



# 森林

# 科学

[特集]

## 小笠原島嶼生態系の 研究と保全（前編）

シリーズ

森をたべる

ウルシをたべる、りょうする

林業遺産紀行

広葉樹択伐矮林施業「海部の樵木林業」

うごく森

木材への接触が人にもたらす生理的リラックス効果

No. **86**  
June 2019





## 特集 小笠原島嶼生態系の研究と保全(前編)

世界自然遺産「小笠原諸島」の特集によせて 吉丸 博志	2
海洋島の森の特徴と憂鬱 安部 哲人	3
海洋島における野生化ヤギ駆除後の生態系の変化 畑 憲治・可知 直毅	7
小笠原樹木の水の使い方と乾燥による枯死 石田 厚	11
小笠原諸島における樹木種の遺伝構造 鈴木 節子・須貝 杏子	15
島嶼性固有植物の保全ゲノミクス 井鷲 裕司・兼子 伸吾・安部 哲人 伊津野 彩子・牧野 能士	19
オガサワラグワのクローン増殖と 組織培養苗の植栽 板鼻 直榮	23

森林科学 No.86

2019年6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：小笠原諸島の固有種シマホルトノ  
キの花序（鈴木節子撮影、2015  
年6月21日、小笠原父島にて）

シリーズ 森をたべる ウルシをたべる、りょうする 田端 雅進	27
シリーズ 現場の要請を受けての研究 奈良県における菌根性きのこの栽培研究について ーホンシメジ・バカマツタケの栽培についてー 河合 昌孝	30
シリーズ 林業遺産紀行 広葉樹択伐矮林施業「海部の樵木林業」 網田 克明・柿内 久弥	34
シリーズ うごく森 木材への接触が人にもたらす生理的リラックス効果 池井 晴美	36
シリーズ 森をはかる ドローンで森林の構造をはかる 松浦 俊也	40

コラム 森の休憩室Ⅱ 樹とともに 自然風剪定 二階堂 太郎	42
解説 ハチクと淡竹ー古典籍からの考察ー 篠崎 真	43
記録 海外における森林療法の現況(2) ーヨーロッパ編ー 上原 巖	49
日本森林学会大会第6回高校生ポスター発表 横井 秀一	54
Information ボックス 北から南から	59

# 世界自然遺産「小笠原諸島」の 特集によせて

吉丸 博志 (よしまる ひろし、森林総合研究所)

小笠原諸島は行政上東京都に所属するが、東京 23 区からはるかに遠く南南東約 1,000 km の太平洋上に位置し、有史以来まわりの陸地と一度もつながったことのない海洋島である。4 つの列島（聳島列島、父島列島、母島列島、火山列島）と孤立した南鳥島、沖の鳥島、西之島などで構成されている。聳島列島、父島列島、母島列島は南北に約 50 km ずつ離れて位置し、火山列島は母島列島から南南西に約 200 km 離れて位置する（図-1）。

海洋島の特性として、植物、動物ともに独自の進化をとげた多数の固有種が存在し、いまなお多くの生物群において進化の過程が見られる。島固有の貴重な生物多様性が存在するいっぽうで、外来種の侵入にはきわめて脆弱である。過去の様々な時代の入植に伴って持ち込まれた強力な外来種、例えば植物ではアカギ、モクマオウ、リュウキュウマツ、ギンネム、シマグワなど、動物ではノヤギ、ノネコ、クマネズミ、グリーンアノール、ニューギニアヤリガタリクウズムシなどが、競合あるいは捕食される在来種の生存を大きく脅かしている。

このため、小笠原での生物研究は対象となる生物自身の研究と同時に、保全を意識した視点も必要とされる。本誌「森林科学」では第 34 号（2002 年 2 月）において、特集「小笠原の森林の生物多様性保全」が生まれ、「小笠原諸島の生物多様性－3 つの観点」「アカギ」「オガサワラグワ」「アカガシラカラスバト」「メグロ」「陸産貝類」「ヤギ」「国有林の保全対策」「森林生態系保全の現状と提言」などの研究が解説された。

その後、2011 年に小笠原諸島はユネスコの世界自然遺産に登録された。登録にいたる審議では、小さい島でありながら小笠原特有の固有種の割合が高いこと、特に陸産貝類や植物において進化の過程がわかる貴重な証拠が残されていること、などが高く評価された。登録とともに、小笠原諸島の生物研究もさらに幅広く詳細に進められてきた。また行政機関等による保全事業も広く行われ、「小笠原諸島世界自然遺産地域科学委員会」が小笠原諸島の自然環境の保管理活動を進めるための重要な連絡調整機関の役割を果たしている。

本特集では前回から約 17 年を経て、近年の小笠原研

究を 2 回にわけて紹介する。非常に多くの研究が実施されているのでとても網羅できるものではないが、今回はまず前編として、植物を対象として、「海洋島の森の特徴と憂鬱」「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 編の解説を紹介する。

次回の後編では、動物を対象として、「ミズナギドリ類」「アカガシラカラスバト」「オガサワラオオコウモリ」「土壌動物」「固有昆虫類」「陸産貝類」などについての研究の解説と共に、「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する予定である。

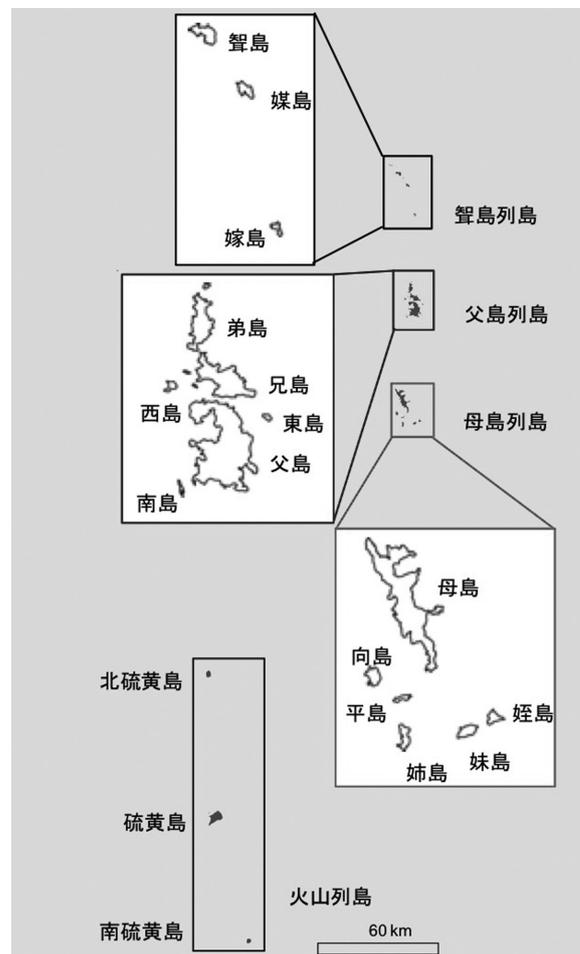


図-1 小笠原諸島の主な 4 つの列島の位置

## 海洋島の森の特徴と憂鬱

安部 哲人（あべ てつと、森林総合研究所九州支所）

### 海洋島の原生林

原生林はさまざまな生物を育み、生物多様性のゆりかごとして機能している。例えば、鬱蒼としたブナ原生林や熱帯雨林には、目に見えない微生物も含めて互いに関係し、時に食い食われ、時に助け合う、網の目のような相互作用ネットワークが形成されている。このような生態系では一部の種が消失しても他の種が関係を補うため、系の安定性が高い。しかし、こうした原生林のイメージは海洋島の森林にはあてはまらない。

隔絶された海洋島では自然に生物が侵入することが難しいため、生物相は貧弱で種の多様性は低い。しかし、独自の進化の結果、地球上の陸地面積のわずか数%を占めるに過ぎない島々に全固有植物の約50%が生息している（Kier *et al.* 2009）。この固有性の高さから、海洋島は生物多様性ホットスポットとして知られている。しかし、人が定住した島では開発によって原生林と呼べる森はほとんど残されていない（Mueller-Dombois and Fosberg 1998）。こうした現状から、海洋島に残存する原生林は保全価値が非常に高いと考えられている。しかし、種数が少ない島の原生林は多様性が高い大陸の原生林と異なり、網の目のような複雑な相互作用ネットワークは形成されていない。相互作用の比較的単純な森林生態系に侵略性が高い外来種が侵入した場合、その森林はどうなってしまうのだろうか？

海洋島である小笠原諸島の母島で脊梁山地を構成する石門地区には比較的樹高の高い森林がある。実は小笠原諸島の森林は乾燥に適応した樹高の低い林分が大部分を占めているが、石門一帯は水分条件が良いことから樹木の成長が良く、湿性高木林と呼ばれる樹高の高い森林が成立している。また、石門は石灰岩上にある森林であり、林内はラピエと呼ばれる石灰岩が露出した独特の景観を呈している。開拓期に利用価値の高い大木が択伐された経緯があるものの、壊滅的な伐採は逃れたため原生林に近い状態であり、保全価値が高い小笠原諸島の中でも一頭地を抜く自然度の高い森林である。車道から離れた場所に位置しており、山中を歩いて片道1時間ほどかかることもあり、戦後は手付かずの状態が維持された。世界自然遺産となった現在では立ち入り人数が制限されており、石門の森林生態系を保護するさまざまな制度ができています。林内にはウドノキやシマホルトノキなどの大

木がみられ、セキモンノキやセキモンウライソウ（写真-1）など、小笠原でも石門でしか見ることができない固有絶滅危惧種が生育している。しかし、大変残念なことに石門では昭和初期に造林目的でアカギ *Bischofia javanica* が試験植栽され、現在もその分布が拡大している。

### 外来樹木

意外なことに外来樹木の動態や生態系へのインパクトは外来草本や外来動物と比較して研究が進んでいない（Richardson and Rejmánek 2011）。これは草本植物と比べて樹木の寿命が長いことため分布拡大が認識されにくく、侵入から生態系に影響が出るまでに時間がかかること等が要因と考えられる。このため、外来樹木のふるまいや生態系へのインパクトについては研究の蓄積が待たれている。

アカギは小笠原の森林生態系に最も深刻な影響を与えている外来樹種であり、中でも分布拡大が著しいのは母島である。母島は湿性の気象条件のため、アカギの生育に適していると考えられている（田中ほか、2009）。アカギが小笠原に持ち込まれたのは1905年以前であり、母島での分布拡大は戦後に小笠原が日本に返還されてから判明した。石門とよく似た条件の母島桑ノ木山で急速にアカギ林が優占した経緯もあり、昭和初期にアカギを植栽した場所がある石門でも同様の変化が起こる可能性が指摘されてきた。こうした懸念もあって小笠原諸島で



写真-1 石灰岩ラピエ地帯にのみ生育する絶滅危惧種セキモンウライソウ *Procris bononensis*（イラクサ科）。日本に *Procris* 属は本種が分布するのみ。

はアカギ駆除事業が2002年度より実施されており（田中ほか、2009）、現在も進行中である。しかし、面積が狭い小笠原諸島では固有種の分布域が元々狭いことに加えて、外来樹種の根絶は世界的にも事例が少ないことから（Myers and Bazely 2003）、外来種が生態系に与える影響だけでなく、長期にわたる駆除事業に伴うリスク（標的外効果等）を考慮する必要がある（Zavaleta *et al.* 2001）。そこで、本研究では外来種アカギのインパクトと駆除による絶滅危惧種や種組成への影響を明らかにする目的で大面積（4 ha）の毎木プロットを設定して調査を実施している。この大面積固定プロットによる調査は調査自体やプロットの維持管理に労力がかかるため、外来樹種が森林生態系に与える影響やその根絶事業による森林の変化を評価するために適用されることはあまりない。しかし、森林の動態を長期かつ詳細に追跡するには最も適した手法である。

### 石門の森の現状

測量を2005年秋に行い、4 haのプロットを設置して2006年に毎木調査を行った。先述の通り現地は歩いて片道1時間かかるため、1日の調査は長くて6時間程度である。しかも10日間（小笠原は週1便の定期船が就航しているが、往復に船内泊を伴うため実際は2週間ほどの遠征となる）調査に費やしても終わらないため、完遂には複数回の渡航を要した。安易に始めたことを少し後悔した。2006年秋に台風15号が直撃し、ほぼ全個体で落葉するとともに、多くの個体が樹冠にダメージを負った。2007年に林床植生調査を行った。これらの調査で分かったことは、（1）シマホルトノキやウドノキよりもモクタチバナの優占度が圧倒的に高いこと、（2）アカギの優占度が予想以上に高いこと、（3）絶滅危惧種の個体数は総じて少ないこと、であった（Abe *et al.* 2018）。

モクタチバナは幹数で全体の約6割を占めており、圧倒的な優占度である。亜高木性のモクタチバナが優占し、それを越える高さに成長するシマホルトノキやウドノキ、モンテンボク、クワノハエノキなどが点在する森林となっていた。海洋島には大陸で優占するブナ科の樹木は種子（ドングリ）が海を渡ることができないため分布していない。また、カナリア諸島などで優占種となるクスノキ科も分布はしているが小笠原では優占種になっていない。一方で地理的に近いマリアナ諸島ではホルトノキ属 *Elaeocarpus* やトゲカズラ属 *Pisonia*、フヨウ属 *Hibiscus* などが主要樹種となっており（Mueller-Dombois and Fosberg 1998）、小笠原の森との共通点が多い。石門の森の種組成はこうした生物地理学的特

徴が反映されていると考えられる。原生的な森林でありながらもモクタチバナ1種が大きく優占していることから、石門はモクタチバナの影響が非常に強い森林と考えられた。一方で、全37種の成木（胸高直径10 cm以上）樹種の中でアカギは幹数で3番目、胸高断面面積合計で4番目に多い樹種に躍進していた。

石門は多くの固有絶滅危惧植物の生育地である。そもそも4 haもの毎木プロットを設定した動機は絶滅危惧種セキモンノキの個体群や周囲の森林の状況を把握するためであった。しかし調査の結果、セキモンノキは他の場所より高頻度で出現するものの決して個体数は多くなく、それ以外のレッドリストCR（critically endangered：絶滅リスクが最も高いカテゴリー）に指定されている固有絶滅危惧種も同様であった。石門は貴重な絶滅危惧種がわんさか出てくる聖域、という都市伝説（妄想）はあっけなく潰えた。絶滅危惧種はあくまで絶滅危惧種であり、たとえ石門のような場所であってもそれほど多くはない。裏を返せば、石門さえ守られていれば十分な個体数が維持される、ということにはならないのである。

### 台風攪乱後の森林動態と外来種

2008年に行った2回目の毎木調査によって台風後の約2年間の成長が明らかになった。台風の影響のためほとんどの樹種で成長は芳しくなかったが、そうした在来樹種と比べてアカギの成長は大きかった（図-1）。一般に外来種は攪乱に乗じて分布を広げることが知られているが、アカギは台風による攪乱後に母島の湿性高木林で最も成長の良い樹種となっており、年成長量はマルハチやアコウザンショウといった先駆種さえ上回っていた。

また、台風直後の2007年の林床調査でも外来種は多く見られた。樹木であるアカギ、ヤマグワ以外にも出現頻度が高かった外来種はトウロウソウ、パパイヤ、ヤン

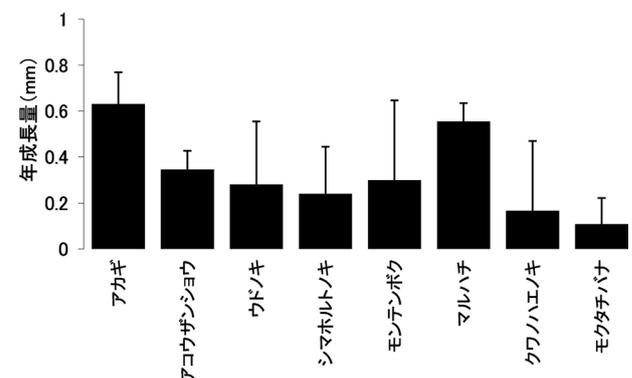


図-1 石門における主要樹種の胸高直径の年成長量 (2006 - 2008)

バルツルハッカ、ジュズサンゴなどがあり、その他、ベニバナボロギクやウスベニニガナといったごく一般的な雑草類も台風後に出現していた。こうした外来雑草は台風のような攪乱で林床が明るくなると発生し、短期間で結実して埋土種子化していると考えられた。普段は林冠が閉鎖して外来植物を目にする頻度が低くなるため自然度が高く見える石門だが、既に多くの外来植物が定着してしまっているのだ。それでもなお4haの調査区内に39種ものレッドリスト種（林床の草本類を含む）が出現する石門湿性高木林は小笠原諸島における生物多様性ホットスポットとしての重要性は微塵も揺るがない（Abe *et al.* 2018）。小笠原では外来雑草類によるインパクトの研究はあまり行われていないが、生育地の奪い合いなど絶滅危惧種に影響している可能性がある。

石門におけるアカギ駆除事業は2008年の毎木調査の後に始まった。駆除はラウンドアップを用いた薬殺である（写真-2）が、林地保全や絶滅危惧種の生息環境攪乱を最小限に抑えるため、一度にアカギ全個体を駆除せ

ず段階的に駆除している。2016年に行った3度目の毎木調査の結果、アカギ成木の幹数は2008年と比較して大幅に減少しており、駆除の効果が認められたが、驚くべきことに残った個体の成長が良いためアカギの胸高断面積合計は2008年より大きくなっていった。一方で、アカギ駆除で形成されたギャップの林床には懸念されていた外来植物の侵入はほとんど見られなかった。これらの結果から生物多様性保全のためには現行のアカギ駆除率を上げることが望ましいと考えられた。

加えて、成木サイズにそれまで無かった外来種ガジュマルが新たに5個体加入していた。ガジュマルの親木は石門周辺には分布しておらず、種子が遠方から鳥に運ばれて侵入したと考えられるが、ラピエや林冠木に着生して大きくなっており、林冠から気根を垂らして地面に到達している個体も複数確認された（写真-3）。林冠に着生した未確認の実生が多数あることは推して知るべしである。現在、小笠原諸島ではガジュマルの駆除は進んでいないが、石門のような森林では実生の対策も含めて



写真-2 石門での薬殺で樹冠部が枯れたアカギ。アカギは大きな樹冠を形成するため、薬殺により林内に大きなギャップが形成される。この個体は葉の効きが甘く、一部に葉をつけた枝が残っている。



写真-3 石門で樹冠に着生して気根が地面に到達したガジュマル。樹冠に着生した実生はこのように気根が地面付近まで伸びてくるまで気付きにくい。灰色の露岩は石灰岩ラピエ。

早急な対応が求められる状況であることが判明した。

### おわりに

海洋島の森は原生林といえども種の多様性は高くなく、固有性の高さに価値が認められる生態系である。限られた種から成る島の森林生態系は外来種に対して脆弱であり、生態系保全上の大きなリスク要因である。しかも、一旦広がった外来種の根絶は簡単ではなく、しばしば不可能でさえある。根絶が難しい場合、外来種から生物多様性を保全するには恒久的な生態系管理が要求され、多大な困難とコストが伴う (Norton 2009)。現実的には根絶しきれない外来種がいる中で、どのような生態系管理を目指すべきであろうか？既に外来種が優占している場合、生態系の中で重要な機能を果たしており、駆除により生態系全体に影響が及ぶ可能性が高い。特に構成種数が少なく脆弱な海洋島生態系ではレジームシフト (生態系の構造や機能が何らかの要因で従来とは大きく異なる安定平衡状態へ不可逆的に移行すること) を起こしていることが多く、その場合は外来種を駆除しても元の生態系には戻らない。例えばノヤギを根絶することで、それまで抑えられていた外来植物が優占する植生に変化してしまうことは海洋島ではよく知られている (Schofield 1989, Zavaleta *et al.* 2001)。こうした相互作用を介して外来種駆除の影響が様々な方面に出るため、生態系の保全・復元には不確定な要素が多い。本研究でも石門の森林調査は10年余り経過しただけであり、アカギ駆除の影響も含めて動態を解明するにはさらに<sup>うんのう</sup> 蘊奥を極める必要がある。

### 引用文献

Abe T, Tanaka N, Shimizu Y (2018) Plant species

diversity, community structure and invasion status in insular primary forests on the Sekimon uplifted limestone (Ogasawara Islands). *J Plant Res* 131: 1001-1014

Kier G, Kreft H, Lee TM, Jetz W, Ibisch PL, Nowicki C, Mutke J, Barthlott W (2009) A global assessment of endemism and species richness across island and mainland regions. *PNAS* 106: 9322-9327

Mueller-Dombois D, Fosberg FR (1998) *Vegetation of the tropical Pacific islands*. Springer

Myers JH, Bazely DR (2003) *Ecology and control of introduced plants*. Cambridge University Press, Cambridge

Norton DA (2009) Species invasions and the limits to restoration: Learning from the New Zealand experiences. *Science* 325: 569-571

Richardson DM, Rejmánek M (2011) Tree and shrubs as invasive alien species – a global review. *Divers Distribut* 17: 788-809

Schofield E (1989) Effects of introduced plants and animals on island vegetation: examples from the Galápagos Archipelago. *Conserv Biol* 3: 227-238

田中信行・深澤圭太・大津佳代・野口絵美・小池文人 (2009) 小笠原におけるアカギの根絶と在来林の再生. *地球環境* 14: 73-84

Zavaleta ES, Hobbs RJ, Mooney HA (2001) Viewing invasive species removal in a whole-ecosystem context. *TREE* 16: 454-459

# 海洋島における野生化ヤギ駆除後の生態系の変化

畑 憲治 (はた けんじ、日本大学商学部・首都大学東京大学院理学研究科)

可知 直毅 (かち なおき、首都大学東京大学院理学研究科)

## 侵略的外来生物としてのヤギ

ヤギは、侵略的外来生物として世界中の海洋島において保全上大きな問題となっている (Loope *et al.* 1988)。海洋島では、大型肉食動物などのヤギの天敵がおらず、また植物がヤギの採食に対する防御機構（棘や毒など）を持っていないことが多い。このような環境にヤギが持ち込まれ野生化するとその個体数は爆発的に増加する。

野生化したヤギ（以下ノヤギ）の爆発的な増加は、島の生態系を著しく劣化させる。ノヤギは植物を食べ、踏みつける。その結果、森林が草地に変化し、さらに草地が消失し裸地化する。さらに裸地化した場所が雨風にさらされると土壌流出が起きる。流出した土壌が海に流れ込んだ場合、サンゴなどの海洋生態系にも影響を及ぼす可能性がある。

このようなノヤギによる攪乱の結果として起きる生態系の劣化を止めるために、世界中の海洋島でノヤギの駆除・抑制が実施されている (Campbell and Donlan 2005)。小笠原諸島でも 1970 年前後からノヤギの駆除が実施され始め、2010 年までに父島を除くすべての島においてノヤギが完全に駆除された。

ノヤギの駆除後の生態系の変化は様々である。駆除によって一度消失した植生が回復した場所がある一方で、駆除後も植生が回復せずにさらなる土壌流出が止まらない場所も存在する。なぜこのような違いが生じるのか？

この理由について本稿では小笠原諸島のなこうじま 媒島を例に生態系全体の変化に着目して説明する。

## 媒島におけるノヤギ駆除前後の生態系の変化

媒島は、小笠原諸島の最も北に位置する聳島列島に属する無人島である (図-1)。人間の入植前には島の大部分が森林に覆われていたと言われている (清水 1993)。戦前に家畜として持ち込まれたヤギが、戦後無人島化した際に野生化した。その後、爆発的に増加したノヤギによる採食と踏圧の結果、植生の退行・消失と土壌流出が起きた (写真-1)。媒島では 1997 年からノヤギの駆除

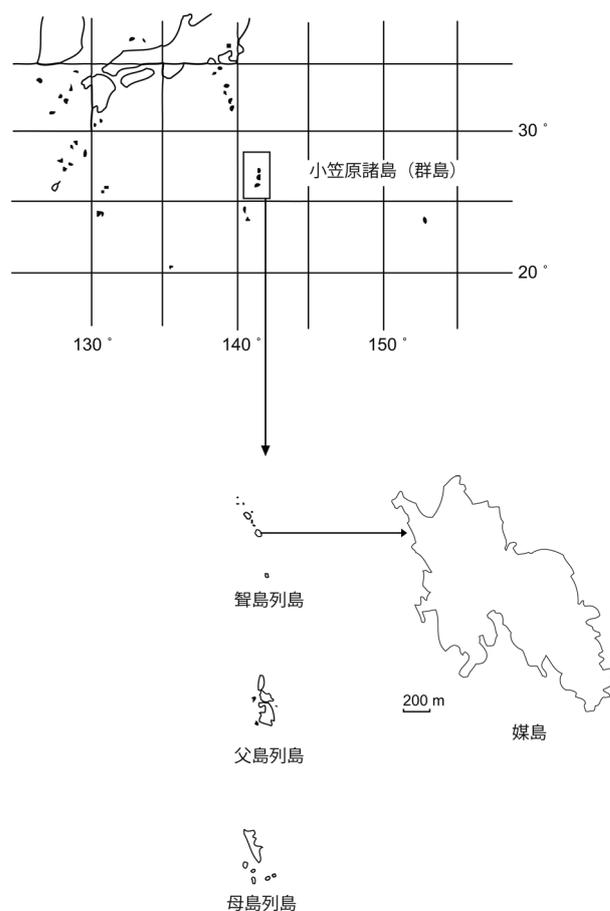


図-1 媒島の位置



写真-1 媒島における植生の退行の様子

が実施され、1999年にノヤギは完全駆除された（自然環境研究センター 2000）。

ノヤギ駆除後の媒島では、全体的にみると植生の回復が見られた。駆除前と比較して裸地の面積が減少し、草地の面積が増加した（Hata *et al.* 2010）。また、遷移初期樹種であるウラジロエノキが優占する森林も出現した（畑・可知 2009）。その一方で、侵略的外来植物であるギンネムの侵入も見られた（Osawa *et al.* 2016）。ギンネムは、南米原産のマメ科低木である。世界中の海洋島に導入され、多くの島で侵略的な外来種として問題となっている。ギンネムが侵入した場所には他の植物が定着できないことが多い。そのため、ノヤギ駆除後のギンネムの侵入は、その後の在来木本種の定着を阻害し、その結果、在来森林植生への遷移が起こらない可能性がある。いずれにしてもこのような在来種・外来種を問わず植生の回復は、駆除によってノヤギによる攪乱から解放された結果と考えられる。

このように植生の回復があった一方で、ノヤギ駆除後に植生が回復しなかった場所も存在した。特に、ノヤギ駆除前に一度植生が消失し裸地化した場所では、出現する植物種数は少なく、植生の地上部バイオマスも小さかった（Hata *et al.* 2014, Hata *et al.* 2019）。この原因の1つとして土壌流出に伴う土壌環境、特に土壌の化学特性の改変が考えられる。裸地化した場所では、土壌が流出しやすい（Hata *et al.* 2019）。表層土壌が流出すると出現した下層の土壌が新たに表層土壌となる（写真-2）。媒島の下層土壌は、栄養塩量が少なく、pHが低い（Hiradate *et al.* 2015）。このような土壌では植物の成長が制限され、その結果、植物の定着が起きなかった可能性がある。



写真-2 表層土壌が消失した様子

このようなノヤギによる攪乱の結果起こった生態系の劣化のプロセスを Whisenant (1999) のモデル（図-2）で説明する。このモデルでは、生態系が劣化（図

の横軸において左側に移行）するにしたがって生態系の機能性が低下（図の縦軸において下側に移行）する。図中のボールの位置がその時点での生態系の状態に対応する。生態系が、攪乱を受けるとボールは徐々に左下に移動する。このモデルでは、生態系にはある一定レベル以下の攪乱を受けても元の状態に戻る力が備わっている（ボールが収まっているくぼみがこれに相当）と仮定している。しかし、一定レベル以上の攪乱を受けて閾値を超えると生態系は劣化し、より機能性が低い状態に移行する。つまり、生態系の状態と機能性の関係が単純な直線関係ではないことを示している。これは、一度生態系が劣化し機能性が低下したら、元の状態に回復するためにはより大きな力が必要となることを意味する（ボールを1つ上のくぼみに戻すためには山を1つ超える必要があるため）。

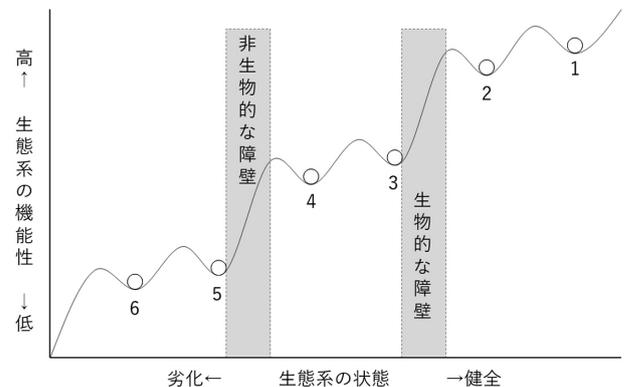


図-2 生態系の劣化のプロセスのモデル（Whisenant 1999より改訂）

このモデルを用いて媒島における生態系の劣化のプロセスを考えると、大きく分けて2つの段階があったと考えられる。第1段階は植生が退行・消失する段階、第2段階は植生が消失し土壌が露出した場所で土壌が流出する段階である。第1段階の植生の退行・消失が起きた原因は、ノヤギによる採食や踏圧と考えられる（図-2の2→3）。この過程はノヤギが直接的に引き起こしたと言える。そのためノヤギの駆除によって植生の退行・消失の原因が取り除かれれば、植生の回復は起こると考えられる。一方で、第2段階の土壌流出が起きた原因は、裸地化し露出した土壌が風雨にさらされたためであると考えられる（図-2の4→5）。つまり、ノヤギによる攪乱は直接的には関係がない。そのため、第2段階に達した場所ではノヤギを駆除しても植生の回復が起こる可能性は低い。このような場所では、まず土壌環境という生態系の機能を回復させる必要がある。

植生の退行と土壌流出に加えて、海洋島では海鳥の営巣もノヤギ駆除前後の生態系の変化に大きな影響を及ぼ

している。海鳥は海で採餌し、陸上で生活する。これは生態系外（海）の物質を排泄物、死体、卵、吐き戻しなどを介して生態系内（陸上）に持ち込むことを意味する（写真-3）。このような物質の持ち込みは、生態系内における物質の循環や収支を改変し、結果的に土壌の化学特性や植物の一次生産に影響する。また、海鳥の営巣に伴って植生の踏み付けや土壌の掘り返しなどによって土壌の物理環境の改変が起きる可能性もある。



写真-3 媒島で営巣しているカツオドリの様子

海鳥の営巣は、ノヤギによる攪乱と駆除によって大きな影響を受ける。例えば植生への踏み付けに伴って海鳥の営巣が阻害される。また、植生の消失や土壌の流出は、結果的に営巣地そのものが失われることにつながる。逆にノヤギの駆除により失われた海鳥の営巣の回復が期待される。

以上のような複数のプロセスが複合的にノヤギ駆除前後の生態系の変化に影響していると考えられる。図-3で実測データに基づいた媒島の生態系における生物的・非生物的要素の関係を示した。それぞれの要素が複数の要素と直接的に関係しているだけでなく、第3の要素を介して間接的にも関係していることがわかる。たとえばノヤギ駆除前に起きた植生の消失と裸地化は、土壌の置換酸度（土壌の酸性の程度の指標で値が大きいほど酸性）を上昇させ、その結果、ノヤギ駆除後の草地植生の一次生産が低下する可能性がある。また、海鳥の営巣は、尾根筋に偏ることが多い。つまり、海鳥の営巣による土壌への栄養塩の持ち込みは、尾根筋に偏ると考えられる。その結果、地形-海鳥の営巣-土壌の栄養塩という間接的な関係が生じたと考えられる。ノヤギの攪乱によって生態系を保全・復元するためには、このような複雑な相互作用の全体像を包括的に理解し、ノヤギの駆除などのアクションが生態系全体にどのように波及するかを予測することが重要である。

