ISSN 0917-1908

JAPANESE FOREST SOCIETY 1914

森林科学

［特 集］

小笠原島嶼生態系の研究と保全（後編）

シリーズ

森をたべる

森林からの贈り物「きのこ」

林業遺産紀行

遠山森林鉄道の資料および道具類・遺構群

現場の要請を受けての研究

熊本地域における森林の地下水涵養機能の評価に向けた取り組み

No. 87
October 2019

森林科学 87
contents
2019.10

特集 小笠原島嶼生態系の研究と保全（後編）

世界自然遺産「小笠原諸島」の特集に寄せて（後編） 2
吉丸　博志

謎の海鳥オガサワラヒメミズナギドリの発見と保全 3
川上　和人

DNA メタバーコーディングで探る絶滅危惧種の食物 5
安藤　温子

オガサワラオオコウモリの行動と進化 8
杉田　典正

小笠原の土壌動物 11
長谷川　元洋

小笠原の固有昆虫の危機 15
―急がれる域内保全と域外保全―
苅部　治紀

陸産貝類の進化と保全 19
千葉　聡

小笠原諸島世界自然遺産地域科学委員会の活動 24
大河内　勇

森林科学　No.87
2019 年 10 月 1 日発行

頒　価　1,000 円（送料込み）
年間購読割引価格
2,500 円（送料込み）
編集人　森林科学編集委員会
発行人　一般社団法人　日本森林学会
102-0085 東京都千代田区六番町 7
日本森林技術協会館内
郵便振替口座：00140-5-300443
電話 /FAX　03-3261-2766
印刷所　創文印刷工業株式会社
東京都荒川区西尾久 7-12-16

表紙写真：小笠原固有キビオカチグサ類。母島石門でごく短い期間（数万年前）に分化した塔形（左上）と平型（右上）の種。一方、200 万年以上前に分化した母島の種（左下）と父島の種（右下）は、形態的に区別ができない（千葉聡撮影、2011 ～ 2016 年、小笠原父島および母島にて）

シリーズ　森をたべる
森林からの贈り物「きのこ」 28
西井　孝文

シリーズ　森をはかる
森林流域の地下水をはかる 32
榊原　厚一

シリーズ　林業遺産紀行
遠山森林鉄道の資料および道具類・遺構群 34
竹本　太郎

シリーズ　現場の要請を受けての研究
36 熊本地域における森林の地下水涵養機能の評価に向けた取り組み
井手　淳一郎・宮野　岳明・大槻　恭一

コラム　森の休憩室 Ⅱ　樹とともに
40 蒸散
二階堂　太郎

記録
41 日本森林学会公開シンポジウム開催報告
「新たな森林教育研究の挑戦－研究と実践現場をつなぐ－」
井上　真理子

46 Information
北から南から
ブックス

小笠原島嶼生態系の研究と保全（後編）

世界自然遺産「小笠原諸島」の特集に寄せて（後編）

吉丸　博志（よしまる　ひろし、森林総合研究所）

本誌「森林科学」では 2002 年の第 34 号で特集「小笠原の森林の生物多様性保全」が組まれて、当時の生物多様性研究や保全対策など 9 編が紹介されている。その後の 2011 年に小笠原諸島はユネスコの世界自然遺産登録を経て、生物研究および保全対策が、ともにさらに幅広くかつ詳細に進展してきた。特に 2006 年に立ち上げられた「小笠原諸島世界自然遺産地域科学委員会」（当時の名称は「自然遺産候補地」）は、研究、行政、地元の人々の情報交換を推進する重要な役割を果たし、生物研究と保全対策は互いに刺激･連携しながら進んできた。

今回の特集は前回から 17 年を経た小笠原諸島の生物多様性保全研究の概要を紹介したく、多くの分野の方々に執筆をお願いして、2 号連続の特集となった。

前編となる第 86 号では植物を対象として、「海洋島の森の特徴と憂鬱」「海洋島における野生化ヤギ駆除後の生態系の変化」「小笠原樹木の水の使い方と乾燥による枯死」「小笠原諸島における樹木種の遺伝構造」「島嶼性固有植物の保全ゲノミクス」「オガサワラグワのクローン増殖と組織培養苗の植栽」の 6 編の研究解説を掲載した。

後編となる第 87 号（今号）では動物を対象として、鳥類 2 編、哺乳類・土壌動物・陸産貝類・昆虫類各 1 編の研究解説と共に、「小笠原諸島世界自然遺産地域科学委員会の活動」についての解説をお願いした。

小笠原諸島は東京都に属するが、南南東約 1,000 km の太平洋上に位置して有史以来陸地とつながったことのない海洋島で、4 つの列島（聟島（むこじま）列島、父島列島、母島列島、火山列島）（図 –1）と孤立した南鳥島、沖の鳥島、西之島などから成っている。小笠原諸島の中心となる 3 つの列島（聟島列島、父島列島、母島列島）を合わせて小笠原群島とも呼ぶ。

小笠原諸島への交通手段は 6 日に 1 度往復する東京 – 父島間の定期航路（片道 24 時間）のみである。明治から 1945 年までは多くの島に人が住んでいたが、1968 年に米国から返還された後、有人島は父島（約 2,100 人）、母島（約 500 人）と自衛隊基地がある硫黄島のみである。他の島は無人島で船着場もなく、調査研究・保全などの活動は小型の船で島に渡って実施されている（写真 –1）。

図 –1 は前編でも掲載した地図の再掲であるが、今号の各特集記事でも列島名や島名などが頻出するので、場所の確認などにご利用いただきたい。

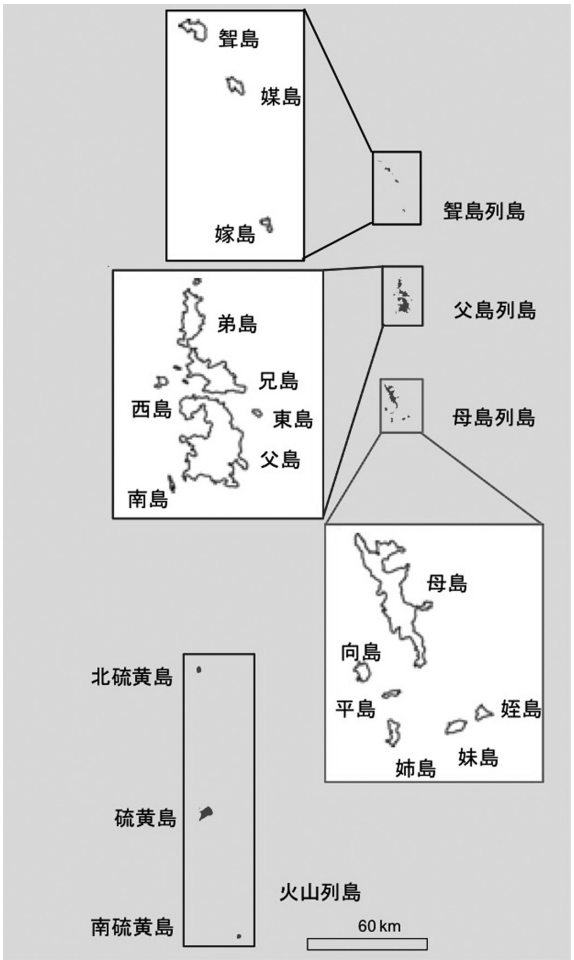


図 –1　小笠原諸島内の主な 4 つの列島の位置関係と各列島に属する島々の名称

写真 –1　定期航路の客船から見える父島の北部（左）と無人島のひとつである西島の上陸地点（右）。

謎の海鳥オガサワラヒメミズナギドリの発見と保全

川上　和人（かわかみ　かずと、森林総合研究所）

ミッドウェイと小笠原での発見

小笠原諸島で繁殖する海鳥の中で、最も希少性が高いのがオガサワラヒメミズナギドリ *Puffinus bryani* である（写真 –1）。本種は国際自然保護連合および環境省のレッドリストにおいて絶滅危惧 IA 類（CR）に指定されている。体長約 30 cm、翼開長約 55 cm の小型の海鳥で、他の *Puffinus* 属のミズナギドリと同様に上面は黒、下面は白色の羽衣を持つが、頭部の白色部が眼の上まで広がっていること、下尾筒が黒いこと、足が灰青色であることが特徴となっている。

本種は 2011 年に新種として記載されたばかりである（Pyle *et al.* 2011）。この新種記載は、ミッドウェイ諸島で 1963 年に捕獲された標本に基づいて行われた。この標本は形態的な特徴からヒメミズナギドリ *Puffinus assimilis* として保管されていたが、DNA 分析により別種と判明し、Bryan's Shearwater という英名が与えられた。ただし、この発表の時点では、他に 1990 年代初頭に同じミッドウェイ諸島での観察例があるのみで他には記録がなかった。このため、この種は既に絶滅している可能性もあると考えられた。

一方、小笠原諸島では 1997 年から 2011 年までの間に、種が不明の小型ミズナギドリの斃死（へいし）体または保護個体が合計 6 個体見つかっていた（Kawakami *et al.* 2012）。このうち 1997 年に母島で見つかった個体および 2005 年に父島で見つかった個体は、形態的な特徴からヒメミズナギドリと考えられていた。Pyle *et al.*（2011）の結果を受け、これらの個体の DNA 配列を比較したところ、小笠原諸島で発見された 6 個体はミッドウェイで発見された Bryan's Shearwater と同種であることが明らかになった（Kawakami *et al.* 2012）。本種にはオガサワラヒメミズナギドリという和名が与えられ、周辺海域での観察記録も報告されるようになった。小型ミズナギドリ類は形態が類似し外見的な識別が難しいことから、本種は近年まで独立種として認識されにくかったものと考えられる。

営巣地の発見

オガサワラヒメミズナギドリは、ミッドウェイ諸島で

写真 –1　東島で見つかったオガサワラヒメミズナギドリ

は 1990 年代初頭を最後に記録がなく、またこれを含めて 2 例しか記録がないことから、この地域では繁殖しておらず記録も迷行個体であった可能性が高い。一方で小笠原諸島では近年まで断続的に死体が見つかっていることから、本種は小笠原諸島で繁殖し現在まで生き残っていると考えられた。

ミズナギドリ類は一般に非繁殖期は洋上で生活し、繁殖期のみ営巣のため陸地を利用する性質を持つ。ミッドウェイ諸島および小笠原諸島で 2011 年までに見つかっていた個体は、全て 12 月から 5 月までの間に陸上で記録されており、夏から秋の記録はなかった。このため、オガサワラヒメミズナギドリは冬から春にかけて繁殖するものと考えられた。また、2011 年までに見つかっていた 6 個体のうち 3 個体は、小笠原諸島の父島列島の無人島である東島で見つかっていた。これらのことから、本種は冬に東島で繁殖している可能性が高いと考えられた。そこで 2015 年の冬季に東島で営巣地の探索を行ったところ、繁殖中の 1 巣が発見された。

ミズナギドリ類は地中に掘った穴や岩の隙間で繁殖することが多く、オガサワラヒメミズナギドリも地中の穴の中で繁殖していた。また、営巣穴からの出入りや鳴き声によるコミュニケーションは基本的に夜間に行われるため、日中に発見するのは難しい。実際、東島での営巣も夜間調査によって発見されたものである。冬季は海況が不安定になりやすいため、この時期の無人島での海鳥の調査はあまり実施されてこなかった。特に夜間調査は

ほとんど行われておらず、これが本種の営巣地が発見されなかった原因の 1 つと考えられる。

東島で発見された営巣地は、タコノキ *Pandanus boninensis* やアカテツ *Planchonella obovata* などで構成される低木林とオガサワラススキ *Miscanthus boninensis* などの草本を含む岩上荒原植生がモザイク状に混じる環境だった。営巣地はまだこの 1 箇所のみしか見つかっていないことから、本種の営巣環境を一般化することはできないが、少なくともこのような低木林と草地が混在する環境は潜在的な営巣地となると考えられる。

ネズミによる捕食の影響

小笠原諸島においてオガサワラヒメミズナギドリの発見が遅れた最大の理由は、本種の個体数が極めて少ないことにある。その要因は、小笠原諸島に侵入している外来のネズミ類にあると考えられる。

小笠原諸島にはハツカネズミ *Mus musculus*、クマネズミ *Rattus rattus*、ドブネズミ *R. norvegicus* の 3 種のネズミ類が侵入している。諸島内での分布が最も広いのはクマネズミで、聟島列島、父島列島、母島列島、火山列島、南鳥島において無人島も含めて広く分布している。ネズミ類は諸島内の植生のある島のほとんどで記録があり、東島にも分布が認められていた。

東島では 2005 年から 2006 年にかけ、クマネズミに捕食された海鳥の死体が 100 個体以上見つかった。海鳥の多くはアナドリ *Bulweria bulwerii* であったが、先述の東島で発見されたオガサワラヒメミズナギドリ 3 個体もこの中に含まれており、死体からはネズミによる噛み痕が見つかった。クマネズミは世界各地の島嶼に侵入し多数の海鳥の絶滅を引き起こしており、小型の海鳥は特に捕食による影響を受けやすい。オガサワラヒメミズナギドリは体重 130 g 程度しかないため、クマネズミによる捕食が本種の絶滅の要因となった可能性が高い。

小笠原諸島では 1830 年に近代の入植が始まると、直後から外来ネズミの侵入が生じた。ドブネズミやクマネズミは短距離であれば海を泳いで移動できるため、有人島のみならず周辺の無人島にも早い段階で侵入していた可能性がある。海鳥の中でも特に体サイズが小さいオガサワラヒメミズナギドリはその影響により早い段階で個体群が縮小し、発見が遅れたのかもしれない。

小笠原諸島では自然再生のためのクマネズミ駆除事業が行われており、これまでに聟島や聟島鳥島などでは根絶に成功している。東島では先述の海鳥の大量死を受け、2008 年および 2010 年に環境省により殺鼠剤の空中散布が行われ根絶に成功しており、その後ネズミ類の生息は確認されていない。東島においてオガサワラヒメミズナギドリの生残が発見されたのは、このネズミ根絶が功を奏したものと言える。

今後の保全策

オガサワラヒメミズナギドリは冬の無人島で繁殖するため、調査実施の難易度が高く、その分布や生態などはまだ謎に包まれている。本種の保全を行うためには、まずは保全に必要な基礎情報の収集が不可欠である。現在筆者は、小笠原諸島の地元 NPO である小笠原自然文化研究所と協力し、オガサワラヒメミズナギドリの分布の解明を進めている。この調査では、様々な無人島の潜在的な営巣適地に自動撮影装置や録音装置を設置し、姿や鳴き声の探索を行っている。この結果は遠からず発表する予定である。また、この調査で鳴き声が見つかった場合には、巣の探索を実施するとともに、個体数の推定を行う予定である。

本種の営巣環境を悪化させる要因としては、外来植物による環境改変が心配される。東島にはトクサバモクマオウ *Casuarina equisetifolia* やギンネム *Leucaena leucocephala* などの侵略性の強い外来樹木が侵入している。前者については林野庁による駆除が進んでいるが、後者についてはまだ島内に純群落が広がっており、ミズナギドリ類の営巣環境を変質させる要素となっている。このため、オガサワラヒメミズナギドリの営巣環境を維持するためには、ギンネムを根絶することが望ましい。

東島ではクマネズミが根絶されたものの、潜在的な営巣適地を持つ多くの無人島ではまだネズミ類が生息し続けている。オガサワラヒメミズナギドリの個体群を回復させるためには、複数の島において繁殖地を維持することが好ましい。本種の保全のためには、南島や巽島、鰹鳥島など現在もミズナギドリ類が繁殖する島において早急にネズミ類を根絶し、営巣適地を拡大することが必要と考えられる。

引　用　文　献

Kawakami K, Eda M, Horikoshi K, Suzuki H, Chiba H, Hiraoka T (2012) Bryan's shearwaters have survived on the Bonin Islands, northwestern Pacific. Condor 114: 507–512

Pyle P, Welch AJ, Fleischer RC (2011) A new species of shearwater (*Puffinus*) recorded from Midway Atoll, Northwestern Hawaiian Islands. Condor 113: 518–527

DNA メタバーコーディングで探る絶滅危惧種の食物

安藤　温子（あんどう　はるこ、国立環境研究所生物生態系環境研究センター）

はじめに

外敵や種間競争の少ない環境で進化した海洋島の固有種は、人為撹乱に脆弱であり、その多くが絶滅の危機に瀕している。絶滅危惧種を効果的に保全するに当たり、生息地における食物利用の実態を明らかにすることは非常に重要である。しかし、ただでさえアクセスの悪い海洋島において、個体数の少ない絶滅危惧種の採食行動をつぶさに観察することは容易ではない。近年、観察困難な動物の食物を把握する方法として、糞の DNA メタバーコーディングが注目されている。ここでは分析の仕組みを解説するとともに、小笠原諸島を代表する絶滅危惧鳥類であるアカガシラカラスバト *Columba janthina nitens* の採食生態調査への活用事例を紹介したい。

DNA メタバーコーディングによる食性解析

種不明の生物について、特定領域の DNA 塩基配列を解読し、データベースと照合することで種、あるいは近縁な分類群を特定する方法は、DNA 塩基配列をバーコードのように使うことから、DNA バーコーディングと呼ばれている（Hebert and Gregory 2005）。糞や土、水といったサンプルを採取し、大量の DNA 塩基配列を高速に読み出せる次世代シーケンサーを用いて分析すると、サンプルに含まれるあらゆる生物に由来する DNA 塩基配列を網羅的に検出できる（図 –1）。これらの配列をまとめてデータベースと照合することで、サンプルに含まれる生物の構成を明らかにできる。このように、複数種の DNA 塩基配列を同時に取得・同定する手法は DNA メタバーコーディングと呼ばれ、生態学分野における様々な研究に活用されている（Pompanon *et al.* 2012、Valentini *et al.* 2009）。動物の糞から DNA を抽出し、DNA メタバーコーディングを行うことでその食物を特定する手法は、生物の体を傷つけない正確な食性解析手法として注目され、最近 10 年ほどの間に哺乳類や鳥類を中心とした様々な動物の食性解析に用いられている。

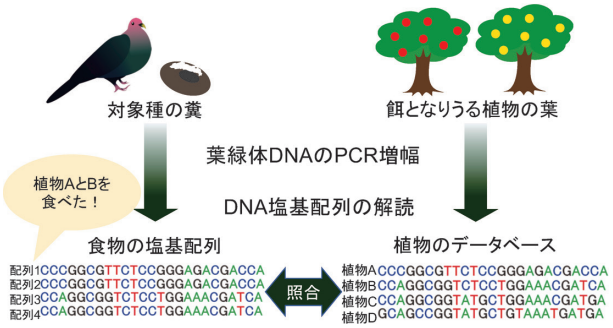


図 –1　植物性の餌を検出するための、DNA メタバーコーディングによる食性解析の流れ

アカガシラカラスバト

小笠原諸島の固有亜種であるアカガシラカラスバト（図 –2）は、小笠原群島と火山列島にかけて広く分布しているが、絶滅危惧種 IA 類及び国内希少野生動植物種に指定されている。外来捕食者などの影響で個体数を減少させたと考えられている。アカガシラカラスバトの食物については、これまで観察や糞の顕微鏡分析によって調べられており（柴崎・星 2006、高野ら 1995）、主に果実や種子を採食することが分かっていた。しかし、継続的な行動観察が困難であるうえ、糞に含まれる食物も砂嚢（消化器官の一種）で粉砕されて識別できない場合が多く、利用される植物の種類については断片的な情報に留まっていた。このため、糞の DNA メタバーコーディングを活用することで、アカガシラカラスバトの食物利

図 –2　樹上で休むアカガシラカラスバト

用をより詳しく評価することができると期待された。

植物データベースの作成

DNA メタバーコーディングによる食性解析を行う上でまず取り組むべきは、対象種の食物となりうる生物のデータベース作りである。DNA メタバーコーディングにおいて正確な結果を得るためには、サンプルから得られた配列を参照するデータベースが網羅的なものでなければならない。小笠原諸島では、配列情報のない固有種も多いことから、アカガシラカラスバトの主要な食物である種子植物を採取し、植物 DNA データベースを構築する必要があった。また、DNA バーコーディングに利用される配列長は短く、近縁種が同一の配列を持つ可能性もある。糞分析によって得られた配列がどの分類群レベルまで識別できるのかを明らかにするためには、データベースにおける分類群の識別率をあらかじめ把握しておくことが望ましい。

植物 DNA データベース構築のため、父島、母島において合計 222 種の種子植物の葉を採取し、糞分析に有効とされる葉緑体の特定領域（*trn*L P6loop 領域）（Tabarlet *et al.* 2007）の塩基配列を解読した（Ando *et al.* 2013）。その結果、126 種類の塩基配列が得られ、識別率は種レベルで 45%、属レベルで 89%、科レベルで 100% となった。2 種以上を含む科ごとの識別率は 14% -100% の範囲であり、特にクスノキ科やクワ科で識別率が低かった（Ando *et al.* 2013）。小笠原諸島内で近縁種が多く生育している科の場合、解読される断片長が 100 bp 程度であるため、種識が困難であると考えられた。これらの分類群においてより詳細な分析結果を得るためには、分類群内において十分な変異をもつ DNA 領域を別途用いて解析する必要があるだろう。アカガシラカラスバトの食性解析においては、その後クスノキ科とクワ科について葉緑体の特定領域（*trn*H-*psb*A 領域）の配列を用いた識別を行い、少なくとも在来種と外来種を区別することができた（Ando *et al.* 2016）。

検出された多様な食物

父島と母島で採取されたアカガシラカラスバトの糞 50 個それぞれについて、乾燥重量で約 20 mg から DNA を抽出し、次世代シーケンサーを用いて葉緑体の特定領域（*trn*L P6loop 領域）の塩基配列を解読した。なお、採取した糞がアカガシラカラスバトのものであることについても、DNA 分析から確認している。得られた配列を植物のデータベースと照合し、糞から検出された植物分類群を特定した。従来法と検出能を比較するため、DNA 抽出に用いたサンプルの残りは 0.5 mm メッシュの篩の上で洗浄し、実体顕微鏡で観察することで中に含まれる食物を特定した。その結果、DNA メタバーコーディングでは顕微鏡分析よりもはるかに多様な植物が検出された（図 –3）。クワ科、イネ科などは DNA メタバーコーディングでの検出率が特に高かった。これらの果実・種子はアカガシラカラスバトの砂嚢で粉砕されやすく、顕微鏡分析では識別されにくかった可能性がある。DNA メタバーコーディングによる糞分析は、目視観察で識別が難しい食物の特定に有効であると考えられた（Ando *et al.* 2013）。

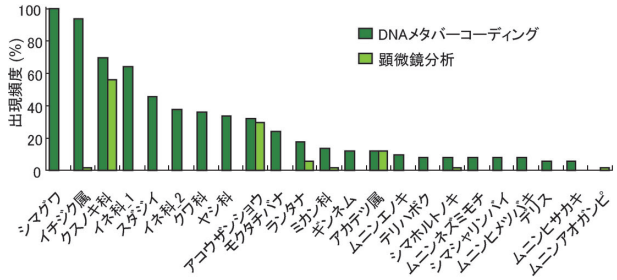
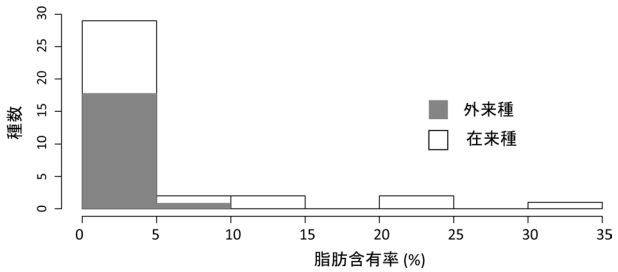


図 –3　アカガシラカラスバト糞から検出された食物の出現頻度

アカガシラカラスバトの食物利用の実態をより詳細に明らかにするため、父島と母島において毎月糞の採取を行い、DNA メタバーコーディングによる食性解析を行った。その結果、122 種類もの植物が検出され、食物構成の明確な季節変化と島間による違いが明らかになった（Ando *et al.* 2016）。糞から検出された各植物の出現頻度と、生息地の結実状況や果実の栄養成分とを比較したところ、アカガシラカラスバトは、脂肪含有量の多い植物を好むことが分かった。その一方で、島全体での結実量の少ない時期には、脂肪含有量に関わらず多様な植物を利用するなど、利用可能な食物資源に合わせて食物選択のパターンを変化させていた。餌となる植物の多様性が貧弱な海洋島の環境で生き残るためには、柔軟な採食戦略が特に必要だったのかもしれない。

外来植物は不可欠な食物資源か

DNA メタバーコーディングで特定されたアカガシラカラスバトの食物の中には、将来的な駆除対象となる外来植物も含まれていた。在来種の結実量が少ない時期に、外来種の利用頻度が高い傾向にあった。アカガシラカラスバトに利用された在来種と外来種の果実における脂肪含有率を比較すると、アカガシラカラスバトが好んで採食する在来種に比べ、外来種は低いことが明らかになった（図 –4）。従って、外来種の果実はアカガシラカラスバトにとり質の高い食物とはいえないと考えられた。しかし、例えば大量結実をする外来種のガジュマルなどは、



図–4　父島でアカガシラカラスバトに利用された在来種と外来種の果実の脂肪含有率

質の高い在来果実の不足を量的な面で補っている可能性がある。小笠原諸島では、外来植物の駆除を含めた自然再生事業が活発に行われている。もし、アカガシラカラスバトがその食物を外来種に強く依存しているならば、一方的な外来種駆除により食物資源の不足を招くかもしれない。一方、外来種駆除後も集団を維持するだけの食物資源が存在する場合は、その影響は少ないだろう。今後、外来植物の駆除がアカガシラカラスバトの生息環境にどのような影響を与えうるのか、慎重に調査する必要がある。

おわりに

DNA メタバーコーディングを用いた食性解析は、定量的評価の正確性（Deagle *et al.* 2018）や食物以外の生物の検出（Ando *et al.* 2018）など、慎重に検討すべき技術的な課題が存在するものの、今後、生物の被食・捕食関係を評価する上で重要なツールとなっていくだろう。この手法を扱った研究論文数が増加の一途をたどっていることからも、生物の体を傷つけない正確な食性解析手法として、幅広い分野で受け入れられていることが伺える。

今回は、DNA メタバーコーディングを用いたアカガシラカラスバトの採食生態調査について紹介したが、一連の研究で用いた実験手法や、独自に作成した植物の塩基配列データベースは、小笠原諸島に生息する他の動物の食性解析にも活用することができる。今回の事例が、アカガシラカラスバトの保全はもちろんのこと、小笠原諸島における在来種・外来種を含む被食・捕食関係の詳細な解明と、それを考慮した効果的な生態系保全に対して、何らかの役に立てば幸いである。

引　用　文　献

Ando H, Fujii C, Kawanabe M, Ao Y, Inoue T, Takenaka A (2018) Evaluation of plant contamination in metabarcoding diet analysis of a herbivore. Sci Rep 8: 15563

Ando H, Setsuko S, Horikoshi K, Suzuki, H, Umehara S, Inoue-Murayama M, Isagi Y (2013) Diet analysis by next-generation sequencing indicates the frequent consumption of introduced plants by the critically endangered Red-headed Wood Pigeon (*Columba janthina nitens*) in oceanic island habitats. Ecol Evol 3: 4057–4069

Ando H, Setsuko S, Horikoshi K, Suzuki H, Umehara S, Yamasaki M, Hanya G, Inoue-Murayama M, Isagi Y (2016) Seasonal and inter-island variation in the foraging strategy of the critically endangered Red-headed Wood Pigeon *Columba janthina nitens* in disturbed island habitats derived from high-throughput sequencing. Ibis 158: 291–304

Deagle BE, Thomas AC, McInnes JC, Clarke LJ, Vesterinen EJ, Clare EL, Kartzinel TR, Eveson JP (2018) Counting with DNA in metabarcoding studies: How should we convert sequence reads to dietary data? Mol Ecol 2018: 1–16

Hebert PD, Gregory TR (2005) The promise of DNA barcoding for taxonomy. Syst Biol 54: 852–859

Pompanon F, Deagle BE, Symondson WO, Brown DS, Jarman SN, Taberlet P (2012) Who is eating what: Diet assessment using next generation sequencing. Mol Ecol 21: 1931–1950

柴崎文子・星　善男（2006）アカガシラカラスバトは種子散布者？. Strix 24: 171–176

Taberlet P, Coissac E, Pompanon F, Gielly L, Miquel C, Valentini A, Vermat T, Corthier G, Brochmann C, Willerslev E (2007) Power and limitations of the chloroplast *trn*L (UAA) intron for plant DNA barcoding. Nucleic Acids Res 35: e14

高野　肇・大津佳代・関伸一・佐藤美香・豊田武司（1995）アカガシラカラスバトの生態と保護. 第 47 回日本森林学会関東支部大会発表論文集. 67-70

Valentini A, Pompanon F, Taberlet P (2009) DNA barcoding for ecologists. Trends Ecol Evol 24: 110–117

オガサワラオオコウモリの行動と進化

杉田　典正（すぎた　のりまさ、国立科学博物館植物研究部）

はじめに

小笠原諸島のような大陸から遠く離れた位置にある海洋島では、陸棲哺乳類は生息しない。長距離海を渡ることができないからである。唯一、海洋島に進出できた哺乳類がいる。飛翔能力のあるコウモリ類である。例えば、日本本土から約 1,000 km 離れた小笠原諸島には絶滅種を含めて 2 種のコウモリが生息した。より遠くのマリアナ諸島やハワイにもコウモリは生息する。これらの島は人が定着するまではネズミさえも生息しなかった。

