



森林

科学

[特集] もり
樹木と森林の病気を科学する
— 樹木病害研究の最前線 —

シリーズ

林業遺産紀行

南伊豆に遺る岩樟園クスノキ人工林について

森めぐり

マレーシアプトラ大学演習林・アイルヒタム森林保護区

現場の要請を受けての研究

住民主導の災害に強い森づくり・まちづくり

No. **76**
February 2016



もり 特集 樹木と森林の病気を科学する—樹木病害研究の最前線—

樹木病害研究の過去と現在—特集にあたって—	2
佐橋 憲生	
樹木病原微生物のゲノミクス	3
菊地 泰生	
マツ材線虫病研究の最前線	8
渡辺 敦史	
木材腐朽菌チャアナタケモドキによる スギとナシの病害	13
中村 仁	
日本におけるニレ類立枯病菌の現状	17
升屋 勇人	
日本に発生する PPV (ウメ輪紋ウイルス)	21
前島 健作・根津 修・姫野 未紗子・難波 成任	

森林科学 No.76

2016年2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: 左上: 地際部に這い出した南根腐病菌の菌糸膜 (地上高1m以上に達する場合がある)
 右上: モクマオウの防風林に発生した南根腐病 (根系接触により近隣の健全木に被害が拡大する)
 下: 南根腐病による倒木被害 (根や地際部を黒色菌糸膜が覆っている)
 撮影 佐橋憲生 特集「樹木と森林の病気を科学する—樹木病害研究の最前線—」より (6ページ)

コラム 森の休憩室Ⅱ 樹とともに

竹材 27

二階堂 太郎

シリーズ 林業遺産紀行

南伊豆に遺る岩樟園クスノキ人工林について 28

嶋田 重裕

シリーズ 森めぐり

マレーシアプトラ大学演習林・アイルヒタム森林保護区 30

田中 憲蔵

シリーズ うごく森

木質バイオマス発電により動き出す林地残材・切り捨て丸太

—宮崎県における「林地残材」利用の事例— 32

横田 康裕

シリーズ 森をはかる

36 航空レーザー測量で山の変形をはかる

村上 亘

シリーズ 現場の要請を受けての研究

38 住民主導の災害に強い森づくり・まちづくり

三好 岩生

解説

42 ドイツの森林・林業から学ぶもの

藤森 隆郎

47 Information

ボックス

北から南から

樹木病害研究の過去と現在 — 特集にあたって —

佐橋 憲生 (さし のりお、国立研究開発法人森林総合研究所 森林微生物研究領域)

樹木病害に関わる諸問題を扱う学問分野、森林病理学(あるいは樹病学 Forest Pathology)は、言うまでもなく、植物病理学(Plant Pathology)の1分野である。欧米では、植物病理学の中でも重要な位置を占めており、様々な視点から樹木病害の研究に取り組みられているし、樹木の病害を対象にした学術誌も刊行されている。しかし、わが国では樹木病害の研究を行っている大学や研究機関、研究者は非常に少ない。

一昔前まで、樹木病害研究は、農作物などの病害の研究に比べて大きく遅れており、研究レベルも劣っていた。また、研究成果も記載的なものがほとんどであった。これは前述したように研究者が少ないこと、大学の林学関係に森林病理学あるいは森林保護学を担う講座がなかったことに起因している。

なぜ日本において樹木病害の研究が遅れてしまったのだろうか?少し乱暴な言い方になるが、結局のところ、研究対象(材料)として扱いにくかったのが原因である。樹木は農作物などの一年生草本と比べその寿命が格段に長く百年以上生きるものも多い。また、樹高も数十メートルに達するものがあり、その成長過程の様々なステージで、また、根から樹冠部までの様々な場所で、多種多様な病害が発生する。樹木は形成層を有し、木部の肥大成長に伴い永続的に成長するため、樹体の構造も複雑である。

草本植物であれば小型で、温室で栽培することは極めて容易である。世代時間が短いので、一年間に何世代も栽培でき、実験の繰り返しも比較的容易である。樹木は、稚苗はともかく、実験のために温室で成木まで栽培するなどということは考えにくい。樹木に特有の材という組織は、様々な点で扱いにくく、病原菌の進展過程や宿主の防御(抵抗性)機構を研究するためには、多くの困難が伴う。病原菌を接種してから発病するまでに、長い場合は数年かかるため、一つの研究にとてつもなく長い時間がかかることもある。草本植物では、前述したように世代時間が短いため、交配が容易で、ある形質を支配す

る遺伝子が簡単に同定出来る。例えばある病原菌に強い品種と弱い品種がある場合、交配後の家系を調査することで、それを司る病害抵抗性遺伝子が同定出来るし、抵抗性遺伝子座のみが異なる同質遺伝子系統を作成することにより、当該遺伝子の働きを調べたりすることができる。とにかく草本植物と比較して、樹木は様々な点で、研究材料として不利な要素を抱えていたと言える。このような中で、樹木病害が研究対象として選択されることが少なく、作物の病害と比較すると研究の進捗が大幅に遅れたのはむしろ当然のことと言えよう。

近年、分子生物学など新しい研究分野やそれに関連する技術、解析方法が急速に進歩してきた。これらのツールや技術を積極的に取り入れることで、樹木病害研究においても、一部の分野では、草本植物と同等なレベルで研究が出来るようになってきた。むしろ樹木病害(病原体)を対象とした研究が、他の病害研究をリードしている側面もある。今後、樹木とその病原体の研究から、草本植物では得られなかった新しい発見や概念が提出される可能性も皆無では無かろう。また、近年輸送手段の発達に伴い、樹木種子や苗の世界的規模での移動が容易になってきている。そのため、新たな病原体が侵入する可能性が以前に比べ格段に高くなっている。このような侵入病害についても、最近進歩したツールを駆使することで、新しい事実が明らかになってきている。

本特集では、近年急速に研究が進んでいる樹木病害研究の現状を紹介しようと思う。そのため、精力的に研究を進められている5名(研究グループ)の方々に執筆をお願いした。最初に「樹木病原微生物のゲノミクス」「マツ材線虫病」「チャアナタケモドキによる病害」について、最近の研究成果を、続いて、海外から侵入したあるいは侵入の疑いのある病原体の中で「ニレ類立枯病」と「ウメ輪紋ウイルス(PPV)」の現状について、詳細に報告していただく。

本特集が樹木病害やその病原体に興味を持って頂く契機になれば幸いである。

樹木病原微生物のゲノミクス

菊地 泰生 (きくち たいせい、宮崎大学医学部感染症学講座寄生虫学分野)

ゲノミクス

ゲノムを読んで何がわかるのか？誤解を恐れずにいえば、「すべてがわかる」。核酸が生物の唯一の遺伝物質であり唯一の設計図であるとすれば、すべてはゲノムに書かれているはずである。もちろん、環境要因やエピジェネティックな変異などによって生物は制御され、形を変え、行動を変える。しかし、それらの変化もいわばゲノムという設計図のもとで起こる可塑性であり、ゲノムの設計図の柔軟性を示しているにすぎないともいえる。

ヒトゲノムが解読されたころから、なぜか日本では「ゲノム研究は終わった、これからはポストゲノム研究だ」という風潮が広まった。ゲノム研究は始まったばかりであったのに。おかげで日本のゲノム研究は停滞し、いくつもの興味深い、重要な生物種のゲノム解読を他国に譲ることになった。植物病原菌についていえば、イネいもち病菌 (*Magnaporthe grisea*)、トウモロコシ黒穂病菌 (*Ustilago maydis*)、ダイズ茎疫病菌 (*Phytophthora sojae*) といった重要な菌類のゲノムはすべて米国や欧州によって解読され、その成果は *Nature*, *Science* といった一流誌に掲載されたのである (Dean *et al.* 2005; Kamper *et al.* 2006; Tyler *et al.* 2006)。日本の科学者はもう少しゲノムに対して野心的であるべきだった。そして、今後も野心的であるべきだ。

かつてラボで遺伝子クローニングに苦労した経験からいうと、ゲノムは黄金に輝いて見える。ゲノムがあれば、遺伝子配列、コピー数、類似遺伝子の有無、プロモーター、すべてがコンピューター上で見つけることができるのだから。数か月、悪い時は数年をかけた遺伝子スクリーニング、クローニング、シーケンスを“一瞬”で終わらせ、次の研究に取り掛かれる。

ポピュレーション解析のマーカー作成も同様である。ゲノムデータがあれば配列をもとに適切なマーカーを見つけ、最適なプライマーを素早く設計できる。今では、マーカーを使わずに全ゲノム配列でポピュレーション解析をすることも可能である。ゲノムサイズの小さなバクテリアでは全ゲノムに基づくポピュレーション解析が

割と日常的に行われるようになってきている。

系統はリボソーム遺伝子などの短い DNA 配列で語られてきた。そこで見えるのは短い配列の進化である。それで十分な場合も多いが、ゲノム全体から導く系統はそれよりも正確なはずである。ゲノム全体からの系統解析はまだ成熟していないが、Phylogenomics といわれる分野として発達しつつある。

次世代シーケンサー

ゲノムがここまで一般的になったのは、いわゆる「次世代シーケンサー」のおかげである。すでに各所で語られているので今更ではあるが、次世代シーケンサーの出力データ量はケタ違いである。今までのシーケンサーの数百台、あるいは数千台分のデータを一回の解析で獲得できる。これは、おそらくモレキュラーバイオロジーにおける3回目くらいの大革命である。次世代シーケンサーには幾つかの種類があり、変遷も激しい。詳しいメカニズムや特徴は他の総説に譲るが、2015年現在、最も広く利用されているのはイルミナ社の HiSeq, MiSeq と呼ばれるマシンである。また、PacBio 社の 1 分子シーケンサーの使用が近年上昇し、多くの論文で見られるようになった。

次世代シーケンサーから吐き出されるデータは、かつてはショートリードと言われ、本数は多いがリードの長さは 50b ~ 100b と短いのが特徴であった。しかし、最近ではケミストリーの改善によって 300b 程度を DNA 断片の両端から読めるようになり、サンガーシーケンサーと比較してもそれほど遜色ないレベルになってきている。また、PacBio 社の 1 分子シーケンサーは、元来長いリード長を特徴としており、正確性とデータ量には劣るが 10kb ほどの長さのシーケンスを出力することができる。NanoPore シーケンサーはさらにその上を行くといわれている。今後の技術の進展に目が離せない。解析コストも年々減少しており、次世代シーケンサーは今後益々身近なものになっていくと思われる。

わかること、気をつけること

次世代シーケンサーのおかげで、非モデル生物もゲノムレベルの研究の対象になり、多くの生物のゲノムが解読され始めた。ゲノム解読によって、生物の持つすべての遺伝子レパートリーがわかり、配列の特徴が分かるので、前述のように遺伝子クローニングやマーカーの選択が容易になり、ゲノム比較解析やゲノムレベルの遺伝子発現解析も行えるようになる。ただし、注意しなくてはならないのが、ゲノムデータのクオリティである。ゲノムのアセンブリーや予測遺伝子は無料のソフトやウェブベースのパイプラインツール等を利用することで構築することができるが、それはたいていの場合十分ではなく、間違った結論を導きかねない。公表されているゲノムにもクオリティが低いものが含まれているから、これには注意が必要である。他の生物のゲノムの混入がないか、ゲノムアセンブリーは妥当な方法で作られ、十分な正確性評価がなされているか、遺伝子予測はその生物に最適なパラメータが用いられているか、などの点に十分に注意を払われたゲノムデータを使用すべきである。

以下では、樹木病害微生物のゲノム解読でどのようなことがわかったのか、事例を紹介していく。

サクラてんぐ巣病菌

サクラてんぐ巣病はサクラに発症し、枝の一部から小枝を多数発生させ、この小枝が竹箒状になるいわゆる「てんぐ巣症状」をもたらす（図-1）。本病に罹病したサクラの枝は春、ほとんど花蕾を付けず、葉が開花前に発生するため、サクラの景観を著しく損ねる。また、放置すると枝は数年で枯死し、枯死部から木材腐朽菌が侵入して、樹勢が衰弱する（升屋勇人 *et al.* 2015）。本病はサクラてんぐ巣病菌（*Taphrina wiesneri*）という子嚢菌が病原であるが、特にソメイヨシノは本病菌に対する感受性が強く、全国各地の桜の名所で問題になっている。詳細な生態はまだ解明されておらず、防除は主に罹病枝の切り取りによって行われている。

我々は、サクラてんぐ巣病菌 *T. wiesneri* とその近縁な *Taphrina* 属菌 3 種のゲノムを解読し、その特徴を明らかにした（Tsai *et al.* 2014）。ゲノムサイズは約 13 Mb でビール酵母（*Schizosaccharomyces pombe*）とほぼ同等であったが、遺伝子数は約 6400 で出芽酵母よりも 1000 ほど多く予測された。植物ホルモンの合成に関与すると思われる遺伝子が多数確認され、てんぐ巣



図-1 サクラてんぐ巣病の典型的な症状
（提供：森林総合研究所・秋庭光輝氏）

症状の原因となるホルモンは本菌によって生産されると考えられた。また、菌類のシグナル伝達に重要な役割を果たしているヒスチジンキナーゼ遺伝子が、サクラてんぐ巣病菌のゲノムで特徴的な増加を示していた。これは、本菌の 2 型性（酵母型と菌糸型）とかがわかっており、伝染環を成立させるための重要な役割を果たしていると考えられた。前述のように、サクラてんぐ巣病菌の生態や伝染環はまだ完全に明らかになっていない。今後、ゲノム解読で明らかになった特徴的な遺伝子の解析やゲノム情報を用いたマーカーの開発によるポピュレーション解析等により、本病の研究が飛躍的に進むことを期待したい。

マツノザイセンチュウ

マツノザイセンチュウはアジアやヨーロッパで大規模な松枯れ（マツ材線虫病）を引き起こす線虫である（図-2）。マツノザイセンチュウが松枯れの病原であることが発見されて 40 年以上が経過するが、抜本的な対策には辿り着いておらず、被害は拡大を続けている。マツノザイセンチュウのゲノムは 2011 年に最初のバージョンが公開された（Kikuchi *et al.* 2011）。ゲノムサイズは 78 Mb、遺伝子数は約 18,000 と推定された。他の線虫ゲノムとの比較によると、マツノザイセンチュウは植物細胞壁を破壊するための酵素を作出する遺伝子を多数、ゲノム上に有しており、その構成は極めてユニークであった。また、解毒に関与する遺伝子もたくさん持っていることが明らかとなった。これは生きたマツの中に入り込む際にマツが産出する抵抗性物質など、線虫がさらされる様々なストレスに対応するためだと考えられた



図-2 松枯れの原因となるマツノザイセンチュウ

(Kikuchi *et al.* 2011)。このような特徴は、他の植物寄生線虫（ネコブ線虫やシスト線虫）のゲノムには見られないことから、マツノザイセンチュウがそれらの線虫とは異なる戦略を使って植物に寄生していることを示しており、この戦略の解明は病気の制御に重要であると考えられる。

ゲノム配列が公開されて以降、ゲノム情報を利用した研究成果が数多く発表されてきた。例えば、マツノザイセンチュウが分泌するタンパク質の網羅的な解析はゲノム情報をリファレンスとして質量分析によって行われた (Shinya *et al.* 2013)。分泌タンパク質は病原菌と宿主との最初のインターフェイスとなることから、病気のメカニズムの理解やドラッグターゲットとして重要である。また、リファレンスゲノムを利用して、マツノザイセンチュウの代表的なストレインのゲノム比較も行われ、日本にいるマツノザイセンチュウは極めて多様性が高いことが明らかとなった (Palomares-Rius *et al.* 2015)。これは、北米からの侵入種とされている本線虫は、原産地から何度も日本に持ち込まれたことを示唆している。本論文でゲノム比較が行われたのは6株と数が少ないので、今後、株数を増やして解析をすることで、より正確な侵入経路や移動経路が明らかとなると思われる。さらに、ゲノムワイドな遺伝子発現解析もリファレンスゲノムを利用して行われた (Tsai *et al.* 2015)。遺伝子発現が比較されたのは感染前と感染直後の線虫であり、感染によって線虫の遺伝子発現が劇的に変化することが示された。これは、線虫の環境認識が病気の成立に重要であることを意味しており、感染コントロールの視点から興味深い。それ以外にも多数の論文でゲノムデー

タが利用されており、ゲノム解読はマツノザイセンチュウ研究を大幅に推進させたといえる。

我々は現在もリファレンスゲノムのクオリティを上げるべく、ゲノム解析を続けている。最初のバージョンで5000断片に分かれていた配列は、最新のバージョンでは174断片にまでつながっており、より高精度の解析ができる環境が整った。詳細な遺伝子発現解析や、病原性を持たないニセマツノザイセンチュウとの比較をはじめとする近縁種比較ゲノム解析も進行中である (菊地未発表)。今後もゲノムを利用した解析により、マツノザイセンチュウの寄生メカニズムが深く理解され、より効率的な制御法の開発につながることを期待できる。

南根腐病菌

南根腐病は東南アジア、オセアニア、中央アメリカ、アフリカなど、熱帯地方に広く分布し、パラゴムノキなどのプランテーションで大きな被害を引き起こしている (Sahashi *et al.* 2012)。病原は担子菌 *Phellinus noxious* であり、宿主範囲が広く致死性が強いことが特徴である (図-3)。日本では南西諸島や小笠原での被害が深刻であるが、気候変動などによって、本病の被害がさらに拡大することが懸念されている。

我々はこの菌のゲノム解読プロジェクトを近年開始し、ゲノムを精力的に調べている。現在のところ、本菌のゲノムサイズは約31 Mbで約9000のタンパク質コーディング遺伝子を含んでいると予測されている。また、我々は最初のバージョンのゲノムデータを用いて集団解析に用いるSSR（マイクロサテライト）マーカーの作成を行い、実際にそれを利用して南西諸島および小笠原諸島で収集された128菌株の集団解析を行った (Akiba *et al.* 2015)。この解析により、これらの菌株の多様性は高く、孢子による感染が主な感染ルートであり、本菌が日本に土着もしくはかなり昔に侵入した種である可能性が高いことが明らかとなった。この研究はこれまで不明であった本病菌の感染様式と被害拡大ルートに新たな知見を与えるものである。また、ゲノムデータはその後の解析により、執筆時のバージョンで断片数が107という高品質なものになっている。このゲノムデータを利用して、本菌のゲノムの特徴を明らかにするとともに、近縁他種とのゲノム比較を行い、本病原菌の広い宿主範囲と高い致死性に関与するファクターを探っていく予定である。



図-3 南根腐病で枯死した樹木 (提供:森林総合研究所・佐橋憲生氏)

その他

その他の樹木病原菌としては、3大病害の一つである、ニレ立枯病菌 (*Ophiostoma ulmi*, *O. novo-ulmi*) のゲノム (Comeau *et al.* 2015; Khoshraftar *et al.* 2013) や、木材腐朽菌である *Fomitopsis pinicola*, *Phanerochaete chrysosporium* など (Floudas *et al.* 2012) がバイオマスの利用の観点から興味をもたれ、ゲノムの解読がなされている。また、糸状菌のゲノム解読は JGI (Joint genome institute) が 1000 fungal genome プロジェクトを立ち上げ、大々的にゲノム解読を推進し、利用しやすいウェブページでゲノムデータを公開している (<http://genome.jgi.doe.gov/programs/fungi/1000fungalgenomes.jsf>)。リストにはクリ胴枯病菌 (*Cryphonectria parasitica*) やナラタケ病菌 (*Armillaria mellea*, *Armillaria ostoyae*) など重要な樹木病原菌が含まれており、ゲノムデータはウェブページから利用可能である。

線虫ではマツノザイセンチュウ以外に、ニセマツノザイセンチュウといくつかの *Bursaphelenchus* 属線虫のゲノム解読が進行中である (菊地未発表)。植物寄生性線虫としてはネコブ線虫 2 種 (Abad *et al.* 2008;

Opperman *et al.* 2008) とシスト線虫 (Cotton *et al.* 2014) のゲノムが発表されているが、まだ数は少ない。動物寄生を含めた大規模ゲノム解読プロジェクトとして 50helminths genome project が進行中で、線虫の植物や動物への寄生機構の解明を目指してゲノム解読が進められている。ゲノムデータは WormBase ParaSite (<http://parasite.wormbase.org/index.html>) から利用可能である。

また、本論文では触れなかったが、バクテリアはゲノムサイズが数 Mb 程度と小さく、ゲノムの構築は比較的難しい。近年は PacBio 社の 1 分子シーケンサーを利用して完全ゲノムを解読する研究も増えてきており、NCBI には 50000 種を超えるゲノム配列が登録されている。とはいえ、樹木病原バクテリアのゲノム情報はまだ希薄であるので、ゲノムデータがほしい場合は自分たちでゲノム解読に取り組む必要があるかもしれない。

以上述べてきたように、ゲノム科学は急速なスピードで進展している。また、ゲノムデータはいろいろな場面で有用であり、そしてその利用は難しい。次世代シーケンサーの登場によりゲノミクスの活用は様々な研究分野で一般的になり、ゲノムは特別なものではなくなってきた。樹木病原微生物の研究でも、ゲノミクスは数々ある解析法のひとつとして考え、気軽に野心的に利用していくことを勧めたい。

謝辞

貴重な写真の提供をいただいた、秋庭光輝氏、佐橋憲生氏 (森林総合研究所) に感謝します。

引用文献

- Abad P, Gouzy J, Aury JM, Castagnone-Sereno P, Danchin EG, Deleury E, Perfus-Barbeoch L, Anthouard V, Artiguenave F, Blok VC, et al. (2008) Genome sequence of the metazoan plant-parasitic nematode *Meloidogyne incognita*. Nat. Biotechnol. 26(8): 909-915.
- Akiba M, Ota Y, Tsai IJ, Hattori T, Sahashi N, Kikuchi T (2015) Genetic differentiation and spatial structure of *Phellinus noxius*, the Causal Agent of Brown Root Rot of Woody Plants in

- Japan. PLoS ONE 10(10): e0141792.
- Comeau AM, Dufour J, Bouvet GF, Jacobi V, Nigg M, Henrissat B, Laroche J, Levesque RC, Bernier L (2015) Functional Annotation of the *Ophiostoma novo-ulmi* genome: Insights into the phytopathogenicity of the fungal agent of dutch elm disease. *Genome Biology and Evolution* 7(2): 410-430.
- Cotton J, Lilley C, Jones L, Kikuchi T, Reid A, Thorpe P, Tsai I, Beasley H, Blok V, Cock P, et al. (2014) The genome and life-stage specific transcriptomes of *Globodera pallida* elucidate key aspects of plant parasitism by a cyst nematode. *Genome Biol.* 15(3): R43.
- Dean RA, Talbot NJ, Ebbole DJ, Farman ML, Mitchell TK, Orbach MJ, Thon M, Kulkarni R, Xu J-R, Pan H, et al. (2005) The genome sequence of the rice blast fungus *Magnaporthe grisea*. *Nature* 434(7036): 980-986.
- Floudas D, Binder M, Riley R, Barry K, Blanchette RA, Henrissat B, Martínez AT, Otilar R, Spatafora JW, Yadav JS, et al. (2012) The paleozoic origin of enzymatic lignin decomposition reconstructed from 31 fungal genomes. *Science* 336(6089): 1715-1719.
- Kamper J, Kahmann R, Bolker M, Ma L-J, Brefort T, Saville BJ, Banuett F, Kronstad JW, Gold SE, Muller O, et al. (2006) Insights from the genome of the biotrophic fungal plant pathogen *Ustilago maydis*. *Nature* 444(7115): 97-101.
- Khoshraftar S, Hung S, Khan S, Gong Y, Tyagi V, Parkinson J, Sain M, Moses A, Christendat D (2013) Sequencing and annotation of the *Ophiostoma ulmi* genome. *BMC Genomics* 14(1): 162.
- Kikuchi T, Cotton JA, Dalzell JJ, Hasegawa K, Kanzaki N, McVeigh P, Takanashi T, Tsai IJ, Assefa SA, Cock PJA, et al. (2011) Genomic insights into the origin of parasitism in the emerging plant pathogen *Bursaphelenchus xylophilus*. *PLoS Pathog* 7(9): e1002219.
- Opperman CH, Bird DM, Williamson VM, Rokhsar DS, Burke M, Cohn J, Cromer J, Diener S, Gajan J, Graham S, et al. (2008) Sequence and genetic map of *Meloidogyne hapla*: A compact nematode genome for plant parasitism. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 105(39): 14802-14807.
- Palomares-Rius J, Tsai I, Karim N, Akiba M, Kato T, Maruyama H, Takeuchi Y, Kikuchi T (2015) Genome-wide variation in the pinewood nematode *Bursaphelenchus xylophilus* and its relationship with pathogenic traits. *BMC Genomics* 16(1): 845.
- Sahashi N, Akiba M, Ishihara M, Ota Y, Kanzaki N (2012) Brown root rot of trees caused by *Phellinus noxius* in the Ryukyu Islands, subtropical areas of Japan. *Forest Pathol.* 42(5): 353-361.
- Shinya R, Morisaka H, Kikuchi T, Takeuchi Y, Ueda M, Futai K (2013) Secretome analysis of the pine wood nematode *Bursaphelenchus xylophilus* reveals the tangled roots of parasitism and its potential for molecular mimicry. *PLoS ONE* 8(6): e67377.
- Tsai IJ, Tanaka E, Masuya H, Tanaka R, Hirooka Y, Endoh R, Sahashi N, Kikuchi T (2014) Comparative genomics of *Taphrina* fungi causing varying degrees of tumorous deformity in plants. *Genome Biology and Evolution* 6(4): 861-872.
- Tsai IJ, Tanaka R, Kanzaki N, Akiba M, Yokoi T, Espada M, Jones JT, Kikuchi T (2015) Transcriptional and morphological changes in the transition from mycetophagous to phytophagous phase in the plant-parasitic nematode *Bursaphelenchus xylophilus*. *Mol. Plant Pathol.*
- Tyler BM, Tripathy S, Zhang X, Dehal P, Jiang RHY, Aerts A, Arredondo FD, Baxter L, Bensasson D, Beynon JL, et al. (2006) *Phytophthora* genome sequences uncover evolutionary origins and mechanisms of pathogenesis. *Science* 313(5791): 1261-1266.
- 升屋 勇人, 菊地 泰生, 佐橋 憲生 (2015) サクラてんぐ巣病研究の新展開. *日本森林学会誌* 97(3): 153-157.

