

Conservation ecology of amphibians and reptiles, in relation to population dynamics: Case studies on the invasive alien species *Anolis carolinensis* and the native species *Rhacophorus arboreus*

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/40528

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



個体群の動態からみた爬虫類・両生類の保全生態学的研究
—侵略的外来種グリーンアノールと保全対象種モリアオガエルの事例—

Conservation ecology of amphibians and reptiles, in relation to population dynamics:
Case studies on the green anole *Anolis carolinensis* and the treefrog *Rhacophorus arboreus*

戸田光彦

平成 26 年 7 月 提出

博士論文

個体群の動態からみた爬虫類・両生類の保全生態学的研究
—侵略的外来種グリーンアノールと保全対象種モリアオガエルの事例—

金沢大学大学院自然科学研究科

戸田光彦

目次

図表一覧	3
摘要	5
緒言	9
(1) 爬虫類・両生類の保全と防除	9
(2) 本研究の目的	11
第1部：小笠原諸島におけるグリーンアノールの生態と防除に関する研究	
1. 1. はじめに	13
1. 2. 材料と方法	13
1. 2. 1. 材料	13
1. 2. 2. 調査地の概要	16
1. 2. 3. 調査方法	16
1. 3. 結果	20
1. 3. 1. 野外における生息状況	20
1. 3. 2. メスの繁殖力	21
1. 3. 3. 個体数の変動と防除のシナリオ	22
1. 4. 考察	24
1. 4. 1. 小笠原におけるグリーンアノール個体群の現状	24
1. 4. 2. 効率的な防除に向けて	27
第2部：金沢城におけるモリアオガエルの保全生態学的研究	
2. 1. はじめに	32

2. 2. 材料と方法	32
2. 2. 1. 材料	32
2. 2. 2. 調査地の概要	34
2. 2. 3. 調査方法	35
2. 3. 結果	39
2. 3. 1. 繁殖場所の分布状況	39
2. 3. 2. 繁殖と成熟、生存率	42
2. 3. 3. 個体数の変動と環境の変化	45
2. 3. 4. 食性	47
2. 4. 考察	50
2. 4. 1. 金沢城におけるモリアオガエルの個体数の変動	50
2. 4. 2. 食性	53
2. 4. 3. モリアオガエルの保全に向けて	57
総合考察	59
(1) グリーンアノール小笠原個体群とモリアオガエル金沢城個体群の比較	59
(2) 個体群特性の把握と生物多様性保全の接点	60
(3) 個体群管理のための「応用爬虫両生類学」に向けて	61
(4) 本研究の意義	62
謝辞	66
引用文献	68

図表一覧

- 図 1-1 グリーンアノールの成体
- 図 1-2 グリーンアノール調査地の景観
- 図 1-3 グリーンアノール調査地の地図
- 図 1-4 グリーンアノールの飼育施設
- 図 1-5 父島・清瀬におけるグリーンアノールの推定密度の経年変化
- 図 1-6 秋から翌年初夏にかけての頭胴長のヒストグラム
- 図 1-7 野外における標識個体の成長例
- 図 1-8 飼育下におけるメス 1 個体当たりの産卵頻度の季節的推移
- 図 1-9 基質ごとのグリーンアノールの産卵数
- 図 1-10 毎年の捕獲率が異なる場合のアノール個体群動態の予測
- 図 1-11 異なる初期個体数と捕獲率を設定した場合の、根絶達成までの予測期間
- 図 1-12 小笠原高等学校下における標識個体の捕獲状況
- 図 2-1 モリアオガエルの抱接つがい
- 図 2-2 モリアオガエルの泡巣
- 図 2-3 調査地（金沢城）の景観
- 図 2-4 金沢城におけるモリアオガエルの繁殖
- 図 2-5 トラップを用いて確認された日ごとの変態上陸数
- 図 2-6 集団標識された個体の再捕年月日と頭胴長
- 図 2-7 O池で集団標識された個体の繁殖場所
- 図 2-8 6月下旬の泡巣数と当該繁殖期を通じた泡巣の総数との関係

図 2-9 各々の繁殖場所で確認された泡巣数の経年変化

図 2-10 モリアオガエルの頭胴長と口幅の関係

図 2-11 触診によって胃内容物が確認された個体の割合

図 2-12 強制嘔吐法で得られた餌動物の種類別構成比

図 2-13 モリアオガエルの頭胴長と餌動物の体幅の関係

図 I グリーンアノールを中心にみた小笠原の食物連鎖模式図

図 II モリアオガエルを中心にみた金沢城の食物連鎖模式図

表 1-1 グリーンアノールの年齢・性別ごとの標識個体数

表 1-2 グリーンアノールの年齢・性別ごとの推定個体数

表 1-3 グリーンアノールの年齢・性別ごとの頭胴長

表 1-4 父島・清瀬におけるグリーンアノールの生命表

表 2-1 1984 年から 2012 年にかけて確認された金沢城におけるモリアオガエルの繁殖場所

表 2-2 H 池における各年のメスの標識率

表 2-3 H 池における各年のオスの標識個体数及び経年再捕個体数

表 2-4 H 池における成体の性比

表 2-5 泡巣数の推定誤差の大きさ

表 2-6 強制嘔吐法で得られたモリアオガエルの餌動物の一覧

表 2-7 金沢城におけるモリアオガエルの繁殖場所の年表

表 I グリーンアノール小笠原個体群とモリアオガエル金沢城個体群の比較

摘要

外来種の防除と希少種の保全のためには、それぞれ対象とする個体群の年齢構造や動態を明らかにした上で、より効率的に個体群を縮小または拡大させるための方策を講じる必要がある。本研究は、爬虫類・両生類を対象として、生物多様性保全の観点から、防除対象とすべき侵略的外来種（小笠原諸島のグリーンアノール）及び保全対象とすべき在来種（金沢城のモリアオガエル）の生息状況を把握して、個体群の保安全管理に資する資料を整備し、さらに管理の方向性について提言することを目的とした。

小笠原諸島における侵略的外来種グリーンアノールは防除の対象となっている。野外調査に基づき推定された父島北部における本種の生息密度は 500~800 個体/ha で、現在、個体数が急増している状況ではないことが判明した。飼育実験から、産卵期は 5 月下旬から 10 月に及び、1 個体のメスは 1 年間に平均 13.7 個の卵を産出することが判明した。本種の効率的な防除のためには春期にメスを排除する必要があること、3 年以内の根絶を果たすためには毎年 90% 以上のメスを取り除く必要があること、地域的な根絶のためにはフェンス等での遮断が必要になることが結論された。これらの成果は、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」などに活用された。

金沢城のモリアオガエル個体群は「自然共生のシンボル」とされ、保全の対象とすべき個体群である。野外調査により、本種の成長と成熟期間、食性等を明らかにした。また泡巣数を指標として、本種の個体数の変化を 1984 年から 29 年間にわたり継続観測した。環境の変化に伴い、本種は 1995 年から 2002 年にかけて大きく減少したが、再び増加して 2008 年以降は安定的に生息していた。本種の効率的な保全のためには、複数の繁殖場所を確保すること、侵略的外来種の存在しない止水域

を保つこと、森林の連続性を維持することが重要であると結論した。

上記2つのケーススタディにより、爬虫類・両生類においても個体群の管理が重要であり、そのための理論的な基盤を与え、よりよい管理の方向を検討模索することが必要であると結論された。

そのための科学的な枠組として、両生類・爬虫類のワイルドライフ・マネジメントを担う「応用爬虫両生類学 applied herpetology」の必要性を指摘した。

【キーワード】

生物多様性保全、個体群管理、個体群動態、生活史、侵略的外来種

【英文要約】

<Abstract>

To control alien species and conserve endangered species we need measures to efficiently reduce or increase a target population after elucidating its age structure and dynamics. Here, I examined reptiles and amphibians from the perspective of biodiversity conservation, with the aim of (a) determining the status of invasive alien species populations that should be controlled (e.g. the green anoles on the Ogasawara Islands) and native species populations that should be protected (e.g. the treefrog *Rhacophorus arboreus* at Kanazawa Castle); (b) consolidating the information required to help manage populations; and (c) suggesting some directions for this management.

The green anole *Anolis carolinensis* on the Ogasawara Islands is an invasive alien species that

needs to be controlled. From data gathered from field surveys, the population density of this species in the northern part of Chichijima Island has been estimated to be 500 to 800 individuals/ha, although the current population is not to be abruptly increasing. Captive experiments revealed that the species' breeding season is from late May to October, and one female lays an average of 13.7 eggs each year. The results of these experiments indicated that elimination of females in spring was crucial to control of the species: removal of more than 90% of the female population each year would be essential to achieve eradication within 3 years, and exclusion by using mesh fencing would be needed to locally eradicate the species. These results were used in the Ogasawara Nature Restoration Program and Ogasawara National Park Designated Alien Species Control Program, which were implemented by the Japanese Ministry of the Environment.

The treefrog *Rhacophorus arboreus* at Kanazawa Castle is an iconic species that needs to be conserved for preservation of the local natural habitat. Field research has revealed the growth, maturity, and feeding habits of this species. The population dynamics of *Rhacophorus arboreus* were monitored from 1984 to 2013 by using its foam nests as an index. Although numbers of *Rhacophorus arboreus* declined rapidly from 1995 to 2002 in association with local habitat changes, the population increased thereafter and has been stable since 2008. These results showed that the configuration of multiple breeding sites, retention of static water areas free from invasive alien species, and maintenance of forest continuity were crucial for effective conservation of the species.

From these two case studies, I concluded that population management is important in reptiles and amphibians, and that for this management we need a theoretical foundation and exploration of suitable management directions. In light of these results, I argue here for the importance of applied herpetology as a scientific framework for amphibian and reptile wildlife management.

<Key words>

Biodiversity conservation; Invasive alien species; Life history; Population dynamics; Population management

緒言

(1) 爬虫類・両生類の保全と防除

①希少種保全、外来種防除の必要性

生物多様性の保全は現代社会において重要な課題である。2012年に日本政府が公表した生物多様性国家戦略 2012-2020 には、生物多様性保全を実現するために 13 の目標（国別目標）が設定されており、その中には生物種の絶滅を回避すること、侵略的な外来種を管理することが含まれている（環境省，2012；http://www.biodic.go.jp/biodiversity/about/initiatives/files/2012-2020/01_honbun.pdf；2014年5月31日確認）。

世界最大の自然保護団体である国際自然保護連合（IUCN）が絶滅のおそれのある種をまとめて公表しているレッドデータブックによれば、世界の哺乳類の 25%、両生類の 41%に絶滅のおそれがあると言われている（IUCN，2013；http://cmsdocs.s3.amazonaws.com/summarystats/2013_2_RL_Stats_Table1.pdf；2014年5月31日確認）。また、環境省が公表した第4次レッドリスト（<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=15619>；2014年5月31日確認）によれば、日本の哺乳類の 21%、両生類の 33%が絶滅危惧種となっている。生物種の絶滅を防ぐことは、生物多様性を保全する上で最も基本的かつ重要な事項と考えられ、これらの絶滅危惧種については、絶滅を回避させるための方策を講ずる必要がある。

多くの生物種を絶滅に追いやっている要因の1つとして、アライグマ *Procyon lotor* やオオクチバス *Micropterus salmoides* といった外来種の蔓延が挙げられる。外来種は人為的に本来の分布域外に持ち出された生物を指し、捕食や競合、交雑といった作用を通して在来種に被害をもたらしている。これらの侵略的な外来種の防除を図り、被害を緩和することが求められる。

②生態系における爬虫類・両生類

日本における現生の爬虫類はカメ目と有鱗目（トカゲ及びヘビ）を含む。皮膚は角質の鱗に覆われて乾き、乾燥地から森林、水辺、海洋などのさまざまな環境に適応した種がある。卵殻のある卵を陸上に産出し、孵化した幼体は成体と同じような生活をする。両生類と異なり幼生の時期はなく、生活史において変態はしない（疋田, 2002）。日本では、外来種を含めて 107 種が記録されている（日本爬虫両棲類学会ホームページ・<http://zoo.zool.kyoto-u.ac.jp/herp/wamei.html> ; 2014 年 5 月 31 日確認）。

日本の現生両生類は有尾目（イモリ、サンショウウオ）と無尾目（カエル）を含む。皮膚は湿っており、鱗がなく、主に陸水域の水辺で生活する。体外受精で卵殻のない卵を水中に産出し、孵化した幼生（オタマジャクシ）は水中にすみ鰓を使って呼吸する。成長した幼生は変態して幼体となり、水中生活から陸上生活へ、鰓呼吸から肺呼吸へと切り替わる（松井, 1996）。日本では外来種を含めて 73 種が記録されている（日本爬虫両棲類学会ホームページ・<http://zoo.zool.kyoto-u.ac.jp/herp/wamei.html> ; 2014 年 5 月 31 日確認）。

多くのカエル類や小型トカゲ類は昆虫等を食べる捕食者であり、食肉哺乳類、猛禽類、ヘビ類や大型魚類等に捕食される。食物連鎖の中では中位の捕食者であり、捕食によって昆虫等の数を制御するとともに、より上位の捕食者の食物資源として機能している。

③爬虫類・両生類の個体群管理の必要性

爬虫類・両生類の一部の種は食用、ペット用として利用される一方、毒ヘビなど人に被害をもたらすものもある。しかし、哺乳類や鳥類、魚類という他の脊椎動物と比較すると、爬虫類・両生類は、人にもたらす便益においても損害においても、それほど重要な存在ではない（戸田・吉田, 2005）。

ウシ *Bos taurus* やニワトリ *Gallus gallus domesticus* のように食料として重要な爬虫類・両生類はいないし、シカ *Cervus nippon* やイノシシ *Sus scrofa* のように農林業に重大な損害をもたらす種もない。こういう状況の中で、爬虫類・両生類が人間社会と関わりを持つのは、「重要な種の保全」及び「侵略的な外来種の防除」という側面に限定される。

天然記念物に指定された種、レッドデータブック掲載種などを保全する取組と、定着して生態系に被害をもたらす侵略的な外来種を防除する取組は、生物多様性の保全という目的のもと、対象種の個体群の管理を図るための営みである。そして、それらの取組を推進するためには、保全もしくは防除の対象とする個体群に関する、科学的な情報の集積・整備が求められる。

(2) 本研究の目的

本研究の目的は防除もしくは保全の必要性が高い爬虫類・両生類の個体群を対象として、生息密度や齢構成、寿命、個体群動態、食性といった生態学的な特性を把握し、対象個体群の管理（保全、防除）に必要な資料を提示して、それらに基づき、科学的な観点から個体群管理の基本的な方向性を提言し、もって生物多様性の維持向上に貢献することである。

有害な外来種の防除と重要な在来種の保全は、実施する行為において正反対のように思われる。しかし先述の通り、対象個体群の実態と特性を把握した上で、目標とする生息密度に誘導するための管理（防除または保全）を進めるという点では共通している。外来種の防除に際し、分布域、生息密度、生息環境選択性の情報は、防除を実施する範囲や捕獲地点の選択に役立つ。活動期や産卵期の情報は、防除を行う季節を決める上で重要な情報である。さらに、メスの産卵数、生存率、寿命などの情報は、個体数の推定モデル等を通して、長期的な防除計画の策定に必要な情報となる。

一方、保全対象種については、分布域と生息密度、齢構成、繁殖状況等を把握して、もしも危機的な状況に陥っている場合には、増加させるための対策を講ずる必要がある。環境選択性、食性や

死亡要因（天敵など）、個体群動態などを踏まえて、適切な生息環境の維持・整備の方法を提示することが求められる。

次節から、外来種グリーンアノールの防除（第1部）と在来種モリアオガエルの保全（第2部）に関するケーススタディを示す。両研究の対象種や調査地は大きく異なるものの、個体群管理に繋がる考え方や手法においては、多くの共通点が認められる。両者を踏まえた今後の個体群管理の方向性については、総合考察の中で言及する。

第 1 部：小笠原諸島におけるグリーンアノールの生態と防除に関する研究

1. 1. はじめに

海洋島である小笠原諸島には、もともと捕食者の少ない独自の生物群集が形成されていた。小笠原には多くの固有昆虫が生息しているが、それらは強力な捕食者が存在しない生態系において進化を遂げてきた。ところが近年になって、北米原産のトカゲの一種であるグリーンアノールが持ち込まれ、その捕食のために小笠原の昆虫群集は大きく衰退したことが指摘されている。小笠原諸島の固有昆虫の中には絶滅のおそれの高い種も多く（環境省自然環境局野生生物課編, 2006）、それらの保全が急務とされている。

移入個体群の防除計画を立案するためには、対象種の生物学的特性の把握が不可欠であるが、小笠原のグリーンアノールについては生物学的知見の集積が不十分であった。特に、メスが一度に 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 (Losos, 2009) という習性から、メスの繁殖力（年間当たりの産卵数）を把握するのは容易ではない。さらに外来のトカゲ類を対象とした防除事業は世界的にもほとんど例がなく、効率的な捕獲手法についても新たに開発する必要があった。

本研究の第 1 部の目的は、防除の必要性が高いグリーンアノールの小笠原個体群を対象として、生息密度や齢構成、繁殖力、寿命といった生態学的な特性を把握し、科学的な観点から個体群管理の基本的な方向性を提示し、環境省が外来種対策として実施している本種の防除事業の方向性について提案することである。

1. 2. 材料と方法

1. 2. 1. 材料

本研究ではグリーンアノール *Anolis carolinensis* を材料とした (図 1-1)。本種はイグアナ科

アノール属の樹上性のトカゲで、北米南東部（ノースカロライナからフロリダ、西はテキサスまでの地域）に自然分布し、太平洋のいくつかの島嶼（ハワイ諸島のカウアイ、オアフ、モロカイ、マウイ、ハワイの各島と、グアム、サイパン、テニアン、ロタ、ヤップ、パラオ、及び沖縄島、小笠原諸島の父島、母島）に持ち込まれて定着している（Toda et al., 2010）。グリーンアノールは本属としては中型で、四肢はよく発達し、樹冠を主たる生息環境としている。アノール属の他の種がほとんどメキシコ・キューバ以南に分布するのに対し、本種は他の種とほとんど分布が重ならず、自然分布域を温帯域に広げた唯一の種である。体色は緑色であるが、数十秒程度の短い時間で緑褐色や黒褐色に変化することができる。

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（Toda et al., 2010）。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（楨原ほか, 2004; 荻部, 2005; Yoshimura et al., 2005）。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（環境省自然環境局野生生物課, 2011）。こうした生態系影響の大きさにより、グリーンアノールは 2005 年に外来生物法によって特定外来生物に指定された。

アノール属 *Anolis* は約 400 種を含む爬虫類中最大の属であり（Losos, 2009）、北米南東部から中米全域、南米北部にかけて広く分布する。専ら日中に活動する小型から中型の樹上性のトカゲで、ヤモリ類と同様、四肢の裏に指下板と呼ばれるひだ状の構造を具え、垂直な平滑面をすばやく移動できる（Savage, 2002; Lovern et al., 2004）。ヤモリ類の指下板は分子間引力の働きによって貼り付くことが実証されており（Autumn et al., 2002）、アノール類も同じしくみによって貼り付くものと思われる。おもに熱帯雨林の樹上に生息するアノール属のトカゲは、発達した指下板により、平滑な葉上での移動が可能になっていると考えられる。磨いた板ガラスの表面でもすばやく駆け登

るこの能力のために、アノール類の移動を遮断することは容易ではない。

本研究の材料としてグリーンアノールを用いた理由は、以下の3点に集約される。

①本種が世界自然遺産候補地の島嶼に侵入した侵略的な外来種であること

本研究の対象地域となった小笠原諸島は世界自然遺産地域であり、生物多様性を保全する観点から、世界的に見ても特に重要な地域といえる。2011年6月に開催された世界遺産委員会において、小笠原諸島の世界自然遺産への登録が決定されたが（小笠原自然情報センターホームページ；<http://ogasawara-info.jp/isan/keiitoyotei.html>：2014年5月31日確認）、登録決定時に世界遺産委員会事務局から日本政府に対して「侵略的外来種対策を継続すること（Continue its efforts to address invasive alien species.）」という要請事項があり（環境省報道発表資料；http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=17754&hou_id=13936；2014年5月31日確認）、グリーンアノールを含む外来種への対策を今後も継続する必要性が生じた。対策を効率的、効果的に進めるためには、本種の生態学的な情報の収集が必要である。

②本種は高密度に生息するため、個体群生態学的なデータが効率的に収集できること

本種の生息密度は1ヘクタール当たり数百個体を超え、小笠原諸島全体では数百万個体に及ぶと推定されている（Toda et al., 2010）。高密度の道路脇などでは1時間当たり20～30個体もの本種を目撃・捕獲することが可能であり、短期間で効率よくデータを得ることができる。

③外来化した爬虫類の生態に関する新知見が期待されること

小笠原のグリーンアノールにおいては、定着後の分布拡大の状況（Hasegawa et al., 1988）、在来種オガサワラトカゲとの資源の重複状況（鈴木, 2000）、日本在来の昆虫に対する捕食行動（苅部・須田, 2004）、父島及び母島集団における遺伝的変異（Hayashi et al., 2009）等についての報告が

あるもの、年齢構成や生存率、年間の産卵数といった個体群生態学的な報告はほとんどなく、これらのデータ自体が、外来爬虫類の生態学的な記載として重要である。

1. 2. 2. 調査地の概要

小笠原諸島は、日本列島やユーラシア大陸等と一度も地続きになったことのない海洋島である。ここで見られる動植物は、自力で飛翔したり海流や風に乗って到達したものの子孫であると推測される。世界遺産一覧表記載推薦書によれば、小笠原諸島の陸生動物について、在来の哺乳類は1種、爬虫類は2種のみである一方、在来の昆虫類1,380種のうち27.5%、陸産貝類106種のうち94%が固有種であるとされている（日本政府，2010；http://ogasawara-info.jp/pdf/isan/recommendation_ja.pdf；2014年5月31日確認）。このように、小笠原諸島は大陸から遠く離れた海洋島であるため、特定の生物が独自の進化を遂げ、特異な生物相を形成した。その生物進化は現在もなお進行中で、生物の多様化プロセスを目の当たりにできる場所とされる。

明治時代の森林伐採や火入れ、開墾に加えて、ノヤギ、ノネコ、クマネズミ、オオヒキガエル、アカギ、モクマオウ、ギンネム、そしてグリーンアノールといった外来種による生態系への被害が深刻である。

1. 2. 3. 調査方法

(1) 標識再捕法に基づく生息密度と個体群構造、生存率の把握

調査は父島の森林総合研究所樹木園（東京都小笠原村父島字清瀬；北緯27°6′、東経142°12′、標高約18m）において実施した。ここにムニンヒメツバキ *Schima mertensiana*、モクマオウ *Casuarina* sp.、タコノキ *Pandanus boninensis* 等の二次林と林縁、苗畑を含む40×40m（面積

0.16ha) の調査区を設定した (図 1-2、1-3)。2004 年 9 月 20 日から 10 月 8 日にかけて、計 19 日間の中で標識再捕法による調査を 25 回にわたり実施した (同一日の午前と午後にそれぞれ調査を行った日がある)。

調査区内をくまなく歩いてアノールを探し、発見された個体を釣りまたは手捕りによって捕獲し、頭胴長と尾長を計測の上、性別を記録した。釣りには 4.5m もしくは 5.4m の溪流竿と 1~3 号の釣針を用い、長さ 20cm 程度の釣糸を付け、餌として生きたミールワーム (チャイロコメノゴミムシダマシ *Tenebrio molitor* の幼虫) を使用した。性の査定は鈴木 (2000) に基づき、総排泄孔後方の鱗の形態により行った。すなわち、そこに 1 対の大型鱗が存在する個体をオス、同一サイズの鱗が敷石状に並ぶ個体をメスとした。この形質を用いることで、孵化直後の個体でも性を査定することができた。成体・幼体の区分は、鈴木 (2000) によりオス 42mm 以上、メス 43mm 以上の個体を成体、それ未満を幼体として扱った。捕獲個体は指切法及びペイント法 (背面の左右に各々白いペイントマーカーで 3 桁の番号を記入する方法) により個体識別の上、捕獲場所に速やかに放逐した。2 日目以降の調査においては、発見個体のペイントマークを確認して記録し、ペイントマークのない個体は捕獲に努め、計測と記号放逐を行った。

得られたデータは個体別に集計して、生存や成長等の記録をとりまとめた。毎回のセンサスにおける再捕率がそれほど高くないため、19 日間のセンサスデータを 3 日間ごとにまとめて 6 回とし (6 回目のみ 4 日間)、個体数推定ソフトウェア「Capture」 (<http://www.mbr-pwrc.usgs.gov/software/capture.html>; 2014 年 5 月 31 日確認) を用いて性別ごと、成体・幼体ごとに個体数を推定した。

2004 年 9 月から 10 月に実施したのと同様の野外調査を、同一の調査地で 2005 年 9~10 月、2006 年 4 月と 10 月、2007 年 4 月と 9 月、2008 年 6 月と 9 月、2009 年 6 月と 10 月にそれぞれ行った。毎回の調査には 5~7 日間程度を費やした。毎回の結果から、データを調査期の前半と後半に分割

した上で、リンカーンインデックス法で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。2004年以降に実施された調査結果を合わせ、6年間の生息密度の経時的変化の解析を行った。

(2) 飼育下におけるメスの産卵数の把握

グリーンアノールの防除を効率的に進めるために、繁殖を抑制することが重要であり、産卵期や産卵数を把握することが必要である。多数の卵を1年に1回まとめて産出する動物の場合、メスの体内または産卵後における卵数を数えることにより1メスが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種はメスが一度に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、メス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メスの繁殖力（ここでは1メスが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・洲崎で採集された本種のメス10個体及び2008年以前に採集した成熟オス3個体を、東京都台東区に設置された幅2m×奥行4m×高さ2mの金網ケージに放逐し、産卵場所としての利用が想定される基質（シマオオタニワタリ *Asplenium nidus* を植え込んだ植木鉢等）を設置して、約2週間に1回、ケージ内を詳細に調べて卵を取り出し、産卵数を記録した（**図1-4**）。試験開始時のメスの頭胴長は39~57mm、平均47.6mm、体重は1.1~3.8g、平均2.26gであった。餌としてヨーロッパイエコオロギ *Acheta domestica* を毎日1回、数分間で食べ尽くす程度に与え、ヒロズキンバエ *Phaenicia sericata* の蛹を設置して、羽化したハエを捕食できるようにした。実験室の気温は27~30°C、照明には蛍光灯を用いて5時45分~18時まで点灯し、自然光も入る条件として、毎日ケージ内に散水した。飼育時の温度条件は、概ね小笠原・父島の気候に一致させた。特定外来生物である本種の飼育は環境省の許可を得て行った（許可番号05000196）。一部

の卵を孵卵したところ孵化が確認された。孵化直後の幼体 5 個体について頭胴長を計測した。

(3) 生命表の作成と個体数変化の将来予測

グリーンアノールの捕獲目標を検討するために、レスリー行列を用いた確率論的シミュレーションモデルを作成した。なお、ここでは集団のメスの数だけを扱うこととし、個体の移出入は考えないこととした。繁殖後調査のレスリー行列は、

$$\begin{bmatrix} N0(t+1) \\ N1(t+1) \\ N2(t+1) \\ N3(t+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F0 & F1 & F2 & F3 \\ S0 & & & \\ & S1 & & \\ & & S2 & \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} N0(t) \\ N1(t) \\ N2(t) \\ N3(t) \end{bmatrix}$$