コウモリの中でもオオコウモリ（*Pteropus*）は、西太平洋やインド洋の島々に広く進出した。オオコウモリは、東南アジアあたりで適応放散したコウモリだが、大型で飛行能力が高く、大陸から遠く離れた島に到達することができた。果実などを食べる植物食のコウモリであり、仔犬やタヌキのような可愛らしい顔をしている。オオコウモリは、海洋島生態系における数少ない大型の種子散布者と指摘されている（McConkey and Drake 2006）。西太平洋の海洋島生態系を理解するために重要な生物である。

オガサワラオオコウモリ（写真 –1）は小笠原群島と硫黄列島に生息する。オオコウモリが小笠原諸島にいつ到達したのかわかっていないが、小笠原に定着してからフィリピンや琉球列島のオオコウモリとの共通祖先から種分化するほどの時間が経過したのだろう。小笠原諸島は、オオコウモリ類の生息地の中でも最も北に位置する島のひとつである。ここでは、小笠原の海洋島生態系に適応し、独特の生態と行動を見せるオガサワラオオコウモリについて解説する。

写真 –1　日没時間を過ぎてしばらくすると父島の空にオガサワラオオコウモリが飛び始める。

冬に交尾、夏に子育てする

コウモリ類は生涯の大部分をねぐらで過ごすため、コウモリの生活史を考える上でねぐらは大切な場所である。コウモリは形態的、生態的、行動的にねぐらに適応している（Kunz 1982）。ほとんどのオオコウモリは樹上にねぐらをつくり、種によって単独のねぐらから数万頭を超える巨大なねぐらをつくる。季節や地域の餌資源の変化によってもねぐらの位置や様子は変化する。

オガサワラオオコウモリも樹上にねぐらをつくる。2002 年の時点で、冬に父島のある狭い地域に約 100 頭が集まるねぐら（集団ねぐら）を形成することがわかっていた。夏になるとすべてではないものの、コウモリは集団ねぐらから姿を消してしまう。なぜ冬に集団ねぐらをつくるのか、夏はどこで寝ているのかわかっていなかった。

オガサワラオオコウモリのねぐらの季節変化を明らかにするために、様々な手法を組み合わせて（捕獲調査、ラジオトラッキング、行動観察）ねぐらの動態が調べられた（Sugita *et al.* 2009）。すると、冬季に父島個体群の大部分だと思われる約 150-200 頭が集団ねぐらに集まった。オガサワラオオコウモリは秋頃から集合し始め 12 月後半頃にそのシーズンのねぐら場所を決定するようだ。集団ねぐらの個体数は 1 月から 4 月までがピークであり、4 月後半以降急激に数を減らした。集団ねぐらでは交尾が頻繁に観察された。捕獲調査では夏に幼獣が出現することがわかった。オガサワラオオコウモリの妊娠期間は不明だが、他のオオコウモリ類の妊娠期間 4-5 ヶ月を考慮すると、冬の間に起きた交尾で妊娠しているようだ。

夏に集団ねぐらから姿を消したオオコウモリはどこで寝ているのだろうか。オオコウモリに装着した発信器の電波が追跡された。父島は地形が急峻ですべてのねぐらは見つけられなかったが、オス 1 頭とメス 2 頭の夏のねぐらが見つかった。オスは性成熟したオスで、単独で寝ていた。追跡した数ヶ月の間、ほぼ毎日同じ木をねぐらに使用していた。メスの 2 頭の内、成獣の 1 頭はヤシにツル植物が絡みついた暗いテント状の空間内にいた。このメスは腹に授乳中の子供を抱いていた。もう一方のメスも、ヤシの葉が密集し見つけにくい場所をねぐらにしていた。オガサワラオオコウモリの冬の集団ねぐ

写真 –2　コウモリだんご、互いに密着してだんご状に丸くなって寝る。オガサワラオオコウモリ特有の行動である。

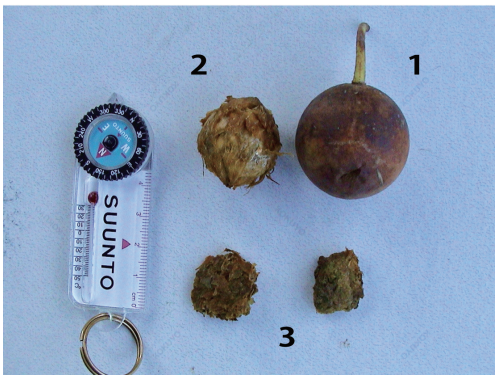


写真 –3　オガサワワラオオコウモリのテリハボクの食痕。1. テリハボクの果実。2. オオコウモリが果肉を食べて落とした種子。3. ペリット。果汁だけ飲み込んで繊維など硬い部分は捨てる。

らは配偶場所であり、夏は分散してメスは子供を育てている。

小笠原の寒い冬を協力して乗り切る

小笠原諸島はオオコウモリ類の生息地の中でも北限のひとつに位置する。哺乳類など体温を 37℃付近で維持する内温動物は、体表から流出する熱を補うために体内で熱を生産し続ける。寒冷地の冬のように気温と体温の温度差が大きいと、体表から流出する熱量はより多くなる。コウモリなど小型で表面積が大きい動物は、同じ体重の哺乳類より熱流出の量が多い。小型のコウモリ類は体温を自発的に調節してエネルギー消費を抑えるが、オオコウモリ類は一般に低い気温でも体温を一定に保つ。

冬の父島の気温は平均約 17℃であり、10℃以下に達することもある。オオコウモリにとっては寒い環境なのかもしれない。オガサワラオオコウモリは、集団ねぐらでコウモリだんごと呼ばれる互いに密着してだんご状に丸くなって寝る（写真 –2）。この行動は、他のオオコウモリ類では決して見られない。行動観察によると、気温が上がるとコウモリだんごに参加する個体は減少した（Sugita and Ueda 2013）。コウモリだんごは外気に曝される面積を減らして熱流出量を少なくする社会的体温調節だと考えられる。

コウモリだんごを使った配偶者防衛

ねぐらに集まるオオコウモリは高い社会性を発達させている。オオコウモリのねぐらの社会性は、配偶行動に関する個体間の相互作用が典型的である。多くのオオコウモリ類は、他の哺乳類と同様に一夫多妻の配偶システムをもつ。例えば、トンガオオコウモリのオスはねぐらの枝になわばりをつくり、なわばり内にやってきたメスと交尾する（Grant and Banack 1999）。

コウモリだんごが形成されるオガサワラオオコウモリのねぐらは、だんごが形成されない他のオオコウモリ類のねぐらと明確に異なる社会が発達した。コウモリだんごという北限域での適応形質は、本種の社会にどのような影響を与えたのだろうか。長期間の行動観察によりコウモリだんごには「オスのだんご」と「メスのだんご」があることが分かった（Sugita *et al.* 2009）。集団ねぐらの構造は複雑で、ねぐらの中心付近にいくつかのメスのだんごが比較的密集した間隔で配置され、オスのだんごはその周辺部にルーズな距離間隔で配置されていた。もしオスとメスが完全に分離していたら交尾は起こらないはずだ。驚いたことに、メスのだんごの一部には大人のオスが 1 頭混ざっていた。メスのだんごに混ざるオスは、集団ねぐらに 4 – 5 頭含まれ、他のオスが近づくと音声を発して追い払った。メスのだんごに混ざるオスが、メスとの交尾を独占していた。オガサワラオオコウモリの新奇な配偶システムは、社会的体温調節のために密集するメスのだんごをオスが配偶者防衛のために利用することで進化したのだろう（Sugita and Ueda 2013）。

もうひとつオガサワラオオコウモリの不思議な行動がある。ねぐらの周辺部にいるオスは、他個体のオスの勃起したペニスをなめる（Sugita 2016）。この行動の適応的意義はまだ不明である。オガサワラオオコウモリのオスは潜在的に他のオスと配偶の競争相手であるが、冬季の低気温はオスに社会的体温調節という協力行動を強いている。もしかしたら相反する要求を解決する手段なのかも知れない。

小笠原在来の大型種子はだれが運ぶ？

オオコウモリ類は植物食性であり、特に果実や花蜜などが好きなので種子散布・花粉媒介者として生態系での役割が指摘されている。大陸のオオコウモリ類ではスペ

シャリスト的な食性をもつものもいるが、海洋島など島に生息するオオコウモリは一般にジェネラリスト的食性である。島は餌資源が不安定なので様々な植物の様々な部位を食べられることが生存に有利なのだろう。オガサワラオオコウモリも多くの植物を食べる。在来植物の他に外来植・栽培植物含む少なくとも 19 科 56 種の植物を食べることが報告されている（Inaba *et al.* 2005）。この習性は果樹農園などとの軋轢を生む。

大陸に比べて海洋島は哺乳類や鳥類といった大型脊椎動物の種数が少ない。西太平洋の海洋島ではオオコウモリとハトだけが大型の種子を散布できる動物である。多くの島でハトは絶滅か絶滅に瀕しており、オオコウモリが数少ない大型種子散布者として生き残っている場合、相対的に生態系でのオオコウモリの役割が増す（McConkey and Drake 2006）。小笠原諸島でもオガサワラカラスバトは絶滅し、アカガシラカラスバトの個体数は少ない。小笠原の在来植物では、タコノキやムニンノキが 2 cm 以上の種子の大きさがあり、オオコウモリだけが長距離散布できる状況かもしれない。

オオコウモリは、果実や葉をもぐもぐ咀嚼して汁だけ飲み込む食べ方をする（写真 –3）。繊維など硬い部分は口から捨てる。飲み込めるほど果実が柔らかく、数ミリ大の種子でない限り消化管を通って種子散布はされない。それではどうやってオオコウモリは大型の種子を散布するのだろうか。トンガのオオコウモリの研究では、オオコウモリの個体数密度が低いほど大型種子の散布効率が下がった。オオコウモリは餌の独占のために果実を巡りけんかする。安全な場所で餌を食べるために果実を咥えて飛び去る。結果として大型種子も母樹から離れた場所に散布される（McConkey and Drake 2006）。

オガサワラオオコウモリでも複数個体が存在する餌場で果実を持ち去る個体が観察されるが、頻度は少ないようである（杉田 未発表）。もしかすると他の西太平洋の島々と同様に小笠原諸島でもオオコウモリによる種子散布効率が下がっているのかもしれない。オガサワラオオコウモリの食性は、ジェネラリスト的特徴があった。もし、オガサワラオオコウモリの食性が在来植物から外来・栽培植物にシフトしているのならば、在来植物の個体群動態や生態系の植生遷移にも影響をあたえるだろう。小笠原群島ではクマネズミが未成熟のタコノキ果実から種子を抜き出して食べてしまう問題もある。オオコウモリは熟したタコノキ果実を食べるので、クマネズミはオオコウモリの餌資源を減らし、よりオオコウモリの食性の変化に影響を与えている可能性もある（上田ら 2013）。

おわりに

世界遺産の小笠原諸島は、行政、研究機関、住民により自然再生事業が進められている。自然再生事業は「小笠原諸島の価値を正しく理解し（中略）自然環境を健全な状態で後世に引き継いでいく」ことを理念としている（環境省 2018）。オガサワラオオコウモリは、小笠原諸島の長い歴史とともに、北限生息域の環境に適応して現在まで生き残ってきた。今後、自然再生で目指すべき本来の小笠原の海洋島生態系を知るためにも、オオコウモリの生態へのアプローチが必要になるだろう。オオコウモリと植物の相互作用を紐解くことは、小笠原の海洋島生態系の理解と保全への貢献が期待できる。

引　用　文　献

Grant GS, Banack SA (1999) Harem structure and reproductive behaviour of *Pteropus tonganus* in American Samoa. Aust Mammal 21: 111–120

Inaba M, Odamaki M, Fujii A et al. (2005) Food habits of Bonin flying foxes, *Pteropus pselaphon*, Layard 1829 on the Ogasawara (Bonin) Islands, Japan. Ogasawara Res 30: 15–23

環境省・林野庁・文化庁・東京都・小笠原村（2018）世界自然遺産小笠原諸島管理計画. http://ogasawara-info.jp/pdf/isan/kanrikeikaku_nihongo1803.pdf（2019 年 9 月 7 日確認）

Kunz TH (1982) Roosting ecology of bats. In: Ecology of Bats. Kunz TH (ed) Plenum Publishing,1–55

McConkey KR and Drake DR (2006) Flying foxes cease to function as seed dispersers long before they become rare. Ecology 87: 271–276

Sugita N (2016) Homosexual fellatio: Erect penis licking between male Bonin flying foxes *Pteropus pselaphon.* PLoS ONE 11: e0166024

Sugita N, Inaba M, Ueda K (2009) Roosting pattern and reproductive cycle of Bonin flying foxes (*Pteropus pselaphon*). J Mamml 90: 195–202

Sugita N and Ueda K (2013) The role of temperature on clustering behavior and mating opportunity in Bonin flying foxes. Mammal Biol 78: 455–460

上田恵介・杉田典正・栄村奈緒子・鈴木　創（2013）オガサワラオオコウモリの生息状況と海洋島生態系での役割の解明.（プロ・ナトゥーラ・ファンド助成第 21 期助成成果報告書. 日本自然保護基金）. 53–64

小笠原の土壌動物

長谷川　元洋（はせがわ　もとひろ、同志社大学理工学部）

土壌動物の多くは、地上性の昆虫などと異なり、羽を持たないので、海や大きな川、山脈などにより、その移動が制限されやすい。小笠原諸島は、本州から 1,000 km 離れた太平洋上にある、大陸と接した歴史のない海洋島であることから、日本国内でも独特の土壌動物相を持つ地域として注目されてきた（Aoki and Harada 1978、島野ら 2018）。本稿では、そうした、小笠原の土壌動物相の特徴を紹介した上で、近年の侵略的外来種による土壌動物への影響について述べたい。

小笠原の特徴的な土壌動物

小笠原諸島は本州、沖縄とは異なる生物相を示すとともに、土壌動物を含む数多くの固有種が生息することで知られている。例えば、等脚類（ダンゴムシ、ワラジムシの仲間）、カニムシ等で小笠原のみで発見されている種がいくつか知られている（布村 1991）。等脚類の一種であるオガサワラフナムシ（*Ligia boninensis*）は、本州等の海岸で見かけるフナムシの仲間だが、海から遠く離れた森林内を住み場所とする。カニムシ類は一般に土壌性のものがほとんどだが、小笠原に住むテナガカニムシ（*Metagoniochernes tomiyamai*）はヤシなどの樹上の葉の隙間を住み場所とし、非常に長いはさみをもつ世界最大のカニムシとされる（Sato 1991）。サワダムシ（*Trithyreus sawadai*）（写真 –1）はクモガタ類の中のヤイトムシ目の 1 種で雄には奇妙な形の尾状突起がある。脚は 8 本で体はクモとダニとザトウムシを合体させたような不思議な形をしている。和名は沢田秀三郎氏に由来する（青木 1979）。また、小笠原諸島は陸産貝類の固有種が豊富であり、約 100 種のうち 9 割が固有種であるとされる。

体の幅が 2 mm 以下の土壌動物は中型土壌動物と呼ばれ、ツルグレン装置（写真 –2）という落葉や土壌を乾燥させて土壌動物を抽出する装置を用いて採集される（写真 –3）。

中型土壌動物を代表する動物として、トビムシ目とササラダニ類があげられる。トビムシ目においては、Hasegawa ら（2009）が、コガタドウナガツチトビムシ（*Folsomides parvulus*）、ウスズミトビムシ（*Ceratophysella denticulata*）、メナシツチトビムシ属の 1 種（*Isotomiella* sp.）、オオシロトビムシ属の 1

写真 –1　サワダムシ

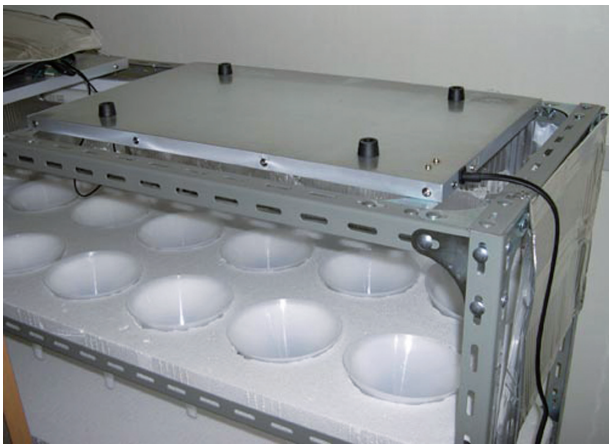


写真 –2　小笠原父島に設置したツルグレン装置

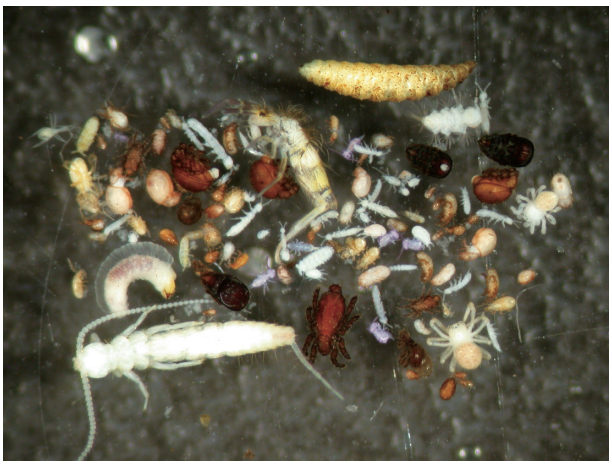


写真 –3　小笠原父島の土壌 100 ml から抽出した中型土壌動物

写真 –4　トゲウロコニシキトビムシ

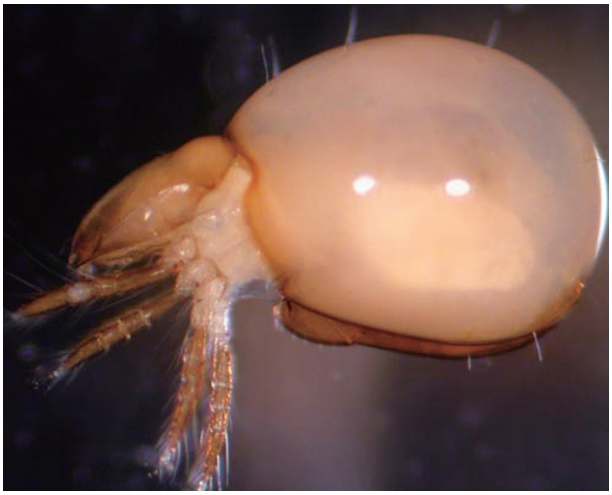


写真 –5　チチジマイレコダニ

種（*Protaphorura* sp.）、ケシトビムシ（*Megalothorax minimus*）、トゲウロコニシキトビムシ（*Heteromurus tenuicornis*）を父島で採集したと報告している。このうち、トゲウロコニシキトビムシ（写真 –4）は、東南アジア、ミクロネシア、メラネシアでの分布が知られているが、日本国内は小笠原父島のみで採集の報告がある。

ササラダニでは、チチジマイレコダニ（*Oribotritia chichijimensis*、写真 –5）ドテラダニ（*Eremaeozetes octomaculatus*）、オガサワライブシダニ（*Austrocarabodes boninensis*）、カルベイブシダニ（*Diplobodes karubei*）、オオマルシダレコソデダニ（*Triaungius rotundus*）など、小笠原諸島からいくつかの新種が発見されている。

青木（2001）は、小笠原諸島のササラダニのリストを作成し、小笠原諸島全体から 40 科 79 種を記録している。このうち、種名がこの時点で確定した種が 51 種であった。沖縄、八重山諸島からは 113 種が発見され、小笠原諸島との共通種が 35 種、小笠原諸島にのみ生息する種は 16 種であった。青木（2001）は、小笠原諸島における種組成の貧弱さは、沖縄、八重山諸島が大陸島であるのに対し、小笠原諸島が完全な海洋島であることと、島の面積が小さいこと等によると推察している。さらに、沖縄、八重山諸島でみられ、小笠原諸島に見られない 15 科のササラダニは風や海流による遠距離の分散移動に耐えられないグループである一方、小笠原諸島のみで見られる種は、ミクロネシア系統の種で、南方から流木などに乗って移動してきたと推定している。また、小笠原諸島には、イブシダニ科の種（写真 –6）が種数、個体数ともに豊富であるのが特徴的であるとしている。イブシダニ科の種は比較的硬い外皮を持つのが特徴である。

写真 –6　イブシダニ科の種

侵略的外来種との関係

小笠原諸島父島において、侵略的外来種であるニューギニアヤリガタリクウズムシ（*Platydemus Manokwari*,

以下、ウズムシ）による捕食が主要因となり、固有の陸産貝類が減少していると報告されている（Sugiura *et al.* 2006）。Hasegawa ら（2009）が、貝類が絶滅した場所としていない場所で貝類以外の土壌動物群集を比較したところ、ほとんどの土壌動物はウズムシの捕食の影響は受けていないと考えられた。しかし、貝類を専食する、カタキバゴミムシの仲間の固有の未記載種（*Badister* sp.）が、貝類が存在している調査地のみで、わずかな個体数ながら発見された。従って、貝類の絶滅を端緒とする連鎖的な食物網の崩壊が懸念される。

土壌動物の代表選手といえばミミズであろう。しかし、海洋島である小笠原諸島にはミミズの天然での侵入は難しいと考えられており、現在小笠原で知られているミミズは全て移入種であるといわれている（Nakamura 1994）。そのミミズだが、小笠原の森林において極めて

普通に見られる。Nakamura（1994）は、小笠原諸島の 39 カ所の調査地から合計 10 種のミミズを報告した。最近では、現在無人島の西島から、熱帯性のフィリピンミミズ（*Pithemera bicincta*）がみつかっている（Ito *et al.* 2019）。Hasegawa ら（2009）の父島の調査によれば、ミミズのバイオマスは 8.1 ～ 15.2 g m^{-2} にも上り、本州の森林と同等あるいはそれ以上の個体数をもつことになる。ウズムシはミミズの死体も餌としている（Ohbayashi *et al.* 2005）ので、ミミズの個体数が十分であれば、貝類が絶滅しても生存を続けることになり、貝類の保護、再導入をはかる際には注意が必要となるだろう。また、Hasegawa ら（2009）の調査では、移入種とされるミミズのうち、最も優占する種は、ナンベイミミズ科の *Pontoscolex corethrurus* という種類であり、全体の個体数の 80％を占めた。この種は、熱帯、亜熱帯を中心に様々な環境に侵入する種として認識されており、環境や生物相への影響が懸念されている（Taheri *et al.* 2018）。

Aoki and Harada（1978）は、等脚類や端脚類の個体数が非常に豊富であることを報告しており、父島の 11 箇所の森林の平均で 1,153 個体 m^{-2} であった。青木（1979）は、ハンドソーティングによる調査時に、等脚類や端脚類のあまりの個体数の多さに採集が困難になるほどであったと、その当時の様子を記述している。小林ら（1970）のピットフォールによる調査でも、等脚類の個体数が非常に多いことが報告されていることから、1970 年代頃の小笠原の土壌動物は等脚類、端脚類が優占する群集であったと考えられる。しかし、Hasegawa ら（2009）の調査において、等脚類の平均個体数密度は、2.7 ～ 22 個体 m^{-2} であった。その少し前の石澤・竹原（2001）の調査でも 11.4 個体 m^{-2} と、桁違いに少ない個体数となっている。その理由として、台風や松枯れによる森林林床の乾燥やオオヒキガエルの捕食などがあげられていたものの、はっきりした理由は不明のままであった。しかし、Shinobe ら（2017）は、母島の複数の地点で外来陸生ヒモムシ（*Geonemertes pelaensis*）の侵入の有無と土壌動物の個体数の関係を調査し、外来陸生ヒモムシが侵入した地点では、等脚類や端脚類の個体数が大きく減少していることを示した。また、飼育実験下で、等脚類の体内が吸い取られるように捕食される様子を観察している。これにより、これまで謎とされていた、等脚類の減少もまた、侵略性外来種による捕食が原因と推察されたことになる。

小笠原のような小さな島では、移入種を含めた生物間、あるいは生物と生態系との相互作用が急速に進行する事が知られている。これまで、小笠原諸島でも、地上部のみならず、地下部の生物においても、大きな攪乱が生じていることが明らかになりつつある。土壌の生物は、小さい物も多く、観察も難しいため、攪乱などが起こってもなかなか検知することが難しい。しかし、今後の小笠原諸島の生物多様性保全のためには、地上の生物に加えて、土壌動物の生態系の変化から受ける影響、あるいは生態系に与える影響を明らかにしていく必要があるだろう。

引　用　文　献

青木淳一（1979）小笠原の土壌動物．動物と自然 9：28-32

青木淳一（2001）小笠原諸島のササラダニ類目録．神奈川県立博物館研究報告（自然科学）30: 33-38

Aoki J, Harada H (1978) Investigations on soil fauna of the Bonin Islands. I. Soil arthropod communities. Memoirs of the National Science Museum 11: 91-106

Hasegawa M, Sugiura S, Ito M T, Yamaki A, Hamaguchi K, Kishimoto T, Okochi I (2009) Community structures of soil animals and survival of land snails on an island of the Ogasawara Archipelago. Pesquisa Agropecuária Brasileira 44: 896-903

Ito M T, Satoh S, Hasegawa M, Kawakami K, Minamiya Y（2019）New record of worldwide exotic earthworm species, *Pithemera bicincta* (Perrier, 1875) (Annelida: Clitellata: Megascolecidae) from Japan. Biogeography (accepted)

石澤夢紫・竹原明秀（2001）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．国立環境研究所研究報告 158: 117-120

小林四郎・西平守孝・矢島孝昭・加藤陸奥雄（1970）ベイト・トラップによって調査された小笠原諸島の節足動物相．（小笠原の自然：小笠原諸島の学術・天然記念物調査報告書　文部省大学学術局 文化庁文化財保護部）．33-44

Nakmura M（1994）Earthworms（Annelida: Oligochaeta）of Ogasawara Archipelagoes. Chuo Daigaku ronshu 15: 21-32

布村　昇（1991）小笠原諸島のワラジムシ相．（第 2 次小笠原諸島自然環境現況調査報告書．東京都立大学小笠原研究委員会編、東京都立大学）．227-230

Ohbayashi T, Okochil, Sato H, Ono T (2005) Food habit of *Platydemus manokwari* De Beauchamp,

1962 (Tricladida: Terricola: Rhynchodemidae), known as a predatory flatworm of land snails in the Ogasawara (Bonin) Islands, Japan. Applied Entomology and Zoology 40: 609-614

Sato H (1991) *Metagoniochernes tomiyamai*, a new pseudoscorpion (Chernetidae) from the Ogasawara Islands, Japan. 日本生物地理学会会報 46: 97-101

島野智之・蛭田眞平・富川　光・布村　昇・寺山　守・平野幸彦・馬場友希・西川　勝・鶴崎展巨・佐藤英文（2018）小笠原諸島の土壌動物相の研究（2015年調査）. 小笠原研究年報 41: 137-144

Shinobe S, Uchida S, Mori H, Okochi I, Chiba S (2017) Declining soil Crustacea in a World Heritage Site caused by land nemertean. Sci Rep 7: 12400

Sugiura S, Okochi I, Tamada H (2006) High predation pressure by an introduced flatworm on land snails on the oceanic Ogasawara Islands. Biotropica 38: 700-703

Taheri S, Pelosi C, Dupont L. (2018) Harmful or useful? A case study of the exotic peregrine earthworm morphospecies *Pontoscolex corethrurus*. Soil Biology and Biochemistry 116: 277-289

小笠原の固有昆虫の危機

―急がれる域内保全と域外保全―

苅部　治紀（かるべ　はるき、神奈川県立生命の星・地球博物館）

はじめに

小笠原諸島は多くの固有動植物が生息し、陸産貝類、植物、昆虫など、多様な分類群で進化の過程が見られることでも重要な地域となっている。固有昆虫は、これまでに 400 種近くが記録されているが、現在でも毎年のように新種が記載され、さらに未だに多くの未記載種が知られていることから、今後、分類学的研究が進展していけば、固有種は 500 種近くに達するものと考えられる。この貴重な遺産を守るため、絶滅に瀕する固有昆虫類で実施されてきた域内保全策と域外保全策の事例を紹介する。

昆虫減少のはじまり

小笠原の固有昆虫は、大規模な開拓によって開発が進行した第二次世界大戦以前の時代には、記録に残るような減少はほとんど知られていない（唯一オガサワラゴマダラカミキリは 1915 年の産地不詳の標本が残されているだけで、その後の記録がない。開拓によって減少した固有樹種などを食樹にしていた可能性が考えられる）。

第二次大戦後の 1945 年から 1968 年までのアメリカ統治時代の昆虫の記録はほとんどなく、実態は不明である。しかし、1968 年の日本返還後の調査では、村落周辺でも多くの昆虫が記録されていることから、この時期に固有昆虫の大きな減少は生じていなかったものと考えられる。

返還後の小笠原は、島民の帰還に合わせて道路の整備や市街地の拡大などは進められ、開発による影響はあったものの、それは局所的なものであったと推察される。

小笠原における固有昆虫の激減が初めて認識されたのは、1980 年代になってからであった。それまで、父島でも普通に確認されたというオガサワラシジミ（チョウ）やシマアカネ（トンボ）などの目立つ固有種が父島北部から急速に姿を消していった。

