

課題名	F-051 脆弱な海洋島をモデルとした外来種の生物多様性への影響とその緩和に関する研究		
課題代表者名	大河内勇（独立行政法人森林総合研究所理事）		
研究期間	平成17－21年度	合計予算額	197,174千円（うち21年度 41,064千円） ※予算額は、間接経費を含む。
研究体制 （１）小笠原諸島における侵略的外来植物の影響メカニズムの解明と、その管理手法に関する研究（首都大学東京） （２）小笠原諸島における侵略的外来動物の影響メカニズムの解明と、その管理戦略に関する研究（独立行政法人森林総合研究所） （３）固有陸産貝類の系統保存に関する研究（東北大学） （４）侵略的外来種グリーンアノールの食害により破壊された昆虫相の回復に関する研究（神奈川県立生命の星・地球博物館） （５）グリーンアノールの生息実態と地域的根絶手法に関する研究（財団法人自然環境研究センター） （６）侵入哺乳類が小型海鳥類の繁殖に与える影響評価（特定非営利活動法人小笠原自然文化研究所）			
研究概要 1. 序（研究背景等） 小笠原諸島を含む太平洋・インド洋の海洋島は、長い歴史と大陸からの隔離によって固有の生態系を発達させた。ガラパゴス諸島などでしばしば例示されるように、これらの海洋島は地球規模の自然遺産であると同時に進化の実験場としての科学的な価値も極めて高い。しかし海洋島の生物は長らく天敵などの脅威にさらされてこなかった上に環境収容力が小さいために、侵入生物による捕食や種内競争の影響を受けやすく、その生態系はきわめて脆弱であるといえる。 小笠原諸島は本土からおおよそ1,000km離れた日本を代表する海洋島である。ここでは木本の70%、維管束植物の40%、陸生貝類の94%が固有種であり、希少性の高い固有種の宝庫である。ところが外来動植物の意図的、非意図的導入によって、近年この固有性が著しく脅かされている。これまで本研究プロジェクトによって、既に絶滅していたと考えられていたいくつかの陸生貝類や昆虫、海鳥の繁殖地が再発見された。しかし一方で複数の島でネズミが陸生貝類や海鳥を捕食し、コロニーの存続に大きな影響を与えていることが明らかとなった。このようなことから、再発見された希少なコロニーをどのように存続させるかという保全手法の開発と、強力な捕食者の根絶手法の開発が同時に急務となるに至っている。既に定着した外来生物は、生態系の中で独自の役割を担い始めていることが予想される。従って外来種の除去のためには生態系相互作用を解明し、除去の順序を含む防除計画の作成が必要である。また早急に除去しなければならない外来生物でも、事業等に関わる状況も含めて、しばしば優先順位をつけなければならない。既に絶滅が危惧される在来種や固有種に対しては飼育などを通じた種の維持技術の開発を行うなど防除以外の代替措置を講じ、科学的かつ実現可能な保全計画を策定すべきである。 小笠原の外来種問題は太平洋・インド洋の海洋島と共通である。従って小笠原で得られる基礎的・生物学的データや、開発される防除手法は他地域にも応用が可能であり、国際的な保全プログラムや条約等への貢献も期待できる。また小笠原の世界遺産登録が具体化している現在では、防除プロジェクトの取り組みが実現への大きな役割を果たすと考える。			
2. 研究目的 小笠原における外来種管理戦略を構築し、国際的な保全プログラムや条約、世界遺産への登録、国内の外来生物法や自然再生法の実行などに貢献することを目的とする。管理戦略構築のために、現況の解明、系統及び遺伝情報の保存手法の開発、外来種による影響の緩和手法の開発、根絶手法の開発を行う。 具体的には、サブテーマごとに以下の6項目を主題とする。（１）モクマオウやギンネム等の外来植物の影響メカニズムの解明とその管理手法の開発。（２）外来種グリーンアノールの送粉系攪乱			

を介した植物相への影響の解明、鳥類による外来植物の拡散状況の解明、外来プラナリアの影響の解明と、各外来種の管理手法の開発。(3) 陸産貝類の遺伝的分化の特殊性と進化的保全単位の解明および系統保存手法の開発。(4) 小笠原版レッドリストの作成及び希少トンボ類やシジミチョウ等の生息地復元による

個体群保全手法の開発、

(5) グリーンアノールの生活史の解明と個体群シミュレーションモデルに基づく管理手法の開発。

(6) 海鳥繁殖地への外来種の影響の評価と、管理手法の構築。

本研究で対象とする生物間相互作用およびそれぞれのサブテーマが担当する範囲は、図1の通りである。

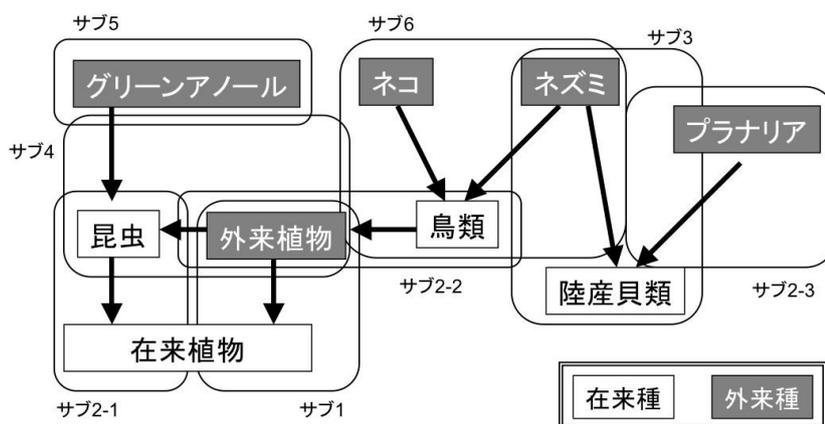


図1. 種間相互作用の模式図と各サブテーマの対象

3. 研究の方法

(1) 小笠原諸島における侵略的外来植物の影響メカニズムの解明と、その管理手法に関する研究
ノヤギ排除後の外来低木種ギンネムの侵入が植生回復に及ぼす影響を評価するために、ノヤギ排除前後の植生の変化、局所的な空間スケールにおけるギンネムの稚樹、実生の分布と、種子供給源からの距離、草本植生の構造との関係、ギンネムが遷移中期樹種の初期の定着に及ぼす影響を明らかにした。

外来木本種モクマオウがリターの堆積を介して在来木本種に及ぼす影響を評価するために、モクマオウ林の林床における在来木本種の定着状況を把握した。また、リターの堆積過程とリターの堆積が在来木本種の初期定着に及ぼす影響を実験的なアプローチから明らかにした。

モクマオウの効果的な駆除手法の確立のために、薬剤によるモクマオウの致死量を推定した。また、モクマオウ伐採後の植生変化を明らかにした。さらに、モクマオウを駆除しないで在来植生へ置換する手法を検討するために、モクマオウ林において在来木本種の移植実生の定着を試みた。

有害植物リスク評価 (WRA) システムが小笠原諸島の外来植物に適用可能かどうかを検討するために、小笠原諸島に過去に導入された外来植物130種に対するWRAの評価と専門家による評価を比較した。また、有効回答数の変化が評価の精度に及ぼす影響を明らかにした。

遺伝的変異の把握、形態的差異の比較により、センダンにおける地域間での分化を調べた。また、小笠原の自生/植栽個体間での生殖的隔離の有無を調べるため、開花期調査と人工授粉実験を行った。さらに、父島において実生の分布とその由来を明らかにした。

(2) 小笠原諸島における侵略的外来動物の影響メカニズムの解明と、その管理戦略に関する研究
1) 外来種グリーンアノールによる送粉系攪乱

グリーンアノールは、訪花昆虫を捕食することにより送粉系を攪乱し、間接的に植物の繁殖に影響を与えていると考えられる。そこでまず、グリーンアノールが侵入した島における送粉者の生息状況を評価するため、有人島および無人島で訪花昆虫の観察を行った。また、父島の海岸周辺で固有ハナバチ類を探索した。次に、送粉系攪乱の有無を明らかにするため、父島・母島における主要な植物の結果率を調べた。母島新夕日丘に設置されたグリーンアノール排除柵内では、アノールの排除による送粉系の回復状況を評価するため、在来植物の訪花頻度及び結果率を調査した。

2) 鳥類の種子散布による外来植物の拡散

小笠原諸島には、陸鳥10種、海鳥15種が繁殖している。陸鳥は周食型種子散布者として、海鳥は付着型種子散布者として、外来植物種子の拡大に貢献していると考えられる。そこで、糞分析および体表面の精査により散布種子を特定することにより、森林および開放地におけるそれぞれの鳥類の種子散布者としての役割を明らかにした。また、鳥類の移動能力および分布から、外来植物の島間分布拡大を予防する上で重要な地域を特定した。

3) ニューギニアヤリガタリクウズムシの土壌動物相への影響とその緩和

外来のプラナリアの一種で捕食性のニューギニアヤリガタリクウズムシが、小笠原に固有の陸産貝類相に与える影響を定量的に評価するため、本種の食性を含む詳細な生態の解明、土壌動物相お

よび陸産貝類相のプラナリア侵入地・未侵入地での比較、捕食圧の季節変化の解明、影響緩和のための手法の開発を行った。

(3) 固有陸産貝類の系統保存に関する研究

小笠原諸島における固有陸産貝類の絶滅と種多様性の地理的パターンに影響している要因を推定するため、それぞれの島ごとの陸産貝類の種構成、密度をコドラート法により解析し、生息状況を調べると共に、過去のデータとの比較により地域ごとの絶滅率を算出した。

固有種の飼育技術を開発し、その基礎となる生活史の詳細を明らかにするため、大型種については20cm×15cm×15cmの水槽、小型種については径10cmのシャーレを用い、底に土を敷き、定期的に水分補給を行って飼育した。温度は年変動にあわせ、夏季は24～27度、冬季は15～20度に設定した。餌として小笠原から採取した落葉を直接用いて飼育を行ったほか、オートミール、カルシウム、ビタミン類の混合物を用いた人工飼料による飼育も試みた。産卵、産貝後は卵ないし稚貝をシャーレに移し、十分な大きさになるまで、1個体ずつシャーレで飼育した。

固有陸産貝類の集団ごとにミトコンドリア16SrRNA遺伝子、12SrRNA遺伝子、CO1遺伝子について、それぞれ約900塩基対をPCR増幅し解析した。得られた塩基配列データからアラインメントを行い、最尤法、最節約法、ベイズ法により系統推定を行った。さらに母島列島において、カタマイマイ属のマイクロサテライトDNAを地域集団ごとに分析した。野外で捕獲した各個体から表面組織を採取し、PCR法によりマイクロサテライト領域を含む断片の増幅を行い、精製後、断片長の変異を解析した。これまでカタマイマイ属で知られているマイクロサテライト遺伝子座のうち、10の遺伝子座について解析した。遺伝子座ごとに得られた変異をもとに対立遺伝子の数と平均ヘテロ接合度を求め、それらの平均値を集団ごとに求め、遺伝的多様性の指標とした。

上記の研究によって得られた陸産貝類の現況、保全単位、長期の維持に必要な集団サイズ、人工繁殖の可能性、系統保存のためのアクションプランを検討した。

(4) 侵略的外来種グリーンアノールの食害により破壊された昆虫相の回復に関する研究

固有昆虫の絶滅危惧種リスト作成調査のために、小笠原諸島全域で調査を実施した。調査期間中には、聳島列島（聳・媒・嫁）、父島列島（弟・兄・父・西・南・東）、母島列島（母・向・姉・妹・姪）、火山列島（硫黄島、南硫黄島）において調査を実施した特に情報の少ないハチ目、ハエ目、記録の途絶えている鞘翅目などを中心に調査を実施した。調査は、見つけ取りのほか、ビーティング、マレーズトラップ、サンケイ・トラップ、ライト・トラップなど、各種の調査方法を組み合わせて調査を実施した。また、小笠原関係の研究者などにも積極的な聞き取りを行った。

有人島においてアノールの捕食により絶滅の危機に瀕している固有トンボ類については、無人島に設置した人工池の増設による個体群保全効果の評価を行った。また、人工池の設置環境の評価、メンテナンス方法およびモニタリング手法の開発を行った。

兄島の乾性低木林でのみ生息が確認されているオガサワラハンミョウについては、減少要因の解明、生態基礎情報の収集と生息状況モニタリング手法の検討を行った。外来樹種であるモクマオウ、リュウキュウマツは本種の減少要因と推定されたため、現存生息地周辺で予防的枯殺を実施した。生息調査及び生息地復元試験として、これらの外来樹種の侵入で絶滅したエリアと、生息地であった可能性が高いエリアの2カ所でこれらの外来樹種を枯殺し、再定着を待つ試験を実施した。また、本種の人工飼育手法の開発を行った。

オガサワラシジミについては、本種の通年発生場所におけるアノールトラップによる管理の効果の評価を行った。本種保全のため、人工飼育技術の開発を行うと共に、各種行政、研究者等により構成される保全連絡会議を主催し、効率的に情報共有、保全計画の管理を実施できる体制を整えた。

(5) グリーンアノールの生息実態と地域的根絶手法に関する研究

研究の方法は次のとおりである。1) 野外における生存率及び個体群動態の把握：調査は、父島・清瀬にある森林総合研究所樹木園で2005年から2009年にかけて標識再捕法に生息個体数を推定し、1ヘクタール当たりの生息密度を算出した。2) 雌の繁殖特性の把握：飼育実験及び雌の卵巣の剖検により、年間の雌の産卵数や産卵場所選択性等を把握した。3) 個体群動態の予測：生命表を作成し、個体群動態解析ソフトLamas Eco Labを用いて個体群動態に係る将来予測を行った。その際、毎年の防除における捕獲率を操作し、捕獲作業に投じる捕獲努力量ごとに根絶までに要する期間を求めた。4) 効率的な捕獲手法に関する情報の取りまとめ：野外における粘着トラップの効率試験として、父島においてアノールの標識再捕を実施し、生息個体数を推定した。その後51日間に粘着トラップを仕掛けて随時見回り、捕獲状況を確認した。本種の防除における留意点をとりまとめた。5) 地域的根絶のための基本的な考え方のとりまとめ：環境省が実施している自然再生のためのア

ノール防除事業において捕獲された個体を譲り受け、捕獲作業前後の個体の体サイズの変化について検証した。以上の結果をまとめて、アノールの地域的根絶に向けた基本的な考え方をまとめた。

(6) 侵入哺乳類が小型海鳥類の繁殖に与える影響評価に関する研究

小笠原諸島の多くの島は、海鳥の繁殖地となっていたが、ノネコやネズミ類などの移入哺乳類の影響を受け、地域的な絶滅が生じていると考えられている。そこで、ノネコによる海鳥類への繁殖影響を評価するため、母島南崎のオナガミズナギドリおよびカツオドリの夏期繁殖地において被害調査を行った。また、この場所におけるノネコの排除を行い、その後の海鳥繁殖状況をモニタリングした。ネズミ類による海鳥類への繁殖影響を評価するため、父島列島東島（28ha、無人島）において海鳥の営巣センサスと被害状況の調査を行った。また、クマネズミの分布と海鳥類への被害状況を明らかにするため、海鳥が繁殖している34箇所の離礁・属島において上陸調査を行った。この結果に基づき、小型海鳥の保全対策実施の優先順位が高い島の抽出を行った。今後の海鳥の保全のためには、繁殖地における移入種の影響および海鳥の繁殖状況をモニタリングする必要があるが、海鳥の主要な繁殖地は居住地から遠く離れている。そこで、本研究では、野外耐久性のある遠隔監視システムの開発を行った。

4. 結果及び考察

(1) 小笠原諸島における侵略的外来植物の影響メカニズムの解明と、その管理手法に関する研究

ノヤギ排除後、島の植生の大部分は草地植生に覆われていた。このような草地植生の中でも、ギンネムの種子供給源に近く、植生高が低く、リターの堆積量が少ない場所に、ギンネムが侵入する可能性が示唆された。侵入したギンネムは、その後の在来木本種の定着を阻害する可能性があることが示唆された。そのため、ノヤギ排除後のギンネムの侵入は、その後の植生回復を阻害する可能性が高く、早急な駆除、抑制などの対策が必要であろう。

モクマオウが侵入した林分では、その林床において在来木本種の稚樹が欠如していた。これは、在来木本種の種子供給の欠如とリターの堆積による種子発芽、初期成長の阻害のどちらかもしくは両方によるもので、その相対的な重要性は在来木本種によって異なる。モクマオウ林におけるリターの堆積は、大量のモクマオウの落葉による。そのため、モクマオウのリターの影響を緩和するためには、リターフォールを抑制、制御する必要があると考えられる。

モクマオウの駆除に必要な最適薬剤量を推定することができた。モクマオウ駆除後2年間では、植生の変化はほとんど起こらず、これは、モクマオウ駆除後の植生回復にはある程度の時間が必要であることを示唆する。モクマオウ林において移植した在来木本種の実生は、高い生存率を示し、駆除を行わないでモクマオウ林において在来木本種の定着が可能であることを示唆した。

160種の小笠原の外來植物を対象にWRAによる侵略性の判定と、専門家による現地における判定はおおむね一致した。ただし、シミュレーションにおいて回答数を減らしたときWRAのスコアのばらつきは大きくなり、判定が覆る可能性があることが明らかになった。

小笠原と他地域のセンダンは遺伝的にも形態的にも分化しており、さらに、生殖的隔離機構が成立していることが強く示唆され、小笠原において交雑による遺伝的攪乱が生じる可能性は極めて低いと考えられる。その一方で、植栽個体由来の実生が野外に逸出しており、それらが自生集団の中に混生していくことが懸念される。

(2) 小笠原諸島における侵略的外来動物の影響メカニズムの解明と、その管理戦略に関する研究

1) 外来種グリーンアノールによる送粉系攪乱

父島・母島では訪花昆虫相が多様性・訪花頻度ともに衰退しており、その原因は島間分布や過去の履歴からグリーンアノールによる捕食圧であると考えられた。一方父島の海岸部には固有ハナバチ類がわずかに残存していることが確認された。また、属島における訪花頻度は固有植物が高かったのに対して、父島・母島では帰化植物との差がなくなっていた。これは父島・母島で優占するセイヨウミツバチの帰化植物に対する選好性が高いためであり、結果率もセイヨウミツバチの訪花頻度に比例して、帰化植物で高くなっていた。グリーンアノールの排除区では、訪花頻度、結果率ともグリーンアノール排除の効果による回復は見られなかった。

2) 鳥類の種子散布による外来植物の拡散

森林ではヒヨドリ、メジロ、メグロが、開放地ではイソヒヨドリが主要な周食型散布者となっていることが明らかになった。特にイソヒヨドリは移動能力が高く、有人島から無人島へ外来植物を拡散する要因と考えられる。一方、海鳥は付着型散布により外来植物の散布に貢献していた。これらのことから、海鳥が繁殖し、イソヒヨドリが島間移動しやすい父島南島周辺、母島南崎周辺での外来種管理の必要性が明らかになった。

3) ニューギニアヤリガタリクウズムシの土壌動物相への影響とその緩和

ニューギニアヤリガタリクウズムシは、陸産貝類だけでなく、生きたミミズ類、陸生等脚類なども捕食していることがわかった。本種の侵入は、ミミズ類や陸生等脚類などの大型土壌動物に与える影響は小さかったが、陸産貝類への影響は極めて大きかった。野外実験によると、本種の陸産貝類へ捕食圧には季節性があり、7～11月に高く、2月に低いことが明らかになった。またこの種は、43℃以上の熱水に5分以上耐えられないため、土壌、資材の検疫手法として熱水を用いた処理法が適応可能である。

(3) 固有陸産貝類の系統保存に関する研究

父島ではニューギニアヤリガタリクウズムシの捕食により、多くの陸産貝種が絶滅ないし急速に分布を縮小しているが、他の島ではまだ比較的良好な状態で個体群が維持されていた。しかし、母島では貝食性プラナリアなどの土壌生物により最近20年間に絶滅が起きているほか、兄島ではクマネズミの捕食により、個体群の縮小が認められた。さらに兄島では外来植物モクマオウに依存した個体群が成立し、クマネズミの捕食圧を緩和していた。このことから外来種駆除は、その順序を含め慎重に行う必要があることが示された。

オガサワラヤマキサゴ属、スナガイ類、キビオカチグサで、交配、産卵、成長に成功し、実験室内での繁殖が可能になった。またカタマイマイ属ではすべての種で人工繁殖の技術が確立した。しかし、室内では困難なグループもあり、実際の系統保存は小笠原にて野外で保護区を設置して行うのが望ましいと考えられる。

ミトコンドリアDNAによる系統解析の結果、カタマイマイ属は種間ないし集団間で形態や生態を異にするばかりでなく、遺伝的にも大きく異なることがわかった。またノミガイ類などでは形態的な差が乏しく、従来同一種と考えられていた種間に非常に大きな遺伝的分化を遂げた隠ぺい種が含まれていることを示した。以上の結果から、種レベルの系統保存ではなく、地域レベル（特定の地域に生息するすべての種）の保存が必要であると結論付けた。そして遺伝的な解析により必要な保護区の面積を推定したほか、系統保存を行う上での地域の優先順位を提案し、系統保存に至る陸産貝類の行動計画を立案した。

(4) 侵略的外来種グリーンアノールの食害により破壊された昆虫相の回復に関する研究

保全の基礎となる昆虫類の生息情報を整理し、現地調査により小笠原固有種の絶滅危惧ランク付けを行ってきた。調査では、絶滅の可能性が高いとされた種の再発見が複数あったほか、複数の未記載種の発見もあった。

固有トンボ類については、人工トンボ池の造成が保全上極めて有効であることを示し、落葉の除去等のメンテナンス手法の開発を行った。個体群モニタリングには、幼虫のカウントが有効であることを明らかにした。人工池の設置場所としては水温上昇が抑えられる木陰が適していることを明らかにした。

オガサワラハンミョウは、近年極端に個体群が縮小していることが明らかになった。本種のモニタリングには、巣穴のカウントが有効であることを明らかにできた。本種の減少要因は、アノールなどの捕食生物だけではなく、外来樹の落葉が要因になっていることが判明し、その対策として外来樹駆除を実施した。しかし、調査期間中には個体群が回復することはなかった。また、本種の人工飼育方法を開発した。

オガサワラシジミについては、発生地におけるアノールの集中捕獲が個体群維持に有効なことを示した。本種の食樹等の基礎的知見を明らかにし、人工飼育下での交尾産卵を少なくとも1度確認することができた。また保全を継続するための体制を地元で構築した。

本研究によって、アノールのみならず、植物を含む複数の外来種が固有昆虫個体群に対する影響要因であることが明らかになった。また、人工飼育法、生息適地の復元手法、モニタリング手法など、保全事業に直結する技術の開発がなされた。

(5) グリーンアノールの生息実態と地域的根絶手法に関する研究

野外調査に基づき推定されたグリーンアノールの生息密度は500～800個体/haで、現在、個体数が急増している状況にはないと推測された。飼育実験から、1個体の雌は1年に平均13.7個の卵を産出すると推測された。産卵は主に地表の物陰や植物の茂みの浅い土中でなされることが確認された。生命表によれば、1,000個の卵から孵化するものが900個体、翌年まで生存して性成熟に達するものが103.5個体、2歳まで生存するものは36.7個体であり、成体の大多数が1歳または2歳と推定された。推移行列モデルを用いた推定によれば、本種を数年以内根絶するためには、毎年90%以上の個体を排除することが必要と結論された。すなわち、本種の根絶のためには大多数の個体を一

気に排除することが必要と考えられた。また、地域的な根絶達成のためには、個体の移動を防ぐフェンス等での遮断が必要になると結論された。既に防除が実施されている地域における体サイズを見ると、捕獲開始直後に比べ、捕獲開始1年後の個体は小型化しており、これは高い捕獲圧に伴って大型・高齢の個体が減少した結果であると考えられた。

アノールの地域的な根絶に向けた基本的な考え方は次のようにまとめられた。①非分布域への拡散防止を最優先事項とすべきである。②全域防除ではなく地域的な防除を基本とすべきである。③捕獲に先立つ遮断が効果的である。④捕獲と遮断の手法開発が重要である。⑤地域特性を考慮し順応的に防除を進めるべきである。

(6) 侵入哺乳類が小型海鳥類の繁殖に与える影響評価に関する研究

母島南崎では、ノネコによりカツオドリ及びオナガミズナギドリが10年以上にわたって捕食され、繁殖個体がいなくなっていることがわかった。その後、ノネコを捕獲排除し、防除柵を設置した結果、少なくともオナガミズナギドリの繁殖の再開が確認された。父島列島東島では、クマネズミによって、多数のアナドリが捕食されていることが明らかになった。捕食による被害は卵のみでなく、成鳥にも及んでおり、被害規模は1年で1000個体を越えていると推定された。また、絶滅危惧種であるオーストンウミツバメも捕食されている可能性が高かった。クマネズミの分布状況を精査したところ、面積2.3ha以上の島のほとんどに侵入しており、東島以外でも小型海鳥への食害が発生している可能性があることが確認された。海鳥の繁殖規模とクマネズミの分布に基づいて、小型海鳥の繁殖地保全を考えると、父島列島の東島、南島、聳島列島の聳島鳥島におけるクマネズミ駆除を優先して行う必要があると考えられた。遠隔地のモニタリングのため、無線LANを用いた監視システムの試験運用を行ったところ、4.5km離れた地点からの監視が可能であることが示された。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

複数の外来種が侵入した地域では、複雑な生物間相互作用が成立し、その種間関係を理解することは容易ではない。本研究では、様々な種群の生物が関わる種間関係を野外で実証することができた点で、大きな価値がある。特に、捕食者であるアノールトカゲやプラナリア、クマネズミ、ノネコおよび植食者であるノヤギ等による間接影響を含む在来生態系への影響メカニズムを実証することができた。また、この種間相互作用の評価により、外来種などの直接的な影響要因を排除しただけでは、生態系機能や種多様性が回復しない場合があることが野外で実証された。例えば、ノヤギの排除は外来樹種ギンネムの増加を引き起こすことが明らかになった。また、アノールや外来樹種の駆除を行っても、容易には在来昆虫相が回復しないことが明らかになった。これらの事例は、過去の攪乱の歴史が生物相の成立に影響を及ぼすことの数少ない実例であり、保全生態学的に重要な知見である。また、在来種が外来種に依存することで、外来種駆除が在来種個体群の衰退を引き起こす可能性が示された。例えば、陸産貝類がモクマオウのリターに依存することにより、クマネズミの捕食圧を緩和しているため、モクマオウの駆除は陸産貝類の減少につながると考えられた。この知見は、外来種駆除を行う上で、駆除を行う順番が重要であることを示している。

生活史の解明や食性、生態系内での機能の評価等の基礎生態学的知見を積み重ねた上で保全手法の開発を行い、科学的知見に基づいた保全策を提案することができたことは、保全生物学的な意義が大きい。具体的には、アノールトカゲの個体群動態モデルの構築、モクマオウ枯殺のための最適薬剤量の推定、プラナリアの温水処理法の開発、ネコやアノールの排除柵の有効性の証明などにより、侵略的外来種の実践的な管理方法を確立した。また、希少な昆虫類および陸産貝類の系統保存手法の開発、陸産貝類の保全単位の解明、希少昆虫のための人工的繁殖場所の構築、遠隔地モニタリングシステムの開発などにより、在来種の保全管理手法を確立した。

さらに、陸産貝類の隠ぺい種及び新種の昆虫の発見や、海鳥繁殖地の再確認などにより、小笠原諸島の生物多様性の価値の高さを証明する新たな証拠を示した。

研究成果をまとめた英文単行本”Restoring the Oceanic Island Ecosystem: Impact and Management of Invasive Alien Species in the Bonin Islands”を国際的に著名な出版社であるSpringer社より発刊した。これは小笠原諸島の研究を主題とした初めての英文書籍である。専門書として成果を国際的に普及することにより、海外の外来種管理研究の発展にも寄与することができる。

(2) 環境政策への貢献

小笠原諸島世界自然遺産候補地科学委員会（環境省等）に委員6名、小笠原諸島世界自然遺産候

補地科学委員会外来種対策・自然再生部会（環境省等）に委員長および委員 5 名、小笠原諸島世界自然遺産候補地科学委員会固有種保全ワーキンググループ（環境省等）に委員 5 名、小笠原諸島世界自然遺産候補地地域連絡会議（環境省等）に委員 1 名、小笠原諸島森林生態系保護地域保全管理委員会（林野庁）に委員 1 名、アドバイザー 3 名、小笠原国立公園聳島列島植生回復調査検討委員会（環境省）に委員 6 名、父島東平ノヤギ・ノネコ排除区設置に関する検討会（環境省）に委員 8 名、外来植物駆除事業対策委員会（林野庁）に委員 5 名、東京都における保護上重要な野生生物の種に関する検討会（東京都）に委員 3 名が当プロジェクトから参加し、本研究の成果を環境省、林野庁、東京都の事業に反映させ、世界的視野で海洋島の生態系の保全を行っているケースとして小笠原の自然再生と外来種対策、固有種保全を推進し、世界自然遺産候補としての価値の向上に大きく寄与した。

6. 研究者略歴

課題代表者：大河内勇

1953年生まれ、東京大学農学部卒業、博士（農学）、現在、森林総合研究所理事

主要研究参画者

(1) : 可知直毅

1953生まれ、東京大学理学部卒業、博士（理学）、現在、首都大学東京理工学研究科教授

(2) : 大河内勇（同上）

(3) : 千葉聡

1960生まれ、東京大学理学部卒業、博士（理学）、現在、東北大学大学院生命科学研究科助教

(4) : 苜部治紀

1966生まれ、東京農業大学農学部農学科卒業、農学修士、現在、神奈川県立生命の星・地球博物館主任学芸員

(5) : 戸田光彦

1964生まれ、金沢大学理学部卒業、理学修士、現在、財団法人自然環境研究センター主席研究員

(6) : 堀越和夫

1956年生まれ、University of Florida 動物学部卒業、Ph.D.、現在、特定非営利活動法人小笠原自然文化研究所理事長

7. 成果発表状況（本研究課題に係る論文発表状況。）

(1) 査読付き論文

- 1) Abe, T. (2006) Threatened pollination systems in native flora of the Ogasawara (Bonin) Islands. *Ann. Bot.* 98: 317-334.
- 2) Davison, A. and Chiba, S. (2006) The recent history and population structure of five *Mandarina* snail species from sub-tropical Ogasawara (Bonin Islands, Japan). *Mol. Ecol.* 15: 2905-2910.
- 3) Davison, A. and Chiba, S. (2006) Labile ecotypes accompany rapid cladogenesis in a land snail adaptive radiation. *Biol. J. Lin. Soc.* 88: 269-282.
- 4) Kawakami, K., Suzuki, H. and Horikoshi, K., Chiba H., Fukuda A. and Higuchi H. (2006) The foraging ranges of Black-footed Albatross *Diomedea nigripes* breeding in the Bonin Islands, southern Japan, as determined by GPS tracking. *Ornithol. Sci.* 5:187-191.
- 5) Sugiura, S., T. Abe and S. Makino (2006) Loss of extrafloral nectary on an oceanic island plant and its consequences for herbivory. *Am. J. Bot.* 93:491-495.
- 6) Sugiura, S., I. Okochi and H. Tamada (2006) High predation pressure by an introduced flatworm on land snails on the oceanic Ogasawara Islands. *Biotropica* 38: 700-703.
- 7) Chiba, H., Kawakami, K., Suzuki, H. and Horikoshi, K. (2007) The distribution of seabirds in the Bonin Islands, Southern Japan. *J. Yamashina Inst. Ornithol.* 39: 1-17.
- 8) Chiba, S. (2007) Morphological and ecological shifts in a land snail caused by the impact of an introduced predator. *Ecol. Res.* 22: 884-891.
- 9) Chiba, S. (2007) Species richness patterns along environmental gradients in island land molluscan fauna. *Ecology* 88: 1738-1746.
- 10) Chiba, S. and Davison A. (2007) Shell shape and habitat use in the NW Pacific land snail

- Mandarina polita* from Hahajima, Ogasawara Islands: current adaptation or ghost of species? Biol. J. Lin. Soc. 91: 149-159.
- 11) Chiba, S., Davison A and Mori, H. (2007) The endemic land snail fauna on a remote peninsula in Ogasawara, northwestern Pacific. Pac. Sci. 61: 257-265.
 - 12) Hata, K., Suzuki, J-I. and Kachi, N. (2007) Vegetation changes between 1978, 1991 and 2003 in the Nakoudojima island that had been disturbed by feral goats. Ogasawara Research 32: 1-8.
 - 13) Hata, K., Suzuki, J-I. and Kachi, N. (2007) Effects of an alien shrub species, *Leucaena leucocephala*, on establishment of native mid-successional tree species after disturbance in the national park in the Chichijima island, a subtropical oceanic island. Tropics 16: 283-290.
 - 14) Niisato, T. & H. Karube (2007) Additional records of clytine species (Coleoptera, Cerambycidae) from Ogasawara Islands (3) Revised notes on the Chlorophorus species from Muko-jima islands, Tokyo. Elytra 35: 205-215.
 - 15) Sugiura, S., T. Abe, Y. Yamaura and S. Makino (2007) Flower-visiting behavior of male bees is triggered by nectar-feeding insects. Naturwissenschaften 94: 703-708
 - 16) Abe, T., Wada, K. and Nakagoshi, N. (2008) Extinction threats of a narrow endemic shrub, *Stachyurus macrocarpus* (Stachyuraceae) in the Ogasawara Islands. Plant Ecol. 198: 169-183.
 - 17) Abe, T., Makino, S. and Okochi, I. (2008) "Why have endemic pollinators declined on the Ogasawara Islands?" Biodiv. Conserv. 17: 1465-1473.
 - 18) Chiba, S. and Davison, A. (2008) Anatomical and molecular studies reveal several cryptic species of the endemic genus *Mandarina* in the Ogasawara Islands. J. Mollus. Stud. 74: 373-382.
 - 19) Chiba, S., Sasaki, T., Suzuki, H. and Horikoshi, K. (2008) The subfossil land snail fauna from the central Chichijima, Ogasawara Islands, with description of a new species. Pac. Sci. 62: 137-145
 - 20) Davison, A. and Chiba, S. (2008) Contrasting response to Pleistocene climate change by ground living and arboreal *Mandarina* snails from the oceanic Hahajima archipelago. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B 363: 3391-3400.
 - 21) Eda, M., Kawakami, K., Chiba, H., Suzuki, H., Horikoshi, K. and Koike, H. (2008) Genetic characteristics for Black-footed Albatross (*Diomedea nigripes*) on the Bonin Islands and its implication for the demographic history and population structure of the species. Ornithol. Sci. 7: 109-116.
 - 22) Kawakami, K., Wada, S. and Chiba, S. (2008) Possible dispersal of land snails by birds. Ornithol. Sci. 7: 167-171.
 - 23) Kawakami, K., Harada, S., Suzuki, T. and Higuchi, H. (2008) Genetic and morphological differences between populations of the Bonin Islands White-eye in the Bonin Islands, southern Japan. Zool. Sci. 25: 882-887.
 - 24) Sugiura, S. (2008) Hot water tolerance of soil animals: utility of hot water immersion for preventing invasions of soil animals. Appl. Entomol. Zool. 43: 207-212.
 - 25) Sugiura, S. (2008) Male territorial behaviour of the endemic large carpenter bee, *Xylocopa (Koptortosoma) ogasawarensis* (Hymenoptera: Apidae), on the oceanic Ogasawara Islands. Eur. J. Entomol. 105: 153-157.
 - 26) Chiba, S., Okochi, I., Obayashi, T., Miura, D., Mori, H., Kimura, K. and Wada, S. (2009) Effect of habitat history and extinction selectivity on species richness pattern of an island snail fauna. J. Biogeogr. 36: 1913-1922.
 - 27) Chiba, S. (2009) Morphological divergence as a result of common adaptation to a shared environment in lands snails in the genus *Hirasea*. J. Mollus. Stud. 75: 253-259.
 - 28) Chiba, S. and Davison, A. (2009) Associations between stable carbon isotope ratio and vegetation in modern and fossil land snails *Mandarina chichijimana* on Chichijima of the Ogasawara Islands. Paleontol. Res. 13: 151-157.
 - 29) Hata, K., Kato, H. and Kachi, N. (2009) Community structure of saplings of native woody species under forests dominated by alien woody species, *Casuarina equisetifolia*, in Chichijima Island. Ogasawara Research 34: 33-50.
 - 30) Sugiura, S. (2009) Seasonal fluctuation of invasive flatworm predation pressure on land snails: Implications for the range expansion and impacts of invasive species. Biol.

Conserv. 142: 3013-3019.

- 31) Sugiura, S. and Yamaura, Y. (2009) Potential impacts of the invasive flatworm *Platydemus manokwari* on arboreal snails. Biol. Invasion 11: 737-742.
- 32) Sugiura, S., Tsuru, T., Yamaura, Y. and Makihara, H. (2009) Small off-shore islands can serve as important refuges for endemic beetle conservation. J. Insect Conserv. 13: 377-385.
- 33) Hata, K., Kato, H. and Kachi, N. (2010) Litterfall in forests dominated by an alien woody species, *Casuarina equisetifolia*, on Chichijima Island. Ogasawara Research 35: 1-14
- 34) Sugiura, S. (2010) Associations of leaf miners and leaf gallers with island plants of different residency histories. J. Biogeogr. 7: 237-244.
- 35) Sugiura, S. (2010) Species interactions- area relationships: biological invasions and network structure in relation to island area. Proc. Roy. Soc. B, online published (doi:10.1098/rspb.2009.2086)
- 36) Sugiura, S. (2010) Prey preference and gregarious attacks by the invasive flatworm *Platydemus manokwari*. Biol. Invasions, online published (doi:10.1007/s10530-009-9562-9)
- 37) Chiba, S. (in press) Invasive non-native species' provision of refugia for endangered native species. Conserv. Biol.
- 38) Chiba, S. (in press) Invasive rats alter assemblage characteristics of land snails in the Ogasawara Islands. Biol. Conserv.
- 39) Hata, K., Kato, H. and Kachi, N. (in press) Litter of an alien tree, *Casuarina equisetifolia*, inhibits seed germination and initial growth of a native tree on the Ogasawara Islands (subtropical oceanic islands). J. Forest Res.
- 40) Hata, K., Suzuki, J-I. and Kachi, N. (in press) Fine-scale spatial distribution of seedling establishment of the invasive plant, *Leucaena leucocephala*, on an oceanic island after feral goat extermination. Weed Res.
- 41) Iwai, N., Sugiura, S. and Chiba, S. (in press) Predation impacts of invasive flatworms, *Platydemus manokwari* on eggs and hatchlings of land snails. J. Mollus. Stud.

