



森林

科学

[特集]

未利用木材の発電利用は 持続的たり得るか？

シリーズ

うごく森

山と森に育てられて

林業遺産紀行

屋久島の林業集落跡及び森林軌道跡

現場の要請を受けての研究

産官学民連携による林業成長産業化に向けて
—愛媛県 久万高原町を事例として—

No. **83**
June 2018



特集 未利用木材の発電利用は持続的たり得るか？

木質バイオマスの科学的利用と森林整備 酒井 秀夫	1
木質バイオマスのエネルギー利用に 向けた施策の動向について 福田 淳	3
地理情報を用いた供給コストと 資源量把握の取組 有賀 一広・山本 嵩久・白澤 絃明	8
国内の木質バイオマス発電の動向と今後 佐藤 政宗	12
木質バイオマスの発電等利用による 土壌養分減少の可能性と燃焼灰施用による 補償の試み 山田 毅・平井 敬三	16
未利用バイオマス発電が直面するであろう 課題：先行する欧州の経験からの考察 相川 高信	20
未利用木材の発電利用の現状と FIT 後を 見据えた研究～まとめに代えて～ 吉岡 拓如	24

森林科学 No.83

2018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：未利用木材の粉碎作業。製材工場
の敷地内に建設中のバイオマス発
電所の稼働開始に備え、周辺森林
から調達した間伐材を粉碎してい
る。

撮影 吉岡拓如

特集「未利用木材の発電利用は持
続的たり得るか？」より(24ペー
ジ)

シリーズ 森をたべる 森へ虫を摘みに—森林の昆虫食— 野中 健一	26
シリーズ 森をはかる 樹木の光合成と呼吸を同時にはかる 吉村 謙一	30
シリーズ 森めぐり 長野県林業総合センターの森へようこそ 小山 泰弘	32
シリーズ 林業遺産紀行 屋久島の林業集落跡及び森林軌道跡 柴崎 茂光	34
シリーズ うごく森 山と森に育てられて 望月 将悟	36

シリーズ 現場の要請を受けての研究 産官学民連携による林業成長産業化に向けて —愛媛県 久万高原町を事例として— 本藤 幹雄	40
コラム 森の休憩室Ⅱ 樹とともに ツリークライミング 二階堂 太郎	44
記録 45 森林 landscape 復元に関する国際会議に参加して 長池 卓男	45
48 日本森林学会大会第5回高校生ポスター発表 井上 真理子	48
52 Information 北から南から ボックス	52

未利用木材の発電 利用は持続的 たり得るか？

木質バイオマスの科学的利用と 森林整備

酒井 秀夫 (さかい ひでお、東京大学名誉教授)

このたび森林科学誌で、未利用材の発電利用の特集を組むことになりました。50年前は、森林分野でバイオマスというと陸上バイオマスを意味し、森林内の大型動物や土壌生物も含まれ、物質生産や物質循環を中心に研究が進められていました。バイオマスで発電ということに隔世の感があります。

コジェネレーションという用語を筆者がマスメディアで最初に見たのは、1996年2月5日の朝日新聞社説「熱を惜む社会作ろう」でした。そこでは、コジェネレーションは「排熱活用型発電システム」と訳されています。コジェネレーションはバイオマス発電に限りません。火力発電の燃料の6割以上が発電中や送電時に熱として捨てられており、発電の過程で消えてしまっている熱の有効利用を図ろうというもので、当時、デンマーク、オランダは排熱を利用することで、2000年には二酸化炭素排出量を1990年比よりも「さらに！」削減する方針を出しています。

一方、再生可能エネルギーが新聞に載るのは、1997年12月に開催の地球温暖化防止京都会議、COP3に先立って、10月31日朝日新聞夕刊「木燃やし森を守る」でした。記事の内容は、教養学部で受け持っていた「森林環境と人間活動」という講義の中ですでに何年か前から触れていましたが、ようやく社会の認知が始まったと感じた次第です。それから20年が経過しました。

そもそもなぜバイオマスエネルギーが必要なのか。木質バイオマスエネルギーは、再生可能エネルギーとして、持続的に循環利用可能なことくらいは本誌の読者は知識として理解しておられることと思います。また、室内で石油ストーブを焚くよりは、木質バイオマスを使った床暖房などにより、清浄な空気環境下によって、健康維持にもなります。森林に囲まれた地域では、この生活の快適性を享受することができ、定住化の後押しにもなります。

人類は火を手に入れてから、発展を遂げてきました。燃料の利用によって、寒冷地にも居住圏をひろげていきました。しかし、電気照明が市民生活に普及するのは、欧州では20世紀初頭、第一次世界大戦の頃でしょうか。電気の利用はたかだかここ100年です。米国でモータ

リゼーションが始まったのもこのころです。18世紀後半に起きた産業革命は大量のエネルギーを必要とし、鉄道の枕木、新聞の普及は大量の木材を消費しました。仮に石炭、石油が採掘されなかったとすれば、森林はとっくに丸裸になっていたことと思います。産業革命に人類の知恵が追い付くまでに猶予を与えられたようなものです。ここにきて、残された森林資源を大事に利用していかなければなりません。気候変動によって地球規模で雨の降り方も変わり、水資源の涵養も重要な課題です。環境保全と森林の利用は裏表の関係があります。

木質バイオマス発電は、散在する木材に対して輸送費をかけて集めて燃やし、電気を作るわけですから、サイエンスが根底になります。サイエンスとしてとらえるならば、鉄則があります。

まず、木の含水率を低くし、輸送効率と燃焼効率を高める必要があります。伐倒直後の木を上向きまたは横向きに枝条をつけたまま置いておけば、葉の蒸発散で2～3か月で含水率は半分まで乾きます。チップにしてしまうと、平らに広げない限り、自然に乾かすことはできません。木材はJAS規格に則って人工乾燥が主流になりましたが、製材所は製材廃材を利用した発電所を備えるようになり、いままで乾燥炉の燃料に利用していた廃材を発電に回すようになりました。そうすると、乾燥炉の乾燥期間を短縮するために、天然乾燥が必要になります。一方、欧米は、輸送効率を高めるためにトラックの大型化を図ってきましたが、燃料も食います。そこで、水分を落とすための山元乾燥の研究も行われるようになってきました。含水率を下げることにより、トラック輸送の利益向上や二酸化炭素(CO₂)排出量削減の具体的研究も行われています。

原料を集めてこなければならぬバイオマスは、輸送が重要になってきます。発電の規模が大きくなるほど、遠方から原料を集めてこなければなりません。トラックとその運転手も数十台/日必要です。この確保がまずは必要です。

トラックの輸送効率を高めるには、荷の間隙率が小さい丸太の状態が望ましいですが、枝条はそのまま運ぶと空気を運ぶようなもので、チップにして減容するのが効

果的です。そこで、移動式チップパーでなるべく山元でチップングするために、欧州ではトラック搭載の移動式チップパーが活躍しています（写真）。移動式チップパーの運用、トラックの配車にとって、林業専用道や幹線林道などの路網、またターミナルとなる中間土場の管理も必要になってきます。ここに情報通信技術（ICT）を導入し、サプライチェーンを管理するサプライチェーンマネジメント（SCM）の必然性が生じてきます。

原料調達の上流では、全幹・全木システムを確立し、森林資源の有効利用、地拵えの省力化を達成しなければなりません。全幹・全木集材を可能にするスキッダやタワーヤダのシステムが日本では頓挫していることから、林地未利用材が増え、歩留まりが上がらず、低質材利用ができません。トータルでの生産性も向上していません。これについては、重量当たりの機械価格が安く、ポピュラーな農業用トラクタの活用が有用でしょう。また、廉価で高能率のチップパーが欲しいところです。

発電所が自ら森林を所有し、自社内で原料供給を完結できれば問題は単純ですが、それだけの大面積の森林を所有するには大きな資本が要りますから、外から原料調達を行うことになります。チップパーを誰が購入して、誰が使うのか。中間土場は誰が管理し、トラック輸送は誰が担うのか。チップの乾燥期間の資金繰りはどうするのか。原料の安定供給とSCMの利益配分に向けては課題がまだ多くあります。海外に燃料をたよるならば、地元の環境や雇用、社会構造に対する影響も考慮しなければなりません。バイオマス利用全体に関するCO₂のライフサイクル分析も必要です。

バイオマス原料の持続的な安定供給は、森林の経営管理と密接な関係があります。森林を経営管理し、林業を営む立場からすれば、手をかけて育ててきた森林からは多くの収入を上げ、更新によって再生産していかなければなりません。具体的には、建築材などの優良材（A材）、合板やラミナなどのエンジニアリングウッド（B材）、パルプや燃料などのC材、D材を用途や価格によって最適配分して製品化し、供給していかなければなりません。

売上げ単価の高いA材でなければ、森林所有者には収入が残らない市場構造になっていますので、できるだけA材を多くとり、次いで国産材からの自給が上昇し

てきているB材を生産していかなければなりません。これらの価格差がなくなってきていることから、勢い生産性をあげようとして、一括してC、D材に持って行くことも散見されますが、長期に見れば資源の浪費につながり、森林所有者の林業に対する関心をなくしています。バイオマス利用を促進するならば、A材の需要を喚起することが前提となります。

そう考えると、主伐期を迎えたわが国人工林をどうするかをバイオマス利用の観点からも一考を要します。再造林の時点から、何を植え、どういう林業をするかを考えていかなければなりません。バイオマス利用も視野に入れた造林をするのか。人工林の伐期を外して択伐林に誘導し、注文材生産と補植でいくのか。折角育成してきた人工林を使いつくすことのないようにしていかなければなりません。

バイオマス利用は、発電ならば森林に近いところ、熱利用ならば居住地に近いところというように立地が極めて重要です。再生可能エネルギーとして、風力や太陽光発電があります。これらは身近にありますが、熱利用はできません。バイオマス発電は原料を集めなければなりませんが、熱利用ができます。これらの施設が乱立するのではなく、立地の得失と規模を踏まえて、お互いの長所、短所をうまく組み合わせた電源構成の確立が必要です。そのためには、政策や事前調査が必要です。

いま、日本に求められているのは、森林作業現場および需要家、国民のバイオマスに関する正しい知識の普及です。川上、川下双方で、間違った知識がまだ少なくありません。本誌を契機に、正しい知識の普及につながればと思います。



写真 トラック搭載の移動式チップパー（秋田県 2015年）

木質バイオマスのエネルギー利用に向けた施策の動向について

福田 淳 (ふくだ じゅん、林野庁木材利用課 (現広島県林業振興部長))

1. はじめに

近年、平成 24 年に始まった「再生可能エネルギーの固定価格買取制度 (FIT)」により、木質バイオマスを燃料とする発電所が急増しており、国内における木質バイオマスのエネルギー利用量も急激に増加しつつある。このような中、農林水産省と経済産業省は、平成 28 年度から 29 年度にかけて、「木質バイオマスの利用推進に向けた共同研究会」を開催し、研究会での検討の結果、今後は、新たに、「地域内エコシステム」として、熱利用や熱電併給 (発電と同時に、その余熱を蒸気や温水として利用するシステム) により、森林資源を地域内で持続的に活用するモデルを推進することとする方針を示した。

本稿では、木質バイオマスのエネルギー利用の現状を統計データに基づいて整理した上で、新たに打ち出した「地域内エコシステム」の考え方について紹介することとしたい。

なお、本稿は、筆者が個人的立場で作成したものであり、必ずしも、所属機関の見解を反映したものではないことを予め断っておく。

2. 木質バイオマスのエネルギー利用の現状

(1) 森林・林業政策における木質バイオマス利用の位置付け

平成 28 年に見直しを行った「森林・林業基本計画」では、「林業の成長産業化」を旗印として、資源の循環利用を図りつつ、原木の安定供給体制の構築と新たな木材需要の創出を「車の両輪」として進める方針が示された。木材利用量 (= 供給量) の目標としては、平成 26 年実績の 2,400 万 m³ から平成 37 年には 4,000 万 m³ まで増加させることが掲げられた。

特に、木質バイオマスの利用については、新たな木材需要の創出に向けた施策の一つとして、「カスケード利用」(木材を建材等の資材として利用した後、ボードや紙等の利用を経て、最終段階で燃料として利用すること) を基本としつつ、未利用間伐材等の利用、熱電併給システムの構築等に取り組むことが位置付けられた。今回の見直しに当たっては、木材利用量の目標に、新たに、「燃

料材」(ペレット、薪、炭、燃料用チップ) の区分が加えられ、燃料材の利用量の目標としては、平成 26 年実績の 200 万 m³ から平成 37 年には 800 万 m³ まで増加させることが掲げられた。

従って、木質バイオマスの利用は、新たな木材需要の拡大に当たり、大きな役割を果たすことが期待されると言えるであろう。

(2) 再生可能エネルギーの固定価格買取制度 (FIT)

平成 24 年から、「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」に基づき、FIT が開始され、電気事業者に対して、木質バイオマスを含む再生可能エネルギーから発電された電気を、国が定める一定の期間・価格で買い取ることが義務付けられた。