筆者は、トンボ類の研究を主としており、小笠原への初訪問は 1989 年の大学 4 年生の 5 月であった。当時は、まだ固有昆虫の減少は研究者の間でも認識されておらず、最初に訪れた父島で沢山いると聞いていた固有トンボも、オガサワラシジミも全く見ることができず、何が起こっているのか理解できなかった。この時は母島に行くとこれら固有種は普通に見られ、緯度の差異によって発生がずれていることを考えた。同年 9 月に上記疑問を解決しようと再訪したが、やはり父島では固有昆虫を見ることができなかった。こうなると、緯度による発生時期のズレでは説明できない。ここから、筆者の小笠原詣が始まった。

グリーンアノールが犯人だった！

まず、長年無人島となっており、人為の影響が少ないはずの隣接する属島群を調査に訪れた。たとえば、わずか数百 m の瀬戸を挟んで父島の目の前に位置する兄島やその北方の弟島には、固有トンボ、固有甲虫など父島で失われた固有昆虫は多産していることを確認した。また、ノヤギの食害で植生が壊滅的な打撃を受けていた聟島ですら、シマアカネや父島で姿を消した固有甲虫類は現存していた。さらに、父島、母島での減少は昼行性昆虫にほぼ限定され、夜行性昆虫には影響が見られないこと、中小型の昆虫は減少しているが、大型の昆虫は残存しているものが多いことなどが明らかになっていった。

これらの実態把握をする中で、それまで固有昆虫の減少の仮説として挙げられていた、農薬散布や大型台風の影響などでは合理的な説明がつかないこと、減少は父島と母島に限定されることが判明し、結果として今も我々を悩ませる外来トカゲであるグリーンアノール（写真–1）の捕食圧が固有昆虫激減の主要因であろうことが明らかになった（苅部・須田 2004）。

このような固有昆虫の危機的状況が明らかになってきたことから、まずはその時点で危急度の高い希少種の残存産地の域内保全が急務と考えられ、トンボ類、チョウ類について着手した。

固有トンボ類の域内保全

小笠原からは 5 種の固有トンボ類が知られている。このうちハナダカトンボは流水性で、シマアカネは源流域の湧水がヒタヒタとゆるやかに流れるような箇所を好

写真 –1　オガサワラゼミを捕食するグリーンアノール

む。その他の 3 種は緩やかな流れや渕にも生息するが、止水性の種である。筆者が本格的な調査を開始した 1990 年代後半までは、各島々での分布実態も情報がほとんどなかったため、基礎的な分布状況の把握から手を付けていった。その結果、2000 年代初頭に父島ではすべての固有トンボがほぼみられなくなっており、母島では 2000 年代に入って激減し、残存するのはハナダカトンボとわずかなシマアカネのみであることが明らかになった。この時点でもっとも分布が局限していたのはオガサワラアオイトトンボ（写真 –2）で、現存は弟島のみとなっていた。オガサワラトンボも確認できたのは弟島、兄島のみ。これらは止水性が強い種で地形的に池沼がほとんどない小笠原では、地域絶滅した父島・母島両島を主要生息地としていた。属島 2 島に残存しているとはいえ、これらの島々でも彼らの生息可能な止水域はごくわずかであることから、このまま放置すれば種の絶滅が迫っていることを強く認識した（苅部 2004）。

そこで、生息地に人工トンボ池（80 － 100 リットル程度のプラスチック容器）を設置して、人為的な発生地になるかどうかを検証した（写真 –2）。小笠原の固有トンボ類は、開放的な環境を好むものは存在せず、森林の内部を流れる小河川や湿地、池沼など、やや薄暗い環境下で、そこに太陽光が差し込むサン・スポットを繁殖場として利用することが明らかになっていた。そこでそうした環境に、蒸散を抑止するために容器の半分程度を埋設する形で、土壌と産卵基質となる枯れ枝を投入して 2004 年に試験設置した。

その結果、夏期の酷暑乾燥時にも、人工トンボ池の水位はほとんど変化なく、容器を設置すれば水域として機能させられることが明らかになった。また、固有トンボ類の生活環も明らかになっていなかったが、容器設置後 3 か月程度で終齢幼虫が確認できたことから、産卵から数か月で終齢幼虫になること＝年数回の発生が可能であること、も明らかにできた。人工池で発生するのは、オガサワラアオイトトンボ、オガサワライトトンボ、オガ

写真 –2　人工池に飛来したオガサワラアオイトトンボ（左）と人工トンボ池（右）

サワラトンボの 3 種で、これも想定通りであった。この時点で、もっとも危機的な種であったオガサワラアオイトトンボ、オガサワラトンボの発生状況を安定させる手段が手に入ったことになる。

たまたまこの試験年に大規模干ばつが小笠原を襲った。自然水域のほとんどが消失してしまい、人工池がもっとも安定した生息地となった時期があり、その有効性は明らかであった。この結果を受けて、「地球温暖化で干ばつは頻発していく」という当時の予測もあったことから、さらなる深刻な干ばつに備えて弟島、兄島に人工池の設置を展開していった。年一回以上は容器に落ち込むリターを除去することなど、環境メンテナンスも重要である。容器のテストも繰り返したが、浅い容器より深い容器の方が発生が安定すること、400 リットルまでの大型容器も試験したが、発生密度は大きな容器でも上昇せず、メンテナンスの容易さを考えると、100 リットル容器が運搬･設置も容易で好適であることがわかった。この後、増設を繰り返し、両島で約 10 トンの安定水域を創出できた。この結果、保全対象種のオガサワラアオイトトンボ、オガサワラトンボは個体数が増加し、安定発生するようになり、状況を改善できた。当面の絶滅の危機を脱することができ、とくに、ごく稀に確認されるだけであった兄島のオガサワラトンボは激増し、島の調査中に頻繁に見かける種になるとともに、絶滅したはずの父島での記録も出るほどになった（Karube 2010）。この人工トンボ池プロジェクトは環境省事業に引き継がれ、規模の大きい人工池の設置も行われている。

また、西島に設置した池では、流水が存在する時にだけ確認できていたオガサワライトトンボの保全をターゲットに池の設置を行ったが、未記録だったオガサワラトンボが定着した。これは隣接する兄島からの飛来定着と考えられ、固有トンボが短距離であっても海洋を渡る初めての証拠ともなった。

また、人工トンボ池を設置する中で、比較のためモクマオウなどの外来樹林に設置した池では、これまで固有トンボ類の発生が見られたことがないことも重要な知見で、これは外来樹が大量のリターを容器内に堆積させることにより、水質を悪化させることか、リターに幼虫の

生息阻害をする物質が含まれていることが要因ではないかと推察している。この事態に対応するために、人工トンボ池設置エリア周辺の外来樹のエリア駆除を併せて実施している。弟島では駆除後に在来林が再生してきており、今後のメンテナンスによって安定した森林環境を維持することができるものと思われる。

域内保全の課題としては、流水性種のハナダカトンボ、シマアカネへの対応策が限られることで、現状では水環境に悪影響を与える外来樹種の駆除がおもな手段となっている。頻発する干ばつは、固有トンボ類の個体群にも大きな影響をあたえることが明らかになってきた。今後さらに大規模な干ばつが襲来することも念頭に保全策を策定する時期に来ているだろう。

一方、トンボ類は域外での系統保存がほぼ不可能な分類群でもあり、今後、たとえば沢が干上がる時にハナダカトンボの一時避難的な幼虫飼育を行えるようにするなど、干ばつ対応策についての技術開発を進めることは喫緊の課題であろう。

オガサワラシジミの域内保全

小笠原の固有チョウ類の種数は少なく、オガサワラシジミとオガサワラセセリの２種が知られている。このうちオガサワラシジミ（写真 -3）は、過去には弟島、兄島、父島、母島で記録があるが、上述のトンボ類と同様に 1980 年代半ばころを境にまず父島で激減し、その後母島でも過去の記録地のほとんどから姿を消してしまった。

オガサワラシジミの幼虫は、食樹として早春にはコブガシ、その後は花期の異なるオオバシマムラサキ個体群の蕾を渡り歩き、蕾がない時期には新葉も利用することが知られている。一方、樹木の蕾は、アノールが効率的な捕食場所として利用する環境であるため、そこに産卵のため飛来するメスや葉に静止して縄張りを形成するオスなどが集中して捕食され、激減や地域絶滅に結びついた可能性が高い。また、父島列島では、ノヤギが激増した時期に、オオバシマムラサキは集中的に食害された可能性が高く、弟島、兄島では成木が点在するのみまで低密度化していた。ノヤギ完全排除後に大量に発芽して、現在は稚幼樹が密生する場所すらあることも、このことを実証していよう。また、オオバシマムラサキのようなパイオニア種にとっては、ギンネムやアカギ、モクマオウ、リュウキュウマツなどの外来樹種が競合種となって、その生息を縮小させた可能性も高い。つまり、オガサワラシジミの減少には、アノールの捕食圧＋ノヤギによる食樹の食害＋外来樹種による食樹の衰退が相まって、危機的水準にまで激減したと推察できる。

写真 -3　オオバシマムラサキ葉上に静止するオガサワラシジミのオス（左）と同樹蕾に産卵に訪れたメス、背後に見えるのがアノールトラップ（右）

写真 -4　母島に設置されたシジミ生息地防御のためのアノール侵入防止フェンス

少なくとも、2000 年以降には、過去に記録のある島々のうち、弟島、兄島、父島でのオガサワラシジミの記録はなくなり、唯一母島で断続的な確認例を見るだけになっていたが、母島でも 2000 年頃の調査着手後確認例がなく、絶滅が心配される事態となった。

幸い、2004 年春に島内の一部で本種が確認され、幼虫も確認することができた。非常に危機的状況にあったので、研究者、行政などに呼びかけて本種の保全対策を検討する場をもつようにし、ここから域内保全にとりかかった。まず、繁殖地になったエリアのアノールの低密度化は必須であった。アノールはそれまでに開発された粘着トラップを高密度に設置することで低密度化することができることは明らかになっていたが、囲われたエリアでないと周囲からの侵入によって効果が限定的になる。そこで地形的に囲える範囲を策定し、当時の東京都の担当の方の尽力で、地権者からシジミ保全地としての使用許可をいただき、アノールフェンスの設置が計画された。爬虫類の侵入を抑止するフェンスは世界的にも前例がなかったが、自然環境研究センターの戸田光彦氏を中心としたメンバーによる試行錯誤の末、侵入抑止力のあるフェンス構造が決定し、施工された（写真 -4）。

竣工後は、高密度にトラップを設置することでアノールを低密度化することに成功した。また、別の繁殖地では植生の伐開が困難な立地であったため、食樹にトラップを集中設置することでアノールの捕食を抑止すること

を継続している（写真 –3）。柵内では残存していたハハジマヒメカタゾウムシなどの在来昆虫類が増加し、安定発生を続けるなど低密度化の効果を実証している。

また、食樹であるオオバシマムラキ、コブガシとも外来樹であるアカギの急成長による被覆で、樹勢の衰退が目立っており、花をつける個体が激減していた。そのため、確認エリアでは早期からアカギの枝打ちによる域内保全管理を遂行してきた。その後、アカギの薬剤枯殺手法が確立してからは、全木枯殺も進めている。オガサワラシジミの生息域では、在来樹の被覆も問題になるケースがある。機能する発生木がごく局所的になるまで追い詰められている、本種のような希少種の保全上は在来樹の管理も避けて通れない課題であり、植生の専門家の指導を受けながらの枝打ち作業も実施している。被覆が進行した発生木も、こうした処置によって顕著に開花状況が改善している（苅部 2015）。

オガサワラシジミの域外保全

再確認当初からオガサワラシジミの危機的状況は明らかであった。つまり残存産地である母島は、アノールが全域に高密度で定着しており、前記の柵内や捕獲トラップ設置エリアのような局所防衛はできるものの、それは生息域のごく一部であり、さらに危機的な状況に陥ってもおかしくない状況であったからである。そこで、チョウ類の飼育経験豊富な多摩動物公園に加わっていただき、2005 年から域外保全に着手した。チョウ類の中でも、本種は森林性の種であるため、成虫の正常な交尾活動を行わせるのが困難であり、当初からさまざまな手法が試行されてきた。まず、内地で常に使える食樹を維持するために、温室での栽培を進め、大型温室での飼育によって、テリトリーの形成や交尾産卵も確認されたが、なかなか継続飼育には至らなかった。その後も多摩動物公園での飼育試験は継続していたが、2017 年になって安定的な累代飼育に成功した。

ところが、2016 年秋から 2017 年春まで、この時期として過去最大の干ばつが小笠原を襲った。大規模干ばつはトンボ類のような水生昆虫には生息地の消失など直接的な被害を与えるが、本種のような食植性の種に対しても、樹勢を弱らせることで蕾をつけない状況や、新葉の展開が遅れたりなどの影響により、間接的に大きな被害を与える。この年は、早春に開花するコブガシがほとんど蕾をつけない状況に陥り、その後のオオバシマムラサキ開花までの世代に大きな影響を与えたと考えられる。また、干ばつが引き金になったのかは不明であるが、アノールの生息密度が諸島全体で上昇し、これらの相乗作用のためかシジミ個体群が危機的水準にまで落ち込んだ。2018 年初夏の記録を最後に、野外での個体確認がほとんどない状況に陥っている。現在、多摩動物公園で維持されている系統保存個体群の分散飼育、増殖事業に着手して、準備が整い次第再導入も検討されているが、飼育個体群も安定的ではなく、保全プロジェクトに着手して以来、最大の危機を迎え予断を許さない状況にある。

終わりに

この他、固有昆虫類では、オガサワラハンミョウの域内・域外保全に関しての先進的な取り組みを行っているが、別論文で詳細に記述しているので、この種の事例については省略する。

ここで紹介した種は、多数の小笠原の固有昆虫の中のごく一部であるが、ある 1 種を保全するための技術開発と実施には、膨大な時間と労力、経費が必要となる。現在危惧されているのは、小笠原の遺産価値の象徴であった兄島にアノールが侵入定着してしまったことで、緊急駆除対応を継続してきたが、個体群の抑制まで至っておらず、分布域は拡大している。

固有昆虫保全の観点でも、父島の昼行性昆虫相が破壊された中では、兄島にのみ残存している種も多い。これらの中で保全技術が確立している種はアニジマイナゴなどごくわずかであり、これまでのような種ごとの対応をメインとする保全対応は現実的ではないだろう。今後のアノールの拡散状況の推移によっては、個別の種の保全ではなく、母島での囲い込み柵のような発想を兄島にも持ち込んで、捕獲圧を継続しての低密度管理エリアの創出による、一定の面積の生態系の保全などの手法導入も検討する必要があろう。

引　用　文　献

苅部治紀・須田真一（2004）グリーンアノールによる小笠原在来昆虫への影響（予報）．神奈川県立博物館調査研究自然科学 12: 21-30

苅部治紀（2004）小笠原固有トンボ類の現状－トンボ類はなぜ、いつごろ減ったのか？－．神奈川県立博物館調査研究自然科学 12: 31-45

苅部治紀（2015）特集日本の世界遺産の昆虫と自然．小笠原の昆虫．昆虫と自然 50(5): 16-19

Karube H (2010) Endemic insects in the Ogasawara islands: Negative impacts of alien species and a potential mitigation strategy. Restoring the oceanic island ecosystem. Impact and management of invasive alien species in the Bonin islands, 133-137. Springer.

陸産貝類の進化と保全

千葉　聡（ちば　さとし、東北大学）

海洋島と陸産貝類

19 世紀以来、海洋島の陸産貝類は進化研究の主要なモデルとなってきた。島固有の陸貝種を有し、かつ海洋島の多くは陸貝の種多様性のホットスポットだからである（Chiba and Cowie 2016）。例えばハワイ諸島には 750 種、マディラ諸島やパラオ諸島には 200 種を超える種が記録されている。面積が小さな島にも多種の陸貝が分布することがある。例えば 13 km^2 の面積のロードハウ島には 85 種の陸貝が記録されている。ただし、これらの種の多くは異所的に分布し、共存する種の数は一般に少なく、ハワイでも 10 種以上の在来種が同所的に分布することはほとんどない（Chiba and Cowie 2016）。

一方、海洋島の陸貝はあらゆる動植物のなかで、特に著しい絶滅が起きてきたことでも知られている。人為的な影響により、40% の陸貝種がこれまで絶滅したとされるが、そのうちの 70% は海洋島で起きた（Lydeard *et al*. 2004、Régnier *et al*. 2015）。ハワイでもその 50 − 90% の種は、すでに絶滅したと考えられる。陸貝の場合、種あたりの分布域の狭さが、高い絶滅率の要因のひとつと考えられる（Chiba and Cowie 2016）。外来捕食者の影響も、陸貝の絶滅を引き起こす大きな要因となってきた。外来種アフリカマイマイの生物防除のために導入された、貝食性陸貝ヤマヒタチオビ（*Euglandina rosea*）やニューギニアヤリガタリクウズムシ（*Platydemus manokwari*）は、太平洋の多くの島嶼で、陸貝固有種の絶滅あるいは激減を引き起こしている（Régnier *et al*. 2015）。

海洋島である小笠原諸島も上記の島々と同様、多様な固有陸貝が生息する。面積の小ささにもかかわらず、少なくとも 110 種以上の在来種が分布し、その 90% 以上が小笠原諸島の固有種である。比較的多くの陸貝種が同所的に共存することが、小笠原の陸貝の特徴である。例えば兄島や母島の良好な生息地では、20 種以上の在来種が、100 m^2 の面積の中で見つかる（Chiba 2007）。一方、陸産貝類に対する外来捕食者の影響も、他の海洋島と同様に深刻であり、特に父島におけるニューギニアヤリガタリクウズムシや、兄島におけるクマネズミは、陸貝在来種の絶滅や激減を引き起こしている（Chiba and Roy 2011）。しかし、人間の入植の新しさと外来種の侵入の歴史の浅さゆえ、他の代表的な海洋島ほどは高い種の絶滅率には至っていない（諸島全体の絶滅率 17%）。ただし父島のように、約 60% の種が野生絶滅に至った地域もある。

写真 −1　マルクボエンザガイ（左）とヘタナリエンザガイ（右）。

小笠原諸島における固有陸貝の進化

進化の面で陸貝の大きな特徴は、第一に一つの群島内ないし一つの島内で単一の祖先から多数の種が分化する（放散）事例が、多くみられることである。第二に、各種が多数の遺伝的に異なる地域集団に分化していることである。小笠原諸島の陸貝は種数の多さの割に系統の多様性は低く、諸島内での放散がその種多様性の高さに貢献したことを示している。いくつかの系統では、種間で明瞭なニッチ分化が認められ、典型的な適応放散を示す。このニッチ分化は、小面積での高い種多様性の要因である（Chiba 2007）。また地域集団の遺伝的分化も著しく、これほど小さな面積の地域で、多くの種が多数の遺伝的に異なる地域集団に分化している事例は、陸貝では稀である。

エンザガイ属（*Hirasea*）は、コンタクトレンズのように扁平なヘタナリエンザガイ（*H. operculina*）から、ほぼ球形で殻頂が窪むマルクボエンザガイ（*H. diplomphalus*）まで、極端に形態の異なる種から構成される（写真 −1）。一属でこれほど形態の異なる種を含む例は珍しいが、最近の分子系統解析により、これらが遺伝的には互いにごく近縁で、小笠原で単一の祖先から分化したものであることが確かめられた（Hirano *et al*. 2018）。これらの種はそれぞれ住み場所が異なり、形の違いは生活様式への適応を示すと考えられる（Chiba 2009）。例えばヘタナリエンザガイは、ビロウやタコノキの大きく平らな葉裏に付着するのに有利な形態であ

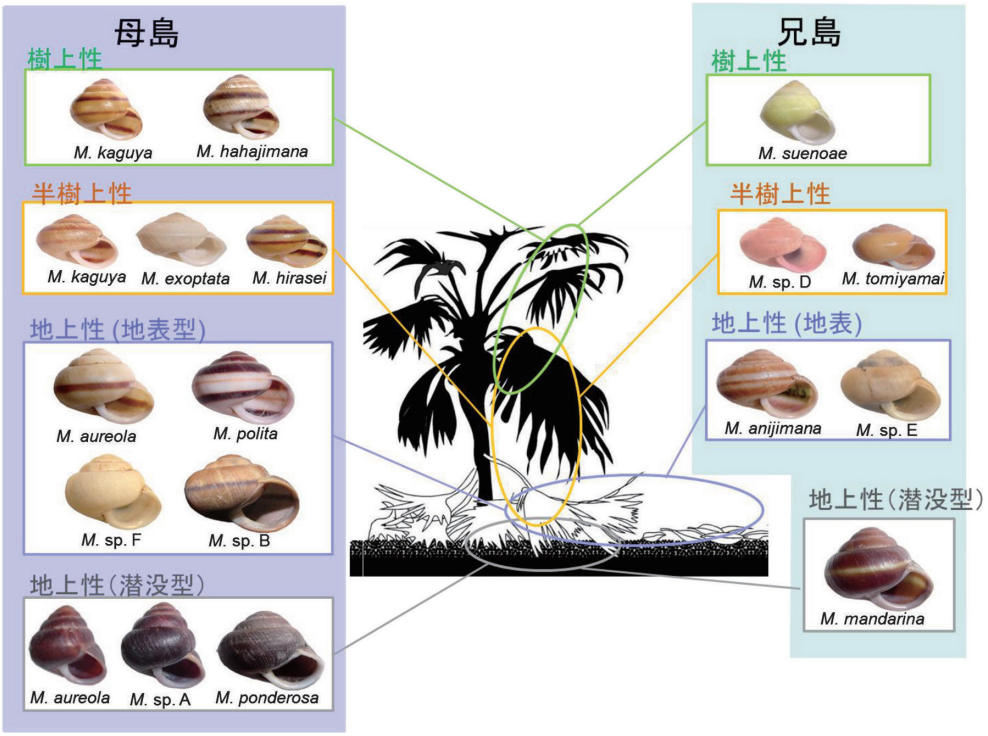


図 –1　カタマイマイ属の生態型および異なる島での生態型と形態の関係（兄島と母島の例）

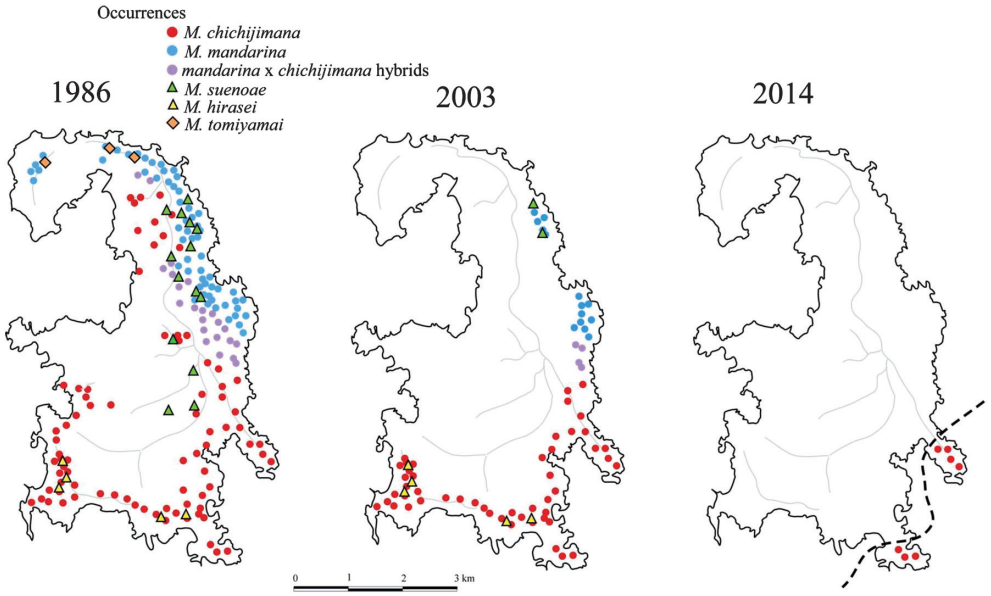
り、一方マルクボエンザガイは、団粒化した土壌中に潜り込むのに有利な形態である（Chiba 2009）。

カタマイマイ属（*Mandarina*）も同様に、種間で休眠場所と採餌場所に明確な分化を生じている。各島や地域に、樹上性（多数の樹種に生息）、半樹上性（主にタコノキ、ビロウ、ツルダコに生息）、地上性―地表型（落葉層上部を好む）、地上性―潜没型（落葉層下部を好む）の種が分布し、同一の生態型の種は、別系統でも互いに良く似た形態を持つ（図 –1）。この 4 タイプの生態型が異なる島、地域で繰り返し独立に進化する反復適応放散が生じた（Chiba 1999）。これは適応が本属の多様化の主因であることを示している。

多種への顕著な放散を示すものの、明確なニッチ分化を示さない例もある。キビオカチグサの仲間（*Cavernacmella*）は、小笠原で 10 種以上に放散したが、真洞窟性へと進化して眼も失った一種を除き、いずれも地表性の生活様式をもち、住み場所の違いを検出できない（Wada *et al.* 2013）。またこのうち 6 種は、遺伝的には大きく異なり 200 万年前に分化したと推定されるにもかかわらず、形態的な差を検出できない（写真 –2）。これら 6 種はいずれも異所的に分布し、長期に渡り地理的に隔離されて分化を遂げたと考えられる（Wada *et al.* 2013）。こうした放散の例は、非適応的放散と呼ばれるものであり、遺伝的浮動の効果が放散により大きな役割を果たした可能性がある（Chiba and Cowie 2016）。ただし母島の石門の石灰岩地域では、

写真 –2　小笠原固有キビオカチグサ類。母島石門でごく短い期間（数万年前）に分化した塔形（左上）と平型（右上）の種。一方、200 万年以上前に分化した母島の種（左下）と父島の種（右下）は、形態的に区別ができない。

極めて狭い範囲で、塔型と平型の極端に形態の異なる種が分化している（写真 –2）。しかもそれらの遺伝的距離は他の種間の差よりはるかに小さく、相対的にごく短期間（数万年）に大きな形態差を伴う種分化が起きたと考えられる（Wada *et al.* 2013）。今のところ、この形態差に関与する生態的機能や、その分化の要因は不明であ



図−2　父島におけるカタマイマイ 5 種および 1 交雑種の 30 年間の分布変化。各点は各種の記録を示す。点線はニューギニアヤリガタリクウズムシの 2014 年における分布縁。

る。この事例のように小笠原固有陸貝の多様性進化のプロセスは、まだ多くの点で興味深い謎が残されている。

在来陸貝相の減少要因

小笠原諸島では、在来陸貝相の劣化は戦前と戦後に、それぞれ主に別の要因によって引き起こされてきた。父島や母島では戦前の森林伐採のため、生息地が失われ、20 − 30% の種が絶滅したと考えられる（Chiba *et al*. 2009）。戦前耕作地になった地域は、戦後の米軍統治下で森林が回復したが、かつての耕作地には現在でも在来陸貝は少ない。

戦後は父島、母島、聟島で貝食性コウガイビルの一種（*Bipalium muninense*）が、在来陸貝の減少を引き起こした（Okochi *et al*. 2004）。本種は最近の分子系統解析から、琉球列島から由来した外来種であることがわかっている（Uchida *et al*. in prep）。父島では 1990 年以降、ニューギニアヤリガタリクウズムシが分布を拡大し、それによってカタマイマイ属などの中−大型の固有陸貝が激減（図 −2）、そのほとんどが野生絶滅した（Ohbayashi *et al*. 2007、Chiba and Cowie 2016）。

過去に人為的な植生破壊がほとんど起きていない兄島では、2000 年以降クマネズミの捕食の影響が深刻化した。特にカタマイマイ類など大型種への影響が著しく、カタマイマイ類では個体群が消滅ないし顕著に減少した（Chiba 2010）。クマネズミは母島にも生息するが、母島では陸貝に対する大きな影響は今のところ知られていない。

上記の外来生物のインパクトは、ほぼ中−大型の在来陸貝に限定されているが（Chiba and Roy 2011）、母島ではノミガイ類など小型の在来陸貝への強い影響を及ぼす外来生物が知られている。母島南部の南崎地域と、集落周辺にはツヤオオズアリ（*Pheidole megacephala*）が侵入しコロニーを形成している。この外来アリは、ハワイマイマイ科（ノミガイ類）などの小型種を捕食し、それらの陸貝をほぼ完全に分布域から消滅させている（Uchida *et al*. 2016）。

聟島と媒島ではノヤギによる植生破壊により、カタマイマイ類など陸貝在来種が大きなダメージを受けた。現在ではノヤギはこれらの島では根絶されている。外来植物はタコノキやツルダコを特に好む一部の種群に対して影響がある。だが一般に、外来植物が及ぼす在来陸貝への影響はあまりはっきりしない。例えば兄島や西島では中−小型の在来陸貝が、外来のモクマオウ林に適応し、その林床に高密度で生息していることがある（Chiba 2010）。母島でも、ギンネム林にカタマイマイが高密度で生息していることがある。同様な事例は、ガラパゴス諸島の固有陸貝トウガタマイマイ類（*Naesiotus*）でも見出され、外来のクダモノトケイソウ（*Passiflora edulis*）でほとんど置き換えられた植生に、固有のトウガタマイマイ類が多産することがある。このようなケースでは、外来植物の管理は慎重に行う必要がある。

