

国立環境研究所研究報告 第158号

Research Report from the National Institute for Environmental Studies, Japan, No.158, 2001

R-158-2001

亜熱帯域島嶼生態系の保全

—— 亜熱帯域島嶼の生態系保全手法の開発に関する基礎研究 ——
(平成9年～11年度) 報告書

Conservation of Subtropical Island Ecosystems
Research Report on Conservation Methods of Subtropical Island Ecosystems



野原 精一 編
Edited by Seiichi NOHARA

NIES



NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

環境省 国立環境研究所

国立環境研究所研究報告 第158号

Research Report from the National Institute for Environmental Studies, Japan, No.158, 2001

R-158-2001

亜熱帯域島嶼生態系の保全

—— 亜熱帯域島嶼の生態系保全手法の開発に関する基礎研究 ——
(平成9年～11年度) 報告書

Conservation of Subtropical Island Ecosystems
Research Report on Conservation Methods of Subtropical Island Ecosystems

野原 精一 編

Edited by Seiichi NOHARA

NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

環境省 国立環境研究所

序

生物多様性は人類の存亡にも関わる環境問題であり、「環境基本法」においては、生物多様性の確保と多様な自然環境の体系的保全が重要な課題とされている。平成6年9月策定のアジェンダ21行動計画には、脆弱な生態系の管理、持続可能な山地開発、生物の多様性の管理が盛り込まれた。平成7年には我が国の「生物多様性国家戦略」が決定され、生物多様性の保全と持続可能な利用が人類共通の課題であることから、開発途上国との協力、国際的な共同研究・モニタリング計画や情報ネットワークへの参画等を通じて国際的に貢献することが策定された。

熱帯・亜熱帯域は生物多様性がきわめて顕著である。特に島嶼では島ごとの独自の生物相がみられ、固有種が数多く存在していることで、種分化を促進し、種多様性を増加した重要な生態系として認識されている。また、各島には湿地も多くみられ、多彩な鳥類の生息地あるいは中継点としての機能も果たしている。しかしいっぽうで島嶼の生物は、開発、土地利用の変化等の人間活動による攪乱や侵入外来生物に対して無防備であるため、その多様性の存続が危惧されている。この地域の生物種、遺伝子、生態系の多様性の保護は緊急の課題である。

本研究では、先端的手法を用い、小笠原諸島等の亜熱帯域の島嶼を対象に、地史的・地質的特性及び土地利用の変遷を考慮しつつ、固有種を含む生物多様性の現状把握を行い、その維持機構の解明を行った。また移入種が生物多様性に及ぼす影響評価と島嶼生態系保全手法の開発に向けた基盤整備のための研究を行った。さらにこの地域の生物相の進化起源の一つでアジア・太平洋地域の中で海洋島や島嶼を有し、日本と研究交流がある米国（ハワイ諸島）等と共同研究を行っている。本報告書は、以上のような背景、ねらいをもつ研究の最終報告として平成9～11年度の成果を取りまとめたものである。未だ検討途中の成果や学術雑誌への投稿中や準備中のものも多いと聞く。したがって本報告書の内容に関して引用をお考えの際には各章の執筆者にご一報のうえ、ご相談いただきたくお願いしたい。

本報告書をまとめるにあたって、協力機関の研究担当の方々および研究を支援された多くの方々に深い感謝の意を表したい。また、調査に関係してご協力を頂いた地元の方々にこの場を借りて感謝の意を表す次第である。

平成13年3月

国立環境研究所

所長 大井 玄

要旨

第1章 島嶼生態系における生物多様性の把握手法に関する研究

年気候学的にみた小笠原父島における水文気候環境 (岡 秀一・吉田圭一郎)

大洋島である小笠原諸島はその地理的位置によって、換言すれば大気候スケールの要因によって第一義的にその水文気候環境はコントロールされる。本研究では1907年から1943年、1970年から1999年にわたる気象観測資料を用い、水収支に基づいて年気候学的な見地から小笠原父島の水文気候環境について論じた。その結果、乾湿環境は戦前期と復帰後期との間で明瞭な違いが現れた。これには降水量観測の手法の変換の影響のほか、近年の顕著な温暖化の効果も寄与しているものと思われる。年々の水不足量・水過剰量には激しい変動がみられるが、特に復帰後のそれらと ENSO との関わりをみると、強いエルニーニョ年には両者ともに大きくなる傾向がある。

母島の耕作放棄地における外来樹種と在来樹種の分布 (岡 秀一・吉田圭一郎)

本研究では、母島南部地域(評議平、中平、南崎の一部)に分布する耕作放棄地に成立した二次植生を研究対象に、Spearman の順位相関係数を用いて外来樹種と在来樹種の分布パターンを解析した。外来樹種の分布パターンと在来樹種の分布パターンとの間には強い負の相関関係が認められ、排他的な分布パターンを示すことが明らかになった。また、高木層と亜高木層との関係を解析した主要5種についても、外来樹種と在来樹種は排他的な分布パターンを示した。これらの結果は、母島南部域の耕作放棄地において二次遷移の過程で外来樹種と在来樹種とは互いに排他的に分布し、すみわけていることを示している。

伊豆諸島に分布する野生タケ連植物の開花と初期植生回復

(松田こずえ・村松幹夫・大塚ちかこ・星住ハカ)

伊豆諸島の御蔵島、八丈島、三宅島、神津島の4島において、野生タケ連植物の分布、生育を調査した。1997年以降、八丈島と御蔵島のハチジョウスズダケに開花がみられ、1997年には御蔵島の御山周辺のミクラザサが一斉開花後、枯死した。その年に発芽、成立した実生集団を1997年から1999年にかけて調査した。親の稈密度が低く、稈高が高い集団(御山)では、実生の密度が高く、伸長成長が著しかった。一方、親の稈密度が高く、稈高が低い集団(長滝山)では、実生の密度は低く、稈高が低かった。ササ群落回復の初期過程が集団によって異なることが示唆された。

小笠原諸島におけるアリ類と顕花植物の相互作用 (川窪伸光・中島加奈子)

本研究は、小笠原諸島のアリ相を把握し、植物とアリの相互作用を生態学的に解析した。その結果、確認された総てのアリ・植物間の相互作用は、種特異的関係ではなく、両者の相互作用はアリ多種対植物多種の関係として捉える必要性を示すことができた。

顕花植物の有性繁殖様式：亜熱帯島嶼域に分布するクサトベラ(クサトベラ科)の開花生態

(川窪伸光・米重友紀子)

本研究では、小笠原諸島の顕花植物の繁殖様式を具体的に明らかにする目的で、花器液浸標本として、82種類124標本を得た。そのうち、野外における生態観察段階で、クサトベラの非常に興味深い雄性先熟の開花生態を明らかにできたので、詳細なスケッチを示しつつ報告する。

御蔵島の水文学的特性に関する研究 (濱田浩美)

御蔵島は伊豆諸島の中でも形成年代の古い成層火山によって構成され、山体上部には風化した火山砕屑物が覆っている。この砕屑物は比較的保水性が高く、年間5000mmに達する降水は、この砕屑物中を透水層として、山体の傾斜に従って流下する。本研究では、御蔵島の水文環境をデータロガーなどの観測機器を用いることにより、連続的な長期のデータを取得し、解析を試み、気象環境および島嶼の水循環構造の特異性を考察した。

第2章 島嶼の生物多様性維持機構に関する研究

琉球諸島及び周辺アジア地域における接合藻ミカツキモ *Closterium ehrenbergii* 交配群の分布

(笠井文絵)

形態種 *Closterium ehrenbergii* (以下ミカツキモ) は複数の交配群(生物学的種)に分かれることが知られている。今回の調査で琉球諸島から交配群A、B、C、DおよびKが見つかった。また久米島の1集団はH群から成ることが示唆された。この結果およびこれまでの報告から、アジア地域におけるミカツキモの生物学的種の分布は、琉球諸島を中心とした南西日本で重複すること、および他のアジア地域に比べて多数

の生物学的種が琉球諸島に存在することが示唆された。

亜熱帯島嶼の水生昆虫相、特にユスリカ相について（上野隆平・佐竹 潔）

環境が異なる3つの群島の水生昆虫相を調査した。調査結果と文献情報との比較から、八重山諸島と小笠原諸島の水生昆虫相では1970年代と現在で大きな変化は見られなかったが、小笠原、特に父島の蜻蛉目昆虫が減っている可能性が示唆された。また、情報が少ない大東諸島の水生昆虫相を報告した。

ユスリカ相について、小笠原では八重山や大東に比べて固有種の割合が高かった。これは、まとまった陸地から遠距離であることや人の移動が比較的小さいことなど小笠原の地理的な条件を反映するものかもしれない。

亜熱帯島嶼の底生動物相、特に淡水エビについて（佐竹 潔・上野隆平）

亜熱帯島嶼である小笠原諸島父島及び母島の河川において、底生動物の分布調査を行った。底生動物の主要な構成種である淡水エビでは、トゲナシヌマエビが最も多くの地点で採集された。このほか、ヤマトヌマエビ、ヌマエビ属の1種、ヒラテテナガエビ、ヒメヌマエビ、ミナミオニヌマエビの順に多くの地点で採集されたが、ミナミオニヌマエビは勾配が急な河川に分布が限られていた。また、両側回遊型の生活史であるトゲナシヌマエビの卵サイズは他の亜熱帯島嶼のものと同様であったが、陸封型であると考えられるヌマエビ属の1種は大卵小産型であり、その特異性が明らかになった。

小笠原諸島・伊豆諸島・伊豆半島の転石潮間帯における海産大型腹足類の分布

（飯島明子・木下今日子・中山聖子）

小笠原諸島の父島・母島、伊豆諸島の式根島、伊豆半島の転石潮間帯で、海産大型腹足類の分布調査を行った。小笠原諸島と他の海域では、出現種が大きく異なった。優占種の種数は伊豆半島で多く、父島・母島・式根島では少なかった。亜熱帯・温帯共に島嶼では、近隣からの幼生の供給がほとんどないために、本土よりも、浮遊幼生期を持つ腹足類の種数が少なくなるものと思われる。

形態の異なる小笠原乾性低木林におけるコバノアカテツとテリハハマボウの光利用特性

（石田 厚・中野隆志）

亜熱帯性の海洋島である小笠原父島の乾性低木林にて、形態の異なるテリハハマボウとコバノアカテツを用いて、光利用特性を比較した。テリハハマボウはコバノアカテツよりも水平的な葉を持ち、また高い光合成能力を持っていた。葉の強光高温耐性を比較するため、強光下で葉片を37℃、40℃、43℃に3時間さらした後、暗下でクロロフィル活性回復の回復を調べた。その結果コバノアカテツの葉はテリハハマボウの葉よりも、また低温よりも高温で回復が遅れた。これらの結果から、コバノアカテツはテリハハマボウより強光高温に弱い葉を持っているため、葉を立たせ強光をさける形態をもっていると考えられた。すなわち葉の生理的な能力と葉の角度といった樹形とに結びつきがあることがわかった。

小笠原諸島固有シロテツ属（ミカン科）の葉形態と生理的特性（見塩昌子・川窪伸光・可知直毅）

小笠原諸島に固有のシロテツ属について、葉の形態と生理的特性との関係を調べ、シロテツ属における種分化を生理的側面から検討した。シロテツ属内には、葉の大きさと厚さについて著しい変異が認められ、水分生理的特性は葉の形態と密接に関係していた。従って、シロテツ属においては、形態的な分化は生理的特性の分化とともに起こることが推察された。

水循環モデルの島嶼への適用（高藪 出）

比較的小さい流域に適用可能な陸面水文過程モデルの開発と、このモデルを長期に積分できるモデル強制力データを作ることに成功した。植生・土壌パラメータデータについては父島および母島で収集に成功した。これらのパラメータデータ、および、モデル強制力データを利用することで、開発したモデルは9年間の長期にわたって安定して走ることが確認された。このモデルによる小笠原の水循環の再現実験では、気孔抵抗の重要性が示された。また植生の変化実験をこのモデルを使って行うことの可能性が示された。

小笠原固有種モンテンボクの由来と分化（加藤英寿・中村朗子）

小笠原諸島には固有種のモンテンボクと広域分布種のオオハマボウが生育する。モンテンボクが小笠原諸島に生育するオオハマボウと共通の祖先から分化してきたか、あるいはそれ以外の系統から分化してきたかを検証するために、葉緑体DNAの遺伝子間領域の塩基配列データをもとに、モンテンボクとその近縁種集団の系譜的關係を推定した。その結果、小笠原諸島のオオハマボウは沖縄島のオオハマボウと同一の配列を持っていたのに対し、モンテンボクは奄美大島のオオハマボウと変異を共有していた。また、モンテンボクの葉緑体DNAに諸島内の集団間で数多くの変異が認められた。このことから小笠原に最初に定着した系統からモンテンボクが異所的に分化し、その後比較的新しい時代にオオハマボウが小笠原にやってきて定着した可能性が高いことが示唆された。

ナガバキブシとキブシ（キブシ科）の葉緑体 DNA の地理的変異（加藤英寿・邑田 仁・大井哲雄）

小笠原諸島固有種ナガバキブシ (*Stachyurus macrocarpus* Koidz.) の由来及びその変種ハザクラキブシ (*S. m. var. prunifolius* Tuyama) との種内関係を明らかにするために、近縁種キブシ (*S. praecox* Sieb. et Zucc.) を含めた分子遺伝学的解析を行った。その結果、日本産キブシ属には地理的なまとまりのある 13 種類の葉緑体 DNA のハプロタイプが検出された。そのうちナガバキブシには 2 種類のハプロタイプがあり、それぞれ小笠原諸島父島のナガバキブシ、母島のハザクラキブシに固有で単系統性を示した。しかし情報不足のためナガバキブシの由来については明らかにはならなかった。また本種は個体数が極めて少なく絶滅が危惧されているため、現在の分布域・個体数を把握するため現地調査も行った。

シロテツ属植物の形態変異と酵素多型の解析（加藤英寿・中村朗子）

小笠原固有属であるシロテツ属 *Boninia* において、形態および遺伝的変異の解析を行った。予備的に形態を観察したところ、オオバシロテツにおいて 2 型が認められた。この 2 型を含む 4 タイプにおいてアイソザイム解析を行った結果、シロテツ属では他の海洋島固有種に比べて、遺伝的変異が非常に高いことが明らかになった。

小笠原諸島における木本性ハイビスカス属の繁殖成功度の決定要因（可知直毅・工藤 洋・廣田幸将）

セイヨウミツバチが帰化している父島と、在来ハナバチの多い兄島においてモンテンボク (*Hibiscus glaber*) とオオハマボウ (*Hibiscus tiliaceus*) の繁殖特性を比較した結果、兄島のモンテンボクは在来のオガサワラキホリハナバチの訪花によって高い結果率・結実率を示したが、父島のオオハマボウ、モンテンボクではセイヨウミツバチによる訪花はあるが、低い値を示した。セイヨウミツバチの帰化によるハナバチ相の変化が在来のハイビスカス属植物の繁殖成功度を低下させていると考えられる。

父島列島南島のオオハマボウの個体群動態（可知直毅・工藤 洋・鈴木 亮）

父島列島南島において固有植物オオハマボウの個体群動態を調査し、実生の死亡要因とその空間パターンを解析した。その結果、死亡要因として近隣個体との競争と定着地の土壌条件が検出された。これらの効果は個体群や年によって変動したため、それぞれの年や個体群で植物の空間分布が異なった。

小笠原諸島固有草本オオハマボウの発芽時期決定に関与する種子発芽特性

（可知直毅・工藤 洋・市川百合子）

小笠原諸島固有の一回繁殖型草本であるオオハマボウの種子発芽特性の変化を追う発芽実験を行った結果、冬に芽生えが観察されるのは、種子の発芽可能温度域が時間経過により高温側へ広がることと生育地の気温の低下によって発芽に適した条件が整うためと推察した。

小笠原諸島父島における大型土壌動物の群集構造と安定性（石澤夢紫・竹原明秀）

父島において異なる 4 つの群落型において大型土壌動物の群集構造を調査した。この結果、群落型ごとに群集構造は異なっており、人工林では出現群数、個体数ともに少なかった。また、1977 年とくらべて等脚目のいちじるしい減少や群集構造の変化が認められた。

小笠原諸島父島におけるヤシの分布と生態の多様性（竹原明秀）

小笠原諸島父島において、ヤシ科植物 4 種の分布や形態的・生態的特徴を調査した。その結果、固有種のノヤシとオガサワラビロウは自然植生域、移入・帰化種のヤマドリヤシやクロツグなどは人為的な影響を受けた地域に分布がみられた。特にノヤシの個体群構造は歪んでおり、種維持にとって十分な個体数が生存しているとは言い切れない。

第 3 章 島嶼における移入種の侵入・定着過程に関する研究

小笠原諸島における移入種の侵入・定着過程に関する研究-I

— 移入種の遺伝子集団の把握に関する研究（五箇公一）

小笠原における侵入生物種の遺伝的変異に関する知見を集積し、集団遺伝学・生物地理学的側面より、それら侵入生物の侵入過程に関する基礎的データをを得ることを目的として小笠原で最も繁栄している侵入昆虫の一種、セイヨウミツバチの分布と遺伝的変異を調べた。父島および母島より採集した働きバチのアロザイムおよびミトコンドリア DNA 変異を調べた結果、島間で遺伝的分化が生じていることが示唆された。また、これまで報告のなかった小笠原のハダニ類の採集を行い、形態及びアロザイム変異に基づき種構成を調べた結果、父島、母島および兄島で様々な種が確認され、日本未記載種の存在も確認された。

小笠原におけるギンネム林の動態 (山村靖夫)

20年間の長期継続調査のデータに基づいて小笠原のギンネム林の更新過程を解析した。多くの林分は戦後成立した一斉林であり、同齢林における寿命により崩壊した。新たに侵入したギンネムキジラミの食害は一斉枯死の促進要因として重要である。小笠原のギンネム林は、定期的な攪乱がある場所以外では衰退しつつある。

小笠原父島への進入に伴うギンギシのフェノロジーの変化 (名取俊樹)

グンバイヒルガオの発根頻度と葉面積との関係 (奥井智子・野原精一・古川昭雄)

グンバイヒルガオ (*Ipomoea pes-caprae*) の不定根の役割について調べた。不定根は、①葉への水分供給、②砂丘の移動に対する防御、③分枝によって娘個体を形成するため、の役割を有していると考え、3つの仮説を検証する目的で外部形態について調べた。葉面積は、つるの先端から末端に向かって増大し、つるの中央部で最大となった。先端からの距離と比葉面積との間でも同様の傾向が見られた。葉面積のピークが見られる場所の少し先に、最初に不定根が形成され、末端に向かって比較的高頻度に発根していた。根間距離と根の出ている節と節との間についている葉の面積の合計との関係について調べた結果、根間距離が長くなるほど合計葉面積は大きくなっていった。以上のことより、不定根は、蒸発面として考えられる葉への水分供給器官としての役割よりも、上に述べた②や③の役割の方が大きいことが推察された。

第4章 島嶼の生態系保全のためのモデリング・評価に関する研究

小笠原諸島における、新規移入種モズとイソヒヨドリの種間関係 (上田雅子・名越 誠)

小笠原に移入したモズ (*Lanius bucephalus*) が、在来の鳥類にどのような影響を与えるかについて、小笠原の既存の鳥類の中でも、形態的にはモズとは全く異なるが、分布域、食餌内容が似ているイソヒヨドリ (*Monticola solitarius*) について種間関係を調べた。

モズとイソヒヨドリの行動圏は同種内ではほとんど重複していないが、異種間では大きく重複していた。しかし、モズは、イソヒヨドリの行動圏をほとんど利用せず上空を通過するだけであったが、非繁殖期には両種の行動圏が重複する傾向にあった。

play back 実験を行った結果、イソヒヨドリのモズのさえずりに対する反応とイソヒヨドリのヒヨドリのさえずりに対する反応は異なっていた。モズの同種のさえずりに対する反応は、育雛期に低下する傾向があったが、有意な差は認められなかった。

イソヒヨドリは、同種に対する攻撃行動が最も高い頻度で観察され、次いでモズに対する攻撃行動が多く観察された。モズも同種に対する攻撃行動の割合が最も高かったが、ヒヨドリに対する攻撃行動も多く観察された。

モズとイソヒヨドリの営巣場所は全く異なっており、モズの巣は全て樹上につくられていたのに対して、イソヒヨドリは崖の岩棚や、人家の雨樋、橋桁の下などに営巣していた。

小笠原父島におけるオガサワラノスリの生息番数評価 (鈴木惟司・加藤夕佳)

1998年の繁殖期を中心に1998年3月から1999年3月にかけて父島のオガサワラノスリ (*Buteo buteo toyoshimai*) の生息番数について綿密な再調査をした。その結果、父島全域で28番(テリトリー)の存在を検出できた。生息番数を父島の面積で割った粗密度は約1.2番/km²である。これはノスリ (*B. buteo*) の番密度としては世界の既知の値に比べても大きい値である。また1999年3月までの結果を基に、同年5月および2000年3月に、推定された番テリトリー位置を手がかりにした生息番数調査を再実施したところ、所有者と見なせる成鳥を検出することにより短期間のうちに調査を完了することができた。

人為的攪乱環境における侵入種の分布拡大 (重定南奈子)

1. 島嶼などの攪乱を受けやすい生息地に外から侵入した種と既存種の間で競争が起きる状況を拡散増殖モデルを用いて解析した。とくに、攪乱の大きさ、場所、到来時間の影響を調べたところ、多様性維持に有利に働く条件として、(1)攪乱のかかる場所がランダムである、(2)攪乱強度が中位である、(3)攪乱の到来時間がランダムである、ことが明らかになった。

2. 好適な環境が帯状に分断化された環境における生物侵入についてモデル化を行い、侵入種の時・空間的パターンと分布拡大速度について一般的な理論式を導いた。

3. また、マツ枯れの空間的な広がりがどのように進展していくかを、マツ、カミキリ、ザイセンチュウの三者の種間相互作用とカミキリの分散様式を取り入れた数理モデルを用いて明らかにした。

小笠原諸島父島における乾性低木林の20年間の個体群動態 (清水善和)

小笠原諸島父島の乾性低木林内に永久方形区(30m×30m)を1976年に設置して毎木調査を行い、1986年と1997年に再調査をして構成種の階層ごとの個体群動態を調べた。もともと個体数の多かった優占種群は、ガの食害で減少したアカテツを除いて個体数を維持したが、希産種のシママラサキ、オオミトベラなどは大幅に個体数を減らし、かつ新たな幼個体もほとんど現れなかった。今後、乾性低木林の希産種の絶滅と森林の種多様性の低下が起こることが憂慮される。

微細緑藻類の種と DNA データベース (野崎久義)

微細緑藻類の島嶼への移入と島嶼に適応した際の進化過程とその多様性がどのような機構で維持されているかを明かにする為には、島嶼及びこれに近縁と考えられる微細緑藻類の遺伝学的多様性を解析する必要がある。本研究では、rbcL 遺伝子のようなタンパク質コード葉緑体遺伝子の様々なものを増幅させる新しい PCR プライマーを設計した。これらのプライマーを用いて増幅した複数遺伝子の塩基配列情報を基に精度の高い遺伝学的解析をボルボックス目(緑藻)で実施することができた。これらの研究の中で、グループ I イントロンを rbcL 遺伝子で初めて発見し、その分子生物学的特徴を明らかにし、その遺伝的解析への有用性を検討した。

亜熱帯島嶼生態系の保全システム (野原精一)

島嶼は一つの「小宇宙」を作っており、島嶼を一つのシステムととらえることは重要である。環境と動植物を含めたシステム全体についての総合的な理解があってはじめてその中の一つの生物種についても十分に知ることができる。

本プロジェクトでは、島嶼という一つの宇宙を過去・現在・未来という時空間の観点を加えて、空間的に離れている島嶼という比較的小さな陸域のシステムを比較生態学・系統地理学的な研究してきた。自然は我々にははかり知れない未知の部分がたくさん持っているが、現在できる最大限の技術で亜熱帯域の島嶼生態系を管理することは未来世代から預かった豊かな自然を引き継ぐ最良の方法と考えられる。

島嶼生態系保全のために、「亜熱帯域島嶼生態系管理システム」を提案した。それは、「島嶼生態系データベース(SIMA-DATA)」、「生態系総合評価システム(SIMA-HGM)」、「個体数変動予測モデル(SIMA-POP)」という3つのサブシステムから構成されている。あらゆる調査研究で得られた知識がSIMA-DATAに蓄積され、必要な情報が引き出されることが可能になる。SIMA-DATAのデータを引き出し、SIMA-POPのシミュレーションモデルを使って固有種や移入種の動態を予測できる。さらに、もう一つの評価軸が生態系の持つ機能の評価である。生物多様性の維持された島嶼生態系から我々は様々な機能を利用することができる。生態系の持つ機能が失われる事のない様に管理する事がSIMA-HGMモデルを使って実施できることなどを提案した。

Abstract

Section 1

Water balance was calculated using the meteorological data of Chichi-jima from 1907 to 1943 and from 1970 to 1999. Annual water surplus and deficit were decided respectively. As a result, we observed a marked difference between the former duration and the latter one. During the late 1900's, it has become drier than during the prewar in the Pacific. This tendency might be connected with recent global warming and/or frequency of ENSO.

The pattern of significant associations between alien and indigenous woody species was examined in the old fields of Haha-jima Island, the Ogasawara (Bonin) Islands, by calculating Spearman rank correlations for species pairs. Alien woody species involved in many negative associations with indigenous woody species. Understory indigenous woody species had associated negatively with alien woody species in the canopy layer, and understory alien woody species had also associated negatively with overstory indigenous woody species. These results show that alien and indigenous woody species were distributed exclusively each other in the old fields of Haha-jima Islands.

Flowering and initial regeneration process of the species of Bambuseae, Gramineae, distributed in the Izu Islands, Japan.

Sasa kurilensis var. *jotanii* K. Inoue et Tanimoto, one of the three major Bambuseae species indigenous to an island, Mikurajima, that belongs to the Izu Islands, Japan, flowered gregariously almost throughout the distribution area of the island in the spring of 1997. The plant died out after setting seeds, which germinated soon following their dispersal. We studied the initial regeneration of *Sasa* populations in the two sites, Oyama and Nagatakiyama, during a period from 1997 to 1999. We found apparent differences in the density and seedling growth form of *Sasa* seedlings between the two sites. Another Bambuseae species, *Sasamorpha borealis* var. *viridescens* S. Suzuki, also flowered in Mikurajima, but rather sporadically over several years.

This study shows the interrelationships between ants and flowering plants on the Bonin Islands. Special mutualisms between an ant and a plant species (species-specific interactions) do not compose the interrelationships. Therefore, the loose relationships between them may be common in nature and should be investigated for understanding of the evolution of their relationships.

This study shows protandrous flowering patterns of *Scaevola sericea* Vahl (Goodeniaceae) by detailed drawings. The flowering goes through the process of 1) anther openings inside flower bud, 2) pollen grains are carried by an immature style, 3) flower opening, 4) style plays male at first, 5) stigma of the style becomes mature after the male stage.

Mikura-jima Island is composed of an old volcano. On the Island covered with the piling up thing of the volcano origin. The precipitation of Mikura-jima Island reaches 5000mm in year.

In this research, the analysis of the hydrological environment of Mikura-jima Island was attempted according to the continuous long-term data. Moreover, the uniqueness of the water circulation structure of the climatic environment and islands was considered in this research.

Section 2

The morphological species of the conjugating green alga *Closterium ehrenbergii* comprises more than a dozen mating groups (as biological species). Mating groups A, B, C, D, and K were found in the Ryukyu Islands. In addition, one population in Kume Island seemed to be comprised of mating group H. It is suggested that in Asia, distribution ranges of the biological species overlap in Southwest Japan, and that the number of biological species found in the Ryukyu Islands is more than that in other areas of Asia.

Aquatic insects faunae in the Yaeyama Is., the Bonin Is. and the Borodino Is. were reported. Current faunae were not much different from the faunae reported by several authors in the Yaeyama Is. and the Bonin Is., though formerly reported odonate species in the Bonin Is. were not recovered in this study. Especially, no odonate specimens were recovered from the Chichi-jima Island (Bonin Is.), where at least four endemic Odonata species have been reported. An aquatic insect fauna of the Borodino Is., which has been very little-known, was presented. As for the chironomid faunae, a proportion of endemic species was higher in the Bonin Is. than those in the Yaeyama Is. and the Borodino Is.

Macro-invertebrate fauna of subtropical island streams on the Bonin Islands were studied for three years. Of all the invertebrates, freshwater caridean shrimps dominated. Six species of caridean shrimps were found in the streams. *Caridina typus* were found in most of sampling stations. *Atyoida pilipes* were found only in high gradient streams. Egg size of *Caridina typus* in Chichi-jima Island was not different from that of the other subtropical populations. But, egg size of *Paratya* sp. was larger than that of *Paratya compressa* of the other subtropical islands.

Distribution patterns of large gastropods on the bouldershores were surveyed at Chichijima and Hahajima in the Ogasawara Islands, Shikinejima in the Izu Islands and Izu Peninsula. Collected species differed between Ogasawara Islands and other sites. Number of dominant species in Izu Peninsula was most rich among all study sites. Poor species number in Ogasawara and Izu Islands may be caused by small supply of larvae from neighbor area.

High light and high temperature can be critical factors affecting carbon gain in shrubs at sunlit ridges in the Bonin Islands in the sub-tropical Pacific Ocean. Two co-occurring sun-adapted dwarf shrubs, *Planchonella obovata* var.

dubia and *Hibiscus glaber*, with different canopy structures at the ridge site were selected. Net photosynthetic rate and photosystem II (PSII) quantum yield at a given light intensity were lower in *Planchonella*, whose leaf inclination angles tend to be more vertical, than in *Hibiscus* whose leaf inclination angles tend to be more horizontal. Leaf discs were exposed to high light ($1900 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPF) at 37°C, 40°C, or 43°C for 3 h. The recovery of PSII quantum yield in a following 50-min dark period was slower in *Planchonella* than in *Hibiscus*, indicating that the ability of PSII to tolerate high light and temperature was smaller in *Planchonella* than in *Hibiscus*. These results suggest that there is a linkage between leaf display and leaf photochemical ability within sun-adapted shrub species.

Relationship between leaf morphological and physiological characteristics was examined for *Boninia* endemic to the Bonin Islands. In *Boninia*, remarkable variations in leaf area and leaf thickness were observed, and water relations closely related to leaf morphology. Thus, in *Boninia*, variation in leaf morphology would cause variation in physiological characteristics.

We succeed to develop a land surface model which is applicable to a small scale water basin. We also succeed to prepare the model forcing data for long term integration. We collect the parameter data at Chichi-jima Island and Haha-jima Island. By using these forcing and the parameter data, we succeed to integrate the model for 9 years long. The results show the importance of the stomatal resistance to simulate the hydrological cycle on the island successfully. And we conclude that we can discuss the influence of the vegetation change on the island, by using this model.

There are two species of *Hibiscus* in the Ogasawara Islands, *H. glaber* Matsumura is endemic to this islands and *H. tiliaceus* L. is widely distributed in the Pacific coast. In order to verify whether or not *H. glaber* originated from common ancestor with *H. tiliaceus* in the Ogasawara Islands, the phylogeographic analysis using chloroplast DNA (cpDNA) sequences was performed. *H. tiliaceus* in the Ogasawara Islands and the Okinawa Island were same haplotype of cpDNA, while *H. tiliaceus* in Amami Island and *H. glaber* formed a clade. Highly cpDNA variations exist in *H. glaber*. The results suggest that both of two *Hibiscus* species may originate from different ancestors in the Ogasawara Islands.

In order to examine the origin and the infraspecific relationship of Bonin *Stachyurus* (*S. macrocarpus* Koidz. var. *macrocarpus* and var. *prunifolius* Tuyama), a phylogenetic relationship among Bonin *Stachyurus* and *S. praecox* Sieb. et Zucc. was deduced by molecular analysis utilizing chloroplast DNA sequences. A total 13 haplotypes of cpDNA was found in Japanese *Stachyurus*. In the Bonin Islands, there are two haplotypes which are monophyly. One haplotype is specific to var. *macrocarpus* in Chichijima Island, the other is specific to var. *prunifolius* in Hahajima Island. However the origin of *S. macrocarpus* could not be clear because of a lack of phylogenetically informative characters. In addition the numbers and the distribution of living trees in the Bonin Islands were investigated to clarify the present condition, because this species is endangered plant.

Boninia (Rutaceae) is one of two endemic genera in the Bonin Islands. This genus consists of two species including one variety. Within *B. grisea* var. *grisea*, two types were recognized on preliminary observation of morphology. Enzyme electrophoresis was employed to assess genetic diversity within and divergence among these four morphological types of *Boninia*. Gene diversity measured in *Boninia* was extremely high compared to other insular endemics.

We compare reproductive traits between two woody *Hibiscus* species, *Hibiscus glaber* and *Hibiscus tiliaceus* in the Bonin Islands. *Hibiscus glaber* on Anijima was pollinated by *Lithurge ogasawarensis* (native Megachild bee) and show higher reproductive success than other populations. Reproductive success of native *Hibiscus* population was decreasing by exchange of bee fauna caused by introduction of honeybee.

We analyzed spatial patterns of the mortality of a biennial, *Lysimachia rubida* endemic to the Bonin Islands. Spatial heterogeneity of soil surface conditions caused site-dependent mortality and led to clumped distribution of plants.

Germination experiments were conducted to determine the germination characteristics of *Lysimachia rubida*, an endemic plant to the Bonin Islands. Temperature ranges for seed germination shifted towards higher temperatures during the course of seed storage at room temperatures. This may allow the dispersed seeds to germinate in late autumn and winter in the field.

Community structures of macro soil animals were investigated at the four different plant communities in the Chichijima Island. As a result, community structures at the each plant communities were different, and in the artificial forest, both numbers of individuals and groups (class or order) were very few. Community structures compared 1999 with 1977, it considered that the number of order Isopoda was decreased markedly and community structures changed.

The distributions, morphological and ecological characteristics of 4 palms were investigated in the Chichijima Island. As a result, endemic species (*Climostigma savoryanum* and *Livistona chinensis* var. *boninensis*) were distributed in the natural vegetation area, and imported and/or naturalized species (*Chrysalidocarpus lutescens* and *Arenga tremula* var. *engleri* et al.) were detected in the human disturbed area. Especially, the population structure of *C. savoryanum* was distorted in growth stage, and the number of individuals was not enough to preserve species from extinction.

Section3

We investigated geographic distribution and genetic variation of the two arthropods groups, the honey bees (*Apis*

mellifera) and the spider mites (Tetranychidae), at Ogasawara Islands. The survey for allozyme and mtDNA variation indicated the genetic divergence between the honey bee populations in Chichijima island and Hahajima island. Morphological character and allozyme pattern in the spider mites collected in Chichijima, Hahajima and Anijima islands showed that there are many species including unknown species in Ogasawara.

Regeneration processes of *Leucaena leucocephala* forests in Ogasawara Islands were analyzed based on a long-term survey. Most of the forest stands were even-aged stands, and broke down through the 'cohort senescence'. Massive death of trees was facilitated by the attack of newly introduced psyllid. *Leucaena* seems to decrease on the forest sites other than periodically disturbed sites.

The role of adventitious roots of *Ipomoea pes-caprae* was studied. The survey was made on the beach at Yagachi Island in Okinawa, Japan. Three hypotheses were proposed (1) water supply to the leaves, (2) protect from the moving sand dune, (3) developing daughter-individuals by expanding vines. The analysis of adventitious root production and leaf development patterns revealed that the leaf area became their maximum at the middle of vines. The leaf area is considered to be an evaporation surface. Thus, if adventitious roots contribute to water supply to leaves, the integrated leaf area between the adventitious roots is expected to be positively correlated with the distance of the adventitious roots. However, the integrated leaf area increased with increasing the distance between the roots. These results suggest that the role of adventitious roots is not for the water supply, but for the protection of plant individuals from the moving sand dune.

Section 4

The effect of introduced *Lanius bucephalus* on native fowls was studied in Ogasawara Island. For this purpose, we focused on the intraspecific relationship between *L. bucephalus* and *Monticola solitarius* from the aspect of spatial distribution and habitat of these two species. The spatial distribution and habitat of *L. bucephalus* were different from that of *M. solitarius* during the breeding time, but the distribution area of the two species was overlapped during the non-breeding time. The attacking behavior of *L. bucephalus* was intraspecific, but this species attacked *M. solitarius* and *Hypsipetes amaurotis* though the frequency of attacking was not high. The attacking behavior of *M. solitarius* was also intraspecific and the attacking frequency to *H. amaurotis* was high.

The Ogasawara buzzard (*Buteo buteo toyoshimai*) is endemic to the Ogasawara (Bonin) Islands. We investigated the number of pairs of the Ogasawara buzzard and detected 28 pairs on Chichijima (ca. 24 km²). The pair density (ca. 1.2 pairs/km²) was larger than the values reported for common buzzards (*B. buteo*) in the world. The occupation of territory owners was readily checked later, based on the knowledge of the territory distribution. This enables us to complete the census of the territorial pairs in a short period.

1. A mathematical model for invasions of two competing species into disturbed area is studied. One species is assumed to be fugitive, that is, competitively weaker than but superior in diffusive capability to the other species. To describe dispersal and competition, diffusion-reaction equations are used. We examined how the fugitive species could escape from the stronger competitor to expand its range, and how often disturbances should occur to maintain coexistence between two competing species. We can also conclude that a system's biodiversity increases if the sites of disturbance are more randomly located, the disturbed area is less fragmented, and the time interval of disturbances is more irregular.

2. I studied the range expansion in heterogeneous environments that is generated by segmenting an originally favorable habitat into a regularly striped or crisscrossed pattern. To deal with range expansion in such fragmented environments, we modify Fisher's model by assuming that the intrinsic growth rate and diffusion coefficient vary depending on habitat properties. The model is analyzed to examine how the spread of organisms is influenced by the pattern of habitat fragmentation, and which type of fragmentation is more favorable for species survival.

3. We present a mathematical model to describe the epidemic of pine wilt disease spreading in wide areas of Japan. We simulate the spatial spread of disease on a large scale, by incorporating short-range dispersal of the pine sawyer together with long-range dispersal through air convection or transportation of logs infested with nematodes. The leap distance distribution of sawyers is estimated from experimental data.

A permanent plot (30m × 30m) was set in a dry forest at Chichijima and surveyed in 1976, 1986 and 1997. Many endangered species have become more endangered in these 21 years. It means species diversity of the dry forest in the Bonin Islands has been decreasing.

In order to resolve the evolutionary process of green microalgae during transfer to islands and adaptation to the island environments as well as to elucidate the mechanisms to maintain diversity of the green microalgae in the islands, it is necessary to characterize the genetic diversity of the microalgae. In this study, new PCR primers were designated to amplify the various chloroplast, protein-coding genes (such as *rbcL* gene). Robust and detailed genetic analyses of the Volvocales (Chlorophyceae) could be done based on the sequence data from multiple genes which were amplified by using these primers. In addition, group I introns were recognized for the first time in the *rbcL* genes. Molecular characterization of the introns and application of such *rbcL* group I introns to the genetic analyses were carried out.

緒言

亜熱帯島嶼生態系の保全 ―現在・過去・未来の比較―

野原精一（国立環境研究所生物圏環境部）

1. 序

亜熱帯域は生物多様性がきわめて豊富であり、特に島嶼では島ごとの独自の生物相がみられ、固有種が数多く存在していることで、種分化を促進し、種多様性を増加した重要な生態系として認識されている。しかしいっぽうで島嶼の多様な生物は、開発、土地利用の変化等の人間活動による攪乱や侵入外来生物に対して無防備であるため、その多様性の存続が危惧されている。この地域の景観、生物種、遺伝子、生態系の多様性の保護は緊急の課題である。

その様な背景のもとで、環境庁未来創造型基礎研究推進制度によって「亜熱帯域島嶼の生態系保全手法の開発に関する基礎研究」が実施された（平成9～11年度）。この稿では、「島嶼プロジェクト」の概要を説明する。

2. 研究体制

研究課題代表者 国立環境研究所生物圏環境部 野原精一

共同研究機関

環境庁国立環境研究所生物圏環境部

社会環境システム部

地球環境研究グループ

（委託先）

東京都立大学理学部 生物学教室

牧野標本館

地理学教室

奈良女子大学理学部

千葉県立中央博物館

（財）自然環境センター

農林水産省森林総合研究所森林環境部

（委託先）山梨県環境科学研究所

気象庁気象研究所環境・応用気象研究部

3. 研究プロジェクトの概要

本研究では、先端的手法を用い、小笠原諸島等の亜熱帯域の島嶼を主な対象に、地史的・地質的特性及び土地利用の変遷を考慮しつつ固有種を含む生物多様性の現状把握を行い、生物多様性の維持機構の解明を行った。さらに移入種が生物多様性に及ぼす影響評価と島嶼生態系保全手法の開発に向けた基盤整備のための研究を行った。この地域の生物相の進化起源の一つでアジア・太平洋地域の中で海洋島や島嶼を有し、日本と研究交流がある米国（ハワイ諸島）等と共同研究を行った。

海洋島は固有率が高く、ある固有種が絶滅すれば地球上からその種が絶滅することになり、生物多様性の減少が直接引き起こされる。島嶼は面積が小さく、人的環境変化が固有種の生育環境を失わせ安い生態系である。固有種自体が競争に弱く外来性の種によって容易く絶滅してしまう。島嶼は生物進化の実験場でもあるが、種の絶滅の実験場でもある。また、地球温暖化による海面上昇、気候変動による植生帯の変化によって島嶼は影響を受けやすい。その亜熱帯域にある小笠原諸島は年間の降水量が少なく、台風の来ない年には旱魃となる弱い生態系の一つである。そのような世界のガラパゴス・ハワイに匹敵する小笠原諸島の豊富な固有種を絶滅から救い、未来世代に引き継ぐための基礎となるところに本研究の成果の活用が期待される。

研究は以下の4サブテーマについて行った。

(1) 島嶼生態系における生物多様性の把握手法に関する研究

島嶼の基本的な地理学的情報（土地起伏、土地利用、土壌水分）、植生等及び水環境情報（河川水量、水温、濁度、クロロフィル量等）を取得し、島嶼生態系の変動特性を把握・解明する手法を開発する。

（国立環境研究所・自然環境研究センター）

(2) 島嶼の生物多様性の維持機構に関する研究

生物種の移動能力・様式、繁殖能力・様式、競争関係の把握と、アイソザイムあるいはDNA分析による種間の遺伝距離の測定を行い、島への生物の移入、定着、分化の素過程を明らかにし、島の生物多様性創

出過程を解明する。どのような移動・繁殖特性及び競争関係をもった祖先種及び現存の種が、どのような生息地にみられるのかを調査することにより、島における種の移入・定着機構を明らかにする。生物多様性の維持に係る遺伝的要因、生物間相互作用、環境要因について明らかにする。

(国立環境研究所・森林総合研究所・山梨県環境科学研究所・気象研究所・東京都立大学)

(3) 島嶼における移入種の侵入・定着過程に関する研究

海洋島である小笠原諸島に人間によって持ち込まれた移入種(ヤギ・ギンネム・アカギなど)は競合関係にある固有種や普遍種にどのような影響を与えているか評価する。また、本来の島嶼生態系に与えられた攪乱の影響を評価する研究を行う。

(国立環境研究所・千葉県立中央博物館・自然環境研究センター)

(4) 島嶼の生態系保全のためのモデリング・評価に関する研究

まとめとして島嶼における生物多様性保全に不可欠なデータのデータベース化、モニタリング技術開発及び多様性維持機構のモデリングを行う。最終的な研究成果の総合的解析ととりまとめを行う。

(国立環境研究所・奈良女子大学・東京大学)

4. 現在・過去・未来の島環境の比較

日本には人が住んでいるだけで約850もの島々が存在する(日本離島センター, 1998)。平成2年と7年の国勢調査のデータをみると、それらの島嶼に住む人口密度は国内平均より低く、島嶼の面積には依存していない(図1)。伊豆諸島や小笠原諸島の人口増減はほとんどないが、南西諸島では人口密度の高い島嶼で減少傾向にある。伊豆諸島の人口密度は南西諸島に比べ少ない目である。それは火山性の島嶼であるため最大標高が高く急峻で平坦な場所が少ないことが要因の一つと考えられた。人口密度が高ければ、自然に対する人為影響の程度も増すものと予測される。この様に、個々の島嶼の地質・地理的な特性を比較することによって人為影響の程度が把握できる。

島嶼はそれぞれ固有の地質的・人文的な歴史を持ち、大きさや地理的位置から決して同じものはない。それぞれはかけがいのない自然である。しかし、固有種が住む、鳥が渡りに使う、農業を行う、人が住む、レジャーを行うなどといった島嶼機能を考えるとき、その程度の差はあるが機能的には島嶼を比較できる。島嶼の湿地を埋め立てれば、貯水の機能は失われ、住宅地としての機能は増す事になる。島嶼は人為影響の程度、自然選択の程度などにより生態系や進化の実験場とみるとそれぞれの同時代の島嶼を比較することで、それぞれの機能がどう変化したかを把握することができる。一つ一つの島嶼では見えなかった変化が明らかにできる。

同様に、同じ島嶼を過去と比較することで、本来の自然がどれくらい在ったか、機能はどうであったかを類推することが可能になる。たとえば、一般的に生物の種数や量は面積が増えれば増す傾向にある。小笠原諸島の種数一面積関係は伊豆諸島よりは面積に比して種数が少なく、マリアナ諸島では更に少ない。また、島嶼は進化の実験場である(小野, 1994)から生物の進化がどの様にして起こってきたかを島嶼に住む生物の形態や遺伝情報を調べることによって明らかにできる。それは、古く Darwin や MacArthur (1972) が真理を明らかにしてきた比較研究手法である。

我が国は南北に長く、亜寒帯から亜熱帯までの数多くの島がある。国土が狭く資源に乏しいというデメリットもあるが、様々な島嶼という多様な環境をもつというメリットもある。本島嶼プロジェクトはそのメリットを利用して、生物のダイナミクスを明らかにしてきた。過去から現在、未来へと比較することで、生態系を予測し、管理して行ける事と思われる(図2)。

そこで我々はそのうち伊豆諸島・小笠原諸島・南西諸島の亜熱帯域の島嶼として様々な角度から生物多様性と島嶼生態系の機能に係わる生物と環境の調査を行った。どの様な管理をすれば現在の生物多様性を維持できるのか、将来の種分化の余地を残して開発して行けるかを研究した。そして、本報告書の講演にあるようにたくさんの個々の生物、環境についての新事実が明らかにされた。しかし、自然はあまりにも大きいのでそれに比べて短期間にこの基礎的な研究で明らかにされた事はそれぞれの島嶼を理解する上で決して十分ではない。それでも、固有種を守って行く基礎(データベースや予測モデル)はできてきたと考えている。今後更に、本プロジェクトがきっかけとなって各島嶼の各生物のデータベースが充実され、各モデルの精度が上がって、開発事業の際にはまず自然との共存を可能にした十分な予測に基づく政策決定ができるようになれば幸いである。

参考文献

- 1)小野幹雄(1994) 孤島の生物たち。岩波新書 239 p.
- 2)MacArthur (1972) Geographical Ecology, Patterns in the Distribution of Species. Harper & Row. (地理生態学種の分布にみられるパターン。巖、大崎 監訳、蒼樹書房)
- 3)日本離島センター(1998) 日本の島ガイド シマダス 1151 p.

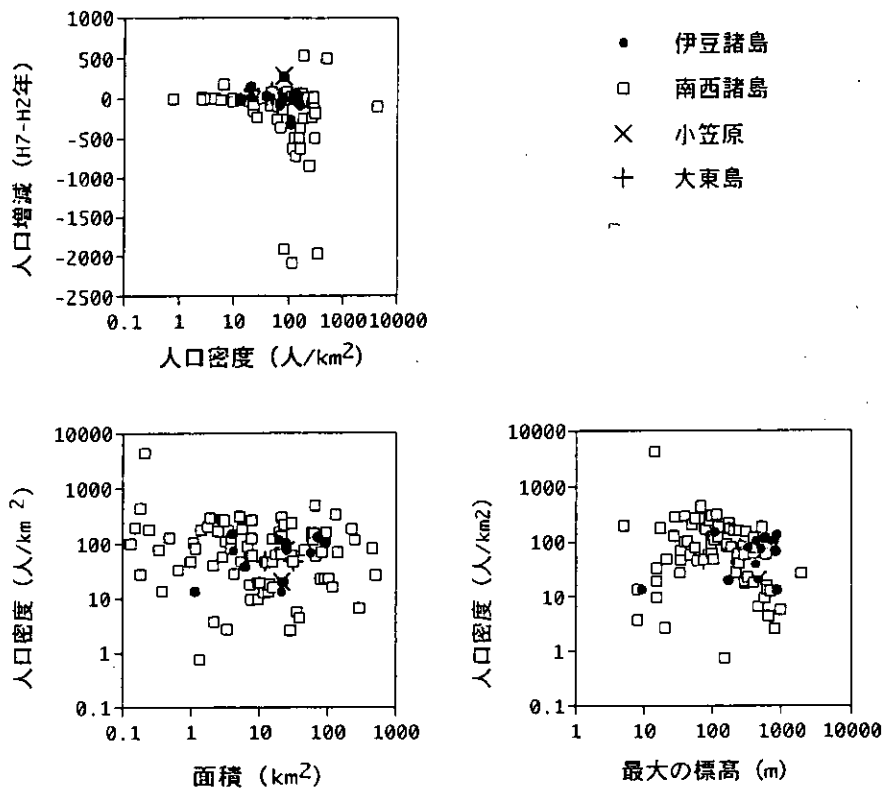
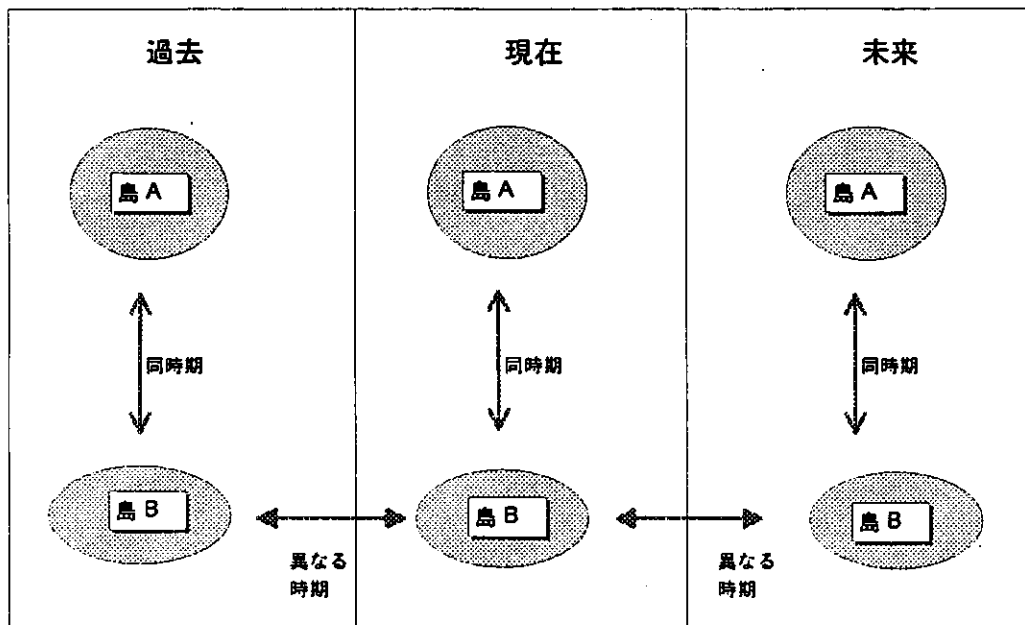


図1 島嶼の面積・人口・人口密度・標高



科学的な環境影響評価に比較対照 (Reference) が必要なのはなぜか？

図2 過去・現在・未来の島嶼の比較研究の必要性

執筆者一覧 (順不同 平成12年3月現在)

- 野原精一 国立環境研究所生物圏環境部 〒305-0053 茨城県つくば市小野川 16-2
tel: 0298-50-2501 fax: 0298-50-2577 Email: snohara@nies.go.jp
- 佐竹 潔 国立環境研究所生物圏環境部 〒305-0053 茨城県つくば市小野川 16-2
tel: 0298-50-2446 fax: 0298-50-2577 Email: satanii@nies.go.jp
- 上野隆平 国立環境研究所生物圏環境部 〒305-0053 茨城県つくば市小野川 16-2
tel: 0298-50-2408 fax: 0298-50-2577 Email: uenor@nies.go.jp
- 名取俊樹 国立環境研究所生物圏環境部 〒305-0053 茨城県つくば市小野川 16-2
tel: 0298-50-2494 fax: 0298-50-2577 Email: tnatiori@nies.go.jp
- 笠井文絵 国立環境研究所地域環境研究G 〒305-0053 茨城県つくば市小野川 16-2
tel: 0298-50-2424 fax: 0298-50-2582 Email: kasai@nies.go.jp
- 五箇公一 国立環境研究所地域環境研究G 〒305-0053 茨城県つくば市小野川 16-2
tel: 0298-50-2480 fax: 0298-50-2582 Email: goka@nies.go.jp
- 飯島明子 科学技術庁特別研究員 〒305-0053 茨城県つくば市小野川 16-2
tel: 0298-50-2473 fax: 0298-50-2570 Email: aijima@nies.go.jp
- 石田 厚 森林総合研究所環境生理研究室 〒305-8687 茨城県稲敷郡茎崎町松ノ里 1
tel: 0298-73-3211 (354) fax: 0298-73-1542 Email: atto@ffpri.affrc.go.jp
- 中野隆志 山梨県環境科学研究所植物生態学研究室 〒403-0005 山梨県富士吉田市上吉田剣丸尾 5597-1
tel: 0555-72-6193 fax: 0555-72-6206 Email: nakano@yies.pref.yamanashi.jp
- 高薮 出 気象庁気象研究所 〒305-0052 茨城県つくば市長峰 1-1
tel: 0298-53-8620 fax: 0298-55-7240 Email: takayabu@mri-jma.go.jp
- 可知直毅 東京都立大学理学研究科 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1
tel: 0426-77-2584 fax: 0426-77-2559 Email: kachi-naoki@c.metro-u.ac.jp
- 工藤 洋 東京都立大学理学研究科 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1
tel: 0426-77-2584 fax: 0426-77-2559 Email: kudoh-hiroshi@c.metro-u.ac.jp
- 廣田幸将 東京都立大学理学研究科 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1
tel: 0426-77-2584 fax: 0426-77-2559 Email: hirota@digitminimi.com
- 鈴木 亮 東京都立大学理学研究科 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1
tel: 0426-77-2584 fax: 0426-77-2559 Email: rsuzuki@comp.metro-u.ac.jp
- 市川百合子 東京都立大学理学研究科 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1
tel: 0426-77-2584 fax: 0426-77-2559 Email: yurich@comp.metro-u.ac.jp
- 鈴木惟司 東京都立大学理学研究科 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1
tel: 0426-77-1111 (3766) fax: 0426-77-2559 Email: suzuki-tadashi@c.metro-u.ac.jp
- 加藤夕佳 東京都立大学理学研究科 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1
tel: 0426-77-1111 (3761) fax: 0426-77-2559 Email: yukak@bh.mbn.or.jp
- 岡 秀一 東京都立大学理学研究科 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1
tel: 0426-77-2593 (3873) fax: 0426-77-2589 Email: oka@geog.metro-u.ac.jp
- 吉田圭一郎 東京都立大学理学研究科 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1
tel: 0426-77-1111 (3835) fax: 0426-77-2589 Email: ykei@geog.metro-u.ac.jp

邑田 仁 東京都立大学理学研究科 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1
 tel: 0426-77-2584 fax: 0426-77-2421
 (現在: 東京大学大学院理学系研究科附属植物園 〒112-0001 東京都文京区白山 3-7-1
 tel: 03-3814-2625 fax: 03-3814-0139 Email: murata@bg.s.u-tokyo.ac.jp)

加藤英寿 東京都立大学理学研究科 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1
 tel: 0426-77-2423 fax: 0426-77-2421 Email: katohide@comp.metro-u.ac.jp

中村 (加藤) 朗子 東京都立大学理学研究科 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1
 tel: 0426-77-2423 fax: 0426-77-2421 Email: saeko-n@comp.metro-u.ac.jp

大井哲雄 東京都立大学理学研究科 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1
 tel: 0426-77-2423 fax: 0426-77-2421
 (現在: 東京大学大学院理学系研究科附属植物園 〒112-0001 東京都文京区白山 3-7-1
 tel: 03-3814-2625 fax: 03-3814-0139 Email: ooi@ns.bg.s.u-tokyo.ac.jp)

名越 誠 奈良女子大学理学部生物学教室 〒630-8506 奈良市北魚屋西町
 tel: 0742-20-3424 fax: 0742-20-3424 Email: ape@cc.nara-wu.ac.jp

重定南奈子 奈良女子大学理学部情報科学科 〒630-8506 奈良市北魚屋西町
 tel: 0742-20-3438 Email: sigesada@ics.nara-wu.ac.jp

奥井智子 奈良女子大学理学部生物科学科 〒630-8506 奈良市北魚屋西町

古川昭雄 奈良女子大学理学部生物科学科 〒630-8506 奈良県奈良市北魚屋西町
 tel: 0742-20-3989 fax: 0742-20-3989 Email: afkawa@cc.nara-wu.ac.jp

上田雅子 奈良女子大学理学部 〒630-8506 奈良県奈良市北魚屋西町

山村 靖夫 茨城大学理学部生態学研究室 〒310-8512 茨城県水戸市文京 2-1-1
 tel: 029-228-8386 fax: 029-228-8404 Email: yama@mito.ipc.ibaraki.ac.jp

清水善和 駒澤大学文学部自然科学教室 〒154-0012 東京都世田谷区駒沢 1-23-1
 tel: 03-3418-9331 fax: 03-3418-9126 Email: PXP04751@niftyserve.or.jp, ys@komazawa-u.ac.jp

野崎久義 東京大学大学院理学系研究科 〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1
 tel: 03-3812-2111 (4474) fax: 03-5802-8747 Email: nozaki@biol.s.u-tokyo.ac.jp

竹原明秀 岩手大学人文社会科学部生物学教室 〒020-8550 岩手県盛岡市上田 3-18-34
 tel: 019-621-6830 fax: 019-621-6830 Email: takehara@iwate-u.ac.jp

石澤夢紫 岩手大学人文社会科学部生物学教室 〒020-8550 岩手県盛岡市上田 3-18-34
 tel: 019-621-6828 fax: 019-621-6828 Email: h2299003@iwate-u.ac.jp

濱田浩美 千葉大学教育学部地学教室 〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33
 tel: 043-290-3682 fax: 043-290-3682 Email: hamada@cue.e.chiba-u.ac.jp

川窪伸光 岐阜大学農学部生物資源生産学科 〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1
 tel: 058-293-2855 fax: 058-293-2855 Email: kawakubo@cc.gifu-u.ac.jp

中島加奈子 岐阜大学農学部 生物資源生産学科 〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1

米重友紀子 岐阜大学農学部 生物資源生産学科 〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1

見塩昌子 岐阜大学流域環境研究センター 〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1
 tel: 058-293-2077 fax: 058-293-2062 Email: MHA00577@nifty.ne.jp

松田こずえ 自由学園 〒203-8521 東京都東久留米市学園町 1-8
 tel: 0424-22-3111(231,239) fax: 0424-23-3359 Email: jiyukozue@aol.com

星住リベカ 自由学園 〒203-8521 東京都東久留米市学園町 1-8
tel: 0424-22-3111(231,239) fax: 0424-23-3359

大塚ちかこ 自由学園 〒203-8521 東京都東久留米市学園町 1-8
tel: 0424-22-3111(231,239) fax: 0424-23-3359

木下今日子 東邦大学大学院理学研究科 〒274-8510 千葉県船橋市三山 2-2-1
tel: 047-472-5235 fax: 047-472-5235 Email: kkyoko@bio.sci.toho-u.ac.jp

中山聖子 東邦大学大学院理学研究科 〒274-8510 千葉県船橋市三山 2-2-1
tel: 047-472-5235 fax: 047-472-5235 Email: sanaka@bio.sci.toho-u.ac.jp

村松幹夫 岡山大学名誉教授 〒700-0028 岡山市絵図町 3-6

亜熱帯域島嶼の生態系保全手法の開発に関する基礎研究
目次

要旨	ii
緒言 亜熱帯島嶼生態系の保全 —現在・過去・未来の比較— 野原精一	x
執筆者一覧	xiii
第1章 島嶼生態系における生物多様性の把握手法に関する研究	1
年気候学的にみた小笠原父島における水文気候環境 岡 秀一・吉田圭一郎	2
母島の耕作放棄地における外来樹種と在来樹種の分布 岡 秀一・吉田圭一郎	6
伊豆諸島に分布する野生タケ連植物の開花と初期植生回復 松田こずえ・村松幹夫・大塚ちかこ・星住リベカ	11
小笠原諸島におけるアリ類と顕花植物の相互作用 川窪伸光・中島加奈子	18
顕花植物の有性繁殖様式： 亜熱帯島嶼域に分布するクサトベラ（クサトベラ科）の開花生態 川窪伸光・米重友紀子	23
御蔵島の水文学的特性に関する研究 濱田浩美	29
第2章 島嶼の生物多様性の維持機構に関する研究	41
琉球諸島及び周辺アジア地域における接合藻ミカヅキモ交配群の分布 笠井文絵	42
亜熱帯島嶼の水生昆虫相、特にユスリカ相について 上野隆平・佐竹 潔	47
亜熱帯島嶼の底生動物相、特に淡水エビについて 佐竹 潔・上野隆平	52
小笠原諸島・伊豆諸島・伊豆半島の転石潮間帯における海産大型腹足類の分布 飯島明子・木下今日子・中山聖子	57
形態の異なる小笠原乾性低木林におけるコバノアカテツとテリハハマボウの光利用特性 石田 厚・中野隆志	62
小笠原諸島固有シロテツ属（ミカン科）の葉形態と生理的特性 見塩昌子・川窪伸光・可知直毅	72
水循環モデルの島嶼への適用 高藪 出	77
小笠原固有種モンテンボクの由来と分化 加藤英寿・中村朗子	89

ナガバキブシとキブシ (キブシ科) 葉緑体DNAの地理的変異 加藤英寿・邑田 仁・大井哲雄	92
シロテツ属植物の形態変異と酵素多型の解析 加藤英寿・中村朗子	97
小笠原諸島における木本性ハイビスカス属の繁殖成功度の決定要因 可知直毅・工藤 洋・廣田幸将	102
父島列島南島のオオハマボスの固体群動態 可知直毅・工藤 洋・鈴木 亮	107
小笠原諸島固有草本オオハマボスの発芽時期決定に関与する種子発芽特性 可知直毅・工藤 洋・市川百合子	111
小笠原諸島父島における大型土壌動物の群集構造と安定性 石澤夢紫・竹原明秀	117
小笠原諸島父島におけるヤシの分布と生態の多様性 竹原明秀	121
第3章 島嶼における移入種の侵入・定着過程に関する研究	127
小笠原諸島における移入種の侵入・定着過程に関する研究 -1 一移入種の遺伝子集団の把握に関する研究 五箇公一	128
小笠原におけるギンネム林の動態 山村靖夫	137
小笠原父島への進入に伴うギシギシのフェノロジーの変化 名取俊樹	143
グンバイヒルガオの発根頻度と葉面積との関係 奥井智子・野原精一・古川昭雄	147
第4章 島嶼の生態系保全のためのモデリング・評価に関する研究	155
小笠原諸島における、新規移入種モズとイソヒヨドリの種間関係 上田雅子・名越 誠	156
小笠原父島におけるオガサワラノスリの生息番数評価 鈴木惟司・加藤夕佳	171
人為的攪乱環境における侵入種の分布拡大 重定南奈子	175
小笠原諸島父島における乾性低木林の20年間の個体群動態 清水善和	182
微細緑藻類の種とDNAデータベース 野崎久義	187
亜熱帯島嶼生態系の保全システム 野原精一	195

第1章

島嶼生態系における生物多様性の把握手法に関する研究

年気候学的にみた小笠原父島における水文気候環境

Interannual Variation of Hygro-environment in Chichi-jima, Ogasawara (Bonin) Islands

岡 秀一・吉田 圭一郎 (東京都立大学理学研究科地理科学専攻)

要旨

大洋島である小笠原諸島はその地理的位置によって、換言すれば大気候スケールの要因によって第一義的にその水文気候環境はコントロールされる。本研究では1907年から1943年、1970年から1999年にわたる気象観測資料を用い、水収支に基づいて年気候学的な見地から小笠原父島の水文気候環境について論じた。その結果、乾湿環境は戦前期と復帰後期との間で明瞭な違いが現れた。これには降水量観測の手法の変換の影響のほか、近年の顕著な温暖化の効果も寄与しているものと思われる。年々の水不足量・水過剰量には激しい変動がみられるが、特に復帰後のそれと ENSO との関わりをみると、強いエルニーニョ年には両者ともに大きくなる傾向がある。

Abstract

Water balance was calculated using the meteorological data of Chichi-jima from 1907 to 1943 and from 1970 to 1999. Annual water surplus and deficit were decided respectively. As a result, we observed a marked difference between the former duration and the latter one. During the late 1900's, it has become drier than during the prewar in the Pacific. This tendency might be connected with recent global warming and/or frequency of ENSO

1. 序

小笠原では、1906年父島大村に測候所が開設されて以来第二次大戦中の1944年まで、気象観測データが蓄積されてきた。1968年復帰後、1969年より気象観測業務が再開して今日に至る。従って、この24年間のデータは欠落する。この間、米軍占領下で継続して観測されていたという情報もあるが、現在のところ確認できていない。母島では沖村で1942年に観測業務開始され、1944年まで観測は続けられた。ところで、小笠原では復帰後、学校教育の充実化がはかられ、産業振興のために種々の研究所も設立された。その中で気象観測も重要な位置付けがなされてきた。また、さまざまな基盤整備事業を進める中で、その基礎資料としての気象観測も島内各所で行われてきた。Maejima and Oka¹⁾によってそれらのデータの整理がなされたが、それぞれ目的や期間も異なり、補足的には使えても、それらをベースにして小笠原の気候環境を議論することはなかなか困難な側面があった。その意味で国立環境研究所による島嶼プロジェクトの立ち上げは小笠原の水文気候環境を全体として捉える絶好の機会でもあった。

小笠原諸島は大陸から孤立した大洋島であるが、その地理的位置によって、言い換えれば大気候スケールの要因によって水文気候環境はコントロールされる。たとえば、台風の発生頻度やコースによる降水量自身の変動がその事例である。そして、そこには ENSO (エルニーニョ・南方振動) との関わりが想定されることになろう。一方、父島は約300m、母島は約450mの標高を持っているが、それは標高、斜面などによって水文気候環境にさまざまなバリエーションを持つということである。言い換えればローカルスケールの要因による偏倚も大きいということになる。これらの要因による時間的・空間的綾の中で島嶼植生景観も大きな影響を受ける。小笠原諸島の水文気候環境の把握はこの綾を解きほぐすことである。本報告は年々の変化に着目し、年気候学的に検討した父島の水文気候環境の特徴について論じる。

2. 研究方法

小笠原の通年の気象記録として気象庁によって公表されているのは父島：1907年～1943年および1970年以降、母島：1943年である。ここでは父島の1907～1943、1970～1999にわたる月平均気温、月降水量を用いて、おもにソーンスウェイト法²⁾によって可能蒸発散量を求め、年々の乾湿の環境を検討する。その際、季節的特徴や、エルニーニョとの関わりも吟味する。

3. 研究結果

まず年平均気温と年降水量について経年的な変化を見てみよう(図1)。年平均気温は、戦前は最高23.4℃、最低21.9℃の間を変化し、平均は22.6℃であった。戦後になると最高23.7℃、最低22.3℃、平均23.0℃でそれぞれ上昇傾向にある。年降水量について見ると、戦前は最大2075.3mm、最小1114.2mm、平均1610.7mmに対し、戦後は最大1875mm、最小750.5mm、平均1234.9mmであり、いずれも減少傾向を示している。気温の上昇と降水量の減少を勘案すると、近年乾燥傾向が強まっていることが明らかである。これらの傾向が24年の中断を挟みながら継続的であるのかどうかはまだ定かではない。予察的に見る限りでは、少なくとも気温については戦前戦後を通じて一貫して上昇傾向にあるように見え、降水量については平均値のレベルに差があるように見える。

前島・岡³⁾は1911年～1940年の平年値を用い、小笠原父島における水の不足をソーンスウェイト法によって確かめている。それによると可能蒸発散量が降水量を上回るのは7、8月となり、その差は総計107mmに達する。その結果8月には7mmの水不足が生じ、この時期農作物には灌漑が必要となる。この

水不足によって地中水分の回復に必要な期間は3か月に達し、8月～10月を中心にして河川流出量も極めて貧弱となる。このように北太平洋高気圧の勢力圏に位置する小笠原では高温期には水不足を生じさせやすい。これは平年値における状態であるから、降水量が平年値を下回る年には水不足は一層深刻な問題となるはずである。

表1には1907年から中断期間を挟んで1999年までの年ごとの水収支の結果を示した。全期間の集計で見ると可能蒸発散量が降水量を上回る乾燥月(D)は7月が88%で最も多く、ついで8月の65%、6月62%、9月の61%と続く。戦前戦後での比較をしてみると戦後には明らかに春季から梅雨季にかけての乾燥月が増加している。土壌水分量を加味して水の過不足を算定してみると、やはり7、8月を中心に水不足が生じている。年間を通じてみると戦後はほとんど毎年のように水不足となる。300mm以上の不足を生じた年を上げてみると、戦前：1926、1934、1942、戦後：1971、1975、1980、1982、1990、1991、1993、逆に全く水不足を生じなかった年は戦前：1915、1921、1923、1925、1930、1939、1943、戦後：1989となり、戦前、戦後の差が歴然とする。一方、500mm以上の水過剰になる年に注目すると、戦前では22か年に及ぶのに対し、戦後ではわずか3か年にすぎない。近年におけるエルニーニョ年(EN)との対比を試みた結果、表中に示されるように、際立ったエルニーニョ年、たとえば1972、1982、1997では水不足量・水過剰量ともに比較的大きくなっていることが判明した。また、図2に示されるように一般には年々の水不足量と水過剰量には必ずしも対応関係がある訳ではない。小笠原における水環境がいかに気まぐれであるかの証である。

4. 考察

戦前の観測期間と復帰後の観測期間では降水量及び気温変化傾向に明瞭な差が現れた。観測地点そのものは両者で変化していないことが確認できたものの、さらに月別値に立ち入った吟味や特に降水量については観測測器・方法変更の有無なども確かめながらの検討が必要である。しかし、乾燥月の出現傾向を両者で比較してみると、復帰後、明らかに寒候期にその出現が際立っている。これには、何らかの形で前線活動に大きな変化があったことを予測させる。これらの変化の様態やその要因については、地球温暖化やエルニーニョといった枠組みのなかでも今後さらに検討を進めていきたい。

ところで、世界各地でさまざまな気候の区分がなされるが、それらは永年の平均値に基づいており、年々の値に注目すれば、実際にはそれらの境界は大きく変動していることが多い。すでに上述したように、平均値では水不足は生じなくとも、年によっては明瞭な水不足の期間が認められることもある。植生分布や農業的土地利用の規程要因の解明のためにはこのような年々の値がどのような変動を示すかの検討、すなわち年気候学的な検討が実際的でもある。夏季は太平洋高気圧の真っ只中に位置し、気まぐれな降水に見舞われるにすぎない小笠原諸島のような場合はとりわけである。今後、年々の変化の検討が期待されるゆえんである。

5. まとめ

戦前と復帰後を通じて、月降水量及び月平均気温を用いて水収支計算を行った。その結果、両者で明瞭な違いがあることが分かった。すなわち、復帰後は戦前に比べ、かなり程度で乾燥化が進んでいる。これには降水量の減少と気温の上昇が関わっている。さらに年々の変動の検討を地球温暖化やENSOと関連づけながら行っていく必要がある。

大洋島である父島では乾湿の年々変動が大きいことが分かった。さらに戦前と比べ、復帰後には乾燥の度合いが強くなっていることも判明した。これらの背景の解明には半球スケールの現象の中での検討が必須であるが、少なくとも植生の生育環境を議論するとき、単なる平均値や単年の値だけでは不十分であることが明らかとなった。

参考文献

- 1) Maejima, I. and Oka, S. (1980) Climatic Records of the Ogasawara (Bonin) Islands. *Ogasawara Res.*, **3**: 1-42.
- 2) Thornthwaite, C.W. (1948) An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.*, **38**: 55-94.
- 3) 前島郁雄・岡 秀一 (1979) 小笠原父島の気候特性. 小笠原研究年報, **3**: 12-19.

Climate of Ogasawara

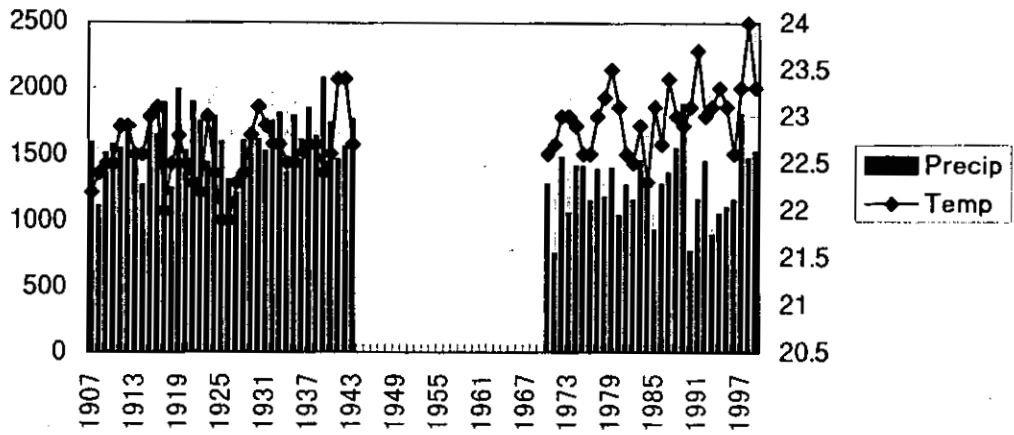


図1 小笠原父島における年平均気温と年降水量の経年変化

Water Surplus & Deficiency

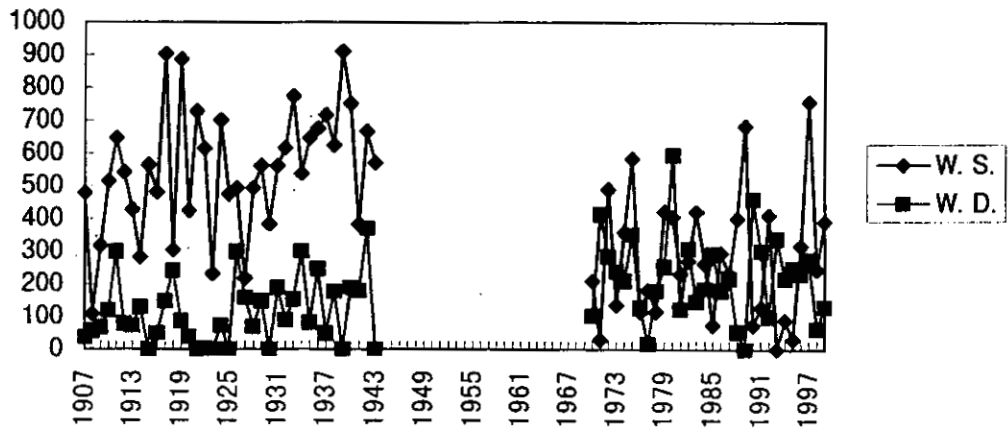


図2 ソーンズウェイト法によって求めた水不足量と水過剰量の経年変化

表1 小笠原父島におけるソースウェイト法による水収支

WS : 水過剰量 (mm), WD : 水不足量 (mm)

ES : 赤道太平洋監視海域水温の5ヶ月移動平均値の最大偏差 (°C)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Ann	WS	WD	ES
1907			D			D	D			D			4	480	37	
1908					D	D	D		D	D		D	7	109	56	
1909							D		D	D			3	317	68	
1910						D	D		D	D			4	515	120	
1911		D	D			D	D	D			D		7	647	299	
1912				D			D		D				4	543	79	
1913						D	D				D		3	428	73	
1914					D		D		D	D	D		5	283	130	
1915				D		D	D			D			4	564	0	
1916				D	D					D			4	482	49	
1917						D	D	D	D	D			5	903	148	
1918				D		D	D	D	D	D			6	304	241	
1919						D	D	D					3	887	87	
1920						D	D	D			D		4	424	38	
1921				D			D						2	728	0	
1922							D	D		D			3	614	2	
1923	D			D		D	D	D		D			6	232	0	
1924	D					D			D	D			4	701	73	
1925							D				D		2	475	0	
1926		D					D	D	D		D		5	494	300	
1927		D				D	D	D	D			D	6	218	158	
1928						D	D	D					2	494	69	
1929	D	D				D	D	D					5	562	148	
1930							D	D			D		3	385	0	
1931				D			D	D	D		D		5	562	189	
1932							D	D	D				2	617	90	
1933						D	D	D	D				4	774	153	
1934						D	D	D		D			4	539	301	
1935							D	D	D		D		4	647	82	
1936					D	D	D	D	D				4	676	248	
1937						D	D	D	D				3	717	48	
1938	D		D			D	D						4	625	178	
1939	D										D		2	911	0	
1940							D	D	D	D			4	752	190	
1941						D	D	D		D			4	385	180	
1942						D	D	D	D				4	668	371	
1943								D					1	572	0	
1970				D	D		D	D		D	D		6	211	104	
1971		D	D	D		D	D	D	D	D	D		9	31	416	
1972						D	D	D					3	491	286	+2.0
1973				D		D	D	D	D	D	D		7	138	240	
1974			D	D		D	D	D	D	D			6	360	211	
1975				D		D	D	D	D	D			6	584	352	
1976		D		D		D	D	D	D			D	6	116	130	+1.0
1977			D	D		D	D	D	D	D			6	182	17	
1978		D		D		D	D	D	D				5	116	180	
1979			D	D		D	D	D	D			D	7	423	254	
1980			D		D	D	D	D	D	D			7	406	595	
1981	D	D	D	D		D	D	D			D		7	233	124	
1982					D	D	D	D		D	D		6	272	310	+2.8
1983				D			D		D	D			4	422	147	
1984	D				D	D	D	D	D	D			7	264	186	
1985	D		D		D	D	D	D	D	D	D		8	76	292	
1986				D		D	D	D		D		D	5	296	180	+1.4
1987	D	D		D			D	D		D			6	232	218	
1988						D		D	D				5	402	55	
1989		D	D				D	D			D		4	684	0	
1990		D			D	D	D	D	D	D			7	75	460	
1991			D	D		D	D		D	D			6	130	302	+1.4
1992			D				D	D	D	D			4	412	100	
1993	D	D		D		D	D	D	D	D	D		9	0	339	
1994				D		D	D	D	D	D	D		6	90	218	
1995			D	D			D	D	D			D	6	31	249	
1996	D	D	D		D	D	D	D	D	D	D		10	318	233	
1997	D	D	D		D	D	D	D					7	757	276	+3.3
1998	D			D		D	D	D	D	D			6	246	64	
1999	D	D				D	D	D	D				6	392	131	
(%)	20	22	23	40	16	62	88	65	61	52	32	11				

母島の耕作放棄地における外来樹種と在来樹種の分布

Associations between alien and indigenous woody species in the old fields of Haha-jima Island, the Ogasawara (Bonin) Islands.

岡 秀一・吉田 圭一郎 (東京都立大学理学研究科地理科学専攻)

要旨

本研究では、母島南部地域(評議平、中平、南崎の一部)に分布する耕作放棄地に成立した二次植生を研究対象に、Spearmanの順位相関係数を用いて外来樹種と在来樹種の分布パターンを解析した。外来樹種の分布パターンと在来樹種の分布パターンとの間には強い負の相関関係が認められ、排他的な分布パターンを示すことが明らかになった。また、高木層と亜高木層との関係を解析した主要5種についても、外来樹種と在来樹種は排他的な分布パターンを示した。これらの結果は、母島南部地域の耕作放棄地において二次遷移の過程で外来樹種と在来樹種とは互いに排他的に分布し、すみわけていることを示している。

Abstract

The pattern of significant associations between alien and indigenous woody species was examined in the old fields of Haha-jima Island, the Ogasawara (Bonin) Islands, by calculating Spearman rank correlations for species pairs. Alien woody species involved in many negative associations with indigenous woody species. Understory indigenous woody species had associated negatively with alien woody species in the canopy layer, and understory alien woody species had also associated negatively with overstory indigenous woody species. These results show that alien and indigenous woody species were distributed exclusively each other in the old fields of Haha-jima Islands.

1. 序

小笠原諸島の大部分の地域は戦前耕作地として利用されていた。耕作地の大半は1944年の強制疎開以降55年間放置され、現在ではそこに二次植生が成立している。この二次植生の多くには外来樹種が侵入し定着している。二次遷移過程において一時的に優占しただけで、在来植生に大きな影響を与えなかったリュウキュウマツの事例もあるが¹⁾、耕作放棄地に優占する他の外来植物の多くは在来の植物に対して大きな影響を与えていると予想される。

筆者らは、1998年より母島南部地域(評議平、中平、南崎の一部)に分布する耕作放棄地に成立した二次植生を対象に、構成樹種に関する詳細なデータを収集してきた。本報告ではこれに基づいて外来樹種と在来樹種の分布パターンを解析した結果を示す。

2. 研究方法

調査対象地は母島の南部地域(評議平、中平、南崎の一部)における耕作放棄地である(図1)。耕作放棄地のほとんどは周囲がテリハボクの防風防潮林によって囲まれており、過去に撮影された空中写真から容易に判読できた。空中写真で判読した耕作放棄地は、写真の歪みを補正する解析図化機を用いて2万5千分の1地形図上に正確に図化した。この分布図をもとに、耕作放棄地を特定し植生調査を行った。植生調査は、耕作放棄地20ヶ所において森林内に100m²から150m²のコードラートを設置し毎木調査を行った。外来樹種の分布と在来樹種の分布との関係を、100m²あたりの種毎の胸高断面積合計を用いて求めたSpearmanの順位相関係数から解析した。また、林冠層を構成する樹種の亜高木層以下に分布する樹種への影響を明らかにするために、主要5樹種について林冠層と亜高木層以下とで区別した相対胸高断面積合計(%)を用い、全ての林冠層-亜高木層以下の組み合わせでSpearmanの順位相関係数を求めた。Spearmanの順位相関係数は、対象の集団が正規分布しない場合に用いるノンパラメトリックの解析手法で、対象となる数量を順位に置き換えて求めた相関係数である。つまり、Spearmanの順位相関係数が正の場合、双方の胸高断面積合計が同調的に増加または減少することを示し、負の場合は逆に相反する傾向を示す。順位相関係数が有意でない場合は、双方の樹種はお互いに独立して分布することを示す。調査した20ヶ所で合計30個体以上存在し、かつ、6ヶ所以上の耕作放棄地において分布が確認されていた植物種についてのみ順位相関係数を求めた。また、対象にする樹種が分布していない地点は順位相関係数の計算から除いた。

3. 研究結果

調査対象となった耕作放棄地の二次植生には、計37種の木本植物が分布していた。そのうち、外来樹種3種を含む11種について解析した。表1に、主要11種について相互に求めた胸高断面積合計の順位相関係数を示した。

特に在来樹種と外来樹種との間で強い負の順位相関が認められた。外来樹種のアカギを例にとってみると、シマシャリンバイ(-0.753; $p < 0.01$)、アカテツ(-0.608; $p < 0.01$)、アデク(-0.798; $p < 0.01$)、タコノキ(-0.760; $p < 0.01$)、といった在来樹種とのみ強い負の相関が認められ、反対に同じ外来樹種であるシマグワとは正の相関(+0.455; $p < 0.05$)が認められた。在来樹種間や外来樹種間では、一部に正の有意な相関関係が認められたが(例えば、アカギ-シマグワ間やシマシャリンバイ-アカテツ間)、大半は有意な関係が認められ

なかった。陽樹性の強いウラジロエノキやムニンエノキは他の在来樹種と異なり、外来樹種とは関係が無く、在来樹種と強い負の相関関係があった。これは、遷移初期に出現する樹種であるウラジロエノキとムニンエノキが遷移後期種の在来樹種（シマシャリンバイやアカテツなど）が優占する群落には分布せず、遷移があまり進行していないギンネムの優占する群落に混在していることによる。外来樹種であるシマグワと解析に用いたほとんどの樹種との順位相関係数には有意性が認められなかった。

次に、それぞれいくつかの耕作放棄地に成立した二次植生における優占種である主要樹種 5 種について、林冠層を構成するものの相対胸高断面積合計 (%) と亜高木層以下に分布する相対胸高断面積合計 (%) との順位相関係数を求めた (表 2)。その結果、ギンネム (林冠層) およびシマグワ (林冠層) と在来樹種のアカテツ (亜高木層以下) およびシマシャリンバイ (亜高木層以下) との間には有意な負の相関関係が認められた。また同様に、アカテツ (林冠層) およびシマシャリンバイ (林冠層) とアカギ (亜高木層以下) およびギンネム (亜高木層以下) との間にも強い負の相関関係があった。アカギ (亜高木層以下) はアカギ (林冠層) とは強い正の相関関係 (+0.832; $p < 0.01$) にあるが、アカテツ (林冠層, -0.811; $p < 0.01$) やシマシャリンバイ (林冠層, -0.848; $p < 0.01$) とは強い負の相関関係が認められた。他方、シマシャリンバイ (亜高木層以下) は外来樹種のギンネム (林冠層, -0.548; $p < 0.05$) およびシマグワ (林冠層, -0.568; $p < 0.05$) と負の相関関係にあった。シマグワ (亜高木層以下) は、順位相関係数を計算したどの樹種とも有意な関係は認められなかった。

4. 考察

小笠原諸島における主な外来樹種の分布は、過去に耕作地等に利用されてきた場所とよく一致する^{2),3)}。母島南部地域の耕作放棄地においても高い頻度でギンネム、アカギ、シマグワといった外来樹種が侵入し、在来樹種との競合が生じていると考えられる。これまでの著者らの研究 (吉田・岡、未発表) によれば、母島南部地域の耕作放棄地に成立した二次植生は、ギンネムの優占する群落、アカギの優占する群落、シマシャリンバイの優占する群落、の 3 タイプに区分される。また、同時に外来樹種の優占する二つの群落では在来樹種の優占度が低く、他方シマシャリンバイの優占する群落では外来樹種の優占度が低いことが示されている。

本報告では耕作放棄地に成立した二次植生において、外来樹種の分布と在来樹種の分布には強い負の相関関係が認められ、互いに排他的な分布パターンを示すことが明らかになった。一方の優占する群落で他方の樹種の優占度が低いことを考慮に入れると、このことはギンネムやアカギが優占した群落に在来樹種があまり分布していないことを示しているだけでなく、反対に在来樹種のシマシャリンバイが優占する群落への外来樹種の分布が抑制されていることも示している。つまり、耕作放棄地に成立した二次植生へ外来樹種が一方的に侵入、定着しているのではなく、二次遷移の過程で外来樹種と在来樹種とは競合し、すみわけて、結果として排他的な分布パターンを示していると考えられる。

一般に林冠層を構成する樹種は亜高木層以下に分布する樹種に影響を与えることが知られている⁴⁾。本報告で、二次植生の林冠層に出現した主要 5 種について、林冠層と亜高木層以下との順位相関係数を計算したところ、外来樹種と在来樹種とで林冠層と亜高木層以下は互いに排他的な分布パターンを示した。すなわち、外来樹種が林冠層で優占する群落において、亜高木層以下への在来樹種の侵入、定着は相対的に不利であり、遷移が進行して在来樹種によって林冠層が置換される可能性が低いことを示唆している。また反対に、亜高木層以下への外来樹種の侵入、定着する可能性も、林冠層に在来樹種が優占している群落で相対的に低く抑えられている。したがって、人為的な攪乱をはじめとする外的なインパクトが欠如した状況においては、耕作放棄地に成立した在来樹種の優占する群落が外来樹種によって置換される可能性は高くないと考えられる。

5. まとめ

本報告では、順位相関係数による分布パターンの解析から、現在の時点では耕作放棄地において外来樹種と在来樹種とは互いに排他的に分布し、すみわけて共存していることを示した。また、亜高木層以下の外来樹種と在来樹種の相対的な分布パターンは、今後もそのような互いに排他的な分布パターンが持続する可能性を示唆している。しかしながら、外的なインパクト (自然攪乱や人為的な攪乱) によって外来樹種と在来樹種との関係が変化する可能性も残されていることから、今後も二次植生についての詳細な調査を継続する必要があると考える。

本研究では、母島南部地域の耕作放棄地において外来樹種と在来樹種が互いに排他的に分布することを明らかにした。また、その分布パターンは今後も維持する可能性があることを指摘した。

参考文献

- 1) Shimizu, Y. and Tabata, H. (1985) Invasion of *Pinus lutchuensis* and its influence on the native forest on a Pacific island. *Journal of Biogeography*, 12: 195-207.
- 2) 武内和彦・田村俊和・宮城康一 (1982) 父島・八瀬川流域の現存植生とその成立環境. 小笠原研究, 6:1-34.

- 3) 山口史枝 (1999) 小笠原諸島父島における土地利用と帰化植物分布変動. 小笠原研究年報、22: 7-22.
- 4) Myster, R. W. and Pickett, S. T. A. (1992) Dynamics of associations between plants in ten old fields during 31 years of succession. *Journal of Ecology*, 80: 291-302.

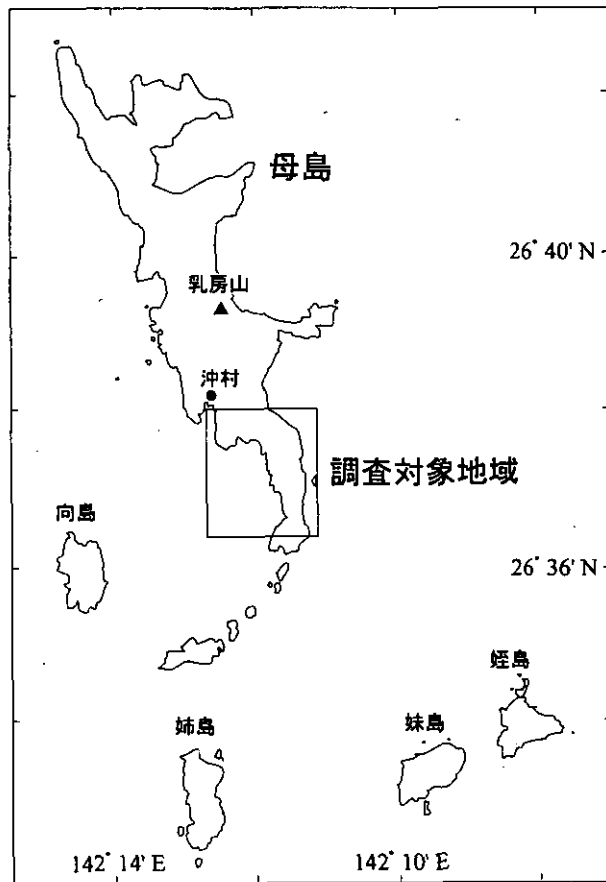


図1 調査対象地域の位置

表1 耕作放棄地の二次植生に出現した主要11樹種間の順位相関係数

種名	外来樹種			在来樹種							
	アカギ	ギンネム	シマグワ	ウラジロエノキ	ムニンエノキ	アカテツ	シマシャリンバイ	アデク	シマモクセイ	タコノキ	ムニンアオガンビ
アカギ	n.s.	0.455*	n.s.	n.s.	n.s.	-0.753**	-0.608**	-0.798**	n.s.	-0.760**	n.s.
ギンネム		n.s.	0.669*	n.s.	n.s.	-0.528*	-0.464*	-0.554*	-0.602**	-0.650**	-0.520*
シマグワ			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
ウラジロエノキ				n.s.	n.s.	-0.595**	-0.515*	-0.812**	n.s.	-0.803**	-0.730**
ムニンエノキ					n.s.	-0.533*	-0.586*	-0.836**	n.s.	-0.664**	-0.684**
アカテツ							0.708**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
シマシャリンバイ								0.680**	n.s.	n.s.	n.s.
アデク									n.s.	n.s.	n.s.
シマモクセイ										n.s.	n.s.
タコノキ											n.s.

(** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$, n.s. : not significant)

表2 主要5樹間の林間層と亜高木層以下の順位相関係数

(亜高木層以下)					
	アカギ	ギンネム	シマグワ	アカテツ	シマシャリンバイ
(林冠層)					
アカギ	0.832**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
ギンネム	n.s.	0.844**	n.s.	-0.483*	-0.548*
シマグワ	n.s.	n.s.	n.s.	-0.469*	-0.568*
アカテツ	-0.811**	n.s.	n.s.	n.s.	0.771**
シマシャリンバイ	-0.848**	-0.612**	n.s.	n.s.	0.788**

(** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$, n.s. : not significant)

伊豆諸島に分布する野生タケ連植物の開花と初期植生回復

松田こずえ (自由学園)・村松幹夫 (岡山大学名誉教授)・大塚ちかこ (自由学園)・星住リベカ (自由学園)

要約

伊豆諸島の御蔵島、八丈島、三宅島、神津島の4島において、野生タケ連植物の分布、生育を調査した。1997年以降、八丈島と御蔵島のハチジョウスズダケに開花がみられ、1997年には御蔵島の御山周辺のミクラザサが一斉開花後、枯死した。その年に発芽、成立した実生集団を1997年から1999年にかけて調査した。親の稈密度が低く、稈高が高い集団(御山)では、実生の密度が高く、伸長成長が著しかった。一方、親の稈密度が高く、稈高が低い集団(長滝山)では、実生の密度は低く、稈高が低かった。ササ群落回復の初期過程が集団によって異なることが示唆された。

Abstract

Flowering and initial regeneration process of the species of Bambuseae, Gramineae, distributed in the Izu Islands, Japan.

Sasa kurilensis var. *jotami* K. Inoue et Tanimoto, one of the three major Bambuseae species indigenous to an island, Mikurajima, that belongs to the Izu Islands, Japan, flowered gregariously almost throughout the distribution area of the island in the spring of 1997. The plant died out after setting seeds, which germinated soon following their dispersal. We studied the initial regeneration of *Sasa* populations in the two sites, Oyama and Nagatakiyama, during a period from 1997 to 1999. We found apparent differences in the density and seedling growth form of *Sasa* seedlings between the two sites. Another Bambuseae species, *Sasamorpha borealis* var. *viridescens* S. Suzuki, also flowered in Mikurajima, but rather sporadically over several years.

1. 序

イネ科タケ連 (Bambuseae, Gramineae) は日本列島に広く分布し、海岸から高山に至るまでの各地に普通にみられる植物である。通常栄養繁殖により群落が維持され、種子繁殖がまれであるにもかかわらず、日本各地の離島にも広くみられる。伊豆諸島ではその生物分布の特異性が知られている。独特な繁殖特性を持つタケ連植物の伊豆諸島における分布や生態は興味深い問題である。

御蔵島の中央部に位置する御山 (標高 850.9m) 周辺に分布するミクラザサは、1997年春に一斉開花し、ほとんどの稈は枯死した^{1), 2), 3)}。比較的面積の小さい御蔵島で、ミクラザサが長い年代にわたり開花結果と植生回復をとおして他の植物種と共存し、安定した分布を示している要因についての研究は興味深く、重要である。

本報告では、伊豆諸島の4島において野生タケ連植物の分布、生育状況と開花の有無について調査した結果について報告する。さらに、御蔵島において、ミクラザサの開花枯死とその後の回復初期の状況について調査した結果について述べる。

2. 研究方法

(1) 調査地域

調査は1997年から1999年にかけて三宅島、八丈島、神津島、御蔵島について行った。御蔵島では毎年8月に詳しい調査を行い、とくに御山、長滝山と周縁登山道において調査観察した。八丈島は三原山(東山)の山頂部まで、三宅島は島南部地域、神津島は島南西部を山頂付近まで調査観察した。

(2) 開花集団および実生集団の調査

御蔵島におけるミクラザサの開花集団についての調査は、御山(標高 750m付近)と長滝山(標高 800m付近)の2地点で行った。長滝山(標高 850m)は御山から南東にのびる尾根上に位置する。

1997年8月に開花後枯死した群落内にはすでに実生が密生していたが、比較的一様な生育を示す箇所を選び、1m×1mの方形区を3個(御山)および5個(長滝山)設置した。方形区内の全枯死稈数(基部のみのものも含む)と、稈高を測定した。御山では方形区内の20cm×20cmに生育する全実生をサンプリングした。長滝山では方形区内の全実生の高さを記録した。

採集した実生について、稈長のほか葉数、分けつ数(茎数)を調べた。その内の約30個体で、節数、節間長、葉身長、葉幅などを測定し、乾燥後、重量を測定した。残りの実生は移植栽培して生育経過の観察に用いた。

1998年8月と1999年8月に、御山のほぼ同じ地域で、同様な方法で実生のサンプリングを行った。各個体について、生稈数、枯死稈数、最長の稈の稈長(個体の稈高とした)、食害の状況などを記録した。1999年8月には、長滝山の群落で10m×30mの範囲内に生育する全実生の高さを測定した。

3. 研究結果

(1) 調査地域における野生タケ連植物の分布

調査した各島には野生タケ連植物種の分布がみられた(表1)。

タケ連植物は各島の居住区や山頂部に至る一般道、林道、登山道の路傍付近から林内、崩壊地などにわたってみられた。そのうち、有用栽培種のマダケ、モウソウチクなどは主に居住区付近にみられたが、野生種は自然植生が残っている地域に分布が認められた。それら野生タケ連はミクラザサ、ミヤマクマザサ(ミクラコザサ *S. hayatae* Makino)、ハチジョウスズダケ(*Sasamorpha borealis* var. *viridescens* S. Suzuki)、およびメダケ(*Pleioblastus simonii* Nakai)である。メダケは栽培からの逸出も考えられるが、明らかに自然条件と思われる地点にも広くみられ、自然分布を否定することができなかった。

(2) 野生タケ連植物の様相

(a) ミクラザサ

表1に示すとおりミクラザサは御蔵島と八丈島に分布する。八丈島では、未開花であったが、御蔵島においては一斉に開花し、御山山頂部とその西斜面部一帯(標高およそ550m以上)に分布する集団のほか、長滝山の南面の集団にも開花がみられた。

(b) ハチジョウスズダケ

ハチジョウスズダケは林内から林縁にかけて生育がみられた。

八丈島においては1996年以前から開花がみられているが、御蔵島では最初1996年に、島の西部にわずかに数平方メートル程度の範囲に開花を認めた(村松、未発表)。その開花状況から、1996年以前には開花がないか、またはあっても1996年に認めた程度の限られた範囲と考えられた。1997年に島の西南部のほか、北東部も調査したところ、開花と開花枯死稈を見出すことができた。西南部における1997年8月の観察では、前年度結実した種子の発芽による実生個体を認めた。実生の生育は遅く、発芽後一カ年が経過していることが明らかであったが、僅か10cm程度の小型の植物にとどまっていた。また、葉も親植物に比して著しく小さかった。1998年夏の観察では東側道路端の1地点に新たな開花・結実がみられた。

また、三宅島や神津島では開花を見ていない。

(c) ミヤマクマザサ(ミクラコザサ)

御蔵島の山地地域に広く分布し、鈴原湿原(標高700m)ではほぼ純群落をなしている。全く開花の兆候はなく、旺盛な栄養生長の継続がみられた。

(3) 御蔵島におけるミクラザサの開花とその後

御山と長滝山の開花集団の調査結果を表2に示した。枯死した親世代の稈についてみると、御山では稈の密度が低く、稈高は高いが、長滝山では稈密度が御山の5倍に達し、稈高は有意に低かった。これらの一斉開花集団地域の中には、所々に2~3稈から10稈以上からなる未開花のスポットが散在してみられたが、それらの未開花スポットの分布に特別な規則性は見出されなかった。なお、1997年の未開花稈は1999年8月にいたるまで開花していない。

ミクラザサの種子は成熟落下後、比較的短時日のうちに発芽した^{1) 2)}。1997年8月下旬の観察では親世代の稈はすでに大方、枯死していたが、その群落内一面に斉一に成長した実生が生育中であった。

(a) 御山の实生個体群の年変化

1997年に成立した実生は1,658本/m²に達したが、1998年には大きく減少し、1999年には808本/m²となった。1998年と1999年の差異は顕著ではなかった(表3)。1997年の8月には一部の実生では稈の基部に芽が形成されており、個体当たりの稈数の増加が予想された。1999年には面積当たりの稈数は個体数を大きく上回った。(表4) そのうち枯死稈の占める割合が高かった。生稈数が1本の個体のほとんどが1~5本、多いものでは14本に及ぶ枯死稈をもっていた。2本以上の生きた稈を持つ個体が全体の約20%あり、最多で4本の稈を持つ個体がみられた。個体当たりの生稈数は1.2本、枯死稈数は3.5本であった。このことから、面積当たりの稈数は1999年以前にさらに多い時期があったと考えられ、その後、減少して現在の1,000本/m²に達したことが類推される。

平均の稈数は1997年8月に30cm、1998年には60cmに達した。1999年は1998年とほぼ同じ値であったが、最大個体は90cm以上に達していた(表3)。各個体の稈高(もつとも長かった稈の長さ)と地上部と地下部を含めた個体全重量との関係を見ると、重量の変異が著しく大きいことがわかった(図1)。すなわちそろって伸長成長を続けてきた個体の中にも乾物生産量の面で差異が生じていることがわかる。

また、実生のなかには、地下茎に食害をうけた痕跡を持つ個体が多く見られ³⁾ また稈の上部に食痕があり、先の部分が折れた、あるいは失われた個体も多く見られた。これらをもたらす加害動物は特定できなかった。

(b) 長滝山の实生個体群

長滝山では一斉開花後に成立した実生は著しく少なかった。1997年の調査における実生の平均密度は4本/m²であり、平均稈高は13.4cmであった。1999年には、密度は0.97本/m²、稈高は43.6cmであった。

長滝山と御山の実生の生育の差異を典型的な個体について比較すると(表5)長滝山では、稈の枯死が少ないこと、節間長が短く稈高が低いこと、稈がよく分枝して着葉数が多いことがわかる。長滝山の実生(表5のA)で根茎の伸長が見られた。

4. 考察

本研究では条件の異なる2箇所において、ミクラザサの開花枯死後の群落回復初期の様相を比較した。ササ群落の開花枯死後の回復過程については、チシマザサ *Sasa kurilensis* (Rupr.) Makino et Shibata⁴⁾ やイブキザサ *Sasa tsuboiana* Makino⁵⁾ の報告がある。また小林、谷本³⁾ は、御蔵島のミクラザサの開花枯死後2年間の実生集団について調査結果を報告した。

御山のミクラザサは1997年初夏に発芽したが他のタケ連植物種^{4), 5)} に比べて生育が著しく早かった。1998年にはさらに稈高が増加したが、個体数は減少した。小林、谷本³⁾ の結果も同様であった。Makita⁴⁾ は、チシマザサの高密度の実生個体群において実生の定着後1~3年の間、個体密度の変わらない時期があり、その後、死亡率一定の間引き期に入ったことを報告した。ミクラザサでは、実生の定着後、1年以内に個体密度の減少が起こったという点でチシマザサとは異なる。枯死稈の多いこと(表4)、優性個体と劣勢個体の文化が生じていること(図1)などから、個体間の競争による密度の減少と考えられる。³⁾ 早い時期に実生間の競争が起こる段階に入った原因として、ミクラザサの大型で、非休眠性の種子¹⁾ は、種子落下後、短期間に大型の実生を確立すること、御蔵島の比較的温暖な気候条件下で、実生の初期生長量が大きいことがあげられよう。一方、チシマザサは休眠性の小型の種子をつけ、生育期間の短い冷涼な気候条件下に生育するという点で実生の初期成長は異なった条件のもとに起こると考えられる。

その後、1998年から1999年にかけては御山のミクラザサの実生集団では稈高、個体数ともに大きくは変化していない。今後長期間にわたって、個体群の動勢を追跡する必要がある。

御山と長滝山ではミクラザサの実生の初期密度が異なり、実生の形態や成長様式も著しく異なっていた。密度が実生の形態や成長様式に可塑的な変異を引き起こすひとつの要因であると考えられる。御山ではミクラザサがほぼ純群落を形成しているが、長滝山では、モミジイチゴ *Rubus palmatus* Thunb. var. *coptophyllus* (A.Gray) Makino、テイカカズラ *Traachelospermum asiaticum* (Sieb. et Zucc.) Nakai、カクレミノ *Dendropanax trifidus* (Thunb.) Makino などの灌木、ツル性植物、木本類がササをおおう高さ(50~90cm)まで繁りつつある。今後、御山と長滝山では異なった回復の過程をとると考えられる。

5. まとめ

本研究では、1997年のミクラザサの開花枯死に際し、群落の再生の初期の様相を調査した。場所によってその様相は異なり、実生個体の形態形質および成長様式との関連がみられた。今後の長期的、また多角的な研究により、ミクラザサ、あるいは他の野生タケ連植物の伊豆諸島における特性があきらかになると期待される。

6. 本研究により得られた成果

- 1) 伊豆諸島4島における野性タケ連植物の分布と開花の状況を記録した。
- 2) 1997年に開花枯死した御蔵山のミクラザサ群落の回復初期の様相を明らかにした。

謝辞

御蔵島や神津島の現地調査に際しては、御蔵島村役場、教育委員の方々、神津島村役場の方々に大変お世話になった。ここに記して厚くお礼申し上げる。

参考文献

- 1) 村松幹夫(1997)日本産竹類の遺伝育種学的研究VI. ミクラザサの開花結実と遺伝資源学的考察. 育種学雑誌 47(別冊2): p.290(講演要旨)
- 2) 村松幹夫(1998)ミクラザサの開花結実の観察・・・一記録 富士竹類植物園報告 42:100-113
- 3) 小林幹夫・谷本丈夫(1999)伊豆諸島におけるミクラザサ *Sasa Kurilensis* Var. *Jotanii* の一斉開花・枯死後の個体群の初期回復過程; 自己間引きの激化と両軸型地下茎の発生 *Bamboo Journal* 16:12-21
- 4) Makita, A. (1992) Survivorship of monocarpic bamboo grass, *Sasa kurilensis* during the early regeneration process after mass flowering *Ecological Research* 7:245-254
- 5) Makita, A., Konno, Y., Fujita, N., Takada, K., and Hamabata, E. (1993) Recovery of a *Sasa tsuboiana* population after mass flowering and death. *Ecological Research* 8:215-224

研究発表

- 1) 村松幹夫(1997)日本産竹類の遺伝育種学的研究VI. ミクラザサの開花結実と遺伝資源学的考察. 育種

学雑誌 47(別冊2): p.290(講演要旨)

2) 村松幹夫(1998) ミクラザサの開花結実の観察・・・一記録 富士竹類植物園報告 42:100-113

表1 伊豆諸島の4島に自然分布する野生タケ連植物

タケ連植物	調査した伊豆諸島の島			
	八丈島	三宅島	御蔵島	神津島
(調査年)	(1997,1998)	(1997,1998,1999)	(1997,1998,1999)	(1998)
ミクラザサ	三原山に小面積の分布がある (未開花)	なし (知られていない)	御山を中心に広く分布する (1997年一斉開花)	なし
ミヤマクマザサ (ミクラコザサ)	なし	なし (知られていない)	御山を中心に広く分布する (未開花)	未確認
ハチジョウスズタケ	三原山に分布 (開花)	ごく小面積に分布 (未開花)	広く各所に分布 一部開花	広く各所に分布 (未開花)
メダケ	三原山や東山のふもと の海岸付近に多い (一部開花)	海岸付近に多く見られる (未開花)	島北部の比較的低地に みられる (未開花)	島内各所の比較的 低地にみられる (未開花)

表2 ミクラザサの開花集団の状況

(1997年8月)

全株数/m² 稈高 (cm)

御山	プロット1	34	283
	プロット2	45	300
	プロット3	24	285
	平均 ¹⁾	34*	289*
長滝山	プロット1	160	160
	プロット2	196	135
	プロット3	180	166
	プロット4	177	184
	プロット5	113	170
	平均 ¹⁾	165*	163*

1) * p = 0.05, Man-Whitney の U 検定による。

表3 御山の実生個体群の年変化

	個体数/m ² 平均 ¹⁾	生稈数/m ² 平均 ¹⁾ 2)	稈高 (cm) 平均 ¹⁾ 最大稈高
1997年8月	1658 ^a	1658 ^a	30.4 ^a 51.3
1998年8月	950 ^b	—	59.6 ^b 85.9
1999年8月	808 ^b	1000 ^b	60.6 ^b 91

1) 3つのサンプリングプロット (20 cm x 20 cm) で得られた値の平均値を平方メートルあたりに換算した値で示す。同じ列で、異なるアルファベットを付した2値の間には有意差がある (p=0.05, t検定による)。

2) 1998年の生稈数は欠測。

表4 御山の実生サンプルの内訳¹⁾ (1999年8月採取)

プロット番号	個体数	稈数			個体あたりの稈数			損傷個体数 ³⁾
		生稈数	枯死稈数 ²⁾	計	生稈数	枯死稈数	計	
プロット1	29	34	101	135	1.2	3.5	4.7	12
プロット2	43	55	103+	158+	1.3	—	—	14
プロット3	25	31	40+	71+	1.2	—	—	9
平均 ⁴⁾	32	40	(113)	(153)	1.2	3.5	4.7	12

1) 20 cm x 20 cmのサンプリングプロットで得られた値を示す。

2) プロット2と3では一部の個体で枯死稈数を測定しなかったため、+で示した。

3) 地下茎や地上茎に食害を受けた跡が明らかな個体。

4) ()の中の数字はプロット1で得られた個体あたりの枯死稈数からプロット2と3の枯死稈数を推定し、その推定値を用いて得られた値を示した。

表5 実生の形態的性状の比較

御山	個体番号	稈数		稈長 (cm)	節数	最大節間長 (cm) (各稈あたり)	着葉数 (各稈あたり)	分枝数*
		生稈数	枯死稈数					
	A	2	11	70.3~93.2	10~11	15.0~18.7	4~5	1
	B	4	7	67.2~73	6~11	16.2~17.7	3~5	0
長滝山	A	8	2	15.6~62.2	6~11	5.4~10.9	3~17	10

* 各個体のもつ分枝の数を示す。枯死あるいは葉を失った枝は除外した。

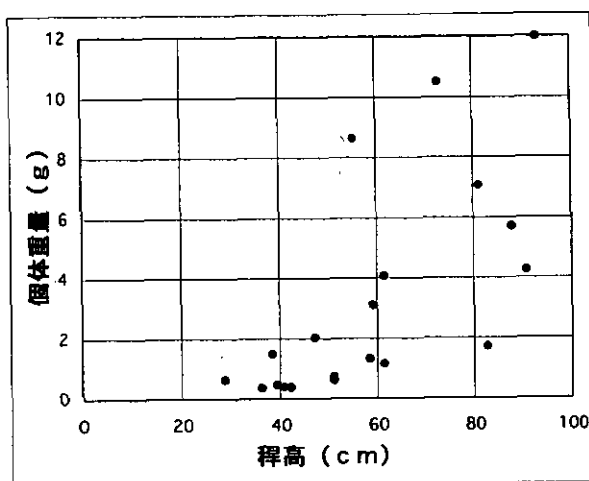


図1 ミクラザサ実生の稈高と個体重量の関係

1999年に御山で採取した実生をプロットごとに4~6のクラスに分け、各クラスより数個体、計20個体を選んだ。葉、茎、地下茎、根および枯死稈の乾燥重量を測定した。個体重量は枯死稈を含めたこれらの合計値を示す。

小笠原諸島におけるアリ類と顕花植物の相互作用

Interrelationships between ants and flowering plants on the Bonin Islands

川窪伸光・中島加奈子（岐阜大学農学部多様性生物学講座）

要約

本研究は、小笠原諸島のアリ相を把握し、植物とアリの相互作用を生態学的に解析した。その結果、確認された総てのアリ・植物間の相互作用は、種特異的關係ではなく、両者の相互作用はアリ多種対植物多種の關係として捉える必要性を示すことができた。

Abstract

This study shows the interrelationships between ants and flowering plants on the Bonin Islands. Special mutualisms between an ant and a plant species (species-specific interactions) do not compose the interrelationships. Therefore, the loose relationships between them may be common in nature and should be investigated for understanding of the evolution of their relationships.

1. 序

アリ類と植物の生態学的關係は、けっして新しい話題ではない。特に、ある1種の植物種が、特定のアリ種1種もしくは数種と強い共生關係を結んでいるケースは、新・旧熱帯の両方で数多く報告されている^{2) 3) 4)}。そのような植物は一箱に「アリ植物」と呼ばれ、植物自体がアリを蜜などの報酬で雇い、食害する昆虫から身を守るシステム（巧妙な相利共生關係）が研究されてきた⁴⁾。

しかし、そのような強い相利共生關係は、事例としてエレガントな生態学的關係と理解できるものの、生態系全体のなかでアリと植物の共生關係を考えると、特殊でまれな共生關係として取り扱わなければならない。なぜなら、熱帯のみならず温帯域においても、野外で普通に存在するアリと植物の相互作用は、アリ多種と植物多種による關係であるからだ。つまり、特定種間の種特異的關係の研究のみでは、生態系内の代表的動植物相互作用の一つである、アリと植物の生態的關係を解明することはできない。

そこで本研究は、アリ類と顕花植物の普遍的共生關係である「多対多の相互關係」の進化的維持機構の解明への第一歩として、小笠原諸島において、両者の生態的關係の実態把握を目的とした。小笠原諸島は亜熱帯域の海洋島であり、強固な地理的隔離ゆえに動植物相は限られた種数で構成され、複雑な多対多の生態的相互關係を最初に解析する場所としては好適と思われる。

この目的のため本研究では、まず、小笠原諸島におけるアリと植物にどのような生態的關係があるのかを明らかにし、つぎに小笠原諸島固有種で花外蜜腺を備えたテリハハマボウ（アオイ科）に訪れる多種のアリ相の解析をおこない、また、あきらかな花外蜜腺を備えずにアリを誘引しているオオバシママラサキ（クマツヅラ科）で、そのアリ誘引器官を解明しアリの行動を検討した。

2. 研究方法

(1) アリ相の把握と植物利用状況の把握：調査地域は小笠原諸島父島と母島のほぼ全域にわたり、調査期間は、1998年3月と6月、1999年7月～8月、2000年1月～2月である。アリ採集は、植物体上、地表、土中、石下、枯れ木中などから、目視、ベイトトラップ、コドラート、ふるい、ツルグレン装置などの方法を用いた。標本作成過程では採集時の情報を管理するとともに、採集したアリは液浸もしくは乾燥標本にして、専門家（山根正気教授・鹿児島大学）の助力を得ながら種名を決定した。確認したアリ種は、植物との關係を吟味しリストとしてまとめ解析した。

(2) テリハハマボウに訪れる多種のアリ相の解析：父島を中心として、定点観察用にテリハハマボウ20株にマーキングし、1999年7月～8月、2000年1月～2月にマーク株に訪れているアリを観察採集して、そのアリ相を株ごと株間、またアリ種間で比較・解析した。

(3) オオバシママラサキのアリ誘引器官の解明：父島・母島において、全域に分布するオオバシママラサキの樹上を観察し、株を訪問しているアリを観察採集した。またアリが長時間採餌行動を見せた植物体部分を採集し、植物体を実体鏡下で観察したのち、すでに電顕などで集積していたオオバシママラサキの形態情報と照らし合わせ、誘引器官を明らかにした。

3. 研究結果

(1) 小笠原諸島のアリ類の顕花植物利用關係：その結果、4亜科38種（小笠原諸島新記録7種うち日本初記録1種）のアリ種を確認し、内23種を植物体上で観察できた（表1）。

植物を訪れていたアリ種は多様で、アリ種と植物種との間には複雑な相互關係が見られた（表2）。アリは植物上で、花蜜や花外蜜、アブラムシやカイガラムシの排出する甘露に訪れるほか、植物体の枯れ枝部分に営巣したり、ただ徘徊しているものも観察された（表2）。

(2) テリハハマボウを共有するアリ多種の相互關係：観察対象としたテリハハマボウ個体群は、13種のアリによって花外蜜が利用されていた。また、テリハハマボウの1株は、1種のアリで占有されること

はほとんどなく、同一株上で同時に数種(2~6種)のアリ種が、普帳に吸蜜していた。テリハハマボウ資源利用頻度は、オガサワラオオアリ、ウスヒメキアリ、アワテコヌカアリなどが非常に高く、他のアリ種との共有率も高かった。アリの活動空間の大きさ(樹高)と各株上のアリ種数に間には正の相関はなく、樹高が高くなるにつれてアリ種数が増える傾向はみられず、逆に樹高が低い株で最高種数を記録した。1株のテリハハマボウは、大型アリ種と小型アリ種の組み合わせによって共有される傾向がやや見られたが、1株を共有するアリ種の組み合わせに特定種間の関係は見られず、組み合わせパターンは非常に多様であった(表3)。

(3) オオバシマムラサキの微小蜜腺に訪れるアリ類: オオバシマムラサキの樹上から、7属9種のアリ種が観察され(表1)、それら総てのアリ種が、オオバシマムラサキの葉の裏の微小腺点(直径50 μ m)分泌される分泌液を採餌していた。

4. 考察

アリの主なエネルギー源である蜜に注目し、観察結旺を総合的に解析すると、各アリ種は蜜類への指向性の違いによって4つのグループに分類できる。つまりa: 植物の分泌物にほとんど興味を示さないグループ、b: 地上に人工的に設置した糖蜜には反応するものの植物上へは登らないグループ、c: 植物体上を徘徊するが花蜜・花外蜜には反応しないグループ、d: 植物体上の糖蜜源(花蜜・花外蜜・アブラムシ・カイガラムシ)を採餌するグループである。また、花外蜜腺を多数備える植物が数多く確認でき、それらの植物種にはアリを害虫防除などにおいて積極的に利用する戦略を備えているものがあると考えられる。

テリハハマボウ樹上のアリ相を解析すると、a: テリハハマボウの花外蜜腺は、特定のアリ種に適応進化した物ではなく、多様なアリ種によって進化的に維持され、b: テリハハマボウを訪れるアリ種は、同株上から他のアリ種を排除し占有する強い傾向はないと考えられた。

また、オオバシマムラサキの微小腺点の存在は、多くの顕花植物の機能が良くわからない分泌腺・腺体などの微細な構造物が、動物に対しての生態的意味を持っていることを暗示する。今回の研究成果は、それら微細構造物の維持の進化生態的意味を考えるうえで重要な手がかりを与える。

5. まとめ

1) 4 亜科 38 種(小笠原諸島新記録7種うち日本初記録1種)のアリ種を確認し、内23種を植物体上で観察できた。アリは植物上で、花蜜や花外蜜、アブラムシやカイガラムシの排出する甘露を訪れるほか、植物体の枯れ枝部分に営巣したり、ただ徘徊しているものも観察された(表2)。

2) テリハハマボウ個体群は、13種のアリによって花外蜜が利用され、同一株上で同時に数種(2~6種)のアリ種が、普帳に吸蜜していた。1株のテリハハマボウは、大型アリ種と小型アリ種の組み合わせによって共有される傾向がやや見られたが、1株を共有するアリ種の組み合わせに特定種間の関係は見られず、組み合わせパターンは非常に多様であった(表3)。

3) オオバシマムラサキの樹上から、7属9種のアリ種が観察され(表1)、それら総てのアリ種が、オオバシマムラサキの葉の裏の微小腺点(直径50 μ m)から分泌される分泌液を採餌していた。

6. 本研究により得られた成果

1) 小笠原諸島で新記録のアリ種7種を確認し、同諸島においても、アリと植物の生態学的な関係は普帳に存在することが判明した。2) その生態的関係は従来解析されてきたような種特異的關係ではなく、アリ多種と植物多種が渾然一体となった相互関係であることが具体的に把握できた。3) 従来は分類学的識腹形質としてしか扱われてこなかった顕花植物の微細構造は、アリなどの小型昆虫への適応形質として捉え、進化生態的意義を検討できることが示された。

参考文献

- 1) インセクタリアム(1992) 特集「アリ」. 29.
- 2) ヘルドブラー・ウィルソン(辻・松本訳)(1997) 「蟻の自然誌」. 朝日新聞社
- 3) Hölldobler B. and Wilson E. O. (1990) *The Ants*. Belknap Press, Harvard Univ.
- 4) Janzen, D. H. (1966) Coevolution of mutualism between ants and acacias in Central America. *Evolution*, 20 (3): 249-275.

研究発表

- 1) 中島加奈子・川窪伸光(1998) 小笠原諸島における植物とアリの相互関係. 第30回種生物学シンポジウム(鹿児島). ポスター発表.
- 2) 中島加奈子・川窪伸光(1999) テリハハマボウの花外蜜腺をめぐるアリ類多種の資源利用. 第31回種生物学シンポジウム(神戸). ポスター発表.
- 3) 中島加奈子・川窪伸光(2000) 植物資源を共有するアリ多種の相互作用. 第47回日本生態学会(広島). 口頭発表.

表1 今回の調査で小笠原諸島に分布を確認したアリ類

亜科	和名	学名		
ハリアリ亜科				
	ツシマハリアリ	<i>Ectomomyrmex javanus</i> Mayr		
	オオハリアリ	<i>Brachyponera chinensis</i> Emery		*
	オガサワラハリアリ	<i>Fonera</i> sp.5		
	ニセハリアリ属 .sp	<i>Hypoponera</i>		
フタフシアリ亜科				
	イソアシナガアリ	<i>Aphaenogaster osimensis</i> Teranishi		*
	トゲナシアシナガアリ	<i>Aphaenogaster</i> sp. 6		*
	ツヤオオズアリ	<i>Pheldole megacephala</i>	○	
	ミナミオオズアリ	<i>Pheldole fervens</i> Fr. Smith		*
	オオズアリ	<i>Pheldole nodus</i> Fr. Smith	○	*
	オオズアリ属 sp	<i>Pheldole</i> sp.	●	
	ムネボソアリ属 .sp	<i>Lepto thorax</i> sp.		*
	ハダカアリ	<i>Cardiocondyla nuda</i> (Mayr)		*
	キイロハダカアリ	<i>Cardiocondyla wroughtoni</i> (Forel)		*
	オオシワアリ	<i>Tetramorium bicarinatum</i> (Nylander)		*
	イカリゲシワアリ	<i>Tetramorium lanuginosum</i> Mayr		*
	キイロオオシワアリ	<i>Tetramorium nipponense</i> Wheeler	○	*
	サザナミシワアリ	<i>Tetramorium similimum</i> (Fr. Smith)		*
	クロヒメアリ	<i>Monomorium chinense</i> Santschi		*
	フタイロヒメアリ	<i>Monomorium floricola</i> (Jerdon)		*
	カドヒメアリ	<i>Monomorium fossulatum</i> Emery		
	イエヒメアリ	<i>Monomorium pharaonis</i> (Linnaeus)		
	サキシマウメマツアリ	<i>Vollenhovia</i> sp. 5		*
	アミメアリ	<i>Pristomyrmex pungens</i> Mayr		*
	オオウロコアリ	<i>Strumigenys Strumigenys</i> Brown		
	ウロコアリ属 sp.	<i>Strumigenys</i> sp.		
	キバブトウロコアリ	<i>Strumigenys</i> sp. 6	○	
	ヨフシウロコアリ	<i>Quadristruma emmae</i> (Emery)		
	トカラウロコアリ	<i>Trichoscapa membranifera</i> (Emery)		
カタアリ亜科				
	ルリアリ	<i>Ochetellus Itoi</i> (Forel)		*
	アワテコヌカアリ	<i>Tapinoma melanocephalum</i> (Fabricius)		*
	アシジロヒラフシアリ	<i>Technomyrmex albipes</i> (Fr. Smith)		*
ヤマアリ亜科				
	ウスヒメキアリ	<i>Plagiolepis alluaudi</i> Emery		*
	アメイロアリ	<i>Paratrechina flavipes</i> (Fr. Smith)	○	*
	ヒゲナガアメイロアリ	<i>Paratrechina longicornis</i> (Latreille)		*
	ミナミアメイロアリ	<i>Paratrechina</i> sp. 5		*
	ナフヨツボシオオアリ	<i>Camponotus nawai</i>	○	*
	オガサワラオオアリ	<i>Camponotus (Myrmamblyx) ogasawarensis</i> Terayama & Satoh		*
	ヒラズオオアリ	<i>Camponotus (Colobopsis) nipponicus</i> Wheeler		

○：小笠原諸島未記載種（アリ類データベースによる）

●：日本新記録（鹿児島大学・山根博士による）

*：植物との関係が確認されたアリ種

表2 観察されたアリ種と植物種の相互関係の内容

植物体上でのアリの行動： 1=徘徊、 2=花蜜吸蜜、 3=花外蜜吸蜜、 4=アブラムシから吸蜜、 5=カイガラムシから吸蜜、
6=営巣、 7=果実採餌、 8=腐食

	ビロウ	トクサハモクモオウ	ウラジロエノキ	オオヤマイチシク	ガジュマル	ヒノキバトリギ	タブノキsp.	セイロンベンケイソウ	シヤイス	シヤリンバイ	ハマナタマメ	ギンネム	ヒメギンネム	ヒメツバキ	アカギ	ニシキソウ	シロネ	アコウザンシヨウ	シヤモチ	アツバモチノキ	ムニンヒメマサキ	チリハマボウ	オオハマボウ	ムニンアオガンビ	
オオハリアリ														1											
トグナシアシナガアリ																									
ミナミオオズアリ														4								5			
ツヤオオズアリ													3									2,3			
オオズアリ													3												
ムネボソアリ属sp.																									
ハダカアリ													3			2									
キイロハダカアリ	1						1															3			
オオシワアリ				1	1			6				3										3,6	3,6		
イカリゲシワアリ	1																					1			
キイロオシワアリ																1									
サザナミシワアリ																								3	
クロヒメアリ																	1					3			
フタイロヒメアリ					1			1														2,3,6	3		
アミメアリ										1		3	1					1,4		2		3			
ルリアリ			6			2	1															1			
アワチコムカアリ	1	1			1			1			1,3	3	1	1								2,3		1	
アシジロヒラフシアリ																				1					
ウスヒメキアリ						2								1								2,3			
アメイロアリ																						3			
ミナミアメイロアリ		6			1			1			3,4	3	1									2,3,6	3		
ヒゲナガアメイロアリ		1											3			2						3	3		
ナウヨツボシオオアリ																									
オガサワラオオアリ	1,6				1	2	1			1	1			1	1			1	1?			3,6			

表2の続き

	アタク	ハマウド	ムニンツツジ	アカネ	シヤモチセイ	モクシキバナ	オガサワラモクレイシ	キロード	ムニンチイカズラ	ムニンハナガサノキ	シヤギクシンカ	オオバシマムササキ	ハマゴウ	ホナガソウ	イヌネウズキ	タイフンソクズ	カサトベラ	シロバナモンダングサ	ワダンノキ	タコノキ	アオノリユウゼツラン	クマタケラン	トリノスシダsp.	オオクニワタリ	
オオハリアリ																									
トグナシアシナガアリ																							2	1	
ミナミオオズアリ								4,5																	6
ツヤオオズアリ																		4							
オオズアリ																									
ムネボソアリ属sp.																								1	
ハダカアリ																		1							
キイロハダカアリ												3												1	
オオシワアリ						1,4					3			1	2	2				7					
イカリゲシワアリ	1																								
キイロオシワアリ											3													6	
サザナミシワアリ																									
クロヒメアリ													2					1							
フタイロヒメアリ											1,3														
アミメアリ				1		1,4					5	3												8	
ルリアリ			2				2							2				1							
アワチコムカアリ				1					1									1		?					
アシジロヒラフシアリ					1						1														
ウスヒメキアリ	1										1														
アメイロアリ						1												1					1		
ミナミアメイロアリ	6			1	1	4			4		5	3		2	1			1		1				8	
ヒゲナガアメイロアリ					1												2					5			
ナウヨツボシオオアリ		1																							
オガサワラオオアリ	1			1	1	1,6			4	1	5	3				2				1	7		1	6	

表3 テリハマボウ樹上でのアリ種間のつきあいの広さと深さ

(深さ: 該当種の各他種との株共有回数/該当種の総観察回数・%・40回/20株)

体長 (mm)	小型種							中型種				大型種		単独	共有他種数 (つきあいの広さ)	該当種の総観察回数
	1.5	1.5	1.5	1.5~ 2	1.5~ 2	2	2~ 2.5	2.5	2.5~ 3	3	3	3	4~ 5.5			
	クロヒメアリ	フタイロヒメアリ	アワテコヌカアリ	キイロハダカアリ	ウスヒメキアリ	ツヤオオズアリ	アメイロアリ	アミメアリ	ヒグナガアメイロアリ	ミナミオオズアリ	オオシワアリ	ミナミアメイロアリ	オガサワラオオアリ			
クロヒメアリ	N	0	21.1	0	26.3	0	5.3	0	21.1	5.3	0	0	21.1	0	6	5
フタイロヒメアリ	0	N	25	0	20.8	4.2	0	0	20.8	0	4.2	8.3	16.7	0	7	7
アワテコヌカアリ	6	9	N	1.5	20.9	1.5	1.5	1.5	16.4	6	9	10.4	16.4	0	12	20
キイロハダカアリ	0	0	14.3	N	14.3	0	0	14.3	14.3	0	14.3	0	28.6	0	6	3
ウスヒメキアリ	8.5	8.5	23.7	1.7	N	6.8	1.7	0	18.6	5.1	3.4	3.4	18.6	0	11	21
ツヤオオズアリ	0	6.3	6.3	0	25	N	0	0	12.5	0	0	12.5	12.5	25	6	10
アメイロアリ	14.3	0	14.3	0	14.3	0	N	14.3	0	14.3	0	0	28.6	0	6	2
アミメアリ	0	0	9.1	9.1	0	0	9.1	N	0	0	0	18.2	54.5	0	5	6
ヒグナガアメイロアリ	8.2	10.2	22.4	2	22.4	4.1	0	0	N	0	8.2	8.2	14.3	0	9	15
ミナミオオズアリ	7.1	0	28.6	0	21.4	0	7.1	0	0	N	0	7.1	28.6	0	6	4
オオシワアリ	0	5.3	31.6	5.3	10.5	0	0	0	21.1	0	N	26.3	0	0	6	6
ミナミアメイロアリ	0	6.5	22.6	0	6.5	6.5	0	6.5	12.9	3.2	16.1	N	19.4	0	9	11
オガサワラオオアリ	6.8	6.8	18.6	3.4	18.6	3.4	3.4	10.2	11.9	6.8	0	10.2	N	0	11	22

顕花植物の有性繁殖様式：亜熱帯島嶼域に分布するクサトベラ（クサトベラ科）の開花生態

Sexual reproductions of flowering plants: protandrous flowering of *Scaevola sericea* Vahl (Goodeniaceae)

川窪伸光・米重友紀子（岐阜大学農学部多様性生物学講座）

要約

本研究では、小笠原諸島の顕花植物の繁殖様式を具体的に明らかにする目的で、花器液浸標本として、82種類124標本を得た。そのうち、野外における生態観察段階で、クサトベラの非常に興味深い雄性先熟の開花生態を明らかにできたので、詳細なスケッチを示しつつ報告する。

Abstract

This study shows protandrous flowering patterns of *Scaevola sericea* Vahl (Goodeniaceae) by detailed drawings. The flowering goes through the process of 1) anther openings inside flower bud, 2) pollen grains are carried by an immature style, 3) flower opening, 4) style plays male at first, 5) stigma of the style becomes mature after the male stage.

1. 序

雄性先熟の植物は数多く知られているが、その様式は様々である。開花後に葯がすぐに機能し、雄のステージになり、花粉送粉後、雌しべの柱頭が成熟し雌のステージ入る一箱的なものから、キキョウ科などに見られるような、開花前に開葯し、花粉は未成熟の雌しべ先端周辺に付着し開花して、雌しべが開花初期には雄の役割をになうもの。つまり、花粉送粉後、その花粉が付着していた雌しべ先端部が開き柱頭が露出して雌のステージとなって受粉するものなどが確認されている。

しかし、雄性先熟の過程で、成熟経過時間にもなう形態変化が詳細に把握されるとはほとんどなく、まして精密な図によって紹介されることはない。

クサトベラ（クサトベラ科、図1）は亜熱帯域の海岸植生の重要な要素として世界各地に分布する。しかし、その開花生態は、雄性先熟であることは知られていても、その具体的な形態変化や雄性期から雌性期への変換は明らかにされてこなかった。そこで本研究では、小笠原諸島の顕花植物の有性繁殖様式の解析に過程で明らかになったクサトベラの雄性先熟開花生態を、精密な形態変化測定値とスケッチによって明らかにする。

2. 研究方法

小笠原諸島・父島の宮乃浜のクサトベラ個体群を材料に、個体、花序、個々の花にマーキングし、時間をおって液浸標本を作成し、経時的形態変化を詳細にスケッチし、性機能の変化を検討した。

3. 研究結果

クサトベラは開花時に、すでに雌しべをしおれさせており、それは褐色化していた（図1）。

つぼみの段階から、順次外部形態を観察すると、図2のような過程が明らかになった。また、つぼみの内部に注目すると（図3、4）、つぼみ初期から、つぼみ中期を過ぎる期間内において、常に雌ずいの方が雄ずいよりも大きいことが判った。しかし、開花4日前、雄ずいは急激な伸長を起こした。雌ずいの急激な伸長は続き、開花2日前に、ついに雌ずいを追い抜かした。さらに雄ずいの伸長は、開花直前まで続いた。この追い越しの際に、雄しべから花粉が雌しべ先端の未成熟柱頭部分のカップに集積されることが解明された（図6）。

このカップの花粉は、開花後、柱頭が成熟するにつれ、カップから押し出されるようになり、訪花昆虫の背中に付着するようになった（図5、6）。

4. 考察

クサトベラの雄性先熟は、キキョウ科サワギキョウ属に見られるような様式を見かけ上とったが、花粉を付着させる柱頭部分の形態と機能は大きく異なり、クサトベラ科の特徴をなすと考えられる。

5. まとめ

開花前のつぼみの段階（開花1日前）に、成熟前で短い雌しべを取り囲むようにして配置された雄しべが、つぼみ内で開葯し、その花粉を伸長する雌しべの先端のカップ状器官が受け取ることが具体的に解明できた（図3、4、5）。また、その後すぐに開花した花は、伸長した雌しべの先端から、さらに伸長を開始した柱頭によって花粉を送り出し、送粉昆虫に授粉すること、その後、1～2日後に柱頭が生長しきって雌しべは成熟を迎え、送粉昆虫から受粉されることが解明された。したがって、クサトベラの雄性先熟は、キキョウ科サワギキョウ属に見られるような開花時には雄ずいは機能せず、雌ずいが雄雌機能の両方を担うシステムであることが詳細に把握できた。

6. 本研究により得られた成果

クサトベラの非常に特異な開花生態を詳細に把握できた。キキョウ科とクサトベラ科の分類学的検討における重要な観察結果を得た。また、特異な雄性先熟の生態が精密図として得られ、解明された。

参考文献

- 1) Takhtajan, A. (1981) *Flowering Plants, Origin and Dispersal*. Oliver and Boyd Ltd. 310p.
- 2) Greyson, R. (1994) *The Development of Flowers*. Oxford Univ. Press. 314p.

研究発表 なし。

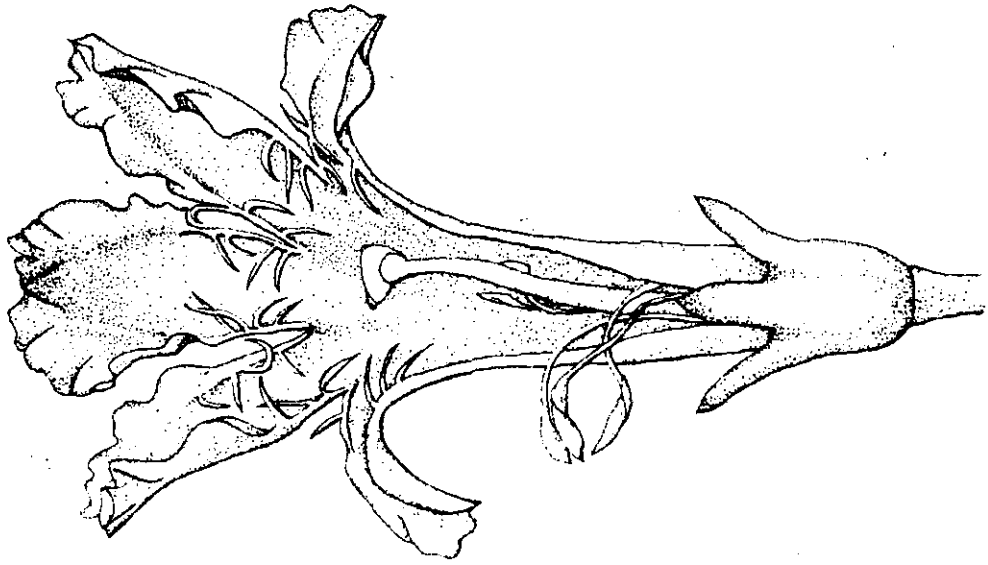


図1. クサトベラの花（上面図、米重画）

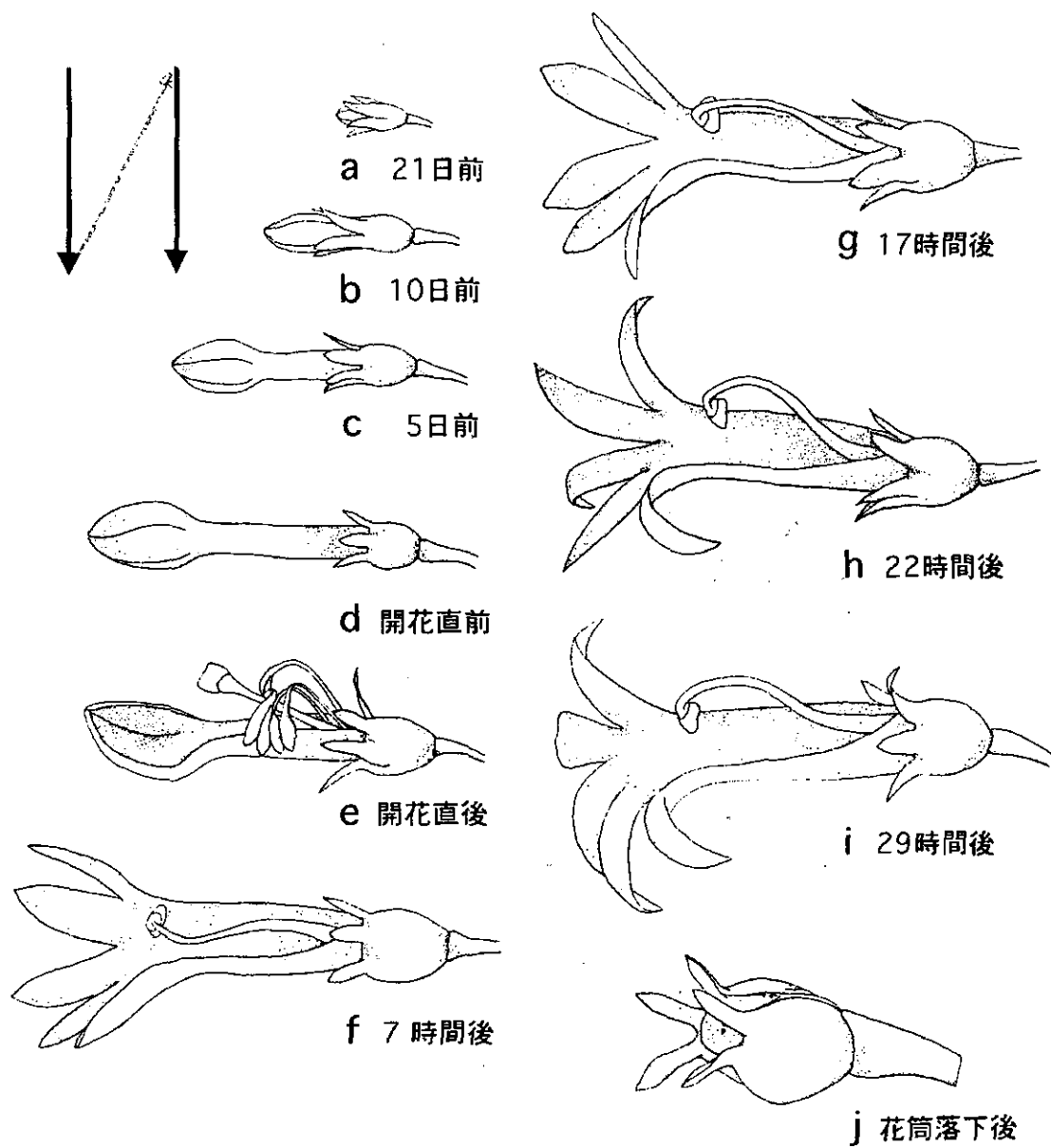


図2. クサトペラの開花様式 (米重画)

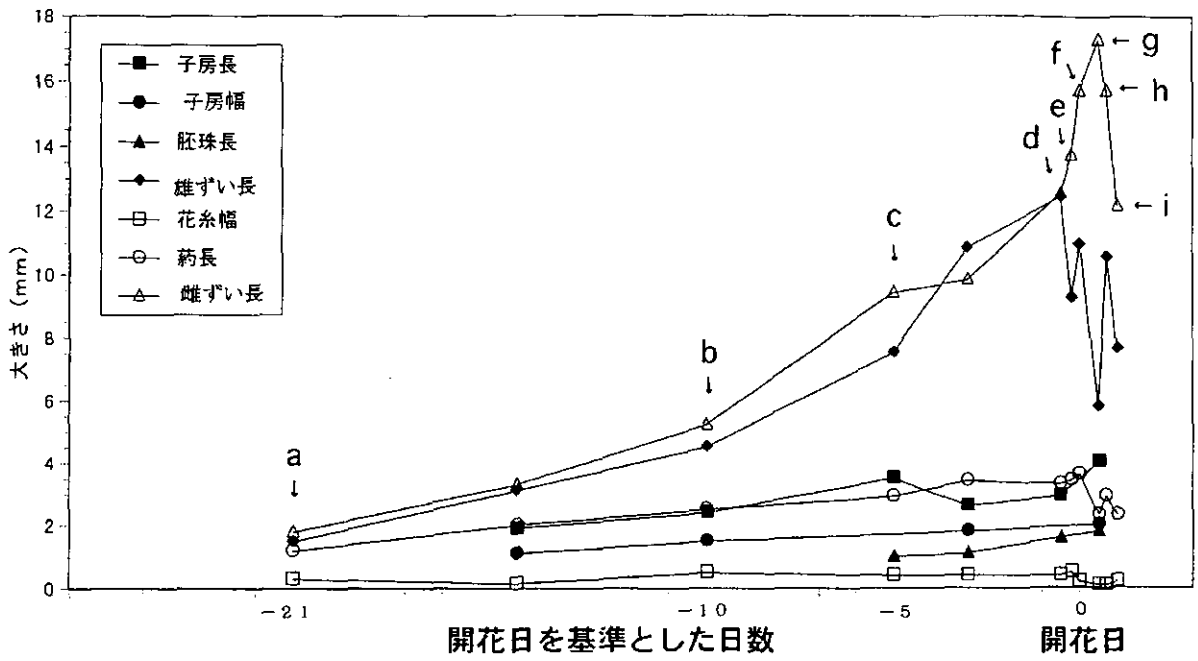


図3. クサトベラ1花内の各器官の生長

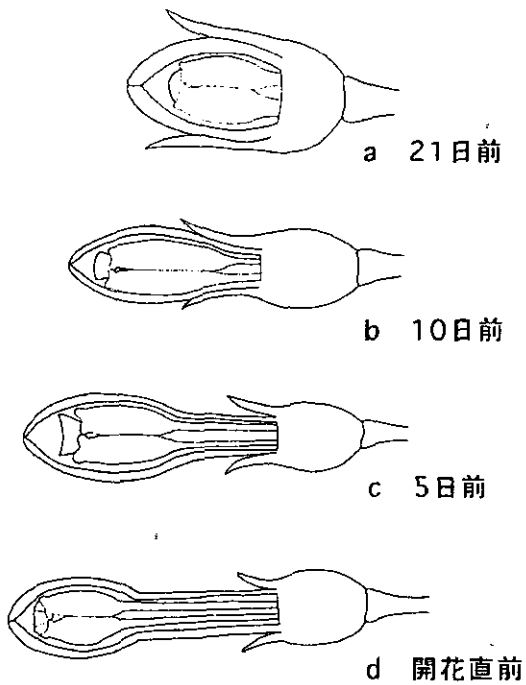


図4. クサトベラつぼみ内部の経時的変化 (米重)

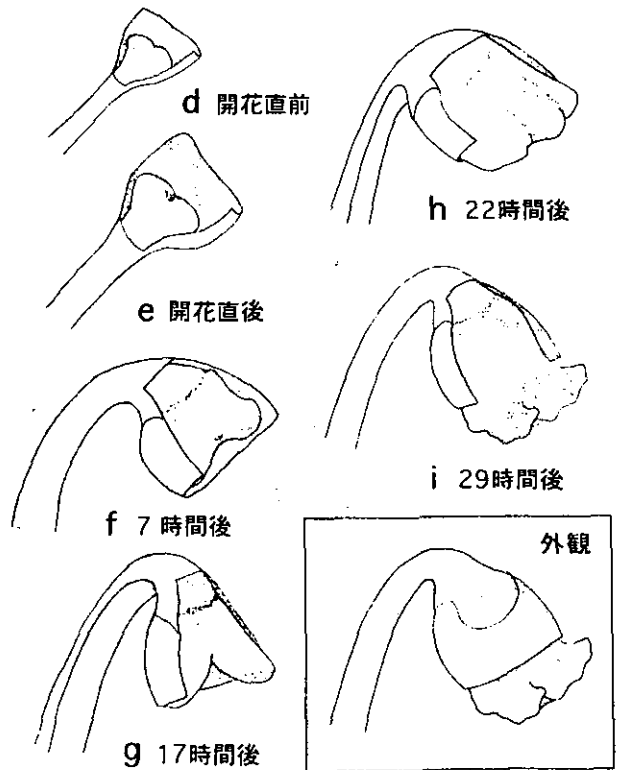


図5. クサトベラの柱頭の発達段階 (米重画)

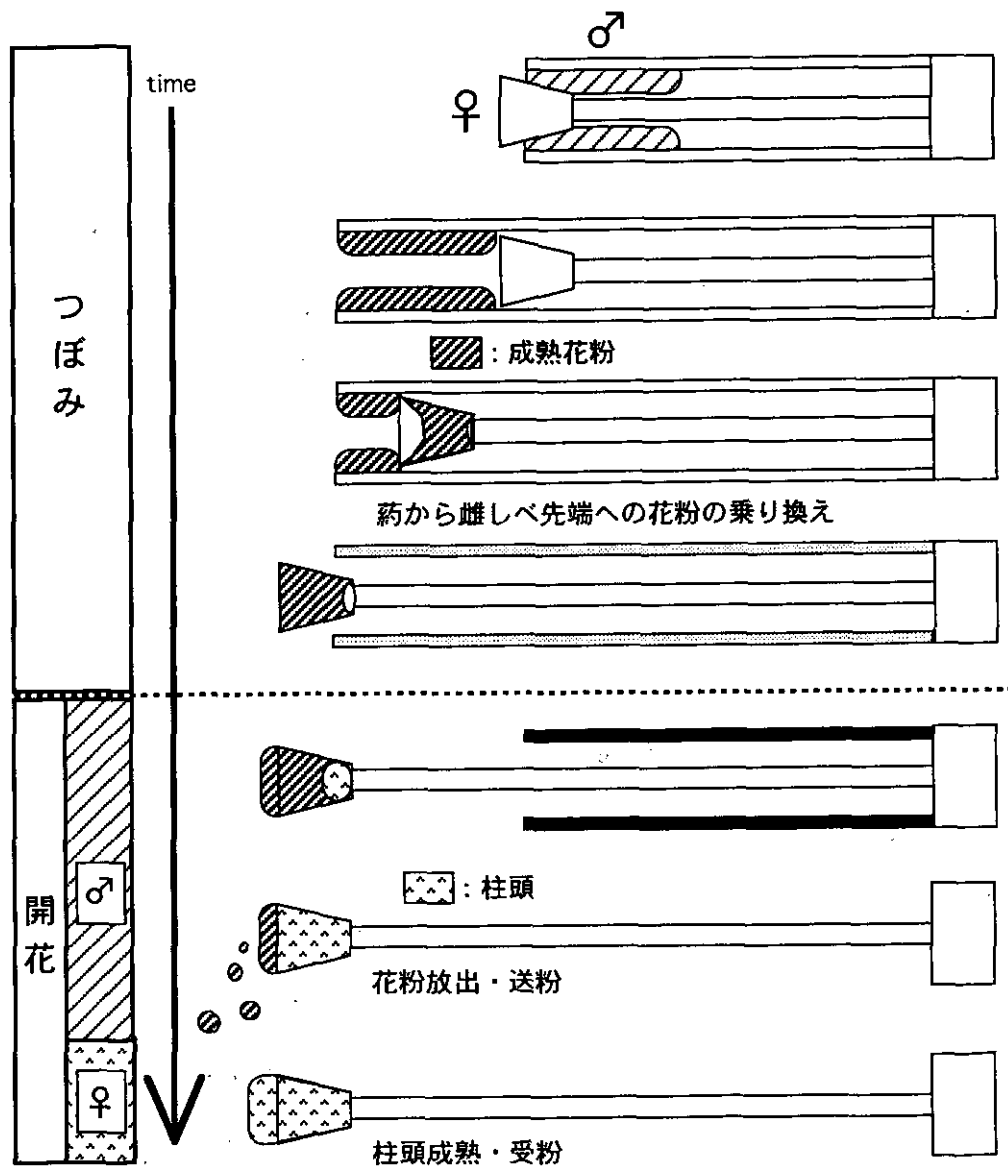


図6. クサトベラの開花様式模式図

御蔵島の水文学的特性に関する研究 濱田浩美（千葉大学教育学部地学教室）

要約

御蔵島は伊豆諸島の中でも形成年代の古い成層火山によって構成され、山体上部には風化した火山砕屑物が覆っている。この砕屑物は比較的保水性が高く、年間 5000mm に達する降水は、この砕屑物中を透水層として、山体の傾斜に従って流下する。本研究では、御蔵島の水文環境をデータロガーなどの観測機器を用いることにより、連続的な長期のデータを取得し、解析を試み、気象環境および島嶼の水循環構造の特異性を考察した。

Abstract

Mikura-jima Island is composed of an old volcano. On the Island covered with the piling up thing of the volcano origin. The precipitation of Mikura-jima Island reaches 5000mm in year.

In this research, the analysis of the hydrological environment of Mikura-jima Island was attempted according to the continuous long-term data. Moreover, the uniqueness of the water circulation structure of the climatic environment and islands was considered in this research.

1. 序

比較的面積の小さい島嶼は、一般的に陸水が豊富でない地域である。とくに、表層が新しい火山噴出物によって覆われている島は、土壌に乏しいため、水循環を制御する土地条件は悪く、最も水が不足すると考えられる。水循環の特異性は島嶼ごとに異なり、生態系をはじめとする島嶼環境全体の制限要因としてのウエイトも大きい。伊豆諸島は、本州と比較して降水量が多く、温暖なため、生態系特性に特殊性がある。このことは、地理的に島嶼であるが故に自然環境がそれぞれの島嶼ごとに異なった特異性を有していると考えられる。特に、水文特性は生態系の発達にあたって基本となる役割が大きい。新井ら(1977)は三宅島の陸水を調査し、比較的新しい火山島の水文特性を明らかにした。しかし、御蔵島はこれまで交通の不便さや、観測機器の不十分さから、十分な調査研究は行われていない。御蔵島は、北緯 33 度 52 分、東経 139 度 36 分、東京の南約 200km、三宅島と八丈島の間に位置し、三宅島の南 24km に隣接する火山島である。周囲 16.74km、面積約 20.58km² で、海岸線はすべてが 100m から 200m に達する海食崖が発達している。この海食崖には谷筋が発達し、標高 200~300m 付近の溶岩基盤の上から多くの滝がみられ、豊富な水量を示している。

伊豆諸島や小笠原諸島は大洋に分布する海洋性の諸島なので、降水の分布は卓越風や地形的な要素によって大きく左右される。このような降水特性も島内の水文特性に対して極めて重要な位置を占め、その影響は無視できないと考えられる。

今回の報告では、比較的形成年代が古く、島内の各地に豊富な湧水や恒常河川がみられる御蔵島における、現地調査データを基に気象環境および島嶼の水循環構造の特異性を考察する。御蔵島は、北緯 33 度 52 分、東経 139 度 36 分、東京の南約 200km、三宅島と八丈島の間に位置し、三宅島の南 24km に隣接する火山島である。周囲 16.74km、面積約 20.58km² で、海岸線はすべてが 100m から 200m に達する海食崖が発達している。この海食崖には谷筋が発達し、標高 200~300m 付近の溶岩基盤の上から多くの滝がみられ、豊富な水量を示している。

2. 研究方法

調査は 1998 年 3 月より実施し、自記計による観測は 1998 年 6 月より開始した。

1) 気象観測

雨量計は御代ヶ池および御山直下の小御代付近、南西側黒崎高尾山のえびね公園の 3 地点に転倒ます型雨量計を設置した。データはパルス型データロガーを用いて自記した。

風向風速計は北部の里地区に位置する御蔵島役場に設置されている総合気象観測施設のデータを利用するとともに、標高 800m 御山直下の笹原の小御代付近に風向風速計、気温、湿度の自記観測施設を設置した。電源は太陽電池を用いて発電した電力を、自動車用バッテリーに貯えて利用した。データは 10 分間ごとの最大瞬間風速、平均風速、風向、最高気温、平均気温、最低気温、最高湿度、平均湿度、最低湿度の値をメモリーカード利用のデータロガーに記録した。

2) 御代ヶ池の水収支、水質変化

湖沼調査では、南部に位置する御代ヶ池の水収支を検討するため、自記水位計を設置したほか、水質の測定を行った。また今日まで湖盆図がなかったため、湖盆図の作成を行った。湖岸線は航空写真を引き伸ばしてトレースし、測深は湖内に数本の測線を設定して測線上に深度の測定を行い、等深線を求めた。水位は湖岸に水圧式センサーを用いた自記水位計を設置している。その他、自記水温計を用いた湖内水温構造の変化の観測、年間に 4 回程度の水質測定を実施した。

3) 河川流量、水質調査

河川流量観測は島内でもっとも流量が多く安定している北東部の大島分川湧水部の村営水道取水堰を利用して、越流深を水圧式センサーで測定することによって流量を観測した。合わせて年4回の採水を行い主要イオン濃度、安定同位対比、TOC、ICを測定した。また、島内の平清水川を除くすべての流出河川についても、流量、水質の観測を行った。

4) 湧水調査

里地区南西部、西川湧水の湧出量の定期観測水質調査を行った。

5) 浸透量調査

島内の各地において水分浸透量の調査を行った。測定にはパイプを用い、土壌表面にパイプを浅く埋め込み、パイプ内に注水して水面を形成し、その水位降下量を浸透量とした。

3. 研究結果

御蔵島には、比較的安定した恒常河川が存在し、その水流は10河川程度である。もっとも大きな水流は、御山山頂に源を発する南部の平清水川で、島の南端に位置する川口の滝から太平洋に注ぐ。流域面積は2.65km²で御蔵島の河川の中で最大である。しかし、流域は崖が発達し、照葉樹林の密集地域であるため、足を踏み入れることが困難であり、危険地域となっており、役場によって立ち入りが禁止されている。また流域の末端は数十メートルの滝が海に注いでおり、海からの上陸も不可能である。このため、本研究では平清水川は観測対象から除外した。

その他の河川は、図1に示す観測地点において定期観測を行った。また図2には自記観測地点を示した。各流域面積と流量、水質は表1に示した。西側の流域は流域面積が比較的小さいにもかかわらず、年間を通して水流がみられた。西側で流量の大きな水流はNo.11のボロ沢であり、玄武岩質溶岩で形成される難透水層の基盤上部を流れる。他にはNo.14、No.16の水流が流量のもっとも多い地点は北東部に位置するNo.6の大島分川である。河川は、No.5-a付近に湧水があり、島の水道水源となっており、豊富な水量を利用して島内で消費される7割程度をまかなう水力発電に利用されている。この水力発電所は現存するものとしては伊豆諸島で唯一のものである。残りの島東部の水流はエイガ川のみで、谷が発達しているにもかかわらず、恒常的な水流に乏しい。エイガ川の下流には基盤の割れ目から湧水がみられ、かつて南郷地区に居住者がいた頃は飲用水源として利用されていた。

島北部の里集落には西川湧水と呼ばれる湧水があり、比較的安定した湧出量がみられる。湧出量は冬期に4l min⁻¹程度まで減少するが、枯渇することなく、夏季には30l min⁻¹に達することもあった。

島内の河川水の電気伝導度は40~180 μS cm⁻¹、pHは5.2~7.8の範囲の値が得られた。電気伝導度ならびにpHのいずれの値も島の東側で高く西側で低い傾向が得られた。電気伝導度は西側では100 μS cm⁻¹以下の値を示し、pHも7以下の値を呈する。一方、東側での電気伝導度は140 μS cm⁻¹以上を示し、pHも7を超える値を示す。

最高点付近にはいくつかの池が存在し、常に水面を維持している。この水体の電気伝導度は30~140 μS cm⁻¹、pHは4.8~5.2の範囲の値が得られた。pHの季節変化はみられないが、電気伝導度は冬季に100 μS cm⁻¹以上の値を示すが、夏季には50 μS cm⁻¹以下に減少している。

御代ヶ池は流入河川、流出河川の存在しない閉塞湖である。図3に湖盆図を示した。面積3639m²、最大深度1.84m、最大長109m、最大幅47m、湖岸線長257mであった。湖盆は周辺樹木からの落葉が大量に堆積し、全体を覆っており、落葉の厚さは深いところで50cmに達している。

御代ヶ池において測定された観測データは、図4に示した。御代ヶ池の電気伝導度は3月に表層で98 μS cm⁻¹、5月に90 μS cm⁻¹、9月に71 μS cm⁻¹程度の値を示し、冬季に高い傾向がみられた。pHは3月に5.4、5月に5.7、9月に6.6の値を示し、夏季に高い傾向が得られた。水深が浅いため、水温等の成層は強固ではなく、強風時に湖水は全循環していると考えられる。

御代ヶ池における水位と降水量の関係は、図5に示した。1998年6月から1999年11月までの1年半の間に観測された最大水深は2.76m、最低水位時には1.33mとなり、年間1.43mの変化がみられた。水位の低下に伴う漏水深の減少量は小さく、水位変化の大きな湖沼の特徴を示している。御代ヶ池は高水位時には急激な水位降下を示すが、水深が1.5m付近まで減少すると、減水深は小さくなる。しかし、水位降下の傾きが変化するととどまり、漏水深が一般的な閉塞湖のように0に近づくような変化ではない。

御山山頂付近で観測された1998年6月から1999年5月までの1年間の降水量は、5319mmに達した。また山頂付近の風速は10分間平均の平均風速が9.1 m s⁻¹、最大瞬間風速は50.3 m s⁻¹を観測しており、年間を通して、風向は西風が卓越し、夏季に東風が吹く頻度が増える傾向を示した。

4. 考察

図1の調査地点位置図に示すように、御蔵島は、西側に水流が多い。東側には大島分川があり、島の飲

料水源として使用できる安定した湧水が存在しているが、この湧水以外に安定した水流はみられない。気象観測の結果からも明らかのように、御蔵島は、年間を通じて、西～南西の風向の風が卓越している。これは、降雨分布の傾向にも類似点が見られ、降水量は島の西側から山頂にかけての地域で多く、役場の雨量観測所の1.2倍程度、御代ヶ池付近の1.1倍程度の値が得られた。また、山頂から西側にかけての斜面は比較的緩やかな地形を示し、笹原や照葉樹林が覆っている。図6に示すように、各河川の流域は平清水川を除くと大きな差はない。御山直下の北側には平坦地が鈴原湿原となっており、一部に池などが存在している。この緩やかな傾斜は御蔵火山形成時に噴出した碎屑物が、御山西斜面に残っていることが挙げられる。島の南東部の長滝山や御代ヶ池付近のツブネヶ森溶岩円頂丘などの側火山は、火山学的には主火山形成との形成活動の関係は明らかではないが(一色,1980)、西斜面と比較して急峻な地形を呈している。これは、成層火山形成後に側火山が活動し、上部に堆積していた火山性の碎屑物が崩壊し、風化、侵食され易くなったと考えることもできる。東側の河川の集水域は、地形が急峻で、火山性堆積物層の層厚も小さい。このために西側の水流の方が恒常河川として水流を維持できるものと考えられる。

図7には河川、湧水等の水質分析結果を示した。また図8にはトリリニアダイアグラムを示した。図7には参考のため、御山山頂付近および御代ヶ池付近にて採取した雨水の分析結果を示した。東側の大島分川とえいが川の水質は比較的類似している。一方その他の水は、いずれの地点もCa濃度が低く、御代ヶ池流域の水も同様である。この値をみると、西側に流れている水流は土壌浅層の水または降水として降ってから早い時間に流出したものと考えられる。東側の大島分川をはじめとして、えいが川なども島内の水としてはCa濃度が高く、比較的深い水であると推察される。しかし、現段階で同位体の分析が捗らず、降水がどの程度の時間で流出しているかは明らかにできなかった。

図5に示した水位と降水量の関係から、御代ヶ池は水深が2m程度の時、 $2\sim 3\text{cm d}^{-1}$ 、水深が2.7mでは $10\sim 14\text{cm d}^{-1}$ の漏水深を示すことがわかった。また、水位が降下しても漏水深が急激に減少しないのは、安定した地下湧水の存在が予想される。 $2\sim 3\text{cm d}^{-1}$ の減水深は湧水量とバランスしていることが考えられる。

5. まとめ

本研究では遠隔地の離島であるにもかかわらず、近年の先端的観測手法を用いて、長期間のデータを得ることにより、水文環境の特異性を明らかにできた。しかし、観測年ごとの降水量がかなり変化しており、年により、島全体の水文環境が変化することを示している。御蔵島全体の水循環は比較的単純な構造を示し、豊富な降水量によって、水流が維持されていることが明らかになった。山頂から西側の斜面では火山性の碎屑物が堆積しているため、傾斜も緩やかで、保水性を保っている。また、島を通過する卓越風の風向が西～南西を示し、その風によって島の西側で降水量が多くなっている。これらの条件によって御蔵島では西側の地域で水流が多くみられている。

6. 本研究により得られた成果

御蔵島は豊富な降水量と地質構造に恵まれ湧水が多く存在し、安定した流量が保持されている。島内には10ヶ所を超える恒常河川および湧水が存在し、島の西側と東側では地質構造や堆積構造の違い、気象条件の相違などによって異なる水文環境が生じていることがわかった。

御代ヶ池の湖盆図の作成を行うとともに、水質の鉛直分布の観測、長期的な水位変動のデータを得ることができた。閉塞湖である御代ヶ池の水位の安定性は、湧水の存在によるものと推測される。

参考文献

- 1) 新井正・森和紀・高山茂美(1977) 三宅島の陸水について。陸水雑,38:1-8.
- 2) 一色直記(1985) 御蔵島・蘭灘波島および銭洲地域の地質。地質調査所 pp.1-35.

研究発表

- 1) 濱田浩美(1998)伊豆御蔵島の水文環境—御代ヶ池概略調査—。日本地学教育学会第52回全国大会。
- 2) 濱田浩美(1998)伊豆御蔵島の水文環境—概略調査報告—。日本陸水学会第63回大会。
- 3) 濱田浩美(1998)御蔵島の陸水について。日本地理学会秋季大会。
- 4) 濱田浩美(1999)島嶼の水循環。日本生態学会。
- 5) 濱田浩美(1999)伊豆御蔵島の水文環境Ⅱ。日本地学教育学会第53回全国大会。
- 6) 濱田浩美(1999)伊豆御蔵島の水文環境Ⅱ。日本地理学会秋季大会。

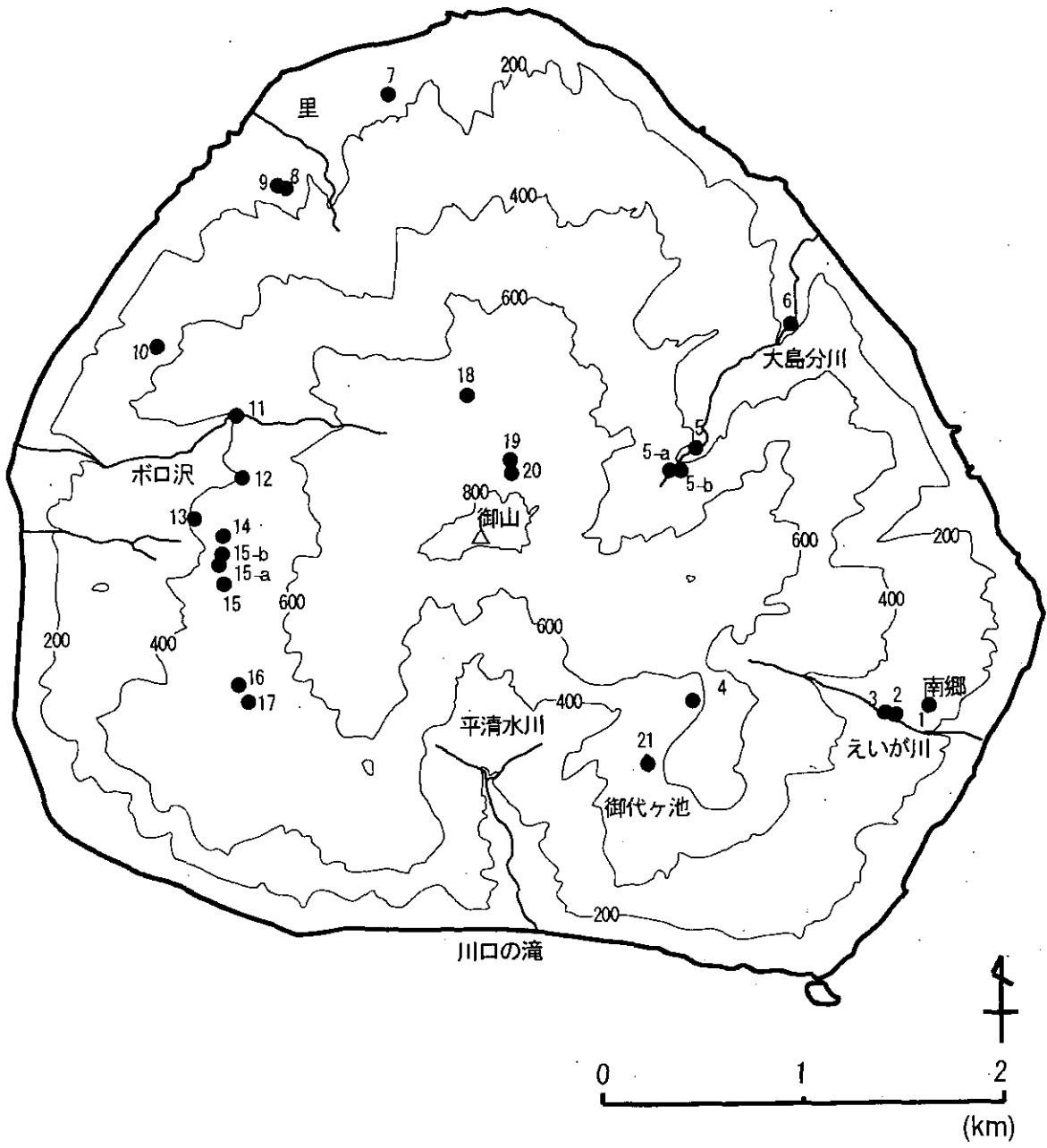


図1 御蔵島調査地点位置図

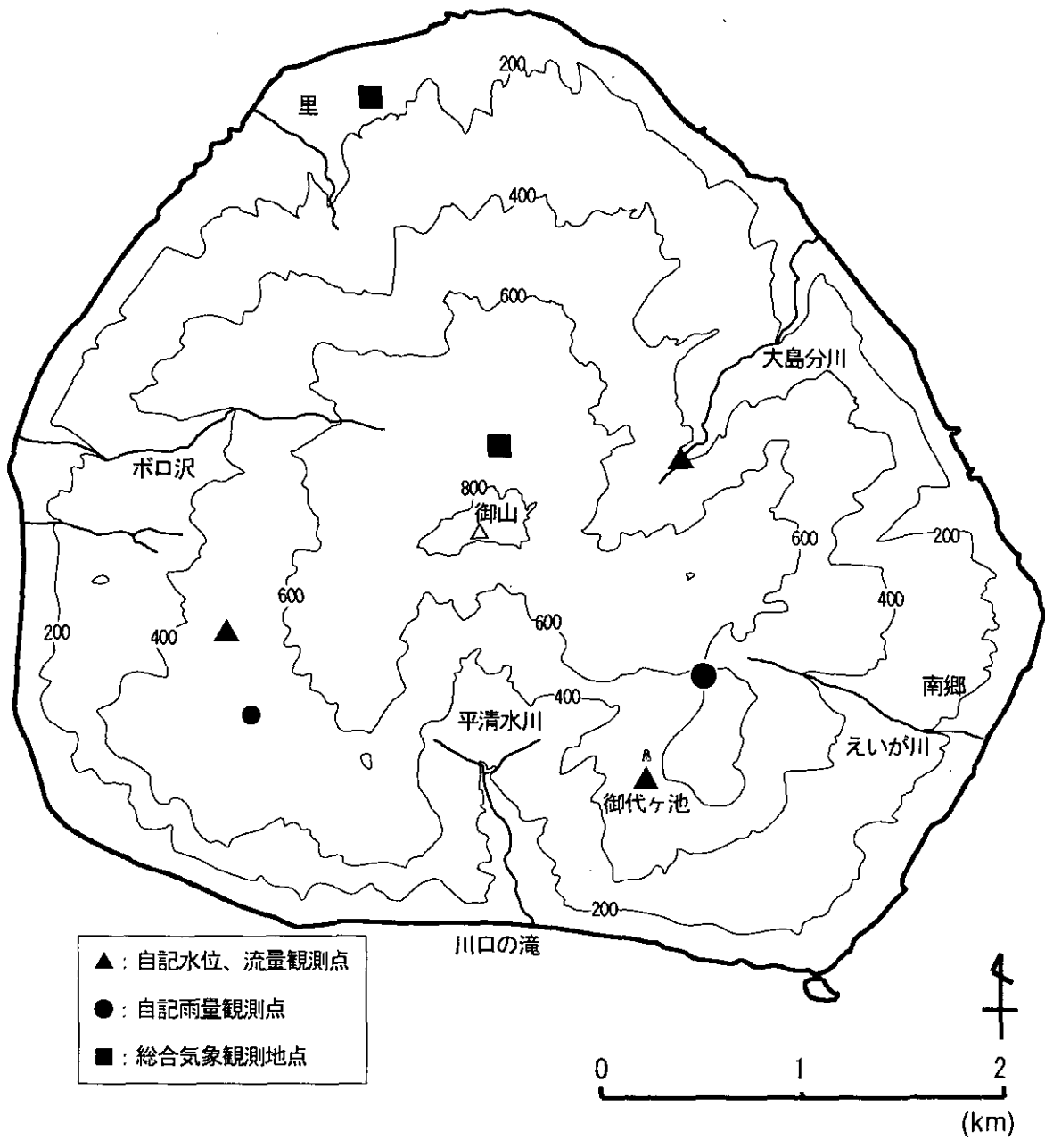


図2 御蔵島自記計設置位置図

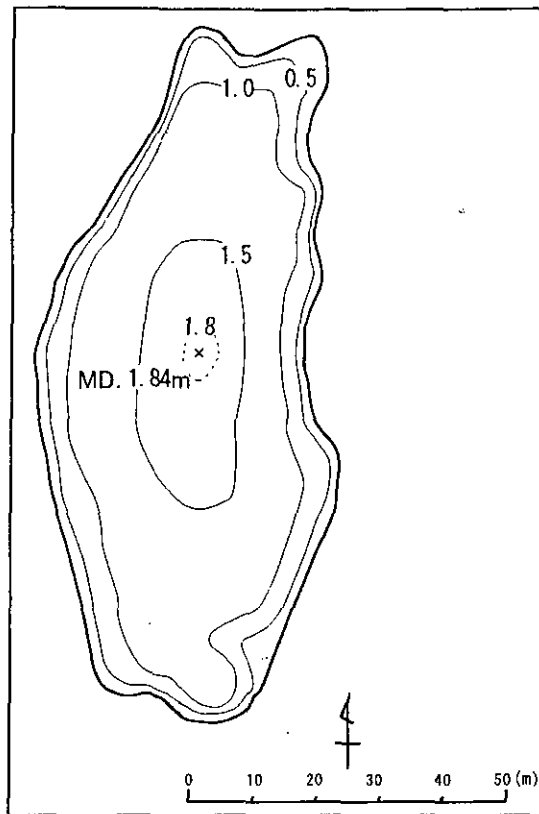


図3 御代ヶ池湖盆図

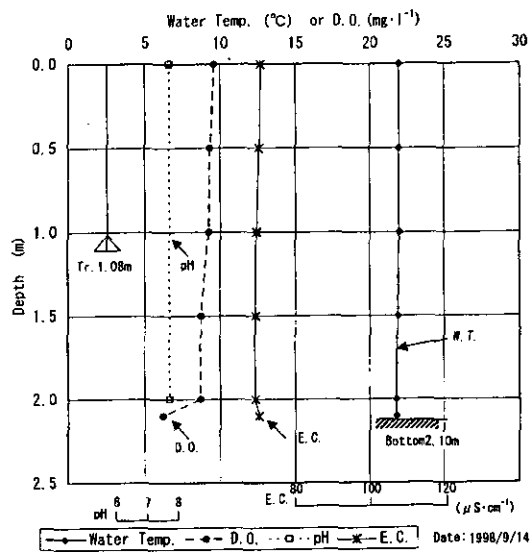


図4 御代ヶ池の湖心部における水温・水質の鉛直変化

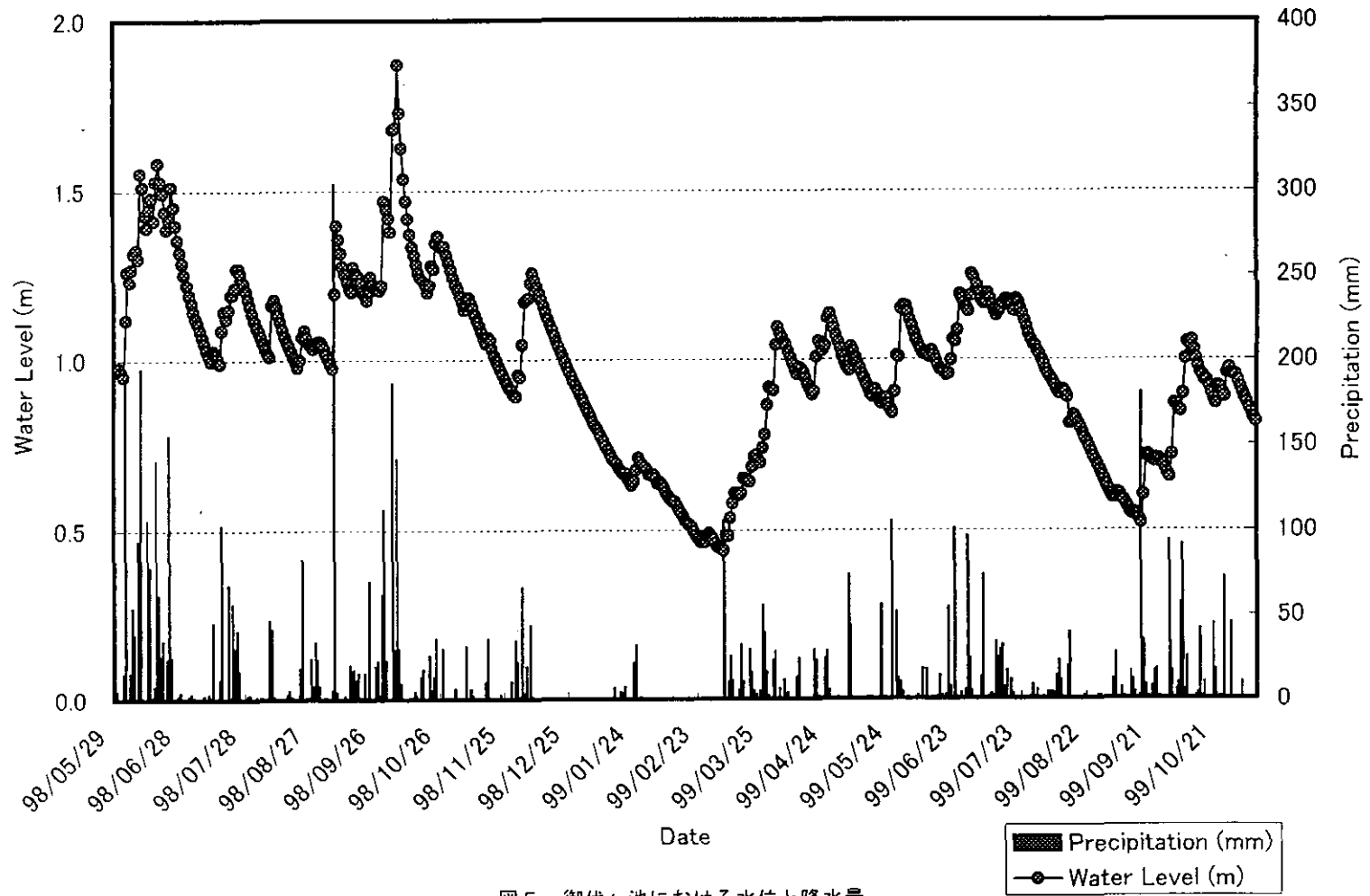


図5 御代ヶ池における水位と降水量

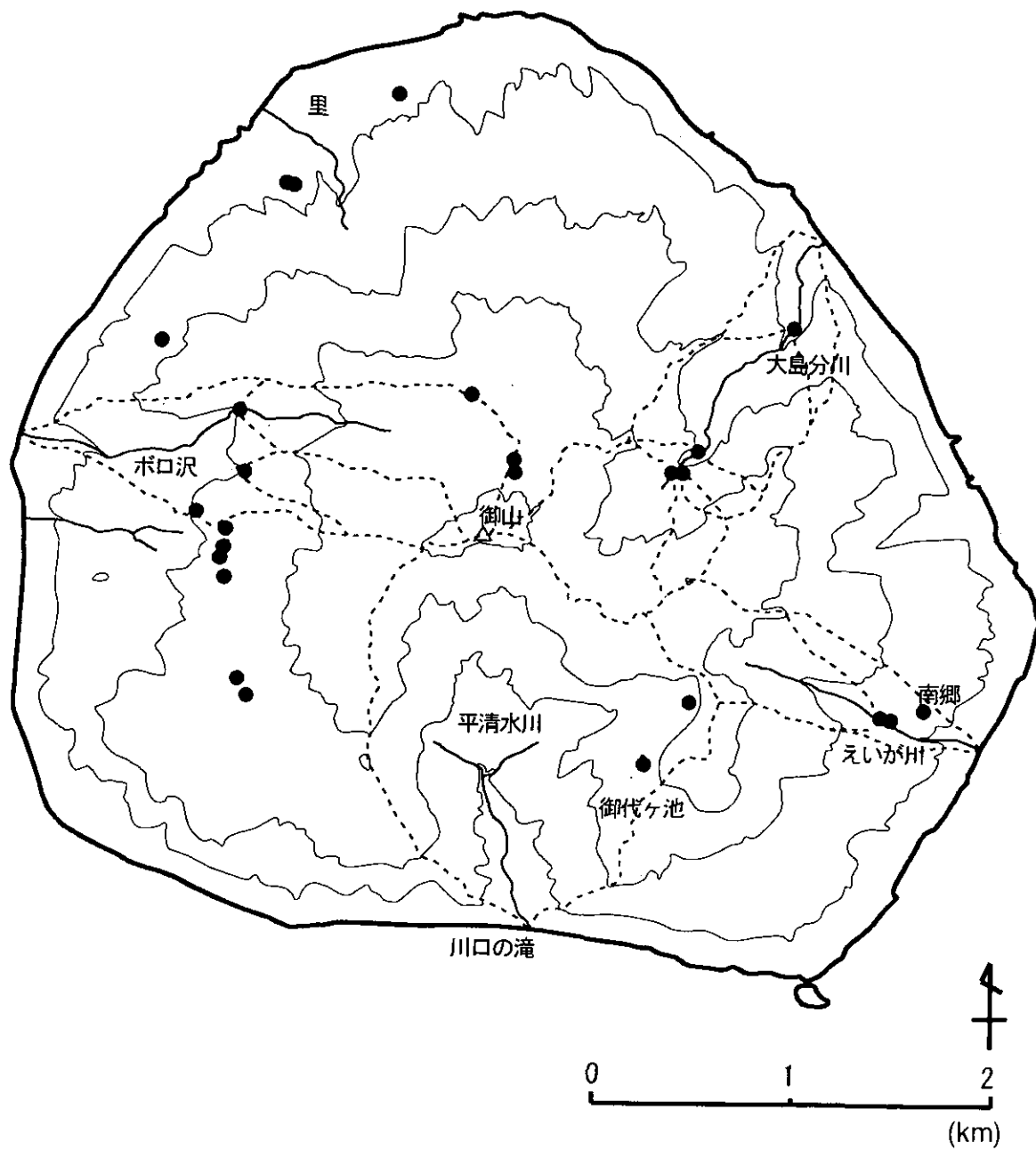


図6 主要河川の流域界

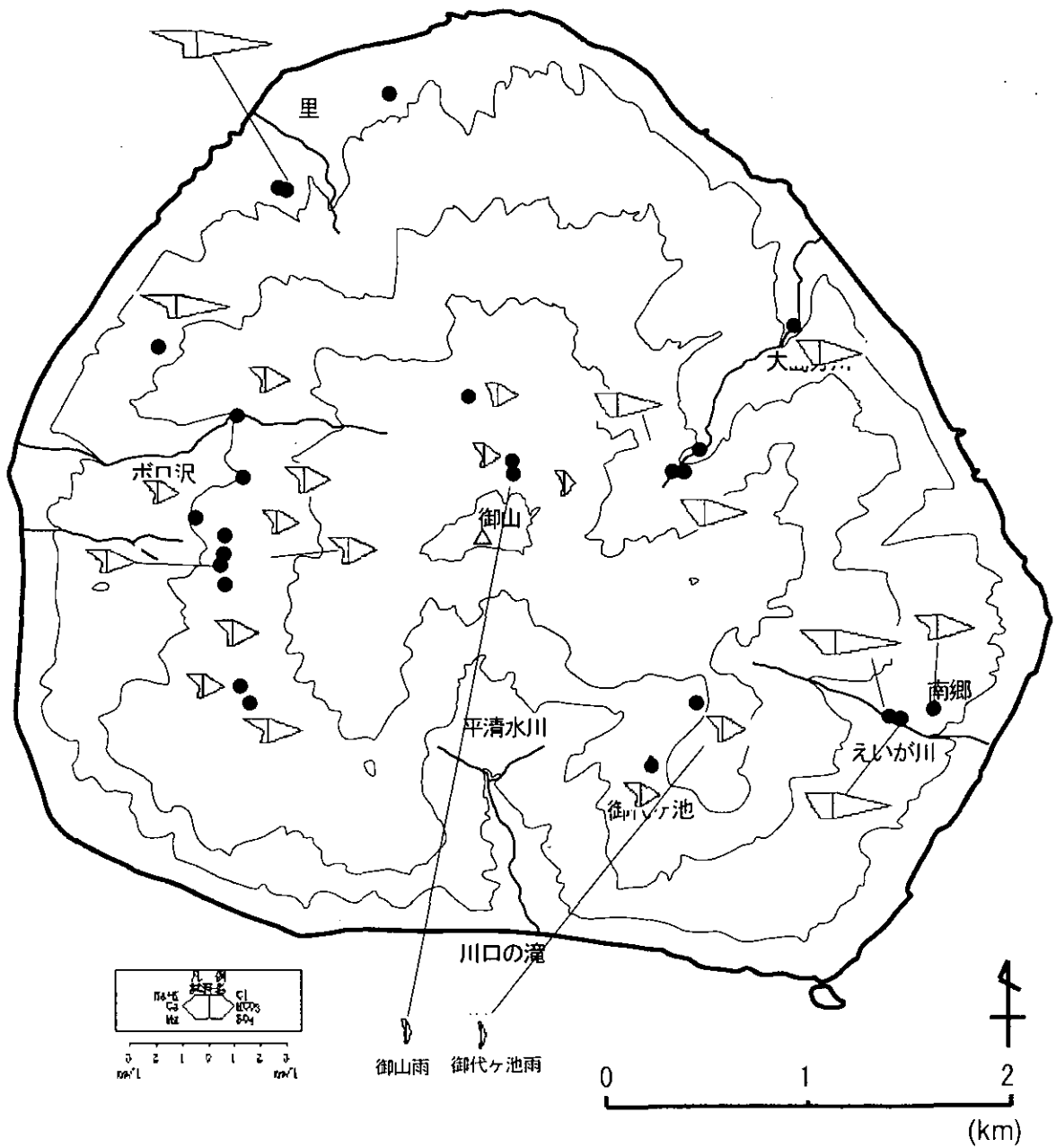


図7 御蔵島水質分析結果 (1998年9月15日)