FIT では、木質バイオマスを電気に変換する設備について、燃料の種類により、「森林における立木竹の伐採又は間伐により発生する未利用の木質バイオマス (以下、未利用木材)」、「木質バイオマス又は農産物の収穫に伴って生じるバイオマス (以下、一般木質)」及び「建設資材廃棄物 (以下、リサイクル材)」の 3 区分が設定され、それぞれに由来する電気の調達価格は、32 円 / kWh (平成 27 年度から「発電出力 2,000 kW 未満」の区分を新設 (調達価格は 40 円 / kWh))、24 円 / kWh (平成 29 年 10 月から「発電出力 20,000 kW 以上」の区分を新設 (調達価格は 21 円 / kWh))、13 円 / kWh、調達期間は、いずれも 20 年間とされた。

このうち、「未利用木材」と「一般木質」の具体的な定義は、林野庁の「発電利用に供する木質バイオマスの証明のためのガイドライン」で定められており、「未利用木材」については、①間伐材又は②森林計画の対象森林、保安林、国有林から適切に伐採・生産された木材、「一般木質」については、①製材等残材又は②その他由来の証明が可能な木材とされている。

FIT の開始以降、木質バイオマスを燃料とする発電所は急激に増加しており、平成 29 年 3 月時点で、491 施設が設備認定済み、うち 61 施設が稼働中となっている。このうち、主に未利用木材を燃料とする発電所は、122 施設 (認定容量合計 50 万 kW) が設備認定済み、うち

表-1 FIT 認定を受けた木質バイオマス発電施設の燃料区分別施設数と買取価格

主な燃料	未利用木材		一般木質・ 農作物残さ	リサイクル材	計
	2,000 kW 未満	2,000 kW 以上			
設備認定済	69件 (73件)	53件 (56件)	363件 (373件)	6件 (35件)	491件 (537件)
うち稼働中	7件 (11件)	32件 (35件)	20件 (30件)	2件 (31件)	61件 (107件)
買取価格	40円/kWh	32円/kWh	24円/kWh※	13円/kWh	-

資料：固定価格買取制度情報公表用ウェブサイト(資源エネルギー庁)等を参考に作成(平成29年3月末時点)
 注：()内は、RPSからFITへの移行認定分を含めた数値
 ※：2万kW以上の発電所が、平成29年10月以降に認定を受けた場合は、21円/kWhに引き下げ

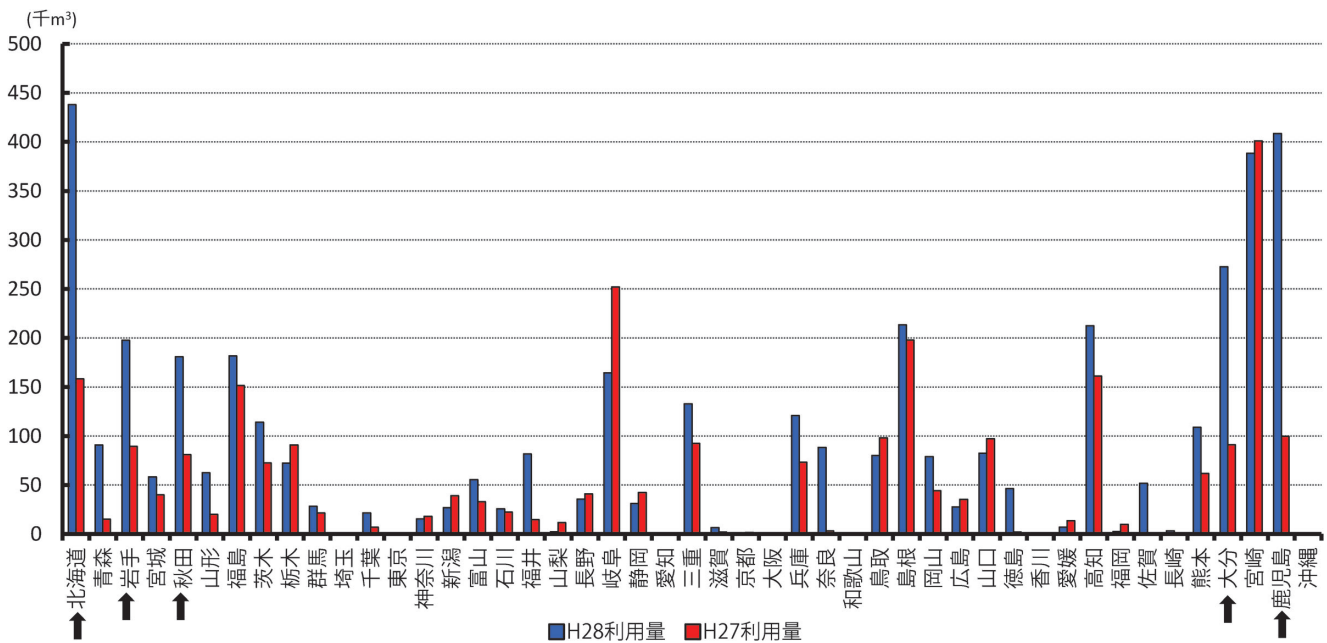


図-1 各都道府県における間伐材等由来チップの利用量

資料：林野庁(2017)¹⁾より筆者作成。

注：都道府県名における「↑」は、H28 利用量が H27 利用量よりも 10 万 m³ 以上増加した都道府県を示す。

39 施設(同 30 万 kW)が稼働中となっており、未利用木材を燃料とする施設については、順調に稼働が進んでいる。

これに対して、主に一般木質を燃料とする発電所は、設備認定済み 363 件(認定容量合計 1,147 万 kW)に対して、稼働中は 20 件(同 33 万 kW)にとどまり、稼働率は低い状況にある(表-1)。

(3) 間伐材等由来の木質バイオマス利用量

(ア) 概要

林野庁では、平成 27 年から、統計法に基づく政府統計として、「木質バイオマスエネルギー利用動向調査」を実施している。同調査では、木質バイオマスを利用する発電機又はボイラーを有する事業所を対象として、事業所の概要、設備の利用動向、公的補助の活用状況、木

質バイオマスの利用量について調査を行っている。平成 28 年の調査では、調査対象とした全国 1,413 事業所のうち、1,343 事業所から回答が得られた(回答率 95%)。

平成 29 年 12 月に公表された同調査の結果(確報)¹⁾によれば、平成 28 年にエネルギーとして利用された木材チップの量は、合計 773 万トン(対前年度比 12% 増)で、このうち、間伐材等由来のもの(間伐材等由来チップ)は 192 万トン(丸太換算で 422 万 m³ に相当)(同 64% 増)であった。

(イ) 都道府県別の間伐材等由来チップの利用量

平成 28 年における間伐材等由来チップのエネルギー利用量(丸太換算、以下同)を都道府県別に見ると、利用量が多い都道府県は、北海道で 43.8 万 m³、鹿児島

未利用木材の発電利用は持続的たり得るか？

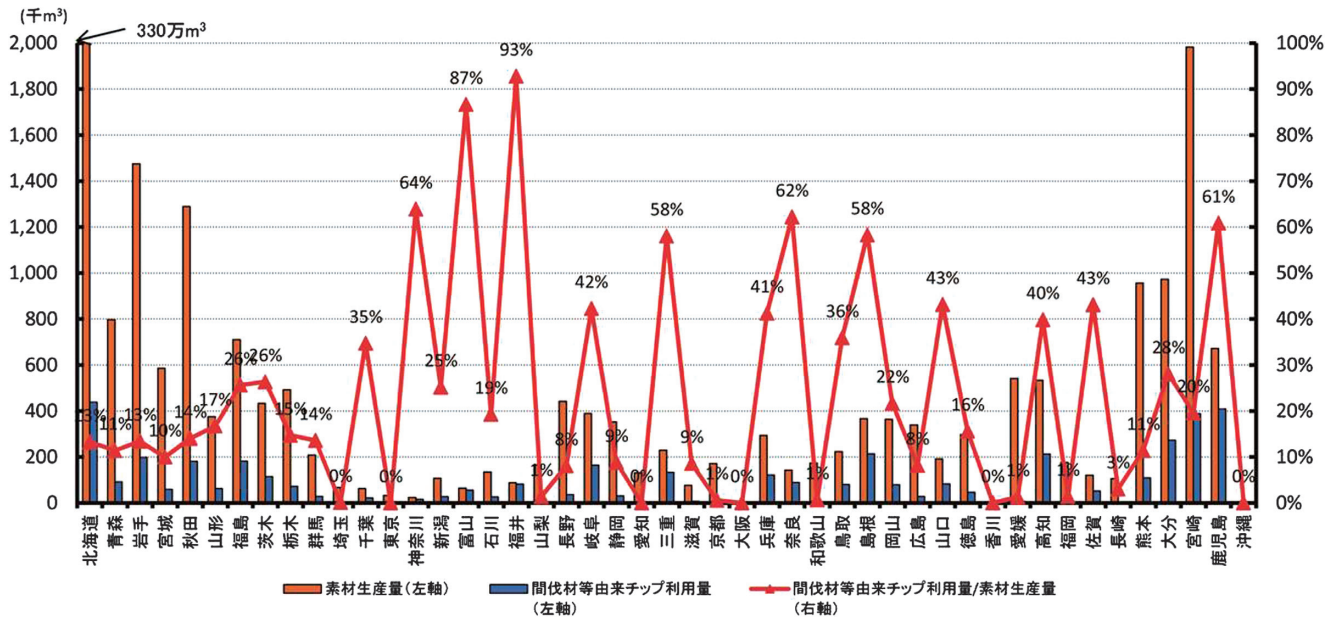


図-2 各都道府県における間伐材等由来チップの利用量と素材生産量の比較 (平成 28 年)
資料：林野庁 (2017)¹⁾ 及び農林水産省大臣官房統計部 (2017)²⁾ より筆者作成。

県で 40.8 万 m³、宮崎県で 38.8 万 m³、大分県で 27.3 万 m³、島根県で 21.3 万 m³ などであった。

前年実績と比較すると、29 道県で合計 177 万 m³ 増加する一方で、13 都府県で合計 12 万 m³ 減少した。特に、北海道 (16 → 44 万 m³)、岩手県 (9 → 20 万 m³)、秋田県 (8 → 18 万 m³)、大分県 (9 → 27 万 m³)、鹿児島県 (10 → 41 万 m³) の 5 道県では、前年から 10 万 m³ 以上増加した (図-1)。

これらの道県では、平成 27 年末から平成 28 年にかけて、北海道では、王子グリーンエナジー江別、岩手県では、一戸フォレストパワー、野田バイオパワー、秋田県では、ユナイテッドリニューアブルエナジー、大分県では、エフオン豊後大野、鹿児島県では、中越パルプ工業などの大規模な発電所が稼働したことから、これらの燃料として、間伐材等由来チップの利用量が大幅に増加したものと考えられる。

(ウ) 都道府県別の素材生産量との比較

今後も、間伐材等由来チップのエネルギー利用量が増加し続ければ、既存の製材、合板、木質ボード、製紙用等の用途に用いられていた木材がエネルギー用に回され、需給が逼迫する可能性もある。

そこで、既存用途への影響の可能性を把握する観点から、現在、エネルギーとして利用されている間伐材等由来チップの量が、各都道府県における木材供給のポテンシャルを現すと考えられる素材生産量に対して、どの程度に相当するのかについて、分析を行った。

その結果、全国計でみた場合、「平成 28 年木材統計」²⁾ における素材生産量 (2,066 万 m³) に対する間伐材等由来チップ利用量 (422 万 m³) の割合は、20.4% であった。都道府県別にみた場合、同割合が 3 割以上となったのは、14 県にのぼり、特に、神奈川県 (64%)、富山県 (87%)、福井県 (93%)、三重県 (58%)、奈良県 (62%)、島根県 (58%)、鹿児島県 (61%) の 7 県では、50% を超えていた (図-2)。

一般に、エネルギー用として利用可能な間伐材と林地残材の素材生産量に対する上限割合は、3 割程度と考えられることから³⁾、これらの 14 県においては、既に、自県からの供給のみでは、FIT 認定発電所などにおけるエネルギー用の需要を賄うことができず、近隣県から間伐材等由来チップを移入している可能性があると言えるであろう。

(4) 木質バイオマスの熱利用

このように、主に FIT により、木質バイオマスの発電施設向け利用は急速に増加しているが、木質バイオマス発電におけるエネルギー変換効率は、蒸気タービンの場合、20% 程度で、高くても 30% 程度に過ぎない。このエネルギー変換効率を上げるためには、発電施設を大規模にする必要があるが、大規模な施設を運転するためには、海外を含めた広い範囲から木質バイオマスを大量に収集することが必要となる。

