

総 説

群集動態を考慮した生態系管理の課題と展望：奄美大島における 外来種問題の事例

石田 健^{1*}・宮下 直¹・山田 文雄²

¹ 東京大学院農学生命科学研究科・² 森林総合研究所鳥獣生態研究室

Ecosystem management considering community dynamics, an example of Amami-oshima Island.

Ken Ishida, Tadashi Miyashita and Fumio Yamada

¹ Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

² Laboratory of Wildlife, Forest and Forest Product Research Institute

要旨：外来種の駆除が課題となっている生息地の生態系管理の問題点を紹介し、今後の課題を議論した。複数の外来種が生息している場合に、一方の種だけを駆除すると、他の外来種が増加して在来の生物群集に新たな影響を与えることが知られ始めており、その事例とモデルを紹介した。外来種のジャワマングース (*Herpestes javanicus*) の駆除事業が実施されている南西諸島の奄美大島では、別の外来種であるクマネズミ (*Rattus rattus*) が多数生息するようになっており、同様の懸念がある。捕食性外来種の生息密度、増殖率および食性と、被食者の生息密度のほかに、それらの生物群集を支える主要な一次生産であり結実の年変動の大きいスダジイ (*Castanopsis sieboldii* Hatusima ex Yamazaki et Mashiba) の堅果生産量の変動をモニタリングする必要についても紹介した。最後に奄美大島の森林生態系保全における順応的管理と研究者の役割について、議論した。

キーワード：生態系管理、複数の外来種、群集生態学、理論と実践、奄美大島

Abstract: We describe the ecosystem management of habitats containing alien species, and discuss related problems in theory and practice. We introduce two examples and a mathematical model, which show that the control of one alien species can cause an increase in another alien, with consequent severe damage to the native species community. On Amami-oshima Island in southwestern Japan, the Japanese government has been controlling an alien Java mongoose (*Herpestes javanicus*), where a large population of alien black rats (*Rattus rattus*) also inhabits. We fear that if the rat population is released from predation by the Java mongoose, it will then damage native animal populations. We also suggest that the yearly fluctuation in nut production by *Castanopsis sieboldii* Hatusima ex Yamazaki et Mashiba has a big impact on community dynamics, including alien species. We also discuss the practice of adaptive management and the role of scientists in forest-ecosystem conservation on Amami-oshima Island.

Key Words: Ecosystem management, Multiple alien species, Community ecology, Theory and practice, Amami-oshima Island

* 石田 健 Ken Ishida

〒113-8657 東京都文京区弥生1-1-1 東京大学大学院農学生命科学研究科生圏システム学専攻森圏管理学研究室
Graduate School of Agricultural and Life Sciences, University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, Japan
e-mail: ishiken@es.a.u-tokyo.ac.jp

2003年8月4日受付, 2003年10月7日受理

はじめに

生態系管理 (ecosystem management) の概念は、生物多様性 (biodiversity) の概念とともに、生態学者および主要国の中央官庁の行政官や政治家の間で、1990年代から急速に広まった (Christensen *et al.* 1996; 巖佐ほか 2003)。生態系管理の最も重要な目的は、未来の人類世代と公平に自然の資源を分かち合おうという意志のもとで、科学的かつ順応的 (adaptive) な資源管理を行うための手順を明らかにすることである。生態系管理では、生態系の物質循環やエネルギー流といった狭義の生態系プロセスだけでなく、生態系を構成する生物群集の持続的管理も重要視されている。

我が国では、希少種の保全や外来種駆除といった特定の種や種群の管理ないしは駆除を行う必要性は、行政においても広く認識され、実践もされている。しかし、生態系プロセスや生物間相互作用をもとにした生物群集の維持機構に注目した管理の重要性は必ずしも十分に認識されていない。そのため、生態系管理については、いまだ明快な指針や実践例が非常に少ないのが現状である。では、特定種の管理だけでは何が不十分なのだろうか。端的に言うと、特定種のみを視野に入れた管理では、他の生物種や物質循環などの管理が適切に行われるとは限らないからである。これは、自然界の生物はふつう様々な生物や無機的环境と相互作用していることからすれば当然のことと言えよう。楠田・巖佐 (2002) は、「生物的自然を自律的なシステムと見なして研究対象にするとという考え方で生態系という言葉を使う」と述べている。生態系管理においても、こうした視点から、システム内の要素の関係性や動態を記述し、そこから予測可能なモデルを構築することが重要であると思われる。こうした作業を通して具体的な施策とむすびつく指針を提供し、さらに実践からフィードバックされる情報をもとに順応

的管理を行うことが求められているのである。

南西諸島の奄美大島の森林生態系は、今後上記の視点からの生態系管理が求められる典型例ではないかと思われる。この島には多くの固有種が生息し、独特の生態系が育まれてきたが、20世紀後半の開発による森林の縮小・分断化と外来種の侵入とによって、固有生態系の完全な保全はたいへん困難な状況にある (石田ほか 1998)。しかし、奄美大島では固有種の保護に取り組む研究者や活動家が集まりつつあり、環境省による外来種マングース (*Herpestes javanicus*) の駆除事業も実施されている (環境庁ほか 2000; 石井 2003)。このような状況下で、生態系管理の方向性を明らかにし、固有生物群集の最大限の保全や復元を模索する役割を生態学者が演じることが求められている。例えば、マングースの駆除は、古くから生息している外来種であるクマネズミ (*Rattus rattus*) の一時的、部分的な増加をもたらし、間接的に固有の群集に負の効果 (固有種の個体群密度低下) をもたらす恐れがあることが懸念され始めた。また、クマネズミはドングリを好んで食べ、その豊作時に個体数を著しく増大させることが知られている。したがって、奄美大島においては、堅果類の豊凶が森林生態系の一次消費者や雑食者の動態に大きな影響を与えることも考慮する必要がある。