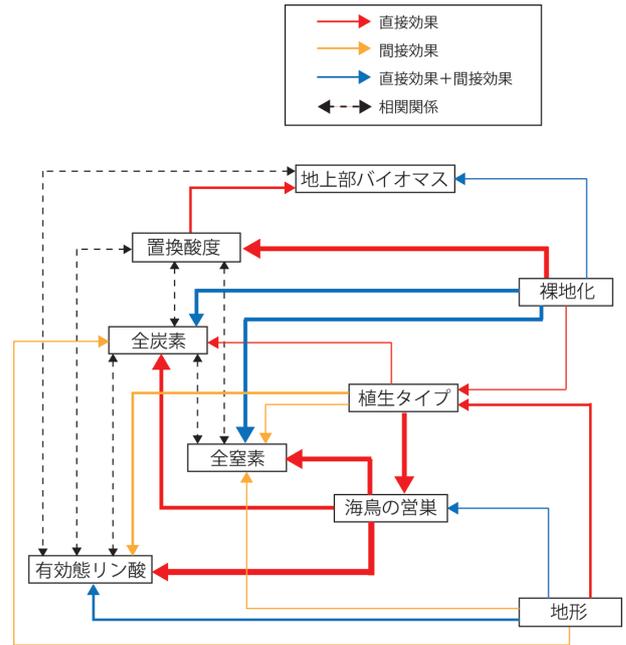


図-3 媒島における生態系の構成要素間の関係（Hata et al. 2014 より改訂）

地上部バイオマス：草地植生の植物の地上部分の乾燥重量、裸地化：ノヤギ駆除前（1991年）における裸地化の有無、植生タイプ：草地植生における優占種の違い（コウライシバが優占しているかどうか）、海鳥の営巣：周囲に海鳥の営巣（海鳥、糞、巣）の有無、地形：尾根もしくは斜面・谷、置換酸度：土壌中の置換酸度（酸性の程度の指標）、全炭素・全窒素：土壌中の総炭素・総窒素量、有効態リン酸：土壌中の有効態リン酸量（植物が利用可能なリンの量の指標）

## おわりに

最後に、ノヤギによる攪乱を受けた生態系を保全・復元・管理するうえで最終的にどのような生態系を目指すべきかについて議論したい。かつてこのような場合、ノヤギの攪乱を受ける前の生態系、特に在来生物によって構成される生態系を目標とすることがあった。しかしながらこれはあまり現実的ではない。たとえば、今回紹介したような非常に強い攪乱を受けた場合、元々存在したような在来生物がすでに絶滅もしくはその個体数が極端に少なくなっていることがある。このような場合、ノヤギを駆除したとしても在来生物の個体数が回復し、持続的に維持できない可能性がある。また、土壌流出のように生物が生存していくための基盤となる生態系の機能（今回の場合は土壌環境）が消失している場合、そもそも生物が生存できる環境自体が失われてしまっている可能性もある。

近年、より現実的な目標となりうる生態系として「Novel ecosystem」という概念が注目されている。これは、構成する生物種は元々の生態系とは異なるが、生

態系が持つ機能は元の生態系と類似しており、基本的に人間の管理なしでも持続可能な生態系のことである (Hobbs *et al.* 2009)。このよう生態系の場合、生態系の中で元々の在来生物と同等の機能を持つのであれば在来生物である必要はない、ということになる。そのため、たとえば外来生物が対象の生態系の中で在来生物と同等の機能を持つのであれば、それを駆除しないでそのまま残すという可能性も除外しない。ただし外来生物は生態系に対して非常に多様で複雑な影響を与えると考えられる。そのため、外来生物の利用には、十分な科学的根拠に基づいた慎重な議論が必要である。いずれにしても生物の種構成にこだわらず生態系の機能に基づいて保全・復元・管理していくという考え方により、より柔軟かつ現実的な目標を立てることが可能になると考えられる。

#### 引 用 文 献

- Campbell KJ, Donlan CJ (2005) Feral goat eradication on islands. *Conserv Biol* 19: 1362-1374
- 畑 憲治・可知直毅 (2009) 小笠原諸島における野生化ヤギ排除後の外来木本種ギンネムの侵入. *地球環境* 14: 65-72
- Hata K, Kohri M, Morita S, Hiradate S, Kachi N (2014) Complex interrelationships among aboveground biomass, soil chemical properties, and events caused by feral goats and their eradication in a grassland ecosystem of an island. *Ecosystems* 17: 1082-1094
- Hata K, Osawa T, Hiradate S, Kachi N (2019) Soil erosion alters soil chemical properties and limits grassland plant establishment on an oceanic island even after goat eradication. *Restor Ecol* 27: 233-242
- Hata K, Suzuki JI, Kachi N (2010) Vegetation changes between 1978, 1991, and 2003 in the Nakodojima island that had been disturbed by feral goats. In: *Restoring the Oceanic Island Ecosystem*. Kawakami K, Okochi I (eds) Springer Japan, 85-91
- Hiradate S, Morita S, Hata K, Osawa T, Sugai K, Kachi N (2015) Effects of soil erosion and seabird activities on chemical properties of surface soils on an oceanic island in Ogasawara Islands, Japan. *Catena* 133: 495-502
- Hobbs RJ, Higgs E, Harris JA. 2009. Novel ecosystems: implications for conservation and restoration. *Trends Ecol Evol* 24: 599-605
- Loope LL, Hamman O, Stone CP (1988) Comparative conservation biology of oceanic archipelagoes. *Bioscience* 38: 272-282
- Osawa T, Hata K, Kachi N. 2016. Eradication of feral goats enhances expansion of the invasive shrub *Leucaena leucocephala* on Nakoudojima, an oceanic island. *Weed Res* 56: 168-178
- 清水善和 (1993) 小笠原諸島聳島列島の植生：モクダチバナ型低木林の生態と野生化ヤギの食害による森林の後退現象. *駒澤地理* 29: 9-58
- 自然環境研究センター (2000) 平成 11 年度小笠原国立公園植生回復調査報告書. 東京都小笠原支庁
- Whisenant S (1999) *Repairing damaged wildlands: a process-orientated, landscape-scale approach* (Vol. 1). Cambridge University Press

## 小笠原樹木の水の使い方と乾燥による枯死

石田 厚（いしだ あつし、京大大学生態学研究センター）

### 小笠原の自然環境と植生

小笠原諸島は、東京から南に約 1,000 km に位置し、第三紀の海底火山が隆起してできた海洋島です。東京から南に沿って火山由来の島々があるのは、東側から太平洋プレートが押し、西側にあるフィリピン海プレートに沈みこむことによります。このプレート沈みこみによって、日本海溝と呼ばれる深い海が相模湾沖から南北に走っています。その海溝の西側にあるフィリピン海プレート上に、火山由来の島々が並んでいます。現在噴火している島々は、北は大島、途中、三宅島や鳥島、現在噴火拡大中の西之島などがあり、火山列島と呼ばれています。これらは現在の火山噴火によって形成されているので、第四紀の島々です。一方小笠原諸島はそれよりも歴史が古く、火山列島から約 100 km ほどの東側に、やはり南北に列状に並んで位置しています。

小笠原諸島の父島の年平均気温は 23.2℃で、今まで降雪や霜、結氷の記録もありません。また大陸から大きく離れているため、降水量は少なく年間約 1,300 mm と、ケッペンの定義ではサバンナ気候に位置付けられます。ちなみに東京都の年間降水量は約 1,530 mm、比較的近い緯度にある那覇の年間降水量は約 2,041 mm もあります。さらに小笠原諸島は海底溶岩が隆起してできた島のため、特に尾根部では土壌が極端に浅く、所々溶岩が露出しています。したがって、土壌の深さも 0 から数センチといったごく浅い場所も普通に見られます。浅い土壌、少ない降水量、高い気温のため、土壌は極端に乾きやすくなっています。特に尾根部では、土壌が浅く乾きやすいために植生の発達も悪く、それがまた土壌を下方に流れやすくしています。そのような乾燥尾根部には、樹高が数 m から 1 m 以下の背の低い、乾性低木林とよばれる森林が発達しています。小笠原では森林火災は起きたことはなく、火災の影響はありません、一方谷部では、土壌の風化や蓄積も進み、土壌の深さは数 m にもおおよび、樹高も 20 m 近くまで達する、湿性高木林とよばれる森林が発達していきます。したがって、乾き易い尾根部から湿った谷部に向け、土壌深が増加し、それに沿って森林の樹高も連続的に高くなっていきます（写真-1）。

その尾根部から谷部の土壌深の傾度に沿って、一つの種で樹高を 1 m 以下から 15 m と大きく変えていきなが



写真-1 兄島の斜面にそった植生。尾根部はしばしば溶岩が露出し樹高の低い乾性低木林が、谷部には樹高の高い湿性高木林が広がっています。写真は著者撮影。

ら生育できる樹種、乾性低木林のみしか見られない樹種、湿性高木林のみしか見られない樹種など、さまざまなタイプの樹種が生育しています。小笠原諸島には固有種が多く、乾性低木林樹種の約 70% は固有種といわれています。大陸と切り離されている海洋島で、大きな乾燥勾配もあることから、乾性低木林の樹木種は、乾燥に適応し、進化してきたものと考えられます。したがって小笠原諸島の森林は、樹木の乾燥適応の仕組みを研究するモデルサイトになります。

### 森林への温暖化影響

近年世界各地で、熱波や極端な乾燥による樹木の乾燥枯死や森林崩壊が報告されており、温暖化等による影響と見られています。小笠原諸島では、多くの固有種があり、また彼らは島外に逃れることができないことから、温暖化が彼らにどのような影響を及ぼすか、重要な問題です。もともと乾燥地は、降水量の年変動が大きい傾向があります。そのうえ温暖化により、エルニーニョやラニーニャの頻度は増え、降水量の年変動はさらに大きくなると予測されています。温暖化予測のシナリオはいくつかあり、年降水量は増加するか減少するか、よくわかりません。しかしながら、多くの温暖化シナリオは、世界の多くの地域で、降水量の変動が大きくなると予測しています。従って、気象の極端化がより進むと考えら

れます。降水量が極端に多くても洪水など様々な災害を引き起こしますが、植物や樹木の生産、森林の機能は、降水量が極端に少ない時に一番の制限がかかります。

こういった乾燥地に生育する樹木は、乾燥に対して適応し進化してきたものと思われま。しかし一方、今まであまり経験したことがない、もしくは極端な乾燥がより頻繁に起きると、樹木や森林は衰退していくでしょう。すなわち、「乾燥に適応してきた森林は、温暖化等による乾燥イベントにより脆弱であるという、パラドックスがある」と我々は仮説づけています。今まで高CO<sub>2</sub>に対する樹木や森林生態系の反応に関して多くの研究がなされてきましたが、降水量の変動や乾燥に対する樹木の反応に関する研究は未だ十分ではありません。したがって、今後の降水量変動予測とともに、降水量変動によって樹木がどのような影響を受けるか、またさらに水や森林資源、エネルギーといった生態系サービスを維持し続けるには、どのような森林保全やそれを含めた社会全体のシステムを構築するのか、我々は大きな問題を抱えています。また小笠原はそういった研究の最前線のモデルサイトにもなります。

### 樹木の水利用と乾燥適応

小笠原諸島で樹木の乾燥ストレスに対する適応の仕方を研究していくと、樹種によって様々な仕組みや戦略が見られます。例えば、乾燥が進んだ時に、葉の含水率や水ポテンシャルを下げている anisohydric (アナイソハイドリック) と呼ばれるような樹種もあれば、葉や枝の含水率や水ポテンシャルを維持していく isohydric (イソハイドリック) と呼ばれるような樹種もあります。

我々の研究分野では、含水率ばかりでなく、特別な機器を用いて水ポテンシャルといわれる形質も測定しています。それは水の動きを物理化学式で一般化し、数式でとくためには、水ポテンシャルを用いた方が便利なためです。水は必ず、水ポテンシャルが高い方から低い方へと動きます。それは水ポテンシャルの化学式が、そうなるように物理化学的に定義されて作られているからです。植物は一般に、根に積極的に水を吸う力がある訳ではありません。葉が蒸散し含水率が低下すると、水ポテンシャルも低下し、高い水ポテンシャルを持つ土壌から、水ポテンシャルの低い葉へと水が吸い上げられていくことで吸水が起こります。従って葉の含水率が下がり水ポテンシャルが下がると、土壌から水を引く力が強くなります。土壌は多くの場合、さわってみても、水がふんだんにある訳ではありません。そういった土壌から水を吸うには、かなりの強い吸引力が必要であることは容易に想像できると思います。実際に乾性低木林の樹木で、莖

内の道管内にかかっている圧力をはかると、-10気圧とか-15気圧とか、かなり低い値が出てきます。大気圧は普通1気圧ですので、その10倍以上の力(負圧)で、植物は水を吸っているわけです。そうすると、植物は脱水し水ポテンシャルを下げ、道管内の強い負圧をかけた方が、土壌から水を吸えますが、問題も出ます。そのような強い負圧をかけて水を吸引すると、道管内に空気が引き込まれ入ってしまいます(図-1)。道管の中は、水分子が水素結合でお互いに吸着している状態で、水は引き上げられる形で土壌から葉へと移動していきます。しかし道管に空気が入ると道管内の水分子の同士の吸着が離れてしまい、水柱が切れてしまい、水が上には上がらなくなってしまいます。これは木部キャピテーションとかエンボリズムと呼ばれます。したがって、植物は脱水して水ポテンシャルを下げる(吸水力を上げる)方が有利ですが、水ポテンシャルを下げすぎると空気が入って道管の中の水柱が切れてしまう、といったトレードオフ関係が存在します。植物はそのトレードオフ軸にそって、どのレベルまで脱水し、どのレベルの水ポテンシャルを持つか、それぞれ異なった適応戦略を持っています。

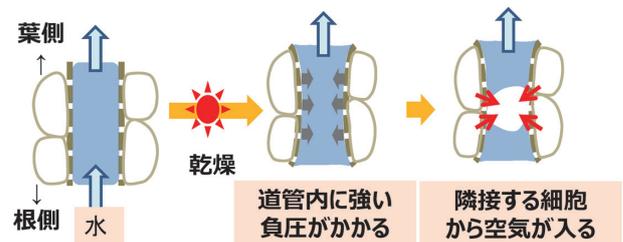


図-1 乾燥による道管内に空気が入り、道管内の水管が切れる様子の模式図。

道管内の水管が切れてしまっても、エネルギーや糖を使って修復する仕組みがあったり、新たな道管を作ったりして、植物は吸水機能を確保しています。しかし道管の機能は何年、もしくは何十年とは維持できません。それで樹木は、新たに道管を作り、年々幹が成長していくことによって長い寿命を可能にしています。道管内に水切れが起こると、その道管に糖を出し、その高い浸透圧を利用して水を引き込み空気を押し出し、水管を回復させるメカニズムなどが提唱されています。どの植物種でもできるかどうかなど、詳しいことは不明です。小笠原諸島の乾性低木林樹種では、道管の水切れが進むとでんぷん(貯蔵型の糖)が、可溶性糖(代謝に利用可能な形の糖)に変換され、逆に雨などによって道管の水切れが回復すると可溶性糖はまたでんぷんに戻されるといった現象が見られました<sup>1)</sup>。このような可溶性糖は、水切れ道管の修復や浸透調節など、さまざまな脱水ストレスに対応するための代謝に使われているものと思われま。

## 樹木の乾燥枯死の生理メカニズム

近年、熱波や乾燥によって、世界の各地で樹木の乾燥枯死や森林崩壊が報告されてきています。例えば降水量が同じであっても、気温が上昇することによって、大気の水蒸気飽和点（大気がどれだけ気体の水分子を持てるか）は上昇し、植物は乾燥を受けます。将来の温暖化等により、樹木や森林生態系がどのような影響を受けるのかを予測するためには、樹木の乾燥枯死の生理メカニズムを明らかにしていく必要があります。

当初は乾燥枯死のメカニズムとして、道管に空気が入って通水障害を起こす、通水欠損仮説が主流でした。しかし近年 McDowell や Sala らの研究グループは、樹体内の糖が欠乏して枯死にいたる、糖欠損仮説を提唱してきました<sup>2, 3)</sup>。糖は、ミトコンドリアで呼吸しATPを作り出す原材料でありますし、浸透調節といった細胞が脱水に耐える仕組み、また新たな根系や道管を作る際にも、原材料になる糖が必要になります。細胞壁は糖が主原料になっています。植物は、気孔を開き蒸散をしながら光合成をするので、水と糖は切り離せないことは昔からよく認識されています。近年の樹木の乾燥枯死過程の研究の中で、通水欠損仮説のみを支持するようなデータ<sup>4)</sup>、もしくは糖欠損仮説のみを支持するようなデータ<sup>5)</sup>が出てきていて、議論が盛んに行なわれています。両者の仮説がそれぞれデータをもって支持されることは不思議なことです。それでそれらの文献を見ますと、野外の成木で研究を行なうと通水欠損仮説を支持するケースが多く、実生や稚樹の実験系で研究を行なうと糖欠損仮説を支持するケースが多いことに気づきました。

そこで我々は、兄島の野外でのウラジロエノキ2歳同齡集団について、乾燥によって樹木が衰退していくときに、どのようなことが樹体内で行っているか調べてみました<sup>6)</sup>。ウラジロエノキは、南アジアや東南アジアに広く分布する先駆性樹種（陽樹）で、小笠原諸島では3歳でもう種子繁殖を開始します。ウラジロエノキは、乾燥を受けると落葉が進みます。落葉によって樹木個体の蒸散面を減らすことができるので、乾燥による落葉は植物一般によく見られる現象です。我々は兄島で、さまざまなレベルで落葉している290個体の2歳のウラジロエノキ稚樹をマークし、幹基部の辺材面積と、個体が着けている総葉面積を算出し、その後1年間の成長や枯死を追跡調査しました。辺材とは通水機能を持っている材部分のことで、幹基部の直径から断面積を求め、係数0.743をかければ、辺材面積を求めることができました。辺材面積／葉面積比は、単位葉面積あたりに割り当てられる道管面積にあたるような形態特性になります。結果、

落葉が進み、辺材面積／葉面積比が大きい個体ほど、樹木個体の枯死率は上昇し、相対成長速度も低下しました（図-2）。よって辺材面積／葉面積比は、その個体を受けている乾燥ストレスの度合いの良い指標になっていることを示します。

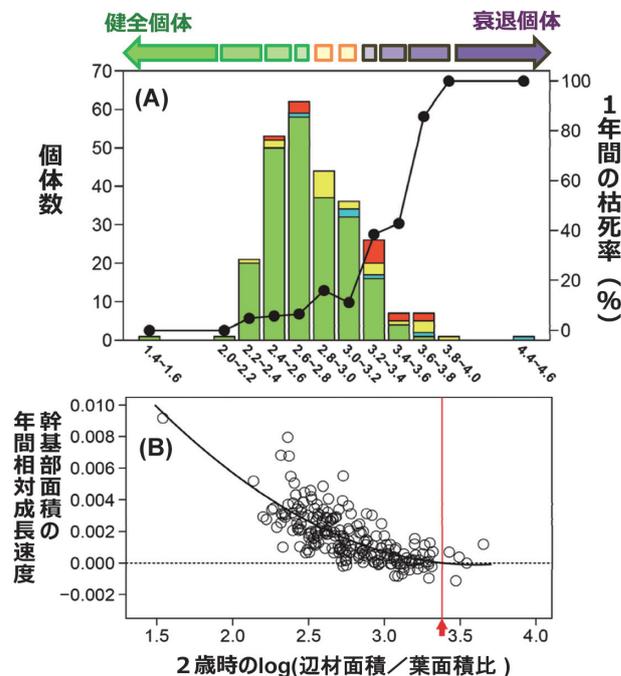


図-2 2歳のウラジロエノキ稚樹のlog(辺材面積／葉面積比)クラスと、3歳になるまでの1年間の(A)個体数(棒グラフ)と枯死率(折れ線)および(B)幹基部面積の相対成長率との関係。(A) 緑は生存個体、赤は乾燥枯死、黄色は倒れ枯死、青は不明。(B) 赤線で示したlog(辺材面積／葉面積比)が3.38の時に成長率0%の生存限界点。これより落葉しているところでは枯死率100%に達する。

また落葉が進んだ個体ほど、気孔開度や光合成速度、呼吸は低下しました（図-3A）。また落葉が進んだ個体では健全な枝に関しては道管の水切れは進んではいりませんが、土壌から葉への通水コンダクタンスは低下していました（図-3B）。従って、単位葉面積あたりの通水性は、葉脈道管の水切れや根系の劣化による通水性の障害の結果であり、それにより気孔開度も光合成速度も低下していくと考えられました。木部に貯蔵している糖の方にも、面白い現象が見られました。乾燥ストレス初期から落葉が始まり、特に幹基部の木部で総糖（でんぷん+可溶性糖）の濃度は助々に増加していき、さらに乾燥ストレスを受けていくと、総糖濃度は低下を始め、最後糖が無くなっていくと、枯死に至ることがわかりました（図-3C）。すなわち、乾燥ストレス初期は通水障害がおき最後は糖欠乏で死ぬ、という過程が明らかになりました。また炭素安定同位体によって篩部の糖輸送能力を比較すると、初期の幹基部での糖の蓄積は、篩部の

糖輸送障害によって起こることがわかりました。しかし呼吸等により糖が消費され減少していくと、もう枯死に至る危険な状態であることがわかります。このようにメカニズムは違って、樹木でもまるで糖尿病のような症状を呈することは面白く感じます。

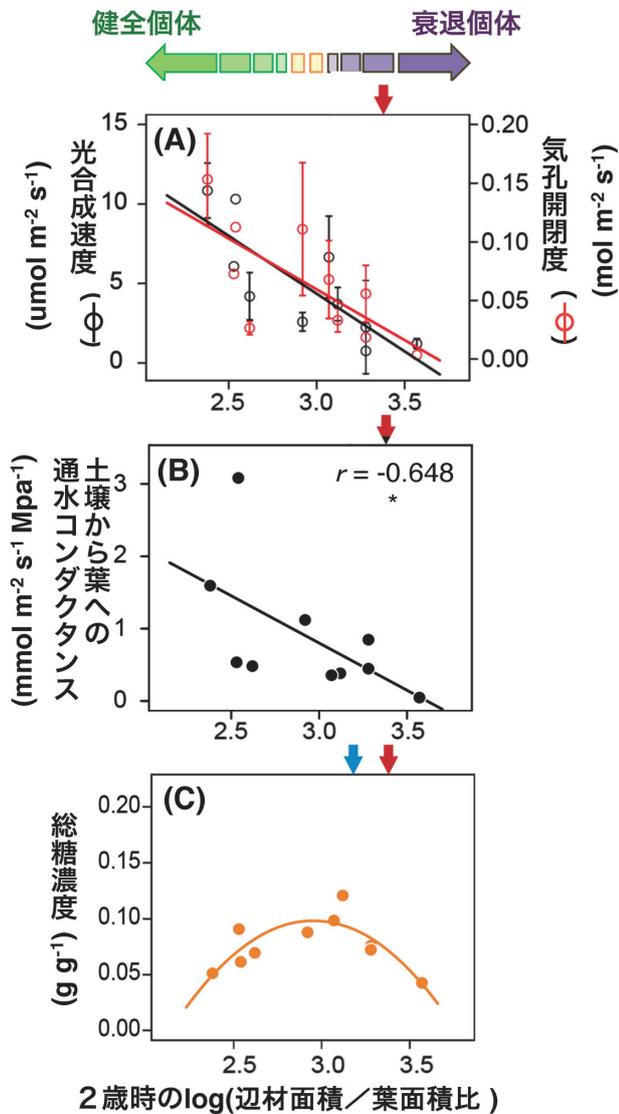


図-3 2歳のウラジロエノキ稚樹のlog(辺材面積/葉面積比)と、(A) 光合成と気孔コンダクタンス、(B) 単位葉面積当たりの通水コンダクタンス、(C) 幹基部の辺材に含まれる総糖(でんぷん+可溶性糖)濃度との関係。赤矢印は図-2Bより得られた生存限界点。

成木から得られたデータは通水欠損仮説を支持し易く、幼稚によるデータは糖欠損仮説を支持し易いのは、おそらく彼らの糖を貯蔵する貯蔵組織量の違いと思われる。成木は貯蔵組織量も多く、貯蔵される糖が多いため通水欠損が表れやすい。一方稚樹では、貯蔵組織の発達が悪く、貯蔵できる糖量も少ないため、糖欠乏が表われ易いものと思われる。それを考えると、針葉樹は広

葉樹よりも貯蔵組織が少ないため、針葉樹の方がより糖欠乏を起こし易いとも予測されます。こういった乾燥枯死の生理メカニズムの違いは、樹種による乾燥枯死のし易さにも影響を及ぼすでしょう。今後、樹木の成長過程の違いや樹種間によって、どのように乾燥障害を生じ易いかなど調べていくことは、温暖化等による樹木や森林の脆弱性評価や予測にもつながっていきます。

引用文献

- 1) Yoshimura K, Saiki S-T, Yazaki K, Ogasa MY, Shirai M, Nakano T, Yoshimura J, Ishida A (2016) The dynamics of carbon stored in xylem sapwood to drought-induced hydraulic stress in mature trees. *Sci Rep* 6: 24513. DOI 10.1038/srep24513
- 2) McDowell N, Pockman WT, Allen CD, Breshears DD, Cobb N, Kolb N, Kolb T, Plaut J, Sperry J, West A, Williams DG, Yepez EA (2008) Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytol* 178: 719-739
- 3) Sala A, Piper F, Hoch G (2010) Physiological mechanisms of drought-induced tree mortality are far from being resolved. *New Phytol* 186: 274-281
- 4) Rowland L, da Costa ACL, Galbraith DR, Oliveira RS, Binks OJ, Oliveira AAR, Pullen AM, Doughty CE, Metcalfe DB, Vasconcelos SS, Ferreira LV, Malhi Y, Grace J, Mencuccini M, Meir P (2015) Death from drought in tropical forests is triggered by hydraulics not carbon starvation. *Nature* 528: 119-122
- 5) O'Brien MJ, Leuzinger S, Philipson CD, Tay J, Hector A (2014) Drought survival of tropical tree seedlings enhanced by non-structural carbohydrate levels. *Nat Clim Chang* 4: 710-714
- 6) Kono Y, Ishida A, Saiki S-T, Yoshimura K, Dannoura M, Yazaki K, Kimura F, Yoshimura J, Aikawa S (2019) Initial hydraulic failure followed by late-stage carbon starvation leads to drought-induced death in the tree *Trema orientalis*. *Commun Biol* 2: 8. DOI 10.1038/s42003-018-0256-7

# 小笠原諸島における樹木種の遺伝構造

鈴木 節子 (すずき せつこ、森林総合研究所)

須貝 杏子 (すがい きょうこ、島根大学)

## はじめに

小笠原諸島（以下、小笠原）には、独自の進化を遂げた固有種が数多く存在し、今なお進行中の進化の過程を見ることができるため、「進化の実験場」とも呼ばれている。しかし、これらの固有種は強力な捕食者や競争者が存在しない環境下で進化したため、外来種に対して脆弱である。近年多くの外来種が侵入し、生態系に大きな影響を与えてきた。特にノヤギは地上植生を食べつくし、在来植生を消失させている。薪炭材や建材の目的で導入されたアカギ、トクサバモクマオウ、リュウキュウマツなどの外来樹種は旺盛な繁殖力で分布を急速に拡大し、在来樹種を排除している。これまでに、ノヤギやアカギ、トクサバモクマオウなどの駆除事業が行われ、在来の植物、鳥類、陸産貝類において個体数の増加が確認されている。一方で、駆除された外来植物種が更新してしまうケースや、ノヤギの駆除によりノヤギによる被食圧がなくなったため、かえって外来植物種が繁茂してしまうケースも報告されている。小笠原の在来生態系を再生するためには、外来種の駆除だけでは不十分な場合もあり、場合によっては在来植物の植栽によって在来植生の更新の手助けをする必要があると考えられる。

生物種は長い時間をかけて気候変動などの環境の変化に対応してきており、多様な遺伝的変異をもつ。そのため、同一種内であっても地域や環境によって遺伝的に異なることがある。特に植物は固着性であるため、環境に適応した遺伝子をもつ個体が選択されることも明らかになっている。また、小笠原のような島嶼地域では、海によって遺伝子流動が妨げられるため、列島間や列島内の島間で遺伝的な違いが生じていることがある。そのため、環境の違いや地理的隔離によって生じた遺伝的な違いを考慮に入れた上で在来植物の植栽を行う必要がある。我々は今後小笠原において植栽に用いられる可能性の高い主要構成樹種、植生回復の初期段階で重要なパイオニア樹種、絶滅危惧動物の存続に重要な樹種、計 14 種を対象として遺伝構造を調べ、種苗移動ガイドラインにまとめた<sup>1, 2)</sup>。本稿ではそれらのうちから 3 種を取り上げて、小笠原の樹木種の遺伝構造とその成因について解説する。

## タコノキ

タコノキは小笠原の固有種で、海岸から山域まで広域に分布する主要構成樹種である（写真-1）。花粉は虫媒、種子は海流で散布される他、オガサワラオオコウモリによっても散布される。また、タコノキは小笠原の多くの希少動物の生息場所として非常に重要な樹種である。例えば、小笠原で適応放散した陸産貝類、絶滅が危惧されるオガサワラオオコウモリ、2011 年に新属新種として記載されたアニジマイナゴなど、多くの希少動物がタコノキを食物や住処として利用している。

智島列島、父島列島、母島列島、硫黄列島の 34 集団から合計 944 個体の葉サンプルを採取し、DNA を抽出した。タコノキで開発されたマイクロサテライトマーカー 11 座を用いて遺伝子型を決定し、STRUCTURE というベイズ法によるクラスター分析を行うソフトウェアを用いて遺伝構造を調べ、遺伝的に似ている個体のグループ分けをした。小笠原のように複数の列島からなり、島間の距離にばらつきがある、つまり集団間の遺伝子流動量に差が生じやすい地域では、遺伝的グループが階層的に分化している可能性がある。よって、いくつかの遺伝的グループに分けるのが妥当かという判断は、対数尤度



写真-1 タコノキ（上）とタコノキで休むオガサワラオオコウモリ（下、撮影：和田慎一郎氏）

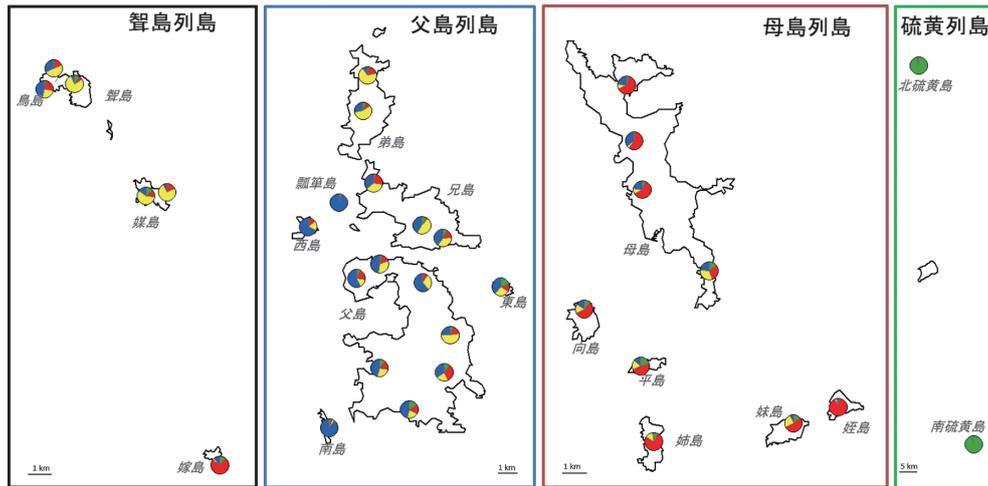


図-1 タコノキ集団における遺伝構造 (4グループ)。

の変化量を示す $\Delta K$ の値が最大になるグループ数と、対数尤度が頭打ちになるグループ数の2つの場合を考慮した。さらに、タコノキでは近似ベイズ法を用いて各列島間の遺伝子流動量を推定した。

小笠原のタコノキは、 $\Delta K$ では2つ、対数尤度では3つもしくは4つの遺伝的グループに分けられた。まず2つのグループの場合は「聳島・父島・母島列島 (3列島をまとめて小笠原群島と呼ぶ)」と「硫黄列島」、3つの場合は「聳島・父島列島」、「母島列島」、「硫黄列島」、4つの場合は「聳島列島」、「父島列島」、「母島列島」、「硫黄列島」に分けられた (図-1)。小笠原群島と硫黄列島は島の成立年代が大きく異なる。小笠原群島が3400-4400万年前に陸化した<sup>3, 4)</sup>のに対し、硫黄列島は1-78万年前に陸化したと言われている<sup>5)</sup>。また、小笠原群島内の列島間の距離が約40 kmであるのに対し、小笠原群島と硫黄列島の距離は最短でも約150 kmである。成立年代の違いと地理的な隔離が、タコノキにおける小笠原群島と硫黄列島の遺伝構造化に影響していると考えられる。

聳島・父島列島間と父島・母島列島間の地理的距離はほぼ同じであるが、3つのグループの場合、遺伝的には聳島・父島列島間が近かった。同じような傾向は海流によって分散する小笠原の他の動植物でも報告されている<sup>6-8)</sup>。後に解説するモモタマナも同様であった。近似ベイズ法による遺伝子流動の推定の結果、聳島・父島列島間では双方向で多く、父島・母島列島間では母島列島から父島列島への一方方向に多いという結果が得られた。聳島・父島列島間では双方向で遺伝子流動が多いということは、先の結果で両者が遺伝的に類似しているという点と一致している。小笠原近海の流れ系はほとんど明らかになっていないが、小笠原において海流によって分散する動植物で共通した遺伝構造がみられたことから、タ