これに対して、熱利用・熱電併給は、小規模な施設であっても、80% 程度のエネルギー変換効率を実現することが可能であり、初期投資も少なく済むことから、

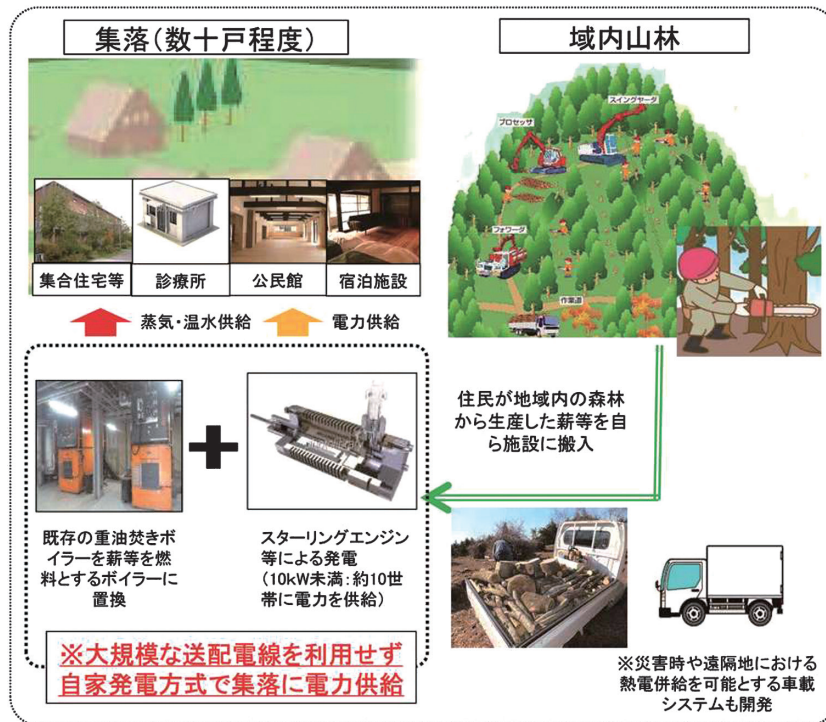


図-3 「地域内エコシステム」のイメージ(新タイプA)

資料：木質バイオマスの利用推進に向けた共同研究会(2017)⁴⁾

小規模な地域でも導入可能である。

他方、熱利用・熱電併給に当たっては、事業者自らが熱の需要先を開拓する必要があるとともに、熱の販売価格が固定されていないことなどから、導入に当たっては、慎重な検討が必要となる。

このような中、熱利用を目的とする木質資源利用ボイラーは導入が進んでおり、上述の利用動向調査によれば、平成28年には全国で1,972基の木質資源ボイラーが導入されている。ボイラーの種類別にみると、ペレットボイラーが915基で約半数を占め、木くず焚きボイラー780基、薪ボイラー156基、おが粉ボイラー58基などとなっている。また、業種別にみると、木材産業等が499基、農業が375基、公衆浴場等が155基、福祉事業等が102基などとなっており、木材産業等では木くず焚きボイラーが、農業と福祉事業等ではペレットボイラーが大半を占めている。

3. 「地域内エコシステム」の構築

(1) 「木質バイオマスの利用推進に向けた共同研究会」の開催

このように、平成24年のFITの導入以降、間伐材等の木質バイオマスを燃料とする発電施設が急速に増加しており、これらの発電所では、大量の燃料を確保するため、国内の広い範囲から、輸送コストをかけて燃料材を収集する傾向が広がりつつある。このような動きが更に

広がれば、木質バイオマス発電所の燃料コストを引き上げるのみならず、製材、合板、木質ボード、製紙用等の既存用途に影響を及ぼすおそれもある。

このような中、農林水産省と経済産業省は、平成28年10月に、森林資源をマテリアルやエネルギーとして地域内で持続的に活用するための担い手確保から発電・熱利用に至るまでの「地域内エコシステム」の構築を目的とする「木質バイオマスの利用推進に向けた共同研究会」を設置した。同研究会では、両省の副大臣と大臣政務官を構成員として、同年12月から平成29年6月にかけて、3回の研究会を開催し、平成29年7月に、報告書『「地域内エコシステム」の構築に向けて』を公表した。

(2) 「地域内エコシステム」の考え方

同報告書では、「地域内エコシステム」の対象、主体、目標、手法及び推進方策について、以下の通り、とりまとめている⁴⁾。

- ①対象：地域の森林資源を地域内で有効活用し、地産地消型の持続可能なシステムが成り立つ規模である集落とする。
- ②主体：システムの持続性・永続性が確保されるよう、行政(市町村)が中心となって、地域産業、地域住民が参画する協議会を設置し、地域の全ての関係者の協力体制を構築する。

未利用木材の発電利用は持続的たり得るか？

③目標：材の搬出経費や燃料の加工費、施設整備費等が極力低減するよう取り組み、地域への還元利益を最大限に確保するとともに、その利益が森林所有者等関係者にも確実に還元されるようにする。また、薪のまま燃料とする技術開発による省力化や、効率の高い熱利用・熱電併給を行う。

④手法：集落を対象とした小電力の供給システムや、行政が中心となって熱利用の安定的な需要先を確保するシステム、木材のマテリアル利用の推進により端材等の活用を促進するシステムなどとする。

⑤推進方策：将来的に自立可能な事業運営を確保するため、低コスト化、PDCAによる検証を行うとともに、国としても一定の支援の枠組みを検討する。

このように、「地域内エコシステム」の考え方は、各地域の実情を反映できるよう、幅のあるものとなっているが、小規模な地域で、地域の関係者が主体となり、極力コストをかけない形で、熱利用・熱電併給等を行う継続的な取組と行うことができるであろう。

(3) 「地域内エコシステム」の具体的なイメージ

以上を踏まえた具体的なイメージとしては、報告書において、「新タイプA（自家発電・熱供給型）」として、温浴施設、医療・福祉施設、公営住宅等の熱利用施設に薪ボイラーを導入した上で、住民が地域内の森林から生産した薪等を施設に搬入して、燃料に使用するとともに、薪ボイラーにスターリングエンジン等の小型発電機（10kW未満）を組み合わせ、小規模な電力も供給するというモデルが提示された（図-3）。

あわせて、「新タイプB（熱供給中核型）」として、製材端材を燃料とするボイラーを導入して、熱供給又は熱電併給を行うモデルも提示された。

(4) 「地域内エコシステム」の構築に向けた取組

林野庁では、「地域内エコシステム」の構築に向けて、平成29年度に、補助事業の一環として、「地域内エコシステム」の構築に向けた実現可能性調査（F/S調査）を先行的に実施した。具体的な対象は、北海道夕張市（熱供給）、岐阜県関市（温泉での熱電併給）、鳥取県智頭町（薪ボイラーでの熱供給）の3箇所であった。

平成30年度からは、「地域内エコシステム」構築事業により、民間団体を通じて、「地域内エコシステム」

の構築に向けたF/S調査の実施（10箇所程度）や、地域協議会の立ち上げ・運営（5箇所程度）、小規模な技術開発等を行う取組に対して、技術的な支援を行う予定である。

4. おわりに

以上のように、近年、FITにより間伐材等由来チップのエネルギー利用量は急速に増加しており、一部の地域では、既に、自県からの供給のみでは、発電用の需要を賄うことができず、近隣県からチップを移入している可能性がある。このような中、農林水産省と経済産業省は、新たに、「地域内エコシステム」として、熱利用・熱電併給により、地域内で持続的に木質バイオマスを活用する方針を打ち出した。

木質バイオマス利用は、もともと、地域で発生する副産物をその場で有効に活用しようとする発想から始まったものであり、地域の森林資源を地域で循環的に利用しようとする「地域内エコシステム」の考え方は、木質バイオマス利用の原点に立ち返ったものであると行うことができる。

林野庁としては、引き続き、木質バイオマス発電施設に燃料材が安定的に供給できる体制を構築・維持しつつ、「地域内エコシステム」による熱利用・熱電併給の全国への普及に向けて、取組を強化してまいりたい。

引用文献

- 1) 林野庁(2017)「平成28年木質バイオマスエネルギー利用動向調査」の結果(確報)について(平成29年12月25日付けプレスリリース)(ただし、間伐材等由来チップ利用量の丸太換算量については、同調査の速報(平成29年9月6日付けプレスリリース)を参照。)
- 2) 農林水産省大臣官房統計部(2017)平成28年木材統計(平成29年4月18日公表)
- 3) 福田 淳(2017)各都道府県における間伐材等由来チップのエネルギー利用量の分析. 林業経済研究 63(3): 23-31
- 4) 木質バイオマスの利用推進に向けた共同研究会(2017)「地域内エコシステム」の構築に向けて一集落を対象とした新たな木質バイオマス利用の推進一

地理情報を用いた供給コストと 資源量把握の取組

有賀 一広・山本 嵩久 (あるが かずひろ・やまもと たかひさ、宇都宮大学農学部)
白澤 紘明 (しらさわ ひろあき、信州大学農学部)

はじめに

2012年7月に再生可能エネルギー固定価格買取制度FIT (Feed-in Tariff) が開始され、木質バイオマス発電、特に買取価格が高値に設定された未利用材を燃料とする発電施設が、2017年3月時点で、全国で122ヵ所認定され、すでに39ヵ所で稼働している(資源エネルギー庁 2018)。栃木県においても那珂川町の製材所で、2014年10月から出力2,500kW、燃料材消費量約50,000t/年で、そのうち7割(35,000t)の燃料材を未利用材とする木質バイオマス発電施設が稼働しており、壬生町においては2019年から年間約210,000tの燃料を消費する木質バイオマス発電施設(うち未利用材の調達30,000t/年)が稼働予定である。木質バイオマス発電の計画が進んでいる一方、燃料となる木質バイオマスの原料調達が課題となっていることから、今後は地域の実情に即した燃料材調達体制の確立と、適切な規模での取り組みが重要となっている。

地域でバイオマスをエネルギーとして利用するために、新エネルギー・産業技術総合開発機構(2018)によりバイオマス賦存量・有効利用可能量の推計が市町村を単位として公開され、広くバイオマスのエネルギー利用計画立案に使われている。この中で未利用木材については林地残材と切捨間伐材の賦存量・有効利用可能量が市町村を単位として、また、1年間の森林成長量が1km²メッシュを単位として推計されている。ただし、林地残材と切捨間伐材の賦存量は平成18~20年度の統計情報を基に推計され、有効利用可能量は林道から山側斜面25m、谷側斜面25m、合計50mを集材範囲として推計されている。

一方、Yoshioka and Sakai (2005) は兵庫県丹波市(旧氷上郡)を対象に森林GISを用いて、Yamaguchiら(2014)は栃木県を対象に森林GISに加えて施業履歴を用いて、森林施業の単位となる小班を単位として、未利用材の収穫量や収穫費用を試算し、経済性を考慮した利用可能量を推計した。さらに、山本ら(2017)は森林の成長量や森林の更新費用も考慮して長

期的な供給ポテンシャルや利用可能量を推計した。本報告では地理情報を用いた供給コストと資源量把握の取組について、山本ら(2017)が対象とした栃木県と、現在、取組んでいる全国試算を例として紹介する。

栃木県の試算例

栃木県の森林面積は348,707haで県土の54.4%を占めている。そのうち人工林は155,434haで、県内の全森林面積の44.6%を占め、人工林の蓄積は45,386,000m³で、県内の全森林蓄積の63.2%を占める。解析対象としたのは、民有林、国有林のスギ・ヒノキ林分で、面積は132,054haである。解析では、栃木県庁より提供された森林簿(小班面積、樹種、地位)、林道・作業道位置、小班界(森林計画図)のshapeデータに加え、林野庁より提供された国有林小班界のshapeデータ(小班面積、樹種)、国土地理院発行の数値地図より10mメッシュの数値標高モデル(DEM)、道路データを使用した。

解析方法は1)供給ポテンシャルの算出、2)収入の算出、3)支出の算出、4)利用可能量の推計からなる。供給ポテンシャルを算出するために、栃木県内の森林組合への聞き取りを参考として伐期、間伐回数及び間伐林齢、間伐方法、伐採率、利用率を設定した。なお、一般的に未利用木材とは間伐材等由来の木質バイオマスと定義され、間伐材と森林経営計画・国有林野施業実施計画対象森林、保安林より間伐以外の方法で伐採された木材のことであるが、長期的には製材・合板・チップ用木材との住み分けが確立し、発電用木材には最も低質な林地残材が活用されることが見込まれることから、本試算では間伐・主伐の林地残材を未利用木材として推計した。次に、地位、樹種(スギ、ヒノキ)ごとに収穫表作成システムLYCS3.3を用いてこれらの施業を行った場合の収穫量(m³/ha)を推計し、各小班的面積を乗じて伐期全体の収穫量を推計した。そして、伐期全体の収穫量を伐期で除すことにより、1年間あたりの収穫量を推計し、これを本研究では供給ポテンシャルとした。したがって、

未利用木材の発電利用は持続的たり得るか？

本研究の推計は単年度ごとの燃料材需要を賄うことを担保するものではないことに注意を要する。

収入に関しては、栃木県内の素材価格の動向を参考に、スギ用材の価格を 12,300 円 / m³、ヒノキを 17,600 円 / m³ と設定した。未利用材価格については、発電施設への聞き取りを参考に那珂川町発電施設、壬生町発電施設それぞれ 4,500 円 / t、6,000 円 / t に設定した。また、収入には造林、間伐、森林作業道作設に対する補助金を計上した。支出は作業システム、機械規格を栃木県内の森林組合への聞き取りを参考に設定した（図-1、表-1）。用材の運搬先を県内に存在する 3 ヲ所の共販所、未利用木材の運搬先を那珂川町発電施設と壬生町発電施設に加え、那珂川町発電施設がある那珂川町の製材所と同じグループ会社で、チップパーを所有している 5 ヲ所の製材所、矢板市、日光市の中間土場の 2 ヲ所、計 9 ヲ所を想定した（図-2）。そして傾斜、木寄・集材・搬出・運材距離、収穫量といった地形や路網に関する地理情報を変数とした計算式により算出した（表-2）。上記で算出する伐期全体の収入と支出を比較し、収支が、山元立木価格、スギ 2,804 円 / m³、ヒノキ 6,170 円 / m³ を上回る小班の供給ポテンシャルを利用可能量として推計した。