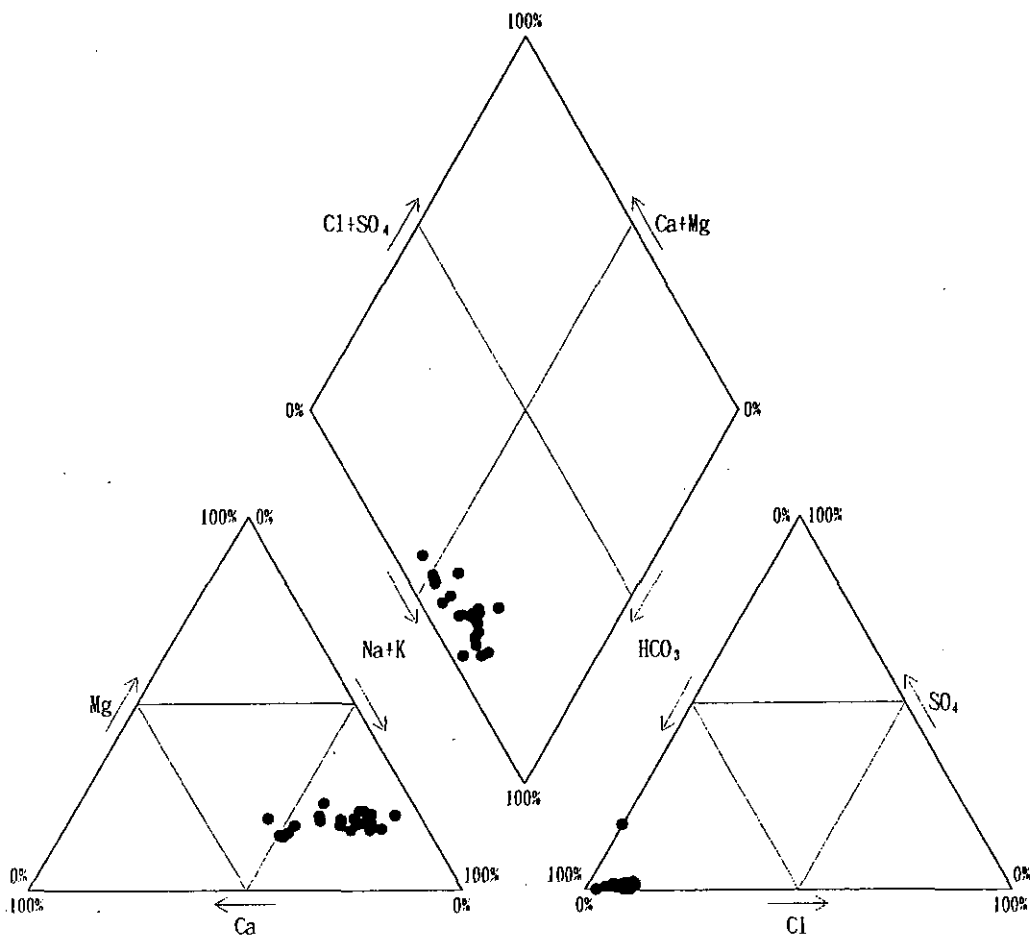


図8 水質分析結果 (トリリニアダイアグラム)

表1 各観測点の測定結果および流域面積

地点No.	名称	流域面積 (km ²)	水源種別	流量 (l min ⁻¹)	比流量 (l/km ²)	水温 (°C)	電気伝導度 (mS m ⁻¹)	pH	備考
1	南郷沢		沢水	0.10		23.4	13.15	6.50	
2	えいが川	0.549	沢水	5.00	9.11	17.9	14.02	7.02	
2-a			沢水	72.00		23.2	7.35	5.92	
2-b			沢水	40.00		23.4	4.41	6.30	
3	南郷飲料水源		湧水	4.00		18.1	14.34	7.19	えいが川橋下
4	御代ヶ池北沢		沢水	9.60		20.9	5.16	5.90	
5	大島分川		沢水						
5-a	村営水道水源湧水	0.708	湧水		0.00	14.5	8.56	7.51	
5-b	大島分川右岸支流		沢水	30.00		19.6	9.94	7.35	
6	大島分川発電所	0.654	沢水		0.00	18.2	10.25	7.14	大島分川下流地点
7	島役場東		沢水	枯渇					
8	西川湧水		湧水	44.00		18.8	17.72	6.31	
9	西川橋		湧水+沢水						
10			沢水	2.80		24.3	14.49	7.61	
11	ボロ沢	0.765	沢水	216.00	282.30				
12	白滝上	0.308	沢水	120.00	389.55	24.2	7.35	7.42	
13			沢水	36.00		23.0	6.03	6.85	
14	滝下		沢水						
15	砂防堰堤		沢水	47.24		23.4	6.97	5.98	
15-a			沢水	50.00		23.0	6.19	6.31	
15-b			沢水	9.60		24.3	6.03	6.37	
16	えびね公園北		沢水			22.7	5.73	6.17	
17	えびね公園南		沢水	25.20		22.5	8.04	6.02	
18	鈴原湿原下池		池水			22.8	5.07	5.10	
19	小美代南(下)池		池水			22.7	2.93	5.05	
20	小美代北(上)池		池水			23.3	4.54	5.11	
21	御代ヶ池		湖水	W.L.25.0cm		22.0	4.07	6.60	
	御代ヶ池入口雨		雨水			21.7	2.92	6.48	980530-980914
	御山山頂雨		雨水			22.9	1.80	5.24	980530-980915
	平清水川	2.691	沢水						

表2 御蔵島水質分析結果 (主要8項目)

番号	試料名	水質分析値 (mg/リットル)								当量換算値 (me/リットル)							
		Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO ₃	SO ₄	NO ₃	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO ₃	SO ₄	NO ₃
1	No. 1	17.5	1.4	5.8	4.0	6.3	84.0	1.0	0.8	0.760	0.035	0.289	0.326	0.177	1.376	0.022	0.012
2	No. 2	22.6	2.0	15.9	5.3	4.8	135.8	1.2	0.8	0.983	0.051	0.796	0.433	0.136	2.226	0.024	0.012
3	No. 2-a	12.5	1.8	4.8	2.3	2.6	61.5	0.6	0.1	0.545	0.047	0.242	0.188	0.075	1.008	0.012	0.002
4	No. 2-b	9.1	0.9	2.0	1.5	2.0	38.4	0.6	0.1	0.396	0.024	0.100	0.123	0.058	0.630	0.012	0.002
5	No. 3	29.3	2.2	15.3	5.3	4.9	152.1	1.1	0.9	1.275	0.057	0.766	0.433	0.138	2.493	0.023	0.014
6	No. 4	12.5	0.9	2.6	1.8	3.4	50.5	1.0	0.0	0.544	0.024	0.132	0.149	0.096	0.828	0.020	0.000
7	No. 5-a	19.0	1.9	12.1	3.0	3.6	104.2	0.8	0.3	0.827	0.049	0.602	0.250	0.102	1.707	0.016	0.004
8	No. 5-b	18.3	2.2	11.3	2.8	3.4	99.5	0.7	0.3	0.795	0.055	0.565	0.234	0.095	1.631	0.014	0.004
9	No. 6	18.6	2.2	10.9	3.1	3.2	100.3	0.7	0.3	0.809	0.057	0.542	0.254	0.091	1.644	0.014	0.004
10	No. 8	39.6	1.8	10.5	6.5	7.0	171.1	1.0	0.1	1.722	0.046	0.526	0.534	0.199	2.805	0.021	0.002
11	No. 10	29.6	2.0	7.3	4.0	6.9	121.7	1.5	0.1	1.287	0.052	0.363	0.326	0.196	1.994	0.031	0.002
12	No. 11	13.7	1.0	2.6	2.0	3.2	54.6	0.7	0.3	0.594	0.026	0.130	0.164	0.091	0.895	0.015	0.004
13	No. 14	11.7	1.0	2.2	2.1	3.4	49.0	0.1	0.7	0.509	0.025	0.107	0.173	0.097	0.802	0.001	0.011
14	No. 12	15.2	1.1	3.2	2.2	3.7	61.9	0.8	0.0	0.659	0.027	0.160	0.185	0.104	1.014	0.016	0.000
15	No. 13	11.7	0.7	2.0	2.1	3.6	47.8	0.6	0.0	0.509	0.018	0.101	0.169	0.100	0.783	0.013	0.000
16	No. 15	13.8	1.3	4.0	2.1	2.7	60.6	0.5	0.0	0.600	0.033	0.198	0.173	0.076	0.992	0.011	0.000
17	No. 15-a	16.6	1.2	2.6	2.5	2.9	65.8	0.5	0.0	0.722	0.031	0.129	0.207	0.083	1.078	0.011	0.000
18	No. 15-b	15.9	1.7	3.5	2.6	4.0	67.3	1.0	0.1	0.691	0.044	0.174	0.216	0.111	1.103	0.020	0.001
19	No. 16	12.5	0.8	2.0	1.9	2.6	49.1	0.6	0.0	0.545	0.021	0.097	0.153	0.073	0.804	0.013	0.000
20	No. 17	20.6	1.1	3.4	2.9	3.8	80.6	0.7	0.0	0.896	0.028	0.170	0.240	0.108	1.321	0.014	0.000
21	御代ヶ池0m	12.0	1.6	1.6	1.5	1.7	46.4	0.5	0.1	0.523	0.042	0.081	0.127	0.048	0.760	0.011	0.002
22	御代ヶ池2m	11.8	1.6	2.0	1.6	1.7	46.9	0.6	0.3	0.512	0.042	0.098	0.135	0.048	0.769	0.013	0.004
23	スズハラ下池	8.7	3.6	3.9	2.0	1.4	50.2	0.3	0.1	0.380	0.092	0.193	0.164	0.039	0.822	0.006	0.002
24	小美代下池	6.5	1.0	1.1	1.2	1.9	27.3	0.4	0.3	0.281	0.025	0.056	0.097	0.052	0.448	0.007	0.004
25	小美代上池	8.6	0.9	1.3	1.4	0.6	35.4	0.0	0.0	0.375	0.024	0.064	0.118	0.017	0.580	0.000	0.000
26	御代 入口	3.1	0.3	0.2	0.5	0.7	11.5	0.0	0.1	0.133	0.008	0.011	0.038	0.019	0.189	0.000	0.001
27	御山山頂	3.6	0.3	0.6	0.4	0.0	11.7	1.9	0.0	0.155	0.009	0.031	0.037	0.000	0.191	0.041	0.000

第2章

島嶼の生物多様性の維持機構に関する研究

琉球諸島及び周辺アジア地域における接合藻ミカヅキモ *Closterium ehrenbergii* 交配群の分布

笠井文絵 (国立環境研究所生物圏環境部環境微生物研究室)

要約

形態種 *Closterium ehrenbergii* (以下ミカヅキモ) は複数の交配群 (生物学的種) に分かれることが知られている。今回の調査で琉球諸島から交配群 A, B, C, D および K が見つかった。また久米島の 1 集団は H 群から成ることが示唆された。この結果およびこれまでの報告から、アジア地域におけるミカヅキモの生物学的種の分布は、琉球諸島を中心とした南西日本で重複すること、および他のアジア地域に比べて多数の生物学的種が琉球諸島に存在することが示唆された。

Abstract

The morphological species of the conjugating green alga *Closterium ehrenbergii* comprises more than a dozen mating groups (as biological species). Mating groups A, B, C, D, and K were found in the Ryukyu Islands. In addition, one population in Kume Island seemed to be comprised of mating group H. It is suggested that in Asia, distribution ranges of the biological species overlap in Southwest Japan, and that the number of biological species found in the Ryukyu Islands is more than that in other areas of Asia.

1. 序

形態種 *Closterium ehrenbergii* Menegh. ex Ralfs (緑色植物門、車軸藻綱; 以下ミカヅキモという) は、単細胞で三日月型の栄養細胞を 2 個の葉緑体が占め、その中に多数のピレノイドが散在することによって特徴づけられる単純な形態を持つ接合藻である。他の多くの淡水産藻類と同様に世界各地からその分布が報告されており、コスモポリタンであると考えられている⁹⁾。しかし、実際には生殖的に隔離された多数の交配群 (生物学的種) から成り、それぞれの交配群は比較的狭い分布範囲と一定の形態を持つことが報告されている^{4), 5)}。

これらの交配群の内、交配群 A, B, C, H について分布や類縁関係などがよく調べられており^{2), 3), 4), 8)}、A 群は東北地方から琉球諸島までの日本とオーストラリアから、B 群は関東地方から琉球諸島までの日本と台湾から、C 群は東北地方から琉球諸島までの日本とベトナムから、また、H 群は琉球諸島・石垣島とネパールおよびベトナム、タイから報告されている。

このような生物学的種の存在は *Pandorina morum* をはじめとするボルボックス目⁷⁾ やミカヅキモと同じデスミッドの仲間¹²⁾ で知られており、微細藻類の多様性解析において考慮する必要がある。また、デスミッドは亜熱帯から熱帯域の軟水性水域で特に種数が多いことが知られている^{10), 11)}。琉球諸島は、かつて大陸と陸続きであった大陸島であるが、日本と周辺アジア地域におけるミカヅキモの分布の中心にあたり、島嶼特有の種分化の可能性が考えられる。本研究の最終目的はミカヅキモの生物学的種がどのように分化したのかを交配群間あるいは交配群内の遺伝的変異を比較することによって明らかにし、微細藻類の種多様性がどのように維持されているかを明らかにすることである。そこでまず、琉球諸島および周辺アジア地域におけるミカヅキモ交配群の分布を調べ、琉球諸島の特色をつかむことを第一の目的とした。また、琉球諸島にもっともよく見られた交配群について、集団間の遺伝的変異を調べるために酵素多型の解析を試みた。

2. 研究方法

本研究の調査地点は、琉球諸島・沖縄本島 10 地点、久米島 3 地点、石垣島 8 地点、小浜島 3 地点、西表島 5 地点、与那国島 9 地点、奄美諸島・徳之島 1 地点、ハワイ・カウアイ島 2 地点、インドネシア・バリ島 11 地点の合計 52 地点である。調査は 1998 年 3 月から 2000 年 3 月にかけて行われた。このうち、近縁の *C. submoniliferum* しか見つからなかった 8 地点を除く 44 地点を表 1 に示した。これらの地点から採集したサンプルよりミカヅキモ 10~100 細胞程度を分離し、クローン培養した。各々の採集地点の中でプラス、マイナスの交配型を探し、それらを用いて同じ採集地点から分離された全てのクローンの交配型を決定した。その後、各々の採集地点の代表株と既存交配群の代表株との交配を行い、接合子のでき具合や、接合子から発芽する子孫の生存率から交配群を決定した。交配や子孫の生存率の決定に用いた方法は Ichimura (1981) によった。また、集団間の遺伝的変異を調べるためにポリアクリルアミドゲル電気泳動法を用いて、ホスホグルコムターゼ (PGM)、ホスホグルコースイソメラーゼ (PGI)、アスパラギン酸アミノ基転移酵素 (AAT) の酵素多型を、バンドパターンから分析した。

3. 研究結果

交配群: 今回の調査で調べられたミカヅキモ交配群を表 1 に示した。全 44 地点のうち徳之島と琉球諸島の 30 地点は B 群からなる集団であった。A 群は西表島と与那国島の 5 地点から、C 群は石垣島の 1 地点から、D 群と K 群が西表島のそれぞれ 1 地点で A 群と共存して見つかった。また、単為生殖性の集団が与那国島の 1 地点で見つかった。久米島の湧水で見つかった集団は交配型マイナスのみからなり、H 群である

ことが示唆されたが、現在子孫の生存率を分析中であり交配群は未知として扱った。インドネシア・バリ島の7地点から分離されたミカツキモは既存のB、H群とよく接合子を形成した。しかし、形態が既存の交配群と異なり新しい交配群であることが示唆されたため、ここでは未知の交配群として扱った。7地点のうち4地点の代表株を既存の交配群の代表株と交配し、子孫の生存率を調べたところ、バリ島のグループは既存の交配群の中ではH群に近縁ではあるがかなり分化した交配群であることが示された。酵素多型：琉球諸島で最も頻繁に見られた交配群Bについて、沖縄本島、石垣島、小浜島、西表島の12集団の酵素多型を分析した(図1)。PGMには4型が見つかっており、そのうち3型が琉球諸島の集団で見られた。PGIには3型が見つかっており、その全部が琉球諸島の集団で見られた。両酵素とも沖縄本島の集団が多型的であり、他の島の集団は単型的であった。また、AATには2型が見られたが、西表島の1集団を除いて他の全ての集団は単型的であった。

4. 考察

アジア地域におけるミカツキモ交配群の分布は琉球諸島でちょうど重なっている。大陸部に広く分布するH群が琉球諸島まで分布しており、日本本土に分布するB群は琉球諸島を経て台湾までしか分布していない。やはり日本本土に分布するA群は琉球諸島を経てオーストラリアまで分布しているが、他のアジア地域では見つかっていない。また、K群はこれまでに琉球諸島でしか見つかっていない。これらを含めて、琉球諸島からこれまでに報告されている交配群は7群であり、日本本土の8群に匹敵する数である。各地域に生息する交配群の数は、調査頻度や密度に依存すると考えられ結論は出せないが、琉球諸島では非常に狭い面積に多数の交配群が生息していると言えるだろう。また、他のアジア地域からは既知の4群が見つかるのみであり、これに比較すると琉球諸島にいくかに多くの交配群が生息するかがうかがえる。インドネシア・バリ島は既知のH群の分布域から外れており、H群に近縁であるがかなり分化した集団が生息していることは興味深い結果である。東南アジア島嶼部にも多数の新しい交配群が存在することが予測される。酵素多型の分析から、沖縄本島と石垣、西表など先島諸島の集団間に遺伝的組成の違いが示唆された。

今後、より多くの遺伝的変異を解析し、この事実の確認を行う必要がある。

5. まとめ

琉球諸島には多くの交配群が重複して存在することがわかった。地理的に分断され、分化した集団がそれぞれに分布域を拡大した結果、再び分布域を重複させるようになった結果と考えられる。ここで示されたミカツキモ交配群の間では接合前隔離機構が完璧に働いているわけではない。例えばB、C、H群の間では接合子形成が容易に起こりうる。通常、これらの雑種はほとんど生存しないが(生存率1%以下)、まれに染色体数の増した子孫を作り生存する場合がある。ミカツキモは温暖な亜熱帯、熱帯域では接合子でしなくてはならないような劣悪な環境条件を経験することなく、栄養繁殖のみで個体数を増やすことができる。また、交配型の切り替えは1染色体の欠落によって起こると考えられているため⁶⁷⁾、染色体数を増した雑種集団がその後有性生殖を通して維持される可能性は多に考えられる。琉球諸島に多くの交配群が存在する事実は示されたが、その形成機構、維持機構の解明は今後の問題として残された。遺伝的変異の維持機構とともに検討していく必要がある。

6. 本研究により得られた成果

微細藻類の種分化や多様性の維持機構を知る上で重要な単位(生物学的種)の分布の現状がとらえられた。ミカツキモの場合、琉球諸島を中心に分布域の重複がみられ、琉球諸島に多数の生物学的種が存在することがわかった。今後これらがどのように維持されているのかを調べ、多様性の維持機構を究明する必要があるが、その基礎的知見が得られた。

参考文献

- 1) Coleman, A. W. (1977) Sexual and genetic isolation in the cosmopolitan algal species *Pandorina morum*. *American Journal of Botany* 64: 361-368.
- 2) Ichimura, T. (1981) Mating types and reproductive isolation in *Closterium ehrenbergii* Meneghini. *Botanical Magazine, Tokyo*. 94: 325-334.
- 3) Ichimura, T., Denbou, T., Yotsukura, N., Motomura, T. and Horiguchi, T. (1999) Molecules, morphology and reproductive isolation in unicellular green algae *Closterium* and multicellular parenchymatous brown algae *Laminaria*. 4th European Phycological Congress
- 4) Ichimura, T. and Kasai, F. (1990) Mating Systems and Speciation in Haplontic Unicellular Algae, Desmids. In *Biological Approaches and Evolutionary Trends in Plants*. (Ed. Kawano, S.), Academic Press, pp.309-332.
- 5) Kasai, F. and Ichimura, T. (1986) Morphological variabilities of three closely related mating groups of *Closterium ehrenbergii* Meneghini (Chlorophyta). *Journal of Phycology*, 22: 158-168.
- 6) Kasai, F. and Ichimura, T. (1987) Stable diploids from intragroup zygospores of *Closterium ehrenbergii* (Chlorophyta) species complex. *Journal of Phycology* 23: 344-351.

- 7) Kasai, F. and Ichimura, T. (1990) A sex determining mechanism in the *Closterium ehrenbergii* (Chlorophyta) species complex. *Journal of Phycology* **26**: 195-201.
- 8) 笠井文絵、D. D. ティエン、N. K. ソン、M. マルチネス-ゴス、A. マハカーン、渡辺信 (2000) 東南アジア産 *Closterium ehrenbergii* (Chlorophyta, Charophyceae) の交配群。日本藻類学会第 24 回大会
- 9) Ruzicka, J. (1977) Die Desmidiaceen Mitteleuropas. Band 1, 1 Lieferung. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. 291 p.
- 10) Therezien, Y. (1985) Contribution a l'etude des algues d'eau douce de la Bolivie. Les Desmidiales. *Nova Hedwigia* **41**: 505-576.
- 11) Thomasson, K. (1986) Algal vegetation in North Australian billabongs. *Nova Hedwigia* **42**: 301-378.
- 12) Watanabe, M. M. and Ichimura, T. (1978) Biosystematic studies of the *Closterium paracerosum-strigosum-litorale* complex. III. Degree of sexual isolation among the three population groups from the northern Kanto area. *Botanical Magazine Tokyo* **91**: 11-24.

研究発表

- 1) 琉球諸島における接合藻ミカヅキモ *Closterium ehrenbergii* の分布と各集団のアロザイム変異の特徴。日本藻類学会第 23 回大会(1999.3 山形)
- 2) 東南アジア産 *Closterium ehrenbergii* (Chlorophyta, Charophyceae) の交配群。日本藻類学会第 24 回大会(2000.3 長崎)

表1. 琉球諸島とインドネシア・バリ島から採集されたミカヅキモ *Closterium ehrenbergii* の交配群と交配型

島	採集地点	交配群						未知	単為生殖	未決定	生息場所
		A +-	B +-	C +-	D +-	K +-	+-				
徳之島	00-1	-	(56)*	-	-	-	-	-	0	湿地化した放棄水田	
沖縄本島	98-19	-	13:19	-	-	-	-	-	0	放棄されたイ草田	
	98-20	-	33:34	-	-	-	-	-	0	放棄されたイ草田	
	98-21	-	31:28	-	-	-	-	-	0	田芋田	
	98-22	-	0:42	-	-	-	-	-	0	田芋田	
	98-23	-	37:9	-	-	-	-	-	2	苗床	
	98-24	-	16:13	-	-	-	-	-	6	放棄されたイ草田	
	98-25	-	7:21	-	-	-	-	-	5	イ草田の池	
	98-26	-	9:22	-	-	-	-	-	0	イ草田の池	
	98-27	-	4:11	-	-	-	-	-	7	放棄水田	
	99-7	-	46:28	-	-	-	-	-	0	田植え直後の水田	
久米島	99-1	-	-	-	-	-	0:19	-	4	湧水	
	99-2	-	1:11	-	-	-	-	-	0	水田	
石垣島	99-5	-	32:0	-	-	-	-	-	0	放棄水田	
	98-1	-	25:22	-	-	-	-	-	3	放棄水田	
	98-2	-	20:19	-	-	-	-	-	22	水田	
	98-3	-	-	0:21	-	-	-	-	7	放棄水田	
	98-4	-	9:5	-	-	-	-	-	9	水田	
	98-5	-	14:12	-	-	-	-	-	0	水田	
	98-7	-	20:12	-	-	-	-	-	3	水田	
	98-8	-	19:24	-	-	-	-	-	0	水田	
小浜島	98-9	-	22:33	-	-	-	-	-	0	牧場の水溜り	
	98-10	-	12:10	-	-	-	-	-	0	牧場の水溜り	
	98-11	-	6:1	-	-	-	-	-	23	水路	
西表島	98-12	38:21	-	-	-	-	-	-	14	放棄水田	
	98-13	8:0	-	-	-	2:13	-	-	13	放棄水田	
	98-16	2:0	-	-	24:0	-	-	-	5	水田	
	98-17	-	39:11	-	-	-	-	-	8	放棄水田	
	98-18	-	30:34	-	-	-	-	-	2	水田	
与那国島	99-8	-	8:3	-	-	-	-	-	0	放棄水田	
	99-9	1:0	14:20	-	-	-	-	-	8	水田の水路	
	99-10	15:12	-	-	-	-	-	-	1	放棄水田	
	99-11	-	22:23	-	-	-	-	-	5	牧場の水溜り	
	99-12	-	35:24	-	-	-	-	-	6	放棄水田	
	99-14	-	30:24	-	-	-	-	-	0	水田	
	99-15	-	-	-	-	-	-	22	0	池	
	99-16	-	38:23	-	-	-	-	-	0	水路	
インドネシア バリ島	99-18	-	-	-	-	-	10:50	-	3	水田の水路	
	99-19	-	-	-	-	-	26:13	-	13	田植え直後の水田	
	99-20	-	-	-	-	-	9:10	-	7	水田の水路	
	99-21	-	-	-	-	-	1:8	-	8	水田	
	99-23	-	-	-	-	-	4:0	-	0	水入れたての水田	
	99-25	-	-	-	-	-	12:38	-	0	水田の水路	
	99-26	-	-	-	-	-	16:24	-	11	水田の水路	

*交配型未決定

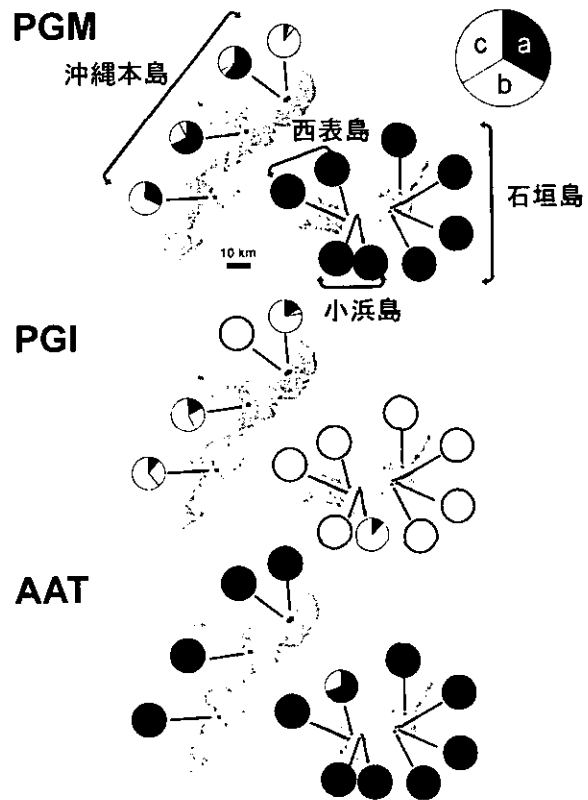


図1 琉球諸島のミカズキモ集団のアロザイム変異

亜熱帯島嶼の水生昆虫相、特にユスリカ相について

上野隆平・佐竹 潔 (国立環境研究所生物圏環境部生態機構研究室)

要約

環境が異なる3つの群島の水生昆虫相を調査した。調査結果と文献情報との比較から、八重山諸島と小笠原諸島の水生昆虫相では1970年代と現在で大きな変化は見られなかったが、小笠原、特に父島の蜻蛉目昆虫が減っている可能性が示唆された。また、情報が少ない大東諸島の水生昆虫相を報告した。

ユスリカ相について、小笠原では八重山や大東に比べて固有種の割合が高かった。これは、まとまった陸地から遠距離であることや人の移動が比較的少ないことなど小笠原の地理的な条件を反映するものかもしれない。

Abstract

Aquatic insects faunae in the Yaeyama Is., the Bonin Is. and the Borodino Is. were reported. Current faunae were not much different from the faunae reported by several authors in the Yaeyama Is. and the Bonin Is., though formerly reported odonate species in the Bonin Is. were not recovered in this study. Especially, no odonate specimens were recovered from the Chichi-jima Island (Bonin Is.), where at least four endemic Odonata species have been reported. An aquatic insect fauna of the Borodino Is., which has been very little-known, was presented. As for the chironomid fauna, a proportion of endemic species was higher in the Bonin Is. than those in the Yaeyama Is. and the Borodino Is.

1. 序

水生昆虫に含まれる昆虫類は日本国内だけでも約2000種ほどが知られ、これらは藻類や落葉などの光合成産物を食べ、自身は魚や鳥などに食べられ食物網の中で重要な地位を占める生物群である。また、多くの種類が幼虫の間のみ水生であり羽化後は陸上に飛来するものが多いため、水中から陸上への物流を担っている。この様な生態学上の重要性から本土の主要な河川・湖沼では比較的良好に研究されている動物群である。

一方、国内の亜熱帯島嶼の水生昆虫については研究の不便さに加え、島嶼の陸水環境が貧弱なため研究者の興味をひかないせいもあり調査報告例が非常に少ないが、上記のとおり陸水生態系を評価するためには考慮すべき生物群であり、まず、そのファウナを明らかにすることが必要である。

本報告では1998、1999年の2～3月に石垣島・西表島(八重山)と父島・母島(小笠原)の河川および南北大東島の池沼で調査した水生昆虫相について報告する。

2. 研究方法

八重山と大東での採集地点を図1に示す(小笠原については同冊子中の佐竹・上野¹³⁾参照)。サンプリングは底質を攪拌してDフレームネットで受ける方法で、0.3×1 mの面積が確保できる場所では定量採集を行い、それ以外の所では5～10分程度の定性採集を行った。各地点とも3サンプルずつ採集した。サンプルの中の昆虫はその日の内に肉眼でソーティングし、10%ホルマリン水溶液中に保存した。標本の同定には各種検索表を用いた^{9),8),9),10),11),12),19),20)}。同時に採集地点の水温・pH・電導度をハンディーターを用いて測定した。また、種の同定の参考にするために、適宜ライトトラップおよびスイーピングによる成虫の採集を行った。

3. 研究結果

表1に各島で測定した水温等の水質パラメータのレンジを示した。水温は父島で較差が大きく、その他の島では3℃以内の幅であった。pHと電導度は南大東島で高めであり、八重山ではともに低めであった。

各島で採集された水生昆虫を各目が占める割合で整理したものを図2に示す。群島の間では構成が非常に異なっている一方、同じ群島内の島ではよく似た構成が見られた。ここでは小笠原の水生昆虫相の単純さが目立った。

八重山諸島では53タクサが分類され、水生昆虫の主要な目はすべて採集された。個体数が多かったものはタニガワカゲロウ属・アシマダラブユ属・コガタシマトビケラ属等であった。ユスリカは、11属が記録された。優占種というべきユスリカは無く、1サンプルで10個体以上採れたユスリカのタクサはヒゲユスリカ族で、これには2種以上が含まれると思われる。

父島・母島では水生昆虫の種数は非常に少なく18タクサが分類され、蜻蛉目・せき翅目・広翅目の昆虫は採集されなかった。個体数が多かったものはアシマダラブユ属・ツヤユスリカ属等であった。ユスリカの種類も少なく、一部同定作業中のものがあるが最終的に10属は超えないものと思われる。ただし、1種類の個体数は場所によっては非常に多く、セズジユスリカ・ヒゲユスリカ族・ツヤユスリカ属が優占している場所があった。また、ツヤユスリカ属の一種は非常に長い肛門鰓を持つという、本土の同属の種では

見られないような形態的特徴を持っていた。

大東諸島では41タクサが分類された。せき翅目・広翅目の昆虫は小笠原同様採集されなかったが、これらは主に流水性の昆虫であるので、河川を欠く大東諸島にあっては水生昆虫の主な目はすべて採集された。個体数が多かったものはフタバカゲロウ属・アオモンイトトンボ・マルミズムシ等であった。ユスリカは10種が同定され、南北大東で個体数が多かったのは、ヒシモンユスリカ・メスグロユスリカ等であり、ツヤユスリカ属の*Cricotoopus sylvestris*は特に南大東島で個体数が多かった。

4. 考察

表1には、測定結果に加えて各島の面積⁹⁾、最高点の標高(25000分の1地形図)、降水量²¹⁾および人口⁹⁾を示した。島の面積は石垣島と西表島が大東・小笠原の島の10倍ほど大きく、また石垣島と西表島は他の島より湿潤な気候である。すなわち、面積の大ききから環境が変化に富んでおり、湿潤さから植生が豊富であると思われる。今回調査した島の中で、石垣島と西表島で採集されたタクサの数が多かったのはこの様な要因によるものと思われる。南大東島ではpHと電導度が高かったが、これは海水の塩分の影響によるものと考えられる。これは南北大東島の島全体が隆起珊瑚礁であり、透水性が高いため¹⁾であると考えられるが、北大東島では海水の影響はより少ないようである。

1970年代以降、本報告の調査対象地域から採集された水生昆虫の分布の情報を文献から拾い、本研究の結果とともに科ごとにまとめたものを表2に示す^{2),4),6),7),8),14),15),17)}。文献情報と現況を比較してみると八重山と小笠原では蜻蛉目と半翅目を除いては水生昆虫相に際立った変化は無いように思われる。小笠原で蜉蝣目・せき翅目・広翅目の昆虫が採集されなかったのも従前と同様である。半翅目について、過去に報告があつて今回の調査で採集されていないものはほとんどが海岸や止水に棲むものである。今回は八重山と小笠原では河川の調査がほとんどであるので、これらの半翅目が実際に減っている可能性もあるが、海岸や溜まり水のように適当な生息場所の調査を追加すれば採集される可能性もある。蜻蛉目についても止水性の種類が今回の調査で検出できないことは考えられる。しかし小笠原については湿地の調査を行っており、実際に母島では湿地性のイトトンボやハナダカトンボの仲間が確認されたが、父島では湿地と考えられる場所でも蜻蛉目の昆虫は全く確認されなかった。また、オガサワラセスジゲンゴロウが属する*Copelatus*属のゲンゴロウも母島では確認されたが、以前は見られたはずの父島では確認できなかった。大東島については今までまとめた調査が無かったが、今回の調査で南北大東島を合わせると40種を超える水生昆虫が確認された。海洋島であることを考えると意外に豊富な昆虫相であると言える。止水性の蜻蛉目やゲンゴロウの仲間の種類が多く、これらについてはいわゆる南方系の種類が多い^{6),8)}。

ユスリカで、今回の調査結果と文献情報^{9),10),12),16)}を基に種名が決定できたものについて、八重山から17種が記録され八重山固有種は2種、大東からは10種が記録され大東固有種は今のところ無く、小笠原からは22種が記録され小笠原固有種は14種である。八重山については引用した文献の著者の調査を含めても全体を詳細に調査したとは言えないので、今後調査の機会が増せば記録される種数はさらに増えるものと思われる。現時点のデータから見る限り、八重山・大東では固有種の割合は低く、小笠原では固有種の割合が高い。小笠原の環境またはユスリカ相の成立過程の特殊性をある程度反映しているものと思われる。父島・母島のいくつかの沢で優占するセスジユスリカは、本土でも最も普通に見られるユスリカの一つであり人の移動に伴って移動する機会が多いと思われるので、どのような経路で移入・定着したのかは興味ある問題である。南大東島で個体数が多かった*C. sylvestris*はヨーロッパの汽水湖でも採集されており³⁾、海水の塩分の影響下にあると思われる南大東島の池沼に適していると思われる。また、南北大東島で採集されたユスリカの優占種の多くは本州の例えば関東地方などでも普通に見られる種類である点は南北大東島の蜻蛉目やゲンゴロウの仲間とは異なっている。

5. まとめ

調査期間が短期間だったため、特に八重山のように大きな島では粗い調査になっており、完全に満足できる結果ではないが、確認された分類群数から、主な生息場所はカバーできたと思われる。八重山・小笠原・大東の各群島の主要な島の水生昆虫相の現況を調査した結果、1970年代以降大きな変化は無いように思われた。小笠原の特に父島の蜻蛉目とゲンゴロウについては再調査する価値があるかもしれない。ユスリカについて、小笠原と大東で本土と共通する優占種が何種か見られたが、これらの移入に人の移動が関わっていないだろうか。人の移動量と小動物の移動量との関係なども今後調査すべき問題かもしれない。

6. 本研究により得られた成果

情報が少ない島嶼の水生昆虫相を記録した。これらは本報告でも行った、動物相の時間的変化を追跡するような研究の基礎的資料となり得る。八重山・大東・小笠原の3つの地域を比較した結果、特にユスリカ相から小笠原の環境の特異性が高い可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 新井 正 (1996) 南北大東島の湖沼. 中村和郎ら (編)『日本の自然 地域編 8 南の島々』岩波書店, pp. 58-59.
- 2) Evenhuis, N.L. (ed.) (1989) *Catalog of the Diptera of the Australasian and Oceanian Regions*. Bishop Museum Press and E.J.Brill, 1155p.
- 3) Hirvenoja, M. (1973) Revision der Gattung *Cricotopus* van der Wulp und ihrer Verwandten (Diptera, Chironomidae). *Ann. Zool. Fenn.*, **10** : 1-363.
- 4) 加藤 真 (1992) 小笠原諸島産昆虫目録. *WWFJ Science Report*, **1** : 73-105.
- 5) 加藤庸二 (1995) 『ポケット図鑑 日本の島』成美堂出版, 463p.
- 6) 川合禎次 編 (1985) 『日本産水生昆虫検索図説』東海大学出版会, 409p.
- 7) Kuranishi, R. B. (1997) The genus *Rhyacophila* of the Ryukyu Archipelago, Part I. (Trichoptera: Rhyacophilidae). In: *Proceedings of the 8th International Symposium on Trichoptera* (Ed. By Holzenthal, R. W. and Flint, Jr., O. S.), pp. 265-269.
- 8) 森 正人・北山 昭 (1993) 『図説 日本のゲンゴロウ』文一総合出版, 217p.
- 9) Sasa, M. (1990) Studies on the chironomid midges (Diptera, Chironomidae) of the Nansei Islands, southern Japan. *Jpn. J. Exp. Med.*, **60** : 111-165.
- 10) Sasa, M. and Hasegawa, H. (1983) Chironomid midges of the tribe Chironomini collected from sewage ditches, eutrophicated ponds, and some clean streams in the Ryukyu Islands, southern Japan. *Jpn. J. Sanit. Zool.*, **34** : 305-341.
- 11) Sasa, M. and Kikuchi, M. (1995) *Chironomidae (Diptera) of Japan*. University of Tokyo Press, 333p.
- 12) Sasa, M. and Suzuki, H. (1997) Studies on the Chironomidae (Diptera) collected from the Ogasawara Islands, southern Japan. *Med. Entomol. Zool.*, **48** : 315-343.
- 13) 佐竹 潔・上野隆平 (2000) 亜熱帯島嶼の底生動物相、特に淡水エビについて、環境庁未来創造型基礎研究推進研究課題『亜熱帯島嶼の生態系保全手法に関する基礎研究 (平成9年度～平成11年度)』平成11年度報告書.
- 14) 谷田一三 (1974) 琉球列島の水生昆虫相とその特徴. 池原貞雄 (編)『琉球列島の自然とその保護に関する基礎的研究(1)』、文部省科学研究費特定研究「人間生存」、pp. 161-174.
- 15) Tanida, K. (1997) Trichoptera fauna of the Ryukyu Islands: taxonomic and ecological prospects. In: *Proceedings of the 8th International Symposium on Trichoptera* (Ed. By Holzenthal, R. W. and Flint, Jr., O. S.), pp. 445-451.
- 16) Tokunaga, M. (1964) Insects of Micronesia. Diptera. Chironomidae. *Insects of Micronesia*, **12** : 485-628.
- 17) 友国雅章・佐藤正孝 (1978) 小笠原諸島 (含硫黄諸島) の水棲および半水棲昆虫. 国立科博専報, **11** : 107-121.
- 18) Wada, Y., Miyagi, I., Takagi, M. and Tsuda, Y. (1996) An annotated list of *Culicoides* biting midges in Yaeyama Islands in the southwestern part of Japan (Diptera: Ceratopogonidae). *Trop. Med.*, **38** : 61-68.
- 19) Wiederholm, T. (1983) *Chironomidae of the Holarctic region. Keys and diagnoses. Part 1. Larvae*. *Entomologica Scandinavica, Supplement No. 19.*, Entomologica Scandinavica, 457p.
- 20) Wiederholm, T. (1986) *Chironomidae of the Holarctic region. Keys and diagnoses. Part 2. Pupae*. *Entomologica Scandinavica, Supplement No. 28.*, Entomologica Scandinavica, 482p.
- 21) 財団法人日本気象協会 (編) (1998) 『気象データひまわり CD-ROM99』、丸善、62p.

研究発表

- 1) 佐竹 潔・上野隆平 (2000) 亜熱帯島嶼の河川の底生動物、特に淡水エビについて、第47回日本生態学会大会、東広島
- 2) 上野隆平・佐竹 潔 (2000) 亜熱帯島嶼の水生昆虫、特にユスリカ相について、第47回日本生態学会大会、東広島

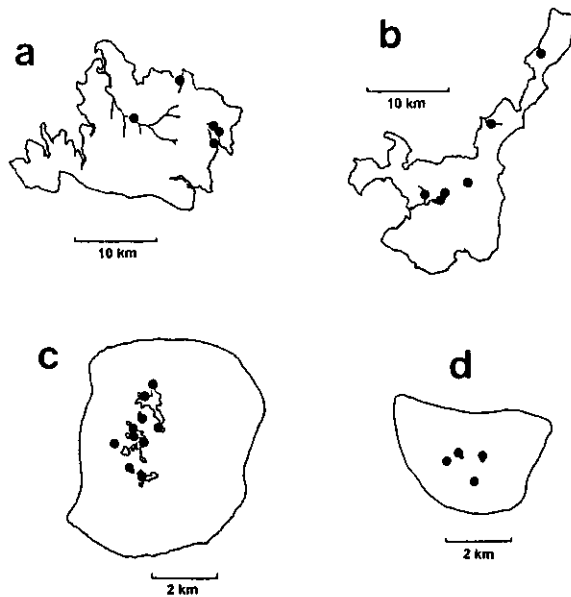


図1 調査地点図. 採集地点を●で示す
a: 西表島; b: 石垣島; c: 南大東島; d: 北大東島

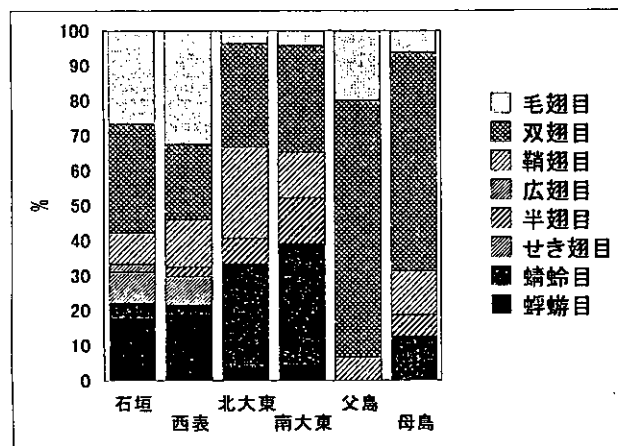


図2 各島における水生昆虫タクサ数に基づく目の構成比

表1 各島の水質パラメータのレンジ、地形パラメータ、降水量および人口

	石垣島	西表島	北大東	南大東	父島	母島
水温(°C)	18.4-21.4	20.4-22.0	18.0-20.8	15.3-18.9	13.0-21.6	16.7-19.6
pH	6.8-7.7	6.7-7.9	6.6-8.2	7.1-8.7	6.8-8.6	6.5-8.0
電導度(mS/cm)	0.10-0.33	0.08-0.20	0.28-1.45	0.44-5.25	0.36-1.21	0.19-0.77
面積(km ²)	222.46	289.27	11.94	30.57	23.99	20.8
最高点の標高(m)	526	469	74	76	318	463
年平均降水量(mm)	2063	2321	—	1575	1219	—
人口(人)	41245	1711	801	1399	1634	413

表2 1970年代以降の文献情報と本報告での現地調査結果による出現科のリスト

		文献情報*					本報告における調査					
		石垣	西表	(八重山)	大東	父島	母島	(小笠原)	石垣	西表	大東	父島
蜂蟻目	ヒラタカゲロウ科	●	●	●				●	●			
	コカゲロウ科	●	●	●				●	●	●		
	トビイロカゲロウ科			●								
	モンカゲロウ科			●								
	マダラカゲロウ科		●	●								
ヒメカゲロウ科			●									
蜻蛉目	イトトンボ科	●	●	●	●	●	●			●		●
	モノサシトンボ科	●	●	●								
	アオイトトンボ科					●						
	トゲオトンボ科	●	●									
	ハナダカトンボ科		●			●	●					●
	ミナミカワトンボ科			●				●	●			
	カワトンボ科	●	●									
	サナエトンボ科	●	●									
	オニヤンマ科		●									
	ヤンマ科	●	●		●					●		
	エソトンボ科	●	●			●	●			●		
トンボ科	●	●		●	●	●			●			
せき翅目	オナジカワゲラ科			●				●	●			
	ハラシロオナジカワゲラ科			●				●				
	ヒロムネカワゲラ科			●				●				
	カワゲラ科	●	●	●				●	●			
半翅目	カタビロアメンボ科	●	●						●			
	アメンボ科	?	●							●		●
	ミズギワカメムシ科			?								
	ミズムシ科	●	●									
	アシトメミズムシ科			●								
	タイコウチ科	●	●							●		
	マツモムシ科	●								●		
マルミズムシ科									●			
広翅目	ヘビトンボ科	●	●	●				●	●			
鞘翅目	コツブゲンゴロウ科	●	●		●				●	●		
	ゲンゴロウ科	●	●		●	●	●		●	●		●
	ミズスマシ科									●		
	ダルマガムシ科									●		●
	ガムシ科									●		
	マルハナノミ科							●	●	●		
	ヒラタドROMシ科	●	●	●				●	●	●		
	ナガハナノミ科							●	●	●		
	ドROMシ科								●	●		
ヒメドROMシ科	●	●	●				●	●	●		●	
双翅目	ガガンボ科	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●
	アミカ科	●	●	●				●	●	●	●	●
	カ科	●	●			●		●	●	●	●	●
	チョウバエ科									●		
	ホソカ科									●	●	●
	ブユ科	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●
	ヌカカ科	●	●			●	●	●	●	●	●	●
	ユスリカ科	●	●	●				●	●	●	●	●
	オドリバエ科									●		
	ナガレアブ科	●	●					●	●	●		
	ハナアブ科					●				●		
ミギワバエ科									●		●	
イエバエ科									●			
鱗翅目	メイガ科	●	●	●								
毛翅目	カワトビケラ科	●	●	●				●	●			
	ヒゲナガカトビケラ科	●	●	●				●	●			
	シマトビケラ科	●	●	●				●	●			
	クダトビケラ科		●	●				●	●			
	イワトビケラ科		●	●				●	●	●		
	ヒメトビケラ科			●				●	●			●
	ナガレトビケラ科		●					●	●			
	ヤマトビケラ科							●	●			
	ヒゲナガトビケラ科							●	●			●
	ホソバトビケラ科		●	?				●	●			
	ニンギョウトビケラ科							●	●			
	カタツムリトビケラ科							●	●			
	ケトビケラ科			?				●	●			
	カクスイトビケラ科							●	●			
カクツツトビケラ科			●				●	●				

● 文献情報においては、産地として島(石垣島、父島等)または群島(八重山、小笠原)の名称が明記されているもの。
 ? 文献には産地として「南西諸島以南」等の記述があり、今回の調査対象地への分布が推定できるもの。

亜熱帯島嶼の底生動物相、特に淡水エビについて

Macro-invertebrate fauna in subtropical island streams;

Caridean shrimps (crustacea:Decapoda) of Chichi-jima and Haha-jima (Bonin Islands).

佐竹 潔・上野隆平 (国立環境研究所生物圏環境部生態機構研究室)

要約

亜熱帯島嶼である小笠原諸島父島及び母島の河川において、底生動物の分布調査を行った。底生動物の主要な構成種である淡水エビでは、トゲナシヌマエビが最も多くの地点で採集された。このほか、ヤマトヌマエビ、ヌマエビ属の1種、ヒラテテナガエビ、ヒメヌマエビ、ミナミオニヌマエビの順に多くの地点で採集されたが、ミナミオニヌマエビは勾配が急な河川に分布が限られていた。また、両側回遊型の生活史であるトゲナシヌマエビの卵サイズは他の亜熱帯島嶼のものとほぼ同じであったが、陸封型であると考えられるヌマエビ属の1種は大卵小産型であり、その特異性が明らかになった。

Abstract

Macro-invertebrate fauna of subtropical island streams on the Bonin Islands were studied for three years. Of all the invertebrates, freshwater caridean shrimps dominated. Six species of caridean shrimps were found in the streams. *Caridina typus* were found in most of sampling stations. *Atyoida pilipes* were found only in high gradient streams. Egg size of *Caridina typus* in Chichi-jima Island was not different from that of the other subtropical populations. But, egg size of *Paratya* sp. was larger than that of *Paratya compressa* of the other subtropical islands.

1. 序

伊豆諸島から硫黄島、マリアナ諸島にかけて太平洋の海底からそびえ立つ海嶺から枝状に分かれる小笠原海嶺。ここは、太平洋プレートがフィリピン海プレートに沈み込んでいる伊豆・小笠原海溝のすぐ西に位置している。

小笠原諸島は小笠原海嶺の上に位置する大小30余りの島々からなっているが、これらの島々は本州の約1000km南の海上に位置しており、その地質などから、一度も大陸と地続きになったことのない海洋島として知られている。

その海洋島である小笠原諸島にも小規模の陸水があり、面積24.0km²の父島と面積20.8km²の母島のおおの数の河川には年間を通じて安定した地表流を見ることが出来る。

小笠原諸島の河川に生息している底生動物についての報告は古くは1860年に溯ることができる¹⁷⁾、その後、断片的な調査がなされているものの¹⁸⁾、多くの分類群では調査が行き届いているとはいえない。

本報告では、1998年から2000年にかけての小笠原諸島父島と母島での調査結果から、特に河川の底生動物の主要な構成種である淡水エビについて報告する。

2. 研究方法

小笠原諸島の父島と母島において、1998年2~3月、1999年2~3月及び6月、2000年2~3月に調査を行った。各調査地点(図1)において水温・pH・電気伝導度などの環境要因を測定し、河川水の分析用に採水を行った。また、底生動物については、メッシュNGG38のサーパーネットあるいはD-フレームネットを用いたサンプリングを行った。サンプリングに際して、河川の流量などを判断しながら、流れの速い瀬の部分での定量採集(30cm×30cm)と、様々な環境を含む定性採集とを併用した。各サンプルはフォルマリンで固定して持ち帰り、研究室にてソーティングを行い、各種の文献を参考にしながら^{11), 12), 14), 15), 16), 18)}可能な限り種あるいは属レベルまで同定を行った。特に、淡水エビの抱卵個体については、体長、全長、甲胸長を測定し、抱卵数を数えた。また、未発眼卵については20個を選び出し、万能投影機を用いて、卵の長さや幅を測定し、その平均値を求めた。

3. 研究結果

水温などの環境要因については上野&佐竹¹⁹⁾の表1に示されている。ただし、6月の調査時には父島の河川水の水温は21.9℃~26.5℃と2~3月の12.9℃~21.6℃に比べて高い値であった。

淡水エビ以外の水生昆虫については、上野&佐竹¹⁹⁾の表2に示されているが、ヒメトビケラ科については小笠原諸島では初めての記録である。淡水産のエビについては、4属6種が採集された。そのうちトゲナシヌマエビが河川の下流から上流、そして非常に細い源流域まで、最も広い範囲で採集された。ヒメヌマエビとヤマトヌマエビ、ヒラテテナガエビについては河川の中流から下流域で採集された。また、ヌマエビ属の1種はその分布域が河川の上流域に偏っており、ミナミオニヌマエビは勾配の急な河川の一部の区間のみ生息していた(表1)。また、トゲナシヌマエビの卵サイズは長径が0.48mm、幅が0.26mmであったが、これは従来報告されている琉球列島¹⁴⁾や南西日本⁴⁾の個体群について報告されているサイズとそれほど大きくは変わらない値であった(表2)。一方、ヌマエビ属の1種の卵サイズは長径が1.04mm、幅が0.6mmと、従来報告されている西表島や奄美大島^{9), 14)}に生息している同属のヌマエビ(*Paratya*

compressa)と比較して大きい値であり(表2)、卵数も平均で32.6と少ない大卵少産型であった。

4. 考察

今回の調査では2科4属6種の淡水エビが採集された。これは同じ海洋島のハワイでの報告例⁸⁾の2科4属4種より多く、大陸島の琉球列島での2科8属31種という報告例¹⁴⁾と比較すると少ない。しかし、かつて記載されたが今回採集されなかった種としてヒラツノヌマエビなどが存在すること^{9),17)}、採集方法として流れの速い部分に重きをおいたためヒラテテナガエビ以外のテナガエビ類を得ることができなかったこと、感潮域での調査が行き届いておらずオガサワラコテナガエビが採集されなかったこと、などから、この他に数種類の淡水エビがリストに加わるものと考えられる。これら淡水エビの生活史には、淡水だけで生活史を完結する「陸封型」と、幼生の時に海に降り成長と共に淡水に戻ってくる「両側回遊型」との2つのパターンが知られている。^{14),15),16)}

小笠原諸島と同じ亜熱帯に属し、ほぼ同じ緯度に位置している琉球列島を例にとると、「陸封型」淡水エビはカワリヌマエビ属(*Neocaridina*)の2種、すなわち、コツノヌマエビ(*N. brevirostris*)¹¹⁾、イシガキヌマエビ(*N. ishigakiensis*)¹³⁾、テナガエビ属(*Macrobrachium*)の1種、ショキタテナガエビ(*M. shokitai*)^{9),10)}が見られる。しかし、これら3種はかつて大陸と地続きになったことのあるとされる南部琉球の西表島・石垣島にしか生息していないこと、その近縁種が中国大陸や台湾に生息していることから、大陸と地続きであった時代になんらかの方法により移り住んできたと考えられる^{12),14)}。

また、琉球列島のヌマエビ属(*Paratya*)には両側回遊型のヌマエビ(*P. compressa*)のみが知られ¹⁴⁾、いわゆる「大卵少産型」の「陸封型」のグループは知られていない。今回の調査で小笠原諸島父島及び母島から採集されたヌマエビの1種(*P. sp.*)は、成熟個体の体長が今まで日本の近辺で知られているこの属のどのグループよりも小さく、矮小化していると考えられる。一方、未発眼の卵のサイズは今までに日本の近辺で知られているどのグループのものより大きく、雌あたりの抱卵数も極めて少ない「大卵少産型」である。室内での飼育実験により、この種が淡水で生活史を完結することはほぼ確定的であり、海洋島における淡水エビの陸封化は世界的に見ても極めて稀な事例であり、その種分化の過程については今後新たな仮説をたてて検証する必要がある。

ミナミオヌマエビは今年の調査において父島と母島の各1地点で始めて採集された。分布域が限られており、勾配が強く滝のようになった急流からのみ採集されている。種名は、従来の記載¹⁾から検討した結果、*Atyoida pilipes* (Newport, 1847)であった。この種は太平洋からインド洋にかけての広い範囲の標高の高い島に分布することが知られており^{1),2)}。琉球列島を除くと、北マリアナ諸島のロタ島での分布が北限との報告²⁾もあるが、父島のものが北限になると考えられる。

5. まとめ

小笠原諸島父島及び母島の河川において、底生動物の調査を行い、特に淡水エビ相について明らかにした。2科4属6種の種数は琉球列島の報告と比較すると少ないものの、今後さらに調査を重ねることにより、種数が増えるものと考えられる。

6. 本研究により得られた成果

亜熱帯の海洋島における底生動物の分布データが得られた。これは、生物地理学的にも重要なものである。また、小笠原諸島において独自の種分化をとげたと考えられる種を得ることができた。

参考文献

- 1) Chace, F. A. Jr. (1983) The *Atya*-like Shrimps of the Indo-Pacific Region (Decapoda: Atyidae). *Smithsonian Contributions to Zoology*, **384**: 54p.
- 2) Chace, F. A. Jr. (1997) The Caridean Shrimps (Crustacea: Decapoda) of the Albatross Philippine Expedition, 1907-1910, Part 7: Families Atyidae, Eugonatonotidae, Rhynchocinetidae, Bathypalaemonellidae, Processidae, and Hippolytidae. *Smithsonian Contributions to Zoology*, **587**: 106p.
- 3) Fujino, T. and K. Baba (1973) A new fresh-water prawn of the genus *Macrobrachium* (Crustacea, Decapoda, Caridea) from Iriomote Island of the Ryukyus. *Annot. Zool. Japon.*, **46**: 100-111.
- 4) 上田常一 (1970) 『日本淡水エビ類の研究』、増補改訂版、園山書店、松江、213p.
- 5) 上田常一 (1976) ハワイ産2種の淡水エビ、*Researches on Crustacea*, **7**: 23-27.
- 6) 三宅貞祥 (1977) わが国の淡水産エビ・カニ類、遺伝、特大号『淡水の生物』、**31**(10): 39-45.
- 7) 三宅貞祥 (1977) 『原色日本大型甲殻類図鑑(Ⅰ)』、保育社、261p.
- 8) Nishida, G. M. (Ed.) (1997) Hawaiian Terrestrial Arthropod Checklist. Third ed., *Bishop Museum Technical Report No.12*, Honolulu, Hawaii. 263p.
- 9) Nishino, M. (1981) Brood Habits of Two Subspecies of a Freshwater Shrimps, *Paratya compressa* (Decapoda, Atyidae) and their Geographical Variations., *Jap. J. Limnol.*, **42**: 201-219.
- 10) Shokita, S. (1973) Abbreviated larval development of freshwater prawn, *Macrobrachium shokitai* Fujino et Baba

- (Decapoda, Palaemonidae) from Iriomote Island of the Ryukyus. *Annot. Zool. Japon.*, **46** : 111-126.
- 11) Shokita, S. (1973) Abbreviated larval development of freshwater atyid shrimp, *Caridina brevivirostris* Stimpson from Iriomote Island of the Ryukyus (Decapoda, Atyidae). *Bull. Sci. & Eng. Div., Univ. Ryukyus*, **16** : 222-231.
 - 12) 諸喜田茂充 (1975) : 琉球列島の陸水エビ類の分布と種分化について-. 琉球大学理工学部紀要、理学篇、**18** : 115-136.
 - 13) Shokita, S. (1976) Early life-history of the land-locked atyid shrimps, *Caridina denticulata ishigakiensis* Fujino et Shokita from the Ryukyu Islands. *Researches on Crustacea*, &. pp.1-10.
 - 14) 諸喜田茂充 (1979) 琉球列島の陸水エビ類の分布と種分化について-. 琉球大学理学部紀要、**28**:193-278.
 - 15) 諸喜田茂充 (1979) テナガエビ類の初期生活史、海洋と生物、**1**(4) : 9-17.
 - 16) 諸喜田茂充 (1981) スマエビ類の生活史、海洋と生物、**3**(1) : 15-23.
 - 17) Stimpson, W. (1860) *Prodromus descriptionis animalium evertibratorum quae in Expeditione ad Oceanum Pacificum Septentrionalem, a Republica Federata missa, C. Ringgold et J. Roders Ducibus, observavit et descripsit.*, *Proc. Aca. nat. Sci. Philad.*, pp.22-47.
 - 18) Suzuki, H. (1972) Freshwater and commensal crustacean decapods from the Bonin Islands., *Sci. Rep. Yokohama Natl. Univ.* , **19**(2) : 1-26.
 - 19) 上野隆平・佐竹 潔 (2000) 亜熱帯島嶼の水生昆虫相、特にユスリカ相について、環境庁未来想像型基礎研究推進研究課題『亜熱帯島嶼の生態系保全手法に関する基礎研究 (平成 9 年度～平成 11 年度)』平成 11 年度報告書.

研究発表

- 1) 佐竹 潔・上野隆平 (2000) 亜熱帯島嶼の河川の底生動物、特に淡水エビについて、第 47 回日本生態学会、東広島.
- 2) 上野隆平・佐竹 潔 (2000) 亜熱帯島嶼の水生昆虫、特にユスリカ相について、第 47 回日本生態学会、東広島.

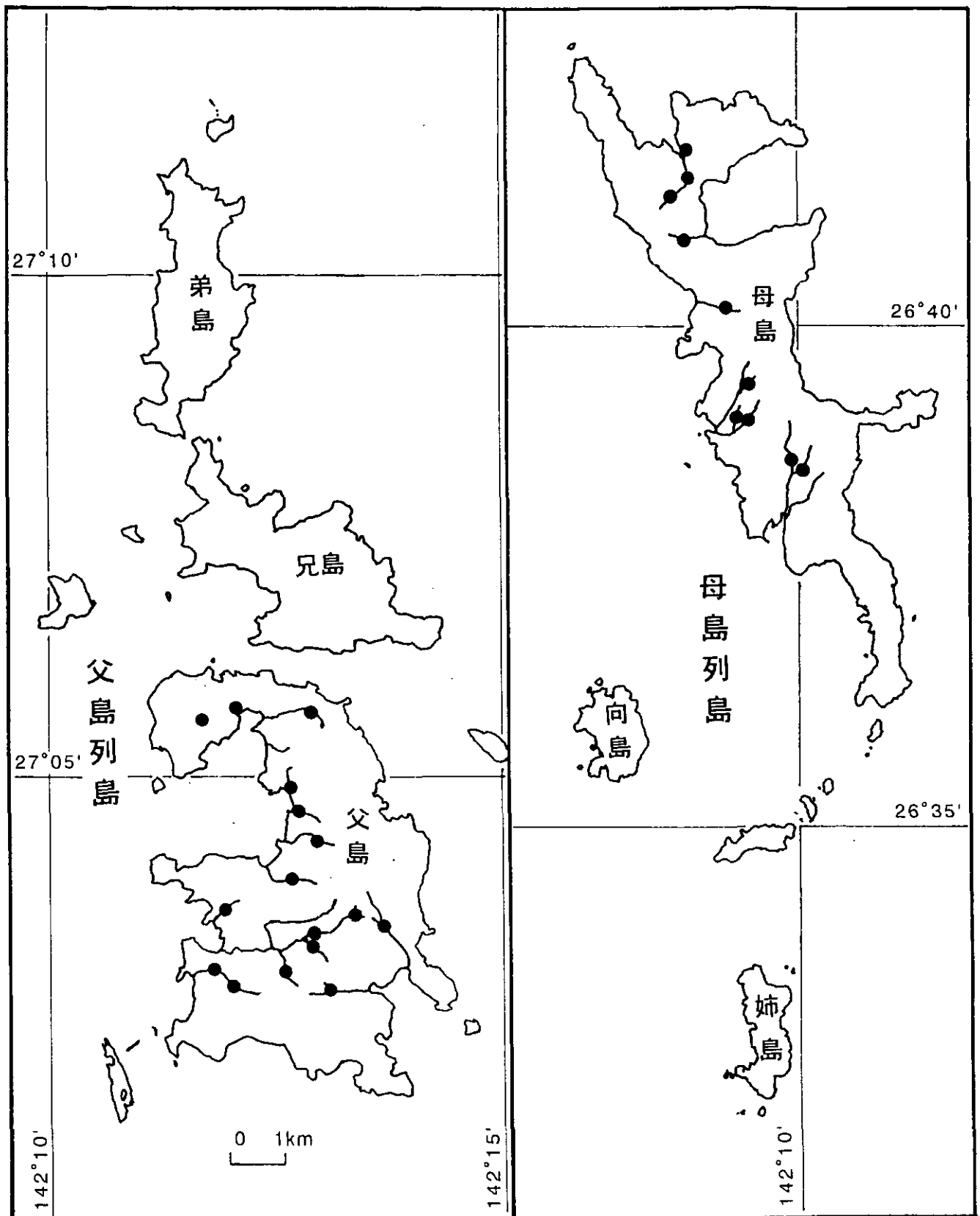


図1. 調査地点図、採集地点を●で示す。

表1 小笠原諸島の河川における淡水エビの分布
 *** ; 多い、** ; 普通、* ; 少ない

学名		下流	中流	上流	急勾配
<i>Atyoida pilipes</i>	ミナミオニヌマエビ				***
<i>Caridina serratirostoris</i>	ヒメヌマエビ	***	**		
<i>Caridina japonica</i>	ヤマトヌマエビ	**	***		
<i>Caridina typus</i>	トゲナシヌマエビ	*	**	**	
<i>Paratya sp.</i>	ヌマエビ属の1種		*	***	
<i>Macrobrachium japonicum</i>	ヒラテテナガエビ	**	**		

表2 淡水エビの卵サイズの他島との比較

	採集地	卵の長径 (mm)	卵の幅 (mm)	出典
<i>Caridina typus</i>	父島	0.48	0.26	This study
トゲナシヌマエビ	琉球列島	0.51	0.30	諸喜田(1979)
	南西日本	0.44	0.27	上田(1970)
<i>Paratya sp.</i>	父島	1.04	0.60	This study
<i>Paratya compressa</i>	西表島	0.60	0.35	諸喜田(1979)
	奄美大島	0.52	0.32	諸喜田(1979)

小笠原諸島・伊豆諸島・伊豆半島の転石潮間帯における海産大型腹足類の分布

飯島明子 (国立環境研究所)・木下今日子・中山聖子 (東邦大学理学部)

要約

小笠原諸島の父島・母島、伊豆諸島の式根島、伊豆半島の転石潮間帯で、海産大型腹足類の分布調査を行った。小笠原諸島と他の海域では、出現種が大きく異なった。優占種の種数は伊豆半島で多く、父島・母島・式根島では少なかった。亜熱帯・温帯共に島嶼では、近隣からの幼生の供給がほとんどないために、本土よりも、浮遊幼生期を持つ腹足類の種数が少なくなるものと思われる。

Abstract

Distribution patterns of large gastropods on the bouldershores were surveyed at Chichijima and Hahajima in the Ogasawara Islands, Shikinejima in the Izu Islands and Izu Peninsula. Collected species differed between Ogasawara Islands and other sites. Number of dominant species in Izu Peninsula was most rich among all study sites. Poor species number in Ogasawara and Izu Islands may be caused by small supply of larvae from neighbor area.

1. 序

小笠原における潮間帯性腹足類の分布の研究は、従来、岩盤で行われていた^{1),2),3)}。しかし、岩礁に囲まれた入り江では、一般に、転石場が発達する地形が多く見られ、転石場と岩盤では出現する腹足類相が異なることが知られている⁴⁾。そこで、転石潮間帯における大型腹足類相を、亜熱帯島嶼である小笠原諸島の父島と母島、温帯島嶼である伊豆諸島の式根島、及び伊豆半島南部で、それぞれ複数の入り江において調べ、優占種の種組成を比較した。また、各調査地の優占種の個体密度を入り江ごとに比較し、海産腹足類の分布様式を島嶼と陸塊の間で比較した。

2. 研究方法

各調査地(島と半島)の位置関係と、調査地の中の各調査地点(入り江)を図1に示す。大潮干潮時に、岸から汀線まで任意に2本の測線を設置し、起点(最も高い場所)から汀線まで3~6測点を設定し、各測点で25 cm×50 cmの方形枠を2個または4個置き、その中の腹足類を、深さ10 cmまで、あるいは底質が砂・泥になる深さまで採集した。採集した腹足類はその場で同定し、個体数を数えた後、同測点に放した。調査は、父島では1998年3月23日から4月1日、母島では1998年7月22日から26日、式根島では1999年7月12日から15日、伊豆半島では1998年9月4日から9月8日にかけて行った。調査地点間の比較には、類似の環境の中で比較するために、波当たりが激しい海岸(伊豆半島では浮島、父島では洲崎南B、母島では万年青浜)を除外し、波当たりが穏やかで転石の下に砂利や砂が堆積する地点のデータのみを用いた。

3. 研究結果

少なくとも1地点で平米当たり10個体以上出現した優占種を表1に示す。優占種数は父島で最も少なく5種、次いで式根島の7種、母島で8種、最も多かったのは伊豆半島で12種であった。父島の優占種5種はすべて母島の優占種と重複していた。母島での優占種のうち残る3種も、個体密度は少ないながら、父島でも出現していた。式根島と伊豆半島では優占種5種が重複していた。伊豆半島での優占種の中で、アオガイ、クマノコガイ、タマキビは、式根島でも低い個体密度であるが出現していた。しかし、クロツケガイ、クルマチグサガイ、クボガイ、アマガイは、式根島では出現しなかった。父島と母島での優占種のほとんどが、式根島と伊豆半島には出現しなかった。例外としてアマオブネは、父島・母島・式根島の優占種であり、伊豆半島でも出現していた。また式根島と伊豆半島の優占種であるコウダカアオガイも、例外的に父島で出現していた。

本土と島嶼の両方に共通して優占する種、または本土の優占種と同じ属の島嶼での種の、地点ごとの個体密度を表2に表わす。伊豆半島では、アオガイ、コウダカアオガイ、インダタミガイ、イソナが全地点に出現していた。特にコウダカアオガイ、インダタミガイ、イソナ3種の個体密度は、地点間で大きな差はなかった。一方、式根島のこの3種の個体密度は、地点間でばらついた。小笠原では、アオガイの小笠原固有の亜種である*N. schrenkii boninensis*と、インダタミガイと同属で小笠原固有種のクサイロインダタミガイの個体密度は、入り江ごとに大きな差があった。クビレクロツケガイとその亜種のアオクロツケガイ、及びヘソアキクボガイは、すべての調査地において、出現する地点が限られていた。

4. 考察

小笠原では固有種を含めて亜熱帯生の種が多かったため、温帯である式根島・伊豆半島と出現種が異なっていた。また、小笠原と式根島では、伊豆半島に比べて優占種の種数が少なく、限られた種が高密度で生息している状況が明らかになった。腹足類のほとんどが浮遊幼生期を持つため、多数の生息域が連なる陸塊では、多様な種の幼生が近隣の他の生息域からも供給されるのに対し、小さな島では、主たる幼生供

給源が島の海岸に限られるために、本土に比べて種数が少なくなるものと推察される。また、小笠原・式根島で、優占種の個体密度が入り江ごとに異なっていたのも、本土と異なり、近隣の生息域を含んだ大きな幼生供給源がないために、各入り江に幼生が流れ着く確立が少ない結果であると推測される。クビレクロツケガイ、オオクロツケガイ、ヘソアキクボガイの3種は、本土・島嶼を問わず出現する地点が限られていたため、生息場の選好性が強いことがうかがわれる。

5. まとめ

小笠原の父島と母島では、転石潮間帯の大型腹足類相はほぼ一致した。温帯海域である伊豆諸島の式根島と伊豆半島では部分的に一致したが、伊豆半島の方が種数は多かった。小笠原での出現種は、式根島と伊豆半島の出現種とほとんど一致しなかった。浮遊幼生期を持つ腹足類の場合、近隣からの幼生供給のない島嶼では、本土に比べて種数が少なく、出現種の入り江ごとの個体密度の差も大きいものと推測された。

6. 本研究により得られた成果

亜熱帯の孤立した島嶼である小笠原と、温帯の島嶼である式根島、温帯の陸塊である伊豆半島で腹足類の分布を調べた結果、海産腹足類の分布に関して、亜熱帯・温帯に共通する島嶼としての特色を明らかにすることができた。また、ありふれた環境でありながら知見の少ない転石潮間帯での腹足類相を、亜熱帯から温帯にかけてという広い範囲で明らかにすることができたことも、大きな成果である。

参考文献

- 1) Asakura, A., Kondo, Y., Sato-Okoshi, W. and Miyata, M. (1990) Distribution patterns of animals and plants on the rocky shores of Hahajima in the Ogasawara Islands. *Natural History Research*, 1 : 65-79.
- 2) Asakura, A., Kondo, Y. and Nishihama, S. (1991) Distribution patterns of animals on the rocky shores of Chichijima in the Ogasawara Islands. *Natural History Research*, 1 : 23-40.
- 3) Asakura, A., Nishihama, S. And Kondo, Y. (1993) Studies on the biology and ecology of the intertidal animals of Chichijima Island in the Ogasawara (Bonin) Islands. 1. List of collected species with comments on some species. *Atoll Research Bulletin*, 383 : 1-17.
- 4) Iijima, A. (1998) Distribution of molluscs on bed-rock and boulder areas in an intertidal rocky shore on the Pacific coast of the Boso Peninsula. *Venus (Jpn. Jour. Malac.)*, 57 : 95-104.

研究発表

- 1) 飯島明子・木下今日子・中山聖子、1998年。小笠原父島の転石潮間帯における腹足類の分布。ベントス学会大会（広島）、ポスター発表。

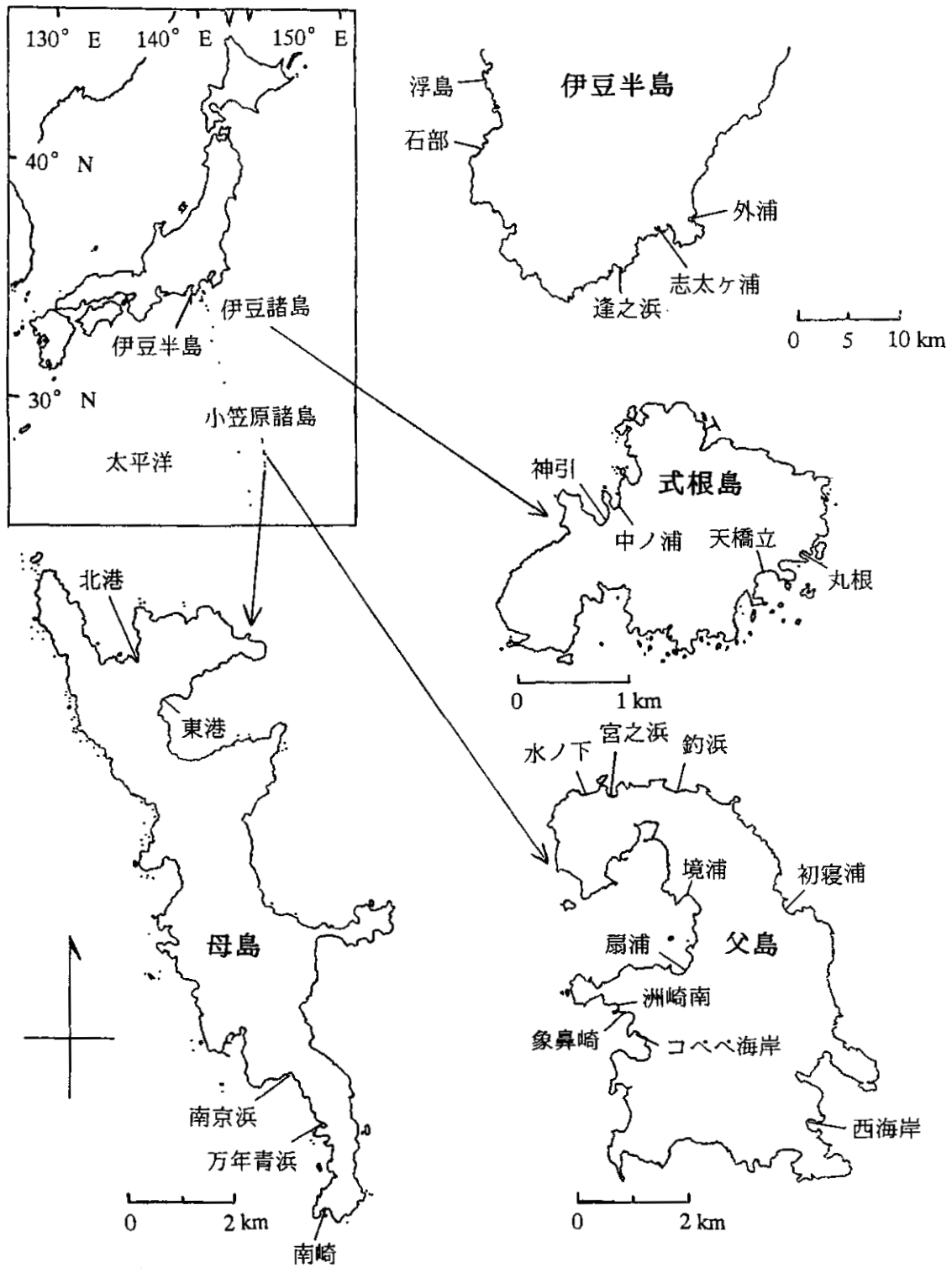


図1 調査地の位置関係と各調査地における調査地点

表 1 調査地における優先種リスト。○は平米当たり10個体以上出現した優先種、
+は平米当たり10個体未満の出現種を表す。

		父島	母島	式根島	伊豆半島
アオカ ^イ	<i>Nipponacmaea schrenkii</i>			+	○
	<i>Nipponacmaea schrenkii boninensis</i>	+	○		
コウタ ^カ アオカ ^イ	<i>Nipponacmaea concinna</i>	+		○	○
イシタ ^タ ミカ ^イ	<i>Monodonta labio</i>			○	○
クサイロイシタ ^タ ミ	<i>Monodonta australis</i>	○	○		
クワツ ^ケ カ ^イ	<i>Monodonta neritoides</i>				○
クヒ ^レ クワツ ^ケ カ ^イ	<i>Monodonta perplexa</i>			○	○
オオクワツ ^ケ カ ^イ	<i>Monodonta perplexa boninensis</i>	○	○		
クハ ^マ チ ^ク サカ ^イ	<i>Eurytrochus cognatus</i>				○
ハリアキクハ ^カ イ	<i>Chlorostoma turbinatum</i>			○	○
クハ ^カ イ	<i>Chlorostoma lischkei</i>				○
クマノコ ^カ イ	<i>Chlorostoma xanthostigma</i>			+	○
アマオ ^ア ネ	<i>Nerita albicilla</i>	○	○	○	+
アマ ^カ イ	<i>Nerita japonica</i>				○
ホリウミ ^ナ	<i>Batillaria cumingii</i>				○
ヨコス ^シ タマキ ^カ イモト ^キ	<i>Angiola inepta</i>	○	○		
クダマキ ^カ イモト ^キ	<i>Supplanaxis niger</i>	+	○		
シノミレイシ ^カ イ	<i>Cronia fusconigra</i>	+	○		
ノミ ^ナ	<i>Zafra pumila</i>	○	○		
イソ ^ナ	<i>Japeuthria ferrea</i>			○	○
カラマツ ^カ イ	<i>Siphonaria japonica</i>			○	

表2 本土と島嶼に共通の種または共通の同属種の、地点ごとの
 個体密度（平米当たり）。
 コウダカ；コウダカアオガイ、クビレ；クビレクロツケガイ、
 ヘソアキ；ヘソアキクボガイ、クサイロ；クサイロイシダタミ、
 オオクロツケ；オオクロツケガイ。nは実際の採集個体数。

伊豆半島

地点	アカイ	コウダカ	イシダタミ	クビレ	ヘソアキ	イシナ
達之浜	8	30	156	4		28
志太ヶ浦	6	38	350			10
外浦	30	14	178			16
石部	92	20	150	230	18	18
n	68	51	417	117	9	36

式根島

地点	コウダカ	イシダタミ	クビレ	ヘソアキ	イシナ
天橋立		4		34	
神引	19	31	101	4	28
丸根		6		8	2
中ノ浦	2	44	1		
n	21	83	102	95	35

父島

地点	クビレ	オオクロツケ
境浦	136	
扇浦	253	
洲崎南A	81.8	22.2
象鼻崎	136	4
コベヘ海岸	3	
西海岸	2.2	
宮の浜	10.2	
釣浜	9.1	
水の下	5	
n	631	28

母島

地点	アカイ	クビレ	オオクロツケ
南京浜		5.3	
北港	9.1	19.4	2.3
東港	21.7	3.4	
南崎			
n	27	24	2

形態の異なる小笠原乾性低木林におけるコバノアカテツとテリハマボウの光利用特性

石田 厚 (森林総合研究所)・中野 隆志 (山梨県環境科学研究所)

要約

亜熱帯性の海洋島である小笠原父島の乾性低木林にて、形態の異なるテリハマボウとコバノアカテツを用いて、光利用特性を比較した。テリハマボウはコバノアカテツよりも水平的な葉を持ち、また高い光合成能力を持っていた。葉の強光高温耐性を比較するため、強光下で葉片を 37°C、40°C、43°C に 3 時間さらした後、暗下でクロロフィル活性回復の回復を調べた。その結果コバノアカテツの葉はテリハマボウの葉よりも、また低温よりも高温で回復が遅れた。これらの結果から、コバノアカテツはテリハマボウより強光高温に弱い葉を持っているため、葉を立てせ強光をさける形態をもっていると考えられた。すなわち葉の生理的な能力と葉の角度といった樹形とに結びつきがあることがわかった。

Abstract

High light and high temperature can be critical factors affecting carbon gain in shrubs at sunlit ridges in the Bonin Islands in the sub-tropical Pacific Ocean. Two co-occurring sun-adapted dwarf shrubs, *Planchonella obovata* var. *dubia* and *Hibiscus glaber*, with different canopy structures at the ridge site were selected. Net photosynthetic rate and photosystem II (PSII) quantum yield at a given light intensity were lower in *Planchonella*, whose leaf inclination angles tend to be more vertical, than in *Hibiscus* whose leaf inclination angles tend to be more horizontal. Leaf discs were exposed to high light (1900 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD) at 37°C, 40°C, or 43°C for 3 h. The recovery of PSII quantum yield in a following 50-min dark period was slower in *Planchonella* than in *Hibiscus*, indicating that the ability of PSII to tolerate high light and temperature was smaller in *Planchonella* than in *Hibiscus*. These results suggest that there is a linkage between leaf display and leaf photochemical ability within sun-adapted shrub species.

1. 序

亜熱帯島嶼域に生育する植物は、強光や乾燥、高温のような、さまざまなストレスを受けていると考えられる。葉群上部の葉が強光を受けた場合、光阻害と呼ばれる光合成の減少がしばしば起こること知られている。一般に強光と低温によって光阻害が促進されると考えられているが、亜熱帯性の気候帯では強光ばかりでなく高温によって光阻害が促進されることが考えられる。こういった場所に生育する植物が、もしこのような強光や高温ストレスを植物が受けるならば、それを回避するメカニズムがどのように進化してきたかを調べることは重要である。強光や高温ストレスは、葉の細胞内小器官自身が持つ生理的なストレス耐性を高める方法と、葉の角度を大きく作ったり葉の相互被陰を高めたりなどして、形態的に強光が当たらないようにするといった、ストレスを回避する方法などが考えられる。生理的にどのような強光や高温ストレス耐性をもつか、もしくは形態的にストレスをどのように回避する特性を持っているかを調べることは、亜熱帯陸域植物の強光高温環境への適応様式を知る上で重要である。

小笠原は日本で唯一の乾性低木林が広がり、海から侵入した種子からどのような進化を遂げてきたかを調べる上で最適の場所である。小笠原父島の尾根部では、特に夏期において強光や乾燥、高温にさらされ、背丈の低い乾性低木林が発達している。この尾根部にて葉の角度など形態的な特性の異なるテリハマボウとコバノアカテツを材料に選んだ。より水平的な葉を持つテリハマボウの葉は、葉がより立っているコバノアカテツの葉より高い光利用能力を持つことを仮説にたて実験を行った。すなわち、強光や高温に対し生理的に弱い葉を持つコバノアカテツは葉を立てて強光をさける必要があるが、強光や高温強い葉を持つテリハマボウは積極的に光を利用する形態をとっていると考えられる。従ってこの仮説を支持するような結果は、同所的に生育するさまざまな樹形を持った植物の間で、個体全体の光合成を高める為に樹形と生理的な特性との結びつきがあることを示唆する。

2. 研究方法

若い葉の表面に赤い毛を持ち、より垂直的な葉の傾きを持っているコバノアカテツと、無毛でより水平的な葉の傾きを持っているテリハマボウの二種を用いて、その樹形構造の違い、および展開終了後の若い葉と成熟した葉のガス交換特性と光利用特性の違いを調べた。これらの樹種は、小笠原諸島の乾燥した尾根部に共存する樹種である。

葉の光学的特性を調べるため、400-850nm の波長域において、波長別に葉の光吸収率、光反射率、光透過率を、波長別エネルギー計と積分球 (LI-1800、ライカ社製、米国) を用いて測定した。コバノアカテツの若い葉については、表面の赤い毛の光学的な効果を調べるため、セロハンテープによって赤い毛を取り除いた葉についても調べた。

また夏期 (9 月初旬) と冬期 (12 月) に、コバノアカテツにおいては、十分に展開した若い葉、成熟した葉、および十分に展開した若い葉の赤い毛を取り除きさらに細いワイヤーで水平に人工的に固定した、3 種類の葉について、葉のガス交換とクロロフィル蛍光特性の日変化特性を調べた。またテリハマボウでは、十分に展開した若い葉と成熟した葉の 2 種類の葉について、コバノアカテツと同時に、葉のガス交

換とクロロフィル蛍光特性の日変化特性を調べた。葉のガス交換特性はポータブル光合成蒸散測定システム (LI-6400、ライカ社製) を用いて測定し、葉のクロロフィル蛍光特性はポータブルクロロフィル蛍光測定システム (MINI-PAM、ワルツ社製、独国) を用いて、日の出前から日没まで、測定した。夜明け前の暗い時に得られた、最大蛍光値 (F_m) と最小蛍光値 (F_o) から、光合成系 2 (PSII) の最大光利用効率 ($F_v/F_m=(F_m-F_o)/F_m$) を計算した。また日中は、太陽光を actinic light として使用し、最大蛍光値 (F_m') と最小蛍光値 (F_o') を測定し、実際に光が当たっている状態での PSII の光利用効率 ($\Delta F_v/F_m=(F_m'-F_o')/F_m'$) を測定した。また日中、PSII が余分に吸収した光エネルギーを、熱として放出する指標である non-photochemical quenching (NPQ) は、以下のような式によって計算した。

$$NPQ=(F_m-F_m')-1 \quad (1)$$

この NPQ は、生理的に光阻害を防ぐ役割を持つことが知られている¹⁾。日中の PSII の電子伝達速度 (ETR) は、以下のような式によって計算した。

$$ETR = \Delta F_v/F_m \times 0.5 \times A \quad (2)$$

ここで A は、波長別エネルギー計と積分球で測定された、それぞれの葉の 400-750nm の光波長間での光の吸収率である。この ETR の大部分は、光合成および光呼吸に使われた電子の量として考えられる²⁾。

葉の光阻害の受け易さを、葉齢や樹種間で比較するため、樹冠上部の葉の展開終了した若い葉と老齢葉について、葉温 38°C、2 kPa の葉と大気間の飽差で、2000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ PPFD の光強度を 3 時間あて続け、10 分間隔で純光合成速度と気孔コンダクタンスを測定した。その後 1 時間大気温度下で暗処理し 5 分間隔で飽和光を照射し F_v/F_m 比を測定した。

3. 研究結果と考察

テリハハマボウの葉は、コバノアカテツと比べて、上方に偏った葉群構造を持っていた (図 1)。そのためテリハハマボウの葉群内では、光は上方で急激に減少していた。特に直達光の当たる葉群上部では、テリハハマボウの葉の傾斜角は、コバノアカテツと比べて小さく、より水平的な葉を多く持っていた (図 2)。単位葉乾重あたりの葉面積 (SLA) は、コバノアカテツでは葉群内での変化は小さかった。一方テリハハマボウでは、相対照度 5% 以下という、暗い葉群最下層で SLA が大きくなった。これはテリハハマボウで暗い環境下で薄い葉を持ったことによると思われる。

葉の反射率、透過率、吸収率の分光特性は、図 3 に示されている。特にコバノアカテツの若い葉で、表面の赤い毛を取り除くことによって、赤い波長の反射率が 21% から 13% に減少し、赤い波長の吸収率が 77% から 85% に上昇した。従ってこの赤い毛は、光合成に有効な赤い光を 10% 反射させる役目になっていることがわかった。

葉面の光強度が上昇するほど、葉群上部の葉温は上昇した (図 4)。また同じ光強度が当たっている場合でも、冬よりも夏に、テリハハマボウよりコバノアカテツで、葉温は高くなった。樹冠上部に位置した葉の純光合成速度、気孔コンダクタンスは、コバノアカテツでテリハハマボウよりも低かった (図 5)。夏期において比較的強い光 (PPFD > 500 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) が葉面に当たっている時、コバノアカテツの純光合成速度 (mean \pm 1SD) は、若齢葉では 0.4 \pm 1.2 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、成熟葉では 8.0 \pm 2.0 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、テリハハマボウの若齢葉では 10.3 \pm 1.6、成熟葉では 12.4 \pm 2.4 (mean \pm 1SD) であった。またこの時のコバノアカテツの水蒸気気孔コンダクタンス (mean \pm 1SD) は、若齢葉では 0.09 \pm 0.04 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、成熟葉では 0.15 \pm 0.05、テリハハマボウの若齢葉では 0.31 \pm 0.08、成熟葉では 0.21 \pm 0.07 (mean \pm 1SD) であった。このコバノアカテツのより低い気孔コンダクタンスは、図 4 で見られたようなコバノアカテツのより大きな葉温上昇の原因と考えられる。冬期と夏期を比べると、同じ光強度が当たっている場合冬期の方が夏期よりも光合成速度は高くなった (data not shown)。比較的強い光 (PPFD > 500 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) が葉面に当たっている場合、特にコバノアカテツにおいて、葉温が 36°C 以上で、純光合成速度や気孔コンダクタンスが低下した (図 6)。一方、テリハハマボウの純光合成速度は、高温に対して明確な低下は見られなかった。

同じ光強度が葉にあたった際、いずれの樹種とも若齢葉は老齢葉よりも、 $\Delta F_v/F_m'$ 、ETR は低くなった (図 7、8)。このことは、葉が吸収した光エネルギーを光合成に利用する能力が、若齢葉は老齢葉よりも低いことを示す。また、コバノアカテツはテリハハマボウと比べて、弱光域で早く $\Delta F_v/F_m'$ が減少し、ETR の最大レベルも低かった。このことは、葉が吸収した光を光合成に利用する能力が、コバノアカテツはテリハハマボウよりも低いことを示す。これらと同様の傾向は、冬期にも夏期にも見られている。冬期と夏期を比べると、同じ光強度が当たっている場合冬期の方が ETR が高くなっていた。同じ光強度が葉にあたった場合、Non-photochemical quenching (NPQ) は、いずれの樹種とも若齢葉は老齢葉より高かった (図 9)。コバノアカテツはテリハハマボウと比べて、弱光域で早く NPQ が上昇した。このことは、葉の光化学的な能力がより低いコバノアカテツにおいて、光阻害をできるかぎり回避するような生理的能力が高いことを示す。

夏期日中の野外において、葉温 38°C、2 kPa (葉と大気の飽差)、2000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ PPFD の光を 3 時間葉に連続照射することによって、気孔コンダクタンスは、テリハハマボウでは 20-40% 低下したがコバノアカテツでは 70% 低下した (図 10)。コバノアカテツの純光合成速度は、3 時間後、初期値に対し若齢葉で

は 80%、老齡葉では 50% 低下した。一方テリハハマボウの純光合成速度は、ほとんど低下が見られなかった。この 3 時間照射後、暗処理中の Fv/Fm 比の回復過程を図 11 に示した。コバノアカテツ、テリハハマボウの若・老齡葉とも、夜明け前の Fv/Fm 値は 0.7-0.8 の間を示したので、Fv/Fm 値は 1 時間の暗処理では完全に回復できなかった (図 11)。両種とも老齡葉は若齡葉よりも回復が早かった。またテリハハマボウの葉は、コバノアカテツの葉よりも回復が早かった。従って、老齡葉は若齡葉よりも、またテリハハマボウの葉はコバノアカテツの葉よりも、PSII の photochemical な光利用効率が高く、また PSII の活性の回復も早いことがわかった。PSII の強光と高温に対する耐性を両種で比較するため、老齡葉の葉片を実験室内にて、 $1900 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の強光を一定葉温 (葉温 37°C , 40°C , 43°C) で 3 時間照射した後、暗処理中での PSII quantum yield (Fv/Fm) の回復過程を調べた (図 12)。その結果、高温になるほど PSII の回復は遅く、特にテリハハマボウで強光高温に弱い葉を持つことがわかった。

4. まとめ

葉の生理的な光利用能力には、光要求性の異なる樹種間で、差異があることが知られている³⁾。一方この研究では、小笠原諸島の乾性低木に同所する樹種間においてさえ、さまざまな樹形や葉の強光耐性能力に差異があることがわかった。本研究では、葉がより立っていたコバノアカテツと葉がより寝ているテリハハマボウを用い、樹形構造と葉の光阻害の受け易さを比較した。コバノアカテツは、テリハハマボウよりも、光合成に対する光利用の能力が低く、吸収した光エネルギーの多くを熱として再放出していた。従ってアカテツは、葉を立てせたり赤い毛を持つことによって、余分な光エネルギーの吸収を形態的な特性から押さえることによって、光に対する生理的な弱さを克服していることがわかった。一方テリハハマボウは、葉が受けた光を積極的に光合成に利用でき、強光にさらされても生理的なストレスを受けづらいう葉を持っていることがわかった。このような生理的な特性を持つテリハハマボウは、葉を水平に保ち、積極的に光を受けられるような樹形構造を持っていた。すなわち葉群全体としての炭素の稼ぎを多くするため、葉の光ストレスに対する生理的な強弱と、葉の角度を中心とした樹形構造とに結びつきがあることがわかった。またこのような生理的・形態的な光利用特性の違いは、様々な植物の同所的な共存を可能にしている要因の一部と考えられた。

5. 本研究によって得られた成果

海洋性島嶼域は、国土の面積に占める割合は小さいが、多くの固有種を含む。また亜熱帯性の小笠原島嶼域は、日本ではほとんど見られない乾性低木林が発達している。ここでは海から流れ着いた種子から始まって乾燥に適応して種分化してきており、世界でもガラパゴス諸島やハワイ諸島と並び、小笠原島嶼域は種の進化の過程を研究するのに最も適した場所である。この研究では、植物種が形態と生理機能の間に結びつきをもって進化してきた事を明らかにした。またこのような海洋性島嶼域の重要な生態系を理解し保全する為には、生物種の記載のみでは不十分であり、生物の形態や構造と、生物の生理的な機能面との結びつきを明らかにすることによって、島嶼生態系の物理的・生物的な相互関係を理解することが必要であることがわかってきた。すなわち生物多様性の評価を行う際に、種数や個体数の把握といった従来の方法ばかりでなく、生物種を機能グループに分け生態系を機能の面から評価をしていくことが今後重要であることが示唆された。

参考文献

- 1) Demmig-Adams, B. and Adams, III W.W. (1996) Xanthophyll cycle and light stress in nature: uniform response to excess direct sunlight among higher plant species. *Planta*, **198** : 460-470.
- 2) Ishida, A., Toma, T. and Marjenah (1999) Limitation of leaf carbon gain by stomatal and photochemical in the top canopy of *Macaranga conifera*, a tropical pioneer tree. *Tree Physiology*, **19**: 467-473.
- 3) Ishida A., Nakano, T., Matsumoto, Y., Sakoda, M. and Hoc A.L. (1999) Diurnal changes in leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence in tropical tree species with contrasting light requirements. *Ecological Research* **14** : 77-88.