コノキの遺伝構造には海流の影響が大きく寄与していると考えられる。

#### モモタマナ<sup>9)</sup>

モモタマナは熱帯・亜熱帯の太平洋地域に広く分布し、小笠原では海岸林の主要構成樹種である (写真-2)。花粉は虫媒、種子は海流で散布される他、オガサワラオオコウモリによっても散布される。本種は、果実をオガサワラオオコウモリが利用する他、本種の林冠下では海岸域で猛威をふるう外来種のランタナが繁茂しなくなるため、海岸域の在来植生の回復に欠かせない樹種の1つである。小笠原の聳島列島、父島列島、母島列島の22集団から合計673個体の葉サンプルを採取した。モモタマナで開発されたマイクロサテライトマーカー10座を用いて遺伝子型を決定し、STRUCTUREを用いて遺伝構造を調べた。遺伝的グループの最適な数は、タコノキと同様に $\Delta K$ と対数尤度の2つの場合を考慮した。

モモタマナは $\Delta K$ では2つ、対数尤度では7つの遺伝的グループに分けられた。まず2つのグループの場合は「聳島・父島列島」と「母島列島」に分けられた。



写真-2 モモタマナ (奥) と外来種のランタナ (手前) (撮影: 甲野裕理氏)。モモタマナの樹冠下ではランタナの繁茂が抑えられている。

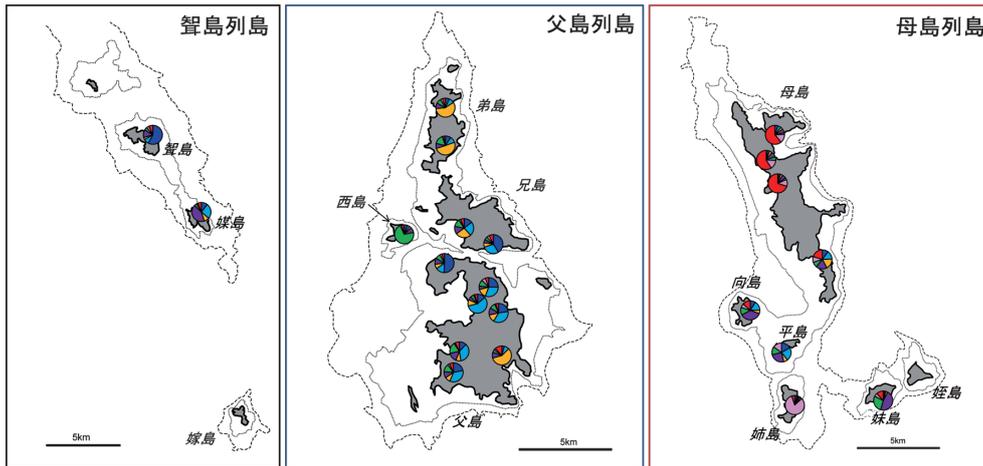


図-2 モモタマナ集団における遺伝構造（7グループ）。  
灰色の破線および点線は海底100mと50mの位置を示す。

7つの場合はやや複雑である（図-2）。特徴的なのは、弟島と兄島北中部、兄島南部と父島北部、母島南部と向島と平島のように異なる島で同じグループが優占する一方で、西島、姉島、妹島のように固有なグループが優占する場合があったことである。まず、「聳島・父島列島」、「母島列島」の2つのグループの成因は前項のタコノキで述べたように、遺伝子流動量の違いによるものだろう。一方で、7つのグループの場合の構造は、おそらく最終氷期から現在にかけての海水面変動による島同士の連結と分離の歴史が関係しているものと考えられる。最終氷期最盛期は現在よりも海水面が100m近く低かったとされる。海底地形図によると海深50mでは西島、姉島、妹島、姪島は他の島と繋がらない。これらの島は独自の遺伝的グループが優占していた島である。おそらく独立した島として海に隔てられていた期間が長く、遺伝的に分化していったものと考えられる。一方で、今は別の島であっても島間の海深が浅い場合は島同士が連結した期間が長いから、同じグループが優占したと考えられる。

### シマホルトノキ<sup>10)</sup>

シマホルトノキは小笠原の固有種で、父島列島と母島列島の山域において湿性林から乾性林の幅広い環境に分布する主要構成樹種の1つである（写真-3）。花粉は虫媒、種子は鳥によって散布される。果実が絶滅危惧種であるアカガシラカラスバトの食物となるため、一部ではすでに植栽が行われている。

小笠原の父島列島と母島の19集団から639個体の葉サンプルを採取した。シマホルトノキで開発されたマイクロサテライトマーカー17座を用いて遺伝子型を決定し、STRUCTUREを用いて遺伝構造を調べた。詳細な遺伝構造を明らかにするため、小笠原集団全体における解析とは別に父島列島と母島において別々に解析を



写真-3 シマホルトノキの花序。湿性林と乾性林の集団で開花ピークに約1か月のずれがある。

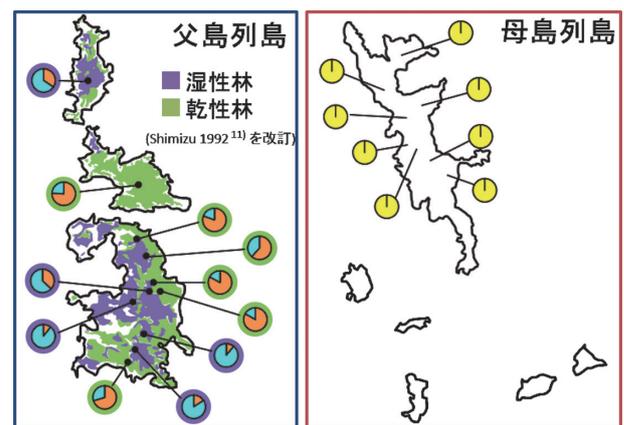


図-3 シマホルトノキの父島列島（2グループ）と母島列島（1グループ）における遺伝構造

行った。遺伝的グループの最適な数は $\Delta K$ を用いた。

シマホルトノキは、まず小笠原全体では「父島列島」と「母島」の2つの遺伝的グループに分けられた。列島間では、海を挟んだ地理的隔離によって遺伝的分化が生じたと考えられる。さらに、父島列島内は2つの遺

伝的グループに分かれたが、母島島内では遺伝的分化がみられなかった(図-3)。父島列島内の2つのグループは、その集団のおかれた環境(湿性林か乾性林か)と対応しており、地理的な距離とは関連がなかった。この父島列島内の2つのグループ間には開花時期のピークにずれがあるため、花粉による遺伝子流動が制限されている。一方、母島内には湿性林のみにシマホルトノキが分布しているため、1つの遺伝的グループしか見つからなかったと考えられる。

#### おわりに

今回はこれまで特に詳細な解析が進められている3種を対象に遺伝構造とその成因に関して考察をした。タコノキは海流の方向が大きく影響し、モモタマナは海流に加えて過去の海水面変動による島同士の連結の歴史が影響を与えていたことが分かった。また、シマホルトノキでは集団のおかれた環境が大きな影響を与えていた。タコノキとモモタマナはともに大型の海流散布種子で、花粉散布様式も虫媒という大きな生態的な共通点があるが、得られた遺伝構造から推奨される種苗移動が可能な範囲はモモタマナの方でより細かい区分が必要であるという結果となった。また、シマホルトノキのように、地理的距離ではなく、環境によって遺伝的グループが異なる例があることも明らかとなった。小笠原の固有種の多くは外来種問題で危機的な状況にあり、外来種駆除と在来植生の回復は喫緊の課題である。しかし、小笠原において植栽の対象となる在来植物は、同時に小笠原において進化の途上にある種であることを忘れてはならない。植栽の必要性がある樹種に関しては、必ずその遺伝構造を個々に明らかにし、それを生じさせた要因を十分に考慮する必要がある。その上で種苗移動が可能な範囲を慎重に決定し、樹木種の進化性に配慮した植栽が行われることが期待される。

#### 引 用 文 献

1) 吉丸博志・鈴木節子・須貝杏子・大谷雅人・加藤英寿・加藤朗子(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. 森林総合研究所. <https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/documents/3rd-chuukiseika25.pdf>

2) 鈴木節子・須貝杏子・川上和人・加藤英寿・井鷲裕司・

山本良介(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. 森林総合研究所. <https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/documents/4th-chuukiseika3.pdf>

3) 海野 進(2008)小笠原の地形・地質. 地図中心 430: 6-7

4) 海野 進・石塚 治・金山恭子(2016)母島列島地域の地質. 産業技術総合研究所地質調査総合センター

5) 中野 俊・松本哲一・太田 靖・中村仁美・古川竜太(2009)火山列島、北硫黄島及び南硫黄島火山岩の年代測定の試み. 日本地球惑星科学連合大会予稿集: V160-P012

6) Hayashi F, Shima A, Horikoshi K, Kawakami K, Segawa RD, Aotsuka T, et al. (2009) Limited overwater dispersal and genetic differentiation of the snake-eyed skink (*Cryptoblepharus nigropunctatus*) in the oceanic Ogasawara Islands, Japan. *Zoolog Sci* 26(8): 543-9

7) Takayama K, Ohi-Toma T, Kudoh H, Kato H (2005) Origin and diversification of *Hibiscus glaber*, species endemic to the oceanic Bonin Islands, revealed by chloroplast DNA polymorphism. *Mol Ecol* 14(4): 1059-71

8) Chiba S (2002) Ecological diversity and speciation in land snails of the genus *Mandarina* from the Bonin Islands. *Popul Ecol* 44(3): 179-87

9) Setsuko S, Ohtani M, Sugai K, Nagamitsu T, Kato H, Yoshimaru H (2017) Genetic variation of pantropical *Terminalia catappa* plants with sea-drifted seeds in the Bonin Islands: suggestions for transplantation guidelines. *Plant Species Biol* 32(1): 13-24

10) Sugai K, Setsuko S, Nagamitsu T, Murakami N, Kato H, Yoshimaru H (2013) Genetic differentiation in *Elaeocarpus photiniifolia* (Elaeocarpaceae) associated with geographic distribution and habitat variation in the Bonin (Ogasawara) Islands. *J Plant Res* 126: 763-74

11) Shimizu Y. (1992) Origin of *Distylium* dry forest and occurrence of endangered species in the Bonin Islands. *Pac Sci* 46: 179-196

# 島嶼性固有植物の保全ゲノミクス

井鷲 裕司 (いさぎ ゆうじ、京都大学大学院農学研究科)

兼子 伸吾 (かねこ しんご、福島大学共生システム理工学類)

安部 哲人 (あべ てつと、森林総合研究所九州支所)

伊津野 彩子 (いつの あやこ、森林総合研究所)

牧野 能士 (まきの たかし、東北大学大学院生命科学研究科)

## はじめに

本州から南へ約 1,000 km の太平洋に位置する小笠原諸島は典型的な海洋島であり、多くの固有植物が生育している。本来自生する 309 種の植物のうち、124 種が固有植物とされており、固有率は 4 割を超える。しかしながら、固有植物のうち 102 種は絶滅が危惧されており、ムニンツツジ、ハザクラキブシ、ウチダシクロキ、ホシツルラン、ムニンノボタンなどのように、野生に数個体から数十個体未満が生育するという種も少なくない。

このような極めて危機的な状態にある希少植物の保全上の状態を正しく評価し、適切かつ効果的な保全を行うためには遺伝的な解析が必要不可欠である。幸いなことに、遺伝解析の効率率は近年著しく向上しており、野生植物であっても、ゲノムレベルの情報を得ることができるようになった。ここでは、過去 10 年余りの間に、私達の研究グループが行ってきた小笠原の希少植物を対象にした解析例とその意義を紹介したい。

## 希少種の野生全個体を遺伝解析する

前述のように、小笠原の希少種には個体数が極めて少ないものがある。このような種を適切に保全するためには、基本的な遺伝情報として、残された集団内の遺伝的多様性や血縁度、集団間の遺伝的分化などを知ることが重要である。個体数が少ないことは保全上、望ましいことではないが、遺伝解析という点では、現存する全個体の遺伝子型解読を容易に行うことができる (Isagi and Kaneko 2014)。ここでは、まず、小笠原産希少種を対象に中立遺伝子座について全個体の遺伝子型解読を行った保全遺伝学的研究として、ムニンフトモモとハザクラキブシを対象に行った例を紹介する。

## 空間遺伝構造から適切な保全を考える

フトモモ科ムニンフトモモ属は、おもに太平洋地域に

約 60 種が知られ、分布の中心はニューカレドニア (21 種)、ニュージーランド (12 種)、ニューギニア (7 種) などである。小笠原諸島の固有種ムニンフトモモは本属の北限に分布するものであるが、野生個体数は極めて少なく、小笠原諸島の父島に約 330 個体 (北部、中部、南部の生育地に各々約 110、50、170 個体)、兄島に 2 個体が生育しているにすぎない。

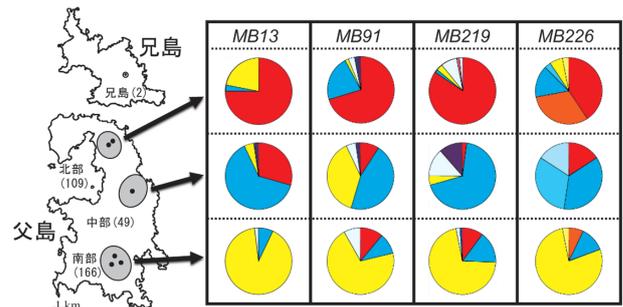


図-1 父島の北部、中部、南部に生育するムニンフトモモ集団におけるマイクロサテライト遺伝子座 (MB13、MB91、MB219、MB226) の対立遺伝子頻度。それぞれの遺伝子座において、同一対立遺伝子を同じ色で描いている。

これらの集団のほぼ全個体から遺伝解析用の葉を採集し、マイクロサテライト遺伝マーカーで遺伝子型を解読した結果、数 km しか離れていない集団間でも、対立遺伝子頻度は大きく異なり (図-1)、集団間で著しい遺伝的分化が生じていることがわかった (Kaneko *et al.* 2008)。種の遺伝的多様性は、集団内と集団間で保持されているが、樹木は草本に比べると、集団内に保持されている遺伝的多様性の割合が高く、集団間の遺伝的差異は小さいことが知られている。これに対して、ムニンフトモモは樹木であるにもかかわらず、近接した集団間の遺伝的分化が極めて大きく、それぞれの集団を独立した保全単位として管理すべきであると言える。ムニンフトモモの野生個体数は約 330 であるが、保全活動にあつ

てはより個体数の少ない保全単位に種を分割すべきことから、総個体数から想定される以上に深刻な保全状況にあるといえる。

小笠原では島外から来訪した種が島内で種分化し固有種となった後に、更に島内の異なった環境に適応放散した結果、複数の近縁固有種がセットで存在している例がある（ムラサキシキブ属、ハイノキ属、トベラ属、アゼトウナ属など）。ムニンフトモモは、現在は一つの種であるが、集団ごとの著しい遺伝的分化からみて、遠い将来にはおそらく数種に種分化する途上にあるものと考えられる。植物における種分化が狭い島嶼において進行中であることが、小笠原諸島が世界自然遺産に選定された理由の一つであるが、ムニンフトモモもそのようなプロセスにある植物であると考えられる。従って現在の段階では、そのようなプロセスを攪乱しないように、集団間での移植や、異なった集団に由来する個体間での人工交配は避けるべきだろう。

#### 遺伝解析から未知の野生個体を発見へ

ハザクラキブシは1939年に記載されたキブシ科の灌木であるが、比較的最近まで母島の乳房山の森林に1個体のみが野生状態で知られるのみであった。この野生個体は毎年のように開花するものの、発芽能力のある種子を結実しなかったことから、種の状況は深刻であったが、幸い、2007年と2008年に合計15個体が野生状態で新たに発見された（安部・星 2008）。これらの個体のうち3個体は結実しており、現地で保全を行っている方が人工播種した結果、約300個体もの稚樹が得られた。ただし、これらの稚樹は3個体だけの繁殖個体に由来するため、個体数は多いが野生個体が保持している遺伝的多様性を保持しているとは限らない。これらの稚樹を活用して生物保全を行うために、野生のハザクラキブシ全個体と人工播種によって得られた稚樹の詳細な遺伝解析をマイクロサテライトマーカーを用いて行った（Kaneko *et al.* 2013）。

その結果、野生個体が保持している対立遺伝子の一部は稚樹に伝わっていないことが明らかになった（図-2に示した例では、野生個体が持つ対立遺伝子A、B、Fは稚樹には伝わっていない）。稚樹は3個体が結実した種子に由来するのでこの結果は当然ともいえるが、今後、これらの稚樹を野生への植え戻す際には、野生集団中に多数を植え戻すと、本来の遺伝構造を攪乱する恐れもあるので、注意が必要である。

また、野生個体の保持していない対立遺伝子を稚樹が保持していたという、極めて興味深い事実も明らかになった（図-2に示した例では、稚樹が持つ対立遺伝子X、

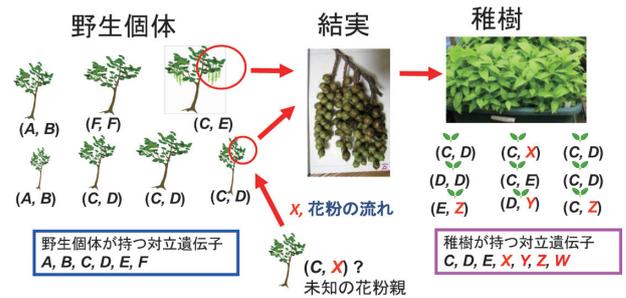


図-2 ハザクラキブシの野生個体と芽生えの遺伝子型の例

Y、Z、Wは野生個体は保持していない）。この結果が示唆するのは、まだ知られていない未知の野生個体がどこかに生育しているということである。例えば、既知の野生個体が持たない対立遺伝子Xは未知の野生個体（花粉親）から花粉の流れとともに種子、稚樹へと伝わったと考えられる。ハザクラキブシの生育しているのは灌木の生茂った斜面であり、植物の探索は困難を伴う場所であるが、未知の個体が現存するという知見によって探索のモチベーションも上がり、数年後にそれまで知られていなかった野生のハザクラキブシが新たに発見されている。

前述のように小笠原の絶滅危惧種は野生個体数が極めて少ないものが多い。そのため、全個体を対象とした遺伝子型解読も比較的容易に行うことができる。全個体遺伝子型解読によって、種全体で維持されている遺伝的多様性や、個体間の血縁度を知ることができるし、また、ここで紹介したように、未知の野生個体の存在を予測することも可能になる。そして、野生個体数が極めて少ない絶滅危惧種にとって、そのような未知個体の発見が保全上極めて重要であることは言うまでもない。

#### ゲノム情報から希少種の脆弱性を評価する

上述の解析例は比較的少数の中立遺伝子座の解析に基づくものであったが、遺伝子解読技術の著しい発展によって、ゲノムレベルの情報も野生生物の保全に活用できるようになった。従来の保全遺伝学的な研究では、主に中立の遺伝子座を遺伝マーカーとして用いる解析がなされてきたが、ゲノムレベルの解析では生物の適応度に直接関わるような項目についても情報を得ることができる。

「絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律」いわゆる「種の保存法」が指定する国内希少野生動植物種のうち、個体の繁殖促進、生息地等の整備等の事業が必要な場合は、保護増殖事業が行われている。小笠原の希少植物については、12種を対象に保護増殖事業が行われているが、手厚い保護増殖事業のもとでも期



図-3 小笠原産固有希少種と近縁普通種における有害遺伝子蓄積量と環境適応能力

待されたほどには個体が増殖しない場合も多いようである。希少種において、保護増殖を困難とする要因を探るために、ゲノムに蓄えられた有害遺伝子蓄積量や環境適応能力の低下を、小笠原固有希少種とその近縁普通種を対象に、比較ゲノム解析を行い興味深い結果を得た。

突然変異で生じた有害遺伝子は負の選択によって集団から除去されるが、生物が少数個体で世代交代している場合は、偶然の要因で選択が効率的に働かず（遺伝的浮動）、集団内に有害な遺伝子が蓄積することが予想される。実際、少数個体をもとに品種改良が続けられてきた家畜などでは原種の野生生物と比べて、ゲノム内に有害な突然変異が多く蓄積していることが明らかになっている（Makino *et al.* 2018）。また、ゲノム内の遺伝子重複量と生物の環境適応能力にも有意な正の相関があり、遺伝子重複量が多い種ほど、生育地の温度や降水量の範囲が広いことや、侵略的外来種になりやすいことなどが知られている（Makino and Kawata 2019）。ゲノム全体にわたる有害遺伝子蓄積量や遺伝子重複量に関しては、DNA から転写された mRNA を網羅的に解読する RNA-seq から得られた情報によって解析が可能である。

小笠原諸島に生育する希少種と、小笠原諸島外に生育する近縁普通種として、キランソウ属のシマカコソウとツルカコソウ・ヒメキランソウ、アゼトウナ属のユズリハワダン・ヘラナレン・コヘラナレンとホンバワダン、エビネ属のホシツルランとツルラン、ノボタン属のムニンノボタンとノボタンを取り上げ、ゲノム内の有害遺伝子量と遺伝子重複量を比較解析した。その結果、これらの組み合わせでは、小笠原諸島に生育する希少種は、本州や南西諸島に生育する近縁普通種に比べて、有害遺伝子の蓄積量が有意に多く、本質的に脆弱な性質を持つことがわかった（図-3、Hamabata *et al.* 投稿中より描く）。また、小笠原産希少種は、遺伝子重複量が近縁普通種より少なく、環境適応能力において劣っていると考えられ、温暖化など今後起こりうる人為由来の環境変動

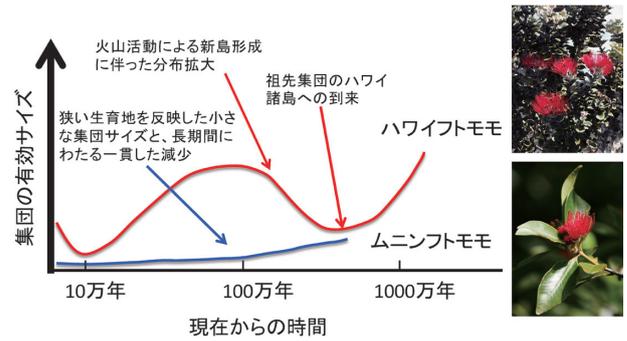


図-4 ハワイフトモモとムニンフトモモの過去数百万年間の個体数変動。Izuno *et al.* (2016) および Izuno *et al.* (未発表データ) より描いたもの

に対して、より影響を受け易いことが懸念される。

### ゲノム情報から過去数百万年の個体数動態を知る

ムニンフトモモの近縁種であるハワイフトモモに関しては、既に全ゲノムが解読されており（Izuno *et al.* 2016）、集団ゲノミクス解析もおこなわれている（Izuno *et al.* 2017）。全ゲノム情報の興味深い活用方法の一つに、PSMC（Pairwise Sequentially Markovian Coalescent, Li and Durbin 2011）などの手法による過去のデモグラフィー推定がある。すなわち、1個体でも全ゲノム塩基配列情報が得られていれば、その個体が過去数百万年にわたって所属していた集団の個体数変動を推定することができるのである。PSMCでハワイフトモモのデモグラフィーを解析したところ、少数の祖先集団がハワイ諸島に到来した後に、火山活動によって広がった生育地への分布拡大し、そしてその後個体数が減少したことなどが推定されている（図-4、Izuno *et al.* 2016 より描く）。

全ゲノム情報を解読するには、それなりのコストと手間を要するが、ある種のゲノム情報があれば、その同属近縁種については、より簡便にデモグラフィー推定が可能である。ハワイフトモモの全ゲノム情報をもとに、小笠原の希少固有種ムニンフトモモのデモグラフィー推定を過去数百万年にわたって行ったところ、個体数はハワイフトモモよりも少なく、また、一貫して減少を続けてきたことがわかった（図-4、Izuno *et al.* 未発表データに基づく）。ムニンフトモモは太平洋地域を中心に分布する同属の中では最も北に分布する種であり、また、ハワイ諸島が総面積 28,000 km<sup>2</sup> であるのに対し、生育地の小笠原諸島は 104 km<sup>2</sup> にすぎない。ムニンフトモモのデモグラフィーはそのような生育地の特徴を反映したものになっていた。ゲノムレベルの解析でムニンフトモモの希少性は長い歴史を伴ったものであることが明らかになった。

## おわりに

小面積の島において高いレベルの固有性があり、また、適応放散が進行中であることが、小笠原諸島が世界自然遺産に登録されるに際して評価された点であり、その特徴を維持するためには、種の保全に加えて生育環境への適応様式をも保全する必要がある。ゲノムレベルの解析で、小笠原産固有希少種のいくつかは、有害遺伝子蓄積量の多さや適応能力の低さから本質的な脆弱性を持つことがわかった。この事実をどのように評価し、適切な保全を行うかという点については、更に慎重な検討が必要であるが、比較的少数の中立遺伝子座からゲノムレベルの解析まで、対象・目的に応じた手法を用いることで、絶滅が危惧される多くの固有種を適切に保全し、また、進化や個体群動態のプロセスを明らかにするための有用な情報を得ることができると考えられる。

## 引用文献

- 安部哲人・星 善男 (2008) 小笠原諸島母島産絶滅危惧種ハザクラキブシの新個体群発見とそれにより明らかになった種特性及び生育環境. 保全生態学研究 13: 219-223
- Isagi Y, Kaneko S (2014) Ubiquitous genotyping for conservation of endangered plant species. In Nakano S, Yahara T and Nakashizuka T (eds.) Integrative Observations and Assessments. Springer, 311-325
- Izuno A, Hatakeyama M, Nishiyama T, Tamaki I, Shimizu-Inatsugi R, Sasaki R, Shimizu KK, Isagi Y (2016) Genome sequencing of *Metrosideros polymorpha* (Myrtaceae), a dominant species in various habitats in the Hawaiian Islands with remarkable phenotypic variations. Journal of Plant Research 129: 727-736
- Izuno A, Kitayama K, Onoda Y, Tsujii Y, Hatakeyama M, Nagano AJ, Honjo MN, Shimizu-Inatsugi R, Kudoh H, Shimizu KK, Isagi Y (2017) The population genomic signature of environmental association and gene flow in an ecologically divergent tree species *Metrosideros polymorpha* (Myrtaceae). Molecular Ecology 26: 1515-1532
- Kaneko S, Abe T, Isagi Y (2013) Complete genotyping in conservation genetics, a case study of a critically endangered shrub, *Stachyurus macrocarpus* var. *prunifolius* (Stachyuraceae) in the Ogasawara Islands, Japan. Journal of Plant Research 126: 635-642
- Kaneko S, Isagi Y, Nobushima F (2008) Genetic differentiation among populations of an oceanic island: The case of *Metrosideros boninensis*, an endangered endemic tree species in the Bonin Islands. Plant Species Biology 23: 119-128
- Li H, Durbin R (2011) Inference of human population history from individual wholegenome sequences. Nature 475: 493-496
- Makino T, Kawata M (2019) Invasive invertebrates associated with highly duplicated gene content. Molecular Ecology 28: 1652-1663
- Makino T, Rubin CJ, Carneiro M, Axelsson E, Andersson L and Webster MT (2018) Elevated proportions of deleterious genetic variation in domestic animals and plants. Genome Biology and Evolution 10: 276-290

# オガサワラグワのクローン増殖と 組織培養苗の植栽

板鼻 直榮（いたはな なおえい、森林総合研究所林木育種センター）

## はじめに

オガサワラグワは、クワ科クワ属の落葉高木であり（写真-1）、小笠原諸島の固有種のひとつである。明治に入って政府は移民を進めるために樹木の伐採を自由としたので（清水 1998）、小笠原の巨樹はつぎつぎと伐採された（星 1995）。中でもオガサワラグワは、優れた材質をもち高価で取引されたために選択的に伐採された（清水 1998）。小笠原全体で 1,000 人近い樵が入り、それが 10 年にも及んだという（星 1995）。このような伐採は、1870 年代から 1900 年までの約 30 年に行われ（吉田・岡 2000）、個体数が激減した。

危機的状況にあったオガサワラグワの保全に向けて、関東森林管理局、森林総合研究所等により増殖事業と小笠原への植栽、現状や増殖に関する調査研究が行われた。約 20 年前のオガサワラグワの成木は、植栽木を含めて約 170 個体と推定され（Tani *et al.* 2006）、その後も衰弱枯死が進んでいる。弟島、父島、母島のいずれでもオガサワラグワの実生や稚樹が見つからず、その原因として移入動物による食害、アカギによる被圧等があげられている（河原・吉丸 2002）。オガサワラグワは、養蚕用に導入されたシマグワと容易に交雑し、シマグワが繁茂する父島と母島では、母樹によっては実生苗の雑種率が 90% を超える（河原・吉丸 2002、板鼻・谷口 2003a）。天然更新が不良で、更新しても雑種が含まれる可能性が高いオガサワラグワを保全するためには、現存する成木をもとに純粋種の苗木を育て、現地に植え戻すことが必要である。

谷らは、遺伝マーカーにより小笠原に成育する全個体の遺伝子型を決定し、採種木の選定や苗木の植え戻しの基準となる保全単位と保全単位ごとの保全指針を示した（Tani *et al.* 2006、谷ら 2008）。その中で、父島と母島の複数の保全単位で実生苗からの純粋種の選抜、人工交配による実生後代の育成、成木のクローン増殖と現地外保存等の必要性を述べ、シマグワとの交雑が起こらない弟島の集団については実生苗の現地外保存が有効としている（谷ら 2008）。人工交配を効率的に行うためには、クローン増殖が必要であり、クローン増殖は、オガサワラグワの保全を進める上で重要である。本稿では、クロー



写真-1 父島の赤旗山南斜面に成育するオガサワラグワ

ン増殖と施設内保存、組織培養でクローン増殖した苗（以下、「培養苗」とする）の植栽について紹介する。

## クローン増殖

**さし木、つぎ木：**樹木では、クローン増殖はさし木又はつぎ木によることが多い。しかしながら、小笠原でのオガサワラグワのさし木は、採穂時期や樹齢にかかわらず、発根不良であったという（林木育種協会 2010）。また、実生苗と成木のさし木を同時期に同じ条件で行ったところ、実生苗では 87.5% が発根したが、成木ではまったく発根しなかった（生方ら 2015）。このように、現時点では、オガサワラグワ成木のさし木増殖は難しい。

一般にクワのつぎ木は容易で、根つぎでは台木から萌芽枝が発生しないという。萌芽枝はクローンを誤る原因のひとつであり、発生しないことが望ましい。筆者がオガサワラグワで根に袋つぎでついだところ、45% が活着し、台木からの萌芽は認められなかった（板鼻ら 2004）。活着率は低いが、この方法によるつぎ木個体は人工交配にも使用されている（林木育種協会 2010）。活着率を向上させる必要があるが、オガサワラグワのつぎ木増殖には、根への袋つぎが適していると判断される。

**組織培養：**組織培養は、無菌状態で、植物体から器官・組織などを切り取って養分や植物ホルモンを含む培地で、成長あるいは増殖させる技術である。個体数を増やす目的で組織培養を行う場合、芽生え、腋芽や萌芽枝等を材料に用いることが多く、一般に材料の年齢が若いほ

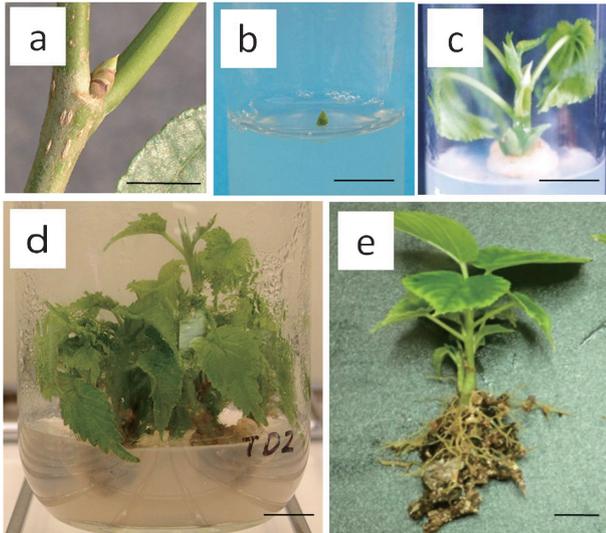


写真-2 成木の腋芽培養による個体の再生  
 (a) 腋芽。(b) 芽鱗と幼葉 2,3 枚を切除し、培地に挿し付けた腋芽。(c) 腋芽が伸長したシュート。(d) 継代培養により増殖したシュート。(e) バーミキュライトで発根したシュート (培養器外で撮影)。スケールバーは 1 cm。