固有陸貝の保全

ニューギニアヤリガタリクウズムシやコウガイビル類など、小型の外来捕食者に対する陸貝保全対策としては、第一に分布拡大を防ぐことである。現在、父島に分布が限定されているニューギニアヤリガタリクウズムシの他島への侵入を防止するため、様々な対策が取られている。

例えば、旅行者に付随して分布が父島から拡散することを防ぐため、港湾で旅行客の靴底を消毒することが行われている。また資材搬入に付随して侵入が起こらないよう、消毒などの対策がとられている。ただし、本種の母島への侵入は、沖縄からも想定され、現在の特に農産物を対象にした検疫体制は十分とは言えない。今後の検疫体制の確立が急務であるが、これには地域住民の理解と協力が不可欠である。

現在ニューギニアヤリガタリクウズムシとコウガイビル類を駆除する技術はなく、一旦侵入を許すと、陸貝の域内保全は極めて困難である。今後の防除技術開発が必要であるが、情報の少ない分類群であるため容易ではない。そこで現在カタマイマイの父島で野生絶滅した種や、今後絶滅が予想される種を対象に、環境省により域外保全対策が進められている。父島の室内および室外に設置された飼育場で人工繁殖が進められ、系統保存が図られている。さらに島外の動物園などでも分散飼育が進められている。今後は、ニューギニアヤリガタリクウズムシの防除とともに、域外保全個体の再導入に向けた技術開発が必要である。

資金やスペースの制約から、人工繁殖を行う集団の選択と優先順位の決定が重要である。陸貝は同種でも地域的な遺伝的差が大きいため、保全単位は地域集団とし、中立分子マーカーに基いて可能な限り多くの地域集団を区別し、別個に飼育する。優先度の決定は、脅威の緊急度に基いて判断する。例えば父島でニューギニアヤリガタリクウズムシの影響により、野生絶滅が不可避と考えられる中―大型種群は、最優先で域外保全を図る必要がある。一方、父島でも微小貝はその影響を受けにくいため、域外保全の優先度は低い。

兄島のクマネズミと母島のツヤオオズアリには、駆除対策が実施されている。兄島では環境省により殺鼠剤の空散が行われているが、クマネズミの根絶には至っていない。根絶のための技術開発が急務である。母島南崎地域では、ツヤオオズアリの駆除対策が環境省により実施され、効果が得られている。ベイト剤（毒餌）による駆除が行われた場所ではツヤオオズアリは消滅しており、その分布域は着実に減少している。ツヤオオズアリが消滅した地域ではノミガイ類の回復が認められる（Uchida *et al*. in prep）。以上のように成果を挙げている外来種対策はあるものの、多くの脅威は対策が困難であり、今後の技術的なブレークスルーが必要な状況である。

おわりに

小笠原諸島の固有陸貝は顕著な放散を遂げた事例として、進化生物学的に極めて貴重な存在である。1 種の祖先から 20 種以上まで多様化した分類群を含む事例は、小笠原では今のところ陸貝以外に知られていない。またこれほど小さな面積で、著しい地理的な集団の遺伝的分化を生じる例は、国内外の陸貝でも稀である。その一方、陸貝は小笠原で外来生物による絶滅の脅威に、最も強くさらされている分類群の一つである。これまで様々な保全対策が実施されてきたが、技術的な問題により、十分な成果が得られていないケースが多い。今後、外来種駆除のための技術開発と、物資を対象とした検疫体制の確立が望まれる。

引　用　文　献

Chiba S (1999) Accelerated evolution of land snails Mandarina in the oceanic Bonin Islands: evidence from mitochondrial DNA sequences. Evolution 53: 460-471

Chiba S (2007) Species richness patterns along environmental gradients in island land molluscan fauna. Ecology 88: 1738-1746

Chiba S (2009) Morphological divergence as a result of common adaptation to a shared environment in lands snails in the genus Hirasea. J Mollusc Stud 75: 253-259

Chiba S (2010) Invasive non-native species' provision of refugia for endangered native species. Cons Biol 24: 1141–1147

Chiba S, Okochi I, Obayashi T, Miura D, Mori H, Kimura K, Wada S (2009) Effect of habitat history and extinction selectivity on species richness pattern of an island snail fauna. J Biogeogr 36: 1913-1922

Chiba S, Roy K (2011) Selectivity of terrestrial gastropod extinctions on an oceanic archipelago and insights into the anthropogenic extinction process. Proc Natl Acad Sci USA 108: 9496-9501

Chiba S, Cowie RH (2016) Evolution and extinction of land snails on oceanic Islands. Annu Rev Ecol Evol Syst 47: 123-141

Hirano T, Wada S, Mori H, Uchida S, Saito T, Chiba S (2018) Genetic and morphometric rediscovery of an extinct land snail on oceanic islands. J Mollusc Stud 84: 148–156

Lydeard C, Cowie RH, Ponder WF, Bogan AE, Bouchet P, et al. (2004) The global decline of

nonmarine mollusks. BioScience 54: 321–30
Ohbayashi T, Okochi I, Sato H, Ono T, Chiba S (2007) Rapid decline of the endemic snails in the Ogasawara Islands. Appl Ent Zool 42: 479-485
Okochi I, Sato H, Ohbayashi T (2004) The cause of ollusk decline on the Ogasawara Islands. Biodiv Cons 13: 1465-1475
Régnier C, Achaz G, Lambert A, Cowie RH, Bouchet P, Fontaine B (2015) Mass extinction in poorly known taxa. Proc Natl Acad Sci USA 112: 7761–66
Uchida S, Mori H, Kojima T, Hayama K, Sakairi Y, Chiba S (2016) Effects of an invasive ant on land snails in the Ogasawara Islands. Cons Biol 30: 1330-1337
Wada S, Kameda Y, Chiba S (2013) Long-term stasis and short-term divergence in the phenotypes of microsnails on oceanic islands. Mol Ecol 22: 4801–4810

小笠原諸島世界自然遺産地域科学委員会の活動

大河内　勇（おおこうち　いさむ、日本森林技術協会・小笠原諸島世界自然遺産地域科学委員）

科学委員会ができるまで

小笠原諸島を世界自然遺産に推薦するに当たって、その傑出した生態系の価値は生物学者なら誰でも認めるものであったが、外来種の影響が著しいことが問題であった。2003 年に開催された「第 4 回世界自然遺産候補地に関する検討会（環境省・林野庁 2003）」では、「もし小笠原を推薦するとすれば、その前に環境省側で移入種を駆除する非常に積極的な施策をしていただかないと、ちょっと無理なのではないか」という意見がでていた。

これを受け、各種の外来種対策の施策が加速されると共に、環境省レンジャーの常駐化の方針が決まる。そして、2006 年 11 月に第 1 回小笠原諸島世界自然遺産候補地科学委員会が開催された。委員は、当時小笠原に関係していた研究者を中心に 13 名（委員長：奥富清）が選ばれた。一方、地元の関係者からなる地域連絡会議も結成されて、世界自然遺産推薦に向けた体制が整備されたが、これは基本的に先行して登録された知床の方式を取り組んだものである。

科学委員会の役割

科学委員会は環境省・林野庁・文化庁からなる法令等所管官庁からの依頼に応じて助言を行うこととなっている。助言なので、強制力はない。一方で、地域連絡会議は地元関係者に加えて官庁が参加し、意見の吸い上げと調整を行うことになっている。そして、両委員会は連携協力をするとしている。

小笠原諸島を世界自然遺産に推薦するにあたり、科学委員会に二つのことについて助言を求められた。一つは小笠原諸島が世界に唯一の価値を有することの証明であり、もう一つは、外来種管理の方策である。価値についてはいろいろな新知見も含めてまとめられたが、外来種対策に関しては、当初の想定よりはるかに大きく複雑な問題となっていたため、被害の実態を明確にした上で、委員間で協議し優先順位をつけて対策を助言した。

これらの助言を加えて作成された推薦書、管理計画、アクションプラン等の推薦書類を 2010 年 1 月 26 日に世界遺産センター（パリ）に提出し、同年 7 月の IUCN（国際自然保護連合）による現地調査（図 -1）には科学委員が同行、説明し、2011 年 6 月の第 35 回世界遺産委員会において承認され、同年 6 月 29 日に世界自然遺産として登録された。ただ、残念なことに世界遺産に該当するクライテリア（基準）として、小笠原諸島は（viii）地形・地質、（ix）生態系及び進化、（x）生物多様性の 3 つを推薦していたが、（ix）生態系及び進化のみが認められた。海溝形成時にのみ作られるボニン岩を主とした地形・地質は、認められれば日本初の該当クライテリアでの登録であったが残念ながら理解が得られなかった。

図 -1　兄島を調査する IUCN 調査団

外来種対策の成果と問題

世界自然遺産に推薦する前に、科学委員会及び科学委員の提言により外来種対策で多くの成果が挙がり、世界自然遺産登録を後押しした。その幾つかを事例として紹介しよう。

(1) クマネズミの根絶

父島の北西にある西島では 2003 年にヤギは根絶されていたが、意外にも在来植物の更新がうまくいっていなかった。そこで森林総合研究所はクマネズミが原因と予想し、2007 年にその根絶に取り組んだが（橋本 2009）、根絶後にすぐにハシナガウグイス（固有亜種）が急増するとともに、それまで実生が見られなかった在

来樹種の実生が多数発生し、更新が行われるなどの成果を上げた。この結果を受け、ネズミ駆除の重要性を提言し、東京都がヤギを根絶した聟島列島を対象に、環境省が兄島、弟島、東島、西島（クマネズミが再発見されていた）等を対象に、2008～2010年に殺鼠剤の空中散布によるクマネズミ事業が実施された。その直後に兄島などを訪れたIUCNの調査団はこの事業を高く評価した。

空中散布の結果、聟島と東島では以後クマネズミは見つかっていないが、他の島々では1ヶ月～3年8ヶ月ほどで再発見された。根絶できなかったか、近隣の島々から海を渡って再侵入したかと思われている。

根絶に成功した東島では、その後、オガサワラヒメミズナギドリが再発見されるという成果が挙がっている。小型海鳥はクマネズミの激しい食害を受けることが知られており、クマネズミを根絶していなければ絶滅していた可能性があった。

植物でも、聟島ではヤギ食害を受けて植生が著しく衰退していたが、ネズミ根絶後に顕著に植生が回復している。同じくヤギを根絶して、ネズミ根絶に失敗した媒島では植生がなかなか回復しない（畑・可知2019）のと対照的であり、ネズミが植生に著しい影響を与えていることを示すと共に、ネズミ対策なしでは小笠原での植生回復は難しいことがわかる。

(2) アカガシラカラスバト

アカガシラカラスバトは一時期、40～60羽の絶滅危惧状態と考えられており、どのように保全するか、科学委員を含む研究者、動物園関係者、行政、島民の多くを集めて、2008年1月に父島でアカガシラカラスバトの保全計画づくり国際ワークショップが開催された（アカガシラカラスバトPHVA実行委員会 2008）。個体群の存続可能性分析の結果、絶滅の可能性が高いことから、森林からのネコの排除をまず行い、100羽程度に増加したら動物園での域外飼育のため捕獲することなどが合意された。ネコの排除に関しては、2005年に母島でカツオドリの営巣地がネコのために消滅しつつあることを契機に、「小笠原ネコに関する連絡会議」が結成され、（公社）東京都獣医師会の協力を得て、捕獲～本土へ移送～馴化～委譲を行い、殺処分なしに排除を進めることができるようになっていた。そして国際ワークショップの合意を受けて、各主体が努力した結果、数年でアカガシラカラスバトの目撃頻度が10倍近く増加し、街中に群れで出現するようにもなり、もはや絶滅を心配する必要が無くなった。さらにオガサワラオオコウモリも増加に転じ、嬉しい悲鳴ではあるがコウモリによる農業被害を防止する対策が文化庁により進められた。

(3) ニューギニアヤリガタリクウズムシの移動防止

外来のアフリカマイマイを駆除するために太平洋の島々に放たれたニューギニアヤリガタリクウズムシは海洋島の固有陸産貝類を壊滅に追い込んでいる侵略的外来種である。現在父島に侵入していて、父島の固有陸産貝類は全種絶滅寸前である。これが他の島に渡らないようにすることが必要であるが、再生力の強いプラナリアの仲間であるため、山歩きしている人が本種を踏み、靴裏に一部がちぎれて残っただけでも他の島に持ち込む恐れがある。そのため、科学委員会の提言をうけ、母島丸の待合所には靴裏を洗う施設を設けてもらっている。また、無人島に行く場合には洗浄した靴裏にお酢を吹き付けると共に、泥がないことを示す写真を撮るなどの予防策を行ってもらっている。幸いなことに父島以外への侵入はまだない。

(4) アカギの駆除

母島でもっとも強力な侵略的外来樹種はアカギで、樹高25 mにも及び、小笠原の在来樹種全てを圧倒する。伐採しても切り株から萌芽し、数年で数メートルの高さに育ち、枯らすことができない。この性質は導入した当時の目的、すなわち森林資源枯渇を避けるため短期間で繰り返し伐採可能な薪炭林を育成するという目的には適切だったが、外来種としては厄介な相手だった。本種に対し、森林総合研究所は除草剤の注入で枯らすという方法を開発、科学委員が積極的な導入を求めた結果、環境省が2006年ごろから、林野庁が2008年ごろから同法を導入し、世界自然遺産推薦までにはアカギ枯殺が可能となり、モクマオウやギンネムにも対象を広げていった。こうして侵略的外来樹種対策が確立していき、初めて植生管理への道が開けていった。

(5) トンボの保護

小笠原の主要な島、父島と母島には北米原産のトカゲ、グリーンアノールが侵入し、昆虫類が壊滅的な影響を受けている。トンボ類5固有種も、母島に一種生き残っているほかはすべて離島にしか生息していない。しかも離島には水場が少なく旱魃があると干上がるため、トンボ類は絶滅の危機にあり、保全の要望が科学委員から提案されていた。トンボ類全種が生き残っている唯一の島、弟島にいたトンボを食べる外来種ウシガエルの根絶と旱魃対策として衣装ケースを用いたトンボ池の設置により、トンボ類の安定的な発生に寄与した（苅部2009）。

登録後に取り組んでいる課題

世界自然遺産の登録後にも様々な問題が発生している。現在取り組んでいる主な課題について触れよう。

(1) グリーンアノールの兄島への侵入

2013年3月に、それまでグリーンアノールがいないと思われていた兄島にグリーンアノールが進入しているのが発見された。兄島は、昆虫、植生、陸産貝類と主要な生物群が全て健全な状態に保たれている遺産価値の核心と考えられていたので、この報告は衝撃を持って受け止められた。同年3月29日には「兄島に侵入したグリーンアノールに関する非常事態宣言と緊急提言」を科学委員会が発し、関係省庁の協力を得て、アノールフェンスの建設、トラップによる捕獲を開始し、現在に至っている（小笠原諸島世界自然遺産地域科学委員会 2013）。これまでにフェンスは完全ではないが有効であること、アノールを根絶でなくとも低密度に抑えれば昆虫相が維持できることが分かってきた。言うまでもないが、土着の送粉昆虫相なしに植物の正常な進化は望めない。

(2) 外来植物の繁茂

世界自然遺産であることから、外来植物（主に樹木）を駆除した後には、自然の植生回復を待つことを基本方針としてきた。しかし、実際には外来樹種を駆除した後には、同じ種類か別の種類の外来樹種が侵入し、なかなか在来樹種は回復しない。その理由の一部は父島列島、聟島列島では前述のクマネズミであることが分かっている。クマネズミの根絶は難しく面積の広い島での技術開発が問題であるが、海外で主流となっている第2世代の殺鼠剤を用いないと根絶は難しいという側面もあるし、農薬取締法の範囲外での殺鼠剤使用に関する住民の不安から、住民との合意形成が必須となっている。そのため、科学委員には新たに社会科学の委員を加えている。

外来樹種を駆除してもまた外来樹種が更新してしまう問題に対し、外来樹種駆除後に在来樹種を植栽によってでも回復させ（図-2）、外来樹種を被圧して、その繁茂を防ぐことが課題となっている。植栽に関しては、科学委員会は、その必要性を認める一方、随伴する外来生物を持ち込まないこと（特に離島への植栽に関して）、遺伝的多様性を損ねないようにすること（森林総合研究所 2015、2017）、植栽以外の方法が無い場合にのみ適用することなどを求めてきた。今後は更にIUCNの求める再導入に関するガイドラインも参照に、きちんとしたチェックをすることが求められよう。

(3) 再導入

陸産貝類や昆虫の中には、野外でほぼ絶滅し、飼育個体群の再導入を検討している種類もある。飼育個体群の安定的な維持管理、再導入の必要性の検討など、IUCNのガイドラインに沿った検討をしているところである。

(4) 新たな外来種の侵入防止

ガラパゴスで行われているような検疫の必要性を科学委員会は当初から求めてきたが、未だ包括的な条例はできていない。しかし、ようやくその一部、動物に関して持ち込むペットの種類を制限する「愛玩動物等の適正な管理に関する条例」が小笠原村で検討されている。一方で植物防疫に関する条例は検討されておらず、「イエシロアリ等の母島への侵入防止に関する条例（小笠原村）」をもちいて、母島へのニューギニアヤリガタリクウズムシの侵入を防ごうとしている状況である。その一方で、新しい外来種が次々に発見されていて、包括的な検疫とそれを支える体制、予算が必要な状況は今も変わらない。

図-2　ギンネム伐採後、クマネズミ対策を施して在来樹木の植栽

(5) 順応的管理

外来種駆除では様々な生物間相互作用が明らかになっている。例えば、ネコを排除すればアカガシラカラスバトが増加するが、同様に外来種のクマネズミも恩恵を受ける。クマネズミはまたヤギ駆除で増加した植物の恩恵も受ける。増加したクマネズミは固有陸産貝類への食害を高める。クマネズミを駆除すれば、先に述べたように植生回復の早期化や、陸産貝類や小型鳥類の増加を期待できるが、一方で、グリーンアノールへの捕食が減り、アノールが増加して昆虫への食害が増えると考えられる。

このように外来種は島の生態系に組み込まれていて、特定の種類を排除すると、生態系を通じて様々な影響が出て、負の側面が大きくなることも想定される。そこで、小笠原の主要な生物の相互作用をあらかじめ想定しておき、それを元に順応的管理を行おうということになっている。ここでいう順応的管理は、単なるPDCA（plan-do-check-act）サイクルではなく、P（計画）の段階で様々なシナリオを想定しておき、すべてのシナリオに対し対策をあらかじめ想定しておくというものである。

小笠原の新たな価値と将来を管理計画にまとめる

科学委員の役割は、小笠原諸島の生態系保全が第一で

はあるが、新たな価値の発見やそれに基づく普及、提言も重要である。世界自然遺産になってからも、多くの発見があった。本誌にもその一部が掲載されている。しかし、これらの成果の多くは学会誌に掲載され、該当するサイエンスの場でしか知ることができない。それらの情報をまとめるのも科学委員の役割である。それら最新の知見を盛り込み、2018 年 3 月に「世界自然遺産小笠原諸島管理計画」が 8 年ぶりに改定された（環境省ほか 2018）。管理計画には、前述の外来生物対策や自然と共生する住民の暮らしなど多くの項目があり、科学委員会と対をなす地域連絡会議が科学委員会と対話しながら所轄官庁とともに作業してきたが、サイエンスに係る部分は科学委員会がとりまとめた。小笠原諸島世界自然遺産の今を知るためには一番参考になるだろう。

西之島の保全

管理計画の中で、注目してほしいのは西之島の扱いである。西之島は火山の爆発で島が広がり、有名になった。しかし、生物相は壊滅に近く、海鳥と僅かな植生しか残っていない。つまり、生物多様性は限りなく小さく、固有種はゼロ、普通に考えれば保全の対象にはならないだろう。しかし、管理計画では「火山活動により、海洋島生態系の始まりに近い状況である。その状況を守るため、調査研究を含めた人為影響は必要最小限にとどめる。」とあり、科学委員会及び管理機関が策定した「上陸ルール」を厳守した厳重な保全を求めている。このことは、小笠原の価値は進化の結果としての珍奇な動植物の展示にあるのではなく、進化のプロセス、生態系にあることを宣言していることになる。西之島はまさしく、海洋島の生態系がどのように始まるか、そのプロセスを示しているから貴重なのだ。南硫黄島はそれが進んだ状態で、しかもクマネズミが侵入していない手付かずの自然のために、進化の初期の段階が見られる。更に、父島、母島、聟島ではより長い年月を過ごした生物の進化が見られる。これこそが小笠原諸島の価値になる。だからこそ、アノールの侵入で送粉昆虫相が壊滅し、セイヨウミツバチに置き換わるのが問題になるし、植栽による生態系回復は慎重に行う必要がある。また、滅びた種類はできるだけ再導入して、その種の有する生態的機能を取り戻したい。西之島の価値を皆が認めたように、小笠原の価値は固有種そのものだけではなく、固有種を生み出した生態系の相互作用、生態系プロセスにあること、したがって固有種だけが大事なのでは無く、広域分布種も含めた進化の舞台としての在来生態系が重要なのだということが科学委員会の活動の結果として浸透してきたと考える。

最後に

いうまでもなく、科学委員会だけが重要なのではない。地域連絡会議、関係各省庁、事業体、住民のそれぞれが重要な役割を演じている。ただ、生態系を管理する技術的な問題から、科学委員会の果たすべき責任は重い。その科学委員も研究による発見があってこそ提言が可能になる。小笠原は遠く、調査には経費が掛かるためか、最近では若い研究者が敬遠する傾向にある。しかし、小笠原という一つのユニークな生態系を保全するためには、若い研究者の新しい成果が必要である。今回の特集を読まれた若い研究者には、是非小笠原の森林生態系の研究に参加していただきたいと思う。一人の研究者が生態系の未来を救う機会はなかなかないが、小笠原にはその可能性がある。

引　用　文　献

アカガシラカラスバト PHVA 実行委員会（2008）アカガシラカラスバトの保全計画づくり国際ワークショップ．http://www.ogasawara.or.jp/blog2/?p=528

橋本琢磨（2009）小笠原におけるネズミ類の根絶とその生態系に与える影響．地球環境 14(1): 93-101

畑　憲治・可知直毅（2019）海洋島における野生化ヤギ駆除後の生態系の変化．森林科学 86: 7-10

環境省・林野庁（2003）第 4 回世界自然遺産候補地に関する検討会．http://www.env.go.jp/nature/isan/kento/

環境省・林野庁・文化庁・東京都・小笠原村（2018）世界自然遺産小笠原諸島管理計画．https://www.env.go.jp/press/files/jp/108826.pdf

苅部治紀（2009）小笠原諸島における外来種が固有昆虫類に及ぼす影響とその緩和への方策．地球環境 14(1): 33-38

小笠原諸島世界自然遺産地域科学委員会（2013）兄島に侵入したグリーンアノールに関する非常事態宣言と緊急提言．http://kanto.env.go.jp/pre_2013/data/0329aa.pdf

森林総合研究所（2015）小笠原諸島における植栽木の種苗移動に関する遺伝的ガイドライン．https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/documents/3rd-chuukiseika25.pdf

森林総合研究所（2017）小笠原諸島における植栽木の種苗移動に関する遺伝的ガイドライン 2．https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/documents/4th-chuukiseika3.pdf

森をたべる ⑧

森林からの贈り物「きのこ」

西井　孝文（にしい　たかふみ、三重県熊野農林事務所）

はじめに

森林における秋の楽しみの一つにきのこ狩りがあります。「香りマツタケ、味シメジ」と言われるように、マツタケをはじめとするきのこ類は秋の食材の王様です。では、きのこを探すにはどんな森林に行けば良いのでしょうか。スギやヒノキの人工林にきのこを探しに行く人はまずいません。マツタケならアカマツ林、シメジの仲間なら雑木林といったようにきのこの種類に見合った森林に行くでしょう。

ただし、野生のきのこは発生時期が限られています。そこで、昔の人は秋に収穫したきのこを乾燥や、塩蔵といった形で保存し一年中利用していました。しかし今ではきのこの空調栽培が主流となり、年間を通して様々なきのこを食べることができるようになりました。

山採りの野生きのこや、原木栽培のきのこといったように、きのこは直接森林や樹木を利用して発生させるので、間接的に「森を食べている」と言われると、なるほどとうなずけます。しかし、スーパー等で大量に販売されているエノキタケやブナシメジを見ると、森を食べているという感じは全くありません。しかし、栽培用の培地基材におが粉を用いるなど、きのこ栽培は森からの産物に頼っているのが現実です。そこで、ここではきのこ栽培の例を参考に森の利用について考えてみましょう。

きのことは

生物界でのきのこの位置づけは、真核生物ドメインの菌類に属し、菌糸という糸状の構造が多数組み合わさって体ができています。きのことは、菌類が作る大型（おおよそ 1 mm 以上）の繁殖器官のことで、学術的には子実体と呼ばれています。きのこを作るのは、分類学的に変形菌類と子嚢菌類、担子菌類で、その中でも担子菌類が大半を占めます。担子菌類のきのこはいくつかに分類されますが、ハラタケ目に属するものは、いわゆる「きのこ」と呼ばれる形をしたものが多く見られます。

我が国は南北に長く、その気候は亜熱帯から亜寒帯にまたがっており、国土の 7 割が森林に覆われているため、きのこの種類も南方系から北方系まで多種にわたっています。我が国には 5,000 種類のきのこが存在しているとされていますが、名前が付いているのは 2,000 種類程度です。食用とされているものは 200 種類程度で、そのうち数十種類のきのこは風味が優れ、皆に広く親しまれています。一方、毒きのこも 200 種類程度存在し、中毒時の症状は種類によって異なります。中毒例が明らかになるにつれて、毒きのこの種類は増加しています（江口 2001）。

きのこ栽培について

きのこはその生活体系から、樹木の倒木や落ち葉などを栄養源とする腐生性きのこと、生きた樹木の根と共生しながら育つ菌根性きのこに大別できます。現在二十種類を超えるきのこが人工栽培されていますが、それらのきのこはすべてが腐生性のきのこです。しかしながら、最近ではきのこ研究の進歩により、ホンシメジやバカマツタケといった菌根性きのこの発生技術も開発され、特にホンシメジは量販店等でも販売されています。

ここでは、主なきのこの栽培方法について三重県での導入例を参考に紹介します。

原木栽培きのこ

昔からきのこ栽培というとシイタケの原木栽培が主流でした（写真 –1）。シイタケの利用は古く、鎌倉時代に

写真 –1　シイタケ原木栽培

すでに伊勢の乾シイタケが中国に輸出されていたという記録があります。この時利用されていたのはすべて山で採取された天然のシイタケでした。江戸時代に入ってから原木を用いた人工栽培が始まりますが、その方法は鉈目（なため）式と呼ばれ、広葉樹原木に鉈や斧で傷をつけ自然に胞子が付着するのを待つ方法でした。この方法は明治時代まで行われていましたが、自然任せであり、発生が確実になったのは、昭和 18 年に森喜作がシイタケ菌を培養した駒菌（木片に菌糸を蔓延させたもの）の製造に成功してからです。昭和 30 年以降には多くの種菌メーカーが参入し、シイタケの原木栽培は飛躍的に増加しました（竹内 2008）。

この原木栽培シイタケも、重い原木を扱うという重労働と、自然栽培であるため生シイタケでは通年出荷が不可能ということから、平成に入ると空調施設を用いた菌床栽培が主流となりました（写真 –2）。また、東日本大震災に伴う原発事故以来、東北、北関東を中心にシイタケ栽培用原木の入手が困難になり、出荷規制や風評被害ともあいまって原木シイタケの生産量は減少し続け、現在では原木の生シイタケの割合は 2 割を切っています。

しかしながら、低温でじっくり育った原木シイタケは歯ごたえ、風味ともに菌床栽培品に劣らず高値で取引されており、地域によってはブランド化が図られています。なお、今でも国産乾シイタケの大半は原木栽培により生産されています。また、ヒラタケ、ナメコ等その他の原木栽培きのこも、生産量は少ないものの、菌床栽培品と比べて高値で流通しています（写真 –3）。

菌床栽培きのこ

原木栽培に対し、おが粉と栄養体をビンや袋に詰めて栽培するのが菌床栽培です。栽培に使用するおが粉の種類はきのこによって異なり、安価な針葉樹おが粉で栽培可能なきのこから、広葉樹のおが粉やバーク堆肥等を用いないと発生が良くないきのこまで様々です。エノキタケやブナシメジ等、大手量販店で大量に流通しているきのこは、その大半が空調施設を用いたビン栽培により生産されており、培地基材としては主に針葉樹おが粉が使用されています。菌床栽培きのこの中でも特にエノキタケのビン栽培の歴史は古く、昭和の初期にガラスビンを用いた栽培方法が開発されています。しかしながら、本格的な大量生産が始まったのは昭和 40 年代に入ってからです。

三重県では、昭和 40 年代から松阪地域を中心にヒラタケのビン栽培が始まり（写真 –4）、三重しめじとしてブランド化が図られてきました。平成初期には年間 2,000 t を超える生産があり、その生産量は全国でも上位を占めていましたが、日持ちの良いブナシメジの進出に伴い、ヒラタケの生産量は年々減少していきました。