F-051 脆弱な海洋島をモデルとした外来種の生物多様性への影響とその緩和に関する研究

(1) 小笠原諸島における侵略的外来植物の影響メカニズムの解明と、その管理手法に関する研究

首都大学東京理工学研究科

可知直毅・加藤英寿

〈研究協力機関〉

首都大学東京理工学研究科

畑憲治

平成17～21年度合計予算額 43,774千円

(うち、平成21年度予算額 9,146千円)

※予算額は、間接経費を含む。

[要旨] ギンネム、モクマオウなどの外来植物の侵入が、乾性低木林などの稀少固有種の多くを含む在来植生に及ぼす影響とそのメカニズムを解明する。また、これらの外来生物の排除がその後の植生変化に及ぼす影響を予測する。これらに基づいて外来植物の適切な管理手法およびその後の植生回復手法について検討する。また、今後の外来植物の小笠原への導入における検疫システムを確立するために、他の海洋島で用いられている有害植物リスク評価システムの適用の可能性について検討する。さらに、外来植物の遺伝的攪乱の可能性について検討した。

攪乱跡におけるギンネムの侵入は、種子供給源からの距離と草本植生の構造に依存していた。侵入したギンネムは、その後の在来木本種の定着を阻害する可能性があることが示唆された。

モクマオウが侵入した林分では、大量のリターフォールによって形成された厚いリター層が在来木本種の定着を物理的に阻害し、その結果、林床において在来木本種の稚樹が欠如している可能性が示された。また、モクマオウの駆除に必要な最適薬剤量を明らかにした。さらに、駆除を行わないでモクマオウ林において在来木本種の定着が可能であることを明らかにした。

有害植物リスク評価システムを過去に小笠原に意図的に導入された植物種に適用し、小笠原への外来植物の導入における検疫システムとして活用できることを示した。

父島に植栽されている琉球産のセンダンと小笠原在来のセンダンの間で遺伝的攪乱の可能性は低いことが明らかになった。

[キーワード] 遺伝的攪乱、小笠原、海洋島、侵略的外来植物、生態系影響

1. はじめに

小笠原諸島の尾根や台地の緩斜面に広がる乾性低木林は、小笠原諸島の中でも最も種多様性が高く、固有種の宝庫である¹⁾。しかし、外来植物が次第に侵略しつつあるとともに、ノヤギやクマネズミなどの外来動物による食害の影響により、多くの固有植物が絶滅の危機に瀕し、乾性低木林の固有の生態系が劣化している²⁾。現在、兄島や父島の乾性低木林において、これらの外来生物の駆除、抑制が進められているが、固有植物種の中には個体群の回復がほとんど進まないものがあることがこれまでの研究により明らかにされつつある。このような回復の欠如の原因の1つとして、外来植物の侵入が挙げられる。外来動物などによって攪乱を受けた場所では、外来植物の侵

入が起こることが多い³⁾⁴⁾。さらに、侵入した外来植物は、被陰、アレロパシーなどによって在来植物の定着を阻害したり、近縁の在来植物と交雑することで遺伝的攪乱を引き起こす可能性がある⁵⁾。このような外来植物の侵入過程および侵入が在来植物に及ぼす影響を定量的に評価し、さらにこれらの効果的な駆除、抑制とその後の自然再生手法を検討することは、外来植物が乾性低木林に及ぼす影響を緩和していくための科学的指針を得る上で不可欠である。

(1) 野生化したヤギ（以下ノヤギ）の食害や踏圧は、小笠原諸島の在来植生の破壊を引き起こしており、多くの島において駆除、抑制が実施されている。しかしながら、ノヤギの駆除、抑制後、ノヤギの攪乱を受けた地域では、外来低木種であるギンネムの侵入が起こる可能性がある。定着したギンネムは、純群落を形成し、在来種が優占する林分には遷移しないことが報告されており、ノヤギ駆除、抑制後のギンネムの侵入は、在来植生の回復の障害となる可能性がある。

(2) 外来木本種トクサバモクマオウ（以下モクマオウ）は、乾性低木林の一部に侵入しつつある。モクマオウが優占する林分の林床には、在来木本種の稚樹がほとんど観察されていない。このような稚樹の欠如は、林床に厚く堆積しているリターによって在来木本種の定着が阻害されていることによる可能性があるが、これを示す科学的知見は欠如している。

(3) 効果的なモクマオウの駆除の方法として、薬剤による枯死が挙げられる。薬剤処理を行う場合、環境中への薬剤成分の流出について考慮する必要がある。そのため、薬剤枯殺による駆除を行う場合、最低限の使用量に抑えることが望ましい。さらに、モクマオウ駆除後の在来植生の回復が起こるかどうかについては不明である。モクマオウ林を在来植生に置き換える手法の1つとして、モクマオウの伐採、薬剤による枯殺を行なわないで、在来植物の実生を定着させることが挙げられる。

(4) 新たな外来植物の導入を水際で阻止することは、外来植物の管理を行う上で最も経済的コストが小さく、その効果が大きい。しかしながら、人間がその場所で生活している以上、外来生物の導入は、少なからず起こりうる。そのため、侵略性の高い外来植物のみを導入を阻止するためのスクリーニングが必要となる⁶⁾。

(5) 小笠原諸島の父島には在来のセンダン以外に緑化樹として植栽された琉球産のセンダンが存在する。もし植栽個体と在来個体の間で遺伝的構成が異なっていれば、これらが交雑することによって遺伝的攪乱が引き起こされる可能性がある。

2. 研究目的

小笠原の稀少固有種の多くを含む乾性低木林などの植生に侵略するギンネム、モクマオウ等の外来植物の排除後の植生変化にかかわる外来種および在来種の生態的特性を明らかにするため、侵略的外来植物の生態的な解析を行ない、その侵入後の影響を推定するとともに在来種に対する遺伝的攪乱の可能性を検討するため、以下の具体的な研究目的を設定した。

- (1) 外来木本種ギンネムの生態特性を解明する。
- (2) 外来木本種モクマオウの生態特性を解明する。
- (3) モクマオウの駆除、抑制手法およびその後の自然再生手法を検討する。
- (4) 外来植物リスク評価（WRA）システムの適用の可能性を検討する。
- (5) 小笠原自生のセンダン個体群に対する琉球産のセンダンの遺伝的攪乱の可能性を検討する。

3. 研究方法

(1) 外来木本種ギンネムの生態特性の解明

1) ノヤギ排除前後の植生の変化の把握

ノヤギ排除前後の媒島の植生の時間的、空間的な変化を定量的に評価するため、航空写真を用いた解析を行なった。解析には、1978年（1:10000、国土地理院）、1991年、2003年（1:10000、環境省）に撮影された航空写真を使用した。航空写真上で媒島を9200個の10m×10mのグリッドで区切った。各グリッドを森林、草地、裸地、その他という4つのハビタットタイプに区別した。各グリッドのハビタットタイプは、そのグリッド内で最も大きな面積を占めていたハビタットタイプと定義した。最も大きな面積を占めていたハビタットタイプのグリッドの合計値を、各ハビタットタイプの面積の指標として扱った。

2) ノヤギ排除後のギンネムの侵入過程の解明

ノヤギ排除後の媒島に存在するギンネムが優占する林分と隣接する草地植生の境界部分に、ギンネム林から草地植生にまたがるように5m×15mの調査区を2箇所設置した（以下Transect 1、2）。2つのTransect を、さらに75個の1m×1mの調査区に分割した。各1m×1mの調査区において、ギンネムの成木（高さ≥ 1.3m）、稚樹（0.3-1.3m）、実生（<0.3m）の有無を記録し、草本植生の高さとリター層の厚さを調査区内の1地点で測定した。調査は、Transect 1は2003年9月、Transect 2は2003年12月に行なった。継続調査は、2つの調査区ともに2004年6月に行なった。

ギンネムの出現が、草本植生の高さ、リター層の厚さ、林縁からの距離と相関しているかどうかを決定するために、多重ロジスティック回帰分析を行なった。林縁からの距離の値は、最もギンネム林に近い5つの1m×1mの調査区から草本群落に向かって順に、1、2、3…15と順番をつけ、その値をギンネム林からの距離と定義した。独立変数間の交互作用を含む考えうるすべての独立変数の組み合わせのモデルにおける赤池の情報量基準（AIC）の値を比較した。AICの値が小さいほど、モデルの当てはまりが良いことを示唆する⁷⁾。

3) ギンネムが在来木本種の定着に及ぼす影響の解明

ギンネムが在来木本種の定着に及ぼす影響を明らかにするために、遷移初期段階のギンネムが優占する林分（以下ギンネム林）と在来木本種のウラジロエノキが優占する林分（以下ウラジロエノキ林）において、遷移中期に出現する在来木本種ヒメツバキの3年間の実生の動態を比較した。調査は父島の夜明平において実施した。2001年から2003年までギンネム林とウラジロエノキ林において各10m×10mの調査区を設置し、新規加入個体を加えながらヒメツバキの生存の有無を確認し、地際径を測定した。

さらに、各調査区周辺に存在するギンネムの樹冠下とウラジロエノキの樹冠下において、ヒメツバキの発芽率と実生の成長速度を比較するために、発芽実験と実生の移植実験を実施した。それぞれの樹冠下において播種したヒメツバキの種子を200個体ずつは種子6ヵ月後の発芽個体数を調べた。夜明平に存在した同程度のサイズのヒメツバキの実生を掘り起こしそれぞれの樹冠下に移植し、1年後にその乾燥重量を測定した。実験は2002年か2003年にかけて実施した。

(2) 外来木本種モクマオウの生態特性の解明

1) モクマオウ林の林床における群集構造の把握

モクマオウ林における在来木本種の定着と種子散布の現状を定量的な情報に基づいて把握するために、モクマオウが優占する林分（以下モクマオウ林）と、モクマオウが優占せず在来種が優占する林分（以下在来林）との間で、林床における在来木本種の種構成と種子散布量について比較した。調査は、小笠原諸島父島の洲崎地域で実施した。モクマオウ林と在来林のそれぞれにおいて30箇所ずつ設置した5×5mの調査区において、2007年9月に高さ1.3m以下の木本種個体（以下稚樹）の種ごとの個体数をカウントした。各調査区に直径80cmの円錐型のトラップを設置し、2007年8月から12月までの間にトラップ内に散布された在来林における散布種子数をカウントした。

2) モクマオウのリターの堆積、分解過程の解明

モクマオウ林におけるリターの堆積過程と分解過程を明らかにするために、モクマオウ林と在来林との間で、リターの堆積量、供給量、分解速度を比較した。調査は、上記の洲崎に設置した60箇所の5×5mの調査区内で実施した。リターの堆積量と供給量の調査は、2007年8月から2008年8月まで2か月おきに実施した。リターの堆積量を評価するために、各調査区内においてランダムな10箇所で堆積しているリターの厚さを測定した。リターの供給量を評価するために、上記の直径80cmの円錐型のトラップ内に入ったリターを、モクマオウとそれ以外の種の落葉と繁殖器官および落枝の乾燥重量を測定した。

リターの分解速度はリターの質と林分の違いを考慮して比較した。2つの林分からモクマオウと在来種の落葉を採集し、風乾後、ナイロン製のリターバッグに10gずつ入れた。このリターバッグを、モクマオウ林と在来林の各30箇所の調査区のうち、各15箇所にモクマオウの落葉をいれたリターバッグを、残りの各15箇所に在来種の落葉を入れたリターバッグを設置した。各調査区内に35個ずつリターバッグを設置し、2008年8月まで2か月おきに、さらに2009年8月に5個ずつ回収し残った落葉の乾燥重量を測定した。

3) モクマオウのリターの堆積が在来植物の定着に及ぼす影響の解明

モクマオウが在来木本種の定着に及ぼす影響を、2つに実験的なアプローチ（圃場実験、野外実験）から明らかにした。圃場実験では、モクマオウの土壌、リターがヒメツバキの種子の成長と初期成長に及ぼす影響を評価した。圃場実験は、小笠原諸島父島の亜熱帯農業センターのビニールハウス内で実施した。2008年2月、モクマオウ林と在来林から採取した土壌を7号植木鉢に1.5Lずつ入れ、ヒメツバキの種子を300粒ずつ蒔種し、野外時条件を想定した3段階の量（鉢あたり5、15、45 g）のモクマオウと在来種のリターを堆積させた。12処理（2種類の土壌×2種類のリター×3段階のリター量）に対して、18反復設けた。2008年5月に発芽した実生の数をカウントした後、実生を回収しその総乾燥重量を測定した。

野外実験では、モクマオウが優占する林分とリターの有無が、ヒメツバキと在来低木種であるシャリンバイの初期の定着に及ぼす影響を評価した。実験は、上記の5×5mの調査区内で実施した。2008年2月に各方形区において、1×1mの実験区を1箇所ずつ設置し、実験区内のリターを除去し、在来林の優占樹種であるヒメツバキの種子を300粒ずつ播種した。蒔種後、各林分30箇所ずつの実験区のうち15箇所では、除去したリターを元に戻し、残り15箇所ではそのままにし、2008年5月に

出現したヒメツバキの実生の数をカウントした。同様の実験を2009年2月から2010年2月にかけてシャリンバイの種子を用いて実施した。シャリンバイの種子は各実験区に60粒ずつ播種した。

(3) モクマオウの駆除、抑制手法およびその後の自然再生手法の検討

1) モクマオウの薬剤試験

複数の個体サイズクラスごとに薬剤によるモクマオウの致死量を推定した。2007年11月、母島南崎に存在する0.87haの範囲に生育する胸高直径が5cm以上のモクマオウの健全個体313個体の胸高直径を測定し、6つのサイズクラスに分け、各サイズクラスから25個体ずつランダムに実験対象個体を抽出した。本実験におけるモクマオウの薬剤処理には、植物枯殺用薬剤のラウンドアップ・マックスロード（日産化学工業株式会社）を使用した。予備実験の結果から設定した25段階の薬剤量を、実験対象とした25個体に対し、ランダムに割り当てた。各処理個体に、電気ドリルにより個体の根際周囲に等間隔で穴を開け、各穴に割り当てた量を注入し、コルク栓で蓋をした。薬剤処理から約1ヶ月後に、処理個体の枯死の有無を目測による葉の生死から判定した。各サイズクラスにおいて、薬剤注入量を独立変数、モクマオウの枯死の有無を従属変数としてロジスティック回帰分析を行なった。薬剤成分の環境中への流出の有無を調べるために、2007年11月に薬剤処理個体の一部（28個体：総注入薬剤量565ml）が含まれる水系で、調査地から最も近い、涸れ沢の水たまりから、水検体を採取した。水検体は、静置後に上澄みを高速液体クロマトグラフ法により分離した。

2) モクマオウ駆除後の植生変化の把握

モクマオウ駆除後の植生変化を明らかにするために、兄島のモクマオウ伐採跡において1m×1mの調査区を25個、コントロール区を16個設置した。調査区内に出現した植物個体の有無とその被度を2006年から2年間調査した。

3) モクマオウ林での移植実生の定着可能性の検討

モクマオウの樹冠下における在来木本種の定着の可能性を検討するために、モクマオウ林の林床にヒメツバキとシャリンバイの実生を移植し、その生残と成長を調べた。父島の小笠原亜熱帯農業センターの圃場において種子から育てた3つのサイズの異なるヒメツバキとシャリンバイの実生を、父島の洲崎のモクマオウ林の林床に各種各サイズ20個体ずつ移植した。ヒメツバキの実生は2008年12月に、シャリンバイの実生は2009年6月に移植した。移植後、2カ月おきに実生の生残を確認し、その地際径と高さを測定した。

(4) 外来植物リスク評価（WRA）システムの適用の可能性の検討

外来植物の導入の有無を判断する上で有効な手段であるWeed Risk Assessment（WRA）システムが小笠原諸島の外来植物に適用可能であるかどうかを検討した。Daehler et al. (2004)⁸⁾によるH-WRAシステムの改良し、小笠原諸島の外来植物130種について、小笠原以外の情報を元にスコアを算出し、導入可、要調査、導入不可に3段階に区分した。この区分と3名の小笠原在住の植物の専門家の評価と比較した。

また、WRAシステムにおける有効回答数の変化が外来植物の判定に及ぼす影響を明らかにするた

めに、上記の結果を用いて、WRAシステムにおける有効回答数の減少に対するスコアの合計値の変動を明らかにした。130種の外来植物のうち、有効回答数が40問以上の63種に対して、回答が得られた設問をランダムに再抽出し、再抽出された設問のスコアの合計値を計算した。このような作業を各種100回ずつ行なった。抽出する設問の数は、40問から10問まで変化させた。

(5) 小笠原自生のセンダン個体群に対する琉球産のセンダンの遺伝的攪乱の可能性の検討

小笠原には、自生のセンダンが分布する一方で、父島北袋沢の八ツ瀬川北側の小港駐車場と道路の間に、沖縄由来とされる街路樹が5個体植栽されていた。しかも、植栽地の周辺にも自生個体が数多く生育していた。

まず、Lianら(2006)の手法⁹⁾を使って新たに開発した9遺伝子座のマイクロサテライトマーカーを用いて、国内の分布域における合計644個体について解析し、遺伝的変異を把握した。また、葉緑体DNA非コード領域の6ヶ所の塩基配列情報を用いて、集団間の系統関係と小笠原の自生集団の由来の推定を行った。さらに、小笠原と他地域の自生個体間、もしくは小笠原の自生/植栽個体間の花と果実の形態比較を行い、形態レベルの差異も調べて、センダンの種分類を再検討した。次に、小笠原の自生/植栽個体間、すなわち小笠原と他地域の個体の間に生殖的隔離機構が存在するかどうかを調べた。そのために、現在の野外での自生/植栽個体間の交雑の有無を調べる目的で、合計844個の種子について父親判定を行った。また、交配前隔離について明らかにするため、開花期調査・ポリネーターの観察を行った。そして、交配後隔離について明らかにするため、人工授粉実験を行い、強制異系他花授粉を試みた。最後に、植栽個体由来の子孫がどの程度野外に逸出しているのかを調べるため、父島内を網羅的に踏査し、116個の実生個体の由来判定を行った。

4. 結果・考察

(1) 外来木本種ギンネムの生態特性の解明

1) ノヤギ排除前後の植生の変化の把握

1978年から1991年にかけて、草地の一部が裸地に変化し、結果的に草地の面積は減少した一方で、裸地の面積は増加した。一方で、1991年から2003年にかけては、裸地の一部が草地に変化し、結果的に草地の面積は増加した一方で、裸地の面積は減少した。これらの結果、1978年から2003年の間に、草地が島全体に占める割合は、66.3%から69.0%に、裸地が占める割合は7.0%から15.5%に増加した。このような草地と裸地の変化を引き起こした主な原因の1つとして、ヤギによる食害、踏圧とそれらからの開放が考えられる。

一方で、森林は、野生化ヤギの排除の前後に関わらず草地、裸地に変化した結果、森林が占める割合は23年間で、16.2%から6.0%に減少した。このような森林の減少を引き起こした原因の1つとして、台風や旱魃などの自然攪乱による林冠木の枯死と、ヤギの木本種の実生に対する食害による更新の欠如が考えられる。そのため、今後の媒島における森林植生の回復には相当な時間がかかることが予想される。

2) ノヤギ排除後のギンネムの侵入過程の解明

2つのTransectにおいて、ギンネムの成木、稚樹、実生の出現の間に有意な正の関係が見られた。また、最もAICが小さいモデルにおいて、ギンネムの稚樹、実生の出現の有無と林縁からの距離と

の間に負の相関が見られたことは（表1）、多くの種子が繁殖個体から重力によって散布されたことを示唆する。林縁からの距離は、ギンネムの種子散布量と関係していると考えられる。

表1. 2つのTransectにおける3つの異なるサイズのギンネム個体の出現と、草本植生の高さ（H）、リター層の厚さ（L）、林縁からの距離（D）およびこれらの交互作用との関係。AIC値が最小のモデルの結果を示す。数値は回帰係数、太字は、統計学的に有意（ $p < 0.05$ ）の値を示す。Transect 2ではギンネムの成木個体がほとんど出現しなかったため除外。

Transect 1

2003年		H	L	D	HL	HD	LD
成木	H + L + D + HD + LD	-0.61	0.01	-1.06		-0.89	0.99
稚樹	H + L + D	1.98	-2.49	-5.69			
実生	L + D		-2.01	-2.14			
2004年		H	L	D	HL	HD	LD
成木	H + D + HD	-0.78		-1.73		-1.03	
稚樹	H + D + HD	-0.38		-0.97		-0.48	
実生	H + D	-0.64		-0.98			

Transect 2

2003年		H	L	D	HL	HD	LD
稚樹	H + D + HD	-2.28		-5.79		-4.42	
実生	H + L + D + LD	-4.45	-5.13	-3.10			-7.47
2004年		H	L	D	HL	HD	LD
稚樹	L + D + LD		-1.63	-0.84			-0.92
実生	H + L + D + HL	-3.32	-2.46	-1.43	2.90		

ギンネムの出現の有無は、草本植生の構造とも関係した。2つのTransectでは、最もAICが小さいモデルにおいて、ギンネムの稚樹、実生の出現の有無と、草本植生の高さ、リターの蓄積量との間に負の相関が存在した（表1）。この原因の1つとして、ギンネムの実生は雑草との競争に弱いいため、草本植生の植生高が高く、リターの蓄積が多い場所ではギンネムは定着できなかった、ということが考えられる。ギンネムの実生は、強い被陰下では生存できない。一方で、上記のモデルにおいて、ギンネムの成木の出現の有無と草本植生の高さ、リター層の厚さとの間には相関は見られなかった。これの原因として、草本植生よりの高いギンネム個体は草本種から被陰などの影響を受ける可能性が低いことが考えられる。

3) ギンネムが在来木本種の定着に及ぼす影響の解明

ウラジロエノキ林において多数のヒメツバキの実生の加入とこれらの実生の成長が見られたのに対して、ギンネム林ではヒメツバキの加入がほとんど見られなかった。また、ギンネムの樹冠下におけるヒメツバキの種子の発芽率と実生の成長速度は、ウラジロエノキの樹冠下におけるそ

れらよりも低かった。調査区の周辺にはヒメツバキの親木が多数存在し、種子散布が制限されている可能性は低い。そのため、ギンネム林におけるヒメツバキの欠如は、ギンネムがヒメツバキの種子の発芽や実生の成長を阻害していることによると考えられる。

(2) 外来木本種モクマオウの生態特性の解明

1) モクマオウ林の林床における群集構造の把握

モクマオウ林の林床における木本種の稚樹の総個体数、出現種数は、在来林におけるそれよりも少なかった(表2)。また、主要な在来木本種の稚樹の個体数も在来林の林床よりもモクマオウ林の林床のほうが小さかった。以上の結果は、モクマオウが優占する林分では、在来木本種の稚樹が欠如していることを定量的に示した。このような稚樹の欠如を引き起こす原因の1つとして、在来木本種の種子散布による加入の欠如が考えられる、実際に、モクマオウ林におけるヒメツバキの散布種子数は、在来林におけるそれよりも有意に少なかった。

表2. 洲崎のモクマオウ林と在来林の林床における稚樹の出現個体数と種数(平均値±標準誤差)の比較。***: $p < 0.001$ (GLM test)

		モクマオウ 林			在来 林			
個体数	総個体数	9.3	±	2.1	44.3	±	3.1	***
	主要在来種							
	アカテツ	1.7	±	0.4	18.2	±	1.0	***
	コブガシ	0.0	±	0.0	2.3	±	0.4	***
	シャリンバイ	1.6	±	0.4	10.8	±	1.0	***
	ヒメツバキ	0.0	±	0.0	6.0	±	0.6	***
種数	総種数	2.1	±	0.2	6.2	±	0.4	***
	在来種数	1.4	±	0.2	5.1	±	0.4	***

2) モクマオウのリターの堆積、分解過程の解明

調査期間を通してモクマオウ林の林床におけるリター層の厚さは、在来林の林床におけるそれよりも有意に大きかった。調査期間中のモクマオウ林の林床におけるリターフォールの総量は、在来林の林床におけるそれよりも有意に大きかった。モクマオウ林の林床におけるリターフォールのうち、モクマオウの落葉が占める割合がもっとも大きかった。野外条件を想定した処理において、モクマオウ林におけるリターバッグ内の落葉の残存量は、在来林におけるそれと違いが見ら

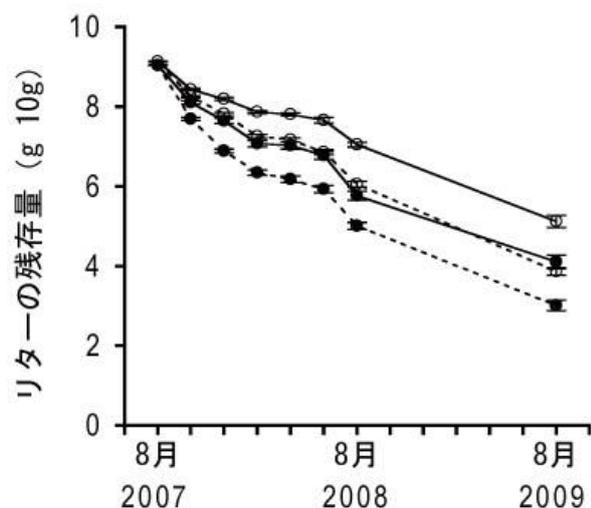


図1. 洲崎に設置したリターバッグ内のリター(落葉)の残存量の変化(平均値±標準誤差)。●: モクマオウの落葉、○: 在来種の落葉、実線: モクマオウ林、破線: 在来林。

れなかった。以上の結果は、在来林と比較して、モクマオウ林の林床において大量のリターが堆積しているのは、リターの供給量、特に落葉の量の違いによる、ということを示唆する。

リターバッグに入れた落葉の残存量の違いは、林分タイプと入れたリターの種類の両方によって説明できた。同じ林分内では、モクマオウの落葉の残存量は、在来種の落葉のそれよりも小さかった（図1）。一方で、同じ落葉で比較すると、モクマオウ林の林床に設置した落葉の残存量は、在来林の林床に設置した落葉の残存量よりも大きかった。以上の結果は、落葉が持つ物理的、化学的特性という点では、モクマオウの落葉のほうが在来種よりも分解が速いが、モクマオウ林よりも在来林のほうがリターの分解が速いという事を示唆した。

3) モクマオウのリターの堆積が在来植物の定着に及ぼす影響の解明

圃場実験において、ヒメツバキの発芽実生数の違いは、リターの堆積量によって最もよく説明できた。ヒメツバキの発芽実生数は、土壌の違いやリターの種類の違いに関わらず、堆積量が大い処理において少なかった。また、発芽実生数の違いは、リターの種類と堆積量の交互作用によっても説明された。在来種のリターを堆積させた処理における発芽実生数は、モクマオウのリターを堆積させた処理におけるそれよりも大きい傾向があり、この傾向はリターの堆積量が大い処理ほど顕著であった。実生の乾燥重量に関しても、発芽実生数と同様の傾向が見られた。以上の結果は、ヒメツバキの種子の発芽や初期成長は、モクマオウのリターの堆積によって物理的に阻害されていることを示唆する。

野外実験において、モクマオウ林におけるヒメツバキの種子からの出現実生数は、在来林におけるそれよりも有意に少なかった。リターを除去した実験区における出現実生数は、除去しなかった実験区におけるそれよりも大きい傾向は見られたが、統計的に有意な差が見られなかった。圃場実験で検出されたリターの堆積量の阻害効果が野外で顕著でなかったのは、リター以外の要因がヒメツバキの発芽や初期成長を阻害しているのかもしれない。一方、シャリンバイの出現実生数は、林分やリターの処理にかかわらず多く（図2）、モクマオウによるシャリンバイの初期の定着の阻害の可能性は低いことが示唆された。

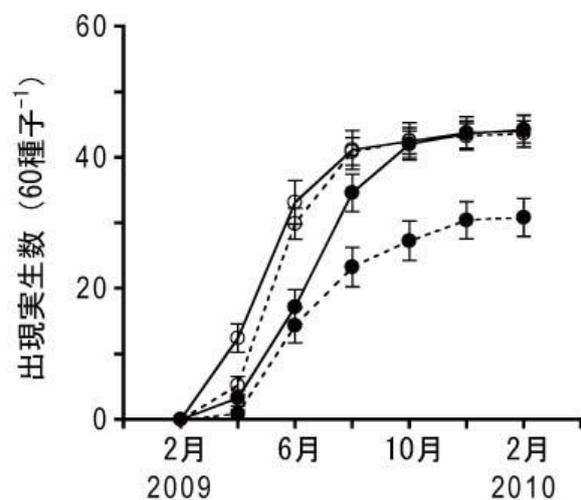


図2. 洲崎において播種したシャリンバイの累積出現実生数（平均値±標準誤差）。●：モクマオウ林内、○：在来林内、破線：リターの除去処理、実線は対照区。

（3）モクマオウの駆除、抑制手法およびその後の自然再生手法の検討

1) モクマオウの薬剤試験

最も小さいサイズクラス以外では、ロジスティック回帰モデルによくあてはまり、薬剤注入量により個体の枯死の有無を説明できた。最も小さいサイズクラスで回帰モデルへのあてはまりが悪い傾向が見られた理由の1つとして、薬剤を注入するために開けた穴の容積に対する薬剤量の少

なさが考えられる。

河川水に含まれる薬剤濃度は、測定限界値（0.001mg/l）以下だった。ただし、環境への流出の程度を評価する情報としては以下の理由から不十分である。水系の流域面積（5.0ha）に対してその流域内の個体に注入した総薬剤量は565 mlと極めて少なかった。薬剤処理後から水検体の採取までにまとまった降水がなかったことで、薬剤成分の河川への流出が起こらなかった可能性がある。また、今後落枝落葉から環境へ流出する可能性も考えられる。

2) モクマオウ駆除後の植生変化の把握

調査期間中、モクマオウ駆除区、コントロール区ともに草本植生の被度は増加したが、駆除の効果は明確に見られなかった。草本植生の被度の増加は、同時時期に実施されたノヤギの駆除の効果と考えられ、モクマオウ駆除の効果は短期的には見られなかった。

3) モクマオウ林での移植実生の定着可能性の検討

移植したヒメツバキとシャリンバイの実生は、移植から1年（シャリンバイの場合6ヶ月）経過した段階で、全ての個体が生存していた。初期サイズの違いによる成長の違いは、見られなかった。ただし、一部の实生はモクマオウをリターに埋もれつつあった。以上の結果は、モクマオウのリターの影響を受けないサイズの実生は、モクマオウ林でも定着できるかもしれないことを示唆する。

（4）外来植物リスク評価（WRA）システムの適用の可能性の検討

160種の小笠原の外来植物を対象にWRAによる侵略性の判定と、専門家による現地における判定はおおむね一致した。ただし、シミュレーションにおいて回答数を減らしたときWRAのスコアのばらつきは大きくなり、判定が覆る可能性があることが明らかになった。以上の結果は、WRAシステムは小笠原諸島の植物に適応可能であるが、十分な有効回答数が必要であることを示唆する。

（5）小笠原自生のセンダン個体群に対する琉球産のセンダンの遺伝的攪乱の可能性の検討

9遺伝子座のマイクロサテライトマーカーを用いた解析の結果、小笠原の自生個体は他の地域の自生個体と遺伝的に大きく分化しており、父島の植栽個体は他の地域の自生個体と遺伝的に類似していた。また、花と果実の形態的な差異を比較したところ、地域集団間で違いが認められた。さらに、種子の父親判定の結果、自然状態においては自然/植栽個体間の交雑は全くみられなかった。また、父島において両者の開花期がずれており、一部期間のみ重なっていた。そのため、交配前隔離は不完全であることが分かった。人工授粉実験においても、自生/植栽個体間での交雑は成立しなかった。よって、植栽個体をメスにした場合の片方向性しか確認することはできなかったが、自生/植栽個体間で何らかの交配後隔離が成立していることが強く示唆された。これらより、小笠原に自生しているセンダンは、これまでは認識されていなかった隠蔽種である可能性が強く示唆され、他地域のセンダンとは別の実体であると考えられた。さらに、交配前隔離と交配後隔離の組み合わせにより、小笠原においてセンダンの交雑による遺伝的攪乱が引き起こされる可能性は極めて低いと考えられた。

しかし、植栽個体由来の実生が野外に逸出していることが明らかになった。植栽地の周辺で多

くの植栽個体由来の実生が見つかった。また、植栽地から約4km離れた場所からも1個体のみではあるが、植栽個体由来の実生が見つかった。鳥被食型種子散布により、外来系統の個体が分布を拡大させ、在来集団の中に外来系統の個体が混生していく攪乱が懸念される。これについては、小笠原の自生/植栽個体の簡便な識別方法を開発し、植栽個体由来の子孫の除去に向けて、今後の具体的な対応策を提案した。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究により、ノヤギ排除後の環境にはギンネムが侵入する可能性が高く、その侵入により在来植物の定着が阻害され、偏向遷移を引き起こす可能性があることが明らかになった。この成果は、早急なギンネムの駆除、抑制の実施の必要性を主張する上での科学的な根拠となる。

モクマオウは、リターの堆積により、潜在的に在来種の種子の発芽と実生の初期成長を物理的に阻害していることが明らかになった。また、モクマオウ個体が枯死にいたる薬剤注入量を示すおおよその回帰式が得られ、薬剤枯殺による駆除を行う場合、使用量を最小限に抑えることが可能になった。また、樹種によってはモクマオウの閉鎖林冠下でも定着可能であることが明らかになった。これらの成果は、モクマオウ分布地における管理方針を決定する上で重要な科学的根拠となる。

植栽されたセンダンは、在来のセンダンとの間で、遺伝的な攪乱は起きにくいことが明らかになった。このことは、在来のセンダンが他地域のセンダンと系統的に離れている可能性を示唆しており、小笠原諸島における植物相の成立を理解する上での意義が大きい。

(2) 地球環境政策への貢献

- 1) 環境省の「小笠原諸島世界自然遺候補地科学委員会」に検討委員およびオブザーバーとして出席し、本研究の成果である外来植物リスク評価システムの有効性を提示し、外来植物対策への活用を提案した。
- 2) 「小笠原諸島森林生態系保護地域設定委員会」（林野庁）、「小笠原兄島ノヤギ排除検討委員会」（東京都）等の委員説明会に検討委員として出席し、本プロジェクトの成果に基づく提言を行った。
- 3) 環境省/林野庁/東京都自然保護局/東京都小笠原支庁/多摩動物公園/神奈川県立博物館が参画するオガサワラシジミ保全連絡会議の委員として、本プロジェクトの成果に基づく提言を行った。
- 4) 東京都環境局の東京都自然公園等の適正利用・管理検討会委員として本プロジェクトの成果に基づく提言を行った。
- 5) 東京都小笠原支庁が実施する東京都小笠原国立公園植生回復事業の検討会委員として参加し、外来植物ギンネムが、小笠原における遷移中期の主要な在来固有種であるヒメツバキの発芽や成長を阻害することを立証した本プロジェクトの成果をふまえ、ノヤギが駆除された聳島列島における植生回復事業について提言を行った。
- 6) 林野庁の小笠原諸島における外来種植物調査委員会委員として本プロジェクトの成果に基づく提言を行った。

- 7) 林野庁の「小笠原諸島森林生態系保護地域設定委員会」の委員説明会に検討委員として出席し、本プロジェクトの成果に基づく提言を行った。

6. 引用文献

- 1) 清水善和 (2009) 小笠原諸島父島の乾性低木林における 31 年間の個体群動態. 地域学研究 22: 69-93.
- 2) 清水善和 (2009) 小笠原の「乾性低木林」とは何か. 小笠原研究年報 31: 1-18.
- 3) Davis, M.A., Grime, J.P. and Thompson, K. (2000) Fluctuating resources in plant communities: A general theory of invasibility. *J. Ecol.* 88: 528-534.
- 4) Parker, I.M., Simberloff, D., Lonsdale, W.M., Goodell, K., Wonham, M., Kareiva, P.M., Williamson, M.H., Von Holle, B., Moyle, P.B., Byers, J.E. and Goldwasser, L. (1999) Impacts: toward a framework for understanding the ecological effects of invaders. *Biol. Invasion* 1: 3-19.
- 5) Roush, W. (1997) Hybrids consummate species invasion. *Science* 277:316-317.
- 6) Pheloung, P.C., Williams, P.A. and Halloy, S.R. (1999) A weed risk assessment model for use as a biosecurity tool evaluating plant introductions. *J. Envir. Manag.* 57: 239-251.
- 7) Akaike, H. (1987) Factor analysis and AIC. *Psychometrika* 52: 317-332.
- 8) Daehler, C.C., Denslow, J.S., Ansari, S., and Kuo. H. (2004) A risk assessment system for screening out invasive pest plants from Hawai'i and other Pacific Islands. *Conserv. Biol.* 18: 360-368.
- 9) Lian, C., Wadud, M.A., Geng, Q., Shimatani, K. and Hougetsu, T. (2006) An improved technique for isolating codominant compound microsatellite markers. *J. Plant Res.* 119: 415-517.

7. 国際共同研究等の状況

- (1) Carol J. West博士 (ニュージーランド環境保護省、ニュージーランド) からニュージーランドにおける外来種対策と外来植物リスク評価手法について、情報交換を行った。2005年12月には、ニュージーランドにおける外来種対策の現場視察を実施した。また、West博士には2004年に小笠原諸島を視察していただいた。
- (2) Richard H. Groves博士 (CSIRO、オーストラリア) とオーストラリアにおける外来種対策と外来植物リスク評価手法について、情報交換を行った。
- (3) Julie Denslow博士 (USDA Forest Service、米国) とハワイを中心とする太平洋諸島における外来種対策と外来植物リスク評価手法について、情報交換を行った。
- (4) Donald R. Drake博士 (ハワイ大学、米国) とハワイ、トンガを中心とする太平洋諸島における外来種と在来種の種間相互作用に配慮した外来種対策研究について、情報交換を行った。

8. 研究成果の発表状況

- (1) 誌上发表

<論文（査読あり）>

- 1) Hata, K., Suzuki, J-I. and Kachi, N. (2007) Vegetation changes between 1978, 1991 and 2003 in the Nakoudojima island that had been disturbed by feral goats. *Ogasawara Research* 32: 1-8.
- 2) Hata, K., Suzuki, J-I. and Kachi, N. (2007) Effects of an alien shrub species, *Leucaena leucocephala*, on establishment of native mid-successional tree species after disturbance in the national park in the Chichijima island, a subtropical oceanic island. *Tropics* 16: 283-290.
- 3) 畑憲治・可知直毅 (2009) 小笠原諸島における野生化ヤギ排除後の外来木本種ギンネムの侵入. *地球環境* 14: 65-72.
- 4) Hata, K., Kato, H. and Kachi, N. (2009) Community structure of saplings of native woody species under forests dominated by alien woody species, *Casuarina equisetifolia*, in Chichijima Island. *Ogasawara Research* 34: 33-50.
- 5) Hata, K., Kato, H. and Kachi, N. (2010) Litterfall in forests dominated by an alien woody species, *Casuarina equisetifolia*, on Chichijima Island. *Ogasawara Research* 35: 1-14
- 6) Hata, K., Kato, H. and Kachi, N. (in press) Litter of an alien tree, *Casuarina equisetifolia*, inhibits seed germination and initial growth of a native tree on the Ogasawara Islands (subtropical oceanic islands). *J. Forest Res.*
- 7) Hata, K., Suzuki, J-I. and Kachi, N. (in press) Fine-scale spatial distribution of seedling establishment of the invasive plant, *Leucaena leucocephala*, on an oceanic island after feral goat extermination. *Weed Res.*

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 畑憲治・可知直毅・市河三英 (2006) ノヤギが排除された媒島における外来木本種ギンネムの侵入過程. *小笠原研究年報* 29: 7-17.
- 2) 藤沼潤一・畑 憲治・可知直毅 (2008) 小笠原諸島における外来木本種モクマオウの薬剤による枯殺実験. *小笠原研究年報* 31: 19-29.
- 3) 畑憲治・宗芳光・加藤英寿・可知直毅 (印刷中) 父島における外来木本種モクマオウの侵入が在来木本種シャリンバイの初期の定着に及ぼす影響. *小笠原研究年報* 33.

(2) 口頭発表（学会）

- 1) 畑憲治、可知直毅、市河三英：第53回日本生態学会（2006）
“ノヤギが排除された小笠原諸島媒島における外来樹種ギンネムの侵入過程”
- 2) 可知直毅：多摩動物公園「小笠原展」講演会（2006）
“島の固有植物の生態と外来植物の脅威”
- 3) 加藤英寿：母島観光協会講演会（2007）
“ニュージーランドにおける生態系保全の現場から学ぶこと”
- 4) 可知直毅：小笠原村ビジターセンター講演会（2007）
“小笠原のギンネムとモクマオウの研究でわかったこと”

- 5) Kachi, N. : International Symposium on “Impacts of invasive alien species on biodiversity and mitigation of fragile ecosystems in the oceanic Ogasawara (Bonin) Islands” (2007)
“Impacts of invasive alien plants on biodiversity and their management on oceanic Ogasawara (Bonin) Islands”
- 6) Hata, K., Suzuki, J-I. Kachi, N. and Kato, H. : International Symposium on “Impacts of invasive alien species on biodiversity and mitigation of fragile ecosystems in the oceanic Ogasawara (Bonin) Islands” (2007)
“Spatial distribution of an alien shrub species in an oceanic island after the eradication of feral goats depends upon distances from its seed source and structure of herbaceous vegetation” (ポスター発表)
- 7) 畑憲治・加藤英寿・可知直毅 : 第55回日本生態学会 (2008)
“小笠原の外来種モクマオウが優占する森林の林床における在来植物の群集構造” (ポスター発表)
- 8) 須貝杏子・村上哲明・加藤英寿 : 第7回日本植物分類学会 (2008)
“琉球由来のセンダンが小笠原諸島自生のセンダンの引き起こす遺伝的攪乱の可能性” (ポスター発表)
- 9) 畑憲治 : 第40回種生物学シンポジウム (2008)
“モクマオウの侵入が在来樹種の定着に及ぼす影響”
- 10) 畑憲治・加藤英寿・可知直毅 : 生態学会関東地区会シンポジウム「遺伝子の宝庫としての小笠原諸島」(2009)
“外来木本種モクマオウが小笠原固有の木本種の定着に及ぼす影響” (ポスター発表)
- 11) 須貝杏子・村上哲明・加藤英寿 : 第8回日本植物分類学会 (2009)
“センダンの形態的差異と遺伝的分化” (ポスター発表)
- 12) 畑憲治・宗芳光・加藤英寿・可知直毅 : 第56回日本生態学会 (2009)
“小笠原諸島における外来木本種モクマオウのリターの堆積が在来木本種の発芽と実生の定着に及ぼす影響” (ポスター発表)
- 13) 坂田益郎・小嶋禎夫・可知直毅・福嶋健二 : 第56回日本生態学会 (2009)
“小笠原諸島のアーバスキュラー菌根菌” (ポスター発表)
- 14) 須貝杏子・村上哲明・加藤英寿 : 第56回日本生態学会 (2009)
“小笠原諸島におけるセンダンの遺伝的攪乱の可能性- 自生/植栽個体間での交雑の検証- ” (ポスター発表)
- 15) 須貝杏子・森啓悟・村上哲明・加藤英寿 : 第73回日本植物分類学会 (2009)
“小笠原諸島におけるセンダンの種分化の可能性と遺伝的攪乱の検討”
- 16) 須貝杏子・森啓悟・村上哲明・加藤英寿 : 第40回日本緑化工学会 (2009)
“小笠原諸島におけるセンダンの種内レベルの遺伝的攪乱の検討” (ポスター発表)
- 17) 可知直毅 : 第97回日本医学物理学会学術大会学術交流セミナー (2009)
“世界自然遺産候補地「小笠原」の自然と文化”
- 18) 須貝杏子・森啓悟・村上哲明・加藤英寿 : 第41回種生物学学会シンポジウム (2009)
“遺伝的攪乱の検討から明らかになったこと～小笠原の自生/植栽センダンをを用いて～” (ポスター発表)

一発表)

- 19) 可知直毅：国際シンポジウム「南の島のエイリアン：小笠原・沖縄の外来種管理」（2009）
 “島の生態系と生物多様性：小笠原での教訓”
- 20) Hata, K., Sou Y., Kato, H. and Kachi, N. : International Symposium on Aliens in Southern Islands (2009)
 “Litter of an alien tree inhibits seed germination and initial growth of a native tree on a subtropical oceanic island”（ポスター発表）
- 21) 畑憲治・宗芳光・加藤英寿・可知直毅：日本生態学会第57回大会（2010）
 “小笠原諸島に侵入した外来木本種モクマオウのリターの分解過程”（ポスター発表）
- 22) 須貝杏子・森啓悟・村上哲明・加藤英寿：第9回日本植物分類学会（2010）
 “植栽による攪乱の検討 ～小笠原諸島父島のセンダンにおける事例～”

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

- 1) 日本生態学会第54回大会自由集会「世界自然遺産登録に向けての小笠原研究の現状と展望」（2007年3月19日、愛媛大学、参加者約60名）
- 2) 日本生態学会第55回大会シンポジウム「南硫黄島の自然とその現状－25年ぶりの調査結果から」（2008年3月15日、福岡国際会議場）
- 3) 生態学会関東地区会シンポジウム「遺伝子の宝庫としての小笠原諸島」（2009年1月10日、首都大学東京秋葉原サテライトキャンパス、参加者約120名）
- 4) 日本生態学会第56回大会自由集会「小笠原の世界遺産申請に向けての外来種研究の現状と研究者の社会的責任」（2009年3月17日、岩手県立大学、参加者約100名）
- 5) 公開講演会「エコツーリズムと小笠原の植物研究最前線」（2010年3月4日、父島ビジターセンター、参加者約50名）
- 6) 2009年度小笠原関係修士論文報告会「小笠原の植物研究最前線」（2010年3月5日、母島村民会館、参加者約30名）
- 7) 日本生態学会第57回大会自由集会「保全事業がすすむ小笠原で研究者が直面する予想外の課題」（2010年3月15日、岩手県立大学、参加者約80名）

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) NHK国際放送（2007年3月15、16日、海外向け解説番組「Insight & Foresight」で小笠原世界遺産登録にむけた課題について10分ほど紹介）

(6) その他

なし

F-051 脆弱な海洋島をモデルとした外来種の生物多様性への影響とその緩和に関する研究

(2) 小笠原諸島における侵略的外来動物の影響メカニズムの解明と、その管理戦略に関する研究

独立行政法人森林総合研究所

理事		大河内勇
森林昆虫研究領域	森林昆虫研究領域長	牧野俊一
森林昆虫研究領域	昆虫生態研究室長	岡部貴美子
森林昆虫研究領域	昆虫生態研究室	杉浦真治
野生動物研究領域	鳥獣生態研究室	川上和人
九州支所	森林生態系研究グループ	安部哲人

〈研究協力機関〉	独立行政法人森林総合研究所	榎原寛
	東北大学大学院生命科学研究所	青山夕貴子

平成17～21年度合計予算額 65,799千円

(うち、平成21年度予算額 13,614千円)