マツ材線虫病研究の最前線

渡辺 敦史 (わたなべ あつし、九州大学大学院農学研究院)

1. はじめに

ゲノム科学は、新たな技術の開発・普及と共に歴史的に何度かの飛躍を遂げてきたが、最近普及した次世代シーケンサー (Next Generation Sequencer : NGS) の出現は従来のゲノム科学に関するアプローチを一変させる威力を発揮している。モデル生物がゲノム科学の主流であった従来とは異なり、様々な生物のゲノムや遺伝子情報を大量に取得することはもはや難しいことではなくなった。塩基配列情報の大量取得に目を向けるばかりでなく、パイオインフォマティクスの台頭も重要である。マツノザイセンチュウの全ゲノムが 74.5 Mb とモデル生物である *C. elegans* よりもわずかに小さいことを明らかにした Kikuchi *et al.* (2011) は、ゲノム解読と同時に数多くの遺伝子の予測と存在も報告している。NGS とパイオインフォマティクスが融合したこの研究は、マツノザイセンチュウ研究の新たな時代の幕開けを切り開いた研究として記憶されるに違いない。

今回、「マツ材線虫病研究の最前線」として、本稿を書く機会を頂いた。ゲノム科学や遺伝子など新たなキーワードでアプローチする最近の研究論文を中心に特に目に付いた論文と我々の取り組みを適宜紹介しつつ「マツ材線虫病研究の最前線」を考えてみたい。

2. 分子生態学的アプローチによるマツノザイセンチュウの分布拡大解明

マツノザイセンチュウがアジアから侵入したと考える EU では、気候変動による分布拡大の危険性も視野に入れながら、適切な管理を行う上での基本情報として、侵入経路や分布拡大に関する大規模な研究をここ数年行っている印象を受ける。例えば、Mallez *et al.* (2013) は、17 SSR (simple sequence repeat) マーカーを利用して、北米については野外から集団単位で、日本・中国及びポルトガルについては、維持されている系統単位で遺伝構造の解明を試みており、野外から収集した北米集団では、集団構造が認められることを報告している。この結果に加え、野外から収集した個体と維持された系統間

では遺伝的多様性に大きな差があり、系統で維持された場合には、遺伝的多様性が野外と比較して低いことを指摘した点は注目に値する。SSR マーカーは、ヒトの DNA 鑑定にも用いられるほど識別能力の高い DNA マーカーの一種であり、生物種や研究目的によって異なるが通常 8 ~ 20 マーカー程度利用すれば、その生物種が多様性や遺伝構造の解明が出来ると考えられている。しかし、この論文で報告されている各 SSR マーカーの対立遺伝子数は 2 ~ 11、平均 4.9 と極めて少ない。有効な SSR マーカーの開発は意外に難しく、開発までに数百の候補領域をスクリーニングすることも珍しくはない。この研究でも、効率化を図るため、塩基配列情報は NGS を利用して取得していた。維持された系統の多様性の減少がマーカーに依存する可能性があったため、我々は、Kikuchi *et al.* (2011) のリファレンスゲノム情報に基づいてゲノム中の 2bp モチーフを *in silico* でスクリーニングし (図-1)、新たにマーカー開発を行った。なお、2bp モチーフとは、特定の塩基の繰り返しのうち、特に 2 塩基 (通常は、ACACAC ··· もしくは AGAGAG ···) が繰り返すものを指す。

我々のグループは、現在、日本各地のマツノザイセンチュウの再収集を進めている (図-2)。再収集の理由としては、後述するマツノザイセンチュウ抵抗性育種事業を進める上で、最近、高緯度・高標高地域や初期の抵抗性林分での枯損が報告されていることを挙げる事が出来る。マツノザイセンチュウがより寒冷地への適応や強

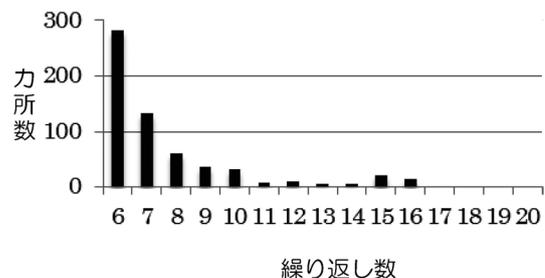


図-1 マツノザイセンチュウゲノムから見つかった 2bp モチーフ SSR

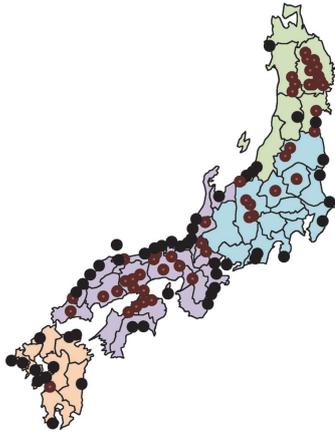


図-2 新たに収集した培養線虫系統の採取地黒丸はクロマツ、赤丸はアカマツから収集したことを示す。また、有種基本区は色を変えて示している

毒化へと変化している可能性を危惧したに他ならない。これら収集したマツノザイセンチュウについては、増殖特性や病原性評価と共に、遺伝的多様性解明も評価の1つとして実施する予定であり、前述のマーカー開発もこのために行ったものである。しかし、予備実験を行った結果、既報のマーカーも含め我々が開発したマーカーも対立遺伝子数は極めて少なかった。我々は各地から収集した系統を一旦、培養しており、ペールマン法で分離後の複数個体が混在した状態でDNA抽出していることから、通常であれば多数の対立遺伝子が認められるはずであったが、既報同様に、得られた対立遺伝子数は2~4にすぎなかった。

Figueiredo *et al.* (2013)は、SSRマーカーではなく、別のDNAマーカーであるSNP (single nucleotide polymorphism) を利用して、ポルトガルのマツノザイセンチュウ集団と北米およびアジア集団の比較を行っている。一部を除いてSSRマーカーは、遺伝子と無関係なゲノム領域を分析することが多いのに対して、SNPマーカーは遺伝子領域を対象とすることが極めて多く、NGSの普及により、今後はSNPマーカーの報告例が急増することが予想できる。この報告でも、種々のステージのマツノザイセンチュウからRNAが単離され、cDNAライブラリー作成後、NGSによって情報が取得されている。本結果が示した最大の特徴は、ポルトガルと韓国の集団が同一クラスターを形成したことを示した点にある。次いで、中国とこれら2つがクラスターを形成し、日本や北米集団は全く異なることを示していた。SNPマーカーを選択する研究者の常として、見つかつ

た変異と遺伝子機能との関連性に興味を抱くのは当然のことであり、この研究でも特にエフェクターに関連する遺伝子に焦点が当てられている。しかし、この種の研究をする際に、中立的な変異ではない可能性がある遺伝子の利用には注意が必要である。

全く異なる視点でマツノザイセンチュウの拡大過程を推測した研究が最近報告された。Haran *et al.* (2015)は、マツノザイセンチュウではなく媒介昆虫である *Monochamus galloprovincialis* について分子生態学的な研究を行い、それに伴うマツノザイセンチュウの拡大過程についてモデルによる推測を行っている。さらに、サンプリング箇所もピレネー山脈周辺とし、高標高を媒介昆虫が直接突破する可能性と部分的に存在する回廊からの突破の可能性について論じた。結果としては、地理的な阻害要因は急速な拡大を防ぐ要因にはなるものの、低標高地の回廊が分布域拡大の要因の1つになり得ることに加え、温暖化による媒介昆虫の分布域の拡大も危険性を増大させる要因であると結論づけた。

DNAマーカーを利用してマツノザイセンチュウの分布拡大に関する研究を行うためには何らかの工夫もしくは事前の検討を要する可能性がある。例えば、マツ一頭あたりでのマツノザイセンチュウの多様性評価に加えて近隣個体間、同一林分内など段階的に分析スケールを変更するなどである。また、継代培養に伴うボトルネックもしくはファウンダーエフェクトの影響を明らかにすることも重要である。現在、これらのうちのいくつかについては検討を開始しており、いずれ公表できるように努力したいと考えている。

3. マツ材線虫病解明に向けた分子遺伝学および分子生物学的研究の進展

ゲノムには、生命維持・活動に必要なすべての遺伝子情報が記載されている一方で、常にこれらすべての遺伝子が発現しているわけではない。遺伝子は、何らかのシグナルを端緒として、必要な遺伝子を発現するように制御されており、そのシグナルによって発現を開始する遺伝子群が特定されれば、これらの遺伝子群はそのシグナルによって制御されている遺伝子として明確化される。かつては、1つの遺伝子の発現を見るだけでも大変な実験的労力を必要としたが、現在その状況は大きく変わりつつある。

DNAマイクロアレイは、ガラスチップ上に蛍光標識

と共に遺伝子の配列を固定し、目的となる cDNA 等をチップと反応させることで、チップ上に目的とする DNA 配列が存在した場合には蛍光発色するのに対し、存在しない場合には蛍光発色しないことを利用して、簡便かつ大規模な遺伝子発現分析を行う手法である。Qiu *et al.* (2013) は、DNA マイクロアレイ分析を駆使して、極めて興味深い研究を展開した。彼らは、マツノザイセンチュウを通常の寒天培地で培養した一群とクロマツ苗に接種した一群それぞれから線虫を分離後 RNA 抽出し、約 3 万の遺伝子配列が搭載されたマイクロアレイチップと結合（ハイブリダイズ）させ、この 2 群間における遺伝子発現の相違を分析した。その結果、実に約 4% に相当する 1310 遺伝子で 2 群間に劇的な発現量の相違があることを明らかにした。このうち、約 500 以上の遺伝子は、発現量の差が 3 倍以上異なっていた。

残念ながら、この研究のみで病原性に直結する遺伝子が特定できるわけではない。しかし、マツ材線虫病に関する総説 (Shinya *et al.*, 2013a) の中で、2000 年代に入るまでゲノムや遺伝子を含む分子データの欠如を指摘されたことを考えれば、2010 年代に入り実施された全ゲノム解読と併せてマイクロアレイによる本成果は著しい発展と言える。Ding *et al.* (2015) は、病徴や接種からの時間が異なるクロマツからマツノザイセンチュウを分離後、microRNA (miRNA) を大規模に解析したことを報告した。極めて短い RNA である miRNA は、機能制御に関わっていると考えられており、ヒトやモデル植物であるシロイヌナズナ等で研究が進められている。NGS から得られた莫大な情報に基づいてステージによる発現プロファイルの相違を鮮やかに映し出す本研究は、マツノザイセンチュウ研究の新時代の到来を確信させ、この論文の Fig.1 に示されたワークフローを見ればバイオインフォマティクスの重要性を十分に理解させる。

もう一つ重要な点がある。この研究では、AMA3c1 と名付けられた近交系を利用していた。NGS やマイクロアレイもしくはバイオインフォマティクスなどの著しい進歩に伴い、これまで不明であった遺伝子発現レベルでの研究が行われるようになった。一方で、研究材料として利用されるマツノザイセンチュウについては、一部の先進的な研究室で近交系の作成などが行われているものの、本論文で示されたようなさらなる材料の整備を積極的に行うことの重要性を痛感させられる。モデル生物などでは、様々な変異体系統のスクリーニングや作出、

その維持に対する努力が払われている。大規模ではあるが単純な遺伝子研究では、メカニズムの解明に到達するのは困難であり、今後は使用するマツノザイセンチュウの材料について、より挑戦的な試みが必要となる。我々が再収集しているマツノザイセンチュウについても特性評価だけでなく、変異原を利用した新たな材料作出も検討しているところである。とはいえ、1 研究室のみで大規模な材料作出は労力的な困難がつきまとうと考えられることから、関連する多くの研究者の協力が必要であると考えている。

すでに、マツノザイセンチュウについては、プロテオミクスからの結果も報告されるようになった。Shinya *et al.* (2010) や Shinya *et al.* (2013b) は、マツノザイセンチュウの表面タンパク質もしくは分泌タンパク質に関する大規模なプロテオミクスを展開しており、トランスクリプトミクスとの関連性解明が待たれるところである。

我々のグループは、宿主側であるクロマツの防御応答解明に向けた研究に長年取り組んできた。明らかにしたい対象（テスター）に対し、リファレンス（ドライバー）を準備し、テスターのみで過剰に発現する遺伝子を明らかにする Suppression Subtractive Hybridization (SSH) は、魅力的な手法であったが、何をテスター／ドライバーとすべきか、どのような時系列で遺伝子を取得するかなど試行錯誤を繰り返し、結局、試験開始から論文が出版されるまで 7 年を要した。当時は、NGS も普及していなかったことから、塩基配列の取得だけでも数ヶ月を要したことを覚えている。

この研究で、我々はマツノザイセンチュウ侵入後に感受性クロマツ個体で PR タンパク質遺伝子が過剰に発現していることを明らかにした (図-3)。さらに、この過剰な発現が枯死と関連しており、過敏感反応がクロマツ枯死の原因である可能性を指摘した (Hirao *et al.* 2012)。Xu *et al.* (2013) もまた、*Pinus massoniana* に対して同様の研究を行い、PR タンパク質遺伝子の過剰発現など同様の結果を導いた。Nose and Shirashi (2010) は、long SAGE 法と呼ばれる手法を利用して類似の結果を導いている。

最近では、NGS による大規模な遺伝子情報の取得、マイクロアレイによる大規模遺伝子発現解析の実施、リアルタイム PCR による生体防御関連遺伝子群の定量解析など SSH の成果に基づいて徐々にではあるが研究を発展させているところである。PR タンパク質関連遺伝

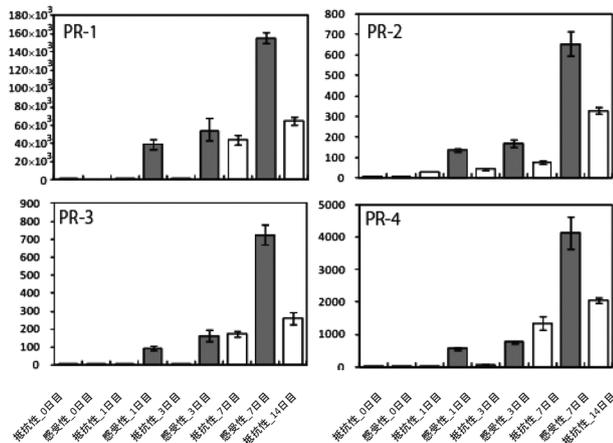


図-3 クロマツにおける PR タンパク質遺伝子の発現量。白抜きは抵抗性クロマツ、黒塗りは感受性クロマツの発現量である。線虫を接種する前の抵抗性クロマツにおける発現量を 1 とした場合の相対的な発現量であり (縦軸)、線虫接種後、1・3・7・14 日目の遺伝子発現量を示す (横軸)。ただし、感受性個体では 14 日目に枯死したためデータはない。

子の遺伝子発現を詳細に分析した結果では、その発現量は、水を接種した場合等と比較して、時に数千倍から数百万倍発現することが明らかとなっており、SSH から得られた結果を覆すまでの証拠は現時点でまだ見つからない。

研究材料の観点から見た場合、抵抗性 1 つをとってみても様々な特性を示すことが分かっており、どの抵抗性品種を研究対象とすれば良いのか、等の議論をさらに研究者間で進めるべきである。針葉樹は、材料準備および整備に数年を要することが一般的である。今後の 1 つの課題と言える。

4. 次世代抵抗性品種開発に向けて

日本では、1970 年代後半からマツノザイセンチュウに対して抵抗性を有する個体の選抜が実に 40 年以上取り組まれており、これまでにクロマツで 154 品種、アカマツでは 221 品種の開発が行われてきた。我々抵抗性品種開発側は、この抵抗性品種を総合防除の軸に据えたいと考えているものの、抵抗性品種といえども枯損する案件などが明らかとなり、その信頼性は揺らいでいるように思える。

クロマツの抵抗性形質には、複数の遺伝子座 (抵抗性遺伝子) が関与していると考えられており、接種検定を経て品種と認定された個体間同士を交配することでより

強い抵抗性を有する品種が開発できると考えている。但し、現在、接種検定に利用されるマツノザイセンチュウ Ka4 を次世代抵抗性候補個体に適用した場合には、多数の生存個体が得られるのみで抵抗性の基準は変わっていない。そこで前述したように全国からマツノザイセンチュウの再収集を含め、これまで以上に強い病原性を持つ線虫のスクリーニングが必要となる。また、病原性・抵抗性共に明確ではない现阶段では、特定線虫の病原性に対しては抵抗性を有するものの、異なる病原性に関連する遺伝子を持つ線虫の攻撃を受けた場合には抵抗性を発揮できない場合を考慮して、複数線虫の混合を考えている。マイクロアレイ分析の結果では、より強い病原性の線虫を用いた場合には、生体防御に関連する遺伝子群の発現量に変化はあるものの、異なる遺伝子の発現が認められるなどの結果は得られていないことから、線虫—抵抗性品種間の交互作用はない可能性が高い。一方で、複数線虫を混合した場合には、増殖力などの特性に変化が認められるなどの予備データが得られており、更なる検討を必要とする。

最近、次世代抵抗性品種開発に向けて、マツノザイセンチュウの再収集、接種後のクロマツ生体内での遺伝子発現プロファイルの解明、連鎖解析に向けた DNA マーカーの開発、環境との交互作用など次世代品種開発と品種開発の根拠となる基礎研究を幅広く展開している。この取り組みの中で最後に紹介すべき事項として、クロマツの多様性研究がある。

これまでクロマツの多様性に関する学術論文は、宮田・生方 (1990) が行ったアイソザイムに関する一例のみであった。この論文では、全国のクロマツ林には地域によって遺伝構造に差異がある可能性が示唆されている。一方、クロマツは種苗の移動が種苗法によって制限されており (種苗配布区域)、九州から東北太平洋側間および日本海側も西日本から東日本間の移動は可能であるが、太平洋側から日本海側への移動は制限されている。従って、九州の抵抗性品種を東北太平洋側に流通させることについて種苗配布区域の観点では問題ない一方で、九州と東北のクロマツ林間で遺伝構造が存在する場合、種苗を移動させることによって多様性の観点では問題になる懸念があった。クロマツ林には、三保の松原や天橋立など観光資源としても、地元住民からも愛されているものも多く、場合によっては他地域からのマツ種苗の混入を拒む地域も存在する。そこで、我々は現状を正しく

認識するため、全国各地のクロマツ林から 2500 個体近いサンプリングを行い、SSR マーカーを利用して遺伝構造の把握に関する研究を実施している。本研究を論文として公表するまでにはもう少しの時間を必要とするが、結果としては全国クロマツ林には既報同様に遺伝構造が存在しており、クロマツ種苗の移動が歴史的な経緯を反映する可能性が高いことを明らかにしている。本研究は、将来的に抵抗性遺伝子が明らかになった場合の基盤情報としても位置づける予定であり、抵抗性遺伝子の地域間の偏り等が明らかになることを期待している。

5. おわりに

マツ材線虫病研究の最前線として、本稿にとりかかったものの、保護・生態から遺伝子にかけて実に幅広い分野でこの問題に対する研究が行われており、今回はゲノム科学や NGS を利用した新たな研究領域に限定させて頂いた。完全に解決するにはまだ多くの研究と試練を必要とすることを認識した上で、この難問にチャレンジする若手研究者が増えていくことを期待せずにはいられない。最後に、本稿をまとめるにあたり、マツ材線虫病解決に向けた取り組みを共同して行っている森林総合研究所林木育種センターのマツノサイセンチュウ研究班および九州大学植物代謝制御学研究室のメンバーに厚く感謝申し上げます。

引用文献

- Ding et al. (2015) Deep sequencing analyses of pine wood nematode *Bursaphelenchus xylophilus* microRNAs reveal distinct miRNA expression patterns during the pathological process of pine wilt diseases. *Gene* 555 : 346-356
- Figueiredo et al. (2013) Assessment of the geographic origins of pinewood nematode isolates via single nucleotide polymorphism in effector genes. *PLoS ONE* 8 (12) : e83542
- Haran et al. (2015) Altitudinal barrier to the spread of an invasive species: Could the Pyrenean chain sow the natural spread of the pinewood nematode? *PLoS ONE* 10(7): e0134126
- Hirao et al. (2012) Characterization of resistance to pine wood nematode infection in *Pinus thunbergii* using suppression subtractive hybridization. *BMC Plant Biology* 12:13
- Kikuchi et al. (2011) Genomic Insights into the origin of parasitism in the emerging plant pathogen *Bursaphelenchus xylophilus*. *PLoS Pathogens* 7(9) : e1002219
- Mallez et al. (2013) First Insights into the genetic diversity of the pinewood nematode in its native area Using new polymorphic microsatellite Loci. *PLoS ONE* 8 (3) : e59165
- 宮田増男・生方正俊 (1994) クロマツ天然生林におけるアロザイム変異、*日本林学会誌* 76(5) : 445 ~ 455
- Nose and Shiraishi (2010) Comparison of the gene expression profiles of resistant and non-resistant Japanese black pine inoculated with pine wood nematode using a modified LongSAGE technique. *Forest Pathol* 41:143-155.
- Qiu et al. (2013) Specifically expressed genes of the nematode *Bursaphelenchus xylophilus* involved with early interactions with pine trees. *PLoS ONE* 8 (10) : e78063
- Sinya et al. (2010) Comparison of the surface coat proteins of the pine wood nematode appeared during host pine infection and in vitro culture by a proteomic approach. *Phytopathology* 100:1289-1297.
- Shinya et al. (2013a) Making headway in understanding pine wilt disease: What do we perceive in the postgenomic era? *Journal of Bioscience and Bioengineering* 116 (1) :1 - 8
- Shinya et al. (2013b) Secretome analysis of the pine wood nematode *Bursaphelenchus xylophilus* reveals the tangled roots of parasitism and its potential for molecular mimicry. *PLoS ONE* 8 (6) : e67377
- Xu et al. (2013) Characterization of the *Pinus massoniana* transcriptional response to *Bursaphelenchus xylophilus* infection using suppression subtractive hybridization *Int. J. Mol. Sci.* 14.: 11356-11375