これらのことを考慮した、奄美大島における生態系管理の方向性を、表1にまとめた。まず、マングースを主体にしつつも駆除対象を1種に限定せず、複数の外来種等の個体数調整の必要性についても考慮する。また、従来マングースの個体数や分布だけに留まっていたモニタリング対象を、駆除本来の目的である固有種の個体数や分布域の回復を直接確認することに広げ、駆除効果を評価する。その場合、駆除効果の数値基準は、駆除対象の個体数ではなく、固有種群集の中の指標とする種あるいは機能種の個体数の回復と絶滅リスクの低減である。駆

表1. 標準的な外来種駆除 (個体群管理) と、本論説で提唱する群集動態を考慮した生態系管理の比較。

作業項目・特徴	個体群管理	生態系管理
駆除対象外来種	特定の1種	→ 複数種 (重点種も定める※1)
モニタリング対象	駆除個体数, 外来種生息密度	→ 駆除個体数, 外来種生息密度, 外来種と直接・間接的に関係する種の生息密度, およびそれらの相互作用の強さ (※2)
数値目標	外来種の根絶又は低密度維持	→ 保全対象の群集構造の回復または主要な保全対象個体群の高密度回復 (絶滅リスク回避, 低減)
利用するモデル	外来種の個体群動態モデル	→ 群集の動態モデル

※1, 奄美大島の場合、現時点の重点種はマングース

※2, 「相互作用の強さ」とは、ある種1個体が、他種の個体数変化に及ぼす直接効果をいう。食性などから推定

除効果を評価し、将来の予想と駆除方法の改善のために、モニタリングした結果から得られるパラメータ値を用い（フィードバックし）、群集動態を説明できるモデルをたてる。もちろん、駆除対象種の個体数の変化も、ここで重要なパラメータとなる。

そこで、私たちは、以下の視点からこの課題を原則から議論する。(1) マングースなどの外来種の侵入と増加、拡大防止および個体数抑制を緊急の課題としてとらえ、有効な駆除方針を探る。その場合、(2) 系外種を含む生物群集の構造（種間ネットワーク＝食物網）を明らかにし、特定の系外種の拡大および減少が、どのようなプロセスを経て奄美大島の固有生物相に影響を与えるかを把握する。(3) そのために必要なモニタリング体制を提案し、その必要性和実現可能性を検討する。これらのことによって、理念としての生態系管理と緊急な行政課題としての個体群管理のあり方を突き合わせ、研究者サイドと現場サイドとの融合を図る布石としたい。

複数の外来種存在下での外来種問題

外来種の駆除は、生態系をもとの姿に可能な限り復元することを目的としている。そのため、既述の生態系管理の発想がもっとも必要とされる分野であろう。日本においても、近年外来種駆除の取り組みが重要課題となっており（鷲谷・村上 2003）、外来種を生態系から排除（根絶）するか、少なくとも個体数を抑制して生態系に対するインパクトを大幅に制限する対策がとられる。これは、奄美大島におけるマングース駆除事業の目的でもある。しかし、いちど外来種が入ってしまった生態系においては、系全体の構造が変化しているのが通常であり、対象となる外来種を駆除するだけでもとの生態系が回復するとは限らない。多くの場合には、生息環境（ハビタット）の縮小・分断化や、水質汚染、在来種の群集構造の変化なども同時に起こっている。さらに、近年注目されているのが、複数の重要な機能を持つ外来種が存在する場合に、その一部を駆除することが、単純に元の生態系の回復に結びつかない場合があることである（宮下・野田 2003）。

Zavaleta *et al.* (2001) は、特定の外来種のみを駆除することで、それまで個体数の少なかった別の外来種の増加を招き、結果として2次的な外来種問題を引き起こした事例をまとめている。2次的な外来種問題が生じるメカニズムはいくつか知られているが、特に外来種によるキーストーン捕食（keystone predation）と栄養段階カス

ケード（trophic cascade）が働いている系で顕在化することが多い。キーストーン捕食とは、捕食者による競争的優位種への選択的捕食により競争排除が妨げられ、多様性が維持される間接効果の一種である。一方、栄養段階カスケードは、3段階以上の栄養段階間の種間で生じる間接効果であり、上位捕食者は、下位の栄養段階に対して、1段階ごとに正負の影響を交互に与える。保全生物学の分野では、3栄養段階のカスケードが働いている系で、最上位捕食者が減少または絶滅し、中位種が増加して最下位種が減る現象を、特に mesopredator release と呼んでいる（Soule *et al.* 1988; Crooks & Soule 1999）。

次に、具体例を2つ紹介しよう。マリアナ諸島のサリガン島では、在来植生の破壊を防ぐためにヤギ（*Capra hircus*）とブタ（*Sus scrofa*）を駆除したところ、草食獣の採食圧から解放された外来種でツル植物のフウセンアサガオ（*Operculina ventricosa* (Bert.) Peter）が大増殖して、固有の植生を覆ってしまった（Zavaleta *et al.* 2001）。これはヤギとブタがキーストーン捕食者（植食者）であったためである。ヤギとブタの草食獣の食性をあらかじめきちんと調べ、フウセンアサガオが重要な食物の1つであることを知り、駆除の効果と影響を詳しくモニタリングしていれば、フウセンアサガオの増殖を早い時期に抑制することが課題となり、その対策がとられていたはずである。