※予算額は、間接経費を含む

[要旨] 小笠原諸島は海洋島であり、その生態系は外来生物に対して脆弱である。特に、外来動物による摂食活動は、生物間相互作用を介して、小笠原の生態系に強い影響を与えうる。本サブテーマでは、以下の3項目についての研究を行った。(1) グリーンアノールの昆虫捕食による植物の繁殖への間接効果を明らかにするため、12の島で訪花昆虫の観察を行い、父島・母島における主要な植物の結果率を調べた。また、父島の海岸周辺で固有ハナバチ類を探索した。その結果、父島・母島では訪花昆虫相が多様性・訪花頻度ともに衰退していたが、海岸部ではわずかに固有ハナバチが残存していた。アノールの生息する島では在来植物の訪花頻度が低く、送粉系攪乱が生じていた。残存する訪花昆虫相の保全のためには、海岸部での保護が必要である。(2) 陸島による外来植物種子散布について調査したところ、森林ではヒヨドリ、メジロ、メグロが、開放地ではイソヒヨドリが主要な周食型散布者となっていることが明らかになった。特にイソヒヨドリは移動能力が高く、有人島から無人島へ外来植物を拡散する要因と考えられる。一方、海鳥は付着型散布により外来植物の散布に貢献していた。これらのことから、海鳥が繁殖し、イソヒヨドリが島間移動しやすい父島南島周辺、母島南崎周辺での外来種管理の必要性が明らかになった。(3) 外来のプラナリアの一種で、捕食性のニューギニアヤリガタリクウズムシが、小笠原に固有の陸産貝類相に与える影響を定量的に明らかにした。この種は、陸産貝類だけでなくミミズ類やダンゴムシ類も捕食するため、陸産貝類の絶滅や減少後も個体群を維持させることができる。また、このプラナリアは主に地表上の陸産貝類を捕食するが、這い痕や匂いを頼りに樹上の陸産貝類をも攻撃することができる。ニューギニアヤリガタリクウズムシは高温高湿度下で活動性が高く、14℃以下だと低くなり、10℃以下では死亡する個体が増加する。またこの種は、43℃以上の熱水に5分以上耐えられないため、土壌、資材の検疫手法として熱水を用いた処理法が提案された。

[キーワード] グリーンアノール、種子散布、送粉系攪乱、ニューギニアヤリガタリクウズムシ、陸産貝類

1. はじめに

小笠原諸島は、一度も大陸とつながったことのない海洋島で、非調和な生物相をもち、独自の進化によってさまざまな固有種を保持する¹⁾。したがって、その生態系は、外来生物に対して脆弱である。特に、外来動物による捕食は、その食物となる在来生物への直接的な影響が深刻である。また、外来動物は、生物間相互作用を介して、他の外来生物や在来生物にも影響を与えうる²⁾。外来動物が在来生態系に与える影響を緩和していくには、外来動物が在来生物に直接与える影響だけでなく、他の外来生物や在来生物に与える間接的な影響を査定することが重要である。さらに、問題となる外来動物のこれ以上の諸島内での拡散や、他の外来生物の移出入を抑える手法が求められる。本サブテーマでは、特に下記の3項目に注目して研究を行った。

(1) 外来種グリーンアノールによる送粉系攪乱

近年、移入種グリーンアノールは父島と母島で野生化し、旺盛な捕食により昆虫相に壊滅的な打撃を与えているとされている。昆虫相が衰退することで、それらと相互作用のあった植物にもさまざまな間接的影響が出るのが予想される。ここでは送粉系に焦点を当て、グリーンアノールが小笠原固有の生態系機能に与える影響を解明する。

(2) 鳥類の種子散布による外来植物の拡散

小笠原諸島には、鳥類の種子散布によって分布を拡大していると考えられる外来植物が多数野生化している。しかし、それぞれの鳥類が実際に散布する植物種や、鳥類による移動が植物の分布に与える影響については不明なままである。それぞれの鳥類が種子散布者として果たす役割を明らかにすることにより、外来植物の拡散に与える影響を評価し、特に島間での植物の拡散を予防する手法を提案する。

(3) ニューギニアヤリガタウズムシの土壤動物相への影響とその緩和

近年小笠原諸島の父島に侵入が確認された貝類捕食者であるニューギニアヤリガタリクウズムシ(扁形動物)は、旺盛な捕食により在来の陸産貝類(カタツムリ)相に壊滅的な打撃を与えていると考えられてきた^{3),4)}。本研究では、ニューギニアヤリガタリクウズムシが小笠原の在来土壤動物相に与える影響を定量的に明らかにし、その影響緩和に向けた取り組みへの指針作りを目指す。

2. 研究目的

(1) 外来種グリーンアノールによる送粉系攪乱

一般に外来捕食者は島の在来生態系に与える影響は大きい。しかしながら、どの生物に影響が及ぶかは事例ごとに異なり、一般化することは難しい。小笠原諸島でも外来種グリーンアノールの昆虫に対する捕食圧が大きいことが明らかになりつつある。また、送粉者となりうるセイヨウミツバチの養蜂もおこなわれている。セイヨウミツバチは社会性のハナバチであり、採餌戦略が単独性のハナバチとは大きく異なることが予想される。その一方で、海洋島の植物は貧弱な昆虫相に適応して花形質を進化させてきたと考えられ、送粉者相の変質は海洋島の固有植物の繁殖に

大きな影響を及ぼすことが懸念される。こうした点を考慮して本課題ではグリーンアノールによる昆虫捕食の影響が送粉系や虫媒花植物の繁殖に及ぼす間接的影響を明らかにし、送粉系復元のための対策に寄与することを目的とした。

(2) 鳥類の種子散布による外来植物の拡散

小笠原諸島には、陸鳥10種、海鳥15種が繁殖している。陸鳥は周食型種子散布者として、海鳥は付着型種子散布者として、外来植物種子の拡大に貢献していると考えられる。そこで、それぞれの種が種子散布に果たす役割について明らかにすることで、外来植物の島間分布拡大を予防する方法を提案することを目的とする。このため、1) 森林における陸鳥類の種子散布者としての役割の評価、2) 開放地における陸鳥類の外来種子散布状況の解明、3) 開放地において海鳥が外来植物の分布に与える影響の分析を行った。

(3) ニューギニアヤリガタウズムシの土壌動物相への影響とその緩和

小笠原父島における在来陸産貝類個体群が急速な減少の原因として、捕食性陸生プラナリアの一種、ニューギニアヤリガタウズムシの侵入によるものと推定されてきた^{4),5)}。本研究では、この仮説を検証し、その影響緩和の方法を開発することを目的とする。このため、1) ニューギニアヤリガタリクウズムシの食性を含む詳細な生態、2) ニューギニアヤリガタリクウズムシが侵入した地域としていない地域で土壌動物相と陸産貝類の生存率の比較、3) ニューギニアヤリガタリクウズムシの侵入地域にて陸産貝類への捕食圧の季節変化、4) ニューギニアヤリガタリクウズムシによる影響緩和を目的とした熱水耐性の調査等を実施した。

3. 研究方法

(1) 外来種グリーンアノールによる送粉系攪乱

グリーンアノールが訪花昆虫を捕食していることを確認するため、飼育ケージに訪花昆虫を入れて捕食実験をおこなった。実験は1回60分で2日間絶食させたアノール1匹と昆虫を3~9匹入れた。この試行を29回おこなった。

訪花の状況を明らかにするため、小笠原諸島の12の島（父島、母島、兄島、弟島、西島、南島、向島、平島、聳島、嫁島、媒島、西之島）で開花の見られる種について調査をおこなった。これらの島でルートセンサスをおこない、花が観察できた固有種64種、広域分布種30種、帰化種38種を対象に訪花昆虫を合計459時間20分間観察した。観察時間を稼ぐため、観察にはデジタルビデオカメラを併用した。このため、訪花昆虫の同定は種レベルではなく、12の訪花者グループに分類した。また、訪花昆虫の観察時には観察した花序数、花序当りの開花数も併せて記録した。これらのデータから観察された訪花頻度を個花当りに換算し、アノールのある主要島（父島・母島）とアノールのない周辺属島との間で比較した。

植物の繁殖成功率を明らかにするため、主要島では103種の自然結実と73種の強制受粉試験による花粉制限を調べた。また、グリーンアノールの影響を明らかにするため、セイヨウミツバチがいてグリーンアノールがいない兄島において8種類の植物の結実調査をおこない、父島の同種と比較した。

また、グリーンアノールがいる母島でも新夕日丘の排除柵内において訪花頻度及び結果率を調

査し、排除柵外部の訪花頻度及び結果率を比較した。

主要島でも固有ハナバチ類が残存している可能性があることから、その可能性が高い父島の海岸部13箇所（宮の浜、釣浜、前浜、境浦、扇浦、コペペ浜、小港、ブタ海岸、ジョンビーチ、ジニービーチ、初寝浦、西海岸、中海岸）で固有ハナバチ類の捕獲調査を2007年6月、2008年7月におこなった。

（2）鳥類の種子散布による外来植物の拡散

1) 森林における陸鳥類の種子散布現況を明らかにするため、各種鳥類の糞分析を行った。糞分析では、森林内での捕獲調査によって得られた糞および、野外で採集された糞の両方を用いた。糞分析では、植物の種子を抽出し、種を判別し、それぞれの種の種子の個数を記録した。この調査は、外来植物種が多数分布する有人島および外来植物が少ない無人島の両方で行った。次に、定点センサスによって各種鳥類の森林での相対生息密度を測定した。それぞれの鳥類について糞から種子が出現する頻度と、相対生息密度を乗じることで、種子散布者としての相対的な重要度を算出した。また、主要な散布者の島間移動の有無に関して、無人島での直接観察および遺伝的分析により評価した。

2) 小笠原諸島における周食型繻子散布を行う鳥類で、開放地を主要な生息地とし、森林での出現頻度が少ない陸鳥としては、イソヒヨドリ1種が該当する。このことから、有人島である父島、母島において本種の糞分析を行い、その外来植物散布状況について明らかにした。次に、本種の環境選好を明らかにするため、森林および開放地における相対密度を調査した。また、1979年と2008年の本種の個体群密度を比較することで、本種の個体数推移を明らかにした。

3) 海鳥のよる付着型種子散布の頻度を明らかにするため、クロアシアホウドリ、アナドリ、オナガミズナギドリ、カツオドリを繁殖地で捕獲し、体表面に付着する種子の採集を行った。次に、海鳥の採食による海水浸水が種子の発芽率に与える影響を明らかにするため、捕獲調査で検出された植物と同種の種子を、3%の食塩水に10分間浸した場合、8時間浸した場合、真水に浸した場合の3通りで発芽率を比較した。また、合計24島の海鳥および植物の分布を用いて、海鳥の繁殖分布が付着していた植物の分布に与える影響を一般化線型モデルによって分析した。

（3）ニューギニアヤリガタウズムシの土壤動物相への影響とその緩和

1) 夜間調査（2008年夏）を行い、ニューギニアヤリガタリクウズムシの生態（行動、餌）を観察した。また、室内実験によって餌動物種の選好性を調査した。

2) ニューギニアヤリガタリクウズムシが侵入し固有陸産貝類が絶滅した地域（侵入域）に7サイト、陸貝類が残存している地域（非侵入域）に3サイト調査地を設け、それぞれの大型土壤動物群集を比較した。サンプリングは2005年6月、11月の2回行い、2006年にかけて大型土壤動物のソーティング、個体数の記録、データ解析を行った。大型土壤動物の調査では各サイト内に25mのラインを設け、5m毎に合計6ポイント採集した。各採集点において、25cm×25cmの枠を設定し、落葉層及び深さ15cmまでの土壌を採取し、ハンドソーティングにより2mm以上の土壤動物を採集した。ま

た2005年11月に、ニューギニアヤリガタリクウズムシが侵入した地域としていない地域に、リクウズムシが侵入可能な網袋と不可能な不織布の袋に生きたカタツムリ（ウスカワマイマイまたはオナジマイマイ）を入れ林床に設置して、2週間の生存率を比較した（袋あたりのカタツムリ数は5）。

3) 2006年から2008年にかけて2、4、5、6、7、9、11、12月にニューギニアヤリガタリクウズムシ侵入地域にて網袋を使って（林床での）ウスカワマイマイの1週間の生存率の季節変化を調査した（袋あたりのカタツムリ数は5）。また、2007年11月に樹上性の陸貝種に与える影響を調べるために、樹上1mから2mにウスカワマイマイを入れた網袋を設置して1週間の生存率を調査した（袋あたりのカタツムリ数は5）。また、気温や湿度を調整できる実験室環境下にて、ニューギニアヤリガタリクウズムシの生存や捕食活動に与える温度条件を調査した。

4) 栽培植物や土壤にまぎれてニューギニアヤリガタリクウズムシや他の外来土壌動物が拡散するのを防ぐための熱水手法の検討を行った。一般に多くの栽培植物は50℃程度の熱水に数分間さらされても耐性があることが知られている。そこで、ニューギニアヤリガタリクウズムシ、ウスカワマイマイ、ハラメノウミミズ、アシジロヒラフシアリの40、43、45、47、50℃の熱水への5分間の耐性（生存率）を調査した。

4. 結果・考察

(1) 外来種グリーンアノールによる送粉系攪乱

小笠原諸島12島の訪花昆虫の衰退状況はグリーンアノールの島間分布と最もよく一致していた。また、はじめて衰退が報告されたタイミングはグリーンアノール導入の直後であり、要因として可能性のある諸要因の中でも最も近接していた。これらのことから小笠原の訪花昆虫衰退の要因はグリーンアノールによる捕食圧であると考えてよい。捕食実験の結果、グリーンアノールは固有ハナバチやハエ、ガは旺盛に捕食したが、セイヨウミツバチは捕食しなかった（図1）。一度だけセイヨウミツバチにアタックが見られたが、毒針に刺されて以降、セイヨウミツバチが接近しても飼育ケージ内を忌避する行動が確認された。この結果は主要島で在来訪花昆虫が姿を消した中でセイヨウミツバチが優占し、固有のオガサワラクマバチも生き残っている要因をよく説明するものである。

植物1種あたりの平均訪花者グループ数は属島の 2.3 ± 0.2 (SE) に比べて主要島では 1.6 ± 0.1 と有意に減少しており ($F=7.2$, $df=1$, $P=0.008$)、訪花頻度も主要島 5.1 ± 0.6 は属島 13.8 ± 4.6 より63.0%低かった。このことはグリーンアノールの捕食により訪花昆虫相が多様性・訪花頻度ともに衰退していることを示唆する。ま

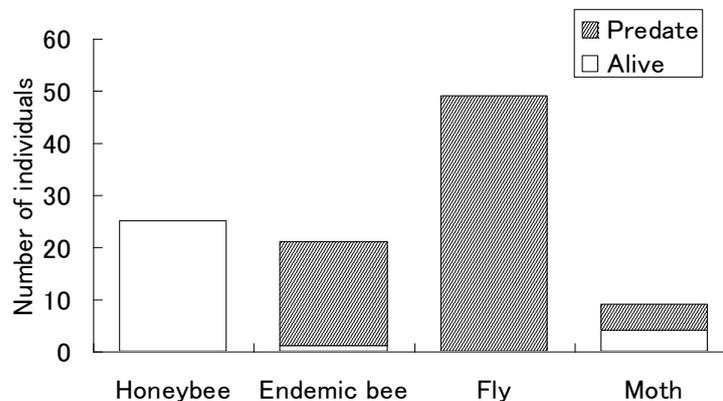


図1. グリーンアノールによる捕食実験の結果

た、属島の固有ハナバチ類の訪花頻度は外来植物より固有植物で有意に高い($t = 3.1$ 、 $df = 1$ 、 $P = 0.003$)のに対して主要島のセイヨウミツバチでは固有植物より外来植物が有意に高かった($t = 2.1$ 、 $df = 1$ 、 $P = 0.042$; 図2)。

一方で、主要島における結実も外来種ほど高く($G = 357.6$ 、 $df = 2$ 、 $P < 0.001$)、セイヨウ

ミツバチの訪花頻度と結果率には有意な正の相関が認められた($F = 4.8$ 、 $df = 1$ 、 $P = 0.030$)。また、在来種で花粉制限が見られたのは観察した種の約半分であったのに対して、外来種では約17%の種でしか見られなかった。これらの結果から、セイヨウミツバチの外来種への選好性が植物の繁殖成功度にも影響し、外来植物が有利になっていると考えられた。また、兄島と父島での結果率の比較結果は、皿型の花は兄島で結果率が高い傾向が見られ、夜にガに媒介される花や風媒花にはそのような傾向はみられなかった。このことはグリーンアノールが昼行性であるために昼間に活動する訪花昆虫相への影響が強くなっていることを示唆するものである。

母島新夕日丘のアノール排除柵では、訪花頻度、結果率とも柵内外で大きな差はなく、アノール排除の効果は見られなかった。これは、試験期間最後までにグリーンアノールの完全排除に到らなかったことや周囲に固有ハナバチ個体群を回復させるソースがないことなどが原因と考えられる。ただし、結論を出すにはもうしばらくモニタリングを続ける必要がある。

固有ハナバチを調査した父島の海岸部のうち、宮の浜、前浜、扇浦、小港、ブタ海岸、ジョンビーチでは固有ハナバチの生存が確認された。確認されたのはアサヒナハキリバチ、オガサワラコハキリバチ、イケダチビムカシハナバチ、オガサワラツヤハナバチの4種であった。いずれの場所でも個体数は非常に少なく、訪花調査では全く記録されなかった。しかしながら、これらの場所でグリーンアノールを排除できれば固有ハナバチ個体群の回復が期待できることから、送粉系復元のためには優先順位の高い場所であると言える。

(2) 鳥類の種子散布による外来植物の拡散

1) 捕獲調査および野外調査により、ヒヨドリ133個、イソヒヨドリ13個、トラツグミ34個、ウグイス27個、メジロ424個、メグロ423個、カラヒワ27個の糞が得られた。散布者としての相対重要度を算出した結果、ヒヨドリ、メジロ、メグロにおいて高く、それ以外の陸鳥では非常に低かった。このうちメジロは、小笠原諸島に20世紀初頭に野生化した外来種である。糞分析の結果、外来種9種、在来種11種、種不明5種が検出された。これらの植物種のうち、特に外来種であるガジュマル、ジュズサンゴ、トウガラシ、アカギなどの検出率が高かった。ヒヨドリおよびメジロは、メグロに比べて他種の外来植物を散布していた。メジロとメグロは直径5mm以下の種子を散布しており、散布種子の大きさに有意な差はなかったが、ヒヨドリは直径11mmまでの種子を散布していた。ミトコンドリアDNAの分析により、メグロの個体群間比較を行ったところ、本種は島間で

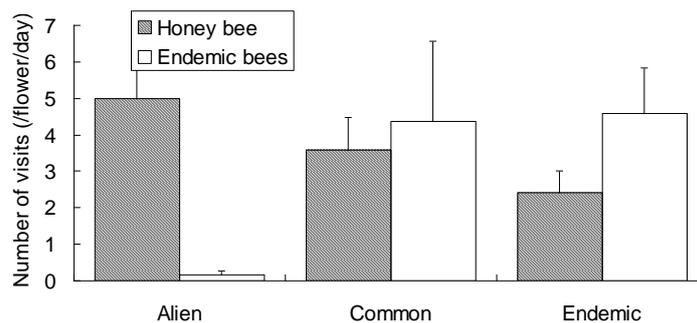


図2. 主要島におけるセイヨウミツバチと属島における固有ハナバチ類の訪花パターンの比較。横軸は植物の起源

ほとんど遺伝的な交流が無いことが明らかになった。これに対して、ヒヨドリおよびメジロは、同じ列島内では、季節的に島間移動があることが観察により明らかになった。以上の結果から、ヒヨドリおよびメジロは、外来植物種子を有人島から無人島に拡散させる可能性があることが明らかになった。その一方で、メグロとメジロの散布者としての機能が類似することから、メグロが絶滅した場所では、外来種メジロが失われた機能を補完している可能性がある。また、それぞれの鳥種の種子散布の頻度は、無人島に比べて有人島で高くなっていた(図3)。ただし、在来植物が散布される頻度は特に変化していなかった。このことから、果実をつける外来植物が増加することで、各種鳥類が果実を食べる頻度が上昇していると考えられ、外来植物の増加が在来種の散布機会を減少させることはないと考えられた。

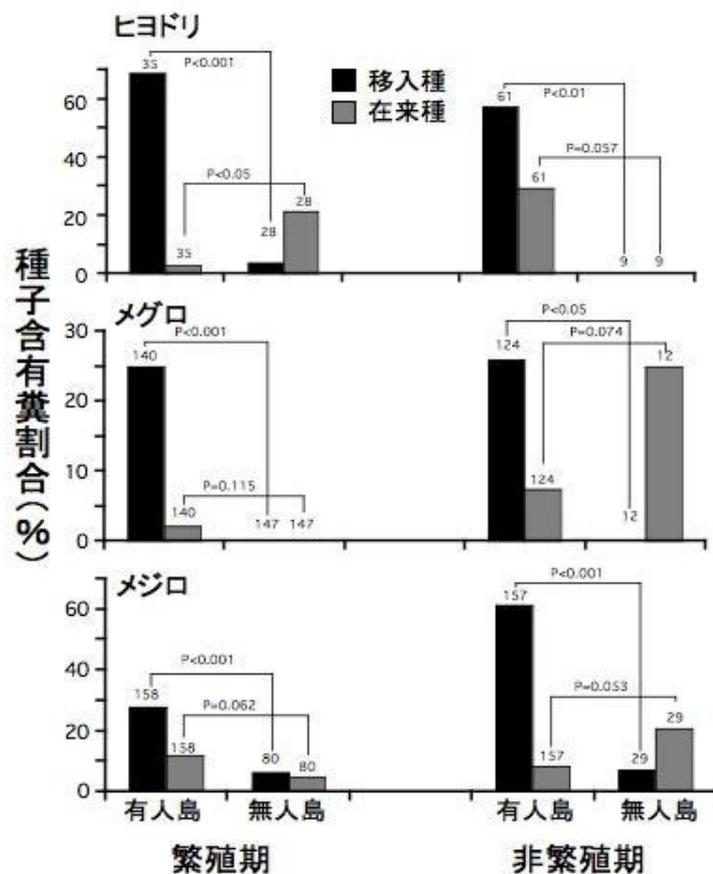


図3. 有人島、無人島におけるヒヨドリ、メグロ、メジロによる種子散布頻度。

2) イソヒヨドリの糞232個を分析した結果、ガジュマルやシマグワ、キダチトウガラシなどの外来種7種、在来種2種、不明3種が検出された。また、種子のサイズは直径6mm以下であった。本種の生息密度を開放地、低地二次林、山地二次林、湿性高木林で比較したところ、他の場所に比べて開放地において密度が高かった。本種の生息密度を1979年のものと比較したところ、多くの場所で増加傾向にあることがわかった。これらのことから、イソヒヨドリは開放地において頻繁に外来種を散布していることが明らかになった。開放地は、農耕地や集落などを含んでおり、外来植物が定着しやすいと考えられるため、この生息地を選好するイソヒヨドリは外来植物の散布に大きく寄与していると考えられる。また、本種の生息密度の増加は、有人島における開放地の拡大と一致している。観察から、イソヒヨドリは日常的に500m程度の海を越えて移動可能であることがわかった。このことから、父島南西部の南島周辺や母島南部の南崎瀬戸など、無人島が点在する場所から、外来植物が拡散する可能性がある。

3) 海鳥体表面の種子付着状況を調べたところ、4種の全てについて15~30%程度の個体から種子が検出された。植物は9種が検出され、そのうち4種は外来種(シンクリノイガ、ムラサキヒゲシバ、ナハカノコソウ、カラクサナズナ)だった。得られた種子は、従来から付着型と考えられて

ただだけでなく、風散布植物1種、周食型散布植物1種、散布器官のない2種が含まれていた。種子の耐塩性を調べた結果、いずれの種でも食塩水に浸水されることにより、致命的に発芽率が低下することはなかった。分布の分析の結果、シンクリノイガ、ナハカノコソウ、ムラサキヒゲシバ、イヌホオズキの分布は、海鳥の繁殖分布の影響を受けていることが明らかになった。この結果から、海鳥は外来植物の分布拡大に寄与していることが示唆された。これらのことから、海鳥繁殖地を人間が観光などで利用することにより、有人島から無人島へ外来植物が拡散する可能性がある。

今回の結果から、陸鳥および海鳥による外来植物の分布拡大は、海鳥の繁殖があり、有人島からアプローチしやすい場所から生じやすいと考えられる。このため、父島列島では南島周辺、母島列島では南崎周辺の外来植物管理を重点的に行う必要がある。

(3) ニューギニアヤリガタリクウズムシの土壌動物相への影響とその緩和

1) ニューギニアヤリガタリクウズムシは、陸産貝類だけでなく、生きたミミズ類、陸生等脚類（ダンゴムシ類）なども捕食していることがわかった。特に、すでに陸貝類が絶滅してしまったか稀になった地域においては、ニューギニアヤリガタリクウズムシは生きたミミズを捕食していることが観察された。ただし、室内実験では、ニューギニアヤリガタリクウズムシは、陸生等脚類よりも、ミミズ類、ミミズ類よりも陸貝類を好んで捕食していた。陸貝の孵化個体やかなり小型の個体でも捕食されるが、卵はほとんど捕食されなかった。また、餌動物は、相対的に大型な個体より小型個体をより好んで捕食していた。また、大型の餌個体では、ニューギニアヤリガタリクウズムシは集団で襲うことでその捕食成功率を上昇させていた。

2) 大型土壌動物全体の密度はニューギニアヤリガタリクウズムシの侵入域と非侵入域間で大きく異ならなかった。ナガミミズ目は、全て移入種と考えられ、全サイトに、比較的高い密度で見られた。ワラジムシ目の密度は、侵入域と非侵入域間で異ならなかった。しかし、このワラジムシ目の密度は、1977年の調査時に記録された平均1000個体/m²という高密度⁶⁾と比べると極めて低かった。また、ニューギニアヤリガタリクウズムシの侵入地域と非侵入地域でウスカワマイマイおよびオナジマイマイの生存率を調査したところ、侵入地域では80-90%の個体が2週間で捕食された（図4）。つまり、ニューギニアヤリガタリクウズムシの侵入により、ミミズ類や陸生等脚類などの大型土壌動物に与える影響は小さかったが、陸産貝類への影響は極めて大きいことがわかった。また、ニューギニアヤリガタリクウズムシはミミズ類も捕食するため、ナガミミズ目が普通に見られるいずれの地域においても、陸産貝類の有無にかかわらず、侵入後の定着が可能だと考えられる。

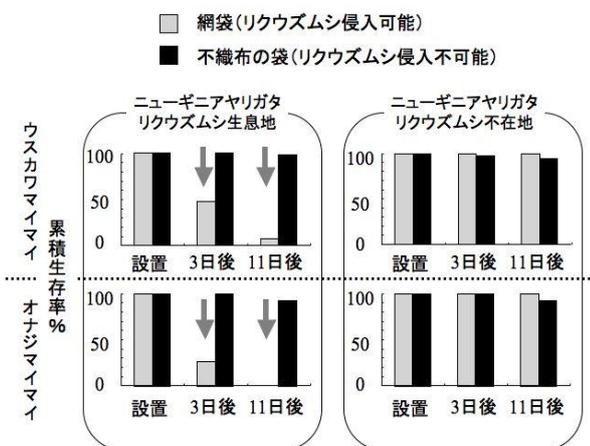


図4. ニューギニアヤリガタリクウズムシの在・不在による陸産貝類の生存率の違い

3) ニューギニアヤリガタリクウズムシによるウスカワマイマイへの捕食圧は季節的に変動していた。最も捕食圧が高かったのは、7月から11月で最大100%に及んだ。最も低かったのは2月で0%であった（表1）。また、樹上1mおよび2mに設置したウスカワマイマイも、樹皮をつたって登ってきたニューギニアヤリガタリクウズムシによって捕食されることがわかった。さらに、室内実験の結果から、ニューギニアヤリガタリクウズムシは10℃前後では活動はほとんど行わず、2週間で77%の個体が死亡した。14℃では死亡する個体はほとんどなかったが、捕食を行った個体は48%にすぎなかった。18℃以上ではすべての個体が生存し捕食を行っていた。つまり、野外での捕食圧の季節変化は、季節的な気温変化によって引き起こされている可能性が高かった。

表 1. ニューギニアヤリガタリクウズムシの捕食による陸貝類の死亡率と気象条件の季節変化

調査年月	調査袋数 ^a	平均死亡率 (%) ^b	平均日気温 (°C)	平均日降水量 (mm)	平均日湿度 (%)
2008年2月	6	0.0	17.1	8.2	71.4
2008年4月	6	3.3	20.6	0.6	80.0
2008年5月	6	3.3	25.4	2.4	86.8
2007年6月	6	26.7	26.2	0.0	92.3
2008年7月	6	93.3	25.9	2.0	72.3
2008年9月	6	100.0	27.3	1.2	81.4
2007年11月	6	90.0	24.1	1.4	76.9
2007年12月	6	43.3	20.4	2.4	70.6

^a 各袋には5個体のウスカワマイマイ（殻直径20mm以上）

^b 7日間にニューギニアヤリガタリクウズムシによって捕食された平均死亡率

4) ニューギニアヤリガタリクウズムシは43℃以上、ハラメノウミミズは43℃以上、ウスカワマイマイは50℃以上、アシジロヒラフシアリは47℃以上の熱水（5分間）で100%の個体が死亡した。つまり、ニューギニアヤリガタリクウズムシの熱水耐性は植物よりもずっと低く、熱水処理法が栽培植物の検疫などに有効な手法かもしれない。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究により明らかになったアノールトカゲによる送粉者の捕食を介した在来植物への影響は、外来捕食者による送粉系攪乱としては最悪の事例である。さらに本研究では、外来送粉者による影響も明らかにすることで、複数の外来種が介在することで在来植物相に大きな影響を与える可能性があることを示すことができた。このように、総合的に送粉系攪乱について明らかにした例は世界的にも稀であり、大きな意義があると言える。

外来植物の種子散布に関する研究では、森林と開放地における周食型および付着型種子散布について、網羅的に明らかにすることができた。外来植物の分布拡大に対する鳥類の貢献は、様々な地域で示唆されてきているが、同一地域における種子散布系を総合的に解明した例はほとんどない。特に、付着型散布については、その重要性を認識されながらも断片的な研究事例しかなかった。

ニューギニアヤリガタリクウズムシは、1970年代以降アフリカマイマイ防除のために太平洋やインド洋の島々に導入されてきた^{4),7),8)}。グアム島やサモアにおいてニューギニアヤリガタリクウズムシが固有陸貝類に与える影響が示唆されてきたが^{3),4),9)}、その科学的な証拠には乏しかった。小笠原諸島における一連のニューギニアヤリガタリクウズムシの生態調査によって、陸産貝類に与える強い影響をはじめて実験的に示すことに成功した。

小笠原諸島における生態学的研究をまとめた英文書籍はこれまでに存在しなかったため、研究水準の高さに比べ、世界的に注目されにくい状況にあった。本プロジェクトでは、2010年3月にこれまでの研究成果をまとめた英文単行本“Restoring the Oceanic Island Ecosystem: Impact and Management of Invasive Alien Species in the Bonin Islands”を、国際的に著名な出版社であるSpringer社から出版した。このことにより、小笠原における外来生物管理に関する研究成果を、国際的に普及することができた。

(2) 地球環境政策への貢献

本サブテーマに参画する担当者は、小笠原諸島世界自然遺産候補地科学委員会（環境省等）、小笠原諸島世界自然遺産候補地科学委員会外来種対策・自然再生部会（環境省等）、小笠原諸島世界自然遺産候補地科学委員会固有種保全ワーキンググループ（環境省等）、小笠原諸島森林生態系保護地域保全管理委員会（林野庁）、外来植物駆除対策調査委員会（林野庁）、小笠原国立公園聳島列島植生回復調査検討委員会（環境省）等に委員として参加し、本研究の成果を反映させることで、環境省、林野庁、東京都の事業に貢献している。日本政府によりユネスコに提出された世界自然遺産登録推薦書では、本研究で得られた成果が多数取り上げられている。

本サブテーマの成果の主要な重要性は以下の通りである。

現在、小笠原では環境省によりグリーンアノール排除柵による局所根絶試験が実施されているが、送粉系の攪乱に関連して海岸付近に柵を設置することを提言した。これが実現すると一般にあまり事例がない送粉系の復元事例としての貢献が期待できる。

通常は鳥類の種子散布系を介した外来植物の分布拡大を完全に妨げることは難しい。しかし本研究では、鳥種による散布実態の違いを明らかにすると共に、その移動能力の違いを示すことで、散布経路として重要な地域を示すことができた。このことにより、現実的に外来種の拡散を抑制するために管理が必要な地域を特定することが可能となった。

ニューギニアヤリガタリクウズムシに関する研究成果では、本種による陸産貝類に及ぼす強い影響を明らかにしたばかりでなく、本種の活動気温などの臨界点（10℃）を明らかにした。これは本種が今後、温帯域や暖温域への分布拡大する可能性を示唆している。つまり外気温10℃以下が数週間以上続く地域以外では、本種の侵入と定着が危惧されるだろう。また、本研究結果は、本種の人為的な移動を制限するための方策（いわゆる外来種法の本種選定）へ重要な貢献がなされた。さらに、本種のもう一つの人為的分布拡大の要因の一つと考えられる栽培植物や土壌に紛

れた移動を防ぐために、熱水処理法実施の可能性を提案した。

6. 引用文献

- 1) Shimizu, Y. (2003) The nature of Ogasawara and its conservation. Glob. Environ. Res. 7: 3-14.
- 2) Simberloff, D. and Von-Holle, B. (1999) Positive interactions of nonindigenous species: invasional meltdown? Biol. Invasion 1: 21-32.
- 3) Hopper, D.R. and Smith, B.D. (1992) Status of tree snails (Gastropoda: Partulidae) on Guam, with a resurvey of sites studied by H.E. Crampton in 1920. Pac. Sci. 46: 77-85.
- 4) 杉浦真治 (2009) 侵略的外来生物・ニューギニアヤリガタリクウズムシの生態と固有陸産貝類への影響. 地球環境 14: 25-32.
- 5) Ohbayashi, T., Okochi, I., Sato, H., Ono, T. and Chiba, S. (2007) Rapid decline of endemic snails in the Ogasawara Islands, Western Pacific Ocean. Appl. Entomol. Zool. 42: 479-485.
- 6) 青木淳一・原田洋 (1978) 小笠原諸島の土壌動物相の研究. I. 土壌節足動物の群集構造. 国立科博専報 11: 91-106.
- 7) Muniappan, R. (1987) Biological control of the giant African snail, *Achatina fulica* Bowdich, in the Maldives. FAO Plant Prot. Bull. 35: 127-133.
- 8) Muniappan, R. (1990) Use of the planarian, *Platydemus manokwari*, and other natural enemies to control the giant African snail. In: The Use of Natural Enemies to Control Agricultural Pests (ed. Bay-Petersen, J.): 179- 183. Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region.
- 9) Cowie, R.H. and Robinson, A.C. (2003) The decline of native Pacific island faunas: changes in status of the land snails of Samoa through the 20th century. Biol. Conserv. 110: 55-65.

7. 国際共同研究等の状況

(1) 本研究を推進するにあたっては、海外で外来種管理を研究する専門家を招聘し、情報交換を行うと共に、逐次研究成果についての議論を行い、研究推進上の助言を得た。この議論に基づき、翌年度の研究計画の立案を行うことで、研究内容の水準を向上させることができた。各年度に招聘した専門家は下記の通りである。2005年度: Robert Cowie博士 (ハワイ大学、米国)、Richard Groves博士 (CSIRO、オーストラリア)、2006年度: Julie Denslow博士 (USDA Forest Service、米国)、Fred Kraus博士 (ビショップ博物館、米国)、2007年度: Anna Traveset博士 (IMEDEA、スペイン)、Alan Tye博士 (SPREP、サモア)、2008年度: Donald Drake博士 (ハワイ大学、米国)、Mark Gardner博士 (ダーウィン研究所、エクアドル)、2009年度: Curt Daehler博士 (ハワイ大学、米国)、Keith Broome氏 (ニュージーランド環境保護省、ニュージーランド)。

(2) ニューギニアヤリガタリクウズムシの熱水処理法の検討では、温水洗浄システム (Hot water drenching System) を用いた外来動物移入防止法についてアメリカ合衆国ハワイ州のビショップ博物館のFred Kraus博士らに有益な助言を得た。

(3) ガラパゴス諸島ダーウィン研究所で開催されたダーウィン生誕200周年記念科学シンポジウムに参加し、ガラパゴス諸島において外来種管理に関する研究を行っているMark Gardner博士、

Felipe Cruz氏（ともにダーウィン研究所、エクアドル）らと小笠原諸島の外来種管理策に関する議論を行い、助言を得た。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上发表

〈論文（査読あり）〉

- 1) Abe, T. (2006) Threatened pollination systems in native flora of the Ogasawara (Bonin) Islands. *Ann. Bot.* 98: 317-334.
- 2) 川上和人 (2006) 小笠原諸島父島におけるムニンノボタンの種子散布者. *Strix* 24: 177-182.
- 3) Sugiura, S., Abe, T. and Makino, S. (2006) Loss of extrafloral nectary on an oceanic island plant and its consequences for herbivory. *Am. J. Bot.* 93: 491-495.
- 4) Sugiura, S., Okochi, I. and Tamada, H. (2006) High predation pressure by an introduced flatworm on land snails on the oceanic Ogasawara Islands. *Biotropica* 38: 700-703.
- 5) 杉浦真治 (2007) 島の植物に被食防御は必要か？－ハワイと小笠原での花外蜜腺の消失と移入アリによる影響－. *生物科学* 58: 111-114.
- 6) Sugiura, S., Abe, T., Yamaura, and Makino, S. (2007) Flower-visiting behavior of male bees is triggered by nectar-feeding insects. *Naturwissenschaften* 94: 703-708.
- 7) Abe, T., Wada, K. and Nakagoshi, N. (2008) Extinction threats of a narrow endemic shrub, *Stachyurus macrocarpus* (Stachyuraceae) in the Ogasawara Islands. *Plant Ecol.* 198: 169-183.
- 8) Abe, T., Makino, S. and Okochi, I. (2008) “Why have endemic pollinators declined on the Ogasawara Islands?” *Biodiv. Conserv.* 17: 1465-1473.
- 9) Kawakami, K., Harada, S., Suzuki, T. and Higuchi, H. (2008) Genetic and morphological differences between populations of the Bonin Islands White-eye in the Bonin Islands, southern Japan. *Zool. Sci.* 25: 882-887.
- 10) Sugiura, S. (2008) Hot water tolerance of soil animals: utility of hot water immersion for preventing invasions of soil animals. *Appl. Entomol. Zool.* 43: 207-212.
- 11) Sugiura, S. (2008) Male territorial behaviour of the endemic large carpenter bee, *Xylocopa (Koptortosoma) ogasawarensis* (Hymenoptera: Apidae), on the oceanic Ogasawara Islands. *Eur. J. Entomol.* 105: 153-157.
- 12) 安部哲人 (2009) 小笠原諸島における送粉系攪乱の現状とその管理戦略. *地球環境*14: 47-55.
- 13) Hasegawa, M., Sugiura, S., Ito, T. M., Yamaki, A., Hamaguchi, K., Kishimoto, T. and Okochi, I. (2009) Community structures of soil animals and survival of land snails on an island of the Ogasawara Archipelago. *Pesq. Agropec. Bras.* 44: 896-903.
- 14) 川上和人 (2009) 小笠原諸島におけるイソヒヨドリによる外来植物の種子散布. *地球環境* 14: 57-64.
- 15) Kawakami K., Mizusawa L. and Higuchi H. (2009) Re-established mutualism in a seed-dispersal system consisting of native and introduced birds and plants on the Bonin Islands, Japan. *Ecol. Res.* 24:741-748

- 16) 大河内勇 (2009) 小笠原における侵略的外来種の生態系影響とその順応的管理にむけて. 地球環境 14: 3-8.
- 17) 杉浦真治 (2009) 侵略的外来生物・ニューギニアヤリガタリクウズムシの生態と固有陸産貝類への影響. 地球環境 14: 25-32.
- 18) Sugiura, S. (2009) Seasonal fluctuation of invasive flatworm predation pressure on land snails: Implications for the range expansion and impacts of invasive species. Biol. Conserv. 142: 3013-3019.
- 19) Sugiura, S. and Yamaura, Y. (2009) Potential impacts of the invasive flatworm *Platydemus manokwari* on arboreal snails. Biol. Inv. 11: 737-742.
- 20) Sugiura, S., Tsuru, T., Yamaura, Y. and Makihara, H. (2009) Small off-shore islands can serve as important refuges for endemic beetle conservation. J. Insect Conserv. 13: 377-385.
- 21) Sugiura, S. (2010) Associations of leaf miners and leaf gillers with island plants of different residency histories. J. Biogeogr. 7:237-244.
- 22) Sugiura, S. (2010) Species interactions- area relationships: biological invasions and network structure in relation to island area. Proc. Roy. Soc. B, online published (doi:10.1098/rspb.2009.2086)
- 23) Sugiura, S. (2010) Prey preference and gregarious attacks by the invasive flatworm *Platydemus manokwari*. Biol. Invasions, online published (doi:10.1007/s10530-009-9562-9)
- 24) Iwai, N., Sugiura, S. and Chiba, S. (in press) Predation impacts of invasive flatworms, *Platydemus manokwari* on eggs and hatchlings of land snails. J. Mollus. Stud.

<その他誌上発表 (査読なし) >

- 1) 榎原寛・杉浦真治 (2006) 小笠原諸島父島で採集された特筆すべき3種のカミキリムシとモニタリングの重要性. 甲虫ニュース 155: 9-10.
- 2) Okochi, I., Yoshimura, M., Abe, T. and Suzuki, H. (2006) High population densities of an exotic lizard, *Anolis carolinensis* and its possible role as a pollinator in the Ogasawara Islands. Bull. FFPRI 5: 265-270.
- 3) 杉浦真治・大河内勇 (2006) 小笠原のカタツムリを滅ぼす侵入者- ニューギニアヤリガタリクウズムシの脅威-. 研究の“森”から 155.
- 4) 佐藤雅彦・川上和人・茂木幹義 (2008) 小笠原諸島からモミヤマシラミバエ *Ornithoica momiyamai* の初記録. 小笠原研究年報 31: 91-94.
- 5) 川上和人 (2009) 島の中のメグロ、大海を知らず. 季刊森林総研 4: 10-11.
- 6) 川上和人 (2009) 生き物通信「メグロ」. 季刊森林総研 7: 18.
- 7) 黒木知美・川上和人・長堀正行 (2009) 伊豆諸島・小笠原群島のメジロとメグロのウモウダニ. Alura 39: 18-22.
- 8) 川上和人 (2010) メグロ. 野生生物保護学会(編), 野生生物保護の事典, pp. 552- 555. 朝倉書店
- 9) Kawakami, K and Okochi, I (2010) Restoring the Oceanic Island Ecosystem. Springer.