木材腐朽菌チャアナタケモドキによる スギとナシの病害

中村 仁 (なかむら ひとし、農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所)

はじめに

樹木では、生育過程や葉、枝・幹の樹皮や材質部などの組織に応じて様々な病原菌が病気を引き起こす。また、樹木に発生する病気（樹木病害）は、林木や緑化木などの他に果樹に発生するものも含まれる。そのため、病気による被害については人間活動の目的に応じて扱いが変わり、その重要性も異なる。

一方、病原菌に視点を移すと、1種の病原菌であっても、1樹体の異なる組織に被害を与える場合や樹種によって被害を与える組織が異なる場合などがある。また、植物病害全般にいえることであるが、病原菌の同定に際しては、類似した病気や菌種との混同といった人的要因により、事態をより複雑にしてしまうことも起こりうる。このような状況から、樹木病害とその病原菌の関係を紐解いていくと、思いも拠らなかつた事実に行き当たることもある。本稿では、最近明らかにされた、針葉樹のスギ等と広葉樹である果樹のナシにおける病害とその病原菌のケースを紹介する。

スギの1品種、サンプスギに発生する非赤枯性溝腐病

サンプスギは、挿し木品種の1つとされ、千葉県の上野地区を中心に関東地方などで主に植栽されている。サンプスギは、幹断面が正円に近く、材色が淡紅色で美しいなど木材としての性質に加え、初期生長が早く耐寒性や耐陰性が高いといった栽培性、さらに雄花が少ないなどの優良な特徴を有している。しかし、その一方で、スギに発生する病虫害の中ではスギ非赤枯性溝腐病に罹病しやすいことが知られる（幸ら 2014）。

非赤枯性溝腐病は、サンプスギ生木の幹の辺材部が腐朽して溝状となる症状を示す病害として1960年に初めて認められた（写真-1）。その時点では、既に赤枯病という、スギに溝腐れ症状を起こす病気が知られていたため、それと区別するために非赤枯性溝腐病と命名された（今関 1960）。その後、同様の被害が確認された際にチャ



写真-1 サンプスギ非赤枯性溝腐病
溝腐れ症状（左）、病原菌チャアナタケモドキの子
実体（右；このように大きく発達することはまれ）

アナタケモドキ（写真-1、詳細は後述）という木材腐朽菌が病原菌であると特定された（青島ら 1964）。

非赤枯性溝腐病によって幹に形成される溝症状は、縦に真直ぐな溝となることが特徴である。初期段階では溝状の腐朽部の中心に枝痕がみられることから、病原菌が枯枝等から侵入し、その後の辺材の腐朽に伴う形成層の壊死により肥大成長がとまり、その結果として溝が形成されると推測されている（幸ら 2014）。本病による腐朽は白色腐朽で、腐朽が進むと腐朽部の材がもろくなり、風雪により幹が折れやすくなる。そのため、本病により林業上大きな損害を受けている（幸ら 2014）。

非赤枯性溝腐病菌チャアナタケモドキとは

チャアナタケモドキ (*Fomitiporia torreyae*) は担子菌類のタバコウロコタケ科に属する菌である。いわゆる“猿の腰掛”と称されるきのこの仲間であるが、本菌の子実体は傘を作らず樹皮に張り付くように形成される。色は黄土色～茶色、表面はピロード状で多数の孔（孔口）があり、その孔内の壁面上に担子胞子および円錐～紡錘形の剛毛体と呼ばれる構造体を形成する（写真-2）。剛

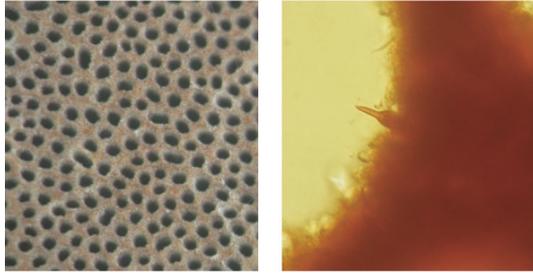


写真-2 チャアナタケモドキ子実体の特徴
表面の孔（左）、孔内の剛毛体（右；これが見つ
からないと本菌と同定できない）



写真-3 サワラの溝腐れ部の横断面（左）と溝
腐れ部に形成されたチャアナタケモド
キ子実体（右）

毛体は本菌を同定する際の重要な形質である。

本菌は、東北から九州まで、主に暖温帯を中心に広く分布する。

宿主はスギ（サンプスギ以外のスギを含む）の他に、サワラやコウヤマキなどの針葉樹（写真-3）、ツツジや果樹のナシ（詳細は後述）などの広葉樹に広く発生する。子実体は1年生あるいは多年生で、スギとサワラでは1年生が多いため子実体は小さいが（写真-3）、コウヤマキとナシでは多年生になることが多いため子実体は大きく発達する（太田 2015）。スギ生木上では罹病率の高い被害林でも子実体はほとんど認められないが、伐採後の材上では子実体の発生がみられるなど（幸ら 2014）、枯死枝や枯死木上では子実体が発生しやすい傾向がある。

チャアナタケモドキの分類上の混乱

チャアナタケモドキ *F. torreyae* が属する *Fomitiporia* 属には多くの種が含まれるが、形態的に互いに類似することから分類が困難な菌群であり、今もなお分類学的な再検討の必要性が取りざたされている。

チャアナタケモドキについても、その渦中にあった。チャアナタケモドキは、つい最近まで *F. punctata* と



写真-4 ナシ萎縮病の症状
発症した枝（上）、発症した葉（下）

されていたが、本来の *F. punctata* は広葉樹を宿主として冷温帯域で発生する一方、チャアナタケモドキは針葉樹をも宿主として暖温帯以南で発生するため、その異同が問題とされていた。そのため、*Fomitiporia* 属における形態的・分子系統学的解析を行ったところ、実際には *F. punctata* ではなく、*F. torreyae* であることが判明した（Ota *et al.* 2014）。それに伴い、*F. punctata* については、現在のところ和名は存在しない状態にある。

ナシ萎縮病とは

ニホンナシ（以降、ナシ）の萎縮病は、春先に正常な展葉がみられずに葉が萎縮する病気で、萎縮症状の他に波打ちあるいは小型化し、葉縁、特に先端部に黒変した枯死部を生ずることが特徴である（写真-4）。枝では、当年枝の発生が少なく、伸長も悪い。果実は小玉となる（佐久間ら 1993）。

ナシ萎縮病は、東北地方から四国・九州地方に至るまで日本各地のナシ園でみられ、少なくとも 24 都県での発生が確認されている。ナシ品種のうち「幸水」における発病が多い（中村 2013）。

最近、本病の病原菌がサンプスギの非赤枯性溝腐病と同じチャアナタケモドキ *F. torreyae* であることが判明した（Ota *et al.* 2014）。また、同時期に、長野県で発生したナシ萎縮病の病原菌が *F. punctata* であること



写真-5 ナシ上のチャアナタケモドキ子実体 (左)
とチャアナタケモドキによる材腐朽 (右)

が明らかにされた(金子ら 2014a)。上述のように *F. punctata* は冷温帯域に分布することが関係していると考えられる。したがって、ナシ萎縮病の病原菌はチャアナタケモドキ *F. torreyae* と *F. punctata* の2種で、ナシの栽培地域に応じて病原菌が異なると考えられる。

本病の罹病樹においては、一斉に全ての枝で発症することはなく、まず1側枝で発症し、それがやがて主枝全体、樹全体に広がるといった具合に症状が進行する。症状が激しくなると枝の枯死や樹全体の枯死に至る。これらの症状がみられるのは15年生以上の木に多いため、近年、老園化に伴って問題となっている。

ナシ萎縮病菌としてのチャアナタケモドキ

ナシ上で形成されるチャアナタケモドキの子実体は多年生で、大きく発達する(写真-5)。ナシの材では心材と辺材の区別は不明瞭で、腐朽は材部全体に及ぶことから(写真-5)、長期間にわたって腐朽が進むために多年生の大きな子実体になると考えられる。子実体は初夏から晩秋にかけて発達し、それに伴って担子胞子の飛散も長期間に及ぶことから、子実体の発生により感染リスクは増大する。しかし、ナシ園では管理作業が徹底され、枯死枝等は早期に切除されるので、実際には園内での子実体の形成は極めて少ない。

チャアナタケモドキによるナシ萎縮病の発病機構は不明であるが、発病している葉やその葉が着生している1~数年生の枝にはチャアナタケモドキの感染が認められないことから、材質部で腐朽を起こしているチャアナタケモドキが産生する代謝物質が通導組織を通じて上部の枝に移行し、その結果として葉に萎縮症状を生じさせているものと推測されている(金子ら 2014c)。

ナシ萎縮病の病原菌の特定過程における混乱

ナシ萎縮病については、数十年以上も前からナシの葉が萎縮する原因不明の症状として知られていたが、当初は発症の様子からウイルスが病原と推定され、1978年に接ぎ木伝染性の萎縮症(その後、萎縮病に変更)として報告された(関本 1978)。しかし、接ぎ木伝染性に疑問が持たれたことから、1980年代に大々的な調査・研究が行われた結果、萎縮病の接ぎ木伝染性は否定されることになる。同時に、萎縮病の罹病樹に材の腐朽が認められることから木材腐朽菌が病原である可能性が高いとされたものの、病原特定には至らず(佐久間ら 1993)、萎縮病の病原は不明のままとされた。

その後も15年以上にわたり原因特定に至らなかったが、その間、発生調査や接種試験が重ねられ、その結果として、2010年に本病の病原菌が *Fomitiporia* 属の1種であることが明らかにされた(塩田ら 2010)。その後、病原菌はチャアナタケモドキと同種であることがわかり(金子ら 2011)、2014年によやく *F. torreyae* と特定されるに至ったのである(Ota *et al.* 2014)。

針葉樹病害とナシ萎縮病との関係

千葉県では特産のサンプスギに非赤枯性溝腐病の発生が多く、同時にナシ栽培も盛んであることから萎縮病の発生も目立つため(金子 2015)、互いに感染源となりうるのではないかとの推測も成り立つ。実際、スギやサワラから得られた菌によってナシ萎縮病が発病することがわかっており(金子ら 2014b)、それ自体は否定できない。しかし、スギ上の子実体は小さく、ナシ園での子実体発生は少ないことから、これら2樹種間でのみ影響し合っている可能性は低く、スギやナシ以外の山林に自生あるいは緑地等に植栽された様々な樹木に発生した子実体も感染源として機能しているものと思われる。

しかし、状況によっては強い関係性が疑われる場合もある。あるナシ園では萎縮病が多発していたものの、園内でのチャアナタケモドキの子実体発生は極めて少なかった。一方、ナシ園の防風樹としてサワラを長年使用しており(写真-6)、また、ほとんど管理されていないために溝腐れや枯死枝が多く、結果としてチャアナタケモドキの子実体が多数発生していた。この園では、サワラ上の子実体がナシ萎縮病の感染源となっている可能性が高いといつてよいだろう。



写真-6 萎縮病が発生したナシ（画面前方）とサワラ防風林（画面後方）

このように、チャアナタケモドキの宿主植物の存在や環境が病気の発生に影響を与えると考えられる。

おわりに

本稿で紹介したチャアナタケモドキ *F. torreyae* と *F. punctata* に関わる事例は、樹木病害あるいは樹木病原菌の発生生態の複雑さと研究対象としての困難さを示すものであろう。各菌は、宿主植物に応じて、あるいは地理的な分布の違いや人間活動に応じて病気を引き起こしていたに過ぎないが、研究者側の思い込みや視点のずれによって事実が隠されてきてしまっていたともいえる。あらためて自然現象を科学的に解き明かすことの難しさを実感できよう。

引用文献

青島清雄・林 康夫・米林俵三・近藤秀明 (1964) サンプスギの非赤枯性溝腐病. 第75回日本林学会大会講演集. 394-397
 今関六也 (1960) 山武杉の新しい病気、非赤枯性の溝腐れ病とその生態的防除論. 森林防疫ニュース 9: 230-235
 金子洋平・中村 仁・塩田あづさ・鈴木 健・服部 力・太田祐子・安田文俊・幸 由利香・牛尾進吾 (2011) ナシ萎縮病菌 *Fomitiporia* sp. の同定及び定義付け. 日

植病報 77: 168 (講要).

金子洋平・岩波靖彦・塩田あづさ・鈴木達哉・鈴木 健・幸 由利香・牛尾進吾 (2014a) *Fomitiporia punctata* の接種によるナシ萎縮病の病徴の再現 (病原追加). 日植病報 80: 24 (講要)
 金子洋平・塩田あづさ・鈴木 健・鈴木達哉・幸 由利香 (2014b) 他樹種に存在する *Fomitiporia* sp. のナシ萎縮病の伝染源としての可能性. 関東東山病虫研報 61: 56-59
 金子洋平・塩田あづさ・鈴木 健・鈴木達哉・幸 由利香 (2014c) 腐朽材組織の除去がナシ萎縮病の病徴発現に与える影響. 関東東山病虫研報 61: 60-63
 金子洋平 (2015) 千葉県におけるナシ萎縮病の発生状況と病原菌の特徴. 植物防疫 69: 311-313
 幸 由利香・寺嶋芳江・岩澤勝巳・福島成樹・遠藤良太 (2014) 非赤枯性溝腐病と病原菌チャアナタケモドキに関する最近の知見. 千葉農林総研研報 6: 125-131
 中村 仁 (2013) 最近話題となっている病害虫. 植物防疫所病害虫情報 99: 6
 Ota Y, Hattori T, Nakamura H, Terashima Y, Miyuki Y, Sotome K (2014) Taxonomy and phylogenetic position of *Fomitiporia torreyae*, a causal agent of trunk rot on Sanbu-sugi, a cultivar of Japanese cedar in Japan. Mycologia 106: 66-76
 太田祐子 (2015) チャアナタケモドキによる樹木病害—サンプスギの非赤枯性溝腐病とその他の樹種の病害について—. 森林防疫 64: 111-119
 佐久間 勉・高村尚武・落合政文・小林 正・阿部恭久・田中寛康・高梨和雄 (1993) ニホンナシに発生するヒポキシロン幹腐病 (新称) と萎縮病. 果樹試験場報告 24: 45-59
 関本美知 (1978) ニホンナシの萎縮症 (仮称) とは —その発生状況とつぎ木伝染性—. 農業および園芸 53: 1265-1266
 塩田あづさ・金子洋平・鈴木 健・中村 仁・服部 力 (2010) ナシ萎縮病は *Fomitiporia* sp. によって引き起こされる. 日植病報 76: 156 (講要)

日本におけるニレ類立枯病菌の現状

升屋 勇人 (ますや はやと、国立研究開発法人森林総合研究所東北支所)

はじめに

現在、世界各国の森林を取り巻く状況は、全く楽観視できるものではない。気候変動や乱開発に加えて、破壊的な樹木病害が猛威を振るっているからである。一部の樹木病害は、北米において古くからの景観そのものを大きく変えてしまったとも言われている。こうした破壊的な樹木病害のほとんどは、異なる地域からの侵入病害によるものであり、各国の交通や貿易が活発になってきた19世紀から顕在化してきた。よく知られている例として、北米ではアジア原産種とされているニレ類立枯病 (Dutch elm disease)、クリ胴枯病 (Chestnuts blight) が猛威を振るってきた (例えば Loo 2009)。現在、ヨーロッパで深刻な問題となっているセイヨウトネリコの集団枯損 (Ash dieback) の原因菌は、日本にも分布していることが知られている *Hymenoscyphus fraxineus* (= *Chalara fraxinea* (= *Hymenoscyphus pseudoalbidus*)) により引き起こされている (Gross *et al.* 2014)。また、北米、ヨーロッパで問題となっているオークの突然死 (Sudden oak death) の原因となっている *Phytophthora ramorum* も、いまだ十分な確証は得られていないが、アジア原産ではないかと予想されている (Brasier 私信)。侵入病害による被害は日本も例外ではなく、北米原産のマツザイセンチュウによるマツ類の集団枯損が全国に蔓延しており、いまだに被害は継続している。

近年、日本国内でニレ類立枯病菌が確認された (Masuya *et al.* 2009)。しかし、実際には深刻な枯死被害の報告は現在でも確認されていない。その原因には様々な要因が考えられるが、いまだ十分な検討がされているわけではない。本稿では世界におけるニレ類立枯病の侵入と被害拡大の歴史、生態的特徴、および日本におけるニレ類立枯病菌の分布状況について解説するとともに、日本において本病菌による被害未発生が意味することや、ニレ類の集団枯死の発生リスクを検証し、昆虫が媒介するその他の侵入病害や土着の森林被害との対比から、日本におけるニレ類立枯病の現状を浮き彫りにしたい。

ニレ類立枯病とは

世界的に有名な樹木病害の一つであり、外来侵入生物ワースト 100 に常にランクインしている樹木病害である (Lowe *et al.* 2000)。病原菌 *Ophiostoma ulmi sensu lato* (広義の *O. ulmi*) により引き起こされるが、実際には原因菌は *O. ulmi* と 2 つの亜種を含む *O. novo-ulmi* である。ニレ類立枯病の原因菌の一つ、*O. ulmi* は 1920 年にスイスで初めて分離されたが、その頃、すでにヨーロッパに本病害は広く拡散していたという。当時のイギリスにおける 1927 - 1960 年までの被害量は全ニレ本数の 10 ~ 20% と推計されており、まだ重要な病害としての認識は低かったかもしれない。しかし、1960 年代後期に二度目の大発生が起こった。この時は劇的な大量枯損であったため、非常に注目を集め、様々な研究、被害対策が講じられることとなったが、南イングランドのみでも約 2200 万本のニレのうち 70% が消失したといわれる (Stipe and Campana 1981)。この二度目の大発生はほぼ同時期に北米でも壊滅的な被害をもたらしている。後の研究で、二度目の大発生は、最初の被害を引き起こした *O. ulmi* とは異なる種類として記載された *O. novo-ulmi* によるものであることが明らかとなった (Brasier 1991)。そして *O. novo-ulmi* はさらに 2 つの亜種が存在し、一方は北米中心に (*ssp. americana*)、もう一方はヨーロッパを中心に (*ssp. novo-ulmi*) 被害を引き起こしていた。その後も更なる移動・分散により分布・被害の拡大は続いている (Brasier *et al.* 2012)。近年ではニュージーランドに *O. novo-ulmi ssp. americana* が侵入して被害が発生したが、拡大を食い止めることに成功した (Godgil *et al.* 2000)。そこで防除に成功したとされ、政府からの対策予算は打ち切られたが、最近再び集団的な枯損が発生しているという (Bain and Bulman 2012)。

ニレ類立枯病の被害発生の鍵を握る 2 つのキーワードがある。一つは外来生物、もう一つは遺伝子侵入 (introgression) である。すでに知られているようにニレ類立枯病の原因菌は被害地においては外来種である。

その起源は、現在の仮説では *O. ulmi* は日本が起源、*O. novo-ulmi* については不明とされており、まだ十分には解明されているとは言えない (Brasier 2012)。最近では *O. ulmi* と *O. novo-ulmi* の 2 亜種について遺伝子解析が進み、二度目の大量枯損発生の際には、*O. novo-ulmi* ssp. *americana* がヨーロッパに渡り、*O. ulmi* や *O. novo-ulmi* ssp. *novo-ulmi* と交雑することで遺伝子侵入が進み、被害が拡大したと言われている (Paoletti et al. 2006)。また、*O. ulmi* と *O. novo-ulmi* は生態的ニッチを共有しており、一方の交配型と雑種を形成することで、急速に遺伝的な多様性を獲得するとともに、最終的に *O. novo-ulmi* に置き換わっている (Brasier and Kirk 2010)。このことは、ニレ類立枯病菌特有の交配システム、つまり各種、亜種間の交配様式が一方通行であったり、部分的に交配可能であったりすることが関係している (Brasier 2000)。ヨーロッパに渡った *O. novo-ulmi* ssp. *americana* は遺伝的に片方の交配型遺伝子 (Mat-1) と菌糸融合に関わる遺伝子を固定することで維持し、その他の *O. ulmi* の病原性遺伝子など自分にとって必要ない遺伝子を破棄し、自らの遺伝的多様性を維持、拡大してきた。その結果、現在 *O. ulmi* そのものの検出が難しくなっているという (Brasier 2012)。

O. ulmi および *O. novo-ulmi* は、ほとんどの場合樹皮下穿孔性キクイムシにより随伴される (Stipe and Campana 1981)。関連するキクイムシの種類は、*Hylesinus* 属からも検出されることがあるが、特に重要なものは *Scolytus* 属である。これは *Scolytus* 属キクイムシの方がより健全な木を加害するだけでなく、枝への後食加害により、随伴菌を樹体内に導入するからである。後食加害による感染は、マツノマダラカミキリとマツノザイセンチュウによるマツ枯れとよく似ている。後食加害によりニレ枝内に侵入した菌は二次代謝産物を生成し、それが仮道管の破壊を引き起こし、全身性の萎凋症状に至ると考えられている。一方で、*Scolytus* 属キクイムシは衰弱木や新鮮な丸太へ穿入し、菌とともに繁殖し、次世代に菌を受け継ぐ (例えば Webber 2000)。

日本におけるニレ類立枯病菌

正式な発表はなかったものの、1950 年代に北海道で発生したニレノオオキクイムシ (*Scolytus esuriens*) によるとされるハルニレの集団枯損 (竹越 1952) から、日本におけるニレ類立枯病菌の存在は十分に可能性があ



図-1 a: 札幌市内の某公園における *Ophiostoma novo-ulmi* によるハルニレの枝枯れ、b: 後食加害痕



図-2 ニレ類立枯病菌の北海道における分布

ると思われた。そして実際に北海道における調査からハルニレ、およびそこに穿孔するニレノオオキクイムシから *O. ulmi* および *O. novo-ulmi* ssp. *americana* が検出された (Masuya et al. 2009)。実際の集団枯損被害は今のところ確認していないが、札幌市内の公園や街路樹で、本病原菌によると思われる枝枯れは確認している (図-1)。これまでの調査では北海道全土に普通に分布していると思われた (図-2)。一方で、本州におけるハルニレではこれまでに本病原菌は確認できていない。こうした事実から、本病原菌の起源について様々な可能性はあるものの、*O. novo-ulmi* ssp. *americana* は北米で分化したと考えられていることから、少なくとも北海道における *O. novo-ulmi* ssp. *americana* は土着ではないと予想できる。一方で、*O. ulmi* については土着種の可能性も示唆されている (Brasier 2012)。ただし、本州における探索が十分ではない。

現在、日本においてニレ類立枯病による集団枯損が発

生していない。この理由は、今のところ推測の域を出ないが、次のことが想定される。1. 媒介するキクイムシの個体数が少ない。2. 宿主樹木が抵抗性～中度感受性で枯れにくい (Smalley and Guries 2000)。3. 実際に被害はあるが、シカによる食害と誤認。4. 宿主樹木の個体数、密度が少ない。5. これから発生する。1. について、北海道におけるニレノオオキクイムシの密度に関する知見はないが、道内では比較的見つけやすいキクイムシの一つであり、個体数が少ないとは考えづらい。また、2. については、宿主樹木の抵抗性や感受性は、すでに著者らによる接種試験で、大まかには明らかになってきており、既存の報告と同様に、抵抗性～中度感受性と考えられる。3. について、実際の被害がニレ類立枯病菌によるものなのか、その他によるものなのかの判別は、外観からは難しいが、シカによる食害かどうかについては判別できるため、北海道におけるニレ類の枯死木のうち、どれぐらいがシカによる食害を受けているかを調査する必要がある。4. について、ハルニレ、オヒョウは、北海道や冷温帯では森林において特に重要な構成樹種の一つであるため、場所を限定すれば決して個体数は少なくない。ただし、こうした場所で、被害があるかどうかについて網羅的な調査は未だ行われていない。現時点で5の可能性に言及することはデータが不足していることから難しいが、発見からすでに5年以上経っているにも関わらず、被害発生への報告はない。現時点での感触では、*O. ulmi*、*O. novo-ulmi* が広く分布しているも、ハルニレそのものの感受性がヨーロッパ、アメリカのニレ類よりも低いこともあり、ベクターとなるキクイムシの密度が極端に上がっていない状況であれば、大きな被害には成りにくいと考えている。