Maezono & Miyashita（未発表）は、関東地方の溜池などの止水域に生息するオオクチバス（*Micropterus salmoides*）の除去実験を行うことで、複数の外来種がすでに共存している系における間接効果の存在を明らかにした。バスのみの除去は別の外来種であるアメリカザリガニ（*Procambarus clarkii*）の急増をもたらし、ヒシ（*Trapa japonica* Flerov）のような在来水草やそれを利用するイトトンボ科（*Coenagrionidae* spp.）を著しく減少させたのである（図1）。これは、栄養段階カスケードを生じさせていた最上位捕食者の消失により mesopredator release が生じた例である。

私たちは、これらの先例を教訓として、生態系の基本的なしくみを理解することが重要であると考えている。

群集モデルによる複数の外来種問題の予測

上記の通り、系内に複数の外来種が存在する場合、単一の外来種だけの駆除には潜在的なリスクが伴っている。では、そのリスクをどのように評価すればよいのか。1つの方法は、ある種の除去を段階的に行いながら、他

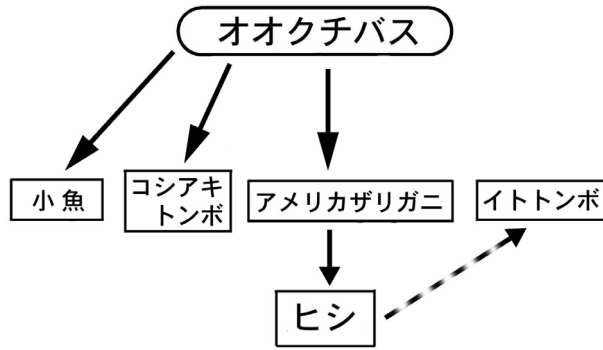


図1. 溜め池の種間相互作用の概要 (Maezono & Miyashita 未発表投稿中)。関東の農業用溜め池には、外来種のオオクチバスとアメリカザリガニがいる。オオクチバスだけを駆除した場合に、それまでオオクチバスに捕食されて低密度だったアメリカザリガニが増加し、在来種の水草であるヒシを食べたために、ヒシが姿を消した。また、それを産卵床としていたイトトンボ類も激減した。小魚やコシアキトンボはオオクチバスの捕食圧から解放されて増加した。実線は捕食の影響を示し、破線は非栄養的影響を示す

の外来種や系全体の挙動を注意深くモニターすることである。しかし、これだけでは手探りで夜道を歩くようなものであり心許ない。少し先が見える照明灯のようなものがあれば、より安心であろう。数理モデルによる予測は、こうした状況下で一定の効果を発揮すると思われる。

こうした問題を扱った数理モデルは既にいくつか提出されている。まず、Courchamp *et al.* (1999) の例を紹介しよう。彼らが扱ったのは、ニュージーランドのスチュアート島に生息する絶滅危惧鳥類であるカカポ (*Strigops habroptilus*) と外来種の関係である。この島には、カカポの捕食者である外来のネコ (*Felis catus*) とネズミ類 (*Rattus norvegicus*, *R. rattus*, *R. exulans*) が生息している。ネコの餌を調べたところ、カカポよりもネズミに対する依存度の方が強かったため、もしネコだけを駆除すると、ネズミが増加してカカポの死亡率がかえって高まる可能性が指摘されていた。そこで、Courchamp *et al.* (1999) は、ロトカ・ボルテラ型の数理モデルを用いて、ネコの駆除がもたらす帰結を探った。まず、外来種のネコとネズミ、およびカカポの個体数がいずれも安定平衡点に収束するパラメータの範囲を求めた。つぎに、この平衡点を基点とし、ネコを一時的に完全に除去した場合に、ネズミとカカポの個体数がどう変化するかを調べた。すると、カカポの内的自然増加率が1.6より小さいときには、カカポは必ず絶滅したが、それ以上になると2種は共存できた。しかし、実際のカカポの内的自然

増加率はこれよりもずっと小さい。したがって、ネコをみの駆除はネズミを増加させてカカポを絶滅させることになる。

Courchamp *et al.* (1999) のモデルには、捕食者の消費量が増えなくても、被食者の密度が増えれば捕食者の成長率が増加するなどの構造上の欠陥がある。しかし、捕食者と被食者の双方の数の反応や機能の反応などの詳細なパラメータが不明な現状では、mesopredator release が起こる可能性を探るための予備的解析として意味があると思われる。

外来種問題を扱ったモデルではないが、非常に多数の種から構成される群集において、特定種を減少させた場合に系全体の生物量がどのように変化するかを予測するモデルがYodzis (1998, 2001) らにより提示されている。この解析の目的は、漁獲対象種の捕食者であるオットセイ (*Arctocephalus pusillus*) を駆除した場合、本当に漁獲量が増えるのかを検討することである。系内には無数の間接効果が存在するため、オットセイの駆除がもたらす純効果を直感では評価できないからである。このモデルによる解析では、群集を構成する多数の種を扱うことができるメリットがある一方、系が平衡状態にあることや、対象種の駆除量が十分に小さいことを仮定せざるをえないという制約がある。そのため、外来種駆除の効果を予測するうえでどの程度有効なのかについては、疑問が残る。なお、このモデルについての日本語の解説としては、松田 (2000) が詳しい。

数理モデルによる外来種駆除効果の予測は、理念としては有力であるが、モデルの構造により予測が大きく異なることもありうる。そのため、何を予測するかをまず明確にし、そのために必要な食物網構造や種間での相互作用の強さを様々な状況証拠から類推する必要がある。また、異なる複数のモデルを構築し、その後得られた実データと突き合わせることでより現実的なモデルを模索する方法も有効であると思われる。