(2) 学会発表

- 1) Abe, T.: XVII International Botanical Congress (2005)
“Pollination disturbance by alien species in Ogasawara Islands”
- 2) 安部哲人：公開講演会「人は森の生き物に何ができるのか」(2006)
“小笠原生態系に侵入生物が残した傷跡”
- 3) Sugiura, S.: The Second Scientific Congress of East Asian Federation of Ecological Societies (2006)
“Herbivores, ants, and extrafloral nectar on oceanic island plants”
- 4) 杉浦真治・大河内勇・玉田恒：第53回日本生態学会大会 (2006)
“小笠原陸産貝類の生存を脅かすニューギニアヤリガタリクウズムシの高い捕食圧”
- 5) Abe, T.: International Symposium on “Impacts of invasive alien species on biodiversity and mitigation of fragile ecosystems in the oceanic Ogasawara (Bonin) Islands” (2007)
“Invasive mutualism caused pollination meltdown on the Ogasawara Islands”
- 6) 長谷川元洋・杉浦真治・伊藤雅道・八巻明香・濱口京子・岸本年郎・大河内勇：日本土壤動物学会第30回大会 (2007)
“小笠原父島における陸産貝類の生存と土壤動物群集構造”
- 7) 長谷川元洋・杉浦真治・伊藤雅道・八巻明香・大河内勇：第54回日本生態学会 (2007)
“小笠原父島における捕食性陸生プラナリアの有無と土壤動物群集構造”
- 8) 黒木知美・川上和人・長堀正行：2007年度日本鳥学会大会 (2007)
“伊豆・小笠原諸島における鳥類のウモウダニ相”
- 9) 杉浦真治：日本昆虫学会第67回大会 (2007)
“絶滅に瀕した小笠原固有ハナバチの生態- 雄の訪花行動と送粉に果たす役割”
- 10) 安部哲人：第55回日本生態学会 (2008)
“Invasive mutualismによる小笠原諸島の送粉系崩壊”
- 11) 安部哲人：第119回日本森林学会 (2008)
“小笠原諸島の在来種フロラにおける送粉系の危機”
- 12) 安部哲人：日本植物学会第72回大会 (2008)
“生物学的侵入が海洋島の送粉系と植物の繁殖に及ぼす影響”
- 13) 安部哲人：第467回生態・動物・植物学会合同九州支部 (2008)
“小笠原諸島における外来種問題と送粉系攪乱”
- 14) 栄村奈緒子・川上和人・出口智広・曾根晃一：2008年度日本鳥学会大会 (2008)
“小笠原諸島聳島の陸鳥2種の種子散布”
- 15) 栄村奈緒子・川上和人・出口智広・畑邦彦・曾根晃一：第64回日本森林学会九州支部会 (2008)
“小笠原群島の外来種メジロの種子散布”
- 16) Hasegawa, M., Sugiura, S., Ito, T.M., Yamaki, A., Hamaguchi, K., Kishimoto, T. and Okochi I.: International Colloquium on Soil Zoology (2008)
“Community structures of soil animals on an island of the Ogasawara Islands and their relation to the survival of land snails”

- 17) Abe, T. : International Symposium on Aliens in Southern Islands (2009)
 “Impacts of invasive alien species on pollination system of Ogasawara”
- 18) Aoyama, Y. and Kawakami, K. : International Symposium on Aliens in Southern Islands (2009)
 “Seabird seed dispersal by the attachment to its feathers in the oceanic Bonin Islands, Japan” (ポスター発表)
- 19) 青山夕貴子・川上和人・千葉聡 : 日本鳥学会2009年度大会 (2009)
 “海鳥による種子散布”
- 20) 栄村奈緒子・川上和人・出口智広・畑邦彦・曾根晃一 : 日本鳥学会2009年度大会 (2009)
 “人為改変された島の植生は現在の果実食鳥類によって、どのように回復していくのか?” (ポスター発表)
- 21) 川上和人 : 日本鳥学会2009年度大会 (2009)
 “小笠原諸島西島におけるノヤギ、クマネズミ排除後の鳥類相変化”
- 22) Kawakami, K. and Okochi, I. : Galapagos Science Symposium (2009)
 “Mitigating effects of alien species on the restoration of the native ecosystems of the Bonin Islands”
- 23) 川上和人・原田幸子・鈴木惟司・樋口広芳 : 生態学会関東地区会シンポジウム「遺伝子の宝庫としての小笠原諸島」(2009)
 “メグロの遺伝的、形態的島嶼間変異” (ポスター発表)
- 24) 安部哲人 : 第57回日本生態学会 (2010)
 “小笠原諸島における送粉系攪乱と外来種対策”
- 25) 岩井紀子・杉浦真治・千葉聡 : 第57回日本生態学会大会 (2010)
 “外来種ニューギニアヤリガタリクウズムシのカタツムリ追跡行動”

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催 (主催のもの)

- 1) 公開セミナー「脆弱な海洋島における侵入種の影響と固有種の保全について」(2006年3月23日、森林総合研究所、参加者30名)
- 2) 公開セミナー「脆弱な海洋島における侵入種の影響と固有種の保全について」(2007年2月28日、森林総合研究所、参加者30名)
- 3) 「脆弱な海洋島における外来種の影響の解明と緩和手法に関する国際シンポジウム」
 “International Symposium: Impacts of invasive alien species on biodiversity and mitigation of fragile ecosystems in the oceanic Ogasawara (Bonin) Islands” (2007年12月4日、東京大学弥生講堂一条ホール、参加者30名)
- 4) 公開セミナー「島嶼生態系での生物間相互作用をめぐる公開セミナー」(2009年2月17日、首都大学東京・秋葉原サテライトキャンパス、参加者約30名)
- 5) 国際シンポジウム「南の島のエイリアン」International Symposium on Aliens in Southern Islands (2009年12月18, 19日、東京大学農学部、参加者200名)

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) プレスリリース (2006年2月1日、於森林総合研究所) 「小笠原のカタツムリを滅ぼす侵入者 - ニューギニアヤリガタリクウズムシの脅威が明らかに - 」
- 2) 読売新聞 (2006年2月3日、全国版) 「外来種が上陸 小笠原固有のカタツムリが絶滅の危機」
- 3) The Daily Yomiuri (2006年2月4日) “Foreign worms threaten snails’ survival”
- 4) 化学工業日報 (2006年2月7日) 「外来生物原因で小笠原のカタツムリ減少 森林総研が調査」
- 5) ウェブ発表 (2006年3月23日、森林総合研究所ウェブサイト・研究最前線) 「小笠原の植物における花外蜜腺の役割」
- 6) しんぶん赤旗 (2006年4月23日) 「小笠原固有のハイビスカス- みつ出すのや〜めた、たとえガに食べられちゃっても」
- 7) Pour la Science (2006年4月) “Histoire d’ hibiscus - Les îles Bonin, Ogasawara-gunto en japonais, sont situées à environ 1000 kiloètres au Sud le Tokyo”
- 8) ウェブ発表 (2006年9月1日、森林総合研究所ウェブサイト・研究最前線) 「侵略的外来生物・ニューギニアヤリガタリクウズムシが小笠原のカタツムリを暴食」
- 9) しんぶん赤旗 (2006年9月24日) 「カタツムリ大ピンチ: 外来生物が食べ尽くす- 小笠原父島」
- 10) American Entomologist 53 (2): 114-115. (2007年7月16日) “Rope-climbing techniques in caterpillars”
- 11) プレスリリース (2007年9月10日、於森林総合研究所) 「小笠原諸島で見つかったハナバチのオスによる花粉媒介〜他の昆虫によって促されるオスの訪花行動〜」
- 12) サイエンスポータル (Science Portal) (2007年9月11日) 「遊んでばかりでなかったハチのオス」
- 13) フジサンケイ ビジネスアイ (Fuji Sankei Business i) (2007年9月11日) 「花粉媒介行動を他の昆虫が促進 ハナバチでの実験 森林総合研究所」
- 14) 化学工業日報 (2007年9月12日) 「オスも花粉を媒介- 森林総研が確認 生態系の維持に貢献」
- 15) 小笠原新聞 (2007年9月12日) 「小笠原諸島、オスのハナバチによる花粉媒介 訪花行動などが明らかに 森林総合研究所」
- 16) 日刊工業新聞 (2007年9月20日) 「小笠原固有ハナバチのオスの訪花 花上の昆虫で行動促進 森林総研」
- 17) 高知新聞 (2008年2月11日) 「小笠原のカタツムリ急減 外来「ウズムシ」が捕食」
- 18) 福井新聞 (2008年2月13日) 「外来生物が捕食 カタツムリ急減」
- 19) 埼玉新聞 (2008年2月13日) 「小笠原のカタツムリ急減 外来ウズムシが天敵に」
- 20) 下野新聞 (2008年2月13日) 「小笠原のカタツムリ受難 天敵外来ウズムシが侵入 固有種が激減 捕食され絶滅も」
- 21) 岩手日報 (2008年2月19日) 「小笠原諸島に外来生物の脅威: 日本固有カタツムリ急減」
- 22) 秋田さきがけ (2008年2月25日) 「小笠原諸島のカタツムリ 固有種の3分の1絶滅 侵入外来種が捕食? 森林総研 拡大防止へ研究」
- 23) 河北新聞 (2008年2月25日) 「小笠原諸島 カタツムリ急減 外来のウズムシ天敵に 強い繁殖能力、駆除困難」

- 24) 熊本日日新聞（2008年2月26日）「小笠原諸島で外来生物猛威 固有のカタツムリ急減 被害拡大防止へ生態研究」
- 25) 山梨日日新聞（2008年2月28日）「小笠原のカタツムリ急減 外来ウズムシが天敵化 固有種保護へ生態調査」
- 26) 東奥新聞（2008年3月7日）「小笠原諸島固有カタツムリ急減 天敵・外来ウズムシが捕食」
- 27) しんぶん赤旗（2008年12月7日、全国版）「3島のメグロ個別に進化」
- 28) 岐阜新聞（2009年6月18日）「メグロ島を出ず」
- 29) 静岡新聞（2009年6月21日）「島を出ない小笠原のメグロ」
- 30) 福井新聞（2009年6月22日）「島を出ない小笠原のメグロ」
- 31) 琉球新報（2009年6月26日）「小笠原のメグロ近隣の島行き来せず」
- 32) 北海道新聞（2009年8月25日）「小笠原諸島のメグロ各島ごとの固有集団」

（6）その他

- 1) 安部哲人：第119回日本森林学会奨励賞（2008）
“小笠原諸島の在来種フロラにおける送粉系の危機”
- 2) 安部哲人：広島大学大学院国際協力研究科学学位論文（2008）
“生物学的侵入が海洋島の送粉系と植物の繁殖に及ぼす影響”
- 3) 川上和人：東京大学大学院農学生命科学研究科学学位論文（2008）
“Anthropogenic effects on the population status and viability of the Bonin Islands White-eye, *Apalopteron familiare* (小笠原群島におけるメグロ個体群の現状と個体群存続に影響する要因)”

F-051 脆弱な海洋島をモデルとした外来種の生物多様性への影響とその緩和に関する研究

(3) 固有陸産貝類の系統保存に関する研究

東北大学大学院生命科学研究科

千葉聡

〈研究協力機関〉

自然環境研究センター

森英章

東北大学大学院生命科学研究科

和田慎一郎

東北大学大学院生命科学研究科

木村一貴

University of Nottingham

Angus Davison

平成17～21年度合計予算額 21,900千円

(うち、平成21年度予算額 4,576千円)

※予算額には、間接経費を含む

[要旨] 絶滅が危惧される小笠原固有陸産貝類の系統保存技術の確立を目的として、主要な固有種の生活史の詳細を解明し、カタマイマイ属やオガサワラヤマキサゴ属などの人工繁殖の手法を確立した。系統保存の単位として何を用いるのが妥当かを判断するため、ミトコンドリアDNAの解析を行った結果、カタマイマイ属では種の区分と分子系統が必ずしも一致せず、またノミガイ類やキビオカチグサ類のような微小種では遺伝的に大きく分化した隠ぺい種が多数含まれていることが明らかになった。以上の結果から、種に基づく系統保存は固有陸産貝類では不適切であること、地域と単系統性を考慮した系統保存を考える必要があることを示した。次に将来的な保護区設定に必要な情報を得るため、カタマイマイ属の地域集団ごとにマイクロサテライトDNAの解析を行った結果、ほとんどの地域で十分な遺伝的多様性が維持されていること、また0.3km²程度の面積があれば、極端に大きな環境変化が無い限り、カタマイマイ類の個体群は十分な遺伝的変異を有し、長期にわたり維持することが可能であることが分かった。系統保存の実施を含めた陸産貝類の保全計画を検討するため、小笠原における陸産貝類の現況把握を行った結果、多種の未記載種の存在を見出したほか、従来絶滅したと考えられていた多くの種を再発見した。兄島と母島の陸産貝類相の詳細を解明し、陸産貝類の多様性に影響を及ぼしている要因や、最近の個体群密度の減少や絶滅をもたらしている要因を推定し、母島では貝食性プラナリアのほか未知の土壤生物が陸産貝類の劣化に関与している可能性が高いこと、兄島ではクマネズミが急激な陸産貝類個体群の減少をもたらしたことを示した。また外来植物は必ずしも常に陸産貝類の脅威となるとは限らず、外来植物が在来陸産貝類を外来捕食者の攻撃から守る役割を果たす場合もあることを見出した。これらの知見に基づき、保全上重要な地域の特定と今後の固有陸産貝類の保全のためのアクションプランを示した。

[キーワード] 遺伝子、系統、人工繁殖、保全、陸産貝類

1. はじめに

太平洋地域の海洋島に生息する陸産貝類は、環境変化に対して極めて脆弱であり、森林破壊の

ほか外来種の侵入によって大きな影響を受けている¹⁾。小笠原諸島は、これら太平洋地域の島々と同じ典型的な海洋島であり、未記載種も含めると約100種の陸産貝類が記録されている。小笠原の陸産貝類は、そのほとんどが固有種であるばかりでなく、小笠原で劇的な放散を遂げ、単一の祖先から多様な形態、生態に分化したグループが多く含まれている。その多様さとユニークさから、小笠原の陸産貝類は、生物進化のプロセスを理解する上で非常に重要な存在である。しかしながら明治以降の環境変化により、小笠原の固有陸産貝類は大きなダメージを受け、復帰後に行われた調査では、多くの種がすでに絶滅したとされている²⁾⁻⁵⁾。こうした固有陸産貝類の減少の要因としては、他の海洋島の陸産貝類の絶滅のケースと同様、外来種の捕食者の存在が注目されている。特に貝食性の陸生プラナリアによる捕食が、父島や母島で生じた固有陸産貝類の減少の最も有力な原因と考えられている⁶⁾。しかし、絶滅をもたらした要因がどの島でも同じとは限らず、地域によって異なる要因が関与している可能性もある。また小笠原の陸産貝類の分布、生息状況の全体的な調査は、1990年代初めに降行われておらず、その現況は不明な点が多い。

以上の点から、固有陸産貝類の現状把握、遺伝情報の保存と陸産貝類の回復手法の開発は、それらの保全を図る上で緊急の課題である。とくに将来的な野外への再導入を視野に入れた系統保存技術の開発が急務である。また陸産貝類のように移動性の乏しい生物では、地理的隔離のため地域集団間で大きな遺伝的分化が生じている可能性があるため、種の保全だけでなく、遺伝的多様性が可能な限り大きくなるような保全策が立てられる必要がある。そのためにはこれら陸産貝類の遺伝情報の収集とともにその変異の解析を通じて、地域集団の遺伝的構造を明らかにするとともに、保全すべき地域集団の選定を行う必要がある。

一方、人工繁殖による系統保存を本格的に行うためには大きなコストがかかるだけでなく、リスクも予想されるため、個体群の劣化が見られた場合、人工繁殖に移るべきかどうかの判断が重要になる。どの段階で人工繁殖による系統保存を開始するかを判断するためには、野外での個体群の絶滅リスクを考慮する必要があるが、現段階ではそれを推定するための基礎情報が得られていない。陸産貝類個体群の劣化に関与している要因および劣化の起きるプロセスを明らかにしておくことは、こうした系統保存を実行する上での判断基準を得るうえで欠かせないものである。さらに陸産貝類保全計画のなかでの人工繁殖による系統保存策の位置づけを明確にしておくことも必要である。すなわち陸産貝類個体群をめぐるリスクや脅威の状況によって、どのような措置をとるべきかを判断可能な、陸産貝類保全のための行動計画を考えておく必要がある。

以上の課題について成果を得ることができれば、外来種の影響を受けている多くの分類群の保全を行なううえでのモデルケースとなるほか、同様な問題を抱える他の太平洋地域の陸産貝類の保全にも資すると考えられる。

2. 研究目的

(1) 陸産貝類の現況

特に多くの種が過去に記録されている兄島、母島、父島を中心に、固有陸産貝類の各島内全域にわたる分布調査を行い、地域ごとの種多様性を明らかにし、その決定要因を明らかにすると共に、陸産貝類の保全上の重要地点の選定を行う。母島に関しては、1990年代初めに行った調査記録があり、250m×250mごとの種構成の資料があることから、同じ地域単位で種構成を調べ、過去と比べてどのような変化が起きているかを明らかにする。また種構成の変化や密度の減少が認められ

た場合には、可能な限り減少をもたらした要因の推定を試みる。

(2) 系統保存

個体群の縮小や生息環境の劣化が顕著で、野外での個体群の存続を図ることが難しい種については、人工繁殖により系統保存を図らなければならない。本研究ではそのための基礎的な生活史情報を入手するとともに、人工繁殖の手法の開発を目指す。まず最も代表的なグループであるカタマイマイ類について生活史パラメータを調べ、飼育技術の確立を試みる。さらに他の固有種のグループについても、人工繁殖の可能性を検討し、繁殖技術の開発をめざす。

(3) 遺伝情報の解析

系統保存を行うための保全単位をどのように設定するか決めるためには、形態的な違いや集団間の繁殖隔離の有無だけでなく、単系統性と遺伝的な分化の度合いを考慮する必要がある。そのため、固有種の集団間の系統関係や遺伝的な分化の度合いを、ミトコンドリアDNAを指標として明らかにする。

将来的に予想される陸貝保護区の設定に際しては、地域個体群の維持に十分な面積が確保されているかどうか、十分な遺伝的多様性が含まれているかどうか、に留意すべきである。そのためには、長期にわたって維持されている個体群の遺伝的変異のレベルや、それが保たれる面積の大きさを把握しておく必要がある。環境の劣化が著しい種群については、現在のうちにその遺伝的変異の全貌を情報として保存しておく必要もある。そこで、遺伝的変異のレベルの推定に最も適した方法であるマイクロサテライトDNAの分析を行い、カタマイマイ属の個体群が保持する遺伝的変異の大きさを明らかにする。

(4) 系統保存のための行動計画の策定

陸産貝類をめぐる環境にどのような変化が生じたとき、どの段階で系統保存を行うべきかをあらかじめ決めておく必要があるため、対処を判定するためのアクションプランを作成する。

3. 研究方法

(1) 陸産貝類の現況

母島においては、島を0.25km四方の区画に区切り、各区画内で最低10-30箇所の陸貝の生息に適した地点を選んだ。各調査地点は10m×10mの範囲とし、その範囲内の林床に1m²のコドラートを3~10ヶ所ランダムに設定し、その中で見出された陸産貝類の生貝をすべて記録した。コドラート内の落葉の表面および裏面、落葉層の下部、土壌層の表面から3cm以内の部分、礫や倒木の下部などを観察し、出現した陸貝を記録した。また樹上性の種は、調査地点全体を調べて記録した。樹上性の種については観察可能な高さ(3m以下)の樹幹や葉上を調査した。調査は目視によって行い、種の同定ならびに個体数の計数はすべて各調査地点において行なった。また、個体数が少なく分布の限定された希少種については、殻皮のついた新鮮な死殻が見られた場合にも別途記録した。

次に区画ごとの種数を求め、島内における種数の地理的パターンを明らかにし、特に多くの在来種が生息する地域を特定した。また種数の地域ごとの違いがどのような要因によって影響されているかを知るため、区画ごとの種数を目的変数とし、各区画の標高(中心点と周囲4点の標高の平均)、在来の植物種からなる植生が占める割合、戦前に森林が占めていた面積(豊田1981⁷⁾のデータによる)を説明変数とし回帰分析を行った。なお空間的自己相関の効果を考慮し、各区画

の緯度、経度の相対値を変数としてspdep⁸⁾の同時自己回帰(SAR)モデルを用いて解析を行った。

他の島においては、なるべく多くの地点に10m×10mのコドラートを設定し、そのなかに10地点以上の0.5m×0.5mのコドラートをランダムに設置して、陸産貝類の種構成と密度を調べた。また可能な限り、落葉層の厚さや植生のタイプ、樹高、土壌pHなどの環境要因も記録した。

(2) 系統保存

カタマイマイ類全種、エンザガイ類3種(ヘタナリエンザ、マルクボエンザ、チチジマエンザ)、ハハジマヒメベッコウ、オガサワラヤマキサゴ属3種(カドオガサワラヤマキサゴ、アニジマヤマキサゴ、ハハジマヤマキサゴ)、チチジマキセルモドキ、ボンキビ、エリマキガイ、ボンンスナガイ、ノミガイ類、キビオカチグサについて飼育技術を開発し、その基礎となる生活史の詳細を明らかにするため、飼育実験を行なった。飼育は、大型種については20cm×15cm×15cmの水槽、小型種については径10cmのシャーレを用い、底に土を敷き、定期的に水分補給を行った。温度は年変動にあわせ、夏季は24~27度、冬季は15~20度に設定した。餌として小笠原から採取した落葉を直接用いて飼育を行ったほか、オートミール、カルシウム、ビタミン類の混合物を用いた人工飼料による飼育も試みた。産卵、産貝後は卵ないし稚貝をシャーレに移し、十分な大きさになるまで、1個体ずつシャーレで飼育した。

(3) 遺伝情報の解析

小笠原諸島各島から採集したカタマイマイ属、ハハヒメベッコウマイマイ、エンザガイ類、オガサワラヤマキサゴ類、ハワイマイマイ科、カワザンショウガイ科などについて、ミトコンドリアDNA(mtDNA)の解析を行った。カタマイマイ属については16SrRNA遺伝子と12SrRNA遺伝子それぞれ約900塩基対、他のグループについては16SrRNA遺伝子とC01遺伝子それぞれ約900塩基対をPCR増幅し解析した。得られた塩基配列データからアラインメントを行い、最尤法、最節約法、ベイズ法により系統推定を行った。

母島列島において、カタマイマイ属のマイクロサテライトDNAを地域集団ごとに分析した。今回の解析は長期に維持されている集団が保有する遺伝的変異と、その変異を維持するのに必要な面積を見積もるのが目的であるため、主に属島や半島の個体群を用いて行った。野外で捕獲した各個体から表面組織を採取し、TNEs buffer中に保存後、実験室に持ち帰りPCR法によりマイクロサテライト領域を含む断片の増幅を行い、精製後、断片長の変異を解析した。これまでカタマイマイ属で知られているマイクロサテライト遺伝子座のうち⁹⁾、10の遺伝子座について解析した。各遺伝子座ごとに得られた変異をもとに対立遺伝子の数と平均ヘテロ接合度を求め、それらの平均値を集団ごとに求め、遺伝的多様性の指標とした。

(4) 系統保存のための行動計画の策定

上記の研究によって得られた陸産貝類の現況、保全単位、長期の維持に必要な集団サイズ、人工繁殖の可能性をふまえて、系統保存のためのアクションプランを作成した。モニタリングを定期的に行うことを前提とし、どのような脅威が検出された場合、どのような対応をとるべきかを検討した。得られた研究結果をもとに、現時点で最も妥当と考えられる方策を示すことで、将来的に予想される問題に対処可能な計画を提案した。

4. 結果・考察

(1) 陸産貝類の現況

本研究により得られたデータを加えた結果、小笠原諸島で記録された在来陸産貝類は、全部で104種であり、そのうち98種が小笠原固有種であった。また19世紀以降、現在までに絶滅したと考えられる在来種は24種であった。父島は、近年固有種が激減し、1990年以降テンスジオカモノアラガイ、イオウジマノミガイ、コハクアナカタマイマイの3種が絶滅したことがわかった。20年前には島の広範囲に分布していたカタマイマイは、現在その生息地が著しく縮小してしまった。またキノボリカタマイマイは、現在では北部のごく限られた地点に生息するのみである。この絶滅ないし激減の主な要因は、ニューギニアヤリガタリクウズムシの捕食と考えられる。高山以南ではごく最近までニューギニアヤリガタリクウズムシが侵入しておらず、広い範囲に連続的に固有種が生息していたが、その侵入が確認されて以降、1年間に100mを越える速度で陸貝が消滅した地域が拡大している。

父島では固有種の減少が顕著な一方で、1980年代以降にシュリマイマイ、ナハキビ、ウスカワマイマイ、シモチキバサナギガイなど新しい外来種の侵入が起きている。特にウスカワマイマイとシモチキバサナギガイは、海浜部を中心に島内で分布が拡大している。

母島ではニューギニアヤリガタリクウズムシの侵入が起きていないために、最近20年間の陸貝相の変化は父島ほど顕著ではない。しかし本研究により1980年代以降いくつかの種で分布の縮小が生じたことがわかった。しかし一方で、母島では戦後記録が無く絶滅したと考えられてきたヨシワラヤマキサゴ、マクスジヤマキサゴ、ヒラセヤマキサゴ、ハハヒメベッコウ、カドエンザ、ハハジマキセルモドキなど多くの種の現生が確認され、従来考えられていたよりはるかに多くの陸産固有種が生き延びていることが判ってきた。特に母島固有種であるヒラセヤマキサゴは、戦前も含め過去に1度も生貝の採集記録が無かったものであり、石門においてその現生が確認されたことは、今後も絶滅種が再発見される可能性があることを示している。さらに石門の鍾乳洞では、今回の調査により小笠原で初めて真洞窟性の陸産貝類が記録された。本種はキビオカチグサに近縁であるが、完全に眼を失っており、洞窟環境に適応したものと考えられる。

母島の地域ごとの陸産在来種の種数を図1に示す。最も種数が多いのは剣先山から石門にかけての脊梁山地沿いで、評議平から南崎にかけてはこれに次ぐ高い多様性を示した。全体として種数は、高地と海岸周辺で多い傾向がある。種数は現在の植生の質、つまり外来樹種の侵入の度合いや開墾度とは相関を示さず、また標高とも有意な相関が認められなかった。これに対し戦前における森林の面積は、種数と有意な相関を示した。この結果から、現在の陸産在来種の分布は、戦前の森林破壊の影響を強く受けており、森林破壊の強さの弱い地域で、現在高い種の多様性が認められることが分かった。これに対し、現在の森林の状態や外来樹種の侵入の度合いは、陸産の多様性にはあまり影響を与えていないと結論できる。

一方、最近20年間の絶滅率の分布は、貝食プラナリアの分布と有意に対応しており、プラナリアの捕食が陸産貝類の生息に大きな影響を与えているという従来の仮説⁹⁾が改めて示された。一方で、プラナリアの記録のない地点でも絶滅が生じており、また絶滅はいずれも地上性の小型種に限られることから、未知の土壌生物（例えば線虫）が影響している可能性があることがわかった。

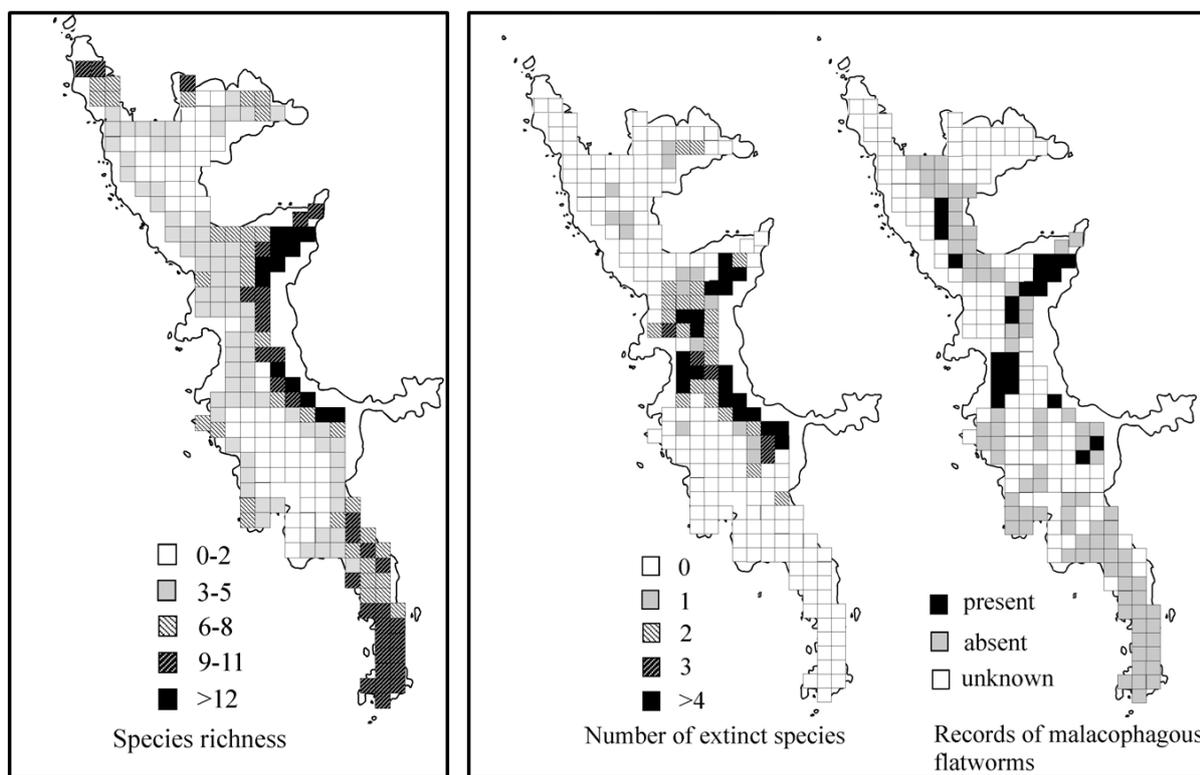


図1. 在来陸貝の種数の分布（左）、最近20年間の絶滅率（中）と貝食プラナリア（右）の分布

小笠原群島を構成する島の中で、兄島の陸貝群集は最も良好な状態であると考えられてきた。現在でも32種の在来種が生息し、本研究でも絶滅した種は認められなかった。しかし最近カタマイマイ類やエンザガイ類を中心に、分布の縮小や著しい生息密度の減少が生じていることが明らかになった。過去と現在の死殻中に占める捕食痕のある殻の割合の比較から、カタマイマイなど大型種の減少は、クマネズミの捕食によって引き起こされたと考えられた（図2）。

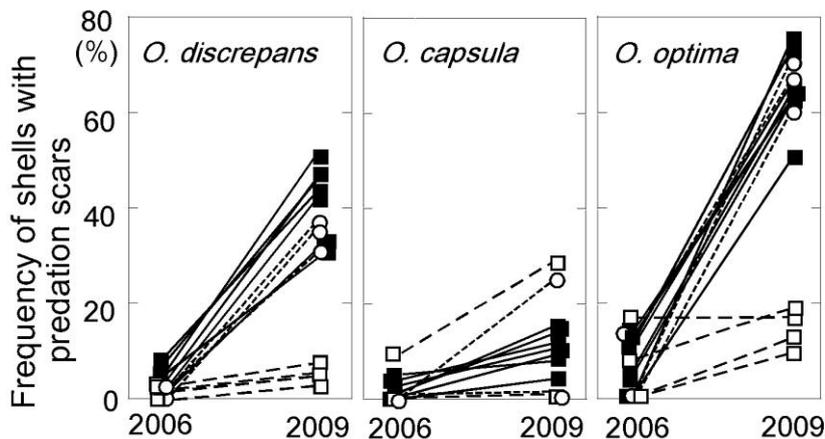


図2. 2006年-2009年の間に生じたオガサワラヤマキサゴ属3種に対するクマネズミ捕食率の増加（捕食痕のある死殻の割合の増加）と、その植生による違い。○乾性低木林、□モクマオウ林、■モクマオウ駆除地。

カタマイマイ類（特にアニジマカタマイマイ）、大型のヤマキサゴ類、テンスジオカモノアラガイは特に激減しており、絶滅が危惧される状況であることがわかった。また小型のウズムシも

侵入しており、特にエンザガイ類への影響が危惧される。

兄島においては、モクマオウ純林の林床に多数のアニジマヤマキサゴの生息を認めた（図3）。生息密度は極めて高く、1m²あたり100匹を超えることもある。ヤマキサゴ類がこれほど高い密度で生息することは、在来の林床でもまれであり、モクマオウの落葉は少なくともアニジマヤマキサゴの生息にとっては好適な環境であるといえる。このアニジマヤマキサゴは比較的最近、モクマオウ林に進出し急速な適応進化を遂げたものと推測される。一方、リュウキュウマツ林床下には固有陸貝は全く発見することができなかった。リュウキュウマツはモクマオウと異なり、陸産貝類の生息には本質的に適さないものと考えられる。

モクマオウの排除事業が現在進められているが、実はモクマオウがこのような一部の陸貝固有種にとって重要な生息場所を提供していることはあまり注目されていない。このようなモクマオウに適応した固有種にも配慮した事業が望まれる。またクマネズミ捕食痕をもつ死殻の率を調べた結果、モクマオウ林床下では在来の乾性低木林下より、有意にクマネズミの捕食率が低くなっ

ていることが分かった。このことから外来種であるモクマオウが、外来種であるクマネズミの陸産貝類への影響を緩和していることが示された。このようなケースでは、外来種の駆除に際して、その順序が重要であることを示している。この場合、まずクマネズミを駆除し、次にモクマオウを除去することが必要である。兄島における陸産貝類の現況およびそれに対する脅威の状況から判断すると、現在最優先で行うべき対策は、クマネズミの除去であると考えられる。



図3. モクマオウ林床とそこに適応したアニジマヤマキサゴ。

母島列島の属島は、減少傾向が認められる向島以外では、固有種が比較的良好に生息していることがわかった。特に妹島は、小笠原の固有陸貝を代表するグループ（カタマイマイ類、キセルモドキ、ハハヒメベッコウ、エンザガイ、ヤマキサゴ）がすべて生息しており、種多様性は母島属島のなかで最も高い。また妹島では過去に記録が無く、母島列島の他の島でも非常にまれなチジマキセルモドキとハハジマキセルモドキが妹島で共存していることが判明した。平島は植生破壊が著しいにもかかわらず、コガラヨシワラヤマキサゴとヒメカドエンザ、ハハヒメベッコウが極めて高密度に生息しており、陸貝の面からは非常に重要な島である。父島列島の属島では、弟島が南部を除き、固有陸産貝類はほぼ消滅していることがわかった。一方、ほとんど全島がモクマオウで覆われた西島には、ヤマキサゴ類、ハハヒメベッコウ、ヘタナリエンザが高密度に生息していた。過去の調査で西島はほとんど陸産貝類が生息しないとされていたが⁵⁾、これは全くの誤りであり、実際には極めて重要な固有陸産貝類の保存庫の役割をはたしていることがわかった。

(2) 系統保存

小笠原の固有陸貝で、F1世代の交配からF2世代の誕生まで世代を回転することに成功し、人工繁殖の技術が確立した種は、カタマイマイ属全種である。オガサワラヤマキサゴ属、スナガイ類、キビオカチグサでも、交配、産児、成長に成功し、実験室内での繁殖が可能になった(図4)。エンザガイ属、ハハヒメベッコウ、オガサワラオカモノアラガイ、ノミガイ類では交配、産卵、孵化に成功しているが、その飼育技術はまだ改善の余地が残されている。



図4. 固有陸産貝類の人工繁殖の状況。左：カタマイマイ成貝、右：小型種。

カタマイマイ類で発育、産卵に関してもっとも良い結果が得られたのは、地上性、樹上性いずれの種も餌としてオートミール、カルシウム、ビタミン類の混合物を用い、これにナスを補助的に与えた場合であった。餌として落葉を与えた場合、チチジマカタマイマイは孵化後1年半から2年で成熟し、アケボノカタマイマイやコガネカタマイマイも1年～1年半で成熟齢に達した。一方、アニジマカタマイマイは成熟にほぼ2年を要した。1個体1回あたりの産卵数はチチジマカタマイマイ、カタマイマイ、アニジマカタマイマイで一般に2個であった。アケボノカタマイマイ、ヒメカタマイマイ、ヒシカタマイマイでは一般に4-6個であるが、これらの種ではまれに1回の産卵で10個以上を生むこともあった。カタマイマイ類はいずれの種も年2-3回の産卵が可能で、1年あたりの産卵総数は従来考えられていた数よりは多いが、本土の近縁種よりはるかに少ない。エンザガイ類も卵数は少なく、ヘタナリエンザで1回に6個、チチジマエンザでは1回に2個の卵を生んだ。エンザガイ類でも成長は遅く、成熟に1年以上が必要であると考えられる。ハハヒメベッコウは、卵を殻の中に一定期間保持したのち、幼貝を産出する卵胎生であり、1回に6匹前後の幼貝を放出した。この他、小笠原の陸貝のなかではノミガイ類も卵胎生であった。

以上のように、小笠原の固有陸貝に共通した性質として、卵数または産子数が少なく、体サイズの割に成熟に時間を要する。また産卵行動の開始には、温度変化のほか、湿度の変化も重要な役割を果たしているようである。

上記の生活史上の特性を考慮すると、室内での繁殖技術が確立していない種はもちろん、すでに室内での人工繁殖の技術が確立しているカタマイマイ類についても、緊急の場合や個体数をすみやかに増やす必要がある場合をのぞき、室内ではなく小笠原にて屋外での人工繁殖による系統保存を行うのが望ましいと考えられる。室内での系統保存の別の問題点は、多くの世代にわたり室内で飼育を行うと、人工環境への適応が生じてしまう可能性があることである。たとえばカタマイマイ類では、飼育実験では殻の形質に高い遺伝率があることが示され、多くの個体を多世代にわたり生息地と異なる環境で飼育すると、形態的な特徴が変化してしまう可能性があることが

示された。以上の点から、固有種の系統保存は、小笠原において屋外に可能な限り生息地の林床に近い環境を構築して行うのが望ましい。その際、貝食性ウズムシの侵入を厳重に排除する設備が必要である。また室内での系統維持を図る場合にも、なるべく生息地の環境に近い状態で行うべきである。以上の結果をもとに、固有陸貝各群の人工繁殖の状況と条件を表1に示した。

表1. 固有陸産貝類の人工繁殖の状況と

実験室内での系統保存が確立 カタマイマイ属 オガサワラヤマキサゴ属 スナガイ属 キビオカチグサ エリマキガイ	系統保存には野外ないし野外に近い条件が必要 エンザガイ属 マキシジベッコウ ハハヒメベッコウ テンスジオカモノアラガイ属
実験室での系統保存が可能だが野外での保存が望ましい オガサワラキセルガイモドキ属 ノミガイ類	

(3) 遺伝情報の解析

ミトコンドリアDNAによる系統解析の結果、カタマイマイ属は種間ないし集団間で形態や生態を異にするばかりでなく、遺伝的にも大きく異なることがわかった。母島属島のカタマイマイ個体群は、ミトコンドリアDNAの分析結果から、島ごとに遺伝的に分化していることがわかった。これらは長期にわたり存続してきた個体群とみなすことができる。ミトコンドリア16SrRNAの変異を集団ごとに、母島のカタマイマイ属各種について調べると、同一種とされる集団でも地域の違いにより遺伝的に大きく異なることが判った。特に樹上性カタマイマイは、分類学的には同一種とみなされるにもかかわらず、集団間での遺伝的分化の度合いが大きく、他のカタマイマイ属の種間の違いを超えるレベルの分化を集団間で生じていることがわかった(図5)。またこの母島属島のタイプには、形態的には同種だが、遺伝的には大きく異なり、別種とされる集団により近い集団があることがわかった。同様な形態的ないし分類学的区分と遺伝的な近縁性の不一致は、属島のコシタカカタマイマイとヌノメカタマイマイの関係にも認められた。

また、コガネカタマイマイとアケボノカタマイマイの遺伝的關係は、極めて複雑であり、

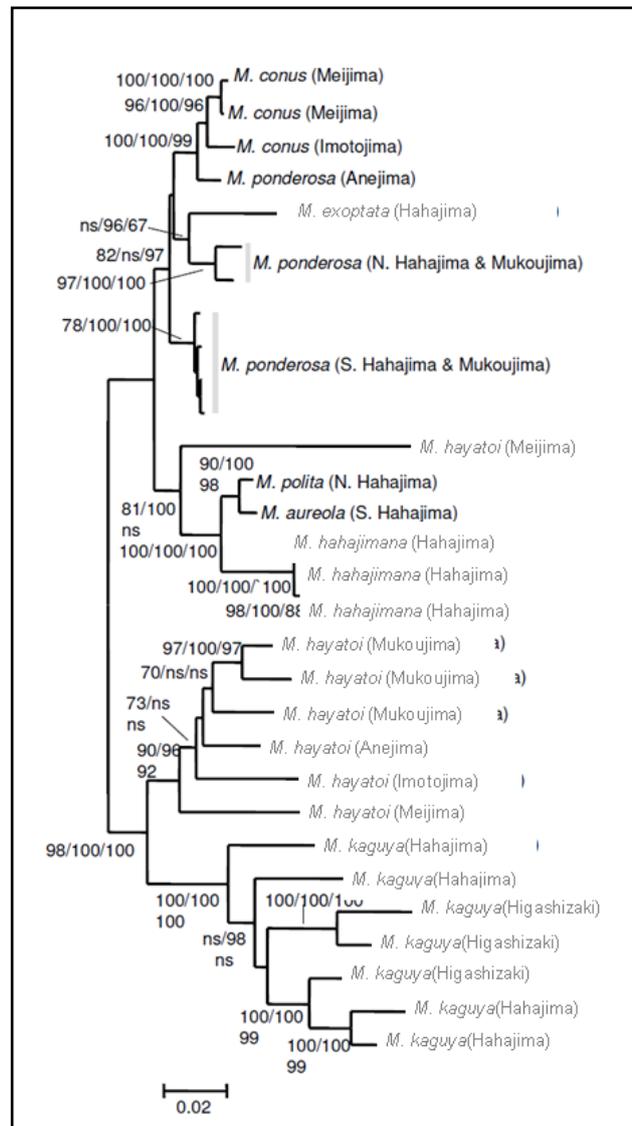


図5. 母島のカタマイマイ属のmtDNAの系統樹。灰字：樹上性、黒字：地上性。

類似したmtDNAをもつ集団が地域的にモザイク状に出現した(図6)。地域によってmtDNAのタイプは異なり、2種を全体としてみると北東部、北西部、中西部、中東部、中南部、南部の地域集団に区別された。おそらく過去に両者の交雑が各所で起こり、それが複雑なmtDNAの地理的変異をもたらしたと考えられる。一方、母島のヌノメカタマイマイは母島で南北に2つの遺伝的に大きく異なる地域集団に区別された。向島では北半に母島北部のタイプ、南半に母島南部のタイプが分布し、中央で交雑帯を形成していた。またコシタカカタマイマイは島ごとに異なる遺伝子型に分化していた。

以上のように、カタマイマイ類は地域ごとの分化が著しい上、系統の異なる種でも状況によって交雑が起きることから、その野外への再導入はごく慎重に行わなければならない、ということが示された。また特に樹上性の種については、植物の移植に伴って別の地域の集団を移すことのないように特に配慮せねばならないことが示された。

ミトコンドリアDNAの分析の結果、カタマイマイ属と同様な形態と遺伝的分化のパターンを示すのが、オガサワラヤマキサゴ属とエンザガイ属であった。またノミガイ類やカワザンショウガイ科でも、集団間に非常に大きな遺伝的分化が認められた。ノミガイ類では従来1種とされていたオガサワラノミガイに最低3種、ヒトハノミガイに2種、それ以外にも2種以上の隠ぺい種が存在することが示された(図7)。しかもこれら小笠原固有のトウガタノミガイ属の種間の遺伝的分化の最大レベルは、ハワイで放散し多様な種に分化していることで知られるハワイマイマイ亜科の種間の遺伝的分化の最大レベルに匹敵していた。一方、カワザンショウガイ科も同様に、従来1種とされていたキビオカチグサに著しく遺伝的分化を遂げた隠ぺい種が多数含まれていることが明らかになった。また洞窟性のキビオカチグサは、祖先種が小笠原に到達してのち、洞窟生活に移行したことが分かった。