侵入樹木病害と樹木の集団枯損

ニレ類立枯病と同様の、キクイムシと随伴菌による樹木の枯死として、次の2つの例が上げられる。一つは日本におけるナラ枯れで、カシノナガキクイムシ (*Platypus quercivorus*) の集中加害と随伴菌の *Raffaelea quercivora* の樹体内侵入により、ミズナラをはじめ *Quercus* 属の樹木が集団的に枯死している。もう一つは、北米におけるマツ枯れで、マウンテンパインビートル (*Dendroctonus ponderosae*) の集中加害と *Grosmannia clavigera* の樹体内侵入による通水障害で集団枯損が引き起こされている。両者に共通するの

は、キクイムシによる樹幹への大量加害である。一方、ニレ類立枯病の感染様式や性質はこれらとは少し異なり、むしろマツ材線虫病と対比できる。マツ材線虫病はカミキリムシと線虫によるもので、マツノマダラカミキリが後食加害をしているときに、樹体内に侵入したマツノザイセンチュウが樹体内を移動しながら通水組織を破壊することで急速な萎凋枯死が発生する。ニレ類立枯病菌は、キクイムシの後食加害時に樹体内に侵入し広がり、菌の二次代謝産物により通水組織が破壊され、全身性の萎凋に至るとされている (Ouellette and Rioux 1992)。枯死機構の点では先述のキクイムシと随伴菌による集団枯損よりもむしろマツ材線虫病に近いかもしれない。

ニレ類立枯病とマツ材線虫病は、侵入病害としての要素と、昆虫による媒介という2つの要素を併せ持つため、急速かつ甚大な被害をもたらしてきたと考えられる。マツ材線虫病の原因であるマツノザイセンチュウは北米原産と言われており、1900年代初頭に九州に侵入したと考えられている (岸 1988)。ニレ類立枯病菌もまた侵入病原菌である。侵入した場所で宿主木が感受性であるために、容易に被害を拡大させることが可能になった。一方、ナラ枯れと北米のマウンテンパインビートルによる枯損は、両方とも現時点では外来のキクイムシによるものではないと考えられる。被害拡大に関わる要素は完全には解明されていないが、気候や森林の状態が被害発生前と比べて大きく変化してきたことが重要な要因となっているのかもしれない (Gibson *et al.* 2009)。

おわりに

最新のニレ類立枯病に関する研究では、*O. ulmi*、*O. novo-ulmi* のゲノム解析が完了し、新たな研究の展開が見込まれている。一方で、過去に猛威を振るっていたこれらの樹木病害は、未だ被害を引き起こしている。そこに追い打ちをかけるように、さらに新たな侵入病害と考えられる新興樹木病害が発生している。こうした背景から主要先進国では樹木病害の侵入に警戒しており、データベース構築や情報公開、科学的知見に基づくリスク評価が行われている。侵入生物による被害は顕在化してからは手遅れであり、早期警戒による侵入防止が侵入後の被害発生への対応に比べ圧倒的に低コストである (Brockerhoff *et al.* 2010)。日本国内でも、農業関係を中心に早期警戒、診断のシステム構築が進んでいるが、

森林関係ではいまだその動きはない。本稿はその動きを促す上で役立てば幸いである。

引 用 文 献

- Bain J, Bulman L (2012) Dutch elm disease. Forest Health News No. 229
- Brasier CM (1991) *Ophiostoma novo-ulmi* sp. nov., causative agent of current Dutch elm disease pandemics. Mycopathologia 115, 151-161
- Brasier CM (2000) Intercontinental spread and continuing evolution of the Dutch elm disease pathogens. In: The elms: breeding, conservation, and disease management. Dunn CP (eds) Boston : Kluwer Academic Publishers, p. 61-72
- Brasier CM, Kirk SA (2010) Rapid emergence of hybrids between the two subspecies of *Ophiostoma novo-ulmi* with a high level of pathogenic fitness. Plant Pathology 59: 186-199
- Brasier CM (2012) Rapid evolution of tree pathogens via episodic selection and horizontal 2 gene transfer. In Proceedings of the 4th International Workshop on Genetics of Host-Parasite Interactions in Forestry. USDA PSW-GTR General Technical Report 240 133-142
- Brockerhoff EG, Liebhold AM, Richardson B, Suckling DM (2010) Eradication of invasive forest insects: concepts, methods, costs and benefits. NZ J For Sci 40 suppl. S117-S135
- Gibson K, Kegley S, Bentz B (2009) Mountain pine beetle. Forest insect and disease leaflet 2 revised May 2009. USDA Forest Service
- Godgil PD, Bulman LS, Dick MA, Bain J (2000) Dutch elm disease in New Zealand. In: The elms: breeding, conservation, and disease management. Dunn CP(eds) Kluwer Academic Publishers, Boston. p.189-199
- Gross A, Hosoya T, Queloz V (2014) Population structure of the invasive forest pathogen *Hymenoscyphus pseudoalbidus*. Mol Ecol 23:2943-2960
- 岸 洋一 (1988) マツ材線虫病 - 松食い虫 - 精説. トーマス・カンパニー
- Lowe S, Browne M, Boudjelas S, De Poorter M (2000) 100 of the World's Worst Invasive Alien Species: A selection from the Global Invasive Species Database. Published by The Invasive Species Specialist Group (ISSG) a specialist group of the Species Survival Commission (SSC) of the World Conservation Union (IUCN), 12pp
- Loo JA (2009) Ecological impacts of non-indigenous invasive fungi as forest pathogens. Biol Invasions 11: 81-96
- Masuya H, Brasier C, Ichihara Y, Kubono T, Kanzaki N (2009) First report of the Dutch elm disease pathogens *Ophiostoma ulmi* and *O. novo-ulmi* in Japan. New Disease Reports 20: 6
- Ouellette GB, Rioux D (1992) Anatomical and physiological aspects of resistance to Dutch elm disease. In: Blanchette RA, Biggs AR, eds. Defense mechanisms of woody plants against fungi. Springer-Verlag, New York. 257-307
- Paoletti M, Buck KW, Brasier CM (2006) Selective acquisition of novel mating type and vegetative incompatibility genes via interspecies gene transfer in the globally invading eukaryote *Ophiostoma novo-ulmi*. Molecular Ecology 14, 249-263
- Smalley EB, Guries RP (2000) Asian elms: Sources of disease and insect resistance. In: Dunn CP, ed. The elms: breeding, conservation, and disease management. Kluwer Academic Publishers, Boston. 215-230
- Stipe RJ, Campana RJ (1981) Compendium of elm disease. St Paul, MN. APS press. 96p
- 竹越 (1952) ニレのキクイムシー北海道. 森林防疫ニュース No. 9: 4
- Webber J. (2000) Insect vector behavior and the evolution of dutch elm disease. In: The elms: breeding, conservation, and disease management. Dunn CP (eds) Kluwer Academic Publishers, Boston. P. 47-60

日本に発生する PPV (ウメ輪紋ウイルス)

前島 健作・根津 修・姫野 未紗子・難波 成任

(まえじま けんさく・ねつ おさむ、ひめの みさこ・なんば しげと、東京大学大学院農学生命科学研究科)

はじめに

近年、日本各地において、プラムポックスウイルス (plum pox virus, PPV;あるいはウメ輪紋ウイルス) が大きな問題となっている。PPVは、サクラ (*Prunus*) 属の植物を宿主とし、サクラ属の果樹生産に甚大な被害をもたらす植物ウイルスである。国際的にも重要な植物検疫対象であり、日本においても最も侵入が警戒される病原体のひとつであったが、2009年に東京都青梅市のウメで初めて確認され、その後日本各地で発見された。発生地域では、植物防疫法に基づく「緊急防除」により根絶事業が実施されており、並行して全国規模の発生状況調査がおこなわれている。また、それを支援する目的で試験研究もおこなわれている。一方で、ウメの大規模伐採による、生産・観光業等における問題は深刻であり、社会的問題となっている。本稿では、PPVの発生拡大の阻止、そして根絶に向けて、PPVの基本的な情報を紹介するとともに、日本におけるPPVの発生の経緯と現状について最新の情報を紹介したい。

PPVの分布

PPVによる病気は、100年前にブルガリアのブルーンにおいて初めて確認されて以降、徐々に発生範囲が拡大し、1980年代にはヨーロッパのほぼ全域と中東で発生が認められるようになった。各国で侵入が警戒されていたが、1990年以降は南米、北米、アジアなど地理的に離れた地域でも発生が報告され、2009年には日本でも発生が報告された(図-1)(Maejima *et al.* 2010)。オーストラリアやニュージーランドではまだ発生は確認されていないが、空港検疫官や検疫探知犬により密輸されたブルーンの枝などが摘発され、PPVが検出された事例もあり、侵入が警戒されている(Rodoni *et al.* 2006)。

PPVとは

「plum pox」の語源は、感染したブルーン(plum)が呈する果実表面の奇形が、かつて世界中で猛威をふるったヒトの伝染病である天然痘(small pox)のあばた症状に似ていたためとされる。なお、PPVはポティ

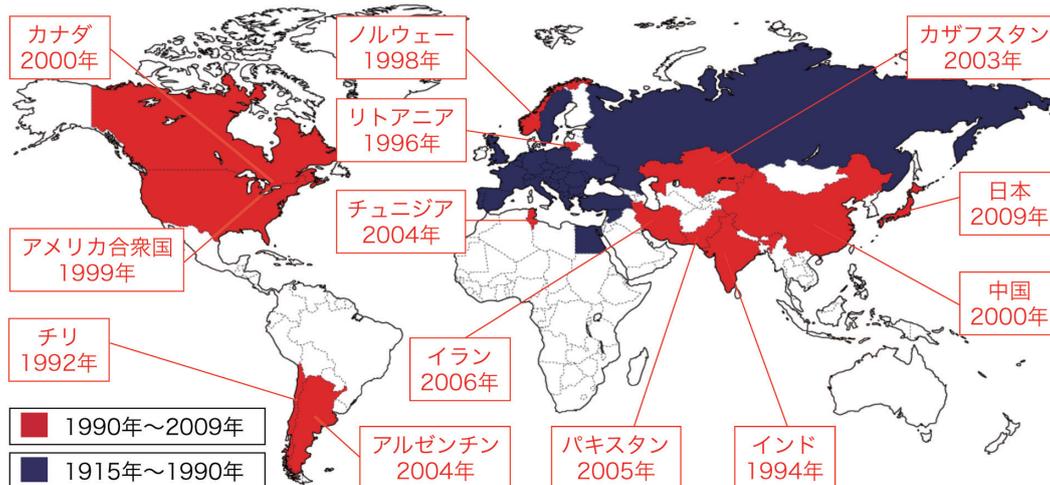


図-1 PPVの世界的分布。青色は1990年までに発生が確認された国、赤色は1990年以降に発生が確認された国を示す。

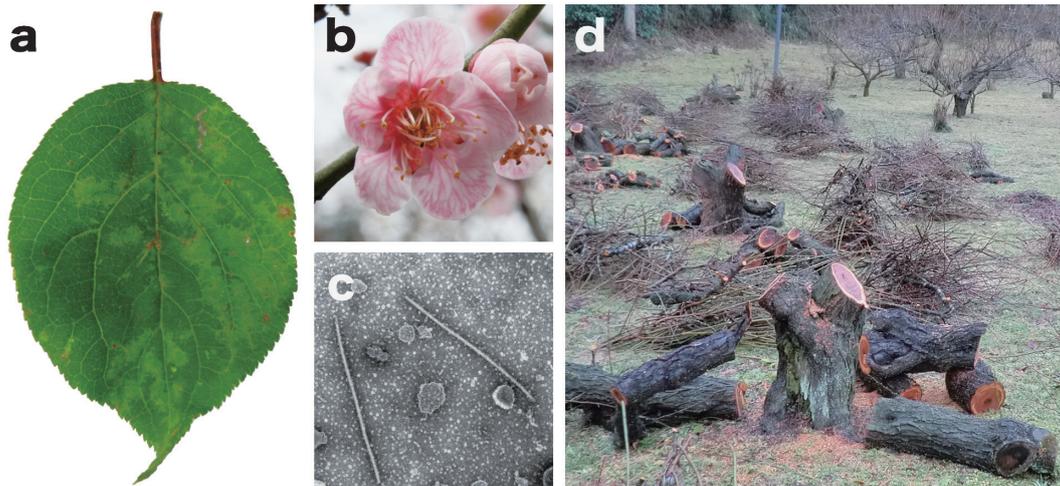


図-2 PPVに罹病したウメ。(a)葉における退緑性の病徴。(b)花における赤色の斑入り症状。(c)ウイルス粒子。幅約15 nm、長さ約700 nmのひも状。(d)緊急防除により伐採が進められている梅園。

ウイルス科ポティウイルス属のRNAウイルスであり、天然痘ウイルス（ポックスウイルス科、DNAウイルス）とは分類学的に全く異なる。PPVは塩基配列の差異により複数の系統に分かれており、それぞれ地理的分布や性状が異なる。主要な系統はD、M、Recの3系統で、ヨーロッパに広く分布している。なお、南北アメリカや日本を含むアジアにおいて発生したPPVのほとんどがD系統である。他の系統は分布する地域が限られているため知見が少ないが、C系統とCR系統は主要3系統が感染しにくいとされるオウトウに感染する。

PPVの被害と伝染環

PPVはサクラ属のなかでも核果類（プルーン、アンズ、モモ、スモモ、ウメ、ユスラウメ、オウトウ、アーモンドなど）に広く感染し、損失額はヨーロッパを中心に年間約500億円に上る。また、サクラ属には観賞用の花木や野生種も多く、それぞれがウイルスの伝染源となる。ただし、ソメイヨシノなどの日本に広く植栽される桜への感染性に関しては研究例が乏しく不明な点が多く残されている。草本植物でも実験的にPPVに感染しうるものが複数知られている。しかし海外において行われた大規模なフィールド調査においては、草本植物からPPVは検出されていない(Stobbs *et al.* 2005)。従って、自然界におけるPPVの主要な伝染源はサクラ属植物であると考えられている。

感染した植物では果実に表面の輪紋（リング状の症状）や斑紋、奇形、果肉の変質など生産上きわめて深刻な病徴を呈し、商品価値が著しく損なわれるだけでなく、プルーンでは成熟前の落果も問題となっている(Németh 1986)。また、葉は最も病徴を確認しやすい部位であり、退緑性または黄色の輪紋や斑紋(図-2a)が春先から認められる。病徴は落葉時期まで残るが、気温上昇後に展開した葉では無病徴の場合もある。また、サクラ属果樹は落葉性であることから、冬期は病徴を確認できない。ただし、ウメやモモでは晩冬の開花時期に花弁に斑入り症状(図-2b)が現れることがある。感染しても発病するまでに数年の潜伏期間を要し、樹体内のウイルス分布は不均一である(Glasa and Candresse 2005)。

PPVは他の果樹ウイルスと同様に接ぎ木により人為的に伝染するほか、ポティウイルス属に共通する特徴として、アブラムシを介しても伝染する。PPVの地理的分布拡大の主たる要因は、感染植物の人為的移動であり、近年のヨーロッパ以外の地域におけるPPVの発生は、先に挙げた密輸の事例のように不用意に持ち込まれた穂木や苗木が感染していたことが原因と考えられる。PPVが持ち込まれると、アブラムシにより近隣の宿主植物へと感染が拡大する。アブラムシが伝染性を持つのは感染植物を吸汁した直後に限られる(非永続的伝搬)。PPVを媒介するアブラムシは多数報告されており、PPVの系統や分離株との組み合わせにより、媒介効率は異なる

(Kimura *et al.* 2015, Schneider *et al.* 2011)。

日本における発生確認の経緯

最初に PPV の発生が確認されたのは、国内有数の観梅の名所として知られる東京都青梅市であった。青梅市では、花の鑑賞や果実の生産のために各所にウメが植えられていたが、1990 年代から市内のウメの葉に退緑症状が発生し、原因不明のまま市内の複数の園地に発生が拡大していた。2008 年 7 月、東京都から当時東京大学に日本で初めて開設された植物病院に持ち込まれ、診断依頼があった。現地調査の結果、葉と花の症状（図-2a,b）が海外のブルーヤアズ、モモに生じる PPV の症状に酷似していた。また、検体の電子顕微鏡観察でもひも状のウイルス粒子（図-2c）が観察されたため、遺伝子診断、抗体診断をおこなったところ、PPV の感染を示す結果が得られた (Maejima *et al.* 2010)。東京大学植物病院では本病が PPV による可能性がきわめて高いと判断し、2009 年 3 月に東京都を通じて農林水産省に PPV の国内初発生が報告され、同年 4 月に PPV の国内初発生が公表された。同年 5 月にはウメ結実期の現地調査により、果実表面の輪紋症状や奇形も確認された。

国内における PPV 発生を受け、農林水産省は PPV の発生範囲の特定と防除のため、青梅市周辺における PPV の発生状況を調査するとともに、各都道府県の協力のもとに、サクランボ産地を中心に全国的な発生状況調査を実施した。2009 年の調査の結果、青梅市に加えて周辺自治体（あきる野市、八王子市、日の出町、奥多摩町）においても PPV の感染樹が確認された。また、東京大学植物病院に持ち込まれた診断依頼サンプルから、神奈川県小田原市に PPV の発生園地があることを確認し、感染樹の由来について農林水産省が調査したところ、青梅市内から分譲された穂木が原因であることが明らかになり、日本三名園として知られる偕楽園（茨城県水戸市）の苗木圃場にも感染穂木が渡っていたことが明らかになった。その他の地域では発見されなかった。

2010 年 2 月、PPV の根絶を目指して植物防疫法に基づく PPV の緊急防除に関する省令が施行された。感染植物が広く分布している地域が緊急防除をおこなう区域（防除区域）に指定され、以下の規制が実施されることとなった。

・ PPV の宿主植物（サクランボ属植物及び海外で感染報告

例のある植物。種子及び果実を除く）の持ち出し禁止
・ 感染植物及び感染が疑われる植物（感染樹周辺に植えられた宿主植物）の伐採、抜根、焼却（所有者への補償を伴う）

なお、防除区域に指定されなかった発生地域についても同等の措置が講じられている。根絶の判断基準は、3 年間継続して PPV の感染樹が発見されないこととされた。上記の防除事業と並行して、発生地域周辺と全国での発生状況調査が毎年継続して実施された。

現在の発生状況

2015 年 11 月現在、11 都府県（茨城県、埼玉県、東京都、愛知県、岐阜県、三重県、滋賀県、奈良県、大阪府、和歌山県、兵庫県）において PPV の発生が確認されている（表-1）。これに伴い、当初 2015 年 3 月までとされていた緊急防除の期間は、省令改正により 2021 年 3 月まで延長されている。なお、神奈川県については 2010 年以降、感染樹が確認されておらず、根絶が達成されている（鈴木ら 2015）。

農林水産省の統計によると、2014 年までの調査により全国で 200 万本以上の植物が検査され、2 万 3 千本の感染樹が確認された（農林水産省 2009-2014）。感染樹のほとんどがウメであり、9,400 本余が東京都（主に青梅市とその周辺）で発見されたほか、12,700 本余が兵庫県の伊丹市及びその周辺で発見された。また、大阪府では複数の市町村にまたがって約 600 本の感染樹が発見された。その他の県における発生状況は地理的にも規模的にも限られているが、全国のウメ生産量の約 6 割のシェアを占める和歌山県内において 20 本余の感染樹が発見されたことは深刻な事例と言える。

感染樹及び感染が疑われる植物の処分も進められており、農林水産省の統計によると、2014 年までに全国で延べ 40 万本余が、発見から翌春までに処分されている（農林水産省 2009-2014）。その内訳は、主に兵庫県 34.6 万本、東京都 4.5 万本、大阪府 1.1 万本である。兵庫県では、後述の苗木や切り枝の生産園地における処分本数がほとんどを占める。

発生地域における取組

各地で PPV 根絶に向けた取組が実施されているが、ここでは PPV が最初に発見された東京都、最も多くの感染樹が確認された兵庫県、及び国内最大のウメ産地で

表-1 PPV の発生が確認された地域。

調査年	発生が確認された都道府県 (市町村) ^{a)}
2009 年	東京都 (青梅市, あきる野市, 八王子市, 日の出町, 奥多摩町)
	神奈川県 (小田原市) ^{b)} 茨城県 (水戸市)
2010 年	東京都 (足立区, 羽村市)
	埼玉県 (飯能市)
	滋賀県 (長浜市)
	大阪府 (吹田市) 奈良県 (奈良市, 桜井市)
2011 年	東京都 (福生市)
	茨城県 (古河市)
2012 年	東京都 (昭島市, 小平市)
	埼玉県 (入間市, 新座市)
	大阪府 (泉佐野市)
	兵庫県 (伊丹市, 宝塚市, 川西市, 尼崎市, 西宮市, 三田市, 猪名川町)
2013 年	三重県 (津市)
	大阪府 (池田市, 柏原市, 豊中市, 富田林市, 東大阪市, 松原市, 八尾市, 河南町, 千早赤阪村)
	和歌山県 (和歌山市)
	東京都 (東久留米市)
2014 年	愛知県 (犬山市, 扶桑町)
	大阪府 (大阪狭山市, 河内長野市, 堺市)
2015 年	岐阜県 (池田町, 神戸町)

^{a)} 下線は、一部または全域が「防除区域」に指定されていることを示す。

^{b)} 2012 年に根絶。

ある和歌山県について紹介する。

東京都青梅市では、市内全域で PPV の発生が確認され、3 万 5 千本以上が処分された (図-2d)。120 品種 1,700 本のウメが植栽される梅の公園においても部分伐採による根絶が困難な状況となり、2014 年 4 月に全樹伐採された。再度ウメの植栽が可能になるまでには、少なくとも 3 年をかけて根絶を確認する必要があるため、同市ではウメ以外の果樹や花木による再生が進められるとともに、健全なウメ苗木の確保等もおこなわれている (星ら 2015)。また、2015 年には根絶の早期化を図る試みとして、感染調査とアブラムシ防除、感染樹伐採をそれぞれ徹底する「強化対策」が国と地元自治体及び住民の協力のもと実施されている。新たな感染樹等の発見によりウメ植栽の早期再開は未だ難しい状況にあるものの、根絶に向けた取組に力が入れている。また、周辺の自治体でも防除が進められており、2015 年から八王子市の一部では、根絶の条件が満たされ防除区域の指定が解除された。

兵庫県では伊丹市を中心として日本有数の植木産業が

発達しており、盆梅や南京桃の生産・出荷が行われていたが、2012 年に苗生産園地における大規模な感染が明らかになった (相野 2015)。苗生産園地における発生により、PPV の大規模な拡散のおそれが現実のものとなったため、翌年以降は全国の苗木産地がリスト化され、調査されることとなった。また、PPV の発生が確認された苗木生産園地では全ての宿主植物が伐採される決まりとなった。さらに、過去の出荷記録等に基づく追跡調査がおこなわれ、感染樹が出荷先 7 か所で発見された (塚本 2015)。兵庫県の発生地域においては、精力的な防除により 2013 年までに延べ 33 万本に及ぶ苗木生産園地の処分が全て実施された。産業の再生のためには、今後、周辺の住宅地等に潜在する感染樹の処分を早期に進め、根絶を達成する必要がある (相野 2015)。