写真 –2　シイタケ菌床栽培

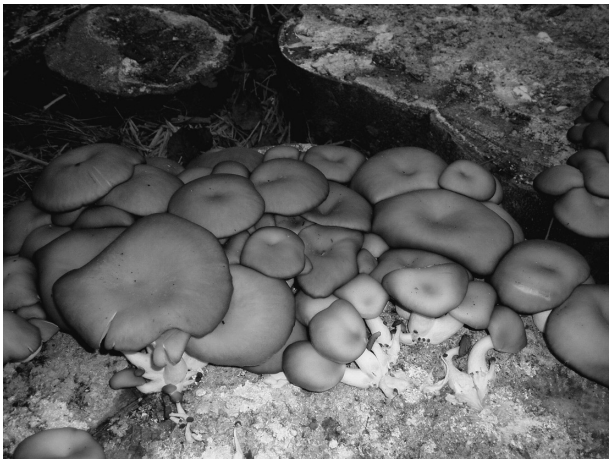


写真 –3　ヒラタケ原木栽培

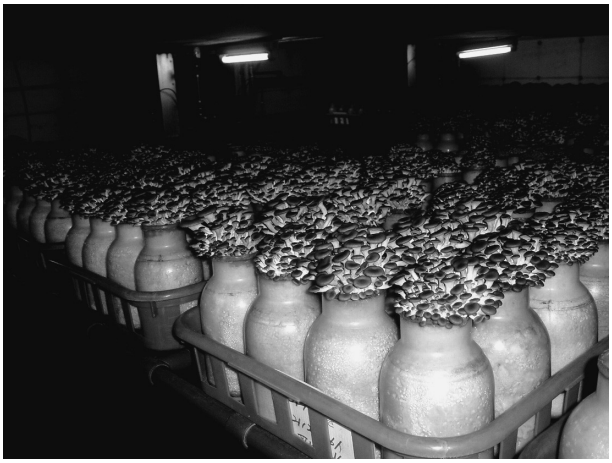


写真 –4　ヒラタケビン栽培

ビン栽培のきのこはライン化が容易で大量生産が可能であることから、大手きのこメーカーが生産に取り組み、安価に販売されています。そこで、三重県では既存のビン栽培施設の流用が可能な新しいきのことして、ハタケシメジのビン栽培の開発に取り組んできました（写真 –5）。しかしながら、ビン栽培のハタケシメジは、ブナ

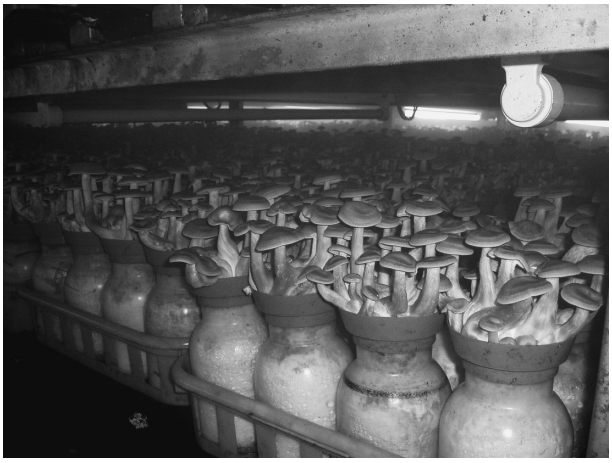


写真 –5　ハタケシメジビン栽培

写真 –6　ハタケシメジ袋栽培

シメジとの形状による差別化が困難なため、菌床袋栽培による大型のハタケシメジの生産に取り組み、差別化を図ってきました（写真 –6）（西井ら 2014）。

ビン栽培に対して、菌床袋栽培のきのこでは機械化できない作業が多いため、零細な生産者にとっては有利です。特にシイタケの菌床栽培では手作業による収穫が主流になるため、中山間地域における重要な産業となっています。しかしながら、菌床製造には仕込み、殺菌、培養施設といった多額な設備投資が必要なことから、零細な生産者では新規参入が困難です。そこで、松阪飯南森林組合では、おが粉の製造から菌床作製、販売までを一貫とした菌床培養センターを整備し、県内外に菌床の販売を行っています（写真 –7、8、9、10）。生産者は培養の完了したシイタケ菌床を購入することにより、発生施設の整備のみでシイタケ通年栽培が可能です。また、季節栽培であれば簡易な施設で栽培が可能なことから、農業との複合経営としての導入も容易です。また松阪飯南森林組合では、この施設を流用することによりシイタケ菌床に限らず、ヒラタケ、ナメコ、アラゲキクラゲ等他のきのこの菌床製造にも取り組み、生産者に供給しています。これにより、零細な生産者が多品目のきのこ生産に取り組むことが可能になり、直売所等を中心に販売を拡大しています。

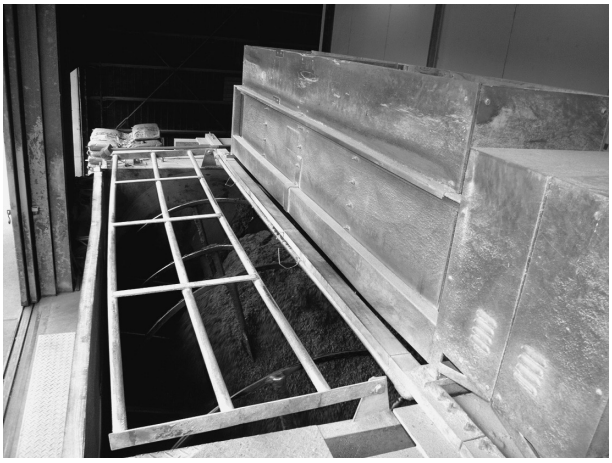


写真 –7　培地作製

写真 –8　袋詰め作業

さらに、松阪飯南森林組合では、主に県内産の広葉樹原木を購入し（写真 –11）、おが粉の製造販売（写真 –12）、自社菌床用の原料としても使用するなど、森林組合としての特性を生かした事業にも取り組んでいます。

シイタケ原木栽培では、趣味で栽培を行う程度なら様々な樹種の原木が利用できますが、安定的な収量を得るためにはコナラ、クヌギ原木を用いる必要があります。それに対し菌床栽培ではクヌギ、コナラ原木の他にシイ、カシといった通常では原木栽培に用いない樹種の利用が可能です。

おわりに

菌床栽培きのこの販売拡大に伴い、利用する樹種も増えました。栽培きのこを食べることは、間接的に森を食べる機会の増加につながっているのではないでしょうか。ただし、きのこを購入する際に気をつけていただきたいことがあります。それは、同じ種類のきのこであっても、培地基材としてコーンコブやコットンハルといっ

写真 –9　殺菌

写真 –10　培養

写真 –11　広葉樹原木の購入

写真 –12　おが粉の製造

た木質以外の輸入原料を用いて栽培されているもの、菌床そのものを外国から輸入して国内で生産しているきのこが流通しています。これらのきのこは国産きのことして販売されており、商品から見分けることは困難です。そのためにも「品質」、「安全性」、「環境への配慮」など一定の基準を満たした農作物に認められる GAP（適正農業規範）や地域の安全認証等、生産履歴のはっきりした商品を購入することをお勧めします。

引　用　文　献

江口文男・渡辺泰雄編著（2001）キノコを科学する．地人書館

西井孝文他（2014）改訂版最新きのこ栽培技術．株式会社特産情報

竹内嘉江（2008）原木シイタケ栽培の歴史と基礎知識．長野県技術情報 No.132 長野県林業総合センター

シリーズ 森をはかる その70

森林流域の地下水をはかる

榊原　厚一（さかきばら　こういち、信州大学理学部）

はじめに

森林に降り注いだ雨が林床に到達すると、その雨水はどこへ向かうのでしょうか？森林土壌が発達した森林では、地中に水を浸透させる能力は200 mm/hour以上あるという試算があります[1)]。1時間に200 mmの雨が降っても、森林はその全てを浸透させてしまうということになります。これこそが、森林の機能の一側面として「水源涵養機能」を挙げることができる所以の一つです。もし、天然林の伐採や不管理人工林の荒廃が進み、森林土壌が水を浸透させなくなったら、どのようになってしまうのでしょうか。降り注いだ雨はすぐに流出し、森林における水賦存量の著しい低下や洪水・土砂災害の増大をもたらすことが懸念されます。このように、森林が有する「水源涵養機能」は極めて重要です。

水源涵養機能を評価する手法には、水収支による検討・数値シミュレーションや森林内の水（土壌水や地下水）の動きを把握するためのトレーサー法等が存在します。これまでの多くの研究により知見の蓄積がされてきたことは言うまでもありません。しかしながら、「“森林水源涵養機能に対する社会の期待と研究者の認識との隔たりを解消しきれていない”」との明確な指摘があり[2)]、その隔たりが官民一体となった適切な森林管理を難しくしている一因と考えられます。今回は、地中に存在するため動態が認知しにくい「涵養水の行き着く先の一部である森林流域の地下水」のはかりかたを紹介します。本稿が、社会の期待と研究者の認識との隔たりを解消する一助になれば幸いです。

地下水とは何か？はかるべき情報は何か？

地下水の定義は何か、この質問には次のように答えることが適当であると思います。「地下水とは、地表面より下部において間隙を完全に満たしている（飽和）地中水である」。地表面から下方へ土壌を掘削していくと、いずれ水面が表れます。この水面のことを地下水面といい、それより下方の間隙は全て水で飽和しています。そのため、地下水面よりも下方に存在する水が地下水であると言えます。一方、地下水面の上方は水・空気・土粒子が混在しています（不飽和）。この不飽和帯に存在する水を土壌水といいます。しかし、ここで定義を複雑にする領域として「毛管水帯」というものがあります。毛管水帯は、毛管現象により土壌中の間隙が地下水を上方へ吸い上げている領域であり、地下水面付近の土壌水帯は飽和することになります。この飽和毛管水帯は水で間隙が飽和する状態ですが、地下水面の上方に存在するため、土壌水帯の一部として考えられることが通例です。

さて、森林に雨が降るとその雨は地表面から地中へ浸透し、不飽和帯をさらに降下浸透します。やがて、降下浸透する水が地下水面に到達すると、地下水の一部となります。このことを地下水涵養といい、森林の水源涵養機能を説明する重要なプロセスの一つです。地下水は、ポテンシャルの分布により様々な方向と速度で流動します。このことから、地下水のポテンシャルの測定が地下水流動を視覚化する上で極めて重要です。さらに、地下水に涵養された水がどのくらいその場に留まっているのかという情報を反映する地下水の滞留時間は、森林の水源涵養機能に影響を与えると推察され、これも重要な要素となります。

地下水のポテンシャルをはかる

認知することが難しい、地下水の流れは地下水のポテンシャル（地下水の持つエネルギーと考えると分かりやすいかもしれません）をはかることで、理解することができます。風は気圧の高い（ポテンシャルの高い）方向から低い（ポテンシャルの低い）方向へ流れます。地下水も同様にポテンシャルの高い方向から低い方向へ流れるのです。地表水のポテンシャルは基本的に重力に支配され、標高の高い場所から低い方向へのみ移行します。しかし、地下水では、重力と同時に水圧がかかるためポテンシャルの逆転が起こり、地下深部から地表面へ向かう上向きの地下水の流れが生じることもあります。

では、どのように地下水のポテンシャルをはかるのでしょうか。地下水のポテンシャルを直接はかることは容易ではないため、図–1に示しているような井戸を掘削し、その地下水面標高をはかる方法が一般的となっています。すなわち、地下水のポテンシャルはある基準面からの水中高（mH_2O）で表されることになります。図–1は、スクリーン（地下水が井戸孔内に入れるようになっている場所）の深度（3 m、5 m、10 m）が異なる3つの井戸を設置した状況を示しています。例えば、3 mの井戸の水位が5 mの井戸の水位より高い位置にあるとします。この状況は、「地下3 mの地下水のポテンシャルは地下5 mの地下水のポテンシャルより高い」と言い換えることができ、地下水は地下3 mから地下5 m

図 -1　福島県の森林水文試験地の観測井 [3)]

の方向へ流動していることになります。また、全ての井戸の地下水面が同じ標高にある場合、3 深度の地下水のポテンシャルが等しいことを意味しています。この場合、上下方向の地下水流動は生じておらず、横方向の流動、もしくは流動が停滞していることになります。このように、地下水面標高（ポテンシャル）を計測することで、目に見えない地下水の動きを明らかにできます。

地下水の滞留時間をはかる

水の滞留時間は、「水文システムへの水の流入から経過した時間」のことを言います。滞留時間が長い地下水ほど長く地下水として留まっており、滞留時間が短い地下水ほど早く流去するということになります。地下水の滞留時間と森林の機能を直接結びつけることは一概にはできませんが、森林の水源涵養機能等を評価する上で重要な情報となります。

地下水の滞留時間の推定法は多岐に渡りますが、ここでは年代情報を有するトレーサーを用いる手法を紹介します。1 年から数 10 年の滞留時間を有する地下水を対象とする場合、フロン（CFCs）や六フッ化硫黄（SF_6）等の気体トレーサーが国内外の研究で用いられています[4)]。これらは、大気中濃度の経年変化が既知である（図 -2）ことが最大の特徴です。地下水は、飽和地中水ですので、地下水へ水が涵養されると、その水は CFCs や SF_6 が存在する大気とは隔離された状態で流動します。すなわち、地下水中の CFCs や SF_6 は地下水涵養時の大気中濃度を反映したままの状態となっています。このことから、採取した地下水試料中の CFCs や SF_6 の濃度を大気中濃度に換算し、図 -2 に示す経年変化と比較することで、涵養年が推定できることになります。2017 年 2 月にこの手法を用い、図 -1 に示す観測井戸の地下水滞留時間を推定しました、その結果、3 m、5 m、10 m の地下水の滞留時間はそれぞれ、1 年、4 年、7 年であり、深部地下水ほど滞留時間が長いことが分かりました。

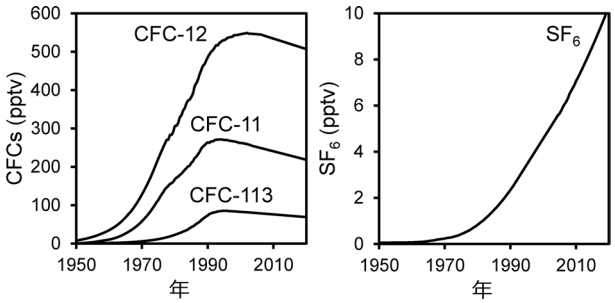


図 -2　CFCs と SF_6 の北半球大気中濃度の経年変化 [5)]

おわりに

本稿は、地下水のポテンシャルと滞留時間のはかりかたを紹介しました。両者を実際に行うためには、井戸の掘削・特殊な揚水と分析のテクニック等、超えなければならない壁があります。しかしながら、水源涵養機能をはじめとする森林が有する機能の正確な評価には、地下水の動態把握は欠かせないものであると思います。今後、森林流域における地下水の理解の発展に寄与しうる、密な観測網の整備が求められていると考えています。目に見えない地下を流動している地下水の物理的な動きと時間スケールについて普段地下水に馴染みがない読者の方々に興味を持っていただけたら幸いです。

引　用　文　献

1）太田猛彦（1992）森林斜面における雨水移動の実態.（森林水文学．塚本良則編，文永堂）．125–157
2）田中隆文（2012）特集「森林水源涵養機能の研究方向・研究方針を問う」にあたって．水利科学 56: 1–3
3）Sakakibara K, Tsujimura M, Iwagami S, Sato Y, Nagano K, Onda Y（2019）Effectivity of dissolved SF_6 tracer for clarification of rainfall–runoff processes in a forested headwater catchment. Hydrol. Process. 33: 892–904
4）榊原厚一・辻村真貴・浅井和由（2017）六フッ化硫黄（SF_6）を用いた地下水の滞留時間推定における課題と展望．地下水学会誌 59: 87–103
5）USGS The Reston Groundwater Dating Laboratory（CFC Report 2020.xls）：https://water.usgs.gov/lab/software/USGS_CFC/（2019 年 7 月 30 日確認）.

林業遺産紀行 第15回

遠山森林鉄道の資料および道具類・遺構群

竹本 太郎（たけもと たろう、東京農工大学）

遠山郷とは

遠山郷は、長野県飯田市の南東部に位置し、その南部は静岡県浜松市に隣接する。赤石山脈（南アルプス）南部の兎岳、聖岳、光岳などを東側に見上げるこの地域には、南北に走る中央構造線が作った上村川、遠山川の両岸に古くから集落が形成されてきた。現在は川沿いに国道 152 号が整備され、飯田市中心街からのアクセスも車で小一時間と良くなっている。

遠山郷は行政区としては旧上村と旧南信濃村になる。そもそもこの地域は、1899（明治 22）年の明治合併の際に、上村、木沢村、八重河内村、和田村、南和田村が「和田村外四ヶ村組合」として組合村を形成したが、1947（昭和 22）年になって上村が、さらに 1950（昭和 25）年には木沢村が組合村から独立するという経緯を辿った。残った八重河内村、和田村、南和田村は 1955（昭和 30）年に組合村から遠山村となり、1960（昭和 35）年に木沢村と合併し南信濃村と改称した。2005（平成 17）年、上村と南信濃村が飯田市に編入されて現在に至る[1)]。

東の赤石山脈を源流とする遠山川と北からの上村川が合流する地点が旧木沢村の梨元で、遠山郷の中央部にあたる。ここが、遠山川沿いに広がる豊かな森林を伐採・搬出した遠山森林鉄道の基地で、貯木場があった場所である。この遠山森林鉄道を、地元では愛着を込めて「林鉄」と呼んでいる。（写真 –1）

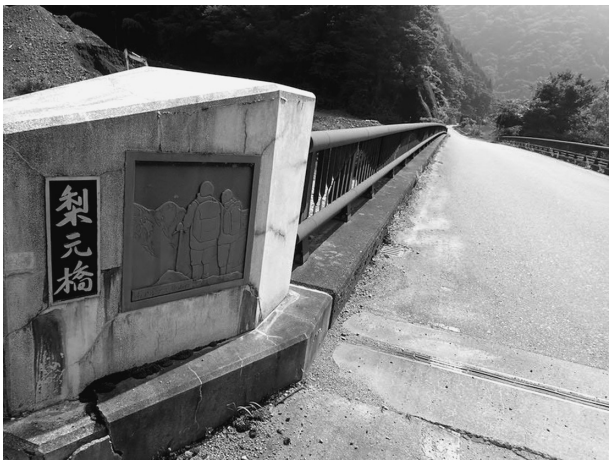


写真 –1　梨元から約 20 km 奥まで林鉄は延びていた。

林鉄ができるまで

遠山の山林は林鉄の敷設以前から盛んに利用されてきたが、所有は大きく二つに分けられる。集落に近い内山「遠山共有山」およそ 6,000 ha と、帝室林野局が管理してきた御料林である外山およそ 12,000 ha である。内山も外山もそもそもは幕府の御林だった。明治の山林官民有区分を経て、中腹以下が上村、木沢村、和田村、八重河内村、南和田村の共有する山林として払い下げられたが、混乱のなかで王子製紙が 1895（明治 28）年に立木伐採権を 1947（昭和 22）年まで得ることになった。このために地元住民による利用が長期に渡り排除され、御料林より先に伐採が進んだ[2)]。

一方、御料林となった中腹以上の外山は、ほとんど手つかずのままであったが、戦中に敷設された林鉄によって本格的な伐採・搬出が始まることになる。林鉄は、聖岳や兎岳から流れ出る遠山川に沿って、外山である御料林から内山の遠山共有山へ、さらに私有林を通って木沢村梨元に至る。そのため、帝室林野局（林政統一以降は国有林）の軌道でありながら、遠山共有山や私有林からの木材搬出にも利用されることになった。

林鉄の開通から閉鎖まで

帝室林野局木曽支局が 1940（昭和 15）年に着工した林鉄の軌道は、2 年後に梨元から 10 km ほどのところにある北又渡まで到達した。遠山川は北に向かう支流の北又沢と東に向かう本谷とにこの北又渡で分岐する。1944（昭和 19）年末に北又沢の大沢渡まで（梨元―大沢渡、19.6 km）が開通し、同時に梨元の貯木場が完成し、事業が始まった。戦後、1947（昭和 22）年の林政統一で御料林は国有林となるが伐採は継続され、1956（昭和 31）年には、本谷線（北又渡―西沢渡、10.9 km）が開通した。

一方、大正末期までに遠山共有山を伐り終えていた王子製紙は、権利を村に戻さずに、1944（昭和 19）年に与志本合資会社・新田合板会社に売却したが、組合村は県の仲介で両社から権利を取り戻した。以降、遠山共有山や私有林からの木材搬出は、与志本をはじめとする民

写真 –2　綺麗に保存されている旧木沢小学校木造校舎

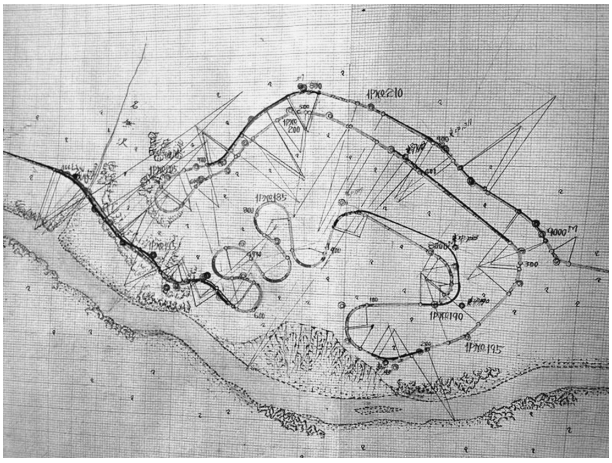


写真 –3 「林鉄資料館」に展示されている線路図

写真 –4　梨元貯木場跡地に展示されている客車とレール

間会社に委託され、軌道を借用して行われた。1968（昭和 43）年に国有林飯田営林署が事業を終了し、上流部の順に軌道を撤去していったが、民間会社らは 1973（昭和 48）年まで北又渡より手前を中心に利用し続けた。

林鉄の保存と利用

1930（昭和 5）年に大火に見舞われたため翌年に建築された旧木沢小学校の木造校舎は、林業で栄えた時期を思い出させる場所でもある（写真 –2）。2000（平成 12）年に閉校したあと（1991（平成 3）年から休校）、木沢地区活性化推進協議会が発足し、木造校舎や跡地は地域の資料や写真、思い出を展示するために活用され、林鉄の資料や道具類は主たる展示物になっている [3)]。校舎 2 階の「林鉄資料館」には 2,000 分の 1 の線路図（北又渡―西沢渡間。実物のカラーコピーを展示（写真 –3））や写真、工具・電話機・標識など道具類が展示されている。

木造校舎から歩いてすぐのところにかつての梨元貯木場跡地がある。別の場所で朽ちかけていた機関車 96 号と客車を前澤憲道さんら有志が 1999（平成 11）年にここに運び込んで整備を開始し、2011（平成 23）年には「夢をつなごう遠山森林鉄道の会」を発足させた。同会の活動記録によれば、翌 12 年にレールを 100 m まで延長し、機関車 96 号を走行可能な状態に復元した。その後も客車や車庫を造り、レールも 350 m に延長し周遊コースにした（写真 –4）。今後は植栽をして森林公園にすることを目指している。

林業遺産としての林鉄と今後の期待

2018（平成 29）年 5 月に林鉄は、酒井秀夫東大名誉教授の推薦で日本森林学会林業遺産 No.28.「遠山森林鉄道の資料および道具類・遺構群」に登録された。森林鉄道の総合的な遺産であるのみならず、状態も良好であり、保存活動が住民主導で行なわれている点が高く評価された。旧木沢村はもちろん遠山郷の多くの人たちが大切にしているこの林鉄は、遠山郷がかつて林業で賑わっていたことを思い出させてくれる貴重な遺産であろう。

今回、軌道跡についてほとんど触れることができなかったが、通行止めなどによるアクセスの悪さを解消させ、ウォーキングコースの整備や見どころの紹介が進むことを期待する。とりわけ北又渡周辺の橋梁や隧道（トンネル）、擁壁といった遺構は大きな観光資源となりうる。

引　用　文　献

1）飯田市美術博物館柳田國男記念民俗研究所編（2010）遠山谷中部の民俗
2）南信濃村史編纂委員会（1976）南信濃村史　遠山. 第一法規出版
3）遠山森林鉄道写真集刊行委員会編（2015）遠山　森林鉄道と山で働いた人々の記録　第 2 刷. 南信州新聞社出版局

シリーズ

現場の要請を受けての研究㊵

熊本地域における森林の地下水涵養機能の評価に向けた取り組み

井手　淳一郎（いで　じゅんいちろう、九州大学持続可能な社会のための決断科学センター）
宮野　岳明（みやの　たけあき、地域事業協同組合）
大槻　恭一（おおつき　きょういち、九州大学大学院 農学研究院 環境農学部門）

1. はじめに

熊本市を含む 11 市町村で構成される熊本地域は豊富な天然の地下水資源に恵まれており、生活用水源のほぼ 100% を地下水に依存しています。熊本地域の年間降水量は平均で 2,000 mm を超えており、この降水の一部が主に森林や草地、水田、畑地等で深部浸透し、地下水として阿蘇の噴火でできた帯水層を流動します。本地域の周囲は阿蘇外輪山西麓をはじめとした山塊で囲まれ、広大な地下水盆を形成しています（小嶋 2010）。この地下水盆の中に地下水を通しやすい阿蘇火砕流堆積物や亀裂に富んだ砂礫層、新期火山層の堆積土壌が分布します。阿蘇外輪山西麓からの地下水は約 20 年かけて熊本市内まで到達します（今坂 2014）。

近年、熊本地域における地下水涵養（かんよう）域の減少が懸念されています（小嶋 2010）。これは工業地帯の面積拡大や宅地化等によって土地利用が大きく変化していることが主な要因です。都市化によってコンクリートやアスファルトで覆われた地表では、雨水の大半は流出し、地下水としてはほとんど涵養されません。一方、水田は多量の地下水涵養が期待できる土地利用ですが、米の価格低下や農家の高齢化等を背景としてその面積が減少傾向にあります。このような土地利用の変化は、過去数十年の間に進んだ湧水量と地下水位の減少の原因であるといわれています（今坂 2014）。

水田へ水を供給する河川の源頭域に位置する森林の管理不足も地下水涵養量へ影響することが考えられます。我が国ではスギ・ヒノキ等の針葉樹人工林が全森林面積の約 40% を占めますが、近年の木材価格の低迷と林業の担い手不足から十分な管理が行われていません（藤森 2000）。このような森林では適切な間伐等が行われておらず、立木密度が高いため蒸発散量、とくに遮断蒸発量が多くなり、大気に戻される水が多くなります（小松 2010）。このため、森林への降水のうち、河川への流出や地下水へ配分される水量が減ることが懸念されます。近年、木材生産のほか、水源涵養機能や洪水緩和等、森林の多面的機能への期待が高まっていることから、間伐等の森林整備がこのような地下水涵養機能に及ぼす影響の客観的な評価や知見は社会的なニーズと強く結びついています（田中 2012）。

本報では熊本地域の地下水保全に取り組んでいる公益財団法人くまもと地下水財団の事業概要を簡単に紹介し、当財団からの要請を受けて九州大学持続可能な社会のための決断科学センターが実施している森林の地下水涵養評価の取り組み、およびそれに係る教育活動について解説します。

2. くまもと地下水財団と地下水涵養事業

複数の市町村で構成される熊本地域は重要な公共用水である地下水を共有する共同体であり、地下水を持続的に保全する共通課題を有しています。しかし、この地下水保全は個々の市町村単位の活動ではその効果が限定的となります。そこで、熊本地域全域の地下水に関する課題に長期的に取り組むべく、公益財団法人くまもと地下水財団（以下、財団）が創設されました。財団は産学官連携のもと、熊本地域の地下水保全を目的とした事業を多角的かつ複合的に実施しています。財団の事業の詳細については財団ホームページ＊注1をご参照ください。

財団の事業の柱の一つとして地下水量の確保・保全を図る“地下水涵養事業”があり、その中に冬期湛水事業があります（図 –1）。これは、稲刈り後から翌年の作付けまで休耕している農地を湛水することにより地下水涵養量の増大を図る事業です。地下水涵養が期待できる水田面積の拡大は、前述したように、米価の低下や高齢化等をはじめとした様々な課題があるために簡単ではありません。一方、この湛水事業は大手飲料メーカーとも連携して実施され（山下ら 2013）、地下水涵養だけでなく、生物多様性の保全や除草剤の抑制（例えば、金子・中村 2009）等の様々なメリットが農家や地域から報告され、効果の広がりを見せています。

この冬期湛水事業は、2004 年から開始された「白川

図 –1　休耕田を活用した冬期湛水事業

図 –2　育水の森における間伐

中流域水田湛水事業」等の熊本地域における地下水涵養対策事業（小嶋 2010）の効果と相まって、緑川水系の河川膨張湖である江津湖の湧水量の増加に寄与しています。江津湖は日湧水量が約 40 万トンの熊本市最大の湧水池です。熊本地域の地下水の流れの大部分は江津湖周辺の湧水地帯にいったん集約されるため、江津湖の湧水量の変動は地下水賦存量の変化の指標として用いられます（例えば、今辻ら 2008）。江津湖の平均日湧水量は 1992 年から 2005 年にかけて減少傾向にありましたが、2005 年から漸増傾向に転じ、2016 年には 2005 年の平均日湧水量の約 1.3 倍にまで回復しました（水循環政策本部事務局 2018）。