このように形態的な差が乏しく、従来同一種と考えられていた種間に非常に大きな遺伝的分化を遂げた隠ぺい種が含まれていることは、上で記した小笠原固有陸産貝類の種多様性が過小評価であることを示している。また、カタマイマイ類で示されたような遺伝的分化の度合いに比して大きな形態的分化を遂げたグループがある一方、その逆のケースが島の固有生物にもあることが示されたことは、今後保全を行うべき単位として、遺伝子レベルの多様性、単系統性を指標として重視する必要があることを示している。また、すべての個体、集団の遺伝子解析を行うことは現実的でないため、現時点では保全すべきは種ではなく、各地域の群集であるべきだと言える。

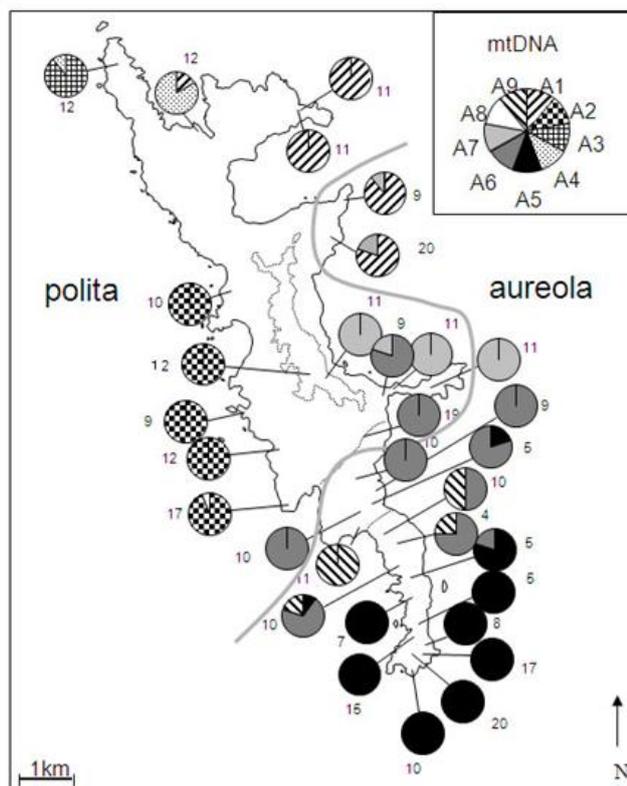


図6. コガネカタマイマイとアケボノカタマイマイのmtDNAの地理的変異。

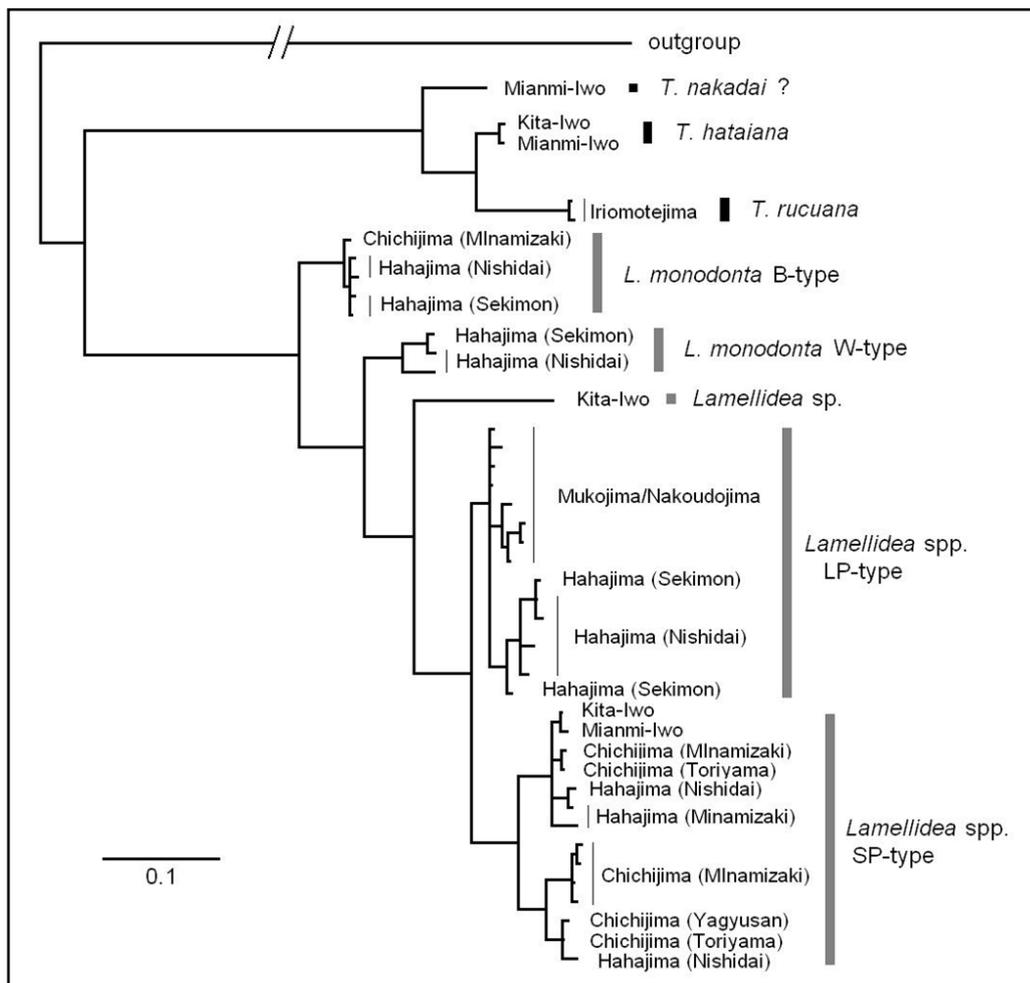


図7. ノミガイ類のmtCOIによる系統樹。

コガネカタマイマイ、ヌノメカタマイマイ、コシタカカタマイマイ、ヒメカタマイマイについてマイクロサテライトDNAの分析を行った結果、いずれの種でも、母島本土だけでなく、属島、さらに東崎のような隔離された小面積の半島の集団でも非常に高い遺伝的多様性が存在することが明らかになった。遺伝子座ごとの対立遺伝子の数は2から23の範囲の値を示し、ほとんどの遺伝子座で10を超えた。集団ごとの平均では、9.9~13.8と、いずれの集団も非常に高い値となった。ヘテロ接合度は1つの遺伝子座をのぞき0.5より大きく、10遺伝子座の平均ヘテロ接合度は0.7~0.93と著しく高い値を示した。これらの値に種間で有意な差は認められなかった。また地域間でも明瞭な差は認められなかった。たとえば東崎のヒメカタマイマイ集団の平均ヘテロ接合度は0.77であったが、この値は向島(0.80)、姉島(0.79)のヒメカタマイマイとほぼ同じであり、本土のヒメカタマイマイ集団も0.75~0.88と、それらの間に明瞭な差を認めることができなかった。

東崎や属島の集団は遺伝的に他の地域の集団と分化しており、それぞれ長期にわたって隔離されつつ維持されてきたと考えられる。実際これらの集団が保有する高い遺伝的多様性は、これらの地域で集団が安定に維持され、過去に十分な遺伝的変異の供給を受けてきたことを示している。このことは、これらの地域の面積が、集団が長期にわたって安定に維持されるのに十分な大きさであることを示している。これらの隔離された地域のうち最小のものは東崎の約0.3km²であり、またこの地域の遺伝的多様性が他の地域と差がほとんど無いことから、これだけの面積があればカ

タマイマイの個体群を長期にわたり維持することが可能であると考えられる。

(4) 系統保存のための行動計画の策定

遺伝学的な研究から考えると、種レベルの系統保存ではなく、地域レベル（特定の地域に生息するすべての種）の保存が必要である。またいくつかの種では室内での繁殖が困難であることから、野外に安全な保護地を設置し、そこで野外個体群一群集の系統保存をはかる必要がある。しかし、すべての地域の陸貝群集を系統保存の対象とすることは現実的でないため、保全のための優先順位を設定し、系統保存を行う地域の優先順位をこれに従って行うことが望ましいと考えられる。種の分布域に加えて、遺伝子解析から得られた地域固有の集団の有無や、地域個体群間の遺伝的分化の程度から、陸貝種を表2のようにC1-C3のランクに分け、特に地域間の遺伝的分化が大きいC1種が、ある地域（たとえば0.25km×0.25km地域）にどれだけいるかを指標として、優先配慮地域を決めることができる。現況調査により十分な記録の得られた母島で、この方法により得られた優先地域を図8に示す。

次にどのような脅威が見出されたときに、どのような対処をとり、どのような条件が認められた段階で野外保護地ないし室内での系統保存を開始するかを判断するアクションプランを図9に示した（母島を例とした）。状況に応じてレベル1-4の段階に分け、レベル3-4の段階で系統保存を考慮する。

現況調査の結果から、父島以外の島における最大の脅威はニューギニアヤリガタリクウズムシであるが、その駆除の見通しが立たないことから、その侵入の有無が大きな判断基準となる。父島の事例を踏まえると、ニューギニアヤリガタリクウズムシの侵入が認められ次第、上記の優先配慮地域にウズムシの侵入を防ぐシステム（電気柵など）をめぐらして、保護区を設置すべきである。また同地域に生息する種群のうち、室内での繁殖が可能なものについては、あわせて室内での系統保存を行う。これは保護区の個体群が万一のトラブルで死滅する危険性があることに備えたセフティーネットとしての役割をもつものである。

ニューギニアヤリガタリクウズムシ以外の脅威、たとえばクマネズミでは駆除が可能なため、ネズミが好む大型種で著しい減少がみられる場合には、駆除後の再導入を視野に入れて一時的に室内での人工繁殖を行うことが必要になるだろう。

表2. 種の分布範囲と地域性から得られた陸貝グループごとの保全重要度のランク。

- | |
|--|
| <p>C1. 地域固有の系統を持つグループ
 カタマイマイ属、エンザガイ属、
 オガサワラヤマキサゴ属、Lamellidea、
 Tornatellinops、Pardinella、オガサワラ
 キセルモドキ属、テンスジオカモノアラガイ
 属、オガサワラベッコウ、ハハヒメベッコウ、
 マクスジベッコウ</p> |
| <p>C2. 地域固有の系統を持たないグループ
 Tornatellides、ボニンキビ、ヒメコハク</p> |
| <p>C3. 情報不足のグループ
 スナガイ属、エリマキガイ</p> |

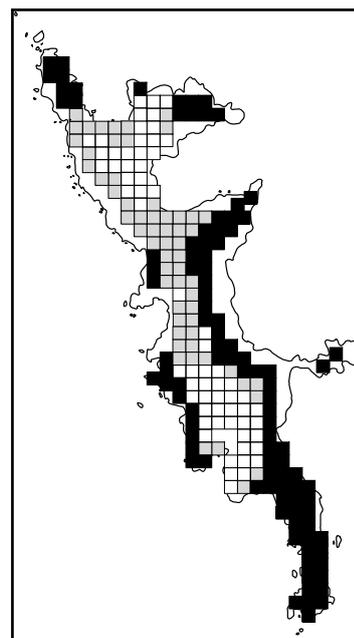


図8. 母島における陸貝の優先配慮地域（黒：最優先、灰：次優先）。

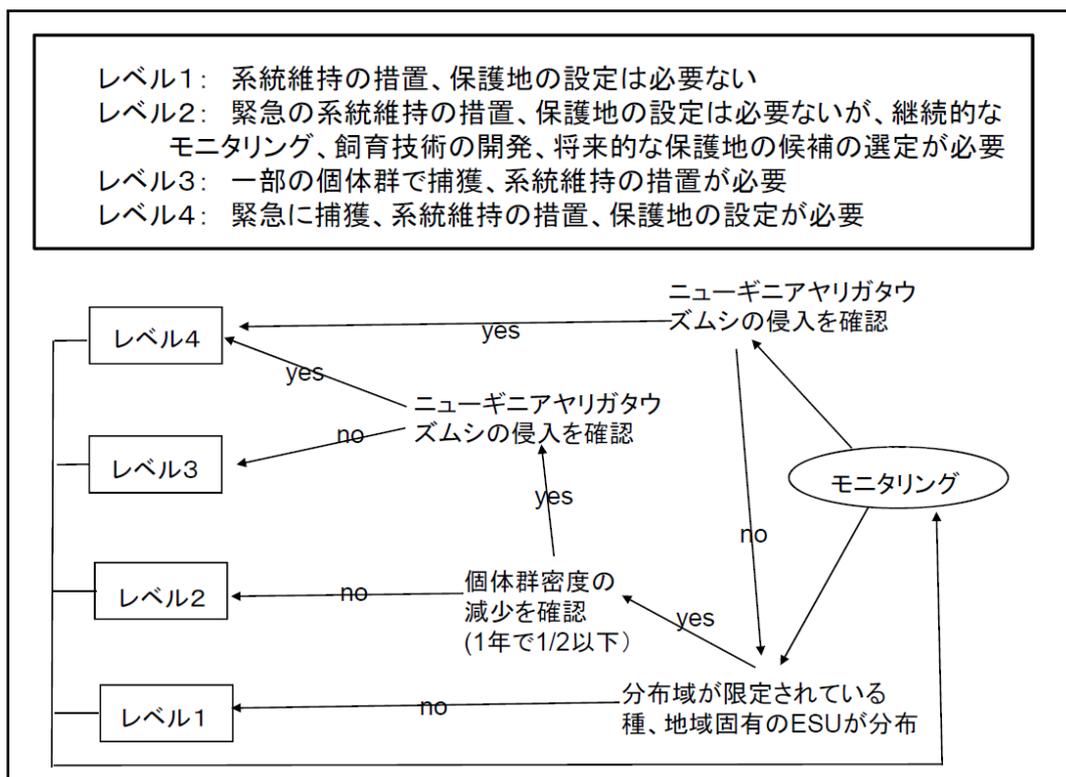


図9. 陸産貝類の保全、系統保存のためのアクションプラン。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究により、小笠原における陸産貝類の現況がほぼ解明された。陸産貝類への脅威は島ごとに異なることが示されたことから、その保全策は島ごと、地域ごとに検討する必要があることが示された。母島では、在来陸貝の種構成の地域パターンが特定されたことから、固有陸産貝類の重要地域の抽出が可能となり、陸産貝類に対する脅威が認められた場合に優先的に保護地を設定すべき地域を決めることができた。本研究によって示された優先配慮地域には、従来から重点地域として取り扱われていた石門や母島の東部だけでなく、あまり注目されていなかった評議平周辺、南崎、西台、母島の西側海岸部を含んでおり、陸貝の保全上重要な地域は広域にわたっていることが明らかとなった。また現在の種多様性が戦前の森林面積ともっとも強く相関を示したことは、戦前の森林の消失の影響が依然として残っており、森林の回復は在来陸貝の個体群の回復や分布の拡大にすぐにはつながらないことを意味している。このように小笠原の陸産貝類の場合、一旦生息地が失われると、後で生息地を回復しても、個体群の回復には非常に長い時間がかかるものと考えられる。

兄島や西島でモクマオウの林床に多数のアジヤマキサゴが生息していたことは、外来種への固有種の進化的適応がすでにかかなりのレベルまで生じているケースがあることを示している。固有種の環境変化に対する進化的応答の問題は、従来の保全戦略やそれに関係した事業のなかではほとんど無視されてきた。しかし、このケースのように、固有種が外来種を含む生態系に組み込まれ、進化的にその性質が固定し、外来生物に依存してしまっているケースは他にも多いと考

えられる。また、それに関連して外来種駆除に際しては、複数の外来種が共存する場合、その駆除の順序が重要であることが示された。今回、このような外来種依存種が見出されたことは、今後、生態系の保全管理方法や外来種対策を改善していく上で大きな意義をもつと考えられる。

遺伝学的な研究から、種レベルの系統保存ではなく、地域レベル（特定の地域に生息するすべての種）の保存が必要であることが示された。また人工繁殖の研究から、いくつかの重要種で室内での系統保存が可能になったほか、野外で安全な保護地を設置し、野外群集をそっくり維持する必要があることが示された。今後の重要な研究課題として、保護区の安定な維持、特にニューギニアヤリガタリクズムシの侵入をいかに防ぐかがクローズアップされたと言える。

マイクロサテライトDNAによる遺伝的変異の解析の結果、ごく狭い面積でも長期にわたり個体群を維持することが可能なレベルの遺伝的変異があることが示された。小面積でも存続が可能であるという原則は、少なくともカタマイマイ類については生息地の森林のタイプや生活様式の違いに関わらず認められた。今回の解析結果からカタマイマイ類では、最低でも0.3km²の生息域が確保されれば、個体群の維持が可能であると判断できる。この基準は上記の系統保存のための保護区を設定するうえで実際に用いることができると考えられる。

以上の知見を踏まえて、母島を例として陸産貝類への脅威の有無のモニタリング、脅威が認められた際の対応、そしてどのような条件で系統保存を開始するかアクションプランを策定することができた。また優先的に保護区を設定することおよび、室内に避難させて系統維持を図るべき個体群がある地域を決めることができた。今後、このアクションプランをさらに改善する形により妥当な計画を作成し、実際の保全活動の判断基準とするとともに、他の島でも同様な計画を策定していくことが可能となった。

（２）地球環境政策への貢献

本研究によって得られた成果は、すでに環境省の小笠原世界遺産検討会における登録推薦書案に取り入れられ、暫定リスト作成に貢献している。本研究によって明らかになった小笠原各島における陸産貝類相の現況は、現在、環境省の小笠原世界遺産検討会で進められている固有種及び希少種対策に反映されている。現在、環境省を中心として行われている小笠原諸島の外来種排除や生態系保全に関する諸政策の立案には、本研究成果が特に固有陸貝保全の面で重要な基礎資料として用いられた。特に、小笠原諸島世界自然遺産候補地科学委員会を中心に行われた、固有種の管理計画の作成に向けた検討・調整の過程では陸貝に関しては、本研究の成果をもとに計画立案の作業が進められた。このように本研究の成果は、行政による小笠原の生態系の保全策に大きな貢献を果たすことができた。

6. 引用文献

- 1) Cowie, R.H. (1998) Patterns of introduction of non-indigenous non-marine snails and slugs in the Hawaiian Islands. *Biodiv. Conserv.* 7: 349-368.
- 2) 波部忠重 (1969) 小笠原諸島の貝類. *遺伝* 23: 19-25.
- 3) 湊宏 (1979) 特集・小笠原の生物 小笠原の陸貝—その分布と生態—. *動物と自然* 9: 21-24.
- 4) 黒住耐二 (1988) 小笠原諸島における陸産貝類の種組成とその絶滅に関する要因. *小笠原研究* 15: 59-109.

- 5) 富山清升・黒住耐二 (1991) 小笠原諸島の陸産貝類の生息状況とその保全. 東京都立大学 (編), 第2次小笠原諸島自然環境現況調査報告書, pp. 245-282.
- 6) Okochi, I., Sato, H. and Ohbayashi, T. (2004) The cause of ollusk decline on the Ogasawara Islands. *Biodiv. Conserv.* 13: 1465-1475.
- 7) 豊田武司 (1981) 小笠原植物図譜. アボック社.
- 8) Bivand, R. (2006) Implementing spatial data analysis software tools in R. *Geogr. Anal.* 38: 23-40.
- 9) Davison, A., Chiba, S. and Kawata, M. (2004) Characterisation and cross-amplification of 18 microsatellite loci in the Japanese land snail genera *Mandarina* and *Ainohelix* (Mollusca, Gastropoda, Pulmonata). *Mol. Ecol. Notes* 4: 423-425.

7. 国際共同研究等の状況

(1) 陸産貝類の系統と分子進化、Angus Davison (University of Nottingham, 英国)、国際共同研究、研究計画の立案・取りまとめも担当。小笠原の陸貝の研究も含み、本研究と密接に関係している。過去6年間の共同研究成果はすでに幾つかの学術誌に公表されている。陸産貝類の分子系統学的研究の代表的な成果として海外ではすでに広く認知されている。

(2) 太平洋地域におけるAchatinellidae科陸産貝類の系統地理、国際共同研究。カウンターパート: Robert H. Cowie (University of Hawaii, 米国)、Blenden Holland (University of Hawaii, 米国)。研究計画の立案・日本から小笠原にかけてのグループの解析を担当。太平洋地域の全域に及ぶ陸貝の生物地理研究は過去に例が無く、これが最初の試みである。小笠原のノミガイ類の研究を含み本研究と密接に関係したものである。

(3) 陸産貝類のグローバルな種多様性パターンの決定要因、国際共同研究。カウンターパート: Kaustuv Roy (University of California, 米国)、Jeffrey C. Nekola (University of New Mexico, 米国)、Gary M. Barker (Landcare Research, ニュージーランド)、Menno Schilthuizen (*National Museum of Natural History*, オランダ) 他6機関。研究計画の立案・東アジアの陸貝グループの解析を担当。全地球レベルでの陸産貝類の種多様性データベースを構築し、多様性hotspotの検出や多様性の決定維持要因の解明、さらに絶滅のhotspotの特定を行う。本研究で得られた小笠原の陸貝の多様性データは地理的な特性から、この国際共同研究の重要な位置を占める。

(4) 陸産貝類の繁殖行動の進化機構の解明、国際共同研究。カウンターパート: Joris Koene (Vrije University, オランダ)。研究計画の立案・実施。この共同研究で扱われたオナジマイマイ科陸貝の交尾、受精様式の解明は、本研究で行ったカタマイマイ属の人工繁殖技法の確立に直接活かされた。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上发表

<論文 (査読あり)>

- 1) Davison, A. and Chiba, S. (2006) The recent history and population structure of five *Mandarina* snail species from sub-tropical Ogasawara (Bonin Islands, Japan). *Mol. Ecol.* 15: 2905-2910.

- 2) Davison, A. and Chiba, S. (2006) Labile ecotypes accompany rapid cladogenesis in a land snail adaptive radiation. *Biol. J. Lin. Soc.* 88: 269-282.
- 3) Chiba, S. (2007) Morphological and ecological shifts in a land snail caused by the impact of an introduced predator. *Ecol. Res.* 22: 884-891.
- 4) Chiba, S. (2007) Species richness patterns along environmental gradients in island land molluscan fauna. *Ecology* 88: 1738-1746.
- 5) Chiba, S. (2007) Taxonomic revision of the fossil land snail species of the genus *Mandarina* in the Ogasawara Islands. *Paleontol. Res.* 11: 317-329.
- 6) Chiba, S. and Davison A. (2007) Shell shape and habitat use in the NW Pacific land snail *Mandarina polita* from Hahajima, Ogasawara Islands: current adaptation or ghost of species? *Biol. J. Lin. Soc.* 91:149-159.
- 7) Chiba, S., Davison A and Mori, H. (2007) The endemic land snail fauna on a remote peninsula in Ogasawara, northwestern Pacific. *Pac. Sci.* 61: 257-265.
- 8) Chiba, S. and Davison, A. (2008) Anatomical and molecular studies reveal several cryptic species of the endemic genus *Mandarina* in the Ogasawara Islands. *J. Mollus. Stud.* 74: 373-382.
- 9) Chiba, S., Sasaki, T., Suzuki, H. and Horikoshi, K. (2008) The subfossil land snail fauna from the central Chichijima, Ogasawara Islands, with description of a new species. *Pac. Sci.* 62: 137-145.
- 10) Davison, A. and Chiba, S. (2008) Contrasting response to Pleistocene climate change by ground living and arboreal *Mandarina* snails from the oceanic Hahajima archipelago. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 363: 3391-3400.
- 11) Kawakami, K., Wada, S. and Chiba, S. (2008) Possible dispersal of land snails by birds. *Ornithol. Sci.* 7: 167-171.
- 12) 千葉聡 (2009) 崖淵の楽園：小笠原諸島陸産貝類の現状と保全. *地球環境* 14: 15-24.
- 13) Chiba, S., Okochi, I., Obayashi, T., Miura, D., Mori, H., Kimura, K. and Wada, S. (2009) Effect of habitat history and extinction selectivity on species richness pattern of an island snail fauna. *J. Biogeogr.* 36: 1913-1922.
- 14) Chiba, S. (2009) Morphological divergence as a result of common adaptation to a shared environment in lands snails in the genus *Hirasea*. *J. Mollus. Stud.* 75: 253-259.
- 15) Chiba, S. and Davison, A. (2009) Associations between stable carbon isotope ratio and vegetation in modern and fossil land snails *Mandarina chichijimana* on Chichijima of the Ogasawara Islands. *Paleontol. Res.* 13: 151-157.
- 16) Chiba, S. (in press) Invasive non-native species' provision of refugia for endangered native species. *Conserv. Biol.*
- 17) Chiba, S. (in press) Invasive rats alter assemblage characteristics of land snails in the Ogasawara Islands. *Biol. Conserv.*

<その他誌上発表（査読なし）>

なし

（２）口頭発表（学会）

1) 千葉聡：第53回日本生態学会（2006）

“Evolutionary impact of alien predators on the endemic land snails in Ogasawara”

2) 千葉聡：国際生物学賞シンポジウム(2008)

“The delayed impact of habitat destruction on island land snail fauna”

3) 千葉聡：日本生態学会関東地区会シンポジウム（2009）

「小笠原の陸産貝類の形態的多様性と遺伝的多様性」

4) 千葉 聡：種生物学会（2009）

「小笠原諸島におけるカタマイマイ属の適応放散」

5) Chiba, S.: International Symposium on Aliens in Southern Islands（2009）

“Impacts of invasive alien species on the indigenous land snail fauna of the Ogasawara Islands”

（３）出願特許

なし

（４）シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

なし

（５）マスコミ等への公表・報道等

1) 読売新聞（2006年7月24日、全国版）「SCIENCE WALK 発見、進化の樹は網」

（６）その他

なし

F-051 脆弱な海洋島をモデルとした外来種の生物多様性への影響とその緩和に関する研究
 (4) 侵略的外来種グリーンアノールの食害により破壊された昆虫相の回復に関する研究

神奈川県立生命の星・地球博物館

学芸部 動植物チーム

荻部治紀

〈研究協力機関〉 東京大学大学院

須田真一

小笠原固有昆虫保全研究会

松本浩一・尾園暁

平成17～21年度合計予算額 21,901千円

(うち、平成21年度予算額 4,576千円)

※予算額は、間接経費を含む。

[要旨] 小笠原諸島の昆虫類は、外来種であるグリーンアノールの捕食圧等により危機的状況にある。そこで、固有昆虫を対象に個体群の現状調査を行うと共に、特に絶滅が心配される個体群保全・回復手法の開発を行った。本研究では、当初予想された外来種の影響のみならず、新たに被害が確認された外来種に対する対策の試行も行った。また、これまでに試験研究として実施した保全策が将来的に継続可能となるよう、地元団体との協働作業を通しての仕組み作りを行い、無人島における効率の良いモニタリング手法の提案を行った。本研究の主要な成果は、下記の4点である。(1) これまで情報の少なかった属島における固有昆虫の生息状況についての現状調査を行い、小笠原版レッドリストの作成を行った。(2) 固有トンボ類の生息調査を行うと共に、兄島、弟島において生息環境復元試験を行った。その結果、人工池が多数の固有トンボに繁殖地として利用されることが明らかになった。また、有効な人工池の設置条件を明らかにするとともに、メンテナンス方法の提案も行った。(3) 兄島においてオガサワラハンミョウの生息調査を行うと共に、生息地復元試験を行った。その結果、本種の分布範囲は限定的であり、個体群の存続が危ぶまれる状況にあることが明らかになった。このため、あわせて人工飼育技術の開発を行った。(4) オガサワラシジミの生息地管理手法の検討を行うと共に、飼育技術開発試験を行った。

[キーワード] 小笠原固有昆虫、保全、グリーンアノール、外来種、環境復元

1. はじめに

外来種による様々な分野での深刻な在来生態系への影響が知られる小笠原諸島でも、グリーンアノールは特に顕著な侵略性を発揮している種である。この種は北米中部原産の爬虫類であり、1960年代の米軍統治時代に持ちこまれたと考えられている。被食者である昆虫類は、1980年代から父島から激減を始め、その後母島でも同様の減少が見られた。本種が侵入した父島、母島では、固有のチョウ類、トンボ類、甲虫類、ハナバチ類などの昼行性の中小型種は壊滅的打撃を被っており^{1),2)}、そのうちの数種は、すでに絶滅してしまった可能性が高い。

このように、急速に多様性が低下している小笠原の貴重な固有昆虫を保全し、本来の生態系を

回復するためには、人為的な補助が必要な段階にさしかかっている。そのため、破壊された昆虫相の回復を目的として研究を行った。特に、各種固有昆虫類の具体的な保全手法の開発および保全策の継続維持、モニタリング・メンテナンス手法の確立を行った。さらに、長期的に保全活動を維持できる体勢を確立するため、地元 NPOとの協働作業を実施した。

2. 研究目的

グリーンアノールにより、危機的状況に陥っている小笠原在来昆虫は多岐にわたるが、特に固有昆虫では保全の緊急性が高い。今後の世界遺産指定にむけた自然再生の取り組みの中で、早急に着手、実践されるべき種を選定するための指針となる小笠原版レッドリストを整備することが必要である。しかし、このレッドリストの作成を進める上で、調査不足の分類群が多く存在する。このため本研究では、小笠原諸島の主要な島における昆虫相の解明を行った。固有種の中でも特に保全の緊急性の高いトンボ類については、人工トンボ池の設置による保全手法を検討する。また裸地に生息するオガサワラハンミョウ、湿性高木林に生息するオガサワラシジミなど、いくつかの生態系を代表する種や種群についても、それぞれの種についての基礎的な生態情報、減少要因の解明、具体的な保全対策の試行などを実施した。これらの成果をもとに、新たな生息環境改善手法の開発やモニタリング手法の開発を実施した。得られた成果については、施策に反映できる保全対策として提言するとともに、単なる試験に終わらずに直接に保全対策になるよう実施した。

3. 研究方法

研究は以下の4つのテーマについて行った。

(1) 固有昆虫の絶滅危惧種リスト作成調査のために、小笠原諸島全域で調査を実施した。調査は、全ての分類群での展開は不可能であるため、希少種を多く含むチョウ、トンボ、甲虫、特に情報の少ないハチ、半翅類、記録の途絶えている鞘翅目などを中心にして、現地調査を実施し、現存確認を行った。小笠原の昆虫類は、記録がごくわずかしかないものも多く、現状不明の種が大型種でも多数あった。これらの現状不明種、新たな環境の調査とともに、聞き取りによる調査も実施した。調査は、これまで調査が十分ではなかった属島を中心に、聳島列島（聳・媒・嫁）、父島列島（弟・兄・父・西・南・東）、母島列島（母・向・姉・妹・姪）、火山列島（硫黄島、南硫黄島）において実施した。調査は、見つけ取りのほか、ビーティング、マレーズトラップ、サンケイ・トラップ、ライト・トラップなど、各種の調査方法を組み合わせて調査を実施した。また、小笠原関係の研究者などにも積極的な聞き取りを行った。

(2) グリーンアノールを父島・母島から根絶することは容易ではないため、固有トンボ類の保全のためには、属島個体群の保全が最重要であると考えられる。しかし、こうした属島でも固有トンボの生息環境は安定的ではなく、近年頻発する干ばつによって局所的な地域絶滅が高頻度で生じるようになっている。このため、将来的な父島・母島への個体群再導入の検討に備えるためにも、属島における固有トンボ類個体群の維持は必須であった。

そこで、固有トンボ類の保全を行うため、人工池の設置手法を開発すると共に、その設置面積を拡大することで生息数の安定化を図った。また、メンテナンスを継続、池の環境把握のための発生状況をモニタリングする手法を検討した。また、本研究成果から実施される環境省によるト

ンボ池設置場所の選定についてのアドバイスをを行った。

(3) オガサワラハンミョウは、父島東平で戦前に得られた標本をもとに記載された種であるが、父島では戦後の確実な記録は無く、現在は兄島の乾生低木林でのみ生息が確認されている。そこで、本種の減少要因の解明、生態基礎情報の収集と生息状況モニタリング手法の検討を行った。また、本種の減少要因と考えられた外来植物モクマオウ、リュウキュウマツについては、現存生息地周辺で予防的枯殺を実施した。さらに、生息調査及び生息地復元試験として、過去の生息地のうちリュウキュウマツ、モクマオウの侵入で絶滅したエリアと、記録はないが生息地であった可能性が高いエリアの2カ所でこれらの外来樹種を枯殺し、再定着を待つ試験を実施した。

(4) オガサワラシジミは父島、兄島、弟島、母島の主要4島にしか確実な生息記録がない希少なチョウ類である。本種は父島ではすでに絶滅したと考えられており、また過去に生息記録がある兄・弟両島では最近の記録がなくなり絶滅が心配されていたが、母島では2004年に個体群が再発見された。そこで、本種の通年発生場所のエリア防衛策として、アノール・トラップによる捕食者の管理を継続して行い、個体群のモニタリングを行った。また、本種保全については、各種行政、研究者が参加しているため、保全連絡会議を主催し、情報共有、保全計画の管理を実施した(昨年度後半から種の保存法指定種になり、環境省主導の会議に発展した)。

4. 結果・考察

(1) 固有昆虫の現状調査と小笠原版レッドリストの作成

アノールの捕食圧を主な要因として地域絶滅が相次ぐ固有昆虫の現状を把握し、今後の保全優先順位を策定するための現地調査を行い、暫定版の小笠原版レッドリストの作成を行った(表1)。

小笠原の固有昆虫については、グリーンアノールの捕食圧や様々な外来植物の影響により、非常に多くの種が絶滅危惧状態にあると考えられる。本研究により、未記載種や絶滅種と考えられていた種が属島での再確認される例も見られた。例えば、1頭のメスしか知られていなかったオガ

表1. 小笠原版昆虫レッドリスト(暫定版)

EX	Oeder	Family	Last record	Current distribution
<i>Xylotrechus takakuwai</i>	Coleoptera	Cerambycidae	1976	
<i>Anoplophora ogasawarensis</i>	Coleoptera	Cerambycidae	1920	
<i>Colpodes boninensis</i>	Coleoptera	Carabiidae	1980'S	
<i>Hoshihananomia katoi boninensis</i>	Coleoptera	Mordeliidae	1976	
<i>Glipha kurosawai</i>	Coleoptera	Mordeliidae	1976	
<i>G. ogasawarensis</i>	Coleoptera	Mordeliidae	1976	

CR	Oeder	Family	Last record	Current distribution
<i>Indolestes boninensis</i>	Odonata	Lestidae		Otouto
<i>Hemicordulia ogasawarensis</i>	Odonata	Corduliidae		Otouto, Ani
<i>Celastrina ogasawaraensis</i>	Lepidoptera	Lycaenidae		Haha
<i>Chlaenius ikedai</i>	Coleoptera	Carabiidae	1998	Haha
<i>Cicindela bonina</i>	Coleoptera	Cicindelidae		Ani

サワラオオシロカミキリ（図1）を再発見し、確実に小笠原に生息していることを確認し、食樹も発見することができた（シマイスノキ）。マンサク科はこの属では初めてのグループで、近縁種がニレ科、クワ科を食べることからも進化上も興味を持たれる。このほか、絶滅と考えられたオガサワラモンハナノミが兄島・弟島のマレーズトラップで確認されるなど、属島での新知見が相次いだ。昼行性のカミキリがほぼ絶滅したと考えられていた母島で、アノール・トラップの粘着版からオガサワライカリモントラカミキリ、フタモンアメイロカミキリなどがほぼ10年ぶりに確認された。また、母島から記載されたオガサワラアオゴミムシを父島列島の弟島と兄島でライト・トラップにより確認した。一方で、この5年間の繰り返しの調査でも生息が確認できず、絶滅の可能性が高い種（大型ハナノミ類、ミイロトラカミキリ、オガサワラホソモリヒラタゴミムシ、マボロシオオバツタなど）の存在が示唆された。

本調査では、未記載種も複数発見された。母島の脊梁山地ではモリヒラタゴミムシ属の1種が、兄島の乾生低木林ではシマイスノキを食べる特殊なイナゴが見つかり（図1）、ともに小笠原固有属と考えられた。また兄島ではササキリ属の1種が発見された。これらは、乾生低木林で固有化が進行した興味深い事例と思われる。



図1. 左：兄島で発見されたアニジマイナゴ（仮称）。シマイスノキに依存すると考えられる樹林性の特殊なイナゴ。右：シマイスノキから羽化したオガサワラオオシロカミキリ

また、新属新種と考えられる小型のカミキリが固有樹種ノヤシから発見された（図2）。食樹が特異であったために発見が遅れたものと思われる。

今後の保全順位付けのためにも、レッドリストの整備は重要と考えられるが、今後も多様な手法での調査を進めるとともに、各分類群の専門家による調査が必要であると言える。



図2. ノヤシから発見された未記載種のカミキリ。

（2）固有トンボ類生息調査及び生息環境復元試験

固有トンボ類の生息場所としては、過去に父島において「海軍のコンクリ水槽で発生していた」という情報が得られた。このことから、これらトンボ類は、小規模な水域でも発生可能と推測された。また、干ばつ時の水域の干上がりや、地下水位の低下によるものか、夏場の直射光や高温によるものかが明らかではなかったため、その検証もかねて、プラスチックの衣装ケースを利用して設置試験を実施した(図3)。人工トンボ池は、水温の安定化を図るため、土中に高さの半分程度を埋めて、中に泥と産卵対象となるような枯れ



図3. トンボ池。在来樹林中のサンスポットが好適。

枝を配置した。また、弟島にのみ残存し、もっとも絶滅が危惧される状況にあったオガサワラアオイトトンボが、樹上に産卵する習性があるため、本種の好むタコノキやコヤブニッケイなどの直下に埋設するようにして実施した。

その結果、設置後3ヶ月程度で終令幼虫が確認できた。また、同様の試験を繰り返したところ、オガサワライトトンボ、オガサワラアオイトトンボ、オガサワラトンボの止水を好む3種については、人工トンボ池の設置により容易に誘致を行え、発生を促すことが明らかになった。その後、本種の有効な保全を行うことを目的に、面的な安定発生地の広がりを促すため、設置場所を拡大し、弟島の全域と兄島に設置範囲を拡大した。その結果、これまでに設置した人工トンボ池のうち、1種でも固有種の発生があった池は、兄島では23/23 (100%)、弟島では、25/29 (86% : 弟島では、比較のため外来樹林や日向などに設置した池で発生が確認できなかった) となり、好適な環境(在来樹の樹陰下)では、高率で固有トンボを誘因、発生することが確認された。なお、水質の詳細分析結果では、自然水域・トンボ池とも中性～弱アルカリを示し、また富栄養の水であることが示された。

兄島滝之浦では初年度4頭だったオガサワラトンボ幼虫が、2年目で24頭、3年目で133頭に激増したことが確認された。その後も100頭近くの個体数を維持している(図4)。本種は、兄島では年に数頭程度のごく少数の目撃

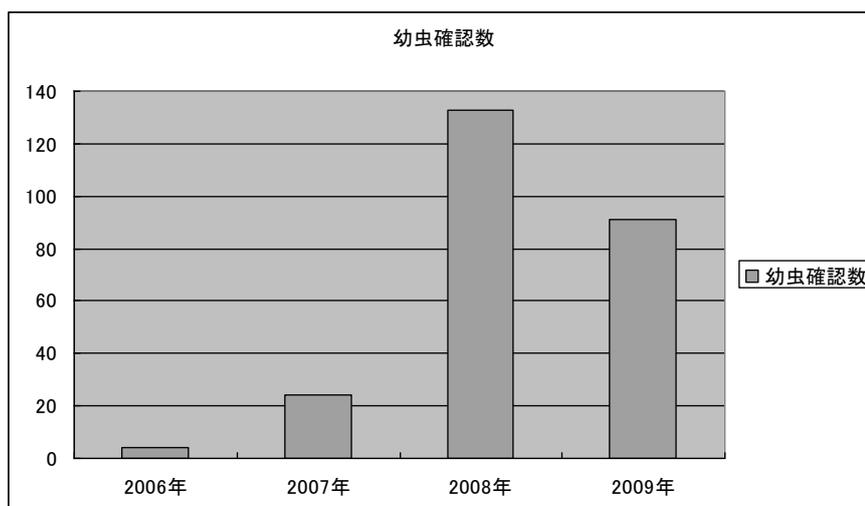


図4. 兄島のトンボ池でのオガサワラトンボの発生状況(春季の幼虫モニタリングによる)。

例しかなかった種だが、この増加と時期を同じくして島南部での目撃例が増加し、2008年には台地上でも確認例(一回のセンサスで2-3頭)が初めて出た。また、2008年には1月と6月に父島ではほぼ10年ぶりとなる本種の確認事例が報告されている。父島では近年固有トンボ類の発生はまったく確認されておらず、この記録は兄島からの飛来個体と考えるのが妥当であり、今後父島側の環境整備により自然再定着が期待できる。

池の設置環境に関しては、高温になる日向に設置した池では固有種の発生が確認されなかった。小笠原の固有トンボ類は、在来樹林中を流れる小流や水溜りで発生し、その中のサンスポットで生殖活動を行う。データロガーを設置して水温の変化を計測した結果、日向では夏場の水温が32度を越えるのに対して(図5)、日陰に設置した池では、26度を越えないことが明らかになった(図6)。発生の有無は、固有トンボ類の高温耐性によるものと考えられるが、全ての固有トンボ類が法的な保護種となっているため、致死的な試験を行うことはできなかった。また、比較のために設置したリュウキュウマツ、モクマオウの樹林地では、トンボ類の発生が見られなかった。このことは、外来樹の拡大は、固有トンボ類の発生の抑制要因になることを示唆する。一方適度な在来樹林の木陰にあり、周囲が開放的な場所では、上記3種が定着した。ただし、兄島ではオガサワラオイトトンボの記録

が1例しかなく、兄島での発生は他の2種であった。

課題としては、まずモニタリングの問題があげられる。成虫の確認については、比較的簡単に調査を実施することができる。しかし、小笠原のトンボ類は天候に活性が左右されやすく、夏場を除くと、曇りの日などの気温が低い状況下では活動しないことも多かった。現在トンボ類が発生する属島は、渡島が海況に左右されやすいため、安定した調査回数を確保することは経費の点も含めて困難である。また、オガサワラトンボの例では、トンボ池で幼虫は常時確認できたが、一度も成虫のなわばりや産卵が確認されなかった。このことから、成虫の目視による調査は、