和歌山県は南部に国内最大のウメ産地を抱え、モモ、スモモの主要産地のひとつでもある。2009 年に青梅市で発生が報告されて以降、県内への侵入が警戒され、発生調査がおこなわれてきた。また、近畿地方での PPV の発生、特に 2012 年の兵庫県での大規模な発生確認を受けて、2013 年 3 月に県独自の条例 (和歌山県ウメ輪紋ウイルスの侵入及びまん延の防止に関する条例) が公布、施行された。この条例によれば、「緊急防除区域以外の PPV 発生地域」からの宿主植物の持ち込みを制限しており、国による緊急防除と合わせて、全ての PPV 発生地域からの持ち込みを制限するものである。2013 年 5 月に県北部の和歌山市において感染樹が初確認された際も、即時に同市は条例による制限区域に指定された。また、2013 年以降、県内における発生調査も強化され、侵入・まん延防止のためのガイドラインも整備されている。現在のところ同県では和歌山市における発生が確認されているのみである。

試験研究の取組

2009 年に PPV の国内初発生が確認された際には、PPV に関する知見は国内に無く、海外での研究報告を参考にすることしかできない状況にあった。しかしながら、PPV の性状については未だ不明な点も多く、また日本特有の研究課題 (発生したウイルスの特徴づけ、診断技術、侵入・拡散経路、国内で栽培される核果類品種への病原性、国内のアブラムシによる伝染性など) も解決する必要があった。そのため、農林水産省による公募、委託のもと、複数の研究機関による共同試験研究が 3

表-2 農林水産省予算による試験研究。

時期	課題名	参画機関	対応する行政事業
2009年 (第1期)	プラムポックスウイルスの防除法及び検疫措置の早期確立のための調査研究	果樹研究所 (代表) 東京都農林総合研究センター 中央農業総合研究センター 東京大学 法政大学	PPV 初発生の確認 全国発生状況調査
2010- 2014年 (第2期)	国内に発生したプラムポックスウイルスの効果的な撲滅と再侵入阻止技術の開発	果樹研究所 (代表) 東京都農林総合研究センター 中央農業総合研究センター 農業環境技術研究所 東京大学 法政大学	緊急防除 (1期) 全国発生状況調査
2015- 2017年 (第3期)	ウメ輪紋ウイルスの早期根絶を支援する感染拡大リスク回避技術の構築	果樹研究所 (代表) 東京都農林総合研究センター 愛知県農業総合試験場 中央農業総合研究センター 農業環境技術研究所 法政大学	緊急防除 (2期) ^{a)} 全国発生状況調査

^{a)} 緊急防除は 2021 年まで継続。

期にわたり実施されている (表-2)。

これまでの成果として、まず東京大学により株式会社ニッポンジーンと共同で、日本に発生した PPV に対応した 2 種類の実用的診断キット (イムノクロマト法による抗体診断キット及び RT-LAMP 法による遺伝子診断キット) が開発され、それぞれ 2009 年 7 月と 8 月から提供が開始された。これらキットは、海外で使用されている従来法 (ELISA 法、RT-PCR 法) とは異なり、実験設備を必要としない仕様であるため、栽培現場における PPV の簡易で迅速かつ高感度な検定が誰にでも可能である。PPV の緊急防除事業及び全国発生状況調査においてはこれら 2 種類の診断キットが採用されており、両キットで陽性となった場合に PPV 感染植物と判定され、処分と補償の対象となる。大量の検体への対応のため、キットの改良によるバージョンアップも適時実施されている。

抗体診断キットは、ウメにおけるウイルスの局在性の解析にも用いられ、検定に適した部位も特定された (Maejima *et al.* 2014)。また、海外からの侵入が依然として警戒される他の主要系統 (M、Rec) も検出でき

ることが示されている。

また、東京大学では PPV のゲノム配列の差異に着目した分子疫学的解析により、PPV の伝染経路が世界で初めて明らかにされた (Maejima *et al.* 2011)。2009 年に東京都及び神奈川県、茨城県において発生が確認された PPV はいずれも D 系統であり、同一の起源であると考えられたが、アメリカ、カナダで発生している PPV とは由来が異なっていた。さらに、国内の拡散経路についても詳細に解析可能であることが確認され、神奈川県小田原市や茨城県水戸市でのウイルスの接ぎ木伝染による拡散事例についても証明された。これらの研究により、PPV 発生地域における拡散経路の科学的な追跡やリスク評価が可能となった。

さらに、中央農業総合研究センター及び東京都農林総合研究センター、法政大学の共同試験研究により、ウメ栽培園地におけるアブラムシの発生消長が明らかになり、アブラムシの防除適期に関する知見が得られた。また、アブラムシ虫体内からの PPV 検出技術が開発されるとともに、日本の複数種のアブラムシにより PPV が伝搬されることが証明された。発生のタイミングと PPV の検出率、伝搬効率から、ユキヤナギアブラムシによる PPV の伝搬が懸念されると考えられている (Kimura *et al.* 2015)。

その他にも、PPV の日本の果樹に対する病原性 (中畝ら 2015) や雑草等への感染性 (西尾ら 2015)、統計学的手法による撲滅確認手法の開発が研究されてきた。

2015 年からは、東京大学以外の研究機関と愛知県農業総合試験場による第 3 期の共同試験研究が開始されており、農林水産省による緊急防除や全国発生状況調査などとの連携による根絶事業の推進が目指されている。

おわりに

PPV の発生確認から約 7 年を経た。当初は限定的発生にすぎないと想定されていたが、現在までに 12 都府県で確認されるに至った。PPV 発生による問題が長期化している地域では、現地の関係者の生計の手段が絶たれた状況が続いていることに加え、地域の技術や文化の継承にも影を落としている。その一方で、最初の発生確認地域のひとつである神奈川県小田原市では最短期間で根絶が達成されるなど成果はあがりつつあり、各地で根絶への努力が続けられている。

もし現在発生している D 系統のまん延を許してしまうと、他の系統が侵入したとしても、病徴による判別が困難であるため、まん延を助長するおそれがある。病原性が強いとされる系統 (M、Rec) やアウトウを宿主とする系統 (C、CR) は日本未発生であり、それらの侵入とまん延を防ぐためにも、PPV の根絶を達成する必要がある。本稿が今後のさらなる PPV の防除推進への一助となれば幸いである。

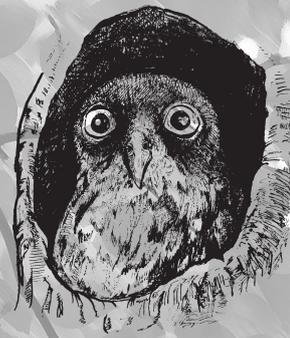
引用文献

- 相野公孝 (2015) 樹木医学研究 19: 16-18.
- Glasa M, Candresse T (2005). (<http://www.dpvweb.net/dpv/>)
- 星秀男・前島健作・難波成任 (2015) 樹木医学研究 19: 13-15.
- Kimura K, Usugi T, Hoshi H, Kato A, Ono T, Koyano S, Kagiwada S, Nishio T, Tsuda S (2015) Plant Dis: published online. (doi: 10.1094/PDIS-05-15-0540-RE)
- Maejima K, Himeno M, Komatsu K, Takinami Y, Hashimoto M, Takahashi S, Yamaji Y, Oshima K, Namba S (2011) *Phytopathology* 101: 567-574.
- Maejima K, Himeno M, Netsu O, Ishikawa K, Yoshida T, Fujita N, Hashimoto M, Komatsu K, Yamaji Y, Namba S (2014) *J Gen Plant Pathol* 80: 176-183.
- Maejima K, Hoshi H, Hashimoto M, Himeno M, Kawanishi T, Komatsu K, Yamaji Y, Hamamoto H, Namba S (2010) *J Gen Plant Pathol* 76: 229-231.
- 中畝良二・島根孝典・八重垣英明・安達栄介・宮田伸一・岩波 徹・中野正明 (2015) 樹木医学研究 19: 25-28.
- Németh M (1986) *Viruses, Mycoplasma, and Rickettsia Diseases of Fruit Trees*. Martinus Nijhoff Publishers 463-479.
- 西尾 健・鍵和田聡 (2015) 樹木医学研究 19: 7-9.
- 農林水産省 (2009-2014) (http://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/keneki/k_kokunai/ppv/ppv.html)
- Rodoni B, Merriman P, Moran J, Whattam M (2006) *EPPO Bull* 36: 293-295.
- Schneider WL, Damsteegt VD, Gildow FE, Stone AL, Sherman DJ, Levy LE, Mavrodieva V, Richwine N, Welliver R, Luster DG (2011) *Phytopathology* 101: 627-636.
- Stobbs LW, van Driel L, Whybourne K, Carlson C, Tulloch M, van Lier J (2005) *Plant Dis* 89: 822-827.
- 鈴木 誠・白木与志也・北 宜裕 (2015) 樹木医学研究 19: 19-21.
- 塚本貴敬 (2015) 樹木医学研究 19: 10-12.

竹材

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)



筑波実験植物園の入り口付近で「コンッ」と竹の音が聞こえたら、それは日本庭園のコーナーに設けてある鹿おどしの音です。発音の仕組みがなかなか巧妙なので紹介します。1. 竹筒の中央付近に支点を取り、傾くように設置する。2. 上方に少しずつ水を流して溜める。3. 水の重みで傾きを反対にし、水を排出する。4. 竹筒の傾きが元に戻る際に下方を石に当てる。と言う次第です。音の目的は畑を荒らす鳥獣を驚かすものなので、昔はより響くことが求められていたことでしょう。では、これを作るにはどのような筒が望ましいでしょうか。まず、少ない水でも重心を変化させられるほどに軽い方がよいでしょう。筒の中に仕切りがあれば加工せずとも水を溜める事ができます。素材が硬いと高い音程が出せ、筒の中でより響きます。水や腐朽に強い事も重要です。それらの要望を全て満たす天然素材が、竹の稗（稲や竹などの中空になっている茎）です。鹿おどしを考案した人も凄いです。竹という素材にも本当に感心します。

樹木は肥大成長にコストをかけ、幹を強化し続けながら上へ成長しますが、竹は茎を中空にすることで成長にかかるコストを大幅にカットし、その分上へ伸びる速度を著しく上げました。驚くべきは、それで生産される竹材です。安く早く作られた物であるのに、強い繊維の束によって極めて強靱なのです。さらに、弱点である内側への圧縮に耐える節を一定間隔で配置することで、しなりと頑丈の両方を併せ持つ大変強い稗を竹は持ち得ました。単位重量当たりの強度を比較すると鉄の数倍になる程です。では、そんな強靱な材が塊であったら、どれだけ硬い材になるでしょうか。実際には存在しない物体のように思えますが、なんとそれと対峙する仕事がありました。

当園の熱帯雨林植物温室では、巨竹キョチクと言う竹を植えています。東南アジア原産で、自生地では直径20cmを超えるほどに太り、高さは30mに達するそうです。温室にはガラス天井があるので12m程度の所で生長点を切っていますが、それでも直径は15cmもあります。また、竹の栽培は地下茎の旺盛な拡大が心配されますが、巨竹は株立ちする性質なのでほとんど広がりにません。まさに温室向けの竹と言えましょう。しかし植栽から約

20年も経つとさすがに古株の面積が増えたので、このたびは1.3㎡を撤去する事となりました。さて、日本の一般的な竹の場合ですと生育は個体毎であり、地下茎で他の個体と繋がっていてもノコギリで切断しながら掘りあげることができます。ところが巨竹は株立ちなので、各個体達はくっつきながら生育しています。株の外周部を掘ってみたら案の定、各個体の根塊が隙間なく連結しているのが現れました。それらに空洞は存在せず、底に生えているヒゲ根を除けば完全なる材の塊です。要するに、そこにあったのは面積1.3㎡×厚さ約30cmの一枚板という事です。これでは根を切りながら掘りあげる事はできません。仕方なく、チェーンソーで小さな塊に分けながら切り出すことにしました。するとこれまた想像していた事態になりました。表面から10cm厚程度はチェーンソーの自重で切れるのですが、深く入ると竹材が硬すぎて刃が滑るだけになるのです。そうかと言って他に道具も方法もありません。力と根性で無理矢理チェーンソーを押し込み、削り節ならぬ削り粉をモウモウと出しながら、刃を8本交換した挙句にようやく巨竹の根株を撤去できたのでした。

竹は、若芽がタケノコとして食用になり、葉っぱで食べ物を包んだり、抗菌成分を抽出したり、竹炭にしたり、竹酢液を採取したり、資材としての利用だけでなく、ありとあらゆる活用方法が見いだされています。では、巨竹の根株、または根板、これに価値はないのでしょうか。そんなところの竹根とは違うと思いますが、どうでしょう。あまりの硬さに悪態をつきながら切断作業をしたのとは裏腹に、その根株を捨てるのが惜しくなって根の展示コーナーの片隅に運びました。いつの日か、竹材のさらなる活用法が見出される事を願っています。なお、切断中の根株の写真は植物園HPのブログ2015.9.12でご覧になれます。連結した根株の厚さと硬さをぜひどうぞ。.....

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士課程修了。新潟市のらう造景（旧後藤造園）に入社、後藤雄行氏に師事する。現在は筑波実験植物園の技能補佐員。屋外エリアの管理と教育普及に携わる。樹木医、森林インストラクター。

林業遺産紀行 第4回



南伊豆に遺る岩樟園クスノキ人工林について

鴨田 重裕 (かもだ しげひろ、東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林樹芸研究所)

はじめに

森を見てプラスチックの原料を想う人はほとんどいないであろう。もちろんその感覚は間違ったものではない。しかし、かつて人類はクスノキから樟脳という精油成分を抽出してプラスチック製造の原料としていたことも事実である。人類には知恵の集積があり、様々なものを自分たちの生活の質を高めるために活用してきた。森林も然りで、私たち人類は様々な森林資源を活用してきたし、現代においても森林資源を木材以外の用途でも活用している。樹芸研究所に遺るクスノキ林もまた木材以外の用途、すなわち樟脳生産のために植えられ、その役割の終焉とともに放置され今に至るといって、まさに林業遺産というのに相応しい。

クスノキ林と樟脳のこと

伊豆半島最南端に位置する東京大学演習林樹芸研究所には、1908年から岩科村（現松崎町）の渡辺平四郎氏が樟脳生産のために植林した岩樟園クスノキ林が遺っている。樟脳は、人類が初めて手にした熱可塑性合成樹脂であるセルロイドの原料として重要であった。当時日本は日清戦争の結果クスノキが多い台湾を領有し、内地と合わせて世界最大の樟脳生産国となっていた。1899年に台湾樟脳専売制が施行されて樟脳価格が高騰したことを背景に、全国にクスノキ造林ブームが興った。1903年には内台共通樟脳専売制が施行され、樟脳は国策として重用された。しかし、1920年代にはマツ精油の α -ピネンを原料として安価に樟脳を合成する方法が開発され、天然樟脳はシェアを低下させた。1950年代にはセルロイドの高い可燃性が問題とされ、安全性の高いセルロースアセテートなどに取って代わられた。樟脳専売制が1962年に廃止され50年以上経つ今日では樟脳もその専売制も忘れ去られようとしている。クスノキ由来の天然樟脳を追い越したマツ精油であるが、それすらも

現代においては主流ではなくなったことは想像に難くないであろう。現代では製紙工業の副産物であるテレピン油が α -ピネン、 β -ピネンの供給源となっており、これらピネンからゲラニオールやリナロールなど様々なテルペン系香料が製造されている。普段何気なく口にしたり、身に纏ったりする香料の多くが森林由来であることは存外知られていない。

岩樟園クスノキ林近況報告

100年生のクスノキ林を20m×20mの方形区を区切って皆伐し、その後の様子を観察している（写真-1）。萌芽する樹木も老齢になるとその能力が低下すると言われるが、100年生のクスノキはよく萌芽し、よく伸びておりその様な衰えはうかがえない。もう一つ、この試験区の重要な要素の一つが、シカ柵などで試験区を保護していないという点である。2016年現在、樹芸研究所を含む南伊豆一帯では、シカやイノシシの影響が顕著であり、現に試験区にはシカの侵入が確認され、多くの林床植生に食痕が認められる。それらの傍らで、クスノキの萌芽枝は食害を免れて、スクスクと育っている。



写真-1 小面積皆伐を行ったおよそ100年生のクスノキ林

私たちはシカやイノシシの影響下での森林経営に獣害耐性の強い樹種の活用を提案したいと考えている。クスノキはその有力な候補の一つである。現在、伐採木から合板を製造してその性能試験を進めている。

林業遺産の教育利用について

クスノキ林に限った話ではないが、人類は自分たちの都合で自然に対して様々な改変を加えたり、また自分たちの都合でそれらを放棄したりしてきた。この岩樟園クスノキ林という林業遺産はこの様な人の営みの典型的な例であり、人の業を振り返るよい教材となる。人が森林（自然）に甚大な影響を与える以上はその事実としっかりと向き合っ、それを踏まえて今後自然とどう向き合うべきかを考えなくてはならない。そのきっかけとなるような意義のある教材としてこの林業遺産を活用したいと考えている。この様な気づきを与えることは学生実習では予てより実施してきたことであるが、一般の方々相手となるとどこまで突っ込んだ話ができるか些かのためらいがあった。これまで何度もクスノキ林を紹介する公開セミナーを実施してきたが、この度林業遺産の指定を



写真-2 林業遺産で実施した公開セミナーの風景

受けたことで、自ずと焦点はクスノキ利用の歴史に定まり少し踏み込んで伝えやすい環境が大いに整った。一昨年、昨年と実施した市民公開セミナー（写真-2）では、林業遺産散策とクスノキ利用の説明のみならず、水蒸気蒸留による樟脳抽出実験とクスノキ葉煮汁を利用した植物染色にも大変興味を示して集中して参加いただいた。林業遺産指定の効能が顕われたと捉えている。大いに活用したい。

マレーシアプトラ大学演習林・ アイルヒタム森林保護区

田中 憲蔵 (たなか けんぞう、森林総合研究所)

今回ご紹介するアイルヒタム森林保護区 (Ayer Hitam Forest Reserve, 3° 00' N, 101° 38' E) は、マレーシアのクアラルンプール首都圏に唯一残された低地熱帯雨林です (写真-1)。熱帯雨林気候のため明確な雨季乾季は無く、年降水量が 2700mm、平均気温は約 25.3℃です。1906 年に森林保護区に指定された際は面積が約 4300ha ありましたが、この数十年で急速に開発が進み、現在はわずか 1248ha に縮小しています。セランゴール州が森林を所有していますが、1996 年からマレーシアプトラ大学の演習林として 80 年間の長期契約で貸し出されています。森林の植生は林冠をフタバガキ科樹木が優占する低地フタバガキ林に分類されています。しかし、1930 年代から数度の択伐を受けオオバギなどが優占する二次林の割合が増えています。最高地点の標高は 233m で、山頂付近まで択伐が入っているため、直径 1m を超える大木はかなり少なくなっていますが *Hopea sulcata* など絶滅危惧種 (IUCN 基準、Critically Endangered) に指定されているような希少な樹木も観察出来ます。チェンガル (*Neobalanocarpus heimii*) など一部の有用樹は絶滅したと考えられていま

すが、それでも樹木が約 370 種、その他の高等植物が約 120 種報告されています。哺乳類もイノシシやサンバー、ベンガルヤマネコ、ブタオザルなどが生息しています。また、急速に周囲の森林が破壊されたため、マレートラなど大型の肉食獣も逃げ込んでいましたが、2000 年頃からは姿が確認されておらず絶滅したものと考えられています。マレーバクやヒョウについても、個体数が非常に減少し、すでに絶滅した可能性もあります。また、両生類や爬虫類に加え (写真-2)、鳥類も約 200 種が確認されており、多くが保護対象種です。

教育活動と先住民による利用

アイルヒタムの森は大学キャンパスから車で 20 分ほどの位置にあるため、学生実習や調査研究のため活発に利用されています。特に林学部学生は、泊まり込みで間伐や植物・土壌調査などの実習を行っています。また、卒論や修論の調査地に選ばれることも少なくありません。以前は、テントでの寝泊りが主流でしたが、現在は林内に宿舎が完成し利用されています (写真-3)。大学では、研究成果の発信にも努めており、当森林で得られ



写真-1 保護林の外観。手前は二次林で奥にフタバガキ林に覆われた山頂 (標高 233m) が見える。



写真-2 トゲヤマガメ (*Heosemys spinosa*)。右は先住民が食用に丸焼きにしている。個体数減少によりワシントン条約附属書 II に掲載されている。



写真-3 森林内に建てられた演習林宿舎

た様々な成果を論文集にまとめ *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science* 誌で過去3回特集号が組まれました。また、樹木や鳥類については、一般向けの図鑑も作成されています。

州有林であるため、一時は一般市民が自由に入林出来ましたが、マナーの問題などから現在は制限されています。しかし、オランアスリと呼ばれる伝統的にこの森林で狩猟採集を行っていた先住民に対しては、森林利用が許されています。アイルヒタム周辺のオランアスリはトゥムアン (*Temuan*) 族で、400年以上前からこの森林に依存した生活を送って来たと考えられています。現在は、100世帯ほどが近くの村に定住していますが、タケノコや果実、薪などの採取、イヌを使った狩猟、漁労などが行われ(写真-2)、出作り小屋も林内に作られています。

森林劣化の危機

マレーシアの森林保護区は日本の国立公園のように森林を完全に保全する場所ではありません。森林保護区はあくまで伐採などの活動を行うための生産林ととらえられています。そのため容易に保護区指定が解除され、開発が行われてきました。アイルヒタムの森も、この2、30年で急速に宅地開発が進み、元の面積の3分の1以下に縮小しました。さらに2000年ごろには、林内で住宅開発業者が無許可で造成を始め、大学関係者などの抗議で中断されました。しかし、表土がブルドーザーで完全にはぎ取られ荒廃したため森林の修復が求められました。林学部と森林総合研究所が協力し、様々な郷土樹種



写真-4 左は宅地開発で破壊された様子。右は郷土樹種を植栽し10年経過した森林。



写真-5 2014年に起こった森林火災による大規模枯死。尾根部の個体の多くが枯死している。

を植栽する実験を行い、樹種特性の解明や適切な植栽手法の開発などを行った結果、植栽後10年が経過した現在では、成長の良い樹種では樹高10mを超え、開花結実も観察されるようになってきました(写真-4)。また、林床には、植栽木以外にも鳥散布樹種を中心に芽生えも見られます。今後も森林の回復過程を明らかにするため、樹木の成長などのモニタリングが続けられる予定です。また、チェンガルなどアイルヒタムから絶滅した樹木の植栽も行われています。しかし、周囲の都市化による森林内の乾燥化などにより、林縁部分での山火事の頻発や大木の枯死など森林の健全性が損なわれている兆候も見られ(写真-5)、断片化した森林の適切な保全技術の開発が求められています。

木質バイオマス発電により動き出す 林地残材・切り捨て丸太 —宮崎県における「林地残材」利用の事例—

横田 康裕 (よこた やすひろ、森林総合研究所九州支所)

シリーズ
うごく森 28

1. はじめに

皆さんは、林地残材、切り捨て間伐材という言葉から、どのような印象を持たれるでしょうか。木材生産活動や森林管理活動の残渣として、利用されることなく山に放置された枝葉や端材、伐倒木といったもの、あるいは、ゆっくりと時間をかけて朽ちて土へと還るといった静かな物質循環でしょうか。ごく最近までは、こうした静的なイメージが大勢を占めていたのではと思います。しかし、今、林地残材や切り捨て間伐材は、我々の日常生活に必要なエネルギー源の一つとして注目され、これを利用しようとする熱いビジネスにより、「うごき」始めているのです。

