチ調査データ表示ツールは、ニホンミツバチの「8の字ダンス」データとドローンによって撮影したオルソモザイク森林画像を統合して地図上に表示する解析ツールであり、森林画像は5cm前後の解像度を持ちニホンミツバチが行動する範囲をカバーしている。本ツールによって、ニホンミツバチの「8の字ダンス」、花粉採取でわかる利用植物、画像上の植生等が統合された空間解析が可能になり、新たな研究手法としてミツバチの生態解明に大きく寄与することが期待できる。

本研究では、市民参加型モニタリングのためのデータ収集スマートフォンアプリケーションを開発し一般公開し、参加者が本アプリケーションを使用し、データ品質管理を経た高品質なモニタリングデータを蓄積するというプロトタイプ段階での成果をあげることができた。今後の実運用フェーズにおいてデータをさらに蓄積していくことで、奄美大島における生物多様性に関する多様な主体の協働のための情報共有が促され、新たな国立公園の管理に寄与することが期待される。さらにこのワークベンチは、広く、国立公園などの保護区や自然地域での多様な主体の協働になくてはならない情報基盤として活用される可能性をもっている。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

本研究によって開発されたスマートフォンアプリケーションを環境省奄美野生生物保護センターでも活用してもらっており、アマミノクロウサギの糞塊調査やマングース捕獲に資するツールとしての開発・改善が進められている。

<行政が活用することが見込まれる成果>

科学技術の発展において、「情報爆発の時代」として特徴づけられる現代、情報工学の発展はめざましく、当該分野で開発されたさまざまなツールが社会的に果たしている役割はきわめて大きく、それはさらに拡大しつつある。そのような時代にあって、生物多様性の保全や自然再生、国立公園などの自然保護区の管理などにおいて、事業・実践を「情報化」することは他分野にも増して強く求められている。それは事業・実践には多様な主体が参加して科学的に進めることが求められているからである。その情報化の一つのモデルを示したのが、今回、新たな国立公園の設置が計画されている奄美大島においてプロトタイプを試作したワークベンチである。このような情報の収集・蓄積・活用を支援する情報基盤としてのワークベンチは参加型の事業を多く所轄する自然環境行政にとってこそ特に重要な意義を有するものである。森林域等の国立公園化が予定されている奄美大島をモデル地域として取り上げた本研究の成果は、国レベルから基礎自治体レベルの生物多様性にかかわる事業におけるワークベンチ構築にそのまま利用できるデータベース関連ツールやアプリケーションなど多様な要素を含んでおり、社会実装による活用が強くのぞまれる。

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)>

特に記載すべき事項はない。

<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) 山田利明、川本英夫編：エコ・ファンタジー 環境への感度を拡張するために、春風社、69-80 (2015)
- ・ 「第6章 ケンムン広場：生物多様性モニタリング研究における保全生態学と情報学の協働(執筆担当：鷲谷いづみ・安川雅紀・喜連川優)」

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) 安川雅紀、服部純子、松本斉、鷲谷いづみ、喜連川優：情報処理学会第77回全国大会（2015）
「スマートフォンを用いたクラウドソーシングによる生物モニタリングデータ収集アプリケーションのプロトタイプ開発」
- 2) 服部純子、安川雅紀、喜連川優：情報処理学会第78回全国大会（2016）
「生物モニタリングにおける位置情報付与の利便性を向上したスマートフォン・アプリケーションの開発」
- 3) 安川雅紀、喜連川優：第9回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム（DEIM 2017）、E7-2（2017）
「ドローンを用いた生物多様性研究のためのモザイク画像作成に関する検討」