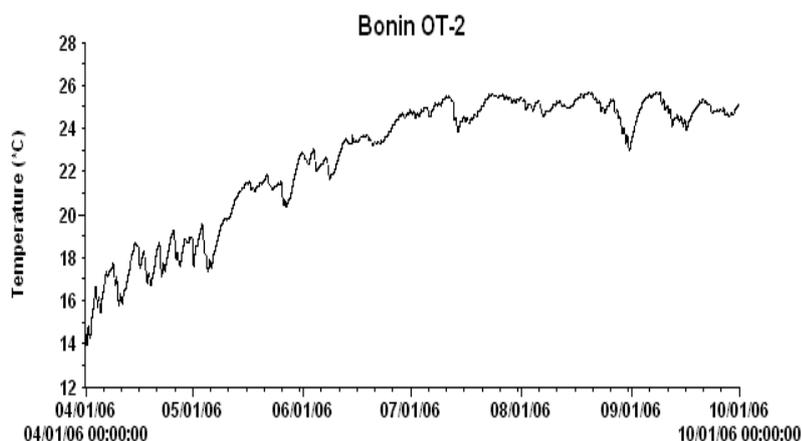


図5. 固有トンボ類が発生する人工トンボ池の水温データ。

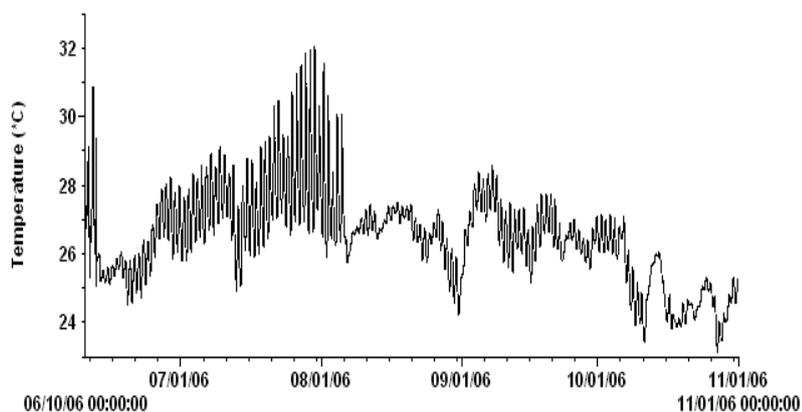


図6. 固有トンボ類が発生しない日陰の人工トンボ池の水温。

生息状況のモニタリング手法としては適していないと考えられた。

こうしたことから、調査時間はかかるものの、天候に左右されず確実に状況を把握でき、成虫の偶発的な飛来ではなく発生状況そのもの確認ができる手法として、から幼虫(羽化殻を含む)によるモニタリングが効果的であると考えられる。ただし、幼虫の同定は専門家以外では困難であり、特にオガサワライトトンボとアオモンイトトンボでは同定が非常に難しい点が課題となっている。調査時期としては、成虫発生期であり幼虫の個体数が減少する夏・秋ではなく、ほとんどの種が幼虫でいる春先(2-4月)が有効であると考えられる。



図7. 台風直後に落ち葉が堆積したトンボ池。

トンボ池を有効に維持する上での問題としては、まず落葉の堆積があげられる。小笠原諸島では年間を通じ落葉が多く、とくに台風直後や秋季には、大量の落葉がトンボ池に堆積し水を腐敗させる(図7)。また、カヤツリグサなども少量が生息する分には、産卵対象にもなり好適であるが、大量に繁茂すると開放水面を減じ、トンボ類の飛来定着がなくなってしまう(図8)。このため、定期的(半年に一度程度)に落葉の除去を行うなどのメンテナンスが必要である。メンテナンス時には、特に若例の幼虫を排除しないように注意する必要があるが、白いバットに落葉をあげ、少量の水を入れて確認することで効率よく作業を進めることができた。本研究期間中に、メンテナンス・モニタリングとも地元NPO「小笠原クラブ」との協働作業を開始し、今後の長期的な人工トンボ池の管理体制の整備のための人材育成を行った。



図8. 兄島のトンボ池。左：植生が繁茂した状態。右：メンテナンス後の状況。

(3) オガサワラハンミョウ生息調査及び生息地復元試験

オガサワラハンミョウの現在知られている生息地は兄島の乾性低木林の裸地であり、幼虫は地面に巣穴の中に生息している(図9)。今回の研究では、まず兄島島内における本種の分布域の確認、幼虫を含めた生態の調査を実施した。この調査により、これまでに確認されていた産地のうち数



図9. オガサワラハンミョウとその生息地である乾生低木林内の裸地

箇所では生息が確認できず、すでに個体群が消滅したものと考えられた。この原因の解明と、個体群動態を把握する目的で、成虫の除去法による推定、標識捕獲などを試行した。また、危機的な個体群の系統保存を行うため、人工飼育技術を開発した（詳細は、文末に添付）。

本種の基本的な生態情報は、これまで断片的なものしかなかったが、幼虫期間が1-2年かかり3令を経ること、成虫は9-10月を主として出現する年1化であることなどが判明した。交尾後の成虫メスは、裸地の比較的やわらかい場所に腹部を差し込んで産卵する（図10）。マーキングの際捕獲個体のデータからは、本種の長距離移動例として、2例で400mほどが確認された。



図10. オガサワラハンミョウ幼虫の巣穴。

本種の現存産地と絶滅産地を比較したところ、絶滅産地では、外来樹であるモクマオウ、リュウキュウマツの侵入が顕著であり、この落葉の堆積によって、幼虫の生息環境が奪われたことが地域絶滅の要因と推定された。

そこで、兄島台地上のかつての生息地と現存生息地近くの裸地の2箇所、繁茂しているモクマオウ、リュウキュウマツの駆除による裸地再生試験を実施した。実験では、樹木古刹材であるラウンドアップの樹幹注入による薬殺を実施した。その後の確認作業で枯死していなかった場所については、追加の薬物注入を実施し、対象の裸地周辺からは外来樹を排除した。これまでにこの2地点ではハンミョウの生息は確認できていないが、今後も経過をモニタリング予定である。

本種は、7月-11月までの期間に成虫の記録があるが、発生の盛期は9-10月であり、小笠原の台風シーズンと重なる。本種は、トンボ類同様に成虫の活動活性は天候の影響を強く受けるため、効率の良いモニタリング手法が必要である。このため、1日に数カ所を回ることも可能で、天候の影響を受けにくく調査効率が良い点で、巣穴のカウント法が適している。ただし、悪天候時には巣穴を閉じてしまう幼虫が多く、長期間巣穴を閉じる個体がいるため、手法の改善も必要である。

また、幼虫の初期死亡率が高いため、産卵直後の12月頃に比べると、春期までに個体数が激減するため、調査季節を揃える必要がある。

実際に巣穴のモニタリング結果、2008年秋から、剣山や乾沢源流部などで巣穴の急激な減少が観察された(図11)。この傾向は2009年も継続し、いくつかの産地では、地域絶滅が生じたものと考えられた。これらの産地では、外来樹は侵入初期段階であり大きな影響が無いと考えられ、減少要因は不明である。この結果、これまでに見つかっている本種の安定した発生地は島内の3箇所のみで、確認できている現存個体数は700個体程度となり、非常に危機的状況にある。

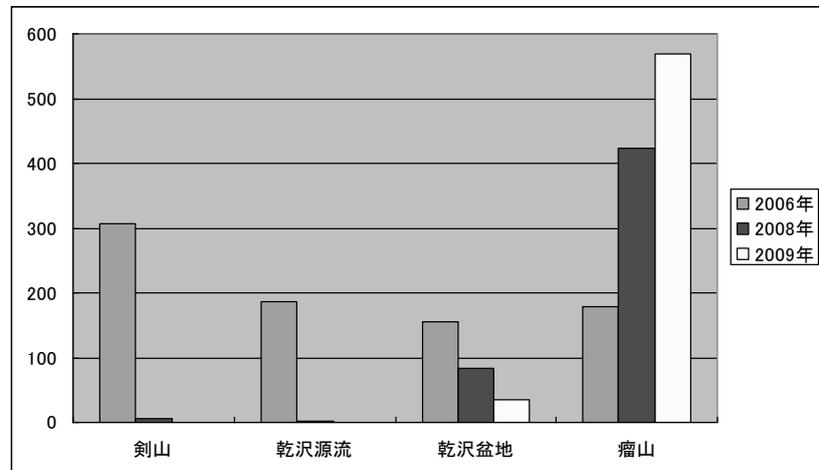


図11. 2006年から2010年までのオガサワラハンミョウ幼虫の巣穴の数。

(4) オガサワラシジミ飼育技術開発試験

オガサワラシジミの生活史に関する調査を行った結果、これまで冬季には見られないとされていたが、1月、2月とも少数ながらも確認され、ほぼ通年確認できることが明らかになった。また、本種の食樹についての調査を行った結果、幼虫は春にはコブガシ、初夏から冬まではオオバシマムラサキの蕾のみを摂食することが確認された。

現地では、さまざまな関係機関・団体と連携しながら保全を進めてきた。これまで、関係者間の情報共有と保全のための議論を行う「オガサワラシジミ保全連絡会議」を主催し、各種保全事業の推進をしてきた。また、地域外からの保全には限界があるため、18年度に地元住民による「オガサワラシジミの会」の組織化を実現した。

2006年の台風以降に激減した本種の保全を行うため、15m×15m程度の範囲に約250個のアノール・トラップを設置し局所的な捕食者排除を2年間継続した。アノールは、設置当初は数十頭が捕獲されたものの、夏場に減少し、幼体が現れる秋期にまた増加する二山型の経過をたどった(図12)。この事業はその後環境省により継続された。捕獲の結果、野外でアノールを発見する機会は激減し、相当な密度軽減の効果があつたものと思われた(図13)。また、食樹の樹勢回復のために、周囲の外来

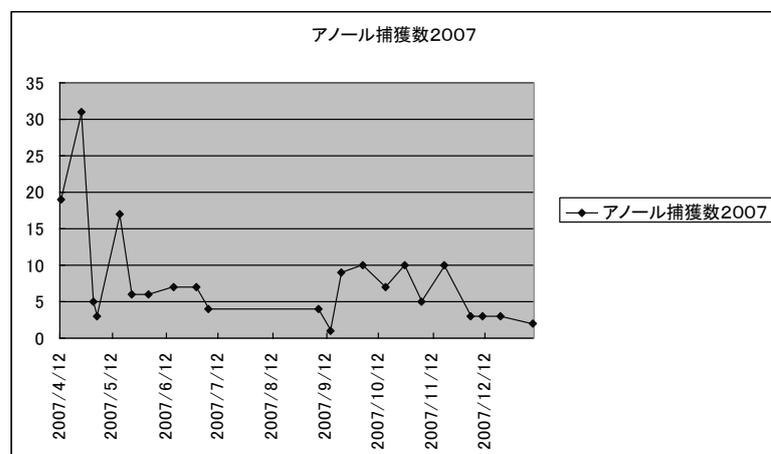


図12. シジミ局所防衛エリアでのアノール捕獲数の推移。

樹（アカギ、シマグワ）の剪定を実施した。現在は、この場所が本種を通年見ることのできる唯一の場所となっている。

また、多摩動物公園と協働で、人工系統保存の試行を行った結果、人工飼育下において少なくとも一度は交尾産卵を確認することができた。ただし、安定的な人工飼育技術はまだ開発されておらず、今後の課題となっている。

本種の保全対象場所は、アノールが現在も生息している地域内であるため、前2種に比べ、緊急に保全対策を行う必要がある。本種は種の保存法に指定されたが、今後も引き続き様々な手法を組み合わせる必要がある。



図13. アノール駆除試験地のオオバシマムラサキの花に産卵に訪れたオガサワラシジミ。背後に見えるのがアノール・トラップ。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究では、保全の基礎となる情報を整理し、現地調査により小笠原固有種の絶滅危惧ランク付けを行ってきた。また、絶滅の可能性が高いとされた種の再発見および複数の未記載種の発見があった。このような基礎情報を蓄積することにより、保全の優先度を客観的に評価することが可能となったことは、保全生物学上重要な進展である。

これまで、アノールのいない離島の昆虫個体群は比較的安全と考えられていたが、実際には環境の揺らぎや外来植物の繁茂による絶滅の危機があることが明らかになった。これに対して、トンボ池の設置や外来樹種の駆除という管理手法を開発したことは保全生物学上、重要な知見である。

一方で、オガサワラシジミについては食樹を特定し少なくとも1度の人工飼育に成功し、またオガサワラハンミョウについては人工系統保存技術の開発が達成された。このことにより、域内保全および域外保全の両面からの種の保全手法が提案され、総合的な保全策を立案することが可能となった。

一般に属島における調査は、渡航の制限があるため容易ではないが、トンボ類及びオガサワラハンミョウの生活史等に関する基礎情報を蓄積することで、効率的な調査手法の提案を行った。また、長期的にモニタリングを行うことができる小笠原の住民による組織の設立に貢献した。このように今後のモニタリング調査を継続して行える体勢を整えたことは、長期的な保全を行う上で、非常に意義深い。

(2) 地球環境政策への貢献

本研究で作成した小笠原版レッドリストおよびトンボ類、オガサワラハンミョウ、オガサワラシジミの個別の研究結果から、環境省の種の保存法で指定すべき種のリストアップを行い、オガサ

ワラハンミョウ、オガサワラシジミ、オガサワラアオイトトンボ、ハナダカトンボ、オガサワラトンボの5種が指定種となった。同時に、これらについての保護管理計画の策定についても協力した。また、小笠原版レッドリストの成果は、2011年に発表予定の東京都の島嶼版レッドリストの基礎情報として利用されている。

環境省の小笠原諸島世界自然遺産候補地科学委員会において、本研究の成果から、昆虫分野から見た外来種対策や固有種保全策についての具体的提言を行った。また、オガサワラハンミョウについての調査結果に基づき、東京都の小笠原弟島兄島ノヤギ排除検討委員会において、駆除の際の踏圧防止などの助言を行った。兄島におけるクマネズミの排除についても、その副次的な危険性を指摘し、具体的な保全策を提案した。

オガサワラシジミの保全は昆虫の研究者だけでは対処できないこと、国指定の天然記念物であることから、現場への取り組みをスムーズに行うために関係諸機関や研究者に提言して「オガサワラシジミ保全連絡会議」を主催した。

環境省の人工トンボ池の造成についてのアドバイスと現地での指示、オガサワラハンミョウ再生のための外来樹排除（環境省・東京都）、オガサワラシジミ保全のための局所防衛（環境省）など、実践的な保全策を兼ねた試験研究の実施により、行政による環境施策に大きく貢献した。

6. 引用文献

- 1) 荻部治紀・須田真一（2004）グリーンアノールによる小笠原の在来昆虫への影響（予報）．神奈川県立博物館調査研究報告自然科学 12： 21-30.
- 2) 荻部治紀（2005）外来種グリーンアノールが小笠原の在来昆虫に及ぼす影響．爬虫両生類学会報 2005： 163-168.

7. 国際共同研究等の状況

なし

8. 研究成果の発表状況

（1）誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) Niisato, T. and Karube, H. (2007) Additional records of clytine species (Coleoptera, Cerambycidae) from Ogasawara Islands (3) Revised notes on the Chlorophorus species from Muko-jima islands. *Elytra* 35: 205-215.
- 2) 荻部治紀（2009）小笠原諸島における外来種が固有昆虫類に及ぼす影響とその緩和への方策．地球環境 14： 33-38.
- 3) 荻部治紀（2009）小笠原諸島のトンボ目の現状、特に固有種の保全に向けた取り組みについて．陸水学雑誌 70： 239-245.

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 荻部治紀（2006）オガサワラシジミの保全スタート！ チョウ類保全 News 5： 8-9.
- 2) 荻部治紀（2006）小笠原の昆虫とその保全．チョウ類保全 News 5： 14-16.

- 3) 苜部治紀 (2006) 外来生物により危機的な小笠原の昆虫相. 昆虫と自然 41: 14-21.
- 4) 苜部治紀 (2007) 小笠原における外来生物の脅威. 新里達也・佐藤正孝 (編), 野生生物保全技術第2版, pp.124-140. 海游舎.
- 5) 苜部治紀 (2009) 総論: 昆虫の現状と保全への取り組み. 特集「小笠原の昆虫の現状と保護」. 昆虫と自然 581: 2-5.
- 6) Karube, H. (2010) Endemic insects in the Ogasawara islands: Negative impacts of alien species and a potential mitigation strategy. In; Restoring the oceanic island ecosystem: Impact and management of invasive alien species in the Bonin islands (eds. Kawakami, K. & Okochi, I.): 133-137. Springer.

(2) 口頭発表 (学会)

- 1) Karube, H.: 4th WDA international symposium of Odonatology (2005)
“Why the endemic dragonflies are endangered in the oceanic islands of Ogasawara”
- 2) 苜部治紀 : 日本鱗翅学会関東支部 (2007)
“小笠原の固有昆虫の現状: 外来種の影響とその対策—外来種に奪われた固有昆虫たちの未来—”
- 3) 苜部治紀 : 日本蜻蛉学会大会シンポジウム (2007)
“小笠原諸島における固有種の現状と保全策による効果”
- 4) Karube, H. : International symposium on “Impacts of invasive alien species on biodiversity and mitigation of fragile ecosystems in the oceanic Ogasawara (Bonin) Islands” (2007)
“Impacts of the invasive lizard (*Anolis carolinensis*) on insect diversity and their mitigation in Ogasawara”
- 5) 苜部治紀・松本浩一・橋村正雄・永幡嘉之 : 日本鞘翅学会大会 (2007)
“オガサワラハンミョウの現況と生活史についての知見”
- 6) 苜部治紀・松本浩一・岸本年郎 : 日本鞘翅学会大会 (2008)
“小笠原における甲虫の調査研究 (2) —近年の知見と保全への取り組み—”
- 7) 岸本年郎・苜部治紀・松本浩一 : 日本鞘翅学会大会 (2008)
“小笠原における甲虫の調査研究 (1) —甲虫相の再検討とその衰亡—”
- 8) 苜部治紀・戸田光彦 : 国際シンポジウム「南の島のエイリアン〜小笠原・沖縄の外来種管理〜」 (2009)
“グリーンアノールの昆虫群集への影響と個体群管理”
- 9) 戸田光彦・苜部治紀 : 日本生態学会第57回大会 (2010)
“小笠原諸島における外来生物ウシガエルの根絶達成”

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催 (主催のもの)

なし

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 朝日新聞 (2009年1月24日) 「小笠原に希少昆虫の聖域」
- 2) NHK朝のニュース (2009年7月29日、「おはよう日本」で人工池によるトンボの保全試験を10分ほど紹介)

(6) その他

なし

参考資料： オガサワラハンミョウ飼育マニュアル

オガサワラハンミョウの飼育方法

本飼育方法は1994年10月および2005年10月から2009年3月まで東京都足立区における飼育実験に基づき得られたデータや文献に記された情報からまとめたものである。

1. オガサワラハンミョウについて

オガサワラハンミョウは東京都小笠原村の父島と兄島に生息する日本固有のハンミョウ科の昆虫である。最近では父島からの記録はなく兄島が唯一の生息地となっている。

成虫の発生時期は7月から11月まで記録されているが、そのピークは9月から10月である。生息環境は島の上部台地に形成された乾性低木林に見られる裸地で、幼虫の巣穴も同じ環境に見られる。

父島では移入されたオオヒキガエルの捕食圧を受けて減少したものと考えられ、オオヒキガエルのいない兄島では生息状況は良好と思われていた。しかし、本種の好む乾性低木林にパッチ状に見られる裸地は外来植物のモクマオウやリュウキュウマツの生育に適していたため、これらの植物の生長と自然増加に伴い生息環境が減少していることがわかった。また、採集者による捕獲圧も本種の減少の原因と考えられている。

2. 飼育実験により得られた情報について

- ・産卵や幼虫の飼育は現地の土でなくとも可能（赤土と砂を混ぜたもの）。
- ・成虫や幼虫は餌用に市販されているコオロギなどの昆虫で問題なく羽化する。
- ・幼虫の作る巣穴の内径は1齢で約1.6mm、2齢で約2.7mm、3齢で約4.1mmであった。
- ・羽化後成虫が地表に現れたり、脱皮した幼虫が巣穴を再開放するのは給水を行った後に見られる傾向が強かった。
- ・飼育下では1年で羽化するが、それ以上かかる個体も見られた。
- ・ハンミョウの幼虫としては珍しく狭い容器で同時に飼育をしても共食いはほとんど起きなかった。
- ・幼虫は土の加湿状態に弱く、特に白きょう菌や緑きょう菌が発生しやすくなった。
- ・近縁のエリザハンミョウとは体長差はあるものの、同一容器内では容易に交雑する。

3. 飼育機材

① ケース

- ・ 20×12×12cmプラスチックケースなど（成虫飼育採卵用1ペア）。
- ・ 22mm径×200mm試験管（幼虫個別飼育用）。

② 飼育基材

- ・ 赤玉土。
- ・ 川砂（これのみでは飼育困難）。

③ ライト

- ・ 蛍光灯。

④ 給水器具

- ・ 霧吹き。
- ・ 水差しボトル。

⑤ その他

- ・ 調理用裏ごしネットなど目の細かい網。
- ・ スリコギ。

⑥ 餌

- ・ コオロギ幼虫（フタホシコオロギなど）。
- ・ ワラジムシ。
- ・ ミルワーム。

4. 飼育方法

【成虫】

園芸用の赤玉土や川砂を十分に乾燥させ、赤玉土はスリコギなどで粉状にする。粉状になった赤玉土と川砂を裏ごしネットなどで篩がけし、通り抜けた均一な物を混ぜて使用する。比率は赤玉土100%で飼育可能だが、赤玉土2に対して川砂1の割合で均等に混ぜたものでも飼育できる。これを成虫が抜け出せない網目のふたの付いたプラスチックケースに7～8cm程度敷き霧吹きなどで均一に湿らせる。この時、ケースの外から見て全体的に混ぜた土の色が変わる程度とし、湿らせすぎに注意する。

フタを取り付けたあと、このケースに1オス1メスを放す。ケースは蛍光灯などで照明する時間を設け、昼夜の差をつける（明期12時間：暗期12時間）。なお、照明により加熱されないようケースとの距離には注意を払う。

餌には頭をつぶすなどして動きを止めたミルワームやコオロギの幼虫を与える。できる限り毎日与えるが食べ残しは逸走に注意をして取り除く。また、成虫は土中の水分を嘔みしだくようにして水を飲むため、土の表面が乾燥してきたら霧吹きなどで過湿に注意しながら給水する。なお、成虫、幼虫とも26℃で飼育可能である。

【産卵～1 齢幼虫】

給餌により十分な栄養が摂れた成虫であれば数日中にこれらの容器の土中に産卵をする。卵はメスの腹端で作られた部屋に1つずつ産みつけられ、10日ほどで孵化する。孵化した幼虫は孵化直後は体が軟らかいが1～2日ほどして体が硬くなると、地表に巣穴を開放し、下にも掘り下げる。幼虫は巣穴の開放部に定位し付近を通りかかる小さな節足動物を待ち伏せする。そのため、孵化直後のコオロギなどを与える。なお、幼虫の巣穴が見られるようになったら、成虫は別の飼育容器に移動させて、飼育・採卵を続ける。

【2 齢幼虫～羽化】

十分な餌が摂れた1 齢幼虫は巣穴を閉鎖し内部で脱皮を行う。脱皮後、巣穴を再解放するとやや大きい穴（およそ2.5mm）となるので2 齢になったことがわかる。本種の幼虫は狭い容器内でもなぜか共食いをしない傾向が強いのでこの容器のまま飼育を継続できるが、病気発生時に蔓延しやすくなるため個別飼育に切り替える。幼虫の移動に際して、指先ほどにちぎった脱脂綿をこより状に捻り反対側は綿状のままにしたものを用意し、こより側を軽く水で湿らせる。これをピンセットでつまみこより側を向けて巣穴の入り口で待ち伏せしている幼虫に静かに近づけると、餌と間違えて巣穴に引き入れるので、素早く引っ張ると幼虫だけを取り出すことができる。

取り出した幼虫は上記の土を厚さ12cm程度の位置まで入れた試験管に1 個体ずつ入れるとその中で再び巣穴を作る。あとは1 齢と同様の管理を行うが、給餌の間隔は1 週間に1 度程度でよい。

3 齢になってからは試験管を45度くらい傾けて飼育をおこなう。3 齢幼虫は十分な餌が摂れると巣穴を長期間閉鎖することがあり、そのまま蛹になる場合もあるが再び巣穴を開放する場合もある。念のため巣穴を閉鎖したら試験管の口にはキャップか脱脂綿を詰めて栓をしておく。通常、蛹になってから10日程度で羽化するが、体がしっかりしても蛹室内にとどまり、しばらくしてから脱出してくる個体があるので栓をした試験管は毎日確認するが、散水を行った直後に出てくる傾向が高いようである。羽化脱出した個体は飢餓や乾燥に弱いうえ、幾分体が軟らかいので狭い容器で多数の個体を飼育することは避けたほうが良い。

※近縁のエリザハンミョウとは容易に交雑するので、エリザハンミョウ生息地域で飼育をおこなう場合には外部からのエリザハンミョウの侵入には注意を払う。また、付近での農薬散布やアリなどの侵入にも注意する必要がある。

F-051 脆弱な海洋島をモデルとした外来種の生物多様性への影響とその緩和に関する研究
 (5) グリーンアノールの生息実態と地域的根絶手法に関する研究

財団法人自然環境研究センター 研究部事業部

戸田光彦

〈研究協力機関〉 財団法人自然環境研究センター 研究事業部

中川直美・高橋洋生・鋤柄直純・常田邦彦・高藤裕二

東海大学札幌校舎 生物理工学部

竹中 践

(株)シー・アイ・シー 研究開発部

小松謙之・今井金美

尾園写真事務所

尾園暁

森林総合研究所森林昆虫研究領域

平成17～21年度合計予算額 21,900千円

(うち、平成21年度予算額 4,576千円)

※予算額は、間接経費を含む。

〔要旨〕本研究は、外来生物グリーンアノールの地域的な根絶を図るために必要な条件を把握して、排除に係る基本的な考え方をまとめることを目的として実施された。

野外調査に基づき推定された生息密度は500～800個体/haで、現在、個体数が急増している状況にはないと推定された。飼育実験から、1個体の雌は1年に平均13.7個の卵を産出すると推定された。産卵は主に地表の物陰や植物の茂みの浅い土中でなされることが確認された。野外調査及び飼育実験に基づき作成された生命表によると、1,000個の卵から孵化するものが900個体、翌年まで生存して性成熟に達するものが103.5個体、2歳まで生存するものは36.7個体であり、成体の大多数が1歳または2歳と推定された。推移行列モデルを用いて推定したところ、本種を数年以内根絶するためには、毎年90%以上の個体を排除することが必要と結論された。このため、本種の根絶のためには多数の個体を短期的に排除する必要がある。また、地域的な根絶達成のためには、個体の移動を防ぐフェンス等での遮断が必要になる。アノールの駆除を行っている地域では、捕獲開始直後に比べ、捕獲開始1年後には、生息個体の体サイズが小型化していた。これは高い捕獲圧に伴って大型・高齢の個体が減少した結果であると考えられた。

アノールの地域的根絶に向けた基本的な考え方は次のようにまとめられた。①非分布域への拡散防止を最優先事項とすべきである。②全域防除ではなく地域的な防除を基本とすべきである。③捕獲に先立つ遮断が効果的である。④捕獲と遮断の手法開発が重要である。⑤地域特性を考慮し順応的に防除を進めるべきである。

以上の結果は、環境省が実施する「小笠原地域自然再生事業」及び「小笠原国立公園特定外来生物重点防除事業」等に活用された。本研究で提案した手法は、今後海洋島における侵略的な外来生物の防除について立案、実行する際に応用可能である。

〔キーワード〕爬虫類、侵略的外来生物、根絶、個体群動態、防除

1. はじめに

グリーンアノール (*Anolis carolinensis*: 以下アノール) は、北米原産の中型トカゲで、太平洋島嶼に人為的に移入された。小笠原諸島には、父島には1970年代に、母島には1980年代に持ち込まれ、現在では両島の全域に定着している。本種は、固有のオガサワラシジミやオガサワラゼミをはじめとする昼行性の昆虫を捕食により激減させた。在来爬虫類であるオガサワラトカゲも本種の捕食及び本種との競合によって生息状況が悪化しており、現在は父島北部の集落ではほとんど見られなくなった。こうした生態系影響の大きさにより、アノールは2005年に外来生物法によって特定外来生物に指定された。

移入個体群の防除戦略を構築するためには、対象種の生物学的特性の把握が不可欠である。しかしアノールに関しては、防除手法の検討に必要な生物学的知見が乏しい。また本種を含むアノール属のトカゲは、動物の中でも特に適応性が高く地域ごとに生態学的特性等を変化させることが知られているため、小笠原集団を対象とした独自の生態調査の実施は必須である。さらに、外来のトカゲ類を対象とした防除は世界的にもほとんど類例がなく、個体の捕獲などの個体群管理の手法についても新たに開発する必要がある。

小笠原では環境省による本種の本格的な防除が2006年から実施されているが、防除を実践するための基礎データが不足しており、学術調査との連携が求められている。本研究では、野外調査や室内実験等を行って本種の生物学的情報を収集し、これに基づいて具体的な防除手法を検討し、地域的根絶を含めた本種の個体群管理手法について提案した。

2. 研究目的

本研究では、外来生物アノールの地域的な根絶を図るために必要な条件を把握して、本種の排除に係る基本的な考え方(アノール排除戦略)を提案することを目的とした。そのための調査項目は次のとおりである。①野外における生存率及び個体群動態を把握した。②飼育実験、個体の剖検等による雌の繁殖特性を把握した。③個体群生態学的パラメータを用いて個体群動態を予測し、地域的根絶のための捕獲シナリオを提言した。④個体群管理の手法としては粘着トラップや防除柵などがあるが、目的に応じた効率的な手法について検討した。⑤環境省による自然再生事業において駆除されたアノールの捕獲個体を分析し、集中的な捕獲に伴う生態学的特性の変化について検証した。以上の結果に基づき、アノール地域的根絶のための基本的な考え方を取りまとめた。

3. 研究方法

(1) 野外における生存率及び個体群動態の把握

1) 調査地の概要

野外調査は、父島清瀬にある森林総合研究所樹木園において実施した。調査面積は0.16ha(40m×40m)であり、調査地の多くはヒメツバキの二次林と苗畑であった。調査地には位置の指標として、約5m間隔で90箇所を目印(番号を記入した赤いビニールテープ)を設置した(図1)。

2) 調査手法

野外調査は、2005年には9～10月、2006年には4月と10月、2007年には4月と9月、2008年には6月

と9月、2009年には6月と10月に行った。1回ごとの調査にかける日数は5～7日間程度とした。

野外調査では、調査地をくまなく踏査し、アノールを見つけた場合には釣りや手捕りによって捕獲した。捕獲した個体は、その場で頭胴長と尾長を計測し性判別を行い、指切り法とペイント法を用い個体識別して速やかに放逐した。連日の調査の中で、既に背面にペイントマークが付いている個体は捕獲せず、番号の読み取りだけを行った。性の判別は既存文献¹⁾²⁾に従い総排出口の後方にある鱗の形態によった。すなわち、そこに1対の大型鱗が存在する個体を雄、同一サイズの鱗が敷石状に並ぶ個体を雌とした。この形質を用いることで、孵化直後の個体でも性判別を行なうことができた。また、個体の成熟については、雄では頭胴長42mm以上、雌では同43mm以上の個体を成体、それら未満のものを幼体とした²⁾。

得られたデータより個体の行動圏を求めた。また生息個体数を推定し、1ヘクタール当たりの生息密度を算出した。個体数の推定に際しては、1回の調査期間を前半と後半に分割した上でペテルセン法を適用した。本調査で得られた9回の調査の結果と、同一の調査区において2004年に実施された調査結果³⁾を合わせ、過去6年間の生息密度の経時的変化の解析を行った。

(2) 雌の繁殖特性の把握

1) 雌の繁殖力の把握

アノールの防除を効率的に進めるためには、繁殖前の雌を取り除くことが重要である。また、成体と幼体のみならず卵を排除することも、防除の効率を高めることにつながる。多数の卵を1年に1回まとめて産出する動物の場合、雌の体内または産卵場所における卵数を数えることによって1個体の雌が1年間に産み出す卵の数を把握できる。しかし、本種を含むアノール属の爬虫類は、雌が1度に1卵だけを産出し、長期間にわたり何度も産卵をくり返すため、雌の繁殖力を把握するのは容易ではない。本研究では、小笠原における本種の雌の繁殖力（ここでは1個体の雌が1年間に産出する卵の数）を把握するために飼育実験を行った。飼育実験は株式会社シー・アイ・シーの小松謙之氏の協力の下で実施された。

2008年4月に父島・洲崎で採集された雌10個体（採集時の頭胴長39-57mm）及び2008年以前に採

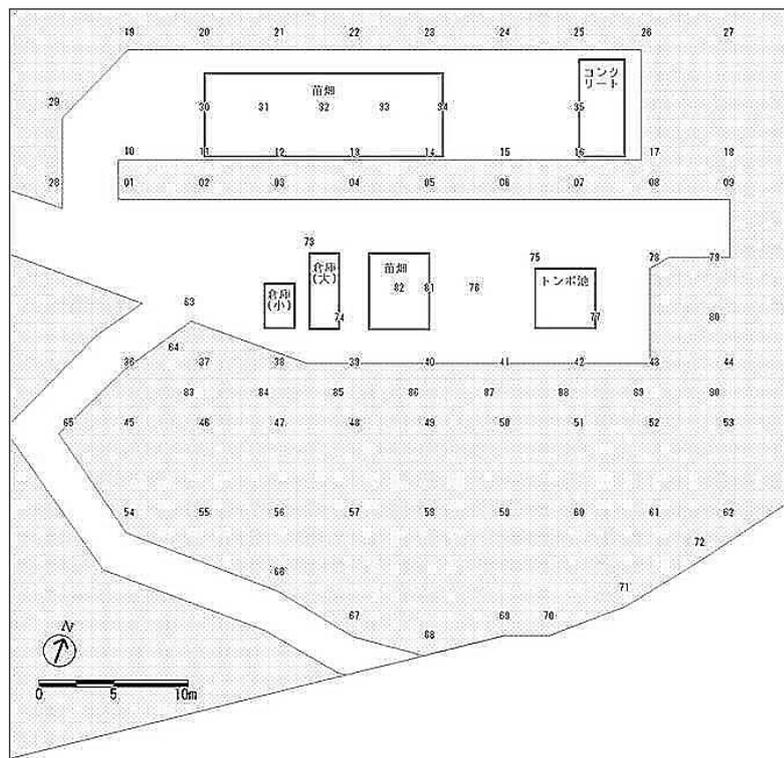


図1. 調査地の地図（森林総合研究所樹木園）
（番号は目印テープの番号を、網掛け部分は森林を示す。）

集した成熟雄3個体を、2m×4m×2mの金網ケージに放逐した。その内部に産卵場所としての利用が想定される基質を設置して、約1週間に1回、ケージ内を詳細に調べ、産卵状況（産卵数、産卵場所等）を記録した。餌としてキンバエとヨーロッパイエコオロギを用いた。実験室の気温は27-30℃、照明は5時45分～18時まで点灯し、自然光も入る条件とした。

2) 雌の産卵場所選択性の把握

本種の産卵直前の雌や卵の排除手法の検討に資する情報を得るために、雌の繁殖力の把握と並行して、産卵場所選択性に係る実験を実施した。上記の飼育実験と同じ設備と個体を用い、下記の2通りの実験を時期を分けて実施した。

a. 実験 1

2008年4月22日～7月31日に、ケージ内の高さ1m（上段）と地面（下段）の金網沿いに、それぞれ下記の基質を設置し、産卵場所を把握した。

- ・湿ったヤシガラ（土の代替として使用）のみ入った植木鉢
- ・オオタニワタリの鉢植
- ・乾燥ヤシガラのみ入った植木鉢

また、穴あきブロック2個を床（地面）に設置し、アノールの止まり木となる木の枝をその穴に設置した。

b. 実験 2

繁殖期前半に実施した実験 1 の結果、乾燥ヤシガラの植木鉢では産卵が全く認められず、オオタニワタリ鉢植の利用が多かったことから、基質の種類を変更して2008年8月1日～10月20日に別の実験を実施した。オオタニワタリに似せた人工植物の鉢植を上段と下段に設置し、土を入れたブロックを2個追加し、産卵状況を観察した。ケージ内の高さ1m（上段）と地面（下段）の金網沿いに、それぞれ下記の基質を設置した。

- ・湿ったヤシガラのみ入った植木鉢
- ・オオタニワタリの鉢植
- ・オオタニワタリを擬した人工植物の鉢植

また、穴あきブロックを4個設置し、そのうち2個には湿った土を穴に詰め、各々止まり木となる木の枝を設置した。人工植物は、産卵トラップ（産卵に訪れた雌や卵を捕獲するトラップ）の有効性を試験するために設置した。

3) 野外における産卵場所に係る情報の収集

野外における本種の産卵状況を確認するため、2008年9月1日に父島西町の空地（ギンネム疎林）に6m×6mの調査区を設定し、1時間にわたりアノールの卵の探索を行った。ここでは多数のアノールの成体と孵化幼体が確認されており、産卵場所になっていることが予測された。また、これまでの小笠原における野外でのアノール卵の発見事例を収集した。

4) 雌の生殖線の分析

雌の生殖線の分析は東海大学札幌校舎の竹中践教授の協力によって実施された。予備的な解析として、2004年9月、2006年2月～4月、6月、10月～11月に父島または母島で採集された雌（90%アルコール液浸標本）30個体を解剖し、左右の卵巣を抽出して、実体顕微鏡下で濾胞などの発達状況を詳細に観察した。

産卵履歴が判明した雌個体の生殖腺を観察するため、父島・洲崎で2008年4月に採集された24個体の雌を用い、プラスチックケースで単独或いは雄1個体とともに飼育し、2009年7月16日までの産卵状況を記録した。雌は飼育終了後に安楽死させて10%ホルマリンによって固定し、解剖して左右の卵巣を抽出し、実体顕微鏡下で濾胞などの発達状況を詳細に観察・記録した。

(3) 個体群動態の予測及び地域的根絶のための捕獲シナリオ

2004年の標識個体に着目して、幼体（2004年出生個体）及び成体（2003年以前出生個体）の別に、2007年までの各年の再捕率と各年までの経年生残率を算出し、上記（2）で得られた雌1個体当たりの年間産卵数等のパラメータを加えて生命表を作成した。これらのパラメータを推移行列モデルに当てはめ、個体群動態解析ソフトLAMAS EcoLabを用いて個体群動態に係る将来予測を行った⁴⁾。その際、毎年防除における捕獲率を操作し、捕獲作業に投じる捕獲努力量ごとに根絶までに要する期間を求めた。

(4) 効率的な捕獲手法に関する情報のとりまとめ

野外における粘着トラップの効率試験として、2007年4月24日及び25日に父島・清瀬の小笠原高等学校下（崖と都道に挟まれた疎林、生垣等からなる帯状の平坦地）に面積320m²の調査区を設定してアノールの標識再捕を実施し、生息個体数を推定した。標識には指切り法とペイント法を併用した。その後、5月1日から6月20日までの51日間にわたり、158個のポリプロピレン性粘着トラップ（トラップ密度は4937.5個/ha）を仕掛けて随時見回り、捕獲状況を確認した。捕獲個体は指を確認して、標識が施されている場合にはその個体番号を記録した。過去に実施された、アノール侵入防止フェンスを併用した際の捕獲試験結果との比較を行い、本種の防除における留意点を取りまとめた。

(5) 防除に伴う生態学的特性の変化と地域的根絶のための基本的な考え方のとりまとめ

魚類等において、捕獲が進行した場合、高い捕獲圧に伴って大型・高齢個体が減少し、若齢・小型個体の比率が上昇する現象は一般的である。逆に、生息密度の低下に伴い資源を巡る種内競争が低下し、その結果、成長率や生存率の上昇、体サイズや産卵数の増大などが生じる可能性もある。現在、環境省は「小笠原地域自然再生事業両生は虫類対策調査」を進めており、母島の新夕日ヶ丘に面積約2ヘクタールのアノール排除区を設定し、周囲をアノール遮断フェンスで囲んだ上、2008年の初夏からここで集中的にアノールを捕獲している⁵⁾。防除の進行に伴ってアノールの生息密度は顕著に低下しており、例えばアノールの生息好適地となっている林縁部の調査ポイントでは、防除開始前の2008年6月に比べて、同年9月以降は22%程度に減少した⁶⁾。

このような防除による集団サイズの急激な減少がアノールの生態学的特性に与える影響を評価するため、捕獲作業前後の個体の体サイズに着目して、その変化について検証した。環境省がアノール排除を実施している母島・新夕日ヶ丘において、粘着トラップで捕獲された個体のエタノール

ール固定標本を譲り受け、集中的な捕獲の直後（2008年春）及び1年後の頭胴長を比較した。これに先立ち、父島・清瀬における2004年から2009年までの標識再捕個体（成体）の頭胴長データを用いて、年ごとの体サイズの違いについてまとめた。ここでは、各群の大型化の程度を比較することを目的とし、各群において計測個体の中から上位50%の個体のデータを抜き出して比較解析を行った。

4. 結果・考察

（1）野外における生存率及び個体群動態の把握

1) 季節別にみた頭胴長

本種には明瞭な頭胴長の性的二型が認められ、雄の方が大型であった。秋期には頭胴長20mm台の幼体が見られ、冬期にはそれが見られなくなることから、孵化は冬までに終了していると考えられた。過去の研究によれば、父島では6月中旬に21mmの幼体が³⁾、また母島においても6月に20mm台の幼体が確認されていることから²⁾、小笠原諸島に定着しているアノールの孵化は6月頃に始まると考えられた。季節ごとの個体の計測から、孵化翌年の初夏には最小のものでも頭胴長45mm程度に達することも分かっている³⁾。本研究の調査結果と既存資料から、本種の孵化幼体は翌年の初夏には成体のサイズに達するものと見なされた。

2) 行動圏

環境ごとに本種の発見頻度を比較すると、雄成体は枯木が積まれた場所（図1の目印No. 24）に多く発見され、林縁、林内でも観察された。雌成体は主に林縁で、幼体は苗畑や林縁で観察された。2005年秋期のデータから個体別の行動圏を求め、行動圏の長径の変異を表1に示した。成体では、雌雄ともに50%以上の個体が5m以内の範囲にとどまった。また、幼体も同様な割合を示し、再捕獲されたアノールの行動範囲は10mの範囲内と考えられた。

複数の季節を通して再捕獲された個体の多くでは、季節間の大きな移動を確認することができなかった。ただし、調査は40m×40mの範囲で行っているため、それより長い距離を移動した個体を発見できていない可能性もある。

3) 生息密度と性比

継続調査の結果、清瀬における成体の性比は雄に偏り、雌成体に対する雄成体の個体数は3倍程度であった。この傾向は5年間ほぼ変わらなかった。推定された生息密度は2004年秋では1,450個体/haと高かったが、その後は500～800個体/haで推移した。生息密度は2008年までは減少傾向にあり、2009年にはやや増加したと推定された（図2）。これらの密度は、小笠原における先行研究³⁾⁷⁾と大きな差はなかった。

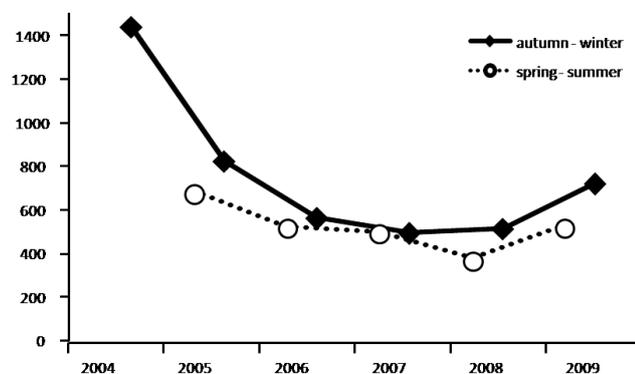


図2. 父島清瀬におけるアノール密度の推移

(2) 雌の繁殖力の評価

1) 雌の1個体当たりの産卵数

飼育期間中に確認されたアノールの産卵数の推移について図3にまとめた。飼育した10個体の雌において、産卵は5月から10月下旬に確認され、合計137個の卵が得られた。産卵のピークは8月で、ピーク時には雌1個体当たり0.95個/週の卵を産出することがわかった。また、飼育期間を通した雌1個体当たりの産卵数は平均13.7個だった。この結果は、アノールの産卵期間を考慮すると、他地域の個体を使った過去の飼育実験の結果（各雌の産卵間隔は7～14日間であった）とおおむね一致した⁸⁾⁹⁾。