研究発表

- 1) 山村靖夫・藤田和美・須藤眞平・木村和木夫・本間暁・高橋壮直・石田厚・中野隆志・船越眞樹・木村允 (1999) 小笠原におけるギンネム林の更新、保全生態学研究、**4** : 152-166.
- 2) Ishida, A., Toma, T., Nakano T. and Marjenah (1999) Morphological and physiological protections for photoinhibition in the top canopy leaves of tropical and sub-tropical trees. *Proceedings of the PUSREHUT Symposium III: Asian Tropical Forest Management*, pp.274-285.
- 3) Ishida, A., Nakano, T., Uemura, A., Yamashita, N. and Koike, N. (submitted) Light use properties into sun-adapted shrubs with contrasting canopy structures on a subtropical ocean island. *Tree Physiology*.
- 4) Yamashita, N., Ishida, A., Kushima, H. and Tanaka, N. (submitted) Comparative photosynthetic response to simulated canopy gap of an invasive species *Bischofia javanica* and native sub-tropical tree seedlings of

Bonin Islands. *Oecologia*.

- 5) 山下直子・石田厚・田辺裕美・九島宏道・田中信行 (1998) 小笠原 5 樹種の光環境の変化に対する光阻害と馴化特性 日本生態学会第 45 回大会 (京都) 講演要旨集、p. 90.
- 6) 山下直子・石田厚・小池信哉・九島宏道・田中信行・八木橋 勉 (1999) 小笠原 4 樹種の葉の形質に対する光と葉齢との関係 日本生態学会第 46 回大会 (松本) 講演要旨集、p. 129.
- 7) 中野隆志・石田 厚・山下直子・上村章・小池信哉 (1999) 小笠原父島の乾性低木林の主要構成樹種コバノアカテツとテリハハマボウの形態的・生理的な光利用特性 日本植物学会第 63 回大会 (秋田) 講演要旨集、p. 156.
- 8) 中野隆志・山下直子・上村章・小池信哉・石田 厚 (2000) 形態の異なる小笠原父島・乾性低木林構成種コバノアカテツとテリハハマボウの光利用特性 日本生態学会第 47 回大会 (広島) 講演要旨集、p. 125.

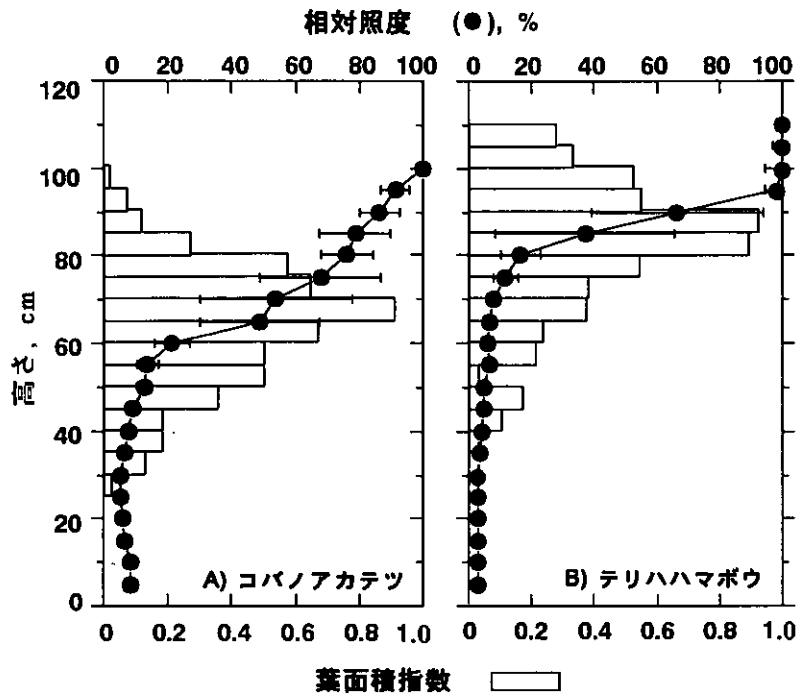


図1 高さ、相対照度および5 cmごとの葉面積指数との関係。A) はコバノアカテツ、B) はテリハハマボウ。横棒は、 $\pm 1SD$ 。

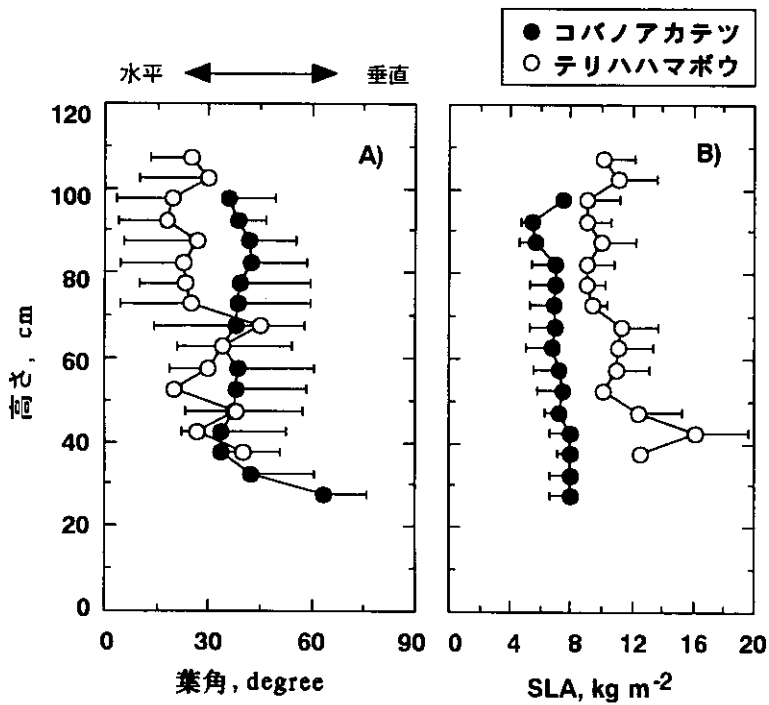


図2 高さ、A) 葉の傾斜角度、および B) 単位葉乾重あたりの葉面積 (SLA) との関係。黒丸はコバノアカテツ、白丸はテリハハマボウ。横棒は、1SD。

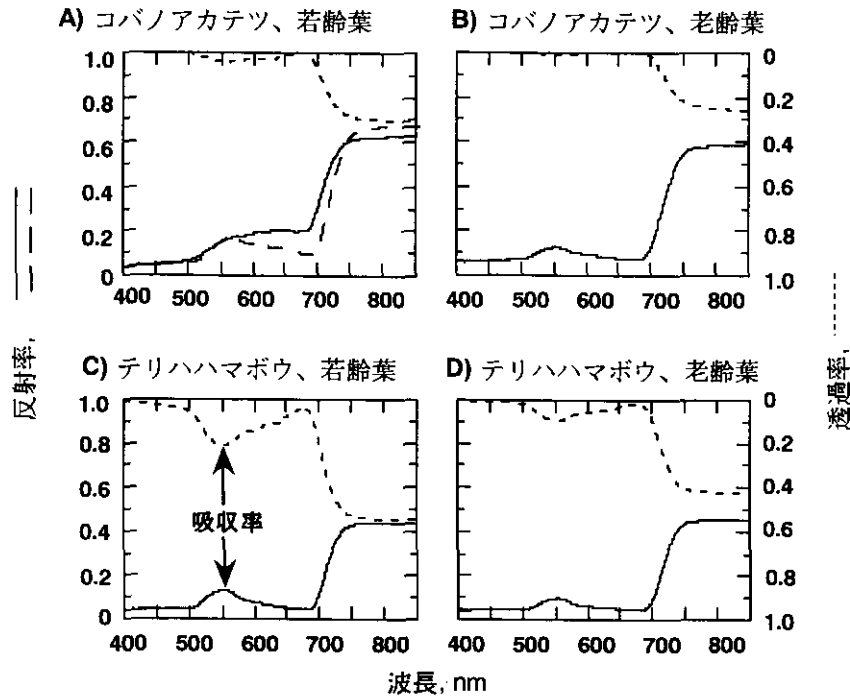


図3 波長ごとの葉の反射率（実線もしくは波線）、透過率（点線）、および吸収率。コバノアカテツの若い葉は、赤い毛をもっていたので、それを取り除いて測定した場合（波線）も示されている。

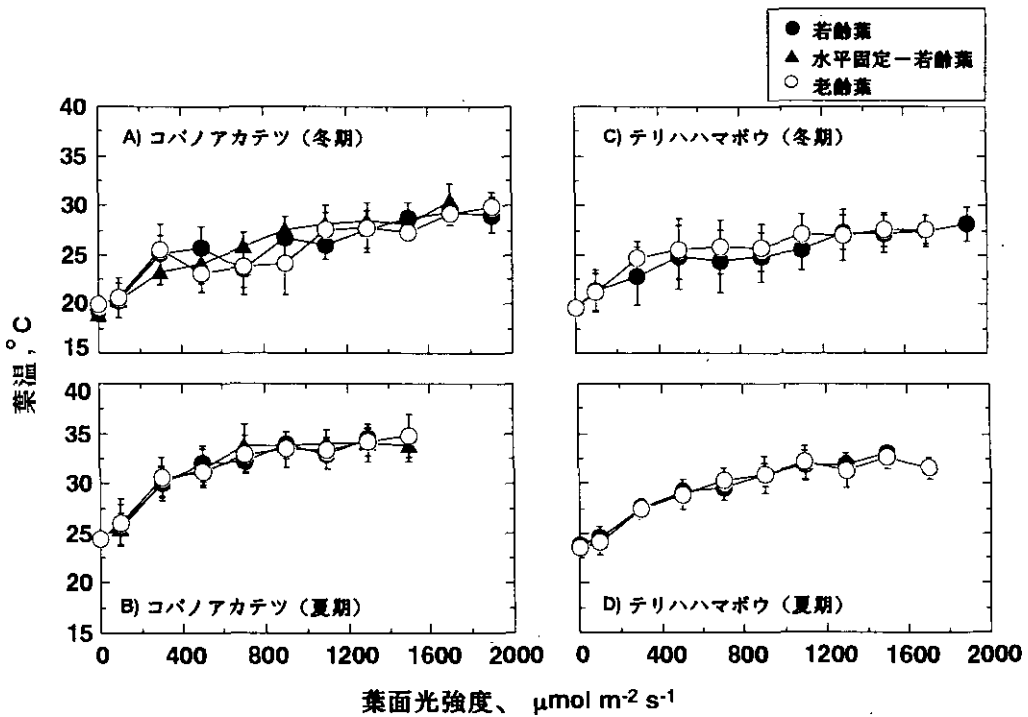


図4 コバノアカテツ (A, C) とテリハマボウ (B, D) の葉面光強度と葉温との関係。コバノアカテツの若い葉では、毛を取り除き水平に固定した葉（三黒角）も示す。縦棒は、 $\pm 1\text{SD}$ 。

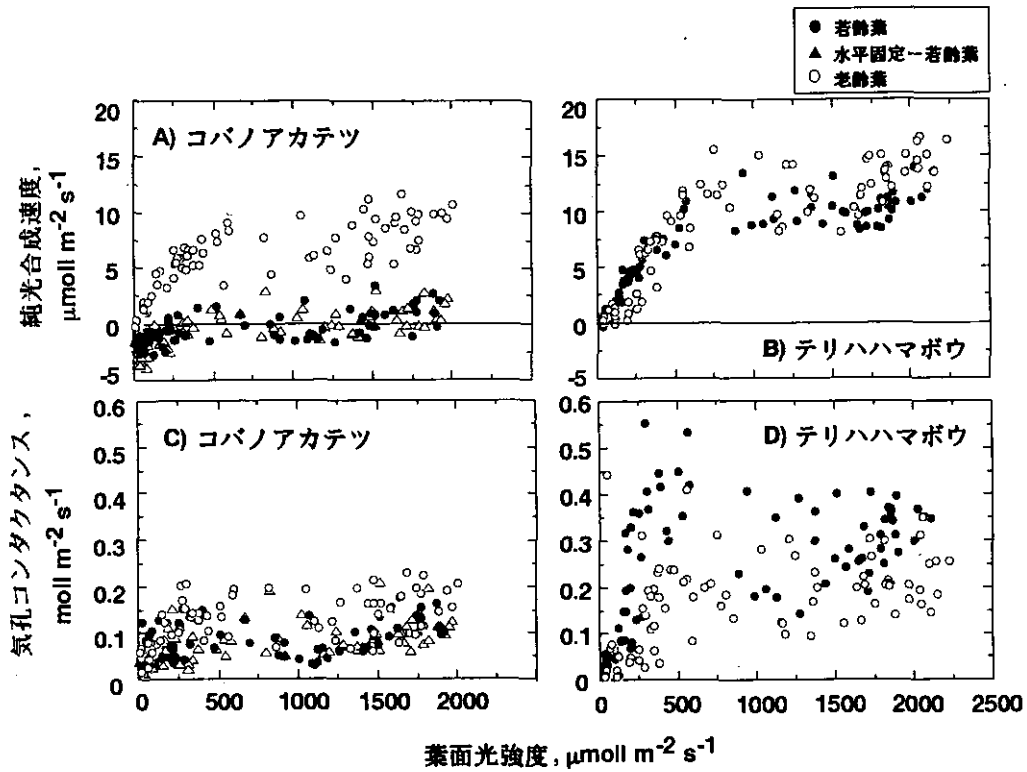


図5 夏期におけるコバノアカテツ (A, C) とテリハハマボウ (B, D) の葉面光強度と純光合成速度 (A, B) および気孔コンダクタンス (C, D) との関係。コバノアカテツの若い葉では、毛を取り除き水平に固定した葉 (三黒角) も示す。

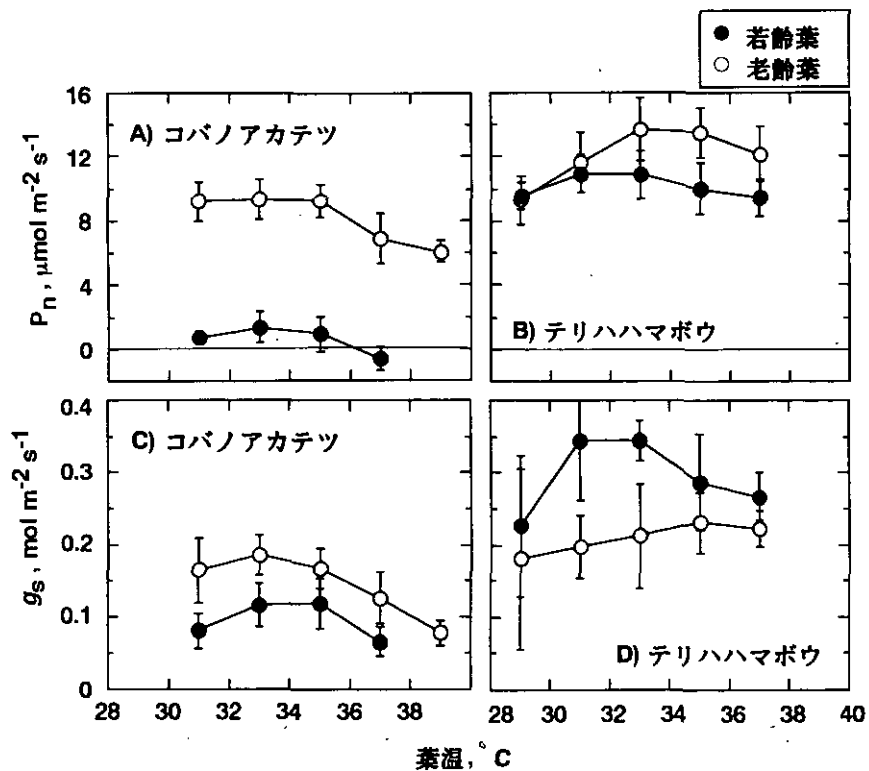


図6 夏期において強光 ($\text{PPFD} > 500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) にさらされている時の、コバノアカテツ (A, C) とテリハハマボウ (B, D) の葉温と純光合成速度 (A, B) および気孔コンダクタンス (C, D) との関係。縦棒は、 $\pm 1SD$ 。

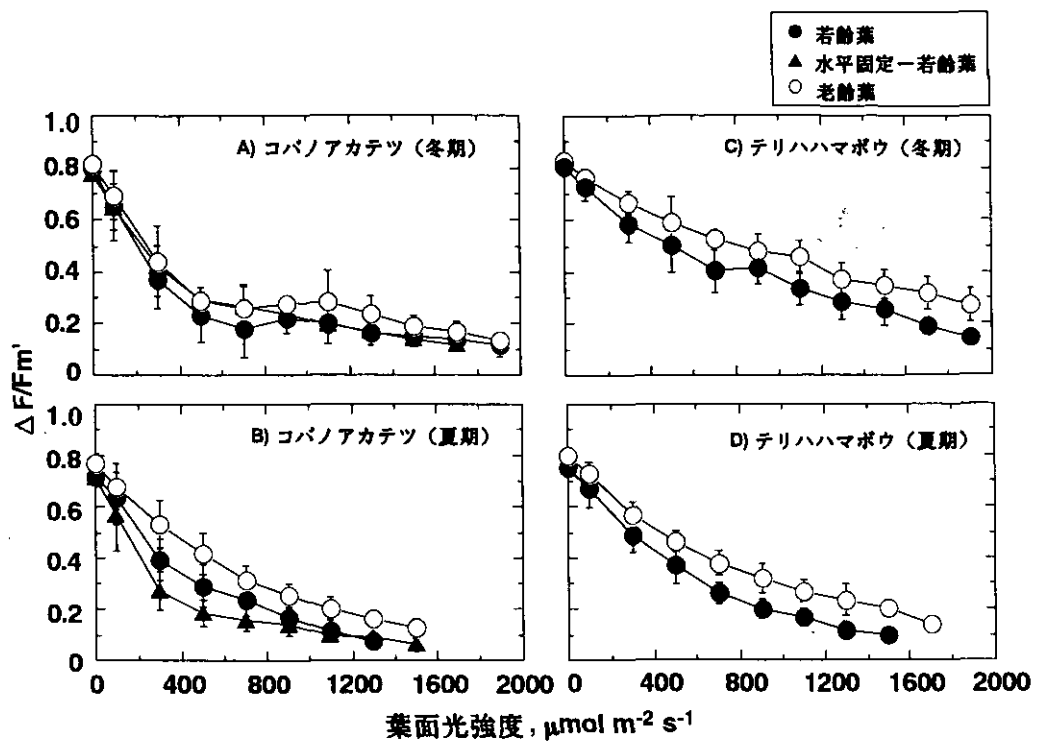


図7 コバノアカテツ (A, C) とテリハマボウ (B, D) の葉面光強度と PSII quantum yield との関係。コバノアカテツの若い葉では、毛を取り除き水平に固定した葉 (三黒角) も示す。縦棒は、 ± 1 SD。

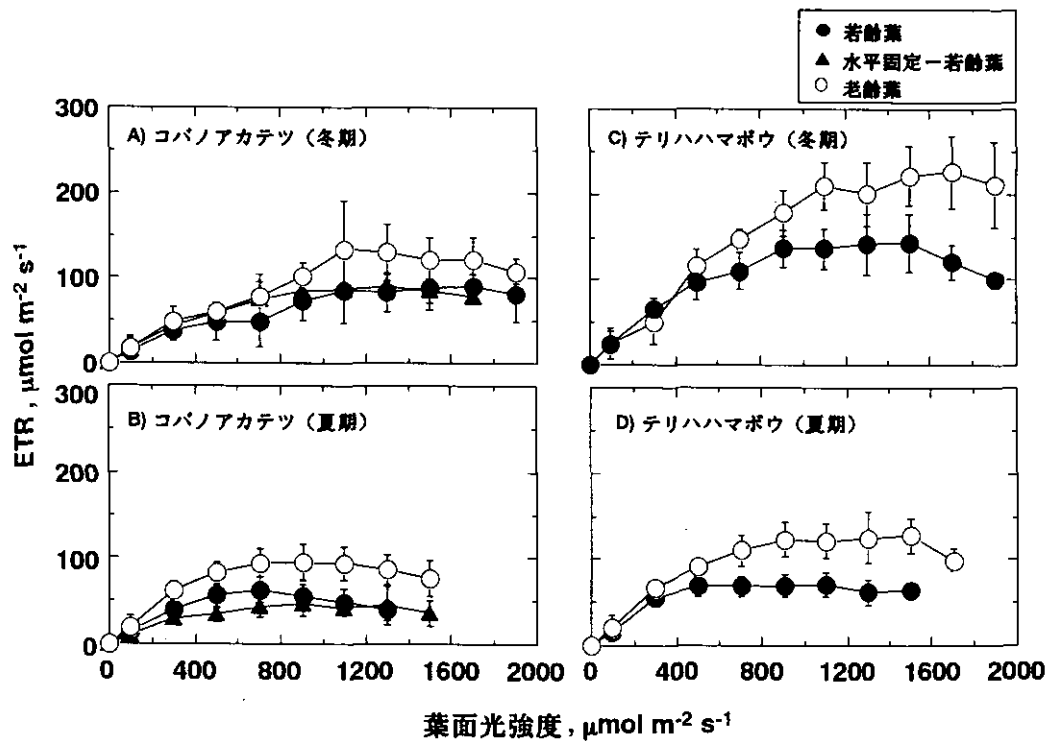


図8 コバノアカテツ (A, C) とテリハマボウ (B, D) の葉面光強度と PSII 電子伝達速度 (ETR) との関係。コバノアカテツの若い葉では、毛を取り除き水平に固定した葉 (三黒角) も示す。縦棒は、 ± 1 SD。

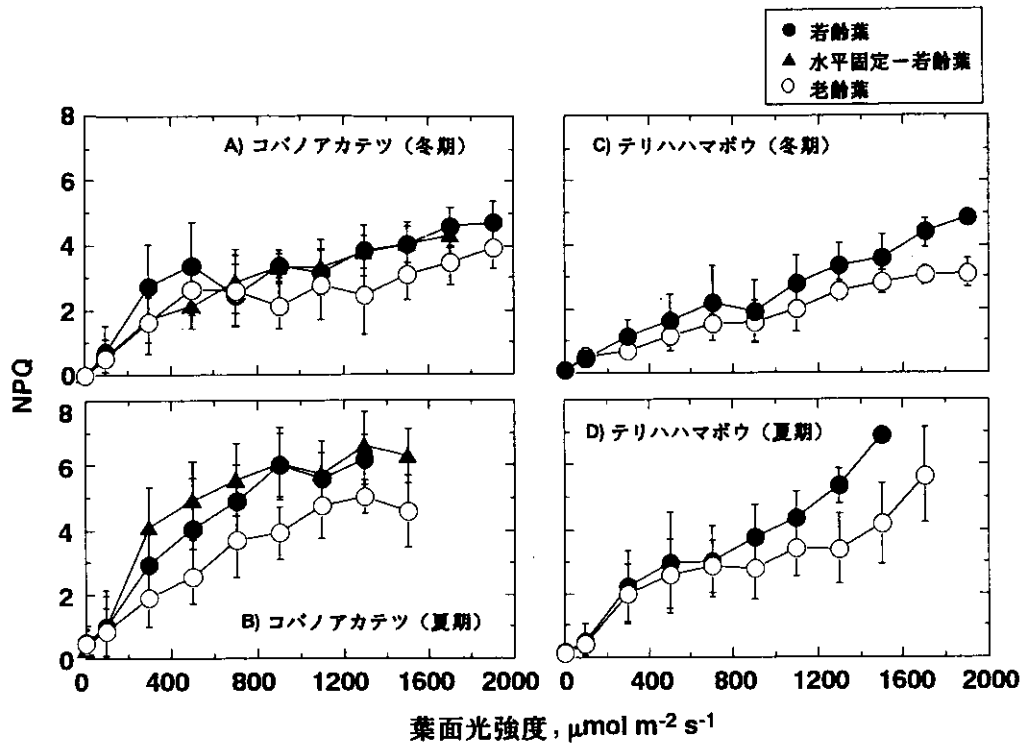


図9 コバノアカテツ(A, C)とテリハマボウ(B, D)の葉面光強度と Non-photochemical quenching (NPQ) との関係。コバノアカテツの若い葉では、毛を取り除き水平に固定した葉 (三黒角) も示す。縦棒は、 $\pm 1\text{SD}$ 。

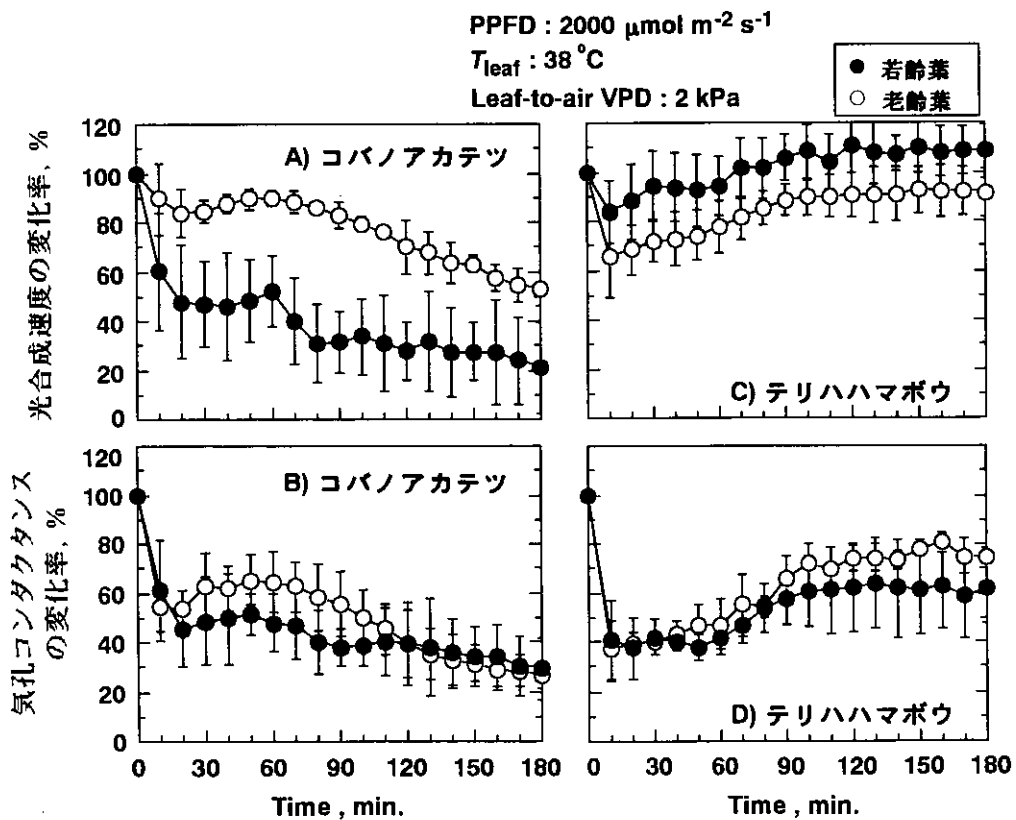


図10 夏期野外において、葉温 38°C 、 $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の強光を3時間当てている最中の、純光合成速度 (A, C) と気孔コンダクタンス (B, D) の変化率。縦棒は、 $\pm 1\text{SD}$ 。

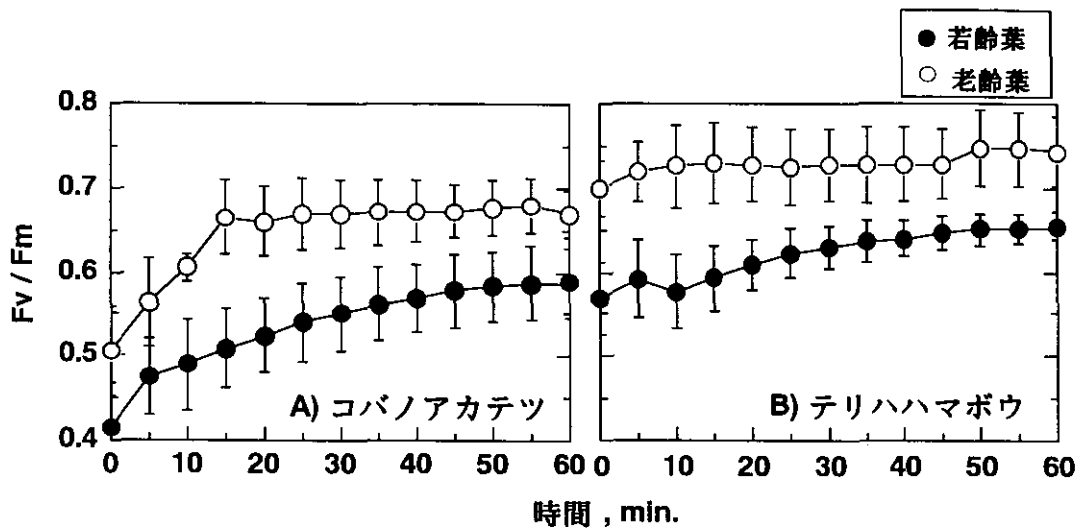


図 11 夏期野外において、葉温 38°C 、 $2000\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$ の強光を 3 時間照射した後、暗処理中での PSII quantum yield (Fv/Fm) の回復過程。縦棒は、 $\pm 1\text{SD}$ 。

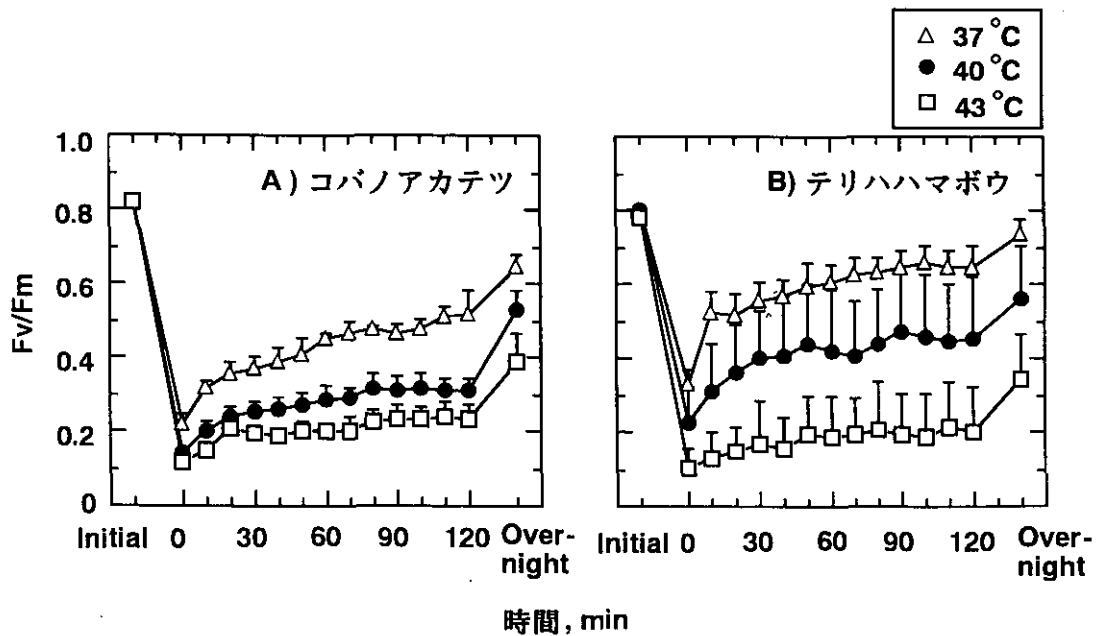


図 12 夏期室内において、葉片に $1900\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$ の強光を一定葉温 (葉温 37°C 、 40°C 、 43°C) 下で 3 時間照射した後、暗処理中での PSII quantum yield (Fv/Fm) の回復過程。縦棒は、1SD。

小笠原諸島固有シロテツ属 (ミカン科) の葉形態と生理的特性

Leaf morphology and physiological characteristics of *Boninia* endemic to the Bonin Islands.

見塩昌子 (岐阜大学流域環境研究センター)

川窪伸光 (岐阜大学農学部)

可知直毅 (東京都立大学理学研究科)

要約

小笠原諸島に固有のシロテツ属について、葉の形態と生理的特性との関係を調べ、シロテツ属における種分化を生理的側面から検討した。シロテツ属内には、葉の大きさと厚さについて著しい変異が認められ、水分生理的特性は葉の形態と密接に関係していた。従って、シロテツ属においては、形態的な分化は生理的特性の分化とともに起こることが推察された。

Abstract

Relationship between leaf morphological and physiological characteristics was examined for *Boninia* endemic to the Bonin Islands. In *Boninia*, remarkable variations in leaf area and leaf thickness were observed, and water relations closely related to leaf morphology. Thus, in *Boninia*, variation in leaf morphology would cause variation in physiological characteristics.

1. 序

小笠原諸島に固有のシロテツ属 *Boninia* には、シロテツ *B. glabra* Planchon とオオバシロテツ *B. grisea* Planchon の2種およびその変種のアツバシロテツ *B. grisea* var. *crassifolia* (Nakai) Yamazaki が認められている¹⁾。これら3分類群は、それぞれ、葉の外部形態や若枝の微毛の有無などから識別されるが、オオバシロテツとアツバシロテツの間ばかりでなく、2種の間型の形態を示す個体もごく普通に観察され、シロテツ属は全体として葉における著しい幅の形態変異を示す¹⁾。

私たちは、諸島内で種分化してきたと考えられるシロテツ属を材料に、同属が内包する葉の著しい形態変異に着目し、葉の外部・内部形態と生理的特性の関係を明らかにすると同時に、同属内の種分化機構の生理的側面からの検討を試みた。

2. 研究方法

1997~1999年の夏期に、父島(長崎岬、夜明山、東平、中央山、時雨山北東部、中山峠北斜面、高山西部)および兄島南東部において、シロテツ属約60個体をマークし、それぞれの個体から、樹冠上部の一枝を採集して葉の形態を調べた。まず、展開の終了している若い葉を選んで、葉身の面積あたりの乾重量を測った。また、一枝中の最大葉の面積は平均の葉面積と正の相関があることがわかったので、葉の大きさの指標として最大葉の面積を測定した。その後、枝を60°Cで乾燥して、さく葉標本を作成し、若枝や葉柄の星状毛の有無や葉の質感を記録した。また、それらの葉をアルコール・酢酸・ホルマリン混液 (FAA) で固定し、実験室で葉の切片標本をつくり、顕微鏡下で葉の厚さを観察した。

マーク個体のうち約40個体について、樹冠上部の枝から展開の終了した若い葉を2~3枚採集し、実験室で葉柄を水につけて葉を膨潤状態にした後、プレッシャーチェンバー (Model 1000, PMS Inc. Co.) を用いて、葉の水ポテンシャルと生重量の関係を調べた。測定が終わった葉は、80°Cで3日間乾燥した後、重量を測った。葉の水ポテンシャルと生重量の関係および乾燥重量の値から、Pressure-Volume 曲線を書き、葉の浸透ポテンシャルを推定した²⁾。

また、47個体について、展開し終わった若い葉2~3枚について、LED光源付きのポロメータ (LI-6400, Licor) を用いて、光飽和時の葉のコンダクタンスと光合成速度を測定した。測定は、10:00~15:00の間に行い、測定終了後、葉の中央付近を切り取り、65°Cで乾燥して、NCアナライザー (NC-800, Shimadzu) で、窒素含量を測定した。

マークした個体の生育光条件を評価するために、曇天時、マーク個体上で光量子密度を測定し、同時に測定した開けた場所の光量子密度の値から、相対光量子密度を計算した。また、各個体について、サイクロメータ (Tru Psi model sc10x, Decagon) を用いて、夜明け直前に葉の水ポテンシャルを測定し、土壌の水ポテンシャルの目安とした。

3. 研究結果

マーク個体には、葉柄に星状毛が密生する典型的なオオバシロテツと、星状毛が全くない典型的なシロテツ、および星状毛がまばらにある2種の間型の個体を含んでいた。また、典型的なオオバシロテツの中には、葉が革質で厚い個体 (変種アツバシロテツ) が含まれていた。

マーク個体の葉の大きさには著しい変異が見られ、典型的なオオバシロテツの一枝中の最大葉面積は40~100 cm²で、典型的なシロテツの最大葉面積 (20~50 cm²) より大きい傾向があった。また、典型的なアツバシロテツの最大葉面積はシロテツと同様だった (図1)。葉面積あたりの乾重量は、オオバシロテツ、シ

シロテツ、アツバシロテツの順に大きい傾向があった(図1)。顕微鏡下の葉の断面の観察から、同じ順で葉は厚くなる傾向があった。

典型的な個体について見ると、3分類群の個体はいずれも、相対光量子密度が10%以下の暗い林床から相対光量子密度が70%以上の明るく開けた地点にまで生育していたが、シロテツでは、調査した個体の多くが相対光量子密度50%以下の地点に生育していたのに対し、オオバシロテツとアツバシロテツでは、50%以上の地点に生育する個体も比較的多数見られた。また、シロテツの夜明け前の水ポテンシャルは-1.0MPaより低いことはなかったが、オオバシロテツでは-1.0~-1.4MPaの個体も多数あった。一方、変種のアツバシロテツでは、夜明け前の水ポテンシャルはシロテツと同様で、ほとんどの個体で-1.0MPa以上だった。それぞれの分類群において、相対光量子密度とともに葉の形態は変化し、明るい地点に生育する個体ほど葉面積は減少した。また、葉面積あたりの乾重量は、相対光量子密度とともに増加する傾向があり、特にその増加は典型的アツバシロテツで顕著だった。

水分生理的特性は、葉の形態にもなって、変化した。すなわち、葉面積あたりの乾重量の増加とともに浸透ポテンシャルは減少する傾向があった(図2)。一方、光合成特性と葉の形態との関係は明瞭ではなく、光合成速度には種間の差異が見られた。すなわち、典型的オオバシロテツとアツバシロテツでは、観察された光合成速度の最大値は、いずれも $10\sim 11\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ だったが、シロテツの光合成速度は、どの相対光量子密度に生育する個体でもオオバシロテツとアツバシロテツに比べて低く、最大でも $8.3\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ に過ぎなかった。シロテツ属の光合成速度は、葉の窒素含量とはよい相関が見られなかったが、葉のコンダクタンスが増加すると、光合成速度は増加し、増加のしかたには分類群間の差異は見られなかった(図3)。しかし、観察された葉のコンダクタンスの最大値を比べると、アツバシロテツとオオバシロテツで、 $0.4\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ に達したのに対し、シロテツでは $0.2\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ に達したに過ぎなかった。

4. 考察

3分類群の個体はそれぞれ少しずつ異なる光と水条件に生育しているように見える。すなわち、シロテツは、やや暗く土壌の乾燥も厳しくない地点に主に生育するが、オオバシロテツは、より明るく土壌が乾燥した地点にも分布する。また、アツバシロテツは、風衝地に適応した変種と考えられており⁴⁾、今回の調査でも兄島で日当たりのよい風衝地に生育する個体について測定を行ったが、それらの個体の夜明け前の水ポテンシャルは-1.0MPa程度だったので、アツバシロテツは、日当たりはよくても土壌は比較的乾燥しない地点に生育するのかもしれない。

一般に、個体内あるいは種内で、明るい条件下の葉は暗い条件下の葉より小さく、また厚くなる²⁾。そのため、明るい条件下の葉は、葉面積あたりの乾重量がより大きくなる傾向がある。本研究のシロテツ属の葉でも、それぞれの分類群で、光条件の変化にもなって、葉のサイズと葉面積あたりの乾重量には同様の変化がおこっているように見える。

浸透ポテンシャルは、葉が乾燥してきた時に、土壌から葉まで水を引き上げる力を生じ、一般に、乾燥した場所の植物種や個体の葉ほど低い傾向がある。しかし、本研究では、小さな葉の個体は、葉の浸透ポテンシャルが低かったにも関わらず、その生育地点の土壌は必ずしも厳しく乾燥していなかった。従って、シロテツ属における浸透ポテンシャルの変化は、乾燥に対する順化の結果ではなく、葉面積の変化に伴う葉の構造的変化に付随して起きているのかもしれない。

一方、光合成特性は、葉の大きさなどの形態的特性と単純に関係せず、むしろ分類群間で差異が明瞭であった。シロテツは、オオバシロテツやアツバシロテツに比べて明らかに低い葉のコンダクタンスを示したので、シロテツの低い光合成速度は、この種の葉のコンダクタンスが低く、光合成部位へのCO₂の供給が遅いためであると考えられる。

5. まとめ

小笠原諸島に固有のシロテツ属において、光合成特性のように分類群間で明瞭な差異のある生理的特性が存在した一方で、浸透ポテンシャルなどの水分生理的特性は、葉の形態的特性とともに変化した。水分生理的特性の差異は、葉の水分不足に対する耐性の差異をもたらす可能性があり、したがって、シロテツ属においては、形態的な変異は、生育できる水分条件の変異をもたらすかもしれない。本研究は、シロテツ属では、形態的分化は生理的分化をともなっておこり、その結果、形態の異なる個体群間で生育地が分かれていく可能性を示唆した。

6. 本研究で得られた成果

本研究は、小笠原諸島内で分化したと考えられる極めて近縁な分類群を用いて、葉の形態と生理的特性の関係を解析した。これまでの近縁でない種群の比較では、生活様式の差異などが存在するために、形態と生理的特性の関係は明瞭に示されてこなかったが、本研究では、それらが明瞭になり、生理的特性の中には、葉の形態とともに変化する特性と、形態と関係しない特性があることが明らかになった。これらの結果は、植物の種分化機構を考える上で重要である。

参考文献

- 1) 川窪伸光 (1994) シロテツ属. 『世界の植物 Vol.3』朝日新聞社、p.184.
- 2) Larcher, W. (1995) *Physiological Plant Ecology*, 3rd Ed. Springer. 506p.
- 3) 丸山 温・森川 靖 (1983) 葉の水分特性の測定 - P-V 曲線法 -. 日本林学会誌、65 : 23-28.
- 4) 山崎 敬 (1989) ミカン科. 佐竹義輔・原 寛・亙理俊次・富成忠夫 (編) 『日本の野生植物 木本』平凡社、p.276.

研究発表

- 1) 見塩昌子・可知直毅・川窪伸光(1997) 父島のオオバシロテツとシロテツ (ミカン科) の生理的特性 小笠原研究年報、21 : 51-55.
- 2) 見塩昌子・川窪伸光・可知直毅 (1998) 小笠原諸島父島のシロテツ属 (ミカン科) における形態と生理的特性の関係. 日本生態学会第45回大会 (京都). 口頭発表
- 3) 見塩昌子・川窪伸光・可知直毅 (1998) シロテツ属 (ミカン科) における葉の形態と水分生理的特性 -父島と兄島の個体について- 小笠原研究年報、22 : 23-27.
- 4) 見塩昌子・川窪伸光・可知直毅 (1999) シロテツ属 (ミカン科) における形態と生理的特性 : 父島と兄島の個体について. 日本生態学会第46回大会 (松本). 口頭発表
- 5) 見塩昌子・川窪伸光・可知直毅 (1999) シロテツ属 (ミカン科) における葉の形態と光合成特性. 小笠原研究年報、23 : 29-34.
- 6) 見塩昌子・川窪伸光・可知直毅 (1999) シロテツ属 (ミカン科) における形態と生理的特性. 「亜熱帯域島嶼の生態系保全手法の開発に関する基礎研究」平成10年度研究成果報告会 (つくば). 口頭発表
- 7) 見塩昌子・川窪伸光・可知直毅 (2000) シロテツ属 (ミカン科) における葉の形態と光合成特性. 日本生態学会第47回大会 (広島). 口頭発表

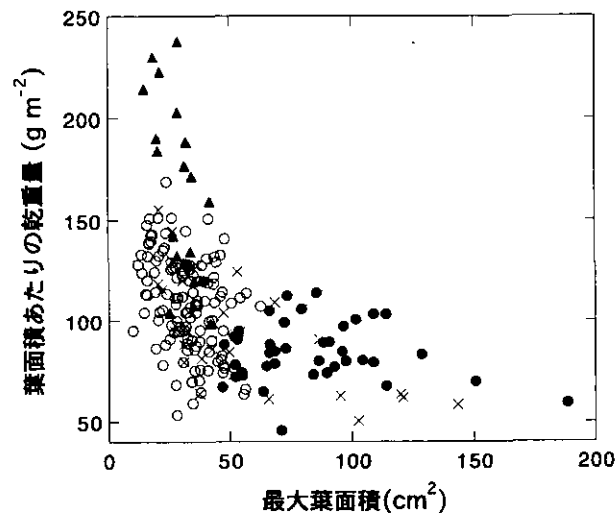


図1 各マーク個体から採集した一枝中で最大の葉の面積と葉面積あたりの乾重量の関係。典型的なシロテツ (○)、オオバシロテツ (●)、アツバシロテツ (▲)、 および中間的な形態の個体 (×)。

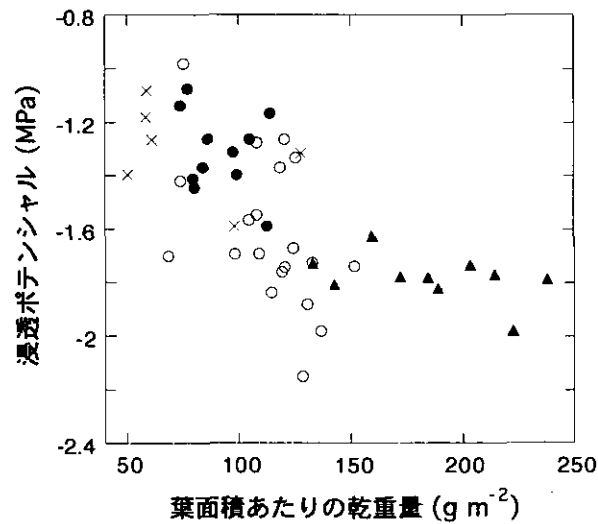


図2 葉面積あたりの乾重量と限界原形質分離時の浸透ポテンシャルの関係。典型的なシロテツ (○)、オオバシロテツ (●)、アツバシロテツ (▲)、 および中間的な形態の個体 (×)。

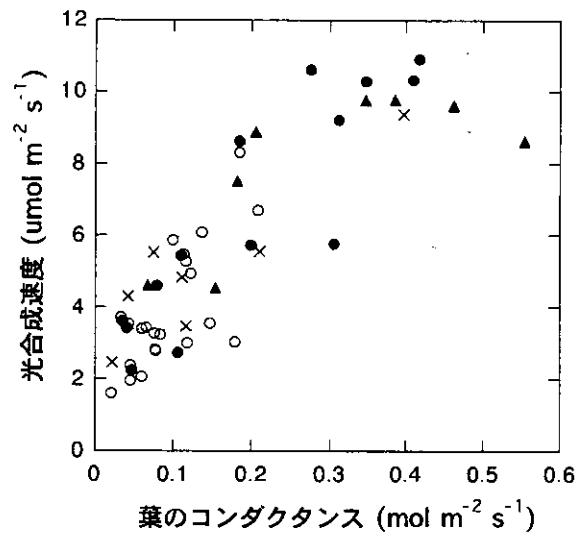


図3 光飽和時の葉のコンダクタンスと光合成速度の関係。典型的なシロテツ(O)、オオバシロテツ(●)、アツバシロテツ(▲)、および中間的な形態の個体(×)。

水循環モデルの島嶼への適用

高藪 出 (気象庁気象研究所)

要旨

比較的小さな流域に適用可能な陸面水文過程モデルの開発と、このモデルを長期に積分できるモデル強制力データを作成することに成功した。植生・土壌パラメータデータについては父島および母島で収集に成功した。これらのパラメータデータ、および、モデル強制力データを利用することで、開発したモデルは9年間の長期にわたって安定して走ることが確認された。このモデルによる小笠原の水循環の再現実験では、気孔抵抗の重要性が示された。また植生の変化実験をこのモデルを使って行うことの可能性が示された。

Abstract

We succeed to develop a land surface model which is applicable to a small scale water basin. We also succeed to prepare the model forcing data for long term integration. We collect the parameter data at Chichi-jima Island and Haha-jima Island. By using these forcing and the parameter data, we succeed to integrate the model for 9 years long. The results show the importance of the stomatal resistance to simulate the hydrological cycle on the island successfully. And we conclude that we can discuss the influence of the vegetation change on the island, by using this model.

1. 序

本研究計画で水循環モデルを適用するフィールドとして選んだのは小笠原諸島である。図1は、父島における過去9年間の気温と降水量の変動を一時間ごとに示したものである(気象庁気象観測原簿)。この図を見て明らかなことは、気温がきれいな正弦波的年変化をしているのに対して、降水量の変動がずっと複雑である点である。小笠原の降水は何によってもたらされているのであろうか? 図2は、例として1993年1年間の変動を示したものである。小笠原に降水をもたらす気象現象は季節に応じて以下のようにまとめられる。まず、冬季は寒気の吹き出しを伴う寒冷前線である。早春になるとこれは、南岸低気圧に伴う寒冷前線の通過による降水に取って代わられる。4月に入ると早くも梅雨前線の下に入り、これは6月位まで続く。その後、夏は亜熱帯高気圧の一つである小笠原高気圧に覆われた短い乾期となる。夏から秋は、熱帯低気圧(台風)の訪問による雨が主流である。この年は4つの台風が雨をもたらしている。この状態は10月いっぱい続いている。小笠原への大気からの水の供給はかなり気まぐれである。特に夏から秋の降水は、小笠原高気圧の強さと、訪れる熱帯低気圧の数で決まっているといえる。この不安定な水環境に、小笠原の植物は様々な適応戦略で対処していることが知られている(Mishio, 1992)⁴⁾。本研究は、大洋上の島(小笠原諸島)で得られた気象データを用いて水循環モデルを動かし、島の上の水循環が植生・土壌パラメータのうち何によってどのように決まっているのかを明らかにすることが目的である。

2. 研究方法

モデルとデータの関係

モデルをエンジンにたとえると、データはガソリンでありオイルである。一般に陸面水文過程モデルの開発と実行には以下の3種類のデータが必要になる(図3参照)。

- ・(a) 強制力データ: 大気側の境界条件で、助走計算用データ(陸面水文過程モデルが大気データになじむために必要)を含む長期のデータ。これがないとモデルを実行する事ができない。時間的に断絶のないデータであることが望ましい。
- ・(b) パラメータデータ: 植生・土壌の状態を記述するパラメータで、土壌空隙率や葉面積指数(LAI)などである。一回計っておけば良いものや、せいぜい季節変化がわかればよいものである。
- ・(c) 検証用データ: モデルの予報変数と診断量に対応するデータで、これは特別強化観測期間を設定して取得されたものでよい。すなわち、時間的に連続している必要は無い。

以上のことから明らかなように、モデル研究にはモデル開発のみならず、これらの観測データセットの整備も重要である。従って研究方法としてはモデルの開発と平行して、データの収集・整備を行ってゆくことになる。

3. 研究結果

(1) モデルの強制力データの作成

ここでは、父島の気象庁の観測点で得られている気象データ（地上気象観測原簿）から、モデル強制力データを作成した。観測データと実行用データの関係は図4に示すとおりである。

手順としては以下のとおりとなる。まず、欠測データの補完を行う。欠測期間が短いときは内挿するが、これが長い場合は前日の同時刻の値を代入する。次に、観測が数時間おきのデータ（父島の場合は雲量データ）について内挿を行う。そして最後に、下向き長波の推定を行う。

下向き長波は水蒸気、雲からの放射の合計で決まる。この推定は近藤・中村・山崎（1991）³¹によった。計算の流れ図を図5に示す。地上で観測された水蒸気量から大気中の水蒸気からの射出を評価し、また、観測された短波放射から雲の影響を評価し、下向き長波の日平均値を推定するものである。

（2）モデルのパラメータデータ

これらは植生・土壌の状態を記述するパラメータで、全部で表1に示すとおりである。大きく分けると、(a)葉や根の形態に依存する「形態学的パラメータ」、(b)気孔の開閉など、植物生理に関する「生理学的パラメータ」それに(c)放射特性や、水の保持に関連した「物理的パラメータ」の3種類からなる。

モデルパラメータデータの収集

パラメータデータ収集のために、1999年3月7日から3月12日にかけて小笠原（父島・母島）での調査を実施した。植生・土壌に関して表2に示すような調査を行った。

葉面積指数（LAI）

図6は、父島の夜明け道路—初寝浦線で行った結果である。島の中心近くでは葉面積指数は3台だが、海岸沿いでは4～6に増加している。時雨山—躑躅山線では、葉面積指数はすべて3台であった。母島の乳房山登山口—乳房山線では、葉面積指数は父島より大きく、全域で4～6位であった。

土壌空隙率

現地5カ所で得た地表面土壌9サンプルを炉乾後、3相計で土壌空隙率を測定した（表3参照）。どの地点もおおよそ60～70%であった。

以上の調査から、小笠原のパラメータとして表4に示す値を得た。従来大循環モデルで用意されている「常緑広葉樹」のパラメータ値と比較して示す。

（3）陸面水文過程モデルの開発

ここでは、比較的小さな流域からの流出も表現できる陸面水文過程モデルとして、

植生 + 土壌2層 + タンク

のモデルを作成した。モデルの概形を図7に示す。土壌をあからさまに考える場合、水の移動にはダルシー則が適用される。ダルシー則は拡散型の方程式である。タンクモデルは拡散してゆく外部の土壌の容量を無限大にした形になっている。さらに、水分拡散係数は水分量に強く依存しているため、これを一定値に固定した影響も加わる。2次元モデルの場合、島の陸地に1次元モデルを埋め込み、タンクからの流出をためるもう一つのタンクを設置してダム水量と合わせられるようにしてある。

地上からの蒸発散は、図9に示すように以下の3つから計算されている。

蒸発散 = 気孔からの蒸散 + 遮断蒸発 + 地表面からの直接蒸発

気孔抵抗の評価

モデルの中で蒸散量は下式で計算される。

蒸散量 = (気孔内外の水蒸気圧差) / (気孔抵抗)

この中で、「気孔抵抗」は、気孔の開閉スイッチであり、下式で表現される (Jarvis, 1975, 1976) ^{13,2)}。

気孔抵抗 = f_1 (PAR 光量) × f_2 (葉水ポテンシャル) × f_3 (葉温) × f_4 (大気の水蒸気量)

小笠原の環境で1番効いているのは f_2 および f_4 であろう。

(4) モデルシミュレーションの結果

モデルは1990年1月1日～1998年12月31日までの9年間のデータを用いて動かした。初期土壌水分量が不明だったため1度5年間動かしたモデルの最終値を初期値として9年間積分を実行した。初期値の違いは約2年でなじんでいる。植生・土壌パラメータは従来からある「常緑広葉樹」のもので、うちいくつかを小笠原データと交換したものを用了。

図9は、9年間の雨量(観測値)、蒸発散量、流出量(以上モデル予報値)の積算値を示したものである。このモデルでは、雨量の変動には流出量の方が敏感に反応していることがわかる。9年間の総計で、降水量10780mmに対し蒸発散量5950mm、流出量4820mmである。

図10は、月ごとの降水量を蒸発散量と並べて示したものである。これを見ると蒸発散量も降水の変動にある程度反応していることがわかる。モデルの紹介のところでも述べたように、蒸発散は蒸散、遮断蒸発、直接蒸発の3項からなる。これら3つの項をそれぞれ表示すると図11となる。これから明らかなことは、降水に対する反応はほぼ蒸散項によっていることである。図12は、モデル土壌水文の変動パターンである。これと前述の蒸散項の変動パターンは良い一致を見せており、これは、気孔の開閉スイッチのうち f_2 (葉水ポテンシャル) の項が効いていることを示唆している。即ち、降水により土壌が湿るときに気孔が開いている。

ただし、これで大気側に戻せる水の量は限りがあるので、このモデルの場合、台風のような突然の大雨の時、水は島から流出してしまうことになる。

4. 考察

このモデルを用いると、植生の変化に対する水循環のレスポンスを調べることが出来る。植生をすべて草原に置き換えたモデルを時間積分した結果を、父島植生の実験結果と比較すると、図13に示されるように流出量が増加し、その量は降水量が多い年ほど大きくなる傾向にあることがわかる。これは、森林植生について一般に祝えていること(谷, 1989) ⁷⁾ と定性的に一致している。また、本研究計画に伴い来日された韓国延世大学の金俊教授の協力を得て、大気大循環モデルに組み込まれている最新の陸面過程モデルの一つである SiB2 モデル ^{5) 6)} との比較実験を行うことが出来た。エネルギー収支の比較は図14にあるとおりで、今回作成したモデルが長時間積分にも関わらず、正しく、安定に動いていることが確認された。

5. まとめ

既存のデータを利用することで、長期のモデル強制力データを作成することに成功した。モデルとしてはいわゆるビッグリーフモデルにタンクモデルを結合し、比較的小さな流域での水の振る舞いを表現できるモデルを作成した。植生・土壌パラメータデータについては父島および母島で収集に成功した。土壌空隙率については両島ともほぼ同じであったが、葉面積指数については父島の山間部は母島に比べ明らかに小さい値であった。これらのパラメータデータ、および、モデル強制力データを利用することで、開発したモデルは9年間の長期にわたって安定して走ることが確認された。このモデルでは未だ植生の多様性が勘案されていないが、このモデルによる小笠原の水循環の再現実験では、気孔抵抗の重要性が示唆された。植生を草原にしたところ、水循環のレスポンスは従来の研究成果と定性的に一致していた。

謝辞

本研究のモデルの開発並びに強制力データの整備に当たっては、気象庁観測部気象衛星室の佐藤信夫室長、気象庁大阪管区気象台予報部現業班(当時)の石田純一氏、並びに、気象研究所環境・応用気象研究部の清野直子主任研究官のお世話になった。また、小笠原での土壌サンプリングの許可申請に当たっては、環境庁自然保護局南関東地区国立公園・野生生物事務所、東京都小笠原支庁土木課、並びに、小笠原総合事務所国有林課の各関係者の皆様のお世話になった。さらに、気象庁父島気象観測所の皆様には、小笠原の気象データの取得状況、データの癖などについて現地で教えていただいた。また、小笠原の植生については岐阜大学の見塩昌子博士に論文を送っていただいた。最後に、パラメータデータの取得に当たっては、

葉面積指数計について韓国延世大学の金俊教授、農業環境技術研究所気象管理科の原菌芳信博士、並びに気象研究所の馬淵和雄博士のお世話に、また、土壌データに関しては国立環境研究所生物・生態機構研究室室長の野原精一博士、気象研究所環境・応用気象研究部の三上正男主任研究官並びにFeng博士のお世話になった。また、大気大循環に組み込まれている陸面過程モデルとの比較実験に当たっては、韓国延世大学の金俊教授並びにGao博士のお世話になった。この場を借りて深く感謝する。

6. 本研究により得られた成果

今回、比較的小さな流域に適用可能な陸面水文過程モデルの開発に成功した。また、陸面水文過程モデルを長期に積分できるモデル強制力データを作成することにも成功した。植生・土壌パラメータデータについては父島および母島で収集に成功し、両島の地表面土壌空隙率と葉面積指数について調べることが出来た。これらのパラメータデータ、および、モデル強制力データを利用することで、開発したモデルは9年間の長期にわたって安定して走ることが確認された。このモデルによる小笠原の水循環の再現実験では、気孔抵抗の重要性が示めされた。また植生を草原にしたところ、水循環のレスポンスは従来の研究成果と定性的に一致していることが明らかになり、植生の変化実験をこのモデルを使って行うことの可能性が示された。

参考文献

- 1) Jarvis, P. G., (1975) Water transfer in plants. In *Heat and Mass Transfer in the Biosphere 1. Transfer Processes in Plant Environment*, Ed. D. A. de Vries and N. H. Afgan, pp.369-394. Scripta book Co., Washington D. C.
- 2) Jarvis, P. G., (1976) The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. *Philos. Trans. Royal Society London, Ser. B.*, **273**: 593-610.
- 3) 近藤純正、中村亘、山崎剛、(1991)日射量および下向き大気放射量の推定、*天気*、**38**: 57-63.
- 4) Mishio, M., (1992) Adaptations to drought in five woody species co-occurring on shallow-soil ridges. *Aust. Journal of Plant Physiol.*, 1992, **19**: 539-553.
- 5) Sellers, P. J., Y. Mintz, Y. C. Sud and A. Dalcher, (1986): A simple biosphere model (SiB) for use within general circulation models. *Journal of Atmospheric Sciences*, **43**: 505-531.
- 6) Sellers, P. J., D. A. Randall, G. J. Collatz, J. A. Berry, C. B. Field, D. A. Dazlich, C. Zhang, C. D. Collelo and L. Bounoua, (1996) A revised land surface parameterization (SiB2) for Atmospheric GCMs. Part I: Model formulation. *Journal of Climate*, **9**: 676-705.
- 7) 谷誠、1989：林地の水収支。気象研究ノート167号、水循環と水収支、pp.137-158.

研究発表

- 1) Takayabu, I., (1998) What kind of data do we need to drive the SVATS models and to verify its results? GAME/Siberia ワークショップ (名古屋大学水圏科学研究所、1998年3月)
- 2) 高藪出、(1998) 陸面過程モデルと流出モデルの結合について。日本気象学会 1998 年秋季大会予稿集、A103 (仙台、1998年10月)
- 3) 高藪出、(1999) SiBにおける陸面過程のパラメタリゼーション-群落レベルで求められるデータ。平成10年度気象環境研究会 (農業環境技術研究所、1999年3月)、pp.1-21.
- 4) 高藪出、(1999) モデルによる小笠原 (父島) の水文環境の再現の試み。日本気象学会 1999 年秋季大会予稿集、B209 (福岡、1999年11月)
- 5) 高藪出、(2000) 水循環モデルの島嶼への適用。平成11年度環境保全研究発表会。「亜熱帯島嶼の生態系保全手法の開発に関する基礎研究」(環境庁、平成12年2月)

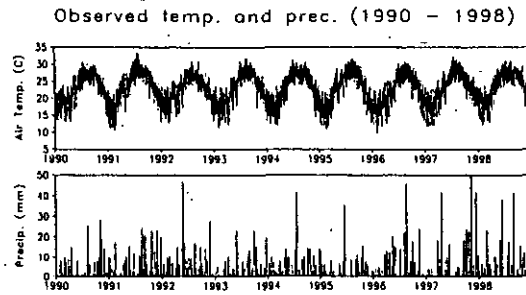


図1 小笠原父島の気温（上側、絶対温度）と降水量（下側、mm/時間）の1990年1月1日～1998年12月31日までの時系列図。気象庁観測原簿から作成。1時間ごとの値。

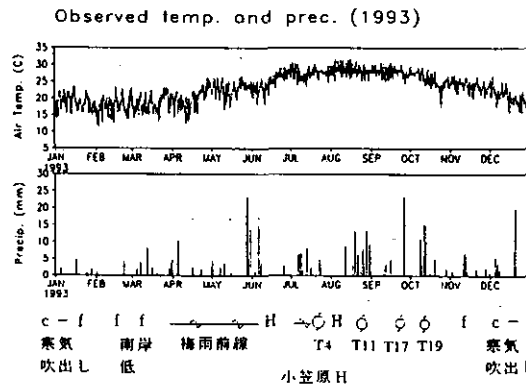


図2 図1に同じ。ただし、1993年1年間のみ。図の下の説明は、降水の原因を天気図で探ったもの。

モデルとデータ
の関係

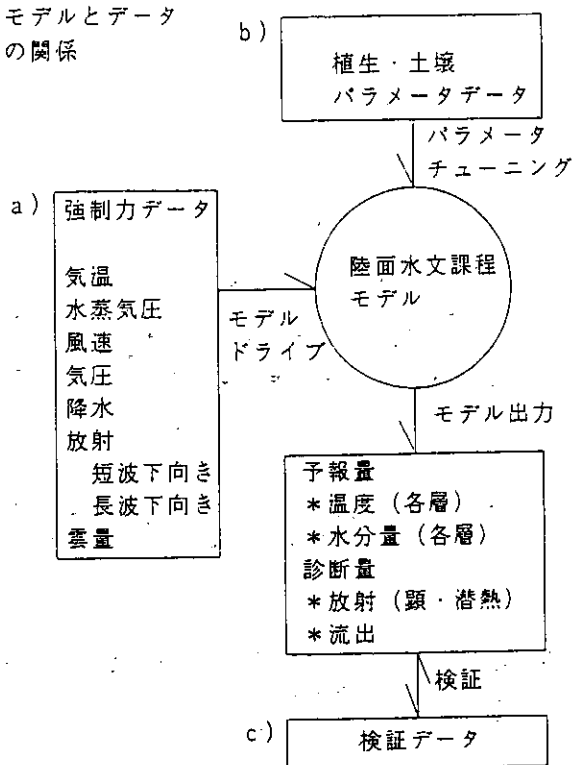


図3 陸面水文過程モデルとデータの関係の模式図。

強制力データ作成の流れ図

観測データ 計算データ モデル実行用データ

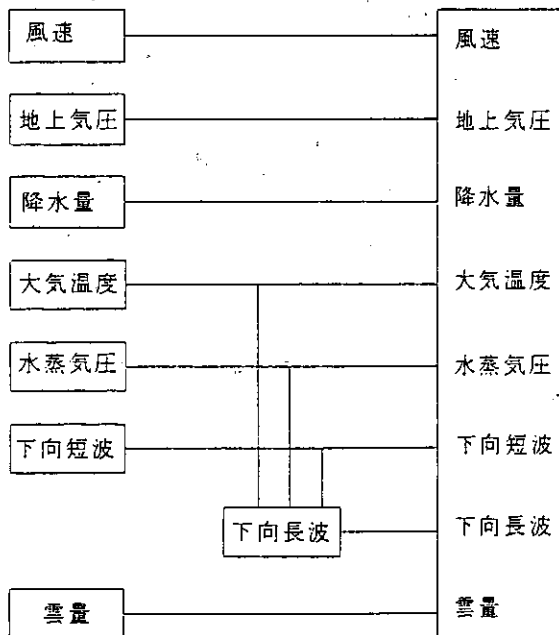


図4 観測データとモデル実行データの関係。

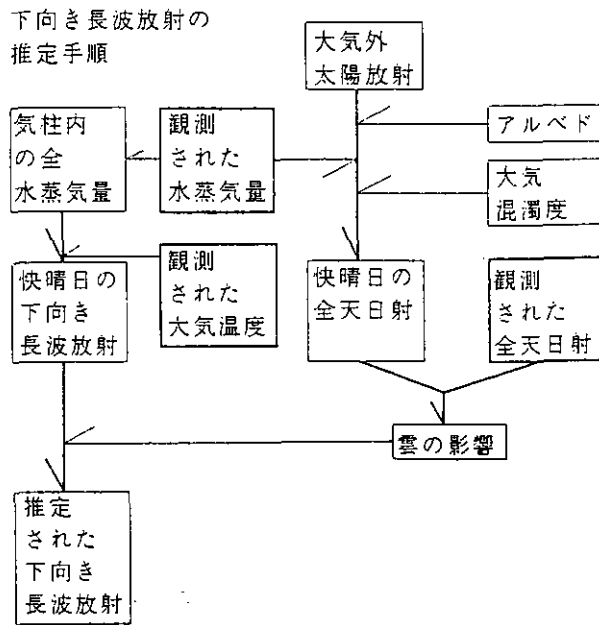


図5 下向き長波放射の近藤・中村・山崎（1991）による推定手順。

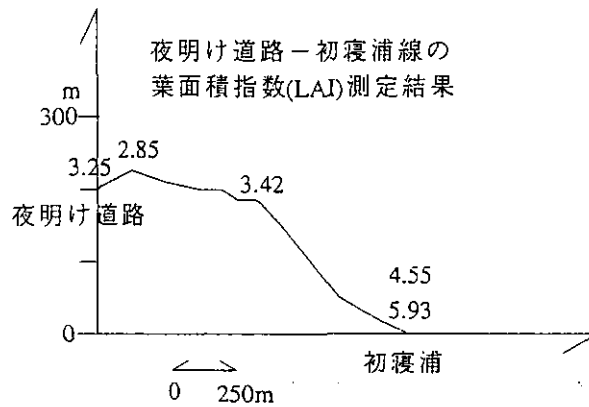
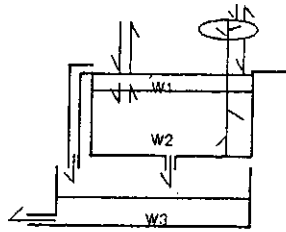
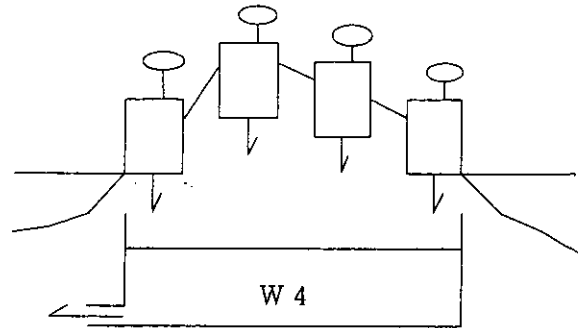


図6 夜明け道路—初寝浦線での葉面積指数測定結果。



1次元 陸面水文課程モデル



2次元 陸面水文課程モデル

図7 タンクを合体させた陸面水文過程モデルの概形。

モデルの蒸発散部分の説明図

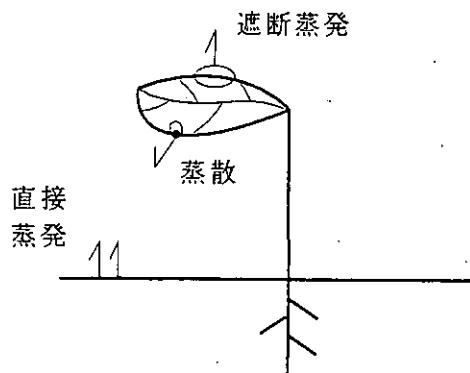


図8 モデルで計算される、地上からの蒸発散の3項の模式図。

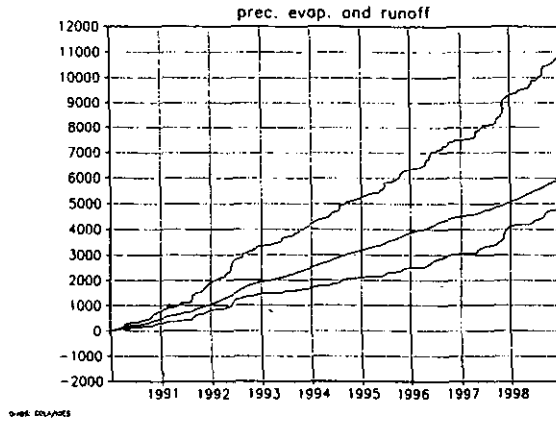


図9 1990年～1998年までの9年間のモデルシュミレーション結果。多い順に雨量（観測値）、蒸発散量、流出量、（以上モデル予報値）の積算値（mm）をプロットしたもの。

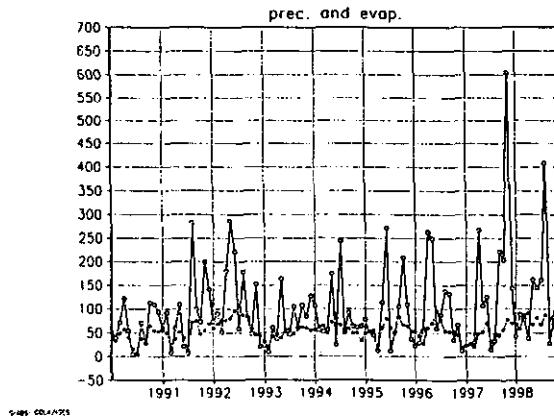


図10 1990年～1998年までの9年間のモデル予報値の月ごとの値をプロットしたもの。降水量（○）と蒸散量（●）が（mm）で表示されている。

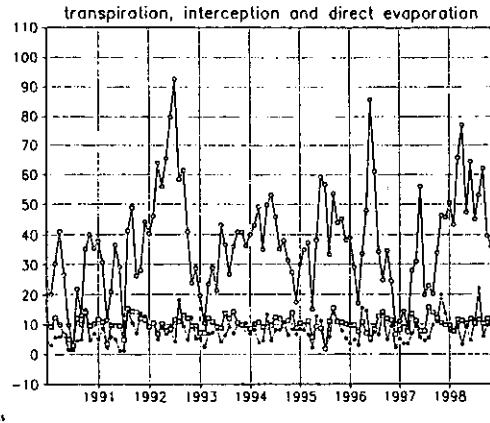


図 1 1 図 1 0 に同じ。ただし、蒸発散の各項、蒸散量 (○)、遮断蒸発量 (●) それに地表面からの直接蒸発量 (□) が mm で表示されている。

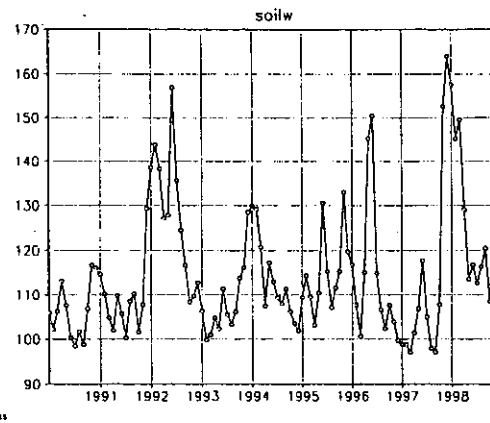


図 1 2 図 1 0 に同じ。ただし、モデル土壌水分量が mm で表示されている。

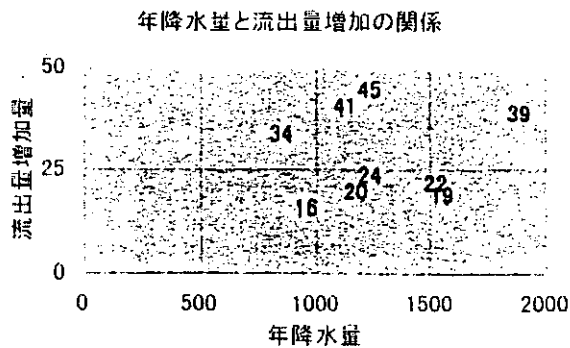


図 1 3 地表面植生を草原に変更したときの流出量の増加量を年降水量に対して記したものの。

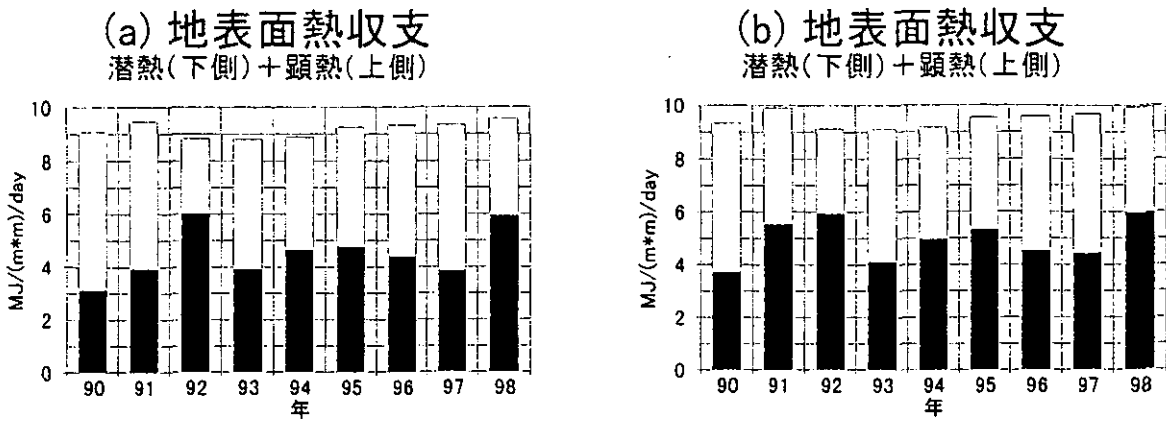


図 14 (a)本研究計画で開発したモデルと、(b)最新の大気大循環モデルに組み込まれている陸面水文過程モデルにおける地表面熱収支の比較。顕熱(H)と潜熱(IE)。

表 1 陸面水文過程モデルのパラメータデータ

a.形態学的パラメータ
<ul style="list-style-type: none"> ・ 葉 キャノピーに覆われている割合 葉の方位分布 キャノピー高度 葉面積指数(LAI) ・ 根 深さ 密度
b.生理的パラメータ
<ul style="list-style-type: none"> ・ 葉緑の割合 ・ 気孔抵抗計算のための種々のパラメータ ・ 導管、根による抵抗
c.物理的パラメータ
<ul style="list-style-type: none"> ・ 葉の反射率、透過率 ・ 土壌の反射率 ・ キャノピーの熱的パラメータ ・ 土壌水、タンクのパラメータ

表2 小笠原（父島・母島）で収集したモデルパラメータデータ

	項目	手法
植生：	分布 葉面積指数	写真 LAI-2000
土壌：	空隙率、水分 土壌水分	100ml コアサンプリング 三相計 TDR 計

表3 土壌空隙率測定結果

	サンプル 番号	空隙率	備考
父島			
1	K 8	63.07	気象庁小笠原気象台の露場（客土）
2	K 17	58.11	初寝浦
3	K 56	初寝浦
4	K 33	72.25	時雨山東麓
5	K 52	69.915	時雨山東麓
6	K 18	58.835	獅子山西麓
7	K 30	64.35	獅子山西麓
母島			
10	K 32	67.50	乳房山山頂
11	K 58	73.05	乳房山山頂

表4 小笠原のパラメータデータ

項目	常緑広葉樹 (大循環モデル)	小笠原データ (収集値)	備考
葉面積指数	5.01	3.75	父島の山麓5地点
キャンピー高度	35.0m	8.0m	文献値
土壌空隙率	0.4577	0.6634	父島の山麓の2地点

小笠原固有種モンテンボクの由来と分化

Origin and diversification of *Hibiscus glaber* in the Ogasawara Islands

加藤英寿・中村朗子（東京都立大学理学研究科牧野標本館）

要旨

小笠原諸島には固有種のモンテンボクと広域分布種のオオハマボウが生育する。モンテンボクが小笠原諸島に生育するオオハマボウと共通の祖先から分化してきたか、あるいはそれ以外の系統から分化してきたかを検証するために、葉緑体 DNA の遺伝子間領域の塩基配列データをもとに、モンテンボクとその近縁種集団の系譜的關係を推定した。その結果、小笠原諸島のオオハマボウは沖縄島のオオハマボウと同一の配列を持っていたのに対し、モンテンボクは奄美大島のオオハマボウと変異を共有していた。また、モンテンボクの葉緑体 DNA に諸島内の集団間で数多くの変異が認められた。このことから小笠原に最初に定着した系統からモンテンボクが異所的に分化し、その後比較的新しい時代にオオハマボウが小笠原にやってきて定着した可能性が高いことが示唆された。

Abstract

There are two species of *Hibiscus* in the Ogasawara Islands, *H. glaber* Matsumura is endemic to this islands and *H. tiliaceus* L. is widely distributed in the Pacific coast. In order to verify whether or not *H. glaber* originated from common ancestor with *H. tiliaceus* in the Ogasawara Islands, the phylogeographic analysis using chloroplast DNA (cpDNA) sequences was performed. *H. tiliaceus* in the Ogasawara Islands and the Okinawa Island were same haplotype of cpDNA, while *H. tiliaceus* in Amami Island and *H. glaber* formed a clade. Highly cpDNA variations exist in *H. glaber*. The results suggest that both of two *Hibiscus* species may originate from different ancestors in the Ogasawara Islands.

1. 序

大陸から遠く離れ、過去に大陸と一度もつながったことのない大洋島は、その島において分化が進行したと考えられる固有種が多く見られる。小笠原諸島は典型的な大洋島であり、約 150 種の固有植物が報告され、自生する植物種の約 40% を占める³⁾。島嶼においては、集団が地理的に隔離され、しかも集団サイズが小さく遺伝的浮動による突然変異が固定しやすいことなどが、種分化の主要な要因として考えられる。モンテンボク（テリハマボウ）*Hibiscus glaber* Matsumura は小笠原固有種であり、小笠原諸島の乾性低木林を構成する主要な樹種である。これに対して小笠原諸島の海岸や河口部に生育する近似種のオオハマボウ *H. tiliaceus* L. は、太平洋西部の亜熱帯・熱帯海岸域に広く分布する。両種は葉のサイズや裏面の星状毛の有無によって識別され、生育環境も異なるが、形態的に区別の難しい中間型も見られる。また本州、四国、九州の太平洋岸から奄美大島にかけては別の近似種ハマボウ *H. hamabo* Sieb. et Zucc. が分布している。これらの種は、分裂しない葉と黄色い花をつけることで分類学的にフヨウ属 *Azanza* 節に含められ²⁾、系統的にも近縁であると考えられる。*Azanza* 節植物は東南アジアに多くの種があり、日本列島は分布の北限であると考えられる。

島嶼における植物の種分化機構を研究する上で、固有種と広域分布種が同所的・側所的に生育することは興味深い現象である。種を繁殖集団とする生物学的種概念に従えば、種分化は集団間で生殖的に隔離される過程が重要な要因となる。現在、モンテンボクとオオハマボウは山地と海岸に棲み分けているが、海岸近くの斜面などに隣り合って生育することもしばしば見られる。つまり地理的な位置関係に基づけば、同所的もしくは側所的に種分化してきた可能性がある。しかし、小笠原諸島に生育するモンテンボクとオオハマボウが一つの共通祖先から由来したという証拠はない。そこで本研究では、モンテンボクが小笠原諸島に生育するオオハマボウと共通の祖先から分化してきたか、あるいはそれぞれ別の祖先から分化してきたかを検証するために、葉緑体 DNA の遺伝子間領域の塩基配列データをもとに、モンテンボクとその近縁種集団の系譜的關係を推定した。

2. 研究方法

1998 年から 1999 年にかけて、*Azanza* 節の植物を国内外から収集し、分子系統学的解析に用いた。材料は、DNA 抽出用の葉を冷蔵もしくはシリカゲルで乾燥して保存し、同時に証拠としてのさく葉標本を作成した。証拠標本は東京都立大学牧野標本館（MAK）に収蔵されている。

葉緑体 DNA の 2 つの遺伝子間領域 (*atpB-rbcL*, *5'trk-matK*) を、PCR により増幅し、ダイレクトシーケンシング法により塩基配列を決定した。塩基配列データは手作業でアライメントを行った。系統解析は PAUP*4.0b3a⁴⁾ を用いて、ギャップと塩基置換を等価の重みづけで最節約法により解析した。各分岐の信頼性を評価するために、ブーツストラップ法¹⁾によりデータ再抽出を 1000 回行った。

3. 研究結果

今回採集された 21 個体のフヨウ属植物について、葉緑体 DNA の 2 つの遺伝子間領域の塩基配列 (計 2040

~2077塩基対)を決定したところ、11のハプロタイプが検出された。日本列島におけるハプロタイプの分布を図1に示した。ハマボウは渥美半島・鹿児島・奄美大島の3個体とも同じ配列を示した。小笠原諸島のオオハマボウは沖縄の個体と配列が全く同じであったが、奄美大島のオオハマボウとの間に *atpB-rbcL* 領域において1箇所17塩基のギャップが認められた。モンテンボクは小笠原諸島内で5つのハプロタイプが検出された。

最節約法による系統解析を行うにあたり、*Azanza* 節植物の分布の中心である東南アジア方面(マレーシア)のサンプルを外群として用いた。*Azanza* 節以外のフヨウ属植物数種についても塩基配列を決定したが、ギャップや塩基置換が多すぎてアライメントが不可能であった。系統解析の結果、一つの最節約系統樹が得られた(図2)。この系統樹の樹長は12、固有派生形質を除いた一致指数(consistency index)は0.857、保持指数(retention index)は0.960であった。

4. 考察

系統解析の結果、奄美大島のオオハマボウで見つかった *atpB-rbcL* 領域の17塩基のギャップがモンテンボクとの共有派生形質となっていることが注目される。小笠原のオオハマボウは沖縄のものと全く同じ配列であったことから、これは小笠原のモンテンボクとオオハマボウは直接の祖先が異なる可能性を示唆している。また、モンテンボクの葉緑体DNAに諸島内で数多くの変異が見つかり、これほどの変異が創出・維持されるには相当に長い年月が必要であったと考えられる。オオハマボウの種子は水に浮く性質を持ち、海流散布によって分布を広げることができるが、モンテンボクは種子の浮遊性を喪失しており、このことがモンテンボクの遺伝的交流を制限し、地域集団間の遺伝的分化を引き起こす要因となったのではないかと考えられる。

5. まとめ

以上のことから、かつて小笠原に最初に定着した系統からモンテンボクが異所的に分化し、その後比較的新しい時代にオオハマボウが小笠原に移入・定着した可能性が高いと考えられる。また、モンテンボクの葉緑体DNAに諸島内で数多くの変異が認められ、見かけ上の分化が起きていない地域集団間でも遺伝的に分化している可能性が示唆された。今後、モンテンボク集団の遺伝的構造を明らかにすることにより、種子の分散能力と遺伝的分化の関係を明らかにする必要がある。

6. 本研究により得られた成果

従来、葉緑体DNAの塩基配列データは変異が少ないために、地域集団レベルの系譜的關係を推定するには有用でないと言われてきた。今回の研究で、葉緑体DNAの遺伝子間領域にかなりの種内変異が検出され、集団の系譜的關係を推定するのに非常に重要な知見を得ることができ、その有用性が示唆された。

参考文献

- 1) Felsenstein, J. (1985) Confidence limits on phylogenies: an approach using the bootstrap. *Evolution*, 39: 783-791.
- 2) 大場秀章(1989)アオイ科。佐竹義輔・原 寛・亙理俊次・富成忠夫(編)『日本の野生植物 木本』平凡社、pp.69-71.
- 3) 小野幹雄・小林純子(1985)『小笠原の固有植物と植生』アポック社
- 4) Swofford (1999) PAUP*: *Phylogenetic analysis using parsimony (*and other methods) version 4.0b3a*. Sinauer, Sunderland, MA.