始まりは、2012年7月、「電気事業者による再生可能エネルギー電気の特別措置法」に基づき「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」(FIT制度: Feed-In Tariff)が施行されたことによります。これは、2011年3月に東京電力福島第一原子力発電所で発生した人類史上最大の事故を踏まえ、原子力依存を脱し、再生可能エネルギー利用を推進しようとするものです。FIT制度は、再生可能エネルギー源(太陽光、風力、水力、地熱、バイオマス)を用いて発電された電気を、一定の期間、固定した価格で電力会社が買い取ることを義務づけており、買い取り期間と買い取り価格は、再生可能エネルギー源の種別、規模等に応じて経済産業大臣が定めることになっています。このうち、バイオマスには、非木質(バイオガス、非木質系廃棄物)と木質(未利用木材、一般木材、リサイクル木材)があります(経済産業省webサイト; 林野庁、2012)。

木質バイオマスのうち、「未利用木材」は山林から出てくるもので、間伐材、および持続的な経営がおこなわれている森林における主伐材とその伐採により発生する端材や枝葉が含まれます。「一般木材」は、製材所等の木材加工施設から出てくるもので、製材残材が含まれます。「リサイクル木材」は、居住区から出てくるもので、建築資材廃棄物が含まれます(図-1)。この中で「未利

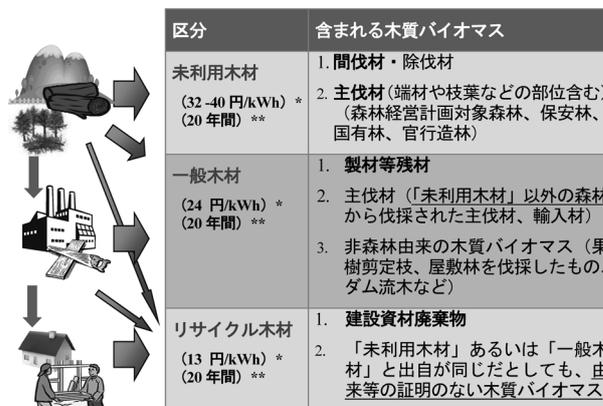


図-1 木質バイオマスの区分

資料: 経済産業省 web サイト、香月(2012)を元に筆者作成。

注*: 電気の買取価格(2015年度)(税抜き)

注**: 電気の買取期間(2015年度)

用木材」の収集コストが一番高いため、それを使って発電した電気の価格が一番高く設定されています。なお、山林で発生する木質バイオマスは、その全てが「未利用木材」(32円)となるわけではなく、証明がないものは「一般木材」(24円)や「リサイクル木材」(13円)に区分され、それらを使用して発電された電気の売電価格は安く設定されています。

FIT制度開始後、高い電気買い取り価格に触発され、各地で「未利用木材」を主燃料とする発電事業が検討されています。既に政府から事業認定を取得したもので、全国で62件、その発電設備容量は合計約39万kWとなっています(2015年7月末時点)(経済産業省webサイト)。また、計画中の発電事業を加えると、2014年4月時点で事業数は81件、木質バイオマス需要は400万生トン(注1)を超えるとの推計もみられま

注1) 生トンとは、伐採直後(未乾燥)の木材の重さを表しており、宮崎県では含水率50%とされています(宮崎県、2013)。

す（安藤、2014）。この数値は、2012年の日本全体の素材生産量の2割以上に相当します。このことから、「未利用木材」の安定的な確保・流通はFIT制度において重要な課題とされています。

今回は、林地残材や切り捨て間伐材といった「未利用木材」の流通構造と、それを安定的に流通させるためにどのような取り組みが行われているのかを紹介し、それをふまえて安定供給を確保するための課題について考えてみたいと思います。具体的な事例としては、木質バイオマス発電事業への取り組みが積極的に進められ、その原燃料の集荷が活発に行われている宮崎県の事例を紹介します。同県では、「未利用木材」を主に使用する発電事業が既に3件稼働しており、その発電設備容量合計31,820kWは、全国でも最大です（2015年7月末時点）（経済産業省 web サイト）。

2. 宮崎県における木質バイオマス資源

宮崎県（2010）では、木質バイオマス資源を、その発生場所により、大きく「林地残材」、「製材工場等残材」、「建設発生木材」に分類しています。ここでいう「林地残材」には、丸太を生産する際に発生する端材や枝葉といった一般的によく使われる意味での林地残材だけでなく、切り捨て丸太も含んでいます。区別するために本稿では括弧付きで記述することとします。なお、この「林地残材」は、全量がFIT制度でいうところの「未利用木材」になるわけではなく、証明がないものについては「一般木材」や「リサイクル木材」となります。

この3分類のうち、「林地残材」は、発生量が最も多く2013年時点で年間約79万生トン、一方「製材工場等残材」は約35万生トン、「建設発生木材」は約7万生トンです（藤掛、2015）。さらに利用状況を見ると、「製材工場等残材」と「建設発生木材」ではそれぞれすでに約90%、約70%が利用されているのに対し、「林地残材」の利用率は6%程度であるため、今後の利用余地が大きいといえ、宮崎県も大きな期待を寄せています。しかし、利用率が低いのは、収集運搬コストが高いためであり、発電事業で「利用可能な量」は、発生量よりも少ないと考えられています。

3. 「林地残材」の流通構造

3.1. 「林地残材」の商流

「林地残材」の売買については、まず「出荷者」が「集

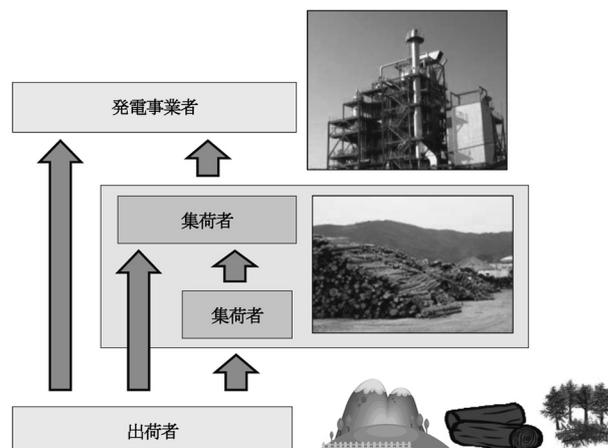


図-2 宮崎県における「林地残材」の商流（基本的な流れ）

荷者」に材を販売し、「集荷者」がそれを「発電事業者」に販売する流れが基本パターンとなっています（図-2）。出荷者と発電事業者が直接取引したり、複数の集荷者を経由したりすることもあります。各地域での商流は、その地域の既存の木材流通や発電事業者と地元の行政、業者との関係によって形成されており、既存の集荷網が活用されたり、あるいは新たな集荷網が構築されたりしています。なお、「林地残材」は、そのみを生産・出荷する者はおらず、基本的にA材やB材^{（注2）}の販売後の残余として出荷されたり、A材やB材とセットで出荷されたりしています。

「林地残材」の商流における安定供給への取り組みについて、以下簡単に紹介したいと思います。

まず、既存の集荷網の維持・強化です。これは、発電事業者や集荷者がまず行ったことです。既存の取引を重視する出荷者の慣行や新規取引に慎重な出荷者の性向から、限界はあるとはいえ、ある程度効果があるとのことです。なお、既存の取引の重視については、FIT開始前からの取引だけではなく、FIT開始後に開始された取引でも信頼関係ができあがったものはあてはまるとのことです。

次に、量・価格に関する安定取引協定についてです。これは、出荷者－集荷者－発電事業者の間で発電事業開

注2) A材は通直で曲がりが少ない製材向けの材、B材は小曲がり材等の集成材や合板向けの材、C材は大曲がり材・短尺材等のチップや木質ボード向けの材、D材は従来殆ど搬出されていなかった小径木・根元部・梢端部等の燃料向けの材とされています。

始前に締結されてきたものです。ただ、事業開始後は、協定に頼るだけでなく、協定外の取引も増加しています。例えば、発電事業者は、出荷者との直接取引に乗り出したり、事前に協定を結んでいなかった新規出荷者とも積極的に取引をしたり、新規出荷者の掘り起こしを行ったりしています。

出荷者、集荷者、発電事業者の間で安定供給を促進するための協議会が各地で作られています。協議会には、県行政のはたらきかけにより県内の5つの流域単位で設置されたもの、市町村行政や発電事業者等地元主導で設立されたものがあります。これらの協議会の活動実態は様々で、積極的な需給調整を行っているものは今のところないものの、発電事業者、集荷者、出荷者間での情報・意見、双方のニーズや要望等の交換の促進に役立っている事例もあります。また、集荷者・出荷者がFIT制度をより理解するための勉強会の場を提供する事例もあります。

「林地残材」の中では、通常は、収集・運搬コストが相対的に安い切り捨て丸太が好まれますが、より多くの原燃料を確保するために端材や枝葉を買い取る業者もみられます。森林所有者・素材生産者の方でも、木材生産後の林内を整理する上で、端材・枝葉の引き取りを希望する者は少なくありません。端材・枝葉を引き取ることで、「林地残材」の取引件数を増やしている発電事業者の事例もみられます。

上記のような取り組みが行われつつも、最終的には価格を重視する出荷者も多いため、原燃料の集荷が本格化していく中、「林地残材」の買い取り価格が上がっています。FIT開始当時の2012年頃は、「未利用材」に該当する丸太の価格（加工施設着価格）は、1㎡当たり5,000～6,000円でしたが、最近では7,000円台半ばとなっています。こうした価格の引き上げに対応するために、発電事業者・集荷者は、様々なコスト削減に取り組んでいます。

また、FIT制度の要件として、発電事業者は、発電に使用する原燃料を、認定をうけた出荷者・集荷者から調達することとなっています。また、前述のように、証明書がない原燃料は、「未利用木材」ではなく、「一般木材」や「リサイクル木材」として扱われ、更に、証明書のない原燃料が少量でも混ざりこんでしまうとそれを含んだひとかたまり全量が「リサイクル木材」扱いとなってしまう、売電収入減につながります。これについて出荷者、

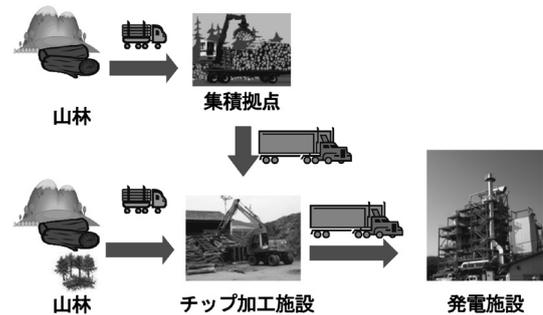


図-3 宮崎県における「林地残材」の物流（基本的な流れ）

特に中小の素材生産業者や自伐林家の認識は限定的であるため、各地域で勉強会・座談会が開催され、認定出荷者・集荷者の増加と普及啓発が取り組まれています。

3.2. 「林地残材」の物流

「林地残材」の輸送については、山林から直接あるいは集積拠点を經由してチップ工場に運ばれ、チップ化したものが発電所に運ばれる流れが基本パターンとなっています（図-3）。集積拠点を經由するかどうかは、山林とチップ工場との距離等に依ります。

物流における安定供給への取り組みとして、出荷者の利便性を向上させる事例がみられます。集積拠点で24時間受け入れを行う事例、A材～D材を無選別で受け入れる事例、発電事業者が山側で積極的に調達する事例などがみられます。

A材～D材の無選別での受け入れについては、発電事業者が発電施設だけでなく製材等の加工施設を有している場合、敷地内の土場でA材からD材まで全て受け入れ、そこで選別するという取り組みです（図-4）。このことにより、出荷者は、選別のための手数料を払うとしても、選別する手間が省けるほか、選別のための広い山土場が必要なくなります。

発電事業者による山側での積極的な調達については、発電事業者が中間土場を自前で設置してそこで随時受け入れたり、山土場で原燃料を受け入れたりしています（図-5）。枝葉については山土場でチップ化して発電所に運搬しています。山土場引き取りや中間土場引き取りの場合、それ以降の輸送は発電事業者が行います。枝葉のチップ化についても、発電事業者が移動式破砕機を差し向けています。山側での販売は原燃料価格が低くなるとはいえ、輸送機械の台数が限定的であったり、原燃料専用の資機材を保有していなかったりする出荷者にとっては、こうしたサービスは魅力的です。

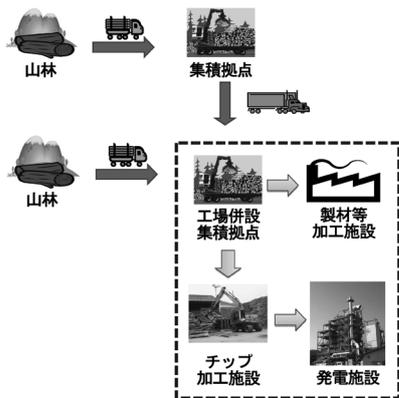


図-4 A材～D材の無選別の受け入れ

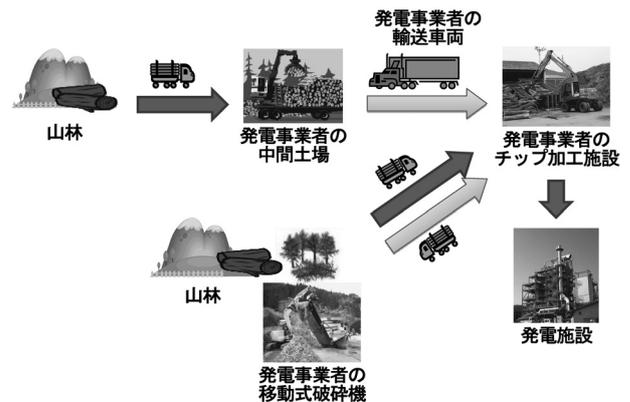


図-5 発電事業者による山側での積極的な調達

4. 「林地残材」の安定供給に向けた課題

前述のように、宮崎県では、林地残材の安定供給に向けていくつもの取り組みがみられます。最後に、これらを踏まえて、林地残材の安定供給の課題を整理したいと思います。まず、大きくは林地残材の「賦存量」の増大と、「利用可能量」の増大という2つの方向の取り組みがあります。賦存量については、森林管理の促進や林業振興を通じてD材の発生量を増大させることがあげられます。利用可能量については、採算性の向上、出荷者・FIT対象林分の拡大、流通体制の整備等を通じて、林地残材の利用可能率を上げることがあげられます。

採算性を向上させるにあたっては、まず、搬出コスト、輸送コスト、加工コストなどのコスト、とりわけ利用が低位にとどまっている端材・枝葉に関わる各コストを低減させる方向と、「未利用木材」要件のクリアあるいは発電事業者・集荷者側での取引価格の引き上げ等により「林地残材」価格をより高くする方向があげられます。出荷者・FIT対象林分の拡大については、出荷者・森林所有者の利便性の向上と利益の増大、認定出荷者・集荷者となるための手続き支援、森林経営計画の樹立の促進や伐採にかかわる証明書等の作成支援、普及啓発等があげられます。

流通体制の整備については、出荷者、集荷者、発電事業者それぞれの情報・意見、ニーズや要望を交換することにより利用可能なものをあますことなく出すことがあげられます。

5. おわりに

「未利用木材」を利用する発電事業によって、木材の用途拡大や価格の上昇、それに伴う林業・林産業者の収

入増加、「林地残材」の有効利用がすすむこと等が期待されています。さらに循環型社会の実現や地域の自立を促進する可能性も秘めているとされています（伊藤、2012）。FIT制度により、「林地残材」が「うごく」ことで、温暖化緩和という地球的な課題、再生可能でリスクの低いエネルギーの確保という日本社会の課題、森林管理の促進・林業振興・地域振興という地域社会の課題が達成されることを願っております。

引用文献

- 安藤範親 (2014) 未利用材の供給不足が懸念される木質バイオマス発電—地域別需給推計と展望—。農林金融、2014・6: 2-16.
- 藤掛一郎 (2015) 木質ペレット原料等需給状況調査結果の報告。木質バイオマスの安定確保に向けた連絡会議（第1回）配付資料、6pp.
- 伊藤幸男 (2012) 新たな地域づくりと木質バイオマスの普及に関する提言。森林技術、846: 2-7.
- 経済産業省 web サイト (http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/index.html)。 (2015年12月8日閲覧)。
- 香月英伸 (2012) 固定価格買取制度における木質バイオマスの証明制度。森林技術、846: 13-15.
- 宮崎県 (2010) 宮崎県木質バイオマス活用普及指針。192pp.
- 宮崎県 (2013) 宮崎県バイオマス活用推進計画。29pp.
- 林野庁 (2012) 木質バイオマスと固定価格買取制度について。林野、63: 4-7.

航空レーザー測量で山の変形をはかる

村上 亘 (むらかみ わたる、森林総合研究所水土保全研究領域)

航空レーザー測量は航空機やヘリコプターからレーザーを照射し、地上を計測する方法です(図-1)。計測されたデータから地面を計測したデータのみを選別し、パソコンソフトウェアで図-2に示すような陰影図(特定の方位、入射角の光源からの光によってできる陰影を与え、対象物の形状を表現した図)などに処理することで、詳細な地面の形状を表現することができます。航空レーザー測量によりえられた地形データより作成される地面の形状は従来の調査ではわからなかった詳細な地形の形状を知ることができます。

同じ場所を複数の時期に計測した航空レーザー測量のデータを比較することで、斜面の変形を捉えることができます。図-3は2008年6月14日に発生した岩手・宮城内陸地震(M 7.1)によって崩壊が多数発生した斜



図-1 空中レーザー測量の模式図

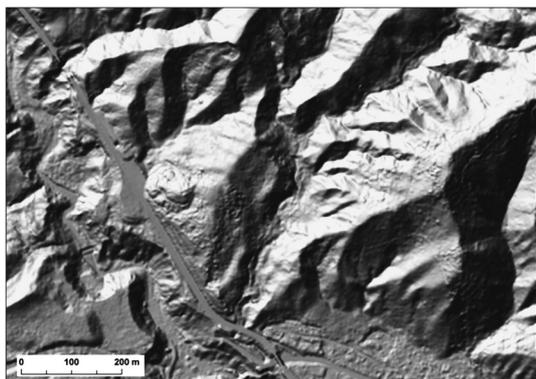


図-2 空中レーザー測量データより作成された岩手県一関市祭時大橋付近の陰影図。朝日航洋が2008年9月8日に計測したデータを使用し、ArcGIS10.2を使用して作成した。北西方向、入射角45度の光源からの光によってできる陰影に設定した。以降の陰影図も同様。

面の地震前後に計測されたデータより作成した陰影図です。地震前後の陰影図を比較すると、地震後の図では尾根に筋状の模様が見えました。この模様は、地震によって発生した亀裂であることが現地調査から確認されました(写真-1(上))。さらに、前後の図を比較したところ、この筋状の模様を境にして北西側の斜面が北西方向(図の灰色矢印)に動いていることがわかりました。データをさらに解析したところ、この亀裂を境にして北西側の斜面全体が北西方向に最大5m、垂直方向で最大2m下方に地震によって変形したことが明らかとなりました(村上ほか、2013)。

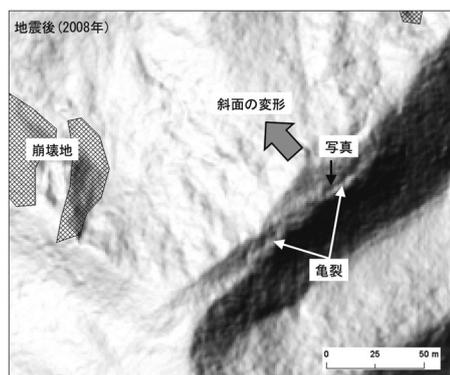
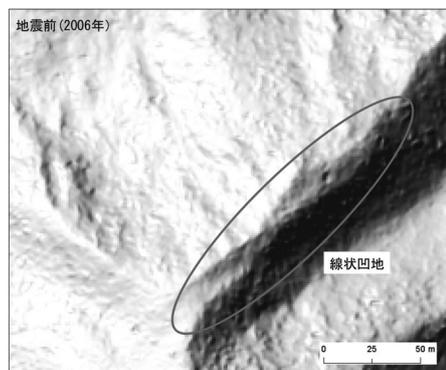


図-3 2008年岩手・宮城内陸地震前後の航空レーザー測量データから作成された陰影図。地震前(上図)より尾根に形成されていた線状凹地(灰色枠)内に亀裂(白矢印)が発生し、北西側斜面が灰色矢印方向に変形した(村上ほか、2013)。2006年の航空レーザー測量データは国土交通省東北地方整備局河川部、2008年のデータは林野庁東北森林管理局より提供していただいた。

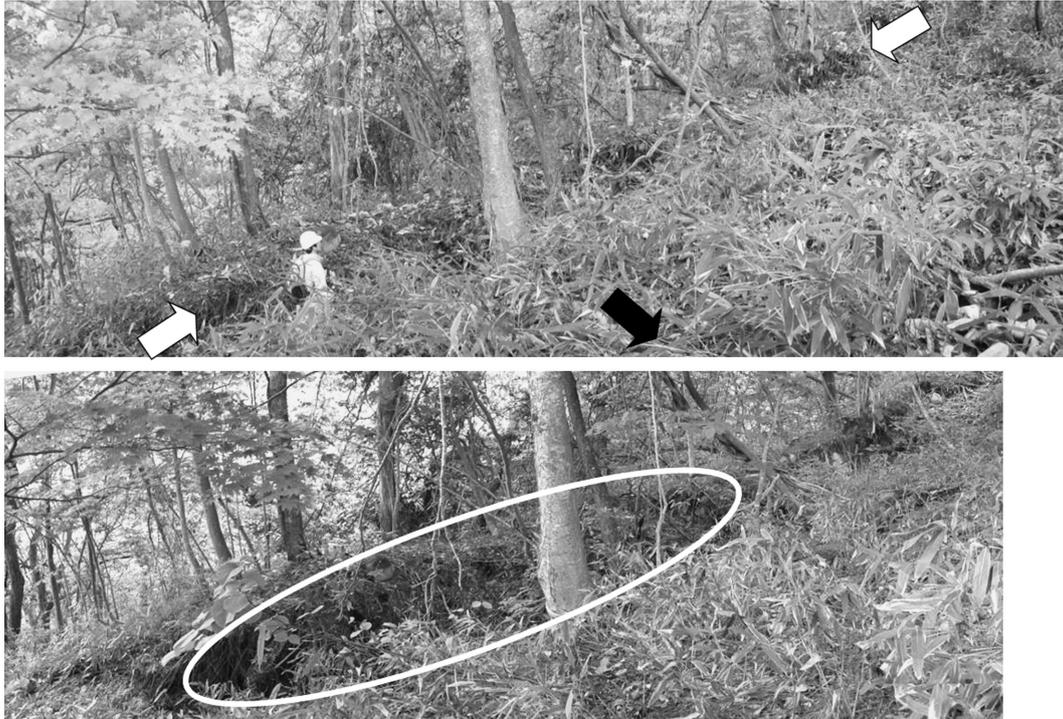
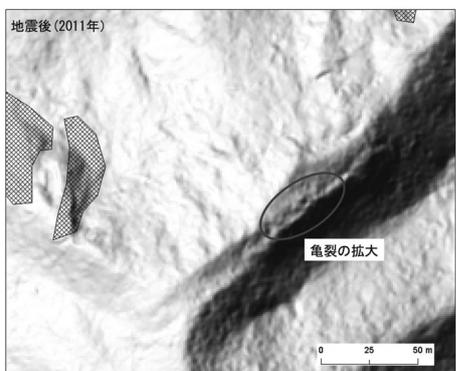
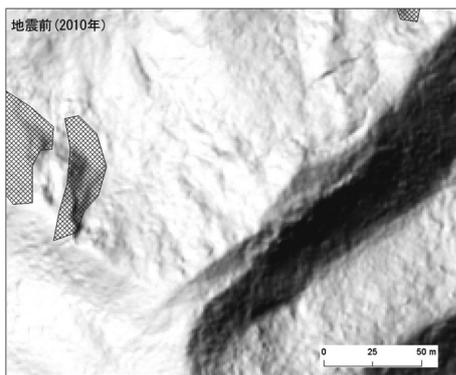