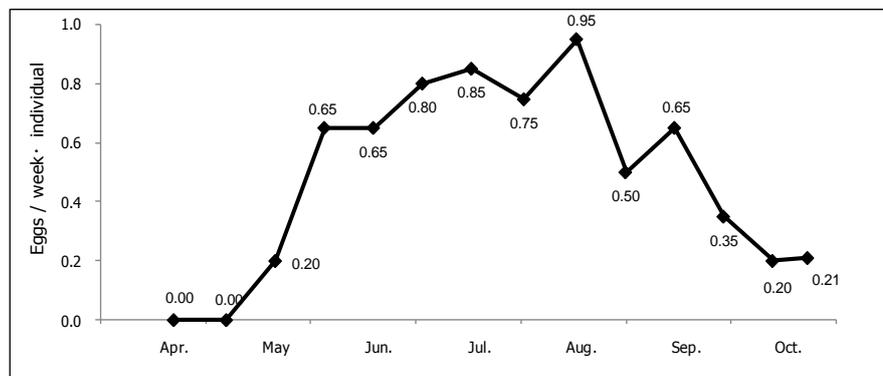


図3. グリーンアノールの雌1個体当たりの産卵頻度の季節的推移

2) 産卵場所の選択性

4月から7月までの実験1の実施期間中、上段の基質で24個、下段の基質で55個、計79個の卵が確認された。もっとも多く産卵された基質は、下段の地面に置かれたオオタニワタリの鉢植であった（N=31）。次いで多かったのは上段のオオタニワタリの鉢植であった（N=18）。穴あきブロック（ブロック（土なし））と湿ったヤシガラの植木鉢では産卵が確認されたが、乾燥ヤシガラの植木鉢は利用されなかった。乾燥ヤシガラの植木鉢と湿ったヤシガラの植木鉢の間には有意差が見られ（Fisher exact test, $P < 0.05$ ）、

また、湿ったヤシガラの植木鉢とオオタニワタリの鉢植では、後者が好まれる傾向があった。

また、産卵数が多かったオオタニワタリの鉢植と、湿ったヤシガラのみの植木鉢での産卵位置を調べたところ、前者では株の中央部のカップ状になった部分（葉の隙間

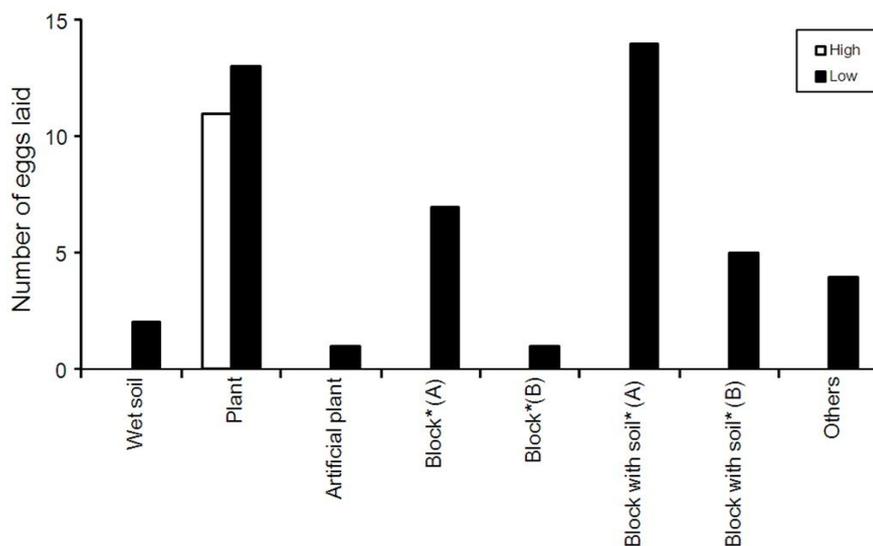


図4. 実験2においてアノールが産卵した基質（ブロック(A)～(D)は下段のみに設置）

を含む) が好まれており、鉢植で確認された卵の73.5%を占めていた。また、鉢の縁近くにも多く産卵していた(26.5%)。後者では鉢の中央部は全く利用されず、全ての卵は鉢の縁近くで確認された。

8月以降の実験2においては、上段の基質で11個、下段の基質で47個、計58個の卵が確認された。もっとも産卵数が多かったのは地面に設置された土入りのブロックで(N=14)、次いで下段のオオタニワタリの鉢植であった(N=13)。一方、上段の湿ったヤシガラの植木鉢と人工植物は全く利用がなく、これらの基質は下段でもほとんど利用されなかった(図4)。オオタニワタリと人工植物との比較ではオオタニワタリが有意に選択され(Fisher exact test, $P < 0.05$)、ブロックとオオタニワタリとは選択性に差が見られなかった($P > 0.05$)。

また、実験1と実験2で設置したオオタニワタリの鉢植と湿ったヤシガラの植木鉢に産卵された卵35個について産卵の深さ(地表面からの卵の上端の距離)は、0~50mmで、平均16.6mm(SD=9.2)であった。

3) 野外における産卵場所

2008年9月1日の卵の探索調査では、調査区内で卵殻を含む計11個の卵を発見した。調査区は湿気の多い日陰であり、アノールの卵は岩崖を覆う多年生草本(ノハカタカラクサ)の根の隙間に産み付けられていた。深さ(地表面から卵の上端までの距離)1~5cm、地上高(地上から、岩崖の卵の見られた地点までの高さ)0.3~1.3m(平均0.9m)だった。卵の得られた底質の温度は27.7~29.1℃(平均28.0℃)と比較的安定していた。

これまでの小笠原の野外での卵の発見事例としては、2005年2月に父島・清瀬でアノールの冬眠場所を調査していた際に、積まれた木材の下やオガサワラビロウの落葉下から、本種の卵殻各1個が発見された例、また、2005年6月に母島乳房山において、オオタニワタリのカップ状になった株の中心部で複数の卵が確認された例がある(戸田光彦, 未発表)。また直接の産卵行動の観察例としては、2008年6月には母島・新夕日ヶ丘のリター上に産卵するアノールが目撃されている(高橋洋生, 未発表)。

室内実験の結果(上記2))と野外観察例を合わせると、本種の雌は主に地表の物陰や浅い土中に産卵し、植物の茂みや根元、穴状になったところを好んで産卵すると推測された。また、場合によっては落葉の溜まった樹洞や着生シダの根元などにも産卵することが確認された。地表から数cm以内のところに産卵することが多く、産卵のために深い穴を掘ることはないものと推測された。

4) 生殖腺分析

2004年と2006年に捕獲された個体の卵巣を解剖した結果、3月から濾胞の発達が認められ、4月には産卵間近の輸卵管卵が確認された(図5)。9月には濾胞は収縮し、10月には濾胞自体が半透明に変化していた。飼育実験と生殖腺分析の結果から、濾胞への卵黄蓄積は3月頃に開始され、4月には産卵が始まると推測された。また9月には発達した濾胞が見られず、この期間までに産卵を終了すると考えられた。先述の通り、野外では孵化幼体が出現するのは6月中旬以降であることから、小笠原における本種の産卵期は概ね4月から9月の6ヶ月間と考えられた。飼育下においては5月から10月にかけての6ヶ月間にわたり産卵が認められたが(図3)、産卵の開始及び終了には年

や個体による差があるものと思われる。

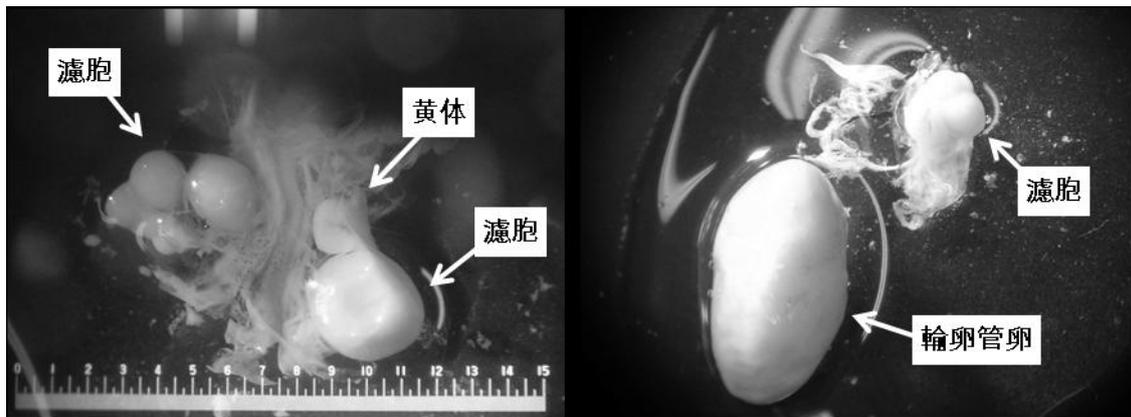


図 5. グリーンアノールの卵巢と輸卵管

(2006年4月20日母島にて採集，：頭胴長52.3mm, No. 1039)

2～4月、10月、11月に得られた雌個体の卵巢において白体 (Corpus albicans) が観察された。白体は排卵後の黄体(卵巢において、排卵された跡に生じる袋状の部分)が萎縮した名残であり、多くのトカゲ類では消失してしまうが、カナヘビ科カナヘビ属 (*Takydromus*) では終生にわたって卵巢内に認められ、その数を数えることによって当該個体の産卵個数を知ることができる¹⁰⁾。今回の予備的な解剖によって本種の白体もカナヘビ属と同様に終生にわたり残る可能性が示された。このことは、アノールの個体群パラメータをより正確に得るための手法確立に繋がるのみならず、爬虫類の繁殖生理学の観点からも興味深い。

白体の個数を数えることが可能な個体もあり、例えば18年3月2日採集の頭胴長55.3mmの個体は右卵巢に9個、左には8個の白体が認められた。また18年10月9日採集の頭胴長54.0mmの個体は右に11個、左には9個の白体を数えることができた。

なお、4月から9月にかけて得られた個体の脂肪体はほとんど認められなかったが、10月、11月、2月、3月には下腹部皮下に脂肪体が肥大しているのが確認された。本種は冬眠しないものの、温帯域に分布する他の爬虫類と同様に、秋になると脂肪体に脂肪を蓄えていると考えられた。

2008年4月に捕獲され飼育された24個体の雌は、採集してから約3ヶ月間で1個体当たり計0～7個の卵を産出し、飼育終了時の頭胴長は44～54mmであった。固定した時点で輸卵管卵 (排卵されて輸卵管に移動した、産出される前の卵) を保持していた個体は10個体であった。その輸卵管卵のもととなった黄体は1.5～3.5mmであったことから、輸卵管卵が存在する時期に、黄体は約2mmまで収縮すると考えられた。産卵後黄体はさらに縮小し、0.8mm程度までは淡黄色で長楕円形の形状を保つと判断された。多くの場合、その年の繁殖期の産卵によって生じた白体は0.3mm以上の楕円形にとどまり、前年の産卵に由来する白体は0.3mm未満の粒状になっていると考えられる。ただし、これに該当しない個体が僅かながら確認されたことから、個々の白体の形状から、その白体を生じさせた繁殖年を必ず判断できるわけではないと考えられた。

本研究では、既存文献²⁾に倣い頭胴長43mm以上の雌は性成熟に達したものとして区分していたが、飼育条件下では、雌全体の25% (24固体中6個体) は全く産卵せず、解剖の結果からも、少なくとも7月中旬までは性成熟に達していないことが確認された。そのうちの3個体は未発達濾胞のサイズが小さく完全な未成熟状態で、この時点では濾胞の卵黄蓄積移行の前段階にも達していないこ

とがわかった。また、未成熟と確認された6個体の頭胴長（平均46.6±2.2mm）は、その他の成熟個体（平均50.8±2.2mm）に比べ有意に小さかったが（U-test, P=0.001）、いずれも43mm以上には達していた。すなわち、1歳雌の中には、出生後の翌春に43mmには達しているが性成熟はしていない個体が含まれると考えられた。

性成熟と栄養状態との関係を見ると、ほとんどの個体で脂肪体の肥大が見られ栄養状態は良好であることがわかった。未成熟個体にも脂肪体の肥大が確認されており、栄養不足が原因によって成熟が遅れたわけではないと推測される。

また、1個体は濾胞の1つが発達途中で閉鎖しており、何らかの原因で生殖停止となっていたことが確認された。このように飼育条件下においても、個体による繁殖の進行や繁殖率にばらつきがあることが明らかになった。これらの点は個体群動態予測の上で考慮する必要がある。

（3）個体群動態の予測及び地域的根絶のための捕獲シナリオ

本調査では、多数が標識された2004年のデータをはじめ、標識個体の経年的な生存率をもとに、年齢ごとの経年生残率を以下のように把握した。

- ・ 幼体から1歳（成熟サイズ）まで： 0.115
- ・ 1歳から2歳まで： 0.355
- ・ 2歳から3歳まで、3歳から4歳まで： 0.333
- ・ 4歳以上の経年生残率： 0.115

1雌の1シーズンあたりの産卵数は、（2）で得られた飼育下の値、13.7個を用いた。これに、既存文献より孵化率90%¹¹⁾、卵の性比を1対1と仮定して、生命表を作成した（表1）。1,000個の卵から孵化するものが900個体、翌年まで生存して性成熟に達するものが103.5個体、2歳まで生存するものは36.7個体であり、成熟個体の大多数が1歳または2歳と推定された。

上記のパラメータを用い、雌の初期密度を1,750個体/haと仮定して、生息密度の将来予測を実施した（図6）。この仮想的な個体群は緩やかに増加し、15年後の雌の生息密度は3,500個体/haとなった。実際には小笠原のアノールは増加を続けている状況ではないことから、上記のパラメータにおいては、雌の生存率または繁殖力が過大評価さ

表1. 2005年秋期・雌雄別最長移動距離（割合）

移動距離(m)	割合(%)			
	成体 ♂ (n=29)	成体 ♀ (n=5)	幼体 (n=16)	合計 (n=50)
0	31.0	60.0	12.5	28.0
~5	27.6	20.0	37.5	30.0
~10	27.6	20.0	43.8	32.0
~15	13.8	0.0	6.3	10.0
15<	0.0	0.0	0.0	0.0
合計	100.0	100.0	100.0	100.0

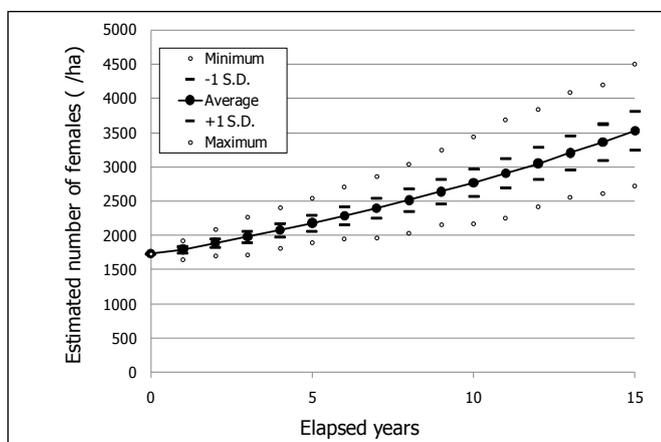


図6. 動態の将来予測（捕獲がない場合）

れている可能性が高い。

同一の推移行列モデルを用いて、雌が50個体/haから5,000個体/haの4段階の初期密度において、それぞれ30%から100%までの排除を毎年くり返した際の、根絶達成までに要する期間を算出した(図7)。なお、雌の生息密度が50個体/haは、小笠原の現状に比してきわめて低密度の条件であり、雌5,000個体/haはほとんど想定されない程度に高い密度である。

その結果、初期密度が高いほど根絶達成までに要する期間は長くなるものの、80%の個体を毎年排除すれば3~7年、90%を毎年排除すると2

~4年で、それぞれ根絶が達成されると推測された。本種の防除に際して、数年間以内の地域的根絶を達成するためには、90%以上の個体を毎年排除していくことが必要と結論された。すなわち、比較的短命で増殖力の大きい本種の地域的根絶を効率的に行うためには、長期間にわたり段階的に減少させるのではなく、ほとんどの個体を一気に排除するような捕獲方法が必要と考えられた。

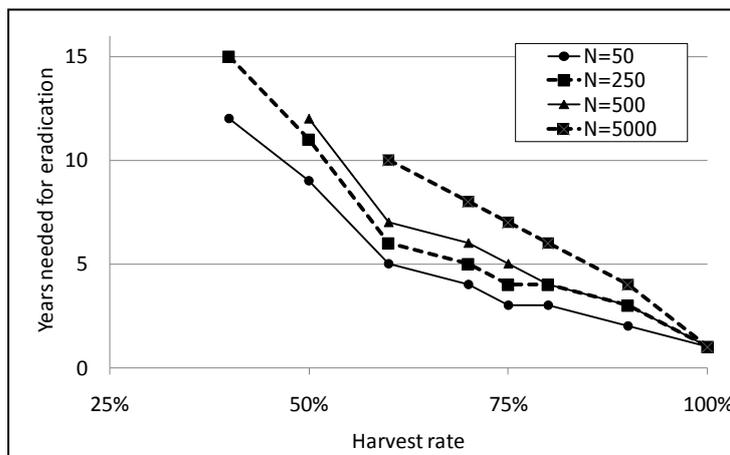


図7. 異なる初期個体数と捕獲率を設定した場合の、根絶達成までに要する予測期間

(4) 効率的な捕獲手法の検討

2007年4月24日、25日に標識され放逐されたアノールは69個体であった。小笠原高校下の調査区における生息個体数は55.1個体、生息密度は1,722個体/haと推定された。51日間にわたるその後の捕獲により、標識個体の26% (18個体) のみが捕獲された。標識個体の捕獲された期間は捕獲開始後約15日間以内にとどまり、その後は非標識個体のみが継続的に捕獲された(図8)。5月中旬以降に捕獲された非標識個体は、調査区外から侵入してきた個体と考えられる。環境省が2005年に実施した粘着トラップ試験では、アノール侵入防止フェンス

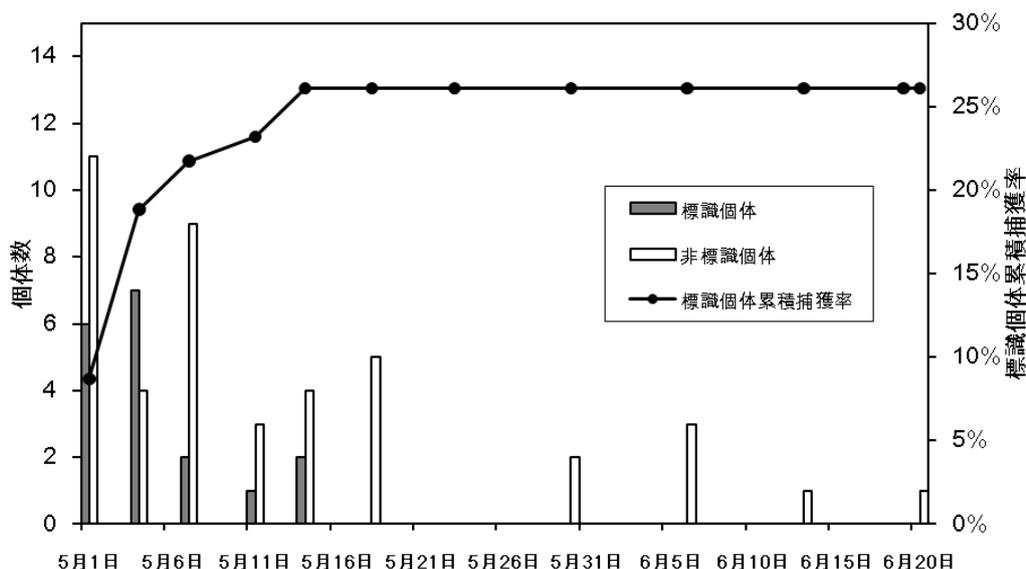


図8. 捕獲個体数と標識個体の累積捕獲率の変化

内においては捕獲開始後35日間で全ての標識個体を捕獲できたが、フェンスのない対照区では標識個体の28%だけしか捕獲されなかったことが報告されている⁵⁾。以上の結果から、粘着トラップを高密度に設置すれば、ある時点でそこに生息していた個体の30%程度を捕獲することが可能と考えられた。しかし、個体の移出入があることから、当該地域の全個体を捕獲し、アノールが全く見られない状態、すなわち地域的な根絶を達成するためには、個体の移入を防ぐフェンス等での遮断が必要であると結論された。

(5) アノールの防除に伴う生態学的特性の変化と地域根絶のための基本的な考え方

1) 防除に伴う生態学的特性の変化

清瀬で標識されたアノールの頭胴長を見ると、雌雄とも2004年から2006年にかけて年を追って小型化しており、2007年から2008年にかけては再び大きくなっていった

(図9)。雌雄とも、頭胴長の値は年ごとに有意に異なっており、最も大きい年は小さい年に比べて中央値で3mm程度の差があった。

新夕日ヶ丘で捕獲された成体の平均頭胴長は、2008年に雄68.5mm、雌55.3mmであったのに対して、2009年には雄66.4mm、雌50.8mmとなっていた(図10)。雌雄とも、捕獲開始直後の2008年初夏の個体に比べ、捕獲開始1年後の2009年初夏ものは小型化しており、これは高い捕獲圧に伴って大型・高齢の個体が減少し、若齢・小型の個体の比率が高まった結果であると考えられた。

今回は、防除の進行に伴う繁殖形質(産卵期、産卵間隔、卵サイズ等)の変化について十分なデータを得ることができなかったが、今後、アノール排除に伴う昆虫群集の変化を受けてこれらの形質も変化していく可能性があることから、今後の個体群動態を予測し、捕獲のシナリオを考える上で十分に留意する必要がある。

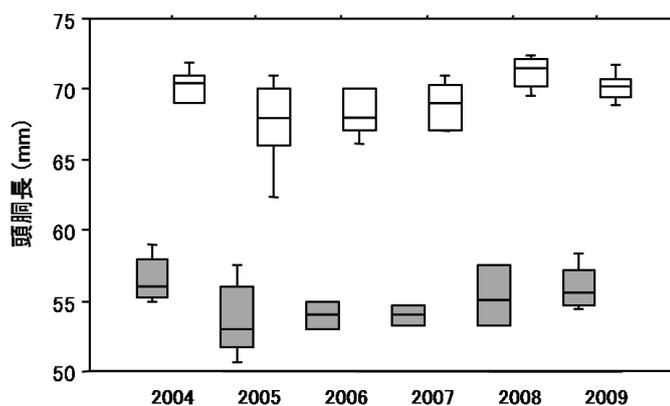


図9. 清瀬におけるアノール成体の頭胴長の経年比較
(白:雄、灰色:雌)

線は中央値、箱は25~75%の範囲、ヒゲは90%の範囲

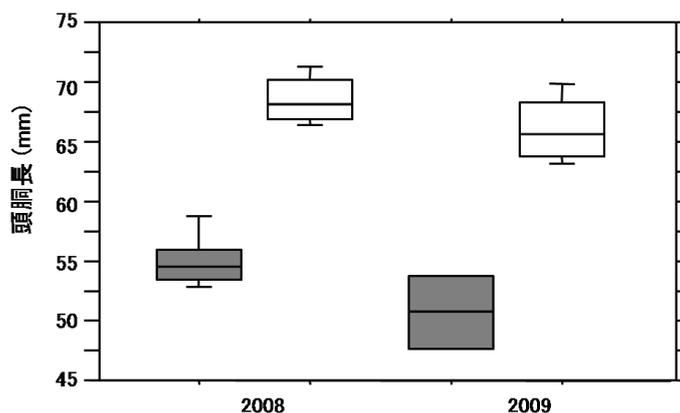


図10. 新夕日ヶ丘におけるアノール成体の防除前後の頭胴長の経年比較

(2008年:防除開始直後、2009年:防除開始1年後、白:雄、灰色:雌)

線・箱・ヒゲは図9と同一

2) 地域的根絶のための基本的な考え方

アノールの地域的根絶においては、これまでに解明してきた本種の生態学的な特性、及び防除を実施する地域の特性を勘案しつつ、また生態学的な特性の可塑性にも配慮しつつ計画立案すべきである。本種の特性及び小笠原における生息状況から、地域的根絶に向けた基本的な考え方は次のようにまとめられる。

a. 分布域への拡散防止を最優先事項とすべきである

父島、母島とも、本種の分布域の拡大はほぼ終了しているとみられ、また分布域内の生息密度が上昇し続けていることを示すデータはない。両島においては固有昆虫の減少が報告されているが、一方で属島では多くの固有昆虫が現在も普通に観察される。父島、母島におけるアノールの侵入後の分布域拡大速度が大きかったこと、定着個体群の除去には大きな労力を要すること、体サイズが小さく飢餓にも強く資材などに混入しやすいことを考えると、父島、母島における防除に先立ち、本種が未侵入で固有昆虫が残存している島嶼（父島属島、母島属島、聳島列島、火山列島）への拡散防止、特に資材などへの非意図的な混入の防止を優先的に実施すべきである。

b. 全域防除ではなく地域的な防除を基本とすべきである

1ヘクタール当たり数百個体と推定される本種は、父島及び母島の全域に数百万個体が生息すると考えられる。一方、数年以内の根絶のためには毎年90%以上の捕獲が必要だが、現段階では薬品散布等による広域的な防除方法が確立していない。粘着トラップ等を用いて本種を捕獲するには、単位面積あたりに大きな労力を投入することが必要となることから、現段階では、生物多様性保全上の重要性が特に高い箇所（例えば拡散防止の観点から特に重要な地点、在来昆虫が今なお残存している地点など）を中心に、限定された範囲のアノールを排除する「拠点的・地域的防除」が現実的である。このためには、アノールの移動を遮断し、連続した分布域を分断する必要がある。

c. 捕獲に先立つ遮断が効果的である

父島と母島では、アノールは広域にわたって高密度で生息しており、ある区域で排除しても外部からの侵入があり、地域的な根絶状態を作り出すのが困難である。現在、母島・新夕日ヶ丘で実施されている自然再生事業のように、まずアノールが乗り越えられないフェンスで対象地の全体を囲み、その上で内部の個体を排除する方法が不可欠である。ただし、アノールは四肢の指に指下板を具えていて登攀能力が大きく、樹冠やツル植物などを伝わって侵入してくるため、現在は植生を切り開いた上でアノールが乗り越えられないフェンスを設置している。もしも植生を切り開かずアノールが乗り越えられないフェンスが開発されれば、地域的根絶の拠点を大幅に増加させることに繋がると思われる。

d. 捕獲と遮断の手法開発が重要である

本種は小型で増殖率が高く、また野外では高密度であることから、1個体ずつに狙いを定めて捕獲する大型鳥獣の狩猟のような方法ではなく、害虫駆除のように、定められたエリアにトラップや薬剤を投与して、面として駆除するような方法が適すると考えられる。本種の防除においては、効率的な捕獲方法を開発し、改良することが重要である。単位時間当たりの捕獲効率はそれほど

高くなくとも、ある地点に設置して継続的に捕獲圧を掛け続けられる手法が望ましいと思われる。今後のトラップ開発については、誘因物（オトリ、ベイト等）を用いたより効率の高いもの、在来生物への影響が小さいものといった観点が重要になると考えられる。さらに、将来的には薬剤等の適用も視野に入れる必要がある。

e. 地域特性を考慮し順応的に防除を進めるべきである

アノールは森林や草原、農耕地、市街地などさまざまな環境に出現し、場所によって性比や生息密度が異なっている。場所により、捕獲のしやすさや捕獲地点までの到達のしやすさ、防除における配慮事項（特に在来生物への配慮事項）等が異なることから、防除を実施する地域の特性を考慮して、目的に応じて適切な捕獲手法を適用する必要がある。

これはアノールの防除に限ったことではないが、防除事業を行った場所では、その効果を随時測定し、それを反映しつつさらに効率的な防除を進めることが必要である。すなわち、防除対象であるアノールと、保全対象である昆虫などのそれぞれについて、個体群や群集の状況を常にモニタリングして、その結果を防除の内容に反映させることが重要である。本調査においても、防除の進行につれてアノールの生態学的な特性が変化したことが示唆されており、今後も、アノール自体の生息密度や生態学的特性をモニタリングしつつ、防除を進めていく必要がある。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

日本に生息する爬虫類において、幼体から成体に至る経年生存率等の生態学的なパラメータが詳細に調べられている種はほとんどない。特に、陸産の外来爬虫類における生態学的な研究は皆無といってもよい。本研究においては、外来生物であるアノールの生態学的な特性が集積され、長期間にわたる野外個体群の動態も明らかになってきた。

本種の繁殖特性は卵を1個ずつ、長期間にわたり産出することであるが、それゆえに本種の雌の繁殖力についてはまとまった研究が少なく、生命表の作成に資するパラメータが不十分な状況であった。本研究においては、野外調査と室内実験、捕獲個体の分析（剖検）を組み合わせることによって確度の高い繁殖パラメータを得て、個体群生態学的な知見を深めることができた。

爬虫類の卵巣に認められる「白体」は排卵後の黄体が萎縮した名残であり、多くのトカゲ類では消失してしまうが、カナヘビ科カナヘビ属では終生にわたって卵巣内に認められ、その数を数えることによって当該個体の産卵個数を知ることができる。本研究において、アノールの白体もカナヘビ属と同様に長期にわたって残る可能性が示された。この発見は、爬虫類の繁殖生理学の観点からも意義深い。

(2) 地球環境政策への貢献

1) 個体群のシミュレーションの結果、雌の初期密度が1ha当たり5,000個体という極端な高密度の条件では、毎年60%の捕獲を継続した場合には、根絶は10年間かかると予想されるが、90%の捕獲を続ければ4年間で根絶が達成されるとの予測が得られた。本種の個体群生態学的な特性を考慮すると、地域的な根絶を達成するためには、長期的、段階的に個体数を減らすのではなく、短期間に大部分の個体を排除する方法が適切であることが示唆され、本種の防除戦略を考える際の基

礎となった。

2) 第5回小笠原地域自然再生推進検討会（環境省、2006年2月20日）において、本研究成果であるグリーンアノール等の電顕写真や調査の成果を資料として提供・説明し、小笠原の自然再生に向けた検討に貢献した。

3) 「小笠原地域自然再生事業」（環境省）において、アノールの生態学的特性に関する情報を提供した。また、侵入防止柵を用いた本種の排除対策手法を開発し、アノール個体群の管理戦略を提案した。

4) 本研究の成果は、「小笠原国立公園特定外来生物重点防除事業」（環境省）等に活用された。具体的には、事業の一環として父島で実施された住民説明会の資料作成に寄与し、本研究で得られたアノールの生息密度や生命表等の生態学的データを提供した。また、同一事業で実施された父島及び母島の住民向けの説明会、講演会では、地域住民に対してアノールの生活史や繁殖生態等における情報を提供し、事業の推進と普及啓発に貢献した。

5) 侵略的外来生物には、哺乳類や魚類といった、防除事例の蓄積が比較的豊富な種群のみならず、爬虫類などの、防除に係る知見がほとんどない種群も含まれている。本報告書4(5)2「地域的根絶のための基本的な考え方」は、今後、脆弱な海洋島において、爬虫類をはじめとする侵略的な外来生物の防除について立案、実行する際に基本となる、重要な示唆を含んでいる。

5) 「小笠原諸島を世界遺産一覧表に記載するための推薦書」の記述に対して、グリーンアノールに係る資料を提供した（推薦書140ページ）。

6) 環境省で制作したパンフレット「小笠原に持ち込まれた生きものたち～グリーンアノール」（2010年3月発行）において、本研究成果であるグリーンアノール等の電顕写真や幼体写真等、繁殖データの成果を資料として提供し、小笠原の外来種対策に向けた普及啓発に貢献した。

6. 引用文献

- 1) Greenberg, N. and Hake L. (1990) Hatching and neonatal behavior of the lizard, *Anolis carolinensis*. J. Herpetol. 24: 402-405.
- 2) 鈴木晶子 (2000) 小笠原諸島における、移入種と在来種のトカゲ2種の関係. 奈良女子大人間文化研究科生活環境学専攻・平成11年度学位論文.
- 3) 日本林業技術協会 (2005) 平成16年度小笠原地域自然再生推進計画調査(その1) 業務報告書. 環境省.
- 4) アクチャカヤ A. R.・バーグマン M. A.・ギンズバーグ L. R. (2002) コンピュータで学ぶ応用個体群生態学—希少生物の保全を目指して. 文一総合出版.
- 5) 戸田光彦・中川直美・鋤柄直純 (2009) 小笠原諸島におけるグリーンアノールの生態と防除. 地球環境 19: 39-46.
- 6) 自然環境研究センター (2010) 平成21年度小笠原地域自然再生事業両生は虫類対策調査業務報告書. 環境省.
- 7) Okochi, I., Yoshimura, M., Abe, T. and Suzuki, H. (2006) High population densities of an exotic lizard, *Anolis carolinensis* and its possible role as a pollinator in the Ogasawara Islands. Bull. FFPRI 401: 265-269.
- 8) Smith, H. M., Simelnik, G., Fawcett, J. D. and Jones, R. E. (1973) A survey of chronology

of ovulation in anoline lizard genera. Trans. Kansas Acad. Sci. 75: 107-120.

- 9) Andrews, R. M. (1985) Oviposition frequency of *Anolis carolinensis*. Copeia 1985: 259-262.
- 10) Telford, S. R. Jr. (1969) The ovarian cycle, reproductive potential and structure in a population of the Japanese lacertid *Takydromus tachydromoides*. Copeia 1969: 548-567.
- 11) Lovern, M. B. and Passek, K. M. (2002) Sequential alternation of offspring sex from successive eggs by female green anoles, *Anolis carolinensis*. Canad. J. Zool. 80: 77-82.

7. 国際共同研究等の状況

なし

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文 (査読あり)>

- 1) 戸田光彦・中川直美・鋤柄直純 (2009) 小笠原諸島におけるグリーンアノールの生態と防除. 地球環境 14: 39-46.

<その他誌上発表 (査読なし)>

- 1) 戸田光彦 (2008) グリーンアノール. 自然環境研究センター(編), 日本の外来生物, pp. 96-100. 平凡社.
- 2) Toda, M., Takahashi H., Nakagawa, N. and Sukigara N. (2010) Ecology and control of green anole *Anolis carolinensis*, invasive alien species in the Ogasawara Islands. In: Restoring the Oceanic Island Ecosystem: Impact and Management of Invasive Alien Species in the Bonin Islands (eds. Kawakami, K. and Okochi, I.) 145-152. Springer.
- 3) 戸田光彦 (2010) 小笠原における外来生物対策と自然再生～グリーンアノールの防除を中心に～. パークガイド小笠原, pp. 42-43. 自然公園財団.

(2) 口頭発表 (学会)

- 1) 戸田光彦・中川直美・尾園暁・鋤柄直純: 第53回日本生態学会 (2006)
“小笠原諸島におけるグリーンアノールの生息環境と行動圏”
- 2) 戸田光彦・中川直美・鋤柄直純: 第45回日本爬虫両棲類学会大会 (2007)
“小笠原諸島におけるグリーンアノールのトラップによる捕獲の試みについて”
- 3) 戸田光彦・中川直美・鋤柄直純: 第54回日本生態学会 (2007)
“小笠原諸島におけるグリーンアノール防除の方針と効率的な捕獲方法”
- 4) 戸田光彦: 第54回日本生態学会自由集会 (2007)
“グリーンアノールの防除: 効率的なトラップを探せ”
- 5) 戸田光彦・中川直美・鋤柄直純・竹中踐・小松謙之: 第46回日本爬虫両棲類学会大会 (2007)
“小笠原諸島におけるグリーンアノールの個体群構造”
- 6) 戸田光彦: 脆弱な海洋島における外来種の影響の解明と緩和手法に関する国際シンポジウム (2007)

“外来爬虫類グリーンアノールの個体群構造と効率的な捕獲方法”

- 7) 戸田光彦・中川直美・鋤柄直純：第55回日本生態学会（2008）
“グリーンアノールの個体群構造と効率的な捕獲方法”
- 8) 戸田光彦・中川直美・鋤柄直純・竹中踐・小松謙之：第47回日本爬虫両棲類学会大会（2008）
“新たなトラップの開発に向けたグリーンアノールの産卵場所選択性の調査”
- 9) 戸田光彦・中川直美・鋤柄直純・小松謙之：第56回日本生態学会（2009）
“小笠原諸島におけるグリーンアノールの産卵特性”

（3）出願特許

なし

（4）シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

- 1) グリーンアノールってどんなヤツ？（2006年4月24日、小笠原村役場、参加者30名）

（5）マスコミ等への公表・報道等（次々ページ参照）

- 1) ウェブ発表（2005年、森林総合研究所ウェブサイト）
- 2) 東京新聞（2006年5月2日夕刊、地方版（関東）・online）
- 3) 中日新聞（2006年5月2日夕刊、地方版（東海、近畿の一部）・online）
- 4) NHK「首都圏ネットワーク」（2006年5月1日、「特集：小笠原・世界遺産登録への課題」グリーンアノールの現状と対策について10分程度紹介）
- 5) NHK「おはよう日本」（2006年5月6日、「特集：奇跡の島・小笠原 命の攻防」グリーンアノールの現状と対策について10分程度紹介）
- 6) 朝日新聞（2006年7月18日、全国版）
- 7) 朝日新聞（2006年9月6日、全国版）
- 8) 朝日新聞（2007年1月30日、全国版）
- 9) NHK「週刊こどもニュース」（2007年2月10日、「小笠原諸島を世界遺産に！」グリーンアノールの現状と対策について5分ほど紹介）
- 10) J-WAVE GOOD Morning TOKYO（2007年1月31日、グリーンアノールを含めた外来種の対策について5分ほど紹介）
- 11) 朝日新聞（2009年1月24日夕刊、全国版）
- 12) 雑誌「島へ 2008年9月号」（2008年9月1日、青朮堂）
- 13) 東京新聞（2009年7月14日）
- 14) 中日新聞（2009年7月14日夕刊）

（6）その他

なし

F-051 脆弱な海洋島をモデルとした外来種の生物多様性への影響とその緩和に関する研究

(6) 侵入哺乳類が小型海鳥類の繁殖に与える影響評価

特定非営利活動法人小笠原自然文化研究所

堀越和夫・鈴木 創

<研究協力機関> 特定非営利活動法人小笠原自然文化研究所

千葉勇人・佐々木哲朗・松林浩之

平成17～21年度合計予算額 21,900千円

(うち、平成21年度予算額 4,576千円)

※予算額は、間接経費を含む。

[要旨] 小笠原諸島におけるノネコによる海鳥類への繁殖影響を評価するため、母島南崎のオナガミズナギドリおよびカツオドリの夏期繁殖地において被害調査を行い、ノネコにより2種の繁殖親鳥が10年以上に渡って捕食され、繁殖個体がいなくなっていることがわかった。その後、ノネコを捕獲排除し、防除柵を設置した結果、少なくともオナガミズナギドリの繁殖の再開が確認された。ネズミ類による海鳥類への繁殖影響を評価するため、父島列島東島(28ha、無人島)において海鳥の営巣センサスと被害状況の調査を行った。夏期繁殖種である小型海鳥のアナドリとその卵の捕食が確認され、被害規模は1000羽を越える深刻な事態と考えられた。捕食者は食痕等よりクマネズミと判断された。冬期繁殖種においても、オーストンウミツバメなどの捕食死体が発見され、東島では年間を通じてクマネズミが海鳥類に被害を与えている状況が判明した。また、東島ではセグロミズナギドリの小笠原諸島で70年ぶりの繁殖が確認された。本種の繁殖規模は100羽以上と推定されたが、まだネズミによる食害は観察されなかった。小笠原群島におけるクマネズミの分布と海鳥類への被害状況を明らかにするため、海鳥が繁殖している34箇所の離礁・属島において上陸調査を行った。このうち約7割の海鳥繁殖地の島にネズミの侵入が判明し、聳島列島北之島(19ha)と人為的に排除された父島列島西島(49ha)を除けば、2.3ha以上の海鳥繁殖島には全てネズミが生息していた。各島の小型海鳥類の繁殖規模とクマネズミによる被害状況を併せて分析すると、父島列島の東島と南島、聳島列島の聳島鳥島の3島において、クマネズミ駆除の優先度が高いと考えられた。海鳥類の主要分布地は居住地から離れているため、個体群のモニタリングを行う上では、遠隔地から操作可能な機器が必要である。そこで、電波法等の免許・許可が不要で、野外耐久性のある遠隔監視システムとして、LAN接続カメラを利用したシステムを開発した。海鳥繁殖地におけるシステムの試験運用においては、4.5km離れた場所からの稼働に成功した。

[キーワード] 海鳥繁殖地、監視カメラ、クマネズミ、ノネコ、捕食被害

1. はじめに

世界各地の多くの島嶼において、在来の鳥類が絶滅に追い込まれたり、生息数が大幅に減少したりしていることが報告されている。そしてこれらの被害は人によって持ち込まれ、島嶼に侵入したネコやネズミなどの哺乳類が原因になっていることが少なくない^{1) 2) 3)}。元来、ネコやネズミなどと長く共生していなかった島嶼の鳥類は、このような捕食性・雑食性の天敵に対する対抗手

段を進化させていない。すなわち、捕食されやすい場所に障害物のない巣をつくり、親鳥による保護監視も弱く、卵や幼鳥はきわめて容易に捕食されてしまう。集団繁殖する海鳥類は、島嶼生態系の構成員であるとともに、海洋から陸上生態系にヒナに運ぶ餌や、繁殖場での糞や死体などにより多量の栄養分を供給することで、物質循環上の重要な役割を担っている。外来哺乳類の排除による海鳥繁殖場の維持と復元は、島嶼部における自然再生の根幹的な位置を占めている。

小笠原諸島には、海洋島を特徴づける15種もの海鳥が分布している⁴⁾。ここでも、有人島では愛玩用やネズミ駆除に持ち込まれたネコが一部野生化しており、様々な陸鳥及び海鳥を襲って捕食する例が報告されている³⁾。またクマネズミについては、有人島だけでなく無人の離礁・属島においても侵入しており、小型海鳥類に捕食被害を与えている可能性が懸念されている³⁾。しかしながら、小笠原諸島においては海鳥類の繁殖地でネコやネズミの被害対策が急を要しているとは考えられておらず、それらの被害規模、捕食時期など定量的な観察事例はなかった。本研究の目的は、小笠原諸島におけるこれら侵入哺乳類による海鳥類への影響評価を行い、外来種対策についての提言および試験的対策を行うとともに、遠隔地にある海鳥繁殖地の遠隔監視システムを開発することである。