となる。ただし、 N_n は個体数、 F_n は繁殖率で、 F_n は生存率 (S_n : 齢 n における生存率) と産子数 (m_n : 齢 n における産子数) の積とする。本解析において生存率のデータを使用する清瀬集団の調査は主に 6 月から 9 月にかけて実施されたため、繁殖後個体数調査で得られたものとしてモデルを作成した。年齢構成は、3 歳以上をまとめて結合年齢階級とした。生存率は、清瀬の調査における 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を各年までの経年生残率とした。産子数は、上記 (2) で得られた 1 メス当たりの年間産卵数のデータを引用した。

これらのパラメータに基づいてレスリー行列と生命表を作成した。さらに個体群動態解析ソフトウェア LAMAS EcoLab (<http://www.ramas.com/ecolab.htm>; 2014 年 5 月 31 日確認) を用いて個体群動態に係る将来予測を行った (Akçakaya et al., 1999)。その際、複数の初期密度と捕獲シナリオ (毎年の捕獲率) を設定し、各々について根絶までに要する期間を求めた。すなわち、メスが 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% までの捕獲を毎年くり返した際の、根絶達成 (ここではメスの個体数が 1 未満になること) までに要する期間を算出した。なお、メスの生息密度が 50 個体/ha は、小笠原における密度の 10 分の 1 程度であり、

メス 5,000 個体/ha は同じく 10 倍程度の極端に高い値である。

(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、アノールが高密度に生息する地点であらかじめ個体に標識を施し、そこに粘着トラップを設置して、標識個体のうちどの程度の割合が捕獲されるかを検証した。2007 年 4 月 24 日及び 25 日に、小笠原高等学校と都道に挟まれた疎林、生垣等からなる帯状の平坦地（東京都小笠原村父島字清瀬；北緯 27°6′、東経 142°12′、標高約 10m）に幅 4 m、長さ 80m、面積 320m²の調査区を設定してアノールの記号放逐を実施し、生息個体数を推定した。捕獲、性の査定、標識の手法は上記（1）と同一であった。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）を仕掛けて数日間に一度見回り、捕獲状況を確認した。捕獲個体の四肢の指を確認して、標識が施されている場合にはその個体番号を記録した。

1. 3. 結果

1. 3. 1. 野外における生息状況

(1) 生息密度とその経年変化

2004 年 9 月から 10 月にかけての調査で合計 171 個体のアノールが標識された。年齢（成体・幼体）及び性別ごとの標識個体数、再捕率等を表 1-1 に、推定個体数を表 1-2 にそれぞれ示した。

ここでは、捕獲をせずにペイントマークを読み取っただけの個体も再捕に含めた。全体の再捕率は 55.0% で、成体オス、成体メス、幼体の順に再捕率が低くなった。25 回の調査で最も多く捕獲された個体は 12 回にわたり確認された。成体の推定個体数はオス 118、メス 35 となり、成体の性比（オス個体数/メス個体数）は 3.37 と極端にオスに偏った。一方、幼体の推定個体数はオス 31、メス 48

であり、標準誤差が大きいものの、オスへの偏りは見られなかった。成体と幼体を合計した推定個体数は 232 であり、これを調査地面積で割った生息密度は 1,450 個体/ha と推定された。

2005 年以降の生息密度は 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 1-5)。

(2) 体サイズ組成と成長

2004 年 9 月から 10 月にかけて得られたアノールの頭胴長を表 1-3 に示した。成体オスは平均 66.8mm、成体メスは 54.7mm とオスの方が大型であった。最大の個体はオス 74mm、メスでは 60mm であった。尾は頭胴長の 2 倍程度で、最大個体の全長は 210mm であった。

比較的多くの個体を得られた 2004 年から 2005 年にかけての秋 (2004 年 9 月~10 月)、冬 (2005 年 1 月) 及び翌年の初夏 (2005 年 6 月) の頭胴長のヒストグラムを図 1-6 に示した。

野外における標識個体の成長例を図 1-7 に示した。秋期に見られた幼体は速やかに成長して、翌年には頭胴長 40~60mm の成熟サイズに達することが確かめられた。すなわち体サイズから見ると、本種は出生の翌年には成熟すると考えられた。

1. 3. 2. メスの繁殖力

2008 年の飼育期間中に確認された産卵頻度の季節的推移を図 1-8 にまとめた。産卵は 5 月 21 日から認められ、10 月 20 日までの 153 日間に合計 137 個の卵が得られた。産卵数は 5 月に急速に増加して、6 月から 9 月にかけてメス 1 個体当たり 0.50 個以上で推移し、ピーク時の 8 月には 0.95 個/週の卵が確認された。9 月中旬から産卵数は減少して、10 月下旬には産卵が見られなくなった。飼育期間を通したメス 1 個体当たりの産卵数は平均 13.7 個、産卵開始から終了までの平均産卵間隔は 11.2 日であった。

産卵場所を詳しく記録した4月から7月において、計79個の卵が確認された。最も多く産卵された基質は下段の地面に置かれたシダの鉢植 (n=31)、次いで多かったのは上段のシダの鉢植であった (n=18)。穴あきブロックの隙間と湿った土の入った植木鉢では産卵が確認されたが、乾燥した土の植木鉢は利用されなかった (図1-9)。シダの鉢植においては、株の中央部のカップ状になった部分と葉の隙間が好まれており、鉢植で確認された卵の73.5%を占めていた。土に産出された卵35個における産卵の深さ(地表面からの卵の上端の距離)は0~50mm、平均16.6mm (SD=9.2)であった。飼育下で孵化した直後の幼体5個体の頭胴長は21.7~24.9mm、平均23.0mmであった。

1. 3. 3. 個体数の変動と防除のシナリオ

(1) 生命表の作成

2004年から2007年にかけて継続してきた標識再捕法による調査の結果から、本種の各ステージ(発育段階)の生存率を算出し、生命表を作成した(表1-4)。その際、次の3点を仮定した。

- ・孵化率は既存の報告より90%とした(Lovern et al., 2004)。
- ・卵の性比は1対1とした(野外調査の結果、幼体の性比は特にオスには偏らないことから)。
- ・1歳メスの繁殖個体の割合は0.75とした(春の時点で頭胴長43mm未満の個体が見られることから)

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、5歳の個体は0.0個体、最長寿の個体は4歳となった。成熟個体の中では1歳が最も多く、次いで2歳と推定された。また、繁殖価が最も大きいのは2歳のメスであった。

(2) 捕獲シナリオに伴う生息密度の将来予測

上記のパラメータを

$$\begin{bmatrix} F0 & F1 & F2 & F3 \\ S0 & & & \\ & S1 & & \\ & & S2 & \end{bmatrix}$$

にあてはめると、レスリー行列は次の通りとなった。

$$\begin{bmatrix} 0.709 & 2.188 & 2.053 & 2.053 \\ 0.115 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.355 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.333 & 0 \end{bmatrix}$$

この行列とソフトウェア Ramas EcoLab を用いて生息密度の将来予測を実施した (図 1-10)。

初期個体数を 500 とした場合、この仮想的な個体群は緩やかに増加し、15 年後のメスの生息個体数は 1,015 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、上記のパラメータの中でメスの生存率または繁殖力が過大評価されていると考えられる。

毎年 50%の個体を捕獲すると個体群は急速に減少し、12 年後には個体数 1 以下、すなわち根絶が達成されると予測された。同様に、毎年 75%を捕獲すると 5 年間で、毎年 90%を捕獲すると 3 年間で根絶が達成されると予測された。

同一の手法により、メスが 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 1-11)。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、毎年 80%のメスを排除し続ければ 3~7 年間で、毎年 90%を排除すると 2~4 年間でそれぞれ根絶が達成されると推測された。

(3) トラップによる捕獲状況

小笠原高等学校下で 2007 年 4 月 24 日、25 日に実施した調査により、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 26.1% (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、その後は標識のない個体のみが継続的に捕獲された (図 1-11)。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と考えられた。

1. 4. 考察

1. 4. 1. 小笠原におけるグリーンアノール個体群の現状

(1) 生息密度と個体数

父島における本種の生息密度は Okochi et al.,(2006) によっても報告されている。すなわち、2004 年 6 月に父島の 11 箇所標識再捕法を用いた調査を実施したところ、推定生息密度は地点により 600~2,570 個体/ha、平均 1,270 個体/ha であった。本研究の結果はこの先行研究の推定範囲に含まれていたことから、小笠原に生息するアノールの生息密度は数百~数千個体/ha、小笠原全域における生息個体数は数百万個体であると考えられた。

本研究の中で最も高い精度で推定された 2004 年 9 月から 10 月にかけての生息密度 (1,450 個体/ha) が父島及び母島における平均的なものであると仮定して、分布域面積 (父島及び母島の全域 ; 4,400ha) にこの密度を乗じて算出された小笠原諸島全域における推定個体数は 638 万個体とされた。

(2) 繁殖と成熟

Andrews (1985) はサウスカロライナ州産の本種のメスを飼育し、産卵間隔の平均は 14 日であったことを報告している。産卵間隔はメスの体サイズと関係があり、頭胴長 47-48mm の個体の産卵間隔は平均 24 日であったのに対して、49mm 以上の個体のそれは平均 8.6 日であったという。ま

た、Lovern et al.(2004)は本種のメスがおよそ7~14日の間隔で産卵することを述べている。これらの先行研究では、各メスが1年間を通して産出する卵の数については言及されていない。

Lovern et al. (2004) はグリーンアノールの繁殖期を4月から7月の約4ヶ月としており、この期間に産卵がみられるとしている。戸田ら(2009)は小笠原のアノールについて、産卵間隔が11.8日であることを報告し、繁殖期の長さを6ヶ月間と仮定して、1年に産出する卵の数を15.3個と推測している。これらの報告において、産卵期を特定する根拠は示されていない。

本研究では、メスを春から秋まで継続して飼育することにより、産卵期及び季節を通した1メスの産卵数をともに特定することができた(図1-8)。産卵期はLovern et al. (2004)の報告よりも長く、5月から10月に及んでいた。また産卵頻度には季節性が認められ、繁殖期の初めである5月と終わりである10月は産卵頻度が低く、産卵のピークは8月であることが判明した。今回飼育を行ったメスの中には、頭胴長40mm前後の小型のものが含まれており、飼育開始時にはまだ産卵を開始していなかったために、5月の産卵頻度が低かったと考えられる。野外でも4月の時点では40mm程度のメスが存在することから、飼育下で得られた今回の結果と同様に、野外においても、5月には集団全体を平均した産卵頻度は低い可能性がある。

Lovern and Adams (2008) は飼育下において、グリーンアノールの食物が繁殖にもたらす影響について報告している。ヨーロッパエコオロギだけを週に3回与えたメスが10週間に平均3.0個の卵を産出したのに対し、高栄養の食物を与えたメス(給餌頻度を高めて、かつエコオロギに加えて脂肪分を豊富に含むハチノスツヅリガ *Gallellia mellonella* の幼虫を与えたもの)は平均7.4個の卵を産んだという。野生個体が摂取する食物の量や質は、個体の生息場所や季節によって異なると考えられ、本研究で得られた結果が、小笠原の野外個体群と同一ではない可能性がある。

小笠原における野外観察の結果、孵化直後と見られる頭胴長20~30mmの個体は6月中旬頃から出現し、9月頃には多く見られ、12月から翌年5月までは見られないことが報告されている(鈴

木, 2010; Toda et al., 2010)。本種の孵化期間は4~6週間とされており (Lovern et al., 2004)、この野外観察の結果は、本研究で示された産卵時期と矛盾しない。

(4) 生活史の地理的変異

Michaud & Echternacht(1995)は原産地におけるグリーンアノールの生活史の地理的変異について報告している。分布域の北限近く (テネシー州) から南限近く (フロリダ州南部) までの8箇所において抱卵メス (gravid females) を採集して産卵・孵化させ、緯度に沿ってメスの体サイズ、卵サイズ、孵化幼体のサイズに変異が認められることを報告している。本研究に用いたメスのうち、すぐには産卵できないと思われる頭胴長 40mm 前後のものを除くと、平均頭胴長と平均体重はテネシー州やサウスカロライナ州の個体群に近くなり、小笠原に定着したグリーンアノールは、本種としては比較的大型の個体群であると考えられる。

Hayashi et al. (2009)は、小笠原諸島産アノール 122 個体を材料として 16s リボゾーム RNA と ND2 ミトコンドリア DNA の塩基配列を解析し、この集団の遺伝的変異を把握した。既存研究との比較において、小笠原諸島産の集団はアメリカ合衆国南東部のルイジアナ州からフロリダ州北部産集団の変異に含まれ、これらの範囲が原産地であろうと推測している。原産地において、グリーンアノールは広い分布域を有し、遺伝的にも生態的にも変異が大きいことから、本種的生活史パラメータを適切に把握するためには、他地域の集団で得られた結果の引用だけでなく、当該集団を対象とした調査が必要である。

(5) 産卵場所選択

Socci et al. (2005) はコスタリカ産のアノール属の一種 *Anolis polylepsis* を飼育して産卵場所を選ばせる試験を行った。本種のメスは孵卵に適さない乾燥した土や過湿な土よりも、適度に湿り気

のある土を選んで産卵したこと、また、土だけの場所や落葉だけの場所よりも、両者がある場所を選んで産卵したことが報告されている。本研究の結果において、乾いた土よりも湿った土が多く選択されたこと、シダの鉢植えが好まれたことは、この先行研究で得られた結果と整合していた。本研究では、いずれの基質でも高所（地上高 1mに置かれたもの）より低所（地表に置かれたもの）が多く選択されており、本種は地表近くに産卵する傾向が強いものと考えられた。

ただし、低所の産卵数の三分の二程度の卵が高所にも産出されていることから、野外において、条件を整えば樹上にも産卵することが示唆される。特に、シマオオタニワタリは小笠原の森林に普通に生育しており、高木上に着生している個体もあることから、地上でも樹上でも、グリーンアノールの好適な産卵場所となっている可能性がある。

1. 4. 2. 効率的な防除に向けて

(1) 小笠原におけるアノールの生態学的特性と防除の方向性

父島、清瀬で得られたデータから、ここのグリーンアノールは雌雄とも 1 歳で繁殖を開始すると考えられた。成熟期間が雌雄で同じでありながら、成体の性比が大きくオスに偏るのに対して、幼体の性比はそのような偏りが確認されなかった。この性比の偏りを生じさせるメカニズムは今のところ不明であるが、それを知ることは、この種の個体群構造を理解し、効率的な防除を進める上で重要であると考えられる。

小笠原では、環境省が 2008 年より本格的な防除を実施している。防除は本種の分布域である父島と母島でなされており、父島では港湾周辺からの排除を通じた他の島嶼への拡散防止を、母島では森林からの本種の排除による自然再生をそれぞれ目的としている (Toda, et al. 2010)。今後、より効率的な防除を進めるためには、個体群の状態をより正確に示すデータを得て、そのデータを計画に反映させることが重要である。

産卵時期に係る情報は、防除の時期を立案する上で重要である。個体群を効率的に縮小させるためには、繁殖期直前のメス個体を取り除けばよいことから、産卵を開始する直前の4月頃から、産卵頻度が上昇する6月頃までの間にメスを集中的に捕獲することが効果的である。また、本研究で作成された生命表において繁殖価が最も大きいのは2歳であったことから、特に2歳のメスを排除することが効果的な密度低減につながると考えられる。

なお、グリーンアノールの産卵場所の選択性に係る情報は、今後の新たな防除手法の開発に繋がる可能性がある。例として、現在実施されている成体と幼体の捕獲に加えて卵も排除することや、好適な産卵場所を人工的に設置して、そこにやって来たメス及び産出された卵を排除する手法が考えられる。

(2) 防除に必要な技術：トラップとフェンス

小笠原高等学校下の調査地で標識個体を粘着トラップで継続的に捕獲したところ、標識個体の回収は捕獲開始から15日以内にとどまり、計26%の個体が捕獲されたのみで、残りの個体は回収されなかった(図1-12)。一方、標識のない新規個体はその後も継続的に捕獲されていたことから、ある地点で目撃される個体は入れ替わっていることが示唆された。

環境省が2005年に実施した粘着トラップ試験では、5×4mのアノール侵入防止フェンス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(自然環境研究センター、未発表データ)。これらの結果から、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。

(3) 小笠原におけるアノール防除の基本的な考え方

現在実施されているアノールの防除においては、本種の排除を通して分散の危険性を低下させ、生態系への被害を取り除くことが目的とされている。防除計画の立案においては、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考慮し、また生態学的な特性の可塑性にも配慮すべきである。本研究の成果及び既存の報告（戸田ほか, 2009; Toda et al., 2010; 戸田, 2011）から、本種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る。

①未侵入域への拡散防止

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、対照的に、他の島嶼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。

②拠点的・地域的な防除

本種の生息密度は1ヘクタール当たり数百個体、本種の個体数は父島及び母島の全域で数百万個体と推定されている。一方、数年以内の根絶のためには毎年90%以上の捕獲が必要であるが、現段階では薬品散布や強力な誘引手法等による広域的な防除の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、父島・母島の全域から一斉に排除するのではなく、生物多様性保全上の重要性が特に

高い箇所（たと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。

③遮断の有効性

アノールは父島、母島の広い範囲にわたり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やり方が推奨される。ただし、アノールは四肢の指に指下板を具え登攀能力が大きく、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にアノールが乗り越えられないフェンスが開発できれば、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。

④手法開発の必要性

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銃猟のような方法ではなく、害虫駆除のように、定められた範囲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、将来的には薬剤を用いた捕殺、すなわ

ち化学的防除も視野に入れる必要がある。

⑤地域特性の考慮

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。

⑥順応的な管理の実施

これはアノールの防除に限定されないが、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。

第2部：金沢城におけるモリアオガエルの保全生態学的研究

2. 1. はじめに

環境省が公表した第4次レッドリスト (<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=15619>; 2014年5月31日確認)には、日本の水田に広く見られるトノサマガエル *Rana nigromaculata*、アカハライモリ *Cynops pyrrhogaster*等の両生類が掲載されている。わが国の環境変化に伴い、かつては身近に見られた両生類が次々と姿を消しつつある。両生類は、日本固有種の割合が高く保全対象として重要であるとともに、生活史の中で水域と陸域の両方を利用し、乾燥に弱く、それほど長距離の移動分散ができない等の特性から、水辺環境の生物多様性を示す環境指標生物としての有用性も有している (松井, 1996)。

本研究の第2部の目的は、金沢城公園に生息するモリアオガエルの個体群を対象として、繁殖場所の分布状況とその変化、年齢構成、食性、個体群動態といった生態学的な特性を把握し、個体群の維持に必要な条件を示し、それらに基づき、科学的な観点から本種の保全に関する方向性を提言することである。

2. 2. 材料と方法

2. 2. 1. 材料

本研究ではモリアオガエル *Rhacophorus arboreus* を材料とした (図2-1)。本種はアオガエル科アオガエル属の樹上性のカエルで、本州及び佐渡島に自然分布する日本固有種である (前田・松井, 1999)。初夏、樹上に泡巣 foam nest を造ってそこに産卵する習性が知られており、「樹上に産卵する珍しいカエル」として、各地で天然記念物として保護されている (金井, 1982)。分布や繁殖行動に関する報告は数多いが (たとえば加藤, 1955, 1956; 金井, 1982; Kasuya et al. 1987, 1996,

1997, Kusano, et al., 1991, Kusano, 1998)、成長や生存率、食性など、繁殖以外の生態についての報告はほとんどなされていない。

本研究の材料として本種を用いた理由は、以下の3点に集約される。

①泡巣の数を通して個体数を容易に把握できること

本種のメスは樹上に泡巣 foam nest を造ってその中に産卵する (図 2-2)。本種の泡巣は木の葉などに吊され、白色で長径 10cm 程度あり、肉眼または双眼鏡で容易に確認できる。本種のメスは 1 繁殖期に泡巣を 1 個のみ造り、体内の卵を全てそこに産出するため (戸田, 未発表)、繁殖場所で泡巣の数を数えることにより、産卵に訪れたメス個体の実数をほぼ正確に把握することが可能である。本種の泡巣はほとんど水面の真上に造られることから (Kasuya et al., 1996)、池など止水域のみの調査によって正確な泡巣数を知ることができる。個体数の把握が困難な種が多い野生動物の中にあつて、本種の個体数の把握は比較的容易である。

②この個体群が保全対象としての重要性があること

本研究の対象としてきた金沢城に生息するモリアオガエルについて、石川県生物多様性戦略ビジョン (石川県, 2011) ではひとつのコラムが充てられ、次のように結論されている。

「(…前略) モリアオガエルは、深い森と天敵の少ない池がセットになった環境がないと生息できません。金沢市の中心部にある金沢城公園に住みついているこのカエルは、本県の自然共生のシンボルともいえるでしょう。(p36)」

本種は北陸地方においてさほど珍しい種ではなく、石川県版のレッドデータブックにも環境省版のレッドデータブックにも掲載されていない。しかし、金沢城の個体群は県民によく知られており、自然共生のシンボルとして、保全対象となり得る重要性を有している。

③本種の生態学的な新知見が豊富に得られると期待されること

上記のように、本種は比較的良好に注目されている割には、繁殖生態以外の生態学的な知見が少ない。生息密度や生存率、移動分散、寿命といった生態学的な情報はほとんど得られておらず、これらのデータ自体が、日本産野生生物の生態学的な記載として重要である。

また、カエル類の食性については多くの報告があるが（たとえば Porter, 1972; Toft, 1980; Hirai & Matsui, 1999, 2000, 2002; Hirai, 2004）、それらの多くはヒキガエル科、アマガエル科、アカガエル科などに属する種の報告であり、アオガエル科の種における食性の報告は見当たらない。樹上性で大きな口を持つ本種の食性は、これまで報告された他の種の食性と異なっている可能性がある。

2. 2. 2. 調査地の概要

一連の調査は金沢城(石川県金沢市丸の内1番1号、北緯36°34′、東経136°40′、面積25.0ha、標高約60m)において実施した(図2-3)。ここは周囲を市街地に囲まれ、他の森林や水田とは隔絶された、孤立した自然環境となっている(大串, 1995)。周辺市街地の海拔標高は約25mであるが、金沢城は最高標高60m程度の小高い丘になっており、外縁部を石垣に囲まれている。城内にも石垣が多くて複雑な地形をなし、石垣に沿って樹木が植栽され、また自生している。

石川県ホームページによれば、金沢城はもともと前田藩の居城で、明治時代以降、1871年から第二次世界大戦の終了までは陸軍省の管轄となり、1949年から1995年までは金沢大学のキャンパスとして利用されていた

(http://www.pref.ishikawa.jp/siro-niwa/kanazawajou/kanazawa_castle/history.html、2014年5月31日確認、図2-4(a))。金沢城の南側は本丸跡で、大学として利用されていた当時は理学部附属植物園となっており、スダジイ *Castanopsis sieboldii* やタブノキ *Machilus thunbergii* などの高木が繁茂して自然林に近い状態が保たれていた。航空写真や地図から算出された金沢城全体の森林

の面積は約 6.8ha であった。

1997 年以降、金沢城は石川県の所有地となり、都市公園としての整備が進められた(図 2-4 (b))。菱櫓(ひしやぐら)、五十間長屋や、全長 330m に及ぶ内堀などの歴史的建造物が再建され、鶴の丸広場には休憩所と池が造られた。金沢城の北側には長径 100m を越える池(湿生園)が造成された。金沢城は 2008 年に国の史跡に指定された。本研究におけるモリアオガエルの野外調査は、金沢大学があった時代から大学移転を経て現在に至る期間に実施した。この間、森林の形状及び面積はほとんど変わっていないが、石垣に沿って繁茂していた樹木は伐採され、歩道が拡幅されてその周囲の林床植物が除去されるなど、生息地の質は変化してきた。

金沢城では 21 種の両生類・爬虫類が記録されている(戸田, 1992)。奥野(1986)は、1970 年代からこの場所でニホンヒキガエル *Bufo japonicus japonicus* を調査し、繁殖場所の消失がなかったにもかかわらず、1980 年代のはじめに全て絶滅したことを報告している。

2. 2. 3. 調査方法

野外調査は 1984 年から 2012 年にかけて実施した。調査項目は次の通りである。

(1) 繁殖場所の把握

金沢城(当時は金沢大学城内キャンパス)における予備的な調査を 1984 年 6 月から 7 月にかけて実施した。昼間及び夜間に城内を歩き回り、鳴声を手掛かりにモリアオガエルの繁殖場所を探し、発見された繁殖場所を地図上に記録した。

1986 年から 2012 年にかけての 27 年間、毎年繁殖期に金沢城及びその周囲を歩き、鳴声によって本種の繁殖場所を探して記録した。新たに形成されたまたは消失したのがないかを十分に注意して、全ての止水域の周囲をくまなく歩いて本種の泡巣を探した。確認された繁殖場所は地図上に記録し、水面の長径、短径(幅)、水深などを目測して記録した。1997 年から 2012 年の環境の

変化について把握するために、泡巣カウントの前夜に金沢城の全域を踏査し、金沢城を所管する石川県土木部公園緑地課・金沢城・兼六園管理事務所の職員ならびに金沢城の警備員に随時聞き取りを行った。

(2) 変態上陸個体の集団標識

1990年の7月から9月にかけて、当時、最も多くのモリアオガエルが産卵に訪れた繁殖場所であるO池の周囲に、角材と針金、厚手のポリエチレンシートを用いて、上端をネズミ返し状に折り返した高さ5cmのポリエチレン製のフェンスを張り巡らせ、7月上旬から10月中旬までここを毎日見回って、トラップされた変態上陸した個体を捕獲し、指切法（右後肢第5指の切除）により集団標識してフェンスの外に放逐した。この池は周囲を平らなコンクリートで固められており、角材を用いて、変態直後のモリアオガエルが脱出できる隙間なくフェンスを設置することができた。

(3) 夜間センサス調査

繁殖場所におけるセンサス調査は、1986年から1994年の9年間にかけて、合計519日間にわたり実施した。主にO池とH池においてセンサスを行い、補足的にI池、Y池においても実施した。成体の活動時刻に合わせて、調査は概ね21時から午前0時を含む時刻に行った。懐中電灯を持ってゆっくり歩きながら繁殖場所の周囲（水面及び水際から外側約4mの範囲）を探し、見つけた個体を手捕りまたは手網を用いて捕獲した。捕獲個体の頭胴長と体重を計測し、性を査定し記録した。

本種は他のカエル類と同様にメスが大型で、オス成体には婚姻瘤などの二次性徴が発現する（前田・松井, 1999）。また、オスの吻端はメスや幼体に比べて尖る傾向にある（**図2-1**）。金沢城において、産卵を確認した最小のメス個体の頭胴長は59mmであった。よって、上記の二次性徴が発現した個体をオス成体、頭胴長59mm以上で二次性徴がない個体をメス成体、どちらにも該当しな

いものを幼体と判定した。

捕獲個体は頭胴長を測定し、指切法により個体識別した後、速やかに元の場所に放逐した。産卵中の個体を発見した場合には、可能な限り産卵の終了を待って全ての親を捕獲し、個体識別をした。

1990年以降は、上記(2)により集団標識された個体がないかどうか特に注意した。

(4) 泡巣のカウントに基づく個体数の把握

1986年から1994年までは、毎年5月から7月にかけて、およそ2週間に1度、全ての繁殖場所を訪ね、地図に泡巣の位置を記入して、古くなって残っている泡巣と、新たに加入した泡巣の数をそれぞれ記録した。これを繁殖期中、新たな泡巣の加入が認められなくなるまでくり返し、各繁殖場所で造られた泡巣の総数を把握した。本種のメスは泡巣を他の泡巣に密着させて造る傾向があり