奄美大島の外来種問題

ここまでは、複数の外来種が存在する場合の外来種問題についての実例と、モデルによる駆除の影響予測について述べてきた。この節では、奄美大島で現在起きていると考えられる外来種問題の背景と現状について概説する。

奄美大島は、九州の南方約380 kmにあり、島のすぐ北に動物地理学上の南側の東洋区と北側の旧北区を隔て

る渡瀬線がある。北方系や南方系の生物が同居する移行帯に位置し、捕食性哺乳類を欠いていたこともあり、独自の生物相を進化させて生物多様性のホットスポットの1つにあげられる。ルリカケス (*Garrulus lidthi*)・オオトラツグミ (*Zoothera major*)・アマミヤマシギ (*Scolopax mira*)・オーストンオオアカゲラ (*Dendrocopos leucotos owstoni*)・アマミノクロウサギ (*Pentalagus furnessi*)・ケナガネズミ (*Diplothrix legata*)・オットンガエル (*Babina subaspera*)・イシカワガエル (*Rana ishikawae*)・アマミセイシカ (*Rhododendron amamiense* Ohwi)・アマミエビネ (*Calanthe aristulifera* Reichb. Fil. var. *amamiana* Hatus.)・フジノカンアオイ (*Heterotropa fudsinoi* (T. Ito) F. Maek.)・アマミデンダ (*Polystichum obai* Tagawa)などの奄美大島、奄美諸島や南西諸島の固有種が多数生息する。奄美大島の面積は約709平方キロ、加計呂麻島等近接の島を合わせると約820平方キロある。多くの場所で海岸線まで急斜面がせまっている。最北端の笠利半島は、平坦で畑地などの開発が進んでいる。奄美大島の伐採地を含めた林野面積は、全体の約85%を占め、天然性照葉樹林が52%余りである。天然林の林冠を占める主な樹種は、スダジイ (*Castanopsis sieboldii* (Makino) Hatushima ex Yamazaki et Mashiba)、フカノキ (*Schefflera octophylla* (Lour.) Harms)、エゴノキ (*Styrax japonica* Sieb. et Zucc.)、イジュ (*Schima wallichii* (DC.) Korthals) などである。風当たりの少ない谷間の窪地で木が高く育ち、残り5%未満になったヒカゲヘゴ (*Cyathea lepifera* (J. Sm. ex Hook.) Copel.)等の多く混じる原生林(に近い森)は、そのような場所にある。海岸に面した急斜面や尾根などの風当たりが強く乾燥した場所には、スダジイやシャリンバイ (*Rhaphiolepis indica* (L.) Lindl. ex Ker var. *umbellata* (Thunb. ex Murry) Ohashi)などの低木林がある。標高694.4mの湯湾岳山頂付近は、風は当たるものの霧によって高湿度が保たれており、タイミンタチバナ (*Myrsine seguinii* Lev.)、ミヤマシロバイ (*Symplocos confusa* Brand)、イジュなどの低木からなる雲霧林を形成する。その他の森林・草地は、リュウキュウマツ (*Pinus ryukuensis*)の混じる二次林、リュウキュウマツ、シャリンバイなどの植林地、伐採地、竹林、草地、海岸崖地のソテツ (*Cycas revoluta* Thunb.)群落などからなる。

この奄美大島の名瀬市で、1979年ごろに、毒ヘビのハブ (*Trimeresurus flavoviridis*)や外来種のクマネズミを駆除すると称する民間人によって、約30頭のマン

グースが放獣された。マングースは、農耕地から次第に山岳地に進出し、希少種を含めた在来種を捕食し始めた。そこで、環境省による駆除事業が2000年10月から行われている(山田ほか1999; Yamada 2002; 石井2003, 図2)。

マングースの胃内容と糞の食性分析によると、アマミノクロウサギの生息地では、マングースは昆虫、鳥類を常食し、夏季に両生類や爬虫類を、冬季に哺乳類(主にクマネズミ)を、多く食べていた(Yamada et al. 2000)。冬季から春季には、アマミノクロウサギ、ケナガネズミおよびジネズミ類(*Crocidura* spp.)も食べていた。アマミノクロウサギの産仔数は普通1産1頭で、繁殖期は主に春と秋の2回程度なので、本種個体群が被るマングースによる捕食の影響はかなり大きいと考えられる。

アマミノクロウサギの分布変化について1992 - 1994年(Sugimura et al. 2000)と2000 - 2002年(Sugimura et al. 2003)の調査結果とを比較すると、2002年にはマングース高密度地帯の名瀬市や大和村でアマミノクロウサギの減少・消失が認められた(図2)。アマミヤマシギでは、1992年と2002年の調査結果とを比較すると、マングース高密度地域の名瀬市で2002年にほとんど消失した(石田ほか2003, 図3)。

マングース導入前後における在来種の生息数の変化を具体的に比較できる既存情報は多くないが、この他にもアカヒゲ(*Erithacus komadori*)やカエル類など多くの種で同様にマングースの分布域における生息数の減少が認められている。

一方、自動撮影カメラによる調査によると、山岳森林地帯におけるクマネズミは、2001年5月に比べて2002年5月はやや増加し、さらに2002年8月には広い地域でクマネズミが出現した(山田 未発表)。また、林道における夜間自動車センサスやその後の自動カメラによる調査でも、2002年以降、山地におけるクマネズミ生息数の増加と定着が確認されている(石田ほか2003; 亘ほか未発表; 前園未発表, 図4)。クマネズミは登攀能力に優れた雑食者なので、樹上で生活する多くの在来種が捕食の危険にさらされるものと懸念される。