2. 研究目的

(1) 母島南崎におけるネコによる海鳥類の被害状況と海鳥繁殖地保護実験

ネコによる海鳥類への繁殖影響を評価するため、ノネコの徘徊が報告されている母島南崎のオナガミズナギドリおよびカツオドリの集団繁殖地において、夏期繁殖シーズンにおける両種の飛来状況とノネコによる被害状況を把握することを目的とした。また、ネコ侵入防止柵を実験的に設置して、柵周辺の捕獲作業と併用した海鳥繁殖地の保護対策による効果を評価した。

(2) 父島列島東島におけるクマネズミによる海鳥類の被害状況

クマネズミによる海鳥類への繁殖影響を評価するため、アナドリなど数種の海鳥類が繁殖する父島列島東島において、周年を通じた海鳥類の飛来状況とクマネズミによる被害状況を把握することを目的とした。

(3) 小笠原群島におけるクマネズミの生息分布と海鳥類への影響

小笠原群島（聳島列島、父島列島、母島列島）の離礁・属島において、クマネズミの生息分布調査を実施することで、海鳥繁殖地における捕食者の生息状況を把握し、海鳥保全の観点からのクマネズミ対策戦略に対して提言することを目的とした。

(4) 海鳥繁殖地における遠隔監視カメラの開発

本研究成果に基づき、海鳥繁殖地において外来哺乳類の対策事業が開始された。環境省事業の自然再生事業として、2008年4月より母島南崎の海鳥繁殖地ではネコ侵入防止柵設置および徘徊ネコ捕獲によりノネコ排除区が整備され、2008年8月には父島列島東島を含む3島でクマネズミの駆除事業が開始された。しかしながら、どの繁殖地も遠隔地または無人島なために、外来哺乳類が再侵入した場合に確認することは事後になり対策が遅れてしまうという問題があった。このため外来哺乳類の排除事業を進める上で、排除区の状況をリアルタイムで把握するモニタリングシステムの構築が求められている。本研究では、小笠原の海鳥繁殖地において、営巣鳥の被害を感知する遠隔システムの開発と試験運用の実施を目的とした。

3. 研究方法

(1) 母島南崎におけるネコによる海鳥類の被害状況と海鳥繁殖地保護実験

1) 母島南崎におけるネコによる海鳥類の被害状況

母島南崎（図1）の半島部先端において、オナガミズナギドリ（図2）およびカツオドリ（図3）の2種の海鳥が集団繁殖する。オナガミズナギドリは夜間飛来し、穴を掘り地下営巣し、カツオドリは日中飛来し地上営巣する。繁殖規模は、2000年頃の観察ではカツオドリ10～20巣、オナガミズナギドリ10巣以上であった（千葉勇人、私信）。この繁殖場で海鳥捕食被害があるという報告を受けて、2005年夏期繁殖シーズンに営巣状況および被害状況のセンサスを行った。センサスは飛来期である4月より抱卵・孵化期の8月まで、毎月1～2回ほど繁殖地を踏査して、営巣数、繁殖ステージ（卵、雛）、捕食された死体数を記録した。またネコの侵入状況を把握するため、繁殖地手前の赤土裸地帯におけるネコの足跡を記録し、また随時センサーカメラを設置（1～3台）して侵入個体の識別を行った。

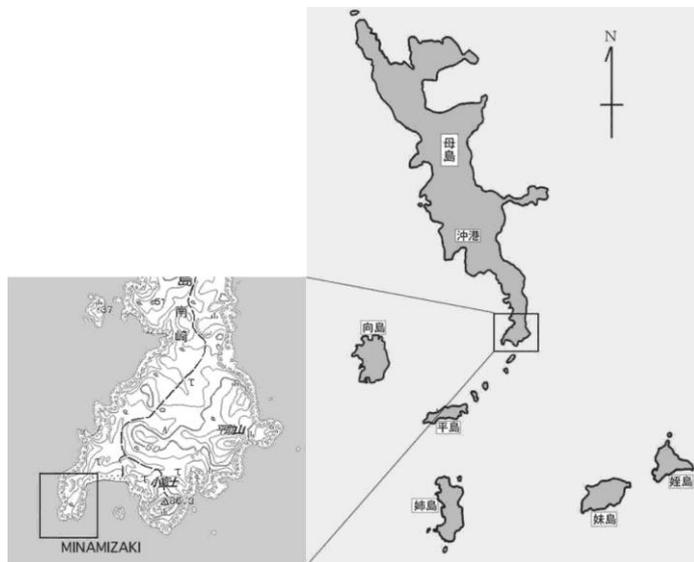


図1. 母島南崎の位置



図2. オナガミズナギドリ。



図3. カツオドリ。

2) 母島南崎におけるネコ侵入防止柵と捕獲カゴ併用による海鳥繁殖地保護実験

2005年の調査から、海鳥2種の繁殖成功はないものの少数個体の継続飛来が確認されたことより、早急なネコ排除対策を実施することより、繁殖地として復帰する可能性があると考えられた。これを受けて2006年4月中旬より、半島基部に位置する裸地帯に、オーストラリアで効果が認められたフリップトップ型のネコ侵入防止柵⁵⁾（長さ約100m、高さ1.8m、上部の返し部0.6m）を設置した（図4）。柵周辺のネコ出現の痕跡観察を実施しながら随時ネコ捕獲カゴ（1～3個）を柵内に設置した。海鳥の営巣センサスを毎月1～2回の頻度で実施し、被害状況および繁殖状況の把握を行っ

た。

(2) 父島列島東島におけるクマネズミによる海鳥の被害状況

父島列島の東島は、父島から東方約1km離れた28.0haの無人島である(図5)。夏期に繁殖するミズナギドリ科のアナドリ(図6)およびオナガミズナギドリの繁殖地として知られ、前種にとって東島は小笠原諸島内でも有数の大規模な繁殖地として重要な位置を占める³⁾。2005年7月に行った当研究所の予備調査時にアナドリ捕食死体10羽ほどが発見され、哺乳動物



図4. 母島南崎に設置した海鳥繁殖地保護のためのネコ侵入防止柵。



図5. 父島列島東島の位置。

による捕食被害を受けている可能性が高いことが推測されたので、東島を調査地域として選定して海鳥繁殖状況および被害状況のセンサス調査を周年実施した。なお、東島周辺は海況が安定しないことが多く上陸が大変困難な島で、特に海が荒れる冬期においては海鳥調査が行われたことがなく、冬期飛来鳥センサスは初めてのものではあった。



図6. アナドリ。

1) アナドリへの影響

東島におけるアナドリの主要な営巣環境は、オガサワラススキおよびスズメノコビエなどの草地で(図7)、枯れ草などを組んで巣穴としている。2006年6月14日に、東島北西部斜面のアナドリ営巣地において3箇所固定調査区を設定した(合計350㎡、各約50、100、200㎡)。その後、アナドリの繁殖シーズンが終了する10月25日まで、約10~20日間隔でアナドリ生残の確認、死体と破卵を計数し、ネズミによる食痕を確認した。重複を避けるため、発見した死体と破卵は調査区より除去した。6月22日には東島全域を歩き、捕食被害の分布状況を記録した。また7月23日と8月

29日に各1回、夜間のアナドリ飛来状況を観察した。ネズミ箱形トラップ3個を6月22日に調査区周辺に設置し、7月19日に回収した。センサーカメラ2台を6月22日より調査区周辺に設置した。



図7. 東島におけるアナドリの営巣環境。

2) 冬期飛来の海鳥類への影響

冬期に飛来する海鳥類への捕食動物による被害状況を把握するために、飛来期にあたる2006年12月16日より2007年8月28日にかけて計10回東島に上陸して営巣センサスを実施した。飛来する海鳥の種類と繁殖する環境（草地、樹林帯など）が不明なため、できるだけ広範囲に島内を歩きながら海鳥の巣穴を観察し、また発見した死体と卵の計数を行った。

（3）小笠原群島におけるクマネズミの生息分布と海鳥類への影響

（3）小笠原群島におけるクマネズミの生息分布と海鳥類への影響

小笠原群島では50箇所の島・離礁が海鳥繁殖地として利用されているが³⁾、クマネズミの侵入確認と小型海鳥類の被害状況を把握するため、そのうち34箇所において実地調査と既存資料⁶⁾のとりまとめを行った。実地調査は離礁を中心とした29島において海鳥繁殖期に上陸し、箱形ネズミ捕獲カゴの設置（図8）、食痕およびネズミ糞の確認（図9、10）、センサーカメラによる生息確認を実施した。海鳥被害は、繁殖地を踏査してネズミ類による死体や放棄卵の捕食跡を確認した。

母島列島の離礁と属島では2008年8月6日から9日及び8月17日から18日にかけて蓬莱根、鯉鳥島、中鯉鳥島、小鯉鳥島、丸島、二子島、平島、向島、姉島、姉島三本根、姉島南鳥島、妹島、妹島鳥島、妹島ヤギ島、姪島、姪島の無名離礁の総計16島を調査した。父島列島では主に8月25日から30日と10月3日から18日にかけて実施した。上陸した島は東島、巽島、瓢箪島、人丸島、南島、門島、縦島、南島瀬戸の無名の2島の総計9島である。聳島列島では、北之島に5月4日、9月19日、10月3日に上陸し、また媒島鳥島へは9月19日と10月3日に上陸した。その他小笠原群島内の母島、父島、西島、嫁島、媒島、聳島、聳島鳥島の7島は、平成17年度から随時記録している目撃または糞の観察情報をもとにした。

箱形のネズミ捕獲カゴは島当たり2個から15個を2晩から1ヶ月ほど設置した。ネズミ糞は2名で30分以上をかけて岩場とタコノキ帯周辺部を確認した。食痕跡の確認は、主にタコノキの果実の齧り跡と、海鳥およびその卵等の食害跡を探した。センサーカメラ（マリフ社デジタル型）は稼



図8. ネズミ捕獲カゴ。



図9. ネズミ食痕。



図10. ネズミ糞。

働が不安定なため補助的手段として東島など一部の島に限って使用した。

(4) 海鳥繁殖地における遠隔監視カメラの開発

従来の監視カメラは、センサー型の定点カメラもしくは同軸ケーブルによる有線型テレビカメラで、監視対象から遠隔操作ができない短所があった。今回、遠隔監視モニタリングシステムの開発構想は、地形、天候などでアクセス困難な場所でも一度監視システムを設置すれば継続的に監視できるもの、また人間が侵入すると警戒される野生生物の生態を監視できるものを目指すものである。開発構想として、1) 電源等のインフラのない場所での運用を可能にする、2) 小型で汎用性が高いものとする、3) メンテナンスフリーで対候性をもたせる、4) 利用のしやすさからデジタルデータの記録型とするものとした。

具体的に開発するために多くのケーススタディを行った後に、以下の基本仕様とすることにした。1) 基本的には情報の伝達は無線で行う。ただし、電波法等で免許・許可の必要な無線方式は除外する。第一段階の実験ではFOMA携帯の動画機能、第二段階の実験では長距離型の無線LANを利用する。2) 電源は太陽電池からバッテリーに充電して使用する。3) 耐候性として、防水および夏季の高温にも耐えられる構造とする(45℃以上を目標とする)。4) IP型カメラでデジタル化を行い、また遠隔操作性(首フリ、ズーム機能など)と音声収録の機能を持たせる。5) センサー部、電源部をモジュール化して将来の拡張性を持たせる。6) 連続記録できる機能を持たせる。以上の要件を踏まえて第一段階プロトタイプを組みあげた。このプロトタイプを父島において屋外試験を行い、システムの改修を行った後に母島南崎において実地試験を行い、それぞれのモジュール等の動作確認と問題点の抽出を行った。

4. 結果・考察

(1) 母島南崎におけるネコによる海鳥類の被害状況と海鳥繁殖地保護実験

1) 母島南崎におけるネコによる海鳥類の被害状況

センサス結果では、2005年シーズンは4月から6月初旬までの期間にオナガミズナギドリ12羽、カツオドリ3羽のネコによる捕食死体(図11, 図12)を発見し、飛来した海鳥成鳥がネコにより継続的に捕食されている状況が判明した。オナガミズナギドリは巣穴を掘るステージまで進んだものはなかった。カツオドリは最低3番が営巣し、そのうち2巣では抱卵に至ったが、6月下旬までには放棄された。センサーカメラの映像によって、複数のネコが夜間に繁殖地へ侵入し、またカツオドリ成



図11. オナガミズナギドリ死体。



図12. カツオドリ死体。

体を捕食していたことが記録された（図13）。6月までに個体識別できたネコは2頭であった。

聞き込み調査などより、少なくとも数年に渡って数十羽以上のオナガミズナギドリが捕食されており、既に2004年にはオナガミズナギドリは繁殖していないことが判明した。この危機的状況を受け、6～7月の合計26日間にわたり、繁殖地周辺にネコ捕獲カゴを設置して、これまで識別された2頭を含めた合計4頭が捕獲排除された。これらのネコは東京都内に搬出され、保護飼養された。しかし、これら海鳥保護対策は間に合わず2005年シーズンの海鳥の繁殖個体は皆無だった。その後8月に、未



図13. ネコによるカツオドリ捕食。

繁殖鳥などの飛来状況を把握するため日中および夜間のセンサスを行ったところ、オナガミズナギドリ1羽の夜間飛来、カツオドリ数羽の日中飛来が確認された。排除後約1ヶ月の8月初旬には、これまで識別されていないネコ1個体が繁殖地に侵入した。その後、2006年2月末時点まで、複数個体が立ち寄っていることが足跡観察より確認された。

本研究から、複数年に渡るネコの捕食被害により南崎の海鳥繁殖地は消滅の危機にあることが判明し、小笠原諸島においても移入動物であるネコの影響被害が甚大であることが確認された。これらのネコは、集落や畑などで飼育されているイエネコが山域に侵入して野生化し、小型の野生動物を主な食物として生活していると考えられる。また、ネコの捕食が海鳥のヒナや幼鳥のみではなく、カツオドリなどの成鳥そのものに対するものであることは、繁殖寿命の長い海鳥の個体群に与える影響がさらに大きいことを示している。

2) 母島南崎におけるネコ侵入防止柵と捕獲カゴ併用による海鳥繁殖地保護実験

2006年には、飛来期である4月から7月に2頭のネコが柵内に侵入して捕獲された。1頭は「ネコ返し」設置前の柵を越えたものであった。繁殖地内で海鳥死体は確認されなかったが、7月に繁殖地内で採集されたネコ糞よりオナガミズナギドリの羽毛が出現し一部被害が起きたと考えられた。オナガミズナギドリの営巣飛来は5月中旬に確認され、7月までに4羽が産卵し、8月に3巣でヒナがふ化した。飛来鳥により掘られた巣穴数は16巣を確認した。育雛初期の9月下旬に2巣でヒナ死体が発見され、他の1巣でヒナは行方不明で、巣立ち鳥は見られなかった。ヒナの死因は不明であった。2006年繁殖期にはカツオドリの営巣は見られなかった。

2007年の繁殖期には、柵の外側に設置したネコ捕獲カゴにより合計5頭のネコを捕獲・排除した。繁殖地内でのネコによる海鳥被害は確認されなかった。オナガミズナギドリの営巣飛来は5月に確認され、6羽が産卵し、3羽が孵化した。そのうち3羽が11月末から12月初旬にかけて巣立った。南崎繁殖地でオナガミズナギドリの繁殖成功事例はおそらく10年ぶりと考えられた。飛来鳥により掘られた巣穴数は20巣を確認した。カツオドリは1羽が産卵し、7月末まで抱卵したが、胚が発育途中で死亡し孵化しなかった。

柵の維持管理においては、2006年、2007年とも台風の通過時に支柱を除いて柵は全壊したが復旧作業は少人数により完了した。

実験したネコ侵入防止柵の物理的遮断性については、ネコに侵入された事例があり不完全ではあるが柵沿いに歩いただけで侵入させなかった観察例があり、一定の防除効果が認められた。柵と連動したネコ捕獲作業の併用効果により、殆どの海鳥被害の防止ができ、営巣増加も認められ保全手法として有効と考えられる。柵の保守管理については台風通過時には破損するが早期な復旧は可能であり、実用性があると考えられる。

(2) 父島列島東島におけるクマネズミによる海鳥の被害状況

1) アナドリへの影響

2006年6月～10月までに総計約350㎡の調査区において、アナドリ卵61個、成鳥237羽の食害死体が確認された(図14)。月別の卵と飛来鳥の被害数を図15にまとめた。被害は産卵期の6月時点で既に始まっていた。6月中は数羽だが抱卵している成鳥が確認できたが7月中旬には生存個体は確認できず、調査区における2006年の繁殖個体は皆無であった。抱卵期終了間際(7月下旬)および育雛期(8月末)に実施した夜間観察では、非繁殖個体が多数飛来していた。捕食被害はこれら非繁殖鳥に移り10月まで継続して見られた。



図14. アナドリ死体。

アナドリの羽軸には猛禽類では残らない哺乳動物による噛み跡がのこり、卵にはネズミ類の歯形が見られた。アナドリの死体は後頭部が噛られている個体が多く見られ、また肋骨など華奢な骨格から肉がそぎ落とされた個体もいた。センサーカメラではアナドリ死体に集まる複数のクマネズミが撮影され(図16)、また設置したトラップにはクマネズミ2匹が捕獲された。夜間観察および足跡観察において観察された捕食動物はクマネズミに限られた。これらの状況より、クマネズミがアナドリ成鳥および卵を捕食している可能性が極めて高いと判断された。

東島全域の踏査より、アナドリの死体は全域で発見された。全体の繁殖区域は少なく見積もっても本調査区の4倍以上はあり、2006年における東島全体のアナドリ被害数は1,000羽を越えると

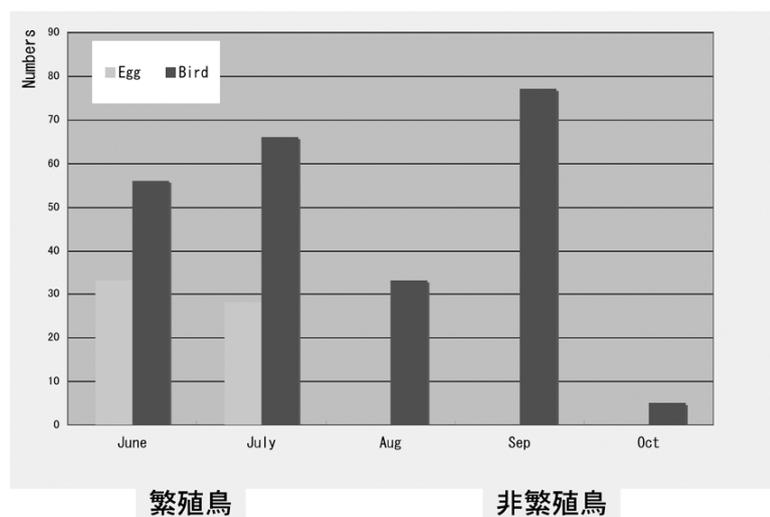


図15. 東島の350㎡調査区で回収されたアナドリの捕食卵と死体数(抱卵期は7月で終了、8月以降は非繁殖鳥の被害)

推定された。東島で希少植物を継続調査している研究者によれば、2004年夏までは本年のように多数のアナドリ死体は見られておらず(可知、



図16. アナドリ死体に集まったクマネズミ。

私信)、確認されたクマネズミによる捕食被害は2005年以後に起きた可能性が考えられる。繁殖寿命の長いアナドリにとって、繁殖個体および準備個体の損失は個体群維持にとって大きな問題である。ただし、その後2008年に環境省によりクマネズミの駆除事業が実施され、2009年には被害は確認されなかった。

2) 冬期繁殖の海鳥類 (オーストンウミツバメ、セグロミズナギドリなど)

2006年12月より2007年3月までのセンサスで、オーストンウミツバメ (環境省RDB種絶滅危惧Ⅱ類) の捕食死体が計16羽ほど確認された。本種はウミツバメ科に属す小型海鳥で、アナドリより一回り小型種である。オーストンウミツバメの死体は、タコノキの根元部および海岸崖下などにおいて、引き抜かれて散乱した羽毛もしくは骨格の一部として発見された。島全域での被害状況は不明であった。父島列島内での営巣場所は、東島の南方2kmほどに位置する巽島に限られ、これまで東島での報告例はない⁵⁾。今回の連続した食害死体の発見から、東島において冬期にオーストンウミツバメが繁殖しており、その飛来個体がクマネズミにより捕食されている可能性がある。なお、この期間に、種不明の小型ミズナギドリ類の死体が、少なくとも2個体確認された。

本調査期間中にセグロミズナギドリ (環境省RDB種情報不足) の営巣が70年振りに確認された (図17)。戦前には別名オガサワラミズナギドリとも呼ばれ、小笠原固有亜種とされるが、1930年の北硫黄島における繁殖地の報告しかなく、繁殖状況等の情報収集が急務となっていた。営巣には東島中央部などの森林内の土壌の厚いエリアを利用し、アナドリと同所的に営巣していた。繁殖個体の飛来は3月中旬、抱卵は5月中旬、綿毛ヒナは7月下旬に、巣立ち間近のヒナを8月末にそれぞれ確認した。繁殖規模は100羽以上と推定され、2007年時点では明らかなネズミ食害は確認されなかった。体形が、被害を受けているアナドリやオーストンウミツバメより大型ではあるが、その他行動の違いも考えられ原因は不明である。



図17. セグロミズナギドリ。

(3) 小笠原群島におけるクマネズミの生息分布と海鳥類への影響

本調査において捕獲および目撃されたネズミは全てクマネズミであった。離礁・属島では平島に限られるがドブネズミの記録がある³⁾。今回の食痕跡と糞だけではネズミの種類は判定できないが、クマネズミの食痕跡とネズミ糞に酷似しており、今回生息確認された島々のネズミはほとんどはクマネズミであると推測された。

群島別のネズミ生息の有無と過去の報告事例をまとめた (表1、図18)。調査した海鳥繁殖地である島で、母島列島で70.6% (12/17)、父島列島で54.5% (6/11)、髯島列島 (5/6) で83.3%で、小笠原群島全体では67.6% (23/34) にネズミが侵入していることが判明した。クマネズミ根絶実験が実施された西島を除いて、既存記録があった全て島で再確認され、更に8島が加わった。

表1. 小笠原群島の海鳥繁殖島におけるネズミの生息状況

島名	トラップ捕獲 (クマネズ ミ)	自動撮影又 は目撃 (ク マネズミ)	ネズミ食 痕跡	ネズミ糞	本調査によ る生息有無	クマネズミ記録 (矢部2004)
母島列島						
1 蓬莱島			+	+	生息	
2 鯉島島			+	—	生息	生息
3 中鯉島島			—	—	未確認	
4 小鯉島島			—	—	未確認	
5 丸島			+	—	生息	
6 二子島	+		+	+	生息	
7 平島			+	+	生息	生息
8 向島			+	+	生息	生息
9 姉島			+	+	生息	生息
10 姉島三本岩			—	—	未確認	
11 姉島南島島	+		—	+	生息	
12 妹島			+	+	生息	生息
13 妹島鳥島	+		—	+	生息	
14 妹島ヤギ島			—	—	未確認	
15 姪島			+		生息	生息
16 姪島前の無名島			—	—	未確認	
17 母島	+(2006)				生息	生息
父島列島						
1 東島	+(2006)	+	+	+	生息	生息
2 巽島	+	—	—	—	生息	
3 父島	+				生息	生息
4 西島	(2007駆除)					生息
5 ひょうたん島	+	—	+	+	生息	
6 人丸島	+	—			生息	
7 南島	+(2004)	+	+	+	生息	生息
8 門島	—		—	—	未確認	
9 縦島	—		—	—	未確認	
10 南島瀬戸の無名島	—		—	—	未確認	
11 南島瀬戸の無名島	—		—	—	未確認	
聳島列島						
1 嫁島		+(2005)	+(2005)	+(2005)	生息	生息
2 媒島		+(2006)	+(2006)	+(2006)	生息	生息
3 媒島鳥島	+	—	+	+	生息	
4 聳島		+(2006)	+(2006)	+(2006)	生息	生息
5 聳島鳥島		+(2006)	+(2006)	+(2006)	生息	生息
6 北之島	—	—	—	—	未確認	

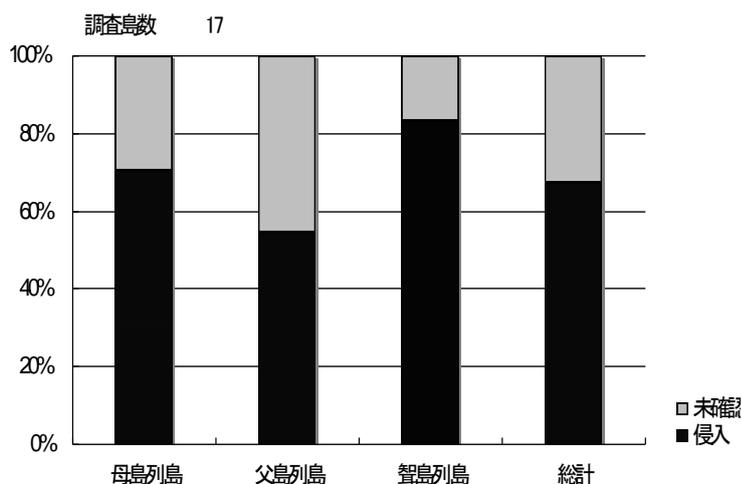


図18. 小笠原群島の海鳥が繁殖している島におけるネズミの侵入割合。

表2に島の面積別にネズミの侵入有無を比較した。面積が2.3ha以上の島では、姉島列島北之島(19ha)と根絶した父島列島西島(49ha)を除けば、全ての島々に侵入が確認された。北之島は、本調査で最多数(15個)の捕獲カゴを使用したネズミ類は捕獲できず、痕跡も発見できなかった。植生は草本類が主だが、他の属島と比べて標高も広さも十分にある安定した環境にも関わらず、ネズミ類の侵入が見られない場所である。ネズミ類が侵入した最小の島は母島列島の蓬莱島(0.7ha)で、小面積ながら木本類が生育する安定した自然環境の小島であった。これより大きい島でも、姉島三本岩(1.4ha)など岩盤がむき出しの小島では、ネズミ類の餌や隠れ場所がなく、その生息は確認できなかった。中鰐島(1.0ha)では、木本類はほとんど発達しないがオガサワラススキなど草本が密に生育している。この島ではネズミ類の生息は確認できなかったが、低密度で生息している可能性は否定できず、追加調査が必要である。

表2. 海鳥が繁殖している島の面積ごとのネズミ侵入状況

島名	面積(ha)	ネズミ侵入
南島瀬戸無名島	0.05	×
姪島名前無名島	0.4	(?)
南島瀬戸無名島	0.4	×
蓬莱島	0.7	●
小鰐島島	0.8	(?)
妹島ヤギ島	0.8	(?)
門島	0.8	×
縦島	0.9	×
中鰐島島	1	(?)
姉島三本岩	1.4	×
姉島南島島	2.3	●
妹島島島	2.4	●
媒島島島	3	●
鰐島島	4	●
巽島	4.2	●
丸島	6	●
人丸島	6	●
二子島	9	●
ひょうたん島	9	●
姉島鳥島	11	●
北之島	19	(?)
東島	28	●
南島	34	●
西島	49	根絶
平島	60	●
嫁島	85	●
妹島	122	●
姪島	133	●
媒島	137	●
向島	138	●
姉島	143	●
姉島	257	●
母島	2,021	●
父島	2,380	●

X: 岩礁で生息不可、(?) : 植生があり生息可能性あり、● : 生息確認

表3に、繁殖島の海鳥種類・規模およびネズミ被害状況をまとめた。クマネズミと小型海鳥が同所的に生息する島では、成鳥の捕食など重大な影響が起こりえるため、海鳥の保全上、駆除の優先度が高いと考えられる。現時点では飛来鳥の直接捕食は東島以外では確認されていないが、クマネズミによる卵(放棄卵含む)および死体の摂餌は、姉島鳥島(オーストンウミツバメ)、南島(アナドリの成鳥と卵)、嫁島と媒島(オナガミズナギドリの成鳥と卵)で確認されている。

今後のクマネズミの駆除戦略は希少海鳥種の有無と被害規模により複合的に判断されるべきである。希少種が生息し被害が甚大な東島が最優先の対象地と考えられ、食害発生可能性のある南島と姉島鳥島、その次に希少種繁殖地である巽島と鰐島島が順番として選択される。

表3. 海鳥繁殖種類とネズミ侵入及び被害

島名	ネズミ侵入	面積 (h)	小型			中型		大型	超大型	
			オーストン ウミツバメ	アナドリ	クロアジサ シ	セグロミズ ナギドリ	オナガミズ ナギドリ	カツオドリ	クロアシ ホウドリ	コアホウド リ
南島瀬戸		0.05		+			+	+		
姪島前		0.4					++	++		
南島瀬戸		0.4		+			+	+		
蓬莱島	●	0.7					++	+		
小鯉島島		0.8	(++)				+++	++		
妹島ヤギ島		0.8					++	++		
門島		0.8		+				+		
縦島		0.9		++			++	+		
中鯉島島		1					++	++		
姉島三本岩		1.4		+	+					
姉島南島島	●	2.3			++		++	++	+	
妹島島島	●	2.4			++		++	++	+	
媒島島島	●	3					++		+	
鯉島島	●	4	(++)				++	+++		
巽島	●	4.2	(++)	++			++			
丸島	●	6					++	++		
人丸島	●	6					++			
二子島	●	9					++	++		
ひょうたん島	●	9					++			
鴫島島島	●	11	(++)				+++	++	+++	++
北之島		19	(+++)	+			+++	+++		
東島	●	28	(++)	++++		(+++)	+++			
南島	●	34		++++		(+)	+++	+++		
西島	根絶	49					++			
平島	●	60						+		
嫁島	●	85					+++		+++	
妹島	●	122					++	++		
姪島	●	133		+			++	++		
媒島	●	137					+++	+++	+++	
向島	●	138					*			
姉島	●	143					*	++		
鴫島	●	257					+	+	+	+
母島	●	2021					+	+		
父島	●	2380					+			

繁殖数： + 1-9番、++ 10-99番、+++ 100-999番、++++1000番以上、*可能性アリ (Chiba et.al 2007、お
() : 環境省RDB種

+++ クマネネズミによる直接食害 (親、卵)
++++ クマネネズミによる食痕跡 (死体、卵)

(4) 海鳥繁殖地における遠隔監視カメラの開発

1) 第一段階プロトタイプの開発設置 (FOMA携帯の動画機能タイプ)

a. システム構成

カメラモジュール (図19) : 屋外ケースに収容されたパナソニックネットワークカメラ「WV-NM210F」(38万画素、チルト120°、音声マイクあり)にカード型FOMA端末「P2403」を接続し、FOMA携帯のテレビ電話機能により動画情報を取得。携帯電話を特定せず、カメラモジュールに接続可能。

電源モジュール (図20) : ソーラーパネル(75W)からチャージコントローラーを通してバッテリー(28A)に充電し、バッテリーからインバーターで100V交流に変換。耐候性を高めるためにソーラーパネル以外のユニットは、釣用のクーラーボックスに温度ロガーとともに収容。



図19. FOMA携帯の動画カメラ。

b. 予備実験

第一段階プロトタイプを父島宮之浜道の小笠原自然文化研究所の屋外に2008年8月17日から9月16日まで設置して動作確認を行った。この間の最高温度は43度を記録した。カメラの動作不良、電源ボックス等への浸水などは見られなかったが、インバーターの待機電力が大きくバッテリーが消耗してしまうことが判明したため、インバーターを取り外して直流システムへ移行した。



図20. 電源モジュール。

c. 設置実験

改良したプロトタイプを、2008年10月21日に母島南崎の海鳥集団繁殖地内に設置して動作確認を12月13日まで実施した。この間の電源ボックス内の温度は最高39度を記録したが、結露は見られず、またシステム全体で動作不良はなかった。しかしながら12月10日時点でカメラユニット内にアリが侵入していた。2009年2月2日よりカメラの気密性を高め、またFOMA画像をPC上に記録可能なコントロールソフトへの入れ替えを行った。その後、2010年3月5日まで継続して動作確認を実施したが動作不良・バッテリー切れなどは起こらなかった。ただし、小笠原諸島はFOMAの高速データ通信エリアからは外れているためにカメラスペック上の動画解像度が上がらず、約1m以上までの映像は詳細に観察できたが、それ以上の遠方ではある程度大型のものの識別に使用できるのみであった。総計4か月以上に渡る実地試験において動作不良は起こさず、第一段階のプロトタイプの基本仕様(カメラモジュール、電源モジュール)は実用化に至っているといえる。遠方の画像解像度は低いという短所はあるが、FOMA携帯電話により、受信場所を特定せずに現地情報をリアルタイムに取得できる今回の遠隔モニタリングシステムは、外来種排除区の管理者にとって排除フェンスの状況を確認したりする上で利便性は大変高いと言える。

2) 第二段階プロトタイプの開発設置（無線LANタイプ）

FOMA携帯システムよりも観察解像度が高いPCカメラ型システムの採用を目指した。

a. システム構成

接続には電波法申請が不要な長距離型の無線LAN方式を採用した。データ取得に無線LANを使用することにより全システムのIP化が可能になり監視データの管理・記録・検索等のコンピューターデータベース化を可能とした。

カメラ・アンテナモジュール（図21）：IPカメラ「MSI社 MSI-01型」（解像度：640 x 480、チルト水平270度、垂直120度、最小照度：0.5lux）を屋外用防水ケースに収納し、超低損失同軸ケーブルを用いて高性能八木アンテナシステム「Buffalo社 Air Station Pro WLE-HG-DYG」に接続して監視場所に設置した。観測点では同型アンテナシステムをPCに接続して無線LAN接続した。



図21. IPカメラおよび超指向性アンテナ。

電源モジュール（図22）：予備試験でソーラーパネル2枚を増設したが電力不足になることが判明し、インバータ廃止の直流システム化を採用した。ソーラーパネル3枚を低損失安定化電源コントローラーを使用してバッテリー（68A）に充電し、12V、6V、3Vの3電圧を給電する電源部改良モジュールを作成した。ソーラーパネル以外のユニットは、釣用のクーラーボックスに温度ロガーとともに収容した。



図22. 増設した電源モジュール。

b. 予備実験

2009年7月に第二段階プロトタイプのカメラモジュールシステムを、父島大神山公園を監視場所、見通しのきく長崎地区を観察場所として想定して接続実験した。この2.8km区間では稼働に成功した。

c. 設置実験

同プロトタイプを、2009年7月10日に母島南崎の海鳥集団繁殖地内に設置して、沖港の4.5kmまでの接続に成功した。動作確認は9月の台風14号（最大瞬間風速45m）の接近時も含めて12月3日まで実施し、継続稼働に成功した。ただし、地上営巣するカツオドリは繁殖していなかったため、海鳥の繁殖状況を実際に確認することはできなかった。動画性能については、日中はFOMAカメラと比べて十分に高い解像度と画像更新スピード（15fpc）を得ることができた。しかし夜間については10lux以下ではコントラスト不足で殆ど見えなかった。今後、夜間観察では、赤外線照射型のアナログ監視カメラをカメラサーバー経由でIP化して使用することで解決できると考えられた。

父島の予備実験と今回の運用から、同様の条件の兄島および東島などクマネズミ駆除事業を行った離島でも、本システムを用いて父島高台より監視可能と考えられる。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

小笠原諸島においてもイエネコ由来の野生化したネコによる海鳥類の捕食被害が甚大であることが解明され、今後、海洋島における自然環境保全策として、早急に保全地域に侵入するノネコの排除対策を取る必要があることが判明した。海鳥繁殖地のネコ被害防止対策として、侵入防止柵と捕獲カゴの併用対策の有効性が実証された。

日本国内で初めて、海洋島に侵入したクマネズミが小型海鳥類に対して個体群の存続を脅かすほど深刻な捕食被害を短期間で与えることが明らかになった。被害対象種としてアナドリとオーストンウミツバメが確認された。小笠原群島に点在する約7割の海鳥繁殖地において、今後深刻な捕食被害を与える可能性のあるネズミ類の侵入状況が判明し、特に小型海鳥類が繁殖する島嶼におけるクマネズミ類の駆除対策が必要であることを明示した。このような実証的な研究例は国内では少なく、保全生物学上の意義が大きい。

小笠原固有亜種セグロミズナギドリの繁殖地を70年ぶりに発見し、繁殖スケジュールを解明した。このことは、これまで不明であった本亜種の生態の特性を考える上で、貴重な発見である。

(2) 地球環境政策への貢献

環境省の「自然再生推進検討会」「世界自然遺産科学委員会」および関東森林管理局の「小笠原諸島における森林生態系保護地域に係わる設定委員会」に、本研究成果であるノネコおよびクマネズミによる海鳥被害事例を情報提供した。これより環境省の小笠原自然再生基本計画に捕食性哺乳類の具体的な排除課題として盛り込まれた。2008年3月に母島南崎のネコ侵入防止柵は環境省により強固なものとして再設置され、また海鳥繁殖地におけるクマネズミ駆除対策は平成20年度から平成21年度にかけて父島列島および聳島列島において順次実施された。

東京都獣医師会野生動物対策委員会へ、ネコによる海鳥被害の深刻性と、ネコ侵入防止柵と捕獲カゴをもちいた海鳥保護対策の有効性を提示し、小笠原においての希少鳥類保護のために捕獲されたネコの内地動物病院への受け入れ事業の継続展開に寄与した。南崎海鳥繁殖地の保護対策地は地域住民の協力及び視察の場として活用され、島内外への自然再生事業の外来種対策の啓発モデルとして発信された。

外来種排除事業が進んでいく上で、アクセスが困難な離島や半島部先端などに整備される排除区においても、リアルタイムに監視及び記録できる遠隔監視カメラシステムの開発に成功した。

6. 引用文献

- 1) Courchamp, F., Chapuis, J.-C. and Pascal, M. (2003) Mammal invaders on islands: impact, control and control impact. *Biol. Rev.* 78: 347-383.
- 2) Nogales, N., Martin, A., Tershy, B. R., Donlan, C. J., Veitch, D., Puerta, N., Wood, B. and Alonso, J. (2003) A review of feral cat eradication on islands. *Conserv. Biol.* 18: 310-319.

- 3) 川上和人 (2002) 小笠原諸島のノネコとネズミ類: 固有鳥類への影響と対策. 日本生態学会 (編), 外来種ハンドブック, pp. 236-237. 地人書館.
- 4) Chiba, H., Kawakami, K., Suzuki, H. and Horikoshi, K. (2007) The distribution of seabirds in the Bonin Islands, Southern Japan. J. Yamashina Inst. Ornithol. 39: 1-17.
- 5) Long, K. and Robley, A. (2004) Cost effective feral animal exclusion fencing for areas of high conservation value in Australia. Commonwealth of Australia.
- 6) 矢部辰男 (2004) クマネズミ. 日本林業技術協会(編), 平成15年度小笠原地域自然再生推進計画調査 (その1), pp. i11-i17. 日本林業技術協会.

7. 国際共同研究等の状況

なし

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文 (査読あり)>

- 1) Kawakami, K., Suzuki, H. and Horikoshi, K., Chiba H., Fukuda A. and Higuchi H. (2006) The foraging ranges of Black-footed Albatross *Diomedea nigripes* breeding in the Bonin Islands, southern Japan, as determined by GPS tracking. Ornithol. Sci. 5: 187-191.
- 2) Chiba, H., Kawakami, K., Suzuki, H. and Horikoshi, K. (2007) The distribution of seabirds in the Bonin Islands, Southern Japan. J. Yamashina Inst. Ornithol. 39: 1-17.
- 3) Eda, M., Kawakami, K., Chiba, H., Suzuki, H., Horikoshi, K. and Koike, H. (2008) Genetic characteristics for Black-footed Albatross (*Diomedea nigripes*) on the Bonin Islands and its implication for the demographic history and population structure of the species. Ornithol. Sci. 7: 109-116.
- 4) 堀越和夫・鈴木創・佐々木哲朗・千葉勇人 (2009) 外来哺乳類による海鳥類への被害状況. 地球環境 14: 103-105.

<その他誌上発表 (査読なし)>

- 1) 堀越和夫 (2006) 小笠原諸島の特異な生物相とネコを含む外来種問題. 東獣ジャーナル 482: 1-2.
- 2) 堀越和夫 (2007) 鳥類保護とネコ問題. 遺伝 61: 68-71.
- 3) Horikoshi, K., Suzuki, H. and Sasaki, T. (2008) The impact assessment of invasive alien mammals on seabirds colonies in the Ogasawara islands, Japan. CSIAM2008 Abstracts Book: International Symposium on Control Strategy of Invasive Alien Mammals: 71.
- 4) Kawakami, K., Horikoshi, K., Suzuki, H. and Sasaki, T. (2010) The impacts of predation by the invasive black rat *Rattus rattus* on the Bulwer's Petrel *Bulweria bulwerii* in the Bonin Islands, Japan. In: Restoring the Oceanic Island Ecosystem: Impact and Management of Invasive Alien Species in the Bonin Islands (eds. Kawakami, K. and Okochi, I.) 51-56. Springer.

(2) 口頭発表(学会)

- 1) 堀越和夫・鈴木創：野生生物保護学会第12回沖縄大会(2006)
“小笠原諸島東島で発生した外来哺乳類クマネズミ, *Rattus rattus*による小型海鳥アナドリ, *Bulweria bulweri*の捕食被害状況(予報)”(ポスター発表)
- 2) 堀越和夫・鈴木創・佐々木哲朗・鈴木直子：日本生態学会第54回大会(2007)
“小笠原諸島における侵入哺乳動物が海鳥類に与える影響”(ポスター発表)
- 3) 鈴木創・堀越和夫：2007年度日本鳥学会大会(2007)
“小笠原諸島東島におけるセグロミズナギドリの繁殖確認”
- 4) 堀越和夫・鈴木創・佐々木哲朗：第13回日本野生生物保護学会大会(2007)
“小笠原諸島母島南崎の海鳥繁殖地におけるノネコ侵入防止フェンス”

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催

- 1) 公開セミナー「この夏、南崎で起きたこと」(2005年11月21日、小笠原ビジターセンター、参加者40名)
- 2) 日本生態学会第54回大会自由集会「世界自然遺産登録に向けての小笠原研究」(2007年3月19日、愛媛大学、参加者60名)
- 3) 日本生態学会第56回大会自由集会「小笠原の世界遺産申請に向けての外来種研究の現状と研究者の社会的責任」(2009年3月17日、岩手県立大学、参加者約100名)

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 朝日新聞(2006年12月9日夕刊)
- 2) 毎日新聞(2006年12月14日)
- 3) 毎日放送「ちちんぷいぷい」(2007年1月5日)
- 4) しんぶん赤旗(2007年1月21日)
- 5) NHK総合テレビ「スタジオパーク」(2007年2月1日)
- 6) 朝日新聞(2007年2月16日夕刊)
- 7) NHK総合テレビ「週間子供ニュース」(2007年2月10日)
- 8) International Herald Tribune(2007年2月20日)
- 9) FENEK(2007年4月号、三推社)
- 10) 読売新聞(2007年5月19日)
- 11) 読売新聞(2007年9月2日)
- 12) 「野鳥の命とネコの命と.短編!本当にあった感動物語-4」(2009年、高橋うらら著、自然保護環境を考える感動物語.25-50.学習研究社)本研究の成果が本書のモデルとなった。

(6) その他

- 1) 特定非営利活動法人小笠原自然文化研究所：第62回愛鳥週間全国野鳥保護のつどい「野生生物保護功労者環境大臣賞」受賞(2008)