ど増殖は容易である。

オガサワラグワでは、成木を対象とする前に、先ず、若い材料である芽生えを培養し、培地の条件を検討した。芽生えを、腋芽の成長促進ホルモンを含む培地で培養するとシュートが伸び、このシュートは切り分けと移植(以下、「継代培養」とする)を繰り返すと 3 か月後に約 10 倍に増殖した(板鼻・谷口 2003b)。また、増殖したシュートは発根促進ホルモンを含む培地に挿し付けたところ、75% 以上が発根した(板鼻ら 2003b)。このように、オガサワラグワにおいても芽生えからのクローン増殖は比較的容易であった。

成木の増殖では、小笠原の成木から採取した腋芽を用いた。芽生えの培養に用いた培地に腋芽を挿し付け、1 か月ごとに継代培養を繰り返すことで、4 か月後に 54 個体のうち 48 個体でシュートが得られた(近藤ら 2004)。しかし、発根については、芽生えで有効であった培地では発根率は低く、発根しないクローンもあった。そこで、植え付けたシュートが倒れないように支える材料を寒天からバーミキュライトに変えたところ、24 ~ 87% が発根した(近藤ら 2004)。このように、個体により難易はあるが、腋芽からシュートを増殖し、発根させて小さな苗を得ることが可能になった。腋芽培養による腋芽からシュートの発根までの流れは写真-2 のとおりである。

林木育種センターでは、これらの方法を応用して、多くの成木から培養シュートを確保し、継代培養によりシュートの維持等を行ってきた。最近、東京都小笠原支

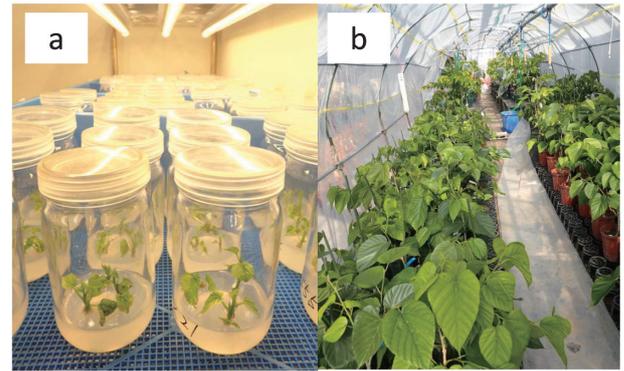


写真-3 オガサワラグワ成木クローンの施設内保存  
 (a) 継代培養により培養室で維持されているシュート。(b) 温室に保存されている鉢植え個体。

庁により、父島と弟島で新たにオガサワラグワと思われる個体が発見されている(後藤ら 私信)。現在、小笠原支庁と共同で新たに発見された個体の樹種判定とクローン確保を進めている。

#### 施設内保存

林木育種センターでは、シュートを継代培養し、培養室で維持することでオガサワラグワのクローンを保存している(写真-3a)。また、発根したシュートを鉢上げし、温室に保存している(写真-3b)。1 クローン当たりの保存数は、シュートで 6 本(培養瓶 2 本に各 3 本)、鉢植え個体で 3 個体を原則としている。培養シュートと鉢植え個体が互いにバックアップとして機能するように、両方で保存することを目指している。

谷らが分析した 164 個体(Tani *et al.* 2006) に東京都小笠原支庁により新たに発見された弟島の 2 個体と父島の 24 個体を加えると 2000 年頃のオガサワラグワは 190 個体になる。これらの個体について培養シュートの確保状況を表-1 に示す。190 個体のうちの弟島の 7 個体と父島の 3 個体は現在までに枯死し(後藤ら 私信)、母島では 29 個体が 2012 年の時点で枯死していた(関東森林管理局 2012)。培養シュートが確保されている個体は、190 個体の約 50% にあたる 98 個体で

表-1 成木由来シュートの確保

島	2000 年頃の個体数	枯死個体数	シュート確保個体数 <sup>1)</sup>	減失数 <sup>2)</sup>
弟島	37	7	31 ( 3)	4
父島	44	3	37 ( 2)	1
母島	109	29	30 ( 5)	24
計	190	39	98 (10)	29

1) 継代培養によりシュートを維持している個体数で、( ) はそのうち既に枯死した個体数を示す。

2) 既に枯死、シュートの確保が不可能な個体数を示す。



写真-4 オガサワラグワ野生復帰試験地。  
(a) 振分山試験地。(b) 旭山試験地。2015年11月撮影。

あり、弟島と父島の個体ではともに約80%、母島では約25%である。母島には植栽された個体が多く、また、既に枯死した個体が多いので、谷らの保全指針を考慮し、個体に優先順をつけてクローンを確保することが必要である。

### 培養苗の小笠原への植栽

小笠原では、多くの在来種が外来種による食害、成育環境の悪化等の影響を受けている。このため、生態系への影響が大きい外来種を駆除するとともに、靴底の薬液への浸漬などの新たな外来種の持込み防止策がとられている。現在、新たな外来生物の持込み防止策のひとつとして、外来種の混入リスクの高い土付き苗の導入に対する対応が検討されている（環境省ほか2018）。組織培養では、無菌状態で殺菌した器具や培地を使用するので、培養苗を容器に入れて小笠原に持込む場合には、新たな外来種の混入リスクは低い。そこで、オガサワラグワを復元するための植栽を行うには、培養苗を用いることが有効と考えられる。

**父島産オガサワラグワ野生復帰試験地：**オガサワラグワの復元に向けて、培養苗の現地での成育を把握するため、関東森林管理局と林木育種センターは共同で、培養苗を振分山国有林と旭山国有林に植栽し、「父島産オガサワラグワ野生復帰試験地」を設定した。なお、培養苗の持込みにあたり、小笠原へのクール便が現在はないので、携行とチルド便で父島に移送したが、チルド便では茎葉が黒く変色する苗があり、注意が必要であった。

振分山国有林の試験地（以下、「振分山」とする）は、以前火薬庫があった場所にあり、標高は約70mと低い。上木がなく、表土のない固い地面にイネ科草本が優占している（写真-4a）。旭山国有林の試験地（以下、「旭山」とする）は、アカギの伐採跡地であり、標高は約260mと振分山より高い。樹高2～5mのヒメツバキ、モクダチバナ等が散在する（写真-4b）。

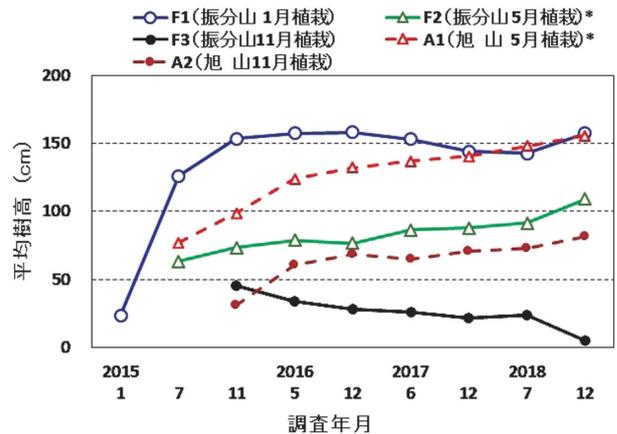


図-1 植栽木の平均樹高の推移

\*) 植栽直後の樹高を調査していない。

振分山では、2015年1月に林縁付近（F1）、5月に林縁からやや離れた位置（F2）、11月に中央部（F3）に植栽した。F1及びF2では、植穴の底にパーミキュライト、父島クリーンセンターから採取した土及び化成肥料の混合物を加えた。旭山では、2015年5月に上部の平坦部（A1）、11月に下部の斜面（A2）に植栽した。両試験地とも適宜灌水を行った。

振分山のF1及び旭山の植栽木は2018年12月末にすべて生存していた。振分山のF2とF3では2017年12月に枯死した個体が見られはじめ、2018年12月末にはF3で生存しているのは1個体のみとなった。

植栽木の平均樹高は、試験地間及び植栽月間で異なる推移を示した（図-1）。振分山のF1では、植栽1年後に平均樹高が約150cmに達したが、その後は梢端や上部の枯死が目立ち成長が停滞している。F2では、順調に成長する個体もあったが、全体としては緩慢に成長した。F3では、植栽半年後から上部が枯死する個体が見られはじめ、次第に平均樹高が低下した。F3は振分山試験地の中央部に位置し、直射日光を受ける時間が長く乾燥しやすい。植栽月間の成長の違いは、主に植栽位置の違いによるものと考えられる。旭山では、着実に成長し、A1ではA2より良好な成長を示している。

振分山のF2と旭山のA1は5月と11月に概ね同じ方法で植栽されたが、旭山では振分山より順調に成育している。旭山は標高が高く、霧が発生しやすく、散在する樹木の下には多様な植物が地面を覆っている。灌水の際、振分山で灌水しても、旭山では灌水不要と判断されることが度々あったという。水分環境の違いが振分山と旭山の成育の違いに表れていると考えられる。

**オガグワの森、母島の森：**2018年は小笠原諸島返還50周年にあたり、さまざまな行事が開催された。小笠原村は、記念行事の一環として「村民参加の森づくりプロジェクト」を始め、父島では「オガグワの森」、母島



写真-5 オガサワラの森プロジェクトにおける植栽風景  
左の鉢植え苗がオガサワラグワ培養苗。

では「母島の森」づくりを進めている。林木育種センターは、成木由来の培養苗を里帰りさせることでこのプロジェクトに協力することとした。このプロジェクトにより成木のクローンが利用しやすい場所に保存される。

前述の移送の経験から、培養苗をガラス瓶に入った状態で常温便により東京の小笠原村連絡事務所に送り、事務所から父島までは村民の協力を得て携行する方法で移送した。約1年の育苗期間を経て、2018年12月に父島と母島の成木由来の培養苗がそれぞれ父島の長谷と母島静沢の村有地に植栽された(写真-5)。乾燥や獣害等を乗り越えて、将来、立派なオガサワラグワの森になることが期待される。

## おわりに

オガサワラグワの壮齢以上の植栽木は父島と母島にあるが、それらの成長経過は分かっていない。オガサワラグワの保全を進める上で成長経過は重要であり、植栽した個体を定期的にモニタリングすることが必要である。また、将来、植栽した個体をつぎ木のための採穂母樹や人工交配のための母樹に利用することが考えられる。その際には現地では個体ごとにクローンを特定することが必須である。個体ごとのモニタリングと将来の利用を可能とするために、確実な個体情報の管理が必要である。

オガサワラグワは、亜熱帯性気候の小笠原の固有種であり、内地の野外で越冬することは難しい。当面は、小笠原村の「村民参加の森づくりプロジェクト」を通じて、小笠原の生態系保全の枠組みの中で、なるべく多くの成木のクローンを小笠原に帰したい。

なお、本稿ではオガサワラグワのクローン増殖と培養苗の植栽について紹介したが、母島では関東森林管理局により人工交配による苗木の植栽が進められている。また、シマグワとの交雑が起こらないという弟島において、

自然受粉種子に基づく繁殖を支援する保全計画が東京都により進められている。

## 引用文献

- 星 典 (1995) 小笠原は楽園. アポック社
- 板鼻直栄・谷口 亨 (2003a) 小笠原諸島のオガサワラグワの倍数性分析. 日本生態学会大会講演要旨集 50: 261
- 板鼻直栄・谷口 亨 (2003b) 弟島産オガサワラグワ芽生えからの試験管内増殖. 114 回日本林学会大会講演要旨集: 744
- 板鼻直栄・近藤禎二・谷口 亨 (2004) オガサワラグワのつぎ木. 115 回日本林学会大会講演要旨集: 776
- 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. 環境省・林野庁・文化庁・東京都・小笠原村
- 関東森林管理局 (2012) 平成 24 年度オガサワラグワ生育環境森林調査報告書. 関東森林管理局
- 河原孝行・吉丸博志 (2002) オガサワラグワ. 森林科学 34: 14-18
- 近藤禎二・板鼻直栄・谷口 亨 (2004) オガサワラグワ成木からの試験管内増殖. 115 回日本林学会大会講演要旨集: 774
- 林木育種協会 (2010) 絶滅危惧種オガサワラグワの再生技術の開発報告書. 林木育種協会
- 清水善和 (1998) 小笠原自然年代記. 岩波書店
- Tani N, Yoshimaru H, Kawahara T, Hoshi Y, Nobushima F, Yasui T (2006) Determination of the genetic structure of remnant *Morus boninensis* Koidz. trees to establish a conservation program on the Bonin Islands, Japan. BMC Ecology 2006: 6-14
- 谷 尚樹・吉丸博志・河原孝行・星 善男・延島冬生・安井隆弥 (2008) 小笠原諸島における絶滅危惧種オガサワラグワ *Morus boninensis* Koidz. の保全遺伝学と保全計画の立案. 生物科学 59(3): 157-163
- 生方正俊・加藤智子・大久保典久・大塚次郎 (2015) 絶滅危惧種オガサワラグワの時期別のさし木発根性. 関東森林研究 66(2): 115-118
- 吉田圭一郎・岡 秀一 (2000) 小笠原諸島母島石門地域に残存する伐根から推定されるオガサワラグワの生態的特徴. 植生史研究 9: 21-28



# ウルシをたべる、りょうする

田端 雅進 (たばた まさのぶ、森林総合研究所東北支所)

## はじめに

私たちの生活の中でウルシ (*Toxicodendron vernicifluum*: 写真-1) を見ることはほとんどないが、ウルシの幹に傷をつけて (写真-2) 採取される樹脂を含む木部樹液が「漆」(写真-3)である。漆の利用は9,000年前の縄文時代に遡ると考えられ、漆は食器 (漆器) に見られる塗料の他に、破損した土器の接着、石器の膠着剤および櫛の塑形剤として利用されている<sup>1)</sup>。また、現在では国宝・重要文化財の保存・修復 (写真-4) や漆器の製作などに使われ、日本人の生活に不可欠な材料と

して利用され続けている。

ウルシはウルシ科 (Anacardiaceae) ウルシ属 (*Toxicodendron*) の落葉高木の一で、雌雄があり、葉は奇数羽状複葉、9～15枚の小葉からなる。花は地域によって異なるが、5月下旬～7月上旬に咲き、1つの花序に数百の花をつけて雄花は黄色、雌花は白色が特徴である。また、果実は扁平、楕円形～腎形で、中に扁平、だるま型の種子が1つあり、蠟状の膜、淡黄色の厚い果皮に包まれている。ウルシの仲間には熱帯から温帯に80属750種以上あるといわれている<sup>2)</sup>。同じウル



写真-1 ウルシ (*Toxicodendron vernicifluum*)



写真-3 採取された漆



写真-2 漆の採取 (漆掻き職人: 大森清太郎氏)



写真-4 日光東照宮の修復



写真-5 蜂蜜



写真-6 ウルシ染め (新谷茂氏製作)

シ科に属する種には、果樹のマンゴー、ナッツ類のピスタチオやカシューナットノキなどが含まれる。また、日本に生息する同じウルシ属には木蠟（もくろう）などを生産するハゼノキの他、ヤマウルシ、ヤマハゼ、ツタウルシ、近縁のヌルデ属 (*Rhus*) には、五倍子（アブラムシ類が寄生し葉の一部が異常生長して形成される虫こぶ）を生産し、タンニンの原料となるヌルデがある。このようにウルシの仲間には、私たちの生活に身近な種が多数存在している。この稿では私たちの生活であまり知られていないウルシについて、食べること、花、果実、材の利用などについて解説する。

## ウルシを食べる

ウルシの新芽はたらのめ同様、天ぷらや味噌汁の具として食べると美味といわれている。ウルシの花の利用で花からとれた蜂蜜（写真-5）は、岩手県二戸市で販売されている。蜂蜜はさらりとした味わいがあり、機会があれば是非一度味わっていただきたい。

ウルシの枝や樹皮は韓国では食材として薬膳料理に使われている。韓国料理の漆鶏湯（オッケタン）は、烏骨鶏の肉とウルシの枝や樹皮を一緒に煮込んだスープで、血行促進や肝機能回復効果などがあるとされている<sup>3)</sup>。

## 食卓を支える漆器

空気に触れるとゆっくりと硬化する漆には前述したとおり、接着剤としての能力と、塗料としての能力を併せ持っている。硬化した漆は、二度と元の液状に戻ることがなく、非常に堅牢な塗膜を形成し、その接着力は木材の他、金属や陶磁器も接着する力を持っている。

塗料として利用で塗る素地は木材が多く、90%以上の漆器は木材に塗られている。それ以外に竹、紙、皮、金属などあらゆる素地に漆が塗られている。

漆器というと、現在、多くの人が漆以外のカシューや合成樹脂を塗った合成漆器を使っているのではないだろうか。漆器は塗料として漆を塗ったものであり、合成漆器とは大きく異なる。漆器の特徴は、価格が高いながら、合成漆器に比べ質感、断熱性および抗菌性に優れ、使い込むほどに艶が出ることである。使い方によれば10年・20年を越え長期間使用できる。私が今使っている汁椀の漆器は10年になるが、艶が出た以外、買った頃とほとんど変わらない。一度、漆器の産地である輪島や会津などで漆器を購入し、その良さを体感してもらいたいと願っている。

## ウルシを利用する

ハゼノキの果実から得られる木蠟と同様、ウルシの果実から得られる漆蠟が知られており、ろうそくやフローリングワックスに使われてきた。

漆採取後に伐採されたウルシ材は、比較的軽く、耐水性に優れており、かつては水桶、馬桶、漁網用の浮き具として利用されてきた。ウルシ材の特徴は心材部が黄色を呈していることである。その特徴を生かし、現在わずかではあるが、木工品や寄木細工などとして利用されている。

現在では漆採取後のウルシ材はほとんど利用されていない。ウルシ材の有効利用法の一つとして織布への染色が有望と考え、私たちはこれまでウルシ材の化学成分に関する研究を行い、心材にはポリフェノール成分が多く

含まれ、フィセチン、スルフレチンなどの黄色のフラボノイドが含まれ、これらが黄色い材色の要因であることを明らかにした<sup>4)</sup>。

岩手県二戸市浄法寺町や石川県穴水町では、小規模であるがウルシ材による織布の染色「ウルシ染め（写真-6）」が行われている。織布の染色は、ウルシ材のポリフェノール成分が持つ良好な染色特性を活かした利用法であり、ウルシ材の有効利用法の一つと考えられる。私たちはウルシ材抽出成分の染色特性に関する研究を行い、ウルシ材を熱水で抽出する際に炭酸ナトリウムを加えることが効果的であること、炭酸ナトリウムを加えて抽出した染液に酢酸を加えて染色することで濃染が可能なおこと、ウルシ材による染色は黄色ブドウ球菌や大腸菌に対して抗菌性があることなどを明らかにした<sup>5)</sup>。ウルシ染めの手順は橋田<sup>6)</sup>の報告を参考にさせていただきたい。

ウルシ材による染色布には天然染料ならではの色味や風合いがあり、ウルシ材の特徴を伝えることができると考えている。ウルシ材の染色利用は現状では限られているが、漆塗や漆器以外のものからも、ウルシという植物が持つ有用性や魅力をアピールできると考えている。

#### 最後に

漆に関わるすべての人々が一堂に会し、情報交換や相互理解、協働作業を通して漆産業と技術・文化の更なる継承と発展を図る目的で2010年に漆サミット実行委員会主催で始まった「漆サミット」は、2019年11月15～17日に弘前市などで第11回目を迎えることとなった。8回目から日本漆アカデミーが主催する行事になった漆サミットに、漆に関わる関係者だけでなく、一般の方々にもご参加いただき、国宝や重要文化財の美術工芸品や建造物に使われる漆の利用、非常に優れた天然塗料である漆の良さおよびウルシ資源の重要性などを知って

もらいたいと考えている。なお、漆サミットの情報は、日本漆アカデミーの公式ホームページ (<http://urushisummit.jp/>) で公開されている。

#### 引用文献

- 1) 阿部芳郎 (2018) 漆利用の歴史 (地域資源を活かす生活工芸双書 漆1 漆掻きと漆工 ウルシ利用. 室瀬和美・田端雅進監修. 農山漁村文化協会). 19-34
- 2) Ze-Long N, Hang S, Ying M, Jun W (2009) Phylogenetic analysis of *Toxicodendron* (Anacardiaceae) and its biogeographic implications on the evolution of north temperate and tropical intercontinental disjunctions. *J Syst and Evol* 47: 416-430
- 3) 宮腰哲雄 (2018) ウルシの枝や樹皮—韓国の伝統料理 (地域資源を活かす生活工芸双書 漆1 漆掻きと漆工 ウルシ利用. 室瀬和美・田端雅進監修. 農山漁村文化協会). 108-109
- 4) Hashida K, Tabata M, Kuroda K, Otsuka Y, Kubo S, Makino R, Kubojima Y, Tonosaki M, Ohara S (2014) Phenolic extractives in the trunk of *Toxicodendron vernicifluum*: chemical characteristics, contents and radial distribution. *J Wood Sci* 60: 160-168
- 5) 橋田 光, 田端雅進, 久保島吉貴, 牧野 礼, 久保智史, 片岡 厚, 外崎真理雄, 大原誠資 (2014) ウルシ材の織布への染色特性. *木材学会誌* 60: 48-54
- 6) 橋田 光 (2018) ウルシ染め—染料として活かす (地域資源を活かす生活工芸双書 漆1 漆掻きと漆工 ウルシ利用. 室瀬和美・田端雅進監修. 農山漁村文化協会). 110-113

# 奈良県における菌根性きのこの栽培研究について

## —ホンシメジ・バカマツタケの栽培について—

河合 昌孝 (かわい まさたか、奈良県森林技術センター森林資源課)

### はじめに

「匂い松茸味占地（においまつたけあじしめじ）」と古くから言い表されるよう、マツタケとホンシメジは日本人に親しまれているきのこです。そのため古くから栽培方法の開発に対する、強い要望があります。このうちホンシメジに関しては、純粋培養による子実体（きのこ）の発生（Ohta 1994a, 1994b）や、宿主植物への共生と子実体発生（Kawai 1997）、林地接種による子実体発生（研報）の技術が開発されてきました。しかし、マツタケに関しては、純粋培養はもちろん、人工的に林地に子実体を発生させる技術はまだ開発されていません。

ところで、マツタケに色、形などが似ているきのこ（マツタケの近縁種）が日本には数種類知られています（小川 1978）。一昨年林地栽培に成功したバカマツタケもそうしたマツタケ近縁種の一つです。マツタケは、秋にアカマツ林などの針葉樹林に生えますが、バカマツタケは、夏から初秋にかけてコナラ、ミズナラ、アラカシ、ウバメガシ、マテバシイなどの広葉樹林に発生する食用きのこで、色、形ともマツタケに酷似しています。また、マツタケよりもやや小ぶりで、肉質もやや柔らかいのですが、マツタケに似た強い香りを放ちます。このため、きのこに詳しい人でなければ、マツタケと見分けることは極めて困難です。マツタケとは食感や香りが多少異なりますが、おいしいきのこですので、マツタケと同様な利用法が期待できます。

奈良県では、ホンシメジの林地栽培技術を開発してきました（Kawai 1997、河合 1997、1999）が、今回のバカマツタケの林地での発生成功は、ホンシメジの研究が基礎になり、これを発展させることにより成功したものと考えます。

現在、県内の市町村・森林組合・NGOなどと協力しながらバカマツタケの接種地を増やし、現場のニーズに応えるために確実な技術になるよう改良を進めています。本稿では、バカマツタケの林地接種の話に先立ち、まずその基礎となったホンシメジの林地接種技術につい

て説明し、その後、バカマツタケ林地接種の概要を記します。

### ホンシメジの林地接種

**ホンシメジとはどんなきのこか：**ホンシメジは、アカマツ、コナラ、ミズナラ、クヌギなどと共生して子実体を発生させます。西日本では、アカマツ林、アカマツ・広葉樹混交林に発生する機会が多く、東北地方ではアカマツの混じらないミズナラ、コナラ林でも多数発生するといわれています（最新バイオテクノロジー全書編集委員会編 1992）。また、地域によっては、クヌギ林、ウバメガシ林でも発生すると言われます。

一方、長い間放置された山では、ホンシメジが共生できない樹木が多くなるとともに、地面にも腐植が厚く積もっています。ホンシメジは比較的マツタケに似た環境を好むため、落ち葉や腐植の溜まった場所では生えにくいといわれています（最新バイオテクノロジー全書編集委員会編 1992）。こうした場所では、人工接種してもホンシメジが生えないか、生えても長続きしないと考えられますので、ホンシメジを植え込むにあたり環境改善のための施業が必要となります。

施業は以下の手順で行います。

- (1) アカマツ、コナラ、ミズナラ、ウバメガシ、クヌギなどホンシメジと菌根を作る樹種以外を、林の隙具合を勘案しながら伐倒します。
- (2) 落葉腐植層が厚いところは、腐植をかき取り、2 cm 以下とします。

なお、すでにホンシメジが発生している場所でも、地表に溜まった落葉、腐植を取り除く施業を行うと、きのこの発生量が増えることが確かめられています（小川 1992）。

**林地接種の方法：**林地にホンシメジの菌を接種する方法としては、人工的に培養したホンシメジの菌糸を林地に埋める方法や、菌が感染した苗木を移植する方法が行われてきましたが、ここではバカマツタケ林地接種の基礎

となった取り木を利用した接種方法について説明します。

空中取り木により得られた苗には、菌根が形成されておらず、菌根形成に好適な細根が多く形成されます（写真-1）。植木鉢と滅菌土壌を用いた実験（Kawai 1997）では、土壌培地で培養した菌糸体を宿主の無い状態で埋めると、4ヵ月後培地内部の菌糸体はかなり減少することが観察されました。一方、この菌糸体を取り木苗の根に接触させて埋めた場合、2ヵ月後には取り木苗に菌根が形成され、菌糸が根に沿って広がり、培地内部の菌糸体の密度も高いことが認められています。このことから、林地にホンシメジを接種する時に、取り木苗とともに培養菌糸体を埋めることにより、菌糸体は速やかに取り木苗の根に感染し、取り木苗から養分の供給を受け、菌糸体単独で埋めるよりも長く生存するものと考えられます。このため、樹齢が高いなどの理由で、林地の宿主の根が伸長しにくく、接種源に到達するのが遅れた場合でも、取り木苗があればより確実に感染するものと考えられます。

取り木苗利用による林地接種の手順は以下のとおりです。

- (1) 接種のための穴を掘ります。
- (2) 取り木苗を穴に入れ、取り木苗の根の周囲にホンシメジ菌糸体を置きます（写真-2）。
- (3) 掘った土で埋め戻し、場合によっては新鮮な落ち葉などをかけて雨による浸食を防ぎます。

この方法では、接種地には枝から切り離れた取り木苗と培養菌糸を準備して運べば良く、その重量も軽いことから、感染苗を植える方法に比べ、はるかに多くの箇所での接種が可能になりました。また、上述のとおり林地接種の作業は非常に簡単であるので、経験のない方でも簡単に取り組みます。実際、地元の方と共に接種した林地からも発生が確認されています。

早い場所では、接種1年以内に子実体の発生が確認されています。接種後の最初の発生期に発生が認められない場所でも、数年後に発生する場合があります。これらの場所では、数年に渡り連続した発生が認められており、発生量が増加している場所もあります。きのこの発生には、その年の気象条件が大きく関係しているために一概には言えませんが、適地であればきのこの発生場所である「シロ」の拡大が期待できる方法です（写真-3）。

**取り木苗の作製と菌の培養：**「取り木利用による接種法」に用いるための取り木苗の作成方法を以下に示します。

アカマツは新梢が伸び始めた頃（4～6月）に取り木を行います。カッターナイフ等で2年生の部位に環状



写真-1 アカマツ取り木苗の細根

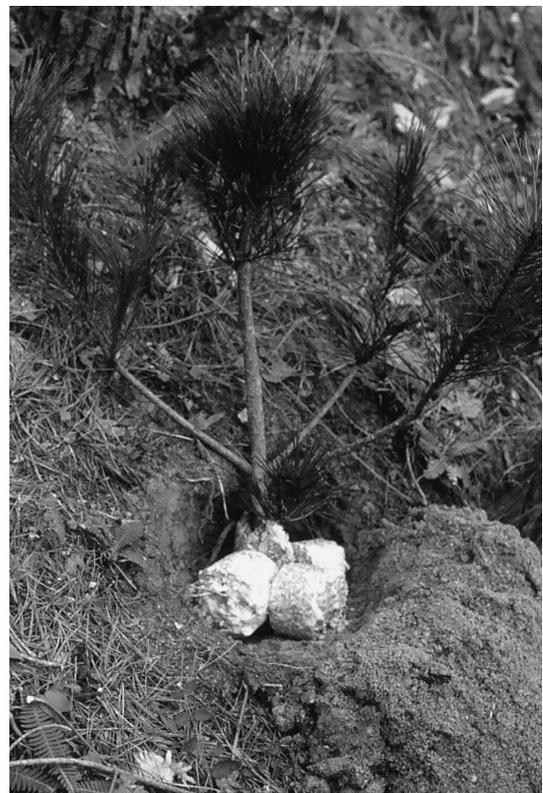


写真-2 ホンシメジの林地接種方法  
取り木苗の根の周辺にホンシメジ菌糸体を置き埋める。

剥皮します。剥皮した部分の上部に、発根促進剤を塗り、湿らせたミズゴケで覆い、ポリエチレンフィルム等でミズゴケを包み、両端をビニールタイ等で縛ります。

発根は7月ごろより認められ、その後、8月に一旦根の成長が止まりますが、9月ごろより成長を再開し、細根を増やしてきます。菌根性きのこは、こうした細根に感染するため、接種に都合が良い苗ができます。発根率は、0～100%と母樹や環境により大きく変化し、平均すると30%程度です。



写真-3 発生したホンシメジ子実体

ウバメガシは新梢が固まったころ（6月～7月上旬）に取り木を行います。道具、資材はアカマツと同じです。また、手順もアカマツとほぼ同じです。当年生枝でも、一年生枝以上であっても可能です。発根の経過はアカマツと同様ですが、アカマツに比べて発根率は高い傾向にあります。

菌の培養については、ホンシメジは菌根菌ですがデンプンを利用する能力が高く、デンプン質を加えると培地に蔓延した菌糸体の色が濃くなります。これは培地内の菌糸体量が増えていることを示していると考えられます。そこでデンプン供給源として大麦の穀粒を培地に加え（Kawai 1997、河合 1997、1999）。培地には大麦のほか、日向土、赤玉土、米ぬかおよび水を混合して耐熱容器に入れて殺菌します。放冷後ホンシメジ菌糸体を接種すると、培養容器の大きさ、菌株などにより異なりますが、20℃で培養すると1ヵ月半～2ヵ月で蔓延し、菌根合成用接種源ができ上がります。また、使用する菌株にもよりますが、上記の方法で作成したホンシメジ菌糸体は、土壌中に埋設した場合に、比較的雑菌に侵されにくいと思われます。

## バカマツタケ

**接種源の作製：**前述したホンシメジでは、取り木苗と共に菌糸体を埋め込むことにより栽培できました。その後バカマツタケ栽培の試験に取り組んでみると、バカマツタケもホンシメジと同様の方法で栽培できる可能性があります。しかし、ホンシメジの場合、菌糸の成長が速いため土壌に栄養分を加えた培地を用いて接種のための菌の塊を作ることができましたが、バカマツタケは月に数mm～数十mmしか成長しない上に土壌中の雑菌にも弱いことから、山で接種するための接種源を作ることが大きな課題となりました。そこで、短期間にバカマツタケ菌糸が基材に蔓延するように培地基材や培養方法を



写真-4 形成されたバカマツタケのシロと発生した子実体



写真-5 子実体の拡大

工夫することにより、林地での接種に利用できる接種源を作ることができました。

**林地接種と子実体の発生：**このようにして準備したバカマツタケ接種源と、取り木により作製したウバメガシの苗木を奈良県内のコナラ林に植え込んだところ、翌年7月には植え込んだ場所のいくつかから、「シロ」のように菌糸が地上を覆う様子が確認できました。この場所の取り木苗を掘りあげてみると、取り木苗に接して埋め込んだバカマツタケの菌糸の塊から、シロのような構造が広がっている様子が観察されました。さらに3ヵ月後の10月に観察したところ、接種地の1か所で大きなシロが形成されているのを確認しました。半月後もう一度観察したところ、1本のバカマツタケの子実体の発生が確認されました（写真-4、写真-5）。7月に観察した2か所のシロは掘り取ってしまい消滅しましたが、このほかにもシロ状の菌糸の広がり認められバカマツタケのDNAが検出された接種場所がありますので、成功率は比較的高いと考えられます。子実体の発生を確認したシロを継続調査したところ、翌年には12本の子実体が発生し、シロが定着したのと考えられます（写真-6）。また、これまでの観察結果から、この子実体は培養したバカマツタケ菌を埋めることにより発生したと思われる