(戸田、未発表)、泡巣が高密度の場合には新たに加入したものの計数が困難になることから、長さ4.5mの釣竿の先に絵筆を取り付けたものを用いて、水彩絵の具による泡巣へのカラーマーキングを行った。

金沢城における本種の繁殖期は約3ヶ月にわたるが、1994年までの調査結果から、最も多くの泡巣が見られるのは6月下旬(6月21日から30日の間)であることが判明した。よって1995年から2012年にかけては、毎年6月下旬のある1日間のみ、全ての繁殖場所で泡巣の数を数え、その数から繁殖期を通した泡巣の総数を推定した。

(5) 食性

1) 頭胴長と口幅の関係

食物を丸呑みにするカエル類にとって、口幅は利用できる食物サイズを直接的に制限する要因となっている。よって、食物と体サイズの関係性を調べるための基礎的な情報として、本種の体サイズ

と口幅の関係を把握した。1989年から1999年にかけて石川県金沢市で採集されたモリアオガエル67個体（うち幼体16、メス成体13、オス成体38；へび類の新鮮な胃内容物として得られた個体を含む）を、クロロホルムを用いた深麻酔により安楽死させた後に10%ホルマリンで固定し、頭胴長（体を伸ばした姿勢における吻端から総排泄口までの距離）と口幅（口を閉じたときの最大幅）を、ノギスを用いてそれぞれ0.1mm単位で測定した。

2) 野外調査

1990年5月から10月にかけて、金沢城の森林内に全長約300mのセンサスルートを設定し、夜間にここを歩きながら懐中電灯を使ってカエルを探し、見つけた個体を素手か手網で捕獲した。捕獲した個体は触診により胃内容物の有無を記録し、定規を用いて1mm単位で頭胴長を測定した。年齢（成体、幼体の別）と性別を記録した後、指切り法を用いて個体識別マーキングを施し、速やかにその場に放逐した。性および発育ステージの判定は、体サイズとオスの二次性徴の有無、繁殖行動の確認によった。調査地内には4箇所の繁殖池があるが、繁殖のために現れた成体は、池の周囲約4m以内で鳴いたり抱接したりすることが判っている（戸田、未発表）。よって、繁殖期（5月から7月）に池の周囲約4m以内で見つかった成体は繁殖参加個体とみなした。夜間センサスは、合計69夜にわたり実施した。

一部の個体については、強制嘔吐法によって胃内容物を取り出した。得られた胃内容物は70%エタノール内に保存して室内に持ち帰り、餌動物1個体ごとに同定し、ノギスを用いて0.1mm単位で体長、体幅、体高を計測した（体幅と体高はそれぞれ最大部分を計測）。餌動物が半ば消化されていた場合には、金沢大学理学部所蔵の同種の標本（目測で選択した同程度の大きさの1個体）を用いて体長、体幅、体高を計測し、餌動物の体サイズとした。頭胴長35mm以下の小型のカエルについては、胃を傷付けることが想定されたため強制嘔吐を行わなかった。胃内容物の採取は主に1990

年 7 月から 10 月に実施したが（26 個体）、補足的に 1989 年（4 個体）、1991 年（8 個体）、1992 年（1 個体）に得られたデータも用いた。

胃内容物を含んでいた個体の割合の違いは、性、発育ステージ、季節間で、Fisher の正確確率検定を用いて有意水準（ α ）5%で検定した。多重検定の際は、sequential Bonferroni 法により α の調整を行って判定した（Rice, 1989）。

2. 3. 結果

2. 3. 1. 繁殖場所の分布状況

1984 年の予備調査、及び 1986 年から 2012 年までの調査の結果、金沢城に生息するほとんどのモリアオガエルは下記の 9 箇所の止水域を繁殖場所として利用していた（表 2-1）。調査時期の前半（1984 年から 1994 年）の繁殖場所は以下の通りであった（図 2-4 (a)）。

①H 池

1960 年頃にモリアオガエル繁殖場所として造成され、1980 年代から 1990 年代前半にかけて本種の主要な繁殖場所として機能した。1995 年から 2000 年には水位の低下と堆積物の増加が顕著であったが、2001 年 6 月、底に防水シートが貼られて整備された。金沢城において、1984 年から 2012 年にかけて継続的に本種の繁殖が確認されている唯一の止水域であった。1980 年代後半から 1992 年頃までは、毎年春期に著者が水底の土砂やリターを浚渫していた。

②O 池

1960 年頃に防火用水として造成された。金沢城の防火用水としては比較的深く、アオウキクサ *Lemna aoukikusa* やクロモ *Hydrilla verticillata* 等の水生植物が繁茂しており、1980 年代から 1990 年代前半にかけてモリアオガエルの最も主要な繁殖場所として機能した。1997 年の繁殖期を最後に撤去された。

③Y池

1960年頃に防火用水として造成され、1980年代から1990年代前半にかけてモリアオガエルの主要な繁殖場所として機能した。1997年には水位の低下と堆積物の増加が顕著であった。1997年の繁殖期を最後に撤去された。

④I池

コンクリート製の池で、旧金沢大学図書館脇の石垣上、現在の菱櫓の場所に位置していた。1960年頃におそらく防火用水として造成され、1980年代から1990年代前半にかけてモリアオガエルの主要な繁殖場所として機能した。1997年の繁殖期を最後に撤去された。

⑤Sa池

もともとは1960年頃に造成されたらしく、1970年代には数十個の泡巣が見られたという（奥野良之助，私信）。1980年代半ばから2001年まではほとんど水がなく、モリアオガエルの繁殖場所としては機能していなかった。2001年6月、底に防水シートが貼られ、周囲に石積みがなされて水が供給された。2002年6月に本種の泡巣1個が確認され、その後、毎年少数の産卵が見られている。

一方、大学移転後に新たに形成された繁殖場所は以下のとおりである（図2-4(b)）。

⑥内堀

金沢城におけるモリアオガエル繁殖場所の中で最大の止水域である。1997年までは全く水のない空堀で、土砂が堆積し草本が繁茂していた。1997年までに石垣の樹木が伐採され、1998年11月から2000年3月にかけて、池周囲の石垣を再生する工事がなされた。地下水の引き入れにより水が湛えられたのは2001年8月であった（工事のスケジュールについては猿田秀一・金沢城公園課長(当時)の教示による）。1999年に初めてモリアオガエルの産卵が確認され、現在では最も主要な繁殖場所となっている。フサモ属の一種 *Myriophyllum* sp.が疎らに生育し、メダカ *Oryzias* sp.、

アカハライモリなどが生息する。

⑦ビニールシートの池

1998年6月から1999年6月の間に、遺跡発掘現場に敷設されたビニールシートに雨水が溜まったものである。池の周囲に植生は乏しく、水生植物はなく、他の両生類や魚類等は確認されなかった。1999年6月には泡巣8個を、2000年6月には泡巣1個を確認した。2001年6月までにシートは撤去されて池は消失した。

⑧鶴の丸池

庭園（鶴の丸広場）に位置し、周囲や池の中には園芸植物が植栽され、日中は多くの観光客が訪れる。2002年頃に造成され、2005年からモリアオガエルの産卵が見られるようになった。

⑨湿生園

芝生広場（新丸広場）に接する修景用の止水域で、2002年に造成された。ガマ属の一種 *Typha* sp.、アサザ *Nymphoides peltata* などの水生植物が植栽されており、トンボ類やメダカ等が生息する。2007年からモリアオガエルの産卵が確認されている。アカハライモリなどが生息しており、2012年の調査時に、初めてフナ属の一種 *Carassius* sp.が確認された。

この他の繁殖場所として、1984年から1997年頃までの間に、水生植物を育成するためのコンクリート製の池（5×3m程度）、森林内に放置され水が溜まった洗面器（直径30cm程度）やポリ衣裳ケース（長辺70cm程度）などの小規模な水域がいくつか確認されている。また、金沢城の北端に位置する開放水面（大手堀）は周囲に樹木が繁茂しているが、これまでにモリアオガエルの繁殖は確認されていない。

2. 3. 2. 繁殖と成熟、生存率

(1) 繁殖行動

金沢城におけるモリアオガエルの産卵は5月上旬から7月下旬にかけて確認された。産卵は年によって5月10日から5月30日の間に開始され、7月11日から7月31日の間に終了した。繁殖活動は主に夜間に行われた。日没後、オスは周囲の樹木や林床から池に現れ、水面や池に張り出した植物の枝に定位した。一方、メスは池に出現すると水に入り、水面に浮かんで静止した。この間に膀胱に多量の水を貯え、著しく太った体形となった。たとえば1987年6月29日に個体識別された2匹のメスは、入水前の20:00にはそれぞれ18.5gと23.5gであったが、2時間後には29.0g（入水前の157%）と35.0g（同149%）となっていた。

抱接後、メスはオスを背負って産卵場所まで移動した。この間に他のオスが抱接ペアに接触する行動がよく見られた。メスは産卵場所に定位すると、前足で樹木の葉を覆うようにして体を固定し、総排泄孔から粘液を出して後肢で泡立てて泡巣を造った。泡巣が大きくなると産卵放精が行われ、産卵が終わると成体は泡巣から離れた。泡立て始めてから成体が抜け出すまでに約3時間を要した。産卵中、抱接ペアに他のオスが取りついて産卵放精を行う行動がよく確認された。1986年から1989年までの産卵行動の観察記録97例のうち、79例（81%）では複数のオスが確認された。メスに取りついたオスの個体数は抱接オスを含めて1から12個体、平均3.4個体であった。

1988年から1992年までの個体識別法を用いた調査の結果から、各個体の初認日、終認日、出現日数を整理したところ、オスは平均して6月10日に繁殖場所で初めて確認され、最後の確認は6月28日であった。この間の19日間に毎日発見されるわけではなく、平均して4.5晩出現していた。一方、メスは平均すると6月24日に1晩だけ現れて産卵した。

産卵直後のメスの腹腔内には卵が全く残っていないこと、同一繁殖期に複数回にわたって産卵したメスは確認されていないことから、オスは何度も繁殖場所に出現するのと対照的に、メスは年に1回し

か産卵しないことが判明した。したがって、ひとつの繁殖場所に存在する泡巣の数は繁殖したメスの総数に等しく、よって泡巣数はメス成体の個体数の正確な指標となることが分かった。

繁殖参加個体には顕著な体サイズの性的二型が認められた。オスは 49~70mm、平均 56.8mm (n=469) であったのに対し、メスは 59~87mm、平均 69.6mm (n=112) とずっと大型であった。

(2) 繁殖場所集団とその交流

1990年にO池に設置したフェンストラップにより、変態上陸直後の幼体3,488匹が集団標識された。上陸が初めて確認されたのは7月19日、最終の上陸は10月2日であった。上陸は日没後に一斉に起こり、まだ尾が長いうちに上陸して、夜明けまでに尾の吸収が進んだ。午前0時から未明にトラップを見回ることにより、その夜の上陸個体をほぼ漏れなく捕獲できたとみられる。ただし、8月25日から29日の5日間はトラップを撤収して調査を休止しており、前後の記録からこの間に多数の個体が上陸したと予測され、標識率は100%ではない。

日ごとの変態上陸数を図2-5に示した。これら集団標識個体は1994年まで追跡され、のべ96回の再捕があった。1990年と1991年には全て幼体として、1992年から1994年には全て成体として再捕された。これより、本種の成熟期間は雌雄とも2年間であることが確認された。再捕時期と頭胴長の関係を図2-6に示した。変態時の頭胴長は17~20mmであった。1990年の夏から秋に再捕された幼体は最大でも27mmで、変態年にはあまり成長せず、サイズのばらつきも小さかった。第1回冬眠後の1991年には急速な成長が認められ、5月下旬に再捕された2個体がいずれも23mmであったのに対し、7月下旬に再捕された2個体はともに50mmを超えていた。2年で成熟した個体の頭胴長を雌雄間で比較すると、オスが平均59mmであったのに対し、メスは平均70mmで、メスの方が成熟までの成長速度が大きいことがうかがえた。

成体として再捕された集団標識個体の数を、繁殖場所ごとに図2-7に示した。約80%の個体は

自分の生まれた池で記録されたが、残る 20%の個体は別の繁殖場所に移動しており、100m以上離れた他の 3 つの繁殖場所でも 1~5 個体が見つかった。また、オスもメスも他の池に分散する例があることが確認された。

(3) 成熟後の生存と性比

夜間センサスにより、1986 年から 1994 年までの 9 年間に合計約 2,500 個体を記号放逐した。前述の通りメスは繁殖期に 1 個の泡巣を造ることから、各々の繁殖場所に訪れたメスの個体数を正確に把握することができる。1986 年から 1994 年までの H 池における成体の標識調査の結果を用いて、標識個体数と泡巣数の比からメスの標識率を算出した（表 2-2）。調査を開始した 1986 年の標識率は約 6%、調査頻度が高かった 1988 年と 1992 年には約 60%、他の年は 15~53%であった。オスはメスと異なり繁殖場所に出現した証拠を残さないことからオスの標識率は不明であるが、オスは何日にもわたって繁殖場所に出現することから、メスに比べて標識率ははるかに高いものと見なされた。

調査頻度が高く、年ごとのデータが最も充実している H 池における、年ごとのオスの標識個体数及び再捕個体数等を表 2-3 に示した。標識再捕 2 年目である 1987 年からは前年標識の個体が、また同 3 年目となる 1988 年からは前々年標識の個体が捕獲されており、本種の成体は野外で複数年にわたり生存し、繁殖に参加することが明らかとなった。

表 2-3 の通り、繁殖に参加しているオスの 5~8 割程度は繁殖初参加の個体であり、本種は複数年にわたり繁殖をするものの、それほど長生きはせず、繁殖集団の主力は前々年に産まれた 2 歳個体であった。なお成体の死亡要因として、繁殖場所におけるヘビ類（アオダイショウ *Elaphe climacophora*、シマヘビ *Elaphe quadrivirgata*、ヤマカガシ *Rhabdophis tigrinus*）による捕食が頻繁に目撃された（Mori et al., 1992）。他に、ハシボソガラス *Corvus corone* による捕食や轢死

が確認された。

表 2-3 に示したオスの標識個体数をその年に繁殖参加したオスの実数と仮定して、泡巣数に対する標識オス数、すなわち成体の性比を **表 2-4** に示した。繁殖場所における成体の性比は常にオスに偏っていたが、約 1.3~3.0 と年によるばらつきが大きかった。調査努力量が小さかった 1986 年や、調査努力量が大きくオスの見落としがわずかと思われる 1988 年と 1992 年において特に突出した値にはなっていないことから、繁殖に参加する個体の性比は年ごとにかなりばらつくものと見なされた。

2. 3. 3. 個体数の変動と環境の変化

(1) 泡巣数の推定について

多くの泡巣は樹上で確認された。一部のものは地表や石の隙間で見られたが、同属のシュレーゲルアオガエル *Rhacophorus schlegelii* のように地中に産み付けられた例は確認されず、全ての泡巣は注意深く探せば外から見える状態で発見された。泡巣内の胚は 7 日から 10 日後に幼生となって池に落下し、乾燥した泡巣はその後 2~3 週間にわたり産卵場所に残存していた。

1987 年から 1994 年までの観察により、6 月下旬（6 月 21 日~30 日）に最も多くの泡巣が確認されたことから、この間の年において、5 箇所の繁殖場所（池）の 6 月下旬のある 1 日に数えられた泡巣数と、同じ池の 1 繁殖期を通した泡巣の総数との間の相関を求めた ($n=23$; **図 2-8**)。両者の間には有意な正の相関が認められ、6 月下旬に見られた泡巣数 x と、当該繁殖期を通した泡巣の総数 y の間には次の回帰式が成立した。

$$y=2.3058x \quad (R^2=0.8637)$$

1 繁殖期を通した泡巣の総数の指標として 6 月下旬の泡巣数を用いる際、推定誤差の大きさを提示することは重要である。ここでは、推定誤差を示す値として二乗誤差の平均とその平方根、予測

値と実際の値の差の絶対値の平均と標準偏差、(予測値/実際の値)の平均と標準偏差をまとめて表 2-5 に示した。1995 年以降は、6 月下旬の 1 日間だけの調査結果をこの回帰式に当てはめ、各繁殖場所の泡巣の総数を推定した。

(2) 泡巣数の経年変化

1986 年から 2012 年にかけての、全ての池における泡巣数を図 2-9 に示した。1984 年から 1994 年は実測値(ただし 1985 年は欠測)、1995 年以降は括弧内に示した 6 月下旬の 1 日間のカウント結果からの推定値(前述)である。泡巣数、すなわち産卵したメスの推定個体数の大まかな傾向は以下のとおりである。

1986 年から 1988 年には増加傾向がみられ、1988 年から 1994 年にかけては総数 250 個程度で安定していた。1994 年から 1998 年にかけては減少し、特に 1998 年には、前の年まで産卵が認められた 4 箇所の繁殖場所のうち 3 箇所が撤去され、6 月 26 日の調査では H 池で僅か 11 個(実測値)の泡巣を数えるのみであった。1999 年には内堀と H 池、ビニールシートの池でそれぞれほぼ同数の泡巣が見られ、2000 年 6 月 25 日には約 100 個(実測値)の泡巣が認められた。2001 年には再び泡巣の数が減少したが、その後 2002 年から 2007 年まで毎年増加傾向を示した。2007 年から 2012 年にかけては高い水準を維持していた。

(3) 生息環境の変化

現地調査と聞き取りにより、1984 年から 2012 年までの期間に生じたモリアオガエルの生息環境の変化は概ね次のようにまとめられた。

○1980 年代から 1994 年頃まで(金沢大学丸の内キャンパスとしての利用)

大学のキャンパスとして利用され、本丸跡は理学部附属植物園としてまとまった森林となってい

た。

○1995年から2000年まで（都市公園としての整備）

大学が移転した後、5箇所あった繁殖場所のうち3箇所は1997年の繁殖期を最後に撤去された。一方、1998年と2000年に1箇所ずつの止水域が形成され本種が繁殖するようになった。古い防火用水の撤去に伴い井戸水を水源とする給水タンクが設置され、ここから内堀、鶴の丸の庭園、湿生園に給水されるようになった。

1996年6月から1997年6月の間に石垣の隙間に繁茂していた樹木や大型草本が撤去され、本丸の歩道が幅約4mに拡幅されて砂利が敷かれ、観光客に一般開放された。生垣は撤去され、歩道の両側約5mずつの低木、草本が刈り取られて明るくなったが、金沢城全体としての高木林の面積はほとんど変化していない。校舎は1999年6月までには完全に撤去された。1999年から2001年にかけて、五十間長屋などの建造物が再建された。

○2001年以降（都市公園としての利用）

毎年80万人以上の観光客が訪れる、石川県有数の観光地となった（石川県観光交流局交流政策課2010）。止水域、緑地とも管理がなされ、城内には広い空地（芝生等）が整備された。毎年工事が継続されており、河北門の完成後、2012年には石川門、玉泉院丸跡などの工事が実施された。モリアオガエルの中心的な繁殖場所は内堀であり、毎年半数以上のメスがここで産卵していた。

2. 3. 4. 食性

(1) モリアオガエルの頭胴長と口幅の関係

今回の調査では、幼体16個体、メス成体13個体、オス成体38個体について口幅を測定できた。口幅は頭胴長と強い相関があるため（**図2-10**）、性や発育ステージ間での比較に先立ち頭胴長で調整する必要がある。ここでは、両変数とも常用対数に変換後、頭胴長を共変量として共分散分析

を行い幼体、メス成体、オス成体の間で口幅の比較を行った。その結果、3群間で回帰直線の傾きには有意な差が見られなかったが ($F_{2,61} = 2.619$, $P = 0.123$)、回帰直線の高さに有意な差が検出された ($F_{2,63} = 29.307$, $P < 0.001$)。頭胴長による口幅の調整済み平均値 (adjusted mean) は、幼体が 19.50mm、メス成体が 18.43mm、オス成体が 17.30mm となった。3群の間では、幼体とメス成体には有意な差が見られず (Tukey 法による多重比較、 $P = 0.107$)、オス成体だけが有意に口幅が狭いことが分かった ($P < 0.001$)。

(2) 胃内容物が確認された個体の割合

野外調査において、繁殖期 (5月から7月) にはオス成体 572 個体、メス成体 57 個体、幼体 171 個体を捕獲した。また非繁殖期 (8月から10月) には、オス成体 36 個体、メス成体 30 個体、幼体 107 個体を捕獲した。触診によって胃内容物が確認された個体の割合を、季節ごとに幼体、オス成体、メス成体の別に **図 2-11** に示した。胃内容物が確認された個体の割合は常に半数以下であった。オス成体は繁殖期においてほとんど胃内容物が確認されず、非繁殖期との間に有意差が認められた ($P < 0.0001$)。メス成体も、繁殖期において胃内容物がみられる個体の割合が低かったが、非繁殖期との間に有意差は認められなかった。幼体については、両時期とも 40% 程度の個体において胃内容物が確認された。

(3) 食物の種類と頻度

強制嘔吐法により、モリアオガエルの胃内容物は粘膜状の胃液に包まれたひとつの塊として取り出されることが多く、小型の食物も塊の一部として取り出すことができた。胃内容物を含んだ合計 39 個体から、計 39 種類 64 個体の餌動物が得られた。これらのうち、種まで同定できたものは 24 種であった。モリアオガエル 1 個体の胃から得られた餌動物の個体数は最大で 5 であり、平均 1.6

個体、1.4 種の食物を食べていた。得られた食物の種類を表 2-6 に示した。昆虫が多く、昆虫とクモ類で食物の大半を占めていた。最も頻繁に捕食されていた種類はフクログモ属不明種 *Clubiona* spp. で、6 個体が得られた（種まで同定されたヤマトフクログモ *C. japonica* を加えるとフクログモ属として 7 個体）。次いでイオウイロハシリグモ *Dolomedes sulfreus* が 5 個体であり、その他の餌動物は 1~3 個体ずつしか得られなかった。消化が進んだチョウ目の幼虫などは種まで同定できなかった。

得られた餌動物の構成を個体数で見ると、クモ類が最も多く、次いでコウチュウ目、バッタ目の昆虫が頻繁に食べられていた（図 2-12 上段）。また、得られた餌動物の生物量指標（各餌動物の体長、体幅、体高を乗じた値を合計したもの）をみると、コロギス *Prisopogryllacis japonica* などのバッタ目が最も高く、次いでコウチュウ目、クモ類の順になっていた（図 2-12 下段）。

（4）食物サイズ

野外で強制嘔吐を行ったモリアオガエルの頭胴長は 36~80mm であった。カエルの頭胴長と、その胃から取り出された餌動物の体幅の関係を図 2-13 に示した（消化が進んでサイズを計測できなかったサンプルを除き、計 45 の餌動物について計測した）。餌動物の体幅は 1.3mm から 14.4mm であり、2~4mm のものが多かった。小型の食物としてはフクログモ属不明種やジョロウグモ *Nephila clavata* の幼体などが、大型の食物としてはコフキコガネ *Melolontha japonica*、クロコガネ *Holotrichia kiotoensis*、ニイニイゼミ *Platypleura kaempferi* などがあげられた。カエルの頭胴長と餌動物の体幅の間には有意な正の相関が認められた ($r=0.606$, $N=45$, $P<0.001$)。図 2-13 より、小型のカエルは比較的小さい動物を、大型の個体は大きな動物をそれぞれ食べることが判明した。カエルの頭胴長に対する餌動物の体幅は 2.7~19.2% の範囲内にあり、平均 8.2% であった。モリアオガエルの頭胴長と餌動物の体幅の関係を性・発育ステージ間で比較するために、両変数を

常用対数に変換後、共分散分析を行った。その結果、3 群間で傾きには有意な差は検出されなかったが ($F_{2,39} = 1.629, P = 0.209$)、回帰直線の高さには有意な差が検出された ($F_{2,41} = 4.896, P = 0.012$)。すなわち、同じサイズの性・発育ステージ間で比べるとオスが小さめの食物を捕っていることが分かった (図 2-13)。この図より、オスは、頭胴長が同程度である幼体 (体サイズからほとんどがメス幼体と推測される) に比して小さい食物を捕っていたが、メス成体とオス成体の体サイズは重なりがほとんどないことから、頭胴長が同一の雌雄を直接比較して、それらの食物サイズを比べることはできていない。

同様に、モリアオガエルの口幅と餌動物の体幅との関係を比較するために、図 2-10 の回帰直線を利用してモリアオガエルの頭胴長から口幅を計算し、共分散分析を行った。その結果、3 群間では回帰直線の傾き ($F_{2,39} = 1.629, P = 0.209$)・高さ ($F_{2,41} = 2.178, P = 0.126$) とも有意な差は検出できなかった。つまり、同じ口幅の個体で比較すると、食物サイズには違いが認められなかった。よって、モリアオガエルの性・発育ステージ間の食物サイズの違いは、オスの口幅が他に比較して狭いことによるものと考えられた。

2. 4. 考察

2. 4. 1. 金沢城におけるモリアオガエルの個体数の変動

本研究により明らかになったモリアオガエルの個体数の変動は、概ね次の通りまとめられる。

①かつての高密度安定の時期 (1980 年代から 1994 年)

金沢城が大学として利用されていた時期に相当し、実測の泡巣数は 150~300 程度であった。1984 年から 1988 年にかけて増加傾向が認められたが、この部分については調査精度の上昇 (調査者の慣れ) による可能性もある。1988 年から 1994 年に限定すると、泡巣数は 240~300 程度と安定していた。繁殖は O 池と H 池を中心になされていた。

②減少した時期（1995年から1997年）

大学が移転してから池や校舎などが撤去されるまでの時期に相当し、推定泡巣数は年を追って60程度にまで減少した。O池、Y池、I池は1997年に一斉に撤去されたが、その前から本種の減少傾向が著しく、また調査期間中にずっと存続しているH池でも本種が減少した。モリアオガエルの減少は、池の消失だけではなく環境の悪化、すなわち池が放置され、土砂やリターが厚く堆積して水量が減ったことなどに起因するものと推測される。

③低密度で推移した時期（1998年から2002年）

都市公園としての整備が進められた時期に相当し、内堀など新たに造成された水域で、少数（推定泡巣数50以下）が繁殖するようになった。池の水量は少なく、金沢城内ではさまざまな工事が進められており、モリアオガエルにとって良好な環境ではなかったと考えられる。なお、2000年のみ内堀で多くの泡巣が記録されているが、この原因については不明である。

④増加した時期（2003年から2007年）

都市公園としての整備がほぼ完了してからの数年間に相当し、H池及び内堀における泡巣数が回復し、2007年の泡巣数は再び250個を越えるに至った。各々の止水域は都市公園の水辺としてよく管理され、水量の維持が図られてきた。

⑤近年の高密度安定の時期（2008年から2012年）

都市公園としての整備がほぼ完了してから7、8年後以降の時期であり、泡巣数は250～350でほぼ安定的に推移している。推定産卵数の半分以上が内堀でなされており、近年はここが本種の最も

主要な繁殖場所となっている。この時期には随所で工事がなされているものの、金沢城全体として見ると安定した土地利用がなされ、止水域の形状や水量、周囲の植生なども比較的安定的であると推測される。

1991年には計308個の泡巣が実測され、2010年の泡巣数は350、2012年には300と推定されているが、これらの年を除くと泡巣数は概ね250個までとなっている。金沢城におけるモリアオガエルの環境収容力はメス成体の個体数で概ね250個体であり、それが大学移転と公園造成に伴う池の放置・撤去に伴って一旦減少し、近年、再び回復したものと考えられる。