3. 地下水涵養機能の評価に向けて

財団は水田における冬期湛水事業の効果について減水深を計測し継続的に評価を進めてきましたが、森林の地下水涵養機能に関する事業に関しては十分に評価してきませんでした。なぜなら、森林は地形や地質、また土壌の空間的な不均一性から水循環過程が水田に比べ複雑であり、森林の水循環過程を客観的に評価するノウハウや体制を財団が有していなかったためです。そこで財団は、森林水文学等の環境科学分野の教員を擁し、学術成果の社会実装に関わる学際分野に注力する九州大学持続可能な社会のための決断科学センター（以下、決断科学センター）と連携して＊注 2 熊本地域の森林における地下水涵養機能の評価に取り組むこととなりました。

財団は「育水の森」を所有し、地下水保全事業の一環として森林整備を行っています（図 –2）。「育水の森」の一部（18ha）を森林水文試験地（流域試験地）として設定し、平成 30 年より地下水涵養機能の評価に関する総合的な観測を開始することになりました。このため、当試験地の末端部に設置された量水堰を用いて渓流の量水観測をスタートしました。また、地元の農家の協力を得て「育水の森」に隣接する水田において気象観測ステーションを設置し、雨量、日射、温湿度等の気象観測を開始しました。

本取り組みでは、水文観測により流域水収支（流域に流入する水と流域から流出する水の量の差）を把握し、深部浸透量を地下水涵養量として評価することを目指しています（図 –3）。これまでのところ、年間の降水量、蒸発散量、基底流出量（地下水流出量）を大まかではありますが算出するに至っています。平成 30 年度の算定では年降水量 2,096 mm の約 46% に当たる 962 mm が蒸発散として失われる一方で、年降水量の約 54%（1,136 mm）が渓流水や地下水へ供給されていました。また、年降水量の 37%（776 mm）もの部分が基底流出として森林流域外に流出していました。隣接する農村集落（西原村小野地区）では育水の森からの水資源を生活用水および農業用水として活用しています。したがって、私たちの観測に基づく算定結果から、育水の森からの豊富な水がこの地域の生活用水や農業用水の安定に寄与していることが考えられました。

しかし現在の観測では様々な課題があり、特に出水時の流出量を十分に評価できていません。この克服に向け観測体制の強化を図っています。その一つがリモートデータロガーを用いたリアルタイムモニタリングです。「育水の森」は中山間地域に位置し、いわゆる遠隔地域であり高頻度の定期観測が困難です。このため、量水観測に用いる水位計や気象測器のメンテナンスのタイミングを図ることが難しい状況です。リモートデータロガーを用いることにより、インターネットを介してデータをモニタリングし、異常があった際にメンテナンスを実施できる観測体制を構築しました。さらに、本取り組みを広く知ってもらうため、当モニタリングシステムを活用して一般向けにデータ公開できるよう準備を進めています。

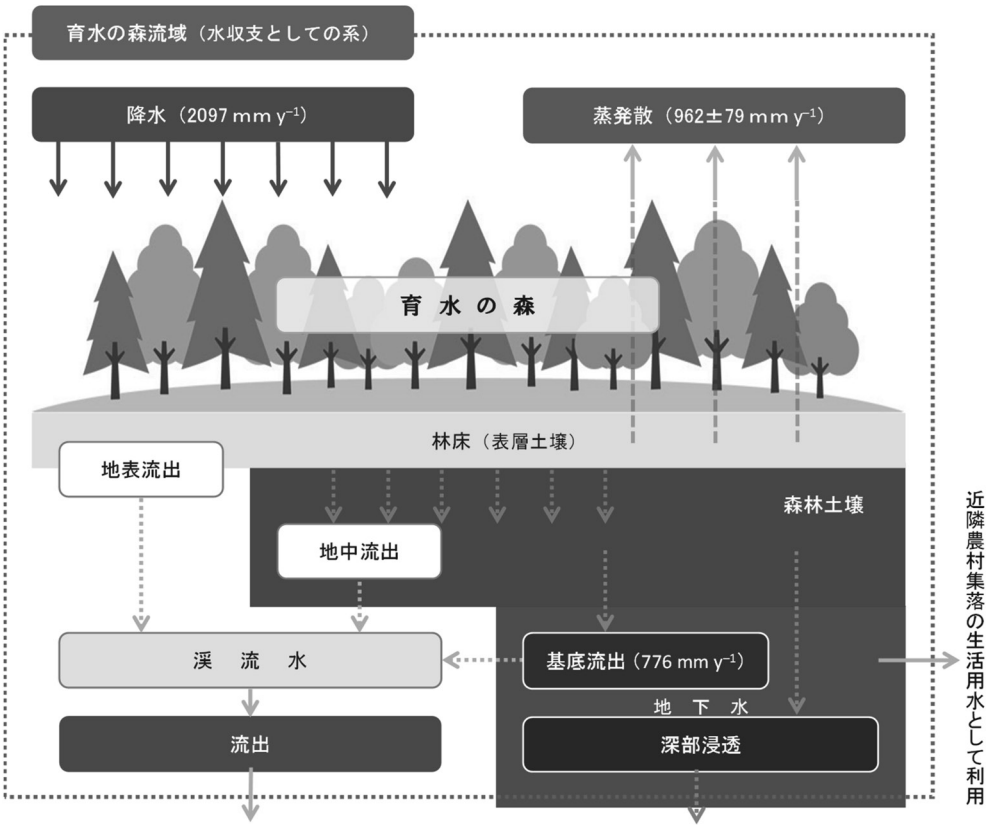


図 –3　育水の森における水収支（「平成 30 年度育水の森水文観測及び水源涵養機能の評価報告書」より改変作成）

4.「育水の森」を活用した教育の場の提供

決断科学センターは財団と連携する中で、「育水の森」を大学院生への教育研究の場としても活用しています。九州大学の大学院生は「持続可能な社会を拓く決断科学大学院プログラム」の中で、「育水の森」の水文観測設備を利用し、間伐等の森林整備が森林の水循環や地下水涵養量に及ぼす影響を一般向けに視覚化する試みを行っています。「育水の森」のヒノキ林に間伐区（本数間伐率 30%）と非間伐区の観測プロットを設置し、土壌水分等の水文条件の変化（図 –4）を、上述のリモートデータロガーを用いてリアルタイムで閲覧できる観測システムを構築中です。

水源涵養機能等の森林の多面的機能を向上させるためには、間伐等の森林整備が必要であると考えられます（例えば、恩田編 2008、Ide *et al*. 2009、小松 2010）。一方で、継続的な整備のためには森林経営によってその財源を確保していく必要があります。「育水の森」では財団の協力のもと、大学院生に現場で議論できる場を提供することで、環境保全と経営管理が両立する持続可能な森林施業のあり方を学んでいます。平成 30 年度には、財団の職員が木材の販売で得られる売上や木材生産の過程でかかる費用を解説し、どのような経営を行えば森林所有者（または林業事業体）が安定的な収入を得ることができ、かつ継続的に森林整備できるかについて議論しました（図 –5）。具体的に、木材市場で販売できない木材（未利用材）を製紙メーカーや木質バイオマス発電所に供給し森林所有者が収益を得る仕組みについて考えました。その一方で、九州地方における木質バイオマス発電所の未利用材の需要量は供給量を上回っており（安藤 2014）、その需要量を満たすために輸入材に頼る場合があるという地域の課題についても議論しました。

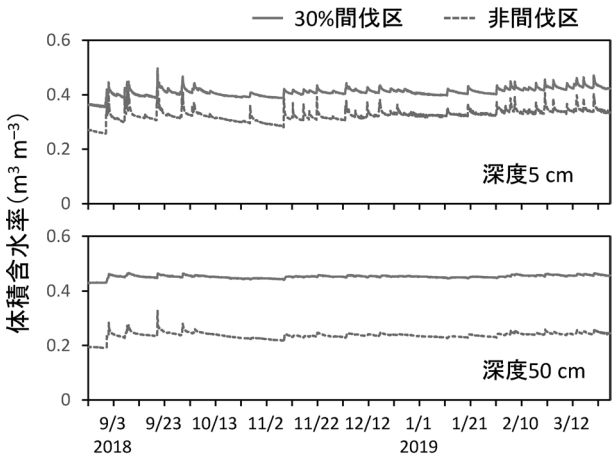


図 –4　ヒノキ林の間伐区と非間伐区において観測中の土壌水分の経時変化.

図–5　公益財団法人くまもと地下水財団職員による育水の森における取り組みの説明の様子（決断科学センター Facebook*注3 より抜粋）

5. おわりに

熊本地域ではこれまで水文観測に基づく森林の地下水涵養量の評価は行われていませんでした。本取り組みは、その地下水涵養量評価のための基礎的研究のスタートアップとして意義のあるものと考えられます。現在、熊本市が所有する水源涵養林においても水文観測に基づく地下水涵養量の評価が検討されています。したがって本取り組みは、今後、熊本地域における森林の地下水涵養量を調査する上で貴重なモデルケースとなることが期待されます。加えて、財団と決断科学センターが連携して取り組んでいる「育水の森」を活用した大学院生向けの現地実習は、水循環過程といった自然科学的知見を得るだけでなく、時流に沿った森林経営等についても学ぶことができる学際的かつ実践的な教育プログラムを提供できると考えています。

* 脚注

1. 公益財団法人くまもと地下水財団ホームページ「事業内容」の URL: https://kumamotogwf.or.jp/business.html

2. 九州大学トピックス「持続可能な社会のための決断科学センターと熊本県熊本市、公益財団法人くまもと地下水財団が協力協定を締結」: https://www.kyushu-u.ac.jp/ja/topics/view/1228

3. https://www.facebook.com/ketsudankagaku

引　用　文　献

安藤範親（2014）未利用材の供給不足が懸念される木質バイオマス発電―地域別需給推計と展望―．農林金融 67: 364–378

藤森隆郎（2000）森との共生．丸善ライブラリー．東京

Ide J, Kume T, Wakiyama Y, et al. (2009) Estimation of annual suspended sediment yield from a Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*) plantation considering antecedent rainfalls. For Ecol Manage 257: 1955–1965. doi: 10.1016/j.foreco.2009.02.011

今坂智恵子（2014）「世界が認めた熊本地域の持続的な地下水保全」．水利科学 337: 20–32

今辻銀二・市川　勉・荒牧昭二郎（2008）熊本水前寺・江津湖における湧水の変動とそのメカニズムについて．東海大学紀要産業工学部 1: 46–52

金子是久・中村俊彦（2009）冬期湛水が水田雑草に及ぼす影響．景観生態学 14: 62–72

小嶋一誠（2010）熊本地域における地下水管理行政の現状について．地下水学会誌 52: 49–64

小松　光（2010）森林と水資源．水利科学 54: 1–29

九州大学持続可能な社会のための決断科学センター（2019）平成 30 年度育水の森水文観測及び水源涵養機能の評価報告書.

水循環政策本部事務局（2018）世界に誇るくまもとの地下水保全．In: 流域マネジメントに関する各地域の取組の事例．26–31

恩田裕一編（2008）人工林の荒廃と水・土砂流出の実態．岩波書店．東京

田中隆文（2012）森林水源涵養機能の研究方向・研究方針を問う――「交わりの流域情報」から「結びの流域情報」への転換――．水利科学 324: 4–29

山下奉海・横内良介・兵頭　拓・島谷幸宏（2013）圃場整備済み水田域における冬期湛水田の水生生物生息場としての機能．H25 農業農村工学会大会講演会講演要旨集．212–213

森の休憩室 II
樹とともに　その 35

蒸散

二階堂　太郎
（にかいどう　たろう、国立科学博物館　筑波実験植物園）

ギラギラと肌を焼く日差し、体にまとわりつく熱気。呼吸をするだけでも疲れるのが 8 月の屋外作業。これまでの仕事経験からそんなのはもうへっちゃらと思っていましたが、今年は 7 月下旬まで日中気温 20 度前半の低温がずっと続き、高温に慣れるまでの期間がほとんどありませんでした。そうして急に迎えた夏本番、些細な仕事でも全身から汗が噴き出し、なのに体内の熱はまったく放散されない・・・。これは困った事態になりました。体のクールダウンをエアコンのみに依存すると炎天下との温度差が一層広がり、夏バテへ一直線ですから。

私はこれまでどうやって真夏を乗り越えて来たのでしょう。燃える太陽を背にして行うクロマツの剪定最中、ふっと、夏の涼の取り方はこうだったなと、造園会社の修業時代が頭に浮かびました。私は熱がこもった体を木陰へ移動させ、片膝をついて目をつむり、肌を露出している腕や首へ意識を集中させます。するとスッと微弱な風が肌をなで、ヒヤッと涼しい。そのまま続けると、風が次々に体のあちこちを流れ、どんどん熱を奪っていくのが意識せずとも分かるように。どんな風が吹いているのだろうと目を開けば、周囲の枝葉が僅かにゆらゆらしている程度です。そう、木陰でそよ風に当たるだけでも体温はかなり下がるのでした。体と意識がそれに気がつくと、労働中でも風を捉えられるようになるから不思議です。そして休憩時のクールダウンはエアコンから扇風機に代わりました。

汗で体温が下がる仕組みは、汗が蒸発する際に皮膚から体温を奪う事によります。そして植物の葉も、気孔から二酸化炭素を吸い込む際に、葉内の水を水蒸気として吸い出されています。これを蒸散と呼び、汗と同じように葉の温度を奪っています。動物の中で全身から汗をかいて体温を下げるのは人間と馬しかいないそうなので、植物は同じ苦労を共有する数少ない生き物ですね。さて、植物は蒸散でどれだけ温度を下げているのでしょうか。赤外線で物体の温度を測る機械を用い、外気温 37 度の午前 11 時に、日向と日陰それぞれでクスノキとトチノキの葉温を測定してみました。結果は、日向の葉は共に 37 度、日陰の葉は共に 32 度でした。直射日光に当っている厚さ 0.3 mm の葉は、その熱を全部取り込んだら 1 分で 100 度になるそうなので、このたび計測した日向の葉が 37 度であったのは、蒸散が葉から熱を奪ったからと言えましょう。なお、蒸散が奪うのは太陽からの熱の 50％とされています。

クロマツの幹の樹皮温度を計測したところ、日向 54 度、日陰 32 度、その差 22 度。樹皮は皮目から若干の蒸散がありますが、冷却力は余りないようです。そして日陰と言う環境は、それだけでとにかく涼しい。私は剪定の際、樹の幹を登って樹冠の内側から鋏を入れており、そうする理由の一つがまさにそれです。そしてその場所から外を見回すと、日に晒されている枝葉は外周表面だけで、ほとんどは互いの被陰下にある事が見て取れます。また、植物園圃場での鉢栽培では、多くの光を当てることよりも、如何に丁度良く遮光を施すかが健全な生育を促す鍵となっています。被陰下で生育することは競争においてマイナスとは言え、どうも樹木や森林は、自身や周囲木を使い、どうにかして涼しい環境に身を置こうとしている面があるように思えてなりません。太陽に強く晒されている個体や部位にとって、蓄積した熱を放散する蒸散と、熱の蓄積自体を日陰で避ける事は、光に当たらなければ生きられない宿命を背負う上でどれほど重要なのかもっと理解したいと考えています。

植物の蒸散量に話を移しますが、日本のとある森林の例では、1 日に m^2 当り 2 ～ 3 ℓ とあります。これは地中から 2 ～ 3 ℓ の水を空中へ移動させていると言う事です。ちなみに日本は国土の 66％を森林が覆い、その面積 2,500 万 ha。そこへ先ほどの m^2 当たり 2 ℓ を無理やり乗じると、1 日 5 千億 ℓ。その水をもし 500 ml のペットボトルに入れると 1 兆本、1 億 3 千万人の日本人に配ると 1 人当たり 1 日 7,700 本！地球全体で同じように計算すると、なんと 1 人当たり 1 日 21,000 本！架空の数字ではありますが、人が蒸散から受けている恩恵はなんと大きいのだろうと感じてしまいます。植物は数億年前に蒸散を原動力の一つに用い、根から葉までの水揚げを行う維管束を構築したわけですが、それはやがて地球の水循環プロセスの一経路をつかさどるまでになってしまいました。水と太陽のあるこの地球にて、蒸散は植物生理においても生態系においても凄いシステムと言えましょう。ちょっと残念なのが、植物の葉から出てくる水蒸気を目視できない事です。公園の木陰で休む時、街路樹の脇を車で通る時、森の中を歩くとき、葉っぱの裏から間違いなく水分が空中へ放出されているのに。葉の裏に生息するハダニやアザミウマ達には、気孔から吹き出す水蒸気は温泉の間欠泉のように見えているのでしょうか。私のいつか見たい物リストの項目が、また一つ増えてしまいました。

著者プロフィール
二階堂太郎：1970 年生まれ。山形大学農学部林学科修了後、新潟市の「らう造景」入社。後藤雄行氏に師事。現在は筑波実験植物園の技能補佐員。屋外と圃場の管理を担う。樹木医、森林インストラクター。著書「植物園で樹に登る」築地書館

記 録

日本森林学会公開シンポジウム開催報告「新たな森林教育研究の挑戦－研究と実践現場をつなぐ－」

井上　真理子
（いのうえ　まりこ、森林総合研究所多摩森林科学園）

日本森林学会第129回大会（2018年）では、教育部門が新設された。部門の創設を機に、公開シンポジウム「新たな森林教育研究の挑戦－研究と実践現場をつなぐ－」を2019年5月28日（火）に東京大学農学部中島ホールで開催した（参加者63名）。黒田会長あいさつで始まったシンポジウムの概要を紹介する（写真–1）。

1. 趣旨説明

井上真理子（森林総合研究所）

森林教育は、森林環境教育や木育が推進され、近年では森のようちえんの取り組みが盛んになるなど、関心が高まっている。活動は、林業普及指導員など行政関係者、小・中・高校の教育関係者、森林や木育のインストラクターや自然学校の指導者など様々な人達により行われている。

森林教育への関心の高まりを受け、2003年から学会大会で教育の企画セッションを継続的に開催してきた。歴史をさかのぼれば、昭和5（1930）年の林學會春季大会討論会で林学教育の改善がテーマとなっており、古くから教育へ関心が向けられていた[1)]。今日では、『森林教育』が刊行され[2)]、研究では、環境教育学や野外教育学、技術科や理科など学校教育、社会教育などの多様な教育の分野と関連して展開が図られている。教育研究の一部を、日林誌の教育特集（掲載予定）関係者を中心に紹介する。

2. 記念講演

森林教育研究のあゆみとこれから

大石康彦（森林総合研究所）

森林教育の領域は、幼稚園、小中高校、大学における制度化された教育である学校教育、博物館や青少年施設等における組織化された教育である社会教育、日常生活や遊びにおける無意図的な教育である家庭教育に及んでいる。森林教育の活動は、学習者と森林、指導者、プログラムの4要素で構成されており、地域社会の組織の事業などで行われている。森林教育は、早期からその内容として森林の多面的機能が捉えられており、森林科学の14分野をカバーしている。森林教育は、森林の様々な側面を捉え、様々な人々を対象とする総合的な教育実践である。

森林教育研究は、家高（1925）を嚆矢として、主に専門教育を対象に進められてきた[3)]。その後、1980年代以降に急速に研究テーマの幅が広がり、研究文献数も大幅に増加して現在に至っている[1、4)]。既往の研究例から、研究対象のミクロからメソ、マクロに至る空間スケールの広がりや、数年から数十年の時間スケールの広がりをみることができるように、森林教育研究は、森林教育に関わる多岐にわたる事象を多様なスケールで捉えた総合的な研究領域である。

加えて、森林教育研究には、研究と実践を両輪として前進していく特性がある。複雑多岐にわたる森林教育の諸事象に対し、実践を通すことなく、的確に検討課題や研究の方向性を見出していくことは困難である。

森林教育の隣接分野には、野外教育や環境教育がある。森林、野外、環境が概念・実態として重複しており、森林、野外、環境と教育の関係性は、いずれもin-about-forで捉えられていることが、隣接分野であることを裏付けている。森林教育研究が、教育学に根差した野外教育研究や環境教育研究から学ぶことは多い。一方、森林教育は、林木を育成、収穫、加工・利用する産業、生業である林業を捉えている点が、野外教育や環境教育とは異なる特色となっている。林業は、森林の破壊者として指弾さ

写真–1　シンポジウムの会場風景

れた経験があるが、人にとって不可欠な営為である。開発か保全かの二項対立に陥りがちな「人と自然の間の関係性」を捉える点では、森林教育に一日の長がある。森林教育は、持続可能な社会の実現に向けたSDGs（持続可能な開発目標）の達成に貢献し得るものである。

隣接分野と連携し、特色を生かし森林教育研究の発展を目指したい。

3. 森林教育に関する研究紹介

3.1. 児童を対象とした森林教育の紹介

杉浦克明（日本大学）

森林に関する多様な教育活動が展開されている中、人の発達段階にあわせた教育が必要性とされている[5]。発達段階の中でも比較的外で遊ぶ時間が多いのは、学童期といわれる。児童が日常的に樹木に触れるのは、小学校の校内や教科書、外遊びをする公園などである。報告では、児童が日常的に樹木に触れる可能性の高い校内、教科書、公園など児童の生活空間にある樹種と児童が認識している樹種名との関係性の研究を紹介する。

研究対象は、神奈川県藤沢市のK小学校で、対象学年は理科や社会科を学ぶ小学校4年生とした。方法は、K小学校内の樹木調査、K小学校で使用される4年生までの全科目の教科書掲載の樹種名の分析[6]、K小学校を中心に半径1km（児童の行動範囲）にある公園の樹木調査､アンケートによるK小学校4年生児童が認識している樹木名とその樹種を認識した理由[7]との照合とした。調査の結果､校内樹種30種､教科書樹種72種､公園樹種70種、児童回答樹種は62種であった。児童の回答樹種62種のうち、生活空間にある樹種は37種で、そのうち教科書に記載されている樹種が最も多かった。回答が多い上位樹種は、サクラ、イチョウ、マツ、カキ、ウメ、モミジで、果樹を除き、校内や公園にある児童が目にする機会が高い樹種の回答が多かった。数字だけを見れば、児童が樹種名を認識する上で教科書が最も影響しているように見えるが、児童は特定の手段だけで認識をしている訳ではなく、様々な手段で樹種を認識していた。つまり、日常的に触れ合う樹木の重要性が示唆された。

身近な樹木に関する教育研究は、都市部に住む児童の日常的な生活空間と児童が認識している樹木を把握することで、森林・林業に関心を向けてもらうための基礎情報となる。研究の蓄積が、「木も見て森も見る」人材を育成する教育研究につながる。

3.2. 野外教育研究と教育効果の研究紹介

山田亮（北海道教育大学岩見沢校）

体育学・スポーツ科学の領域の野外教育（Outdoor Education）は、自然環境をフィールドに行う各種の野外活動を教育の手段としてプログラム化し、自然環境や自然事象に対する認識力、行動や生活を共にする仲間に対する対人関係能力、新しい経験によって芽生える自己意識などを、それぞれ拡大・再発見し、人間としてあるべき姿に気づき、自然との共生を目指し、現代的課題に対応するスキルを身につけることを目的とした教育活動である。野外教育の教材となる活動は、登山やカヌーといった身体的活動だけではなく、自然観察や地域文化を探求する知的活動、絵画や写真といった文化芸術的活動も含まれ、そのほとんどが森林環境をフィールドとして活動が行われている。野外教育は、単に活動を体験するだけではなく、明確な教育目的のもと「体験学習法」など参加者の体験プロセスに焦点をあてた理論を用いてプログラムが実施される。

野外教育研究では、心理学で行われている臨床研究の研究手法を導入し、野外教育プログラムが心身に与える影響や教育効果について検証する実験的研究（量的研究）が多く行われている。研究方法には、プログラムを体験した参加者の心理的な変容効果について心理尺度を用いて測定し、体験前後で参加者全体の得点を比較するPre-Postモデルが用いられる。実験の独立変数には、プログラム全体、体験内容の違い、指導者の介入方法などが設定され、従属変数には、自己との関係（自己概念、自己肯定感、社会人基礎力、生きる力など）、他者との関係（社会的スキル、集団凝集性、援助行動など）、自然との関係（森林に関する認識、自然に対する態度、感性など）がある。また、プログラム全体の効果検証をする実験的研究に対して、事例研究（質的研究）も行われ、重視されている。集団の効果測定とは異なり、参加者一人ひとりの体験における内的プロセスに着目した手法で、観察法、面接法などの手法でデータを収集し、グラウンデッド・セオリー法などを用いて分析するものである。その他にも、歴史・哲学的研究（体験活動の体系化、野外概念の解釈など）、調査研究（効果測定の尺度開発、指導者のスキル、事業運営など）などがある[8]。

野外教育の効果を多角的に検証し、多様なプログラム開発を目指すには実験的研究と事例研究の融合を図ることが必要である。また、野外教育研究が捉えるべき事象[8]として、フィールド、プログラム、参加者、担い手、組織・事業運営、社会、地域などがあり、これらは、森林教育と野外教育が実践や研究で接点を持つ重要な鍵になると考える。

3.3. 学校における森林教育の内容研究

東原貴志（上越教育大学）

森林教育の研究分野においては、教育実践の報告が数多くみられる。それらを学校の教育課程に位置づけるためには、「学習指導要領」や教科教育との関係の研究が必要である。中学校技術･家庭科（技術分野）では、単元「栽培」に代わり2012年から「生物育成に関する技術」が必修化され、2021年から「生物育成の技術」（作物の栽培、動物の飼育及び水産生物の栽培）を扱うことになった。技術教育で、木材の生産などの森林・林業の内容を扱うことができる。

「木材の生産」を取り入れた技術教育のあり方を考察し、造林の基礎的な技術と木材の利用技術をあわせた学習プログラムを提案した[9]。教育の検証は、山間部にあり緑の少年団活動を行っている中学校で、地域の森林組合の協力を得て、枝打ちの実習、製材工場の見学、木材の乾燥、木材製品の製作実習を行った。再生可能な資源としての木材利用のあり方を考えさせる授業ができ、「木材の生産」の学習が深まった。一方、造林の基礎的な技術である枝打ちの意

味など、作業内容を理解させる工夫をしたが、知識や実習の指導内容が明確ではないことが課題となった。

そこで、かつて造林が教えられていた中学校職業・家庭科と、現在の高等学校森林科学の教科書の内容を抽出・整理を行った[10]。その結果、中学校での学習は、森林の多面的機能と林木の育成を中心とした基本的な内容で構成されていた。これを、技術・家庭科の「作物の栽培」の指導の時系列段階に従って分類した結果、共通する指導内容が多く、普通教育での林業の指導内容に一般化できる可能性があった。そこで、「生物育成の技術」の学習過程（作物や動物、水生生物の栽培や飼育）と同じ教育内容の枠組みで林木の育成の教育内容を明確にすることができた[11]。研究成果は、中学校技術・家庭科（技術分野）における生物育成技術としての木材生産の内容を例示したリーフレットにまとめた。

今後の学校教育では、社会科の「国土の保全などのための森林資源の働き及び自然災害の防止」学習と、技術・家庭科の「生物育成に関する技術の適切な評価・活用について考える」学習を通して、森林の保全と利用を共に教えることが必要である。

3.4. 森林・林業の専門教育研究と国際的な動向

井上真理子（森林総合研究所）

専門教育では、戦前から林業教育体制や教育内容、指導者、就職先（県や国有林）などの議論があった[4]。戦後は、学制改革（1947年）で教育制度が変わった。平成期には、大学や高等学校の学科改編が進んだ。本学会で「林学のあり方」が検討され、名称が森林科学へ変わった。近年では人材育成のニーズで林業大学校新設が相次いでいる。専門教育は、社会情勢を受け変化したが、森林科学から専門教育を捉えた研究は少ない。

高等学校（以下、高校）の研究を紹介する。高校の約2割を占める専門高校にある農業高校（303校）で、林業関係学科は33校ある（「学校基本調査」2018年）。森林・林業を学べる高校は72校あるが（林野庁調査）、林業関係の専門学科の他、他学科との統合学科、総合学科等で選択科目に森林・林業関連科目を持つ学校も含む。昭和期には林業科だったが、高校の専門学科は多様化した[12]。

高校の教育目標も、戦後で大きく変わった。昭和期に林業科の教育では、職業教育として林業に関わる技術者養成が目指されていたが（林業科目は最大10科目あった）、平成期には、進学を視野に入れた基礎的な専門教育となり、林業科の設定はなく、専門科目は3科目となった（「森林科学」、「森林経営」、「林産物利用」）[12]。環境科目が新設されたが、農業教育で森林・林業の独自性が薄れた。

次に、海外の状況を紹介する。IUFRO（国際森林研究機関連合）では、2010年に大学の専門教育を主テーマにDivision 6.09.が新設された。2014年に森林教育“Forest Education”に改称し、子ども達への教育も含むようになった（他に、Division 9.01.03“Extension”技術・知識の普及）。

森林教育は、国際的に重視されてきている。国連のSDGs目標4では、ESD（持続可能な開発のための教育）の推進を挙げている。また、「森林・科学・人々をつなぐ」を使命とするIUFROは、2015年に森林教育のプロジェクトを立ち上げた。2018年5月の国際森林フォーラム（UNFF）では、森林教育部門責任者Mika博士（ヘルシンキ大学）が講演し、「SDGsの実現に向け、森林教育が世界中の学校で必要」と指摘し、課題として「①何をどう教えるかの支援、②森林・林業界の協力、③森林教育研究の重要性」を挙げている。