栃木県内のスギ・ヒノキ林分における未利用木材供給ポテンシャルは 529,942 t / 年であった。一方、未利用木材の利用可能量は 40,941 t / 年と、供給ポテンシャルの 1/10 以下であり、未利用木材の経済性が低いことが確認できる結果となった。今後更なる未利用材の低コスト搬出技術の開発が望まれる。利用可能量を発電所別に見ると、那珂川町の発電施設では 31,461 t / 年（需要量 35,000 t / 年に対して 89.9%）、壬生町の発電施設では 9,480 t / 年（需要量 30,000 t / 年に対して 31.6%）と推計され、両発電施設において未利用材の調達が可能となる可能性が示唆された。

そのため、各発電施設の需要量を満たすように未利用木材価格を上昇させたところ、那珂川町発電施設、壬生町発電施設それぞれ 5,662 円 / t、7,825 円 / t となった。容積比重を 0.8 t / m³ とした場合、買取価格は那珂川町発電施設、壬生町発電施設それぞれ 4,530 円 / m³、6,260 円 / m³ となり、木材チップ用素材価格が高騰している宮崎県（7,500 円 / m³）や島根県（7,800 ~ 9,000 円 / m³）と比較すると低い値となった。また、那珂川町発電施設、壬生町発電施設の採算性を保てる上限価格はそれぞれ 7,080 円 / t、10,080 円 / t とも試算されるため、発電所の競合により未利用木材価格が上昇するが、発電施設の採算性を確保しながら、山元へ利益が還元されることが確認された。

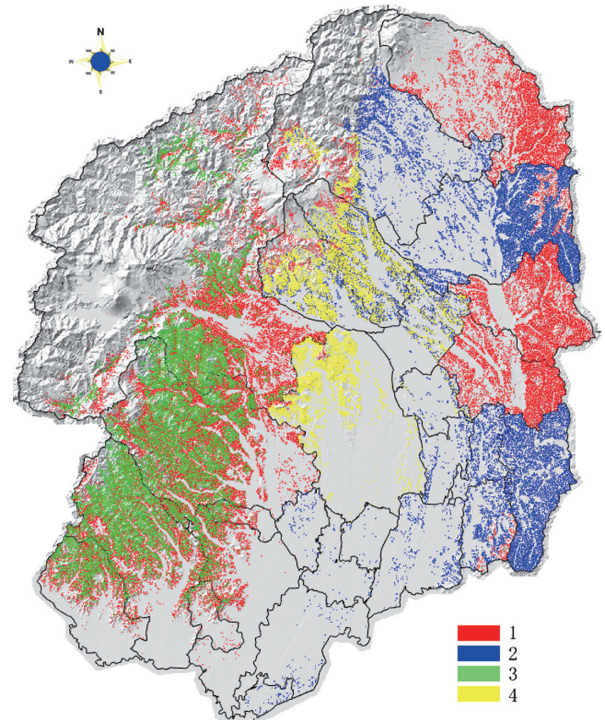


図-1 作業システム分布図
番号は表-1の収穫システム

表-1 収穫作業システム
グレー部分：未利用木材収穫費用計上部分

①	②	③	④
チェーンソー伐倒	チェーンソー伐倒	チェーンソー伐倒	チェーンソー伐倒
↓	↓	↓	↓
グラップル木寄	チェーンソー造材	チェーンソー造材	グラップル木寄
↓	↓	↓	↓
プロセッサ造材	スイングヤード集材	グラップル木寄	チェーンソー造材
↓	↓	↓	↓
フォワーダ搬出	フォワーダ搬出	フォワーダ搬出	フォワーダ搬出
↓	↓	↓	↓
トラック運搬	トラック運搬	トラック運搬	トラック運搬

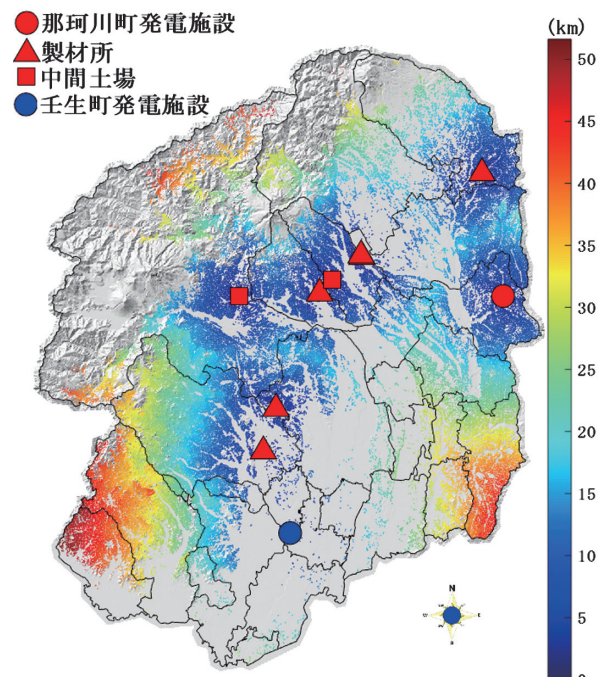


図-2 未利用木材運搬先と運搬距離

表-2 収穫費用算定式

L_f : 搬出距離 (m)、 L_y : 集材距離 (m)、 L_s : 木寄距離 (m)、 L_t : 運搬距離 (m)、 θ : 林地傾斜 (度)、 V : 出材量 (m^3/ha)、集材距離 L_y は 50 m、木寄距離 L_s は 15 m (中型)、10 m (小型)

使用機械・作業工程	規格	収穫直接費 (円 / m^3)	
チェーンソー・伐倒		992	
チェーンソー・造材		397	
プロセッサ・造材	中型	830	
	小型	1,160	
フォワーダ・搬出	中型	$0.538L_f + 608$	
	小型	$0.702L_f + 546$	
スイングヤード・集材	中型 下荷	$7.838 \times \{(1/1.26e^{-0.003\theta} + 1/1.26e^{-0.272-0.014\theta}) \times L_y + 216.3\}$	
	中型 上荷	$7.838 \times \{(1/1.26e^{-0.00345\theta} + 1/1.26e^{-0.272-0.00504\theta}) \times L_y + 216.3\}$	
	小型 下荷	$6.564 \times \{(1/1.26e^{-0.003\theta} + 1/1.26e^{-0.272-0.014\theta}) \times L_y + 216.3\}$	
	小型 上荷	$6.564 \times \{(1/1.26e^{-0.00345\theta} + 1/1.26e^{-0.272-0.00504\theta}) \times L_y + 216.3\}$	
	大型 下荷	$6.06 \times \{(1/1.00e^{-0.03\theta} + 1/1.00e^{-0.516-0.04\theta}) \times L_s + 57.25\}$	
	大型 上荷	$6.06 \times \{(1/1.00e^{-0.0231\theta} + 1/1.00e^{-0.516-0.03\theta}) \times L_s + 57.25\}$	
グラップル・木寄 (ウィンチ引き寄せ)	中型 下荷	$7.35 \times \{(1/1.25e^{-0.035\theta} + 1/1.25e^{-0.424-0.053\theta}) \times L_s + 49\}$	
	中型 上荷	$7.35 \times \{(1/1.25e^{-0.0308\theta} + 1/1.25e^{-0.424-0.04187\theta}) \times L_s + 49\}$	
	小型 下荷	$9.18 \times \{(1/1.55e^{-0.057\theta} + 1/1.55e^{-0.413-0.078\theta}) \times L_s + 45.25\}$	
	小型 上荷	$9.18 \times \{(1/1.55e^{-0.0536\theta} + 1/1.55e^{-0.413-0.064\theta}) \times L_s + 45.25\}$	
		大型	2,055
		中型	1,455
グラップル・木寄 (グラップル引き出し)	小型	1,098	
グラップル・はい積み		334	
8tトラック・運搬		$0.037L_t + 778$	
土場作設費 (円)		187.63V	

全国の試算例

全国の未利用木材の利用可能量試算に向けて、地理情報を利用することで各林分に適した作業システムを想定し、全国の人工林を対象に収穫コストと収益性の評価を行った例を紹介する。解析対象の森林は我が国の主要造林樹種であるスギ、ヒノキ、カラマツ、エゾマツ、トドマツの人工林とした。対象地は全国であるが、上記人工林がほぼ存在しない沖縄県は対象から外した。人工林データは環境省の植生図データ (第 2 ~ 5 回植生調査重ね合わせ植生) から当該樹種を抽出し、1 ha メッシュにラスタ化したものを用いた。DEM と道路データについては上述の数値地図のデータを使用した。

解析方法は上述した栃木県を対象とした試算と同様の枠組みで行った。栃木県での試算と異なる点を以下に示す。供給ポテンシャルは、全国すべての林分で地位を中として、LYCS3.3 により収穫量を推計し算出した。パラメータの一つである「地域」は都道府県ごとに適宜設定した。また LYCS3.3 に存在しない樹種であるエゾマツはトドマツで代用した。

収入に関しては、平成 28 年木材需給報告書 (農林水産省 2018) における製材用、合板用、木材チップ用素材価格にそれぞれの全素材に対する比率を掛け合わせ、それらを足し合わせることで、林分の平均素材価格 (円 / m^3) を求めた。この値は都道府県ごとではばらつきが大きかったため、地方区分ごとに平均化した。補助金は計

上しなかった。

支出の内、造林費用については、都道府県が公表している造林事業標準単価を参考に地拵・植付、下刈り、除伐、保育間伐で発生する費用を計上した。一方、保育間伐以降の利用間伐と主伐で発生する収穫費用については、林分ごとに地形条件に合わせた作業システムを設定したうえで算出した (図-3)。作業システムの設定には、後藤 (2016) が提示した傾斜と起伏量による作業システム区分を用いた。なお、ここでの収穫費用とは収穫林分内での路網作設と材の搬出・輸送における各種作業で発生する費用の合計であり、収穫林分までの到達路網の作設費用は含まないものとした。材の輸送には 4tトラックと 10tトラックを用いると想定し、道路データに含まれる幅員区分により通行可能性を判定し輸送経路を推定した。出荷先は輸送費用を最小とする市町村役場とした。

上記で算出する伐期全体の収入と支出から収支計算を行い、収支がある基準 A (円 / m^3) を上回った林分の供給ポテンシャルを利用可能量として推計するものとした。収支は地域の森林の有する属性や条件を色濃く反映するものとなった。特に樹種と地形条件 (作業システム) の違いは大きな影響を与えた。すなわち、素材価格の高いヒノキが多い、または収穫費用の安価な緩傾斜地が多い地域では、他地域と比べて、収支は大きく黒字となった。

未利用木材の発電利用は持続的たり得るか？

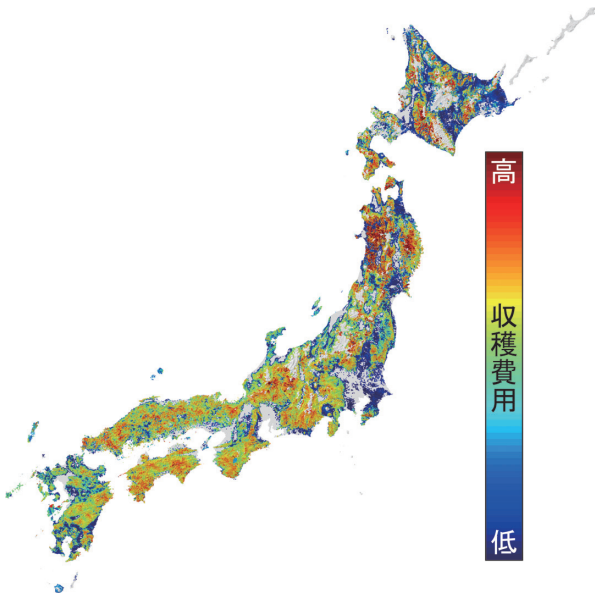


図-3 收穫費用分布図

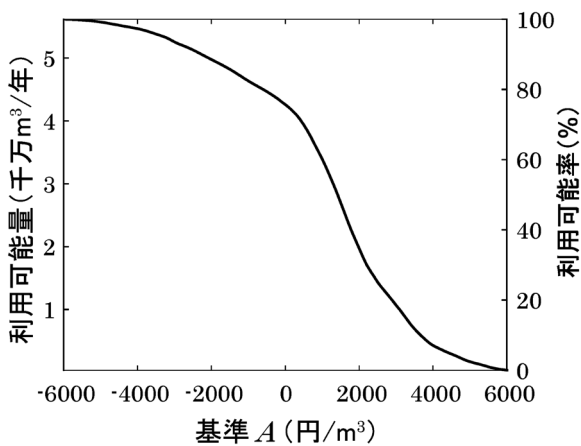


図-4 基準Aと利用可能量・利用可能率との関係

次に、基準Aをパラメータとする感度分析を行い、基準Aに対応する利用可能量を推計した。その結果を図-4に示す。左軸に利用可能量 (m^3 /年)を、右軸に総供給ポテンシャルに対する利用可能量の割合(利用可能率、%)を取っている。基準Aが0円/ m^3 、2,000円/ m^3 、4,000円/ m^3 の場合の利用可能量はそれぞれ4,261万 m^3 /年、1,973万 m^3 /年、427万 m^3 /年、利用可能率はそれぞれ74.9%、34.7%、7.5%であった。