写真-1 (上) 2008年岩手・宮城内陸地震後に現地を確認された亀裂。写真の範囲では、現地調査から亀裂(白色矢印付近)を境に手前側が北西方向(黒色矢印)に水平方向で2m、垂直方向に-1mほど変形していた。(下) 2011年東日本大震災後に現地を確認された亀裂の拡大。現地調査から、白樺付近で手前側が50cmほど沈降していた。



調査地では2011年3月11日の東日本大震災(M9.0)の際にも震度6弱の揺れを観測しました。調査地では震災前の2010年と震災後の2011年にも航空レーザー測量が実施されました。図-4は東日本大震災の前後に計測されたデータより作成した図-3と同じ範囲の陰影図です。2008年の地震の時ほどの大きな変化は認められませんが、亀裂の拡大が判読され、このことは現地調査でも確認されました(写真-1(下))。このように、複数時期に計測した航空レーザー測量よりえられる地形データを比較、解析することで、将来的に崩壊につながる斜面の変形を従来よりも正確にとらえることができます。

引用文献

村上 亘・大丸裕武・向山 栄・川浪亜紀子(2013) 2008年岩手・宮城内陸地震にともなう線状凹地の拡大と斜面の重力変形、地形、34-1、p.55-67。

図-4 2011年東日本大震災前後の航空レーザー測量データから作成された陰影図。データは林野庁東北森林管理局より提供していただいた。

住民主導の災害に強い森づくり・まちづくり

三好 岩生 (みよし いわお、京都府立大学大学院生命環境科学研究科)

1. はじめに

近年、行政機関をはじめとする多様な主体によって「災害に強い〇〇づくり」という方針が、多様な局面で掲げられています。森林に関わる分野では、平成16年頃から森林・林業白書（林野庁2005）に「災害に強い森林づくり」という用語が使われて以来、多くの都道府県で同様のテーマでの事業が進められるようになりました。一方で、防災・減災のためには公助・共助・自助が必要であるという考え方が浸透してきており、住民自らの行動の大切さも強く認識されるようになってきています。このような状況の中、地域の住民が主体となり、行政や大学と連携しながら災害に強い森づくり・まちづくりを進めようとする活動事例が現れてきています。ここでは京都府宇治市の炭山地区において、平成24年に土砂災害・森林災害を経験したことを契機として、住民が主導的に行政・大学と連携しながら展開している取組みについて紹介し、その中で明らかになった取組みの要点や得られた知見について整理していきます。

2. 平成24年豪雨災害の概要と取組みの経緯

平成24年8月13日の夜から14日の朝にかけて、京都府南部地域に記録的な豪雨があり、宇治市内で死者・不明者2名、全壊家屋30戸などの被害が発生しました（宇治市2013）。宇治市北東の山間地に位置する炭山地区でも、土砂災害・森林災害の多発、水道や電気のインフラの停止など、多くの被害がありました。さらに、他地区との連絡道路が不通となって集落が孤立化し、そこに搬入された救援物資の食糧によって食中毒が発生したことからも多く報道された災害でした。

この炭山での災害の特徴は、森林における土砂災害や流木による河道の閉塞とそれに伴う氾濫が多いことであ



図-1 崩壊土砂とともに流出した多量の流木の堆積

り（図-1）、災害の後、地元住民から森林が災害に対して脆弱化していることへの不安が広がりました。そのような状況を受けて、住民組織が地域の森林行政を担当する京都府山城振興局に相談を持ちかけたことをきっかけに、地元住民組織、山城振興局と京都府立大学の共同研究が始まりました。三者は平成25年度から「災害に強い山づくり検討会議」を立ち上げ、災害時の避難行動を円滑に行うための自主防災活動と地元住民が参加した災害に強い森づくり活動の方針についての検討を開始しました。その後、各年度に検討会議を2～3回程度とワークショップ数回を開催し、現在も活動は継続しています。

3. マイ防災マップと自主防災計画の作成

災害に強いまちづくりのためには、住民が地区内の災害危険箇所や避難経路等を知ることが重要であるとの認



図-2 ワークショップの様子

識から、まず最初に「マイ防災マップ」の作成に取り組みました。「マイ防災マップ」とは、行政から提供される避難所や土砂災害警戒区域等の位置情報に、住民独自の経験や知識、地区の特性などを加味して住民自らが作成する防災マップです（国土交通省近畿地方整備局2011）。ワークショップでの検討の結果、①過去の災害発生箇所、②避難所や避難経路、③災害発生時に必要な資材や設備の位置、④森林の荒廃や整備に関する位置情報の4種類の情報をマイ防災マップに掲載することになりました。作業手順としては、まず大学と行政が既存のハザードマップ等の資料を収集した上で、それらの情報を記載した地形図を用意し、そこにワークショップ形式で住民の知見を書き加えました（図-2）。ワークショップでは多様な情報が地図上に記されるため、情報の種類ごとにレイヤーを分けながらGISで整理していきました。複数設定された使用目的に応じて情報を取捨選択して出力・印刷することで、用途の違う複数の防災マップが作成され、数回のワークショップでの修正を加えた上で、地元での報告会でその内容を説明して全戸配布しました（図-3）。用途によって複数のマップを作成したのは、過去に一枚にすべての情報を載せたマップを作成した時に、情報が多すぎて災害のような緊急時に読み取りにくいという批判を受けたからです。このような現場での応用を考えた研究では、実践を通じて多くの知見が得られます。

マイ防災マップの次に、避難行動などの指針を示した自主防災計画書の作成に取り掛かりました（図-4）。作成された計画書の記載事項は、①自主防災組織（対策本

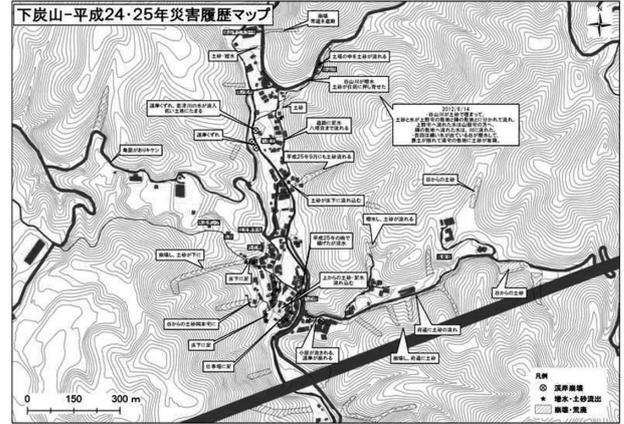


図-3 GISで情報を整理し、用途に応じた情報を選択的に記載した防災マップの一例

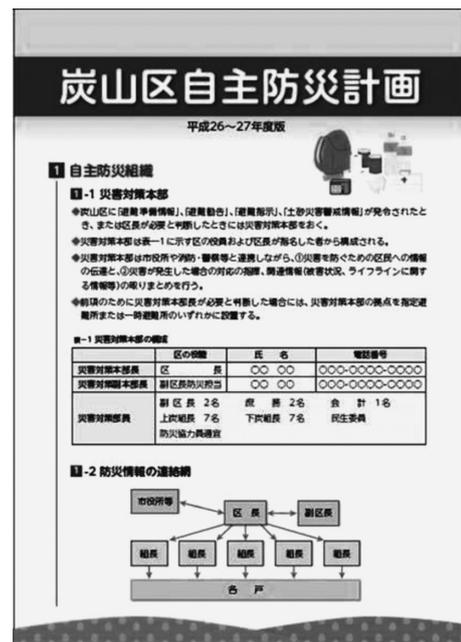


図-4 作成された自主防災計画書の表紙

部の構成、連絡網)、②避難に関する情報（避難所、避難の判断基準等）、③災害時の避難行動様式の一覧表、の三点に絞り込まれました。既存の多くの手引書や先行事例に記載されている防災訓練や要援護者対策等に関する事項は省きました。これは、災害の緊急時にも読み取りやすいシンプルな計画書の作成が住民から強く望まれたからであり、災害を経験した住民が災害時の緊急性や混乱しやすい状況を熟知していることを反映したものでいえるでしょう。この計画の策定過程において、いくつかの重要な知見が得られました。既往の手引書等で扱われている内容には、災害時に必要な情報と平常時に災害に



図-5 住民による森林管理の様子



図-6 小学校での学習会

備えて準備すべき事項、あるいは、住民全員が必要とする情報と主に地区役員が把握しておくべき情報などが混在しており、いくつかの属性で分類・整理することが可能です。また、一般的な自主防災計画書には災害対策に関するルールの記録としての役割と、住民の災害対応に関する広報書としての役割があることなどもわかってきました。今後はこれらの情報を、それぞれを必要とする場面や用途に応じて分類し、適切に整理・活用していく方法が求められると考えられます。

4. 災害に強い森づくりの取組み

前述のように、平成24年の炭山での災害では、森林斜面の崩壊、流動化や流木による被害の拡大が多くみられました。そこで、住民組織が周囲の山林の地権者の協力を得ながら森林整備を進める取組みがはじめられました。炭山区には約450haの森林があり、その約60%が広葉樹林です。災害に強い森づくりの取組みは、この森林の現状や荒廃の状況の調査から始められました。この調査は主に大学が担当し、野生動物の食害が多いこと、ナラ枯れ等による枯死木が多く分布していることや、全体的に立木密度が高く林床が暗いため下層植生が貧弱な傾向があることなどが明らかになりました。また、平成24年の豪雨災害時に崩壊が発生した斜面を分析したところ、主に地形要因が関係することなどがわかりました(長島ら2014)。そこで、災害に強い森づくりの方針としては、崩壊が発生しやすい谷部や急傾斜地から重点的に管理することとして、倒木や流木となる可能性の高い木を伐採し、深根性で土壌緊縛力の高い樹種への転換を誘導していくことなどが提案されました。

炭山区には、「炭山里山の会」という森林整備を行っている団体があります。地区内の山林の一面を地権者から許可を得て、間伐や小面積皆伐、植栽などを行い、伐採した木は薪として利用しています。また、自主防災活動の一環として、道路に張り出して倒れそうになっている樹木の伐採なども行っています(図-5)。会員は住民や関係者の有志であり、職業として森林作業をした経験を持つ会員はいませんが、数名はチェーンソーなどの講習を受けて、伐採などの作業を自ら行っています。地元の小学校などと連携して環境教育・防災教育も行っています(図-6)。これらの取組みは、森林災害を防ぎ、避けるためには、森林のことをよく知ることが重要であり、森林の荒廃を防ぐためには積極的な管理が必要であるという認識に基づいたものです。小規模ながらこのような活動が継続し、一定の成果をあげるためには、住民の粘り強い意志が必要であることは当然ですが、行政や大学の支援も欠かせません。行政は災害に強い山づくり事業の一環として、住民を対象とした森林整備講習会を毎年開催しており、学習会には大学の専門家が講師として参加しています。その一方で、災害に直結する道路に張り出した樹木の伐採などには、まだ課題が残されています。道路に沿った林地の地権者は様々であり、地権者が必ずしもこのような活動に協力的であるとは限りません。また、法面上部のような高所での伐採には高い技術を有する専門家の作業が必要になることもしばしばであり、そのためには経費も必要になります。これらの課題を解決するためには、法令的な背景も含め、森林管理の新しい仕組みと仕掛けが必要であると考えられます。

5. おわりに

ここで紹介した事例の他にも、住民主導の自主防災活動が各所ではじめられています。これまでの自主防災活動は、消防組織などを基盤としたものが多く、消火訓練や水防活動の訓練などが主として行われる傾向にありました。しかし、近年では自然災害の中でも風水害による被害が大きい状態が続いており（内閣府 2014）、筆者の関わる範囲でも土砂災害や森林災害を念頭に置いた自主防災活動を開始する地域が多くあります。それに対し、既往の自主防災活動の手引書の類では、土砂災害や森林災害に関する記述が乏しく、また土砂災害を被りやすい山間地集落では孤立の可能性があったり、過疎化・高齢化によって防災のためのマンパワーが不足していたりすることも多いため、自主防災活動を展開する上での付加的な課題もあります。これらの課題に対処するためには、土砂災害や森林災害の特性を踏まえた自主防災活動の在り方についての議論を深める必要があります。さらに、森林の管理が十分でないことも災害を助長する要因となることが指摘されており（太田 2006）、森林管理に携わる人口が減少傾向にある中で、森林管理が防災のために必要不可欠であることを前提とした議論や取組みが強

く求められているといえるでしょう。

引用文献

- 国土交通省近畿地方整備局（2011）マイ防災マップ・マイ防災プラン作成の手引き. 35pp
- 長島啓子・三好岩生・田中和博（2014）京都府南部豪雨による宇治市炭山地区の山腹崩壊の分布と特性. 第125回日本森林学会大会学術講演集 264
- 内閣府（2014）防災白書（平成26年度版）. 日経印刷 310pp
- 太田猛彦（2006）土砂災害と今後の森林管理のあり方. 森林科学 47：33-38
- 林野庁（2005）森林・林業白書. 全国林業改良普及協会 283pp
- 宇治市（2013）平成24年8月13日・14日京都府南部地域豪雨にかかる災害対応及び災害復旧計画について. (https://www.city.uji.kyoto.jp/cmsfiles/contents/0000011/11298/saigaitaiou_fukkyuukeikaku.pdf)

ドイツの森林・林業から学ぶもの

藤森 隆郎

(ふじもり たかお、元森林総合研究所)

はじめに

私は2015年7月に2週間にわたってドイツの大学、研究所、森林・林業の現場を視察し、向こうの研究者やフォレスターなどと議論する機会を得た。その内容は非常に中身が濃く、学ぶべきものが多いので、それを考察したい。なお、この訪問には北海道で「森と木の技術と文化研究所」を経営する内田健一氏も同行した。

今回のドイツ訪問に至る経緯は次の様である。私の著書(Fujimori, 2001)に強い影響を受けたというドレスデン工科大学林学部のWagner 造林学主任教授が2014年5月に2週間あまり日本を訪問し、森林総研、大学、林業地帯などで意見を交わした(藤森, 2015)。そして今年私たちがドイツを訪問して、ワグナー氏やその研究室の方々にドイツの東部から西部、そして最後はオランダまでの大学、研究所、森林管理局、民間会社、そして林業の現場を案内していただき、様々な議論をする機会を得た次第である。

今回の訪問で強く感じたことは、森林・林業のあるべき姿へのドイツの重厚かつ柔軟な考え方であり、それを醸成し実践する州と国の行政、研究、教育、普及のしっかりとしたシステムである。そしてそれが森林所有者や市民・国民の声や希望に沿うためのものであることを明確にしていることである。もう一つは、ドイツの目指している森林・林業のあるべき姿(特に目指すべき森の姿)の考え方が、私の考えてきた持続可能な森林管理の考えと基本的に一致していることである。現在のドイツの森林・林業は、恐らく日本が最も参考にすべき進んだものと思われる。

ワグナー教授の日本での講演など

ワグナー氏が日本の森林総研で講演した内容は藤森(2015)に紹介したが、その骨子は次の様である。持続

可能な森林管理の枠組みに科学的根拠を与えるために、森林生態系のプロセスの機能と、生態系機能の中で人間社会にとって有益な生態系サービスとの関係をよく整理して理解することが重要である。森林の構造の特色は森林に関心のあるあらゆる立場の人たちにとってわかりやすいものであり、研究者は構造と機能との関係を明らかにすることが大事である。ドイツでは森林の多面的機能の発揮のために構造の豊かな森林への誘導を目指しており、その裏付けとなる研究を重視している。

ワグナー氏が日本を視察した感想として述べたことの中で大事と思われることは次の様である。ワグナー氏は「日本は生物多様性が高いが、その特色が林業に活かされていない。本州以南では林業はスギ、ヒノキ、カラマツに偏っており、林業家も研究者もスギなどの単純人工林と生物多様性を別々にとらえているように見える。日本の生物多様性の研究が森林管理にどう活かされているのかが分からない」ということを強調した。これは基礎研究と応用研究のつながりを問うものである。またワグナー氏から、「日本の森では、観光地を除いて一般市民の姿を全く見かけない。一般の人々と森とはかけ離れているように見える。それはなぜなのか」という問いかけがあった。この問いかけは非常に重たいものであるが、今回ドイツを視察してその背景が良く分かった。

ドイツでの私の講演

ドレスデン工科大学の林学部は1811年にあの有名なコッタが創設したドイツ最古の伝統ある林学部である。その林学部の本部がある建物はコッタが建てた最も古い建物(写真-1)であるが、私はその1室で「日本の森林・林業と持続可能な森林管理」というタイトルで1時間講演する機会を得た。この講演で話し、質疑を交わしたことがその後の視察を通してドイツの人たちとの議論に



写真-1 ドレスデン工科大学・林学部の本館（右手前の四角の建物）
19世紀の中頃にコッタによって建てられた伝統ある建物である。この建物の1室で講演をした。

役立った。受講者は教授など教師陣が約10人、大学院の学生が約30人であった。

内容は、前半は日本の森林・林業の特色で、後半は持続可能な森林管理の生態学的根拠に基づいた理論的枠組みについてであった。日本は世界有数の森林国であるにもかかわらず、木材の自給率は先進国の中では異例の30%弱という低さであり、その原因を追究しなければならないことを述べた。そして日本の政策、研究、普及などの問題点に触れ、例えば官僚システムから技官も2、3年おきに移動するために、ドイツなどのフォレスターのような技術のリーダーがおらず、技術の蓄積、進歩が得にくいこと、現場に即した政策や研究の展開が弱いことなどを指摘した。

一方、日本は400年ぐらい前から地域の特性に応じた民間の高い人工林技術が醸成されてきたことを評価し、それを新たな時代に向けていかに近自然林業と融和させていくかが新たな時代に向けて重要であることを述べた。日本は130年ぐらい前からドイツ林学を学んだが、第2次大戦以降はその交流は途絶えた。日本がかつて学んだ古い林学とは異なり、ドイツは1990年代以降、新たな時代の持続可能な森林管理に向けた理論と実践が進んでいるようであり、それについて改めて学びたいことを述べた。それとともに私が考えている持続可能な森林管理の理論の基本はドイツの多目的、近自然林業に通じるものであることを話した。

質問は多く出て40分にも及んだ。質問は多岐にわたったが、言葉のハンデイによりどれだけ答えられたかは疑問であった。しかし講演が終わりワグナー氏は「成功だった」といってくれ、また教室のスタッフは内容に興味があったからあれだけ多くの質問が出たのだと言ってくれた。

訪問先の概要

初日にワグナー氏が勤めるドレスデン工科大学林学部をワグナー氏に案内してもらった。この林学部はドイツの高級森林官を目指す者が学ぶドイツの4つの総合大学林学部の一つである。その後林学部の近くにあるタガント演習林を案内してもらった。そこでは様々な試験がなされていたが、最も中心的なものはトウヒの単純一斉林に広葉樹をいかに更新させ、針広混交林に持って行くかであった。積極的に間伐を進めながら、苗木の植栽、播種、天然更新など様々な方法を試していた。どのような樹種をどのように更新させていくかは、土壌、気象などの立地環境条件の地図や、水源機能重視、動植物のハビタット重視など、その場所に社会が求める機能（サービス）などの地図を何重にも重ね合わせて、そこにふさわしい複数の樹種を選んでいる。そして、それぞれの種の耐陰性などを考えた光環境を、間伐の仕方、ギャップの大きさなどを工夫して整えている。

造林実習では、そのような試験地でモニタリング資料を用いながら、学生に説明をし、学生の質問や意見を聞いてディスカッションをしているということである。演習林でのワグナー氏の話で頻繁に出てきた言葉は、multi-purpose forestry（多目的林業）とclose to nature forestry（近自然林業）であった。これらの言葉はその後の各地の訪問先でも頻繁に聞かれ、これが今日のドイツの森林・林業の目指す方向であることが明確に受け取れた。

近自然林業の実践には様々なものがあつた。ドレスデンの南にあるアイベンストック森林管理局の州有林では400年生の天然生林の施業が行われていた（写真-2）。ストックが大きすぎると災害に危険だし、更新にも良くないので400m³が最大になるように施業がなされている。生物多様性のために大径の立枯木や倒木を一定量残している。このような林分は生産と環境の調和の究極的な目標林型に見える。

また同じ場所の州有林のトウヒの単純一斉林で、下層



写真-2 択伐林施業で維持回転させている針広混交の天然生林の中で説明している州有林のフォレスター（左がヘッドのDr. Schusser）説明ポイントでは、必ずモニタリングなどの資料を用いて説明をする。この林分は生産と環境の調和した、彼らが目標とする構造のものである。どこに行ってもフォレスターには情熱と誇りが見られる。

間伐から上層間伐（将来木施業）に変え、林内が明るくなってきた時期に、本来そこに自生しているブナなどの樹種を植えたり、播いたり、天然更新させたりして、混交林化を図っていた（写真-3）。どこにどのような樹種を更新させるかは、先に述べた立地環境や機能（サービス）目的などの地図を参考に決めていく。彼らはしっかりした時間軸を据えて100年後の林相マップを作っている。様々な樹種が群状に交互に植えられ、多重の群状構造の林相に持って行こうとしている。将来の人々のために、今は多少コストがかかってもよいと考えている。目指すべき方向は小スケールから大スケールまでの様々な規模の構造の豊かな針広混交林である。このような施業は、その後訪れた会社有林でも私有林でも行われていた。

州有林では市民との関係を重視し、州有林の一部をシティ林として管理しているところが多い。例えばベルリンに比較的近いテンプリン森林管理局では700haのシティ林を設定している（写真-4）。この森は天然生林で、そこから間伐・択伐により材が生産されている。この森の高木の多くは160年生前後であり、択伐的に良質大径木を目指し、300m³/haを維持することが望ましいとしている。このぐらゐの蓄積で回転させるとレクの森



写真-3 トウヒの人工林の間伐を進めていき、光環境の整った林内にブナを植栽し、針広混交林に誘導していこうとしている林分（アイベンストック州有林）立地環境によって小面積ごとに他樹種を天然更新、播種、植栽している。

としての景観の明るさも維持される（写真-4）。また生物多様性の保全のために立枯木を25m³/ha残している。林内にスモールギャップを多く作って天然更新を行い、初期に混ませた後、将来木施業で良質大径木を育てていく施業を行っている。自然に近い森にしていくことが最も経済的であるとフォレスターは強調していた。またそれはレクの森にふさわしい景観に見事につながっている。

山岳地形の会社有林では林道や作業道の路網を良く説明してもらったが、それは地形に応じて大変よく整備されていた。伐出作業の機械化は進んでいるが、土壌保全のために林内に機械が入ることのない作業道の配置がよくなされていた。そこからは近自然林業の森づくりと伐出作業を一体的なシステムとして扱って行く姿勢がよく読み取れた。そのリーダーはフォレスターであり、会社有林でも会社の幹部や現場のリーダーはフォレスターである。ドイツのフォレスターとはどういうものかは後述する。

ドイツで目指しているのは多目的林業、近自然林業である

上に記したのは、訪問先の一部のフィールドを通じた紹介である。このほか州の森林管理局、州や国の研究所、オランダのワーゲニンゲン大学などで様々な話を聞いた。それらを通して言えることは、彼らが目指している



写真-4 テンプリン州有林のシティフォレスト
市民のレクへの寄与を果たしながら、間伐や
択伐で木材生産も行っており、林道脇の随所
に収穫材が積まれている。このフォレスター
は、市民に対して林内の動植物、樹木の更新
から伐採、搬出、製材工場に至るまでの説明
をしている。

共通のものは、多目的林業、近自然林業である。たとえばドイツ北西部森林研究所(研究員数 190 人)の目的(大テーマ)は、「多面的機能の持続的発揮のための森林管理」である。