写真-6 2年目の発生の様子（発生した子実体の一部）

すが、今後、埋めた菌と発生したきのこのが同じものかどうかを DNA 解析などの手法を用いて確認していきたいと思います。

## おわりに

今回の手法により菌が定着したと思われる個所はいくつかあります。しかし、子実体の発生に至ったのは1か所のみです。また、他の地域でも子実体が発生するか確認する必要があります。今後は確実な技術になるよう改良を進めていきます。

## 引用文献

- Kawai M (1997) Artificial ectomycorrhiza formation on roots of air-layered *Pinus densiflora* saplings by inoculation with *Lyophyllum shimeji*. *Mycologia* 89: 228-232
- 河合昌孝 (1997) ホンシメジ培養菌糸体のアカマツ林地埋設によるシロおよび菌根形成. 奈良県林試研報 27: 8-12
- 河合昌孝 (1999) ホンシメジ培養菌糸体の林地埋設による人工感染と子実体の発生. 奈良県林試研報 29: 1-7
- 最新バイオテクノロジー全書編集委員会編 (1992) 最新バイオテクノロジー全書七・きのこの増殖と育種. 農業図書
- 小川 真 (1978) [マツタケ] の生物学. 築地書館
- 小川真編著 (1992) 林業改良普及双書 110・野生きのこの作り方. (社) 全国林業改良普及協会
- Ohta A (1994a) Some cultural characteristics of mycelia of a mycorrhizal fungus, *Lyophyllum shimeji*. *Mycoscience* 35: 83-87
- Ohta A (1994b) Production of fruit-bodies of a mycorrhizal fungus, *Lyophyllum shimeji*, in pure culture. *Mycoscience*. 35:147-151

# 林業遺産紀行 第14回

## 広葉樹択伐矮林施業 「海部の樵木林業」

網田 克明 (あみた かつあき、徳島県立農林水産総合技術支援センター)  
柿内 久弥 (かきうち ひさや、樵木林業研究会)

### はじめに

徳島県南部に位置する海部郡は、気候温暖で太平洋に面する海岸線は戸戸・阿南海岸国定公園に指定され、照葉樹林が広がる自然豊かな地域である。美波町の日和佐川流域、牟岐町の牟岐川流域、そして両町沿海部の約12,000 ha では、古くから樵木林業という他にない施業が行われてきた。大正13年にこの地で徳島県山林会総会が開催され、県林業係は『海部の樵木林業』<sup>1)</sup>を刊行し、特色ある林業として全国に紹介した。薪木は古くから「ボサ」「ホダギ」「タマギ」「コリキ」等と呼ばれ、「樵木」の語源となったようである。

今回、林業遺産に登録されたのは、美波・牟岐両町の常緑広葉樹林帯が残る約5,000 ha と、牟岐町河内西又の施業跡地500 ha、美波町山河内の施業地25 ha である。生産方法は上灘(美波町、牟岐町)と下灘(海陽町)で異なり、上灘では択伐が、下灘では皆伐が行われた<sup>2)</sup>。海陽町を流れる海部川(36.3 km)に比べ、日和佐川・牟岐川は流路延長が短く(16.3 km、7.7 km)、水運に適していた。薪木など短小材だと溪流でも容易に流すことができ、河口から船に積載して直接京阪神の消費地へ輸送された。

### 樵木林業とは

樵木林業の施業方法は「択伐矮林更新法」と呼ばれるが、「矮林」とは丈の低い林を意味する。海部郡は台風の常襲地域であり、自然の森林遷移に任せるとシイ等の高木に占有され、風で倒れやすく、そこにシダが侵入し裸地化する。樵木の生産方法は、胸高直径1寸(3 cm)以上のカシやウバメガシなどを伐採し、1寸未満のものを残す。択伐率は材積換算で70～80%、本数で40～50%、回帰年は通常8～12年である。大きくなる前に伐採・利用する樵木の山は、風に抵抗できる森林となった。

さらに、樵木林業の集材方式は独特である。斜面下方から伐り始め、谷筋の凹部に約3 mの皆伐帯(さで：写真-1)を作る。さらに45度の角度で上方向に幅1～1.5 mの皆伐帯(やり)を3 m程の間隔で魚骨状に作り、



写真-1 伐採した樵木材搬出路(さで)の跡

これを搬出路とし、「やり」と「やり」の間を伐採する。

### 樵木林業と人々の生活

樵木の原木は木馬で山土場まで運搬され、河川を利用して「管流し」(写真-2)という方法で河口まで流した。水かさが増すと「管流し」を行う日を予告し、当日は老若男女が「鷺」をたずさえて村中総出で押かけ、作業に従事した<sup>3)</sup>という。川の数箇所に土場を設け、そこで一旦引き揚げ、数日乾燥して又流し、河口の土場で陸揚げした。土場での乾燥工程は「管流し」させやすかったということに加え、軽くすることで運搬しやすくし、何より含水率を下げ薪材の品質を向上させるものだったと推察する。

樵木材は、水運が可能な地域では薪にして搬出したが、搬出に不便な奥地等では木炭にした<sup>3)</sup>。一方、海岸線に沿った牟岐の灘や水落では大きな川がなく、木馬で海岸近くの木場に集められて乾燥され、船に積み込まれた<sup>6)</sup>。

ボサと呼ばれた樵木材の生産・販売は江戸期から地元商業資本が独占し、明治期には沿岸の港から「イサバ船」と呼ばれる船で直接、大阪、堺、岸和田、和歌山、西宮といった阪神方面へ輸送された<sup>4)</sup>。この地域のボサはカシ類等の良質のもので火持ちが良く、明治・大正期に大阪へ出荷した大半は銭湯等の燃料として重宝された<sup>4)</sup>。

その後、大正末期から石炭が普及し薪生産は縮小した。燃料革命以前の昭和40年代頃までは、農閑期の副業的な仕事として、農家の生活、経営、地域経済に大きく貢



写真-2 日和佐川上流の管流の様子<sup>1)</sup>

献したが、経済全般の発展、生活様式の変化、家庭用電気機具、プロパンガスの普及により、やがて樵木林業は衰退の一途をたどることとなる。

## 樵木林業のはじまり

海部地域で木材生産が始まったのは、寛永期（1624-1643）だと言われている。寛永2年（1625）に海部城代の益田豊後の叛乱事件「相川の禅僧杉を藩に無断で伐採し、江戸で売却して私腹を肥やした」が起こり、この事件をきっかけに御林での林業生産が本格化した<sup>5)</sup>とされる。また、寛文11年（1671）の文書に、海部川で材木や流木中の樵木を盗んだ場合の賞罰について定めたものが残されている。「盗人を訴えた者に対して銀子10枚、一家の諸役の五力年間赦免、盗人の耕作田地の1/3の贈与といふかなりの褒美を与えた」<sup>5)</sup>とあることから、この頃相当量の材木・樵木が生産されていたことがわかる。さらに、阿波藩民政資料の文書目録には「樵木流し」の記述（寛文5年（1665））が見られ、樵木林業は少なくとも353年以上の歴史があると推察される。

牟岐町史に「宝永2年（1705年）に満石伝左衛門が那賀より召し出され、御林目付として川長村関に御林番所を置いて、明治3年10月まで勤務した」<sup>6)</sup>とある。現在、徳島県立文書館において、満石家文書約2,000点の修復作業が進められており、文書の記述から当時の山々の状況を垣間見ることができる。このうち筆者責任のもと、一部解読した読み下し文を紹介する。

図-1に示した文書は、藩の林方代官が満石伝左衛門に宛てた命令書である。極月（12月）に橘村のかんば山6町4反、3月に元内山4畝を伐採し、（川へ）流すことについて、具体的に運上銀の額を示し上納させた。樵木材の生産を藩が重要視していた事がわかる。

## 樵木林業の現在的価値

かつてのほとんどの農家が関わった樵木生産は、今で

銀札、百六十二匁一分八厘なり、うち百五十三匁、橘村太兵衛、右は、かんば山、六町四反松雑木炭仕成し伐流とも伐り小成し、来る巳極月切同九匁二分八厘、同村勘助、右は元内山四畝雑木伐流伐り小成し、来る三月切、右夫々上納相納め済候条引渡べく候 以上  
辰九月二日  
林方御代官所  
満石弁左衛門どのへ

図-1 松雑木炭仕成伐流共運上銀上納済の件<sup>7)</sup>



写真-3 牟岐町の樵木林業登録地と研究会メンバー

はわずか数軒のみになり、経営放棄された森林が増え、鳥獣被害やナラ枯れ等の生物害が拡大しつつある。

こうした中、樵木林業の歴史的意義及び現在の価値を再考し、海部地域の林業振興と活性化、森林環境保全につなげることを目的に、「樵木林業研究会」（会長 谷崎栄之）が設立された（写真-3）。樵木林業経験者、林業者等が会員となり、美波町、牟岐町の行政、徳島県南部総合県民局、農林水産総合技術支援センターがオブザーバーとして参加し、木馬道の整備、モデル林の設定、樵木林業で使われた道具類収集、古文書解読等に取り組んでいる。

樵木の山を次世代につなげるため、研究会の活動が少しでも役立てばと考えている。

## 引用文献

- 1) 徳島県山林会（1924）海部の樵木林業
- 2) 松原 茂（1951）民有林業総覧．日本林業技術協会
- 3) 塩谷 勉ら（1960）農家の林業、徳島県海部地方の コリキ林業．27-28
- 4) 日和佐町史編纂委員会（1984）日和佐町史．682-684
- 5) 徳島県（1972）徳島県林業史．423
- 6) 牟岐町史編集委員会（1976）牟岐町史．725-735
- 7) 網田克明（2019）海部の樵木林業～林業遺産登録を記念して～．徳島県技術士会会報．vol 26

# 木材への接触が人にもたらす 生理的リラックス効果

池井 晴美 (いけい はるみ、森林総合研究所)

シリーズ  
うごく森 37

## はじめに

木材は、古くから建材や内装材として使用されてきた身近で馴染み深い自然素材のひとつであり、私たちにリラックス効果をもたらすことが経験的に知られている。近年、現代の都市化・人工化されたストレス社会を背景に、木材が人の生理応答に及ぼす影響に注目が集まり、研究蓄積が始まっている。

筆者らは、本研究分野の現状を概観するため、2015年に文献調査を実施し、関連する報告を42報（内、論文30報、総説11報、書籍1報）収集した<sup>1)</sup>。その結果、木材が人の生理応答に及ぼす影響については、1992年に台湾ヒノキの材から抽出した精油による嗅覚刺激が収縮期血圧を低下させることが初めて報告<sup>2)</sup>されて以来、今日に至るまで、科学的データの蓄積が少しずつ進みつつあることが明らかになった。また、収集された査読論文を五感刺激別に整理したところ、嗅覚刺激においては20報と最も多くの報告がなされているのに対し、触覚刺激においては2報と極めて少ないことが分かった。

木材への接触がもたらす生理的リラックス効果に関しては、これまで、脈拍数と血圧を指標として検討されてきた<sup>3,4)</sup>。木材ならびに人工物等への手掌接触が及ぼす影響について、女子大学生19名を被験者として調べた先行研究では、脈拍数の最大値と最小値の差が、ヒノキ材においては小さく、ステンレス板やデニムにおいては大きいことが明らかにされている<sup>3)</sup>。また、木材の温度の違いが血圧に及ぼす影響についても調べられており、スギ材、ヒノキ材、ナラ材に手掌接触させた結果、血圧は接触直後の一過性的変化を除いて上昇せず、冷やした木材への接触においても血圧は上昇しないことが示された<sup>4)</sup>。つまり、木材への接触においては、室温においても冷却時においても、血圧上昇という生理的ストレスが生じないことが明らかとなった。

上記2報は、木材への接触が人の生理応答に及ぼす影響を初めて明らかにした先駆的研究であるが、脈拍数および血圧といった自律神経活動指標のみを評価している点に、研究の限界があった。そこで、筆者らは、近年

開発された新しい評価指標を用いて、自律神経活動と脳活動を同時に計測することにより、木材への接触が生理応答にもたらすリラックス効果の解明を目指して、研究を進めている<sup>5-8)</sup>。

本稿では、快適性評価研究において主流となりつつある新規脳活動計測法および自律神経活動計測法について紹介した後、木材への手掌・足裏接触が人にもたらす「うごく」を生理的变化として解説する。さらに、本研究分野における今後の課題を示す。

## 快適性を評価する指標

一般的に生理的快適性を評価する指標は、脳活動、自律神経活動、内分泌活動、免疫活動の4つに大分される<sup>9)</sup>。代表的な生理的リラックス状態として、脳活動においては、脳前頭前野の酸素化ヘモグロビン濃度の低下、自律神経活動においては、ストレス状態で高まる交感神経活動の抑制、リラックス状態で高まる副交感神経活動の亢進、および血圧・心拍数の低下、内分泌活動においては、ストレスホルモン濃度の低下等が挙げられる<sup>10)</sup>。また、生理的にリラックスした状態になると、低下している免疫機能が改善されることも報告されている<sup>10)</sup>。

以下に、筆者らが用いている最新の脳活動および自律神経活動の計測手法を紹介する。

脳活動計測手法としては、近赤外分光法（NIRS, Near-infrared spectroscopy）による脳前頭前野の酸素化ヘモグロビン濃度計測が最近の主流である。

近赤外分光法とは、血中に存在する酸素化・脱酸素化ヘモグロビンの近赤外光吸収特性を利用することによって、脳活動を経時的に計測する方法である<sup>11-13)</sup>。ヘモグロビンは、血液中で酸素を運搬する役割を担っており、動脈血中においては酸素と結びつき、酸素化ヘモグロビンとして存在している。脳は、暗算等の活動時に酸素を必要とするため、その部位に動脈血が供給され、酸素化ヘモグロビン濃度が上昇する。反対に、リラックス時には、脳の活動が鎮静化し、その濃度が低下することが知られている<sup>14)</sup>。

計測風景を図-1左に示す。被験者の前額部表面に両

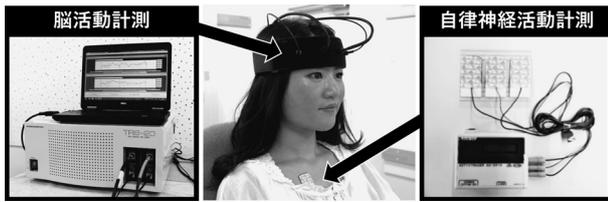


図-1 脳活動および自律神経活動の計測風景

面テープにてプローブを装着し、そこから近赤外光を照射して戻ってきた光を検出する。本手法は、脳波と比較して、アーティファクト（計測信号に混入するノイズ）が少なく、計測部位の活動状態を毎秒評価できるという利点がある。また、最近では、近赤外時間分解分光法を用いた脳活動の絶対値計測や、携帯型機器を用いた野外等の高照度環境下での計測も行われるようになってい

る。近年では、血圧や脈拍数に代わる代表的な自律神経活動計測として、交感神経活動と副交感神経活動を分けて評価できる「心拍変動性（HRV, Heart rate variability）計測」が主流となっている。

心臓は、規則正しく脈を打っているように思われるが、実際は1拍ごとの心拍間隔（RRI, R-R interval, R波とR波の間隔）にゆらぎ（変動性）があり、このゆらぎに交感神経活動と副交感神経活動が関わっている<sup>15)</sup>。RRIデータを周波数解析することにより、高周波（HF, High frequency）成分と低周波（LF, Low frequency）成分のピークが検出される。HF成分はリラックス時に高まる副交感神経活動を反映し、LF/HFはストレス・覚醒時に高まる交感神経活動を反映することが知られている<sup>16)</sup>。

計測風景を図-1右に示す。心拍間隔の計測は、携帯型心電図計による胸に三点の電極を装着する方法がよく用いられている。さらに、より軽量・小型化された測定機器や指先の脈波を用いた計測機器も開発されており、研究の目的に応じて使い分けられている。

### 木材への接触がもたらす生理的リラックス効果

筆者らは、上記した脳活動指標および自律神経活動指標を同時計測することによって、木材（ナラ材<sup>5,6)</sup>およびヒノキ材<sup>7,8)</sup>への手掌接触<sup>5-7)</sup>と足裏接触<sup>8)</sup>が及ぼす生理的影響を明らかにした。

住宅の内装材として一般的に用いられているホワイトオークを用い、他素材との比較<sup>5)</sup>および塗装材の違いによる比較<sup>6)</sup>を行った。

他素材との比較においては、代表的な建築材料である大理石、タイルおよびステンレスの平板を対照として用いた。成人女子大学生18名を被験者とし、温湿度およ

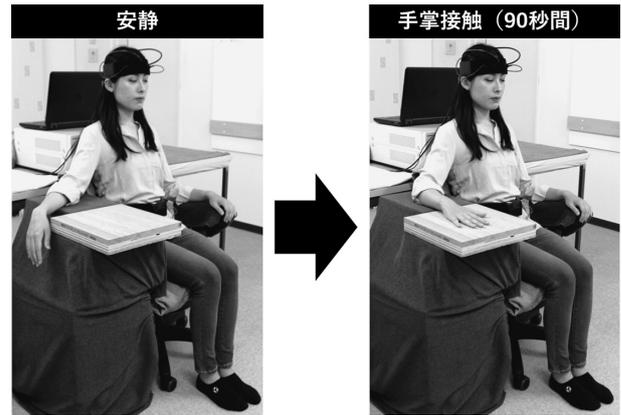


図-2 手掌接触実験風景<sup>6)</sup>を改変

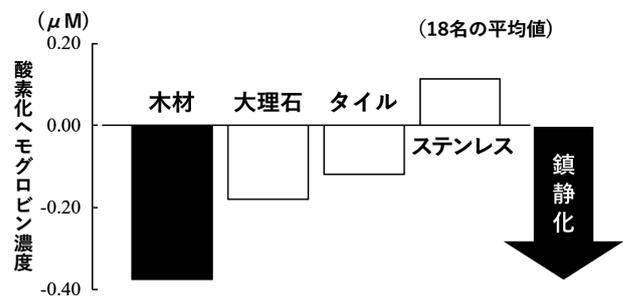


図-3 ホワイトオーク材に手で触れたときの左前頭前野活動の変化：他素材との比較<sup>5)</sup>を改変

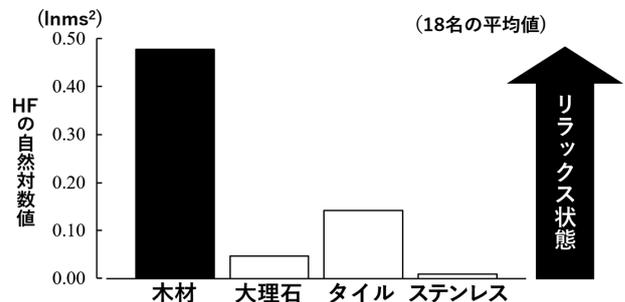


図-4 ホワイトオーク材に手で触れたときの副交感神経活動の変化：他素材との比較<sup>5)</sup>を改変

び照度を一定に調整した防音機能を有する人工気候室内において、座位・閉眼にて各試料に90秒間手掌接触させた（図-2）。その結果、ホワイトオーク材は、（1）大理石、タイルおよびステンレスと比べ、左右前頭前野の酸化ヘモグロビン濃度を低下させること（図-3）、（2）大理石およびステンレスと比べ、副交感神経活動の指標である $\ln(HF)$ を上昇させること（図-4）が示された<sup>5)</sup>。つまり、ホワイトオーク材への手掌接触は、他素材と比較し、脳前頭前野活動の鎮静化と副交感神経活動の亢進をもたらし、人を生理的にリラックスさせることが明らかとなった。

塗装材間の比較においては、無塗装、オイル塗装、ガラス塗装、ウレタン塗装、ウレタン塗装（厚塗り）の5種類の平板を用い、それぞれ90秒間手掌接触させた。

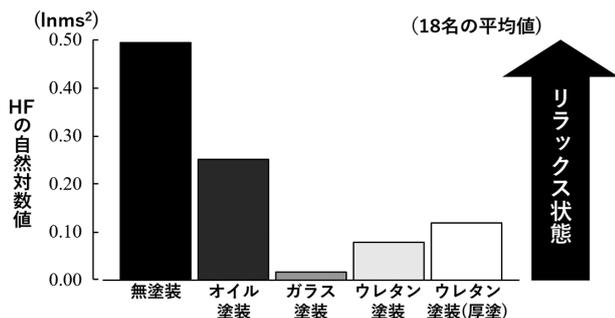


図-5 ホワイトオーク材に手で触れたときの副交感神経活動の変化：塗装材間の比較<sup>6)</sup>を改変

その結果、(1) 無塗装材への接触は、1) 前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度の低下（ウレタン、ウレタン（厚塗り）との比較）、2) 副交感神経活動の指標である  $\ln(HF)$  の上昇（ガラス、ウレタン、ウレタン（厚塗り）との比較、図-5）、3) 心拍数の低下（ウレタン（厚塗り）との比較）をもたらすことが明らかになった。加えて、(2) 木材本来の風合いが残るオイルおよびガラス塗装への接触は、ウレタン塗装（厚塗り）と比べ、左前頭前野における酸素化ヘモグロビン濃度の低下、および心拍数の低下をもたらすことが示された<sup>6)</sup>。つまり、無塗装材や無塗装材に近い塗装材への手掌接触は、脳前頭前野活動の鎮静化、副交感神経活動の亢進および心拍数の低下という生理的リラックス効果をもたらすことが明らかになった。

古くから神社仏閣等の内装材として用いられているヒノキ材の手掌接触が及ぼす影響についても、大理石との比較によって明らかにした<sup>7)</sup>。成人女子大学生 22 名を被験者とし、90 秒間手掌接触させた結果、ヒノキ材は、大理石と比べ、左前頭前野における酸素化ヘモグロビン濃度を低下させること、副交感神経活動の指標である  $\ln(HF)$  を上昇させることが示された<sup>7)</sup>。つまり、ヒノキ材への手掌接触は、脳前頭前野活動の鎮静化および副交感神経活動の亢進をもたらし、人を生理的にリラックスさせることが明らかとなった。

木材は床材としても多く使用されており、特に、日本においては、住宅等の室内において素足で過ごすことが多いため、木材への足裏接触が及ぼす影響も調べた<sup>8)</sup>。被験者は、同じく女子大学生 21 名とし、人工気候室内で閉眼にて足裏接触させた（図-6）。その結果、ヒノキ材への足裏接触は、大理石と比べて、脳前頭前野活動の鎮静化と副交感神経活動の亢進をもたらし、さらに、ストレス時に高まる交感神経活動も抑制されること（図-7）が示された<sup>8)</sup>。つまり、木材に足裏で触れることによっても、手で触れることと同様に、人を生理的にリラックスさせることが示された。

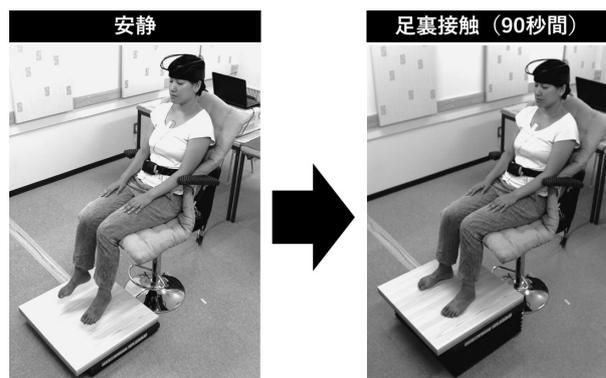


図-6 足裏接触実験風景<sup>8)</sup>を改変

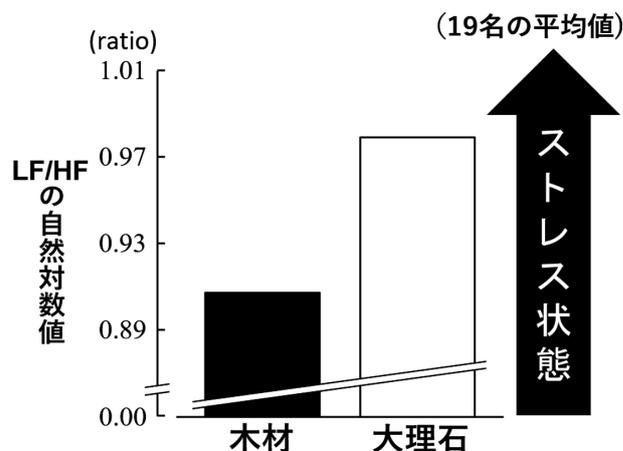


図-7 ヒノキ材に足で触れたときの交感神経活動の変化：大理石との比較<sup>8)</sup>を改変

### まとめ

木材への接触が人の生理応答に及ぼす影響を調査した結果、手掌および足裏接触によって、脳前頭前野活動の鎮静化、リラックス時に高まる副交感神経活動の亢進、ストレス時に高まる交感神経活動の抑制がもたらされ、生理的にリラックスすることが明らかになった。

木材がもたらす生理的リラックス効果について、Miyazaki は“Back to nature” theory を唱えている<sup>10,17-19)</sup>。人は、約 700 万年前に人間となり<sup>20)</sup>、現代に至るまでの進化の過程の大部分を自然環境下で過ごしてきたため、自然環境に対応した生理機能を持っている。産業革命を都市化・人工化の始まりとすると、現在の人工環境下で過ごした時間は、全体の 0.01% 以下であるため、現代人は人工環境に適応することができず、日常的に強いストレス状態にあると考えられている。このような状況において、自然環境や自然由来の刺激に触れるとリラックスし、人間としての本来の適正な状態に近づくというセオリーである。

上記したように、木材への接触がもたらす生理的リラックス効果に関するデータが蓄積されつつある。ストレス状態が社会問題となっている今、木材が持つストレ

ス緩和効果に期待が高まっている。

### 今後の展望

近年においては、高いストレス状態を有する集団を対象とした自然セラピーの応用に関心が集まっており、データが蓄積され始めている<sup>21,22)</sup>。木材が人にもたらす生理的リラックス効果に関しても、脊髄損傷者、高齢リハビリ患者およびうつ病患者等の日常的に強いストレス状態にある方々を対象とした効果の検討が求められている。今後、木材がもたらす様々な生理的効果に関してデータ蓄積が進むことにより、「木の良さ」が再認識され、科学的根拠に基づいた木材の利用促進に繋がることが期待されている。

### 引用文献

- 1) Ikei H, et al. (2017) Physiological effects of wood on humans: a review. *J Wood Sci* 63: 1-23
- 2) 宮崎良文ら (1992) 精油の吸入による気分の変化 (第2報) 一血圧・脈拍・R-R 間隔・作業能率・官能評価・感情プロフィール検査に及ぼす影響一. *木材学会誌*. 38: 909-913
- 3) Morikawa T, et al. (1998) Time-series variations of blood pressure due to contact with wood. *J Wood Sci* 44: 495-497
- 4) Sakuragawa S, et al. (2008) Effects of contact with wood on blood pressure and subjective evaluation. *J Wood Sci* 54: 107-113
- 5) Ikei H, et al. (2017) Physiological effects of touching wood. *Int J Environ Res Public Health* 14: 801
- 6) Ikei H, et al. (2017) Physiological effects of touching coated wood. *Int J Environ Res Public Health* 14: 773
- 7) Ikei H, et al. (2018) Physiological effects of touching hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa*). *J Wood Sci* 64: 226-236
- 8) Ikei H, et al. (2018) Physiological effects of touching the wood of hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa*) with the soles of the feet. *Int J Environ Res Public Health* 15: 2135
- 9) 日本生理人類学会計測研究部会 (1996) 人間科学計測ハンドブック. 技報堂出版
- 10) Song C, et al. (2016) Physiological effects of nature therapy: a review of the research in Japan. *Int J Environ Res Public Health* 13: 781
- 11) Ohmae E, et al. (2006) Cerebral hemodynamics evaluation by near-infrared time-resolved spectroscopy: Correlation with simultaneous positron emission tomography measurements. *Neuroimage* 29: 697-705
- 12) Ohmae E, et al. (2007) Clinical evaluation of time-resolved spectroscopy by measuring cerebral hemodynamics during cardiopulmonary bypass surgery. *J Biomed Opt* 12: 9
- 13) Torricelli A, et al. (2014) Time domain functional nirs imaging for human brain mapping. *Neuroimage* 85: 28-50
- 14) Hoshi Y, et al. (2011) Recognition of human emotions from cerebral blood flow changes in the frontal region: A study with event-related near-infrared spectroscopy. *J Neuroimaging* 21: 94-101
- 15) Camm AJ, et al. (1996) Heart rate variability standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation* 93: 1043-1065
- 16) Kanaya N, et al. (2003) Differential effects of propofol and sevoflurane on heart rate variability. *Anesthesiology* 98: 34-40
- 17) Hansen MM, et al. (2017) Shinrin-Yoku (Forest Bathing) and Nature Therapy: A State-of-the-Art Review. *Int J Environ Res Public Health* 14: 851
- 18) Miyazaki Y (2018) Shinrin Yoku: The Art of Japanese Forest Bathing. Octopus Publishing Group
- 19) 宮崎良文(2018)森林浴: 心と体を癒す自然セラピー. 創元社
- 20) Brunet M, et al. (2002) A new hominid from the Upper Miocene of Chad, Central Africa. *Nature* 418:141-151
- 21) Ochiai H, et al. (2017) Effects of visual stimulation with Bonsai trees on adult male patients with spinal cord injury. *Int J Environ Res Public Health* 14: 1017
- 22) Song C, et al. (2018) Physiological effects of viewing Bonsai in elderly patients undergoing rehabilitation. *Int J Environ Res Public Health* 15: 2635

## ドローンで森林の構造をはかる

松浦 俊也 (まつうら としや、森林総合研究所)

## はじめに

森林調査での無人航空機（ドローン、UAV: Unmanned Aerial Vehicle）活用がこの数年で急速に進んだ背景には技術的な2つの要因があります。(1) GPSとジャイロ等の各種センサー搭載で比較的容易に安定飛行するマルチコプター（回転翼機）が普及し、カメラ付き機種も比較的lowコスト（数万～十数万円）で入手できるようになったこと、(2) 多数の撮影画像から三次元形状を復元するソフトウェアが普及し、従来よりも簡易かつ低コストに地表面の三次元計測やオルソ画像生成ができるようになったことです。加えて、近赤外バンドを含むマルチスペクトルカメラによる植物の活性度把握や、高額な小型レーザ測量機器を搭載した計測も進みます。

従来の有人航空機からの空中写真、航空レーザ測量や人工衛星画像が広域の森林を均質な精度で面的に把握できるのに比べて、ドローン空撮はバッテリーと飛行高度の制約から比較的狭域に限られます。しかし、低空から高解像度データを得られ、見たい季節や時期に撮影すれば、生物季節や森林施業・災害前後の変化把握など、目的や対象に応じて柔軟に活用できる利点があります。

本稿では、空中写真による三次元形状把握手法を概説した後に、近年関心が高まるドローンを用いた森林計測研究の流れや、都道府県や国有林の実務での活用状況を概観します。さいごに、ドローン活用上の留意点や、少し広く見た場合の憂慮点に触れます。

## 三次元形状復元による多画像ステレオ写真測量 (SfM-MVS)

SfM-MVS (Structure from Motion, Multiview Stereo Photogrammetry) とは、多方向からの撮影画像を用いて対象物の三次元形状とカメラ撮影位置を復元して写真測量を行うアルゴリズムです。これを組み込んだフリーや商用のソフトウェアが普及し（例えば商用では、Agisoft Metashape (旧 PhotoScan) や Pix4D-mapper)、撮影画像から三次元形状を計測し、ラスタ形式の DSM (Digital Surface Model, 地表面高データ) やオルソ画像を自前で生成できるようになりました。Metashape における SfM-MVS の主な流れは次の通りです。(1) 写真群を読み込み、複数写真に共通で写る特徴点群とカメラの位置や姿勢を推定する。(2) 高密度点群を生成し、色情報を付与する。(3) 地表面をワ

イヤーフレーム表示する TIN (不規則三角形網) を生成し、DSM とオルソ画像を生成する。GNSS 測量で正確な地上基準点 (GCP, Ground Control Point) を対象地内に複数配置すれば、より正確に測量できます。ドローン森林計測では、この SfM-MVS によるものが主流です。なお、全国で定期的に撮影されてきた従来の空中写真は、SfM-MVS で推奨される隣接画像間のオーバーラップ率を満たさないものの、土地被覆変化の概観など目的や求める精度によっては活用でき、ドローン空撮と併せた森林履歴把握への活用が期待されます。