IUFROは、「森林教育ベストプラクティス賞」を2019年に創設した。日本の活動はTOP10を受賞した[13]。日本の森林教育は、専門教育から一般向けまでを幅広く捉え、活動内容も林業体験から環境教育や自然体験など多様である。TOP10の他の活動は、専門教育や特定の年齢層向けである。日本で研究者が実践者と連携して多様な活動を展開している例は、他国になく、日本の先進性を高く評価された。日本の森林教育では、世界に先駆けた研究に取り組んでいる。

4. 総合討論

コーディネート比屋根哲（岩手大学）

4.1. ゲストコメント

日本木材学会（林産教育研究会）大谷忠氏（東京学芸大学）：森林の地球温暖化防止への貢献が認識され、国産材活用時代になった。SDGsの視点で川下・川上の連携が重要である。

学校教育の方法・内容は、教科別に決まっている。社会科の目標は国土の保全、理科の目標は自然への畏敬の念を育むことで、森林の保全につながる。持続可能な森林の利用と保全を学ぶには、技術科教育で木の利用の側面も学ぶことが重要である。

日本野外教育学会（理事）小森伸一氏（東京学芸大学）：野外教育と森林教育は、共に研究者が実践者・教育者で、実践から研究を取り上げ、成果を実践に活かす往還がある。野外教育の場は、森林に近く、「世界中の学校で森林教育が必要」の指摘は、SDGsの視点から共感する。仮に世界で森林がなくなれば、地球・人間生活は成り立たない。持続可能な社会では森林との関わりが必要である。

日本環境教育学会（副会長）水山光春氏（青山学院大学）：日本の環境教育の源流には、公害教育（公害問題に対する社会運動）と、自然教育（理科教育、レクリエーション）があり、両方を融合させる課題がある。環境教育では、感性（原体験を通じ）、認識（システム的思考、概念思考）、参加（変革：個人が意思決定し、行動に移す）を促す。また、社会の変革の論理には、最大多数の最大幸福（ベンサム）、困っている人をまず助ける（ロールズ）、パレート最適があり、目指す方向性の検討も必要である。

森林教育は、個人を中心に捉えた研究が多いが、社会や世の中を変える視点での検討も必要ではないか。

4.2. 質疑応答

学会長：小学校では、感想文などで感性を育むことが強く、論理を学ぶことが少ない。森林教育ではどうか。

大石：根源的な問題。個人的な経験では、森林教育には、年齢を問わず実践、体験が必要。論理、感情の片方では不足。体験を通じた矛盾・葛藤から、論理が見えることもある。

山田：体験学習サイクルでは、感想を、

仲間と共有するふりかえりで客観化し、体験を経験にする。大学生も文章化や生活への応用に苦労する。
会場A：外来種生物駆除の住民説明会で意義を伝えても、「殺鼠はかわいそう」で進まない。木の伐採は、林学分野が意義を伝える必要がある。
会場B：子供時代は野外で遊んでいたが、今は、野外での活動が減った。体験を通じて考える機会が必要だが、全人的な教育の一義的整理は難しい。感性を育む児童への教育と、実践的な専門教育は内容が違い、同じ教育軸で語ってよいか疑問がある。
井上：教育部門では、森林科学が捉える内容を教育の視点で研究する。専門教育には各分野の検討も必要。社会のニーズから生じた教育研究は先行例が少なく、研究手法は模索中。
会場C：教育部門として、学問を体系化する必要があるのではないか。
井上：森林科学の各分野の教育内容をまとめた専門教育の体系があれば、一般向けの教育も整理しやすいが、各分野の知見を統合する専門教育研究がない。学会を挙げた議論が必要。
学会長：林学から森林科学に変わった。内容が広がった森林科学については、「大学で何を教えるのか」を、森林学会で検討してゆく必要がある。
大石：専門教育も文部科学省の教育行政の中である。森林教育の全体が生涯にわたる教育として捉えられる。
会場D：大学の専門教育で、最低限教えるべき決まりはないのか？
会場E：大学教育は個別で実施。10年後の森林科学（専門教育）が心配。
比屋根:大学教育に決まりはない（演習林設置は必須）。大学間でバラバラ。
会場C：造林で教科書作成案が出たが、地域で生態や関わる知識が異なり、統一の教科書が作れなかった。
会場E：教育の問題は範囲が広い。人間の認識に限界があり、森林管理に予防原則が重要だと思うが、森林科学の原論がないのではないか。
比屋根：他分野から森林科学の紹介を求められても、紹介する本がない。
学会長：高校までの教科書は、関東が標準。林学の原論はドイツから、森林保護はアメリカから借りた。日本の森林科学をまとめる必要がある。
会場B：持続可能な森林経営が入り、「森林学とは？」の整理が難しい。
比屋根：森林教育と森林科学は、相互に乗り入れ、互いに深め合う必要がある。最後に発表者からひとこと。
井上：専門教育も議論でき良かった。
東原：議論があった「子どもたちに木の伐採を教える意義」について、シミュレーションでの収穫予測を加えた授業を行ったが、効果的だった。
山田：大学カリキュラムは、教員免許の資格に対応している。教育対象は広いが、自然環境の学びの意義を示したい（指導者養成､地域コーディネーターで目的・手法が異なる）。
杉浦：専門教育と子供の教育は、発達段階で捉えられる。人が関わる社会科学は、論理的説明に限界もある。
大石：知識か感性のどちらかでは、人は動かない。個別の知識を集めても、森林全体の世界観は見えない。森林と人の関わり方、社会を変える視点も必要。森林教育の中心に森林と社会の関わり方を据え、関係者と共有し、教育に反映する必要がある。
比屋根：知床問題では、市民運動が林業と自然保護の検討会を立ち上げさせた。市民が関わる森林教育を、森林科学と共に発展を図りたい。

5. まとめ

総合討論（写真–2）では、森林科学の多様性や、大学生も木を知らない課題の指摘もあった。SDGsの実現に向け、森林科学や森林教育は何をするべきか。「研究と実践現場をつなぐ」教育研究の挑戦は、森林科学と共に進める必要があると考える。
（本報告は、各発表者がまとめた内容をもとに、筆者が再構成した。）

引 用 文 献

1) 大石康彦・井上真理子（2014b）わが国森林学における森林教育研究．日林誌 96：274-285
2) 大石康彦・井上真理子（2015）森林教育．海青社
3) 家高甚一（1925）農業學校ノ林學ニ就キテ．林学会雑誌 30：15-21.
4) 大石康彦・井上真理子（2014a）わが国森林学における森林教育研究．日林誌 96：15-21
5) 杉浦克明（2015）発達段階に応じた森林環境教育の実施の必要性．日林誌 97：107-114
6) 杉浦克明・吉田早織・早川尚吾（2018）小学校教育課程における教科書に掲載されている樹種名．日林誌 100：47-54
7) 杉浦克明・原崎典子・吉岡拓如・井上公基（2014）児童が思いつく樹種名とその理由－神奈川県藤沢市の小学校の事例－．日林誌 96：43-49
8) 日本野外教育学会編（2018）野外教育学研究法．杏林書院
9) 小松康一・東原貴志・中村浩士（2013）「木材の生産」を取り入

写真–2　総合討論（ゲストコメント）

れた技術教育の提案と授業実践. 日本産業技術教育学会誌 55(4)：289-297
10) 東原貴志･丸山翔平･井上真理子･大谷忠・荒木祐二（2015）生物育成技術としての林業に関する指導内容の検討. 日本産業技術教育学会誌 57(3)：143-150
11) 荒木祐二・猪啓弘・谷田親彦・加瀬裕也・東原貴志・山﨑淳・久保田豊和（2018）技術科における「生物育成の技術」の教育内容研究. 日本産業技術教育学会誌 60(4)：171-179
12) 井上真理子・大石康彦（2013）戦後の専門高校における森林・林業教育の変遷と今後の課題. 日林誌 95：117-125
13) IUFRO（2019）森林教育ベストプラクティス賞（Outstanding Practices in Forest Education）. https://www.iufro.org/science/task-forces/forest-education/outstanding-practices-forest-education/（2019 年 5 月 13 日確認）

図−1　シンポジウムチラシ

田園回帰する若者の仕事観

高野　涼（たかの　りょう、岩手大学農学部）

人口減少と高齢化が進む多くの農山村では、若者の移住促進が長年の課題となっています。そうした中で、近年、都市から農山村への移住を志向する「田園回帰」の動きが高まっています。田園回帰の流れを促進するためには、若者が農山村の何に魅力を感じて移住するのかを読み取り、それを踏まえた対策を講じることが重要です。そこで今回は、私が出会った農山村に移住した若者の事例をもとに、田園回帰する若者が志向する働き方を探ってみたいと思います。

紹介するのは、宮城県登米市の中山間地域に移住し農林畜産複合経営を営むＫさんです。約 90a の畑で登米市の伝統野菜 16 種類を含め、年間約 80 品種の野菜とハーブを農薬や化学肥料を使わずに栽培しています。3ha の森林を所有しており、自ら作業道を通して間伐を行い、伐採した木は主に薪ストーブの燃料として使っています。野菜類の栽培の他に、養蜂や養鶏、狩猟も行っています。

Ｋさんが掲げる理念は、「若者が中山間地域でしっかり稼いで楽しく暮らせる」モデルケースをつくることです。その理由はＫさんが農家になることを決意した経緯にあります。小学生だった頃に登米市にあった母方の祖父母の家が空き家になり、農地も森林も放棄されるままになっていました。夏休みは親戚一同が集まるなど、子供の頃から親しんでいた思い出の場所が荒れていくのを見て、何とかしたいという思いが募っていったそうです。高校生になり将来は農家になると家族に宣言したところ、「百姓なんて儲からないし辛いからやめろ」と米農家だった父方の祖父母に強く反対されました。農家として尊敬していた祖父母の口から否定的な言葉が出るのが悲しかった一方、反対されたことでかえってやる気が湧いてきたと言います。そして、若者が中山間地域でも稼いで楽しく暮らせることを実証してみせようと決意します。大学卒業と同時に就農し、荒れていた母方の祖父母の土地で農林畜産業の複合経営の確立に向けて踏み出しました。

それでは、なぜ目指す経営のスタイルが農林畜産の複合経営なのでしょうか。それについてＫさんは次のように説明します。もともと平地の多くない中山間地域は、耕作面積の拡大や大型機械を使った農業の効率化は困難です。だからこそ、身近な里山から採れる腐葉土や家畜の糞を堆肥として使用し、無農薬・無化学肥料として付加価値を付けています。また、年間を通じて収穫時期が異なる複数の収入源を持つことは、収入機会を均し経営リスクを分散することにつながります。

しかし、Ｋさんが語る農林畜産複合経営の魅力はこうした経営面のメリットだけではありません。その魅力は、「百の仕事があるから百姓。だから面白い」という言葉に詰まっています。自分の性格を「同じ作業を続けるのが苦手。すぐに飽きる」と説明するＫさんは、今の暮らしは「木を伐って薪を割って、飽きたら野菜を採ったり蜂蜜を採ったり」と仕事のバリエーションに困らないと言います。鶏小屋を自分で建てたり、間伐して道を入れた森林をバイクで走ったり、自分の暮らしを「働いているのか遊んでいるのかわからない生き方」だと誇らしげに語るＫさんを見て、中山間地域で経営を成り立たせると同時に、どうすれば楽しく暮らせるのかを全力で追求しているという印象を受けました。

林業についても、「大型機械でやる林業はつまらない。自分ではなく機械が代わりにやっている感じ。工場で作業している感じ」がするため、「ハーベスタに乗ってがっちり林業をやるよりは、生活の一部として林業をやる方が楽しい」と言います。労働強度の軽減や生産性向上のために高性能林業機械の導入が進められていますが、Ｋさんのような若者にとっては必ずしも仕事のやりがいには結びつかないということでしょう。また、森林では薪以外にもナンテンの葉など料理に添えるつまものを採取するほか、蜂が蜜を集めやすいように林内を明るくするように心がけ、将来は短角牛を放牧して牛ふんで堆肥を作りたいと楽しそうに語ってくれました。複合経営と結びつけた様々な森林の活用法を考えること自体が、Ｋさんにとっては面白いことなのだと感じました。

農林畜産の複合経営は、農業、林業、畜産業が相乗効果を生み出してそれぞれに工夫を凝らすやりがいがあること、そして稼ぎと暮らしと遊びが一体となっていることが、収入手段と同時に農山村で暮らす魅力にもなっていました。現在、農林業の成長産業化が進められていますが、農山村のための農林業振興の在り方は、規模拡大や競争力強化が唯一の方策ではなく、山村で稼ぎながら楽しく暮らせるようなライフスタイルを広めていくことも重要ではないでしょうか。

四万十川流域のモミ天然林で養分の吸収量を推定する

稲垣　善之（いながき　よしゆき、森林総合研究所四国支所）

四万十川流域では、戦後の拡大造林の時期に、広大な面積にわたってスギやヒノキが植林され、原生的な森林はわずかな面積が残るのみになりました。流域内の高知県梼原（ゆすはら）町の鷹取山国有林には、モミを優占種とする貴重な天然林があります。この流域では、1960 年代に国際生物学事業計画（IBP）の調査地となり、安藤貴博士らによって森林の生産性が調査されました（Ando et al. 1977: JIBP Synthesis Vol16. University of Tokyo Press）。この調査は、3 年間にわたって植物体現存量の増加量、落葉落枝量を測定した後、調査区内のモミや広葉樹を伐倒し地上部、地下部現存量を部位別に測定するという大がかりなものでした。さらに、落葉落枝や植物体、土壌に含まれている窒素やカルシウムなどの養分量も測定されました。したがって、鷹取山は世界に先駆けて養分循環が明らかにされた貴重な場所になっています。安藤らの調査から約 50 年が経過した現在、森林総合研究所四国支所では、IBP 調査区の流域において森林への養分供給量と渓流水からの養分流出量を観測しています（稲垣ら 2019: 森林応用研究 28: 1-10）。これらの研究の情報から、モミ林生態系における物質収支を明らかにすることができます。

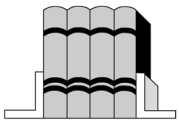
森林生態系において養分は元素ごとに供給源が異なっています。たとえば、窒素は降水からの供給が大きく、岩石にはほとんど含まれていません。カルシウムなどは、降水からの供給と岩石の風化によって森林生態系に供給されます。森林生態系の物質循環が定常状態にあると仮定すると、岩石からの風化量は、渓流水からの流出量と植物吸収量の合計から降水による供給量を差し引いて求めることができます。この時の植物吸収量というのは、植物に長期間にわたって固定される養分の吸収速度のことを示しています。

さて、どうやって植物吸収量を推定すればよいでしょうか？一般的には、幹や枝などの一定期間の成長量とこれらの部位の養分濃度を測定し、乗じて養分吸収速度とします（方法 1）。この方法は、成長量を計測するために 1 年以上経過した 2 つの時期について計測をするため労力がかかりますし、まれに起こる台風などのかく乱の影響を評価することが困難です。もう 1 つの方法は、地上部現存量に含まれる養分量を林齢で割って長期的な養分吸収速度とする方法です（方法 2）。この方法は、1 回の計測で算出できるというメリットがあるのですが、吸収速度が一定であることを仮定しているという問題があります。

鷹取山モミ林における 2 つの方法による窒素、リン、カリウム、マグネシウム、カルシウム吸収量の推定値は、方法 1 で方法 2 よりも常に大きく、2.7 ～ 4.5 倍の値を示しました。方法 2 の推定値は調査地点で植物体に存在する養分量から算出した吸収速度であり、低めの推定値となります。岩石からの風化量を計算する過程においては、植物吸収量が大きいほど風化量は大きく推定されます。したがって、岩石の風化量を過大に評価しないという観点からは植物吸収量を少なめに推定する方法は有効です。植物吸収量の推定には様々な方法があり、それぞれ長所、短所がありますが、目的に応じて推定方法を柔軟に選択することが重要であるといえます。

ところで、鷹取山のモミ林では、カルシウム、マグネシウムでは岩石の風化が極めて速やかであり、樹木による吸収量のそれぞれ 4 倍、8 倍であることがわかりました。鷹取山では年降水量が 2,500 mm 以上と多いため、渓流水から大量の養分物質が流出し、地力が低下することが懸念されます。しかし、この森林では岩石からの風化によって速やかに養分物質が供給されていました。この風化量が維持されていれば、モミ天然林においてカルシウムやマグネシウムが欠乏する心配はありません。また、この流域の渓流水では降水量が多い割にはカルシウムやマグネシウムの濃度は低くないと言えます。日本でも有数の多雨地域である鷹取山では、岩石の風化量が高く維持されることで、森林生態系の水質保全機能が高度に発揮されています。

写真　鷹取山流域



ブックス

環境を守る森をしらべる

原田洋・鈴木伸一・林寿則・目黒伸一・吉野知明　著、海青社、2018年7月20日、158ページ、価格1,600円（税別）、ISBN 978-4-86099-338-2

本書では、各地の潜在自然植生としての常緑広葉樹のポット苗を高密度植栽することによって鎮守の杜に見られるような、いわゆるより自然度の高い森を回復させようと提唱してきた横浜国立大学の宮脇昭名誉教授の考え方がその基盤としてある。宮脇氏門下生のうち、植樹活動を実践してきたグループによる一般市民向けの啓蒙書である。ここでは常緑広葉樹植栽によってできあがってきた樹林帯を「環境保全林」と呼称しており、この「環境保全林」の内外に形成される物理的・生物的環境をただ教科書的に解説するだけでなく、読者自身にその樹林帯に分け入って観察・測定してみることで植生ができることの効果を実感してみようと呼びかける、いわゆる環境に対する意識の高い人々へのメッセージが込められた本といえよう。

本書の序章ではまず著者たちの扱う「環境保全林」とはなにかが述べられる。続く1、2章では樹林帯の成長に伴い植栽樹種以外にどのような植物種が侵入し植物相を形成するようになるのか、さらに将来はどのような姿を見せるようになるのかについて予測し、そしてそこででき上がる植生によって自然性の評価を試みる。もちろん本書での環境保全林というのは基本的に常緑広葉樹林なので、例えば東北や北海道などの冷涼な地域では直接は当てはまらないだろうが、将来予測をする際の参考にすることはできよう。また潜在植生を構成する数種の常緑広葉樹の高密度植栽によって限りなく自然林に近づくという宮脇氏の予測についても、本書ではただ師の理論に盲従するのではなく「そうはならないこともある」ということを実際の観察結果により示していることは評価できよう。

次章以降がいわゆる「しらべる」の本番であり、3章が植栽木の生長と森林の発達パターンについて、我が国の照葉樹林的な林だけでなく、マレーシアでの熱帯樹植栽経験からのデータも交えて解説されている。4章では環境保全林の構造として落葉のパターンや量、分解についての調べ方と例が示されている。

5章は保全林のはたらきとして樹林帯で物理的環境がどのように変化するのかが述べられており、気温緩和や防火機能をはじめ、本誌の読者に多いであろう森林林業関係者にとっては林学関係の教科書で学んだ覚えのあるような項目が並ぶ。さらに生物的要素による樹林帯が生み出す機能の評価を、6章は鳥類、7章では土壌動物で、それぞれ調査方法を研究データの解説とともに述べられている。特に鳥を扱った6章などは身近な樹林帯が作り上げる環境について、親しみを持ちながら理解するのに役立つかも知れない。

なお、3章で樹木や森林の生長パターンが数葉図示されているが、植物量を表すために材積指数（幹直径の自乗×樹高）というパラメータが単位をcmに揃えたということで大きな数字となり、残念ながら極めてうるさく感じる。例えば$cm^2 \cdot m$のような値、あるいはこの指数から推定される個体重などで表すわけにはいかないのだろうか？またコラムの中でプロの苗木業者のポット苗が肝心だと述べているが、読者の身になってみればそのような「信頼すべき」業者の見つけ方についてのコメントがほしいところだろう。次の版が出版されるなら、この両点についてよりわかりやすくなっていることを期待したい。

田淵隆一（森林総合研究所）

黄砂の越境マネジメント 黄土・植林・援助を問いなおす

松尾葉子、大阪大学出版会、2018年9月、350ページ、2,300円（税別）、ISBN 978-4-87259-446-1

本書は、中国内陸部で舞い上がり、北京、韓国などを経由する過程で、多くの汚染物質を吸着して日本に飛来する黄砂を題材に、越境する環境問題、援助プログラムの問題点について書かれた300ページを超える大作である。主要な内容は黄砂が日本に与える越境汚染の直接的影響の話ではなく、環境問題に対処するには学問分野やそれぞれの「立場」、「国境」、「業界」といった「境界」を超えることがきわめて重要であることを強調している。二部からなり、第一部は黄砂に関する多数の最新文献調査から発生源や発生メカニズムに対する科学者の誤解（思い込み）や砂漠緑化活動の問題点などを指摘している。第二部は著者が25年以上にわたってフィールドとしてきた黄土高原（黄砂の発生源の一つ）の事例を中心に得られた環境回復のための試行錯誤の結果（意図するか、意図せざるにかかわらず）や他の援助プロジェクトの事例から得られた知見から、境界を超えて発生する環境問題に取り組むうえで最も重要なことは、常に「フレーミング」の呪縛を脱し、知られざるものへの感受性を失わないマネジメントであると著者は結論づけている。本書では、この「フレーミング」とほぼ同意義で、「フレーム」、「思い込み」と言う言葉がよく出てくる。例えば、日本の黄砂研究の問題点は、長らく黄砂は砂漠（例えば、タクラマカン砂漠）から飛んでくるという思い込みがあり、砂漠周辺の耕作地、改変された草原が黄砂の発生源になっているという認識が欠けていた点であると指摘している。しかしながら研究を始める際に、目標設定にはある種の思

い込みは必要で、試行錯誤しながら思い込みを修正することも重要であるとも指摘しており、環境問題の解決は一筋縄では行かないことがよく理解できる。なお、黄砂の発生したメカニズムの研究経緯に関する記述については、よくまとまっており、黄砂、環境問題、海外での開発援助の関係者に一読を勧めたい。

酒井正治（元森林総合研究所）

あがりこの生態誌

鈴木和次郎、日本林業調査会、2019年1月、152ページ、2,200円（税別）、ISBN 978-4-88965-257-4

著者の鈴木和次郎氏（以下、和次郎さん）とは、ある絶滅危惧種の共同研究から始まる付き合いだ。僕は遺伝解析を担当しつつ、和次郎さん達の群集組成の調査の手伝いをした。一段落ついたころ、長野に「サワラのあがりこ」の調査に行くからと手伝いを頼まれた。それが本書に登場する、有明山のサワラあがりこ林である。

林道の奥の現場に辿り着けば、通直であるはずのサワラの樹が、屋久杉のように幹がうねり、途中から複雑に分岐している（第8章）。僕はその“巨木性”に惹かれたが、これが台伐り（地上の高い位置での伐採）によって生じた人為的な樹形だという。

一本梯子を掛けて、台伐り箇所に取り付く。台伐りが2段以上の大きな木では、更に梯子を引き上げて、上段に登っていくこともある。台伐り箇所は肥大して萌芽幹が何本も伸びていて、足場も手がかりもある。僕はハーネスで身体を固定し、萌芽幹にナンバーテープを打ち、胸高直径を測定し、次に成長錘を抜く。横に張り出した萌芽幹なんかは大変だ。僕はスリングにテンションをかけて、身体を宙に預けて成長錘をねじ込んだ。本書の「各台伐り位置からの萌芽幹」の年数や肥大成長の過程は、こうして調べた。足場は最大で高さ8m程度だが、下は苔むした岩塊である。慣れるまでは冷や汗もかいた。

こうしていつしか僕はあがりこの「登り役」となり、「違う山でサワラのあがりこが見つかった。」「次は磐梯熱海のケヤキ（第5章）だ。」と様々な樹種のあがりこ調査にかりだされていった。株スギ（第7章）の調査なんか、時期は冬場、僕は折り悪く腰痛を患っており、痛さを隠して登った。スノーシューを履いて只見の山中に入れば、予期していたあがりこはミズナラではなくコナラであった（第2章）。コナラの材は硬い。成長錘はなかなか徹らず、徹れば今度は抜けず、大変な難儀をした。あがりこの調査ではしばしば寄り道があり、山に入るときには森林管理署に立ち寄って雑談や情報収集、クヌギのあがりこ調査のついでに天蚕博物館に寄ったりする（第4章）。付き合わされる身とすれば「早く帰りたい」と思う時が無かったわけではないが、ともすればラボでの仕事に偏りがちな仕事柄、和次郎さんには広い世界を見せていただいた。

その和次郎さんが「退職して時間ができたら書きたい」とおっしゃっていた“あがりこ本”の出版である。出来上がりを見れば予想外の横書きB5版で、採算度外視のフルカラー。著者が自ら言うように、確かにあがりこの学術報告という側面もあって、データも多数示されている。しかしそれはほんの一面。読んでいただければ、本書があがりこという事象にスポットを当てながら、じつは多様な森林と人との関わりをも照らし出そうとしているのが判ると思う。

例えばクヌギのあがりこ（第4章）を例に挙げれば、兵庫県・台場クヌギの菊炭生産を皮切りに、山梨県北杜市であがりこの台伐り高の高さに疑問を感じ、長野県・安曇野の天蚕の飼育を調べ、最後には刈敷（枝葉を田畑に敷込み肥料とすること）としての用途に注目していく。また、萌芽性の無いサワラは側枝を残した伐採であがりこに仕立てる。ではその目的は？桶・樽・柿葺（こけらぶき）などの用途を吟味しつつ、資源荒廃の歴史に目を向けてゆく（第8章）。福島県只見町のブナのあがりこ林では、地元古来の製炭法「かじご焼き」の痕跡を探したりする（第2章）。

和次郎さんからはよく、ひとつのフィールドだとか、ひとつの専門分野だとかに偏ってはいけないと説教を受けたが、この“あがりこ本”も、森林学に対する著者の信条や、深い造詣のひとつの体現なのかなと思う。

さすがに僕の味わった樹上のスリルは無理としても、写真も多いし、現場の空気はだいぶ伝わると思う。奥深いあがりこ世界をぜひ追体感してほしい。

菊地賢（森林総合研究所）

実践土壌学シリーズ3 土壌生化学

犬伏和之　編、朝倉書店、2019年2月、181ページ、価格3,600円（税別）、ISBN 978-4-254-43573-3

私がなぜこの書評を担当することになったかというと、researchmapの研究キーワードに「土壌生化学」を入れていた、日本でたった5名のうちの一人だったからだ。そしてこの本の執筆陣が誰一人として「土壌生化学」を研究キーワードに入れていないのは謎である。

さて、それは置いておいて、土壌生化学とはなんなのか。土壌化学は土壌の化学性に焦点を当てた分野で独立して存在している。吸着や化学反応など、ケミカルな反応については、土壌化学の分野で扱われる。一方土壌中の生化学反応の大半を担っている微生物に関しては土壌微生物学という、これまた大きな分野が存在する。この実践土壌学シリーズでも第一巻は「土壌微生物学」だ。これらから独立して語られる土壌生化学という分野は、土壌微生物から、できるだけ生物性を排除した「生化

学反応」を取り扱うものであろう。と勝手に納得しながら本書を手に取り読み始めた。

1章は、土壌生成や土壌物理性などの土壌の基本的なことを解説してあり、土壌を全く知らない学生でもその後読み進められるように配慮されている。すでにある程度土壌の知識がある方は読み飛ばしてもよい。

2章は土壌微生物の授業で習うような一般的な解説だ。微生物の分類や生理反応、環境との関係などである。これも従来からそう大きく変化はないので、知識のある方は読み飛ばしてもよい。

3章からようやく生化学っぽくなるのかと思いきや、群集構造解析となって突然具体的な研究事例が並ぶようになった。面白い、面白いのだが、自分の立ち位置がわからなくなる。

4章は炭素の循環である。概念的な大スケールの話から入って、突然超細かい生化学反応とベンゼン環の反応の図解が出てくる。しかも結構な分量だ。

5章は窒素の循環である。循環の大枠から入って、窒素固定、有機化、無機化、硝化、脱窒、アナモックスと一通りの生化学的解説があり少し安心して読めた。

6章はリン、硫黄、鉄の生化学である。この辺で、ふと「土壌酵素って後で一章使ってたな」と思い返し、これらの元素の土壌酵素との書き分けはどうしているのだろうかと不安になる。この章では個別の元素に関する詳細な記述を目指し、8章では炭素・窒素の分解を中心とした土壌酵素群としての扱いと土壌酵素の指標としての可能性の記載が中心らしい。さて、この章から菌体外酵素が活躍をするようになってくるのだが、諸反応が菌体の内部で起こっているのか外部で起こっているのかがよくわからなかった。そういった仕分けをすることは重要だと思うのだが、そういった記載は流行らないのだろうか？この章も循環図や反応式などが各元素共通の構成で掲載されており、非常に読みやすい。

7章は共生だ。これは近年非常に進んだ分野だと思うが、適度に詳しくわかりやすかった。根粒や菌根菌の話であるが、おそらく、「土壌微生物学」との仕分けを考えて、生物性についてはできるだけ排除した記載になっているものと思われた。

8章は土壌酵素と土壌についてである。ここでは土壌酵素一般の話になるが、物質の分解を様々な土壌酵素が土壌酵素“群”として担っていること、これらがどういった変動をしているかについての記述になっている。いろんな人為活動の影響について記載されているのだが、引用文献が少ないのが気になった。