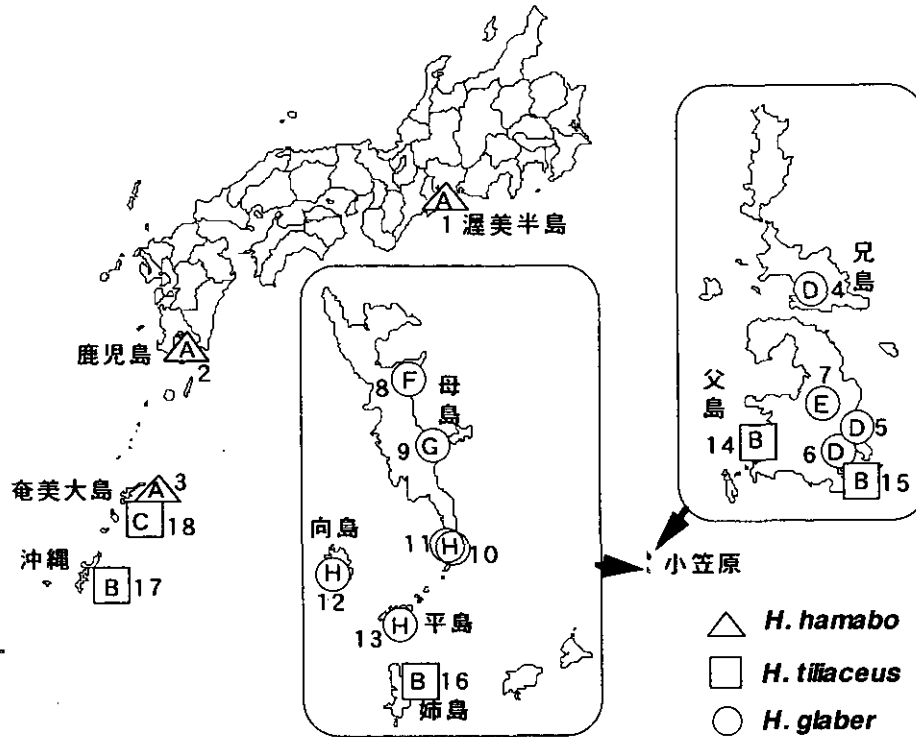


図1 日本列島における葉緑体 DNA ハプロタイプの分布。数字はサンプルの No.、アルファベットはハプロタイプを示す。

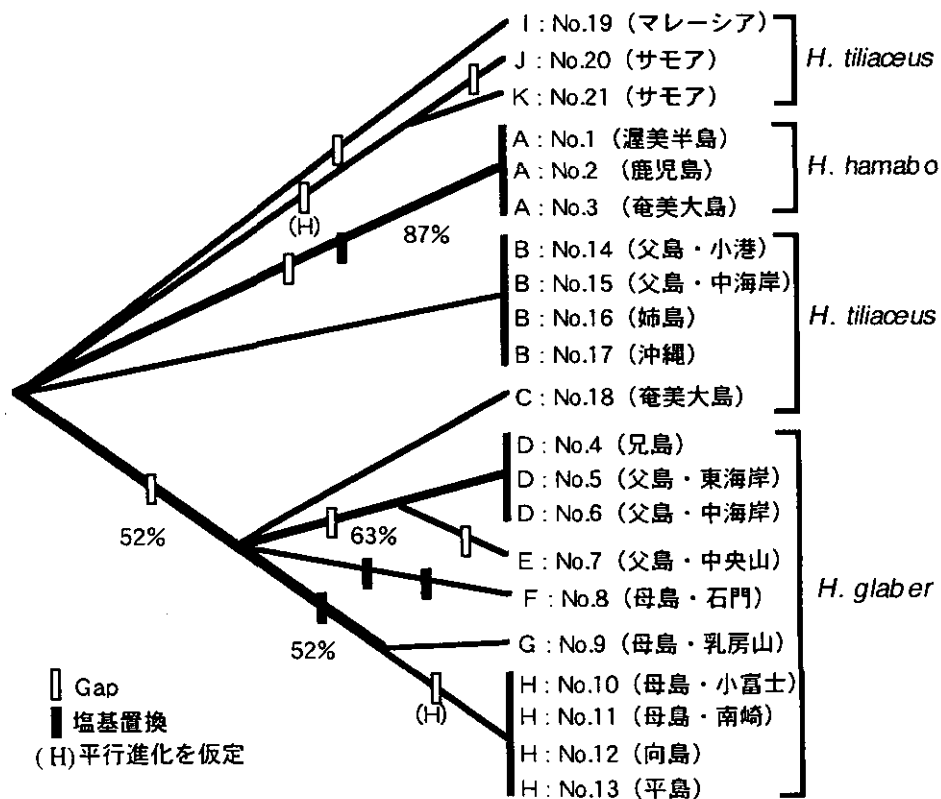


図2 葉緑体 DNA の塩基配列データに基づく系図。%はブーストラップ値、No.はサンプル、アルファベット A~K はハプロタイプを示す。

ナガバキブシとキブシ (キブシ科) の葉緑体 DNA の地理的変異

Geographical variations in chloroplast DNA of *Stachyurus macrocarpus* Koidz. and *S. praecox* Sieb. et Zucc. (Stachyuraceae)

加藤英寿 (東京都立大学理学研究科牧野標本館)

邑田 仁 (東京都立大学理学研究科牧野標本館、現在: 東京大学大学院理学系研究科附属植物園)

大井哲雄 (東京都立大学理学研究科牧野標本館)

要旨

小笠原諸島固有種ナガバキブシ (*Stachyurus macrocarpus* Koidz.) の由来及びその変種ハザクラキブシ (*S. m. var. prunifolius* Tuyama) との種内関係を明らかにするために、近縁種キブシ (*S. praecox* Sieb. et Zucc.) 含めた分子遺伝学的解析を行った。その結果、日本産キブシ属には地理的なまとまりのある 13 種類の葉緑体 DNA のハプロタイプが検出された。そのうちナガバキブシには 2 種類のハプロタイプがあり、それぞれ小笠原諸島父島のナガバキブシ、母島のハザクラキブシに固有で単系統性を示した。しかし情報不足のためナガバキブシの由来については明らかにはならなかった。また本種は個体数が極めて少なく絶滅が危惧されているため、現在の分布域・個体数を把握するため現地調査も行った。

Abstract

In order to examine the origin and the infraspecific relationship of Bonin *Stachyurus* (*S. macrocarpus* Koidz. var. *macrocarpus* and var. *prunifolius* Tuyama), a phylogenetic relationship among Bonin *Stachyurus* and *S. praecox* Sieb. et Zucc. was deduced by molecular analysis utilizing chloroplast DNA sequences. A total 13 haplotypes of cpDNA was found in Japanese *Stachyurus*. In the Bonin Islands, there are two haplotypes which are monophyly. One haplotype is specific to var. *macrocarpus* in Chichijima Island, the other is specific to var. *prunifolius* in Hahajima Island. However the origin of *S. macrocarpus* could not be clear because of a lack of phylogenetically informative characters. In addition the numbers and the distribution of living trees in the Bonin Islands were investigated to clarify the present condition, because this species is endangered plant.

1. 序

小笠原諸島は火山活動により海中から隆起した海洋島であり、大陸と陸続きになった歴史を持たない。そのため島の成立時には陸生の植物が全く存在していなかった。その後、他の陸地から植物の種子や胞子が散布され島に到達し、定着して種分化を起し、現在の小笠原諸島の植物相が成立したと考えられる。従来から植物の外部形態の比較や分布域の比較により、小笠原固有種の近縁種が推定されている^{11), 19)}。しかし、適応放散により外部形態が近縁種に比べ著しく分化している場合、または近縁種が小笠原諸島の周囲に広く分布している場合、その推定は非常に困難である。そのような場合近年では、分子遺伝学的手法を用いて海洋島植物の由来について推定されている^{1), 4), 5), 6), 9), 13)}。

本研究では、小笠原諸島固有種ナガバキブシ (*Stachyurus macrocarpus* Koidz.) の由来及び変種ハザクラキブシ (*S. m. var. prunifolius* Tuyama) との種内関係を明らかにするために、日本に広域分布するキブシ (*S. praecox* Sieb. et Zucc.) 含めた分子遺伝学的解析を行った。キブシ属 (*Stachyurus*) は、キブシ科 (Stachyuraceae) を構成する唯一の属で、約 10 種がヒマラヤ・中国・台湾・日本に分布する。そのうち日本には固有のキブシ (*S. praecox*) と小笠原に固有のナガバキブシの 2 種があり、ナガバキブシはキブシに近縁であると考えられている^{10), 11), 18)}。ナガバキブシはキブシに比べ明らかに葉が厚くて細長く、果実が大型である点で区別され、ナガバキブシが特殊化したものとして変種ハザクラキブシが認識される¹¹⁾。また本種は個体数が極めて少なく絶滅が危惧されているため⁷⁾、現在の分布域・個体数を把握するため現地調査も行った。

2. 方法

小笠原諸島父島からナガバキブシ 2 個体、母島からハザクラキブシ 1 個体、さらに日本列島内から均一にキブシ 46 個体を採集し、証拠標本を東京都立大学牧野標本館 (MAK) に所蔵した。シリカゲル乾燥葉から HEPES-CTAB 法により全 DNA を抽出し、CIA 及び PCI により精製を行った。葉緑体 DNA の非遺伝子領域 *trnT-5'tmL* intergenic spacer (IGS) と *5'tmL-trnF* IGS を PCR 法により増幅し、鋳型を作成した。オートシーケンサー (ABI 377, PE Biosystems) を用いたダイレクトシーケンス法により塩基配列を決定した。PCR 及びシーケンスのプライマーセットは、Taberlet ら¹⁷⁾ の a, b, c, f を用いた。塩基配列は、Golenberg ら³⁾、Kelchner & Clark⁸⁾、Oxelman ら¹²⁾ に基づきマニュアルアライメントを行い、葉緑体 DNA のタイプ (ハプロタイプ) を区分した。系統解析ソフト PAUP4.0b2¹⁶⁾ を用最節約法によるハプロタイプ間の系統関係を推定した。得られた系統樹の各枝の信頼度を 1,000 回試行のブーツストラップ確率²⁾で示した。

また、1998 年 3 月 9 日~16 日及び同年 12 月 4 日~16 日に小笠原諸島父島、母島及び兄島において、ナガバキブシとハザクラキブシの現地調査を行い生木の個体数を把握し、1/25,000 地図にプロットした。

3. 結果と考察

葉緑体 DNA の非遺伝子領域 *trnT-5'tmL* 及び *5'tmL-trnF* の塩基長は、日本産キブシ属で 2,167~2,204 塩基

対、外群 (*S. chinensis*) は 2,204 塩基対であり、アライメント後は 2,317 塩基対であった。多型は全体で 12 塩基置換及び 16 挿入・欠失があり、日本産キブシ属内では 5 塩基置換及び 10 挿入・欠失があった。その結果日本列島内には、地理的なまとまりをもつ 13 種類 (type A~M) の葉緑体 DNA のタイプ (ハプロタイプ) が検出できた (図 1)。そのうち小笠原固有種ナガバキブシには 2 種類のハプロタイプ (type M と L) があり、それぞれ小笠原諸島父島及び母島に固有なものであった。ハプロタイプの塩基配列に基づく系統解析では、1 本の最節約系統樹 (樹長 = 28, CI = 0.964, RC = 0.827) が得られた (図 2)。関東~東海地域及び太平洋沿岸のハプロタイプ (type H~K) からなるクレード、主に本州の日本海側及び北日本に広域分布するタイプ (type F) と富山県白木峰のタイプ (type G) からなるクレード、小笠原固有種ナガバキブシ (type L) とハザクラキブシ (type M) からなるクレード、の 3 つのクレードがみられた。小笠原クレードでは type M (ハザクラキブシ) に固有派生形質 (挿入) がみられたことから、ハザクラキブシがナガバキブシの特殊化したものであるという小野・小林¹¹⁾の説を支持するものである。系統情報不足によりその他のハプロタイプとの間の系統関係は多岐となり、ナガバキブシのハプロタイプに近縁なタイプは明らかにならなかった。

2 回行った個体数・分布域の現地調査ではナガバキブシが父島の東平 (標高 200~300m) に 26 個体、ハザクラキブシが母島の乳房山山頂付近 (標高 400m) に 1 個体のみ生育が確認できた。各木は 1/25,000 地図にプロットし、分布域を示した (図 3)。清水^{14),15)}の調査では、ナガバキブシが父島に 44 個体、兄島に 1 個体が確認されているほか、東京都立大学牧野標本館 (MAK) 所蔵の標本において、母島乳房山中腹 (標高 200~250m) で採集され果実を多数付けているハザクラキブシ、兄島で採集されたナガバキブシの標本が確認できた。これまでの状況と比較すると今回の調査結果による状況は、個体数がここ数年で半数近くに減少しており、またハザクラキブシが母島に 1 個体のみしか確認できなかったことは、極めて深刻である。個体数とともに遺伝的多様性を保全するためにも早急な対策が望まれる。

参考文献

- 1) Baldwin, B. G., Kyhos, D. W., Dvorak, J. and Carr, G. D. (1991) Chloroplast DNA evidence for a North American origin of the Hawaiian silversword alliance (Asteraceae). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, **88**: 1840-1843.
- 2) Felsenstein, J. (1985); Confidence limits on phylogenies: An approach using the bootstrap. *Evolution*, **39**: 783-791.
- 3) Golenberg, E. M., Clegg, M. T., Durbin, M. L., Doebley, J. and Ma, D. P. (1993) Evolution of a noncoding region of the chloroplast genome. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, **2**: 52-64.
- 4) Howarth, D. G., Gardner, D. E., and Morden, C. W. (1997) Phylogeny of *Rubus* subgenus *Idaeobatus* (Rosaceae) and its implications toward colonization of the Hawaiian Islands. *Systematic Botany*, **22**: 433-441.
- 5) Ito, M. and Ono, M. (1990) Allozyme diversity and the evolution of *Crepidiastrum* Compositae on bonin Ogasawara Islands. *The Botanical Magazine*, Tokyo, **103**: 449-459.
- 6) Ito, M. and Pak, J. H. (1996) Phylogenetic relationships of *Crepidiastrum* (Asteraceae) of the Bonin (Ogasawara) Islands based on chloroplast DNA restriction site variation. *Journal of Plant Research*, **109**: 277-280.
- 7) 環境庁 (1997) 植物レッドデータリスト、環境庁。
- 8) Kelchner, S. A. and Clark, L. G. (1997) Molecular evolution and phylogenetic utility of the chloroplast *rps16* intron in *Chusquea* and the *Bambusoideae* (Poaceae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, **8**: 385-397.
- 9) Kim, S. -C., Crawford, D. J., Francisco-Ortega, J., and Santos-Gewrra, A. (1996) A common origin for woody *Sonchus* and five related genera in the Macaronesian islands: Molecular evidence for extensive radiation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, **93**: 7743-7748.
- 10) Ohba, H. (1999) Stachyuraceae. In: *Flora of Japan IIc*. pp.191-192. Kodansya, Ltd., Tokyo.
- 11) 小野幹雄・小林純子 (1985): 第 1 部 小笠原の固有種子植物。小野幹雄・奥富清 (編) 『小笠原の固有植物と植生』アポック社、pp.3-96.
- 12) Oxelman, B., Liden, M., and Berglund, D. (1997) Chloroplast *rps16* intron phylogeny of the tribe sileneae (Caryophyllaceae). *Plant Systematics and Evolution*, **206**: 393-410.
- 13) Pax, D. L., Price, R. A. and Michaels, H. J. (1997) Phylogenetic position of the Hawaiian Geraniums based on *rbcL* sequences. *American Journal of Botany*, **84**: 72-78.
- 14) 清水善和 (1981) 父島における主要樹木 67 種の全本数推定。小笠原諸島自然環境現況調査報告書(2)、東京都、pp.55-60.
- 15) 清水善和 (1989) 小笠原諸島兄島の乾性低木林と固有植物。小笠原研究年報 (13)、pp.8-19.
- 16) Swofford, D. L. (1999) PAUP* version 4.0b2, *Phylogenetic Analysis Using Parsimony version 4.0b2*.
- 17) Taberlet, P., Gielly, L., Pautou, G. and Bouvet, J. (1991) Universal primers for amplification of three non-coding regions of chloroplast DNA. *Plant Molecular Biology*, **17**: 1105-1109.
- 18) 津山尚 (1970) 解説編、4. 植物。津山尚・浅海重夫 (編) 『小笠原の自然』廣川書店、pp.27.
- 19) 山崎敬 (1981) 小笠原諸島の植物分布。豊田武司 (編) 『小笠原植物図譜』アポック社、pp.303-308.

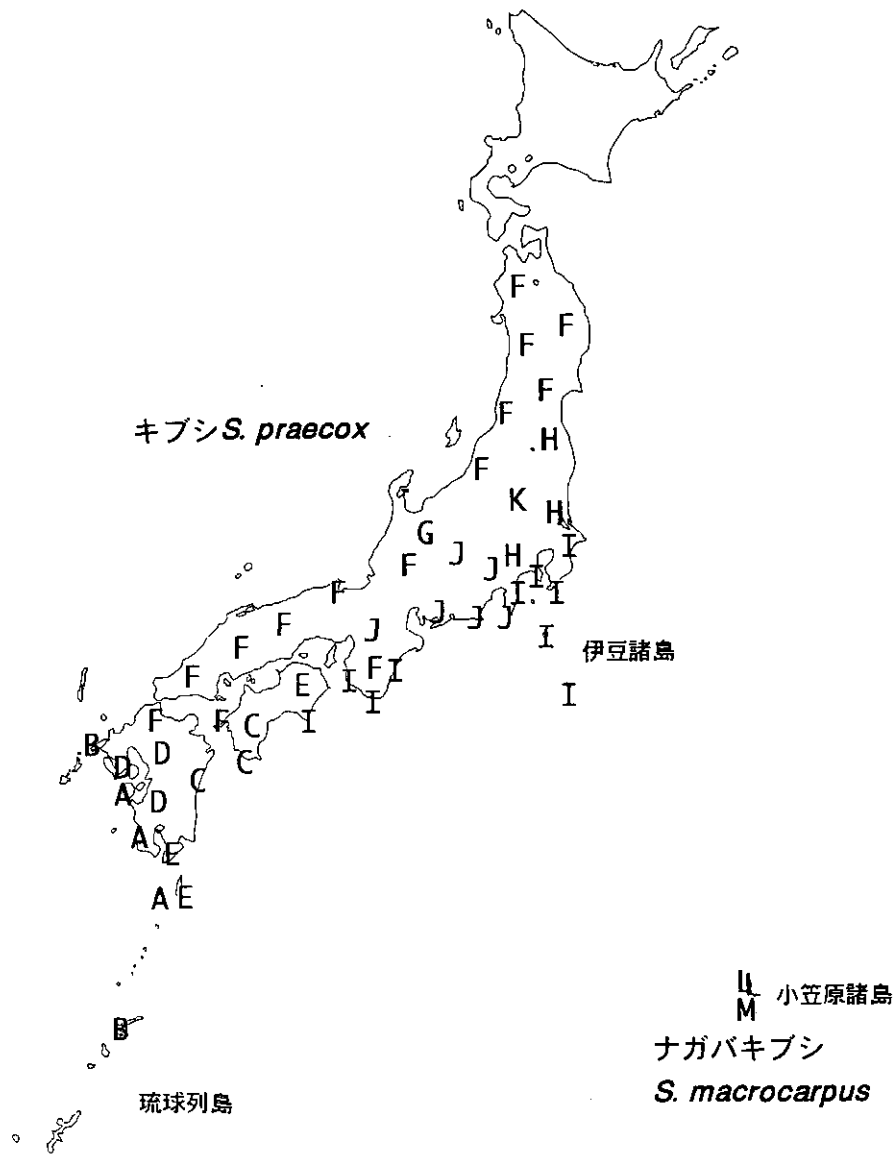


図1 キブシ *Stachyurus praecox* 及びナガバキブシ *S. macrocarpus* の葉緑体 DNA のハプロタイプの分布。A~M は葉緑体 DNA の各ハプロタイプを示す。

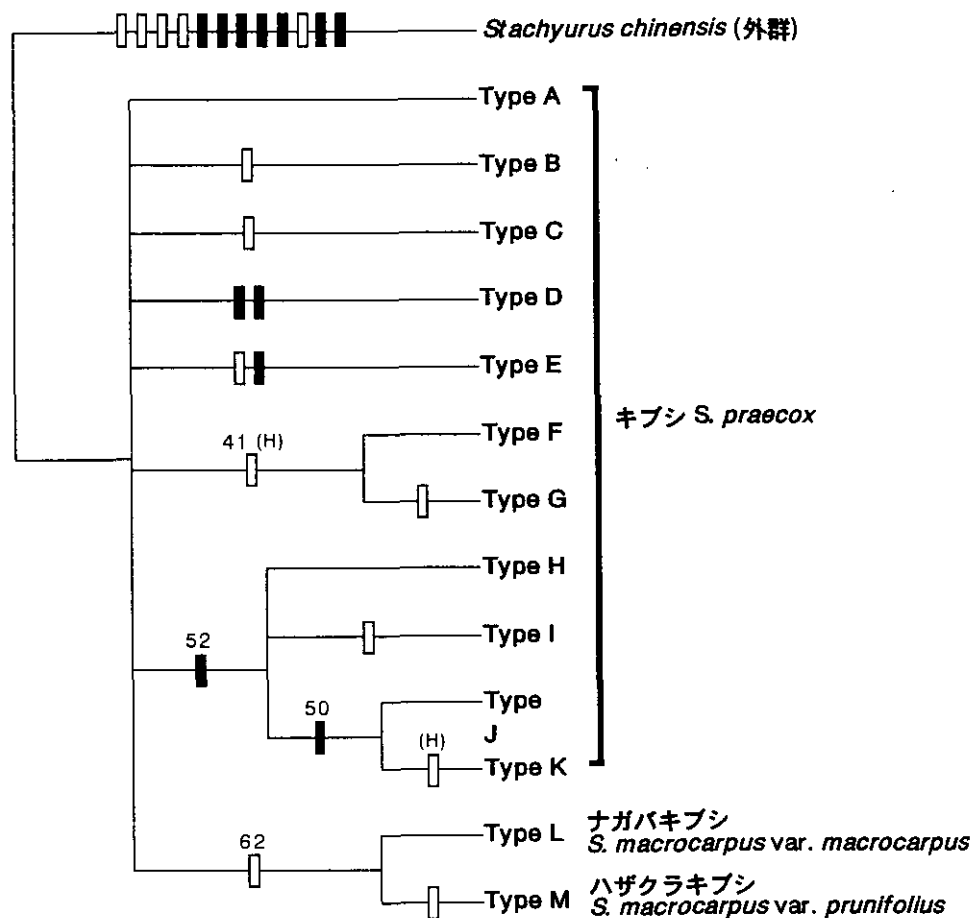


図2 葉緑体 DNA のハプロタイプ間の系統関係。系統解析ソフト PAUP4.0b2¹⁶⁾を用いた最節約法により得られた1本の最節約系統樹(樹長 = 28、CI = 0.964、RC = 0.827)を示す。各枝上の白抜四角は挿入または欠失を、黒塗四角は塩基置換を示し、(H) はホモプラシーな形質であることを示す。各枝の信頼度を1,000回試行のブーツストラップ確率²⁾で示した。

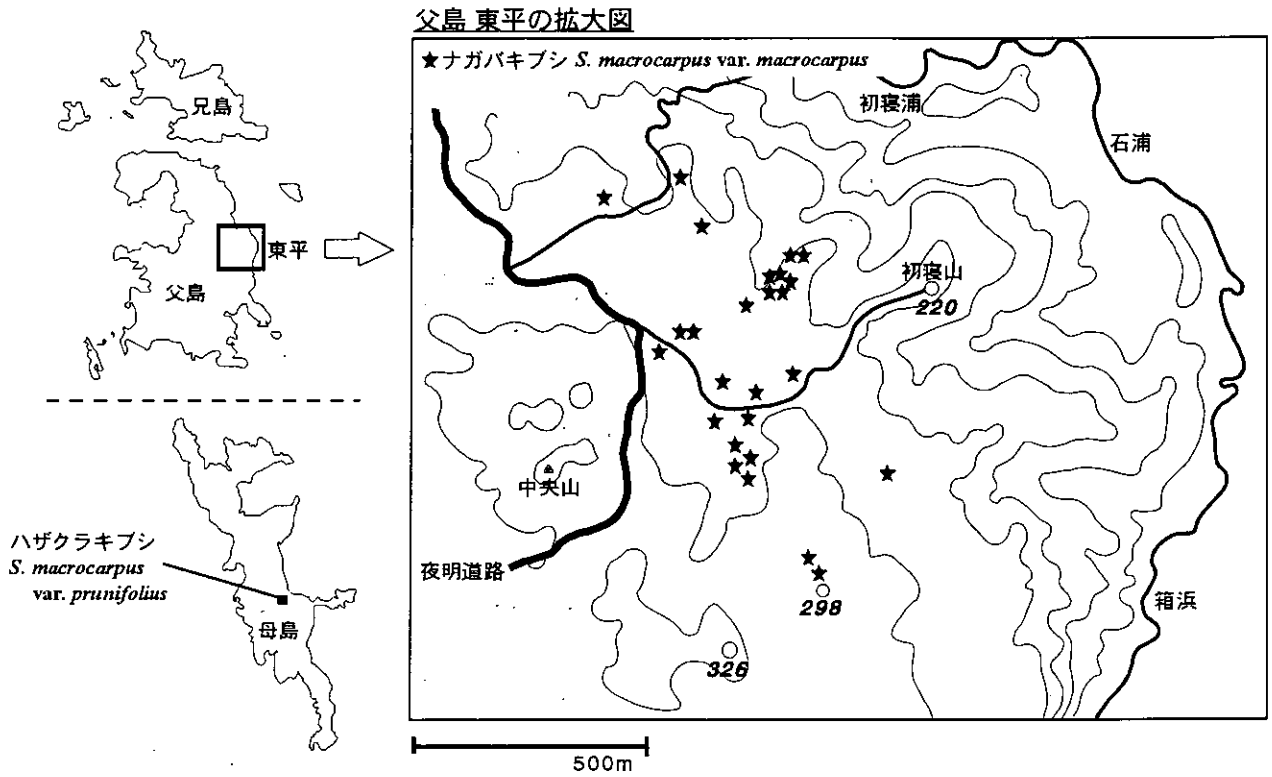


図3 小笠原諸島内におけるナガバキブシ *Stachyurus macrocarpus* var. *macrocarpus* とハザクラキブシ *S. macrocarpus* var. *prunifolius* の分布図。星印(★)がナガバキブシ、四角(■)がハザクラキブシを示す。確認できた各個体を 1/25,000 の地図にプロットした。

シロテツ属植物の形態変異と酵素多型の解析

Generic diversity and morphological variation of *Boninia* (Rutaceae)

加藤英寿・中村朗子 (東京都立大学理学研究科牧野標本館)

要旨

小笠原固有属であるシロテツ属 *Boninia* において、形態および遺伝的変異の解析を行った。予備的に形態を観察したところ、オオバシロテツにおいて2型が認められた。この2型を含む4タイプにおいてアイソザイム解析を行った結果、シロテツ属では他の海洋島固有種に比べて、遺伝的変異が非常に高いことが明らかになった。

Abstract

Boninia (Rutaceae) is one of two endemic genera in the Bonin Islands. This genus consists of two species including one variety. Within *B. grisea* var. *grisea*, two types were recognized on preliminary observation of morphology. Enzyme electrophoresis was employed to assess genetic diversity within and divergence among these four morphological types of *Boninia*. Gene diversity measured in *Boninia* was extremely high compared to other insular endemics.

1. 序

シロテツ属 *Boninia* (ミカン科) は小笠原諸島の固有属とされ、シロテツ *Boninia glabra* Planchon とオオバシロテツ *B. grisea* Planchon の2種、およびオオバシロテツの変種とされているアツバシロテツ (=アニジマシロテツ) *B. grisea* var. *crassifolia* (Nakai) Yamazaki が報告されている。しかし、自然集団内で著しい形態的変異を示し、各分類群間に様々な中間型がみられる。本研究では小笠原諸島におけるシロテツ属植物の形態変異と遺伝的変異を探ることにより、種分化の実態を推定することを目的とした。今回は遺伝的変異の指標として酵素多型を用いた。

2. 研究方法

1998年から1999年にかけて、兄島、父島の東平・西海岸・ジョンビーチ・時雨山、母島の石門・乳房山・南崎の8集団372個体をサンプリングした。各サンプルの葉1枚を酵素多型解析に用い、残りを形態観察に用いた。形態は、この属の植物の分類指標となっている若枝及び子房の毛の有無と密度に加え、葉のサイズ(葉身の長さ・幅と葉柄の長さ)を計測し、記録した。また、葉の厚さの違いを記録するために葉肉部分の切片を作成し、光学顕微鏡で観察した。酵素多型分析は白石⁷⁾の方法に従い、ポリアクリルアミド垂直電気泳動法により行った。酵素の検出は Shiraishi⁸⁾の染色方法で行った。まずサンプルの一部を用い、15酵素種を選んで種内変異のある酵素種を探索した。変異が確認された酵素種・遺伝子座のうち、遺伝子支配関係が推定できる遺伝子座については、全サンプルの遺伝子型をバンドパターンから決定し、各集団の各遺伝子座における遺伝子型頻度を求めた。遺伝子型頻度から対立遺伝子頻度を求め、各集団におけるハーディ・ワインベルク平衡からのずれを検定し、また Wright¹¹⁾のF-統計値及び Nei⁹⁾の遺伝子多様度、Nei⁵⁾の遺伝的同一度と標準遺伝距離を計算した。

3. 研究結果

オオバシロテツとアツバシロテツでは若枝に星状毛が密生しており、シロテツは無毛であった。花の形態を観察したところ、オオバシロテツ、アツバシロテツでは子房の表面に軟毛が密生していたが、シロテツでは無毛であった。葉の表皮細胞がシロテツ、オオバシロテツでは2層であるのに対し、アツバシロテツでは3~4層であった。オオバシロテツのうち、母島の乳房山稜線などに生育するものは葉身の長さが60~120mmと、普通のオオバシロテツ(110~200mm)に比べてかなり小型であった。また、オオバシロテツは通常高木になるが、このタイプのは低木~小高木であった。さらに若枝は無毛か、わずかに星状毛が生えているだけであった(表1)。以上の結果から、この小型のオオバシロテツをオオバシロテツS型(オオバS)とし、普通のオオバシロテツをL型(オオバL)として区別した。酵素多型解析ではACP、ACO、AMY、DIA、EST、GDH、GK、GR、GOT、LAP、MDH、6PGD、PGI、PGM、SHDの15酵素種でアイソザイム泳動像の検出を試みた。明瞭な泳動像が得られ、遺伝子座の推定ができたPGI、PGM、SDH、POD、GOTの各酵素種を解析に用いた。また、採集された個体数が少なかった兄島のシロテツ、西海岸・ジョンビーチ・南崎のオオバSは今回の解析には用いなかった。Neiの遺伝子多様度は表2に、F-統計値は表3に示した。

集団の遺伝的変異(genetic diversity)はヘテロ接合度(heterozygosity)を用いてあらわすことができる。表2-AはオオバシロテツL型、S型、アツバシロテツ、シロテツのタイプごとに遺伝子多様度を示したものであり、表2-Bはすべてのタイプをまとめてシロテツ属全体の遺伝子多様度を示したものである。従って表2-Bでは全体集団(シロテツ属)は各タイプ(タイプ集団)からなり、各タイプは分集団(実際の地域集

団) からなる、という3つの階層がある。表2-BにおけるTYという添え字はタイプ集団をあらわす。タイプ集団間の遺伝子分化係数は $G_{TYT}=D_{TYT}/H_T$ で、タイプ内の各分集団の遺伝子分化係数は $G_{STY}=D_{STY}/H_S$ であらわせる。シロテツ属植物では H_S の値が0.2292~0.3593(表2-A)であった。また、各タイプにおける遺伝子分化係数は0.0124~0.0695であり(表2-A)、シロテツ属植物全体でみたとき(表2-B)、 G_{ST} は0.1545、 G_{TYT} は0.1152、 G_{STY} は0.0472であった。このことは属内の遺伝的分化の大部分はタイプ間の分化によるものであり、それに比べて各タイプ内の分化の程度は小さいことを示している。つまり、シロテツ属植物では各地域集団内に高い遺伝子多様度を持ち、各タイプ内の集団間は比較的分化していないといえる。

F-統計値は細分化された集団の遺伝的構造を示すのに用いられる。タイプごとに見ると(表3-A)、オオバLでは F_{IT} が0.1201であるのに対し、 F_{IS} は0.0516、 F_{ST} は0.0695であった。つまり、近親交配(F_{IS})と集団の細分化(F_{ST})が同程度の影響を及ぼしている。一方オオバS($F_{IT}=0.1624$ 、 $F_{IS}=0.1456$ 、 $F_{ST}=0.0215$)とシロテツ($F_{IT}=0.1141$ 、 $F_{IS}=0.1037$ 、 $F_{ST}=0.0124$)では集団の細分化によるヘテロ接合度の減少は少なく、集団内の近親交配による減少の影響が大きい。それに対し、アツバシロテツでは $F_{IT}=0.0424$ 、 $F_{IS}=-0.0006$ 、 $F_{ST}=0.0388$ であった。この F_{IT} の値は他のタイプと比べて非常に低い。また、 F_{IS} と F_{ST} の値はアツバシロテツにおいては集団の細分化によるヘテロ接合度の減少が、近親交配によるものより大きく影響を及ぼしていることを示している。シロテツ属全体では F_{IS} は0.0611、 F_{ST} は0.1541であり、これは0.2008である F_{IT} に対し集団を分けたことが影響しており、分集団内の近親交配はほとんど影響していないことを示している(表3-B)。

各分集団間の遺伝的同一度と標準遺伝距離に基づき平均距離法(UPGMA)を用いて、各分集団間の類似図を作成した(図1)。各タイプはそれぞれクラスターを形成したが、オオバLはオオバSよりもアツバシロテツとより近いクラスターを形成した。シロテツは最も離れたクラスターを形成した。

4. 考察

従来、海洋島の植物集団では大陸の集団と比較して、遺伝的な変異が少ないと言われてきた¹⁾。これはその島に最初に移入・定着した少数個体による創始者効果及び、集団分化の際の小集団化によるビン首効果や近親交配により、遺伝的変異が減少するためと説明されてきている⁴⁾。シロテツ属植物の各タイプ内では H_S 、 H_T の値が($H_S=0.2292\sim0.3593$ 、 $H_T=0.2354\sim0.3851$)であり、同じ小笠原諸島で報告されているハイノキ属($H_S=0.0000\sim0.0812$)⁹⁾、トベラ属($H_S=0.000\sim0.089$)²⁾、アゼトウナ属($H_S=0.0143\sim0.0510$)²⁾と比較しても非常に大きな値になっている。シロテツ属では G_{ST} は0.0124~0.0695であった。このように G_{ST} が小さいことは各タイプ内の集団間で遺伝子流動が保たれていることを示している。

各タイプにおけるF-統計値からアツバシロテツ以外のタイプでは集団の細分化によるヘテロ接合度の減少の影響はあまり大きくないことが示された。このことから各タイプ内の集団間は分化が進んでいないことが示唆されている。しかし、アツバシロテツでは他のタイプと異なり、集団の細分化によるヘテロ接合度の減少がみられた。アツバシロテツの場合は兄島と父島にまたがって分布していることが原因と思われる。同様に父島と母島にまたがるオオバLでも、 F_{ST} の影響が他のタイプに比べて大きい。UPGMAによる類似図でもオオバLはタイプとして一つのクラスターを形成しているが、その中でも島ごとにまとまっている。つまり、シロテツ属植物ではタイプ間の分化の程度が大きいといえる。また、同じタイプでも島間では分化が進んでいると考えられる。

5. まとめ

シロテツ属植物において集団内の遺伝的変異が大きいことの要因としては、島内で集団が細分化されず、各タイプごとに島全体が大きな繁殖集団として機能していることが考えられる。また、小笠原諸島に侵入・定着した時期が古いことも考えられる。例えば小笠原で調査された他の植物は東南アジアや琉球列島に近縁種があり、東南アジア系要素といわれているが、シロテツ属はポリネシア系要素といわれている¹⁰⁾。植物の起源の違いが定着時期の違いとなり、遺伝的多様度の違いに結びついている可能性もある。この点については他のポリネシア系要素といわれる植物を解析する必要がある。

6. 本研究により得られた成果

今回、形態的に区別されたオオバシロテツの2型が、遺伝的に分化していることが酵素多型解析により支持された。オオバシロテツについてはより詳細な分類学的検討が必要である。また、シロテツ属の遺伝的変異は他の海洋島固有種と比較して非常に高い値を示した。これは海洋島における遺伝的変異の創出・維持機構を解明する上で非常に興味深い現象である。

参考文献

- 1) De Joode, D. R. & Wendel, J. F. (1992) Genetic diversity and origin of the Hawaiian islands cotton, *Gossypium tomentosum*. *American Journal of Botany*, 79(11): 1311-1319.
- 2) Ito, M. and Ono, M. (1990) Allozyme diversity and the evolution of *Crepediastrum* (Compositae) on the Bonin (Ogasawara) Islands. *Botanical Magazine of Tokyo*, 103: 449-459.

- 3) Ito, M., Soejima, A. and Ono, M. (1997) Allozyme diversity of *Pittosporum* (Pittosporaceae) on the Bonin (Ogasawara) Islands. *Journal of Plant Research*, **110**: 455-462.
- 4) Kim, S.-C., Crawford, D.J., Francisco-Ortega, J. and Santos-Guerra, A. (1999) Adaptive radiation and genetic differentiation in the woody *Sonchus* alliance (Asteraceae: *Sonchinae*) in the Canary Islands. *Plant Systematics and Evolution*, **215**: 101-118.
- 5) Nei, M. (1972) Genetic distance between populations. *The American Naturalist*, **106**, No. 949: 283-292.
- 6) Nei, M. (1973) Analysis of gene diversity in subdivided populations. *Proceeding of National Academy of Science USA*, **70**: 3321-3323.
- 7) 白石 進 (1987) アイソザイム分析法。材木の育種、Vol.143, pp.34-38.
- 8) Shiraishi, S. (1988) Inheritance of isozyme variations in Japanese Black Pine, *Pinus thunbergii* Parl. *Silvae Genetica*, **37**: 93-100.
- 9) Soejima, A., Nagamasu, H., Ito, M. and Ono, M. (1994) Allozyme diversity and the evolution of *Symplocos* (Symplocaceae) on the Bonin (Ogasawara) Islands. *Journal of Plant Research*, **107**: 221-227.
- 10) 豊田武司 (1981) 編 『小笠原植物図譜』 アボック社 380p.
- 11) Wright, S. (1965) The interpretation of population structure by F-statistics with special regard to systems of mating. *Evolution*, **19**: 395-420.

表1 シロテツ属の比較

	生育地	樹形	若枝	子房の表皮	葉の表皮細胞 葉身の長さ
オオバシロテツ (L型)	海岸林 ～山地林	小高木 ～高木	星状毛密生	軟毛密生	2層 110～200nm
オオバシロテツ (S型)	尾根 風衝地	低木 ～小高木	無毛～ わずかに毛あり	軟毛密生	2層 60～120nm
アツバシロテツ	乾性低木林	低木	星状毛密生	軟毛密生	3～4層 60～120nm
シロテツ	乾性低木林	低木	無毛	無毛	2層 60～110nm

表2-A タイプ別の遺伝子多様度

	H _S	H _T	D _{ST}	G _{ST}
オオバL	0.3593	0.3851	0.0257	0.0695
オオバS	0.2292	0.2354	0.0062	0.0215
アツバ	0.2721	0.2878	0.0157	0.0388
シロテツ	0.3572	0.3616	0.0045	0.0124

表2-B シロテツ属全体の遺伝子多様度

	H _S	H _{TY}	H _T	D _{ST}	G _{ST}	D _{STY}	G _{STY}	D _{TYT}	G _{TYT}
PGI	0.4705	0.5048	0.5288	0.0583	0.1103	0.0344	0.0730	0.0240	0.0453
PGM	0.5835	0.6002	0.6916	0.1081	0.1563	0.0167	0.0286	0.0914	0.1322
SDH	0.3055	0.3234	0.3478	0.0422	0.1214	0.0178	0.0584	0.0244	0.0701
POD	0.3110	0.3225	0.4383	0.1273	0.2904	0.0115	0.0370	0.1157	0.2641
GOT-1	0.3739	0.3981	0.5286	0.1547	0.2926	0.0242	0.0646	0.1305	0.2469
GOT-2	0.0069	0.0070	0.0070	0.0001	0.0167	0.0001	0.0095	0.0001	0.0073
GOT-3	0.1847	0.1956	0.2038	0.0191	0.0940	0.0109	0.0590	0.0082	0.0405
Mean	0.3194	0.3359	0.3923	0.0728	0.1545	0.0165	0.0472	0.0563	0.1152

表3-A タイプ別のF-統計値

	F _{IS}	F _{IT}	F _{ST}
オオバL	0.0516	0.1201	0.0695
オオバS	0.1456	0.1624	0.0215
アツバ	-0.0006	0.0424	0.0388
シロテツ	0.1037	0.1141	0.0124

表3-B シロテツ属全体のF-統計値

	F _{IS}	F _{IT}	F _{ST}
PGI	0.0051	0.1148	0.1103
PGM	0.3168	0.4235	0.1563
SDH	-0.0143	0.1089	0.1214
POD	0.1700	0.4110	0.2904
GOT-1	0.0444	0.3240	0.2926
GOT-2	-0.0223	-0.0053	0.0167
GOT-3	-0.0718	0.0289	0.0940
Mean	0.0611	0.2008	0.1545

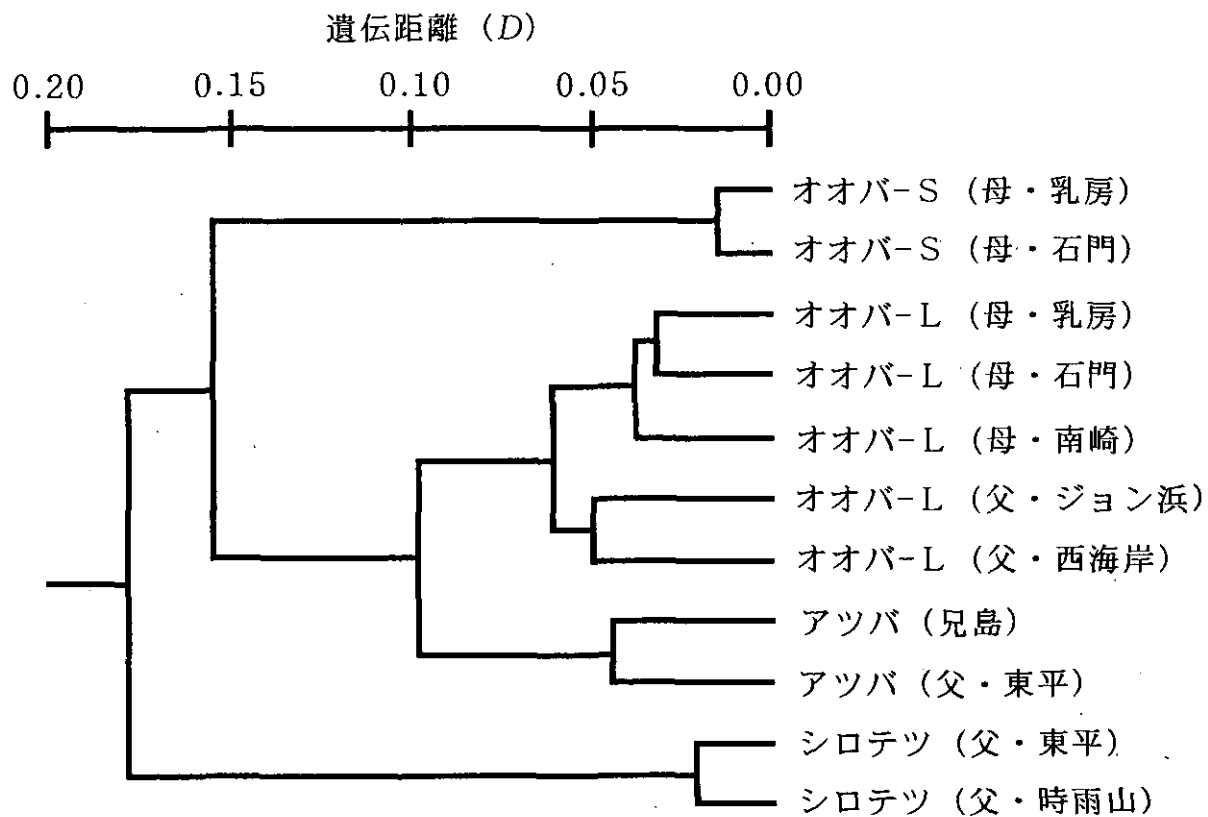


図1 酵素多型データから推定された遺伝距離に基づくシロテツ属集団の類似図

小笠原諸島における木本性ハイビスカス属の繁殖成功度の決定要因

Determinants of Reproductive Success in Woody *Hibiscus* in The Bonin (Ogasawara) Islands

可知直毅・工藤 洋・廣田幸将 (東京都立大学理学研究科生物科学専攻)

要旨

セイヨウミツバチが帰化している父島と、在来ハナバチの多い兄島においてモンテンボク (*Hibiscus glaber*) とオオハマボウ (*Hibiscus tiliaceus*) の繁殖特性を比較した結果、兄島のモンテンボクは在来のオガサワラキホリハナバチの訪花によって高い結果率・結実率を示したが、父島のオオハマボウ、モンテンボクではセイヨウミツバチによる訪花はあるが、低い値を示した。セイヨウミツバチの帰化によるハナバチ相の変化が在来のハイビスカス属植物の繁殖成功度を低下させていると考えられる。

Abstract

We compare reproductive traits between two woody *Hibiscus* species, *Hibiscus glaber* and *Hibiscus tiliaceus* in the Bonin Islands. *Hibiscus glaber* on Anijima was pollinated by *Lithurge ogasawarensis* (native Megachild bee) and show higher reproductive success than other populations. Reproductive success of native *Hibiscus* population was decreasing by exchange of bee fauna caused by introduction of honeybee.

1. 序

小笠原諸島父島には明治11年に、養蜂のためにセイヨウミツバチが導入された。現在では、セイヨウミツバチは野生化し、その勢力範囲を拡大している。小笠原諸島における在来ハナバチはすべて単独性のハナバチであり^{2),3)}、社会性のセイヨウミツバチに対して花資源をめぐる競争能力で劣る。また、人為的な自然破壊なども手伝い、父島の在来ハナバチは壊滅状態にある²⁾。このようにセイヨウミツバチの帰化に伴うハナバチ相の変化が、花粉媒介をハナバチに依存している植物の繁殖成功に対して、何かしらの影響があると考えられる^{2),4)}。

本研究では、小笠原諸島に自生する木本性ハイビスカスを材料として、セイヨウミツバチの帰化している父島とまだ在来ハナバチが多く生息している兄島の個体群で調査を行い、ハイビスカスを訪れるハナバチ相の違いと繁殖成功度を比較することで、セイヨウミツバチの帰化によるハナバチ相の変化が及ぼす、植物に対する影響を評価することを目的とする。

2. 材料

材料となる植物は、小笠原諸島に自生する木本性ハイビスカス属のモンテンボクとオオハマボウの2種である。前者は小笠原諸島に固有であり、後者は熱帯・亜熱帯に広く分布する広域分布種である。花は両者でほぼ同じ形態をしており、お椀型の黄色い花冠の中央に花柱がのび、先端は5裂し、5本の柱頭をなす。花柱の周りは多数の雄蕊が着した器官である雄蕊群が取り巻く。通常、柱頭と雄蕊群は空間的に隔離されており、受粉には送粉者の訪花が必要である。

3. 方法

父島にモンテンボクとオオハマボウの各1集団、兄島にモンテンボクの1集団の計3集団で32-35個体をマーキングし、約2ヶ月に1度の頻度で各個体の開花数、および訪花昆虫の訪花頻度を測定した。開花数の測定は、1998年3、5、6、8、11月、1999年1、3、5、6、8、10月の計11回の調査を行った。訪花昆虫の観察は8、10、12、14、16時に15分間、3~10個の花を観察し、訪花する昆虫の種類と頻度を測定した。

繁殖成功の制限要因を明らかにするため、1999年の6月に父島のモンテンボクとオオハマボウの集団で人工受粉実験を行った。受粉実験の約45日後、成熟した果実を回収し、受粉成功の指標として、花あたりの果実数である結果率を、花粉の質による制限の指標として1果実あたりの胚珠数に対する種子数である結実率を求めた。さらに各調査地の自然状態における結果率・結実率と比較し、繁殖成功度の制限要因について考察した。

また花形態の測定をし、柱頭と葯の距離から同花受粉の可能性を検討した。

4. 結果

モンテンボクとオオハマボウでは開花パターンは大きく異なった。オオハマボウは夏期に大量の花を集中開花させるのに対し、モンテンボクは年間を通じて少数の花を開花させた(図1)。

セイヨウミツバチの帰化していない兄島では、6月に在来ハナバチのオガサワラキホリハナバチがモンテンボクに訪花することが確認された。訪花頻度は15分あたり1.6回/花であった。一方、セイヨウミツバチの帰化している父島では、モンテンボクではハナバチの訪花は観察されなかったが、オオハマボウではごくまれにセイヨウミツバチが訪花した(図2)。

人工受粉実験の結果、モンテンボクで、自家0.67、他家0.80、オオハマボウで、自家0.84、他家0.76と、

両種とも高い結果率を示した(図3)。結実率はモンテンボクで自家0.22、他家0.36、オオハマボウで、自家0.24、他家0.48であり、自家受粉よりも他家受粉で高い傾向があった(図4)。自然状態では兄島のモンテンボクは結果率0.46、結実率0.43であった。一方、父島のモンテンボクは結果率0.09、結実率0.28と非常に低く、オオハマボウは結果率0.35、結実率0.31であった(図3、4)。

花形態の測定から、柱頭と葯の間の距離が短いほど受粉成功率が高い傾向があった(図5)。特に父島のモンテンボク集団では柱頭が雄蕊群内で発達する花を持つ個体が存在することがわかった。

5. 考察

兄島のモンテンボク集団では父島の集団に比べて、高い繁殖成功度を示し、モンテンボクの受粉には在来ハナバチのオガサワラキホリハナバチの訪花が重要であると考えられる。父島ではオオハマボウにセイヨウミツバチの訪花が観察されたが、モンテンボクでは観察されなかった。これは両種の開花パターンと関係があり、オオハマボウでは一斉開花によってセイヨウミツバチの誘因効果が大きいためであると考えられる。

父島のモンテンボクではハナバチの訪花が観察されなかったにもかかわらず、低い値ながら種子生産をしていた。これは花形態の測定の結果からもわかるように、柱頭と葯の距離が短い花では自動的な同花受粉が可能であると考えられる。これは島嶼における貧弱な訪花昆虫相に対する適応として自殖性の進化¹⁾が起こった可能性を示唆する。

小笠原諸島のハイビスカス属にとってセイヨウミツバチは決して有効な送粉者ではなく、ハナバチ相の変化が繁殖成功に負の効果を与えていると結論される。セイヨウミツバチの帰化は絶対種子生産数を低下させるだけでなく、他家交配の機会を減少させ、遺伝交流にも影響を与えることが危惧される。

参考文献

- 1) Barrett, S. C. H. (1998) The reproductive biology and genetics of island plants. In: *Evolution on Islands*. (ed. Grant, P. B.) pp. 18-34. Oxford University Press, Oxford.
- 2) Kato, M. (1992) Partnership between plants and insect pollinator in Ogasawara Islands. *World Wide Fund for Nature Japan Science Report* 1: 51-62.
- 3) Kato, M. (1992) List of insects in Ogasawara. *World Wide Fund for Nature Japan Science Report* 1: 73-106.
- 4) Shimizu, Y. (1995) Endangered Plant Species in the Bonin (Ogasawara) Islands: Causal Factors and Present Situation. *Regional Views* 8: 145-169.

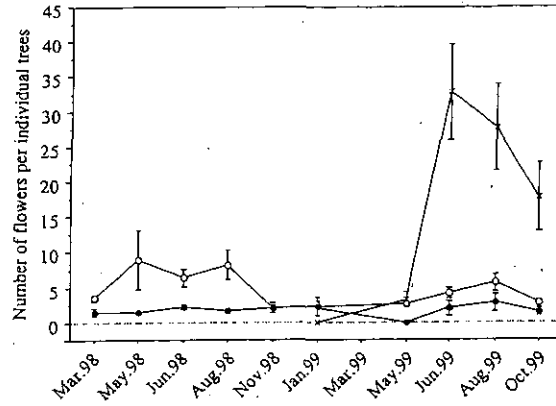


図1 各集団での個体あたりの平均開花量。バーは標準誤差を示す。オオハマボウの調査は1999年度のみ行った。(●: 兄島モンテンボク、○: 父島モンテンボク、×: 父島オオハマボウ)

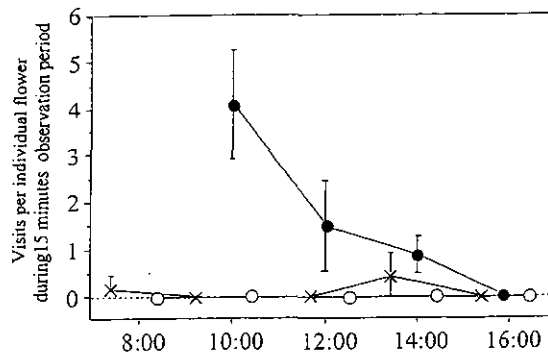


図2 1999年6月の各集団での訪花昆虫の訪花頻度。バーは標準誤差を示す。(●: 兄島モンテンボク、○: 父島モンテンボク、×: 父島オオハマボウ)

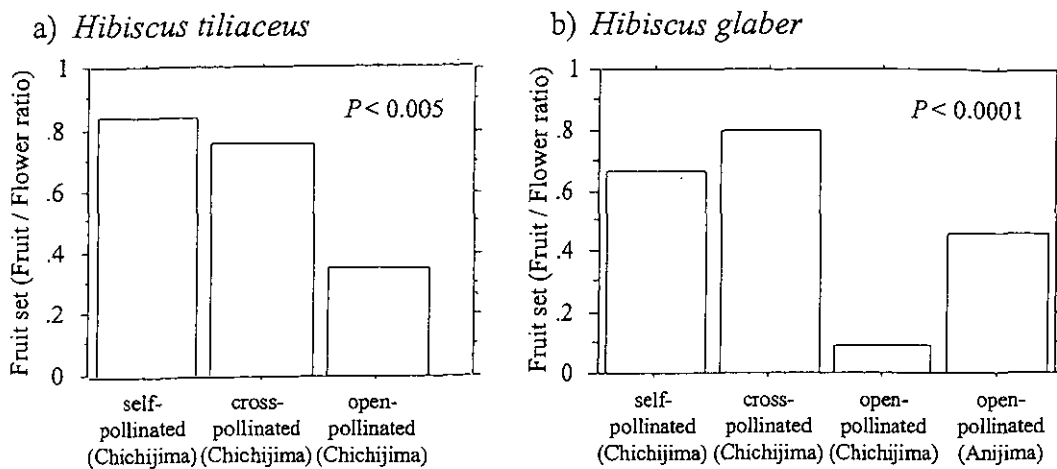


図3 結果率

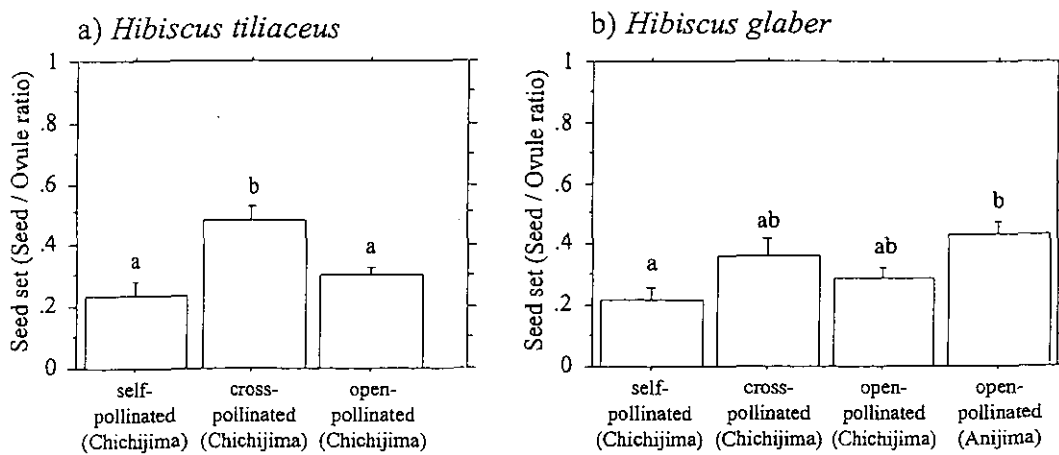


図4 受粉実験処理後、及び自然状態における各集団の結実率の比較。バーは標準誤差を示す。

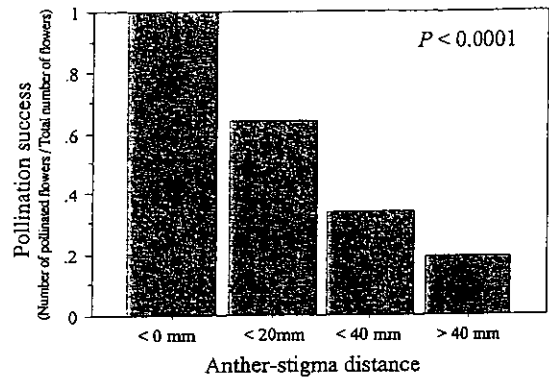


図5 父島のモンテンボク集団の葯柱頭間距離と受粉成功率。

父島列島南島のオオハマボスの個体群動態

Population dynamics of *Lysimachia rubida* on Minami-jima Island in the Chichi-jima Islands

可知直毅・工藤 洋・鈴木 亮 (東京都立大学理学研究科生物科学専攻)

要旨

父島列島南島において固有植物オオハマボスの個体群動態を調査し、実生の死亡要因とその空間パターンを解析した。その結果、死亡要因として近隣個体との競争と定着地の土壌条件が検出された。これらの効果は個体群や年によって変動したため、それぞれの年や個体群で植物の空間分布が異なった。

Abstract

We analyzed spatial patterns of the mortality of a biennial, *Lysimachia rubida* endemic to the Bonin Islands. Spatial heterogeneity of soil surface conditions caused site-dependent mortality and led to clumped distribution of plants.

1. 序

オオハマボス *Lysimachia rubida* Koidz. (Primulaceae) は小笠原固有の一回繁殖型の多年草である⁵⁾。多年草の中では世代期間は短く、ほとんどが発芽後2年以内に枯死する。1月から4月にかけて種子が発芽し、ロゼット状の葉を展開して栄養成長を続け、翌年の春にその間を生き残った大部分の個体が花をつける。花をつけた個体は種子生産のち夏までには枯死する。本種は海岸付近の日当たりのよい斜面に分布しているが、そのような場所は大小様々な石で覆われており、不均一な環境である。また他の植物はイネ科の一部を除きほとんど生育していない。

どのようにしてオオハマボスは他の植物の生育しない不均一な環境で個体群を維持しているのだろうか。また、世代期間の短い一回繁殖型という生活史は、そのような環境に適応した結果なのだろうか。我々はこれらの問題を検証するために、1998年3月から個体群の追跡調査を行っている。ここでは、個体数を減少させる要因の一つである、発芽後の実生の死亡要因を推定した結果を報告する。死亡要因として、各個体が定着した地表面の状態と、他個体との競争を想定しそれぞれの効果を検出した。

2. 調査

1) 野外調査

小笠原諸島父島列島南島のオオハマボス集団を調査対象とした。南島は島全体が石灰岩で形成され、調査区も直径約1~30cmまでの石灰岩質の石で覆われた開放地である。1998年3月に南島の東側斜面に4m×4mの調査区を設置し、調査区内に1998年1月以降新しく発芽した全個体のマッピングとラベリング、サイズ測定をおこない1998年の同齡集団を特定した。以後その同齡集団を追跡して各調査時に個体の生存判定を行った。調査は1998年3月20日、5月2日、6月27日、8月3日、10月1日、1999年1月18日、3月9日、5月7日の8回行った。そのうち1998年3月、10月、1999年1月、3月、5月では全個体のロゼットの短径と長径を測定した。複数のロゼットを持つ個体はそれぞれのロゼットについて短径、長径を測定し、各ロゼットの面積(短径×長径× $\pi/4$)の合計を個体サイズの指標とした。

調査区内にはクサトベラ *Scaevola sericea*, ソナレシバ *Sporobolus virginicus*, コウライシバ *Zoysia tenuifolia* が所々にパッチ状に存在していた。

2) 解析法

オオハマボスの実生の死亡が個体サイズ、局所密度、地表面の状態に依存しているかを統計的に解析した。局所密度として、各個体を中心に半径0~5cm, 5~10cm, 10~15cmの環内にいた近隣個体の密度をそれぞれ計算した。地表面の状態を評価するために調査区を10cm×10cmの小区画に細分化して、各小区画の地表面の状態を石の大きさによって5段階評価で記録した(図1)。解析にはロジスティック回帰分析^{2), 3)}を用いた。この解析によって、実生の死亡率が個体サイズ、局所密度(0~5cm, 5~10cm, 10~15cmの3つ)と地表面の状態(石の大きさ)の計5つの独立変数によって説明されると仮定し、それぞれの独立変数の値が増加した時に死亡率がどう変化するかをもとめることができる。各独立変数は標準化(観測値-平均)/標準偏差)して解析した。

3. 結果

1) 実生の空間分布と死亡率の季節変化

1998年3月の最初の調査時に1037個体生存していた実生は1999年5月までに119個体に減少した。その間の死亡率は季節的に変化し、8月~10月の夏を境に1998年3月~8月、10月~1999年5月の死亡率が高かった(図2)。この2つの季節での生存個体と死亡個体の空間分布を比較すると、1998年3月~8月の季節では生存個体と死亡個体が混在していたのに対し、10月~1999年5月の季節では死亡個体と生存個体は空間的に別れて集中していた(図3)。そこで、1998年3月~8月、10月~1999年5月の2つの季節に関してそれぞれの死亡率に影響を与えた環境要因を検討した。

2) 実生の死亡要因

ロジスティック回帰分析の結果、2つの季節でそれぞれ異なる死亡要因が検出された(表1)。1998年3月~8月の季節では死亡率は0~5 cm, 5~10 cm の範囲の局所密度の増加にもなって高くなり($P < 0.001$)、10~15 cm の範囲の局所密度が増加するほど低くなった($P < 0.0001$)。また、個体サイズが大きくなるほど死亡率が低くなった($P < 0.0001$)。一方、1998年10月~1999年5月の季節の死亡は局所密度や個体サイズの影響を受けず、地表面の石の大きさにのみ依存し、定着地の石が大きくなるほど死亡率が高くなった($P < 0.0001$)。

4. 考察

調査対象のオオハマボス個体群では各個体の定着した地表面の状態と、他個体との競争の2つの効果によって実生が死亡した。1998年3月~8月の季節は局所密度、個体サイズに依存した死亡であった。高密度下では個体間で資源をめぐる競争が起こり、死亡率が高くなったり成長が悪くなることが知られている⁴⁾。したがって、この時期の実生の死亡は近隣個体間での競争の結果であることが推測される。一方、1998年10月~1999年5月の季節の死亡は局所密度や個体サイズに依存せず、地表面の石の大きさにのみ依存した。石の大きさは土壌の水分条件を反映しているかも知れない。大きい石の場所ほど水分の保持能力が低いと予想される。したがって、この時期の実生の死亡は定着地の水分環境の差による影響であることが推測される。また、局所密度や個体サイズに依存しなかった理由として、地表面の石の大きさに対応した環境がパッチ状に分布していることがあげられる。つまり、局所密度や個体サイズがどうであっても、石が大きい環境のパッチに定着した個体は全体に死亡率が高く、石の小さい環境のパッチに定着した個体は全体に死亡率が低くなるという現象が起こったためと考えられる。10月~1999年5月の季節に死亡個体と生存個体が空間的に別れて分布していたことは、死亡率の高い環境と低い環境のパッチ状分布を示唆している。

謝 辞

本調査を進めるにあたり、環境庁南関東地区事務所に採集許可をいただいた。また小笠原総合事務所国
有林課、東京都総務局小笠原支庁土木課自然公園係の皆様には様々な便宜を図っていただいた。東京都海洋環境保全協会小笠原海洋センターの佐藤文彦氏には調査地への人員輸送に協力していただいた。安井隆弥先生(元小笠原高校)、延島冬生氏(小笠原村役場)、藤井紀行氏(東京都立大学牧野標本館)、藤田卓氏(東京都立大学牧野標本館)、加藤朗子氏(東京都八王子市)、東京都立大学理学部植物生態学研究室の皆様には現地調査に同行していただき、様々な協力と有益な助言をいただいた。以上の方々に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) De Jong, T. J. & Klinkhamer, P. G. L. (1988) Population ecology of the biennials *Cirsium vulgare* and *Cynoglossum officinale* in a coastal sand-dune area. *Journal of Ecology*, 76: 366-382.
- 2) Klinkhamer, P.G.L., de Jong, T.J. and Meelis, E. (1987) Delay of flowering in the 'biennial' *Cirsium vulgare*: size effects and devernalization. *Oikos*, 49: 303-308.
- 3) Klinkhamer, P.G.L., de Jong, T.J. and de Heiden, J.L.H. (1996) An eight-year study of population dynamics and life-history variation of the 'biennial' *Carlina vulgaris*. *Oikos*, 75: 259-268.
- 4) Mack, R. N. & Harper, J. L. (1977) Interference in dune annuals: spatial pattern and neighborhood effects. *Journal of Ecology*, 65: 345-363.
- 5) 豊田武司 (1981) 『小笠原植物図鑑』アポック社(鎌倉)、182 p.

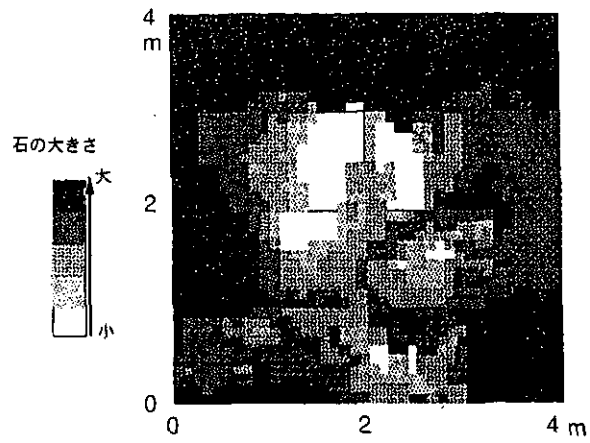


図1 南島調査区内の石の大きさの分布

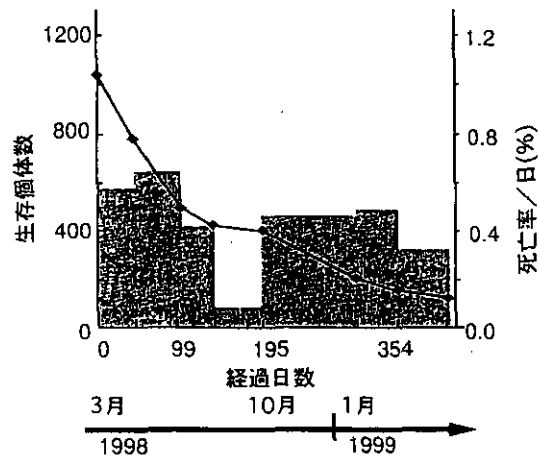
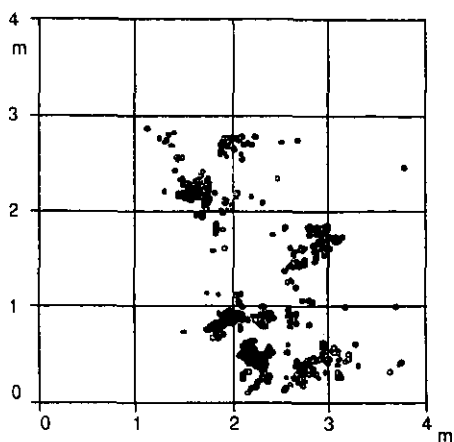
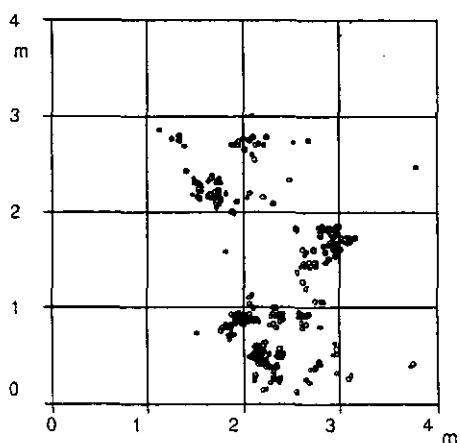


図2 死亡率の季節変化 折れ線は生存個体数を表し、灰色の棒は調査期間の平均死亡率を表す。

a) 3月～8月



b) 10月～翌5月



● : 生存個体 ○ : 死亡個体

図3 死亡個体と生存個体の空間分布

表1 1998年3月～8月と10月～翌5月の死亡の環境要因

独立変数	3月～8月	10月～翌5月
	回帰係数	
局所密度 (半径0-5cm)	-0.48 **	0.12
局所密度 (半径5-10cm)	-0.56 **	-0.28
局所密度 (半径10-15cm)	0.48 ***	0.33
個体サイズ	1.09 ***	0.08
地表面の状態 (石の大きさ)	0.09	-0.46 ***

表中の回帰係数は独立変数の値が増加した時の生存率の変化を表す。係数が負の時はその変数の値が増加した時生存率が低下することを意味する。

印はそれぞれ: $P < 0.01$, **: $P < 0.001$, ***: $P < 0.0001$ の有意水準を表す。

小笠原諸島固有草本オオハマボスの発芽時期決定に関与する種子発芽特性

Germination characteristics affecting the time of germination in *Lysimachia rubida*, an endemic plant to the Bonin Islands

可知直毅・工藤 洋・市川百合子（東京都立大学理学研究科生物科学専攻）

要旨

小笠原諸島固有の一回繁殖型草本であるオオハマボスの種子発芽特性の変化を追う発芽実験を行った結果、冬に芽生えが観察されるのは、種子の発芽可能温度域が時間経過により高温側へ広がることと生育地の気温の低下によって発芽に適した条件が整うためと推察した。

Abstract

Germination experiments were conducted to determine the germination characteristics of *Lysimachia rubida*, an endemic plant to the Bonin Islands. Temperature ranges for seed germination shifted towards higher temperatures during the course of seed storage at room temperatures. This may allow the dispersed seeds to germinate in late autumn and winter in the field.

1. 序

種子のみによって繁殖を行なう植物、特に一回繁殖型の植物では個体群への新規加入個体は全て種子によって賄われるため、長期にわたり個体群を維持していくためには個体が定着し次世代の種子を生産しなくてはならない。よって、実際に野外で長期間自然個体群が成立している一回繁殖型の植物はその環境に適応した生活史を持つはずである¹⁾。一般に生活史のなかで最も死亡率が高いのは実生の段階であり²⁾、それ以降も個体数は徐々に減少するが、実生段階での死亡を少なくすることにより繁殖まで至る個体数を多くできる可能性がある。そのために、種子が実生の成長に適した環境（セーフサイト）を察知して発芽時期や場所を決定する特性をもつことが個体群の局所的絶滅を回避する上で適応的であると考えられる。

逆に、発芽特性を調べることからセーフサイトを類推することが可能である。セーフサイトの条件を明らかにすることは種の保全上重要であり、セーフサイトの時間的・空間的分布は個体群動態や生活史の進化に大きな影響を与えると考えられる。

本研究では小笠原諸島の固有種である一回繁殖型草本オオハマボスについて、種子発芽特性に基づいて本種の発芽のためのセーフサイトの条件を明らかにし、本種の発芽特性の適応的意義を考察することを目的とする。ここでは、成長に不適な時期を回避していると解釈できる種子の成熟・散布から実生が観察されるまでの数カ月間の時間的ずれの原因を明らかにし、その間の環境の変化が実生の成長に及ぼす影響について考察する。

2. 材料

材料として小笠原諸島固有の一回繁殖型草本オオハマボス *Lysimachia rubida* Koidz.（サクラソウ科）を用いた。本種は主に日当たりのよい海崖に分布している。これまでの野外個体群の観察によると、1～3月に実生が出現し、約1年間栄養成長した後、翌年の3～6月に開花、8～9月にかけて種子散布を行なう。開花期には15～30cmの高さになり、総状花序をつくる。0.5～1cmの白色の筒状花をつけ直径5mm程度のさく果をつくる。さく果あたりの種子数は平均55個（22-68）、ロゼットあたりのさく果数は平均16.7個（3-92）である。一個体あたりのロゼット数は1～6だが、個体差（地域間差）が大きい。種子は黒色で直径1mm、100粒あたりの重さは約1.84mgである。

3. 方法

1) 種子採集

発芽実験に用いた種子は全て1999年7月25日に小笠原諸島父島列島南島でさく果ごと採集し、2日間直射日光にあてた後、さく果からとりだした。種子を50粒ずつにわけ葉包紙に包み、実験開始まで室温で乾燥保存した。

2) 発芽実験

直径9cmのプラスチックシャーレに石英砂約30gをいれ、種子を50粒播種し蒸留水をそそいだものを1シャーレのセットとした。ひとつの実験条件につき3枚のシャーレを反復として用いた。幼根が突出した時点で発芽とみなし、実験開始から1日おきに発芽種子をカウントし取り除く作業を30日間行なった。

発芽の温度依存性を調べるため、インキュベーター内に10、20、30、40、50℃の恒温・連続明条件を設定した。また、乾燥保存期間が発芽特性に与える影響を調べるため、同様の実験を3回（1999年9月9日、10月27日、2000年1月11日から開始）行なった。

3) 埋土実験

ポリエステルのメッシュ袋 (9.5 cm × 7 cm) に種子 50 粒をいれ、シードバッグとした。1999 年 7 月 28 日に小笠原諸島父島内のオオハマボス自然個体群が成立している場所 (ブタ海岸) にシードバッグを埋土した。地表面と深さ 5cm にそれぞれ 3 袋ずつを 1 組とし、同年 10 月 23 日、2000 年 1 月 7 日に掘り出し、それぞれ 10 月 27 日、1 月 11 日から 20°C の恒温・連続明条件下で 30 日間発芽実験を行なった。実験後、シャーレに残留した種子を剃刀で切って内部を確認し、内部が白く固ければ生存、黒く柔らかくなっていたら死亡とし、全体に対する各割合を求めた。

4. 結果

1) 発芽実験

採集後 46 日間乾燥保存した後 (9 月) の発芽実験では 10°C、20°C での 30 日目の積算発芽率はそれぞれ 52%、73% であった。採集後 94 日間の乾燥保存後 (11 月) では 10°C、20°C でそれぞれ 33%、88% であった。採集後 170 日間の乾燥保存後 (1 月) では 10°C、20°C に加え 30°C でも発芽が観察された。積算発芽率はそれぞれ 13%、81%、17% であった (図 1~4)。

10°C では実験時期が遅くなるほど発芽開始まで時間がかかり (それぞれ 20, 22, 24 日)、20°C では 11 月、9 月、1 月の順に遅くなった (それぞれ 10, 12, 14 日)。また、発芽可能温度域内では温度が高いほど発芽が早く始まった。

2) 埋土実験

10 月に回収した種子はほとんどが生存しており、発芽可能な状態を保っていた。室温乾燥保存のものと同様に野外に置いたもの (地表面・5cm 深) はほぼ同様な生存率を示した (30 日目の積算発芽率 90%、88%) (図 5)。しかし 1 月に回収したのものには種皮のみになっているものがみられ、回収前の発芽が示唆された (図 6)。また、1 月に回収したシードバッグにはサイトによって休眠種子の割合に差が認められた。

5. 考察

オオハマボスの種子は成熟直後、完全な休眠状態にはないが後熟により発芽可能温度域が拡大する相対的休眠状態⁹⁾にあることが明らかになった (図 4)。散布直後の時期は気温は発芽可能温度域を上回っており野外での発芽はおこらないが、気温が低下する秋から冬にかけて、種子自体の発芽可能温度域も上昇することにより、発芽に適した温度環境が整い野外での発芽が可能になると推察される。実験的に野外に置いた種子も 10 月末までは発芽しないことが明らかとなり、これは野外での実生の出現の観察と一致する。

このような性質は越年草 (冬緑生一年草) に多く見られる^{8), 7), 3)}。これらの種では低温を経験することにより二次休眠が誘導され、一年単位で休眠/非休眠のサイクルを繰り返している場合があり^{2), 3)}、オオハマボスにおいても二次休眠の可能性がある。しかし、本種の生育地は亜熱帯域であり、冬季でも二次休眠が誘導されるほどの低温にはならないと考えられる。

発芽可能な条件に置かれても種子が実際に発芽するまでには一週間以上かかっている。発芽開始の遅れは他の海崖に生育する植物でも知られており^{3), 6)}、不安定な水環境の生育地のなかでも比較的保水力の高い場所でのみ発芽することを可能にする。このような性質は発芽から実生段階での乾燥による死亡を避けるために重要である。

埋土実験から発芽に光要求性があることが示唆された。これは直径 1 mm という微小な種子が土壌深層で発芽し地上に出現できずに死亡することを防ぐ効果をもつ。

1 月に回収したサイト C の種子の一部は 20°C の実験下で休眠を示したことから (図 6)、自然条件下にある種子はおかれた場所によって異なる動態を示すことが明らかになった。これは種子が経験する環境の差異によりもたらされるものであると考えられる。サイトによって異なる具体的な環境要因は明らかでないが、発芽の可能性が環境により変化する事実は埋土種子の存在を示唆するものである。

以上のことから、自然条件下にある種子のうち実際に発芽するのは、発芽可能な環境の整う冬に保水力の高い土壌の表層にあるものであると予想される。しかし、この時期は年間でも降水量が最も少なく土壌が乾燥しやすいと考えられるため、種子を相対的休眠状態で散布することがどの程度適応的であるかには疑問が残る。しかし、本種は主に裸地に生育しているので土壌表層の地温は日中かなりの高温まで上昇すると思われ、土壌の水環境については日射量や気温 (土壌温度) との関連も考慮しなくてはならない。今後、これらの環境データを測定し、本種のセーフサイトの条件についてより具体的に明らかにすることが必要である。

参考文献

- 1) Baskin, J.M. & Baskin, C.C. (1971) Germination ecology and adaptation to habitat in *Leavenworthia* spp. (Cruciferae). *American Midland Naturalist*, **85**: 22-35.
- 2) Baskin, J.M. & Baskin, C.C. (1985) The annual dormancy cycle in buried weed seeds: a continuum. *BioScience*, **35**: 492-498.
- 3) Baskin, C.C. & Baskin, J.M. (1998) *Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*.

Academic Press.

- 4) Harper, J.L. (1977) *Population Biology of Plants*. Academic Press, London.
- 5) Mariko, S., Kachi, N., Ishikawa, S. & Furukawa, A. (1992) Germination ecology of coastal plants in relation to salt environment. *Ecological Research*, **7**: 225-233.
- 6) Mariko, S., Kachi, N. (1995) Seed ecology of *Lobelia boninensis* koidz. (Campanulaceae), an endemic species in the Bonin Islands (Japan). *Plant Species Biology*, **10**: 103-110.
- 7) Newman, E.I. (1963) Factors controlling the germination date of winter annuals. *Journal of Ecology*, **51**: 625-638.
- 8) Ratcliffe, D. (1961) Adaptation to habitat in a group of annual plants. *Journal of Ecology*, **49**: 187-203.
- 9) 鷲谷いづみ (1996) 休眠・発芽特性と土壌シードバンク調査・実験法. 保全生態学研究, **1**: 89-98.

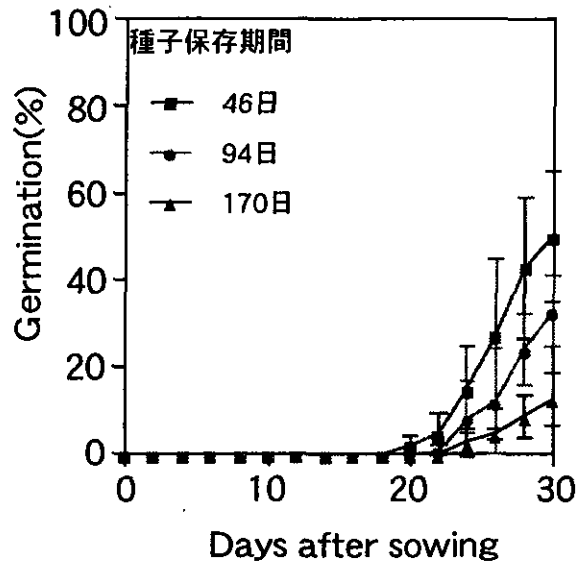


図1 室温乾燥保存期間の異なるオオハマボス種子の10°C恒温下での30日間の発芽曲線。バーは3反復の標準偏差を示す。

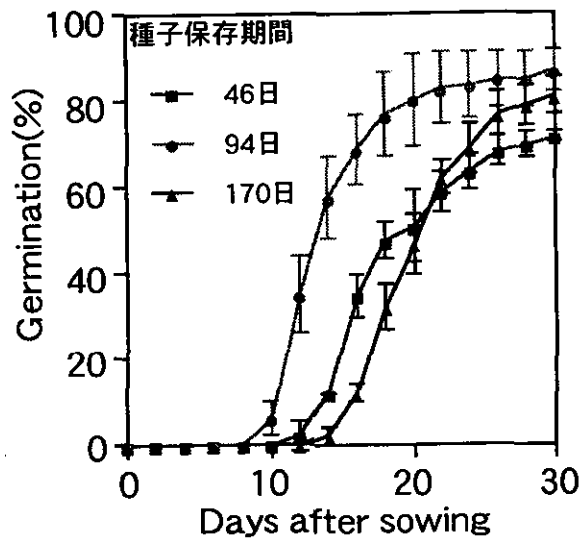


図2 室温乾燥保存期間の異なるオオハマボス種子の20°C恒温下での30日間の発芽曲線。バーは3反復の標準偏差を示す。

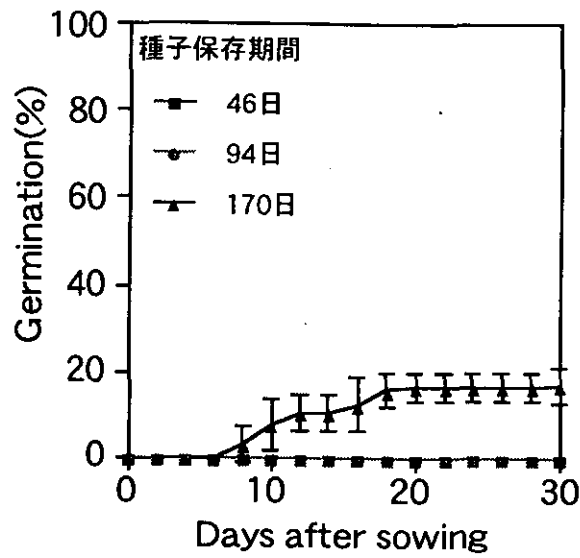


図3 室温乾燥保存期間の異なるオオハマボツス種子の30℃恒温下での30日間の発芽曲線。バーは3反復の標準偏差を示す。

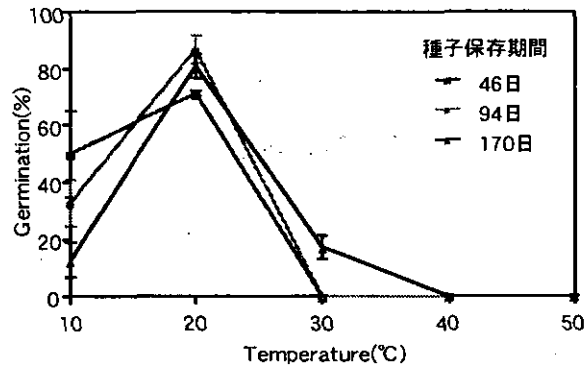


図4 室温乾燥保存期間の異なるオオハマボツス種子の30日目の発芽率と温度との関係。バーは3反復の標準偏差を示す。

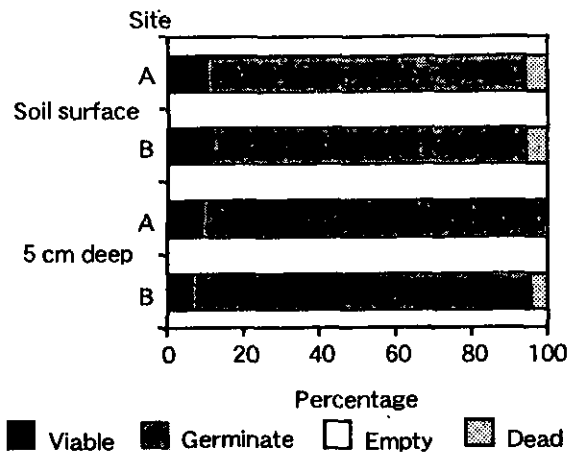


図5 1999年10月回収種子の発芽実験開始から30日後の状態。

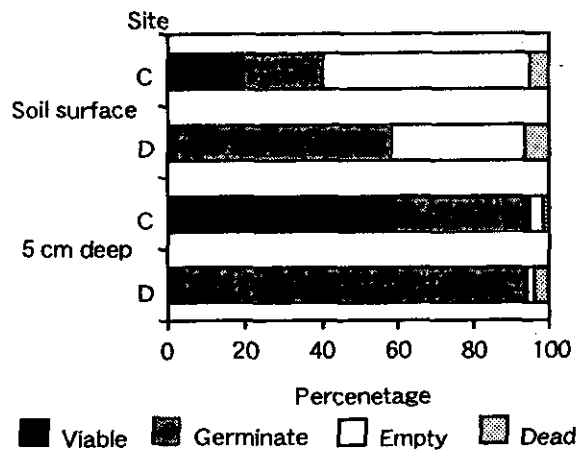


図6 2000年1月回収種子の発芽実験開始から30日後の状態

小笠原諸島父島における大型土壌動物の群集構造と安定性

石澤夢紫・竹原明秀 (岩手大学人文社会科学部生物学教室)

要旨

父島において異なる4つの群落型において大型土壌動物の群集構造を調査した。この結果、群落型ごとに群集構造は異なっており、人工林では出現群数、個体数ともに少なかった。また、1977年とくらべて等脚目のいちじるしい減少や群集構造の変化が認められた。

Abstract

Community structures of macro soil animals were investigated at the four different plant communities in the Chichijima Island. As a result, community structures at the each plant communities were different, and in the artificial forest, both numbers of individuals and groups (class or order) were very few. Community structures compared 1999 with 1977, it considered that the number of order Isopoda was decreased markedly and community structures changed.

1.序

一般に、大洋島は多くの固有種からなる特殊な生態系が成立している。その生態系は外部からの移入種や微細な環境の変化に影響を受けやすいため、安定性や維持能力が低いともいわれている。東京から1000 km南方に位置する小笠原諸島もこのような大洋島としての特性を持ちあわせている。さらに父島は人口密度が最も高く、古くから開発が進んでいるため、人為的攪乱によって植生は大きく変化し、様々な植生タイプ(自然林、二次林、人工林など)がモザイク状にみられる。そこで植生タイプの異なる4つの群落型において、分解者としての重要な役割を担っている大型土壌動物群集について種類組成を中心に調査をおこなった。さらに1977年に青木・原田¹⁾によっておこなわれた調査結果と比較し、現在の土壌動物の群集構造がどのように変化したかを検討し、その原因を考察することにした。

2.調査方法

大型土壌動物の調査は、次の4つの群落型でおこなった。

シマイスノキ林: 乾性に発達する自然林(植生高1.2m、植被率70%)

オガサワラビロウ林: 適潤地に発達する自然林(植生高12m、植被率90%)

ムニンヒメツバキ林: 適潤地にみられる二次林(植生高15m、植被率80%)

ギンネム林: 適潤地にみられる人工林(植生高4 m、植被率60%)

調査は2通りの方法でおこなった。1999年6月27日~7月4日に群落型ごとに土壌ブロック(表面積25×25 cm、表層堆積物と深さ5cm分の土壌)を5個採取し、ハンドソーティング法を用いて土壌動物を肉眼で採集した。1999年11月3日~12日に群落型ごとに土壌ブロックを2個採取し、大型のツルグレン装置を用いて電球の熱と光によって下部へと落下した土壌動物を採集した。

3.調査結果

2通りの調査方法の結果を比較すると、ツルグレン装置を用いた方法では全体的にハチ目が多数採集され、クモ目は少数で総個体数も多かった(表1)。ハンドソーティング法ではクモ目が多数採集された。出現群数は両者に大きな違いはみられず、また動物群の構成についても大きな違いはなかった。

各群落型の特徴は次の通りであった。

シマイスノキ林

優占種は甲虫目の幼虫で、その多くはハナノミ科の一種であった。ヤスデ綱、ハチ目も多数出現し、コムシ目、等脚目が少数含まれた。

オガサワラビロウ林

優占種はハチ目で、クモ目、ヤスデ綱、甲虫目、コムシ目が多数出現した。これ以外の動物群はわずかながら含まれた。この地点からは、小笠原諸島の固有種であるサワダムシが少数採集された。

ムニンヒメツバキ林

オガサワラビロウ林の構成ときわめて似ており、ハチ目が優占種となり、クモ目、ヤスデ綱も多数出現し、この地点でもサワダムシが少数採集された。大型土壌動物には含まれないヒメミズも多数見出された。

ギンネム林

優占種は採集した時期で異なり、6月でクモ目、11月でハチ目であった。ヤスデ綱、甲虫目も多数出現した。ムカデ綱はほかの地点にくらべ最も多かった。出現群数、総個体数とも4つの群落型の中で最も少なかった。

これらからそれぞれの特有の群集構造がみられた。特に人工林であるギンネム林は自然林や二次林であ

るほかの群落型とくらべ、出現群数、個体数とも非常に少なかった。しかし4つの群落型とも州の森林で普通のムカデ目やハエ目がほとんど出現しないという傾向がみられた。

4. 考察

小笠原諸島父島の土壌動物に関する調査は、1977年に青木・原田¹⁾によっておこなわれている。その中から、今回の調査と同様の調査方法に基づく結果について、群落型ごとに比較・検討することにする。なお、1977年の大型土壌動物の構成を表2に、1977年と1999年の動物群の構成を図1に示す。

1977年における群落型ごとの群集構造は次の通りであった。シマイスノキ林では等脚目が優占し、端脚網やチャタテムシ目が出現した。オガサワラビロウ林では等脚目が優占し、端脚目、ゴキブリ目、バッタ目、チャタテムシ目が少数みられた。ムニンヒメツバキ林ではヤスデ網が優占し、全体の出現群数は最も少数であった。ギンネム林では等脚目が圧倒的に優占し、端脚目も多数出現した。またハサミムシ目、チャタテムシ目もみられた。

これらの状況と1999年の結果を比較すると、全体的に等脚目の個体数が激減したことと、動物群の構成にも変化がみられた。ギンネム林においては、1977年に等脚目が3088.0個体/m²であったのに対して、1999年には8.0個体/m²と大きく減少した。さらにほかの群落型(モモタマナ林、モクマオウ林など)でも、1977年には大型土壌動物の70%以上が等脚目であったが1999年の観察では等脚目はほとんど認められず、20年という短期間で土壌動物相が激変したと推定される。

富山・黒住²⁾によると、兄島以外の小笠原諸島の陸産貝類が絶滅した要因として、森林伐採後に林床部が急激に乾燥し、そのあとに陸産貝類が再び定着することができなかつたためであるとしている。本調査によって得られた20年間の等脚目の激減は、1980年の干ばつ、1980年前後からはじまったリュウキュウマツの一斉枯死、1983年の大型台風による林冠部の消失などが要因となって起こった土壌表層部の極端な乾燥化が原因となっていると考えられる。しかしこのことについては今後の更なる実証的調査が必要であろう。

5. まとめ

大洋島は、自然環境の維持機構が非常に脆弱であるため、生態系は環境の変化の影響を受けやすい。これは20年間の間に等脚目が崩壊したという今回の調査結果からもいえることである。土壌動物の群集構造が変化することによって、土壌表層部の物質循環にも変化がみられる可能性があることから、本来の生態系を維持していくことは極めて重要であるといえる。

参考文献

- 1) 青木淳一・原田 洋 (1978) 小笠原諸島の土壌動物相の研究 I. 土壌節足動物の群集構造. 国立科博専報、(11)、pp.91-106.
- 2) 富山清升・黒住耐二 (1991) 小笠原諸島の陸産貝類の生息状況とその保全. 第2次小笠原諸島自然環境現状調査報告書、東京都立大学、pp.245-282.