1995年より、池の撤去や植生の変更に先立ち泡巣数の減少が認められることから、まず池の管理消失に伴う水位低下や腐植質の過剰な堆積等が幼生の生存率を低下させ、1997年以降は繁殖場所の消失が加わって個体数が大きく減少したと考えられた。2002年以降、都市公園としての整備に伴い、モリアオガエルの繁殖場所の水量はそれまでと比べてずっと多くなった。面積の大きい内堀、湿生園、鶴の丸池には植栽種を含む水生植物が豊富に繁茂しており、加えて、他の都市公園でしばしば見られるウシガエル *Rana catesbeiana*、アメリカザリガニ *Procambarus clarkii*、ブルーギル *Lepomis macrochirus* など外来性の捕食者やコイ *Cyprinus carpio* などの大型魚類が不在であり（戸田、未発表）、今のところ、モリアオガエルの生息にとって好適な環境となっているものと考えられる。

図2-4及び表2-7に示す通り、過去27年間のどの時期を見ても常に複数の繁殖場所が存在していた。この間にずっと存在し利用され続けた繁殖場所はH池のみであり、最も多くの産卵がみられる繁殖場所は1998年を境にO池から内堀に移り変わった。モリアオガエルの個体数が大きく減少した1998年から1999年にかけて、H池が撤去されずに存在していたことが本個体群の存続にとって重要な役割を果たした。また、1950年代前半に加藤（1955）が金沢城の本種を調査した

際、少なくとも3箇所の繁殖場所が存在したが、当時本種が最も多く集まった池は1960年代頃に水を抜かれて消失し（奥野良之助，私信）、繁殖場所は他の池（O池など）に移り変わった。このように、金沢城におけるモリアオガエルの繁殖場所は時代とともに移り変わってきたが、常に複数の繁殖場所が存在したことは、この個体群が絶滅を免れてきた重要な要因であると考えられる。

モリアオガエルの泡巣数の経年変化については、群馬県下で長年にわたり調査され、その結果が公表されている（富岡ほか 2001, 2002, 2003, 2004, 2006a, 2006b など）。大峰山古沼における観察の結果、泡巣数は年によって100~1,000個程度で推移しており、10倍程度の変動幅が認められたという。この変動幅は本研究と同程度であり、本種の個体数は年ごとに変動する場合が多いと考えられる。

2. 4. 2. 食性

(1) モリアオガエルに対する強制嘔吐法の妥当性

強制嘔吐法はカエル類の食性調査に際して適用されており（たとえば Hirai & Matsui, 1999）、モリアオガエルに対しても有効な方法とみなされた。触診による胃内容物検出の有効性を評価するために、野外調査終了後の1999年に、飼育下の本種にさまざまなサイズのフタホシコオロギ *Glyllus bimaculatus* の幼虫を与えて触診と強制嘔吐を試みた。その結果、コオロギの体長がカエルの頭胴長の20%以上であった場合は、触診によってその存在を確認して、カエルを傷付けることなくピンセットで胃内容物を取り出すことが可能であることが分かった（戸田，未発表）。ただし、触診においては小型の食物が過小評価され、また軟らかい食物は触診で検出されにくく、また消化が速いことも加わって過小評価されやすいと考えられる。

(2) 食物の選択性

モリアオガエルの食性については、これまでにいくつかの定性的な報告がなされている。青森県八甲田山における調査によれば、カ類やハエ類、バッタ類が多く捕食されており、また場所によって食物の組成が異なっていたという(和田, 1931)。また俵(1989)は青森県で採集された本種のメス1個体を飼育し、さまざまな小動物を与えて、コオロギ類、ハエ類、クモ類などが好まれることを示した。いずれの報告においてもハエ類が好まれているようであるが、本調査においてハエ目は全く出現しなかった。これは、生息地の環境(食物となる動物相)によるものと推測され、モリアオガエルは、環境によってさまざまな食物を捕りうると考えられる。

Hirai & Matsui(1999)は京都府の水田でトノサマガエルの食性を詳細に調べ、アリ類、コウチュウ目、ハエ目、クモ類から他のカエル類まで、多様な食物をあまり選択せずに利用していることを示した。また市川(1951)は、日本産のトノサマガエル、ツチガエル *Glandirana rugosa*、ニホンアカガエル *Rana japonica*、ニホンアマガエル *Hyla japonica* の食性についてまとめ、地上性のアカガエル科の各種はワラジムシなどの陸産甲殻類やミミズ類をよく捕食し、一方例数は少ないものの、樹上性のアマガエルはこれらをほとんど捕らないことを述べている。Hirai & Matsui (2000, 2002) はニホンアマガエルの食性を調べ、アリ類、コウチュウ目、ハエ目、チョウ目幼虫、クモ類などの陸産節足動物を広く捕食していることを報告している。Freed(1980)は室内でアメリカアマガエル *Hyla cinerea* にハエとカを捕食させ、ハエの方が好まれることを見いだした。その理由として、食物の大きさではなく、活動性と捕りやすさによると考察している。本研究においては、モリアオガエルの生息環境にいる昆虫の生息密度や活動性の調査を行っていないが、カエル類の食物の内容は、餌動物との出会いの頻度、捕りやすさ、そしてカエルの選択性などに関連して決まっており、地上、樹上といった生息環境による差異が大きいものと考えられる。

金沢城跡における動物相は、大串(1995)によりまとめられている。本調査においてモリアオガ

エルがよく利用していたバッタ目に着目すると、金沢城跡では 12 科 33 種が記録されている（大串 1995）。このうちコロギス科やキリギリス科の種はよく樹上を利用しており、またコオロギ科やバッタ科の種は地上や草原を利用している。表 2-6 より、モリアオガエルに捕食されていた 5 種のバッタ目昆虫は、全て樹上をよく利用する科に含まれていた。飼育下のモリアオガエルはコオロギ類を好み（俵, 1989; 戸田, 未発表）、金沢城跡にはモリオカメコオロギ *Loxoblemmus sylvestris* をはじめとするコオロギ類が普通に見られるが（大串, 1995）、今回得られたモリアオガエルの胃内容物には含まれていなかった。これより、本種が樹上で生活し、樹上性の餌動物に依存していることがうかがえる。ただし、主に地上でみられるセグロコシビロダンゴムシ *Sphaerillo dorsalis* が胃内容物に含まれていたことから、まれには地上で捕食すると推測される。

Toft(1980)はペルーの熱帯雨林の林床に生息する 13 種のカエル類の食性を調べ、アリ類に代表される、動きの遅い硬い食物をよく捕食する種群（ant specialists）と、バッタ目やクモ類などに代表される、動きの速い軟らかい食物をよく捕食する種群（non-ant specialists）、いずれの食物もあまり選ばずに捕食する種群（generalists）に大別できることを示した。さらに、ant specialists は相対的な口幅が小さく、小型の食物を数多く捕り、non-ant specialists は相対的な口幅が大きく、大型の食物を少数捕ることを見出した。モリアオガエルの口幅（頭胴長に対する口幅の比率は平均で幼体 37.6%、オス成体 34.0%、メス成体 36.4%）は、Toft(1980)の報告した non-ant specialists のそれ（種によって 34.1~40.6%；同論文の表 3 より算出）と同程度であることから、本種はカエル類の中でも相対的に口幅が大きく、体に対して大きい食物を数少なく捕食する種であると考えられる。また、本調査では、金沢城の樹上で普通に見られるアミメアリ *Pristomyrmex pungeus* やトビイロケアリ *Lasius niger* などが胃内容から得られておらず、飼育下で与えられたアリ類を全く捕食しなかったという報告（俵, 1989）もあることから、本種はアリ類を利用しないと考えられる。

Christian(1982)は、アマガエルの一種 *Pseudacris triseriata* のさまざまなサイズの個体を採集し、

剖検によって食物を調べた。その結果、大きい個体ほど大きい食物を捕る傾向があり、また成長が著しい中程度サイズの個体は多数の食物を摂取して成長をまかなっており、1 個体の胃から得られる餌動物の個体数は、17~19mm のもので平均 18.5 匹、25mm 以上のものでも平均 3.4 匹にも達した。この種と比べても、モリアオガエルは比較的大きい食物を少数捕る種であるといえる。

(3) 生活史と食性

Hirai & Matsui(2000)は繁殖期におけるニホンアマガエルの食性を調べ、オスにおいては、繁殖開始後間もない5月には70%近くの個体に胃内容物が見られないが、季節が進行するにつれて胃内容物を持たない個体の割合が下がり、6月には16.5%、7月には10.6%であったことを示した。一方、本研究で調べたモリアオガエルにおいては5月から7月の繁殖期を通して、繁殖場所で確認されるオス成体には胃内容物がほとんど認められないことから、この時期にはあまり捕食しないと考えられる（ただし、先述の通り小型の食物は触診によって検出されず、胃内容物を有する個体の割合は過小評価されている可能性がある）。繁殖に際し、本種のメスはほぼ1日のみ繁殖池に現れ、産卵後は速やかに池から去る（Kusano, 1998）のに対し、オスは何日間も池の周辺に滞在し、くり返して池に出現する（Kasuya et al., 1996）。カエル類は、繁殖場所で鳴くことに多くのエネルギーを費やしており、捕食の危険性が高まるというコスト（Howard, 1978; Ryan, 1985; Mori et al., 1992）もある。さらに本種の場合、体重の6%にも及ぶ巨大な精巣を持ち（Kusano et al., 1991）、繁殖期のオスがほとんど捕食しないのは、口幅が相対的に小さいにことに加え、巨大な精巣が腹腔内を占めているために食物が入る空間が制限されているためかもしれない（本種の精巣は繁殖期の初期に大きく、季節の進行につれて小さくなることが判明しつつある：戸田, 未発表）。以上より、本種のオスの繁殖コストはこれまでに報告されている他のカエル類に比べて大きいことが予想される。

2. 4. 3. モリアオガエルの保全に向けて

本種の生息には森林と止水域が不可欠であり、石川県では丘陵地の雑木林からブナ帯の上部にかけての、自然林や二次林を中心とした場所で確認されている（石川県環境部自然保護課, 1999）。金沢城では大学や都市公園など、人が高度に利用している場所に本種が生息し注目されている。大学移転までは主に防火のために、都市公園になってからは景観形成のためにそれぞれ止水環境が造られ、本種が生息できる条件が継続してきた。金沢城の利用目的が変化してきた中で、どこかで止水環境または森林が消失すれば、本個体群は存続しなかったと考えられる。以下、本研究の結果に基づき、モリアオガエルを保全するために重要な点をまとめる。

①複数の繁殖場所の確保

本種個体群の存続にとって、複数の繁殖場所が存在することは重要な条件であると考えられる。金沢城においては、中心的な繁殖場所であった O 池が消失してから内堀が安定的な繁殖場所となるまでの約 3 年間、H 池が本種の繁殖を支えていた。他の生息地においても、予期しない外来種の侵入などのリスクに対して、複数の繁殖場所があることは、個体群が短期間に消失することの防止に繋がると考えられる。

②繁殖場所の環境維持

1995 年から 1997 年にかけての本種の減少は、池の消失ではなく環境悪化によるものと考えられる。森林に囲まれた小さい止水域は土砂やリターが堆積しやすく、流水域（河川・溪流）と異なり、徐々に埋もれて浅くなる傾向にあると考えられる。浅くなりつつある繁殖場所（池）については、水位低下と富栄養化を防ぐために堆積物を取り除く等の管理をすること等が必要と思われる。その時期は、本種が繁殖を開始する前の春期（3 月から 4 月頃）が適当であろう。

③植生の繋がり維持

本種の保全を図る上で、まとまった森林を分断しないよう維持すること、繁殖場所となる止水域と森林の間の広い道路や無植生帯を少なくして、本種がなるべく移動しやすい土地利用を保つことは重要と考えられる。また、変態後の幼体は高湿度の環境が形成される小凹地（湿地など）の植物上でよく見られることから（戸田、未発表）、このような環境の維持も必要である。

④外来種の侵入防止

両生類の生息を脅かすものとして、捕食性外来種の侵入が挙げられる（松井, 2000; 戸田, 2011）。金田（2011）はアライグマ *Procyon lotor* の侵入によってトウキョウサンショウウオ *Hynobius tokyoensis*、ヤマアカガエル *Rana ornativentris* の個体数が大きく減少したことを報告している。また本郷（1996）は秋田県においてウシガエルが侵入した場所でモリアオガエルが減少したことを報告している。これら 2 種の外来種をはじめ、オオクチバス *Micropterus salmoides*、ブルーギル、アメリカザリガニ等の外来種はモリアオガエルをはじめとする両生類の生息にとって脅威となる。これらの外来種は現在、金沢城には見られないが（戸田、未発表）、モリアオガエルを保全する上で、これらの侵入や高密度化を防ぐことは重要である。

総合考察

(1) グリーンアノール小笠原個体群とモリアオガエル金沢城個体群の比較

本研究では異なる 2 つの地域個体群を対象としてきた。それらの特性には大きな差異があるが、共通点も認められる。各々の個体群は、生物群集・生態系における位置の観点から次のように整理される。

①グリーンアノール小笠原個体群

本種は 1960 年代に小笠原に持ち込まれ、父島では 1980 年代、母島では 1990 年代に急速に広がっており (鈴木, 2000)、小笠原における本種の個体群は約 40 年間の歴史を有する。本種は樹林に依存した生活を送り、自然植生にも見られるが、耕作地や疎林、路傍、林縁といった場所をより選択し、生息環境の点からも人為による影響を強く受けている。

本種は昆虫等を利用する捕食者であり、中大型の鳥類やクマネズミ等に捕食される、概ね二次の消費者であると考えられる (大河内, 2009)。世界遺産一覧表記載推薦書によれば、小笠原諸島には外来種 6 種を含む 8 種の爬虫類・両生類が記録されているが (日本政府, 2010; http://ogasawara-info.jp/pdf/isan/recommendation_ja.pdf; 2014 年 5 月 31 日確認)、父島、母島では本種は頻繁に見られ、優占的な種である (図 I)。本種は食物連鎖を通して他の在来種、外来種と関わっており、高い生息密度と相まって小笠原の生物群集を大きく変化させてきた。

②モリアオガエル金沢城個体群

金沢城は周囲を市街地に囲まれ、モリアオガエルが外から加入してくる状況にはなく、この個体群は隔離個体群と考えられる。生息環境である止水域、森林とも人為的に造り出されたものであり、防火用水や修景用の堀・池など、人が利便のために造成した止水環境が、偶然にも本種の繁殖

に適していた点に注意すべきである。この個体群は、土地利用の変化によって容易に消滅する可能性を有している。

本種の幼体・成体については昆虫等の捕食者であり、概ね二次の消費者であると考えられる。(図Ⅱ)。金沢城には21種の爬虫類・両生類が記録されているが(戸田, 1992)、かつて多数が生息していたヒキガエルが消滅した1980年代以降、モリアオガエルはここで最も優勢な、個体数の多い種として存在しており(大串, 1995)、食物連鎖においても重要な役割を果たしていると考えられる。

アノールとモリアオガエルとは、昆虫を主食とする二次消費者である点、主に樹上で生活する点も共通である。一方で、繁殖様式等における差異は大きい。密度や繁殖力といった個体群パラメータを含めて、これらの個体群の対比を表Ⅰにまとめた。

(2) 個体群特性の把握と生物多様性保全の接点

生息密度や個体数など個体群の特性を示す数量データは、当該地域における個体群管理(ここでは保全または防除)対象の実態を示すものであり、管理の数値目標となる。保全対象とすべき種については、減少傾向にないかどうか、再生産が順調であるか等、個体群の現状と動向を把握して減少要因を取り除くことが必要となる。同様に、防除の対象となっている外来種についても、個体群の現状と過去からの動向を明らかにした上で、防除の計画を立ててそれを適切に実行することが望まれる。

個体群の現状・動態の把握と生物多様性の保全を繋ぐために最も重要なものは、個体群管理の方向性を検討し、具体的な手法を決める参考になるデータであり、それらは次のように整理される。

①環境利用に係るデータ

生息地と個体群の繋がりを示すデータであり、当該種が、生活史の段階(卵、幼生、幼体、成体)

ごとに必要とする環境の種類やある地域におけるそれらの環境の配置等を指す。

②個体群の構造と生物季節、年次変動

性比や寿命、生存率などの個体群構造に係るデータ、季節移動、繁殖期など年周活動に関するデータ、経年的な個体数変動など個体数の安定、変動等の現況を示すデータを含む。

③人と当該生物の関わり

利用の有無と利用形態、被害の有無と形態、駆除の有無、文化的な関わり（地方名の有無、祭事に使われる等）などを含むデータを指す。

以上のようなデータを整えた上で、近縁種の個体群や他地域における同種個体群の状況も参考に、管理の目標を検討することになる。

（3）個体群管理のための「応用爬虫両生類学」に向けて

三浦（2008）によれば、シカなど哺乳類の個体群管理においては、生息密度と被害の実態を把握し、それに基づき目標・指標を設定して、個体数管理（たとえば駆除）を実施し、密度・被害実態をモニタリングしつつ、順応的に次の段階の管理を決めるべきという。駆除個体数と被害量は把握しやすいのに対して、野外の生息密度や生息個体数はなかなか正確に把握できないことから、被害量の増減を見ながら次の段階の駆除数を調整することが重要とされている。シカ、イノシシ等の野生鳥獣による農作物の被害は、平成 22 年だけでも全国で 239 億円とされており（農林水産省・農林水産基本データ集(2012 年 7 月) ; <http://www.maff.go.jp/j/tokei/sihyo/data/21.html>)、被害をもたらす鳥獣の個体数管理を科学的、客観的な立場から支えるための野生動物管理学が重視されてい

る。

一方、先述の通り人との関係が希薄であった爬虫類・両生類においては、応用的な分野、特に防除に関する分野は未発達であった。しかし、外来の爬虫類・両生類が随所で問題視されている状況から、今後、防除に関する研究の必要性がさらに増してゆくものと思われる。

爬虫類・両生類の保全や防除のし難さは、その生理学的、行動学的な性質にも起因する。外温性であるこれらの種群は高い体温を維持する必要がないため、単位体重・時間当たりにより必要とするエネルギーは哺乳類・鳥類に比べてはるかに少なくて済み、食物を探して活動する時間が短い傾向にある。関連して、長期間の絶食に耐えて生存できる種が多い。昼行性のトカゲ類であれば晴れた日中、カエル類であれば雨上がりの夜間など、種群ごとに活発に活動する天候と時間帯が概ね決まっており、それ以外の時間帯には物陰に潜んでおりほとんど発見できない。物資に混入しやすく飢餓に強いという性質から、一部の爬虫類・両生類は分布域外に非意図的に持ち出されて外来化しやすく、ひとたび定着すると防除は容易でない。

以上のように、爬虫類・両生類の個体群を管理するには、哺乳類や鳥類とは異なった考え方や技術を準備する必要があり、現在、その技術が必要とされている。ここでは、爬虫類・両生類の個体群管理を取り扱う学問分野を「応用爬虫両生類学 applied herpetology」と称したい。そして本研究は、その端緒をなすものとして位置づけられる。

(4) 本研究の意義

①個体群の実態解明の重要性

本研究においては、対象とする個体群の構造と動態を詳しく記載することができた。すなわち、卵から成体までの各年齢級の野外での生存率や、寿命、性比、生息密度とその経年変化などを明らかにできた。また、生息密度の増減を含む生息状況を長期間にわたり追跡して、個体群の動態を明

らかにできた。これらの個体群の構造及び動態の詳細な記述は、日本産の爬虫類・両生類においてそれほど多くの前例がないが、個体群の管理において重要な項目といえる。

以下、グリーンアノールとモリアオガエルの両個体群について、本研究の科学的意義をまとめる。

②小笠原のグリーンアノール

a) 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同等の生態学的な研究は皆無である。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が明確にされた。

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、それゆえに本種のメス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。

b) 社会的意義

個体群のシミュレーションの結果、メスの初期密度が1ha当たり5,000個体という極端な高密度条件であっても、毎年90%の捕獲を続ければ4年以内での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。

環境省が実施する「小笠原地域自然再生事業（2008年～2013年）」に対し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。関連して、本研究の成果は、環境省が実施する「小笠原国立公園特定外来生物重点防除事業（2008年～2013年）」にも活用された。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。

本研究における「地域的根絶のための基本的な考え方」は、外来生物による影響に対して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種の防除について立案、実行する際に基本となる内容を含んでいると考えられる。本研究で提案された保全方策が実施されることにより、生物多様性国家戦略の「国別目標」として挙げられている「侵略的外来種への対策（国別目標B-4）」の達成に寄与し、もってわが国全体の生物多様性の維持向上に資するものと考えられる（環境省、2012; http://www.biodic.go.jp/biodiversity/about/initiatives/files/2012-2020/01_honbun.pdf; 2014年5月31日確認）。

③金沢城のモリアオガエル

a) 科学的意義

本研究においては、標識再捕法に基づく個体の成長、成熟の確実な記録を提示することができた。すなわち、変態上陸直後の約 3,500 個体に集団標識を施し、さらに成体の標識再捕法を用いた調査と組み合わせることによって、確度の高い個体追跡をすることができた。日本に生息する両生類において経年的な生存率等が調べられている種はほとんどない。特に、アオガエル科の種についての個体群生態学的な研究例は、国際的に見てもほとんど存在しない。また、30 年間近くに及ぶ野外調

査の結果、長期間にわたる生息環境の変化と野外個体群の動態が明らかにされた。本研究は、両生類の野外個体群を対象とした、最も長期に及ぶ観測例のひとつと考えられる。

b) 社会的意義

現地調査及び聞き取り調査による長期的な生息状況把握の結果、金沢城における本種の繁殖場所は数回にわたり変化しており、常に複数の止水域が繁殖場所として機能してきたことが分かった。金沢大学の移転に伴って主要な繁殖場所が消失してもモリアオガエル個体群が消滅しなかった理由として、複数の止水域が点在していたことが挙げられる。このように、中心となる繁殖場所を整備して、その周囲に複数の繁殖場所を配置するというデザインは、両生類の保全について立案、実行する際に参考となるものと考えられる。また、本種の繁殖場所の特性から、本種の繁殖に必要と考えられる環境条件を取りまとめた。この結果は、止水性両生類の保全に係る参考資料として有用であると考えられる。

これらの保全方策が実施されることにより、生物多様性国家戦略の「国別目標」として、「陸域・陸水域等の適切な保全・管理（国別目標 C-1）」、「絶滅のおそれのある種の保全（国別目標 C-2）」の達成に寄与し、もってわが国全体の生物多様性の維持向上に資するものと考えられる（環境省、2012; http://www.biodic.go.jp/biodiversity/about/initiatives/files/2012-2020/01_honbun.pdf; 2014年5月31日確認）。

謝辞

金沢大学・地域連携推進センターの中村浩二特任教授、環日本海域環境研究センターの木下栄一郎准教授には、本調査の進め方についてご示唆をいただき、本論文の取りまとめについてご指導いただいた。一般財団法人自然環境研究センターの小林光上級研究員（当時）には、在職中にタイミングよく本論文を取りまとめることを強く推奨していただいた。日本爬虫両棲類学会の草野保、福山欣司、長谷川雅美、松井正文、太田英利、森哲、森ローの先生方には、私が爬虫類・両生類の研究を進める上でいつも叱咤激励をいただいた。一般財団法人自然環境研究センターの先輩・同僚である故・千石正一、高橋洋生、中川直美、高藤裕二、鋤柄直純、秋田耕祐、戸金大、常田邦彦、安藤慶子、岩城光、近藤めぐみの各氏は、調査をともに設計・実施し、またはデータ解析や英文作成等に尽力いただき、当財団のチームワークとしての成果を私個人の学位論文に使用させていただいた。ここに記して深謝いたします。

本稿第 1 部（小笠原のグリーンアノール）について

第 1 部の内容は、下記の研究で得られたデータに基づいている。

- 地球環境総合研究推進費「F-51 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」2005～2009 年・課題代表；大河内勇（独立行政法人森林総合研究所）サブテーマ 5・グリーンアノールの生息実態と地域的根絶手法（担当・戸田光彦）
- 地球環境研究総合推進費「D-1101 外来動物の根絶を目指した総合的防除手法の開発」2011～2013 年・課題代表；五箇公一（国立環境研究所）サブテーマ 3・グリーンアノールの生物学的特性に基づく防除戦略開発（担当・戸田光彦）

さらに、環境省関東地方環境事務所より自然環境研究センターが受託した小笠原国立公園特定外来生物（グリーンアノール等）重点防除事業、ならびに小笠原地域自然再生事業両生爬虫類対策調査

業務の成果を含んでいる。現場でグリーンアノールの研究及び防除を進める際に、環境省小笠原自然保護官事務所の中山隆治首席自然保護官には多くのご示唆をいただいた。株式会社シー・アイ・シーの小松謙之氏には、飼育実験について全面的にご協力いただいた。東海大学札幌校舎の竹中踐教授、尾園写真事務所の尾園暁氏には、野外調査等にご協力いただいた。

本稿第2部（金沢城のモリアオガエル）について

一連の研究に際して、金沢大学名誉教授の大串龍一先生には毎年の調査の便宜を図っていただき、また毎年のように現地調査にご同行いただいた。金沢大学助教授（当時）の故・奥野良之助先生には、ニホンヒキガエルの生態調査を通じた金沢城の環境特性、かつてからの環境の変化についてご教示いただき、両生類の野外生態調査法について詳しくご教示いただいた。金沢大学理学部附属植物園（当時）の故・里見信生園長、清水建美園長には植物園の使用を許可いただき、また金沢城に生育する植物についてご教示いただいた。石川県金沢城・兼六園管理事務所（当時）の猿田秀一金沢城公園課長をはじめ歴代の公園課長には、調査の便宜を図っていただき、金沢城の池の水管理等についてご教示いただいた。金沢大学理学部生物学科（当時）の佐藤卓也氏には1993年・1994年の現地調査を実施していただき、金沢城のモリアオガエルの保全に関する提言について有益なご意見をいただいた。大野正男氏、宮崎光二氏、徳本洋氏には、文献の入手等についてたいへんお世話になった。同学科の先輩・同級生である高橋久、門脇正史、石塚徹、内海健一、浜順二、瀬尾和久をはじめとするの各氏には、研究に関連するさまざまな議論にお付き合いいただき、1980年代の野外調査にご協力いただいた。また金沢城における歴代の警備員の方々には、城内における環境変化についてご教示いただいた。あわせて厚く感謝いたします。

最後に、私の家族である戸田咲子・さやか・春樹にも適時励まされた。合わせてお礼いたします。

引用文献

- Akçakaya, H. R., Burgman, M. A. & Ginzburg, L. R. 1999. *Applied Population Ecology: Principles and computer exercises using RAMAS EcoLab 2.0*. Sinauer Associates, Sunderland. (楠田尚史・小野山敬一・紺野康夫 訳 2002, 東京)
- Andrews, R. M. 1985. Oviposition frequency of *Anolis carolinensis*. *Copeia* 1985(1): 259-262.
- Autumn, K., Sitti, M., Liang, Y. A., Peattie, A. M., Hansen, W. R., Sponberg, S., Kenny, T. W., Fearing, R., Israelachvili, J. N. & Full, R. J. 2002. Evidence for van der Waals adhesion in gecko setae. *PNAS* 99(19): 12252-12256.
- Christian, K. 1982. Changes in the food niche during postmetamorphic ontogeny of the frog *Pseudacris triseriata*. *Copeia* 1982(1): 73-80.
- Freed, A. N. 1980. Prey selection and feeding behavior of the green treefrog (*Hyla cinerea*). *Ecology* 61(3): 461-465.
- Hasegawa, M., Kusano, T. & Miyashita, K. 1988. Range Expansion of *Anolis c. carolinensis* on Chichi-jima, the Bonin Islands, Japan. *Japanese Journal of Herpetology* 12(3): 115-118.
- Hayashi, F., Shima, A. & Suzuki, T. 2009. Origin and Genetic Diversity of the Lizard Populations, *Anolis carolinensis*, Introduced to the Ogasawara Islands, Japan. *Biogeography* 11: 119-124.
- Hirai, T. 2004. Diet composition of introduced bullfrog, *Rana catesbeiana*, in the Mizorogaike Pond of Kyoto, Japan. *Ecological Research* 19: 375-380.
- Hirai, T. & Matsui, M. 1999. Feeding habits of the pond frog, *Rana nigromaculata*, inhabiting rice field in Kyoto, Japan. *Copeia* 1999(4): 940-947.
- Hirai, T. & Matsui, M. 2000. Feeding habits of the Japanese tree frog, *Hyla japonica*, in the

- reproductive season. *Zoological Science* 17: 977-982.
- Hirai, T. & Matsui, M. 2002. Feeding relationships between *Hyla japonica* and *Rana nigromaculata* in the rice fields of Japan. *Journal of Herpetology* 36(4): 662-667.
- 疋田努. 2002. 爬虫類の進化. 東京大学出版会, 東京
- Howard, R. D. 1978. The evolution of mating strategies in bullfrogs, *Rana catesbeiana*. *Evolution* 32: 850-871.
- 市川衛. 1951. 食性. 蛙学, pp.153-155. 裳華房, 東京.
- 石川県. 2011. 石川県生物多様性戦略ビジョントキが羽ばたくいしかわを目指してー. 石川県, 金沢.
- 石川県観光交流局交流政策課. 2010. 統計からみた石川県の観光 (平成 20 年). 石川県, 金沢.
- 石川県環境部自然保護課. 1999. 新版・石川の動植物. 石川県, 金沢.
- 金井郁夫. 1982. モリアオガエルの生態と観察. ニュー・サイエンス社, 東京.
- 金田正人. 2011. 外来生物アライグマに脅かされる爬虫両生類. 爬虫両棲類学会報 2011(2): 148-154.
- 環境庁編. 1993. 日本産野生生物目録. 無脊椎動物編 I. 自然環境研究センター, 東京.
- 環境庁編. 1995. 日本産野生生物目録. 無脊椎動物編 II. 自然環境研究センター, 東京.
- 環境庁編. 1998. 日本産野生生物目録. 無脊椎動物編 III. 自然環境研究センター, 東京.
- 環境省自然環境局野生生物課編. 2006. 改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物ーレッドデータブックー 5. 昆虫類. 自然環境研究センター, 東京.
- 環境省自然環境局野生生物課. 2011. 改訂レッドリスト付属説明資料: 爬虫類・両生類. P8.
- 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. 爬虫両棲類学会報 2005(2): 163-168.