奄美大島の森林には、外来種の捕食者としてマングースやクマネズミの他に、ノネコやノイヌも存在する。また、本来は密度の低い捕食者であり森林内での活動量は少なかった在来種のハシブトガラス(*Corvus corone*)が、山間のゴミ捨て場に集まって高密度に生息するようになり、林道や伐採地の拡大による森林の分断化の結果として残された森林内へ容易に侵入するようになっている

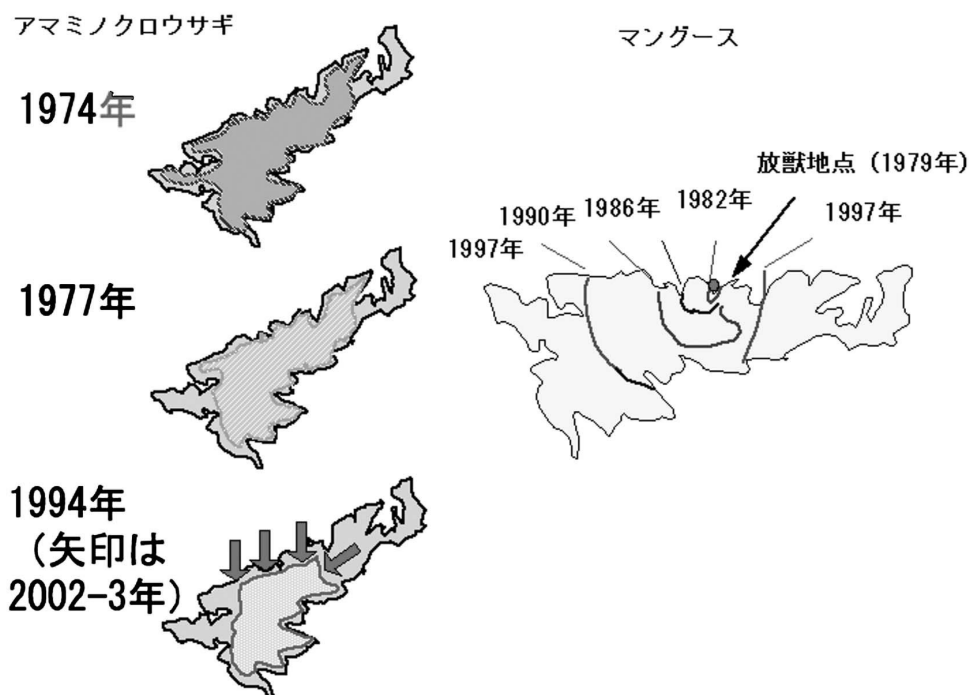


図2. 奄美大島におけるマングースの分布の変遷（環境省ほか 2000 から改変）および、アマミノクロウサギの糞塊調査による生息密度と分布の変遷（Sugimura *et al.* 2000, 2003）。1970 年代には、林内のライントランセクトを徒歩でセンサスして視認された糞塊密度は全分布域で均等に低下し、分布域に変化はなくその原因は森林伐採だと考えられた（左上と中）。1990 年代には、一定の密度で糞塊の確認できる分布範囲が縮小し（下）、マングースが長期に高密度状態であった地域（下矢印部分、右）では、アマミノクロウサギの個体数減少が著しく起きた。

（高ほか 2002）。これらのなかで、マングースとクマネズミは、生息個体数がとくに多く、分布も一様に広がっているため、在来の生物群集、特に被食される動物群集への影響が大きいと推測される。現在行われているマングースの駆除作業の効果について、マングースの生息密度の変化と同時に、クマネズミの生息密度と食性、固有種の被食者である鳥類や小型哺乳類、両生類などの生息密度と合わせてモニタリングすることが必要だろう。

奄美大島における群集生態学研究

私たちは、天然林の縮小と分断化、さらに近年の外来種捕食者による固有種の減少が著しい奄美大島の森林において、実践的な生態系管理のための基礎研究と、その研究成果にもとづいた保全政策改善への提案までを実行することをめざす研究にとりかかっている。奄美大島における外来種マングースの影響は、今まで間接的に評価されてきており（石井 2003; 環境庁ほか 2000）、全体の概要としては、ある程度正しい評価と判断が行われてき

たとえられる。しかし、既に何度も述べたとおり、複数の外来種がいる状況下では、群集レベルでの動態を考慮した生態系管理が必要である。この研究では、種間相互作用の把握を機軸とした基礎研究を継続的に実施し、生態系管理の方向性を明らかにして、固有生物群集の保存や回復を最大限に実現する管理手法を模索する。そのために、食物網構造の解明とその動態予測を中心とした群集生態学的な観点から解析をすすめる。奄美大島の生態系においては、スダジイ堅果のマスティングという生産性の大変動があり、それが食物網を通して群集のパターンにどのような波及効果をもたらすかを、明らかにする必要もある。この課題は、基礎的にも興味深い。そのために、(1) 主要な捕食者（マングース、クマネズミ、できればハブ）の食性とその変化のモニタリングと、(2) 捕食者と被食者（アカヒゲ、イシカワガエル、アマミノクロウサギ、地表性節足動物）の個体数、およびスダジイの堅果生産量のモニタリング、および(3)それらをもとにした群集モデルの構築を行う予定である。