表1 大型土壤動物の組成 (1999年6月と11月; 個体数/1 m²)

群落型 調査年月	シマイスノキ林		オガサワラビロウ林		ムニンヒメツバキ林		ギンネム林	
	1999年		1999年		1999年		1999年	
	6月	11月	6月	11月	6月	11月	6月	11月
クモ網カニムシ目	12.8	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.0
クモ網ヤイトムシ目	0.0	0.0	0.0	24.0	0.0	24.0	0.0	0.0
クモ網クモ目	89.6	16.0	67.2	48.0	99.2	8.0	105.6	8.0
甲殻網等脚目	0.0	48.0	3.2	8.0	0.0	24.0	0.0	8.0
ヤスデ網	96.0	40.0	12.8	176.0	25.6	368.0	28.8	72.0
ムカデ網	6.4	8.0	12.8	16.0	9.6	32.0	3.2	56.0
コムカデ網	0.0	0.0	0.0	32.0	0.0	0.0	0.0	0.0
昆虫網コムシ目	41.6	56.0	6.4	192.0	16.0	16.0	0.0	0.0
昆虫網ガロアムシ目	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
昆虫網カメムシ目	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	3.2	0.0
昆虫網甲虫目	320.0	704.0	6.4	480.0	6.4	64.0	22.4	128.0
昆虫網ハエ目	12.8	0.0	3.2	32.0	0.0	48.0	0.0	16.0
昆虫網ハチ目	121.6	224.0	227.2	2496.0	192.0	1296.0	19.2	880.0
総個体数	707.2	1120.0	339.2	3504.0	352.0	1880.0	182.4	1184.0
動物群数	11	8	10	10	9	11	6	8

表2 大型土壤動物の組成 (1977年6月; 個体数/1 m²)¹⁾

群落型 調査年月	シマイスノキ林		オガサワラビロウ林		ムニンヒメツバキ林		ギンネム林	
	1977年		1977年		1977年		1977年	
	6月	6月	6月	6月	6月	6月	6月	6月
クモ網クモ目	35.2	38.4	12.8	38.4	0.0	38.4	0.0	38.4
甲殻網端脚目	44.8	128.0	0.0	435.2	0.0	435.2	0.0	435.2
甲殻網等脚目	99.2	956.8	6.4	3088.0	6.4	3088.0	6.4	3088.0
ヤスデ網	9.6	310.4	169.6	102.4	169.6	102.4	169.6	102.4
ムカデ網	3.2	9.6	0.0	16.0	0.0	16.0	0.0	16.0
昆虫網ゴキブリ目	0.0	12.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
昆虫網バッタ目	0.0	12.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
昆虫網ハサミムシ目	0.0	0.0	0.0	12.8	0.0	12.8	0.0	12.8
昆虫網カメムシ目	3.2	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
昆虫網チャタテムシ目	9.6	64.0	0.0	3.2	0.0	3.2	0.0	3.2
昆虫網甲虫目	0.0	9.6	32.0	9.6	32.0	9.6	32.0	9.6
昆虫網ハエ目	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
昆虫網ハチ目	44.8	32.0	80.0	6.4	80.0	6.4	80.0	6.4
総個体数	249.6	1584.0	300.8	3712.0	300.8	3712.0	300.8	3712.0
動物群数	8	11	5	9	5	9	5	9

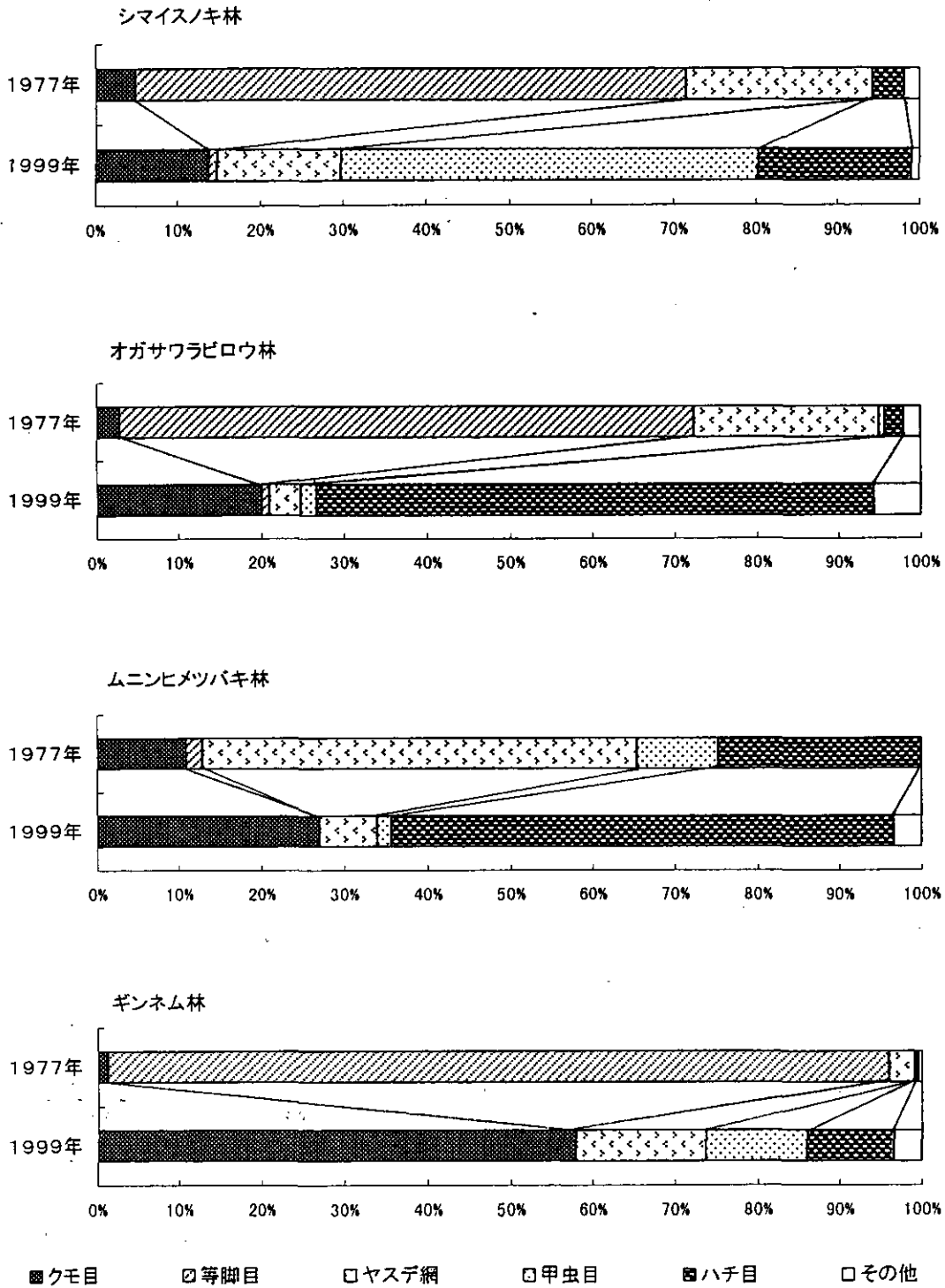


図1 1977年¹⁾と1999年の群落型ごとの土壌動物群の構成

小笠原諸島父島におけるヤシの分布と生態の多様性

竹原明秀 (岩手大学人文社会科学部)

要約

小笠原諸島父島において、ヤシ科植物 4 種の分布や形態的・生態的特徴を調査した。その結果、固有種のノヤシとオガサワラビロウは自然植生域、移入・帰化種のヤマドリヤシやクロツグなどは人為的な影響を受けた地域に分布がみられた。特にノヤシの個体群構造は歪んでおり、種維持にとって十分な個体数が生存しているとは言い切れない。

Abstract

The distributions, morphological and ecological characteristics of 4 palms were investigated in the Chichijima Island. As a result, endemic species (*Clinostigma savoryanum* and *Livistona chinensis* var. *boninensis*) were distributed in the natural vegetation area, and imported and/or naturalized species (*Chrysalidocarpus lutescens* and *Arenga tremula* var. *engleri* et al.) were detected in the human disturbed area. Especially, the population structure of *C. savoryanum* was distorted in growth stage, and the number of individuals was not enough to preserve species from extinction.

1. 序

ヤシ科植物は熱帯から亜熱帯にかけて分布する木本植物で、直立する幹とその先端に叢生する多数の大型の葉からなる樹形をなし、形態的にも生態的にも多様な特徴を有している。特に熱帯多雨林では多種多様なヤシが混生し、熱帯の独特の植生相観を形成する役割を果たしている。また、ココヤシ、アブラヤシ、ナツメヤシなどでは工業原料、トウ、カナリーヤシ、ワシントンヤシなどでは建築材料、街路樹、庭園木などの用途が知られ、熱帯から温帯にかけて広く栽培されている。さらに栽培木からの逸出や帰化がしばしばみられ、原産地から離れた地域にも分布域を広げている種もある。

日本では 6 属 6 種のヤシが分布し、小笠原諸島では固有種のノヤシとオガサワラビロウ、移入 (逸出)・帰化種のヤマドリヤシ、クロツグ、カブダチクジャクヤシなどが生育している。これらの種のうち、ノヤシは属の起源が特異的で生育する個体数も少ないことから、保護上重要な野生生物種 (東京都指定 C ランク⁴⁾) に指定されている。一方、多くの移入・帰化種は人為的に持ち込まれた個体から各地に分散し、広がっていったと考えられ、種による分散能力や生活様式の違いによって、現在の分布・生育状況は大きく異なっている。

本研究では、小笠原諸島父島においてノヤシとオガサワラビロウを主体に、移入・帰化種を含めたヤシの分布や生態を明らかにし、大洋島という特殊な立地環境を考慮に入れた種の保護方法を考察する。

2. 調査方法

調査は次の二つの内容を 1998 年 6 月、9 月、1999 年 3 月、11 月、2000 年 3 月に行った。

2-1. 全島レベルのヤシの分布

父島におけるヤシ科植物 (表 1) の分布を明らかにするために、夜明道路以北の地域を主体に踏査し、眺望が効く稜線上 (中央山、傘山、夜明山、乳頭山など) や道路・遊歩道から双眼鏡などを用いて、実生・稚樹を除いた個体の位置を地図上に記録した。

2-2. 谷頭におけるヤシの分布・生態

初寝山山頂から約 200m 西南西にある小さな谷頭において、微地形を考慮に入れた約 70m×40m の調査区 (面積 0.15ha) を設置し、その中に出現したヤシ全個体と胸高直径 (DBH) が 8 cm より大きい樹木に関して、マッピングと毎木調査を行い、ヤシに関しては葉の数や結実の有無なども記録した。

3. 調査結果

3-1. 全島レベルのヤシの分布

ヤシの分布は固有種と移入・帰化種では明らかに異なっていた (図 1)。

ノヤシは単木状に生育し、中央山東側から初寝山西側と北側、傘山東側、乳頭山南側などの自然植生¹⁾内の沢沿いでやや湿性な立地に生育していた。記録できた成熟木は林冠から抜け出したものが主で 100 個体強であったが、父島全体ではこの 1.5 倍を超えない程度の個体数があると考えられた。一方、オガサワラビロウは父島において最も普通の樹木²⁾といわれ、尾根上の乾性から斜面中部の適潤地に分布し、ノヤシとは排他的な関係にあった。

ヤマドリヤシ (一般名アレカヤシ) は境浦～扇浦～小曲～長谷に至る道路沿いを主体に、家屋や耕作地の周辺などに分布していた。これらは植栽されたものかそれらから逸出したものがほとんどで、場所によっては二次林化された旧耕作地にも残存していた。一方、帰化種のクロツグは西町～清瀬や扇浦～小曲、カブダチクジャクヤシは扇浦～小曲の道路沿いや沢沿いの湿性に分布していた。これらの移入・帰化種は幹を叢生 (ヤマドリヤシで 1 株当たりの幹数は平均 21.5 本) させ、集中的に分布しており、自然性の高

い地域にはほとんどみられず、人為的な攪乱を受けた地域と関連性が高かった。

3-2. 谷頭におけるヤシの分布・生態

調査区 (図 2) における樹種毎に算出される基底面積合計値 (BA) からみた優占度が高い種はムニンヒメツバキ、タコノキ、オガサワビロウ、オガサワラボチョウジ、ノヤシの順であった。ノヤシは谷底面や水路内に 17 個体 (成熟木 8 個体、若木 5 個体、実生 4 個体)、オガサワビロウは谷底斜面上～中部に 42 個体 (成熟木 9 個体、若木 16 個体、実生 17 個体) がそれぞれ生育していた。いずれのヤシも樹高が高くなるにつれて葉数は増加し、ノヤシでは樹高 8m 以上、オガサワビロウでは樹高 7.5m 以上になると開花結実が始まり、若木から成熟木へと生育段階が移行していた (図 3)。

4. 考察

固有種のノヤシとオガサワラビロウは自然植生を主体に分布し、単木状に生育している。これに対してヤマドリヤシやクロツグなどの移入・帰化種は人為的な攪乱を受けた地域に分布し、多くの幹を叢生する形態の特徴を有している。さらに移入・帰化種は高い結実率を持ち、鳥類による種子分散能力が高く、今後、分布域を広げていくと考えられる。その結果、固有種が置き換えられる可能性がないとは言いきれない。一方、ノヤシは成熟木に対して実生・若木の個体数は少なく、生育段階による個体群構造は大きく歪み、種維持にとって十分な後継樹が確保されているとはいえない。また、ノヤシは個体数が増加している³⁾といわれているが、人為的影響を受けた地域での実生の多くはカンショオサゾウムシの被害を受け、成熟木に達するまで生残するかは疑問が残る。このため、ノヤシの種維持を考える当たっては、残存する自然植生域に成立する個体群を基本と考え、これらを十分に保護していく必要がある。このことは大洋島という限られた地域でのみ分布する種にとって、同一種でも異なる地域からの個体導入によって遺伝子レベルでの汚染が発生する可能性があるためである。

5. まとめ

以上から、父島におけるヤシ科植物は種によって分布様式や形態的・生態的特徴が大きく異なっている。特に固有種は自然植生域に分布するのにに対して、移入・帰化種は人為的な影響を受けた地域に分布し、分布域を広げる能力を有している。したがって、固有種を保護するためには現存する自然性の高い地域を基本にし、異なる個体群の導入を行わない保護を実行する必要がある。

参考文献

- 1) 大野啓一・井関智裕 (1991) 父島、母島、兄島、弟島の植物群落と植生図—近年の植生変化にふれて—。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、pp.76-126。
- 2) 清水善和 (1981) 父島における主要樹種 67 種の全数推定。小笠原諸島自然環境現況調査報告書 (2)、東京都、pp.55-60。
- 3) 清水善和 (1983) 小笠原の山地型自然林における主要樹木 75 種の親木・稚樹・実生の出現状況について。小笠原研究年報、6: 42-52。
- 4) 東京都環境保全局 (1998) 『東京都の保護上重要な野生生物種』、77p。
- 5) 塚本洋太郎 (総監修) (1994) 『園芸植物大事典コンパクト版』小学館、3099p。

研究発表

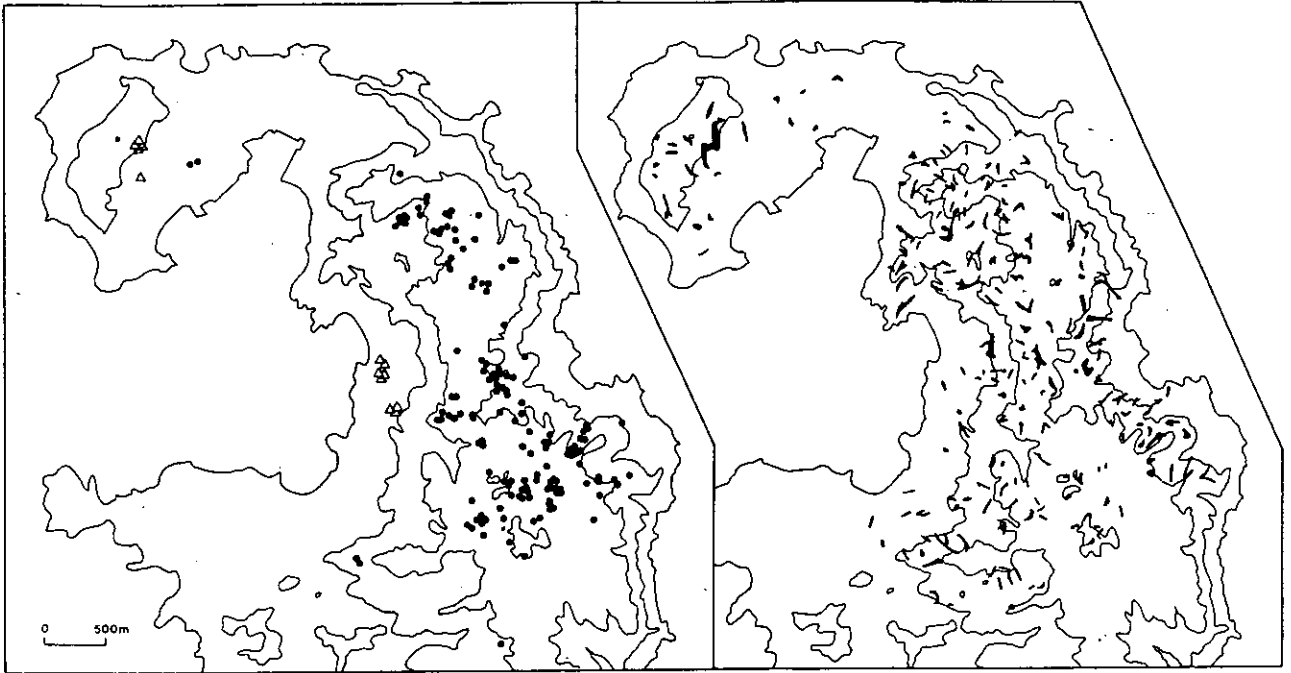
- 1) 竹原明秀 (1999) 小笠原父島におけるノヤシの分布。日本植物学会第 63 回大会 (秋田)。
- 2) 竹原明秀 (2000) 小笠原父島におけるヤシ類の生態。日本生態学会第 47 回大会 (東広島)。

表1 父島に生育する主なヤシ科植物の特徴⁵⁾

和名(学名)	原産地	幹の 形状	幹の高さ (m)	幹の太さ (cm)	果実のサ イズ(mm)	備考
ノヤシ (<i>Clinostigma savoryanum</i>) オガサワラビロウ	小笠原	単生	7~16	15~20	12×9	固有種
(<i>Livistona chinensis</i> var. <i>boninensis</i>)	小笠原	単生	20~23	40~60	25×20	固有変種
ピンロウジュ (<i>Areca catechu</i>)	東南アジア	単生	10~20	10~15	45×25	薬用・嗜好料
クロツグ (<i>Arenga tremula</i> var. <i>engleri</i>)	南西諸島	叢生	2~5	5~10	φ15~20	帰化
カブダチクジャクヤシ (<i>Caryota mitis</i>)	東南アジア	叢生	4~12	10~13	φ10~20	装飾樹・工業原料
ヤマドリヤシ (<i>Chrysalidocarpus lutescens</i>)	マダガスカル	叢生	7~9	5~15	20×15	庭園樹・観葉植物
ココヤシ (<i>Cocos nucifera</i>)	メラネシア	単生	12~30	50~80	350×170	工業原料・鑑賞樹
シンノウヤシ (<i>Phoenix roebelenii</i>)	ラオス	単生	2~4	5~15	12×5	生け花用

ノヤシ (*Clinostigma savoryanum*)

オガサワラビロウ (*Livistona chinensis* var. *boninensis*)



ヤマドリヤシ (*Chrysalidocarpus lutescens*)

クロツグ (*Arenga tremula* var. *engleri*)

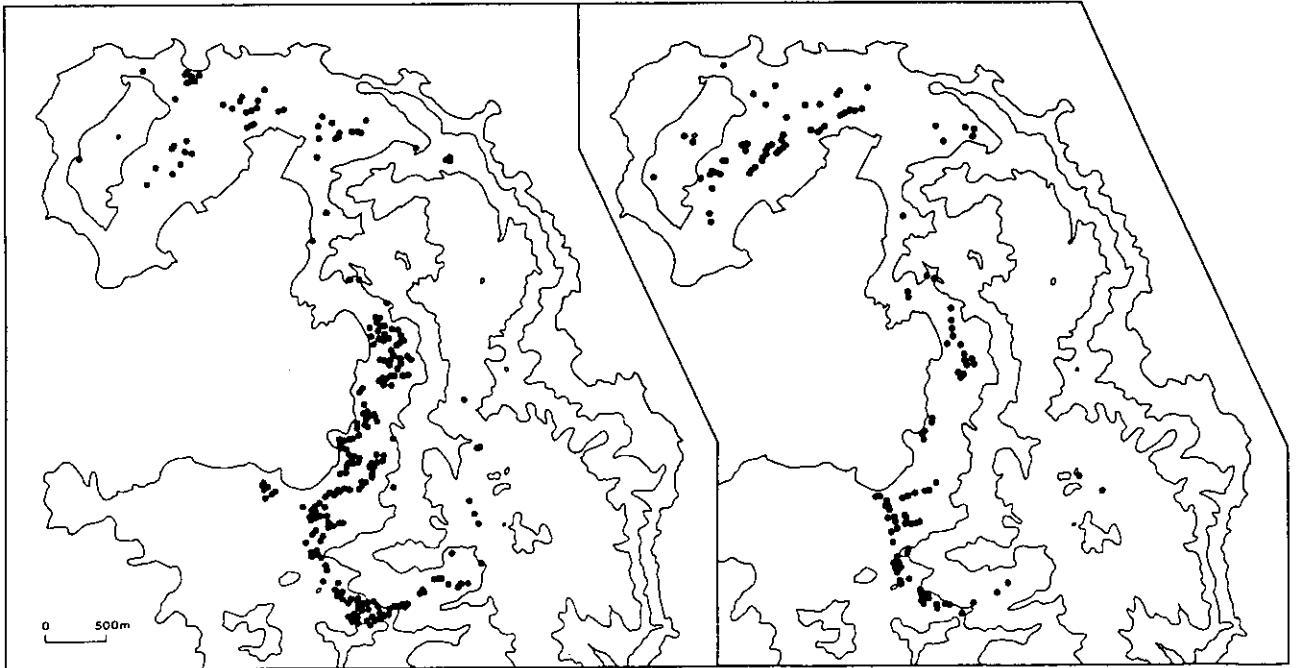


図1 父島北～中央部におけるヤシ科植物の分布
ノヤシ・ヤマドリヤシ・クロツグ：丸印は成熟木の位置、三角印はノヤシに類縁する不明なヤシの位置、オガサワラビロウ：群生する地域、等高線は100m間隔

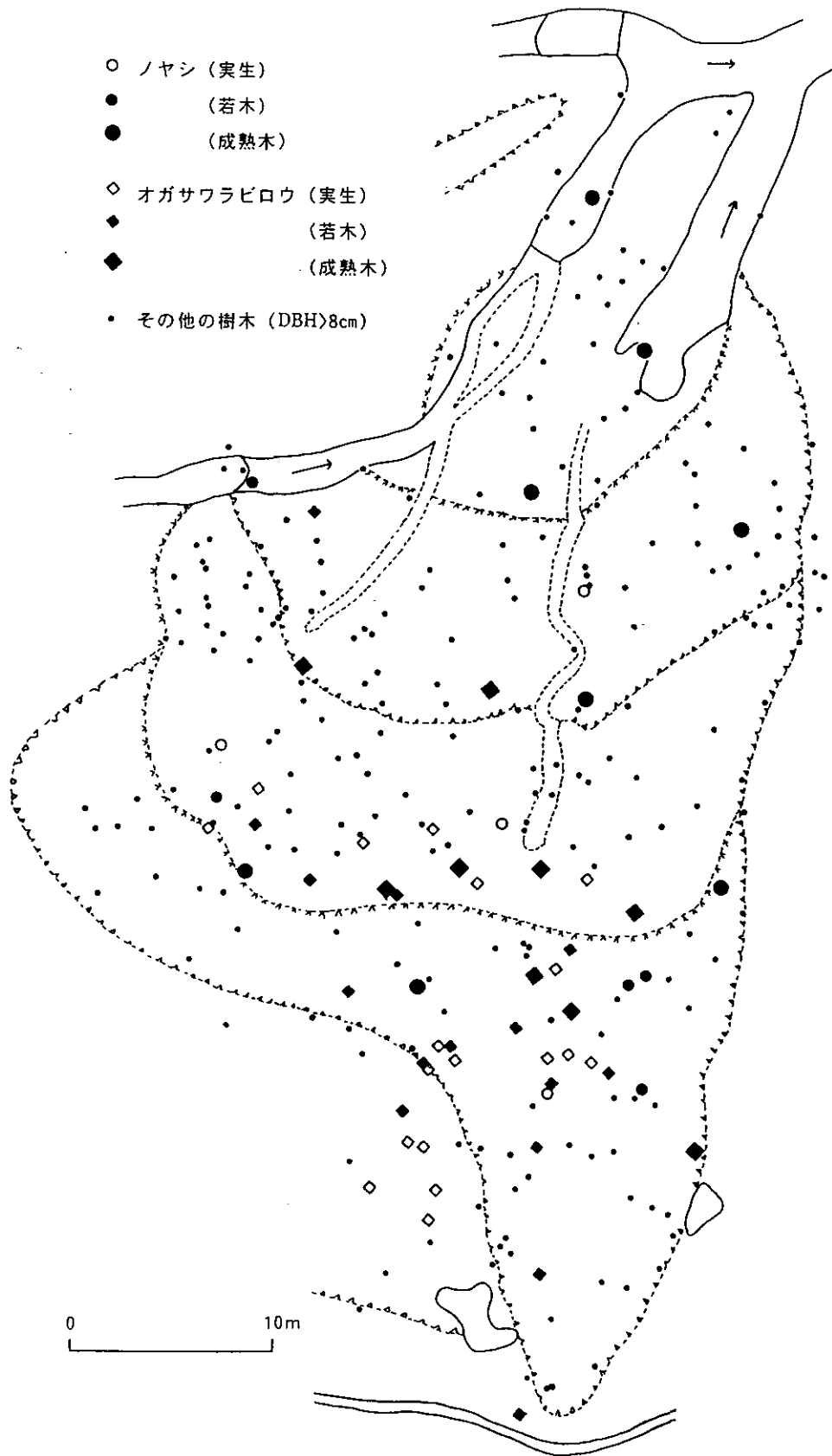


図2 初寝山付近の谷頭におけるヤシや樹木の分布
 山印付きの破線：斜面傾斜角度が変わる遷急線、破線：恒常流がない不明瞭な流路、実線：明らかな流路

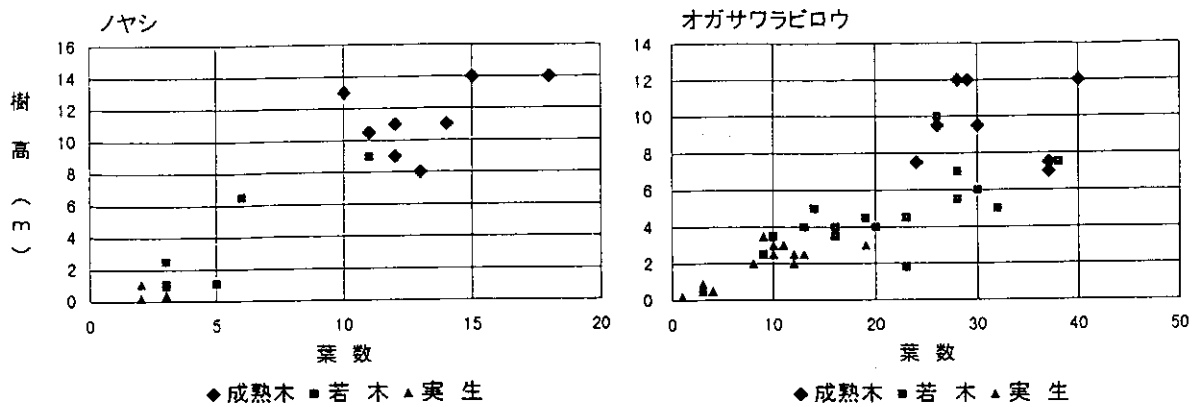


図3 ノヤシとオガサワラビロウにおける生育段階ごとの樹高 (m) と葉数 (枚)

第3章

島嶼における移入種の侵入・定着過程に関する研究

小笠原諸島における移入種の侵入・定着過程に関する研究-1 - 移入種の遺伝子集団の把握に関する研究

五箇公一（国立環境研究所地球環境研究グループ）

要約

小笠原における侵入生物種の遺伝的変異に関する知見を集積し、集団遺伝学・生物地理学的側面より、それら侵入生物の侵入過程に関する基礎的データを得ることを目的として小笠原で最も繁栄している侵入昆虫の一種、セイヨウミツバチの分布と遺伝的変異を調べた。父島および母島より採集した働きバチのアロザイムおよびミトコンドリア DNA 変異を調べた結果、島間で遺伝的分化が生じていることが示唆された。また、これまで報告のなかった小笠原のハダニ類の採集を行い、形態及びアロザイム変異に基づき種構成を調べた結果、父島、母島および兄島で様々な種が確認され、日本未記載種の存在も確認された。

Abstract

We investigated geographic distribution and genetic variation of the two arthropods groups, the honey bees (*Apis mellifera*) and the spider mites (Tetranychidae), at Ogasawara Islands. The survey for allozyme and mtDNA variation indicated the genetic divergence between the honey bee populations in Chichijima island and Hahajima island. Morphological character and allozyme pattern in the spider mites collected in Chichijima, Hahajima and Anijima islands showed that there are many species including unknown species in Ogasawara.

1.序

小笠原諸島のように、その誕生以来一度も大陸と陸続きになったことのない海洋上の島を海洋島と呼ぶ。海洋島として有名な島には小笠原の他にガラパゴス諸島やハワイ諸島が挙げられる。いずれも比較的小さな面積しか無く、その隔離された地理的条件によって、島内における生物種は、偶然海を渡ってたどり着いたと考えられる祖先種から独自の進化プロセスをたどった、大陸には見られない、固有種に富んでいる。また、生物が島にたどり着く確率が低いこと、その生物相は特定の分類グループに偏ったものになっている。加えて、定着の困難さから生態系ニッチの空きが多いこと、肉食性の大型動物や大型草食獣がいないため、天敵に対する防御形質が進化していない場合が多いこと、生態系の構成要素が貧弱なため競争や食う喰われる関係などの生物間相互作用の働きが単純であることが特徴として挙げられ、このような要因から大洋島の生態系は一般に外来の生物種による攪乱に対して極めて脆弱であるとされる¹⁾。

特に小笠原諸島では侵入生物による生態系の攪乱が顕著に観察されており、例えばヤギの放飼による植生の壊滅的ダメージや、アフリカマイマイによる在来固有産産貝類の駆逐、ギンネムやアカギによる固有植物相の変容など、枚挙に暇がない²⁾。いわば、小笠原諸島は生物学的侵入のケーススタディの宝庫と言っても過言ではない。本諸島における侵入種問題は、種の絶滅や生物多様性の減少という憂慮すべき問題であることは言うまでもないが、逆に純粋に進化生態学的側面から捉えた場合、生物の侵入プロセスとそれによる生物種の進化に関わる現象の実験場とも考えられる。

外来生物は全てが新天地に定着できるわけではなく、多くの種は環境の変化に適応できずに滅びてしまう。しかし、一部の生物種が新天地の環境に適応し、定着が成功し、分布を拡大していく。その背景には、新天地に適応できるだけの適応形質変異が侵入生物集団に備わっている必要があり、集団の遺伝的変異が重要な決定要因となることが示唆される³⁾。また、侵入・定着に成功することで、侵入生物集団の遺伝子組成も淘汰やドリフトの効果によって大きく変化することも想像される。即ち、小笠原に侵入・定着した外来生物個体群も侵入過程でその遺伝子組成が変化し、原産地の個体群とは異なった遺伝集団となっている可能性がある。しかしながら、こうした集団遺伝学的データに基づく侵入生物の個体群構造に関する研究例は少ない。

そこで、本研究では小笠原における主に二つの節足動物侵入種を材料として、侵入生物種の遺伝的変異に関する知見を集積し、集団遺伝学・生物地理学的側面よりそれら侵入生物の侵入過程に関する基礎的データを得ることを目指すことにした。材料とする生物種はセイヨウミツバチ *Apis mellifera* とハダニ類 Tetranychidae である。

セイヨウミツバチは養蜂用として明治初期に導入されたものとされる⁴⁾。日本本土では天敵であるスズメバチ類の存在により本種は野外に定着できないが、小笠原諸島には天敵が存在しないため父島と母島を中心に野生化している。そのため固有ハナバチ類との間に競争関係が生まれ、固有種の衰退を招いている⁵⁾。本種は兄島にわずかに一部繁殖している以外は周辺の無人島には生息しておらず、女王バチの移動能力は限られていると考えられる。戦後の本土復帰後も巣箱の導入がわずかながら続いていることから、本土からの遺伝子流動はある程度は保たれている可能性はあるものの、戦前より野生化し、これまで繁殖を続けてきた個体群は淘汰やドリフトによって独特の遺伝子組成を構成していることが期待される。

ハダニ類は極めて微小な植物吸汁性のダニで、いくつかの種は農作物を加害し、本土では重要農業害虫となっている⁶⁾。小笠原諸島ではこれまで本格的にハダニ類の調査がなされておらず、固有種の存在はお

るか、本土や南方諸国からの侵入種の存在も未確認のままである。小笠原諸島では農業の規模は小さいが、様々な畑作物や熱帯果樹の栽培・増殖を目指して導入が行われており、これらの植物に付着して農業害虫であるハダニ類も侵入している可能性は高い。同時に小笠原の自然植生にも寄主拡大によって侵入し分布拡大する恐れがある。

本研究では、1) 小笠原におけるセイヨウミツバチ個体群の遺伝的変異の定量的解析と遺伝的分化の程度の把握、2) 小笠原におけるハダニ類の生息実態の調査とその遺伝的変異の解析を行った。また、同時に、3) 侵入昆虫の研究が盛んであるハワイに渡り、ハワイ大学の協力の下、ハワイにおける侵入生物の現状やセイヨウミツバチに関する情報を収集し、サンプルの採集を行い、遺伝的変異を調査した。

2. 研究方法

セイヨウミツバチおよびハダニ類の採集

1998年5月および2000年1月に小笠原諸島の父島および母島に渡り、野外で訪花活動をしているセイヨウミツバチ（働きバチ）および植物に寄生しているハダニ類を採集した。また、1999年4月にハワイのカウアイ島へ渡り、野外で訪花しているセイヨウミツバチを採集した。採集したサンプルは、セイヨウミツバチは冷凍保存し、アロザイム変異およびミトコンドリアDNA変異の解析に供試した。ハダニ類は一部をアルコール標本とし、形態分類に基づく種の同定を行った。また、生体サンプルについてはアロザイム変異を調査した。

アロザイム変異の調査

アロザイムとは酵素タンパクの多型であり、触媒機能は同一だがアミノ酸配列に違いがある酵素群（アイソザイム）のうち、特に同一遺伝子座で支配されている酵素群をさす。アロザイム変異は電気泳動法によって分離する。本研究ではGoka and Takafuji (1995)³⁾の方法に準じて行った。セイヨウミツバチはその足一本を、またハダニ類は一個体を20 μ Lの酵素抽出用バッファーですり潰し、得られた酵素液を電気泳動に供試した。泳動後、泳動の支持体（ゲル）中に分離したタンパクを特定の酵素染色液で染色し、アロザイムを検出した。得られたアロザイムバンドパターンより、各個体の遺伝子型を解析し、個体群ごとに遺伝子型頻度および遺伝子頻度を求めた。

ミトコンドリアDNA変異の解析

ミトコンドリアDNAのチトクロムオキシダーゼのコード領域（COI-COII）をPCR法によって増幅し、その増幅産物の塩基配列を解析することで遺伝的変異を調べた。PCR（ポリメラーゼ・チェーン・リアクション）は、微量のDNAからDNA合成酵素（DNAポリメラーゼ）によって多量のDNAを複製する技術である⁷⁾。セイヨウミツバチの足1本をバッファーですり潰し、得られた溶液にプロテナーゼを添加してタンパクを分解し、DNA溶液をとした。これを鋳型として、COI-COII特異的なプライマー²⁾とDNAポリメラーゼによってCOI-COII領域を増幅した。得られた増幅産物をオートシーケンサーにかけて塩基配列を解読した。

形態精査

ハダニ類はアルコール標本として保存し、形態精査を行い、種の同定を行った。

3. 研究結果

1) 小笠原諸島におけるセイヨウミツバチの遺伝的変異

セイヨウミツバチは父島、母島において大量に訪花が確認された。また父島において野生巣の存在も確認した。しかし、兄島では今回の調査範囲ではその飛来は確認されなかった。父島より83個体、母島より36個体のサンプルを採集した。

サンプルのアロザイム変異を調査した結果、リンゴ酸脱水素酵素（MDH）およびエステラーゼ（EST）に変異が認められた。MDHには3つ、ESTには2つの対立遺伝子が存在した。これらの対立遺伝子頻度には地理的な変異があり、島内の地域間で差が認められた。また、MDHでは、父島サンプル全体の遺伝子頻度と母島サンプル全体の遺伝子頻度の間に差が認められ、島間での遺伝子流動が制限されていることが示唆された（図1）。

ミトコンドリアDNA変異についてはPCR反応がうまく進まず、これまで得られたサンプル中、父島3個体、母島8個体、合わせて11個体のみチトクロムオキシダーゼ領域の塩基配列を解読できた。セイヨウミツバチにはいくつかの亜種が含まれ、それぞれの亜種のミトコンドリアDNAの塩基配列データは文献情報あるいは遺伝子情報のデータベースとして入手が可能である²⁾。小笠原のセイヨウミツバチでは4つのハプロタイプ（遺伝子型）が検出され（図2）、そのうちの3タイプは、*A. mellifera mellifera*、*A. mellifera caucasica*、および*A. mellifera ligustica*の塩基配列と一致した。残りの1タイプは、いずれの亜種の配列とも一致しなかった。父島の3個体のハプロタイプは、*caucasica*、*ligustica*および不明亜種の配列を示した。一

方、母島の8個体のハプロタイプは全て *mellifera* の配列を示した (図3)。

2) 小笠原におけるハダニ類の生息実態および遺伝的変異

ハダニ類は、本土では一般に民家、農耕地、道路周辺など攪乱地に多発する傾向が強いが、父島、母島とも上記攪乱地においても発生は乏しく、その生息数は本来少ないことが示唆された。父島、母島では港周辺の侵入雑草と思われる草本植物からの採集が多く、これらは侵入種である可能性が高い。また、父島亜熱帯農業センター内の果樹からも採集された。兄島でもハダニは確認されたが、その生息密度は低いと考えられた (表1)。

PGM、MDH、およびPGIのアロザイム分析の結果、いくつかの種は本州におけるハダニ類と同じバンドパターンを示したが、多くの種は異なったバンドパターンを示し、日本未記載種あるいは新種であることが示唆された。また、採集したいずれのサンプルもアロザイムに種内変異は認められなかった。

3) ハワイにおける侵入生物の実態およびセイヨウミツバチの遺伝的変異

ハワイ諸島においても多くの侵入昆虫が古くから認められており、その定着・分布拡大による在来昆虫相へのダメージが報告されている⁹⁾。また、近年では、ハワイ大学を中心に天敵農薬などの有用昆虫の放飼による生態影響に関する研究が進められている。

ハワイのセイヨウミツバチは1857年にカリフォルニアより導入されたのが最初とされる。現在も養蜂業は盛んであり、巣あたりのハチミツ生産量は国内一である。また、海洋に囲まれ、隔離された環境で生息するため、アカリングニヤミツバチヘギイタダニ等の世界的な病害寄生性生物がこれまで報告されておらず、健全なコロニーを保護するため島の外からのハチの持ち込みは厳しく制限されている。逆に本土やカナダへ健全なコロニーとして輸出が行われている。

カウアイ島で採集したセイヨウミツバチワーカーのアロザイム分析の結果、MDHでは小笠原と同じく3つの対立遺伝子が存在し、遺伝子頻度は母島に類似した。エステラーゼは変異が認められず、ひとつの遺伝子に固定していた (図4)。

4. 考察

小笠原のセイヨウミツバチは、明治初期に本土より運び込まれたイタリア産3コロニーが最初とされる。今回のアロザイム変異の解析結果から、島内のセイヨウミツバチには遺伝的変異が維持されており、野生化したコロニーも含め、様々な起源のコロニーが島内に存在することが示唆された。また、MDH遺伝子座の遺伝子頻度には父島と母島の個体群間で差が認められ、島ごとに固有の遺伝集団を構成していることも示唆された。ミトコンドリアDNAの塩基配列解析結果から、小笠原には少なくとも4つのセイヨウミツバチ亜種が生息していることが示された。さらにそのハプロタイプの分布にも島間で差があり、母島ではイタリアンと呼ばれる *mellifera* 亜種のみが検出され、父島ではそれ以外の系統が検出された。小笠原に一番最初に導入されたセイヨウミツバチはイタリアンであるとされる。本研究の結果は、導入当初のセイヨウミツバチ集団は、母島では隔離された環境で維持されているが、父島では最初の導入後 (明治時代以降) も巣箱の導入が行われていたことを物語っている。解析個体が限られており、今後さらに解析サンプル数を増やし詳細な調査を行う必要があるが、母島のセイヨウミツバチは、遺伝的に隔離された状態で今日まで世代を重ねている可能性が高く、その遺伝的構造および適応形質変異がどのようになっているのか、非常に興味深い。

小笠原と同じ大洋島であるハワイ諸島でも、セイヨウミツバチは繁栄しており、その導入後の歴史は140年余りになる。また、健全なコロニーを維持するために、導入後、島外からのコロニーの持ち込みが厳しく制限されていることから、小笠原以上に隔離された個体群が形成されていることが予測される。実際にカウアイ島で採集したサンプルのアロザイム変異を調べた結果、小笠原個体群で多型が認められたエステラーゼ遺伝子座は一遺伝子に固定しており、相対的にカウアイ島の個体群の遺伝的変異が乏しいことが示唆された。

島嶼におけるセイヨウミツバチは帰化植物とともにその分布を広げたと考えられている⁹⁾。今後、小笠原およびハワイ諸島におけるミツバチ集団の遺伝的構造と帰化植物の遺伝子流動を調べることで、島嶼における侵入種間のパートナーシップという生物学的侵入の新しい側面を明らかにすることができるであろう。

ハダニ類については、今回の調査結果から、本州とは異なる様々な種が存在することが初めて明らかになった。大部分は帰化植物から採集されたが、固有植物に寄生する種も確認されており、新種が含まれることも明らかになっている。一方で、本州で重要農業害虫とされる広域分布種のカンザワハダニも確認されており、本州より農産物とともに持ち込まれた可能性がある。こうした微小な節足動物の世界においても「固有種」と「侵入種」が存在する。たとえダニといえども固有性という点では他の生物種と同様に貴重な存在であり、できるだけ早く種の同定を行い、新種記載していく必要がある。

5.まとめ

小笠原諸島における最も繁栄している侵入昆虫種セイヨウミツバチの遺伝的変異をアロザイムおよびミトコンドリア DNA について調べた結果、父島個体群と母島個体群の間で遺伝的な分化が生じていることが示唆された。また、微小節足動物の植物寄生性ダニ（ハダニ）の分布を調べた結果、カンザワハダニなどの広域分布種の侵入も認められたと同時に、日本未記載種の存在も確認された。こうした節足動物種の種構成や分布、遺伝的構造や系統関係を明らかにすると同時に、ハワイ諸島における研究例のように、侵入種と固有種の生物間相互作用についても詳細な研究を行う必要性が示された。

6.本研究により得られた成果

小笠原諸島という隔離された環境に定着繁栄したセイヨウミツバチの遺伝的構造および履歴に関するデータが初めて得られた。ハダニ類の生息実態が初めて明らかにされた。

謝辞

本研究を推進するに当たり、小笠原における調査・採集にご協力いただいた茨城大学後藤哲雄博士に心から感謝する。また、貴重な休暇を費やして悪天候の船旅にも耐えて小笠原まで同行し、様々な面で調査活動を支えてくれた三菱化学株式会社山田里砂氏に深く深く感謝する。

参考文献

- 1) Carlquist, S. (1974) *Island Biology*, Columbia University Press, New York
- 2) Garnery, L., J.-M. Cornuet and M. Solignac (1992) Evolutionary history of the honey bee *Apis mellifera* inferred from mitochondrial DNA analysis. *Molecular Ecology*, **1**: 145-154.
- 3) Goka, K. and A. Takafuji (1995) Genetic basis of esterase, malate dehydrogenase and phosphoglucosomerase allozymes in the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch. *Applied Entomology and Zoology*, **30**: 529-535.
- 4) 原淳 (1992) : 養蜂の古今東西. 酒井哲夫 (編) 「ミツバチのはなし」. 技報堂出版, pp181-187.
- 5) Howarth, F. G. and G. W. Ramsay (1991) The conservation of island insects and their habitats. In: *The Conservation of Insects and their habitats* (Ed. by N. M. Collins and J. A. Thomas), pp71-107.
- 6) 加藤真 (1997) : 生物の種間関係と群集の多様性. 矢原徹一・巖佐庸・遺伝学普及会 (編) 「生物の科学 遺伝別冊 No.9. 生物多様性とその保全」 裳華房, pp31-40.
- 7) 関谷剛男 (1996) PCR 技術の原理. 蛋白質・核酸・酵素, **41**: 415-424.
- 8) 真梶徳純 (1996) 防除. 江原昭三・真梶徳純 (編) 「植物ダニ学」 全国農村教育協会, pp186-203.
- 9) 富山清升 (1998) : 小笠原諸島の移入動植物による島嶼生態系への影響. 日本生態学会, **48**: 63-72.
- 10) Williamson, M. (1996) *Biological Invasion*, Chapman and Hall, 256pp.

研究発表

小笠原諸島における移入種の侵入・定着過程に関する研究-I.-移入種の遺伝子集団の把握に関する研究. 平成11年度環境保全研究発表会「亜熱帯域島嶼の生態系保全手法の開発に関する基礎研究」(平成12年2月2日、東京)

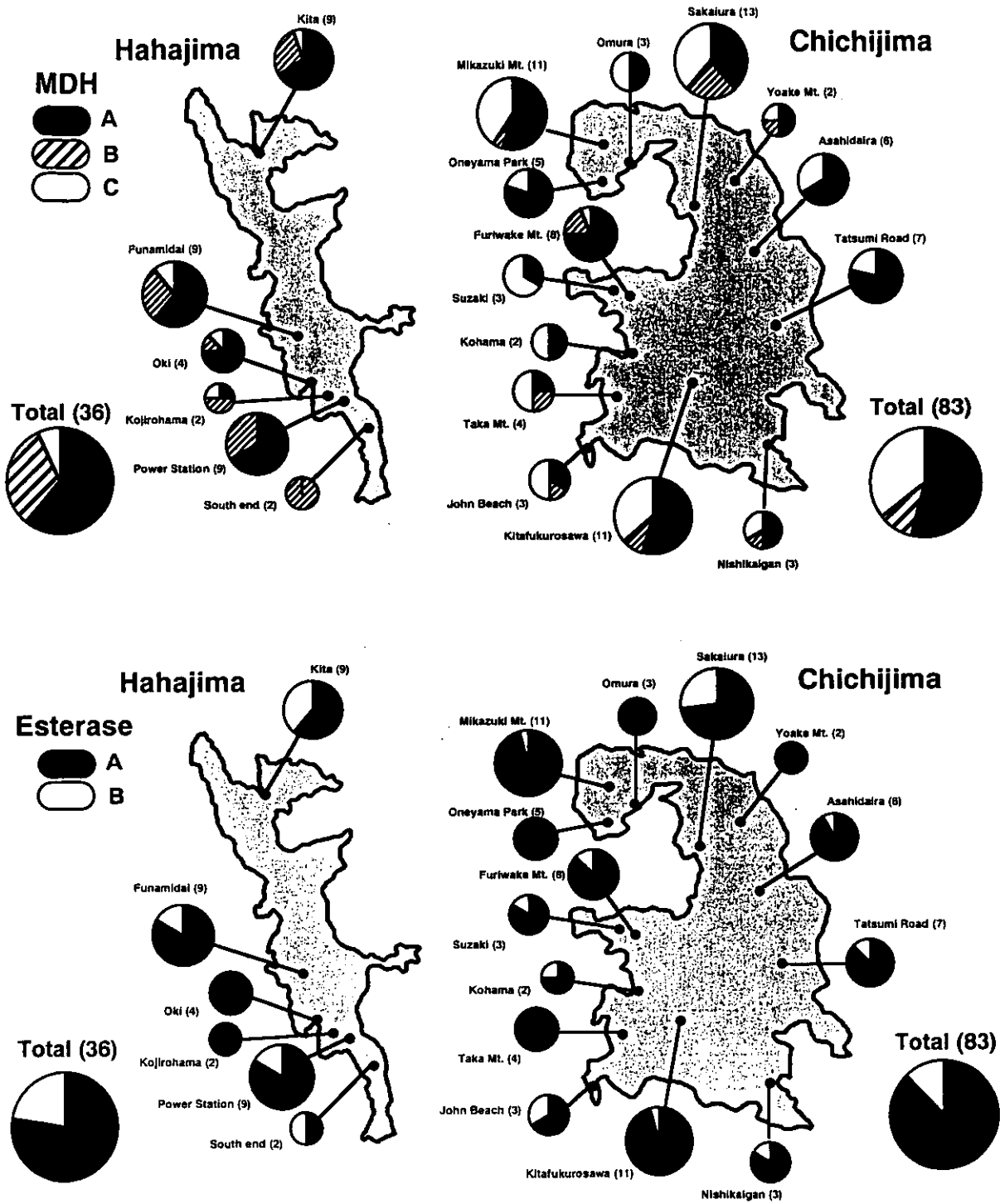


図1 小笠原父島および母島で採集されたセイヨウミツバチ各地域サンプルのMDH(上)およびエステラーゼ(下)遺伝子座の対立遺伝子頻度

A 5'- TTTTAAACTTTTATTA AAAATTTCCC - ACTTAATTCATATTAATTTAAAAATAAAATTAATAACAATTTT - AATAAAAATAAAATAATTAATTTT
 B TTTTAAACTTTTATTA AAAATTTCCC - ACTTAATTCATATTAATTTAAAAATAAAATTAATAACAATTTT AATAAAAATAAAATAATTAATTTT
 C TTTTAAACTTTTATTA AAAATTTCCC - ACTTAATTCATATTAATTTAAAAATAAAATTAATAACAATTTT AATAAAAATAAAATAATTAATTTT
 D TTTTAAACTTTTATTA AAAATTTCCCCACTTAATTCATATTAATTTAAAAATAAAATTAATAACAATTTT AATAAAAATAAAATAATTAATTTT

ATTTTTATATTGAATTTTAAATTC AATCTTAAAGATTTAATCTTTTTATTA AAAATTAATAAAATTAATATAAAAATAAAAACAAAATATAACAGA
 ATTTTTATATTGAATTTTAAATTC AATCTTAAAGATTTAATCTTTTTATTA AAAATTAATAAAATTAATATAAAAATAAAAACAAAATATAACAGA
 ATTTTTATATTGAATTTTAAATTC AATCTTAAAGATTTAATCTTTTTATTA AAAATTAATAAAATTAATATAAAAATAAAAACAAAATATAACAGA
 ATTTTTATATTGAATTTTAAATTC AATCTTAAAGATTTAATCTTTTTATTA AAAATTAATAAAATTAATATAAAAATAAAAACAAAATATAACAGA

ATATATTTATTA AAAATTTAATTTATTA AAAATTTCCACATGATTCATATTTATATTTCAAGAATCAAATTCATATTATGCTGATAATTTAATT
 ATATATTTATTA AAAATTTAATTTATTA AAAATTTCCACATGATTCATATTTATATTTCAAGAATCAAATTCATATTATGCTGATAATTTAATT
 ATATATTTATTA AAAATTTAATTTATTA AAAATTTCCACATGATTCATATTTATATTTCAAGAATCAAATTCATATTATGCTGATAATTTAATT
 ATATATTTATTA AAAATTTAATTTATTA AAAATTTCCACATGATTTATATTTATATTTCAAGAATCAAATTCATATTATGCTGATAATTTAATT

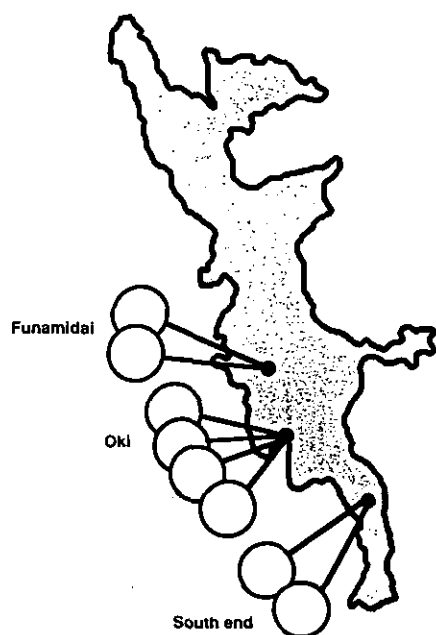
TCATTTTCATAATATAGTTATAAATAATTATTATTATAATTTCAACATTAAC TGTATATATTTTATTTAGATTTATTTATAAACAAAATTTTCAAAA
 TCATTTTCATAATATAGTTATAAATAATTATTATTATAATTTCAACATTAAC TGTATATATTTTATTTAGATTTATTTATAAACAAAATTTTCAAAA
 TCATTTTCATAATATAGTTATAAATAATTATTATTATAATTTCAACATTAAC TGTATATATTTTATTTAGATTTATTTATAAACAAAATTTTCAAAA
 TCATTTTCATAATATAGTTATAAATAATTATTATTATAATTTCAACATTAAC TGTATATATTTTATTTAGATTTATTTATAAACAAAATTTTCAAAA

TTTATTTTTATTA AAAAAATCATAATATTGAAATTTTGAACAATTATTTCCAATTATTATTCTATTAATTATTTGTTTTCCATCATTAAAAA
 TTTATTTTTATTA AAAAAATCATAATATTGAAATTTTGAACAATTATTTCCAATTATTATTCTATTAATTATTTGTTTTCCATCATTAAAAA
 TTTATTTTTATTA AAAAAATCATAATATTGAAATTTTGAACAATTATTTCCAATTATTATTCTATTAATTATTTGTTTTCCATCATTAAAAA
 TTTATTTTTATTA AAAAAATCATAATATTGAAATTTTGAACAATTATTTCCAATTATTATTCTATTAATTATTTGTTTTCCATCATTAAAAA

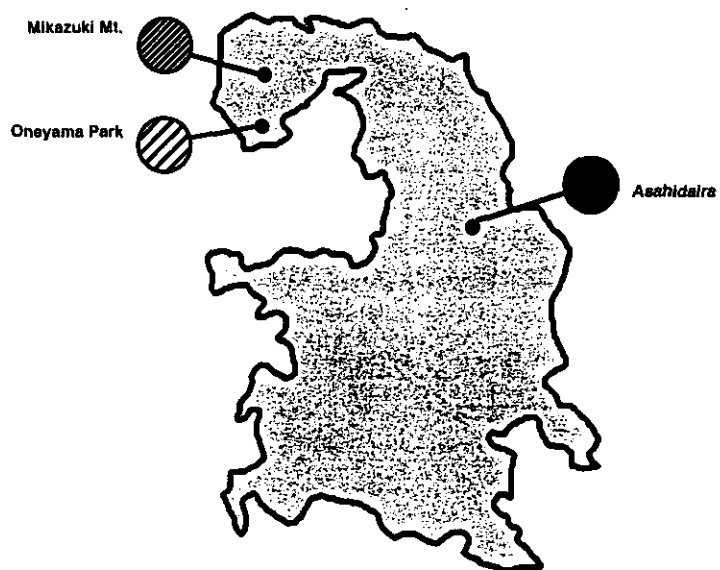
TTTTATATTTAATTGATGAAATTG TAAATCCTTTTTTTTCAATTAATCAATTGGTCATCAA -3' A : *A. mellifera mellifera*
 TTTTATATTTAATTGATGAAATTG TAAATCCTTTTTTTTCAATTAATCAATTGGTCATCAA B : *A. mellifera caucasica*
 TTTTATATTTAATTGATGAAATTG TAAATCCTTTTTTTTCAATTAATCAATTGGTCATCAA C : *A. mellifera ?*
 TTTTATATTTAATTGATGAAATTG TAAATCCTTTTTTTTCAATTAATCAATTGGTCATCAA D : *A. mellifera ligustica*

図2. 小笠原のセイヨウミツバチにおけるミトコンドリアDNA-CO1領域 (522bp) の塩基配列
 *の部位が塩基置換変異している

Hahajima



Chichijima







-  A : *A. mellifera mellifera*
-  B : *A. mellifera caucasica*
-  C : *A. mellifera* ?
-  D : *A. mellifera ligustica*

図3. 小笠原で採集されたセイヨウミツバチにおけるミトコンドリアDNAハプロタイプの地理的分布

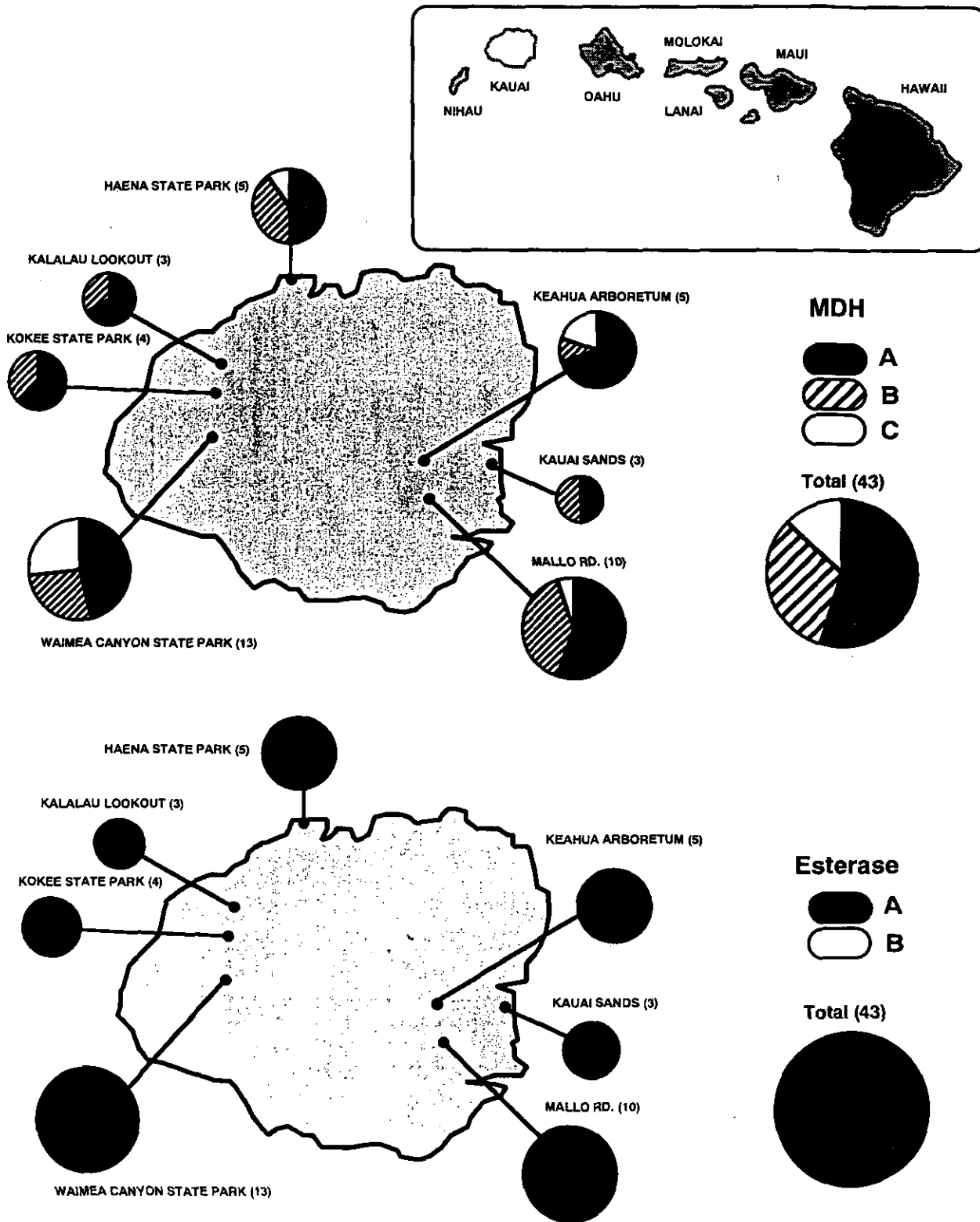


図4 カウアイ島で採集されたセイヨウミツバチ地域サンプルにおけるMDHおよびエステラーゼ遺伝子座における対立遺伝子頻度

表1 小笠原諸島で採集されたハダニ類

	寄主植物	採集されたダニ類
母島	シマグワ (固有種) <i>Morus mustralis</i>	<i>Tetranychus</i> 属ハダニ ニセラーゴカブリダニ
	モクタチバナ <i>Ardisia sicboldii</i>	<i>Oligonychus</i> 属ハダニ ヒメハダニ
	ガンバイヒルガオ <i>H. Jpomea pescaprae</i>	<i>Tetranychus</i> 属ハダニ
	アルファルファ <i>Medicago sativa</i>	<i>Tetranychus</i> 属ハダニ
	テリミノイヌホオズキ <i>Solanum sp.</i>	<i>Tetranychus</i> 属ハダニ
	クサトベラ <i>Scacvola scricea</i>	<i>Tetranychus</i> 属ハダニ シコクカブリダニ
父島	テリハボク <i>Calophyllum inophyllum</i>	<i>Oligonychus</i> 属ハダニ ニセラーゴカブリダニ
	シマグワ (固有種) <i>Morus mustralis</i>	カンザワハダニ
	ゴレンシ (スターフルーツ) <i>Averrhoa carambola L.</i>	<i>Oligonychus</i> 属ハダニ
	クサトベラ <i>Scacvola scricea</i>	<i>Tetranychus</i> 属ハダニ ヒメハダニ ニセラーゴカブリダニ ケナガカブリダニ
	ハイビスカス <i>Hibiscus sp.</i>	ナンゴクハダニ ヒメハダニ ニセラーゴカブリダニ
	兄島	シラゲテンノウメ (固有種) <i>Ostcomeles boninensis Nakai</i>

小笠原におけるギンネム林の動態

山村靖夫 (茨城大学理学部)

要約

20年間の長期継続調査のデータに基づいて小笠原のギンネム林の更新過程を解析した。多くの林分は戦後成立した一斉林であり、同齡林における寿命により崩壊した。新たに侵入したギンネムキジラミの食害は一斉枯死の促進要因として重要である。小笠原のギンネム林は、定期的な攪乱がある場所以外では衰退しつつある。

Abstract

Regeneration processes of *Leucaena leucocephala* forests in Ogasawara Islands were analyzed based on a long-term survey. Most of the forest stands were even-aged stands, and broke down through the 'cohort senescence'. Massive death of trees was facilitated by the attack of newly introduced psyllid. *Leucaena* seems to decrease on the forest sites other than periodically disturbed sites.

1. 序

ギンネム (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) はメキシコ原産のマメ科の低木ないし亜高木で、世界の熱帯、亜熱帯地域に広く移入され、建築用材、薪炭材、家畜の飼料などの用途のほか、肥培植物、被陰樹として農業に利用されたり、土壌保全、防風・防砂などに用いられている^{1),2),3)}。移入されたギンネムは各地で植栽地から逸出して野生化し、海岸部の低地を中心とした広い範囲の立地で優占群落を形成している²⁾。土壌中に永く生存できる種子と強い萌芽再生力によって、攪乱への強い耐性を有する植物である。小笠原へは明治時代に移入され、砂防用ないし小用材用に植栽されたが、特に戦中戦後において放棄されていた宅地や耕地に広がった。

近年、太平洋の島々ではギンネム林の衰退が報告されている。1980年代に入って、ハワイのギンネム林で一斉枯死が起こり、その基本的な原因は、同齡個体群の寿命にあると考えられている⁴⁾。1984年以降、ギンネムを食害するギンネムキジラミ (*Heteropsylla cubana* Crawford) が、太平洋の島々に侵入して大発生し^{5),6),7)}、各地でギンネム林の衰退が進んだ^{8),9),10)}。小笠原でも1985年以降、毎年発生を繰り返しており、ギンネム林に大きな影響を及ぼしていると考えられる。

小笠原におけるギンネム林の更新や在来植生との関係についてはいくつかの報告があるが^{11),12),13),14)}、ギンネム林の更新過程が実際に記録された例はこれまで皆無である。この研究は、小笠原のギンネム林の更新過程を解明するための長期的な継続研究の一環であり、20年間のギンネム林の林分構造や生物量の変化から、更新パターンとその要因を解析する。

2. 研究方法

調査を行ったのは父島の5カ所の林分で、いずれも樹高5 mから12 mの亜高木林で、純林である。宮の浜道調査区は道路沿いの若い萌芽再生林であり、船見山下調査区は海蝕崖上の風衝地で定期的な攪乱を受ける林分である。その他の3カ所(境浦、南袋沢、ジョンビーチ)は海岸に近い低地の宅地や畑の跡に成立した林分前で前2林分に比べて立木のサイズが大きい。1977年から1979年の間にこれら5カ所の林分において12~25 m²の永久方形区8個を設置し、樹高1.3 m以上の全ての幹に印をつけ、胸高直径(DBH)を測定した。その後、新たに樹高1.3 mに達した幹を加えながら1990年までの毎年と1993年、1998年に追跡調査を行った。

3. 研究結果

(1) 林分胸高断面面積の変化

図1は、林分の生物量の指標として単位土地面積あたりの立木の胸高断面面積合計(BA)の経年変化を示したものである。若い萌芽再生林である宮の浜道調査区は、小径木の枯死により10年間で立木密度は半減したが、中・大径木の成長によりBAはこの間に1.8倍に増加した。船見山下方形区においては、1990年まではBAの大きな変化は認められなかった。大径木の枯死も見られたが、生残木の成長と萌芽更新が枯死木とつり合い、持続的に更新がみられたが、1993年に崖崩れにより消失した。

境浦1区では、BAははじめの10年間は増加を続けたが、その後およそ1/2まで急減した。1993年から外来樹のアカギ (*Bischofia javanica* Blume) とシマグワ (*Morus australis* Poir.) が加入し、1998年にはこの2種でBAの13.2%を占めるまでになった。境浦2区は調査開始時にはBAのもっとも大きな成熟した林分であったが、その後立木の急激な一斉枯死が見られ、大径木の枯死によって1983年までに当初の20%以下に減じた。南袋沢の二方形区では、調査期間の前半において、枯死による損失と生残木の成長がつり合い、BAの大きな変化はみられなかったが、南袋沢1区では1987年よりBAが減少し、1998年には当初の1/3になった。南袋沢2区でも1990年よりBAの減少が始まっている。林内は疎開し、外来種のメダケ

(*Pleioblastus simonii* Carr.) が侵入し、ギンネムは全く更新していない。ジョンビーチの二方形区の林分は1986年前後に一斉枯死が始まり、2、3年のうちに林分が消滅した。その後、実生更新によってギンネム林が再生し、1998年にはBAは一斉枯死の前の約1/3まで回復した。

(2) 立木の枯死と新加入数の経年変化

調査開始から1990年までの、各方形区における年間の枯死率と加入率および幹密度の経年変化を図2に示した。全期間を通してみると、全ての方形区で枯死率が加入率を上回っており、したがって立木密度は減少している。全ての方形区に共通して、枯死率は1986年から急激に増加している ($P < 0.05$)。1985年春から始まったギンネムキジラミの大発生が枯死急増の原因になったと思われる。

調査開始から1990年までの期間に、小笠原では、1980年夏の干ばつと1983年11月の台風による記録的な強風害の二つの自然災害が起こり、植生に重大なダメージを与えた^{15),16)}。干ばつはギンネム実生の多くを枯死させたと思われるが、樹高1.3 m以上の個体には、影響は見られなかった。一方、台風の翌年の1984年に、3つの方形区で枯死率が有意に増加しており、台風の影響と思われる。しかし、この影響はギンネムキジラミの影響ほどには顕著ではなかった。

4. 考察

ギンネム林の一斉枯死は、立木のDBHの大小と無関係に枯死が起こる点で、小径木に偏った枯死と区別でき、宮の浜道と船見山下を除く林分で起こった。調査区以外でも、同じ期間に父島や母島で広く観察された。各調査区のギンネム林の立地条件および推定成立年代、調査期間中の林分の変化を表1にまとめた。これらの場所のギンネム林は、齢のそろった一斉林として成立し、調査開始時点での林齢は、最高で30数年であった。本調査は、適湿な立地に亜高木状に成林したギンネムは、30数年から50年程度で寿命を迎え一斉枯死に至ることを示唆している。ハワイ諸島においても近年ギンネム林の一斉枯死現象が広く見られることが報告されている¹⁰⁾。これらの林分も齢のそろった一斉林であり、生育年齢もやはり30-50年程度と推定されている。ギンネムの一斉枯死は、様々な森林に広く見られる'cohort senescence'¹⁹⁾の現象ととらえることができる。

ギンネムキジラミの大発生がギンネムの一斉枯死の原因の一つであることは明らかである。ハワイ諸島では、1984年にこの昆虫が初めて記録されてから、またたく間に全域に蔓延し、ギンネム林はこれを契機に急速に衰退しつつある¹⁰⁾。沖縄でも1986年の侵入をきっかけとして立木の枯死が進み、ギンネム林が衰退しつつある⁹⁾。しかし、ギンネムの一斉枯死がギンネムキジラミの侵入以前から始まっていることも明らかである。多くのギンネム一斉林が老齢化し、一斉枯死の段階に入った頃にギンネムキジラミが侵入したのである。ギンネムキジラミの影響は、老齢木ほど強く受けるため⁸⁾、急速かつ広範に枯死が起こったと考えられる。ギンネムキジラミの感染は一斉枯死の“引き金”として重要な一因であるが、原因の全てではない¹⁰⁾。

ギンネム林の一斉枯死後の更新は、立地条件や他の植物の影響を強く受けられる(表1)。境浦や南袋沢などの湿性の立地では、当初は稚樹として全く存在しなかったアカギやシマグワなどの外来樹種がギンネムの一斉枯死前後に加入し、急速に成長しており、これらの外来樹種の優占する森林へ変化する可能性がある。一方、林冠の疎開後に、密生した外来種草本に林床を覆われ、木本の更新が全く起こらない場所がある。このような場所では生残しているギンネムの枯死後は草地に変化し、遷移の停滞を余儀なくされるであろう。全調査区において、在来樹種が高さ1.3m以上になったのは、1個体のみであり、ギンネム林が在来種の森林に移行する可能性は、きわめて低いと思われる。林冠の疎開しても、直ちに侵入してくる草本に被圧されてほとんどが枯死すると思われる。

ギンネムは、土壌が薄くより乾燥した立地では、低木林ないしヤブ状の林分を形成している。このような林分では、顕著な一斉枯死は観察されない。このような立地では風の影響も強く受けやすいため、幹が頻繁に更新されて、比較的若い幹が優占していることが考えられる。また、道路沿いなどの、定期的に伐採されるギンネム林は、萌芽更新によって旺盛な成長を示し、ここでも一斉枯死は見られない。ギンネムは少なくともこのような定期的攪乱のある場所では存在し続けるとと思われる。また、ギンネム林の近くに新たに裸地ができれば、実生更新によって新しくギンネム林が形成されることはあり得る。しかし、小笠原のギンネムが全体として衰退傾向にあることは確かである。

5. まとめ

森林動態の長期継続調査により、小笠原の外来樹の一つであるギンネムが一部の攪乱地を除いて、自然の遷移過程により減少することを予測した。

6. 本研究により得られた成果

- 1) 大洋島における外来種の動態研究において、長期継続調査の有効性を示した。
- 2) 自然保護上問題となっている外来樹の一つであるギンネムの動態についての将来予測を行った。

参考文献

- 1) Gray S. G. (1968) A review of research on *Leucaena leucocephala*. *Tropical Grassland* 2: 19-30.
- 2) Hill G. D. (1971) *Leucaena leucocephala* for pastures in the tropics. *Herbage Abstracts* 41: 111-119.
- 3) Ssekabembe, C. K. (1992) *Leucaena leucocephala* as a multipurpose tree in crop and livestock production systems. *Nomadic peoples*. 31: 119-125.
- 4) Muller-Dombois D. (1983) Population death in Hawaiian plant communities: a causal theory and its successional significance. *Tuexenia* 3: 117-130.
- 5) Othman A. B. and Prine G.M. (1984) *Leucaena* accessions resistant to jumping plant lice. *Leucaena Research Report*. 5: 86-87.
- 6) Sorensson C. T. and Brewbaker J. L. (1984) Newly introduced psyllid in Hawaii injurious to *Leucaena*. *Leucaena Research Report*. 5: 91-93.
- 7) Hollingsworth R.G. Thomas R.I. and Liebrechts W.(1985) New psyllid pest on *Leucaena* in Western Samoa. *Leucaena Research Report*. 6: 100-102.
- 8) Thomas R.I. and Liebrechts W.(1986) Depredation of *Leucaena leucocephala* by psyllids in Western Samoa. *Leucaena Research Report*. 7: 21-23.
- 9) 中須賀常雄・馬場繁幸・高島恵光 (1990) ギンゴウカン群落に関する研究V. 虫害後の林相回復. 日生態学会誌 40 : 27-33.
- 10) Ikagawa T. (1993) Dieback of *Leucaena* in Hawaii. *International Tree Crop Journal* .7: 223-239.
- 11) 吉岡邦二・斉藤員郎・小池文夫 (1970) 小笠原諸島の植生と自然保護. 文部省・文化庁 (編)「小笠原の自然」., pp.137-157.
- 12) 沼田真・大沢雅彦 (1970) 小笠原父島の植生とその遷移. 文部省・文化庁 (編)「小笠原の自然」, pp.159-197.
- 13) 津山 尚 (1970) 植物. 津山尚・浅海重夫編「小笠原の自然」 廣川書店, pp.109-141.
- 14) 大場達之・菅原久夫 (1977) 植生に関する調査—原母島道路計画にともなう自然環境調査報告書」, pp.3-68.
- 15) 清水善和 (1982) 1980 年夏の干ばつが父島の植生に与えた影響について.「小笠原諸島自然環境現況調査報告書 (東京都立大学調査) (3)」, 東京都, 31-37.
- 16) 清水善和 (1984) 台風17号 (1983年11月6-7日) が小笠原の森林に与えた被害. 小笠原研究年報 8: 21-28.
- 17) Muller-Dombois D. (1986) Perspectives for an etiology of stand-level dieback. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 17: 221-243.

研究発表

(論文)

- 1) 山村靖夫・藤田和美・須藤眞平・木村和喜夫・本間暁・高橋壮直・石田厚・中野隆志・船越眞樹・木村允 (1999) 小笠原におけるギンネム林の更新. 保全生態学研究 4 :152-166.

(口頭発表)

- 2) 山村靖夫・藤田和美・須藤眞平・木村和喜夫・本間暁・高橋壮直・石田厚・中野隆志 (2000) 小笠原におけるギンネム林の更新. 日本生態学会第47回大会 (2000年3月, 広島).
- 3) 鈴木美津子・山村靖夫 (2000) 小笠原諸島の二次林における外来樹種ギンネムの動態. 日本生態学会第47回大会 (2000年3月, 広島).
- 4) 畑憲治・山村靖夫 (2000) 父島の二次林におけるマツ枯れ後の外来樹種アカギの動態. 日本生態学会第47回大会 (2000年3月, 広島).

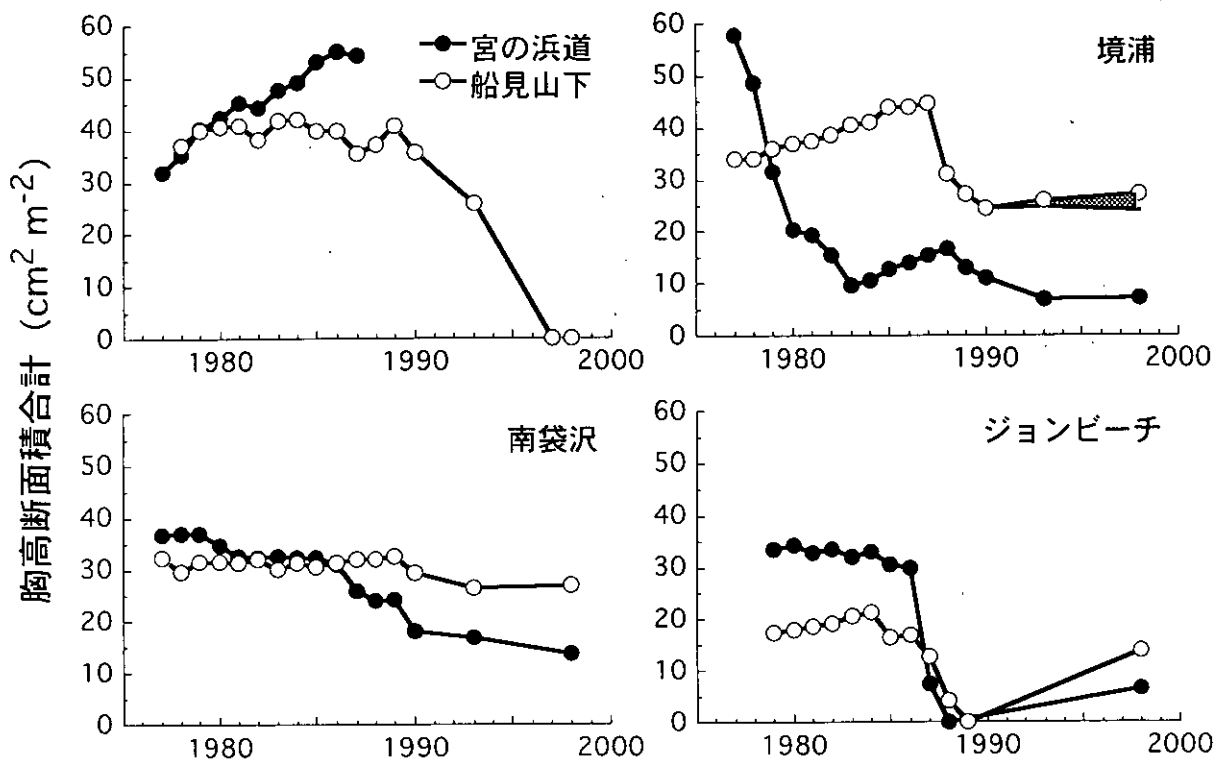


図1 各方形区における単位土地面積あたりの立木の胸高断面積合計 (BA) の経年変化。境浦のグラフにある網掛け部はギンネム以外の種 (アカギとシマガワ) を示す。

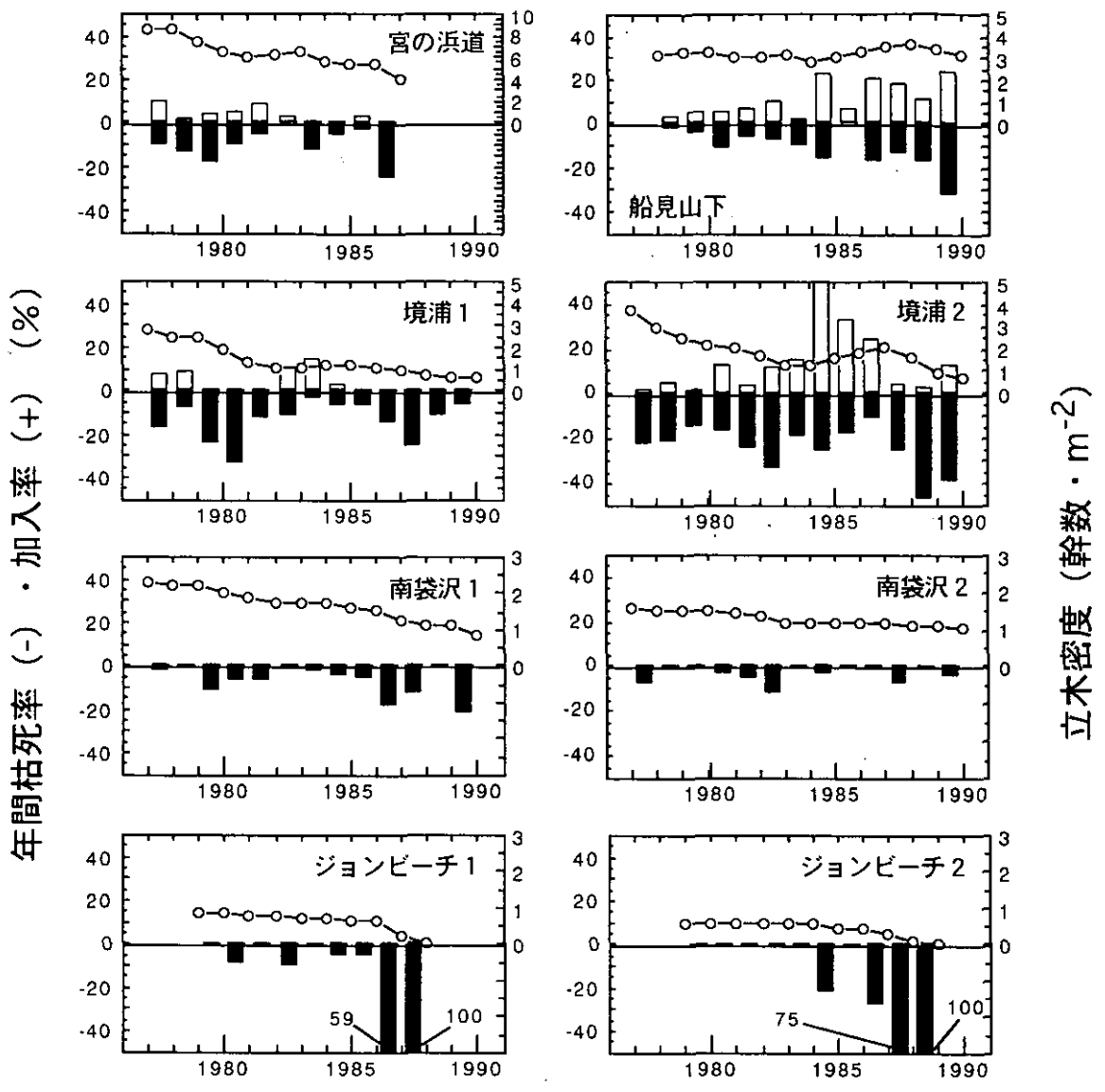


図2 各方形区における樹高 1.3 m 以上の幹の加入率 (正の白棒) と枯死率 (負の黒棒)、および立木密度 (白丸) の調査開始時 (1977 年から 1979 年) から 1990 年までの経年変化。

表1 各調査区における林分の立地条件、推定成立年および枯死の状況と植生変化。

調査区	立地条件	推定成立年	林分崩壊の 状態	一斉枯死, 部分枯死時の			枯死に伴う 植生変化の特徴
				年	林齢(年)	BA(cm ² m ⁻²)	
宮の浜道	緩斜面, 中湿	1970年前後	人為的破壊				
船見山下	海蝕崖上, 中湿	1945年以後	部分枯死	1992	約45	35	斜面崩壊後に草地に変化
境浦1	海浜後背地, 湿潤	1945年以後	部分枯死	1988	約40	45	アカギ, シマグワ侵入
境浦2	海浜後背地, 湿潤	1945年以後	一斉枯死	1978	約30	58	ギンネム少数生残, 草本密生
南袋沢1	沢沿い, 湿潤	1945年以後	部分枯死	1987	約40	32	シマグワ侵入
南袋沢2	沢沿い, 湿潤	1945年以後	部分枯死	1990	約40	32	メダケ密生
ジョンビーチ1	海浜後背地, 中湿	1945年以後	一斉枯死	1987	約40	30	ギンネム林再生
ジョンビーチ2	斜面下部, 中湿	1945年以後	一斉枯死	1987	約40	20	ギンネム林再生

小笠原父島への進入に伴うギンギシのフェノロジーの変化

名取俊樹 (国立環境研究所生物圏環境部環境植物研究室)

1. 序

東京から約 1,000km 離れた太平洋上に浮かぶ小笠原には、小笠原固有の植物に加えて多くの帰化植物が生育している。これらの帰化植物の中には小笠原の自然環境が小笠原に渡ってくる前の生育地と異なるものがあり、これらの植物が小笠原で生育するためには、小笠原の自然環境に適応し、かつ生育地を確保する必要がありと考えられる。

小笠原での帰化植物の一つとしてギンギシが認められている。ギンギシは日本全土、朝鮮、中国、千島、樺太に分布し、花期は6月～8月と記されている(佐竹ら 編 1982)。小笠原に生育するギンギシが、いつ頃、また何処から小笠原に渡ってきたのか不明であるが、かつて人間の移動に伴い日本本土付近から小笠原に渡ってきたことは十分考え得る。

1998年1月の調査時、小笠原父島のギンギシの一部では登熟期のものも認められ、記載されている花期と明らかに異なることが認められた。

そこで、本研究では、小笠原父島でのギンギシのフェノロジーと環境条件との関係を明らかにすると共に、茨城県つくば市の国立環境研究所内の実験ほ場において父島で採取したギンギシの生育実験を行ない、また、温室内で育成したギンギシについて光合成速度と土壌水分量との関係を調べ、小笠原の自然環境に対するギンギシの適応の仕方について考察した。

2. 研究方法

・ギンギシのフェノロジーの調査

1998年1月父島での主な車道および遊歩道に沿ってギンギシを探し出し、計5ヶ所のギンギシ生育場所を確認し、その生育地の中から釣浜を選び、1998年4月から1999年10月まで写真撮影を行い、ギンギシのフェノロジーを記録した。また、1998年1月父島でギンギシの種子を採取し、その種子を、茨城県つくば市の国立環境研究所内の実験ほ場において1998年4月パーミキュライトを詰めたワグネルポットに播種し、その後の生育を観察した。

・父島での水環境の推定

1969年から1988年までの20年間での月毎の平均気温および降水量(小笠原自然環境研究会 編 1994)を基に、平均気温からThornthwaite(1984)が提案した経験法により蒸発散位を推定して(Thornthwaite 1984; 岩崎尚 1973)降水量との差を求め、降水量と蒸発散量の差とした。

・ギンギシの光合成速度と土壌水分量との関係

温室内でパーミキュライトを詰めたコンテナ(65×38×15(cm))4個に父島で採取したギンギシの種子を播種し、4個とも同様に灌水および液肥を与え約2ヶ月間育てた。その後、灌水の頻度を変えて土壌水分量が異なる4つの実験区を作り、各実験区でギンギシの光合成速度と土壌水分を測定した。光合成速度は、携帯型光合成蒸散測定装置(モデル SPB-H2 島津製作所)を用い、測定時間を揃えるため午前10:00～12:00の間に測定した。土壌水分量は、コンテナ毎に2本のテンシオメータ(サンケイ理科社製)を設置しその負圧をハンディマノメータ(コバルエレクトロニクス社)で測定して求め、2つを平均してその実験区の土壌水分量とした。

3. 研究結果

父島釣浜と茨城県つくば市でのギンギシの開花・登熟の期間を図1に示す。釣浜での開花・登熟の期間は、年によりまた個体によりバラツキが大きいものの、おおむね2月から5月初め頃までであった。一方、実験ほ場では、個体によるバラツキが釣浜ほど大きくなく4月中旬に花を付けはじめ5月中旬には登熟が完了した。その他の生育の様子についても見ると、父島釣浜では5月初旬以後地上部が枯れた。残念ながら7月・8月のギンギシの様子について確認することはできなかったが、11月には新たに地上部が大きくなっているのが確認された。一方、実験ほ場では、5月中旬以後地上部が枯れた。その後少しずつ新たな地上部が展開し始めるものの急速に成長することなく、ゆっくりと成長しながら冬を超した。

父島では夏期極めて乾燥すると言われているが、その具体的な根拠や計算方法、出典等について今までのところ明らかにすることができなかった。そこで、小笠原自然環境研究会編(1994)に示されている月平均温度から経験法により蒸発散位を推定して蒸発散量とし、さらに降水量との差を求めた(図2)。6月から9月までは蒸発散量が降水量を上回り、特に7月と8月はその傾向が顕著であった。10月は蒸発散量と降水量がほぼ等しく、11月から5月までは蒸発散量が降水量を下回っていた。この結果は、11月から5月までは植物が利用可能な水があるものの、特に7月・8月は植物は水ストレスに晒される可能性が高いことを示している。

水ストレスとギンギシとの関係を調べるために、ギンギシの光合成速度とテンシオメータで測定した土壌水分量との関係を図3に示した。土壌水分量が -0.1kgf/cm^2 以上の場合光合成速度は極めてバラついており、これのバラツキは光強度が異なるためであった。また、 -0.1kgf/cm^2 以下になると光合成速度が徐々に低下することが分かった。

4. 考察

太平洋上に浮かぶ小笠原には、小笠原固有の植物に加えて多くの帰化植物が生育している。これらの帰化植物の中には小笠原の自然環境が小笠原に渡ってくる前の生育地と異なるものがあり、これらの植物が小笠原で生育するためには、小笠原の自然環境に適応し、かつ生育地を確保する必要があると考えられる。本研究で取り上げたギンギシは日本全土、朝鮮、中国、千島、樺太に分布し、花期は6月～8月と記されている(佐竹ら編1982)。しかし、小笠原父島に生育するギンギシでは、年によりまた個体によりバラツキが大きいものの開花・登熟期はおおむね2月から5月初め頃であり(図1)、記載されている花期とは異なっていた。そこでまず、父島の温度環境について月平均気温で見ると、一年を通しておおむね 18°C から 28°C の間であり、一般的に特に植物の生育に不適な温度環境ではないと考えられる。次に父島の水環境について父島小港海岸入り口付近に立つ「小笠原の水」説明板によると、1月～6月までは蒸発散量より降水量の方が大きく、7月・8月は蒸発散量が降水量を上回り、特に8月は地表水分までも失われ深刻な水不足となることが示されている。しかし、この計算方法や出典等について今までのところ明らかにすることができなかった。そこで、植物が利用可能な水分量を推定するため月平均温度から蒸発散量を推定する経験法により、父島での降水量と蒸発散量の差を計算した(図2)。本計算法による結果では、6月から9月までが蒸発散量が降水量を上回り、特に7月と8月はその傾向が顕著であった。この結果と前記した結果と多少異なっているものの、特に7月と8月には父島に生育する植物は、蒸発散量が降水量を大きく上回ることによる深刻な水ストレスに晒される可能性が高いと考えられる。

ギンギシと水ストレスとの関係について、光合成速度とテンシオメータで測定した土壌水分量との関係について見ると、ギンギシの光合成速度は、 -0.1kgf/cm^2 で徐々に低下し始めた(図3)。最もギンギシが水ストレスに晒されていると思われる7月・8月の釣浜生育地での土壌水分量については残念ながら測定できなかったが、降水量が蒸発散量を上回っている3月初めの釣浜でのギンギシ生育地の土壌水分量は、一部の例外を除いて、 -0.1kgf/cm^2 程度であった(データは示していない)。この結果は、蒸発散量が降水量を上回る7月・8月の土壌水分量が、光合成速度が低下し始める -0.1kgf/cm^2 低下になること可能性が極めて高いことを示している。

以上の結果から、父島に生育するギンギシは、特に7月・8月の水ストレスに晒される生育に不適な時期が来る前に種子生産を終了するように、10月から5月あるいは6月までの間に地上部の成長開始から種子生産までの一連の生活環を終わるように生育していると考えられる。このようなフェノロジーは、父島の環境条件下で生き残るための一つの有効な方法と考えられ、ギンギシはその一例であろう。また、小笠原と環境条件が極めて異なる茨城県つくば市国立環境研究所内の実験ほ場での生育実験から、5月に発芽したギンギシは、夏期の間成長を続け、翌年には発芽可能な種子を作り得ることが分かった(図1)。この結果は、異なる環境条件下でギンギシがフェノロジーを変えて生育できるが能力が高いことを示している。

最後に、1月あるいは3月の調査時、ギンギシの他、ホナガソウ、シロバナセンダングサ、カタバミの一種などの帰化植物が開花期あるいは結実期であった(データは示していない)。これらの現象は、ギンギシと同様帰化植物が小笠原の夏期の水ストレスに晒される前に種子生産を完了する適応的な現象であることが十分考えられるだろう。

謝辞

釣浜、扇浦に生育するギンギシの写真撮影を行って頂いた以外にも様々なご援助を頂いた小笠原野生生物研究会の安井隆也氏、また、釣浜での土壌水分量の測定の際便宜を計って頂いた東京都小笠原支庁の関係部署の方々および東京都立大学小笠原実験所の関係者の方々には厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 岩崎 尚(1973)蒸発散位の計算法 新編農業気象ハンドブック 著者代表者 坪井八十二 pp. 808-812 養賢堂
- 2) 小笠原自然環境研究会編(1994)フィールドガイド「小笠原の自然」第2刷 古今書院
- 3) 佐竹義輔、大井次三郎、北村四郎、亘理俊次、富成忠夫 編(1982)日本の野生植物 草本 平凡社
- 4) Thomthwaite, C.W.(1984) Geograph. Rev., 38(1): 55-94.