- 荏部治紀・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）. 小笠原における昆虫相の変遷—海洋島の生態系に対する人為的影響—, pp. 21-30. 神奈川県立生命の星・地球博物館, 小田原.
- Kasuya, E., Shigehara, H. & Hirota, M. 1987. Mating aggregation in the Japanese treefrog, *Rhacophorus arboreus*. *Zoological Science* 4: 693-697.
- Kasuya, E., Hirota, M. & Shigehara, H. 1996. Reproductive behavior of the Japanese treefrog, *Rhacophorus arboreus*. *Researches on Population Ecology* 38: 1-10.
- Kasuya, E., Kobayashi, T., Ootaki, M., Oota, N. & Takada, A. 1997. Female preference for temporal features of vocalization in the Japanese treefrog, *Rhacophorus arboreus*. *Journal of Ethology* 15: 103-108.
- 加藤憲一. 1955. 産卵期におけるモリアオガエルの生態について・第1報. *日本生態学会誌* 5: 70-73.
- 加藤憲一. 1956. 産卵期におけるモリアオガエルの生態について・第2報:産卵時の行動・その他. *日本生態学会誌* 6: 57-61.
- Kusano, T. 1998. A radio-tracking study of post-breeding dispersal of the treefrog, *Rhacophorus arboreus* (Amphibia: Rhacophoridae). *Japanese Journal of Herpetology* 17: 98-106.
- Kusano, T., Toda, M. & Fukuyama, K. 1991. Testes size and breeding systems in Japanese anurans with special reference to large testes in the treefrog, *Rhacophorus arboreus* (Amphibia: Rhacophoridae). *Behavioral Ecology and Sociobiology* 29: 27-31.
- Lovern, M. B. & Adams, A. L. 2008. The effects of diet on plasma and yolk steroids in lizards (*Anolis carolinensis*). *Integrative and Comparative Biology* 48: 428-436.
- Lovern, M. B., Holmes, M. M. & Wada, J. 2004. The green anole (*Anolis carolinensis*): a model

- for laboratory studies of reproductive biology and behavior. *ILAR Journal* 45(1): 54-64.
- Losos, J. B. 2009. *Lizards in an Evolutionary Tree: Ecology and Adaptive Radiation of Anoles (Organisms and Environments)*. University of California Press, Berkeley.
- 前田憲男・松井正文. 1999. 改訂版・日本カエル図鑑. 文一総合出版, 東京
- 榎原寛・北島博・後藤秀章・加藤 徹・牧野 俊一. 2004. グリーンアノールが小笠原諸島の昆虫相、特にカミキリムシ相に与えた影響—昆虫の採集記録. 森林総合研究所研究報告 3: 165-183.
- 松井正文. 1996. 両生類の進化. 東京大学出版会, 東京.
- 松井正文. 2000. ホクリクサンショウウオ. 改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物—レッドデータブック—(爬虫類・両生類)(環境省編), pp.74-75. 自然環境研究センター, 東京.
- Michaud, E. J. & Echternacht, A. C. 1995. Geographic Variation in the Life History of the Lizard *Anolis carolinensis* and Support for the Pelvic Constraint Model. *Journal of Herpetology* 29(1): 86-97.
- 三浦慎悟. 2008. ワイルドライフ・マネジメント入門—野生動物とどう向きあうか. 岩波書店, 東京.
- 宮下和喜. 1991. グリーンアノールの分布拡大とオガサワラトカゲの生息状況. 第2次小笠原諸島自然環境現況調査報告書(東京都立大学小笠原研究委員会編), pp.182-184. 東京都立大学, 東京.
- Mori, A., Toda, M., Kadowaki, S. & Moriguchi, H. 1992. Lying in Ambush for Nocturnal Frogs: Field Observations on the Feeding Behavior of Three Colubrid Snakes, *Elaphe quadrivirgata*, *E.climacophora*, and *Rhabdophis tigrinus*. *Japanese Journal of Herpetology* 14 (3): 107-115.
- 日本政府. 2010. 世界遺産一覧表記載推薦書・小笠原諸島. 日本政府, 東京.
- 大串龍一. 1995. 城跡の自然誌. 十月社, 金沢.
- 大河内勇. 2009. 小笠原諸島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.

Okochi, I., Yoshimura, M., Abe, T. & Suzuki, H. 2006. High population densities of an exotic lizard, *Anolis carolinensis* and its possible role as a pollinator in Ogasawara Islands. Bulletin of FFPRI 5(1): 265-269.

奥野良之助. 1986. ニホンヒキガエル *Bufo japonicus japonicus* の自然誌的研究 X II. 生息場所集団の年齢構成と個体数変動. 日本生態学会誌 36: 153-161.

Porter, K. R. 1972. *Herpetology*. W. B. Saunders Company, Philadelphia.

Rice, W. R. 1989. Analyzing tables of statistical tests. *Evolution* 43: 223-225.

Ryan, M. J. 1985. *The tungara frog: A study in sexual selection and communication*. The University of Chicago Press, Chicago.

Savage, J. M. 2002. Anoles. In *The Amphibians and Reptiles of Costa Rica: A Herpetofauna between Two Continents, between Two Seas*, pp.446-449. The University of Chicago Press, Chicago.

Socci, A. M., Schlaepfer, M. A., & Gavin, T. A. 2005. The importance of soil moisture and leaf cover in a female lizard's (*Norops polylepis*) evaluation of potential oviposition sites. *Herpetologica* 61: 233-240.

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. 奈良女子人間文化研究科生活環境学専攻・平成 11 年度学位論文. 奈良女子大学, 奈良.

俵昌芳. 1989. 飼育下におけるモリアオガエルの摂食行動. 採集と飼育 51(6): 248-251.

戸田光彦. 1992. 金沢大学丸の内キャンパスで記録された両生類、爬虫類. 金沢大学理学部附属植物園年報 15: 17-23.

戸田光彦. 2011. 爬虫両生類を巡る外来生物問題の現在. 爬虫両棲類学会報 2011(2): 128-136.

- 戸田光彦・吉田剛司. 2005. 爬虫類・両生類における外来種問題. 爬虫両棲類学会報 2005(2): 139-149.
- 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.
- Toda, M., Takahashi, H., Nakagawa, N. & Sukigara, N. 2010. Ecology and Control of the Green Anole (*Anolis carolinensis*), an Invasive Alien Species on the Ogasawara Islands. In *Restoring the Oceanic Islands Ecosystem*. (eds. K. Kawakami & I. Okochi.), pp.145-152. Springer, New York.
- Toft, C. A. 1980. Feeding ecology of thirteen syntopic species of anurans in a seasonal tropical environment. *Oecologia* 45: 131-141.
- 富岡克寛・広瀬文男・金井賢一郎. 2001. 群馬県大峰山古沼におけるモリアオガエルの 2000 年の産卵調査. *Field Biology* 11: 1-8.
- 富岡克寛・広瀬文男・金井賢一郎. 2002. 群馬県大峰山古沼におけるモリアオガエルの 2001 年の産卵調査. *Field Biology* 12: 15-20.
- 富岡克寛・広瀬文男・金井賢一郎. 2003. 群馬県大峰山古沼におけるモリアオガエルの 2002 年の産卵調査. *Field Biology* 13: 11-15.
- 富岡克寛・広瀬文男・金井賢一郎. 2004. 群馬県大峰山古沼におけるモリアオガエルの 2003 年の産卵調査. *Field Biology* 14: 10-14.
- 富岡克寛・広瀬文男・金井賢一郎. 2006a. 群馬県大峰山古沼におけるモリアオガエルの 2004 年の産卵調査. *Field Biology* 15: 18-20.
- 富岡克寛・広瀬文男・金井賢一郎. 2006b. 群馬県大峰山古沼におけるモリアオガエルの 2005 年の産卵調査. *Field Biology* 15: 21-23.

和田干蔵. 1931. 八甲田山に於ける青蛙の研究, pp.174. 斎藤報恩會學術研究總務部出版, 仙台.

Yoshimura, M. & Okochi, I. 2005. A decrease in endemic odonates in the Ogasawara Islands, Japan. Bulletin of FFPRI 4(1): 45 - 51.

図表及び図表説明



図 1-1 グリーンアノールの成体
上：オス成体。
下：オス（下）はメスより一回り大きい。

Fig. 1-1. Adult green anoles.
Top: Adult male.
Bottom: Male (bottom) is larger than female.



図 1-2 グリーンアノール調査地の景観
森林、苗畑などからなる。2004年9月撮影。

Fig. 1-2. Landscape at the green anole study site.
The study site contains forests and forestry nurseries (Photo taken in September 2004).

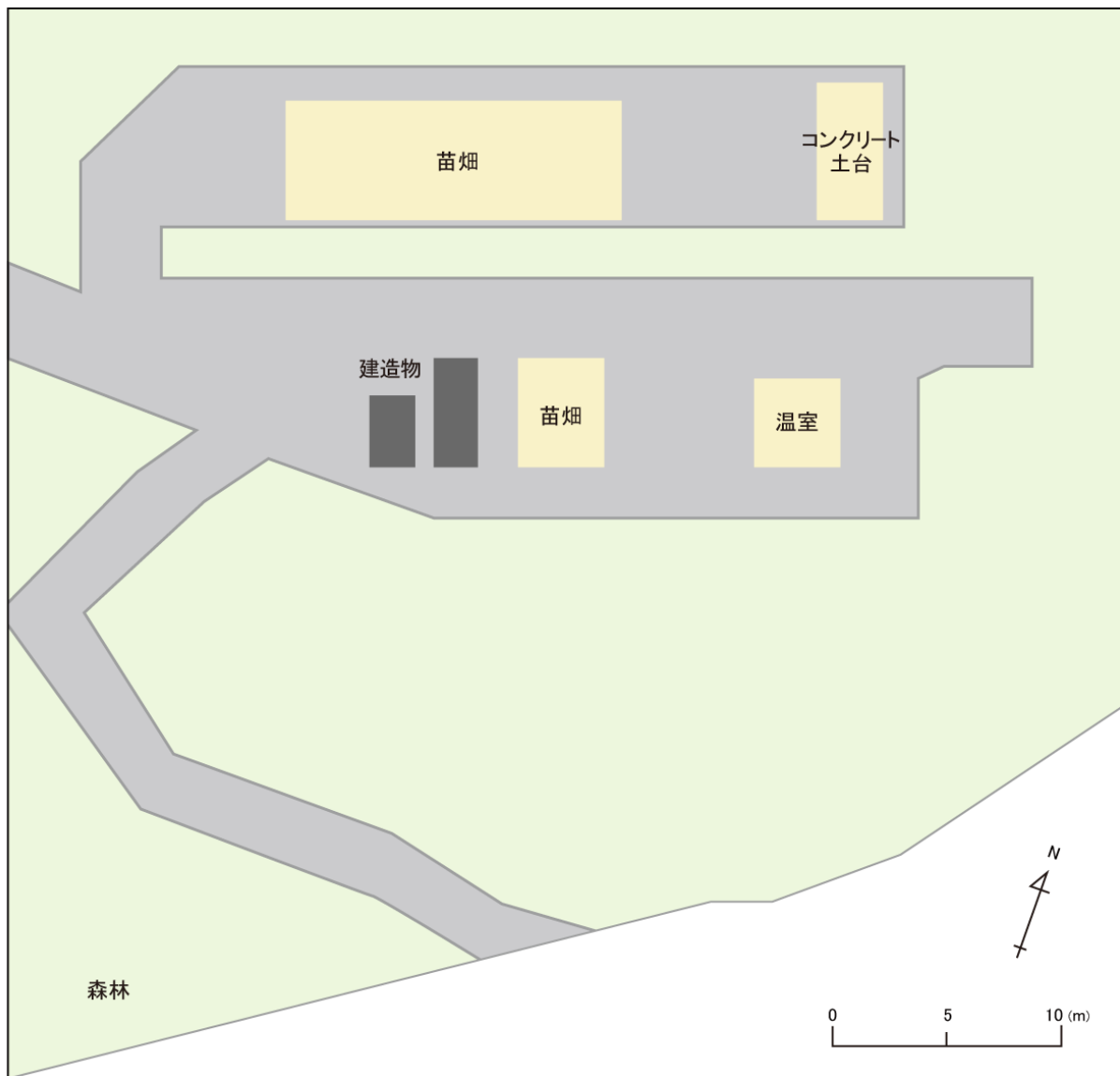


図 1-3 グリーンアノール調査地の地図
薄緑色の部分は森林を、灰色の部分は空き地を示す。

Fig. 1-3. Map of the green anole study site.
Light green indicates forests. Gray indicates open space.



図 1-4 グリーンアノールの飼育施設

網室にアノールを放飼し、約 2 週間に 1 度、植木鉢内等を詳しく調べて卵（下写真）を取り出した。

Fig. 1-4. Facility for captive study of green anoles (top), and a collected egg (bottom).

The green anoles were released into a wire mesh cage. About once every 2 weeks, the spaces in the cage and inside the pots were carefully checked and all eggs found were collected.

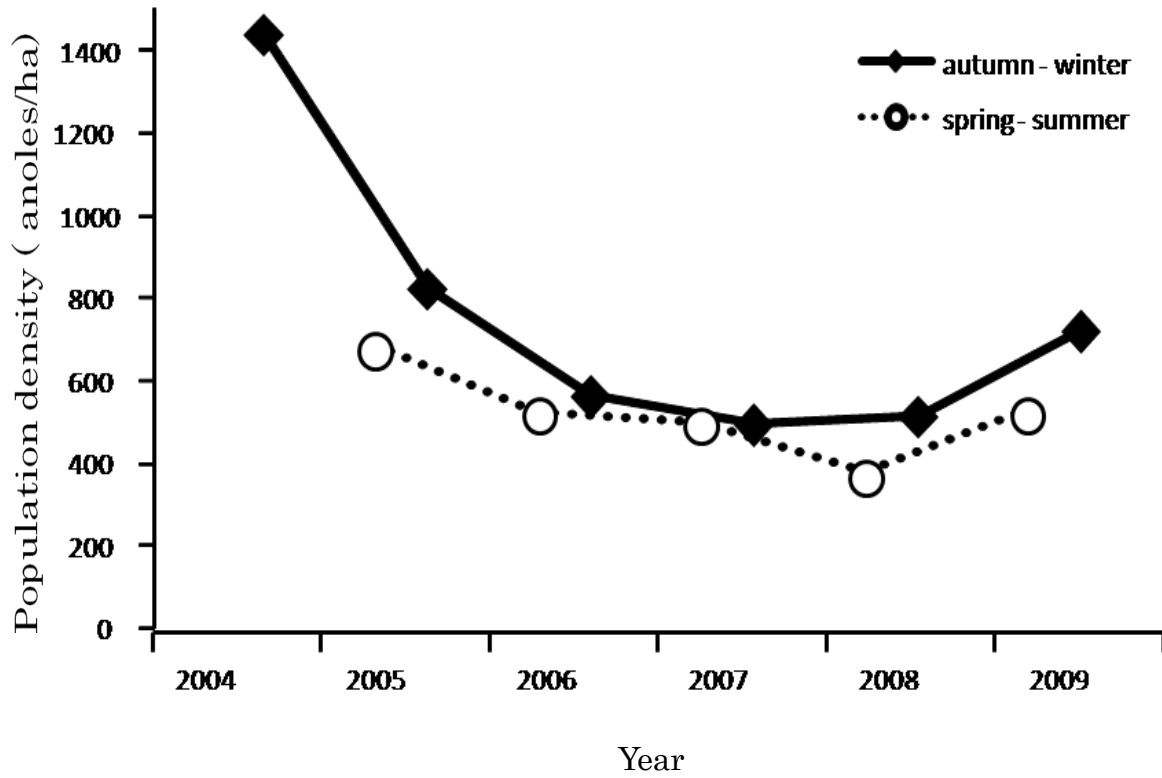


図 1-5 父島・清瀬におけるグリーンアノールの推定密度の経年変化

Fig. 1-5. Yearly changes in the estimated population density of green anoles in Kiyose, on Chichijima Island.

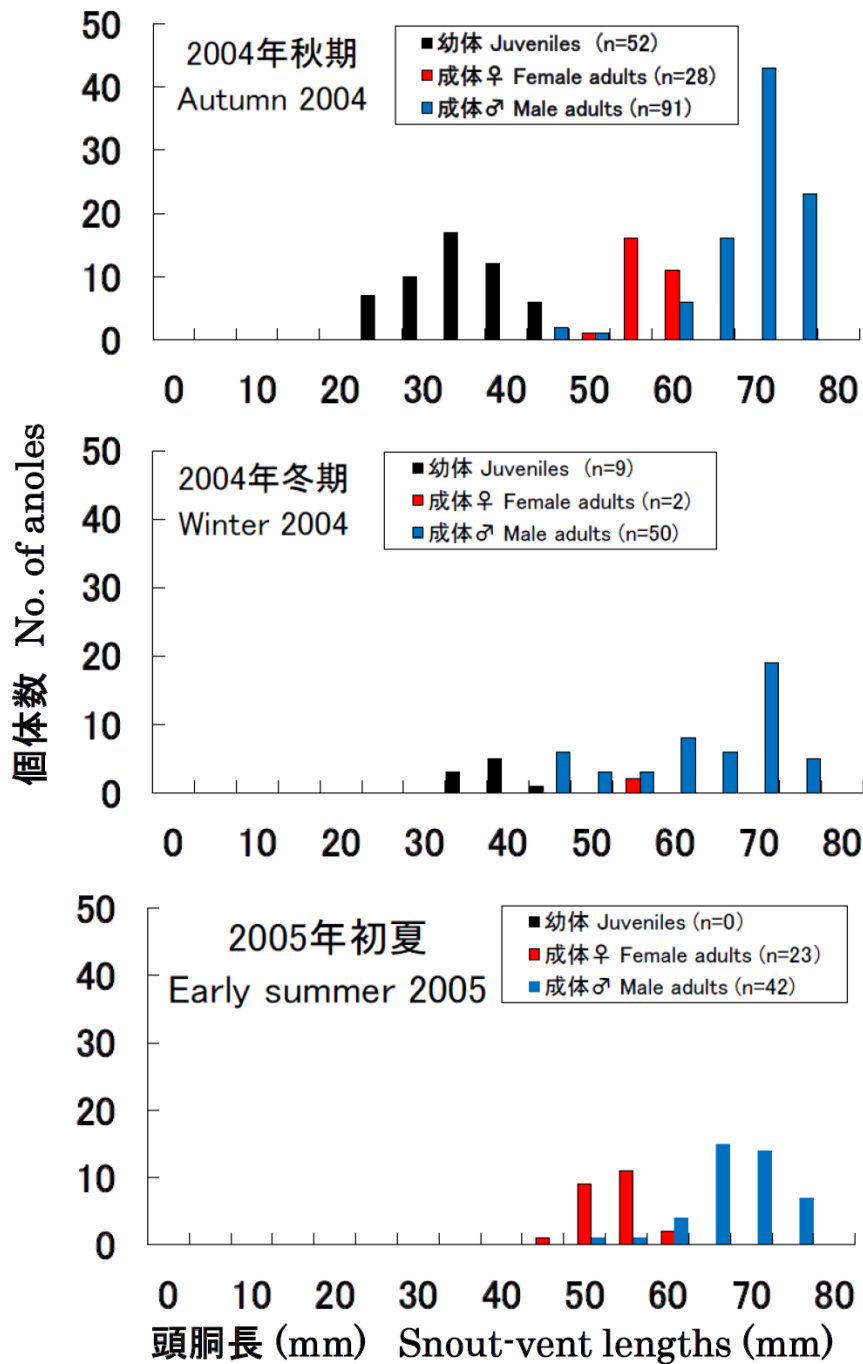


図 1-6 秋から翌年初夏にかけての頭胴長のヒストグラム

秋（9月から10月）には25～30mm程度の幼体が多く見られるが、初夏（6月）には確認されない。

Fig. 1-6. Histograms of snout-vent lengths (SVL) of green anoles from autumn to the subsequent summer.

Many juvenile anoles approximately 25 to 30 mm long emerged in autumn (September and October), but none was found in June.

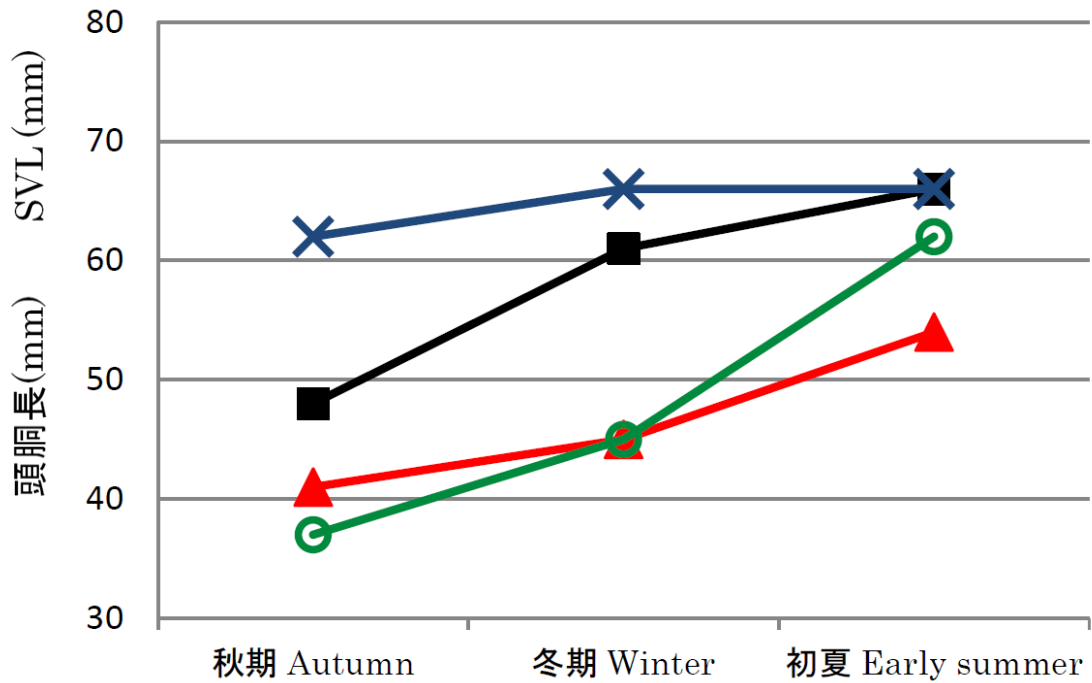


図 1-7 野外における標識個体の成長例

秋（9月から10月）に頭胴長 40mm 程度であった幼体が、翌年の初夏（6月）までに 50~60mm に成長していた。

Fig. 1-7. Examples of the growth of marked green anoles in the field.

A juvenile with snout-vent length (SVL) of approximately 40 mm in autumn (September and October) grew to about 50 to 60mm SVL by the subsequent summer (June).

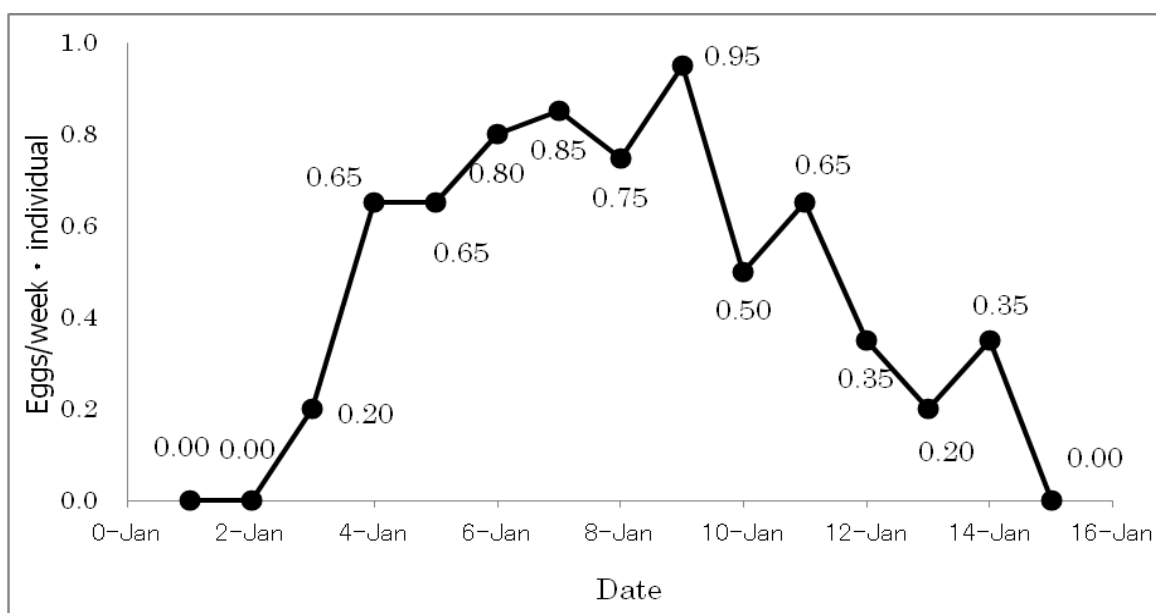


図 1-8 飼育下におけるメス 1 個体当たりの産卵頻度の季節的推移
 横軸は季節 (4 月から 10 月まで)、縦軸は 1 メス・1 週間当たりの産卵数を示す。

Fig. 1-8. Seasonal changes in the egg-laying frequency of green anoles in captivity.