## デジタルステレオ立体視

ステレオ実体鏡を用いた空中写真立体視の歴史は古く、戦後の空中写真測量による国土地理院の地形図等高線作成にも利用されてきました。しかし、立体視による判読には熟練が必要で、再現性にも難がありました。これに対し、2000 年代末頃から 3D モニタと電子立体視ソフトウェアが登場し、モニタ上で立体視・計測し、三次元地理座標をもつ点、線、多角形などの GIS データをより簡易に作成できるようになりました。商用ソフトウェアには、「もりったい」(日本森林技術協会) や「Stereo Viewer pro」((株)フォテック) があります。後者では、SfM ソフトウェアで推定したカメラの位置や姿勢などのテキスト情報 (csv ファイル) を用いることで、ドローン空撮画像のデジタルステレオ立体視・計測も可能です (中北 2018)。本手法は、認知度の低さや機材普及の遅れに加えて広域目視の難しさもあり、活用例はごく限られます。しかし、オルソ画像や DSM では捉えきれない詳細な森林構造 (例えば、樹頂点、倒木の長さ、林冠ギャップ内の中低木の位置や地盤高など) を判読・計測しやすく、今後の活用が期待されます。

## ドローンを用いた森林計測研究

ドローン森林計測に関わる研究発表の動向を、日本森林学会大会から概観すると、関連発表件数は 2014 ~ 2019 年に 1、3、12、24、35、39 件となり、2016 年以降に急増しています (図-1、折れ線グラフ)。内容別では (図-1、棒グラフ)、最も多いのは林分構造の把握で、過半を占めます。例えば、SfM-MVS から 3 次元点群や DSM とオルソ画像を生成し、可能なら航空レーザ測量等で別途得られた地盤高との差から林冠高

データ (DCHM, Digital Canopy Height Model) を求め、林冠高やギャップが捉えられます。また、空中写真や航空レーザ測量データに適用されてきた画像処理手法によるスギ人工林の単木樹冠抽出や、樹高と陽樹冠直径の計測にもとづく胸高直径 (DBH) や材積の推定、皆伐・新植地の解析例も見られます。さらに、地上撮影画像の SfM や地上レーザ測量データの 3 次元点群を組み合わせ、上空から見えない林内の構造を把握する試みもあります。なお、応用先の一つである崩壊地の地形計測や変化解析は、主な発表先が地形学や砂防など他学会のため件数がわずかでした。一方、オルソ画像の色情報 (RGB: Red Blue Green) やマルチスペクトルカメラの近赤外や Red Edge バンドを用いた樹種・林相判別や、病虫害 (マツ枯れ、ナラ枯れ、カラマツ病虫害など) や災害における被害木把握も増加傾向です。作業道の測量を試みたものもあります。また、多時期の空撮写真を用いた樹木生理やフェノロジーの把握、撮影画像そのものを用いたスギ雄花の着花状況把握や獣害対策への活用など、研究対象は広がりつつあります。

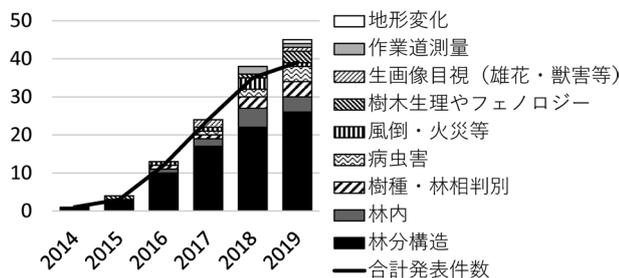


図-1 日本森林学会でのドローン森林計測の発表件数  
注：日本森林学会大会発表の J-Stage データベースや学術講演集にて OR 検索語を「ドローン、drone、UAV、UAS、SfM、無人航空機、無人ヘリ」として全文検索し、関連発表を内容別に集計しました。なお、関連論文は主に他学会誌に投稿されることから日誌や JFR ではヒットしませんでした。

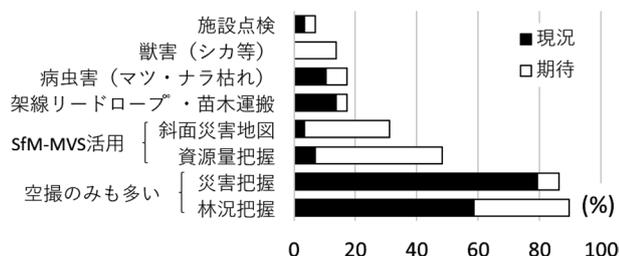


図-2 林業実務現場でのドローン利用  
注：2018 年秋の無人航空機活用技術研修受講者 29 名 (北海道から沖縄にまたがる都道府県および国有林職員) 対象のアンケートより。普及指導・林地開発許可・治山・計画等を中心に、病虫害・鳥獣害・調査研究等の担当者も含まれる。

## 都道府県や国有林におけるドローン活用

林業実務でのドローンの活用状況や期待をみると (図-2)、林況把握や災害把握が最も多く、次いで森林資源や斜面災害の 3 次元計測・地図化、苗木や架線リードロープなどの軽量物の運搬による現場作業効率化、病虫害や獣害の把握など、現場ニーズが研究と対応して広がりつつある様子が捉えられました。

## ドローンの適切かつ安全な利用にむけて

森林は構造が複雑で季節変化も大きく、天候や太陽高度をはじめ、撮影条件や処理手順によって計測結果が変動します。そのため、対象や目的に応じた望ましい空撮・処理・解析手法の知見蓄積が望まれます。さらに、空撮では各種法規制に従ったうえで、事故リスクに備える必要があります。関連法規には、航空法、小型無人航空機等飛行禁止法、電波法、道路交通法、民法、都道府県や市町村の条例などがあり、国有林入林などの各種許可も必要となります。規制内容は変化し、海外では国ごとにも異なり、最新情報の把握が求められます。さらに、有視界飛行、バッテリー特性、天候や微気象、通信可能域、周辺地形や電波障害など様々な配慮に加え、一つの操作ミス (例えば、ソフトやハードの設定や更新、飛行計画等) が事故に直結するなど多くのリスクがあります。利便性の背後にある様々なリスクとその対処法を知り、安全かつ効果的な活用 (内山 2018) が望まれます。

## おわりに

さいごに、やや話題が逸れますが、新たな計測手法の研究発表件数増の陰で、森林の持続的な利活用・管理・計画に関わる研究発表が、とりわけ近年、森林の経理・経営・計画分野で低調気味なのは気になるところです。他分野で発展した計測技術 (ドローンや SfM) を複雑な構造をもつ森林でいかに活用できるかの手法開発は、森林計測の高精度化や林業の低コスト化に繋がらざるを得ない喫緊の課題です。しかし、計測技術の向上は、持続的森林管理に向けた取り組みのあくまで一側面にすぎず、流行テーマの陰に、重要なのに手薄となる広汎な課題群が放置されていることにも、改めて視野を広げる必要があるのではないのでしょうか。

## 引用文献

- 中北理 (2018) UAV 画像の立体視化—ドローン画像を最大限に活かす— (連載：次世代につながる空中写真 (第 4 回)). 森林技術 917: 24-25  
内山庄一郎 (2018) 必携ドローン活用ガイド—安全かつ効率的な活用を目指して—. 東京法令出版

# 自然風剪定

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)



剪定技術を身に付けば、樹木をもっと深く理解できるのでは。私は山形大学で林学を学ぶ中、いつしかそんな事を考えるようになっていました。そして卒業後、剪定を手取り足取り教えてもらいたいと郷里新潟の造園会社へ就職します。しかしここでは早々に、修業と言うのはそんな甘い物ではない事と、剪定は手探りで学ぶしかない事を知りました。ならば何か目標を定めた方が正しく歩めるような気がして、雑誌が何かで知った「自然風剪定」の上達をそこに置き、気がつけばもう二十数年。その言葉に悩み、時に答えを見つけながら、今に至っています。

私が修業した造園会社では「自然風剪定」にあまり意識がおかれず、現場で常々言われていたのは「家主が見た時に違和感がないよう仕上げろ」でした。その為の指導内容としてあったのが「見て覚えろ」です。これは暗に独学しなさいと言うことで、その代わり経験が無くても剪定の機会だけは十分に与えられました。しかし駆け出しの身が出来事といえば、時間に追われて闇雲に切ったり、切りすぎて樹を殺しかけたり、親方からのダメ出しにガックリするくらいです。ところが3年も経つと、良い剪定とはどのようなものかが感覚で分かり始め、また、手が勝手に動いて仕事をするなど、徐々に努力の成果が出てきました。それと同時に「自然風剪定」が一層分からなくなるようにも。樹木がどのように枝を伸ばすのかを実体験で知れば知るほど、その自然状態を模倣して剪定すると言うのは無理なのではないかと思うようになったからです。

枝には、「忌み枝」と言う積極的に整理しなければならない枝があり、参考書によっては10種以上も示されています。例えば、樹の内側へ向って伸びる「逆枝」、複数の枝が近い位置と同じ角度で伸びる「平行枝」、垂直に伸びる「立枝」などなど。しかしそれらの枝は珍しい物ではなく、自然に生育している樹なら普通に生えます。もし機会があれば、枝葉がうっそうとしているその内側に体を潜り込ませて下さい（毛虫と蜂に気をつけて!）。そしてそこにある枝々の、絡み合いながら伸び続けた混沌状態と、不要となった無数の枯れ枝を見てください。忌み枝と不吉な名前を付けられている各種の枝は、光合成量を増そうと、光が当たる場所を狙って様々な場所と角度から枝葉を伸ばした結果にあるのが分かります。それらから出来た樹形が自然樹形であるならば、自然風剪定の「自然風」とは、いったどんな自然を表そうとしているのでしょうか。

「自然風」について、剪定そのものから再度考えてみ

ます。まず剪定で出来る事と言うと、縮小剪定と透かし剪定の2つ。家主から求められるこれら剪定を樹にダメージなく行うのが、庭師と言う職業です。そして腕の良い職人の剪定は、仕上がりが美しいだけでなく、その樹を取りまく景色や雰囲気の中に違和感なく収めます。おっとこれは、私が修業した造園会社が目指す「家主が見た時に違和感がないよう仕上げる」と合致するではありませんか。さらに、これをもっと砕いて言ったならばどうなるでしょう。私は、「家主が『これこそ自然』と頭に思い描いているイメージを汲み取って仕上げる」になると考えています。もしそうなら「自然風」とは「家主の自然のイメージ」と言えそうです。なんだ、本当の自然を指してはいないの?とガックリしてしまいそうですが、この事はむしろ、庭づくりの考え方を良く表しているようにも思えます。日本における「庭」とは、自然を再現すべくひたすらに追いかけて作り続ける物であり、庭師の仕事とは、本当の自然界と制約された人工空間と、そして家主との間を取り持つ役割であるからです。時には自然の真の姿に習って、時には意図的に誇張して。「自然風剪定」とは、庭師それぞれの技量や発想力、もしかしたら思想をも問う、自然界から出された難題のように思えます。

「見て覚えろ」の日々の中、徹底的に指導された事が一つありました。それは、「枝を切ったら樹から降りて遠くから見ろ」です。当時、3m程度の樹の剪定を行うのにも数十回の登り降りをし、家主から見えるであろう景色を逐一確かめました。剪定する本数分それを行うので、作業は若さと根性頼みだったと言えます。そして今に至り、樹の登り降りが歳とともに苦しくなった私にとって、これまでで得られた剪定の経験は現仕事を支える大変貴重な財産となっています。自然界を理解するのに理論や推察は重要ですが、回数をがむしゃらに重ねる事で得られる物もあり、実際、庭師の仕事の多くはそのような物で出来ています。「自然風剪定」に今回は解釈でアプローチしてみましたが、本当のゴールはこれがその答えかと思えるような剪定が出来るようになることです。その目標を今後も前に据え置き、剪定前の発想と、剪定後の変化を、積み上げて行きたいと思います。

.....

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

## ハチクと淡竹 — 古典籍からの考察 —

篠崎 真

(しのぎき まこと、一般社団法人京都竹カフェ)

### 初めに：タケと淡竹

現代日本ではモウソウチク、マダケ、ハチクをもって三大有用竹と呼んでいます(写真-1)。一方、日本の古典文学には様々な「竹/たけ」が出てきます。しかし古典文学中の竹の名称の多くは現代の植物学的な名称と異なります。

筆者はこれまで日本古典文学中の竹について述べてきている<sup>1,2,3,4)</sup>中で、呉竹が多くの文献ではハチクであると述べられていることを挙げました。しかし呉竹について八代集和歌<sup>2)</sup>および源氏物語<sup>3)</sup>のテキストにはタケの種を読み取れるだけの記述がないことを述べたうえで、前の稿<sup>4)</sup>では複数の古典辞書から呉竹に関する記述を拾い、各記述には食い違いがあることを述べました。すなわち辞書ごとに呉竹が何であるかが異なっている為、理由も示さずに一つの古典辞書に書かれていることを根拠として呉竹はハチクと断定することに無理があると言わざるを得ません。

本稿では古典辞書での「淡竹/ハチク/はちく」が現在のタケの種「ハチク」であると断言できるのかどうかを見ます。

なお本稿で植物の名前の表記について、漢字や平仮名で「淡竹」「はちく」のように書くものは日常語あるいは文学的表現であり、片仮名で「ハチク」のように書くものは植物学的表記です。但し古典の原典に片仮名で書かれているものをそのまま写す場合もあります。また一部、現在ほとんど使われることのない漢字あるいは現代日本にない漢字などについても片仮名で書いています(カン竹、キン竹、レン、タク、レキ、ジョなど。いずれも本文と註一を参照)。

引用した画像は、本草綱目および本草綱目啓蒙は国会図書館デジタルコレクションを使用し筆者が白黒二値画像化しました。夢溪筆談および香祖筆記はInternet Archive (<https://archive.org>) より引用しました。

### 古典辞書での淡竹の記述：本草綱目と本草綱目啓蒙

前の稿<sup>4)</sup>に続いて本稿でも古典辞書の記述を紹介します。本稿では淡竹に注目し互いに関連する二冊の古典

辞書を考察します。

本草綱目は中国明朝の李時珍の著、万暦6年(1578年)完成、52巻。古今の本草書を集成し本草学史上において分量がもっとも多く内容がもっとも充実した生薬書、日本には慶長9年(1604年)に紹介された、とのこと。

本草綱目啓蒙は、日本の書で小野蘭山の講義を門人が整理し享和3年(1803年)刊、48巻。前記の本草綱目を基に他の和漢の古書をも引用していて、博物学、植物学、地方名などの資料としての頂点に位置する書、といわれています。

### (1) 淡竹はハチク

本草綱目啓蒙の記述を見ます(図-1 および資料一参照)。まず冒頭の文①「淡竹は~俗にハチクと呼ぶ」とのことで、漢字で書く中国由来の語の淡竹が当時の日本名のハチクであると述べているものと解釈できます。①を典拠として古典の淡竹を現代のタケの種ハチクである(淡竹単独種説とする)というのを本稿の第一の結論とします。確かに淡竹と書いてハチクと読むのは現代での一般的な読み方でありはします。

①の「一名水竹」の部分はよく分かりません(註二)。水竹の部分について今は考察しないこととします。

本草綱目啓蒙に戻り続く②の文「その筍早く生じしめ、味レンならず、タクに斑なし、その竹節に白粉あり」および本草綱目⑤後半「この竹汁多くして甘し」は現在我々が抱くハチクの特徴に概ね齟齬ないと思われま。すなわち、ハチクの筍はマダケの筍より早く出る、味がレンでない(えぐくない)、タク(筍の皮)に斑がない、白粉をつける(節に蠟がつく)、水分が多く甘い、など(註三)。以上はハチクおよびその筍の特徴として不明瞭な個所もあるが大きな矛盾はないものと思われま。

以上より第一の結論を次のようにします。

本草綱目啓蒙で「淡竹はハチク」と述べていて以下の説明からも単独種としての「ハチク」であると述べているとも解釈できます。「淡竹」と書いて「ハチク」と読むのは現代での一般的な読み方同様です。



写真-1 モウソウチク (左)：節の輪が一つ、節間が短い、葉が小さい  
ハチク (中) とマダケ (右)：節の輪が二つ、ハチクはマダケより稈の色が蠟質 (白い) で葉が小さめな傾向がある

なおここで①「淡竹はハチク」を単に当時の中国語から当時の日本語への置き換えと考えると、現代の何タケであるのかは一切説明されていないことになることを述べておきます。後に (3) で述べます。

## (2) 淡竹は総称

続いて本草綱目啓蒙③「一種竹長じて全く粉ありて霜の如き者をカシロダケと云う」④「是キン竹にして淡竹の一種なり」はカシロダケ (註四) が淡竹の一種という意味と読めます。前の稿<sup>4)</sup>で示した和漢三才図會 (寺島良安、1712 年頃) における「キン竹また淡竹の種類か」と同様です。一種という言い方から淡竹は単独の種の名称というより総称であるといえます。

本草綱目 (図-2 および資料二参照) の慈竹瀝發明で⑤中盤「淡竹は～大小二種あり」と述べています。⑤中盤の言は淡竹という語が③④同様に、植物の単一の種を示す名称ではなく総称であり、そして大小二種ある、と読めます。

本草綱目で続いて、⑥「沈存中言ふ『苦竹の外皆淡竹』と為すと、誤りなり」という旨が書かれています。⑥からは少なくともある時期にある程度以上は⑥-1「苦竹以外の竹は全て淡竹」という認識が広まっていたことが推察され、すなわち⑥-1も淡竹は総称である旨を述べています。

ここで沈存中について遡ってみたところ、香祖筆記 (王士禎 (1634-1711 年)、1702 年?、図-3 および資料三参照) に⑦「存中又云ふ『淡竹は苦竹に對して文を為

す、苦竹を除く外悉く之を淡竹と謂ふ』と。(存中は『淡竹は苦竹に對して文をなすと、苦竹を除く外ことごとくこれを淡竹と言う』と言っている) と見られます (下線は読み下し、括弧内の意識は筆者)。沈存中は沈括の字 (あざな) で沈括存中とも書かれます (1031-1095 年、北宋の科学者・政治家)。

沈存中についても一つ例があります。現代の漢和辞典<sup>6)</sup>に「淡竹 タンチクはちく。夢溪筆談——對苦竹為文」とあります (夢溪筆談：沈存中による全 26 巻の隨筆集) に『淡竹は苦竹に對して文を為す』。夢溪筆談⑥-1 が香祖筆記<sup>7)</sup>の原典かと思われる。

夢溪筆談を見ます (図-4 および資料四参照)。東洋文庫に現代語訳<sup>7)</sup>があります。⑥「淡竹は苦竹 (マダケと振り仮名) に対応する用語である。苦竹以外はすべて淡竹と呼ぶので、別に淡竹という品種があるのではない。～」前述の⑥-1 と概ね同じです。

⑥-1 は前の稿<sup>4)</sup>で紹介した大和本草 (1709 年) にも⑦傍線部の冒頭 7 字とほぼ同じ句⑦-1「東坡淡竹ハ苦竹ニ對シテ文ヲナスト云」が書かれています (下線筆者)。従って香祖筆記あるいはその原典 (前述の夢溪筆談が原典か) がある程度以上流布していたものと考えることが可能かと思われます。

本草綱目中には他に竹の項の冒頭部分の集解にも淡竹について述べられています (資料五参照)。特徴や用途が広く述べられていますがやや抽象的であることと上述に既に含まれる内容であるため引用するにとどめておくこととします。

④  
 是篔簹竹ニノ淡竹ノ一種ナリ藥ニ入ルニ葉ハ淡  
 テ全ク粉アリテ霜ノ如キ者ヲカシロダケト云  
 ラズ籜ニ斑ナシ其竹節ニ白粉アリ一種竹長シ  
 竹發明俗ニハチクト呼ブ其筍早ク生ノ味茶チ  
 多カラズ惟淡竹苦竹ノ二品多シ淡竹ハ一名水  
 竹發明俗ニハチクト呼ブ其筍早ク生ノ味茶チ

図-1 本草綱目啓蒙

用蓋汁佐之竹汁稠得長生竹汁性寒以桂湯之亦與  
 此竹汁多而并跡存中言淡竹人呼為水竹有大竹二種  
 苦竹之外皆為淡竹誤矣  
 ⑤  
 中略  
 ⑥  
 怒竹瀝主治療熱風和粥飲服益  
 發明私景曰凡取竹瀝惟用淡竹者高曰父湯心煩  
 發明私景曰凡取竹瀝惟用淡竹者高曰父湯心煩

図-2 本草綱目

ここで併せて本草綱目⑤中盤「淡竹は～大小二種あり」の「大小」について考察します。本草綱目啓蒙①～④を見ると種や変種としてのハチクとカシロダケが述べられているように読めます（註五）。しかしこの二種は共に大型（丈が概ね 10m 程度以上）であり且つ形態はよく似ています。したがってこの二種を大小二種と考えるのには無理があると思われます。記述の科学的正確さが現代から見ると未熟あるいは混乱が見られると、また植物の分類の視点が現代より未分化なのであると思われる。というのは、当時の分類の基準は、例えば、大和本草では筍の生える時期の遅い早いで、和漢三才図會では節の茂（高さ）や葉の滋（多さ）や潤さ（広さ）、背丈、用途などであり、現代の稗鞘（皮）の離脱付着、枝の長短、一節からの枝の数、肩毛などへの着目は見られません。

以上より本稿の二点目の結論を次のようにします。本草綱目啓蒙および本草綱目から古語の淡竹は総称であり（淡竹総称説とする）、現代の生物の分類（界門綱目科属種）でいう種ではなく属が科あたりに相当する語でもあったという解釈も可能と思われます。また種や変種のハチクとカシロダケが含まれるとも解釈できると考えられます。そして（1）と合わせると淡竹には二義性があると解釈できるとひとまず記しておきます。

(3) 古語の淡竹 / ハチクは現代のハチクではない

二義性ということは記述に矛盾があるということです。すなわち本草綱目啓蒙で(1)で淡竹単独種説を述べ、

すぐ後で(2)で淡竹総称説を述べているように見えます。

そこで矛盾解消の為に①「淡竹は～ハチク」の言を見直します。古語の淡竹 / はちく / ハチクの語は現代のハチクと別物と考えてみます。(2)で述べられている古語の淡竹 / はちく / ハチクの特徴は総称としての古語の淡竹 / はちく / ハチクの群の特徴である、と読めば該矛盾はなくなります。

改めて本草綱目啓蒙②などを見ると述べられている竹の特徴は当該種がハチクであると特定できるだけの情報はありません。例えば、稗の形状（節間の長短、節の輪の数や高さ）、枝の数（二本が多いか）、葉の形状や特徴（細い / 太い、長 / 短、多く茂る / 少ない、垂れ下がる / 上向きなど）、肩毛（葉や稗鞘などに生える毛）、稗鞘の模様などは一切書かれていません。

本草綱目啓蒙②に述べられている筍の特徴を再度見ます。「筍が早く生える」というのはマダケ筍が6月頃であるのに対して、確かにハチク筍は5月頃と早めです。しかし他の筍でも該当するものはあります。

また筍という現代ではモウソウチクの筍を思いがちですが、モウソウチクが普及したのは1736年頃以降と言われています（註六）。本稿で検討している本草綱目啓蒙などの時代にはまだ普及し切っていない、当時の筍は他のタケの筍と考えられます。地方で伝統的に且つ現代でも食べられている筍などが該当するのではないかと考えられます（註七）。マダケ以外で筍がおいしく食べられ

存中又云淡竹對苦竹為文除苦竹外悉謂之淡竹今  
南人食筍有苦筍淡筍二種淡筍即淡竹也或謂淡竹

図-3 香祖筆記

淡竹對苦竹為文除苦竹外悉謂之淡竹不應別有一  
品謂之淡竹後人不曉於本草內別疏淡竹為一物  
今南人食筍有苦筍淡筍兩色淡筍即淡竹也

図-4 夢溪筆談

る且つ他の条件をも満たすタケを淡竹 / はちく / ハチクと呼んでいたと読めないでしょうか。

以上のように、古語の淡竹 / はちく / ハチクを②などに述べられている特徴を持つタケの総称と読むと本草綱目および本草綱目啓蒙のなかでの矛盾はなくなります。中国語由来の淡竹が当時の日本語のハチクであると述べているにすぎず、現代のタケの種であるハチクであると解釈するのは間違いと思われる。そして当時の日本語のハチクは現代でいうところの科が属の名称であると述べていると解釈し得ると思われる。

#### まとめ

本草綱目啓蒙には、淡竹という語は(1)現代のハチクを表すと解釈できる場合と(2)総称であると述べている場合があります。

総称としての淡竹には、(2-1)真竹以外の竹全ての場合、(2-2)大小二種(カシロダケともう一つ(不詳))を示す場合がある、と読めます。

一方(1)(2)の二義性という矛盾を解消するには、(3)(1)は中国語由来の淡竹は当時の日本語のハチクに相当するに過ぎず古語の淡竹 / はちく / ハチクは本文記載の特徴を持つタケの総称であると解釈すべきです。すると(1)(2)のような二義性はなくなります。つまり原文の(1)「淡竹=ハチク」は中国語の古語を日本語の古語に置き換えただけであり、現代の植物種であるハチ

クを表すと誤解を招く表現と言えるでしょう。

#### 資料

##### 一. 本草綱目啓蒙

読み下し

「～多からず。惟淡竹苦竹の二品多し。①淡竹は一名水竹(發明)、俗にハチクと呼ぶ。②其の筍早く生じしめ味レンならず。タク(カハと振り仮名)に斑なし。其の竹節に白粉あり。③一種竹長じて全く粉ありて霜の如き者をカシロダケと云。④是キン竹にして淡竹の一種なり。葉に入に葉は淡竹葉と云、液は淡竹レキと云、皮は淡竹ジョと云。～」

##### 二. 本草綱目・慈竹瀝・發明

読み下し

「～⑤淡竹今人呼びて水竹と為し大小二種あり、此の竹汁多くして甘し、⑥沈存中言ふ苦竹の外皆淡竹と為すと、誤りかな」

現代語訳

「～⑤淡竹は今人は呼びて水竹と為し、大小の二種ある。この竹は汁多くして甘い。⑥沈存中が『苦竹の外はみな淡竹』といったのは誤りである」

##### 三. 沈存中・香祖筆記(王士禎、1702年?)

「～⑦存中又云淡竹對苦竹為文除苦竹外悉謂之淡竹今南人食筍有苦筍淡筍二種淡筍即淡竹也或謂淡竹」(下線筆者)

#### 四. 沈括・夢溪筆談

「淡竹對苦竹為文除苦竹外悉謂之淡竹不應別有一品謂之淡竹後人不曉於本草內別疏淡竹為一物今南人食筍有苦筍淡筍兩色淡筍即淡竹也」

#### 五. 本草綱目・竹・集解（下線筆者）

読み下し「竹處處に之あり、その類甚だ多く惟キン（竹冠に葶）竹淡竹苦竹の三種を葉に入る。人多く盡別能わず、按ずるに竹譜にキン竹堅くして促かき節、體は圓くして質は勁く皮は霜の如く白し、大なる者は船を刺すに宜しく、細き者は笛と為すべし。苦竹には白きあり紫あり。カン（甘の左下が左に突出、右下が右と下に突出）竹は篁に似て茂る、即ち淡竹なり。然れども今之船を刺す者、多く桂竹を用い、笛を作るは自ずから一種ありて亦キン竹と名づけず。苦竹亦二種あり、一つは江西のピン（閩：門がまえの中に虫）中に出で本は極めて粗大なり、笋は殊に苦く噉われず。一つは江浙に出で肉厚く葉長く闊し、笋は微かに苦味ありて、俗に甜苦笋と呼ぶは是なり。今、南人、燒瀝に惟淡竹肉薄く節間に粉ある者一品を用いて葉に入る。」

現代語訳（筆者訳。下線も筆者）

「竹はところどころにあり、その種類ははなはだ多いがキン（竹冠に葶）竹淡竹苦竹の三種のみを葉に入れる。多くの人では区別しつづることができない。案ずるに、竹譜に、キン竹は堅くて短い節、体は丸く質は強く皮は霜の如く白く、大きいものは船を刺すによく、細いものは笛とすることができる。苦竹には白と紫があり、カン竹は篁に似て茂る、即ち淡竹である、というが、船を棹さすには多く桂竹を用い、笛を作るは自ずから一種あってこれもまたキン竹と名づけない。苦竹にはまた二種あって、一つは江西のピン（閩：門がまえの中に虫）中に産し本は極めて粗大であり、筍は殊に苦くて食べられない。一つは江浙に産し肉厚く葉長く広い、筍は微かに苦味あって、俗に甜苦笋と呼ぶのはこれである。今、南人は、燒瀝にただ淡竹で肉薄く節間に粉あるもの一種のみを用いて葉に入れる。」

#### 註

一. a. カン：竹冠に甘の下が両方とも突出。b. キン：竹冠に葶の下の横線が一本足りない。c. レン（藪）：草冠ハ一に口二つに人二つ。苦いえぐいという意味。d. タク（籜）：竹冠に手偏に澤のつくり、「カハ」と振り仮名、筍の皮の意味。e. レキ：さんずいに歴、樹木の樹液に相当する液。f. ジョ：竹冠に如。表皮の内側で樹木でいえば材に当たる黄色い部分。

二. 水竹についてはよくわからない。少し述べるに止めておくことにする。

第一には、本草綱目（図-2 および資料二参照）の「慈竹瀝」の「發明」（生薬としての産業上の利用可能性のようなニュアンスと思われる）の項の⑤前半「淡竹今人呼びて水竹と為し大小二種あり～」とある言を引いているものと思われる（淡竹の項ではない）。また水竹が何であるかは古典辞書では百品考（山本亡羊著、天保9跋 - 嘉永6 [1838-1853]）に片仮名でキンメイチクとある。

しかし当該記載は現在のキンメイチクと異なるように思われる。現在のキンメイチクはマダケ（丈が10～20mと大型）の突然変異種で中型（丈は数m）、稈の色が斑入りのようにほとんど黄色で一部緑が残るタケ。カシロダケ、ホテイチクなどと比べ本文中への出現が唐突に思われる。

現代の水竹はミツガシワの別称とのことで、タケとは葉の形態なども異なりタケと無関係の植物と思われる。あるいは当時は竹の仲間を含めたのかも知れないが調査の範囲では見つからない。

タケは現代でイネ科に分類される。当時の分類は現代と異なり、古典辞書、例えば本草綱目では竹を「木之五苞木（ほうぼく）類四種」という項で、木でも草でもないものとして分類している。日本でも本草綱目を引用したものと思われる和漢三才図會で同様に、苞木類で述べられている。

現代の中国での水竹は *Phyllostachys heteroclada*、地下茎などに空洞があり水分の多い土壌でも育つことが特徴で、稈下部にねじれがあるとのことで、地面に近い部分の稈に凹凸のあるホテイチクに似ると言えるとも思われる。図鑑<sup>6)</sup>などには見られず現代日本でほとんど存在しないと思われる。

本稿の趣旨と関係が薄いと思われるためこれ以上の考察は止めることとする。

三. 各タケの筍は、モウソウチクは4月頃、ハチクは5月頃、追ってホテイチク、マダケは6月頃（カシロダケも同じ頃）に出る。

筍の皮（タク）について、モウソウチク：全体に黒褐色で、やや淡い褐色の斑点が入る場合がある、マダケ：地の色は褐色で、黒褐色の斑点が多数有る、ハチク：淡い赤紫色、斑点はない、カシロダケ・ホテイチク：白っぽい褐色、斑点はない。

本草綱目啓蒙の「竹節に白粉」についてはハチクが蠟を付けることかと思われる。但し一般にはマダケとハチクは立っている稈を見て区別を判断するのはかなり困難である。また本草綱目の集解に「今南人入葉燒瀝惟用淡竹一品肉薄節間粉者」とある部分を引用したものとも思われる。

四. カシロダケはマダケの変種であり、マダケと外観では区別付かないことも多い。文中のキン竹すなわちカシロダケについては淡竹の一つとして述べられている。カシロダケは現代でも使われている名称である。淡竹葉などと漢方薬に使われるタケはカシロダケとのことである。

五. 他にホテイチクを淡竹の小と採る考えもないことはない。大和本草には淡竹は呉竹とあり、古典植物辞典には呉竹はホテイチクとあり、すなわちホテイチクが淡竹と採る考えである。しかし和漢三才図會からはコサンチクが現在のホテイチクであると思われる記述がある。コサンチクは現在もホテイチクの別称である<sup>6)</sup>。

和漢三才図會には「カン竹 / 呉竹」と別の項に「暴節竹」があり「こさんちく」と仮名が振ってあり且つ別名として「虎攢（手偏に贊）竹」とある。記述中に「高五六尺（約 1.5-1.8m）」「根より上一尺（約 30cm）ばかりに節七八数あり」などがあり、また図も根に近い部分に突出が特徴的に描かれ現在のホテイチクと言われて矛盾しない。すなわち、和漢三才図會に基づけば呉竹はホテイチクではないということになり、ホテイチクを淡竹とする論は成り立たない。