日本生態学会第 50 回記念大会での企画シンポジウム

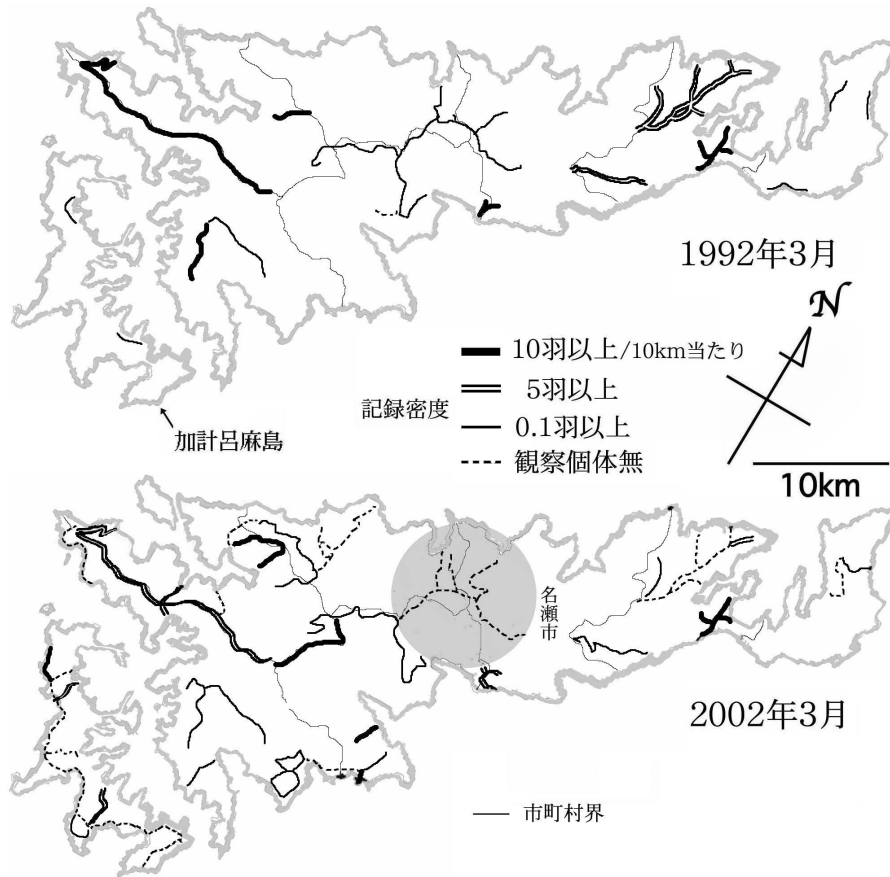


図3. アマミヤマシギの生息密度と分布域の変化 (石田ほか 2003). 1992年3月のつがい・なわばり形成期に林道上で夜間自動車センサスによって視認された密度は、マングースがすでに定着していた名瀬市近郊において密度が著しく低かった。2002年3月には、同地域ではまったく観察されなくなり (中央円形影部分)、低密度地域が広がった傾向が示唆された。特に、龍郷半島における10年間の密度低下が著しかった。この結果は、マングースの生息密度増加とアマミヤマシギの生息密度低下は関連性があり、かつ複数の環境要因がアマミヤマシギの密度低下を引き起こしていることを示唆する。

において、宮下・前園・深見は、Courchamp *et al.* (1999) のモデルをもとにした奄美大島の森林で想定される単純な群集モデルについて予備的な解析を試みた (図5)。ここで、奄美大島の森林における優占種のスダジイの堅果 (ドングリ) の結実量が年ごとに大きく変動することが、ドングリを食べるクマネズミや被食者の動物群集の個体群動態を特徴づける重要な機能をもつと仮定し、一次生産量の資源が変動する条件の組み込みも試みた。また、外来種としては、特に個体数の多いマングースとクマネズミを対象とし、被食者は鳥類・両生爬虫類等を1つの機能群にまとめ、基底種は堅果類とそれに依存する大型節足動物を1つにまとめた。解析の結果、現段階で推定したパラメータでは、マングース駆除にともなうクマネズミの増加とそれによる被食者の著しい減少

(mesopredator release) は生じそうもないが、パラメータ値の推定誤差や環境変動などを考慮すると、全く安全とも言えず、注意深く探求する必要があることが示唆された。今後は、より正確な食物網構造や、相互作用強度、および現実的な相互作用プロセスをもとしたモデルを構築する必要がある。ただし、スダジイの結実変動は、長期間の観測を必要とする性質のものである。群集動態への結実変動の影響の大きさを確認し、パラメータとモデルを精密化する作業は、長期的な研究課題となるだろう。

一方、私たちはマングースの影響を直接評価するための野外操作実験も予定している。ここでは、数haほどのマングースの密度低下処理区とコントロール区の2区域を設定して、生物群集の実際の反応を明らかにする。空間スケールの制約により、ここでは移動性の大きな鳥