このように多目的林業、近自然林業を目指す背景には、森林所有者と市民との関係の重要性の認識、そして長期的、総合的に見た環境と連動した低コスト管理への関係者の深い洞察がある。市民は林業の重要性を認識している。だから市民の税金から森林所有者に所得補償や補助金が投入されることを認める。その代り市民が公共財である森林のサービスを求める権利を主張する。多目的林業、近自然林業はそのような合意形成に根差すものである。ワグナー氏の日本の林業地で市民が森を楽しむ姿を一度も見たことがなかったという感想は、このような彼我の差によるところが大きいであろう。

フォレスターの存在意義

ドイツあるいはその他のヨーロッパの林業の先進国の林業が日本のそれに比べて進んでいるのには様々な理由があるが、フォレスターの存在の有無は非常に大きいと思う。ドイツにおけるフォレスターとは、大学の林学で学部か修士を卒業してフォレスター資格の一次試験に合格した者が、2年間林業の実務につき、その間に何度か



写真-5 ライネジグエルフト森林管理局における
Hans 局長の話
局長は局管内の概要だけでなく、先進国の林業のあり方にまで熱く語りかけていた。局長は現場に精通していて、そこにはフォレスターとしての情熱が感じられた。向こう側正面がハンス局長、背中向きの右端がワグナー教授、その左が筆者。

研修を受け、最終試験に合格した者が得られる国家資格である。その候補者の現場研修を半日見学したが、ディスカッションを重視した研修の中身の濃さと、教官と研修生の真剣さは強く印象に残った。フォレスターの合格者は高級行政官、研究者、大学の教官、民間会社の幹部などとして活躍するが、さらにキャリアアップのためにお互いの移動がある。そのことが産官学の連携を良くし、ドイツの森林・林業全体のレベルの向上を可能にしている。

州のフォレスターとして就職した者は、一つの森林管理局の中で州有林、私有林を含む 1,500 ha ぐらいの森林管理の責任を 10 ~ 15 年ぐらいにわたって任され、地域の技術者のリーダーとして経験を深め、実力を高めている。彼らは地域の森林所有者と常に接し、森林の管理経営の相談に乗り、所有者を纏める役割を果たしている。したがってフォレスターは地域ごとの森林所有者の代弁者の役割を果たしている。フォレスターは管轄内の私有林、公有林などすべての森林の管理・経営の調整に大事な役割を担っており、木材地場産業とのパイプ役、そして周辺の市民との大事なパイプ役でもある。ボンに近い森林管理局の会議室でフォレスターであるハンス局長の話を聞き、その後現場でも説明を受けたが、局長は現場をよく把握しているとともに、自らの言葉で語れる

ことが魅力的であった。

フォレスターは現場技術者、経営者のリーダーであり、行政のボトムアップの基盤を担う大事な存在である。ここでは深く言及できるスペースはないが、日本の行政機構で幹部になる人たちは2、3年でポストを変わっていくこと、特に技官も2、3年でポストを変わっていくことから、現状のままでは日本にはフォレスターのような存在は期待できない。少なくとも優れた技官の多くは5年から10年ぐらい一つの任地で現場の技術と経営を身に着けることは不可欠であろう。日本の行政と政策は現場からあまりにも遊離しすぎている。そのことが研究や教育のあるべき姿への弊害になっていっていると思う。このことに関してはとてもここで論じられることではないが、この論議は日本の森林・林業にとって不可欠なことだと思う。

なお、ドイツにおいても財政的理由から州有林のフォレスターやフォレストワーカーの定員は減らされてきており、フォレスターの1地区の管理責任者としての任期は、かつては15～20年であったものが、今は10～15年になっているとのことであった。しかし現場重視の姿勢は全く変わっていないという。

ドイツの森林・林業はボトムアップである

ヨーロッパは民主主義発祥の地である。民主主義の社会においては様々な立場の人たちが意見を出し合い、合意形成を図り、決まったことを実践していくのを旨とする。森林との付き合い方において、合意形成を図るために不可欠なことは、皆が森林生態系の機能とサービスについて正しい知識を持って議論することである。ドイツの森林法の総則の第1条にはこの構図が端的に表現されている。すなわち「森林法の目的は、1. 森林の機能とサービスを持続的に管理していくこと、2. 林業の支援のため、そして、3. 一般市民と森林所有者の利害を調整することにある。」というものである。

上記の1は「森林生態系の知識に基づく管理が必要」といっており、2は「森林生態系のサービスの中で林業は大きなウエイトを持つこと」を認め、3で「様々な立場の人たちの合意形成を図ること」であるとしている。

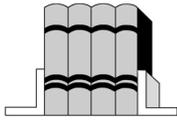
このことは森林生態系の正しい知識に基づき様々な立場の人たちの合意形成を図り、持続可能な森林管理を進めていくために、行政や研究は森林所有者や市民とともに歩んでいかなければならないと謳っているように私には受け取れる。それは現場からのボトムアップの構図だとも受け取れる。今回私がドイツの訪問先全体を通して受けたドイツの重厚かつ柔軟な思考体系の感想は、この森林法の総則に凝縮されているように思う。日本の森林法および森林・林業基本法との違いをよく検討していくことが必要だと思う。

ドイツとの交流の重要性

ここまでドイツを参考にすべきこと、ドイツから学ぶべきことをいくつか挙げてきたが、それらは私の専門分野を超えて持続可能な森林管理全体に及ぶものである。日本はドイツとは自然環境が大きく異なり、文化も歴史も異なる。だがドイツの森林・林業のどのような所を学び、日本のどのような独自性を発揮させていくかを考えていくことは大事である。ヨーロッパ諸国はお互いに刺激し、切磋琢磨しやすい地理的環境にあることが成長を促しているようである。近年アジア諸国の進歩は著しく、日本はそこから学ぶべきことは増えている。しかし森林・林業においてはそうではなく、日本は残念ながら森林・林業の先進国から地理的に孤立した環境下にあり、刺激が得られないでいる。そういうことから日本はドイツをはじめとするヨーロッパの林業の先進国とできるだけ密接に交流しながら日本を見つめていくことが不可欠だと思う。私の体験がそのことに役立てば幸いである。

参考文献

- Fujimori T. (2001) Ecological and Silvicultural Strategies for Sustainable Forest Management. Elsevier 398pp.
- 藤森隆郎 (2015) 持続可能な森林管理のための生態学的・造林学的アプローチ. 森林科学 73: 41-45.
- 岸 修司 (2012) ドイツ林業と日本の森林. 築地書房: 209pp.



ブックス

社会的共通資本としての森

宇沢弘文・関良基 編 東京大学出版会
2015年4月、334ページ、5,832円(税込)
ISBN978-4-13-030252-4

2014年に逝去した宇沢弘文は、スタンフォード大学、シカゴ大学、東京大学等で教鞭を取った世界的な経済学者であり、その後半生の思想・業績は主に「社会的共通資本」という概念・理論を通じて世に知られてきた。宇沢は、ある希少資源のストックに対して、その管理やそこから生み出される財やサービスの配分が、何らかの社会的な基準に基づいて行われている場合、それを社会的共通資本と呼び、市場を通じて配分される私有の資源、私的資本に對置する。第1章(蔵治光一郎・五名美江)、第2章(関良基)等で着目される治水機能をはじめ、様々な公益的機能を持つ森林は、その所有者の利潤追求に伴う他者の環境的リスク、社会的費用の負担が大きくなり得るため、畢竟、財・サービスの公正な分配、社会としての安定、持続可能な利用等を織り込んだ社会的基準に基づいて管理する必要が生じる。本書は、この観点から

森林を社会的共通資本と捉え、どのような社会的な基準や仕組みによって管理されるのが望ましいのかを突き詰めることを大きな目標としている。

この中でまず注目すべきは、適切な管理を促す社会的な基準や仕組みとは、長年に渡って積み重ねられてきた地域固有の自然・社会・文化に依拠するものである、という「地域性の重視」が明確なことである。このため、本書の各章の対象地域は、日本各地からマレーシア、オーストリアまで多岐に渡っているものの、いずれの章においても、公平かつ持続的に森林を管理していく社会的な仕組みが、地域固有の諸条件や人々の営みの中から、動的的に生み出されてきたことに力点が置かれている。取り分け、第3章(保屋野初子)で描かれる横川山(長野県岡谷市)の入会の変遷、第5章(山本美穂)における那珂川中流域の森林利用の歴史的展開、第6章(金沢謙太郎)の扱うマレーシアサラワク州のプナン人における社会的な森林管理の形成と新たな展開は、こうした点を強く認識させられる内容となっている。一方、第4章(三俣学)においては、森林をめぐる社会的・教育的な価値が、個々人の情熱を通じて共通の条件を持つ世界各地に伝播していくプロセスが生き生きと描かれており、社会的共通資本としての森林の位置づけを実証的に補完している。

また、この社会的な基準によって適切な森林管理を行う上での制度資本として「コモンズ」の概念が位置づけられ、近年広がりを見せてきたコモンズ論との理論的接合が図られているのも注目に値する(第4章・第8章等)。しかしその一方で、第8章(池田寛二)では日本の森林をめぐる所有の硬直性や行政体系の不備、第9章(古井戸宏通)・第10章(興梠克久)では地域に根差した保安林制度のあり方や適切な管理を導く人材・組織の形成が取り上げられており、公平かつ持続的に森林を管理していくためには、実に幅広い範囲に渡る制度資本のあり方を検証しなければならないことも踏まえられている。

本書の大きな成果は、これまで個々の研究で扱われてきた様々な森林をめぐる問題意識が、社会的共通資本という理論的枠組みの中で、ある程度、体系立てて位置づけられたことであろう。各章の幅広い内容に知的刺激を受けた後、終章(関良基)で示される、ナショナル・レベルにおける権利関係や税制・助成措置、かつグローバル・レベルにおける国際基金の整備等を通じて、ローカル(地域)・レベルにおける固有かつ自発的な管理を支えていくべきというヴィジョンには、特定の問題のみを扱う研究からは得られない力強さが存在する。

平野悠一郎(森林総合研究所)

極上の山菜「コシアブラ」の悲劇

明間 民央 (あけま たみお、森林総合研究所微生物生態研究室)

北から



京都・出町柳から北山へ向かうバスを降りてしばらく歩くと、終点の土場から道はうっそうとしたスギ林の中の登山道になる。谷筋を離れると急な登りとなり、4月だというのに汗をかきながら峠を目指す。稜線近くなるとスギ林を抜け、急に周囲が明るくなる。道はトラバース気味に二次林とスギ林の境界を伸びる。明るい道ばたには林縁に多い植物が生育している。そのひとつがコシアブラだ。ウコギ科の高木で、新芽を山菜として利用する。西日本では昭和の末頃までは無名に近かったが、中部以北ではポピュラーな山菜である。筆者がかつてさんざん徘徊した京都北山あたりでは4月末頃がシーズンで、「山菜を摘んでその場で天ぷらにして食べる」という大学の研究室行事ではコゴミ(クサソテツの新芽)と並んで主役であった。ウコギ科では掌状複葉のコシアブラと三出複葉のタカノツメ、羽状複葉のタラノキをよく食べたものだ。タラノキは知名度が高すぎる上に見分けやすいため採っていく人が多く、過剰採取で枯死した個体を多く見かけた。なお、青果店で売られている「タラの芽」は栽培品で、山で採取したものではない。畑でタラの芽栽培用に仕立てた木から「穂木」を採取して、ハウス内などで「ふかし」という一種の水栽培で芽吹かせている。

筆者は現在の職場である森林総合研究所採用後に九州支所特用林産研究室配属となったのを機会に、特用林産物についてざっと勉強してみたことがある。きのこの他に、タケノコや山菜、竹材・桐材・木炭や漆も特用林産物である。今世紀に入ってからは、林業生産額の概ね半分を特用林産物が占めている。その9割近くはきのこであるが、他の特用林産物にも重要なものが多い。たとえば漆は日本の伝統工芸に欠かせないが、国内生産は危機に瀕している。話はそれだが、螺鈿や蒔絵などを含め高級漆器を購入する機会があるなら、ぜひ国産漆で塗ら

れたものをお選びいただければと思う。

さて、近年では高級山菜として知名度が上がってきたコシアブラだが、せっかくの盛り上がり水を差すどころか液体窒素をぶっかけるような出来事があった。福島第一原子力発電所事故である。この事故で放出された放射性セシウムにより、東北地方南部太平洋側から関東地方北部が広く汚染された。指標値として示されたきわめて慎重な値のもと数多くの農林水産物に出荷制限がかかり、中でも特用林産物は大きな影響を受けた。事故の後、日本のシイタケ原木の半分を生産していた阿武隈山地からシイタケ産地への原木供給は凍結され、茨城県南部でもタケノコが出荷できなくなった。栃木県ではチチタケをチタケと呼んでことのほか愛好し、「チタケそば」は地域食文化に欠くことができない。しかしチェルノブイリ原子力発電所事故の後の研究でチチタケの仲間には放射性セシウムを吸収しやすいことが分かっており、実際に比較的高い放射能が検出されたこともあって、北関東ではチチタケを含む野生きのこが出荷制限の対象となった。そして、コシアブラも。コシアブラは山菜の中でも特異的に放射性セシウムを吸収しやすいことがモニタリング調査から明らかになったため出荷制限がかかり、一部の県で進められていた産地化の取り組みも頓挫を余儀なくされた。セシウム集積には菌根菌の関与も疑われているが、メカニズムはまだ解明されていない。

セシウムを集めやすい「コシアブラ(野生)」は、山菜の中で最も広範囲にわたり出荷制限が続いている。だが、それだけ厳重な監視が行われているとも言え、市場に流通しているものには問題がない。コシアブラは西日本にも少し標高が高いところに広く分布しており、見分けるのも容易である。原発事故で痛撃を被った山菜・コシアブラを味わい、失われたものに思いを馳せてみてはどうだろう。

インドネシアの森林火災

藤原 敬大 (ふじわら たかひろ、九州大学・持続可能な社会のための決断科学センター)



2015年にインドネシアで発生した大規模な森林火災によって、170万haもの森林が焼失したとされる(NHK国際報道、2015年10月15日)。多くの野生オランウータンが生息地を追われ(じゃかるた新聞、2015年10月3日)、発生した煙害で約43万人が呼吸器疾患を発症し(産経ニュース、2015年10月16日)、日本の年間排出量を上回る16億3600万トンの二酸化炭素が放出された(毎日新聞、2015年11月1日)。

インドネシアの森林火災問題は、様々な要因が複雑に絡み合い、その対策は容易ではない。直接的な原因として、焼畑やプランテーション開発(オイルパーム、ゴム、アカシアやユーカリ)のための火入れ、土地紛争地における放火、タバコや蚊取り線香の不始末による失火等が知られている。一方、エルニーニョ現象によって雨季の始まりが大幅に遅れたことも、今回の森林火災が大規模化した一因である。

今回の森林火災の責任を追及する様々な声もあがっている。NGOが「企業によるプランテーション開発のための火入れに原因がある」と主張する一方で、企業は「地域住民による焼畑に原因があり、それらの火がプランテーションへ延焼している」と主張し、ステークホルダー間の激しい対立も見られる。インドネシアの国土の約70%(約1億3000万ha)は、政治的な森林とも呼ばれる国有林である。1967年の林業法は、多くの地域住民が居住していたにも関わらず、森林を暴力的に囲い込み、今日の国有林を築き上げた。現在、国有林の約60%は生産林に指定され、そこで交付されている事業許可面積の96.6%は企業へ割り当てられており、天然林伐採や産業造林が実施されている。このような歴史の経緯を通じて、「合法的に操業する企業」と「違法に居住し森林資源を利用する地域住民」という今日に至る対立構造が生まれている。

森林火災対策として、第一に歴史的な経緯を鑑み、土地紛争地では境界を再確定させ、企業および地域住民の

権利と責任を明確にすることが必要であろう。第二に泥炭地開発の再考も重要である。政府は企業へ事業許可を交付し、企業は多額の投資を行って運河や排水路を建設し、不毛な泥炭地を高い生産力を有するアカシアやユーカリ、オイルパーム等のプランテーションへと変えた。しかし、これらの開発は泥炭地を極度に乾燥させ、森林火災が起こりやすい状態に至らしめている。これまでにインドネシア政府は天然林および泥炭地における事業許可の新規発行を凍結しているが、交付済みの事業許可についても取り消しを含めて再検討される必要がある。しかし企業にとってみれば、多額を投資した土地を手放すのは容易ではないだろう。それゆえ、規制と同時に炭素基金のような枠組み活用して企業の経済的損失を補償するような支援策も重要である。またプランテーション開発は、地域住民の生活環境をも大きく変化させている。例えばスマトラ島のジャンピ州の先住民は、オイルパームのプランテーションに囲まれて今日の生活を営んでいる。伝統的な焼畑耕作は持続的であることが多くの研究で報告されているが、焼畑耕作の火が開発によって極度に乾燥した泥炭地へ燃え移り、森林火災に至る事例もあるように思われる。プランテーション開発が伝統的な焼畑の持続性に与えた影響について検証し、森林火災発生箇所では、焼畑に変わる生計手段の支援策も求められるだろう。

最後に、今回の森林火災ではインドネシア企業の責任を追及する声が多くあがっている。しかし一方で、インドネシアは大規模な土地投資・取引が活発な国の一つであり、多くの投資が海外から来ている。それゆえ、インドネシアに「所在する」企業の責任追求だけではなく、外国企業や海外投資家が責任ある投資を行うことも森林火災を防ぐために必要である。日本でもインドネシア産の紙製品やパーム油を含んだ食品や製品が日常的に消費されている。インドネシアの森林火災は、私たちにとっても決して対岸の火事ではない。

森林科学 77

予告

特集

森を支える森林土壌 —その働きとこれからの研究 (仮)

森林科学 77 は 2016 年 6 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（社外頒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。手紙、fax、e-mailで編集主事までお寄せ下さい。
- ・日本森林学会サイト内の森林科学のページでは、創刊号からの目次がご覧いただけます。また、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。
- ・56号以降については、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。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	太田 祐子 (森林総研)
委員	加賀谷悦子* (昆虫/森林総研)
	松浦 俊也* (経営/森林総研)
	山浦 悠一 (動物/森林総研)
	小川 泰浩 (防災/森林総研)
	江口 則和 (保護/愛知県森林・林業技術セ)
	山田 祐亮 (経営/日本森林技術協会)
	橋本 昌司 (土壌/森林総研)
	平野悠一郎 (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)
	斎藤 仁志 (利用/信州大)
	田中 憲蔵 (造林/森林総研)
	宮本 敏澄 (北海道支部/北海道大)
	松木佐和子 (東北支部/岩手大)
	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)
	上谷 浩一 (関西支部/愛媛大学)
	川崎 章恵 (九州支部/九州大)

(*は主事兼務)

編集後記

樹病と聞いて真っ先に思い浮かぶのは、私の場合、マツ材線虫病いわゆる松くい虫です。私は林木育種の立場からマツノザイセンチュウ抵抗性育種に係ってきたため当然なのですが、読者の中にもマツノザイセンチュウとマツノマダラカミキリが憎い方も多いのではないでしょうか。マツ材線虫病について勉強していると、実に多くの研究者が様々なアイデアによって膨大な実験を繰り返して多くのことを解明してきたことがわかります。さらに、被害を食い止めるために、多大な費用と労力が払われ防除が行われてきたこともわかります。しかしながら、マツ材線虫病は終息することなく、今なお甚大な被害をもたらしています。

今回の特集「樹木と森林(もり)の病気を科学する」の緒言で、佐橋氏が樹木病害を研究することの困難さを述べられておりますが、なるほど、確かにその通りだと腑に落ちました。抵抗性育種を行うにしても、線虫接種試験を行えるのは年に1度だけ、遺伝解析を行うにしても、世代を回すことが出来ない、といった具合です。渡辺氏の「マツ材線虫病の最前線」では、そのような困難は引き続きありつつも、ゲノム解析や遺伝子解析といった最先端のツールを使って本病を克服しようという取り組みが紹介されています。ゲノミクスは

菊地氏が紹介しているように、マツ材線虫病だけでなく様々な樹木病害のメカニズム解明を急速に進展させています。このようなツールを使いこなし、様々な切り口で樹木病害を研究する研究者が増えることで、多くの樹病が克服されるのではないかと期待せざるを得ません。

樹病研究は多くの困難を伴うけれども、それを研究し解き明かしていくことの重要さと面白さが本特集を通して感じてもらったのではないのでしょうか。中村氏が紹介しているチャアナタケモドキのように、一見無関係の樹病が同一病原体であることが明かされることによって取るべき対応も変わってきます。升屋氏が指摘するように、現代では侵入病害にも十分注意する必要があります。数年前に全国ニュースを大きくにぎわしたウメ輪紋ウイルスは、前島氏が詳細に解説しているように根絶に向けた取り組みが今なお続いています。本特集をきっかけに少しでも樹病学に興味を持っていただけると幸いです。

最後になりましたが、本特集でご執筆頂いた先生方、コーディネータの佐橋氏、編集作業に多大なお力を頂いた編集委員の方々に厚く御礼申し上げます。

(編集委員 磯田 圭哉)

効果持続期間
7年

7年先の確かな未来を

確かな効果

豊富なデータが裏付ける確かな効果で
皆様の信頼に応えてきた
グリーンガード・NEOは
7年間の薬効期間という
新たな時代の夜明けを
迎えました。



松枯れ防止樹幹注入剤

グリーンガード®・NEO

Greenguard® NEO

農林水産省登録：第22028号

グリーンガードホームページ

www.greenguard.jp/



信頼と実績のKNインターナショナルの 英文校正サービスのご案内

KNインターナショナルは1995年会社設立以来、科学英語論文の校正で数多くの日本の研究者の方々の論文を欧米一流ジャーナルに掲載されるお手伝いをしてきました。

高品質で丁寧な校正、迅速な対応、リーズナブルで明快な価格設定のエディティングサービスで国公立大学、研究機関、病院で高く評価されています。論文をより高度な英文に仕上げ、論文へのアクセプト率を高める校正サービスを長年にわたって提供しております。

高品質・丁寧・迅速

科学技術分野に於いて経験及び知識豊富なネイティブのエディター（すべてアメリカ人）が皆様の論文を国内及び海外のジャーナルにアクセプトされるのをサポートいたします。高い教育（Ph.D.等）と経験（アメリカの科学ジャーナルの元スタッフ等）を積んだ英語のスペシャリストのエディターが基本的な文法やスペリングのチェックだけでなく、文章表現や全体の構成をより精度の高いものにするように、文章の書き換え、提案等をさせていただきます。

ジャーナルのインストラクションへの対応や校正証明書の発行、校正に対するご質問などのアフターフォローにも対応いたします。

信頼と実績

1995年以来、50,000以上の原稿の校正で、数多くの研究者・医師・エンジニアの方々のサポートをしてきました。89%以上のお客様は、当社のサービスをご信頼いただき、繰り返しご利用していただいております。

当社の校正によりジャーナルへのアクセプト率が高まったとの感謝のメールを多数いただいております。

リーズナブルで明快な価格設定

1ページ（200words） 1,700円（税抜）

*原稿内容や納期による追加・割増料金の請求はいたしません。

フレキシブルな納期

通常10-30ページ程度の場合で5-7日で校正をいたします。特に急ぎの場合はご相談ください。ご指定の期日に間に合うようにスケジュールを調整いたします。

秘密保持

当社のエディターとは、契約時に原稿の一切の内容を外部に漏らさぬように契約を交わしておりますので、安心してご利用いただけます。

ご注文方法

原稿をWordファイルに添付していただき **order@kninter.com** までお送りください。ファイル上で校正したものをe-mailにて返送いたします。原稿依頼等のお問い合わせは、すべて日本語で対応いたします。

お支払い方法

お支払いは、公費、自費のいずれでも対応いたします。当社は数多くの大学、研究機関にて業者登録済みです。お支払の相談にも対応させていただきます。

KN INTERNATIONAL INC

KNインターナショナル 東京オフィス
東京都目黒区目黒本町4-16-7 SWビル
TEL : 03-5704-7887 FAX : 03-4496-4307

お問合せは info@kninter.com
ご注文は order@kninter.com
ホームページ : www.kninter.com