また以上よりすべての記述を満たすとすると呉竹に相当するタケは見当たらなくなってしまう。呉竹を空想上のタケと考える<sup>4)</sup> 所以である。

六. モウソウチクの日本での普及については、一般には 1736 年に島津藩が琉球経由で導入したものが起源、と言われる（南聘紀考下（伊地知季安、1832 以前？）の記述を根拠）。ただし島津藩以前に伝来した伝承も次のようにある。嘉禄 3（1227）年に道元禅師（曹洞宗の開祖）が宋の杭州より長岡京に持ち帰ったという説や、隠元禅師（1592-1673: 黄檗宗の開祖）が来朝（1654）以降に持ち込んだという説など。全てを事実とするなら

道元禅師や隠元禅師の株は普及せず島津藩由来の株が普及したものと解釈も可能であろうが島津藩より前の伝承について現時点で筆者は証左とし得るものを見ていない。

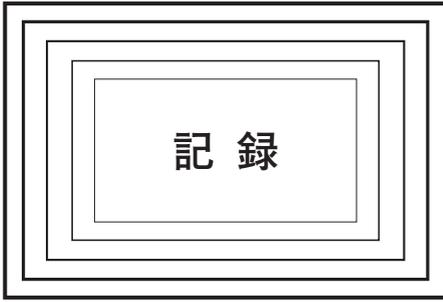
本草綱目啓蒙の頃（1803 年）にモウソウチクはぼちぼち普及し始めの頃であり、まだ多くなかったものと思われる。

モウソウチク普及前の日本で主なタケはマダケとハチクであったと思われる、他には現代で主に地方で伝統的に食べられている小型の筍が当時の名残を留めているものと推察する。

七. 現代で食用となる筍はモウソウチクが市場では大半であるが他にも食べられるものはある。「タケ・ササ図鑑」<sup>6)</sup>の本文からみると、モウソウチク以外に、マダケ、台湾マダケ、ハチク、ホテイチク、シホウダケ、チシマザサ、カンザンチク、カンチク、リョクチク、マチクなどに食べられる旨が書かれている。

## 引用文献

- 1) 篠崎 真 (2016) 平安朝和歌集と竹にまつわる三題～. 竹 131: 7-11
- 2) 篠崎 真 (2017) 呉竹考: 呉竹はほんとうにハチクか 八代和歌集から. 竹 133: 8-12
- 3) 篠崎 真 (2017) 呉竹考: 呉竹はほんとうにハチクか (続) 源氏物語の場合. 竹 134: 15-18
- 4) 篠崎 真 (2018) 呉竹考—空想上の竹か—, 山林 1615: 48-55
- 5) 簡野道明 (1955) 増補字源. 角川書店
- 6) 内村悦三 (2005) タケ・ササ図鑑. 創森社
- 7) 沈括 (1981) 夢溪筆談 3 卷二十六 藥義. 東洋文庫 403 (平凡社)



## 海外における森林療法の現況 (2) —ヨーロッパ編—

上原 巖

(うえはら いわお、東京農業大学 森林総合科学科)

現在、森林浴 (*Shinrin-yoku*)、森林療法 (*Shinrin-ryoho*) は、国際的にも拡大し、それぞれの地域と国々において、国際シンポジウム、国際セミナーなども活発に行われるようになってきた。今回は、前回のアジア編に続き、ヨーロッパにおける現況を報告する。

### 1. ヨーロッパ

#### (1) 森林と健康の国際会議 (ドイツ)

ドイツは、ヨーロッパ諸国の中でも、森歩きがとりわけ好きな国であると言われ、自然に関与した昔からの健康法や自然療法も数多い。そのドイツで、2017年9月13、14日に、

バルト海に浮かぶ島の Usedom において、ヨーロッパ初となる森林と健康の国際会議「1<sup>st</sup> International Congress The Forest and its Potential for Health」が開かれた。この国際会議には、ヨーロッパ全土から約20カ国、200名余の参加者が集まり、活発な研究報告が行われた(写真-1)。筆者は、ヨーロッパ以外からの唯一の参加者であったが、基調講演者として招待され、日本の森林療法についての講演を行った。二日目には異例の追加講演も行い、保養地の森でワークショップも行った(写真-2)。ワークショップでは、林内に設けられた運動器具などの紹介

も行われた(写真-3)。

連日の会議の雰囲気からヨーロッパ各国からのそれぞれの森林と健康に関する興味・関心の大きさを肌で感じる事ができたが、ヨーロッパはいうまでもなく数々の自然療法の伝統を持っている。ちなみに、ドイツでは、「森林浴：*Shinrin-yoku*」は「*Waldbaden*」、「森林療法：*Shinrin-ryoho*」は「*Waldtherapie*」と訳されている。これらの言葉を中心に、「*Kurwald*：保養の森」「*Heilwald*：健康の森」「*Green care*：みどりの治療」など、様々なキャッチフレーズもヨーロッパでは生まれている。これらの動きから、「森林療法」は、い



写真-1 ドイツ北部で行われた森林と健康についての国際会議



写真-2 筆者の基調講演 (左) と森林でのワークショップの様子 (右)



写真-3 森林内に設けられた運動器具、レクリエーション器具のサンプル（左、中）。視覚障害者のための、歩行ガイド（右）。カーブや側壁の存在を足裏の感覚で読み取れるように路面にガイド板が埋め込まれている。

まやヨーロッパでは新たな自然療法としてデビューし、構築される段階途上にある。日本の里山がその名のまま、「satoyama」として現在は欧米でも知られるようになったように、森林療法もまた、「shinrin-ryoho」として、安易で看板先行の地域振興フランチャイズ・システムのような形態ではなく、各国の森林環境と地域の伝統文化とが融合した形での森林療法が発展していくことを強く願っている。

## (2) 国際森林療法週間(フィンランド)

次に、北欧地域における動きをご紹介したい。2018年8月に、フィンランドでは初めてとなる、森林療法の国際研修会「International Forest Therapy Days (IFTD) in Finland 2018」が、フィンランド南部のエロントゥーリ村で開催された(写真-4)。ヨーロッパでは、前述したドイツ・ウスダムでの国際会議に次いで2回目となる森林療法の国際集会である。ちなみに、この開催の主催は、主婦2名が始めた組織である。大きな組織団体を形成せずとも、市民が国際研修会を企画、運営していく。その姿勢にも、個が強く、独立したヨーロッパの文化を感じた。

今回の国際研修会には、地元フィンランドをはじめ、ノルウェー、スウェーデン、ベルギー、イギリス、アイルランド、ドイツ、ポルトガルなどのヨーロッパ諸国のほか、アメリカ、カナダ、シンガポール、イン



写真-4 フィンランドで行われた「国際森林療法週間 2018」。散策と研修の様子。



写真-5 森の中でのプログラムの様子。静的、内観的な内容のものが多い。



写真-6 湖畔のサウナとサウナの内部、サウナで使われる広葉樹の枝葉



写真-7 サウナ・マッサージについての研修。シラカンバ、オークの葉などが使われる。



写真-8 研修会および宿泊施設は、森の中の木造の建物。土足厳禁で、素足で終始過ごすことができ、快適であった。



写真-9 持参した筆者の英語論文。英語論文を書き進めてよかったと思うのはまさにこの時である！

ドなど、ヨーロッパ以外の国々の参加者もあり、この点が前述のドイツでの国際会議とは異なる点であった。参加は、全員インターネットを通しての申し込みである。

研修会の講師は、スウェーデン、インド、アメリカ、シンガポール、そして日本（わたし）など、海外からの人員がほとんどであったものの、ヨーロッパにおいて、後発ながら、われわれフィンランドも森林療法を森林療法先進国から学び、手作りで構築し、普及啓蒙していくぞ、という心構えが強く感じられた。また、研修会には、看護師、薬剤師などの専門職の参加者が多いことも特徴的であった。

講義内容は、筆者の基調講演に始まり、その後、ヨーロッパにおける薬用植物と伝統的民間療法、フィンランドにおけるサウナの文化、マインドフルネスなどであった。ドイツでのシンポジウム同様に、筆者は連日、森林におけるワークショップも担当したが、筆者以外のプログラムでも、内観、瞑想、グループ・コミュニケーションなど、精神的で静かなプログラムのものが主体であり、この点も前年のドイツでの運動型の体験プログラムとは大きく異なるものであったことが特徴である（写真-5）。

当地の森は、トウヒ、シラカバ、アカマツの3種が主要樹種であった。フィンランドは、かのムーミンを生んだ国でもあり、文化的にもアニミズムの思潮が根底にあるためか、日本文化とも通底するところがあった。

また、フィンランドと言えば、サウナ文化も有名であるが、サウナはもちろん木造であり、暖房には薪が使われる。サウナ内で使われるマッサージや水分補給には、シラカンバ、オークなどの枝葉が使われ、伝統的なそのサウナ内でのマッサージ、ヒーリング（施術）には、伝統的な呪術も使われることがあり、民俗文化的にも実に興味深かった（写真-6、写真-7）。

「森と湖の国」といわれるフィンランドは、人口は約530万人であり、農村における人口密度はきわめて低い。そのため、森はプライベートの空間としても成立しやすい。また、

隣国のスウェーデン同様に、「森は国民共有の財産」という共通意識もある。研修会は連日、室内と野外・森林とを交互に使って行われ、参加者同士の情報交換も連日活発に行われた（写真-8～写真-15）。

#### まとめ

以上、2回に分けて、アジア、ヨーロッパの各地での森林療法の国際会議、研修会の様子を簡単に報告したが、そのほかの世界の数多くの国々においても、森林を活用した健康増進は目下、国際的な共通テーマになりつつある。

今後の展望としては、ステレオタイプでねずみ講のような形態やプロ

グラム、企画のビジネスが広がっていくのではなく、その国のお国柄をはじめ、歴史、風土、文化、森林、そしてそれぞれの国民性、民俗性の特徴が生かされた森林での健康増進のころみ、各国、各地域のペース、スタイル、方法で広がっていくことを強く願っている。

#### 参考文献

- Bernjus A, Cavelius A (2018) Waldbaden. myg verlag  
上原巖 (2017) 台湾での森林療法普及行脚の旅. 現代林業 2017年10月号: 1-6  
上原巖 (2018) 森林と人間の健康を

考える国際会議. 現代林業 2018年2月号: 1-6

上原巖 (2018) 中国・台湾における森林療法の研修会. 森林レクリエーション 373: 4-7

上原巖 (2018) 森林と人間の健康を考える国際会議 (ドイツ、韓国、台湾). 森林レクリエーション 376: 4-7

上原巖 (2018) ドイツにおける森林での保健休養—森林と健康の国際会議—. 森林技術 915: 26-29

上原巖 (2018) フィンランドでの森林療法の研修会. 現代林業 2019年3月号: 1-6



写真-10 野外教室の様子。室内よりもリラックスして、講義を受けることができる。



写真-11 森の林床には、ブルーベリーが沢山実っている。研修会をしながら、あるいは休憩をしながら、食べ放題である。みんな次第に無言になっていく。



写真-12 ブルーベリー林床でのリラクゼーションの様子



写真-13 白樺は主要造林樹種であり、用材としても使われている。造林地では母樹を残して伐採している。伐採木は、枝払いがなされ、運搬しやすいように、道路わきに置かれている。



写真-14 白樺の樹液。かすかに甘みがある。毎朝食時に提供された。



写真-15 食事はベジタリアン料理が中心。

# 記録

## 日本森林学会大会第6回高校生ポスター発表

横井 秀一

(よこい しゅういち、中等教育連携推進委員会 委員長)

### 1. 概要

第6回高校生ポスター発表が、第130回日本森林学会大会（新潟市：朱鷺メッセ）のポスター会場にて、2019年3月22日に開催されました。今回は、北は北海道から南は熊本県まで、23校から31件の発表（ポスター掲示のみを含む）がありました。参加校と発表題目は森林学会の大会プログラムに掲載されています（学会HPで閲覧可能）ので、そちらをご参照ください。

参加23校のうち11校が初めての参加で、2校は開催地である新潟県内の高校でした。高校生ポスター発表の裾野が、回を重ねる度に広がっていくことが実感でき、嬉しく思いました。一方、過去に参加経験のある高校12校のうち11校は、昨年に引き続きの参加で、さらにそのうち10校は3回以上（今回を含めた全6回の半分以上）で参加してくれています。この発表会が定着してきたこと、また、高校生の活動を発表する場として機能してきていることが伺え、こちらも嬉しく思います。

発表当日は、20校83人（高校生63人、引率教員20人）が会場に足を運んでくれました。高校生の皆さんの、ポスターを前にした発表はとても素晴らしかったです。きっと、練習をたくさんしてきたのでしょう。先輩たちから発表のしかたを伝授してもらっているのかもしれませんが、ご指導いただいた教員の方々にも、頭が下がります。

会場には、多くの学会員らが訪れ、高校生に質問したり、助言したりしていただきました。高校生にとって、研究者と話す、さらには議論する時間を持つことは、貴重な経験になったことでしょう。

なお、高校生ポスター発表は、国

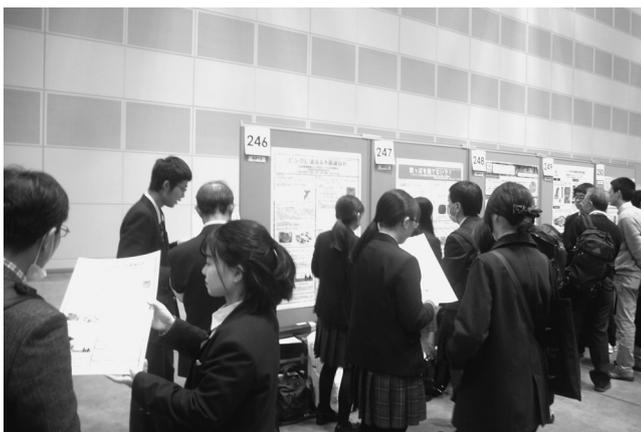


写真-1 会場風景

土緑化推進機構「緑と水の森林ファン」の助成（ポスター集印刷、高校生参加旅費の補助）と大日本山学会からの支援（記念盾・参加記念品の製作費など）を受けています。表彰式でご挨拶いただきましたことを含め、感謝いたします。

### 2. 講評

発表内容は、学術的なものから実践的な活動まで、多岐にわたっていました。自分たちが疑問に思ったことを研究したり、地域の課題を解決しようとする取り組みと、研究・活動の背景も様々でした。どれも、「限られた活動時間の中でよくぞこまで」と感じさせる発表でした。

ポスターを見たり発表を聞いたりして感じたことは、仮説を立て、それを検証するという、まさに科学の手法で臨んだ発表が増えたということです。これは素晴らしいことです。ただ、その手法や論理の組み立てなどに、「おや？」と思うものがいくつかありました。また、科学的根拠に乏しい考察もいくつかありました。これらの点に留意し、説得力のある研究や発表がなされることを期待し

ます。

この発表会は、研究だけではなく、高校生ならではのアイデアに基づく実践活動の発表も募集しています。実践活動の発表にも、どんどん挑戦していきましょう。

当委員会では、発表ポスターを審査し、最優秀賞2点、優秀賞3点、特別賞2点を表彰しました。以下に、受賞者から寄せられた感想文を載せます（受賞ポスターは学会HPに掲載します）。受賞者の皆さん、おめでとうございます。

### 3. 受賞校の感想

1) 最優秀賞：「『音』をキーワードにした木育の推進～音階を奏でるスロープトイの開発～」

北海道旭川農業高等学校  
高橋音乃

私の所属している森林資源活用班では持続可能な再生資源である森林の大切さや旭川市の主産業である林産業の現状について、多くの子どもたちに伝えたいと、8年前から「木育」活動を行っています。

以前から幼稚園との木育交流学習会では木琴を園児と一緒に作成して

きました。その経験を通じて、五感を使う「木の音」の可能性を強く感じたことから、「音」をテーマとした音階を奏でるスロープトイの作成を始めました。現在までスロープトイはたくさんの方々に協力をいただきながら作成していますが、安全性や使いやすさなどまだまだ改善点が残っています。これからもたくさんの方々の意見を取り入れ改善しながらさらに良い物に仕上げ、世界中の方々に木の良さを伝えていきたいと思っています。

今回の「高校生ポスター発表」では、自分たちの活動をわかりやすく伝えることができるかと私自身とても緊張していましたが、最優秀賞をいただくことができ本当に嬉しく思っています。今回、多くの専門家の方から様々な助言やアイデアをいただくことができました。アドバイスしていただいた内容をまとめ、今後の活動にさらに繋げていきたいと思っています。

最後になりますが、私達の活動にご協力いただいた全ての方々、加えてポスター発表にご支援ご指導いただいた多くの皆様に心より感謝申し上げます。

## 2) 最優秀賞：「南宮山のニホンジカに関する生態学的研究 II」

岐阜県立不破高等学校

浦野愛菜ほか

高校に入学後の部活動紹介で自然科学部を見学し、そこでシカの調査をしているとわかりました。高校の裏山（南宮山）にシカがいることも知らなかったし、どのような調査をするのかもわかりませんでした。しかし、先輩や先生にシカがなぜ南宮山で増加しているのか、増加したシカが植生を崩して問題となっていることを教えてもらいました。このシカの個体数を調整して被害を抑えるためには、南宮山にどれだけのシカがいるのかを知る必要があります。

そのためにトレイルカメラを山に設置（現在は14か所）し、また、下層植生衰退度を調べました（SDR調査）。カメラでの調査は、2～3か月おきにカメラを設置した場所まで行き、SDカードの交換と電池の交換

作業をしました。ほぼ調査地の中心にカメラを設置したため、場所によっては林道を外れて獣道をたどりながら行きました。データ回収後は、学校でパソコンを使ってデータを整理し、シカがよく映る時間帯や性別なども表にまとめていくことで様々なことがわかってきました。

これからもシカについて調査を続けて、シカの個体数調整のための基本データを蓄積していきたいと考えています。また発表では多くの方から助言をいただきましたので、これからの研究に生かしていきたいです。

## 3) 優秀賞：「循環型育成法から生まれた桜塩で目指せ！桜の国～私達の復興への挑戦～」

宮城県農業高等学校

加藤樹世歌ほか

私達は、8年前の東日本大震災で

多くの支援を頂きました。桜の植栽活動を広く多くの人に知ってもらうことがそのご恩返しになると思い、今大会に出場しました。

被災した沿岸部は、通常の方法で桜を植えても塩害や潮風などが原因で枯れていました。そこで、独自に開発した沿岸部に対応した桜の植栽方法「メッチャいい法」を試すと、少しずつ改善されていきました。今回私達は、新たに「メッチャいい法Ⅳ」を開発しました。Ⅳは、桜の摘花で「復興桜塩」生産・販売、売り上げから堆肥の購入・施用で土壌の窒素不足を改善し成長力向上を目指すものです。

「復興桜塩」では、混ぜる塩の選択に苦労しました。今までは海水塩を使用していましたが、水分による桜の変色がみられました。そこで、岩塩を使用すると水分は安定し、味や

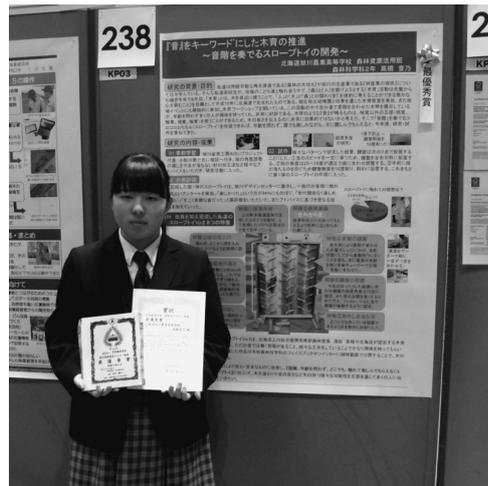


写真-2 最優秀賞 北海道旭川農業高等学校



写真-3 最優秀賞 岐阜県立不破高等学校

色などの品質も大幅に向上しました。さらに、地域産業への定着のため、家庭用乾燥機の製作も試み効率の良い送風機の羽の形状化に努めています。

今大会では、他の学校の研究や専門的な知識に触れることができ、とても貴重な勉強になりました。コアタイムで質問を受ける中でも、私達が全く着目していなかった点をご指摘いただき、今後の活動の良い参考になりました。多くの人に活動を知ってもらうだけでなく優秀賞までとることができ、本当にやりがいを感じています。今大会でいただいた様々なアドバイスや問題点から、さらに細かい所にも力を入れ、活動していきたいです。

#### 4) 優秀賞：「固有種オガサワラカワニナと外来種カワニナとの競合の現状」

東京都立小笠原高等学校  
藤谷天蔵

小笠原が世界自然遺産に登録されたのは、固有種や絶滅危惧種に指定されている貴重な生物がたくさん生息しているからですが、最近ではそれらの生物が外来種の侵入により絶滅しかけて問題になっています。そして、オガサワラカワニナという、小さな固有種の巻貝について調べたのが今回の研究でした。

きっかけは2年前に大湯水となり、川が干上がってしまった時のことです。近所の研究者の方から「このような環境の大変動があったときに絶滅が一気に進むことがある。状況の変化を調べてみては？」とアドバイスをいただき、調べることになりました。最初は湯水からの回復時期だけを調べる計画だったのですが、調べ始めると季節的な変動があることもわかり、結局2年間続けることになりました。

今回私は、日本森林学会大会に参加し、優秀賞をいただけたことで大きな自信を持ちました。大きな自信というのは、小笠原の生物について興味がある人はいるのか、見てくれる人はいるのだろうか、という不安が解消できたことです。小笠原出身の者として、「小笠原のことについて発表することに、もっと自信を持つ

ていいんだな」と確信しました。

こんなにもいい経験をした私は、本当に運が良かったと思います。今後私が小笠原について興味がある人、小笠原について知りたい人に会う機会があったら、ポスター発表で経験したことを活かし、お互いが楽しくなるような話ができたら嬉しいです。

#### 5) 優秀賞：「山都町の林業活性化を目指して～木工で熊本地震被災地支援への恩返し～」

熊本県立矢部高等学校  
橋本光成・西田拓光

私は、今回初めて高校生ポスター発表に参加して、森林・林業に関する研究を林業に関する学科の生徒だけでなく、普通科の生徒が取り組んでいることに驚きました。そのなかで、私たちの研究に優秀賞の表彰をいただいたことに大変感謝して

います。

今回私たちが展示・発表した研究は、先輩方から受け継いだ内容です。ミニ椅子を制作し、仮設住宅で暮らしている被災地の方に贈呈することで、被災された方が狭い仮設住宅で少しでも快適に暮らせるようにしようというものです。贈呈する椅子の寸法は、熊本地震で被災された方や地域の小中学生、高齢者介護施設で働く方々に協力していただき、仮設住宅内で邪魔にならず、高齢者が使用しやすい寸法を検討しました。決定した寸法は「高さ 325 ～ 405 mm」「幅 340 mm」「奥行 360 mm」です。

このサイズのイスを、熊本地震の被災地の方々と制作し、西日本豪雨で被災し仮設住宅で暮らす方々に贈呈しました。とても喜んでもらえ、とても嬉しかったです。

私は、今後も授業の課題研究で引



写真-4 優秀賞 宮城県農業高等学校

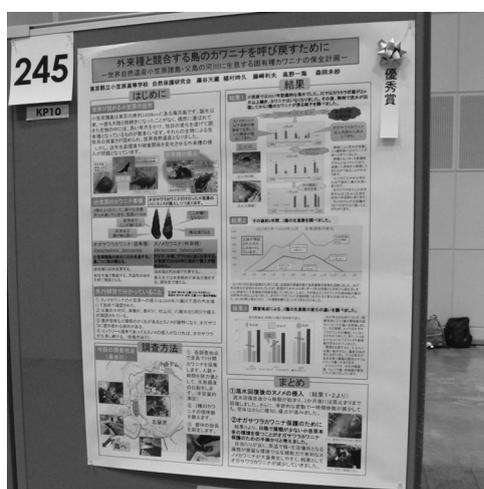


写真-5 優秀賞 東京都立小笠原高等学校

引き続きこの取り組みを進めていきます。椅子の他にも家具を作ったり、応急仮設住宅の解体後の廃材を何かに利用できないかを検討したりといういろいろやってみたいことがあります。また、先輩方が考えた椅子もまだ改良の余地があります。もっと座りやすくまた機能性に優れた素晴らしい椅子を製作するなど、被災地で不便な生活をおくる方々のためになる取り組みを今後も継続していきたいと考えています。

6) 特別賞：「絶滅危惧種ヒゴスミレの生育環境とは？」

新潟県立新津高等学校  
江口恵輔・藤巻峻

私たちは、新潟県の絶滅危惧種Ⅱ類に指定されているヒゴスミレについての発表を行いました。ヒゴスミレは、多年生植物で太平洋側に多く日本海側に少ないという分布をしており、新潟県内には秋葉丘陵にしか生息していない種です。

この研究はヒゴスミレの保護を目的として、先輩の代から引き継いだものです。日頃の調査では、秋葉丘陵内のヒゴスミレの生息地で個体数や、大きさの計測、開放花・閉鎖花・果実の有無等の記録をとっています。今回の学会では、これまで蓄積してきたデータの比較や考察を行い、まとめたポスターを製作しました。

日本海側のヒゴスミレは貧弱な植物です。しかし、そこに草刈りが入ると、ヒゴスミレは他の植物より早く葉を再展開することによって、その場所で優占種になることができ、個体数を維持しているのではないかと考えました。これは里山の管理の重要性についての一つの根拠になるのではないかと思います、本学会で発表しました。

私はポスター発表の経験があまりなかったので、今回のポスター発表はよい経験になりました。多方面の方々から様々な視点で貴重なご意見・ご感想をいただきました。この経験を活かし、今後も研究に取り組んでいきたいと思えます。また、自分たちが発表しただけではなく、他の高校の研究を知ることによって刺激を受けることができよかったです。

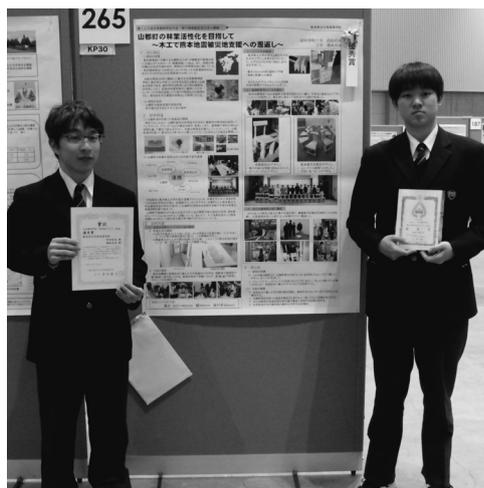


写真-6 優秀賞 熊本県立矢部高等学校

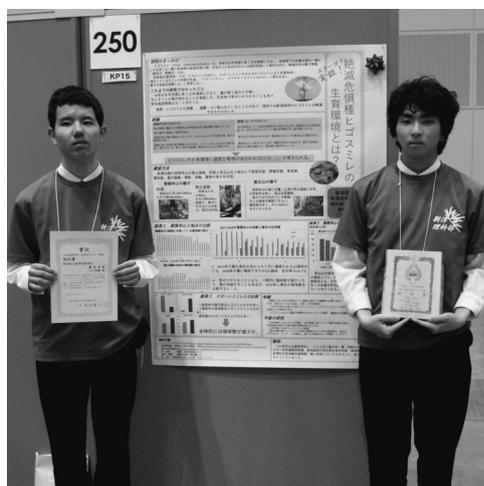


写真-7 特別賞 新潟県立新津高等学校

7) 特別賞：「新潟県の地衣類Ⅲ」

北越高校

明石一富海・藤田海斗・真柄琳

私たちは、「新潟県の地衣類Ⅲ」というテーマで発表し特別賞をいただきました。もともとこの研究を始めた理由は、初めて地衣類を顕微鏡で観察したとき小さな森が広がっているように感じ、単純に興味を湧いたからです。地衣類の存在を知ったのちに街に出て樹皮などを注意して見ると様々な地衣類が生息しており、山に行かずしても自然を感じられることに感動し、地衣類の研究を試みようと思いました。

街中にも地衣類は生息しているのですが、山のほうがより多様な地衣類が生息しており、採集は主に山岳に出向き行いました。フィールドワークをしているときは地衣類以外の様々な生き物に触れることもでき、

とても楽しかったです。しかし、同定は厄介なものでした。地衣類を見ているときは楽しいのですが、形態が似ているものが多く、種を特定するのがとても大変でした。そこで秋田県立大学名誉教授の山本先生にアドバイスをいただきながら研究を進めました。地衣類自体は一般的にはあまり知られておらず、また、先行研究も少ないため、我々もこれからは種の調査を続けつつ生息環境もまとめるなど、新たなテーマに取り組んでいきたいと考えています。今回の研究では、新潟県新産種や中部日本新産種を確認できたことに学術的価値を感じています。

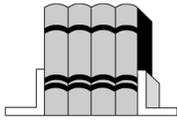
今回の受賞は全く予期していたものではなく驚きましたが、とてもうれしかったです。今後も調査、研究に励みます。



写真-8 特別賞 北越高校



写真-9 表彰式



## ブックス

### カメラトラップによる 野生生物調査入門 調査設計と統計解析

Allan F. O' Connell, James D. Nichols and K. Ullas Karanth 著、  
飯島勇人・中島啓裕・安藤正規 訳、  
東海大学出版部、2018年9月20日、  
336ページ、4,300円（税別）、  
ISBN978-4-486-02159-9

本書は2011年に出版された Camera Traps in Animal Ecology の訳本である。そのため、書評は訳本に対して書くことが求められるが、必然的に原著の部分にも触れざるを得ないことを付け加えておく。昨今のカメラトラップの普及により、研究でカメラトラップを使用する方が増えてきた。得られた膨大な写真データを前に、解析方法に悩み、原著を購入した方も少なくないと思う。私もその一人だが、原著はなかなか読み進められなかった。そのため、この訳本は私にとって待望の書であった。本書は14章からなり、大別すると、前半（1章から4章まで）はカメラトラップという機器について、後半（5章から14章）は、カメラトラップから得られたデータを解析することについて書かれている。

まず、カメラトラップという機器についてである。カメラトラップは、哺乳類のみならず鳥類や爬虫類まで多様な生物を対象として、それら生物の種の検出や個体数の推定、はたまたまた屍肉食者の同定など、様々な目的を達成するために、1800年代に制作され、現代にかけて発展してきた（2章）。多くの種を対象とし、幅広い目的を達成するために発展を遂げてきたカメラトラップは、近年、様々な機種が販売されている。いざ、カメラトラップを購入しようとして、多くのカタログを前に呆然としてしまうことも少なくないが、3章では、近年販売されているカメラトラップ

の基本構造について、詳細にわたり記載されている。この章は、その構造の長所や短所について、特定の機種を対象として書かれていないため、カメラトラップの購入を検討する際の参考となる。カメラトラップの購入を検討している方は、購入前に是非読んでおきたい章である。カメラトラップは、とりあえず購入し、設置すれば、すべての生物の動きがわかる魔法の機器ではない。カメラトラップは、あくまでもひとつの道具であり、その道具を使って何を達成したいのか、その使用目的を明確化することの重要性が4章に書かれている。その目的は、基礎研究から、応用研究まで多岐にわたる。いずれにせよ重要なのは、カメラトラップという道具を使って得られたデータを、いつ、どこで、どのように生かすか、そのプロセスを、カメラを使用する前に検討することである。それによって研究デザインも異なる。本書のなかで、一番重要な章であると思う。

本書の後半は前半と異なり、カメラトラップを用いて得られたデータをどのように解析するか、解析をするためにどのようにカメラを設置するか、ということについて、より詳細に記載されている。これらの章は、前半と比較すると難易度が上がり、基本的な統計的知識を持ち合わせた読者でなければ読み進めることが若干つらくなるが、訳者らは、これら解析のスペシャリストであるため、訳注が充実しており、理解することができる。ただ、個人的に一番期待していた、具体的な値を用いた解析方法は記載されていない。しかし、カメラトラップから得られたデータを用いてモデルを構築するためのコードが記載されている章もある（10章）。また、後半の章では、とくに多くの論文が引用されており、論文を検索する際に非常に参考になる。大まかに後半の内容を紹介すると、生物の行動と活動パターンについて（5章）、個体数推定や密度推

定を実施する際の基本的な研究デザインについて（6章）、個体識別が可能な動物を用いた捕獲再捕獲法をベースにした個体数推定法について（7章から10章）、種の出現確率と検出確率を用いて分布状況を推定する占有モデルについて（11章）、群集動態の推定について（12章）、種数の推定について（13章）、それぞれ扱っている。そのなかでも、捕獲再捕獲法をベースにした個体数/個体群推定法と、占有モデルに焦点を当てていた。一点だけ注意したいのは、原著が出版されたのは2011年であり、本書で紹介されている内容は今から8年前の内容であることを念頭に置く必要がある。14章に、次の10年間に期待したいことが記載されているが、統計解析の手法や数理モデルは急激に進化している。すでに、訳者らは新しい統計モデルを次々と発表しているため、次は訳者らによる著書が出版されないか、心ひそかに期待している。カメラトラップは、なんとなく設置すればデータが得られる（気分になる）が、カメラを設置する目的を明確にし、事前に解析方法や機材の設置方法を検討し、設置後に得られたデータを説得力のある結果に変換し、目的を達成する重要性を再認識させてくれる本書は、すでにカメラトラップを使用している方にも、これからカメラトラップを用いた研究をする方にも、必読の書であることを強調したい。