9章は分子生物学と土壌生化学の関係だ。この章はおそらく前身である「土壌生化学」（仁王・木村、1994）にはなかったのではないかというほどに進んだ分野である。ゲノム関係の技術は応用範囲が非常に広いため、これだけのページ数にまとめるのは苦労されたこととは思うが、方法の解説から主たる成果の紹介までをわかりやすくまとめ上げているのには感心する。

最後の10章は地球環境問題と土壌生化学である。小さな反応の積み重ねが地球環境をも変えていくという壮大なストーリーだ。しかしながら、生化学的な話はほとんど語られず、迷路に入ってしまった様な印象だ。

ここまでざっと目を通して、私にとって面白い章があった一方で、ほとんど興味を引かなかった章があったりして、ある意味読み手によって評価が変わりそうな本だなあという印象である。また、章によって構成が異なるため、最初から最後までを通して読むのにはかなり苦労するかもしれない。興味のある章だけを、好きな時に読んでいくというスタイルが最もよいのではないかと感じた。

石塚成宏（森林総合研究所）

実践 風景計画学ー読み取り・目標像・実施管理ー

古谷勝則・伊藤弘・高山範理・水内佑輔　編、朝倉書店、2019年3月、153ページ、3,400円（税別）、ISBN 978-4-254-44029-4

本書は日本造園学会における風景計画研究の成果をまとめたものである。森林科学の読者には遠いテーマと感じられるかもしれないが、森林国に住む私たちにとって、風景のなかに森林、樹木があるのは当たり前のことである。各地の風景の背後に森林を守り育てる営為があることを考えれば、風景というテーマに関心が持てるのではないだろうか。

本書は、風景と風景計画の考え方を説き起こす序章から始まっている。風景認識に際しての実像と情報の比重は時代によって異なり、近世以前では情報としての風景が社会的に広く共有され、交通網などが発達した近代では人々が実像を目にする機会が増加し、現代では情報の比重が再び高まっているという。

そういった風景の計画であるから、風景計画には視点や視対象の操作とともに情報の操作が想定されることとなる。風景の実像を決める視点や視対象が考慮されるのは当然のことだが、風景には情報の操作が重要というところに、本書の核心がある。情報付加による風景計画の手法のあり方は今後の重要な課題であるという記述には、先駆者としての自負が感じられる。本書は、新たな局面を迎えている風景と風景計画の先頭に立っているのだ。

序章に続く第1～5章は、実践書としての組み立てとなる。第1章「風景地および風景の把握と課題抽出」では、風景計画の対象範囲や構成要素が示され、風景の現状把握や課題の摘出には土地の履歴や場所の性格の読み取りが重要であることが指摘されている。第2章「目標像の共有」では、地域社会における風景の目標像の設置、共有の重要さが示され、

目標像の共有によって地域社会がその実現に向かって動き始めることが指摘されている。第3章「目標像を実現させるための手法」では、メディアが重要な役割を果たすことが示され、メディアとしてまず想起される情報機器に加えて、そこに内在する情報を見る人に伝えるという点で空間もメディアとして捉えられることが指摘されている。第4章「持続的な風景の実現」では、風景の変化にはそれを眺める人間の社会的価値観の変化による影響が大きいことが示され、社会的価値観は生得的に有する普遍的価値観と地域性や時代性といった民族・文化・時代によって後天的に育まれる固有的価値観が影響しあって形成されることが指摘されている。最終章である第5章では、8つの事例が紹介されている。そこには、風景と風景計画にかかわる問題点として、担い手不足、産業従事者の減少、高齢化、耕作放棄地や荒廃山林の増加、人口減少、高齢化・後継者不足、年中行事や生活文化の喪失がとらえられ、それらに対してシンポジウムや懇話会、座談会、体験交流会、協議会、連携プロジェクトといった地域の人々による情報交換と共有の取り組みが紹介されている。

本書は、持続可能な社会が目指されるなかにあって、風景が地域の人々の手にゆだねられていく流れに沿うものであると思われる。折しも、森林環境譲与税の創設によって、地域の森林管理が市町村にゆだねられようとしている。森林は風景の重要な構成要素であり、風景のあり方と森林のあり方は密接に関連するものであることを考えれば、森林科学の読者には、この問題と向き合っていただかなければならないと思う次第である。

余談であるが、本書の挿絵には説明文がない。墨で描いたという日本三景などが、読者にはどのようにみえるのだろうか。景観分野の大御所である進士先生の推薦文とともに、本書の隠されたみどころである。

大石康彦
（森林総合研究所多摩森林科学園）

実践土壌学シリーズ4 土壌物理学

西村拓　編、朝倉書店、2019年4月、199ページ、3,600円（税別）、ISBN 978-4-254-43574-0

本書は実践土壌学シリーズ（全5冊）の土壌物理学を扱った1冊である。実践土壌学シリーズは「基礎的な土壌学」の次のステップとして、複合的な領域において実践的な土壌の学習を深められるように企画・立案されたものである。土壌物理学においては、従来の教科書で多くのページを割いていた土壌水の状態や移動についての記述を減らし、その分を現場で生じる現象を積極的に紹介することに重点を置いた内容になっている。以下、各章の中味について簡潔に紹介する。

第1章（土の固相）、第2章（土壌中の水および化学物質の移動）、第3章の前半（土の変形の理論）までが本書の前半部分であり、土壌の基本的な物理的性質や移動現象の基礎を扱った内容になっている。土壌の固相の諸特性と土壌中の水および化学物質の移動則を適度な分量でおさらいすることができ、より応用的な後半の内容に進む際の良き導入部となっている。

第3章の後半以降は本書の後半部分であり、第8章までの6つの章において実際に現場で発生する土壌にかかわる問題について土壌物理学的側面から解説している。第3章では土壌の圧縮と土壌の耕耘を扱っている。森林土壌を対象にしていると、土壌の圧縮には負の側面しかないと考えてしまうが、農地では水田の過剰な漏水を抑えるために地盤を圧縮して硬盤を造成するなど、土壌の圧縮が土壌管理の技術の1つであることが改めてわかる。第4章では温室効果ガスであるメタンと一酸化二窒素の農地からの発生を扱っている。メタンと一酸化二窒素の土壌中での生成と消費にかかわる微生物の代謝活動とその背景にある熱力学的メカニズムについてかなり詳細に記述されており、従来の土壌物理学の教科書と大いに異なる点に感じられる。水田からのメタンと畑地からの一酸化二窒素の実際のフラックス観測結果について詳細に検討されており、森林で温室効果ガスの観測を行っている研究者にとっても興味深い内容であろうと思われる。第5章では土壌の塩類化を扱っている。日本でも、津波で破壊された海岸林の復旧のための盛り土造成地において、土壌の塩類化が植栽木の生育に悪影響を及ぼしているケースがある。本書には様々な塩類土壌に対する改良技術が解説されており、今後の海岸林盛り土の管理を考える上で役立つ情報であろうと思われる。第6章では主に窒素とリンを対象に、土壌の肥培管理と水質汚濁を扱っている。林地より人為的な管理が強い農地において、速効性肥料と緩効性肥料での溶脱特性の違いなど、様々な対比実験の結果について解説されており、農地の水質管理について詳しく学ぶことができる。第7章では土壌と気象障害、第8章では土壌浸食を扱っている。水による土壌浸食の制御は、降水量が多く傾斜地にある日本の森林において重要である。本書には土壌浸食量の代表的な予測評価モデルについて、経験的モデル（USLEなど）のみでなく物理的プロセスモデル（WEPPなど）についても解説されており土壌浸食量の評価手法について詳しく学ぶことができる。

第9章では本書の特徴として数値解析を扱っている。ここでは近年環境科学や農学で不可欠なツールになりつつある数値モデル・数値計算について、土壌中の移動現象を取り上げて解説している。パソコンで水移動のプログラムを作った経験などないままHYDRUS等汎用ソフトを

使って解析を行っている比較的若い研究者（若くはないが私もその一人である）にとって、近似計算手法や初期条件・境界条件についての解説を読むことは、改めて基本を学ぶ良い機会になるであろう。

以上、本書は農地での現象を扱っているが物理現象の基本原理は農地も林地も同じである。ただ現象に関わる諸要因の寄与が農地と林地では異なる。本書を読めばその違いを感じることができる。そのような違いに気づくことで研究の視野が広がると思うので、是非一読をお勧めしたい。

釣田竜也（森林総合研究所）

47 都道府県・花風景百科

西田正憲編著、上杉哲郎・佐山浩・渋谷晃太郎・水谷知生著、丸善出版、2019 年 5 月、316 ページ、3,800 円（税別）、ISBN 978-4-621-30379-5

本書は、花彩（かさい）列島である日本を主たる対象として、人々がいかに花を愛し、地域に根差した多様な「花風景」を作ってきたかということを解説しています。構成ですが、「花風景の基礎知識」（第一部）、「都道府県別　花風景とその特色」（第二部）となっています。

それぞれの内容をもう少し掘り下げて見ていきましょう。第一部では、多様な切り口から「花」の魅力を紹介しています。例えば、植物分類学の視点から花の構造の多様さを解説したり、環世界の概念を用いながらミツバチやヒトからみた花の世界がそれぞれ異なる事を紹介しています。

花を愛でる歴史も詳述されています。古代前半には、中国文化の影響を受けて、万葉集でもウメに関する歌が多く読まれていましたが、10 世紀になるとサクラをより愛でる国風文化が確立されていきました。修験者や天皇・公家が神木として植樹したサクラが、室町時代以降になると「吉野のサクラ」として広く知られるようになります。江戸時代には園芸文化が花開き、庶民もサクラソウやハナショウブ、アサガオの品種改良を楽しむようになります。幕末以降には、シーボルトに象徴されるように、欧米人が日本の植物に対して関心を寄せるようになり、世界の珍しい植物を収集するプラントハンターも日本を訪れるようになります。国際交流も進み、昭和初期には、日本のサクラに魅了された米国人女性写真家のシドモアの尽力によって、ワシントン D.C に日本のサクラが贈呈され、米国からはそのお礼としてハナミズキが贈呈されました。こうした一連の歴史が分かり易く説明されています。

第二部では、各都道府県の特徴的な「花風景」を紹介しています。「史跡」「天然記念物」「国立公園」「○○百選」などに選ばれている「花風景」はもちろん紹介されていますが、本書はそれだけにとどまりません。紙幅の都合もあるため、印象深い「花風景」に絞ってここでは紹介したいと思います。まず、羊蹄山麓のジャガイモ畑、榛名山麓や丹波高原のソバ畑、鳥取砂丘のラッキョウ畑、瀬戸内海のオリーブや柑橘類の果樹園、沖永良部島のテッポウユリ畑などの「花風景」です。これからは、生業が脈々と受け継がれてきたがゆえに存在するものであり、サクラほどの華やかさはないかもしれませんが、地域の人々の暮らしと共にある「花風景」です。こうした何げない日常の「花風景」を、本書では生業・産業史を踏まえて分かり易く解説しています。

この他に、天災の死者や遺族の気持ちを癒すだけでなく、子孫らが災禍に巻き込まれることのないように願いを込めて誕生した「花風景」も紹介されています。昭和三陸地震（1933 年）では、大津波が三陸海岸を襲いましたが、釜石市本郷集落の人々は高台に集落移転しただけでなく、津波の最高到達点付近にサクラを植樹しました。それが釜石市唐丹町本郷のサクラです。東日本大震災（2011 年）でも、本郷のサクラの直下まで津波は押し寄せました。先人の教訓が約 100 年の時を経て、発揮されたことになります。18 世紀末の雲仙普賢岳の一連の火山活動によって、近くの眉山が山体崩壊を起こし、対岸の肥後（熊本県）に大津波が襲いました。犠牲者の鎮魂や治山事業による地域の安寧を祈念して植えられたのが、眉山治山祈念公苑のサクラです。災害の多い日本では、「花風景」が減災に役に立つ可能性があります。

このように多様な「花風景」をコンパクトかつ網羅的に紹介している本書は、知識を深めるだけでなく、旅行指南書としても参考になるお薦めの一冊といえます。47 都道府県出版シリーズの一冊ですが、2017 年には『47 都道府県・公園／庭園百科』が出版され、本書の編著者である西田正憲氏が執筆者として名を連ねています。手前味噌になりますが、評者が勤務している国立歴史民俗博物館には、「くらしの植物苑」が併設されており、サクラソウ、アサガオ、キク、サザンカの多様な園芸品種も季節ごとに展示しています。本書に加えて『公園／庭園百科』も読み、実際に園芸品種を観賞する事で、人々と花の関係性に対する理解がさらに深まることでしょう。

柴崎茂光（国立歴史民俗博物館）

森林未来会議 森を活かす仕組みをつくる

熊崎実・速水亨・石崎涼子　編、築地書館、2019 年 6 月 18 日、328 ページ、価格 2,400 円（税別）、ISBN 978-4-8067-1583-2

森林植物やそこに住まう生き物の営みに魅了されて足を踏み込んだ森林科学の世界だが、森林に関わることで見聞きする、現在の日本の森林・林業がおかれている状況と将来を考えると暗い気持ちになることが多い。こうした状況を打破すること

はできないのか、その鍵はなんなのか？本書はそうした問題に対する解決のヒントを与えてくれる一冊である。

序章、終章を加えた全10章で構成されており、林業家、研究者、フォレスター、教育者と様々なバックグラウンドを持つ10名の執筆者がそれぞれの立場から、統計データや過去の経験に基づいた日本の林業の現状を変えるためのアイデアを提示している。森林管理や林業に関係が深い森林科学の読者にとっては、これら多様な執筆者から投げかけられる言葉に共感を覚える方も多いのではないだろうか。現在、森林経営、政策、施業に関わっている人はもちろん、これからの進路を考えている学生にもお勧めしたい。

序章では現場で試行錯誤を繰り返しながら経営を進めている速水氏が林業家の視点から、現在の苦しい状況を包み隠さず示し、状況改善のヒントとなる事例を紹介している。続く各章ではオーストリア、ドイツ、アメリカなど諸外国の現状をレビューすることで現在の日本の林業の問題点とポテンシャルを洗い出し、提案のひとつとしてフォレスターと呼ばれる人材の役割と可能性に着目している。補助金に依存した森林経営から自立するため、現場で試行錯誤を繰り返しながら多様化する森林利用のニーズに応えていく。そのような人材を育成するため、研究成果の現場への還元、地域のニーズに即した教育の在り方の重要性などが提案されている。

各章において主張にも文体にも執筆者の個性が窺われるのも面白いところである。執筆者間で見解が異なる部分もあり、議論の余地が残されているのも「森林未来会議」というタイトルらしいと感じた。このようにバラエティに富んだ内容であるが、編者が示す道筋が明確なので全編を通して主張がわかりやすく、前述の章を的確に引用しながら進んでいくため、読んでいて混乱しにくい構成になっている。そういう意味では、各章の拾い読みはあまりお勧めしない。まずは迫力満点の序章から順番通り読み進むのが良いだろう。

森林に関わる全ての人を対象にしている書籍ではあるが、私のように林政・経営について明るくない読者にとっては、少し手強く感じるかもしれない（正直に言うと、私は途中で弱気になった）。そんなときには、ぜひ「あとがき」をめくってほしい。1970年代半ばの林業絶頂期から、林業の苦境が定着し、古き良き時代を嘆く1990年代、嘆き節すら届かない現在。そうした状況を踏まえ、編者であり執筆者でもある石崎氏は「正直、もうたくさんだ。そろそろ未来に目を向けたい。確かにダメなところもある等身大の私たちがこの先どんな未来をつくっていけるのか、（中略）議論したい。『森林未来会議』というタイトルに込めたのはそんな思いである。」と綴っている。執筆者の熱い思いを読み、森林に関わる人間の一人として、ちゃんと現状と向き合ってみようじゃないかと弱気になりかけた私もページを捲り直した次第である。

現状を激変できるような魔法の策が書かれているわけではなく、むしろそんな策は無いのだということを再認識させられる本である。そうした中で、私たちに何ができるのか、私たちは何をするのか？読後にはお茶でも飲みながら森林の未来についておしゃべりしたくなる一冊である。

木村恵
（森林総合研究所林木育種センター）

Coming Next !

森林科学 88 予告

特集
雪とたたかう森林（仮）

森林科学 88 は 2020 年 2 月発行予定です。ご期待ください。

本会は、複写権の行使について、下記の一般社団法人学術著作権協会に委託しています。本誌に掲載された論文の複写をご希望の方は、公益社団法人日本複写権センター（一般社団法人学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体）と包括的許諾契約を締結されている企業等法人の社員による社内利用目的の場合を除き、日本森林学会が複写に関する権利を委託している下記の団体から許諾を受けて下さい（社外領布用の複写は許諾が必要です）。電子的複製についても同様です。

一般社団法人学術著作権協会
107-0052　東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3F
info @ jaacc.jp　　https://www.jaacc.jp/

お知らせ

・「森林科学」では読者の皆様からの「森林科学誌に関する」ご意見やご質問をお受けし、双方向情報交換を実践したいと考えております。編集主事まで e-mail でお寄せ下さい。

・日本森林学会サイト内の森林科学のページでは、29 号以降からの目次および 56 号以降のオンライン PDF がご覧いただけます。また、紙媒体のバックナンバー（完売の号あり）の購入申し込みもできます。

・刊行から一年間は、森林学会会員の方は別途お送りするパスワードでオンライン版をご利用になれます。その後はどなたでも閲覧できます。パスワードに関するお問い合わせは編集主事へどうぞ。

森林科学編集委員会

委員長	松本	麻子（森林総研）
委員	岡本	隆*（防災/森林総研）
	長倉	淳子*（土壌/森林総研）
	岡	輝樹（動物/森林総研）
	飯田	真一（防災/森林総研）
	江口	則和（保護/愛知県）
	佐藤	顕信（経営/日本森林技術協会）
	今村	直広（土壌/森林総研）
	岩永	青史（林政/森林総研）
	磯田	圭哉（育種/森林総研）
	田中	恵（土壌・造林/東京農大）
	板谷	明美（利用/三重大）
	田中	憲蔵（造林/森林総研）
	大橋	伸太（木材/森林総研）
	竹本	太郎（林業遺産/東京農工大）
	宮本	敏澄（北海道支部/北海道大）
	林	雅秀（東北支部/山形大）
	逢沢	峰昭（関東支部/宇都宮大）
	松浦	崇遠（中部支部/富山県森林研）
	永松	大（関西支部/鳥取大）
	榎木	勉（九州支部/九州大）

（*は主事兼務）

編　集　後　記

前号に引き続き小笠原特集、いかがだったでしょうか。今回は、動物に焦点をあてた特集で、人気の鳥やカタツムリの話もあり楽しめたのではないでしょうか。

前編の植物でもそうですが、さすが固有種の宝庫、小笠原、生物進化の魅力が満載です。独自の生態を解き明かしていくことは、とてつもない労力を要するものではあるものの、何物にも代えがたい喜びがあるのでしょう。この特集の端々に感じられました。

一方、固有種は絶滅とも隣り合わせにあることも事実で、いずれの記事でも絶滅の危機から救うことが大きな命題となっています。今回、何度も目にしたクマネズミですが、私たちが植栽したオガサワラグワにとっても大きな脅威となっています。前号の編集後記に順調に成長していると書いた「オガグワの森植樹会」で植栽したオガサワラグワも同様に食害を受けてしまいました。ネットを被せるなどして、小笠原村の職員と島民が力を合わせてなんとか復活させようと頑張っているとのことです。クマネズミは、植物から昆虫、陸産貝類、鳥にいたる、実に多くの分類群を食害する、体は小さいにもかかわらず小笠原の生態系に及ぼす影響はとてつもなく大きな外来生物です。他にも、プラナリアやグリーンアノールなど、やっかいな外来生物があまりにも多く、完全な駆除は難しいのが現状です。それでも、保全の取組みは続けられ、多くの成果があげられていることは素晴らしいことです。保全活動に関わったすべての方々のご尽力に感服いたします。

今年の 7 月に小笠原に行った際、小笠原特集（前編）の紹介をしたところ、大変好評で多くの島民に喜んでいただきました。「後編は動物編です」というと、それも楽しみだとの多くの声をいただきました。大河内氏が最後に記されているように、本特集を目にとめて読んでいただいた研究者、とくに若手研究者の方々には、是非とも小笠原に足を運んで、そのダイナミックな生態系を感じ取って欲しいと思います。

今回、編集を終えて、とても充実した内容に、著者の方々、コーディネーターの吉丸氏へ感謝するとともに、これまでの多くの研究に敬服するばかりです。関係諸氏にこの場を借りて御礼申し上げます。

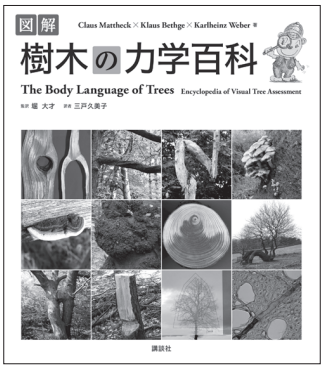
（編集委員　磯田圭哉）

図解 樹木の力学百科

Claus Mattheck/ Klaus Bethge/ Karlheinz Weber・著
堀 大才・監訳　三戸 久美子・訳

新刊

B20 取・560 頁・本体 7,000 円（税別）　ISBN 978-4-06-516595-9



マテック博士の25年にわたる樹木研究の集大成！博士が工学で学んだ生体力学の考え方を樹木の形状研究にとり入れ、全世界で通用する樹木調査法を確立した。本書では、この調査方法をはじめ、樹木の力学的知識を、博士直筆のイラストと写真で紹介。また付録には、樹木に関する貴重なキノコ類の写真を多数掲載。樹木医（補）、森林・緑地関係者、必携の書。

▶ 主な目次

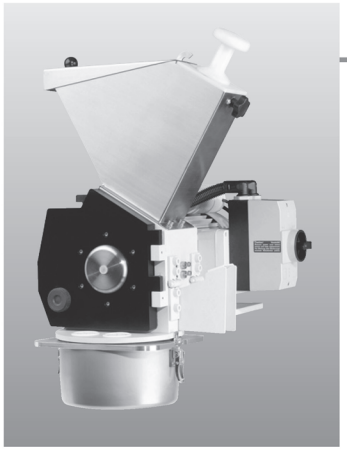
序文 / VTA 法の歴史：樹木の読みとり方 / 成長調節、生体力学の用語 / シンキング・ツール：剪断四角形、引張り三角形、力の円錐法 / 堅さと強さ / 材とは？木材や木材の強さを求めるための簡単なモデル、材の強さ / 成長応力、一様応力の公理 / 弱点の徴候：樹木の危険信号 / 成長によるすじと樹皮の表面 / 変形による最適化ー譲歩による勝利 / 樹木の樹冠と林縁に見られる玉石 / 多機能のツール / 傘型樹木の樹冠 / 安全率：力学的なブタの貯金箱 / 細長い幹 / 空洞化した幹と腐朽による空洞 / 幹の断片と自主的な若返り / 傾斜しつつある幹 / クッション、内部へ食い込んだワイヤー、交通標識ののみ込み / 軸方向と横断方向への癒合 / 樹木の接ぎ木と穴開けによる診断 / 枯れた幹と昆虫のための樹木 / 幹と枝の亀裂 / 枝、その結合と破損 / 中国人のひげのボディ・ランゲージ / 樹木の叉：引張りを受ける叉、圧縮を受ける叉、信用できない叉、３本に分岐した叉 / 樹木の根、剪断を受ける根鉢と引張りを受ける浅い根鉢 / 心形の根や直根、浅い根、板根、竹馬状の根 / マングローブの気根と絞殺するイチジク類 / 樹木の下にある停滞水と岩盤 / 隣接する樹木、株立ち樹木 / 都市の樹木の方針：空間がないかわりに力学的に支持 / 根の分岐と根の断面、巻き殺しの根 / 斜面や崖にある樹木 / 堤防にある樹木 / 配管上の樹木 / 古木とその保護 / 樹木工学：制限荷重の評価とコンテナの公式 / 支持された樹冠 / キノコとキノコのボディ・ランゲージ / 樹木における材質腐朽：腐朽のタイプと、それらによる材の分解の仕方 / 樹木の腐朽の区画化の仕方 / 腐朽診断の機器 / 樹木におけるドリルの穿孔の影響と腐朽の拡大　＜付録＞菌類ー簡単な解説 / 根に材質腐朽を引き起こす基本的な菌類 / 幹に材質腐朽を引き起こす基本的な菌類 / 枝に影響を与える子のう菌類 / 永年性の子実体の年齢測定 / VTA のフローチャートと VTA 法の法的受理

東京都文京区音羽 2-12-21
https://www.kspub.co.jp/
講談社
編集　☎03(3235)3701
販売　☎03(5395)4415

木質バイオマス、セルロースを通して資源再利用の研究に必要不可欠なドイツ、フリッチュ社の研究用各種粉砕機

FRITSCH

環境保護を世界に先駆けて唱えてきた国ドイツ。そこで製造されてきたフリッチュ社の粉砕機はすでに日本でも“環境”“リサイクル”の世界で高い評価を受けております。



実験用カッティングミル P-15

2.2Kwの強力パワーをもってすれば、MAX60mm角の木材をそのまま投入、粉砕することが出来ます。粉砕室内にある固定刃・回転刃（計7枚）で粉砕された木材は回転刃の下にセットされたフルイ（0.25～6mm迄の8種類）を通していくので粒度の調整が可能です。本機最大の特色は粉砕機を真ん中より割り開くことにより実験後の清掃が十分に行き届き、コンタミネーションの問題を解消します。

試料名	木材チップ
投入サイズ	50 × 40mm　500gr
フルイ	1mm
全量粉砕時間	7分で1mm通過

ロータースピードミル P-14

P-15で粉砕された木材をさらに細かく粉砕されるのでしたならば、P-14のご使用をお勧めします。MAX20,000rpmの回転数、最小フルイ目0.08mmを通過させれば、さらに微細な粉をお求めいただけます。

試料名	セルロース
投入サイズ	90gr。・6−8mm
使用フルイ	0.2mm
全量粉砕時間	4分。時間当たり1.4kg採取可能

フリッチュ社遊星型ボールミルシリーズ P-5 P-6 P-7

近年リグニン等の注出研究、更には木質と他の材質、例えば小麦粉、樹脂等を混合する研究が注目を集めております。遊星型ボールミルはその圧倒的なパワーを以って、混合作業の分野で活躍しております。処理量に応じて機種の選択が出来、容器・ボールの材質も8種類に及びますので、試料に最適の条件をお選びいただけます。

◆粉砕用例

試料名	木材。5−6mm・3gr。
粉砕結果	5分で200ミクロン

◆混合用例

試料名	木粉70%+小麦粉30%
	木粉70%+PP20%

CE

tüv CERT DIN EN ISO 9001

Made in Germany

フリッチュジャパン株式会社

URL http://www.fritsch.co.jp
E-mail info@fritsch.co.jp

本　　社　〒231-0023 横浜市中区山下町252　TEL 045-641-8550　FAX 045-641-8364
大阪営業所　〒532-0011 大阪市淀川区西中島7-12-5　TEL 06-6390-0520　FAX 06-6390-0521

すぐれた効果
豊富なデータの裏付けで
薬剤持続期間7年を実現。

高い安全性
人体および水産動植物への
高い安全性。

充実の
フォローアップ
薬剤濃度検査
サービスの実施。

培った技術力
蓄積したノウハウで最適な
アドバイスを行います。

信頼のブランド
1982年の発売以来、
永きにわたり、全国の松を
守っております。

松枯れ防止樹幹注入剤

グリンガード®・NEO

農林水産省登録　第22028号

マツノマダラカミキリの
後食防止剤

マツグリーン®液剤

農林水産省登録第20330号

普通物

マツグリーン®液剤2

農林水産省登録第20838号

❶マツノマダラカミキリ成虫に低薬量で長期間優れた効果。
❷樹木害虫にも優れた効果を発揮。
❸新枝への浸達性に優れ、効果が安定。
❹車の塗装や、墓石の変色･汚染がほとんどない。
❺環境への影響が少ない。
❻周辺作物に薬害の心配がほとんどない。

剪定・整枝後の
傷口ゆ合促進用塗布剤

トップジンM®ペースト

農林水産省登録第13411号

作　物　名	適用病害名･使用目的
樹　木　類	切り口及び傷口のゆ合促進
き　　り	腐らん病
さ　く　ら	てんぐ巣病
ぶな（伐倒木）	クワイカビ類による木材腐朽

株式会社 ニッソーグリーン　www.ns-green.com

「林業遺産」
選定事業について

日本各地の林業は、地域の森林をめぐる人間の営みの中で編み出され、明治期以降は海外の思想・技術も取り入れつつ、大戦期の混乱を経て今日に至るまで、多様な発展を遂げてきました。

日本森林学会では、学会100周年を契機として、こうした日本各地の林業発展の歴史を、将来にわたって記憶・記録していくための試みとして、「林業遺産」選定事業を2013年度から開始しています。

各年度ごとに、林業発展の歴史を示す景観、施設、跡地等、土地に結びついたものを中心に、体系的な技術、特徴的な道具類、古文書等の資料群を、林業遺産として認定しています。

会員の方々はどなたでも推薦できます。非会員の方も、該当される地区の林業遺産地区推薦委員等を通じて応募することができます。

詳細情報については、学会ウェブサイト「林業遺産」をご参照下さい。
http://www.forestry.jp/activity/forestrylegacy/

林業遺産
ロゴマーク

日本森林学会
The Japanese Forest Society Since 1914