解析対象樹種の現在の素材生産量は1,763万 m^3 /年である(農林水産省2018)。この生産量を満たすために、今回の試算結果に基づいて、収益性の高い林分から収穫

していくならば、収穫林分の平均収支は3,196円/ m^3 、最低収支は2,160円/ m^3 の黒字となり、現在の生産量を維持しつつ、収益性の確保された林業が実現可能であるように見える。ただし、収益性の高い林分から収穫するという仮定や、今回の試算では到達路網の作設費用を計上していない点などについては今後検討する必要がある。

今後は未利用木材の需給動向を本モデルに組み込み、経済性の担保された未利用木材の利用可能量推計を行う予定である。

引用文献

後藤純一 (2016) 平成27年度林業機械化推進シンポジウム 林業の成長産業化と求められる作業システム、機械化林業752: 1-8

農林水産省 (2018) 平成28年木材需給報告書。 <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&lid=000001174004> (2018年2月23日参照)

資源エネルギー庁 (2018) なっとく!再生可能エネルギー。 http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/index.html (2018年2月23日参照)

新エネルギー・産業技術総合開発機構 (2018) バイオマス賦存量・有効利用可能量の推計。 <http://app1.infoc.nedo.go.jp/biomass/> (2018年2月23日参照)

Yamaguchi R, Aruga K, Nagasaki M (2014) Estimating the annual supply potential and availability of timber and logging residue using the forest management records of the Tochigi prefecture, Japan. J For Res 19: 22-33

山本嵩久・有賀一広・古澤 毅・當山啓介・鈴木保志・白澤紘明 (2017) 栃木県における木質バイオマス発電のための長期的な未利用材利用可能量推計。日本森林学会誌 99: 266-271

Yoshioka T, Sakai H (2005) Amount and availability of forest biomass as an energy resource in a mountainous region in Japan: a GIS-based analysis. Cro J For Eng 26: 59-70

国内の木質バイオマス発電の動向と今後

佐藤 政宗 (さとう まさむね、株式会社森のエネルギー研究所)

はじめに

2012年7月の「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」(以下FIT制度)の施行によって、全国で木質バイオマス発電所の建設が相次いでおり、燃料となる間伐材や林地未利用材の利用促進が期待されている。しかし、間伐材や林地未利用材の発生状況や価格は地域差が大きく、燃料材の不足が懸念される地域もある(横田2017)。こうした状況からスケールメリットを活かした輸入燃料による超大型木質バイオマス発電所の計画も増加している。併行して、燃料使用量の少ない小規模な木質バイオマス発電の計画も増加している。本稿ではそうした木質バイオマス発電の実態把握と、エネルギー供給源としての木質バイオマスの今後の展望について考察したい。

木質バイオマス発電の特徴

木質バイオマス発電は蒸気タービン方式、ガス化発電方式、バイナリー発電方式の3つに大別される。技術に関する細かい言及は避けるが、その特徴として蒸気タービンでは技術的成熟度が高く実績も豊富であるが、小規模では低効率、大規模では大量の燃料を消費する。一般的に5,000kW以上の規模で事業採算性が確保できると言われ、その際の燃料使用量は約10万m³/年とされている(林野庁2012)。ガス化発電は小規模でも高効率で熱回収も容易であるが、技術的安定性は低く、国内での安定稼働事例はまだ少ない。オーガニックランキンサイクルに代表されるバイナリー発電(低温排熱を効率よく利用するため、沸点の低い媒体を蒸発させてタービン発電機を作動させる発電方式)はガス化発電に比べると発電効率は落ちるものの、熱回収が容易であり、さらに海外の実績では無人運転が可能等のメリットがある。しかし、国内の電気事業法では対応すべき課題が多く、いまだ導入には至っていない。

このように木質バイオマス発電は発電方式によって特徴があるものの、他の再生可能エネルギーと比較して「天候によらず24時間運転が可能」、「熱回収が可能」の2つの点で大きく異なる。太陽光発電や風力発電は発電量が天候に大きく左右されるのに対し、木質バイオマス発電は燃料を安定的に供給することによって24時間発電することができ、ベース電源として期待される。また、

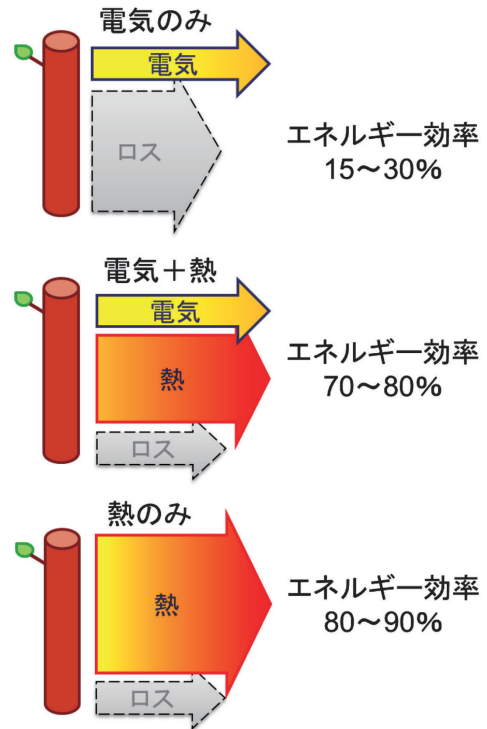


図-1 エネルギー効率のイメージ図

木質バイオマス発電では発電する際に熱が発生するため、熱利用を組み合わせることで高いエネルギー効率を実現できる。蒸気タービン発電の発電効率は5,000kW級で25%程度、30%以上の発電効率を出すためには10,000kW以上の規模が必要である。小規模でも高効率なガス化発電においても発電効率は30%程度である。しかし、発生する熱を有効に活用することによって70~80%のエネルギーを使用することができ、木材の持つエネルギーをより有効に利用できる。エネルギー効率のイメージを図-1に示す。

木質バイオマス発電の現状

木質バイオマス発電所の稼働、計画情報について整理する。経済産業省資源エネルギー庁(2017)の公表資料に基づく、2017年3月現在の木質バイオマス発電の認定状況を表-1に示す。

新規・移行導入容量は約105万kW、件数は107件であり、認定容量は約1,205万kW、件数は491件である。経済産業省が2015年に発表した長期エネルギー需給見通し(エネルギーミックス)では2030年度時点

未利用木材の発電利用は持続的たり得るか？

表-1 FIT 導入・認定状況

		未利用木質		一般木質・ 農作物残さ	建設 廃材	合計
		2,000 kW 未満	2,000 kW 以上			
新規・ 移行導入	容量 (kW)	9,678	296,297	403,392	341,216	1,050,582
	件数 (件)	11	35	30	31	107
認定	容量 (kW)	75,996	423,119	11,466,243	87,450	12,052,808
	件数 (件)	69	53	363	6	491

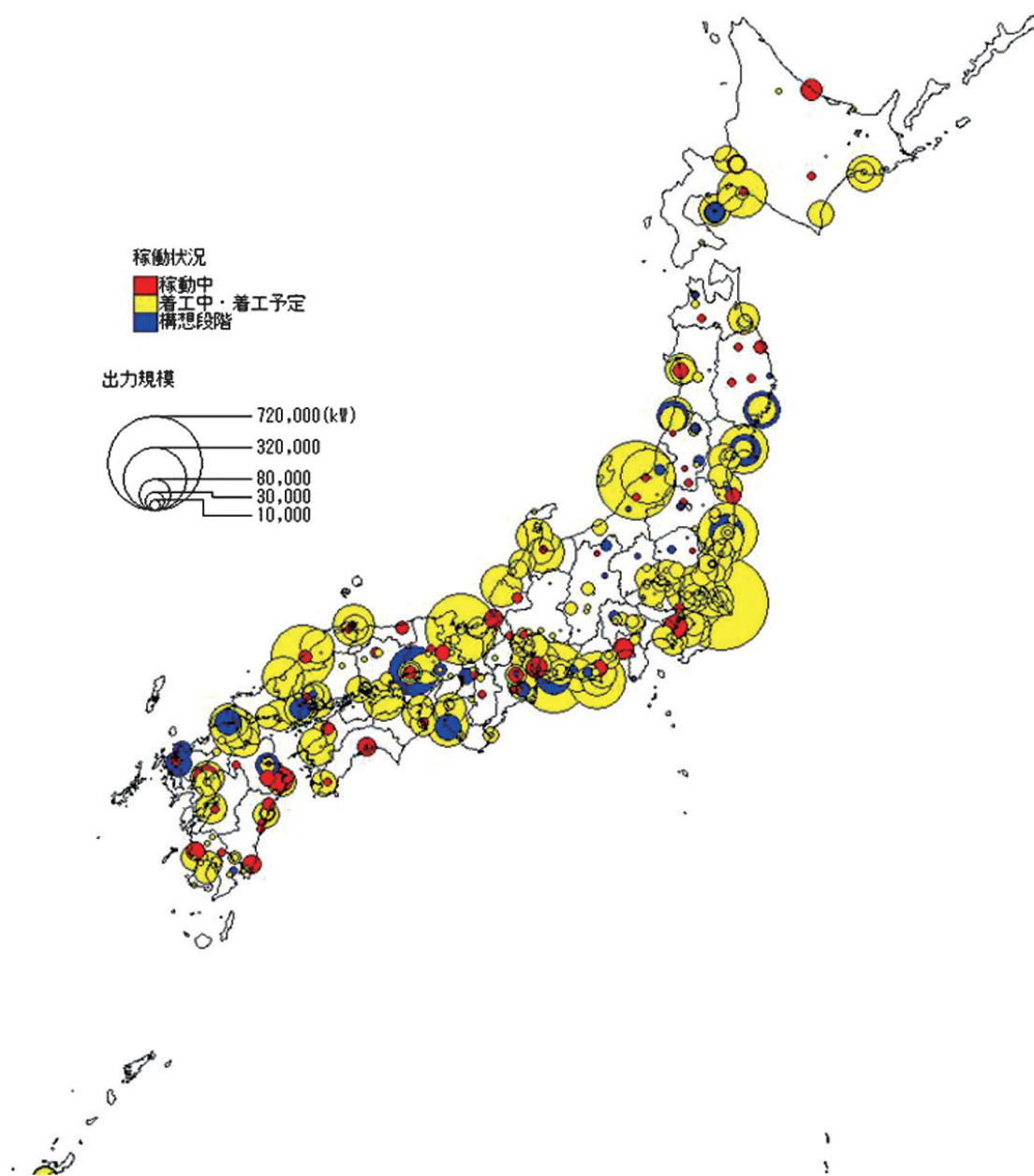


図-2 木質バイオマス発電 MAP (2018年2月現在)

でのバイオマス発電設備の容量を 602 ~ 728 万 kW と見通しを立てていたが、認定済みの発電所がすべて稼働したとすると、すでにその 2 倍近くの認定容量となっている。

新聞やインターネット上の公開情報を基に木質バイオ

マス発電の事業案件を整理し、日本地図にマッピングしたものを図-2 に示す。

円は出力規模に応じて大きさを変えており、赤色は稼働中、黄色は着工中・着工予定、青色は構想中をそれぞれ示している。なお、この地図は株式会社森のエネルギー

研究所 HP にて月に 1 度更新されている。

図-2 では何点が木質バイオマス発電所の普及段階での特徴が見て取れる。まず、稼働中の発電所に関しては分散して立地しており、5,000 kW 前後の発電所が多い。FIT 制度開始当初、最も買取価格の高かった間伐材等未利用材の区分で、技術的に成熟していた蒸気タービン方式の採算規模である 5,000 kW 規模の発電所が先行して進められた。その事業化に際しては各地域の間伐材等未利用材の利用可能量に応じて事業検討したことで分散して事業開発されたものと考えられる。着工中・着工予定の発電所に関しては様々な規模、場所に計画されているが、特に沿岸部で大型の発電所が計画されており、稼働中の発電所と重なっている箇所も少なくない。これは間伐材等未利用材の利用がある程度進み、5,000 kW 程度の発電事業を実施できる地域が限定され、より大型化した輸入燃料による木質バイオマス発電所が台頭してきたためと考えられる。輸入燃料を用いることによって、買取価格は下がるものの、調達体制によっては大量に入荷できるため、大型化によるスケールメリットを活かして事業性を担保することができる。輸入燃料の使用は国内材利用の発電所と燃料調達の面での競合がなく、近接した発電所の計画が進められることもある。

地域ごとに発電所の状況を見ると、東北や九州地域で稼働している発電所が多くなっている。これは豊富な素材生産力を背景に、5,000 kW 級の発電事業が先行して計画されたことに由来すると考えられる。こうした状況に対して、多くの発電所の稼働時期が重なるとされた 2016 年は、“2016 年問題”として未利用木材の供給可能性が懸念された(吉岡・有賀 2017)。しかし、実際には大半の発電所が問題なく燃料を集荷し、安定稼働できている。