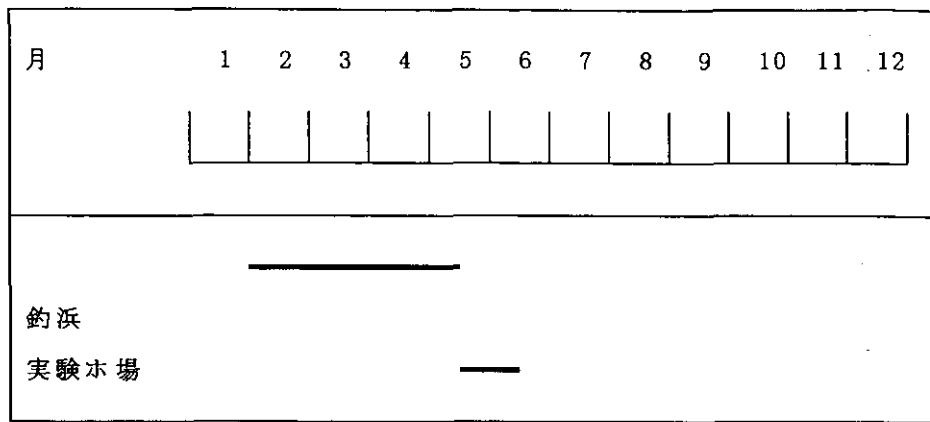


図1 父島釣浜と茨城県つくば市（国立環境研究所内実験ほ場）でのギシギシの開花・登熟の期間
 図中の ——— は開花・登熟の期間を示す。

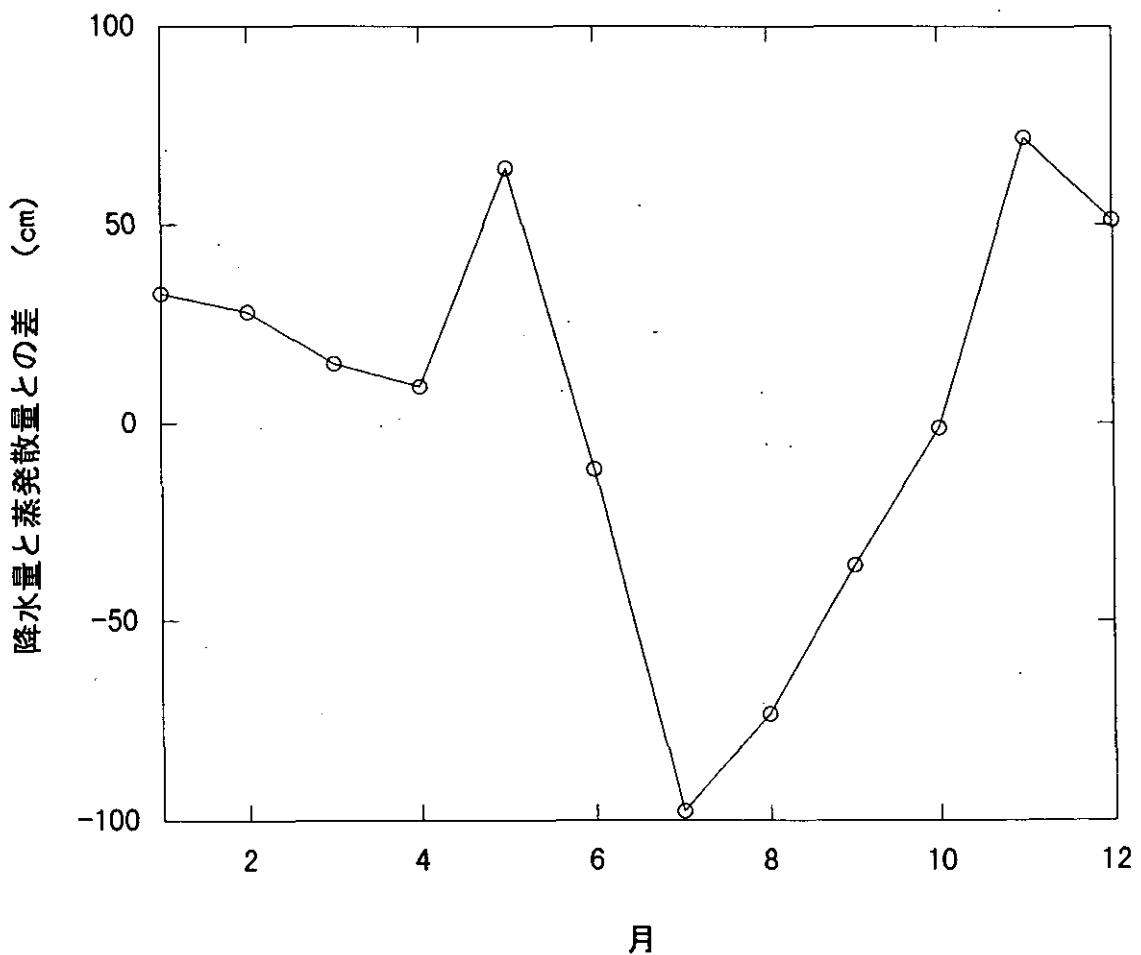


図2 小笠原父島での降水量と蒸発散量との差の推定値
 降水量と蒸発散量との差の推定値は、小笠原自然環境研究会編（1994）に示されている降水量と月平均気温をもとに、蒸発散量は月平均気温から Thornthwaite, C.W.(1984)による経験法により蒸発散位を求め蒸発散量として計算した。

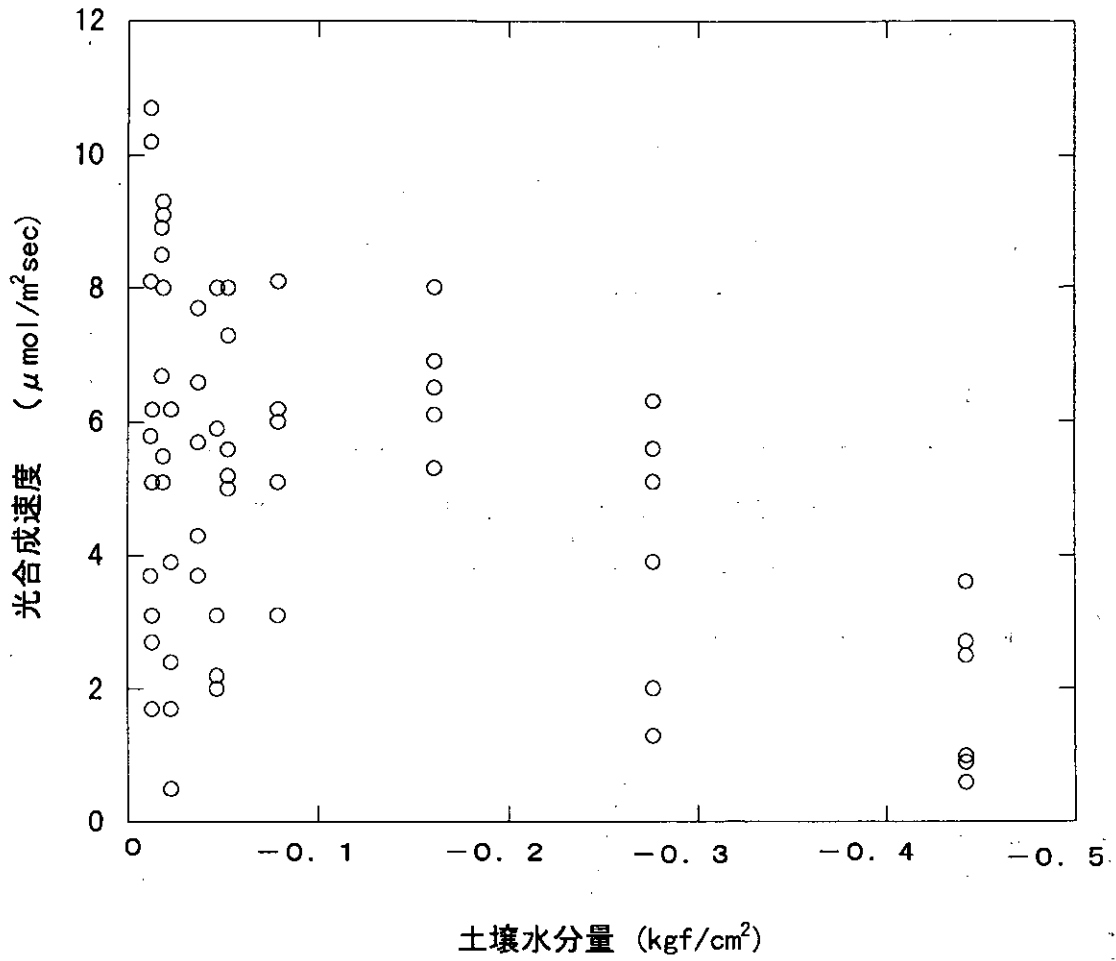


図3 ギンギンの光合成速度と土壤水分量との関係
 温室内で約2ヶ月育成したギンギンについて、灌水の頻度を変えて土壤水分量を調節し、
 光合成速度と土壤水分量を測定した。

グンバイヒルガオの発根頻度と葉面積との関係

奥井智子・古川昭雄（奈良女子大学理学部）

野原精一（国立環境研究所生物圏環境部生態機構研究室）

要旨

グンバイヒルガオ (*Ipomoea pes-caprae*) の不定根の役割について調べた。不定根は、①葉への水分供給、②砂丘の移動に対する防御、③分枝によって娘個体を形成するため、の役割を有していると考え、3つの仮説を検証する目的で外部形態について調べた。葉面積は、つるの先端から末端に向かって増大し、つるの中央部で最大となった。先端からの距離と比葉面積との間でも同様の傾向が見られた。葉面積のピークが見られる場所の少し先に、最初に不定根が形成され、末端に向かって比較的高頻度に発根していた。根間距離と根の出ている節と節との間についている葉の面積の合計との関係について調べた結果、根間距離が長くなるほど合計葉面積は大きくなっていった。以上のことより、不定根は、蒸発面として考えられる葉への水分供給器官としての役割よりも、上に述べた②や③の役割の方が大きいことが推察された。

Abstract

The role of adventitious roots of *Ipomoea pes-caprae* was studied. The survey was made on the beach at Yagachi Island in Okinawa, Japan. Three hypotheses were proposed (1) water supply to the leaves, (2) protect from the moving sand dune, (3) developing daughter-individuals by expanding vines. The analysis of adventitious root production and leaf development patterns revealed that the leaf area became their maximum at the middle of vines. The leaf area is considered to be an evaporation surface. Thus, if adventitious roots contribute to water supply to leaves, the integrated leaf area between the adventitious roots is expected to be positively correlated with the distance of the adventitious roots. However, the integrated leaf area increased with increasing the distance between the roots. These results suggest that the role of adventitious roots is not for the water supply, but for the protection of plant individuals from the moving sand dune.

1. 序

グンバイヒルガオは、東南アジアやオーストラリアなど亜熱帯から熱帯にかけて広く分布する匍匐性のつる植物である。この種は匍匐生長する際、主根とは別につるから不定根を形成することが知られており、形成された不定根が植物葉への水分供給を助けている可能性がある。しかし、つるに形成された根の水分供給に対する役割の知見は乏しい。そこで、本研究では、グンバイヒルガオの着葉・発根頻度などを調べることで、この根が植物体への水分供給源として機能しているのかどうかを明らかにすることを目的とした。

2. 調査方法

調査は1998年の6月と10月の2回行い、沖縄本島の北部を中心に海岸沿いへのグンバイヒルガオ (*Ipomoea pes-caprae*) の分布の有無を調べた。次に、分布していた地点のうち、屋我地島を調査地を選び、海岸砂丘に分布していた数個体のツルの先端から節と葉にナンバリングを行い、節間距離、葉長と葉幅、根の出ている場所を記録した。さらに、葉の乾燥重量を測定し、葉の長さから幅から葉面積を求め、着葉様式や発根頻度について解析した。

3. 結果と考察

分布調査の結果、沖縄本島の外湾の海岸沿いに主として分布するという傾向が見られたが、内湾にはほとんど見られなかった(図1)。また、この種は海岸の砂上に主に生育するとされているが、今回の調査では、河口付近から上流にむかって約1kmにわたって分布していることが確認された。

これまでの予備的研究の結果、主として海岸に分布している植物でも内陸にまで分布を拡大するのが可能な植物が多い。すなわち、温帯の海岸に分布しているコウボウムギやケカモノハンシ、ハマヒルガオ等を国立環境研究所の圃場に植栽したが、コウボウムギやケカモノハンシは越年して繁殖した。しかし、ハマヒルガオは個体数が減少し、やがては消滅してしまった。ハマヒルガオは、グンバイヒルガオと同様に、匍匐性のツル植物であるため、周囲にキク科の草本植物等が繁茂してくると、十分な光を受けることが出来なくなり、消滅したものと思われる。このように、多種との光獲得競争に負けないような条件下では、海岸にしか分布していないと考えられている種でも内陸にまで分布域を拡大することが可能と思われる。

温帯の海岸に分布している植物と同様に、グンバイヒルガオが河口から約1kmにもわたって分布していることは、温度条件や水分条件が良好な場所で光が十分に受けられるならば、繁殖が可能なことを示しているためであろう。しかし、極めて奇妙なことに、グンバイヒルガオが、光がほとんど当たらない土管の中に数mもツルを伸ばしていることがあった(写真1)。そのようなツルは白化しており、光合成を行っていないことは確かである。このような走暗性とも呼べるようなグンバイヒルガオの性質がどのような条件の時に生じるのかは今後の課題であるが、ツル植物は外的高等植物とは異なった性質を有しているのではないと思われる。

グンバイヒルガオの葉面積は、つるの先端から末端に向かって増大し、つるの中央部で最大となった(図2)。先端からの距離と葉の乾燥重量との間でも同様の傾向が見られた(図2)。そこで、このピークと発根との関連を調べたところ、葉面積のピークが見られる場所の少し先に、最初に根の出現する場所があり、そこから末端に向かって比較的高頻度に発根するという傾向があった(図3)。葉が完全に展開して、葉面積が最大になった後に発根するという生長過程をたどると思われるため、最大葉面積が出現する場所よりも先端に近い場所で、発根するのではないかと考えられる。ピークの少し先に最初の根が出る場所があるのではないかと考えられる。また、根間距離と根の出ている節と節との間についている葉の面積の合計との関係を調べたところ(図4)、根間距離が長くなるほど合計葉面積は大きくなっていった。

グンバイヒルガオの不定根形成に関しては、様々な原因が考えられる。すなわち、①ツル植物がツルを伸ばして成長するためには、1箇所の根からの水分や養分の供給では不足し、不定根を形成することによって供給場所を数カ所に増やすのではないかと考えられる。②砂丘の移動によって植物体が移動しないようにするため、不定根を形成してアンカーのような役割をしているのではないかと考えもある。さらに、③分枝することによって分布域を拡大することが容易になるために不定根を形成することも考えられる。もし、①の理由によって不定根が形成されているとしたら、上にも述べたように、蒸発面である葉の面積がある量以上になると不定根を形成すると考えるのが妥当である。しかし、合計葉面積と根間距離の間には正の相関が見られ、図4に示した結果はこの仮説と矛盾するものであった。②の考えの根拠には、海岸砂丘でも砂の移動の少ない場所に生育しているグンバイヒルガオは、不定根を形成せずに7~8mもの長さにツルを伸ばしていることである。すなわち、ツルが砂によって覆われると不定根を形成し、その結果として砂丘の移動が激しい場所では不定根を高い頻度で形成し、アンカーのような役割をしているように見えるのではないだろうか。グンバイヒルガオは、分枝する箇所ではほぼ確実に不定根を形成していることから、③として挙げた考えが生じたのである。海岸砂丘で数多くのグンバイヒルガオを観察していると、主根を伸ばして娘個体を形成しているのも見られ、必ずしも分枝して娘個体を形成するばかりではなさそうである。今回は、不定根形成に関して3つの仮説を提唱したが、得られた結果は、生物学的に最も妥当と思われる①の仮説を棄却することになった。

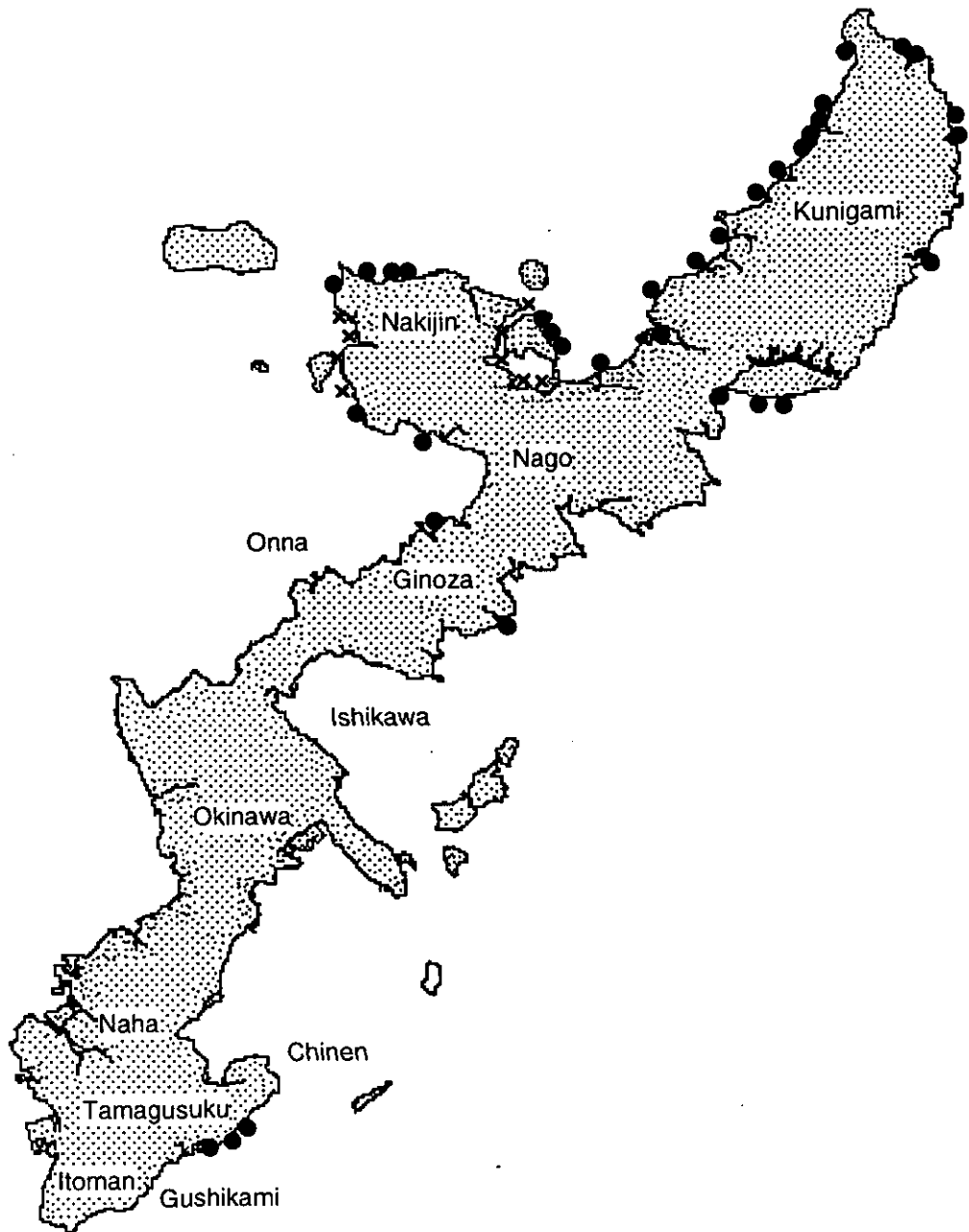


図1 沖縄本島でグンバイヒルガオの分布が見られた場所。○で示した場所がグンバイヒルガオが確認された場所、×で示した場所には確認されなかった。全ての海岸砂丘を調べたのではないので、図示した以外の場所にも分布している可能性はある。

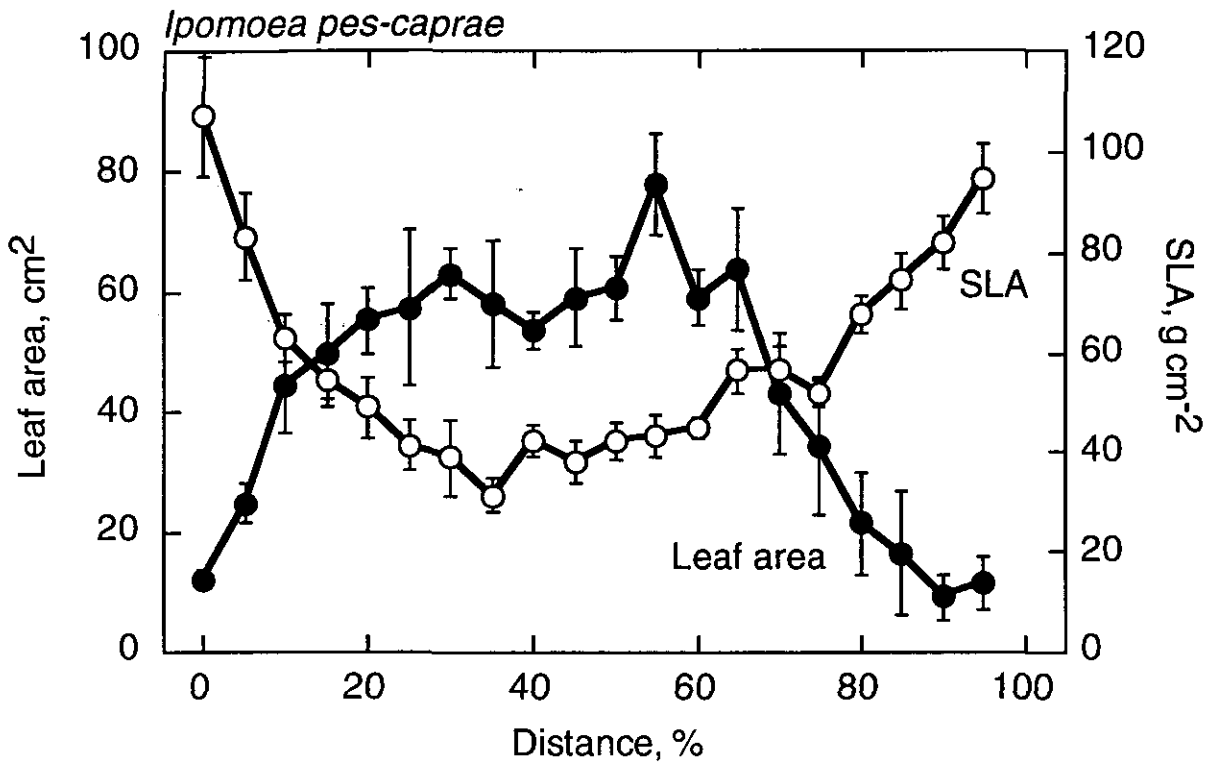


図2 グンバイヒルガオのツルの先端からの距離と葉面積、比葉面積との関係。先端からの距離は、先端から主根までの距離を100とした相対値で示してある。

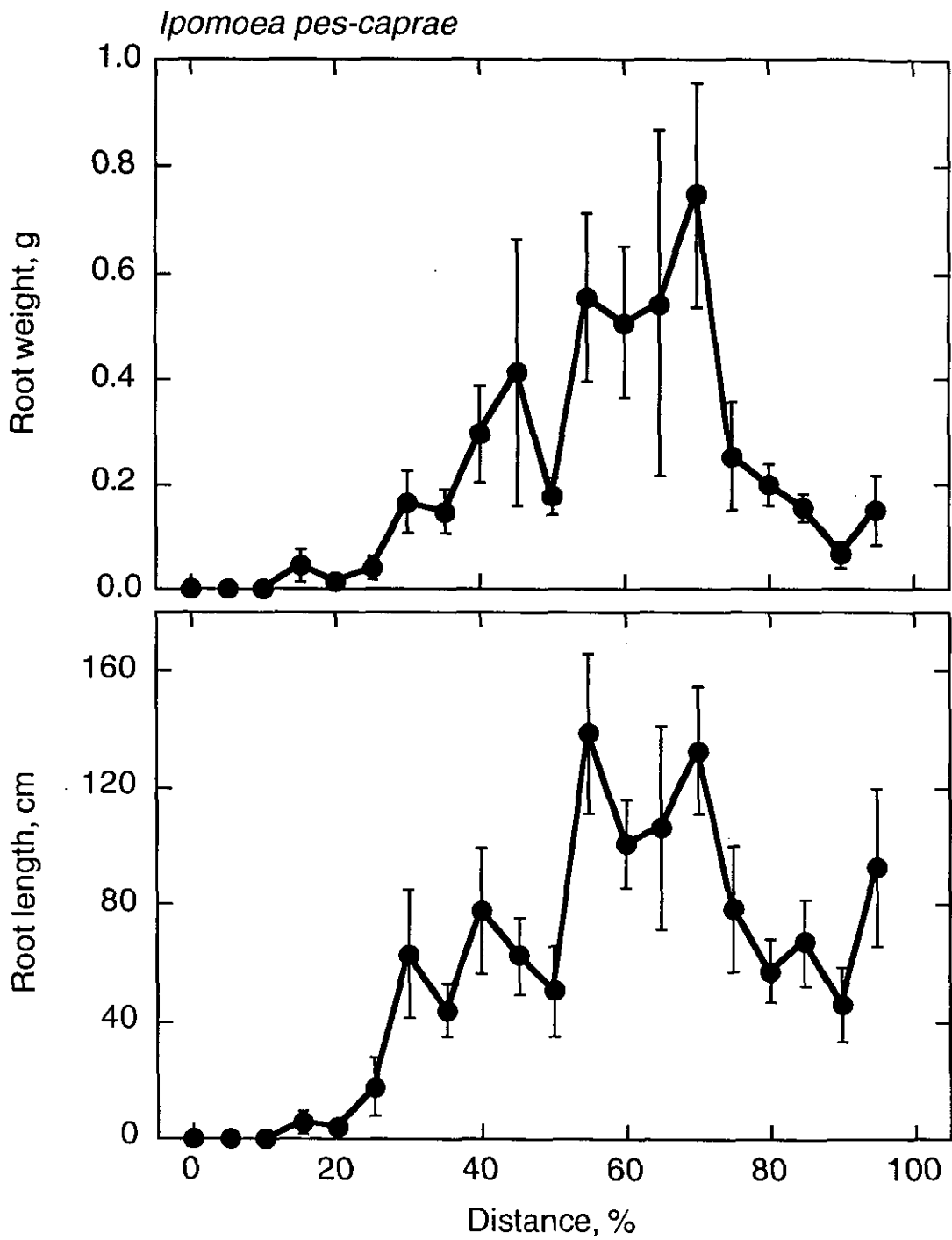


図3 ゲンバイヒルガオのツルの先端からの距離と根重、根長との関係。先端からの距離は、先端から主根までの距離を100とした相対値で示してある。

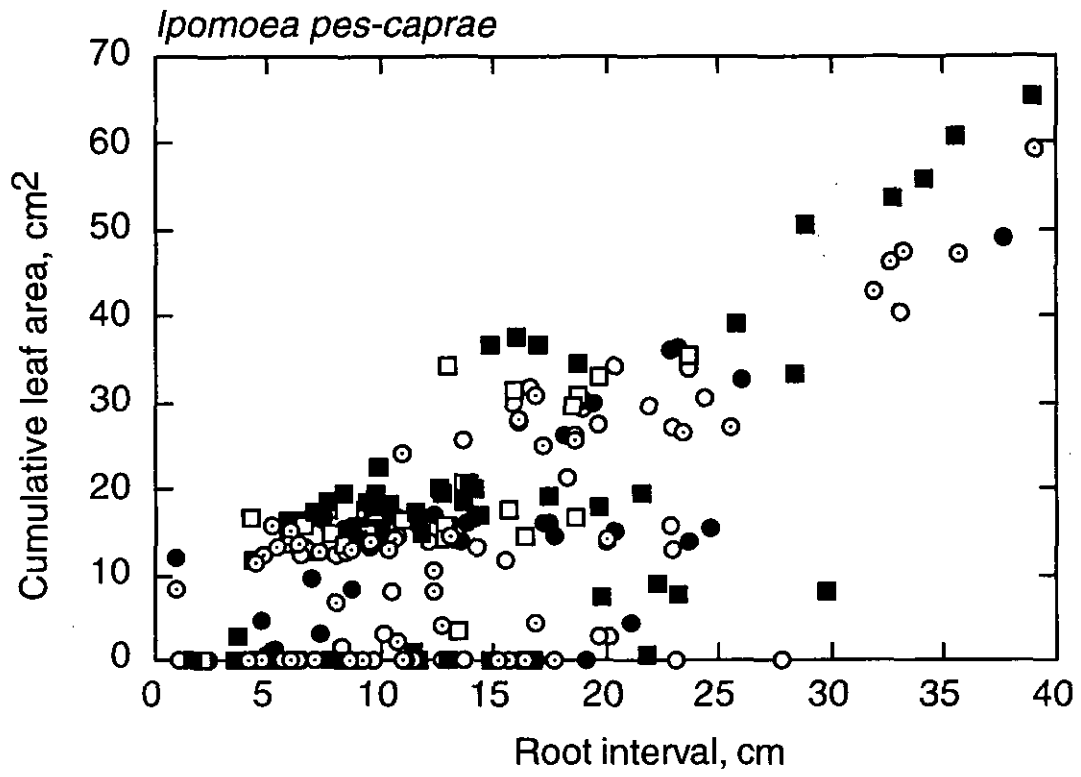


図4 ゲンバイヒルガオの根間距離と不定根間の合計葉面積との関係。



写真1 屋我地島で見られた土管の中にツルを長く伸ばしているゲンバイヒルガオ。

第4章

島嶼の生態系保全のためのモデリング・評価に関する研究

小笠原諸島における、新規移入種モズとイソヒヨドリの種間関係

上田 雅子・名越 誠 (奈良女子大学理学部)

要約

小笠原に移入したモズ (*Lanius bucephalus*) が、在来の鳥類にどのような影響を与えるかについて、小笠原の既存の鳥類の中でも、形態的にはモズとは全く異なるが、分布域、食餌内容が似ているイソヒヨドリ (*Monticola solitarius*) について種間関係を調べた。

モズとイソヒヨドリの行動圏は同種内ではほとんど重複していないが、異種間では大きく重複していた。しかし、モズは、イソヒヨドリの行動圏をほとんど利用せずに上空を通過するだけであったが、非繁殖期には両種の行動圏が重複する傾向にあった。

play back 実験を行った結果、イソヒヨドリのモズのさえずりに対する反応とイソヒヨドリのヒヨドリのさえずりに対する反応は異なっていた。モズの同種のさえずりに対する反応は、育雛期に低下する傾向があったが、有意な差は認められなかった。

イソヒヨドリは、同種に対する攻撃行動が最も高い頻度で観察され、次いでモズに対する攻撃行動が多く観察された。モズも同種に対する攻撃行動の割合が最も高かったが、ヒヨドリに対する攻撃行動も多く観察された。

モズとイソヒヨドリの営巣場所は全く異なっており、モズの巣は全て樹上につくられていたのに対して、イソヒヨドリは崖の岩棚や、人家の雨樋、橋桁の下などに営巣していた。

Abstract

The effect of introduced *Lanius bucephalus* on native fowls was studied in Ogasawara Island. For this purpose, we focused on the intraspecific relationship between *L. bucephalus* and *Monticola solitarius* from the aspect of spatial distribution and habitat of these two species. The spatial distribution and habitat of *L. bucephalus* were different from that of *M. solitarius* during the breeding time, but the distribution area of the two species was overlapped during the non-breeding time. The attacking behavior of *L. bucephalus* was intraspecific, but this species attacked *M. solitarius* and *Hypsipetes amaurotis* though the frequency of attacking was not high. The attacking behavior of *M. solitarius* was also intraspecific and the attacking frequency to *H. amaurotis* was high.

1. 序

小笠原諸島は、日本列島から約 1000 km 離れた大洋島であるために、生物層は非常に貧弱である。これまでに、この小笠原諸島で記録された鳥類は 184 種である⁴⁾ が、その中で、繁殖が確認された陸鳥はわずか 15 種である。絶滅した種もいることなどから、本研究の調査地である父島で、現在、定着、繁殖している陸鳥は、わずか 8 種にすぎない¹⁹⁾。その中でも、モズ (*Lanius bucephalus*) は、比較的最近まで観察記録がなかったが^{9)・4)}、1984 年から毎年観察されるようになり、1988 年には初めて繁殖が確認された¹⁸⁾。その後も、父島でのモズの分布域は拡がり、現在では畑やギンネム林が広がる開けた環境ではごく普通に観察されるようになった。

鳥類では、種間競争の結果、空間の利用が制限されたり^{2)・13)}、餌が制限され雛の成長に影響を受けたりする例⁷⁾などが多く報告されている。また、このような種間競争は、近縁種間では多く報告されているが、形態的にも全く異なる種間での報告例は少ない¹²⁾。生物層が貧弱な小笠原諸島では、鳥類は食物連鎖の中でも上位にいるため、個体数の制限要因に、種間競争が大きく影響する可能性が考えられる。このような生態系である小笠原に、新たに移入したモズが、在来の鳥類にどのような影響を与えるかは、非常に興味深いところである。本研究では、小笠原の既存の鳥類の中でも、形態的にはモズとは全く異なるが、分布域がモズと似ているイソヒヨドリ (*Monticola solitarius*) に焦点を当て、両種の種間関係について研究を行った。

2. 材料と方法

モズ：モズは、日本の本州などでは畑や林縁部などの開けた環境にごく普通に見られる鳥であり、小型昆虫を中心にネズミなどの小型哺乳類、鳥類、トカゲやカエルなどを餌としている^{16)・10)・5)}。樺太や北海道に生息している北方の個体群は西日本などの南の地域に移動して越冬し、越冬地は香港あたりまで及んでいる。しかし、モズが留鳥としてみられるのは、山東半島の一部と、日本の本州、九州、南・北大東島だけであった。小笠原に定着したのは、毎年観察されるようになった 1984 年頃である¹⁹⁾と考えられる。

イソヒヨドリ：イソヒヨドリは、本州などでは主に海岸沿いの磯、岸壁、漁村などの海沿いに分布している鳥であり、陸地から離れた離島でも観察することができる。小笠原では、1891 年には、すでに記録されており¹⁵⁾、古くから定着している種であると考えられる。また、本州とは異なり、イソヒヨドリは父島では道沿いに、島の中心部まで広く分布している。

3. 調査方法

調査地：調査は、東京から南、約 1000 km に位置する小笠原諸島父島で行った（図 1）。父島は亜熱帯気候に属する大洋島であり、面積は約 24km² である。島の中央部には標高 200~300m の山々が背梁山地を形成しており、島の大部分はムニンヒメツバキやシマシマリンバイなどからなる常緑樹林におおわれている。しかしながら、島の北部の大村地区周辺と、西部の扇浦地区から洲崎地区、島の中部を流れる八つ瀬川流域には、市街地や畑、公園が拡がり、その周囲には二次林であるギンネム林が拡がっている。

行動圏：調査は、1996 年 4 月 19 日~5 月 26 日、1997 年 6 月 6 日~6 月 20 日、11 月 10 日~12 月 6 日に行った。父島北袋沢地区（図 1）において直接観察を行い、モズとイソヒヨドリ、各個体の移動の軌跡と、採餌・餌の探索・さえずり・他個体との争い・休息のために利用した地点（以後活動点とする）を地図上に記録した。各個体の活動点の最外点を直線で結び、凸多角形で示したものを行動圏とした。ただし、他個体に追われるなど、明らかに他個体の縄張りへの侵入であるとみなされた活動点は除外した。モズとイソヒヨドリには、色足輪をつけていないが、各個体の羽の色、及び行動圏で個体識別をおこなった。イソヒヨドリ各個体の総観察時間はそれぞれ 70 分間、モズ各個体の総観察時間はそれぞれ 120 分間であった。

playback 実験：実験は、イソヒヨドリとモズの雄に対して、1997 年 6 月 16 日~6 月 22 日、11 月 22 日~12 月 1 日、1998 年 3 月 13 日~3 月 17 日に行った。6 月 16 日~6 月 22 日はイソヒヨドリにとっては育雛期にあたる。モズにとっても育雛期にあたる時期だが、父島のモズの個体群は、性比が雄に非常に偏っており、つがいを形成できた雄が少なかったため、実験はつがいを形成していない独身雄に対して行った。11 月 22 日~12 月 1 日は、両種とも、非繁殖期にあたり、雄、雌がそれぞれ単独で縄張りを形成していた。3 月 13 日~3 月 17 日は、両種ともつがい形成期から造巣期にあたり、両種ともに、抱卵、育雛を行っているつがいは観察されなかった。

モズとイソヒヨドリがよく活動している時間帯に、各個体を 30 分間観察し、その際観察された行動圏のほぼ中央部に、カセットデッキを置いた。カセットテープに録音した、モズ・イソヒヨドリ・ヒヨドリのさえずりを流し、各個体の反応を観察した。ヒヨドリ (*Hypsipetes amaurotis*) は、モズとイソヒヨドリが分布している地域に普通に見られる雑食の鳥であり、体サイズはイソヒヨドリと同じくらいである。実験は、日の出後 4 時間の間に行い、各個体には 1 日につき 1 種類の鳥の声しか流していない。カセットデッキを置いただけの状態では 5 分間（以後実験前とする）、鳴き声を流した状態で 5 分間（以後実験中とする）、各個体の鳴いた回数、鳴いていた時間、カセットデッキから 5m 内にいた時間、5~10m 内にいた時間を記録した。実験中、カセットデッキは特別に隠してはならず、実験者はカセットデッキから 20m 以上離れるようにした。攻撃行動、営巣場所：調査期間は 1997 年 4 月 11 日~5 月 12 日、6 月 2 日~6 月 23 日、11 月 9 日~12 月 6 日、1998 年 3 月 3 日~3 月 23 日である。

営巣場所・攻撃行動・採餌した餌種について、観察された際に随時記録した。また、同一個体が 1 分以内に連続して採餌を行った場合には、最初に行った採餌のみ記録した。

4. 結果

行動圏

1997 年 6 月に観察されたモズとイソヒヨドリの行動圏を、記録した各個体の移動の軌跡の最外点を結び、凸多角形で示した（図 2）。白抜きはモズの行動圏を、灰色はイソヒヨドリの行動圏を示す。この時期、イソヒヨドリはつがいを形成しており、A 個体は、巣立ち雛を育雛中であつた。モズは、④個体のみ、つがいを形成していたが、調査期間中に雄雌ともに観察されなくなったため観察時間は 45 分間であつた。11 月~12 月は、モズとイソヒヨドリは非繁殖期であり、それぞれ雄・雌単独で縄張りを張っていた（図 2、3）。11 月には、イソヒヨドリの行動圏の数は 6 月に比べて 3 倍になっていたが、モズについては、観察された行動圏の数に違いはなかった。モズとイソヒヨドリの行動圏は同種内ではほとんど重複していないが、異種間では大きく重複していた。しかし、モズは、イソヒヨドリの行動圏をほとんど利用せずに上空を通過するだけであつた。そこで、ある個体が自分の行動圏内を飛び地上に利用している場合の、実際に利用している場所を飛び地上に示したものが図 4 と図 5 である。モズとイソヒヨドリは繁殖期も非繁殖期も、実際に利用している場所はほとんど重複していなかった。ただし、非繁殖期である 11 月の方が、両種の行動圏が重複する傾向にあつた。また、繁殖期にはモズの行動圏であつたが、非繁殖期にはイソヒヨドリの行動圏になった箇所、反対に繁殖期にはイソヒヨドリの行動圏であつたが、非繁殖期にはモズの行動圏になった箇所があつた。一方、繁殖期である 6 月には、イソヒヨドリが占めている行動圏を、モズが利用していた（図 6）。

playback 実験

3 月のイソヒヨドリの同種のさえずりに対しての反応は、鳴いていた時間・カセットデッキから 5~10m 内にいた時間・ディスプレイを行った数・ディスプレイを行った時間が、実験前に比べ実験中に、有意に増加した（表 1）。また、6 月には、さえずりの数・鳴いていた時間が有意に増加し、11 月にはカセットデッキから 5m 内にいた時間が有意に増加した。イソヒヨドリのモズのさえずりに対する反応は、3 月には有意な反応が見られなかったが、6 月には、鳴いていた時間・カセットデッキから 5~10m 内にいた時間が、11 月にはカセットデッキから 5~10m 内にいた時間が有意に増加した。反対に、イソヒヨドリは、ヒヨド

りのさえずりに対しては、いずれの時期も有意な反応を示さなかった。

モズは、同種のさえずりに対して、3月にはさえずりの数・鳴いていた時間が、11月には鳴いていた時間が、有意に増加した(表2)。6月には、モズは同種のさえずりに対しては有意な反応が見られなかったが、イソヒヨドリのさえずりに対しては、実験中に有意にさえずりの数が増加した。ヒヨドリのさえずりに対しては、いずれの時期も有意な反応は示さなかった。

イソヒヨドリの同種のさえずりに対する反応は、さえずりの数・鳴いていた時間・カセットデッキから5m内にいた時間・ディスプレイを行った数について、実験を行った時期による差が有意に認められた(表3、4)。これらの値は、つがい形成期の方が非繁殖期よりも、有意に大きく、鳴いていた時間・ディスプレイを行った数については、つがい形成期と育雛期を比較しても、前者の方が有意に値が大きくなった。また、鳴いていた時間は、育雛期の値についても、非繁殖期よりも有意に大きかった。ディスプレイを行っていた時間に関しては、つがい形成期の値が、育雛期、非繁殖期の値よりも有意に大きかった。イソヒヨドリのモズのさえずりに対する反応は、実験を行った季節間で、カセットデッキから5~10m内にいた時間に有意な差が認められた。この値は、つがい形成期よりも育雛期の方が有意に大きく、非繁殖期の値も、つがい形成期の値よりも有意に大きかった。しかし、カセットデッキから5m内にいた時間については、非繁殖期よりもつがい形成期の方が有意に値が大きくなった。さえずりの数と鳴いていた時間は、いずれも育雛期の方が非繁殖期よりも有意に値が大きかった。ディスプレイを行った数と時間は、つがい形成期が、育雛期、非繁殖期よりも有意に値が大きかった。イソヒヨドリのヒヨドリのさえずりに対する反応は、季節により有意な差は認められなかった。

モズの同種のさえずりに対する反応は、鳴いていた時間・カセットデッキから5m内にいた時間・5~10m内にいた時間について、育雛期に値が小さくなる傾向があったが、有意な差は認められなかった。イソヒヨドリのさえずりに対しては、モズがさえずった数について季節間で差が認められ、育雛期の値が、つがい形成期、非繁殖期よりも有意に大きかった。また、鳴いていた時間・カセットデッキから5m内にいた時間・5~10m内にいた時間についても、同様の傾向があったが、有意な差は認められなかった。モズはヒヨドリのさえずりに対しては季節により有意な差は認められなかった。

営巣場所

調査期間中に発見した、モズの巣は全て樹上につくられていた。イソヒヨドリは、崖の岩棚や、人家の雨樋、橋桁の下などに営巣していた。このため、モズとイソヒヨドリの営巣場所は全く異なっていた。

5. 考察

モズとイソヒヨドリの行動圏は重複していたが、実際に利用している場所は重複しておらず、モズは、イソヒヨドリの行動圏を避け、飛び地上に自分の行動圏内を利用していた。これは、モズの縄張りが飛び地上に分布していることを、示していると考えられる。

モズは1997年にイソヒヨドリの行動圏になっていた場所を、前年の繁殖期には利用していた。しかし、イソヒヨドリの行動圏となった1997年にはその場所を全く利用していなかった。このことから、モズはイソヒヨドリが縄張りを張ることにより、その場所を利用できなくなると考えられる。また、非繁殖期と繁殖期の違いがあるが、イソヒヨドリもモズが縄張りを張っている場合には、イソヒヨドリが利用可能であった場所も利用していなかった。これらのことから、両種の利用する場所が重複していないのは、両種の環境の嗜好性の違いではなく、イソヒヨドリもモズも互いの存在による影響であると考えられる。

playback 実験より、イソヒヨドリは、イソヒヨドリとモズのさえずりに対しては反応を示したが、同じ地域に生息しているヒヨドリのさえずりに対する反応はまったく見られなかった。モズも、モズとイソヒヨドリのさえずりに対しては反応したが、ヒヨドリに対しては反応しなかった。このことから、イソヒヨドリとモズは互いを他の鳥と区別して認識していることがわかる。また、playback 実験は、種間縄張りを張っている鳥類間で有意な反応が見られることが、多く報告されている^{13), 14)}。

イソヒヨドリは、同種のさえずりに対してはつがい形成期である3月に最も強く反応を示したが、モズに対しては、育雛期である6月に最も強く反応していた。また、モズも同種のさえずりへの反応は、6月に最も弱くなるのに対して、イソヒヨドリのさえずりには、6月に最も強く反応する傾向が見られた。イソヒヨドリのディスプレイについては、イソヒヨドリに対してもモズに対しても3月にしか観察されなかった。これは、雄にのみ見られる行動であることと、つがい形成期の3月にのみ観察された行動であることから、雄によるつがい雌の獲得のための行動であると考えられ、他の行動とは区別できると考えた。また、イソヒヨドリのモズに対する攻撃行動も、育雛期である4-6月に最も高い割合で観察され、playback 実験でのイソヒヨドリのモズに対する反応が6月に最も強かったことと一致する。11月には、越冬個体であろうと思われるムナグロやハクセキレイが、イソヒヨドリの行動圏内で採餌する姿が多く見られ、イソヒヨドリはこれらの個体に対して攻撃を行っていた。イソヒヨドリは攻撃性が強く、自分の縄張り内で採餌を行う個体に対して、攻撃を行うものと思われる。

参考文献

- 1) Catchpole, C. K. (1978) Interspecific territorialism and competition in *Acrocephalus* Warblers as revealed by playback experiments in areas of sympatry and allopatry. *Anim.Behav.* **26**: 1072-1080.
- 2) Garcia, E. F. J. (1983) An experimental test of competition for space between Blackcaps *Sylvia Atricapilla* and Garden warblers *Sylvia Borin* in the breeding season. *J.Anim.Ecol.* **52**: 795-805.
- 3) Hasegawa, M., Kusano, T. and Miyasita, K. (1988) Range expansion of *Anolis c. carolinensis* on Chichi-Jima, the Bonin island, Japan. *Japanese J. Herpetology* **12**: 115-118.
- 4) 樋口行雄 (1984) 小笠原の鳥類目録. *Strix* **3**: 73-87.
- 5) 唐沢孝一 (1982) 育雛初期におけるモズの捕食行動. *鳥* **31**: 57-68.
- 6) Kimoto, S. (1967) Some quantitative analysis on the Chrysomelid fauna of the Ryukyu Archipelago. *Esakia* **6**: 27-54, Kyushu Univ.
- 7) Minot, E. O. (1981) Effects of interspecific competition for food in breeding Blue and Great tit. *J.Anim.Ecol.* **50**: 375-385.
- 8) Morishita, M. (1959) Measuring of interspecific association and similarity between communities. *Mem.Fac. Sci.Kyushu Univ.,ser.E (Biol.)* **3**: 65-80.
- 9) 日本鳥学会 (1975) 日本鳥類目録 (改訂第5版). 学習研究社
- 10) 小川巖 (1977) ペリットによるモズの食性分析とその季節変化. *鳥*, **26**: 63-75.
- 11) Prescott, D. R. C. (1987) Territorial responses to song playback in allopatric and sympatric populations of Alder (*Empidonax Alnorum*) and Willow (*E. Traillii*) flycatchers. *Wilson Bull.* **99**: 611-619.
- 12) Reed, T. M. (1982) Interspecific territoriality in the Chaffinch and Great tit on islands and the mainland of Scotland: playback and removal experiments. *Anim.Behav.* **30**: 171-181.
- 13) Remsen, J. V., Jr., and Graves, W. S. IV. (1995) Distribution patterns of *Buarremon* Brush-finches (EMBERIZINAE) and interspecific competition in Andean birds. *Auk*. **112**: 225-236.
- 14) Robinson, S. and Terborgh, J. (1995) Interspecific aggression and habitat selection by Amazonian birds. *Ecology* **64**: 1-11.
- 15) Seeborn, H. (1891) Birds of the Volcano Islands. *Ecology* **4**: 189-192.
- 16) 千羽晋示・朝日稔・松本文子・西広誠子・浅中和枝・坂上栄子 (1972) 日本産アトリ・モズ・ツグミ・ツバメ・ヒバリ・ヒタキ・ウグイス・セキレイ・ゴジュウカラ・キバシリ・シジュウカラ各課の鳥類の植生分析. 高尾科博研報 **4**: 43-77.
- 17) 鈴木惟司 (1991) 小笠原諸島父島において観察された育雛中のモズの食性について. 第2次小笠原諸島自然環境現況調査報告書, pp.173-176. 東京都立大学
- 18) 千葉勇人 (1990) 小笠原諸島におけるモズの繁殖. *日鳥学誌* **38**: 150-151.
- 19) 千葉勇人・船津毅 (1991) 父島列島・母島列島の鳥類. 第2次小笠原諸島自然環境現況調査報告書, 135-147. 東京都立大学

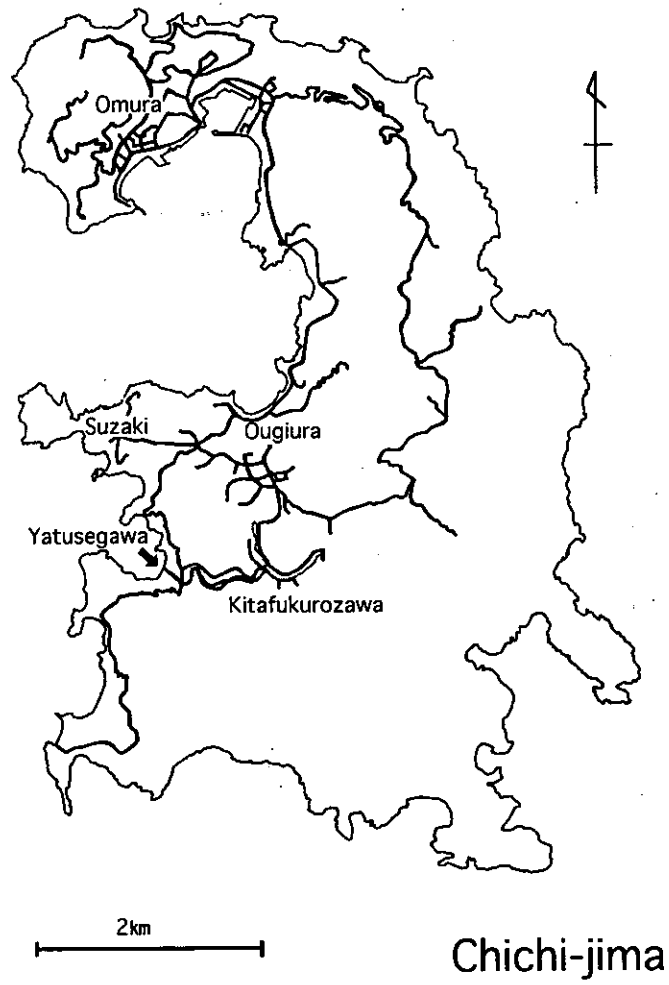


図1 調査地。小笠原諸島父島

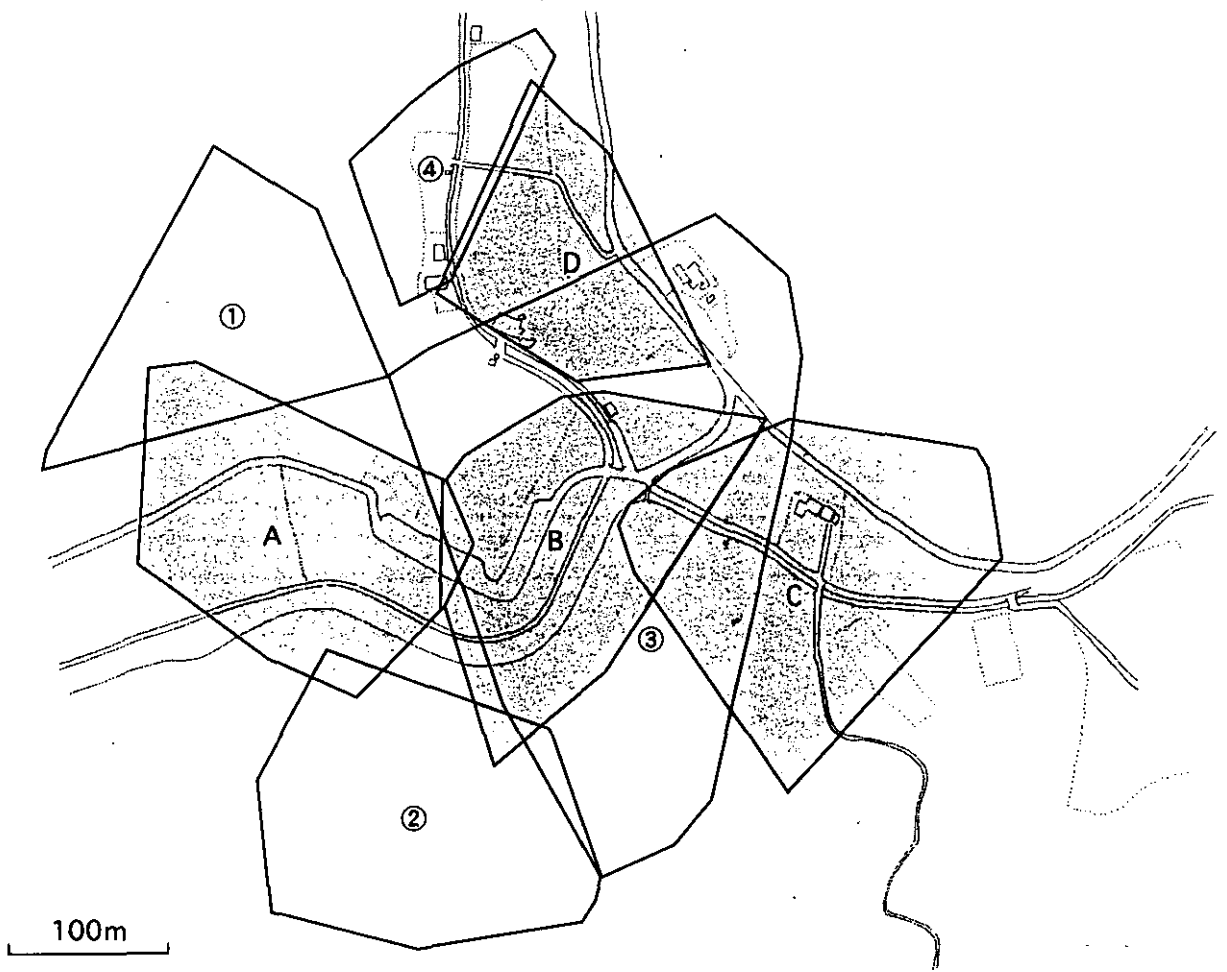


図2 1997年6月の北袋沢におけるモズとイソヒヨドリの行動圏。白囲みはモズの行動圏を、囲みをハッチングした箇所はイソヒヨドリの行動圏を示す。

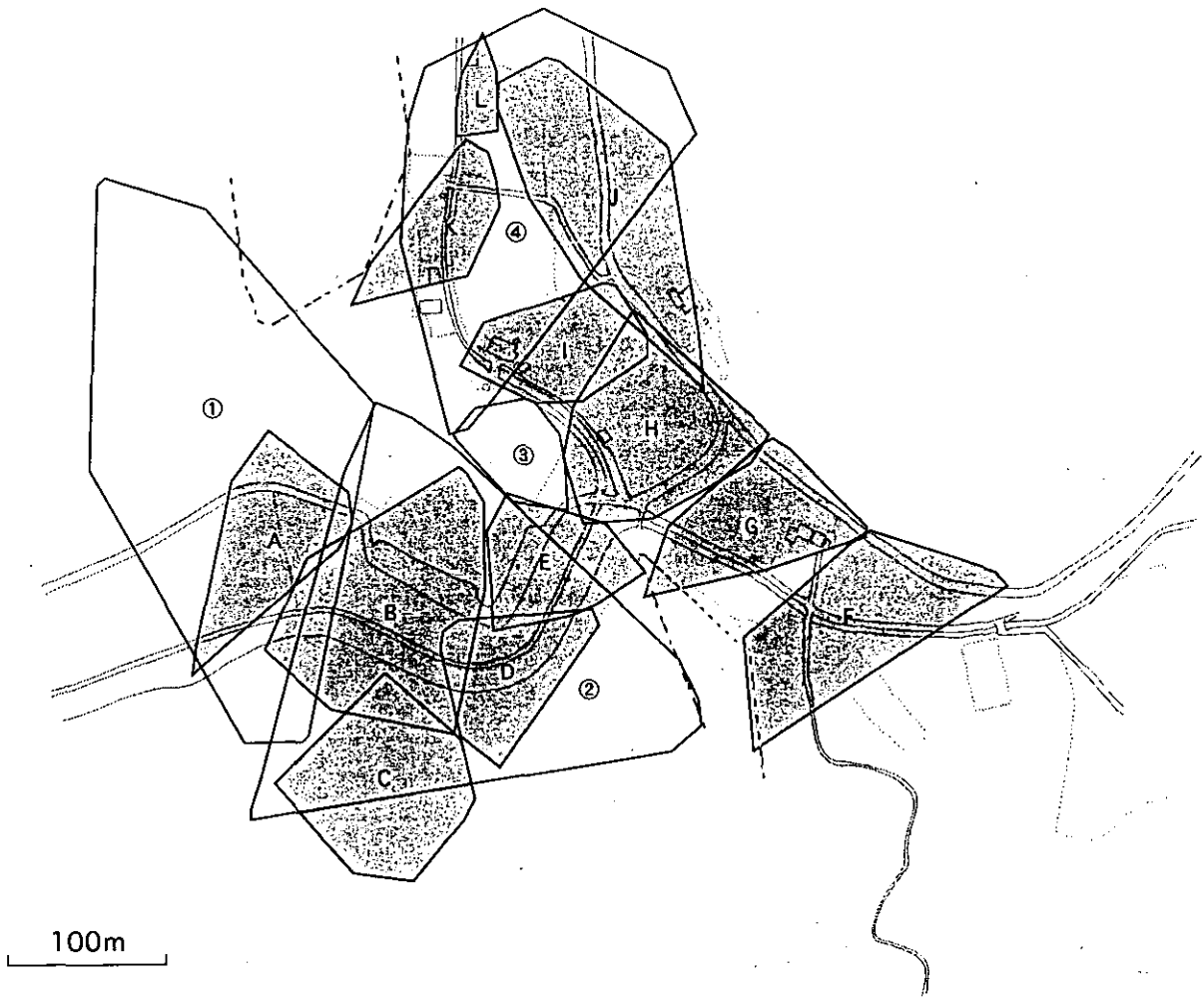


図3 1997年11月の北袋沢におけるモズとイソヒヨドリの行動圏。点線はモズの行動圏を示すが、観察時間は十分でない。



図4 1997年6月の北袋沢における、モズとイソヒヨドリが実際に利用していた場所。同一の番号は同一個体の行動圏であることを示す。

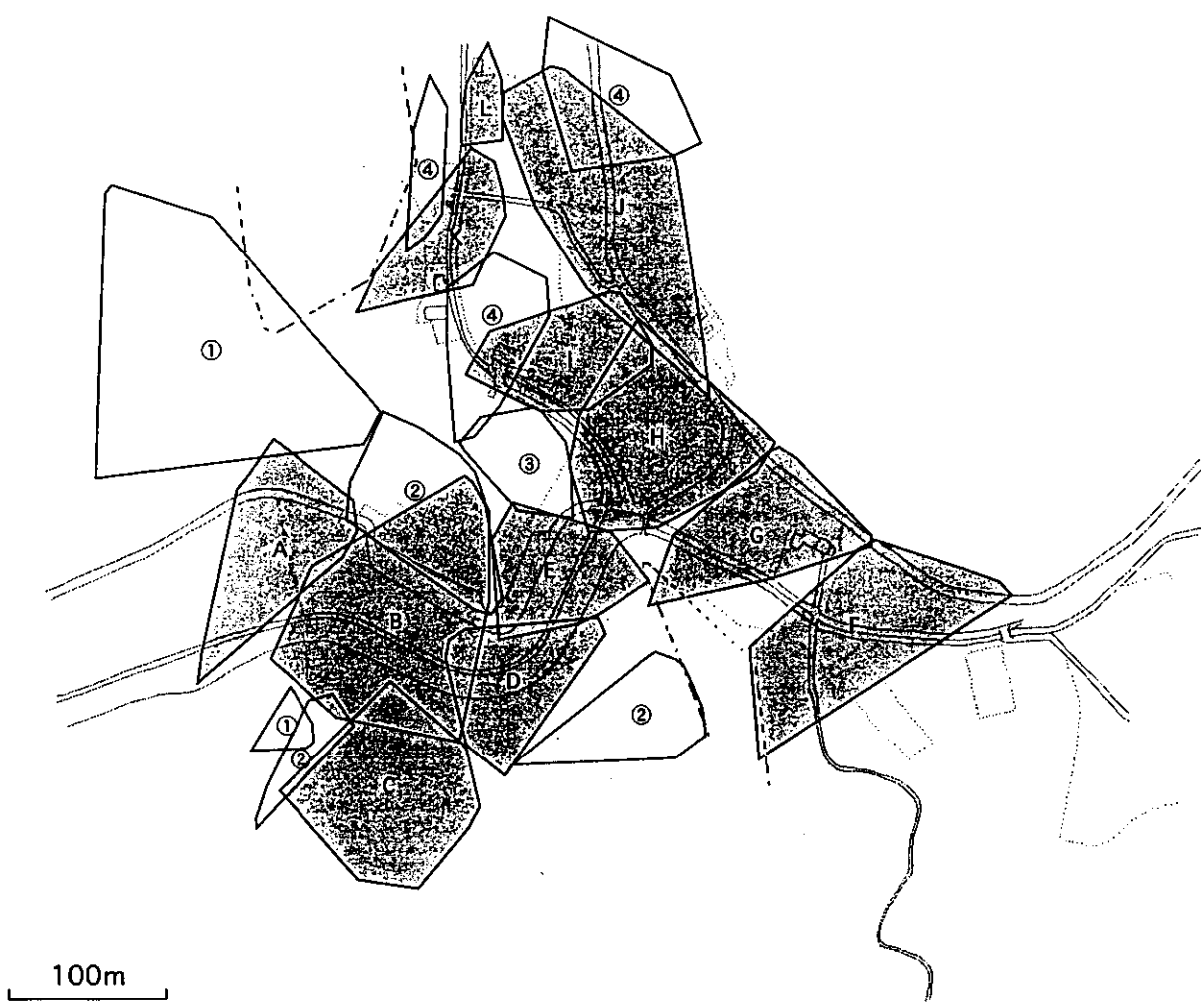


図5 1997年11月の北袋沢における、モズとイソヒヨドリが実際に利用していた場所。

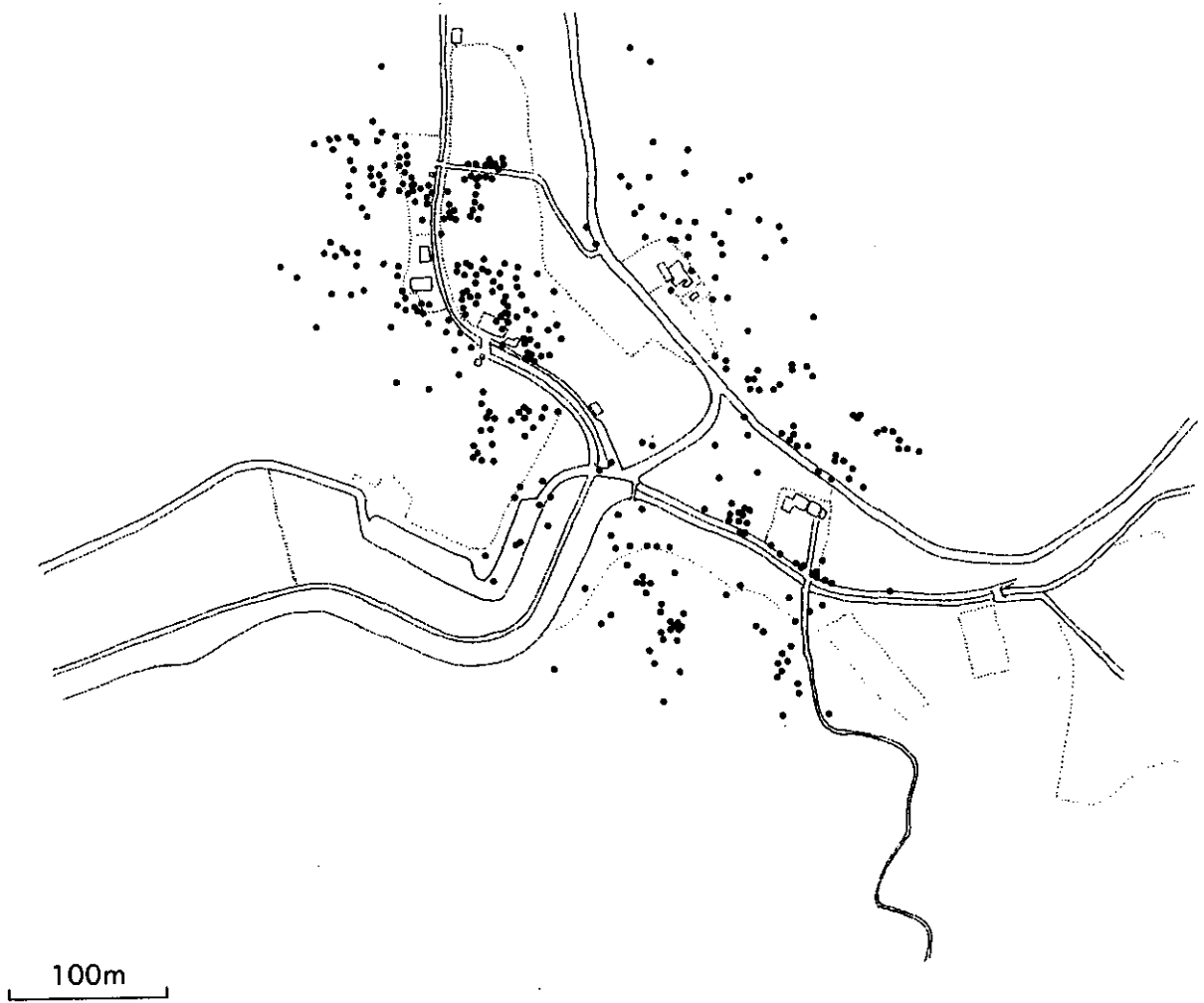
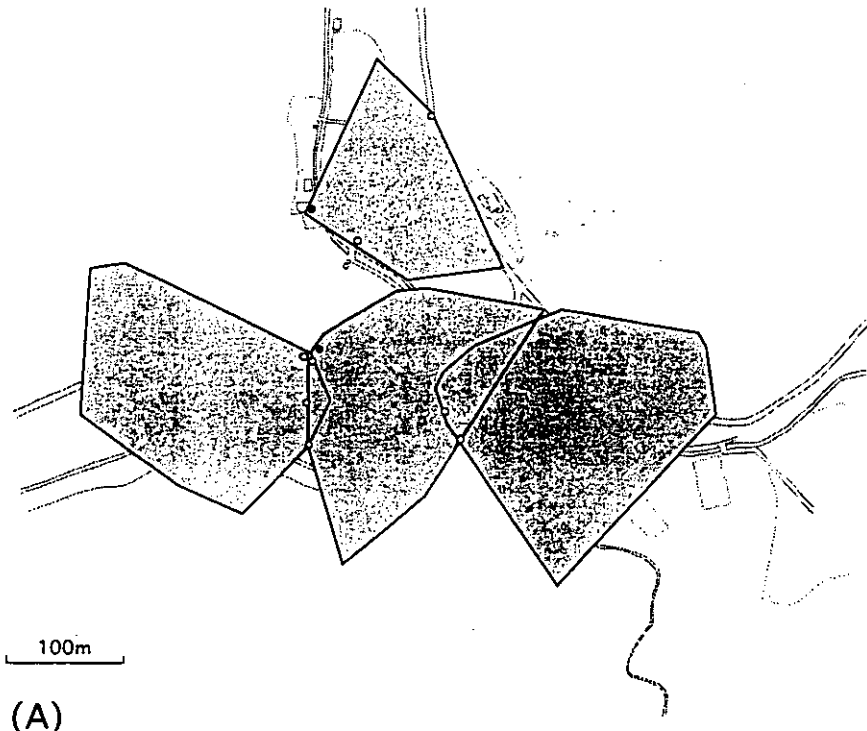


図6 1996年4月～5月に観察されたモズの活動点。



(A)



(B)

図7 イソヒヨドリの攻撃地点。(A) 1997年6月の繁殖期 (B) 1997年10月~11月の非繁殖期。
 O: イソヒヨドリ; ●: モズ; ×: その他。

表1. プレイバックテープに対するイソヒヨドリの反応.

March 1998	<i>M. solitarius</i> (n=10)			U-test	<i>L. bucephalus</i> (n=10)			U-test	<i>H. amaurotis</i> (n=10)			U-test
	before exp.	during exp.			before exp.	during exp.			before exp.	during exp.		
number of songs	12.40±13.71	22.20±14.79	n. s.		10.10±7.88	13.40±14.19	n. s.		12.40±13.71	14.80±12.85	n. s.	
vocal duration(s)	16.90±16.62	39.80±25.35	p<0.05		21.70±22.04	25.30±29.33	n. s.		21.90±23.07	25.80±36.74	n. s.	
time≤ 5 m (s)	0.30±0.95	16.70±25.93	n. s.		4.10±12.97	0.00±0.00	*		0.00±0.00	0.00±0.00	*	
time>5 m≤ 10 m (s)	18.60±34.44	95.80±88.57	p<0.05		3.00±17.89	14.50±33.58	n. s.		0.00±0.00	5.00±15.81	*	
number of display	0.90±1.29	2.90±2.38	p<0.05		0.80±1.03	2.40±4.65	n. s.		0.90±1.10	0.50±0.97	n. s.	
display duration	2.30±2.98	9.50±8.38	p<0.05		2.40±2.99	6.50±9.68	n. s.		3.60±4.33	3.30±8.14	n. s.	
June 1997	<i>M. solitarius</i> (n=13)				<i>L. bucephalus</i> (n=12)				<i>H. amaurotis</i> (n=12)			
	before exp.	during exp.			before exp.	during exp.			before exp.	during exp.		
number of songs	0.00±0.00	1.46±1.71	p<0.05		0.08±0.29	1.08±1.51	n. s.		0.33±0.89	1.25±1.60	n. s.	
vocal duration(s)	0.00±0.00	3.00±3.32	p<0.05		0.17±0.58	5.08±8.08	p<0.05		0.83±2.13	3.67±5.09	n. s.	
time≤ 5 m (s)	0.00±0.00	16.62±59.91	*		0.00±0.00	24.83±77.91	n. s.		2.83±9.82	2.75±9.53	n. s.	
time>5 m≤ 10 m (s)	0.00±0.00	12.92±30.87	n. s.		0.00±0.00	15.73±37.17	p<0.05		8.17±19.64	0.75±2.60	n. s.	
number of display	0.00±0.00	0.08±0.28	n. s.		0.00±0.00	0.00±0.00	*		0.00±0.00	0.00±0.00	*	
display duration	0.00±0.00	0.08±0.28	n. s.		0.00±0.00	0.00±0.00	*		0.00±0.00	0.00±0.00	*	
November 1997	<i>M. solitarius</i> (n=21)				<i>L. bucephalus</i> (n=20)				<i>H. amaurotis</i> (n=20)			
	before exp.	during exp.			before exp.	during exp.			before exp.	during exp.		
number of songs	0.33±1.53	0.71±1.85	n. s.		0.80±2.14	0.50±2.01	n. s.		0.15±0.49	0.20±0.52	n. s.	
vocal duration(s)	0.71±3.27	2.10±5.68	n. s.		2.85±8.39	2.70±11.39	n. s.		3.60±11.72	0.60±1.60	n. s.	
time≤ 5 m (s)	0.00±0.00	11.05±26.38	p<0.05		0.00±0.00	5.75±21.77	n. s.		0.00±0.00	0.00±0.00	*	
time>5 m≤ 10 m (s)	10.19±43.79	20.43±57.93	n. s.		7.00±26.03	7.05±18.59	p<0.05		0.00±0.00	19.30±65.09	n. s.	
number of display	0.00±0.00	0.00±0.00	*		0.00±0.00	0.00±0.00	*		0.00±0.00	0.00±0.00	*	
display duration	0.00±0.00	0.00±0.00	*		0.00±0.00	0.00±0.00	*		0.00±0.00	0.00±0.00	*	

表の値は平均値±標準偏差

表2. プレイバックテープに対するモズの反応.

March 1998	<i>L. bucephalus</i> (n=10)		U-test	<i>M. solitarius</i> (n=10)		U-test	<i>H. amaurotis</i> (n=10)		U-test
	before exp.	during exp.		before exp.	during exp.		before exp.	during exp.	
number of songs	0.30±0.95	10.50±11.54	p<0.05	9.40±18.86	0.10±0.32	n. s.	8.20±14.73	6.70±14.29	n. s.
vocal duration(s)	0.90±2.85	32.90±45.04	p<0.05	14.00±27.39	9.10±27.39	n. s.	11.00±30.00	24.20±48.41	n. s.
time≤ 5 m (s)	0.00±0.00	0.40±1.27	*	0.00±0.00	0.00±0.00	*	0.00±0.00	0.00±0.00	*
time>5 m≤ 10 m (s)	0.00±0.00	35.20±79.99	n. s.	0.00±0.00	0.00±0.00	*	0.00±0.00	0.60±1.90	*
June 1997	<i>L. bucephalus</i> (n=11)		U-test	<i>M. solitarius</i> (n=10)		U-test	<i>H. amaurotis</i> (n=11)		U-test
	before exp.	during exp.		before exp.	during exp.		before exp.	during exp.	
number of songs	6.64±14.74	14.18±15.18	n. s.	3.20±6.56	5.90±10.02	p<0.05	6.73±8.79	6.55±10.82	n. s.
vocal duration(s)	23.36±44.14	23.73±26.87	n. s.	5.70±11.45	15.60±27.07	n. s.	31.09±40.60	13.27±18.48	n. s.
time≤ 5 m (s)	0.00±0.00	0.00±0.00	*	0.00±0.00	3.30±10.44	*	0.00±0.00	0.00±0.00	*
time>5 m≤ 10 m (s)	1.46±4.82	4.82±14.70	*	0.00±0.00	0.90±2.85	n. s.	0.00±0.00	0.00±0.00	*
November 1997	<i>L. bucephalus</i> (n=12)		U-test	<i>M. solitarius</i> (n=11)		U-test	<i>H. amaurotis</i> (n=11)		U-test
	before exp.	during exp.		before exp.	during exp.		before exp.	during exp.	
number of songs	0.00±0.00	4.50±8.41	n. s.	0.82±1.47	0.00±0.00	n. s.	0.00±0.00	0.00±0.00	*
vocal duration(s)	0.50±1.73	38.42±51.43	p<0.05	4.27±7.49	3.00±7.47	n. s.	1.55±5.13	0.46±1.51	n. s.
time≤ 5 m (s)	0.00±0.00	9.00±31.18	*	0.00±0.00	3.30±10.44	*	0.46±1.51	0.00±0.00	*
time>5 m≤ 10 m (s)	0.00±0.00	36.83±67.99	n. s.	0.00±0.00	0.90±2.85	*	0.00±0.00	0.00±0.00	*

表の値は平均値±標準偏差

表3. イソヒヨドリのプレイバックテープに対する反応度.

	month	<i>M. solotarius</i>		<i>L. bucephalus</i>		<i>H. amaurotis</i>	
		mean ± s. d.		mean ± s. d.		mean ± s. d.	
number of songs	3	10.90 ± 15.15		3.30 ± 11.10		2.40 ± 18.74	
	6	1.46 ± 1.71	**	1.00 ± 1.60	**	0.92 ± 1.62	
	11	0.38 ± 1.16	**	-0.30 ± 2.39	**	0.05 ± 0.69	
singing time of duration	3	22.90 ± 24.12	*	3.60 ± 33.46		3.90 ± 41.38	
	6	3.00 ± 3.32	**	4.92 ± 8.22	**	2.83 ± 5.31	
	11	1.28 ± 5.16	**	-0.15 ± 10.93	**	-3.00 ± 11.97	
time ≤ 5	3	77.20 ± 97.72		11.50 ± 35.87		5.00 ± 15.81	
	6	16.62 ± 59.91	**	24.83 ± 77.91	**	-0.08 ± 14.29	
	11	11.05 ± 26.38	**	5.75 ± 21.77	**	0.00 ± 0.00	
time > 5 ≤ 10	3	16.40 ± 26.16		-4.10 ± 12.97	**	0.00 ± 0.00	
	6	12.92 ± 30.87		15.75 ± 37.17	*	-7.42 ± 20.15	
	11	10.24 ± 73.74		7.05 ± 18.59		12.30 ± 55.96	
number of display	3	2.00 ± 2.16	**	1.60 ± 4.65	**	-0.40 ± 0.97	
	6	0.00 ± 0.00	**	0.00 ± 0.00	**	0.00 ± 0.00	
	11	0.00 ± 0.00	**	0.00 ± 0.00	**	0.00 ± 0.00	
time of display	3	7.20 ± 7.60	**	4.10 ± 9.23	**	-0.30 ± 8.50	
	6	0.00 ± 0.00	**	0.00 ± 0.00	**	0.00 ± 0.00	
	11	0.00 ± 0.00	**	0.00 ± 0.00	**	0.00 ± 0.00	

表の値はテープを流した5分間の値から流す前5分間の値を引いたもの。実験を行った個体数は、3月：n=10；6月：n=13；11月：n=21であった。

*: p<0.05; **: p<0.01; Mann-Whitney U-test

• • p<0.05; • • • p<0.01; Kruskal-Wallis test

表4. モズのプレイバックテープに対する反応度.

	month	<i>M. solotarius</i>	<i>L. bucephalus</i>	<i>H. amaurotis</i>
		mean ± s. d.	mean ± s. d.	mean ± s. d.
number of songs	3	10.20 ± 11.56	-9.30 ± 18.92	-1.50 ± 20.27
	6	7.55 ± 19.42	2.70 ± 4.47	-0.18 ± 5.10
	11	4.50 ± 8.41	-0.82 ± 1.47	0.00 ± 0.00
singing time of duration	3	22.90 ± 24.21	-4.90 ± 43.66	1310 ± 45.35
	6	3.00 ± 3.32	9.90 ± 24.56	-17.82 ± 43.44
	11	1.28 ± 5.16	-1.27 ± 11.83	-1.00 ± 5.24
time ≤ 5	3	77.20 ± 97.72	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
	6	16.62 ± 59.91	3.30 ± 10.44	0.00 ± 0.00
	11	11.05 ± 26.38	0.00 ± 0.00	-0.42 ± 1.44
time > 5 ≤ 10	3	16.40 ± 26.16	0.00 ± 0.00	0.60 ± 1.90
	6	12.92 ± 30.87	0.90 ± 2.85	0.00 ± 0.00
	11	10.24 ± 73.34	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00

表の値はテープを流した5分間の値から流す前5分間の値を引いたもの。実験を行った個体数は、3月：n=10；6月：n=11；11月：n=12であった。

*: p<0.05; **: p<0.01; Mann-Whitney U-test

• • p<0.05; • • • p<0.01; Kruskal-Wallis test

小笠原父島におけるオガサワラノスリの生息番数評価

Estimation of the number of pairs of the Ogasawara Buzzard *Buteo buteo toyoshimai*

On Chichijima, the Ogasawara (Bonin) Islands

鈴木惟司・加藤夕佳 (東京都立大学理学研究科生物科学専攻)

要旨

1998年の繁殖期を中心に1998年3月から1999年3月にかけて父島のオガサワラノスリ(*Buteo buteo toyoshimai*)の生息番数について綿密な再調査をした。その結果、父島全域で28番(テリトリー)の存在を検出できた。生息番数を父島の面積で割った粗密度は約1.2番/km²である。これはノスリ(*B. buteo*)の番密度としては世界の既知の値に比べても大きい値である。また1999年3月までの結果を基に、同年5月および2000年3月に、推定された番テリトリー位置を手がかりにした生息番数調査を再実施したところ、所有者と見なせる成鳥を検出することにより短期間のうちに調査を完了することができた。

Abstract

The Ogasawara buzzard (*Buteo buteo toyoshimai*) is endemic to the Ogasawara (Bonin) Islands. We investigated the number of pairs of the Ogasawara buzzard and detected 28 pairs on Chichijima (ca. 24 km²). The pair density (ca. 1.2 pairs/km²) was larger than the values reported for common buzzards (*B. buteo*) in the world. The occupation of territory owners was readily checked later, based on the knowledge of the territory distribution. This enables us to complete the census of the territorial pairs in a short period.

1. 序

現在小笠原諸島で繁殖が確認されている猛禽類はノスリ *Buteo buteo* 1種である⁵⁾。ただし小笠原諸島と言っても、父島列島と母島列島では生息や繁殖の確認があるものの^{1), 8)}、他の列島つまり聳島列島や火山列島では今のところ信頼できる公に発表された生息記録はない。なお、火山列島にはかつてハヤブサ *Falco peregrinus* (亜種シマハヤブサ *F. peregrinus frutii*) が生息していたが⁴⁾、小笠原返還後に観察記録は得られていない。

ノスリはユーラシア大陸に広く分布するタカである。現在5亜種程度に分けられており、このうち小笠原に生息するのは亜種オガサワラノスリとされ⁵⁾、絶滅危惧種(亜種)や天然記念物にも指定されている。このほか小笠原周辺地域のノスリとして、本土や伊豆諸島など小笠原の北側に本土産亜種ノスリ *B. buteo japonicus* が、小笠原の西、沖繩東方400kmにあり小笠原諸島と同じ大洋島である大東諸島に亜種ダイトウノスリ *B. buteo oshiroi* (おそらくすでに絶滅)が分布している⁵⁾。また小笠原諸島の南に位置するマリアナ諸島にもノスリ(亜種は不明)の生息することが最近判明している^{2), 6)}。

オガサワラノスリは、小笠原返還当時からその希少性が問題にされていた。しかし本格的な生息数評価が行われるようになったのは1980年代に入ってからである。オガサワラノスリの生息数評価を初めて詳しく行った鈴木⁷⁾は、父島にはオガサワラノスリが広く分布し、少なくとも9-10の番行動圏(実質的に番テリトリーと想定している:以下同)が存在するとした。ここから得られる父島の生息数最低約20羽というのは、少ないとはいいながらも、当時一般に、各島に数羽、小笠原全体でもせいぜい20羽程度しかいないだろうと思われていた数に比べれば⁷⁾予想以上の生息数であった。

その後、1980年代後半と1990年代前半に、基本的には上の調査と同様な方法および巢の発見等を通してのより詳しい調査が行われ、父島におけるオガサワラノスリの番行動圏数がそれぞれ14³⁾および14-18¹⁾と推定された。これらの結果は1980年代初頭に比べてオガサワラノスリが最近増加したことを示す可能性もある¹⁾。しかしそれらの調査結果を受け鈴木⁷⁾の原資料を再検討した鈴木・千葉⁸⁾は、鈴木⁷⁾の9-10という数は控えめな推定をしたための過少評価であり、調査結果から得られる1980年代初頭の番行動圏推定数は約16とするのが妥当であるとした。

このように父島に生息していたオガサワラノスリの年ごとの多さは、少なくとも1980年代から1990年代初頭にかけては、番行動圏(テリトリー)数で15前後(控えめに言って10~20の間)を推移、生息数でいうと繁殖個体数は30羽前後(同20~40羽)で推移しているというのが、上記諸調査による現段階における妥当な結論、と考えられるようになった。

しかしながら、1980年代以降詳しい調査が行われるようになってきたとはいえ、調査方法、調査地域上の問題から父島においてすら十分満足のいく調査が行われてきたとは言えない。たかだか数十羽という父島の極めて小さなオガサワラノスリ個体群の真の生息数や個体数変動、さらにはその社会構造や繁殖生活などを知るためには、調査方法の検討を含め、より詳しい生態学的調査を行うことが必要であると同時に、今後オガサワラノスリ個体群の継続的モニタリングを行っていく上で、長期的な視野に立った個体群動態調査を実施できるような方法・体制を築いて行く必要がある。

このたび我々は父島に生息するオガサワラノスリの生息番数をできるだけ正確に推定することを目的にして、父島全域における番分布を従来になく詳しく調べた。その結果、現段階において父島に生息し且つテリトリーを持つ番の大多数を把握するところまで調査を進めることができた。またその結果に基づいた

生息数の簡易モニタリング法を検討することができた。

2. 研究方法

特定個体の連続追跡や羽色による個体識別、繁殖活動の観察、長時間観察による隣接番間の相互作用の目撃など多種の方法を併用して番/番テリトリーの検出に努めた。基本的には隣接番の個体の確認を行ないつつそれを面的に広げていくという方法をとった。また繁殖活動記録をできるだけ集め、番生息の確認に用いた。

検出された番テリトリーの分布情報を元にして所有者の再検出を試みた。そのためにテリトリー範囲（少なくともその中心域）を見通せる場所を観察地点として選び、定点観察を行った。

3. 研究結果

図1に、1998年3月から1999年3月までの1年間の調査結果から得られた父島における番(P)の分布を示した。番の位置は概ねその番の持つテリトリー（もしくは行動圏）の中心的な場所にあわせて示してある。なおテリトリーをもつ独身個体が1個体確認されたので、図1にはその個体(S)の位置も示してある。しかし、まだ未検出の独身テリトリー個体が父島の各所に散在すると考えられ、それらの個体の検出については今後の課題である。図1にテリトリー範囲を示さなかったのはそれら独身個体の持つテリトリーが上記1個体を除いて目下不明なことによる。

図1に示されているように、現在までに推定された番テリトリー数は合計28である。この数は父島にある番テリトリーのほとんど全てを含むものと考えられる。繁殖期における警戒行動を含めると、少なくとも1998年あるいは1999年のいずれかにおいて、これらすべての番テリトリー内で繁殖活動が観察された。

1998年3月までに番テリトリーの存在が推定された場所で、1999年5月および2000年3月に所有者の再検出を行ったところ、比較的短時間のうちに各テリトリー所有者と思われる成鳥の存在を確認することができた。たとえば抱卵期にある番が多くて個体観察が難しい時期と思われる2000年3月の場合、定点観測による28番テリトリー内での少なくとも1羽の成鳥の確認に要する時間は、 $18.7 \pm SD14.5$ (n=28, 範囲0-53)分であった(観察開始直後の巣上個体による確認時間は0分とした2例)。

4. 考察

今回推定された父島の生息番数28というのは、近年考えられている生息番数(15+ α)よりもかなり多い。このような従来とは異なる高い生息番数が得られた理由としては、生息番数が最近増加したか精度の高い調査による生息番の検出率の向上が考えられる。過去の調査資料と今回の調査結果を対比させたところ、過去には記録がなく今回新たに番があるとされた場所は、アプローチが簡単でない父島外縁部や、他に比べて相対的に地形の単純な場所が多かった。こういった場所は一般にオガサワラノスリのテリトリー/行動圏調査がしにくかったり別番の存在が見逃され易い場所であり、それゆえに生息番の検出が難しい場所である。それらの場所を含め、今回得られた番のテリトリーの位置は、過去のオガサワラノスリのテリトリー/行動圏調査記録から見ても特に矛盾するようなことはなく、過去の番推定数が少ないのは主に調査不足によるものと判断された。従って、今回生息番推定数が過去になく多くなったのは、生息番の検出率が高まった結果と言える。なお生息番数から、父島における番密度は約1.2ペア/km²と計算されるがこの値は、ノスリ*B. buteo*の番密度としては世界的に見ても大きな値である。

5. まとめ

本研究において、父島におけるほとんど全てのテリトリーの数と分布を明らかにした。これにより、少なくとも島内の調査に慣れたものであれば、父島全体の番の存在を一週間程度でチェックできるようになった。その結果、これらに繁殖活動の記録を加えることにより、オガサワラノスリ繁殖個体群の継続的モニタリングをより正確かつ容易に行える道が開けた。

6. 本研究により得られた成果

本研究の結果、父島のオガサワラノスリを全島的に番・個体群レベルで扱うことができるようになった。これは、今後のオガサワラノスリの生態学的研究を容易にし、また絶滅危惧鳥類としての本亜種に対する、より簡便かつ正確な継続的モニタリングを可能ならしめるものである。

7. 謝辞

現地調査を行うに当たって、安井隆弥(小笠原野生生物研究会)、延島冬生(小笠原村役場)、片田真一(都立大)、長谷部菜美(同)、窪田直(同)、上村佳孝(同)の皆さんにお世話になった。記して感謝の意を表したい。

参考文献

1) 船津毅・千葉勇人(1991) 父島におけるノスリの生息状況。 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、pp.159-163.