■ : クマネズミ 観察地点

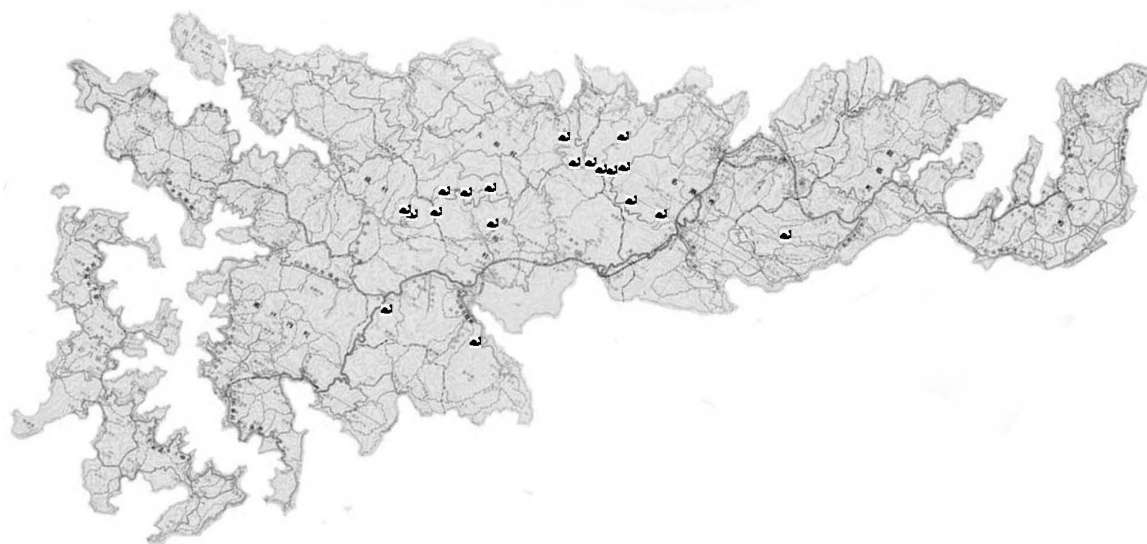


図4. アマミヤマシギのセンサス時に観察されたクマネズミの分布（石田ほか 2003）。2003年3月の夜間自動車センサスによる観察地点は、マングースの分布域と符合した。図中のネズミ記号1個が1個体の観察地点を表している。過去のまとまった記録は残されていないが、1990年代のセンサスおよび夜間観察時には、クマネズミがほとんど観察されていなかった。

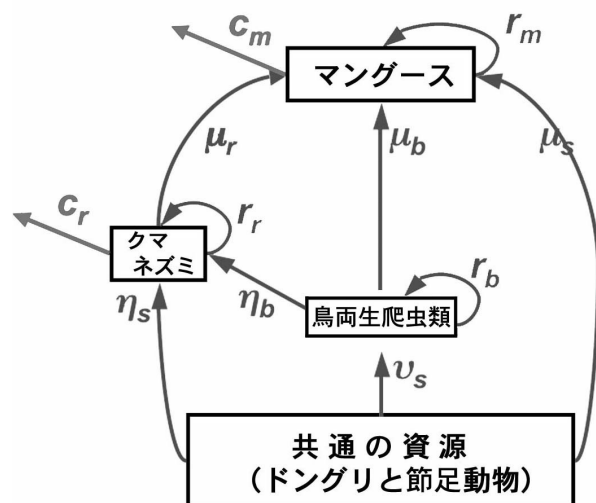


図5. 奄美大島において著者らが最初に想定した、生態系管理のための種間相互作用。マングースは、クマネズミおよび鳥両生爬虫類と大型節足動物の3つの機能群を捕食する。クマネズミは、鳥両生爬虫類と主にスダジイの堅果であるドングリを主に食べる。クマネズミおよび鳥両生爬虫類の量は、年変動の大きいドングリと強い相関がある。図1のオオクチバス=マングース、同じくザリガニ=クマネズミ、ヒシ=鳥両生爬虫類に相当する「間接効果」の存在が予想される。ここでは新たにドングリを要素を加えて、1段階の複雑化になっている。図中の記号は、モデル化する場合のパラメータで、 C は駆除効果、 r は内的自然増加率、 μ , v , η はそれぞれマングース、クマネズミ、鳥両生爬虫類の捕食率を表している。

類などへの正確な影響評価は困難であろうが、両生・爬虫類や地表性節足動物（昆虫、クモ、土壌動物）などへの影響は明らかになるであろう。

さらに、もう1つ重要な課題として、今後いっそうのマングースの密度低下や生息範囲の削減、および根絶の可能性を探るには、奄美大島島内を1 km四方程度の区画に区切ってマングースの個体群動態や分散パターンを解析する必要がある。それと同時に、生態系の保全と復元を目的とするには、駆除によるマングースの個体数密度低下の程度と併せて、マングースに捕食されて個体密度が低下したと考えられているアマミノクロウサギやアマミヤマシギ、アカヒゲなどの生息密度の回復が実際に起こっているかといった、直接の証拠を得ることが求められている。こうした知見は、群集モデルの妥当性の検証にも大きな役割を果たすに違いない。

以上の項目が明らかになれば、マングース駆除にともなうクマネズミを介した固有種に対するカスケード（間接）効果の影響の大きさが明らかにでき、クマネズミの個体数管理の必要性について、評価を下せると期待される。また、マングースの封じ込め、根絶にむけての作業過程の基本的な要点、駆除努力を空間的に最適に配分する方法などについても、重要な助言ができると期待される。

奄美大島における順応的管理の可能性

この課題の紹介と問題提起をするために、日本生態学会第50回記念大会（2003年3月）において私たちが開催したシンポジウムの最後のコメンテータとして、松田裕之さんは、順応的な管理において、施策が実施される事前に研究者・行政担当者・地域住民など関係する全員が参加して十分な議論を行うと同時に、研究者は提言とそれに従って計画が実施された場合に予想される結果を、明文化して具体的かつ科学的に事前に提出しておくことの重要性を強調された。そのことによって、研究者の責任が明確になり、また予想からの結果のずれを修正して、その後の計画を実施することが可能になる。奄美大島での研究においても、私たちは、松田さんが指摘された研究者の責任を果たすべく努力する。シミュレーションの精度と、モデルから演繹される理論の帰結に整合性を持たせ、現場を担当する人たちにも納得してもらえる予想を明文化することを数年内にめざしたい。また、複数の性質の異なる数理モデルをたて、適合性の比較を行う必要性についても述べられた。松田（1997）は「食物網モデルから、観察されていない種間相互作用を発見する」ことを望んでいると書いている（104ページ）。そのようなことを、私たちも実現できれば幸いである。