これにはいくつかの要因があると筆者は考える。まず、素材生産業者の生産力の向上である。バイオマス需要の増大により、機械設備を更新・増強し、人員を強化する等で生産力を増大させた素材生産業者は少なくない。ほかにもこれまで生産されていなかった梢端部やタンコ口(根元部)の利用による歩留まりの向上や林業関係業界団体による一括集荷、地域協議会を活用した安定調達の工夫等が考えられる。

木質バイオマスのこれから

ここからは木質バイオマス発電のこれからについて考察したい。先述の通り、輸入燃料を主体とした大規模発電事業が事業段階へ進むと考えられるが、20,000 kW 以上の一般材区分発電所では買取価格が下げられることや、輸入燃料の安定調達の不透明性から、大規模なバイ

オマス発電事業の新規事業化が難しくなると考えられる。一方で、2015 年から買取価格が高く設定された 2,000 kW 未満の小規模なバイオマス発電の普及が期待される。ただ、2,000 kW 未満では蒸気タービン方式は効率が低くなるため、売電収入のみで事業採算性を確保するのは難しい。そこで、今後は発電時に発生する熱の有効活用が重要になると考えられる。木質バイオマス発電で発生する熱は非常に大きく、2,000 kW 未満の発電所で総合効率 80% を想定すると、熱の発生量は 4 ~ 6 千 kW になる。延べ床面積 4 万 m² の病院の給湯・暖房・冷房をすべて賄うのに必要な平均熱利用負荷が 1,000 kW 程度であることから、そうした施設の需要を 5ヶ所前後集約する必要がある(久保山ら 2017)。こうした大きな熱需要は全国的にみても多くはないと考えられ、蒸気タービン方式での熱電併給事業成立の条件は制約が厳しいといえる。

対して、ガス化発電は小型でも発電効率が高いことから、熱需要に合わせた設備選択が可能であり、技術の成熟とともに積極的に導入が進むと予想される。一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会(2016)によってまとめられた、出力規模帯による発電技術選択と排熱特性について図-3 に示す。

一方、燃料供給に目を向けると、国産材需要が多くなり、これまでの間伐中心の林業から主伐へ移行しつつある。特に木質バイオマス発電所が多く立地する地域では顕著になっており、皆伐後の再造林や資源管理について問題視されている。筆者が九州地域でバイオマスの影響に関するヒアリング調査を実施した際には「民間事業者も森林組合も伐採作業を行っているため植栽をする業者がおらず、植栽は隣の業者が請け負っている」という情報が得られた。こうした林産事業と造林事業のミスマッチが発生している地域も存在するため、計画的な林業経営が重要であると考えられる。また、他産業への影響も考慮すべきである。特に畜産用のおが粉に関して、公益社団法人中央畜産会(2016)の報告では、「木質バイオマス発電の需要増大等により、地域によっては、供給量の減少や価格の上昇がみられる状況」とある。木材は木材加工業だけでなく、様々な用途で使用されているため、こうした周辺産業への影響も考慮されるべきであると考えられる。

まとめ

国内の木質バイオマス発電事業は発電のみの大規模事業が先行しており、総エネルギー効率の高い熱電併給事業はあまり普及していないと言える。しかし、筆者は木材資源の有効活用や地域エネルギー自給の観点から、熱

未利用木材の発電利用は持続的たり得るか？



図-3 出力規模別による技術選択と排熱特性

電併給事業の普及が求められると考える。

電気は熱よりも汎用性が高く便利なエネルギーだが、発電時にも送電時にもロスが小さくない。一方で、熱エネルギーは私たちの家庭の中では最も馴染み深いエネルギーであるが、移動することが難しい欠点もある。こうした両エネルギーの欠点を補完すべく、電気を取り出した後の余熱を有効利用する熱電併給は重要なエネルギー供給方法であると考えられる。森林資源もエネルギーも、限りある資源である。持続可能な資源利用のためにその使い方と作り方を十分考えていく必要があると筆者は考える。

引用文献

一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会(2016) 小規模木質バイオマス発電導入ガイドブック. <https://www.jwba.or.jp/small-woody-biomass-generation-guidebook> (2018年3月18日確認)

経済産業省資源エネルギー庁(2017) 買取価格制度情報

公開用ウェブサイト. http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/statistics/index.html (2018年3月18日確認)

公益社団法人中央畜産会(2016) おが粉の代替となる敷料の事例集. <http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/ogako.pdf> (2018年3月18日確認)

久保山裕史・古俣寛隆・柳田高志(2017) 未利用木質バイオマスを用いた熱電併給事業の成立条件. 日林誌 99: 226-232

林野庁(2012) 平成24年度森林・林業白書. <http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/24hakusyo/index.html> (2018年3月18日確認)

横田康裕(2017) 宮崎県における発電用木材の安定供給の取り組み. 日林誌 99: 241-250

吉岡拓也・有賀一広(2017) 日本森林学会におけるバイオマス関連研究とFIT. 日林誌 99: 217-219

木質バイオマスの発電等利用による 土壌養分減少の可能性と燃焼灰施用に よる補償の試み

山田 毅・平井 敬三 (やまだ つよし・ひらい けいぞう、森林総合研究所)

木質バイオマスの発電等利用と土壌の養分減少の可能性

再生可能エネルギーの固定価格買い取り制度（以下、FIT 制度）が 2012 年 7 月に導入されて以降、熱利用も含む発電用の木質バイオマス利用量が急増している。木質バイオマス発電所では、燃料として従来林地に残されてきた間伐材や林地残材などの未利用材を使うことを想定しており、FIT 制度の本来の趣旨である未利用材の有効活用の促進にも寄与する。そのためには、多くの未利用材を燃料材として安定的に供給する必要がある。

例えば、FIT 制度で標準的とされる送電出力 5,000 kW クラスの発電所の場合、年間約 10 万 m³ もの材が必要になる（林野庁 2017a）。2016 年 10 月末時点で、未利用木質バイオマスを活用する稼働済み発電所の総発電容量は 278,000 kW なので（林野庁 2017a）、計算上 556 万 m³ の未利用材が必要になる。一方、2016 年に木材チップの形でエネルギーとして利用された間伐材・林地残材等由来（ただし主伐材も含む）のバイオマス量は 192 万乾トンであり（林野庁 2017b）、木材チップからの換算値 2.2 m³/t で換算すると 422 万 m³ しかない。これらの値はいずれも換算値であり、材の含水量なども考慮する必要があるが、未利用材の供給量は不足しており、不足分は製材端材、輸入材およびチップ、パームヤシ殻などの一般材で補っていると推定される。このようにバイオマス発電等には多量の燃料材を必要とするので、バイオマス発電所の設置場所やその規模が適切で、当該地域内の木質バイオマス資源量で供給可能であれば問題はない。しかし、燃料材の集荷域が重なる地域では木質バイオマス集荷の競合が発生し、資源の不足が予想されている（安藤 2014；岩岡ら 2017；松村 2015）。

このようなバイオマス資源の集荷競合が起こるような場合には、森林からの過度のバイオマス利用にともなう養分収穫が土壌養分減少や最終的には林地生産力の低下につながる可能性もある。また、収穫するバイオマス量だけでなく、収穫方法の違いやバイオマスの質によっても養分減少の影響は異なる。

全木集材による森林土壌の養分減少は起こりうるか？

樹木は根を通して土壌から養分を吸収し、樹体内に蓄積する。通常、幹よりも枝葉の方が養分含有率が高いので、枝葉はバイオマス量としては少なくとも、蓄積する養分量は多くなる。したがって、養分含有率の高い枝葉の収穫は、土壌への養分供給源となる有機物量を減少させるため、林木の成長量を低下させる懸念がある（山田ら 2016）。従来は伐採後幹だけが収穫され、枝葉は林地に残されたので、枝葉に含まれる養分がその分解とともに土壌へ戻され、樹木の成育とともに、樹体内に吸収・蓄積されることで、養分は林分内で循環し、保持されてきた。そのため、森林土壌でミネラル不足が問題になった事例は、九州で発生したスギ葉枯症と低カリウム土壌との関係を指摘した今矢・重永（2008）を除きほとんどない。

従来の収穫方法である短幹集材（図-1）は、伐採後枝葉や梢端部（以下、枝葉）を林内で切り落とし、幹を適当な長さに切りそろえて、幹だけを収穫するため、手間がかかり、作業効率が低い。一方、近年は作業効率の向上を図るため高性能林業機械等が現場に投入されるようになった。この全木集材（図-1）は、伐採後枝葉のついたままの木を丸ごと一本収穫し、林内作業路上や山土場で造材を行うことが一般的である。このように、全木集材では幹だけでなく枝葉も林外に持ち出されるので、養分が森林土壌に戻ることはなく、土壌養分減少の可能性が高くなる。枝葉はかさばるため運搬しづらいことから、林内作業路や山土場周囲に捨てられてきた（図-2）。結果として、枝葉は燃料材や土壌養分の供給源として活用されず、バイオマス資源や養分の循環利用にもつながっていない。

では、枝葉も収穫する全木集材によって土壌養分の減少は起こるのだろうか。筆者らが全木集材と短幹集材を比較して、間伐時の枝葉収穫量の違いをスギ林で調査した結果、収穫されず林地に残された枝葉は急速に分解して、養分が土壌に供給された。ただし、表層土壌の養分

未利用木材の発電利用は持続的たり得るか？

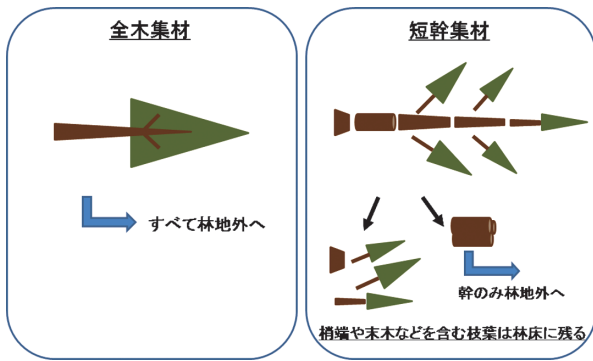


図-1 全木集材と短幹集材の違い
全木集材（左）では、木全体を一旦林内作業路や山土場などまで搬出し、その後枝葉等を切り払い、幹だけが収穫される。残された枝葉等は、通常もとの林内にかえされることはなく、林内作業路や山土場の周囲に捨てられる。
短幹集材（右）では、林内で枝葉を切り払い、幹も一定の長さに切り分けた後、林外へ収穫する。そのため、林床には梢端や末木を含む枝葉、根元の短尺材、曲がり材などが残される。



図-2 林内作業路脇に置かれた枝葉等
向かって右側の林内作業路で造材され、林外へ搬出されなかった枝葉は作業路脇に置かれた。右奥の林地に置かれた枝葉に含まれる養分は、林地に還元されて樹木の成長に寄与すると考えられる。一方、中央に置かれた枝葉に含まれる養分は、左手前から中央を通して左奥へと流れる溪流によって流出してしまうため、樹木の成長には寄与しないと考えられる。

濃度や含有量に違いはなく、全木と短幹集材の違いが土壌養分に及ぼす影響は明らかでなかった (Yamada et al., 2015; 山田ら 2016)。一方で、35度を超える急傾斜地では枝葉が収穫されたことによって林地表面の保護作用が低下して土壌移動が起こり (図-3)、養分に富む表層土壌が失われる可能性が特にヒノキ林で指摘されている (Miura et al., 2003; 三浦 2012; 山田ら 2016)。したがって、急傾斜地以外では、バイオマス量 (材積率) で3割程度の間伐1回程度であれば、全木集



図-3 スギ林における全木集材3年後の林床の様子
35度を超える急傾斜地で本数比35%の間伐を行った後、全木集材により枝葉も含んで収穫した。枝葉の収穫により林床被覆を維持できなかったため、土壌移動が発生して表土が安定せず、3年後でも植生の回復が進んでいない。(枠のサイズは50×50cm)
詳細は、山田ら (2016) を参照。

材による養分減少はおこらないと考えられる。ただし、繰り返し全木集材を行った場合の影響は明らかになっていない。一方、主伐 (皆伐) では、トドマツ主体の天然林を伐採し、全木集材後に植栽したアカエゾマツの樹高が低下した (平井ら 2012)。また皆伐時には、枝葉の収穫をしていなくても、土壌中のカルシウムなどの養分が伐採前の70%以下に減少した (小林 1982)。したがって、皆伐時の全木集材 (枝葉の収穫) は、先に述べた土壌移動の問題とも関係して大きく土壌養分を減少させ、樹木の成長に影響を及ぼす可能性がある。

かつては日本でもいわゆる「はげ山」が至るところに存在し、土壌養分が少ない「やせた山」も多かった。森林の過度な利用や伐採後に再造林を行わないなど、不適切な利用によって、土壌養分が減少する可能性には注意すべきである。ただし、木材価格の低迷や高い搬出・輸送コスト状態である現状では、過度な未利用材の利用は、今のところ考えにくい。

したがって、バイオマス資源の持続的な利用を前提として適切に森林管理を行うことで、未利用材の有効活用を図るべきである。そのためには、今後枝葉収穫量の許容値、集材作業時の攪乱の低減、林床被覆の程度について、降雨や地質などの環境条件とともに明らかにしていく必要がある。