江成はるか（雪国野生動物研究会）

### 保持林業 木を伐りながら生き物を守る

柿澤宏昭・山浦悠一・栗山浩一 編、  
築地書館、2018年11月、372ページ、  
2,700円（税別）、ISBN 978-4-8067-  
1570-2

20世紀末は、森林への視線が木材資源から環境へと大きく広がった画期であった。リオデジャネイロの

地球サミットでは生物多様性条約が締結され、森林原則声明が採択された。その中で、陸域の生物相の約七割を包容する森林には、生物多様性保全の役割が強く求められるようになった。生物多様性条約戦略計画の愛知目標（2002）は、林業は2020年までに生物多様性の保全を確保すべしとしている。これには、最近、明るい見通しも出ているという。それは、欧米を中心に、環境配慮型の林業が普及しつつあるからだ。

森林原則声明から四半世紀たち、今年はいよいよ国税として森林環境税／環境譲与税が導入される。かつての木材生産を単一目的とした時代から、国内の森林管理はどのように変わったのだろうか？確かに循環林とか針広混交林などの言葉は聞く。しかし、その具体像や技術的アプローチは今一つ明確ではない。一方で昨今皆伐短伐期への転換が奨励されているが、そこで語られるのは昔と変わらぬ成長量と木材生産性である。

もっと体系化され科学と技術に裏打ちされた環境配慮型の木材生産林経営が議論されるべきではないか、それが第1章で示される本書の基本的な問題意識である。保持林業とは聞きなれない言葉であるが、収穫時にいくらかの立木を伐り残す管理のことだという。皆伐は、生態系としての森林には強烈な攪乱である。それを緩和するため、1haあたり10本とか20本とか、林業経営に大きな影響を与えない程度の立木を「保持」するのである。残された立木の樹冠や幹、落葉などが伐採面の一部に作りだす微環境は、森林性の昆虫や微生物、植物にとっては伐採前から持続性のあるハビタットに、鳥や小動物にとっては餌資源や移動時の中継点となるのだ。

第2～6章では、施業体系としての保持林業が紹介される。保持林業は自然保護や災害などを背景に米国で生まれ、森林生態系研究の進展に助けられて形成されてきた。そして

今、北海道で道有林への導入のための議論と実践が始まっている。一見、母樹保残法や択伐などの非皆伐施業にも近いが、次のような原則に特徴がある。一つは、通常非皆伐施業では生産のために伐る木を選ぶが、保持林業では、野生生物にとって必要な木を残すことに重きを置くことである。今一つは、何らかの保全上の制約のある森林のためではなく、あくまで一般的な生産林のための方法だということである。ここで、生産林で野生生物保全を行うために援用されるのが、「土地の節約」と「土地の共用」という概念である。前者はゾーニングにより生産林と保護林を分けて配置する考え方であり、後者は一つの森林で生産と保全を両立させる考え方である。保持林業は後者にあたる。

保持林業では、開放地を好む種を、択伐などの非皆伐施業より多く維持できると同時に、森林性の種についても、皆伐より多く維持することができる。だから生物種保全には汎用的な森林管理といえる。しかし、純粋な森林性の種には不適であり、地域の生物相の保全に万能ではない。保持林業による新たな画一を生む可能性もあるだろう。さらに、本書の紹介する保持林業の実践例の多くは先駆的な陽樹が多い冷温帯林であり、また、効果の評価も昆虫や鳥の多様性が中心であるが、果たして本州中南部の陰樹が多い暖温帯林や、林床の植物種を対象とした場合、効果は同様に高いのだろうか？

これらのことについて、本書は別の見解（第7章）も用意している。それは、「共用」と「節約」として対置される保持林業や択伐と分散伐採には、それぞれに林業として、あるいは保全管理としての長所と短所があるので、互いに排除するのではなく、組み合わせることも大事である、というものである。この共用と節約を止揚する視点と前章までの保持林業の提案との対話は、施業論としては本書の中で最も注意して読む

べき議論であろう。

さて、保持林業のような環境や多面的機能に配慮した林業は、過去にも提案されてきた。国内でも古くは1973年に、当時の奥地天然林伐採を前提とした拡大造林を修正するため、「国有林野における新たな森林施業」が策定され、非皆伐という概念が導入されている。しかし、その後も生産林管理については、皆伐面積の制限以外に根本的な変化は見られず、とりあえず間伐あるいは抜き伐りをすれば諸々の機能は改善するはずだという予定調和論が支配的であり続けてきた。今、保持林業のような環境配慮型の林業を普及させようとすれば、なぜ過去には定着しなかったのかを振り返り、克服する必要があるだろう。

環境配慮型の林業は、木材の生産性に何らかの低下を伴うのは避けられない。とすれば、林業者がそれでも環境配慮型に向かうためには、その確立が林業者の責務であるという強い自覚が生まれること、あるいは制度的に強制することが必要となる。第8、9章では、欧米が保持林業を実現してきた社会的背景と、振り返って日本では何が障害なのかが議論される。著者の結論は明確である。すなわち、日本で環境配慮型林業の普及が遅れている原因は、決して森林所有者の不同意ではなく、具体的な施業指針、林業関係者の理解と知識、具現化を促す制度が不十分なことにある。さらに、林業が環境配慮により社会に貢献することには、何らかのインセンティブもあってしかるべきであろう。その意味で第10章で述べられるように、環境的価値もまた金銭的に評価され、経済行為である木材生産林業に組み込まれる必要がある。

本書は400頁近い大部である。とりあえず保持林業に強い関心を持たない読者には、やや重荷かもしれない。しかし、保持林業を素材に、環境配慮型の林業の必然性を整理し、その施業技術が具体的で科学的知見

に裏付けられることの重要性を示し、それを社会に実装するための課題と方法を展望するという本書の行き届いた構成を理解した時に、本書が保持林業にとどまらず、広く林業における環境配慮の在り方について、林業技術者が自習し自省するための優れた指導書であることに気づかされるのである。

大住克博（鳥取大学農学部  
フィールドサイエンスセンター）

## 人と自然の環境学

公益財団法人日本生命財団 編、東京  
大学出版会、2019年1月10日、280  
ページ、2,600円（税別）、ISBN:  
978-4-13-063371-0

「ニッセイの環境助成」と言えば、自然科学分野（特に応用系）の研究者であれば、誰しもうかがうか。民間の環境助成の中でも知名度の高い（そして倍率も高い）日本生命財団の環境問題研究助成が40周年を迎えることを契機として出版されたのが本書である。本書は、これまでに助成を受けてきた様々な分野の研究代表者らが、助成期間中の成果だけでなく、その後の研究の発展・成果、そして今後の展望を示すことで、人と自然のかかわりを捉え、持続可能な地域づくりのあり方を提案することを目指している。環境問題に漠然とした興味関心を抱いている若者だけでなく、実際に環境問題に関わっている様々なステークホルダー、そして「環境問題の現場」を重視し学際的な観点から研究に取り組みたいと考えている研究者など、幅広い読者に手に取っていただきたい書籍である。

人と自然の関係を捉える枠組みとして、本書では「第I部：いとなみに学ぶ（分析）」、「第II部：いまを評価する（評価）」、「第III部：かかわりをデザインする（計画）」の3

段階が提示され、これまでの様々な研究成果が位置付けられている。まず、分析段階の「第I部：いとなみに学ぶ」では、人と自然がこれまでのように関わってきたのかを、市民科学と生物多様性（鷺谷いづみ）、ブナ林の歴史と人の暮らし（中静透）、在来知と社会・生態システムのレジリエンス（羽生淳子）、コモンズと自然アクセス性（三俣学）という4つのテーマから紹介している。次に、評価段階の「第II部：いまを評価する」では、森と川つながりとグリーンインフラ（中村太士）、海の魚を育てる森の働きの経済学（浅野耕太）、大都市圏における水資源利用（益田晴恵）、生態系の環境ホルモン汚染（田辺信介）を題材に具体例を通して、定量的な評価手法や結果、今後の課題が示されている。最後の計画段階「第III部：かかわりをデザインする」では、田園回帰と農山村再生（小田切徳美）、オーストリアの農山村政策（寺西俊一）、里山（SATOYAMA）ランドスケープの国際化と再評価（武内和彦）、時空間情報プラットフォーム（佐土原聡）という4つの視点・アプローチから、人と自然が共生する持続可能な地域づくりに向けた今後の展望が示されている。

各章の執筆者を見て分かる通り、環境問題研究を国内だけでなく国際的にも牽引してきた研究者が揃っている。また、巻末には、日本生命財団による1996年以降の学術的総合研究助成における研究課題や成果として出版されてきた書籍名等が一覧として示されている。地球サミット以降、生物多様性保全や気候変動への対策など、国際的にも国内的にも環境問題への取り組み方が大きく変化し推進されてきた中で、国内においてそれを牽引してきた研究がどういったものであったかを知ることができるとともに、本格的な人口減少時代を迎えたこれからの日本において必要とされる研究を展望することができる書籍である。

小柳知代（東京学芸大学・  
環境教育研究センター）

## 森林科学シリーズ11巻 森林と野生動物

小池伸介・山浦悠一・滝久智 編、  
共立出版、2019年2月27日、277ページ、  
3,500円（税別）、ISBN 978-4-  
320-05827-9

私は、地方林試の研究者である。動物に関して専門的な教育を受けたわけでもなく、動物自体を研究しているわけでもないが、ニホンジカが森林や植生に及ぼす研究も担当している。それは、ニホンジカとその影響の拡大・深刻化に対して、組織として誰かが研究しなければならないようになったからだ。ニホンジカのことをよくわからなくても、担当しなくてはならなくなったので、書籍や文献から必死に学んだ。本書は、私のように、動物や動物に関連する研究を突然担当しなくてはならなくなった人はもとより、動物を研究したい・している人、また森林自体を研究する人にとっても、森林と野生動物の関係を中心とした最新の研究動向を知り、どのように対処すべきかを考える上で、恰好の書である。昨今は、「やっかいもの」扱いされることが多い感もある野生動物だが、本書の冒頭に述べられているように、そもそも自生の野生動物は、日本の生物多様性の骨格となるものである。そして、森林を住処とする野生動物にとって、森林の「動き」が直接的に間接的に影響していることが、本書を通じて述べられている。

本書を読んで改めて認識したことは、統計資料の重要性である。研究者が取得したデータに加えて、長期にわたる行政データにより野生動物の個体数や被害額等の変遷が多くの章で示され、森林や野生動物の移り変わりとその関連性を物語っている。政府の統計資料の取得とその継続性に関して、軽んじられている風潮も

見られるが、このような統計資料が本書のように「活かされている」ことは、その重要性を喚起することともなろう。また、森林動物のデータの取り方、そしてその解析手法も急速に進歩していることも本書では触れられており、これまでとは異なった手法や視点で取得されたデータが、今後の野生動物研究への新たな展開をもたらすのだろう。

さて、これから森林と野生動物の関係はどうあるべきなのだろうか？

「新しい森林管理システム」の時代にあって、木材としての資源利用に加え、バイオマスエネルギーやマテリアルとしての利用が進むことが想定されている。一方で、「縮む社会（第6章）」により、荒廃農地の増加は森林の増加をもたらす。本書で示されている野生動物たちのダイナミックな「動き」は、今後、伐採されたり、放棄されたり、さらには拡大したり、と大きく変化するだろう森林の「動き」にどのように影響されるのだろうか？ 本書で示されているように、これまでも野生動物たちの個体数や分布域は森林の「動き」に大きく左右されてきた。現在、ニホンジカが多い地域における再造林地の獣害防除コストは膨大であり、施業の工夫や新技術導入による低コスト化をはるかに凌ぐのが現状である。ニホンジカがどのような動物であり、森林の「動き」にどのように反応するかは、全てではないにしろ、これまでの知見からもある程度予測されよう。ニホンジカに限らず、過去に学ぶべきことは思っている以上に多くかつ大きいかもしれない。第10章（「変わりゆく森林・林業と野生動物」）は、本書で中心となっている哺乳類よりも鳥類を中心に書かれているが、森林が変化する中でこのからの野生動物とのつきあい方は、読者も一緒に考えるべきことなのかもしれない。なぜならば、いま、森林を動かしているのは「人」なのだから、森林を住処とする動物を動かすのも「人」なの

だし、そして、ペットを遺棄し外来種を導入するのも「人」なのだから。  
長池卓男（山梨県森林総合研究所）

## 森林生態学

石井弘明代表編者、徳地直子、榎木 勉、名波 哲、廣部宗 編集、朝倉書店、2019年4月1日、184ページ、3,200円（税別）、ISBN978-4-254-47054-3 C3061

新進気鋭の執筆者が森林生態学の要点を解りやすく、また、自習できるように演習問題付きで本書を上梓された。大学だけではなく、広く林業大学の学生さん、農（産業）業高校・森林科学系の生徒さん、教師の方々にも使っていただきたい構成である。森林系の学生には、伝統的にいわゆる公務員が大きな職であるが、その農学（森林、防災、造園系）の試験問題にぴったりのキーワードが簡潔に紹介されている。それだけに、本書を教科書に採用するときには、太字だけではなく学術用語については丁寧な解説が望まれる。

本書は6章の構成で、地域資源であり環境資源でもある森林の植生に例をとった位置づけから始まり、物質生産機能から物質循環に至る構成は素直に読み進めることが出来る。著者の多くが京都大学森林生態学研究室で学ばれたことの“カラー”が鮮明な構成であり、締めくくりは保全・管理である。具体的な章立てを以下に示す：森林生態系と地球環境／森林の構造と動態／森林の成長と物質生産／森林土壌と分解系／森林生態系の物質循環／保持林業の概念を含む保全と管理。

ここで、本書は堤利夫先生の編集による朝倉書店の「森林生態学」のいわば最新版であり、先生が1973年に一里塚を刻まれた森林の物質循環に焦点を当てた“陸上植物群落の物質生産”をも踏まえ、分解系の土壌動物の機能解明へも展開している。

当時からの発展の流れの中で、森林動態は、結局、分解系が制御するという現時点での成果が現れている。こうした意味でも、本書のハイライトは、分解系と物質循環の2つの章と安定同位体の解説にあると思われる。ここで、物質循環の中でも取り分け重要な窒素循環は、要点が実に見事にまとめられている。しかし、森林の窒素沈着に対する緩衝機能について、また、樹体におけるアンモニウム態と硝酸態の同化と光環境など、代謝に係わる記述がもう少し欲しかった。前後するが、降水量が多くても山岳地系の日本では潜在的な水不足の危険がある。そこに、ブルーウォーターとグリーンウォーターの考えの紹介は要を得ている。一方で、温暖化の影響とされるが、豪雨、養分溶脱、そして過湿の影響についても、講義では、学生の疑問に答える必要も感じられる。

生態系としての生産に関する炭素収支の解説があることも森林の生物資源的役割の理解に役立つ。一方で、伝統的な門司・佐伯のモデルや生産構造図（層別刈り取り法）に関連した記述は、吸光係数のみで、物質生産のとらえ方には講義での追加紹介が不可欠であると感じた。針葉の形態の垂直変化の模式図は、編集代表者の、樹高100mの木登りで初めて発見された老齢木の樹冠の若返り研究を思い起こさせる。

講義や講演会での話題提供の際に、いつも腐心するのは、生態系の概念の紹介である。名著を著されたアラスカ大学のF.S.Chapin III教授をして、“生態系生態学は難解で教壇には毎回緊張して臨む”との言葉をうかがったが、編集代表者の紹介では無機環境と植生帯から始まり、具体的な内容は上記の通り4章の分解系と5章の物質循環を合わせて読む必要を感じる。特に5章の「様々な元素の動態と循環」はケーススタディーとあるが、東日本大震災後の福島原発で注視されたCsの挙動にも言及し、各元素から生態系を理解

する流れは物質循環をより深く理解するうえで読み応えがある。

最終(6)章では生態系サービスの視点からの森林の多機能とエコシステムマネジメントへの流れは、森林生態学が自然科学としての魅力と政策提言への流れを強く指摘している。ここに、「森林生態学」の位置づけを、かつて造林学を森林生態学と呼び変える必然性を説かれた四手井綱英先生が「森の生態学」で提言された“姿”を再見できる。

小池孝良(北海道大学)

# 技術者の経験則と大学研究林

吉田 俊也 (よしだ としや、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター)

北から



この稿が皆さんの目に触れるのは、元号が変わった6月と聞いています。

いま、私の手元に、31年前、つまり、平成元年に出版された「北海道樹木語録」(北方林業会 1989)という本があります。この本は、北海道営林局(当時)が、「林業上の重要樹種の取扱い、材の利用」について、「経験的に知られている貴重な知識」をまとめたものです。

樹種別に、多くの「経験則」(現場の勘)が収録されているのですが、全917項目のうち、広葉樹に関する項目が全体の7割を占めています。このことは、北海道の天然林率が高いことの反映とも言えますが、本の「あとがき」には「現在は広葉樹がブームであり、現在の林業情勢を反映している」との趣旨の文があります。これを読むと、平成の30年は、広葉樹に代わって、針葉樹人工林の復権が進んだ時代であった、という感を深くします。

ただ、平成後半のここ数年、林業をとりまく諸情勢の変化の中で、天然林資源とりわけ広葉樹への注目が、再度、少しずつ高まってきているように感じます。本年3月の森林学会大会で、そのような感想をお持ちになった方もおられるのではないのでしょうか。

私が所属する北海道大学の研究林では、100年を超える歴史の中で、平成の時代も含め、天然林施業が森林管理の主体でした。そのため、研究林の技術スタッフ(技術職員・森林技能職員)は、天然生林の育林や伐採、造材に関して、それぞれの経験則をいまに伝えていきます。天然林施業は、ある意味で「経験則のかたまり」のような存在です。教育・研究活動にも深く携わる彼らの経験則や勘は、天然林施業を再構築し、高度化する研究を遂行するうえで重要なヒントとなります。

そうした研究の中から、最近の事例をここでは二つ紹介します。まずは、「語録」に収録されている項目の大半を占める、天然生林材の特性に関する研究です。これは、技術スタッフが直営で素材生産を行っている、私たち研究林でこそ取り組める研究テーマと言えます。現場では、まず伐採木の選定の際、1本ごとに標識テープを付すとともに、GPSで位置情報を得ておきます。そして、伐倒直後に、標識番号を小口面に転記して全幹集材し、土場で採材、品等付の際に、各種の欠点を個別に記録します(写真-1)。こうすることで、林況や地形と個々の立木の材質との関係を明らかにすることができるといわけです。多くの樹種について腐朽



写真-1 標識番号302番のヤチダモの品質を熟練した技術スタッフが記録し、末口面の写真撮影準備をしている様子(北大雨龍研究林)

の出現傾向を定量的に明らかにし(Abe and Yoshida 2018 J For Res 23: 279-286)、さらに、現在、他の欠点や材の色味についても解析を進めています。

育林関係でも多くの経験則があります。北海道では、天然更新を目的とした機械地拵えが以前から広く行われてきましたが、その際「表層土壌をどの程度除去するか」は多くの場合、現場の「勘」に任されており、また、それが技術スタッフ間で若干の差がある状況でした。そこで、複数の施工を比較する野外試験を行ったところ、表層土壌を残す効果は、樹種特性(とくに種子の埋土性の有無)や立地環境(とくに水分条件)によって、正・負いずれにもなりうる(Yamazaki and Yoshida 2018 J For Res 23: 166-172)という結果が得られました。空間・時間スケールが大きい森林の管理においては、「何」を対象に、「いつ」、「どこで」の経験に基づいた「勘」であるかが重要であることを再認識する結果だったと感じています。

世は人工知能(AI)の時代。「経験則」のあり方は、このあと大きく変わることでしょう。ただ、その規則の背後にあるメカニズムを、ひとつずつ、丁寧に読み解いていくことはこれからも重要です。技術スタッフを擁する教育研究機関として、私たち研究林は、実践的な試行とデータの積み重ねを通して、北方天然生林の利用と保全に貢献していきたいと思っています。

# 昆虫と私と林業と

岩下 幸平 (いわした こうへい、愛知県森林・林業技術センター)



小さい頃を思い返すと、イチモンジセセリを眺めていたり、アベリアに吸蜜に来たオオスカシバを追いかけたたりと虫に関するものが多く出てきます。その後虫好きが治癒することなく、いわゆる虫屋、特に蛾屋として活動するようになった私は、名古屋大学森林保護学研究室でナラ枯れ木上のキノコヒモミノガ(仮称)の生態を研究しました。そして本種に限らず多くのハカワラタケ利用者は新鮮な子実体しか利用しないこと、ハカワラタケ子実体の寿命は2~3年しかないことを明らかにしました。またナラ枯れ関連では、昔は珍品だったタイショウオオキノコとそれを捕食すると言われているキノコゴミムシや、キクイムシに依存するルイスホソカタムシを採集したこと、腐朽木を餌とするシロスジベニマルハキバガの大発生に当たったことも良い思い出です。就職を考えた際も自身の専門を活かして昆虫に関わることができればと考えて就活をした結果、現所属の愛知県森林・林業技術センターに配属されました。

私が担当している課題は、「強度間伐施業の検証」、「里山林再生施業の検証」、「森林病虫害の調査」の3つです。愛知県では平成21年度からあいち森と緑づくり税を導入し、森林の公益的機能の向上のため、人工林の強度間伐施業や、里山林の掃除伐等の施業を行っています。前者2つの課題は、その施業の効果を検証し、より効果的な施業を提案するというものです。まだこのテーマに携わって2年が経過したところですが、強度間伐による針広混交林化も掃除伐による若齢コナラ林の再生も、上層木の除去が重要だと感じています。稚樹は生存・成長のために多くの光量を要し、林床に十分な光を導入するためには上層木を除去する必要があります。ですが、上層木の択伐はかかり木を伴い危険です。また人工林の林地残材にはニホンキバチ等の羽脱孔が目立ちます。林地残材は二次性材穿孔性昆虫(衰弱木・枯死木に食入する昆虫)の増加を招く可能性がある一方で、搬出にはコストを要します。施業と安全性、コストとベネフィットを考え、その林分で現実的な目標林型と、それを達成するに効果的な施業を検証するのが本課題の最終的な目的だと考えて今後の調査を進めていきます。

また3つ目の課題に移ると、県内の一部地域ではスギノアカネトラカミキリやマスカクロホシタマムシ、また特定外来種であるクビアカツヤカミキリによる被害が発生しています。これらの調査では、古くから研究されている種でも未知の情報が得られ驚くこともあ

れば、彼らの強かさに頭を悩ませられることもあります。例えばマスカクロホシタマムシによる枯死は皆伐地の隣接林縁で発生しますが、林縁より内部までは拡大せず、施業からの時間経過による衰弱木の減少や、寄生性捕食者の増加によって被害が収まるようです。その場合、林縁木を本種の被害から守るためにかけられる防除コストについて考える必要があります。一方でクビアカツヤカミキリについては林地への侵入を防ぐために発生地での徹底的な防除が必要です。本種の産卵数や飛翔力を考えると、被害木の伐倒やトラップによる成虫の捕殺、被害木内の幼虫の駆除とともに、被害情報の収集が非常に重要だと考えられます。

また最近では業務とは別に、愛知県から記録のある昆虫全種の目録である「グリーンデータブックあいち2018 昆虫編」にて蛾類担当として執筆しました。この目録では3,129種を記録しましたが、一部文献や過去の疑問のある報告の確認が抜けていますので、愛知県蛾類目録の完成に向け今後も活動していきます。

昆虫が繋いでくれた現在の活動を通して、質の良いデータを取る事は非常に重要ですが、フィールドに出て対象を肌で感じることも同じくらい重要であると感じるようになりました。研究業務となると、事前に定めた項目を解析しやすい形式で調査することに集中してしまいがちですが、現場にじっくりと向き合うことがいずれ良い結果につながると信じて、今後も研究を続けていきます。



写真 春の使者 イボタガ

新鮮な個体は翅脈上に青い幻光を浮かばせ美麗。彼ら昆虫の導きにより今の私がいる。

特集

小笠原島嶼生態系の研究と保全（後編）

森林科学 87 は 2019 年 10 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/農水事務所）  
田中 一生（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

ちょうど一年前、平成 30 年 6 月 26 日に小笠原諸島は戦後の米国施政下からの返還 50 周年を迎えました。記念事業として様々な催しが開催されたり、記念品が販売されたりしました。記念切手や記念硬貨も販売されました。記念硬貨は、千円銀貨で表にはハハジマメグロやムニンヒメツバキが、裏にはクジラやウミガメが描かれており販売価格は 9,000 円、購入は諦めました。記念事業は大小合わせて 40 ものイベントが行われました。私も、記念イベントの一つ「オガグワの森植樹会」に参加しました。特集の中でも板鼻氏が紹介していますが、組織培養で殖やしたオガサワラグワを現地に植栽するイベントです。できるだけ多くの島民に参加してほしいということで、小笠原への唯一の交通手段である定期船「おがさわら丸」が小笠原を離れ、東京に行っている間（この間は観光客がほとんどいない）に行われました。その甲斐あって、関係者含めて約 90 人が参加するという盛況ぶりでした。植樹会の後も、水やりや草刈りといった小さなイベントが開催され、ほとんど枯れることなく順調に育っているとのこと。地元民の力で行う保全活動の好例となるのではないかと期待しています。

さて、今回の特集「小笠原島嶼生態系の研究と保全（後編）」はいかがだったでしょうか。コーディネーターの吉丸氏の緒言にもあるように、小笠原諸島では、実に多くの研究が行われているので、今回紹介できたのはごく一部ですが、それぞれ、非常に深く、おもしろい記事だったのではないのでしょうか。特集を読んで、あらためて思ったことは、小笠原諸島の植物がおもしろいことと外来種の恐ろしさです。そして、恐ろしい外来種を完全に駆除することは出来ないこと、すでに新たな生態系ができていくことから、外来種の存在を受入れるしかないというショッキングな事実です。ただ、これは諦めではなく、共存の道を模索する出発点なのでしょう。今後、小笠原という小さな島の生態系がどのようにして保全されていくのか、注目していきたいと思います。

コーディネーターを引き受けていただいた吉丸氏をはじめ、多忙のなか時間を割いていただいた著者の皆様に、この場を借りて御礼申し上げます。

（編集委員 磯田圭哉）

◎基礎知識から最新のトピックスまでをわかりやすく解説

## 森林生態学

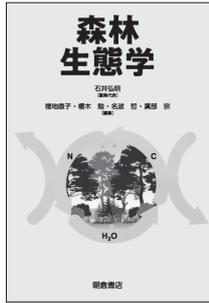
石井弘明 編集代表

A5判 184頁 定価(本体 3,200円+税) (47054-3)

気候変動との関わりから多面的機能まで解説。

[内容] 森林生態系と地球環境/森林の構造と動態/森林の成長と物質生産/森林土壌と分解系/森林生態系の物質循環/保全と管理

4月新刊



◎待望の基本書

## 砂防学

丸谷知己 編

A5判 256頁 定価(本体 4,200円+税) (47053-6)

自然災害の傾向や対策、技術、最近の情勢を解説。

[内容] 土砂移動と地表変動(地すべり、火山泥流、雪崩、他)/観測方法と解析方法/土砂災害(地震、台風、他)/砂防技術

4月新刊



◎ランドスケープ・リテラシーに向けて

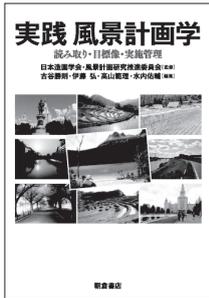
## 実践 風景計画学

日本造園学会・風景計画研究推進委員会 監修

B5判 164頁 定価(本体 3,400円+税) (44029-4)

人と環境の関係に基づく「風景」の分析、計画の目標設定、手法、実施・管理の方法を解説。  
[内容] 理念/風景の把握と課題抽出/目標像の設定・共有・実現/持続的な風景/事例紹介

3月新刊



◎基本テキストの最新版

## 造林学 (第四版)

丹下健・小池孝良 編

A5判 192頁 定価(本体 3,400円+税) (47051-2)

[内容] 樹木の成長特性/生態系機能/物質生産/植生分布/森林構造/森林土壌/物理的環境/生物的要因/環境変動と樹木成長/森林更新/材木育種・保育/造林技術/環境造林/他



◎植物生態学の基礎を身につける必携書

## 図説 日本の植生 (第2版)

福岡司 編著

オールカラー

B5判 196頁 定価(本体 4,800円+税) (17163-1)

多様な姿を見せる日本の植生を図・写真と共に読み解く。

[内容] 概観/日本の植生分布の特殊性/照葉樹林/マツ林/落葉広葉樹林/水田雑草群落/釧路湿原/島の多様性/季節風/他



◎日本の湿地の多彩さをビジュアルで紹介

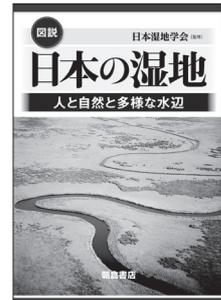
## 図説 日本の湿地 一人と自然と多様な水辺

日本湿地学会 監修

B5判 228頁 定価(本体 5,000円+税) (18052-7)

日本全国の湿地の現状や特徴、魅力、豊かさ、抱える課題等を写真や図とともに紹介  
[内容] 湿地と人々の暮らし/湿地の動植物/湿地の分類と機能/環境の変化/湿地を守る仕組み・制度

オールカラー



◎生きる力を育むために

## 土砂災害と防災教育 一命を守る判断・行動・備え

檜垣大助・緒續英章ほか 編

B5判 160頁 定価(本体 3,600円+税) (26167-7)

土砂災害による被害軽減のための防災教育について、行政の取り組みや小・中学校での防災学習、地域住民によるハザードマップ作りや防災講演、防災教材の開発事例など様々な試みを紹介。



◎緑の力をさぐる

## 大気・水・土壌の環境浄化 みどりによる環境改善

戸塚績 編著

B5判 160頁 定価(本体 3,600円+税) (18044-2)

植生・緑による環境改善機能と定量的な評価方法を解説。

[内容] 植物・植栽の大気浄化機能/緑地整備/都市気候改善機能/室内空気汚染改善法/水環境浄化機能/土壌環境浄化機能



一森林のもつ可能性をさぐる2冊一

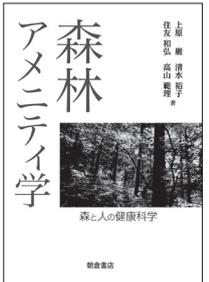
## 森林アメニティ学 一森と人の健康科学一

上原 巖・高山 範理・住友和弘・清水裕子 著

B5判 176頁 定価(本体 3,400円+税) (47052-3)

森林環境の持つ保健・休養機能の効果を解説するテキスト。

[内容] カウンセリング/医療分野・地域医療・野外保育の事例/評価尺度/他

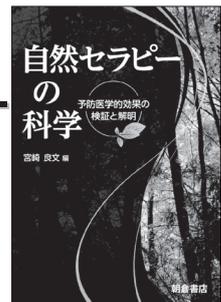


## 自然セラピーの科学 一予防医学的効果の検証と解明一

宮崎良文 編

A5判 232頁 定価(本体 4,000円+税) (64044-1)

自然セラピーに実際にどのような生理的効果があるかを科学的に検証し、「データに基づいた自然利用」を推進する解説書。



朝倉書店

〒162 8707 東京都新宿区新小川町6 29 (ISBN)は 978 4 254 を省略  
電話 営業部 (03) 3260-7631 FAX (03) 3260-0180  
http://www.asakura.co.jp/

Since 1929 ASAKURA Publishing

# 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碎機



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碎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、粉碎することが出来ます。粉碎室内にある固定刃・回転刃(計7枚)で粉碎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碎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
全量粉碎時間	7分で1mm通過

## ロータースピードミル P-14

P-15で粉碎された木材をさらに細かく粉碎されるのであれば、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
全量粉碎時間	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を選択が出来、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。

### ◆粉碎用例

試料名	木材.5-6mm・3gr.
粉碎結果	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%



Made in Germany

## フリッチュジャパン株式会社

本社 〒231-0023 横浜市中区山下町252  
大阪営業所 〒532-0011 大阪市淀川区西中島7-12-5

URL <http://www.fritsch.co.jp>  
E-mail [info@fritsch.co.jp](mailto:info@fritsch.co.jp)

TEL 045-641-8550 FAX 045-641-8364  
TEL 06-6390-0520 FAX 06-6390-0521



# 「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