The horizontal axis indicates the season (April to October) and the vertical axis indicates the number of eggs laid by one female per week.

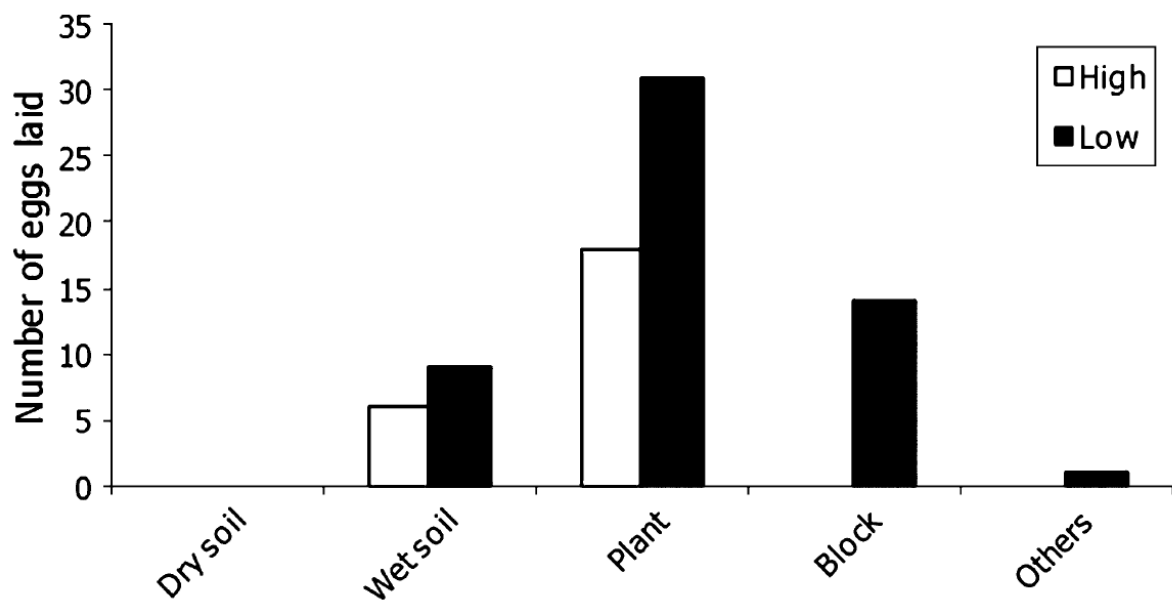


図 1-9 基質ごとのグリーンアノールの産卵数
 ブロックについては低所のみを設置した。

Fig. 1-9. Substrate preferences of green anoles for egg-laying.
 Concrete blocks were placed at lower places close to the ground only, and were not placed at higher places.

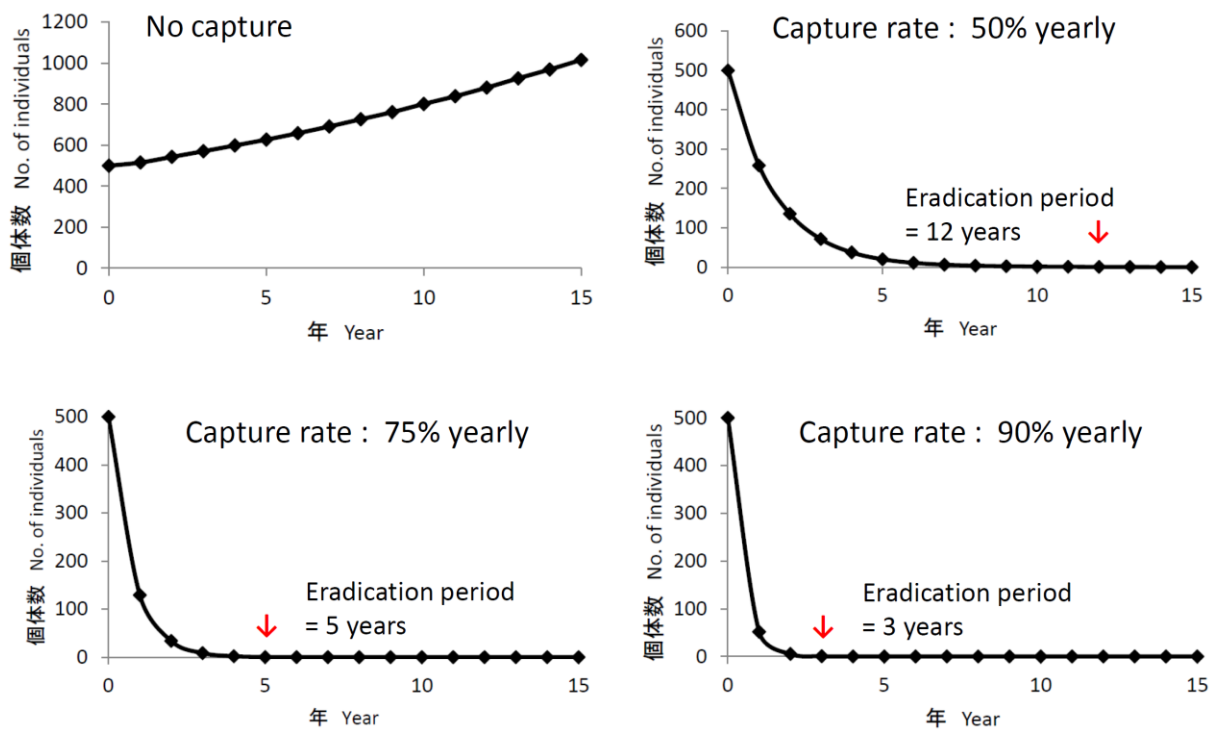


図 1-10 毎年捕獲率が異なる場合のアノール個体群動態の予測
初期個体数はいずれも 500 個体。横軸は期間（年）、縦軸は個体数。

Fig. 1-10. Estimated green anole population dynamics with different capture rates.

The initial number of green anoles is 500. The horizontal axis indicates the period (in number of years) and the vertical axis indicates the number of individuals.

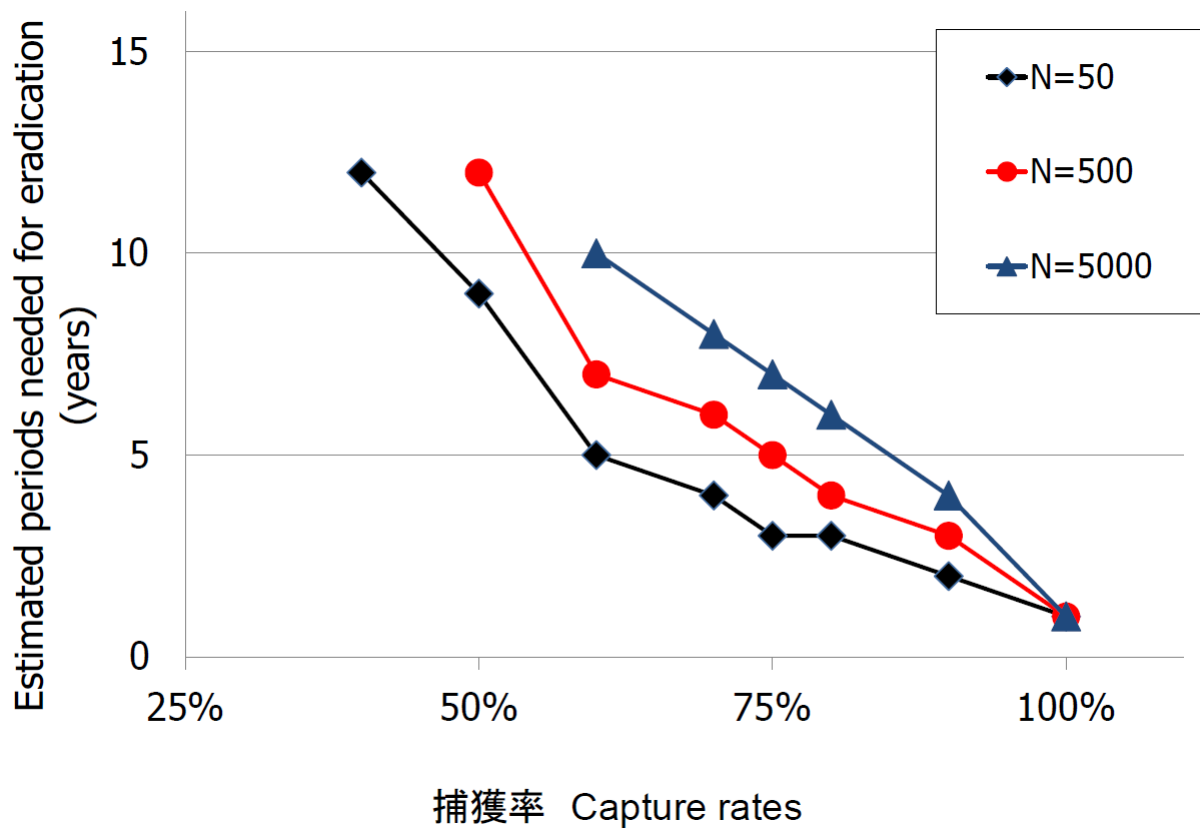


図 1-11 異なる初期個体数と捕獲率を設定した場合の、根絶達成までの予測期間
凡例は初期個体数。横軸は毎年の捕獲率、縦軸は予測される根絶達成までの期間。

Fig. 1-11. Estimated periods needed for eradication according to different initial numbers and yearly capture rates.

Key indicates the initial number of individuals. Horizontal axis indicates the yearly capture rate, and vertical axis indicates the estimated number of years needed for eradication.

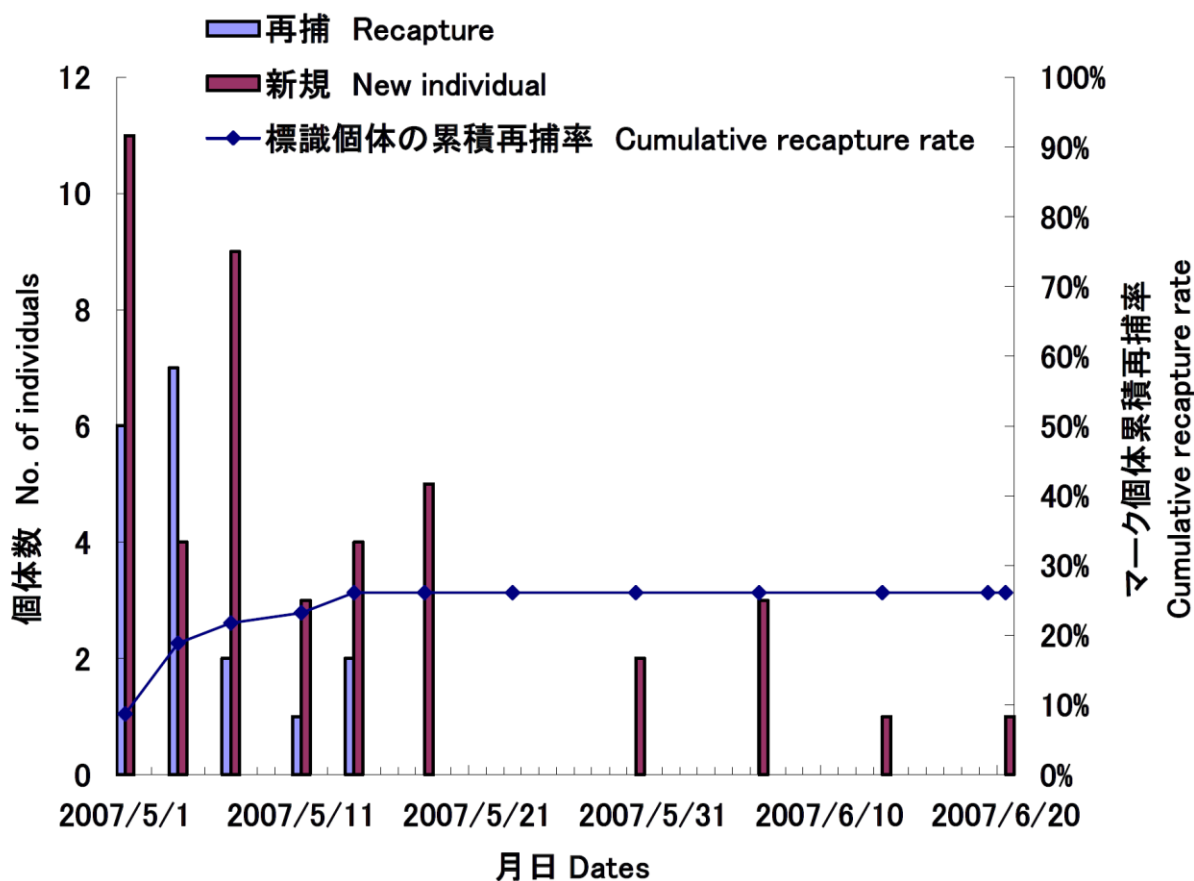


図 1-12 小笠原高等学校下における標識個体の捕獲状況

2007年4月下旬に69個体を標識し、粘着トラップを用いて6月下旬まで捕獲を継続した。5月中旬以降に捕獲されたのは標識のない個体ばかりで、標識個体の累積再捕率は26%にとどまった。

Fig. 1-12. Capture of marked individuals around Ogasawara High School. Sixty-nine green anoles were marked in late April 2007 and then recaptured in adhesive traps until late June. The green anoles captured after mid-May tended to be new individuals without marks. The cumulative recapture rate of marked green anoles stayed at 26%.



図 2-1 モリアオガエルの抱接つがい

Fig. 2-1. Amplectant pair of treefrog *Rhacophorus arboreus*.

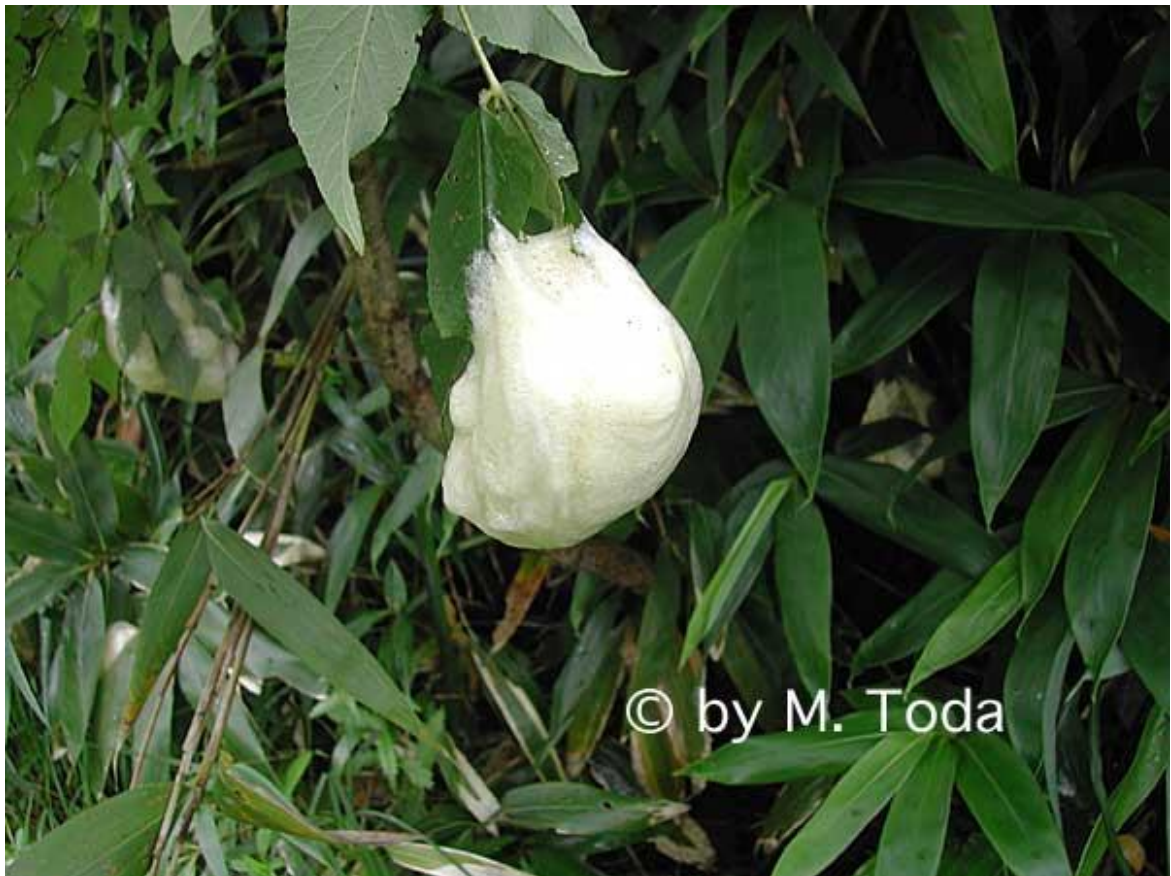


図 2-2 モリアオガエルの泡巣

植物の葉などに吊されており、遠くからでもよく目立ち、数を容易に把握できる。

Fig. 2-2. Foam nest of *Rhacophorus arboreus*.

Foam nests hung on plant leaves are distinguishable from a distance, making the number of nests easy to count.



図 2-3 調査地（金沢城）の景観

上：まとまった森林がみられる本丸（菱櫓より撮影）

下左：1960年代から継続して繁殖場所となっている H 池

下右：現在の中心的な繁殖場所である内堀

3点とも 2008年6月に撮影

Fig. 2-3. Landscape at *Rhacophorus arboreus* study site (Kanazawa Castle).

Top: Hon-maru includes a large forest (viewed from Hishi Yagura)

Bottom left: Pond H, an ongoing breeding site since the 1960s.

Bottom right: Uchibori moat, the current main breeding site.

(All photos taken in June 2008)

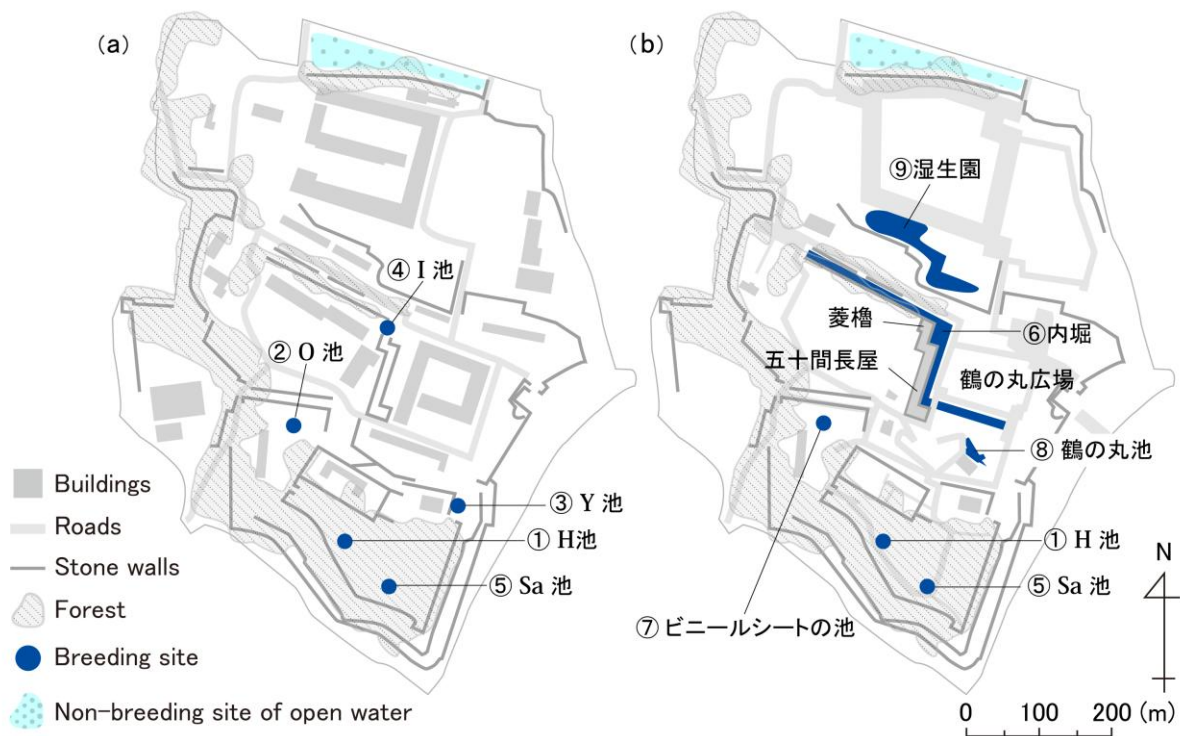


図 2-4 金沢城におけるモリアオガエルの繁殖

- (a)金沢大学丸の内キャンパス時代の金沢城。建物（校舎）が配置され、石垣に沿って森林が広がり、5箇所モリアオガエル繁殖場所（●）が存在していた。
- (b)都市公園として整備された金沢城。金沢大学キャンパス時代に比べると建造物が減り、芝生広場等の空き地が増加している。森林面積はほとんど変化していない。菱櫓、五十間長屋などの歴史的建造物が再現され、内堀、湿生園など新たに形成された止水域でモリアオガエルが繁殖している。

Fig. 2-4. Breeding sites of *Rhacophorus arboreus* at Kanazawa Castle

- (a)Kanazawa Castle in 1990 when it was used as the Marunouchi Campus of Kanazawa University. University buildings were located, and forest stretched along the stone walls. Five breeding sites (●) existed.
- (b)Kanazawa Castle in 2010 after its development as an urban park. The number of buildings was reduced, whereas the amount of open space, such as grassed areas, increased. The area of forest remained almost unchanged. Historical buildings, including Hishi Yagura and Gojukken Nagaya, were reconstructed. *Rhacophorus arboreus* breed in newly formed static water bodies.

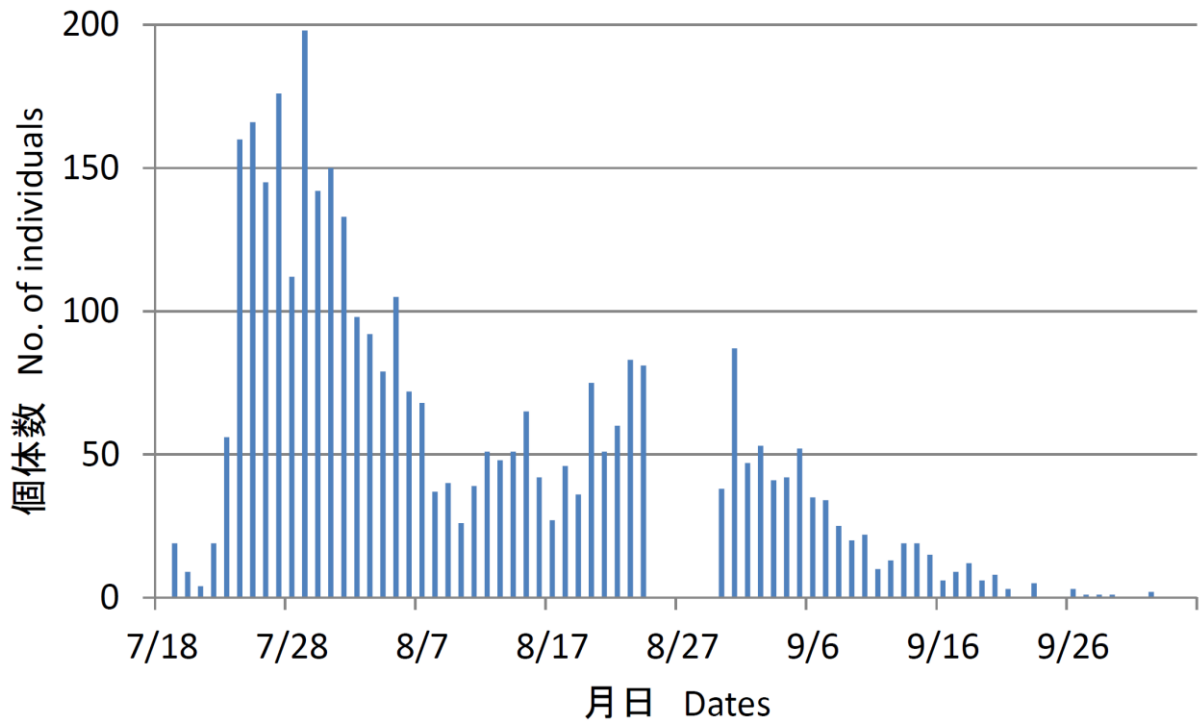


図 2-5 トラップを用いて確認された日ごとの変態上陸数
 8月 25 日から 29 日はトラップを撤収し、データを収集していない。

Fig. 2-5. Numbers of metamorphosed *Rhacophorus arboreus*, as confirmed by using a trap. No data were collected from 25 to 29 August, during which period the trap was not set.

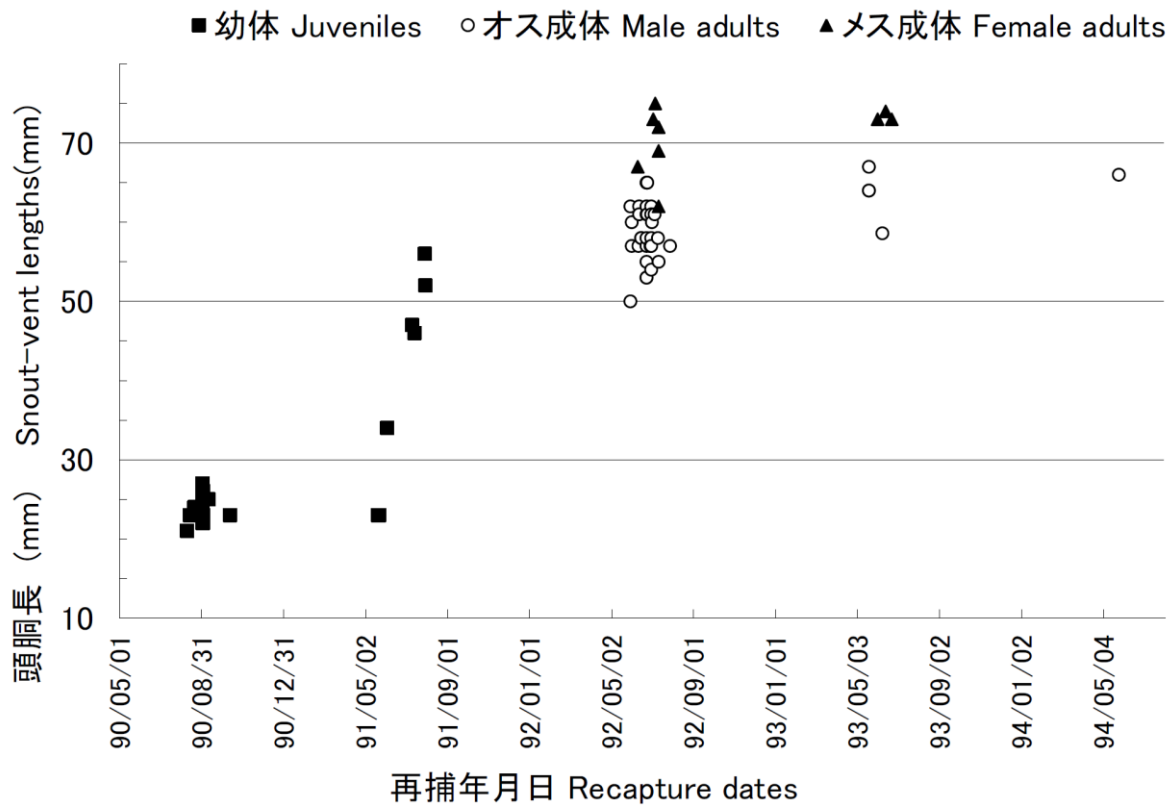


図 2-6 集団標識された個体の再捕年月日と頭胴長

Fig. 2-6. Recapture dates and snout-vent lengths (SVL) of marked frogs.