（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) 公開研究発表会「ケンムン広場：奄美の生物多様性」（主催：東京大学「自然保護地域における協働管理のための情報交流システムの開発：奄美大島をモデルとして」研究グループ、後援：環境省那覇自然環境事務所、鹿児島県、奄美群島広域事務組合、2015年2月20日、奄美サンプラザホテル、観客約100名）を開催
- 2) 公開シンポジウム「ケンムン広場：奄美のくらしと生物多様性」（主催：宇検村、日本学術会議環境学委員会自然環境保全再生分科会、中央大学・東京大学「自然保護地域における協働管理のための情報交流システムの開発：奄美大島をモデルとして」研究グループ、後援：環境省那覇自然環境事務所、鹿児島県、奄美群島広域事務組合、2015年11月28日、宇検村元気の出る館、観客約60名）を開催
- 3) 意見交流会「奄美大島の二ホンミツバチーその保全と持続可能な利用のためにー」（主催：中央大学・東京大学「自然保護地域における協働管理のための情報交流システムの開発：奄美大島をモデルとして」研究グループ、2017年2月9日、奄美市AiAiひろば、観客約40名）を開催

（5）マスコミ等への公表・報道等

- 1) 南海日日新聞（2015年2月21日、地方版、8面）
- 2) 奄美新聞（2015年2月21日、地方版、9面）
- 3) 南海日日新聞（2015年11月29日、地方版、9面）
- 4) 奄美新聞（2015年11月29日、地方版、9面）

（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。

Development of an Information Exchange System for Collaborative Management in Nature Reserve Areas: Amami Oshima Island as a Model

Principal Investigator: Izumi WASHITANI

Institution: Chuo University
1-13-27 Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8551, JAPAN
Tel: +81-3-3817-7297
E-mail: washizu.22r@g.chuo-u.ac.jp

Cooperated by: The University of Tokyo & National Institute for Environmental Studies

[Abstract]

Key Words: Biodiversity, Crown size index, Japanese honeybee, Dragonfly, Eel, Lucidophyllous forest, Database, Workbench, Collaboration, Information exchange

"Participation" and "science" are the indispensable elements for adaptive management of nature reserve areas including national parks aiming at biodiversity conservation. Here, we developed an information exchange system composed by biodiversity indicators and an informational workbench to enhance collaboration among managers, scientists and citizens for a new national park area of Amami Oshima Island.

Crown size index calculation and mapping from various images including monochrome aerial photographs were demonstrated to be useful in identifying old-growth forest areas with rich epiphytes and high occurrence of tree hollows suitable to nesting a variety of rare species such as *Garrulus lidthi* and *Diplothrinx legata*. The crown size index can serve as an indicator of forest biodiversity.

Apis serana japonica of Amami Oshima Island, the candidate of biodiversity index in this study, had high conservation value because of its ecological and genetic uniqueness, and depended strongly on forest resources, i.e., tree hollows as nests and flowers as foods. The species provides ecosystem services of pollination of wild and cultivated plants by feral colonies and captive colonies maintained for honey production.

The Odonata species diversity of lotic and lentic habitats were positively affected by surrounding forest cover. Specifically, the river habitats with high species diversity were located within the planned designated national park areas.

The most abundant eel species, *Amguilla marmorata* widely inhabited river reaches from mouth to headwaters though the population density declined when cross-river structures were constructed, suggesting an adequacy of the species as a river environment indicator.

We developed a workbench called "Kenmun Hiroba". The workbench has high-capacity database that is accessible for various participants and can function as

information exchange system. A variety of data including visual and acoustic ones was inputted into the workbench and it reached 5.8 TB. Based on the needs of expected participants in collaborative management, we developed various functions to be useful in management of biodiversity data for managers, scientists and local people, and collaboration in adaptive management of the planned national park. With such applications and functions, we have attempted to test participatory monitoring of biodiversity, and ascertained the usefulness for data collecting tools through crowdsourcing using smart phones.

We have completed the development of a prototype workbench system, which can be used in the collaborative management of Amami Oshima Island being about to the newest national park of Japan. The workbench will also be applicable to other areas with biodiversity importance after required modifications.