枝葉等収穫の先進地北欧の事例に学ぶ

フィンランドやスウェーデンなど北欧地域は、緩傾斜で機械化が進んでいることもあり、全木集材によって木材の収穫がなされてきた。また、それら地域は木質バイオマスを発電用としてではなく、暖房用に熱利用する需要も多い。そのため、枝葉だけでなく日本では利用されない根株なども燃料として利用される場合がある。北欧地域は平坦な土地で降水量が少ないため、土壌移動や雨水への溶存による養分の損失は日本に比べて少ない。しかし、日本に比べて、砂質で養分の少ないポドソル土壌や有機物が厚く堆積した泥炭土壌（酸性度が強く、養分が少ない）が多く分布する。全木集材は土壌への養分供給源となる有機物の減少をもたらすため、土壌養分の減少がより現実的な問題として検討されるようになった。

Tumomasjukka et al., (2014) のレビューによると、枝葉の収穫を含む全木集材が林分レベルで森林の生産性を減少させる要因であることは明らかである。ただし、全木集材によって林分内の養分蓄積は減少するが、土壌中の養分減少を捉えたわけではない。また、枝葉を残すことが土壌への養分還元にも有効であることが認識され、スウェーデンでは、皆伐地での集材時に、林分の枝葉バイオマス量の 20% 以上を残すことが指針として示されている (Swedish Forest Agency 2008)。

さらに、全木集材によって失われた養分を補填するため、施肥は有効な手段の一つとされ、木質バイオマス発電等のボイラーで燃烧された後の灰（以下、木質燃烧灰）の林地散布も行われている。例えば、スウェーデンでは再造林後 10 年間に 3t/ha、一施業期間内に 6t/ha を上限とした散布許容量が設定されており、皆伐や間伐、枝葉収穫の有無、樹種などによっても灰散布の目安量が定められている (Swedish Forest Agency 2008)。

失われた養分を補うための試みと今後の課題

一資源循環型の持続的な社会構築に向けて一

高温で燃烧されるため、木質燃烧灰は炭素や窒素成分をほとんど含有しないが、カリウム、カルシウム、マグネシウムといったミネラル成分とリンを含んでいる。ただし、バイオマス発電所等のボイラーの規模や種類とそれに伴う灰の種類、また燃料となる木質チップ等に含まれる養分量によっても、灰の養分含有量は異なる。

では、農作物や樹木への木質燃烧灰の肥料効果は実際の程度であろうか？ コマツナでは、花崗岩母材や砂土など、砂質土壌に対する木質燃烧灰の施肥は、塩化カリウム肥料と同等かそれ以上のカリウム施肥効果があり、カルシウムやマグネシウムにも肥効があった (和田・内山 2016)。カラマツを材料としたペレット燃烧灰の力



図-4 木質燃烧灰のヒノキ林分への散布試験
筆者らが現在行っているヒノキ林分への木質燃烧灰散布試験の様子。正面やや左の灰色の部分に散布した木質燃烧灰。この林分ではヒノキの根元から 30 cm 離して半円状に散布した。

ラムツ苗木への施用では、樹高や直径成長は無施用の対照区と変わらず、針葉や幹枝の乾燥重量は対照区より大きい傾向を示した (折橋ら 2011)。また、ピートモスを主体としたコンテナ苗の培地に木質燃烧灰を混合し、スギとヒノキ苗の苗高と地際直径の成長を調査したところ、灰の容積混合率がスギでは 10% まで、ヒノキでは 5% までは対照と同程度かそれ以上の成長を示した。ただし、それ以上の混合率では成長抑制が認められた (長倉ら 2018)。この結果は、灰施用の影響がスギとヒノキで異なる可能性も示しており、今後は樹種による違いを明らかにすることも必要である。

このように、樹木の成長等への灰施用に関する研究は、ここに挙げた数事例しかなく、現在ではその効果や影響を整理できる段階にはない。土壌に対する灰施用については、pH 上昇による土壌酸性度の矯正に効果がある一方、灰施用が成長抑制等を起こす危険性もあるので、樹木では慎重な施肥量の検討が必要である。

また、燃烧灰中には微量の重金属等、植物に有害な成分が含まれることにも注意が必要である。それらの成分は元来土壌中に存在し、その含有量は土壌の母材や地質によって異なる。樹木はそれら成分を吸収し、樹体に蓄積する。そのため、木質燃烧灰に含まれるそれら成分が環境基準を超えない場合、後述する環境省通知に合致すれば、施用は法的には問題ない。一方、防腐処理された廃材や劣化したボイラーで燃烧した灰には、重金属等の有害物質が多く含まれる可能性がある。灰は、見た目からでは有害物質による汚染度合いを判別できないため、このような灰は、林地への施用を控えるべきであり、安全性の確保された木質燃烧灰のみを散布するための仕組みが必要だろう。木質専焼の燃烧炉から産出した灰は、

有効利用が確実な灰に限り廃棄物とは見なさないという環境省通知（平成25年6月28日 環産発第1306282号）にも示されるように、木質燃焼灰は本来有効活用が見込めるものである。木材の収穫利用によって失われた養分を灰として林地に還元することは、資源循環型の持続的な社会の構築にも寄与するので、本論でも述べた留意点を踏まえ、その活用が期待される。

なお、現実林分での木質燃焼灰施用の研究は、筆者らも取り組みを始めており（図-4）、今後は生態系への影響について明らかにしていく予定である。

引用文献

- 安藤範親（2014）未利用材の供給不足が懸念される木質バイオマス発電—地域別需給推計と展望—. 農林金融 67: 364-378
- 平井敬三・小野賢二・山田 毅・天野智将・山本幸一・相澤州平・阪田匡司・真田勝（2012）森林バイオマスの強度収穫に伴う養分持ち出し量とその後の土壌および樹木成長への影響 —特に養分に富む枝葉の収穫影響に注目して—. バイオマス科学会議 7: 68-69
- 今矢明宏・重永英年（2008）スギ集団葉枯症の発生地域とその土壌養分状態. 九州森林研究 61: 146-147
- 岩岡正博・小野 梓・松本 武（2017）木質バイオマス発電の燃料はどのような形でどこから集められ足りているのか？ 日林誌 99: 220-225
- 小林繁男（1982）森林の皆伐に伴う土壌の変化. ペドロジスト 26: 150-163
- 松村幸彦（2015）バイオマスFITを俯瞰する. 日本エネルギー学会誌 94: 1174-1178
- 三浦 覚（2012）林地における土壌侵食.（森のバランス 植物と土壌の相互作用 森林立地学会編, 東海大学出版会）. 49-63
- Miura S, Yoshinaga S, Yamada T (2003) Protective effect of floor cover against soil erosion on steep slopes forested with *Chamaecyparis obtusa* (hinoki) and other species. J For Res 8: 27-35
- 長倉淳子・小笠真由美・山田 毅・平井敬三（2018）スギ、ヒノキコンテナ苗育苗培地への木質バイオマス燃焼灰混合が苗木の成長と養分状態におよぼす影響. 森林総合研究所研究報告. 17: 75-84
- 折橋 健・山田 敦・高橋 徹・田代直明・古賀信也（2011）木質バイオマス燃焼灰の林地還元に向けた基礎知見 —カラマツペレット燃焼灰を用いた検討— 九州大学演習林報告. 92: 13-18
- 林野庁（2017a）平成28年度森林・林業白書. <http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/28hakusyo/index.html>（2018年4月24日確認）
- 林野庁（2017b）平成28年木質バイオマスエネルギー利用動向調査 http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/mokusitu_biomass/index.html（2018年4月24日確認）
- Swedish Forest Agency (2008) Recommendations for extraction of harvesting residues and ash recycling. *English translation of Rekommendationer vid uttag av avverkningsrester och askåterföring. Swedish Forest Agency Meddelande (Letter) 2:2008. ISSN 1100-0295*
- Tuomasjukka D, Fitzgerald J, den Herder M, Lindner M, Piirainen S, Routa J, Egnell G, Lind T, Lindroos O (2014) Impact assessment on carbon dynamics, forest growth and productivity, water quality, and biodiversity INFRES - INFRES - Innovative and effective technology and logistics for forest residual biomass supply in the EU (311881)
- Yamada T, Hirai K, Takenaka C, Nishizono T, Amano T. (2015) Short-term impacts of logging residue at thinning on cation dynamics in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) forest soils in northern Japan 森林立地 57: 93-100
- 山田 毅・高橋幸男・西園朋広・小谷英司・天野智将・平井敬三（2016）枝条収穫の違いがスギ林土壌の理化学特性と林分成長に及ぼす影響. 森林立地 58: 61-68
- 和田健太郎・内山知二（2016）製材残材を燃料とするボイラーから排出された木質燃焼灰の肥料効果. 日本土壌肥料学雑誌. 87: 40-44

未利用バイオマス発電が直面するであろう 課題：先行する欧州の経験からの考察

相川 高信 (あいかわ たかのぶ、公益財団法人自然エネルギー財団)

はじめに

世界的に、自然エネルギーの導入が加速化しており、特に太陽光と風力発電の増加が著しい。一方、バイオエネルギーは引き続き量的に主要な地位を保っているが、克服すべき課題が明らかになりつつある。

第一に、太陽光や風力については、その発電コストが急速に低下し、政策的な補助が不要になりつつある。そのため、バイオエネルギーの発電についても同様に、経済的な自立が求められるようになってきている。

第二に、バイオエネルギー利用を炭素中立（カーボンニュートラル）とみなす考え方が単純すぎるという批判が強まっている。実際に、利用方法によっては、化石燃料を用いたエネルギー利用よりも、GHG（温室効果ガス）の排出量が多いケースがありえることが明らかになっている。このため、環境面での説明責任が新たな課題として浮上している。

これらの課題は、自然エネルギー導入で先行する欧州諸国で明らかになりつつある。そこで本稿では、欧州諸国の状況を参照しながら、日本の未利用バイオマス発電が、近い将来に直面すると予想される課題を整理したい。

日本における未利用材優遇

2012年から始まった再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT 制度）により、国内の木質バイオマスを用いた発電が増加している。FIT 以前の 2003年に始まった、新エネルギー等電気利用制度（RPS 制度）の時代も、木質バイオマスを用いた発電は多く存在していた。RPS 制度は、非再生可能エネルギーによる発電事業者に対し、再生可能エネルギーによる発電を一定割合で義務付ける制度であり、FIT 制度開始により現在では段階的に廃止されつつあるものである。RPS 制度では、FIT 制度と異なり、通常の電気料金より高い買取料金が保障されるわけではなく、再生可能エネルギーの中でも安いものから順番に用いられる。そのため、当時は木質バイオマス発電の電気の買取価格も低く抑えられたため、燃料として用いられたのは主に建築廃材であり、林地残材については、収集・運搬コストの高さから利用が進まなかった。

そこで、FIT 制度では、林地残材の利用促進を企図し

て「未利用材」区分が設けられ、買取価格が優遇されることになった。その結果、2017年3月現在、導入量が30万kW、認定量が50万kWまで増加した。これに対して、持続的な燃料供給の可能性や課題についての議論が盛んに行われている（例えば、安藤（2014）、吉岡・有賀（2017）など）。他方、制度運用者である資源エネルギー庁は、当面の燃料需給の問題を注視しつつも、すでに、社会・環境経済面での持続可能性と、FIT 期間終了後の「自立」を求めていることに、注意が必要である。

ドイツの経験①：未利用材優遇

木質バイオマス発電の自立の方向性を考える上で、日本の10年以上先を行くドイツの経験が参考になる（熊崎 2015a）。ドイツのFIT 制度は、2000年に成立した「再生可能エネルギー法」（以下、EEG）によって規定されている。表-1に示すように、EEG は当初はシンプルなものだったが、その後、改定を繰り返し、複雑なものになっていった。この表から、ドイツでは助成対象を2万kW以下に限定していること、日本に比べて支援水準が低く抑えられていることなどが分かる。

またドイツにも、NawaRo ボーナスと呼ばれる森林由来の林地残材等のバイオマスを優遇する仕組みがあったことに注目したい。これは、木質ボード産業など主に建築廃材を用いる既存用途との競合を避けることを主目的として、2004年に導入され、ドイツでも林地残材の利用が進んだと報告されている（梶山 2013）。しかしその10年後の2014年のEEG改正において、NawaRo ボーナスは廃止されている。

NawaRo ボーナス廃止の大きな理由は、太陽光や風力に比した時の報償費の高さにあった。日本でも、太陽光についてコスト低下が見られ、バイオエネルギーについても経済的な自立が求める圧力が強まっていることは、すでに述べたとおりである。日本の未利用材の買取価格は、ドイツよりも高く、かつ高止まりしている点に注意が必要である。ドイツは10年間でボーナスを廃止したが、日本でどの程度の期間で、そのような補助が不要になるか、つまり、未利用材の供給コストを低下させることができるかについての見通しが立っていない。

未利用木材の発電利用は持続的たり得るか？

表-1 ドイツ EEG におけるバイオエネルギー発電の報償額

(ユーロセント / kWh)