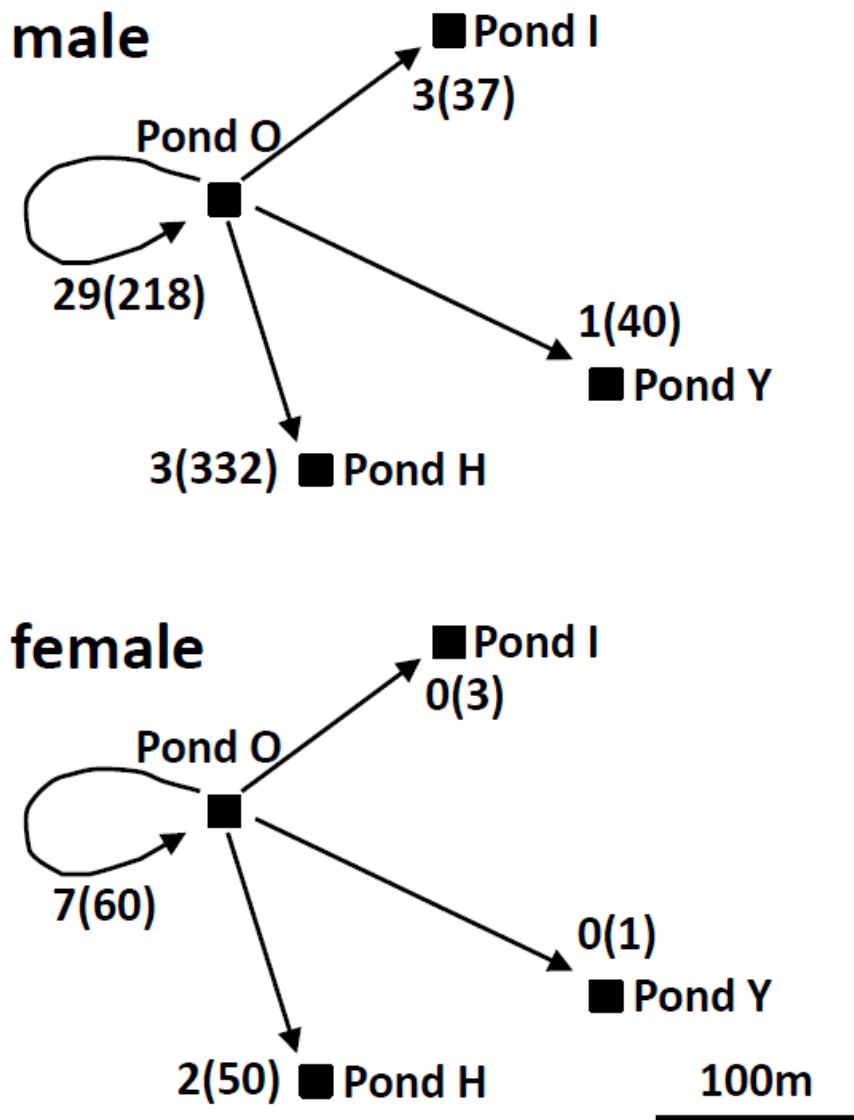


図 2-7 O 池で集団標識された個体の繁殖場所

1990 年に変態上陸個体として O 池で集団標識された個体の、1992 年から 1994 年にかけての繁殖場所を示す。■はそれぞれの池の位置を示す。括弧内はその期間に当該繁殖場所で捕獲された成体の総数。例えばオスについては、1992 年から 1994 年に O 池で捕獲された 218 個体のうち 29 個体が集団標識個体であったことを示す。

Fig. 2-7. Breeding sites and numbers of *Rhacophorus arboreus* marked at Pond O.

The figure shows the breeding sites, during the period 1992–1994, of *Rhacophorus arboreus* that metamorphosed and were then marked at Pond O in 1990. Squares in black indicate the location of each pond. Numbers in parentheses indicate the total numbers of adults captured at these breeding sites. As an example, 29 out of 218 male adults captured at Pond O from 1992 to 1994 were identified as marked individuals.

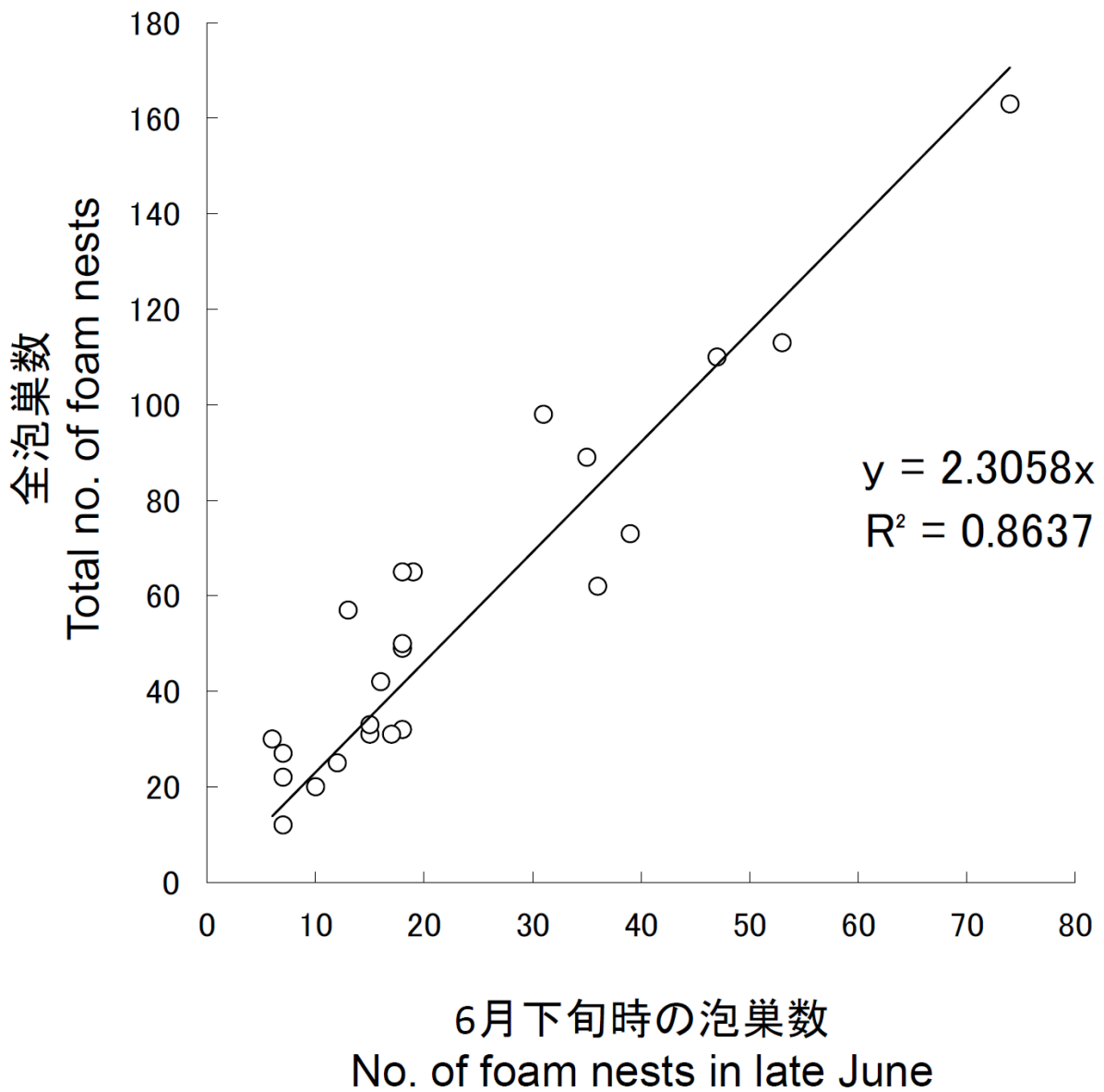


図 2-8 6月下旬の泡巣数と当該繁殖期を通した泡巣の総数との関係
1987年から1992年にかけての5箇所の繁殖場所の結果をまとめて表示した。

Fig. 2-8. Relationship between the number of foam nests in late June and the total number of foam nests throughout the breeding season. Results at 5 breeding sites during the period 1987-1992 are shown collectively.

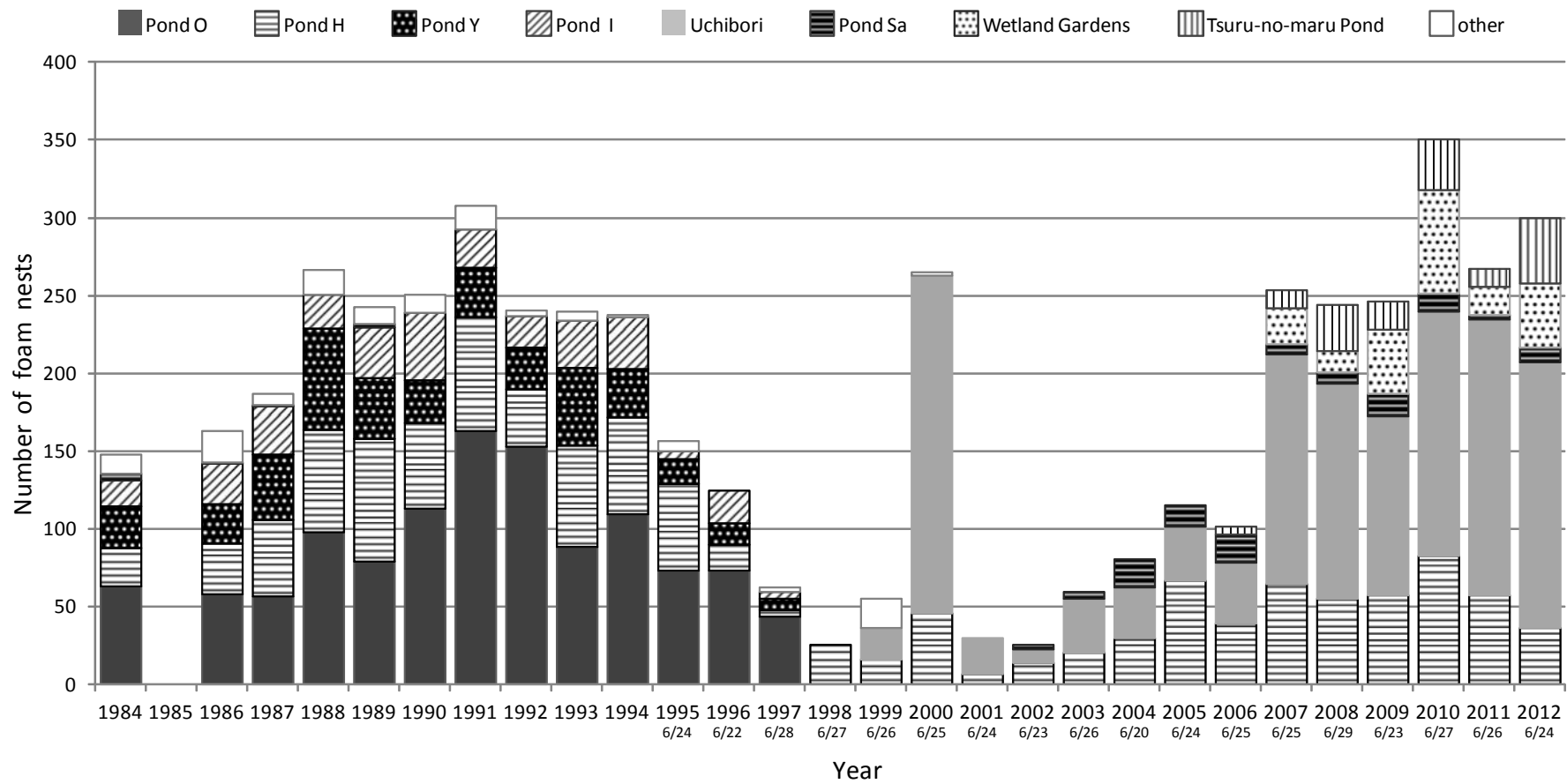


図 2-9 各々の繁殖場所で確認された泡巣数の経年変化
 ※ 図の説明は次ページ

※前ページ図の説明

図 2-9 各々の繁殖場所で確認された泡巣数の経年変化

1995 年以降は 6 月下旬のある 1 日間（年の下に表記）の調査結果による推定値を示す。「その他」の繁殖場所は、ビニールシートの池や水生植物育成用の池、林内に放置された洗面器等を示す。

Fig. 2-9. Temporal change in the number of foam nests at each breeding site.

After 1995, the number was estimated from the results of a 1-day survey in June (exact dates are shown under the years). “Others” indicates such items as a blue plastic sheet pond, aquatic plant rearing ponds, and abandoned basins in the forest.

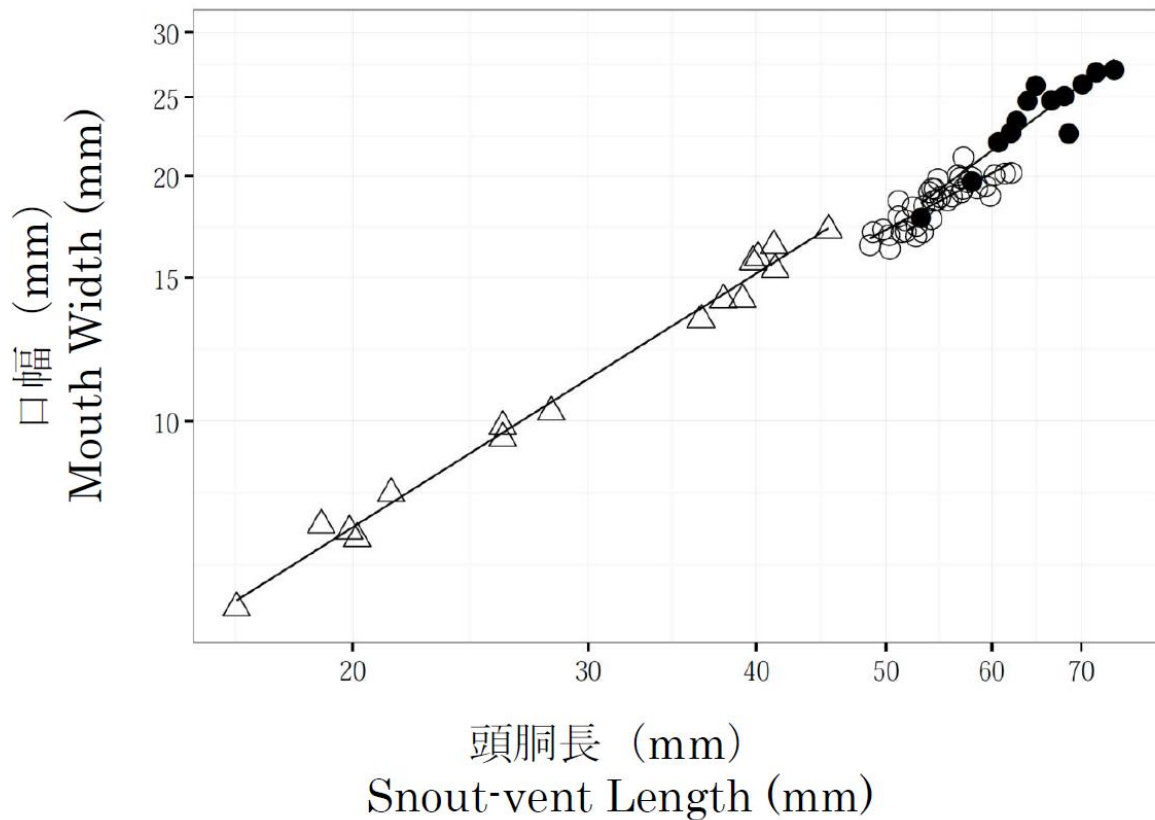


図 2-10 モリアオガエルの頭胴長と口幅の関係

固定標本を計測し、各個体の頭胴長と口幅の関係を示した。幼体 (Δ) や雌成体 (\bullet) に比べ、雄成体 (\circ) は頭胴長に対する口幅が有意に小さかった。回帰式は次の通り。幼体: $\log(y) = 1.034 \log(x) - 0.476$ ($R^2 = 0.991$, $N = 16$, $P < 0.001$)、雌成体: $\log(y) = 1.219 \log(x) - 0.836$ ($R^2 = 0.826$, $N = 13$, $P < 0.001$)、雄成体: $\log(y) = 0.877 \log(x) - 0.255$ ($R^2 = 0.693$, $N = 38$, $P < 0.001$)

Fig. 2-10. Relationship between mouth width and snout-vent length of *Rhacophorus arboreus*.

The mouth width relative to snout-vent length of adult males (\circ) is significantly smaller than that of adult females (\bullet) or juveniles (Δ). The regression equations were as follows. Juvenile: $\log(y) = 1.034 \log(x) - 0.476$ ($R^2 = 0.991$, $N = 16$, $P < 0.001$), Adult female: $\log(y) = 1.219 \log(x) - 0.836$ ($R^2 = 0.826$, $N = 13$, $P < 0.001$), Adult male: $\log(y) = 0.877 \log(x) - 0.255$ ($R^2 = 0.693$, $N = 38$, $P < 0.001$)

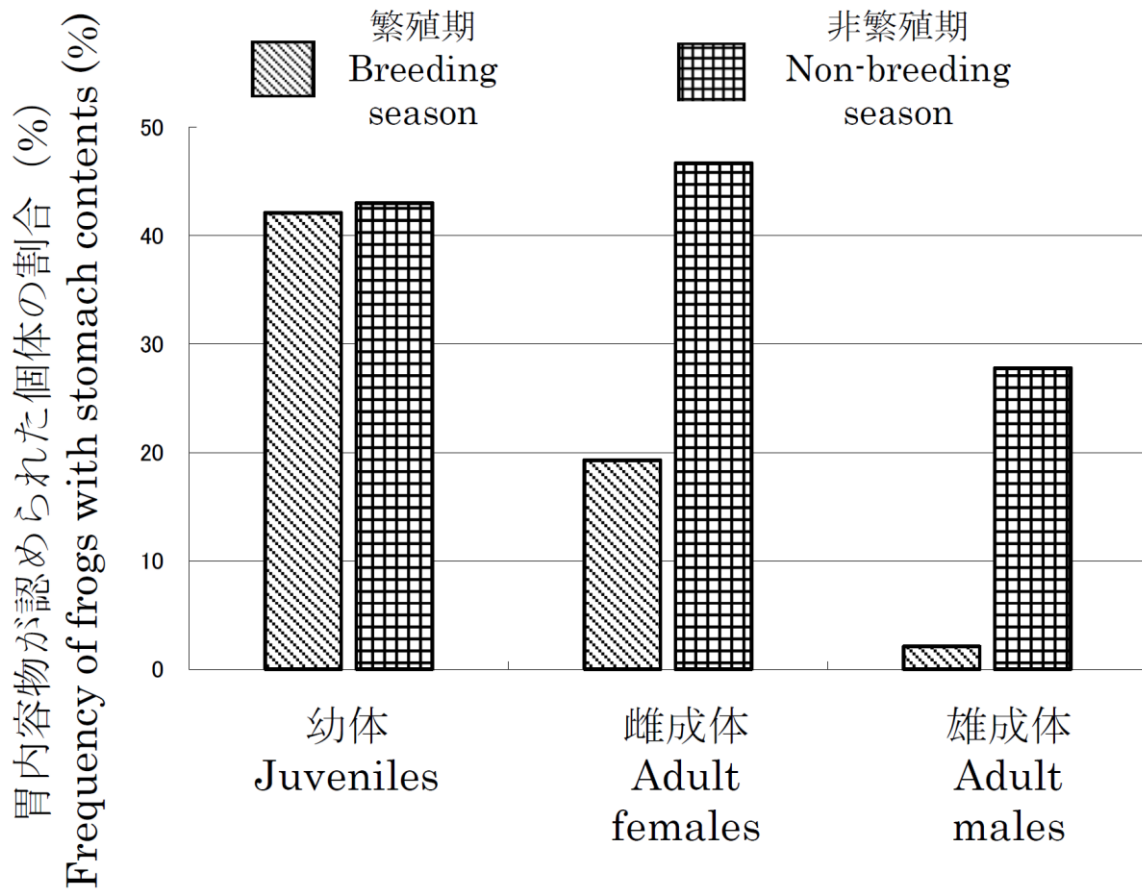


図 2-11 触診によって胃内容物が確認された個体の割合

捕獲された個体を生きたまま触診し、胃内容物が認められた個体の比率を性および季節の別に示した。胃内容物が認められた個体の割合は、繁殖期の雄のみ他の区分に比べて有意に低かった。標本数は、幼体が繁殖期（5月～7月）171個体、非繁殖期（8月～10月）107個体、雌成体が繁殖期 57個体、非繁殖期 30個体、雄成体は繁殖期 572個体、非繁殖期 36個体であった。

Fig. 2-11. Percent frequency of *Rhacophorus arboreus* containing food in the stomach confirmed by palpation method.

The figures show the ratio of juveniles (left), adult females (center) and adult males (right) containing food in the stomach in the breeding season (May to July) and in the non-breeding season (August to October). The ratio was significantly smaller for adult males in the breeding season than in any other category.

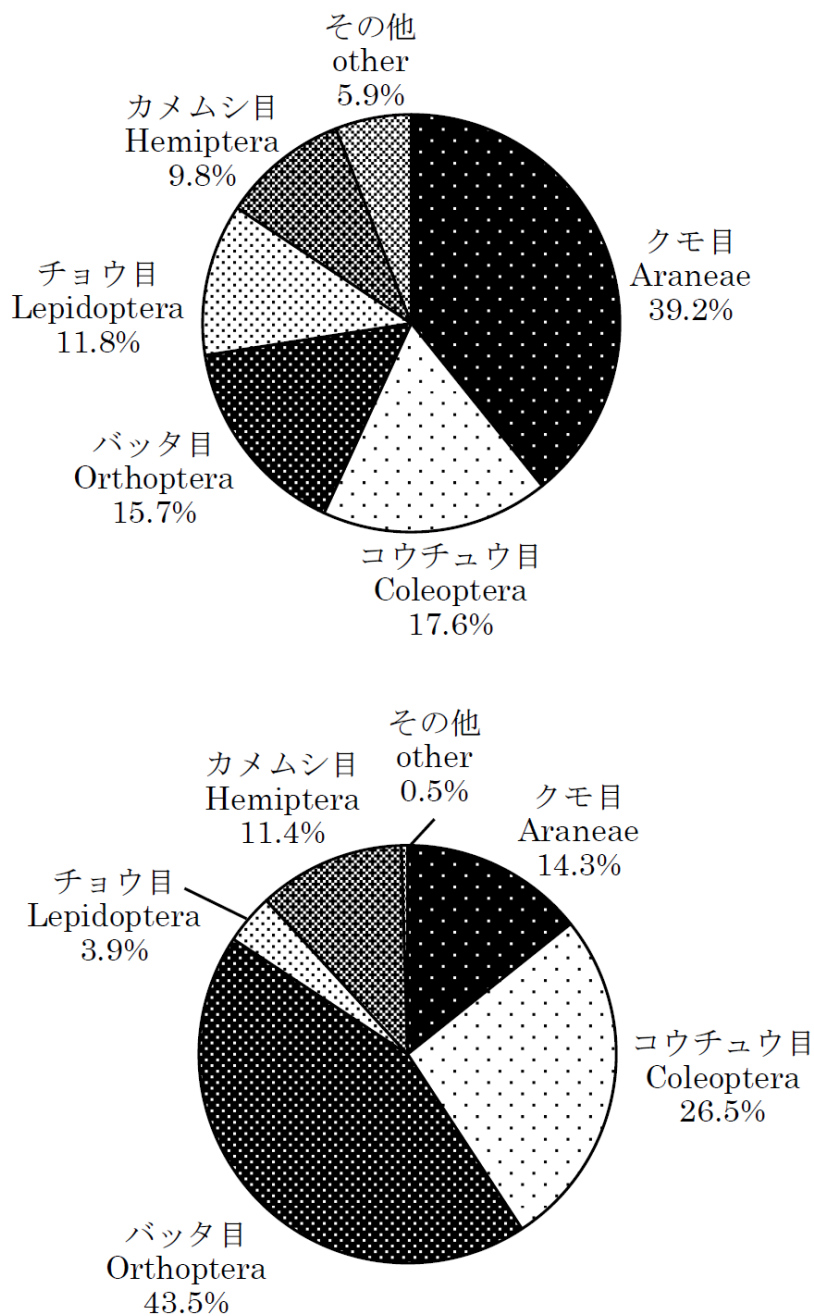


図 2-12 強制嘔吐法で得られた餌動物の種類別構成比

餌動物のうち、サイズを計測した 51 個体について、目ごとの比率を示した。上段は個体数からみた比率を、下段は体積からみた比率をそれぞれ示した。体積の指標として、各動物の体長、体幅、体高を測定し、これらを乗じた値を用いた。個体数からみるとクモ目が、体積ではバッタ目昆虫が最も多くなっていた。

Fig. 2-12. Composition of items swallowed by *Rhacophorus arboreus*. Spiders were dominant items in number (top), and grasshoppers (Orthoptera) are dominant in volume (bottom).

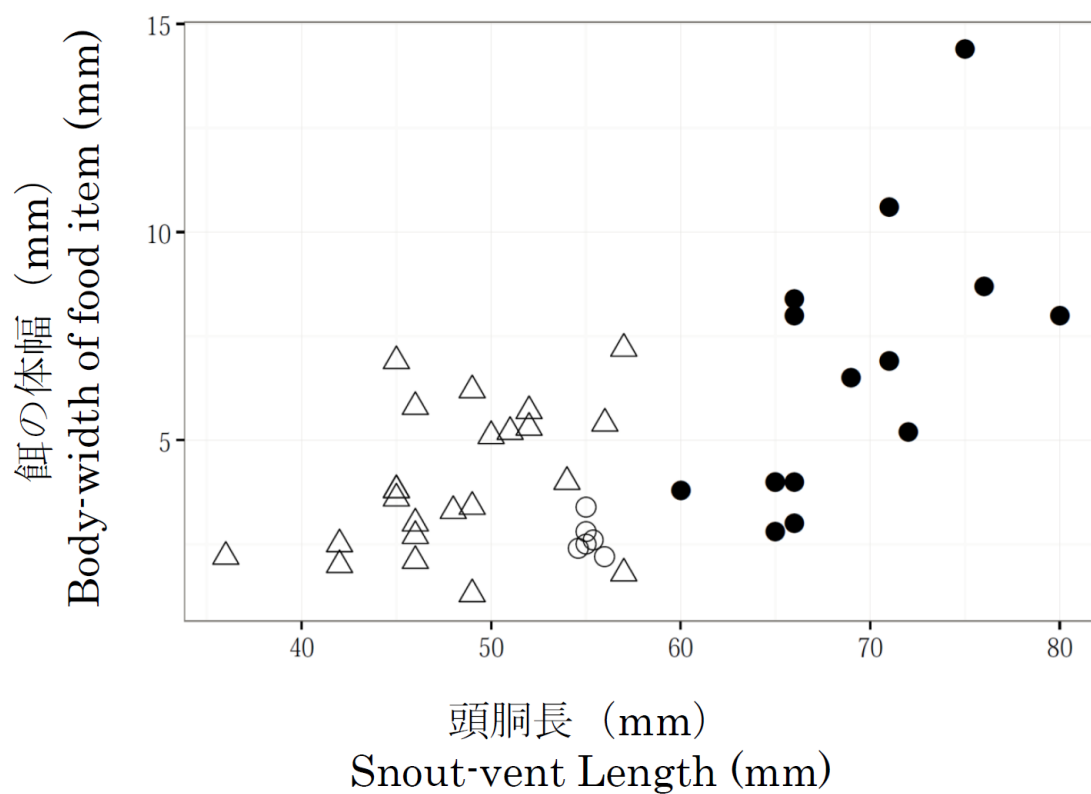


図 2-13 モリアオガエルの頭胴長と餌動物の体幅の関係

餌動物と、それを食べていたカエルの頭胴長との関係を示した。1点は餌動物1個体を示す。△は幼体、●は雌成体、○は雄成体をそれぞれ示す。大型のカエルほど大きな動物を食べる傾向が見られた。

Fig. 2-13. Relationship between body width of food items and snout-vent lengths of *Rhacophorus arboreus*.