結語と謝辞

生態学理論と環境保全を現場で実践することの両方に強い関心と、できれば両方のことに造詣の深い研究者と保全活動家および行政官を増やすことが肝心である。これは、難しいことで前途を楽観はできないであろう。しかし、実現できないと悲観するには及ばないことが、10年以上に亘って奄美大島に通い続けている石田や山田には実感できる。読者諸兄の、辛抱強い関心の維持と、厳しいご批判をいただければ幸いである。

奄美大島における調査、研究、保全活動ならびに、シンポジウムの準備、本稿の作成にあたって、実に多くの方々のお世話になっている。その全部のお名前をあげることができない不義はお許しいただきたい。奄美大島の調査や保全事業の全般にわたって阿部慎太郎さん、マングース駆除事業に関連する情報交換と議論で石井信夫さんほか、主に鳥類の調査について高美喜男さんほか、クロウサギの生息状況調査や社会環境については杉村乾さんと、いっしょにことを進めている。Mesopredator release のモデルづくりと検討には深見理さんや難波利

幸さん、溜め池等の研究では前園泰徳さん、沖縄のマングース駆除やクマネズミの情報に関して小倉剛さんに、それぞれご助力いただいた。松田裕之さんには、生態系管理について多くの情報を負い、原稿の作成にあたって励ましをいただいた。また、お二人の匿名のレフェリーの方たちにも懇切な指摘をしていただいた。すべての方々に、感謝を申し上げます。

引用文献

- Christensen N. L., Bartuska A. M., Brown J. H., Carpenter S., D'Antonio C., Francis R., Franklin J. F., MacMahon J. A., Noss R. F., Parsons D. J., Peterson C. H., Turner M. G., & Woodmansee R. G. (1996) The report of the Ecological Society of America Committee on the Scientific Basis for Ecosystem Management. *Ecological Applications* **6**: 665-691.
- Courchamp F., Langlais M. & Sugihara G. (1999) Cats protecting birds: modeling the mesopredator release effect. *Journal of Animal Ecology* **68**: 282-292.
- Crooks K. R. & Soule M. E. (1999) Mesopredator release and avifaunal extinctions in a fragmented system. *Nature* **400**: 563-566.
- 石田健・杉村乾・山田文雄 (1998) 奄美大島の自然とその保全. 生物科学 **50**(1): 55-64.
- 石田健・高美喜男・斎藤武馬・宇佐見依里 (2003) アマミヤマンギ(*Scolopax mira*)の相対生息密度の推移. *Strix* **21**: 99-109.
- 石井信夫 (2003) 奄美大島のマングース駆除事業 -とくに生息数推定と駆除の効果について -. 保全生態学研究 **8**: 73-82.
- 巖佐庸・松本忠夫・菊沢喜八郎(編) (2003) 生態学事典. 共立出版.
- 環境省・鹿児島県・自然環境研究センター (2000) 平成11年度島しょ地域の移入種駆除・制御モデル事業(奄美大島: マングース) 調査報告書.
- 楠田哲也・巖佐庸 (2002) 生態系とシミュレーション. 朝倉書店.
- 松田裕之(1997) 利己的な遺伝子が織り成す食物連鎖網. 「数理生態学」巖佐庸(編), pp. 95-105. 共立出版.
- 松田裕之 (2000) 環境生態学序説. 共立出版.
- 宮下直・野田隆史 (2003) 群集生態学. 東京大学出版会.
- Soule M. E., Bolger D. T., Alberts A. C., Wright J., Soric M., & Hill S. (1988) Reconstructed dynamics of rapid extinctions of chaparral-requiring birds in urban habitat islands. *Conservation Biology* **2**: 75-92.
- Sugimura K., Sato S., Yamada F., Abe S., Hirakawa H. & Handa Y. (2000) Distribution and abundance of the Amami rabbit *Pentalagus furnessi* in the Amami and Tokuno Islands, Japan. *Oryx*, **34**(3): 198-206.
- Sugimura K., Yamada F. & Miyamoto A. (2003) Population

- trend, habitat change and conservation of the unique wildlife species on the Amami Island, Japan. *Groval Environmental Research* **7**: 79-89.
- 高美喜男・藤本勝典・川口和範・川口秀美・石田健 (2002) オオトラツグミ *Zoothera major* の初めて観察された巣立ちまでの営巣経過2例. *Strix* **20**: 71-77.
- 鷺谷いづみ・村上興正 (2003) 外来種ハンドブック, 地人館書店.
- Yamada F. (2002) Impacts and control of introduced small Indian mongoose on Amami Island, Japan. In: *Turning The Tide: The Eradication of Invasive Species*, (eds. C. R. Veitch, M. N. Clout), pp. 299-302. Invasive Species Specialist Group of the The World Conservation Union (IUCN).
- 山田文雄・杉村乾・阿部慎太郎 (1999) 奄美大島における移入マングース対策の現状と問題点. 関西自然保護機構会報 **21**: 31-41.
- Yamada F., Sugimura K., Abe S. & Handa Y. (2000) Present status and conservation of the endangered Amami rabbit *Pentalagus furnessi*. *Tropics*, **10**(1): 87-92.
- Yodzis, P. (1998) Local trophodynamics and the interaction of marine mammals and fisheries in the Benguela ecosystem. *Journal of Animal Ecology* **67**: 635-658.
- Yodzis, P. (2001) Must top predators be culled for the sake of fisheries? *Trends in Ecology and Evolution* **16**: 78-84.
- Zavaleta E. S., Hobbs R. J. & Mooney H. A. (2001) Viewing invasive species removal in a whole-ecosystem context. *Trends in Ecology and Evolution* **16**: 454-459.



保育用巣穴にきたアマミノクロウサギ。マングースはこのような巣穴にも侵入して影響を与えている。(撮影：山田文雄)