2) Glass, P. O., J. D. Reichel, T. O. Lemke, R. B. Clapp, G. J. Wiles, D. T. Aldan and T. K. Pratt (1990) New migrant and vagrant bird records for the Mariana Islands, 1978-1988. *Micronesica*, **23**: 67-89.

3) 樋口行雄・花輪伸一・上田恵介・小山均 (1988) 父島および母島におけるオガサワラノスリの生息状況。昭和62年度特殊鳥類調査、環境庁、pp.45-66.

4) 初山徳太郎 (1930) 小笠原諸島並びに火山列島産の鳥類に就いて。日本生物地理学会会報、1: 89-186.

5) 日本鳥学会 (1974) 日本鳥類目録第5版、学習研究社、東京。

6) Reichel, J. M., P. O. Glass and D. W. Stinson (1994) Status of the Common Buzzard *Buteo buteo* in the Northern Mariana Islands, Pacific Ocean. *Emu*, **94**: 53-55.

7) 鈴木惟司 (1982) 小笠原・父島におけるオガサワラノスリの生息状況—分布と個体数の推定—。小笠原研究年報、6: 23-34.

8) 鈴木惟司・千葉勇人 (1995) オガサワラノスリの分布と生態。オガサワラノスリ希少野生動物保護管理対策調査報告書 (分担執筆)、東京営林局森林管理部、pp. 61-93.

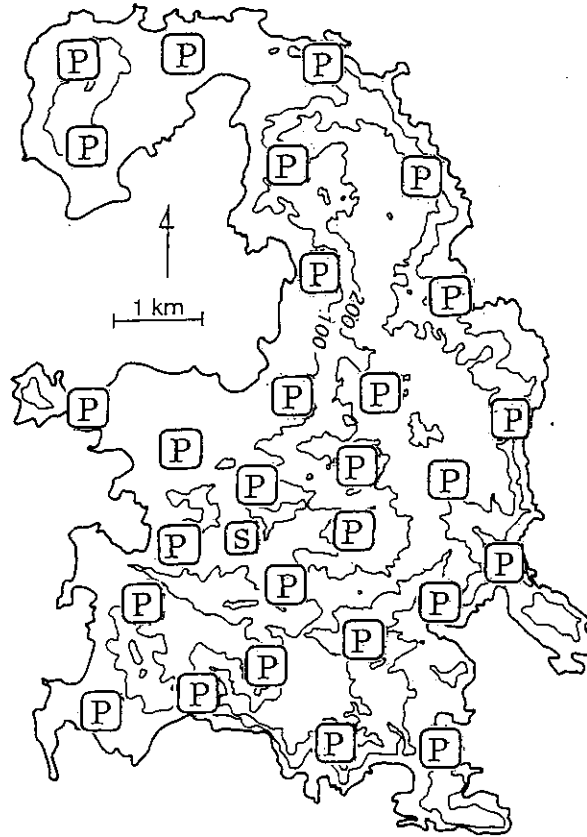


図1 父島におけるオガサワラノスリの番分布 (1998年度推定)
P: 番 S: 独身個体 (参考)

人為的攪乱環境における侵入種の分布拡大 重定南奈子 (奈良女子大学理学部)

要約

1. 島嶼などの攪乱を受けやすい生息地に外から侵入した種と既存種の間で競争が起きる状況を拡散増殖モデルを用いて解析した。とくに、攪乱の大きさ、場所、到来時間の影響を調べたところ、多様性維持に有利に働く条件として、(1) 攪乱のかかる場所がランダムである、(2) 攪乱強度が中位である、(3) 攪乱の到来時間がランダムである、ことが明らかになった。
2. 好適な環境が帯状に分断化された環境における生物侵入についてモデル化を行い、侵入種の時・空間的パターンと分布拡大速度について一般的な理論式を導いた。
3. また、マツ枯れの空間的な広がりがどのように進展していくかを、マツ、カミキリ、ザイセンチュウの三者の種間相互作用とカミキリの分散様式を取り入れた数理モデルを用いて明らかにした。

Abstract

1. A mathematical model for invasions of two competing species into disturbed area is studied. One species is assumed to be fugitive, that is, competitively weaker than but superior in diffusive capability to the other species. To describe dispersal and competition, diffusion-reaction equations are used. We examined how the fugitive species could escape from the stronger competitor to expand its range, and how often disturbances should occur to maintain coexistence between two competing species. We can also conclude that a system's biodiversity increases if the sites of disturbance are more randomly located, the disturbed area is less fragmented, and the time interval of disturbances is more irregular.

2. I studied the range expansion in heterogeneous environments that is generated by segmenting an originally favorable habitat into a regularly striped or crisscrossed pattern. To deal with range expansion in such fragmented environments, we modify Fisher's model by assuming that the intrinsic growth rate and diffusion coefficient vary depending on habitat properties. The model is analyzed to examine how the spread of organisms is influenced by the pattern of habitat fragmentation, and which type of fragmentation is more favorable for species survival.

3. We present a mathematical model to describe the epidemic of pine wilt disease spreading in wide areas of Japan. We simulate the spatial spread of disease on a large scale, by incorporating short-range dispersal of the pine sawyer together with long-range dispersal through air convection or transportation of logs infested with nematodes. The leap distance distribution of sawyers is estimated from experimental data.

1. 序

島嶼に於いて、生物の生息環境が人為的に分断化された状態で、外来生物が侵入した場合を想定し、それが定着し存続する条件、分布域を広げることのできる条件、ならびに、その空間的な伝播速度を拡散モデルを用いて解析した。特に、環境が道路などにより分断された場合に侵入種の広がる速度がどのような影響をうけるか理論的考察を行った。さらに、競争に強い種と競争に弱い分散力のある種(放浪種)が、攪乱によって生ずる空き地に侵入した状況をモデル化し、攪乱が生物群集の多様性に及ぼす効果について考察した。

2. 数理モデル

(i) 分断環境への侵入

侵入種が分布域を拡大していく主要な要因として、個体の移動分散と増殖が上げられる。Fisher(1937)はこうした機構を取り入れた次のような拡散増殖モデルを導いた¹⁾。

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial n}{\partial x} \right) + (\varepsilon - \mu n)n \quad (1)$$

ここに、 $n(x,t)$ は侵入種の時刻 t 、場所 x における個体密度を表す。左辺は密度 $n(x,t)$ の時間変化を表しており、それは右辺第1項のランダム拡散と第2項のロジスティック増殖によって引き起こされる。 D は拡散係数、 ε は内的自然増加率、 μ は種内競争係数と呼ばれる。

この式を、最初に原点に少数個体が侵入した状況で解いてみると、分布は時間と共に同心円状に広がって行くことが分かる。Fisherはこのときの前進速度が $2\sqrt{\varepsilon D}$ で表されること、従って、増殖と分散の相乗効果で分布域が広がっていくことを明らかにした(図1参照)。しかし、この計算は自然増加率 ε と拡散係数 D が共に正の場合のもので、仮に ε が負の値を取ると分布は広がるどころかやがて絶滅してしまう。このことから、好適な環境が人為的に分断化されるなど、繁殖に好適な場所と不適な場所がパッチ状に分布している環境では、個体群の分布が不適なパッチにさしかかると、そこをうまく通過して好適なパッチにたどり着かなければ分布域を広げることができない。不適なパッチの占める割合が多くなると、途中で

絶滅してしまう可能性もある。

このことを理論的に検証するために、環境が図2(a)に示したように、帯状の好適なパッチと不適なパッチが交互に並んでいる場合を念頭に置き、拡散係数 D と増殖率 ϵ がパッチ毎に異なる値をとる場合について(1)式を解析した。その結果、どのような場合に個体群が生き残るかをパラメーターの関数として示すことができる。さらに、環境が縦横方向に基盤状に分断された場合(図3(a)参照)にも同様の解析を行った。それらの結果を環境破壊により生息環境がパッチ状に分断されている状況、たとえば、森や林の中が道路や農耕地によって縦断され生物の棲息領域が細分化された状況、あるいは孤立した1つの森が周りを削り取られて小さくなっていく場合に適用し、1) 生物が生き残るために好適なパッチのサイズは最低限どのくらい残さなければならないか、2) 好適な環境を決められた一定の面積だけ残すのなら、小さく細分するのと大きくかためて残すのとでは、どちらが個体群の存続に有利か、といった問題について考察した。(図1、図2、図3)

(ii) 攪乱が競争種に及ぼす効果

さらに上記のモデルを拡張して、多数の競争種が攪乱によって生ずる空き地に侵入して場所取り競争をする状況を以下の拡散増殖モデルを用いて解析した²⁾。

$$\frac{\partial n_i}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_i \frac{\partial n_i}{\partial x} \right) + (\epsilon_i - \mu_{ii} n_i - \sum_{j=1}^N \mu_{ij} n_j) n_i \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

とくに、種間の間で干渉的競争が行われている場合を取り上げ、また、攪乱は以下の3つ場合に分けて、その効果を比較検討した。

1. 永久攪乱 (ハビタットの消失、劣化、分断化)、間欠的攪乱 (台風、洪水、放水)
2. 攪乱の大きさとかかる場所: ランダム、規則的
3. 攪乱のかかる時間間隔: 周期的 (季節変動)、ランダム

その結果、以下の状況で多種共存が促進される (図4、図5参照)。

1. 中規模攪乱である
2. 攪乱のかかる場所がランダムである
3. 攪乱の到来時間間隔がランダムである

参考文献

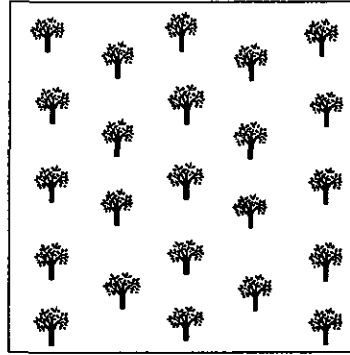
- 1) Fisher, R.A. (1937) The wave of advance of advantageous genes. *Ann. Eugen. (Lond.)* 7 : 255-369.
- 2) Shigesada, N and Kawasaki, K. (1997) *Biological Invasions: theory and practice*. Oxford Series in Ecology and Evolution. Oxford University Press. 205 pp. 図の説明

研究発表

- 1) Takasu, F., Kawasaki, K. and Shigesada, N. (1997) Simulation study of stratified diffusion model. *Forma* 12 : 167-175.
- 2) 重定南奈子 (1997) 競争と共存—生物多様性— in 数理生態学 (巖佐庸編)、シリーズニューバイオフィジックス。共立出版。pp.57-68.
- 3) 重定南奈子 (1997) パッチ状環境と生物の存続。生態学会誌 47 : 193-197.
- 4) Shigesada, N and Kawasaki, K. (1997) *Biological Invasions: theory and practice*. Oxford Series in Ecology and Evolution. Oxford University Press. 205 pp.
- 5) Kawasaki, K., Mochizuki, A., Matsushita, M., Umeda, T., and Shigesada, N. (1997) Modeling spatio-temporal patterns generated by *Bacillus subtilis*. *Jour. theor. Biol.* 188 : 177-185.
- 6) Fugo Takasu, Madoka Shiraishi, Kohkichi Kawasaki, Nanako Shigesada. (1999) *Mathematical models for biological invasions - competition for open spaces*. In: *Biological Invasions of Ecosystem by Pests and Beneficial Organisms*. (eds. Yano, E., Matsuo, K., Shiyomi, M. and Andow D. A.) Nias Series 3 : 78-87.
- 7) Akiko Yoshimura, Kohkichi Kawasaki, Fugo Takasu, Katsumi Togashi, Kazuyoshi Futai, and Nanako Shigesada. (1999) Modeling the spread of pine wilt disease caused by nematodes with pine sawyers as vector. *Ecology*, 80(5) : 1691-1702.
- 8) Takasu, Ryuji Shimura, Shunji Nagaoka, and Nanako Shigesada. (1999) Population Dynamics of Nitrifying Bacteria in an Aquatic Ecosystem. *Biological Sciences in Sapce*, 13 : 333-340.
- 9) Soyoka Muko, Kohkichi Kawasaki, Kazuhiko Sakai, Fugo Takasu, and Nanako Shigesada. (2000) Morphological plasticity in the coral *Porites sillimaniani* and its adaptive significance. *Bulletin of Marine Science* 66(1) : 225-239.
- 10) Namiko Yamamoto, Fugo Takasu, Kohkichi Kawasaki, Katsumi Togashi, Nanako Shigesada:

Modeling the range expansion of pine wilt disease in Japan. *Biological Invasion* (in press)

(a)



(b)

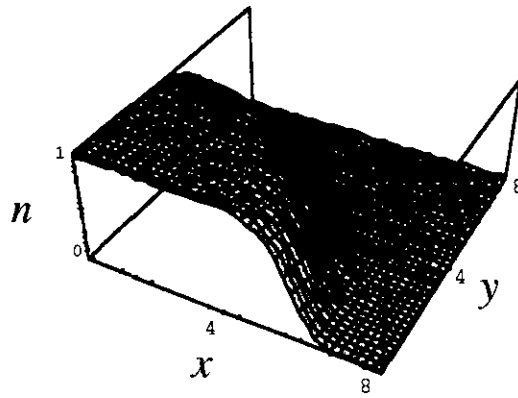
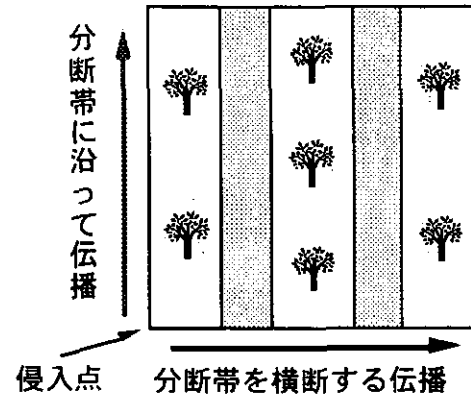


図1 (a)好適な均質環境。(b)中央の一点に侵入した個体が、その後拡散と増殖によって分布域を広げていく様子。

(a)



(b)

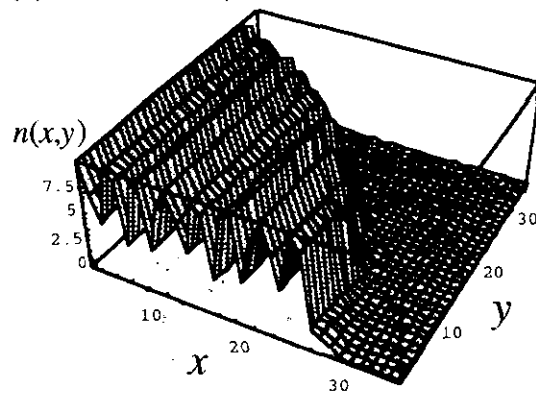
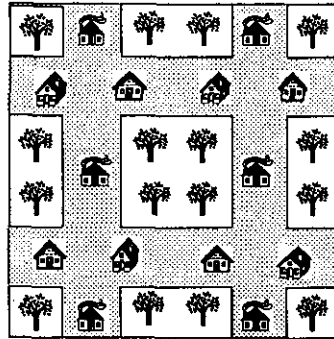


図2 (a) 好適な環境が帯状に分断化された環境。(b)分断環境の一点に侵入した個体が、その後拡散と増殖によって分布域を広げていく様子。

(a)



(b)

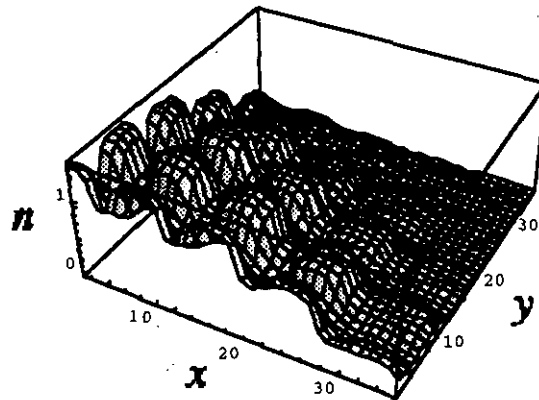
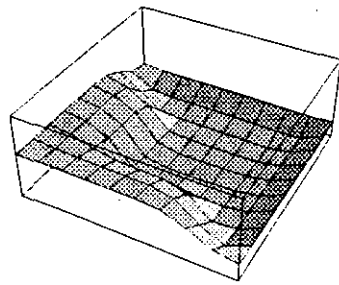
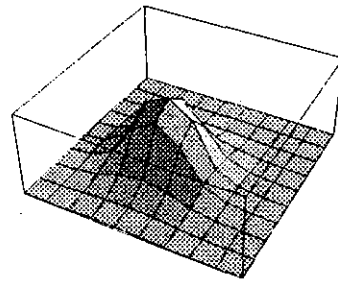


図3 (a)好適な環境が基盤状に分断化された環境。(b)分断環境の一点に侵入した個体が、その後拡散と増殖によって分布域を広げていく様子。



種 1 の空間分布



種 1.0 の空間分布

図 4 10 種類の競争種が格子状 (10×10) に並んだパッチ内で競争している Metapopulation model を考える。それぞれの種は隣接するパッチ間を拡散で行き来する。攪乱は中央の (6 × 6) 格子に一定間隔 T で到来し、その都度空き地化する。攪乱がなければ、競争の結果 10 種の内 2 種のみが空間的に一様に生息するのに対して、攪乱が存在すると、競争に弱い種も局所的に棲み分けながら共存する。

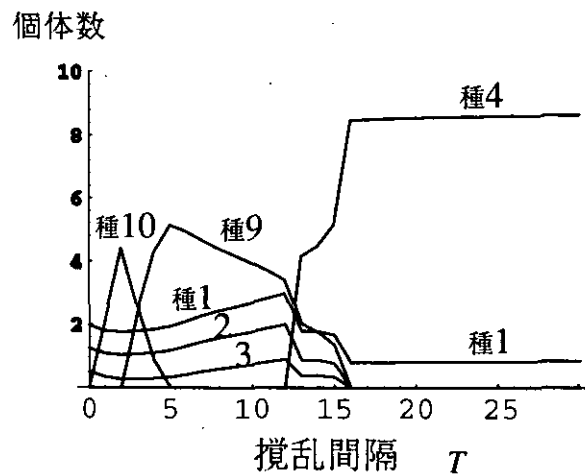


図 5 攪乱の強度と種多様性

小笠原諸島父島における乾性低木林の20年間の個体群動態

A-21 year population dynamics in a dry forest at Chichijima in the Bonin Islands

清水善和 (駒沢大学文学部自然科学教室)

要約

小笠原諸島父島の乾性低木林内に永久方形区 (30m×30m) を1976年に設置して毎木調査を行い、1986年と1997年に再調査をして構成種の階層ごとの個体群動態を調べた。もともと個体数の多かった優占種群は、ガの食害で減少したアカテツを除いて個体数を維持したが、希産種のシママラサキ、オオミトベラなどは大幅に個体数を減らし、かつ新たな幼個体もほとんど現れなかった。今後、乾性低木林の希産種の絶滅と森林の種多様性の低下が起こることが憂慮される。

Abstract

A permanent plot (30m×30m) was set in a dry forest at Chichijima and surveyed in 1976, 1986 and 1997. Many endangered species have become more endangered in these 21 years. It means species diversity of the dry forest in the Bonin Islands has been decreasing.

1. 序

小笠原諸島の父島と兄島の山頂緩斜面を中心に広がる樹高 5-8mの乾性低木林は、母島に残存する湿性高木林とならんで小笠原を代表する森林タイプである。乾性低木林には多数の小笠原固有種が含まれ、その多くは個体数の少ない希産種であることから、1968年の返還直後に行われた総合調査以来、このタイプの乾性低木林は小笠原の特色ある森林として貴重さが認められてきた¹⁾。

現在の乾性低木林の分布は父島列島に偏っており、中でも父島の中央山東平はもっとも種の多様性が高いこと、他地域と比べて希産種の密度が高いこと、また、ここだけに分布の限られる固有種が存在することなどから、筆者は中央山東平を小笠原における乾性低木林の分布の中心地として位置づけた²⁾。

乾性低木林の長期的な動態を明らかにするために、筆者は1976年に中央山東平の乾性低木林内に永久方形区を設置し、芽生えから親木までのすべての個体を対象に個体群の動態をモニタリングすることにした。

2. 研究方法

1976年に父島中央山東平の乾性低木林に30m×30mの永久方形区を設置した。森林の階層構造を樹高により5つの層(第I層:4-6m、第II層:2-4m、第III層:0.7-2m、第IV層:0.2-0.7m、第V層:0.2m未満)に区別した。第III層以上の個体については、林木配置図の上に位置と個体番号を記録し、個体ごとの追跡調査が行なえるようにした。毎木調査を行ない、各階層ごとの全個体の種名、個体数を記録した。また、直径3cm以上の幹については胸高直径を測定した。第IV、V層の稚樹や芽生えについては5m×5mの小区画を単位に種名と種ごとの本数を記録した。1986年と1997年に再度毎木調査を実施した(第V層は1996年実施)。個体識別をした第III層以上の個体については、枯死または生存の別、生存個体については所属する階層の異動をチェックした。新たに第III層以上に出現した個体については新たな番号を付けて林木配置図に加えた。第IV、V層については初回と同様に小区画を単位に種ごとの個体数を記録した。

3. 研究結果

1976年の永久方形区の設定時点で方形区内に出現した樹種の5階層すべての合計は40種24,221個体、また、方形区内に一応定着しているとみなせる第IV層以上では38種5,345個体あった。

図1には5つの階層別に21年間(第V層は20年間)の個体数の変化を示す。特徴的な変動を示したいいくつかの樹種の事例を述べる。まず、最優占種のシマイスノキは1983年の17号台風の被害により第I、II層から下層へ移動したものが続出したが、その後徐々に回復しつつある。アカテツは1984年と1993年に父島列島で大発生したオオシラホシアシブトクチバの幼虫による食害により、この21年間ですべての階層で個体数を減じた。一方、ムニンアオガンピは台風攪乱後の明るい環境の出現に乗じて急成長するものが多く見られた。帰化種のリュウキュウマツもこれとよく似た動態を示したが、後継の幼樹が育っていない点が異なっている。これは1980年代初めに父島に広がったマツノザイセンチュウによるリュウキュウマツの一斉枯死により方形区周辺のリュウキュウマツの親木が激減し、方形区内への新たな種子の供給が大幅に減ったためであると推測される。他所では高木になるムニンイヌグスは方形区内では下層の個体がある程度の高さまでいくと先枯れ状態となったり幹全体が枯れてしまったりするので親木が少ない。しかし、主幹の枯れた個体もまた根元より新たな萌芽が育つことが多いので個体数はほぼ一定の状態では推移している。一方、ムニンゴシュユやオガサワラクチナンなどの希産種では、調査期間中に個体数を減らしたものが多くみられた(図2)。低木性樹種の希産種であるシママラサキやオオミトベラ、ナガバキブシなども大幅に個体数を減じた。

次に芽生え・稚樹(第IV、V層)の動態についてみると、まず、全体として、76-86年には種を問わず芽生えの数の減少傾向が大きかった。これは1980年夏に父島でとくに厳しかった旱魃によるところが大き

い。アカテツは1976年の方形区設置時点で場所によっては足の踏み場もないほど小個体(高さ20cm未満)が密生していたが、1980年の干ばつを契機に半減した。アカテツについては1984年と1993年のオオシラホシアシブトクチバによる芽生え・稚樹の食害の影響も大きかったと考えられる。シマイスノキは1984年に実り年を迎え、86年春までに大量の芽生えが林床に出現した。こちらも1990年夏の旱魃で芽生えの個体数が激減した。一方、ムニンヒメツバキは1983年の17号台風による攪乱の後、明るくなった林床に新たな芽生えが多数出現した。ムニンヒメツバキは陽樹ではあるが、一度定着すると比較的乾燥や被陰にも耐えられるので、現在も多くの個体が生き残っている。

ムニンゴシュユ、オオミトベラ、シマムラサキなどの希産種は、第IV、V層の芽生え・稚樹個体群においても20年間における大幅な減少がみられた(図3)。これらの希産種については親木の枯死で個体数が減少する一方、後継の芽生え・稚樹がほとんど育っていないためにこのままでは方形区から消滅する恐れが大きい。

4. 考察

筆者は乾性低木林の更新様式を単木の枯死・倒木によってできる林冠ギャップを次世代の稚樹が順次埋めていくギャップ型更新が主な更新様式であると推定した³⁾。1983年の台風では乾性低木林の倒木被害こそ少なかったが、林冠構成木の多くの樹冠がダメージを受けて森林の構造が変化し、森林全体の環境(特に林床の光条件)も大きく変化した。その意味では単木の枯死とその結果できる小ギャップの範囲内だけで更新を考えるのでは不十分であり、台風や旱魃などの森林全体で起こるよりダイナミックな環境の変化を考慮する必要がある。

全体の個体群動態の傾向としては、もともと個体数の多かった優占樹種は、ガの食害で個体数を減らしたアカテツを除いてこの20年間でもそう大きな変動はないので、今後も引き続いて優占種群を構成していくと考えられる。しかし、もともと分布が父島中央山東平に限られ総個体数も少なかった希産種のシマムラサキ、オオミトベラ、ナガバキブシ、オガサワラクチナシ、ムニンゴシュユなどはこの20年間で親木が枯死する一方、芽生えや稚樹はほとんど見られないので、このままでは方形区から消滅してしまう可能性が高い。これらの種の衰退原因としては1980年、1990年の2度の旱魃と90年代前半の小雨乾燥傾向が考えられる。さらに最近30年間の年間降水量の平均値(1268mm)は、戦前の年間降水量の平均値(1609mm)と比較して約340mmも減少している。この長期的な乾燥化傾向も希産種の衰退に拍車をかけている可能性が高い。結果として、小笠原の乾性低木林の種多様性が急速に低下しつつあることは憂慮すべき事態である。

5. まとめ

小笠原諸島父島の乾性低木林内に永久方形区(30m×30m)を1976年に設置して毎木調査を行ない、1986年と1997年に再調査をして構成種の階層ごとの個体群動態を調べた。この21年間に、1980年と90年の干ばつによる林床の実生個体の大幅な減少、1983年の17号台風による優占種シマイスノキの樹冠の損傷と林内の光条件好転によるムニンアオガンピやリュウキュウマツの稚樹の成長促進、1984年と93年に大発生したオオシラホシアシブトクチバの食害によるアカテツの個体数減少などが見られた。全体として、もともと個体数の多かった優占種群は全階層にわたって個体数を維持したが、希産種のシマムラサキ、オオミトベラ、ナガバキブシなどは大幅に個体数を減らし、かつ新たな幼個体もほとんど現れなかった。希産種の減少の理由として、上記の2度の干ばつと1990年代の小雨傾向、戦前と比較して最近30年間の年降水量が約340mmも減少していることの影響を推定した。今後、乾性低木林の希産種の絶滅と種多様性の低下が起こることが憂慮される。

参考文献

- 1) Shimizu, Y. (1984) Regeneration of the subtropical evergreen broad-leaved forest at Chichijima in the Bonin Islands with reference to an environmental gradient and canopy gaps. *Japanese Journal of Ecology*, 34: 87-100.
- 2) Shimizu Y. (1992) Origin of *Distylium* dry forest and occurrence of endangered species in the Bonin Islands. *Pacific Science*, 46: 179-196.
- 3) 豊田武司 (1976) 『小笠原固有林の植生と学術参考保護林』東京営林局, 73p.

研究発表

- 1) A 20-year monitoring study in an endemic forest in the Bonin Islands. Pacific Science Congress, Theme8: Biodiversity, Sydney, 1999.7.6. (口頭発表)
- 2) 清水善和 (1999) 小笠原諸島父島における乾性低木林の21年間の個体群動態. 保全生物学研究 4: 175-197.
- 3) 小笠原にみる乾性低木林の変遷—絶滅危惧種の由来・現状・将来。第47回日本生態学会シンポジウム「島嶼生態系の生物多様性の保全」、広島、2000年3月25日。(口頭発表)

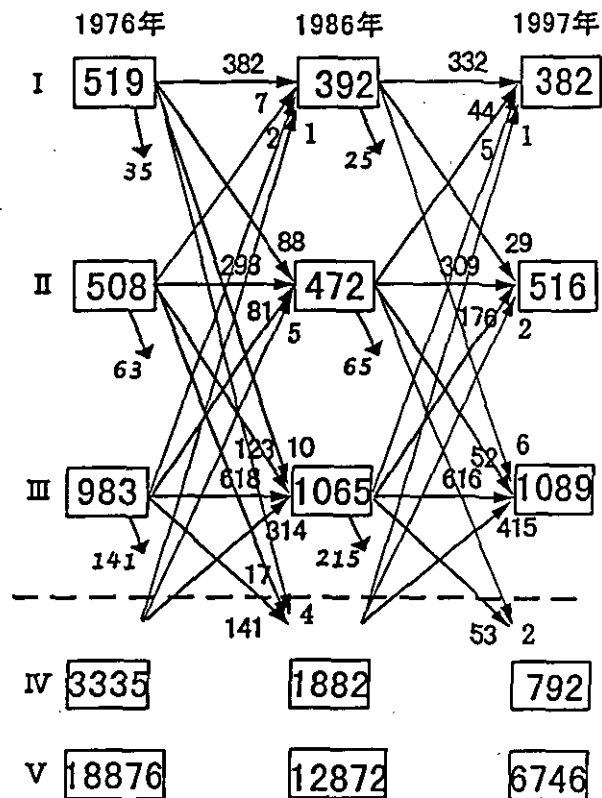


図1 21年間における全樹種の階層別個体数の変動

枠内の数字は書く調査時の個体数を、また、矢印と数字は前回の調査時からの移動個体数を示す。IV,V層については個体数のみ。10個体以上の個体数と移動は太線の枠、矢印、数字で表した。枠の右下に伸びる短い矢印とイタリックの数字はその期間に枯死した個体数を示す。

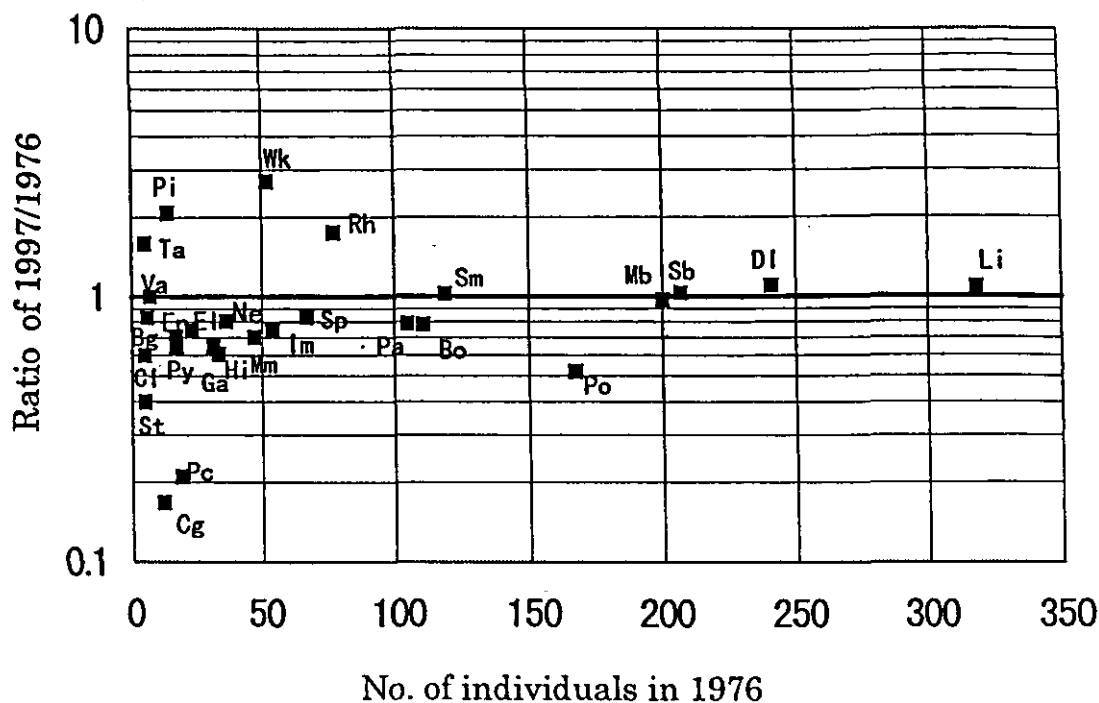


図2 21年間における樹木の個体数（第I-III層）の増減

1976年の個体数に対する1997年の個体数の割合を示す。図中の種名の略号は次の通り：
 Bg:オオバシロテツ、Bo:シロテツ、Cg:シマムラサキ、Cl:ノヤシ、DI:シマイスノキ、Ei:シマホルトノキ、
 En:ムニンゴシュユ、Fi:トキワイヌビワ、Ga:オガサワラクチナシ、Ge:オガサワラボチョウジ、Hi:モンテ
 ンボク、Im:ムニンイヌツゲ、Li:ムニンネズミモチ、Mb:ムニンイヌグス、Mm:シマタイミンタチバナ、
 Ne:キンショクダモ、Pa:タコノキ、Pc:オオミトベラ、Pi:リュウキュウマツ、Po:アカテツ、Py:オガサワラ
 ボチョウジ、Rh:シマシャリンバイ、Sb:アデク、Sm:ムニンヒメツバキ、Sp:チチジマクロキ、St:ナガバキ
 ブシ、Ta:シマギョクシンカ、Va:ムニンシャシャンボ、Wk:ムニンアオガンピ。

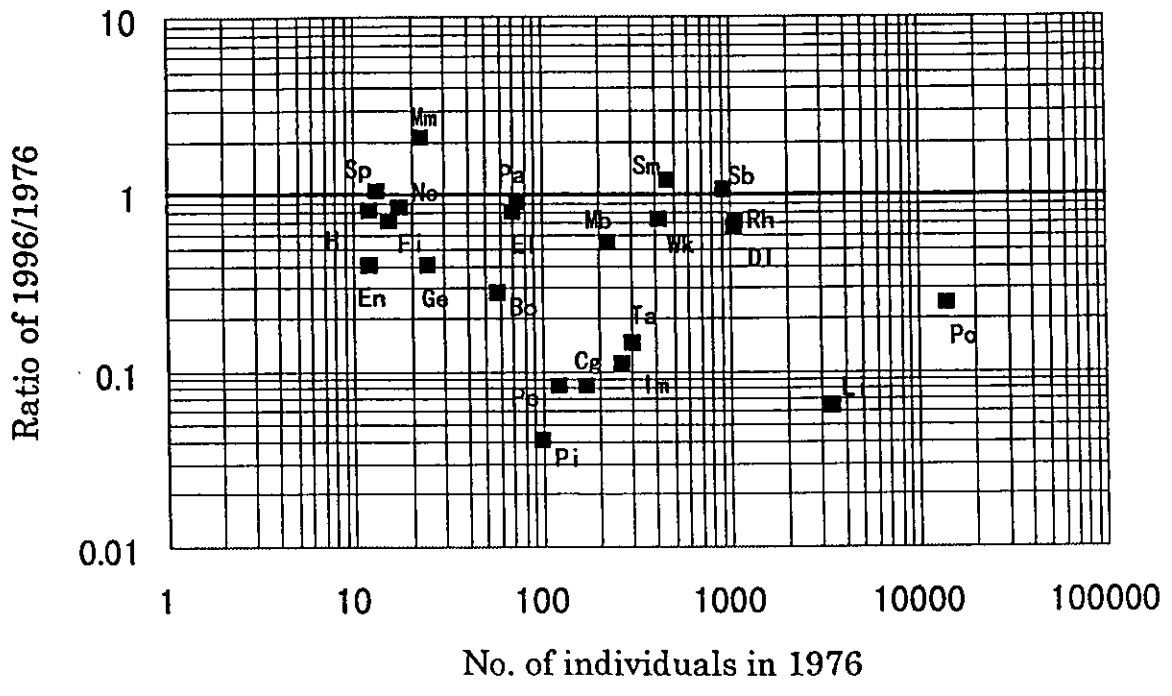


図3 20年間における芽生え・稚樹（第IV、V層）の増減。
 1976年の個体数に対する1996年の個体数の割合を示す。図中の種名の略号は図2を参照。

微細緑藻類の種と DNA データベース

野崎久義 (東京大学大学院理学系研究科)

要約

微細緑藻類の島嶼への移入と島嶼に適応した際の進化過程とその多様性がどのような機構で維持されているかを明らかにする為には、島嶼及びこれに近縁と考えられる微細緑藻類の遺伝学的多様性を解析する必要がある。本研究では、*rbcL* 遺伝子のようなタンパク質コード葉緑体遺伝子の様々なものを増幅させる新しい PCR プライマーを設計した。これらのプライマーを用いて増幅した複数遺伝子の塩基配列情報を基に精度の高い遺伝学的解析をボルボックス目 (緑藻) で実施することができた。これらの研究の中で、グループ I イントロンを *rbcL* 遺伝子で初めて発見し、その分子生物学的特徴を明らかにし、その遺伝的解析への有用性を検討した。

Abstract

In order to resolve the evolutionary process of green microalgae during transfer to islands and adaptation to the island environments as well as to elucidate the mechanisms to maintain diversity of the green microalgae in the islands, it is necessary to characterize the genetic diversity of the microalgae. In this study, new PCR primers were designated to amplify the various chloroplast, protein-coding genes (such as *rbcL* gene). Robust and detailed genetic analyses of the Volvocales (Chlorophyceae) could be done based on the sequence data from multiple genes which were amplified by using these primers. In addition, group I introns were recognized for the first time in the *rbcL* genes. Molecular characterization of the introns and application of such *rbcL* group I introns to the genetic analyses were carried out.

1. 序

微細緑藻類の大陸レベルでの遺伝的多様性に関しては *Pandorina* (Coleman 1977) 等で報告されているが、これらの研究によると、微細緑藻類は栄養細胞の形態が単純ではあるが、生殖的表現形質の多様性と遺伝的分化度はかなり大きなものであると考えられる。一方、島嶼における微細緑藻類とその母種または近縁と考えられるものとの関係を議論した研究は極めて少ない。

小笠原諸島等の島嶼の成立に伴う微細緑藻類の移入と島嶼へ適応した際の進化過程とその多様性がどのような機構で維持されているかを明らかにする為には、島嶼及びこれに近縁と考えられる微細緑藻類の形態学的・遺伝学的多様性を解析する必要がある。このような研究の材料としては、培養材料を基に形態学 (Nozaki & Ito 1994) 及び分子系統学 (Nozaki *et al.* 1997a) での研究が進んでおり、形態と DNA の塩基配列データが多くの種類で蓄積されている緑藻類のボルボックス目 (Volvocales) の生物が最適と考えられる。本研究では、それまでは非常に曖昧だった微細緑藻類の伝統的種分類・同定システムから脱却する為の DNA の塩基配列データをも用いた種分類学的研究を開始した。その結果、“より自然に近い種分類学 (アルファ分類学)” の方法論、並びに形態と DNA 塩基配列両者のデータベースに基づく“客観的簡易同定システム”の構築に成功した。更に、使用する DNA データの量を増加したより精度の優れた遺伝学的解析を実施するために新しい PCR プライマーの設計による複数の葉緑体遺伝子を用いた系統学的・遺伝学的多様性解析法の開発を試みた。これらの研究の中で、塩基置換速度の大きいイントロン (group I intron, 自己スプライシングイントロンの一種) を *rbcL* (*rubisco* 大サブユニット) 遺伝子で初めて発見し、その分子生物学的特徴と遺伝子水平移動の可能性を明らかにした。最後に複数の葉緑体遺伝子及び *rbcL* イントロンの DNA 塩基配列データを用いた沖縄諸島、神奈川県及びネパール産の群体性緑藻 *Gonium viridistellatum* を用いた遺伝学的解析の結果を報告する。

2. 研究方法および研究結果

[微細緑藻類の種分類学と種の生物学的実在]

微細藻類の種は伝統的には採集材料の形態学的特徴に基づき記載されてきた。しかし、このような分類体系では記載が不十分であったり、種の識別基準が実際には不安定であるために、客観的な種同定ができない場合が多くある。このような微細藻類に於けるアルファレベルでの分類学的立ち遅れと混乱を打破するには多くの生きた材料を用いた比較生物学的研究が必要と考えられた。幸いにも、微細藻類の多くの種類でクローン培養株が確立されており、国立環境研究所微生物系統保存施設 (NIES) 等のカルチャーコレクションに保存されている。従って、これらの保存株と自らが分離した多くの培養株を用いて同一培養条件下で電子顕微鏡をも用いた比較形態学的観察を実施することで“客観的な種の識別基準”を見出すことができるであろう。しかし、カルチャーコレクションに保存されている微細藻類の株はそのような厳密な同定作業をうけていない場合が多いので、このような分類学的研究と平行してカルチャーコレクションの保存株の再同定が必要である。このようにして微細藻類の“客観的アルファ分類体系”は確立されるものと考えられる。たとえば、単細胞 4 鞭毛性緑藻綱ボルボックス目の *Carteria* の場合は特に先行する研究が乏

しいため、我々が神奈川県と千葉県から採集・分離した *Carteria* の種レベルの同定作業はこの藻類群の種レベルの分類体系を再構築する必要があった (Nozaki *et al.* 1994)。当初、これら日本産の *Carteria* はいままでに記載された種と鞭毛の根元の細胞壁の隆起 (パピラ) が反時計方向にねじれた卍型である点で大きく異なり、新種としての可能性が十分あった。しかし、これは近縁な生物を比較形態学的に観察した結果の分類システムに基づくものではなかった。幸いにも、近縁と思われる *Carteria* の 9 株 4 種が NIES とアメリカのテキサス大学のカルチャーコレクション (UTEX) に保存されていたので、これらを取り寄せ電子顕微鏡をも用いた詳細な比較観察を実施した。その結果、すべての株のパピラが鞭毛方向から観察すると反時計周りにねじれた卍型であることが明らかとなり、細胞の特徴から 4 種に識別され、日本産の株は *Carteria inversa* であるとインド産のタイプ株 UTEX 233 と共に分類された (図 1)

しかし、このような分類学的研究に用いた種概念は "形態種 (morphological species)" である。しかし、形態的形質が客観的に種類を識別しても、それは人が客観的に識別できるものを "種" とする人為的なもので、自然の実態を反映していない可能性がある。一方、1950 年代から微細藻類では生物学的種概念 (biological species concept) を検証する方向で、群体性緑藻 *Pandorina*、接合藻 *Closterium* を代表とする微細藻類で交配実験が実施された (Coleman 1977 等を参照)。これらの研究から判明したことは、形態学的種が多く、生殖的に隔離された交配群を含むということであり、*Pandorina morum* では 20 以上の交配群が実在するとされている。しかし、この様な研究を基に微細藻類の種を分類学的に細分化した例は微細藻類においては少ない。また、微細藻類では有性生殖が不明である場合、同一株で接合するホモタリック (homothallic) である場合が多く、生物学的種概念を一般的には種レベルの分類に適用できないものと思われる。

[形態と DNA データに基づく "自然アルファ (種) 分類体系" と "客観的簡易同定システム"]

最近、DNA 等の塩基配列のデータを出すことが容易になり、藻類を材料にした PCR 産物の直接塩基配列決定に基づく系統解析が実施されるようになった。したがって、我々は微細藻類の種レベルのより自然な分類体系の確立のためには、種概念として、塩基配列データから推測される "単系統性 (monophyly)" を適用することが最も一般性のある方法論であると考えた。また、微細藻類の形態学的な種の系統学的な解析のマーカーにはデータが DDJB 等の遺伝子 DNA データバンクに蓄積でき将来的に自由に活用される可能性をもち、塩基のアラインメント (alignment) が容易・客観的である蛋白質コード遺伝子の塩基配列が有用であると思った。そこで我々は、高等植物の属や科レベルの系統解析に最も良く使用されている *rbcl* 遺伝子の塩基配列が微細藻類の種レベルの分類に適用できるのではないかと考えた。*rbcl* 遺伝子は蛋白質コード遺伝子であり、葉緑体ゲノム上の遺伝子であるから以下 1)~3) のような系統解析上の利点をもつ。1) コピー数が 1 個なので多重遺伝子族の異なる部分を比較する可能性がなく、遺伝子の比較がそのまま個体の比較になる。2) イントロンがほとんどなく、PCR 産物を用いて決定した塩基配列がそのまま系統解析に使用できる。3) AT の割合が多く塩基配列決定が技術的に容易である。

そこで我々が 1994 年に実施した形態種分類学的研究の結果を検証するために 1994 年に用いた *Carteria* の 11 株を含む 12 株の *rbcl* 遺伝子の塩基配列 1128 塩基対を決定し、これらの情報に基づく遺伝・系統学的な解析を実施した (Nozaki *et al.* 1997b)。その結果、2 個の異なる系統樹作成法 (最大節約法と近隣結合法) で 100% の信頼度 (ブートストラップ値) で我々の 1994 年の 4 個の形態種に相当する単系統群が解析された (図 2)。従って、*Carteria* の種の形態的識別基準は自然な単系統群を区別していることが明らかとなった。従って、多くの近縁な培養株を用いた比較形態学的観察に基づく客観的な種の識別基準の探索と *rbcl* 遺伝子の様な系統解析に有効な塩基配列データの蓄積が微細藻類の単系統形態種を基本とする自然分類体系の確立につながると思われた。

以上の様な視点に立脚して我々は単細胞性緑藻 *Chlorogonium* で比較形態学的研究と分子系統解析を結合した "自然アルファ分類体系" の確立を目指す研究を微細藻類で初めて発表した (Nozaki *et al.* 1998b)。我々は UTEX, NIES, IAM (東京大学分子細胞生物学研究所, IAM カルチャーコレクション)、CCAP (イギリス、淡水生物学連合藻類・原生動物カルチャーコレクション) 及び SAG (ドイツ、ゲッチンゲン大学藻類カルチャーコレクション) に保存されている *Chlorogonium* 23 株を用いて、光学顕微鏡と電子顕微鏡を用いた比較形態学的観察と *rbcl* 遺伝子 1128 塩基対を用いた系統解析を実施した。その結果 *Chlorogonium* の 23 株は 6 種に再同定・識別された。このうちの *C. kasakii* と *C. neglectum* の 2 種 2 株は電子顕微鏡レベルの眼点とピレノイドの形態が異なった (図 3)。*rbcl* 遺伝子を用いた系統解析では *C. kasakii* と *C. neglectum* と *C. fusiforme* を除く *Chlorogonium* の 20 株が高いブートストラップ値で単系統群を形成していることが解析された (図 4)。この中で、これら 20 株で観察された形態的変異と *rbcl* 遺伝子系統樹で解析された "単系統群" とを照らし合わせ、単系統群を識別する形態的形質を選択して種の識別基準とした。即ち、単系統形態種である *C. elongatum*, *C. capillatum* 及び *C. enchlorum* の 3 種に分類した。この場合、細胞の形態とピレノイドの安定性が種レベルの識別基準となった。一方、これら 20 株の中で認められた接合子の形態、及び眼点の有無は *rbcl* 遺伝子によって明らかになった単系統群と矛盾するので、種レベルの識別基準とはしなかった。

従来、ある形態的形質を種レベルの差異として使用するかどうかは微細藻類分類学者の経験的または主観的判断に基づいていたが、*rbcl* 遺伝子等の DNA データの塩基配列情報に基づく単系統種の概念を導入することにより、客観的に種レベルの識別基準を選択することができ、結果として識別された形態種が単系統群という自然な実態となると結論される。したがって、*Carteria* や *Chlorogonium* のような比較形態学的データと DNA の塩基配列データの蓄積した、分類学的研究の進んだ分類群においては、国立遺伝学研究所等の DNA データバンクに登録された DNA 塩基配列データを基に第三者が客観的な簡易種同定及び DNA データベースを利用した遺伝学的解析が行えるようになるものと思われる (図 5)。

[複数の遺伝子を用いた系統学的・遺伝学的多様性解析法の開発]

DNA の塩基配列データ等を用いた分子系統解析に基づく結果は 1000 塩基対程度では精度が低く、系統関係において不確かな点が多く存在する。これを解決する一つの方法として、OTU (operational taxonomic unit)、即ち種類数を増加させることと塩基数を増加させた系統解析が考えられる。幸いにも葉緑体ゲノムには *rbcl* 遺伝子と同様にアラインメントが容易な蛋白質コードの遺伝子が多数あり、近年、様々な植物・真核藻類で葉緑体ゲノムの全塩基配列が決定される様になってきており (e. g. Ohyama *et al.* 1986, Kowallik *et al.* 1995, Reith and Munholland 1995)、遺伝子増幅の為の PCR プライマーの作成が容易となった。Nozaki *et al.* (1999) は *rbcl* 遺伝子 1128 塩基対に *atpB* (ATP synthase beta-subunit) 遺伝子 1128 塩基対を加えた合計 2256 塩基対を用いた群体性ボルボックス目 (colonial Volvocales) 31 OTU の系統解析を実施した。その結果、*rbcl* 遺伝子 1128 塩基対単独に基づく系統樹より明らかに高い解析結果を示し、初めて *Gonium* 属が単系統であることが示された。更に精度の高い系統樹を作成するために新たに作成した PCR プライマーで *psaA* (P700 chlorophyll a-apoprotein A1)、*psaB* (P700 chlorophyll a-apoprotein A2) 遺伝子を増幅し、これらの塩基配列を付加した系統解析を実施している (野崎他、準備中)。

[*rbcl* 遺伝子の自己スプライシングイントロン (group I intron)]

我々は群体性ボルボックス目の系統関係を DNA の塩基配列データから推測する目的で、*rbcl* 遺伝子 1128 塩基対を用いた分子系統樹を構築した (Nozaki *et al.* 1995, Nozaki *et al.* 1997a)。この中で、明らかに系統的に分離した数種の *rbcl* 遺伝子に介在する塩基配列が PCR 法による遺伝子増幅と塩基配列決定時に認められ、これらは一般的に置換速度が大きく島嶼へ適応した際の進化過程を解析する上での適切な遺伝子マーカーとなりうると思われた。そこで、その中の *Pleodorina californica* と *Gonium multicoccum* の *rbcl* 遺伝子のイントロンの分子レベルの特徴を明らかにし、分類及び系統解析に基づくこれらの起源に関する考察を行った。決定された塩基配列に基づきイントロンの RNA 2 次構造を構築した結果、これらは *rbcl* 遺伝子では今までに報告がない自己スプライシングイントロンの一種の group I intron であり、*P. californica* と *G. multicoccum* の同一のエクソン部位 (462-463) に介在するものは group IA2 intron (1320 bp, 549 bp)、*G. multicoccum* の別のエクソン部位 (699-700) に介在するものは group IA1 intron (295 bp) に分類された (図 6)。系統解析の結果、両種の group IA2 intron は姉妹種となり、bacteriophage の group IA2 intron と同一の系統群を形成した。従って、*P. californica* と *G. multicoccum* が分岐した後、group IA2 intron が bacteriophage を介して両種の *rbcl* 遺伝子に水平伝達した可能性が示唆された (Nozaki *et al.* 1998a)。

[島嶼の微細藻類の遺伝学的解析における DNA 塩基配列データの適用]

また、沖縄本島産の *Gonium viridistellatum* の *rbcl* 遺伝子の group IA2 intron についても同様の解析を実施した。更に、神奈川県産とネパール産の同種のものと比較し、系統解析を実施した。その結果、沖縄産の *G. viridistellatum* が最も初期に分岐した可能性が示唆された。また、これら 3 者の単系統性と沖縄産の系統関係は葉緑体遺伝子 *rbcl* と *atpB* の両遺伝子の蛋白質コード領域の塩基配列から得られた 2256 塩基対を用いた系統解析からも高いブートストラップ値で示唆され、沖縄、神奈川及びネパール産の *G. viridistellatum* の共通の祖先で group IA2 intron が水平伝達されたことが考察される (図 7)。したがって、group I intron は塩基置換速度が速いので島嶼及びこれに近縁と考えられる微細藻類の遺伝学的多様性を解析するマーカー遺伝子として適用できることが示唆されたが、近縁なものの中でも水平伝達している可能性もあるので、蛋白質コード領域の塩基配列に基づく系統解析結果も照らし合わせる必要があると結論される (野崎他、準備中)。

参考文献

- 1) Coleman, A. W. 1997. *Am. J. Bot.* 64: 361-368.
- 2) Kowallik, K. V., Stoebe, B., Schaffran, I., Kroth-Pancic, P. and Freier, U. 1995. *Plant Mol. Biol. Rep.* 13: 336-342.
- 3) Nozaki, H. and Itoh, M. 1994. *J. Phycol.* 30: 353-365.
- 4) Nozaki, H., Aizawa, K. and Watanabe, M. M. 1994. *Phycologia* 33: 230-247.
- 5) Nozaki, H., Ito, M., Sano, R., Uchida, H., Watanabe, M. M. and Kuroiwa, T. 1995. *J. Phycol.* 31: 970-979.

- 6) Nozaki, H., Ito, M., Sano, R., Uchida, H., Watanabe, M. M., Takahashi, H. and Kuroiwa, T. 1997a. *J. Phycol.* **33**: 272-278.
- 7) Nozaki, H., Ito, M., Watanabe, M. M., Takano, H. and Kuroiwa, T. 1997b. *J. Phycol.* **33**: 864-867.
- 8) Nozaki, H., Ohta, N., Yamada, T. and Takano, H. 1998a. *Plant Mol. Biol.* **37**: 77-85.
- 9) Nozaki, H., Ohta, N., Morita, E. & Watanabe, M. M. 1998b. *J. Phycol.* **34**: 1024-1037.
- 10) Nozaki, H., Ohta, N., Takano, H. and Watanabe, M. M. 1999. *J. Phycol.* **35**: 104-112.
- 11) Ohyama, K., Fukuzawa, H., Kohchi, T., Shirai, H., Sano, T., Sano, S., Umesono, K., Shiki, Y., Takeuchi, M., Chang, Z., Aota, S., Inokuchi, H. and Ozeki, H. 1986. *Nature* **322**: 572-574.
- 12) Reith, M. E. and Munholland, J. 1995. *Plant Mol. Biol. Rep.* **13**: 333-335.

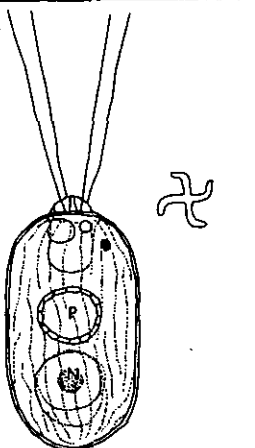
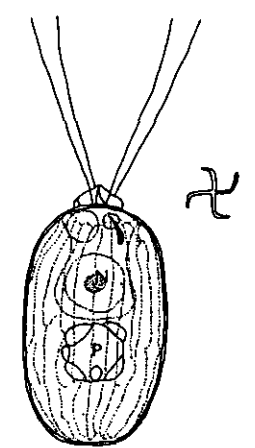
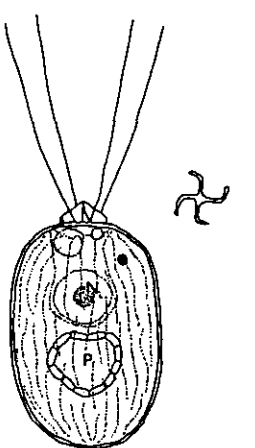
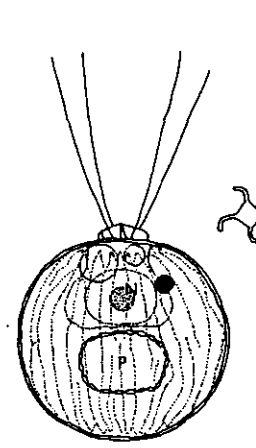
Species	<i>Carteria crucifera</i> Korshikov ex Pascher	<i>Carteria eugametos</i> Mitra	<i>Carteria inversa</i> (Korshikov) Bourrelly	<i>Carteria cerasiformis</i> Nozaki et al.
Strains	NIES-421 (<i>C. crucifera</i>) UTEX 432 (<i>C. crucifera</i>)	UTEX 233 (type strain of <i>C. eugametos</i>) UTEX 2161 (<i>C. eugametos</i>) UTEX 1032 (<i>C. olivieri</i>) Two Japanese strains	NIES-422 (<i>C. inversa</i>) NIES-423 (<i>C. inversa</i>)	NIES-424 (<i>C. inversa</i>) NIES-425 (<i>C. inversa</i>)
Morphological characters				

図 1 *Carteria* 12 株の比較形態学的観察による再同定 (Nozaki et al. 1994)

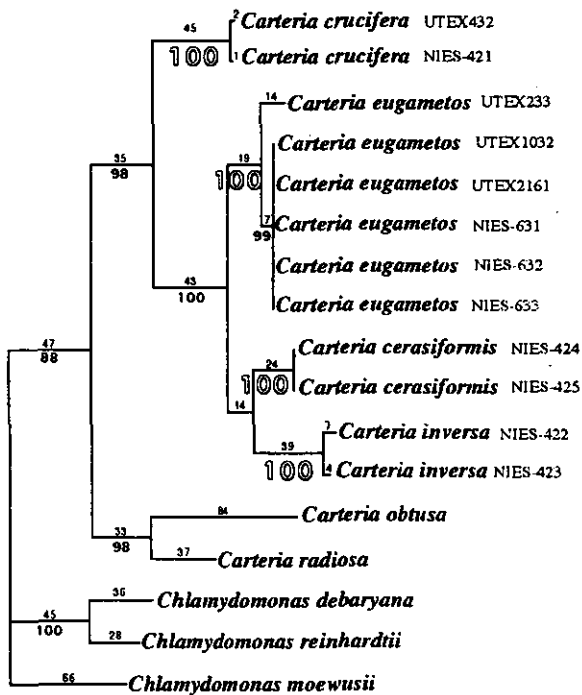


図 2 Nozaki et al. (1994) の比較形態学的観察に基づく *Carteria* 4 種の識別の *rbcL* 遺伝子系統樹による再検討 (Nozaki et al. 1997b). 枝の上部の数字は塩基置換数、下部の数字はブートストラップ値を示す。

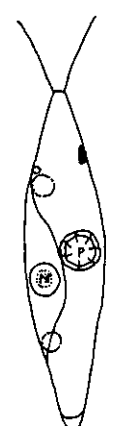
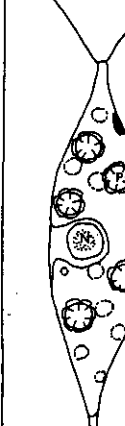


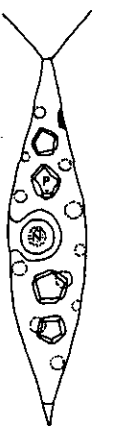

Species	<i>Cg. fusiforme</i> Matvienko	<i>Cg. euchlorum</i> Ehrenberg	<i>Cg. elongatum</i> (Dangeard) France'	<i>Cg. kasakii</i> Nozaki	<i>Cg. capillatum</i> Nozaki et al.	<i>Cg. neglectum</i> Pascher
Strains	NIES-123 ' <i>C. fusiforme</i> '	CCAP 12/2c ' <i>C. elongatum</i> ' CCAP 12/3 ' <i>C. euchlorum</i> ' CCAP 12/6 ' <i>C. sp.</i> ' UTEX 1639 ' <i>C. elongatum</i> ' UTEX 2010 ' <i>C. sp.</i> ' UTEX 2011 ' <i>C. sp.</i> ' SAG 12-2d ' <i>C. elongatum</i> '	IAM C-293 ' <i>C. elongatum</i> ' UTEX 2571 ' <i>C. sp.</i> ' UTEX 2572 ' <i>C. sp.</i> '	CCAP 12/8 ' <i>Chlorogonium sp.</i> '	NIES-692 ' <i>C. capillatum</i> ' IAM C-295 ' <i>C. tetragamum</i> ' CCAP 12/2a ' <i>C. elongatum</i> ' CCAP 12/2b ' <i>C. elongatum</i> ' CCAP 12/5 ' <i>C. sp.</i> ' UTEX 1643 ' <i>C. tetragamum</i> ' UTEX 2160 ' <i>C. sp.</i> ' SAG 12-2e ' <i>C. elongatum</i> ' SAG 47.84 ' <i>C. euchlorum</i> ' SAG 4.93 ' <i>C. tetragamum</i> '	NIES-439 ' <i>Chlamydomonas neglecta</i> '
Morphological characteristics	pyrenoid stable 	pyrenoid unstable 	pyrenoid stable 	pyrenoid stable 	pyrenoid unstable 	pyrenoid stable 

図3 *Chlorogonium* 23株の比較形態学的観察と遺伝子系統樹による自然種分類体系の確立 (Nozaki et al. 1998b)。

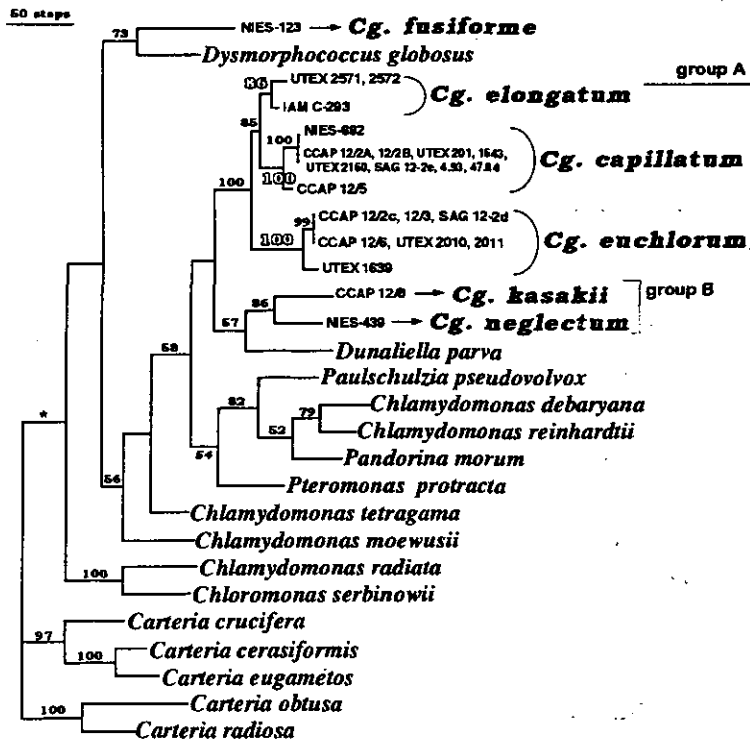


図4 *Chlorogonium* 23株の自然種分類体系の確立に用いた *rbcL* 遺伝子系統樹 (Nozaki et al. 1998b)。枝の上部の数字はブートストラップ値を示す。

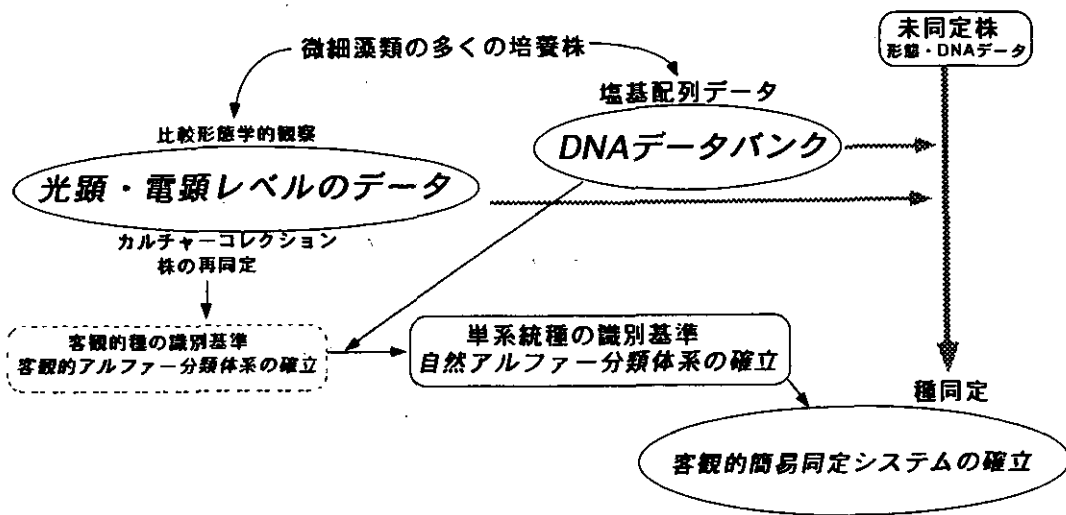


図5 形態データと DNA 塩基配列データの結合に基づく自然アルファ分類体系と客観的簡易同定システムの確立の概念図。

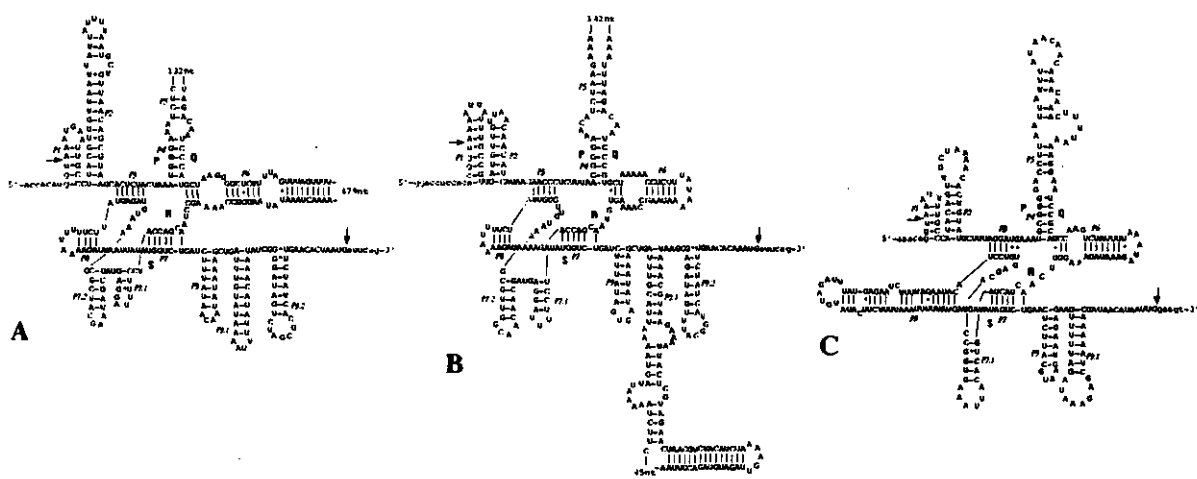


図6 *rbcl* 遺伝子で初めて発見された自己スプライス group I intron の RNA 2次構造 (Nozaki et al. 1998a) . A. *Pleodoriona californica* の group IA2 intron. B. *Gonium multicoecum* の group IA2 intron. C. *Gonium multicoecum* の group IA1 intron.

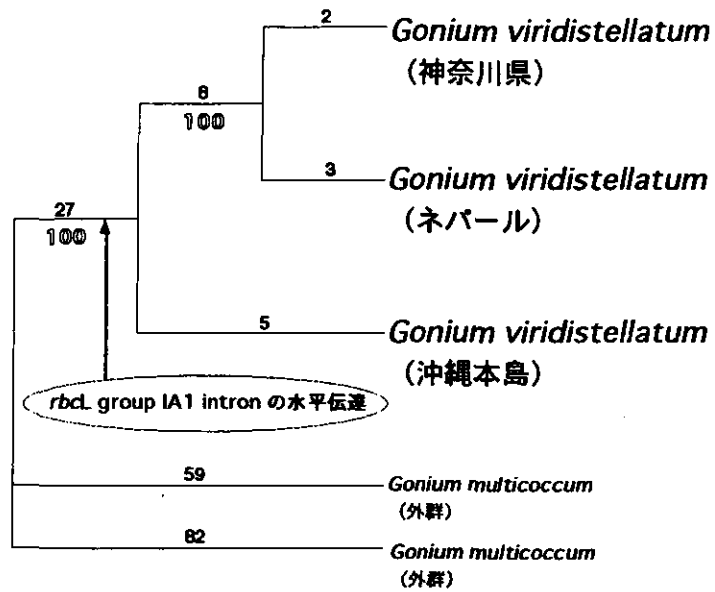


図7 rbcL 遺伝子と atpB 遺伝子 2256 塩基対から解析された *Gonium viridistellatum* の種内進化 (野崎他、準備中)。枝の上部の数字は塩基置換数、下部の数字はブートストラップ値を示す。

亜熱帯島嶼生態系の保全システム

野原精一（国立環境研究所生物圏環境部）

1. 序

今から113年前の1887年2月、アメリカのイリノイ大学のフォーブス教授はペオリアという小都市での科学談話会で「小宇宙としての湖」と題して講演を行った。この後の湖沼学や生態学の発展に大きな影響を与えた。湖はそれ自体一つの小さな世界、いわゆる「小宇宙」を作っており、その中ではあらゆる要因が働きかけあい、活発な生物活動が営まれている。そのため、湖のなかにある一つの生物種に加えられたような働きかけもその影響は必ずなんらかの形ですべての生物種におよぶ。すなわち、湖全体が一つの生物総体として外部からの働きかけによって反応する一つのシステムを形作っている。この発想は約百年前のものであるが、自然環境全体を一つのシステムとしてとらえている点では、今日の環境問題の考え方原点である（西條, 1992）。

それと同様に、島嶼は一つの「小宇宙」を作っており、島嶼を一つのシステムととらえることは重要である。島嶼の一つの生物種だけとらえて、他の生物や環境との関係を考えずに研究することはできない。環境と動植物を含めたシステム全体についての総合的な理解があってはじめてその中の一つの生物種についても十分に知ることができる。

これまでの生態学の歴史を振り返ると、陸上生態系において環境と動植物を含めたシステム全体についての総合的な理解が十分にされてこなかったと言えよう。それは湖沼生態系と比べると、環境が多様かつ不均一であり変動の激しい大気環境の影響が大きいと、物質循環の観点からは研究しにくいことが要因の一つであろう。しかし、様々な先端技術、コンピューター技術等の進歩によって少しずつ陸上生態系のシステム全体についての総合的な理解ができるようになってきた。

そうした背景から、環境庁未来創造型基礎研究推進費による「亜熱帯域島嶼の生態系保全手法の開発に関する基礎研究」は島嶼という一つの宇宙を過去・現在・未来という時空間の観点を加えて、空間的に離れている島嶼という比較的小さな陸域のシステムを研究してきた。すなわち、我々は亜熱帯域の島嶼生態系をシステムとして理解できるように比較生態学・系統地理学的なチャレンジをしてきた。研究プロジェクトの終了時期にあたり、最終ゴールを「亜熱帯域島嶼生態系管理システム」の構築とした。島嶼は小さな生態系といっても自然は我々にはまだはかり知れない未知の部分がたくさん持っている。しかしながら、現在できる最大限の技術で亜熱帯域の島嶼生態系を管理することは未来世代から預かった豊かな自然を引き継ぐ最良の方法と考えられる。

2. 亜熱帯域島嶼生態系管理システム

島嶼生態系保全のために、我々が構築しつつある「亜熱帯域島嶼生態系管理システム」は3つのサブシステムから構成されている（図1）。それらは、「島嶼生態系データベース（SIMA-DATA）」、「生態系総合評価システム（SIMA-HGM）」、「個体数変動予測モデル（SIMA-POP）」である。島嶼生態系の管理にあたって、我々は生物多様性を損なうことが無いようにする必要がある。それは、生物多様性条約や環境基本計画に示されているように、我々人類の生きていく基盤として欠くことのできないものだからである。そのため、あらゆる事業において、生物多様性が損なわれないように細心の注意を必要とする。そこで、事業や環境変動などによって生物多様性が変化するかどうかを評価する必要がある。

生物多様性は景観・生態系・種・遺伝子の階層構造を構成しているので、それぞれのレベルから評価する。その際、本プロジェクトで蓄積されたデータや既存のデータを活用する。そのデータベースが「島嶼生態系データベース（SIMA-DATA）」である。過去・現在・未来に渡って、あらゆる調査研究で得られた知識がSIMA-DATAに蓄積され、必要な情報が引き出されることが可能になる。ここの生物はデータベースに記録されているだけでは、今後どうなるか分からない。そこで、SIMA-DATAのデータを引き出し、SIMA-POPを使ってモデル的なシミュレーションを行って、固有種や移入種の動態を予測できる。

さらに、もう一つの評価軸が生態系の持つ機能の評価である。生物多様性の維持された島嶼生態系から我々は様々な機能を利用することができる。たとえば、豊かな森林は貯水機能が強く、集水域に天然のダムとして水を蓄える。その様な、生態系の持つ機能が失われる事のない様に管理する事がSIMA-HGMモデルを使って実施できる。

3. 島嶼生態系データベース

次に、具体的なデータベースについて見てみる（図2）。このプロジェクトでは亜熱帯域の島嶼を対象にしているので、小笠原諸島・伊豆諸島・南西諸島を想定した。特に、重点的に調べられたのが、小笠原父島である。今後同様に、事業として各島のデータが蓄積されると良いであろう。この作業は日々新しい知見・データを組み込むようにすることが肝要である。それをインターネットの公的な機関のホームページからダウンロードできれば、多くの人々が必要な時にいつでも利用できる。

父島を例にすれば、島の緒元、歴史、年表、関連機関といった既存の概要は各島での比較に役立つ。ま

た、更に詳しい情報には引用文献を引けるように文献目録も入れてある。さらに、本プロジェクトの研究者らが新たに発見したり、開発してきた内容（*印）は、気象情報・水質情報・植物情報・動物情報・微生物情報としてまとめた。

その中の植物情報として、種の目録・絶滅ランク・種の島内の分布・整理生態・個体群動態・遺伝子情報を整備する。特に分布図は図2右に記載した種を網羅した。貴重な絶滅危惧種は盗掘の恐れがあるため、精度を落として作成することに特に注意が必要である。

4. 生態系総合評価システム

生態系の評価は様々なものが開発されてきた。特に、湿地での評価手法は水資源の確保と湿地減少をゼロにするという政策によって米国では開発されてきている（例えば、BEST, WET, HGM）。また、野生生物の保護の観点からは独立に生物群集の評価手法（例えば、HEP）が開発されている。島嶼についても同様のフレームワークが考えられ、生態系評価の観点から機能を把握することは生物多様性の確保という理念から必要不可欠なものである。

そこで、島嶼を流域ごとに区分して、それぞれの流域の様々な機能を評価する総合評価モデル（SIMA-HGM）を構築しつつある（図3）。本来、HGMモデルは水依存の生態系に用い、水文地形学的な区分を基礎とする湿地の評価手法である。ところが島嶼は先に述べたように水資源の確保が人々にとっても、生物にとっても大切な問題である。そこで水資源の単位として集水域を基盤とした。たとえば、同じ集水域内に水を巡って対立する事業等がある場合には、持続可能な発展を考えれば集水域内の資源容量に見合った開発しかできない。島嶼の集水域内の開発は通常集水域内に開発影響の及ぶ範囲に限られる。

SIMA-HGM はまず島嶼名を特定し、島嶼の記載として基盤となる環境要素を把握する。それにはすでに構築されつつある SIMA-DATA を利用する。次に、その島嶼の集水域毎に機能を想定する。ここでは、土壌流出防止・水資源供給・栄養塩供給・有機物供給・遺伝子資源確保・生物多様性維持という6つの機能を想定した。それぞれの機能は知られている知見から最良の計算方法を検討する。例えば、多様性維持の機能ではある生物群の多様性指数がいくつかのモデル式と SIMA-DATA から多様性が計算される。その際、似た環境に在る他の島嶼の集水域の機能と比較して自然で人為影響がない基準地の値を1として対象としている集水域の値を0～1に指数化する。各々の生物群でその多様性合計を計算して、各分類群を平均した多様性指数が計算され、集水域の面積とを掛けて多様性維持機能を集水域毎に指標化する。

島嶼全体で得られた各機能容量がある事業、開発計画でどのように変化するかを計算して、開発前後、開発したあとの10年後にどうなるかを予測する。もし、それぞれの機能に著しい低下があれば、開発計画は変更しなくてはならない。なぜなら、未来世代に残せるような持続可能な生態系が維持できないからである。

ここで示した機能はすべて出し尽くしているわけではない。また、機能の計算方法は項目毎に今後十分な検討を必要とする。ここで示した SIMA-HGM は生態系のあらゆるメカニズムを記載できたり、予測できる数学モデルではない。あくまで開発に際してアセスメントをする際の考え方の指針や手続きであり、生態系の指標である。

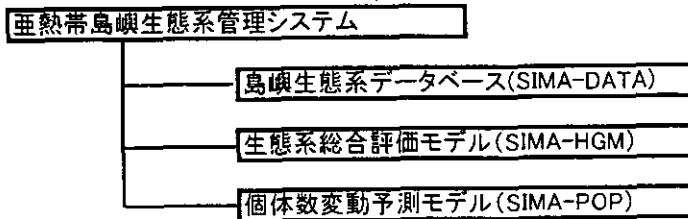
5. 個体数変動予測モデル

一方、生物の数量は刻々と変動している。島嶼に固有の生物や他の生物に影響を与える移入種は一つの集水域のみに生活していないし、多様性の数値の一つとしてのみ生きているわけではない。そこで、生物を主体として各生物種の生活・行動様式に合った個体数予測が必要である。本プロジェクトでは個体数の変動予測モデル（SIMA-POP）を作成した（図4）。種によって扱いかたが異なるので、生物の特性ごとにサブモデルを構築している。

まず、生物を普通・固有・移入の区別をして、SIMA-DATA などに記載してる生物の特性と個体群動態に影響する要因を調べる。その後、適するモデルを選択し、そのモデルに必要な情報やパラメータを入手して、モデルを動かす、予測する。モデルは、個体ベースモデル、遷移系列モデル、拡散増殖モデル、推移行列モデルである。また、島嶼に重大な影響を与える水環境の変化は陸面過程モデルで予測し、評価できる。

これらのモデルを駆使して、開発行為によって変更される環境要因等をモデルに代入して環境の影響評価も生物種ごとに明らかにできる。モデルに必要なのは基礎となる生物パラメータや物理パラメータである。今後、より正確な予測となるモデルの改良とデータベースの充実が重要な課題である。

生態系保全のためのモデリングと評価



		過去	現在	未来
生物多様性の評価	生態系			
	地質 地形 土地利用 物質循環		SIMA-DATA	
	種		SIMA-POP SIMA-DATA	
	普通種 固有種 絶滅危惧種 移入種			
遺伝子		SIMA-DATA SIMA-POP		
	適応戦略 系統地理 種分化			
生態系の機能評価				
			SIMA-HGM	

図 1

島嶼生態系データベース(SIMA-DATA)

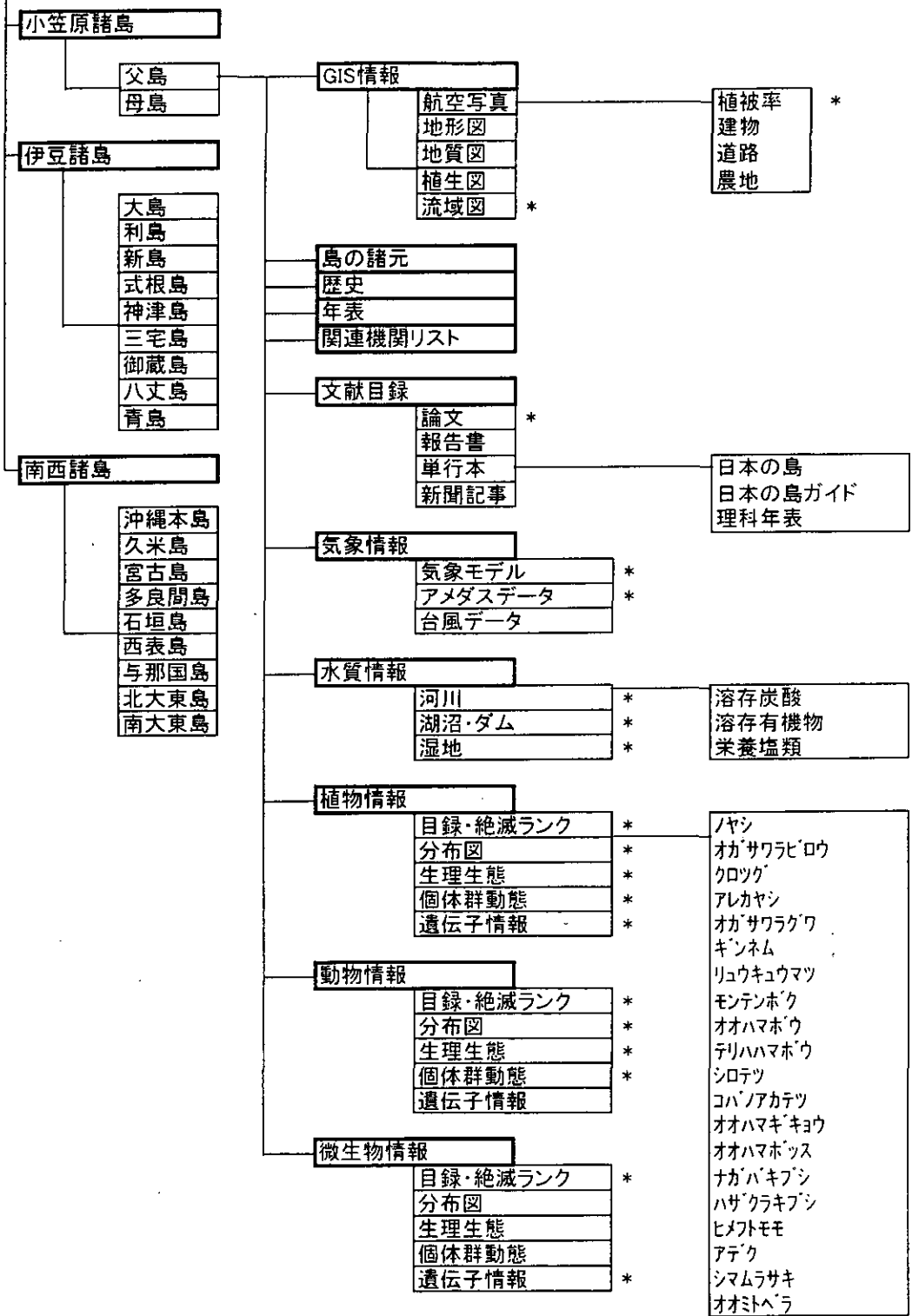


図 2

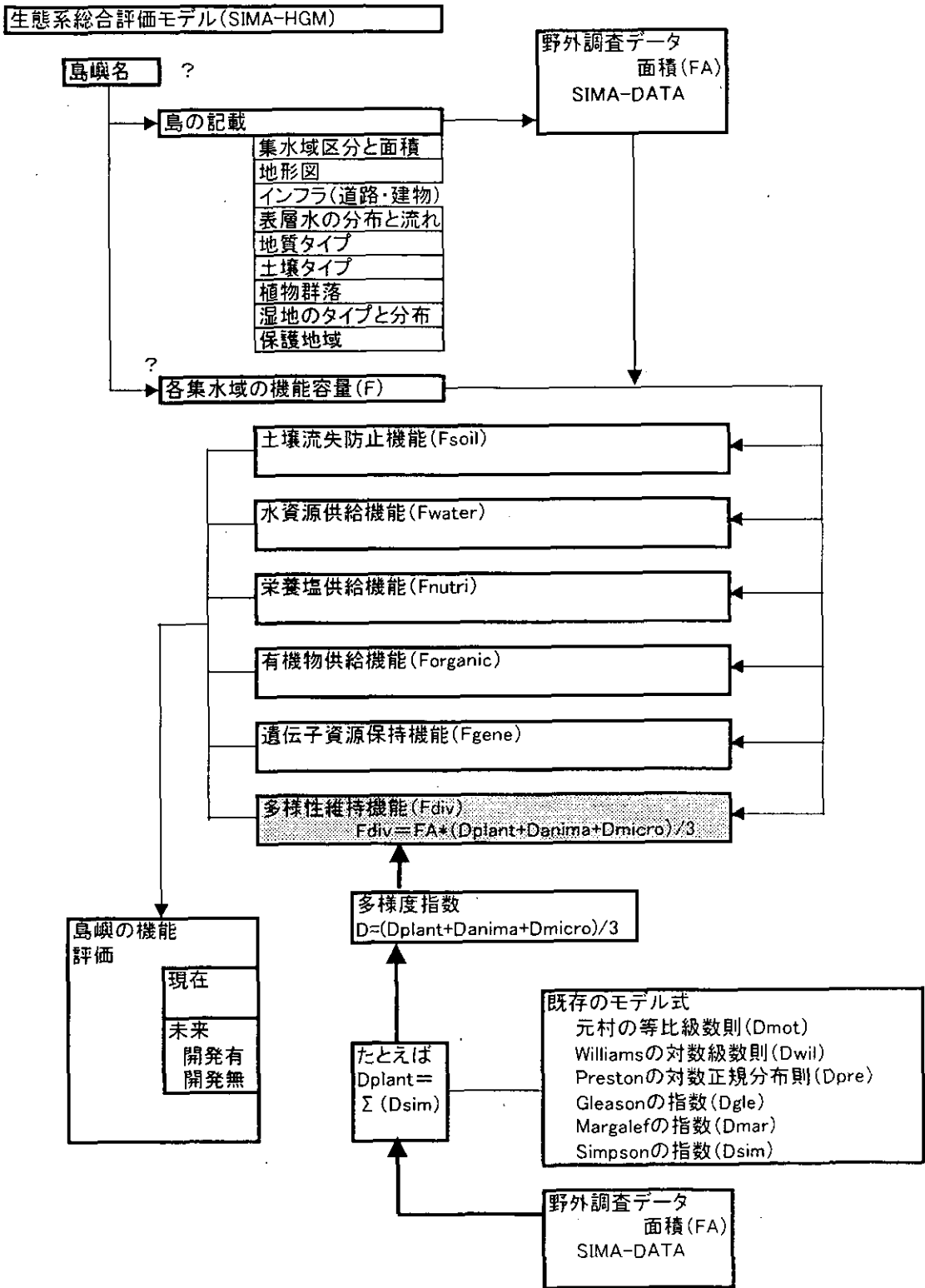


図 3

個体数変動予測モデル(SIMA-POP)

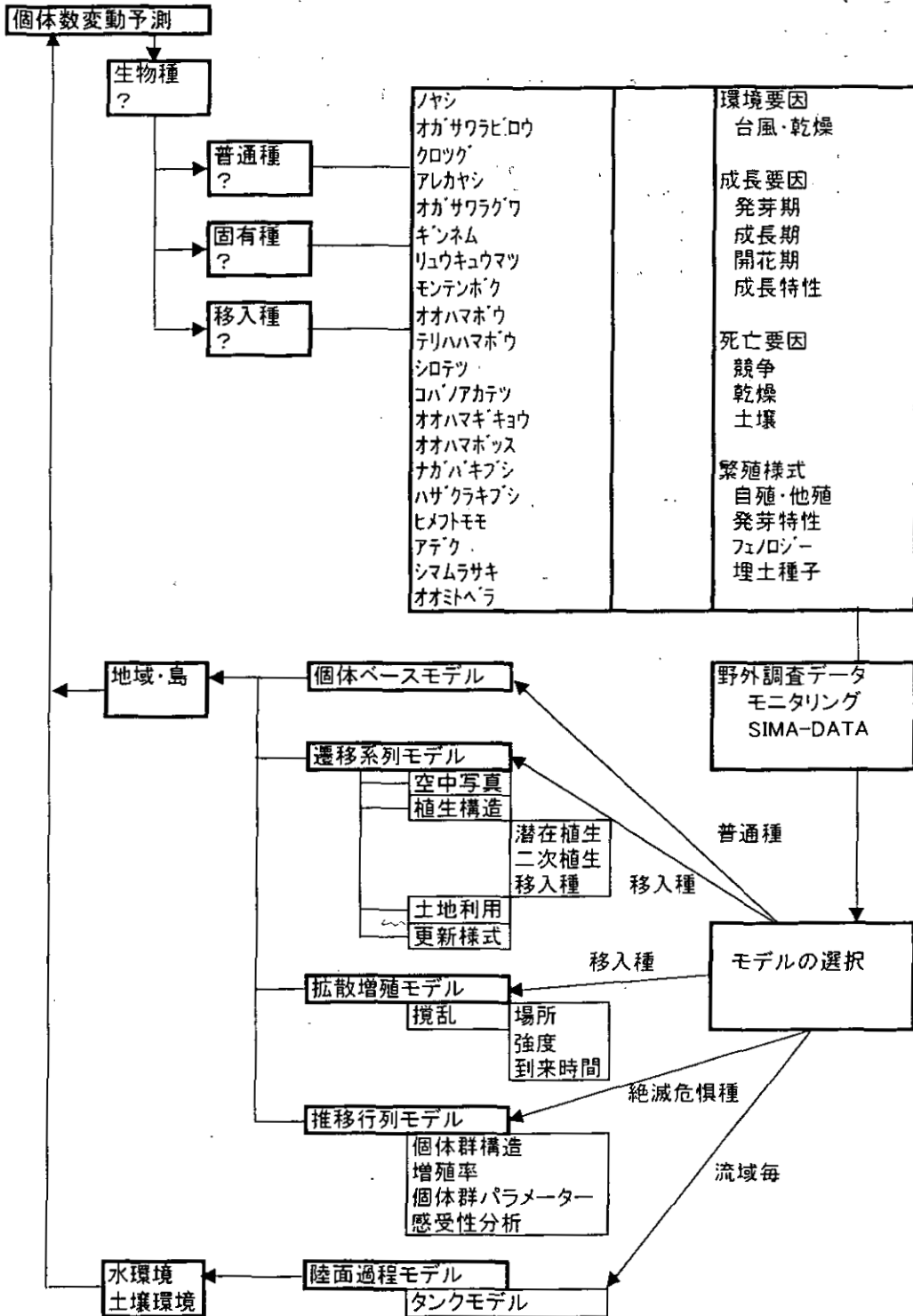


図 4

RESEARCH REPORT FROM
THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES, JAPAN
No.158

国立環境研究所研究報告 第158号
(R-158-2001)

【平成12年12月15日編集委員会受付】

【平成12年12月26日編集委員会受理】

平成13年3月31日発行

発行 環境省 国立環境研究所
〒305-0053 茨城県つくば市小野川16番2
電話 0298-50-2343 (ダイヤルイン)

印刷 朝日印刷株式会社
〒309-1117 茨城県真壁郡協和町向川澄82-1

Published by the National Institute for Environmental Studies
16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-0053 Japan
March 2001

本報告書は再生紙を使用しています。