The symbols are the same as Figure 2-10. Each symbol shows one item. Larger frogs tended to eat larger prey.

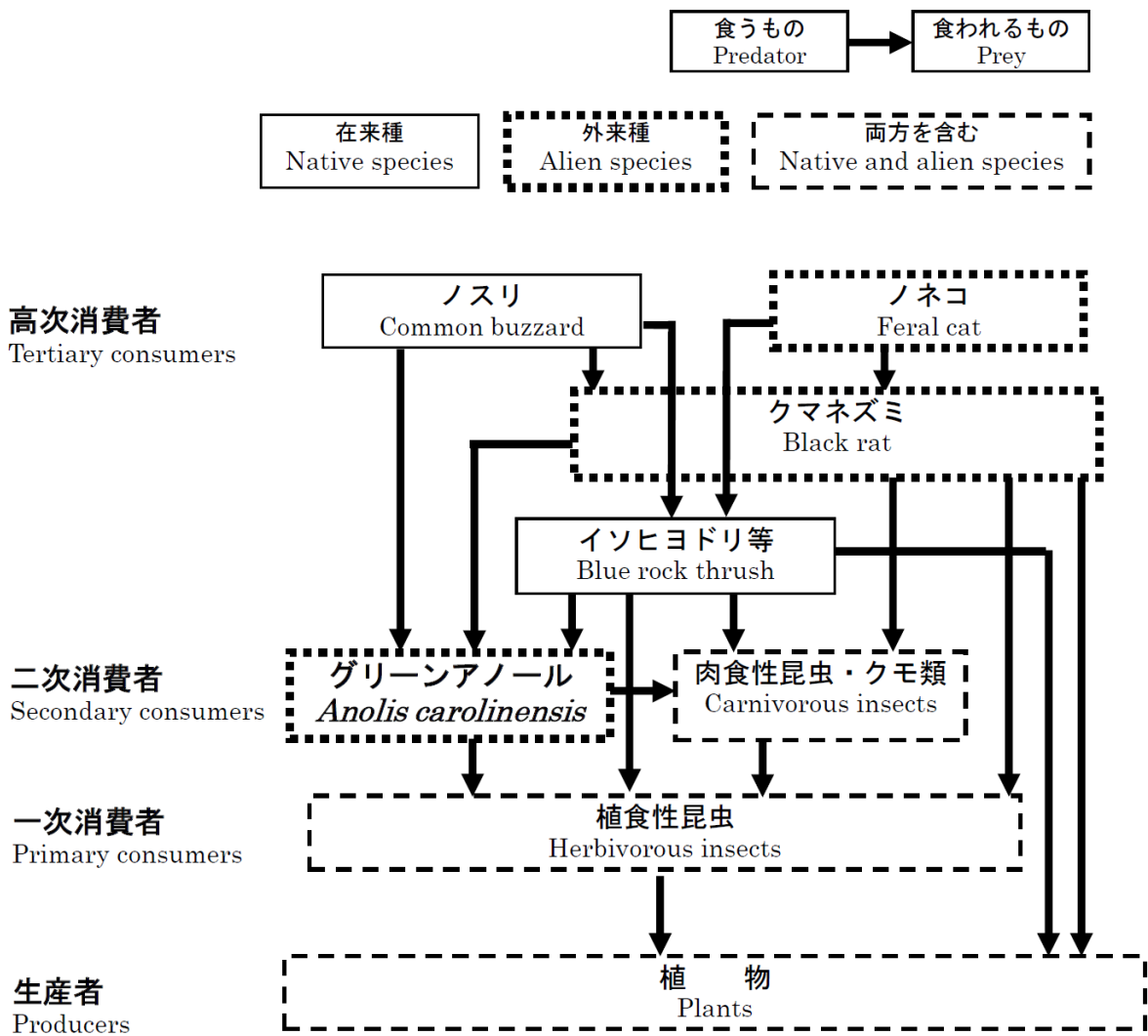
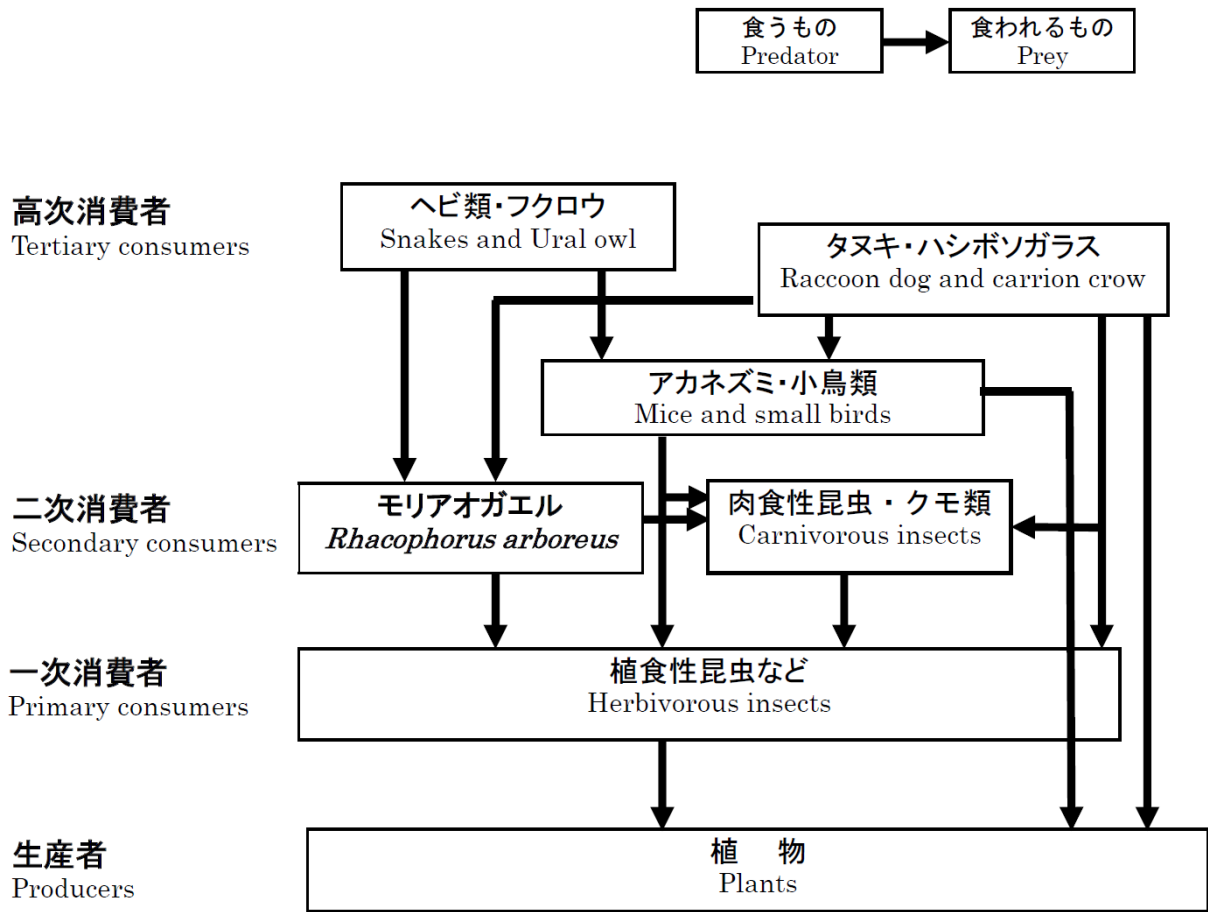


図 I グリーンアノールを中心にみた小笠原の食物連鎖模式図

Fig. I. Schematic food chain focused on the green anoles at Ogasawara.



図Ⅱ モリアオガエルを中心にみた金沢城の食物連鎖模式図

Fig. II. Schematic food chain focused on *Rhacophorus arboreus* at Kanazawa Castle.

表 1-1 グリーンアノールの年齢・性別ごとの標識個体数

Table. 1-1. Numbers of marked green anoles, by maturity and sex.

項目 Item	成体・幼体 合計 Adults and juveniles (total)	成体 (雌雄合計) Adults (males and females total)	成体 オス Adult males	成体 メス Adult females	幼体 (雌雄合 計) Juveniles (males and females total)	幼体 オス Juvenile males	幼体 メス Juvenile females	幼体 (性不明) Juveniles (sex unidentified)
標識個体数 Marked	171	119	91	28	52	22	25	5
再捕個体数 Recaptured	94	72	58	14	22	9	10	3
再捕率(%) Recapture rate (%)	55.0	60.5	63.7	50.0	42.3	40.9	40.0	60.0
延べ捕獲回数 Cumulative total captured	435	327	262	65	108	46	52	10
最も多く捕獲された 個体の捕獲回数 No. of captures of the most frequently captured individual	12	11	11	7	12	12	7	4

表 1-2 グリーンアノールの年齢・性別ごとの推定個体数

Table 1-2. Estimated numbers of green anoles, by maturity and sex.

年齢/性 Maturity and sex	推定個体数 No. of individuals	標準誤差 Standard error
成体・オス Adult males	118	8.9
成体・メス Adult females	35	18.9
幼体・オス Juvenile males	31	31.0
幼体・メス Juvenile females	48	10.3
合計 total	232	10.3

表 1-3 グリーンアノールの年齢・性別ごとの頭胴長

Table 1-3. Snout-vent lengths of green anoles, by maturity and sex.

	全体 Total	成体 Adults (males and females total)	成体・オス Adult males	成体・メス Adult females	幼体 Juveniles (males and females total)	幼体・オス Juvenile males	幼体・メス Juvenile females	幼体 (性不明) Juveniles (sex unidentified)
個体数 No.	171	119	91	28	52	22	25	5
平均頭胴長 (mm) Average snout-vent length (mm)	54.5	63.9	66.8	54.7	32.8	34.8	31.9	28.4
標準偏差 Standard deviation	15.8	7.2	5.5	2.6	5.5	5.4	5.4	2.9

表 1-4 父島・清瀬におけるグリーンアノールの生命表

Table 1-4. Life table of green anoles at Kiyose, on Chichijima Island.

齢 life stage (x)	齢別個体数 No. of individuals (N _x)	齢別相対個体数 relative number of individuals (l _x)	齢別生存率 survival rate (S _x)	齢別出生率 fecundity (m _x)	相対個体数×出生率 relative number of individuals * fecundity (l _x m _x)	残存繁殖価 residual reproductive value (RV _x)
卵 Eggs	1000.0					
孵化幼体 Hatched	(0) N ₀ 900.0	l ₀ 1.000		m ₀ 0.000	l ₀ •m ₀ 0.000	RV ₀ 1.0
成体(1歳) Adults (1 year)	(1) N ₁ 103.5	l ₁ 0.115	S ₁ 0.115	m ₁ 6.165	l ₁ •m ₁ 0.709	RV ₁ 3.0
成体(2歳) Adults (2 year)	(2) N ₂ 36.7	l ₂ 0.041	S ₂ 0.355	m ₂ 6.165	l ₂ •m ₂ 0.252	RV ₂ 2.6
成体(3歳) Adults (3 year)	(3) N ₃ 12.2	l ₃ 0.014	S ₃ 0.333	m ₃ 6.165	l ₃ •m ₃ 0.084	RV ₃ 2.0
成体(4歳) Adults (4 year)	(4) N ₄ 4.1	l ₄ 0.005	S ₄ 0.333	m ₄ 6.165	l ₄ •m ₄ 0.028	RV ₄ 0.0
成体(5歳) Adults (5 year)	(5) 0.0					

※ 繁殖後に個体数調査を行うと仮定して算出した。

※ 繁殖価は0歳を1.0とした場合の相対値である。

* Figures are calculated on the assumption that the green anoles are counted after the breeding season.

* Reproductive value is relative to that at age 0 year = 1.0.

表2-1 1984年から2012年にかけて確認された金沢城におけるモリアオガエルの繁殖場所

Table 2-1. Breeding sites of *Rhacophorus arboreus* at Kanazawa Castle from 1984 to 2012.

番号 No.	名称 Breeding site	繁殖 確認年 breeding year	長径m Long diameter m	短径m Short diameter m	水深m Depth m	周囲の主な植物 Dominant plants	歴史 History
1	H池 Pond H	1984-2012	16	4	0.2	スタシイ・効オカエテ <i>Castanopsis sieboldii</i>	1960年代にモリアオガエル保全のために造成された。 Created for <i>Rhacophorus arboreus</i> conservation in the 1960s.
2	O池 Pond O	1984-1997	9	3	1.5	エノキ・イナドリ <i>Celtis sinensis</i>	長方形の防火用水。大学移転後に撤去された。 Fire-fighting water in a rectangular pond that was removed after the university was relocated.
3	Y池 Pond Y	1984-1997	6	6	0.3	効オカエテ・オニグルミ <i>Acer palmatum</i>	すりばち型の防火用水。大学移転後に撤去された。 Fire-fighting water in a bowl-shaped pond that was removed after the university was relocated.
4	I池 Pond I	1984-1997	3.6	2.4	0.9	エノキ・クロマツ <i>Celtis sinensis</i>	長方形の防火用水。大学移転後に撤去された。 Fire-fighting water in a rectangular pond that was removed after the university was relocated.
5	Sa池 Pond Sa	1984-2012	7	3	0.4	効オカエテ <i>Acer palmatum</i>	1960年頃に造成され2001年に改修された。 Created in about 1960 and renovated in 2001.
6	内堀 Uchibori moat	1999-2012	330	7	1.5	ソメイヨシノ <i>Cerasus × yedoensis</i>	1997年頃に掘削。金沢城にある最も長い水面で石垣に囲まれる。 Excavated in about 1997. The largest water surface at Kanazawa Castle, and it is surrounded by stone walls.
7	ビニールシート の池 Plastic sheet pond	1999-2000	2	2	0.2	植物なし no plants	遺跡発掘工事に伴いビニールシートに一時的に水が溜まったもの。 Existed only transiently in blue plastic sheeting during archaeological digging.
8	鶴の丸池 Tsuru-no-maru Pond	2005-2012	50	20	0.3	ウバノミ <i>Quercus phillyraeoides</i>	2002年頃に新たに造成された。 Created in about 2002.
9	湿生園 Wetland Gardens	2007-2012	153	30	0.7	スタシイ・ガマ類 <i>Castanopsis sieboldii</i>	2002年頃に新たに造成された。 Created in about 2002.

水面の長さ、それに直行する幅をそれぞれ長径、短径とした、堀の場合は延長を長径とした。1980年代に存在した止水域について実測した（1986年及び1989年）。それ以降に造成された大きい止水域については、地図をもとに長径、短径を測定した。水深は平均的なものを示す。泡巣数は調査期間中に最も多かった期間の、1シーズンを通じた概数を示している。これらの数の泡巣が同一の時期に見られたわけではない。

The length of the water surface was defined as the long diameter, and the width intersecting it at right angles was defined as the short diameter. In the case of moats, the total length was defined as the long diameter. The static water areas present in the 1980s were directly measured in 1986 and 1989; the large static water areas created thereafter were measured from maps. Depths are averages.

表 2-2 H池における各年のメスの標識率

Table 2-2. Numbers and percentages of marked females at Pond H.

年 Year	泡巣数 No. of foam nests a	新規標識メス数 No. of newly marked females b	経年再捕メス数 No. of recaptured females c	標識率 Ratio of marked females (%) (b+c)/a*100(%)
1986	33	2	-	6.1
1987	49	26	0	53.1
1988	66	38	2	60.6
1989	79	23	3	32.9
1990	55	18	1	34.5
1991	73	15	1	21.9
1992	37	14	8	59.5
1993	65	10	0	15.4
1994	62	14	1	24.2
平均 average	57.7	17.8	2.0	34.2

標識率は捕獲・標識されたメスの個体数を泡巣数で割ったもの。全てのメスに標識が施された場合には100%となる。

The ratio of marked females was obtained by dividing the number of marked females by the number of foam nests; if all females were marked, the ratio would be 100%.

表 2-3 H 池における各年のオスの標識個体数及び経年再捕個体数

Table 2-3. Numbers and percentages of marked and recaptured males at Pond H.

年 Year	合計 Total a	新標識* *Newly marked b	2 年目 2 nd year	3 年目 3 rd year	4 年目 4 th year	5 年目 5 th year	6 年目 6 th year	繁殖初参加 個体の割合 Newly marked males as % of all males b/a×100(%)
1986	77	77	-	-	-	-	-	-
1987	114	91	23	-	-	-	-	79.8
1988	154	131	17	6	-	-	-	85.1
1989	149	110	37	2	0	-	-	73.8
1990	167	118	37	11	1	0	-	70.7
1991	157	118	26	11	2	0	0	75.2
1992	93	46	36	6	3	2	0	49.5
1993	87	64	15	6	1	1	0	73.6
1994	116	76	34	3	2	0	1	65.5

網掛け部分は複数のコホートを含んでいる。「新標識*」は、以前に幼体として標識され、当該年に繁殖初参加である個体を含んでいる。

Shaded cells include multiple cohorts. *Newly marked includes *Rhacophorus arboreus* that had been marked as juveniles previously, and then bred for the first time in the reference year.

表 2-4 H 池における成体の性比

Table 2-4 Sex ratio of adults at Pond H.

年 Year	泡巣数 No. of foam nests a	標識オスの個体数 No. of marked males b	性比 Sex ratio b/a
1986	33	77	2.33
1987	49	114	2.33
1988	66	154	2.33
1989	79	149	1.89
1990	55	167	3.04
1991	73	157	2.15
1992	37	93	2.51
1993	65	87	1.34
1994	62	116	1.87
平均	57.7	123.8	2.20

メス数=泡巣数、オス数=標識個体数と仮定して、オス数をメス数で割ったものを性比とした。

Sex ratio was obtained by dividing the number of males by the number of females, on the assumption that the number of females equaled the number of nests and the number of males equaled the number of marked individuals.

表 2-5 泡巣数の推定誤差の大きさ

Table 2-5. Estimated error of the number of foam nests

	6月下旬の 泡巣数 (平均) No. of foam nests in late June (average)	—繁殖期を通し た泡巣の総数 (平均) Total number of foam nests throughout the breeding season (average)	回帰式への あてはめ (予想値) (平均) Av. number of nests predicted from regression equation	二乗誤差 a (平均) Error of mean square a (average)	aの平方根 (平均) Square root of a (average)	予測値と実際の値の 差の絶対値 b (平均) Absolute value of difference between predicted value and actual value b (average)	bの 標準偏差 Standard deviation of b	予測値/実際 の値 c (平均) Predicted value and actual value c (average)	cの標準偏差 Standard deviation of c
値 Value	23.09	56.48	53.23	180.50	13.44	10.85	8.10	0.9494	0.2680

表 2-6 強制嘔吐法で得られたモリアオガエルの餌動物の一覧

Table 2-6. List of the food items retrieved from *Rhacophorus arboreus* by forced-regurgitation method.

科名	和名	学名	総個体数
節足動物門 Arthropoda			
昆虫綱 Insecta			
バッタ目 Orthoptera			
コロギス科	ハネナシコロギス	<i>Nippancistroger testaceus</i>	1
	コロギス	<i>Prosopogryllacris japonica</i>	2
カマドウマ科	マダラカマドウマ	<i>Diestrammena japonica</i>	2
キリギリス科	ヤブキリ	<i>Tettigonia orientaris</i>	2
	ウマオイ	<i>Hexacentrus japonicus</i>	1
科不明	バッタ目不明種	Orthoptera	3
カメムシ目 Hemiptera			
アオバハゴロモ科	アオバハゴロモ	<i>Cartaeomorpha olivacea</i>	1
セミ科	ニイニイゼミ	<i>Platypleura kaempferi</i>	1
ホソヘリカメムシ科	ホソヘリカメムシ	<i>Riptortus clavatus</i>	2
カメムシ科	クサギカメムシ	<i>Halyomorpha picus</i>	1
コウチュウ目 Coleoptera			
コガネムシ科	ナガチャコガネ	<i>Heptophylla picea picea</i>	1
	クロコガネ	<i>Holotrichia kiotoensis</i>	1
	コフキコガネ	<i>Melolontha japonica</i>	1
	スジコガネ	<i>Mimela testaceipes</i>	1
コメツキムシ科	コメツキムシ科不明種 A	Elateridae A	2
	コメツキムシ科不明種 B	Elateridae B	1
テントウムシ科	ムーアシロホシテントウ	<i>Calvia muiri</i>	2
カミキリムシ科	カミキリムシ科不明種 A	Cerambycidae A	1
ゾウムシ科	コフキゾウムシ	<i>Eugnathus distinctus</i>	2
	ゾウムシ科不明種 A	Curculionidae A	1
科不明	コウチュウ目不明種 A	Coleoptera	1
ハエ目 Diptera			
ガガンボ科	ガガンボ科不明種 A	Tipulidae A	1
チョウ目 Lepidoptera			
ジャクガ科	ジャクガ科不明種 A	Geometridae A	1
	ジャクガ科不明種 B	Geometridae B	1
科不明	チョウ目不明種 A	Lepidoptera A	1
	チョウ目不明種 B	Lepidoptera B	3
	チョウ目不明種 C	Lepidoptera C	1
クモ綱 Arachnida			
クモ目 Araneae			
オニグモ科	ヤマシロオニグモ	<i>Neoscona scylla</i>	2

	サツマノミダマシ	<i>Neoscona scylloides</i>	1
	オニグモ科不明種 A	Araneidae A	1
ジョロウグモ科	ジョロウグモ	<i>Nephila clavata</i>	4
クサグモ科	クサグモ	<i>Agelena limbata</i>	1
ハシリグモ科	イオウイロハシリグモ	<i>Dolomedes sulfureus</i>	5
フクログモ科	ヤマトフクログモ	<i>Clubiona japonica</i>	1
	フクログモ属不明種	<i>Clubiona</i> spp.	6
科不明	クモ類不明種 A	Araneae A	1
甲殻亜門 Crustacea			
等脚目 Isopoda			
ダンゴムシ科	セグロコシビロダンゴムシ	<i>Sphaerillo dorsalis</i>	2
ムカデ綱 Chilopoda			
ゲジ目 Scutigromorpha			
ゲジ科	ゲジ	<i>Thereuonemia tuberculata</i>	1
軟体動物門 Mollusca			
腹足綱 Gastropoda			
有肺目 Pulmonata			
ナメクジ科	ナメクジ	<i>Meghimatium bilineatum</i>	1

39 個体のモリアオガエルから得られた 64 個体の餌動物について、種類を一覧した。種まで同定できなかったものは、科もしくは目までを記した。学名は環境庁編（1993; 1995; 1998）によった。総個体数は、39 個体のカエルの胃から得られた当該種の合計個体数を示す。

Sixty-four items were obtained from 39 *Rhacophorus arboreus*.

表 2-7 金沢城におけるモリアオガエルの繁殖場所の年表

Table 2-7. Chronological table of *Rhacophorus arboreus* breeding sites at Kanazawa Castle.

金沢城の土地利用 Land use of the Kanazawa Castle	1980s	1990s	2000s	2010s	
	大学 University campus		都市公園 Urban park		
	大学移転(1995) University relocation (1995)				
最も主要な繁殖場所 Main breeding site	Pond O		内堀 Uchibori moat		
繁殖場所の状況 Breeding site conditions					
名称 site	設置目的 purpose				
Pond Y	防火用水 Fire-fighting water	撤去 Removal			
Pond Sa	?	乾燥化dry up	再整備 Redevelopment		
Pond O	防火用水 Fire-fighting water	撤去 Removal			
Pond I	防火用水 Fire-fighting water	撤去 Removal			
Pond H	生息地 Habitat of frogs				
内堀 Uchibori moat	景観形成 Landscape of garden	堀の再現 Reconstruction of moat			
湿生園 Wetland Gardens	景観形成 Landscape of garden	整備 Development			
鶴の丸池 Tsuru-no-maru	景観形成 Landscape of garden	整備 Development			

表 I グリーンアノール小笠原個体群とモリアオガエル金沢城個体群の比較

		小笠原のグリーンアノール個体群	金沢城のモリアオガエル個体群
在来・外来の別		外来種	在来種
位置づけ		世界自然遺産としての価値を損なう侵略的外来種	都市公園における自然共生のシンボル
管理目標		防除（地域的根絶、完全排除）	保全（適度な生息状況の維持）
個体群の特性	生息密度（成体）	192 個体/ha	500～1,450 個体/ha
	産卵期	5 月から 7 月	5 月から 10 月
	産卵場所	止水域に張り出した樹上	森林内、林縁のリター下
	一腹卵数	平均 277 個（年に 1 回）	1 個（年に 13.7 回）
	成熟年齢	2 年	1 年
	成体の生存率	年間 20～30%	年間 33～36%
	寿命	最大 8 年	最大 7 年
個体群管理のポイント	<ul style="list-style-type: none"> ・メス成体の効率的な捕獲 ・場所を限定しての短期間での効率的な防除 	<ul style="list-style-type: none"> ・生息環境の保全（止水域と森林の維持、森林の連続性確保） ・外来性の捕食動物の排除 	
今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・捕獲・遮断手法の開発とそれに向けた誘因・忌避手法の開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・池・堀における外来種等（コイ、アメリカザリガニ、オカチハス等）の排除 	

Table I. Comparison between *Anolis carolinensis* population at Ogasawara and *Rhacophorus arboreus* population at Kanazawa Castle.

		<i>Anolis carolinensis</i> population at Ogasawara	<i>Rhacophorus arboreus</i> population at Kanazawa Castle
Native/Alien		Alien	Native
Significance		Invasive alien species that damages the value of the World Natural Heritage site	Iconic species important for the natural habitat of the urban park
Management goal		Control (local eradication, complete elimination)	Conservation (maintenance of appropriate habitat)
Population characteristics	Density (adults)	192 individuals/ha	500–1,450 individuals/ha
	Breeding season	May–July	May–October
	Breeding site	On vegetation overhanging static water area	Under litter at forest edges
	Clutch size	Average of 288 eggs (once a year)	One egg (average of 13.7 times a year)
	Maturity	2 years	1 year
	Survival rate of adults	20%–30% per year	33%–36% per year
	Longevity	8 years maximum	7 years maximum
Key factors for population management		<ul style="list-style-type: none"> • Efficient harvest of female adults • Efficient control in a concentrated period at focused locations 	<ul style="list-style-type: none"> • Conservation of habitat (maintenance of static water areas and forest, securing of continuation of the forest environment) • Elimination of alien predators
Future challenges		<ul style="list-style-type: none"> • Development of methods and technologies for exclusion and capture, as well as lures and repellents 	<ul style="list-style-type: none"> • Elimination of alien species etc. in ponds and moats (carp, crayfish, large-mouth bass etc.)