報償区分	規模・ボーナス	2000年	2004年	2009年	2012年	2014年	
基本レート	150 kW 以下	10.2	11.5	11.7	14.3	13.66	
	150 ~ 500 kW	10.2	9.9	9.2	12.3	11.78	
	500 ~ 5,000 kW	9.2	8.9	8.3	11.0	10.55	
	5,000 ~ 20,000 kW	8.7	8.4	7.8	6.0	5.85	
ボーナス	500 kW 以下	NawaRo	-	6.0	6.0	6.0	-
		コジェネ	-	2.0	3.0	-	-
		革新技術	-	2.0	2.0	-	-
	500 ~ 5,000 kW	NawaRo	-	2.5	2.5	2.5	-
		コジェネ	-	2.0	3.0	-	-
		革新技術	-	2.0	2.0	-	-
	5,000 ~ 20,000 kW	コジェネ	-	2.0	3.0	-	-

世界的には、木質チップの生産コストには、学習曲線が適応できることが知られている (Björheden et al. 2005)。したがって、日本の林業セクターも、燃料供給コストの削減に今から取り組む必要がある。具体的には、枝葉などパルプ需要と競合しない、より低質の燃料の利用を可能にするために、林道端・中間土場などでの現地チップ化の実現がカギとなるだろう。また、サプライチェーン・マネジメントに ICT を活用し、移動式のチップパーや輸送用トレーラーの稼働率を高める努力が重要である。FIT により買取価格が保障されている期間中に、コスト低減が実現するように、森林利用学分野の研究と実践が待たれる。

ドイツの経験②：熱電併給の優遇・義務化

もう一点、ドイツの EEG で参考になるのは、コジェネレーション (熱電併給) の推奨・義務化である。具体的には、2004 年にコジェネレーションに対するボーナス優遇を導入した (表-1)。さらに、2012 年にはボーナスを廃止したが、総合効率 60% 以上を実現化することを要件化し、事実上コジェネレーションを義務化している。

コジェネレーションは排熱を利用することで、高いエネルギー効率を実現するが、排熱に対応するだけの十分な熱需要が必要となるため、安易な計画の乱立を防ぐ効果がある。さらには、木質ガス化や ORC (オーガニックランキンサイクル) などの革新的な発電技術に対してもボーナスを設定し、熱電併給を実現するための技術的イノベーションを促した点も参考になる。

他方、日本では、FIT は電気に関する法律であるとして、資源エネルギー庁は、コジェネレーションの優遇・義務化を拒んで来た。今後、限られた資源を使って、効率的に GHG の削減を行っていくことが求められる中

で、熱電併給を伴わない発電プラントの存在が問題視されることが想定される。加えて、熱の利用を伴わないことは、経済性を悪化させる原因にもなっており、今後の FIT からの自立を困難にしているという点で、問題が多い。

持続可能性基準の世界的な広がり

これまで見てきたように、ドイツでは、FIT の助成対象を 2 万 kW に限ること、大規模発電の買取価格を低く抑えること、コジェネレーションを優遇・義務化するなどの工夫を行ってきた。これにより、大規模なバイオマス発電を抑制しつつエネルギー効率のよいプラントを増やしてきた。また、このことは既存のマテリアル利用への配慮という面もあり (熊崎 2015b)、林業・林産業と共存、もしくはそれを発展させるかたちでバイオエネルギー利用に取り組んできた結果とも言える。

それに対して、2010 年代に入り、石炭の直接代替のためにバイオエネルギー利用を推進する国が現れ始めた。具体的には、大規模な石炭火力発電をバイオマスを使って転換することに乗り出したイギリス、オランダなどが該当する。これらの国は、自国に十分な森林資源を有しているわけではなく、また木材産業も発達していないため、利用するバイオマス燃料の多くを輸入する必要がある。

先鞭をつけたのは、イギリスの Drax 発電所である。Drax は 360 万 kW の容量を持つ、イギリス最大の石炭火力発電所だったが、その内 180 万 kW のユニットを、2013 年から段階的にほぼ 100% バイオマス燃料に転換した。燃料は主にアメリカからの輸入ペレットであり、その量は年間 700 万 t に達している。

このような大規模な利用はリスクも大きいいため、より客観性・透明性の高い指標を持つ持続可能性基準が定め

表-2 イギリスとオランダの持続可能性基準の概要

	イギリス	オランダ
導入年	2013年	2015年
対象	1,000kW以上の発電所全て	石炭混焼と大規模熱生産
土地利用の持続性	合法的かつ持続可能な森林経営	森林バイオマスは認証が必要
GHG 排出原単位の規制値 (kg-CO2/kWh)	・ 0.240 (2014-20年) ・ 0.200 (2020-25年) ・ 0.180 (2025-30年)	0.202

られ、その遵守が求められるようになっている。持続可能性基準の具体的な内容としては、①土地利用の持続性、②GHG削減効果、③トレーサビリティの3点が求められるのが一般的である。欧州において、先行的に国レベルの持続可能性基準を整備したイギリスとオランダにおける、制度の概要を表-2に示す。土地利用の持続性については、FSCやPEFCなどの森林認証が援用されている。加えて、化石燃料を用いた場合のGHG排出量の基準値に対して、60～75%のGHG削減が求められていることが分かる。

一方、日本では、FIT制度に規模要件が設けられていないため、一般木質の区分で5万～20万kW程度の大規模な発電所の認定量が急増するという問題が発生している。さらに、2017年度の調達価格等算定委員会において、パーム油などの環境リスクが高い液体燃料の認定量が、相当程度あることが明らかになり、これらの輸入バイオマスに対する持続可能性基準の適応が急務になっている。

バイオエネルギー利用の気候変動対策としての有効性

このように、木質バイオマスの利用が拡大傾向にあるため、一般社会や政策担当者からの監視の目が厳しくなっている。

例えば、イギリスは上述のとおり厳格な持続可能性基準を策定・運営しているが、より根本的なレベルでの疑義も表明されている。例えば、2017年にイギリスの王立国際問題研究所が発表したレポートでは、炭素中立の概念や温室効果ガスの計上方法などの観点から、バイオエネルギー利用の気候変動対策としての有効性が強く批判されている (Bruck 2017)。

このレポートは大きな論争を巻き起こし、IEA Bioenergyの研究者グループを中心に反論レポートも発表されている (Cowie et al. 2017)。本稿では議論の詳細には立ち入ることができないが、バイオエネルギー利用による気候変動対策の効果の定量化や、留意点などについて、科学的にエビデンスを積み上げ、理論を精緻化していくことが研究者に求められていると言える

だろう。

未利用材にも求められる環境責任

その点で、日本の未利用バイオマス発電が、説明責任を果たしているか、心もとないところがある。そもそも、未利用材の定義は、補助制度に基づいたもので、GHG削減効果など環境性能の裏付けが行われていない。具体的には、未利用材には、切り捨て間伐材から、未木枝条など、様々なものが想定され、森林経営計画を策定していれば、制度上、主伐材でも未利用材と分類されることがありえる。加えて、その収集・運搬方法も多様であり、それらのライフサイクルGHGが適切に評価される必要がある。また、日本の未利用材発電の多くが、熱電併給となっていないため、GHG削減効果が限定的であることが想定される。

これらの点について、日本での研究は限られている。森林からの燃料供給についての実証的研究 (Yoshioka et al. 2005) もあるが、システム全体のLCA評価については、吉岡 (2013)、古俣ら (2013)、古俣ら (2017) などに限られており、様々なパターンを考慮したより多くの研究が待たれる。

さらに、マクロレベルでは、森林生態系全体の炭素収支に配慮する必要がある。森林・林業基本計画における未利用木材も含めた森林由来バイオマスの目標利用量は800万m³と、原木供給量の2割に相当することから、国内森林資源に与える影響は小さくない。特に、森林環境税により吸収源を確保しようとしている中、炭素蓄積量への直接的・間接的な影響には留意が必要だろう。

まとめ

本稿では、未利用材を用いた発電事業についての課題を解説したが、本来、熱利用であれば、木質バイオマスはより効率よく利用することが可能であり、気候変動対策としてはより有効である。加えて、灯油や重油の代替を通じて、地域経済の活性化など、様々な便益が期待できる。

また、化石燃料の使用削減は、エネルギー部門だけで

はなく、プラスチックなどの原材料部門でも起こることが予想され、長期的には木質バイオマスの需要は増加していくと考えられる。

このようにバイオマスの利用は、脱炭素社会の構築に向けて重要な役割を果たすことが期待されるが、健全な生態系の管理により、炭素蓄積を減じることなく実現させる必要がある。その点で、政策や制度の設計は総合的なものである必要がある。社会や政策立案者にとっては、理解しにくい複雑さがあるが、物事を単純化せず、科学的な研究成果を効果的に統合し、政策や制度の設計にインプットしていくことが重要である。

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
- Björheden, B., Faaij, A., Junginger, M. and Turkenburg, W.C., (2005). Technological learning and cost reductions in woodfuel supply chains. *Biomass and Bioenergy* 29 (6), pp. 399-418
- Bruck, D. (2017) *Woody Biomass for Power and Heat Impacts on the Global Climate*. The Royal Institute of International Affairs (Chatham House) Report
- Cowie, A., Berndes, G., Junginger, M. and Ximenes, F. (2017) Response to Chatham House report "Woody Biomass for Power and Heat: Impacts on the Global Climate"
- 梶山寿司 (2013) 木質バイオマスエネルギー利用の現状と課題 -FIT を中心とした日独比較分析 -. 富士通総研研究レポート No. 409
- 熊崎 実 (2015a) FIT のもとでの木質バイオマス発電：ドイツと日本の比較. *日エネ誌* 94 : 1215-1224
- 熊崎 実 (2015b) 固定価格買取制度のもと木質原料の確保を巡って深刻化したエネルギー部門と紙パルプ産業の競争関係. *日本印刷学会誌* 52 : 392-396
- 古俣寛隆・酒井明香・八坂通泰・石川佳生・服部順昭 (2013) 林地残材を用いた発電のライフサイクルアセスメント：温室効果ガス排出量の削減に関する一考察. *木材学会誌* 59 : 22-28
- 古俣寛隆・石川佳生・本藤祐樹 (2017) 木質バイオマス発電および熱電併給のライフサイクル環境影響と外部コストの評価. *日本 LCA 学会誌* 13: 73-83
- 吉岡拓如 (2013) 森林バイオマス利用のライフサイクルアセスメント (LCA). *森林学誌* 28 : 85-89
- 吉岡拓如・有賀一広 (2017) 日本森林学会におけるバイオマス関連研究と FIT. *日本森林学会誌* 99 : 217-219
- Yoshioka, T., Aruga, K., Nitami, T., Kobayashi, H. and Sakai, H. (2015) Energy and carbon dioxide (CO₂) balance of logging residues as alternative energy resources: system analysis based on the method of a life cycle inventory (LCI) analysis. *Journal of Forest Research* 10: 125-134

未利用木材の発電利用の現状と FIT 後を見据えた研究～まとめに代えて～

吉岡 拓如 (よしおか たくゆき、東京大学大学院農学生命科学研究科)

本誌第 40 号 (2004 年 2 月発行) において、特集「木質バイオマスのエネルギー利用」が組まれました。当時は、温室効果ガス (GHG) 排出量削減の数値目標を定めた京都議定書の採択 (1997 年)、ダイオキシン問題を契機とした廃掃法の改正 (2000 年)、農林水産省を中心に一府五省がまとめた「バイオマス・ニッポン総合戦略」の閣議決定 (2002 年) といった一連の流れの中で、バイオマスに対する国内の関心が高まりはじめていた時期でした。とりわけ木質バイオマスには、その量の豊富さゆえに、地球温暖化問題のみならず、間伐の遅れた人工林の手入れが進むことで森林の多面的機能が維持されることも期待されていたといえるでしょう。しかし実際のところは、製材工場等残材や建設発生木材の再利用率は向上した一方で、森林バイオマス (あるいは林業系バイオマス) の利用は遅々として進まず、木質バイオマスのエネルギー利用全体を見渡しても、その普及にいまほどのスピード感はありませんでした。

未利用木材の発電利用の現状

この状況を打破したのが、2012 年に施行された FIT であることに異論を差し挟む余地はないでしょう。この

分野を専門とする筆者は、制度ひとつでこんなにも変わるものかという驚きをもって受け止めています。平成 28 年木材需給表 (林野庁企画課 2017) によれば、施行直後の 2013 年に 23 万 m^3 であった燃料材の国内供給量は、直近の 2016 年には 446 万 m^3 に達しています。用材供給量が 16 年振りに 2,000 万 m^3 台に回復したのも同じく 2013 年で、そこから順調に増加 (2016 年は 2,236 万 m^3) していますが、用材に関していえば国内の人工林資源が成熟し、「木が大きくなっている (≡ 林業機械の生産性が向上し、素材生産の低コスト化が期待できる)」事実からすればある意味当然の成り行きともいえ、昨今の主伐へと向かう流れの割にはそこまで多大な増加とはいえません。木材自給率 30% の壁を打ち破り、2016 年に 34.8% まで押し上げた主役は燃料材であるといえるでしょう (図-1)。

そして燃料材の利用が急速に進んだのは、FIT で未利用木材を燃料とする電力に高額な買取料金が設定されたからにほかなりません。地域によっては燃料材とパルプ材との間で価格競争が生じているようです。カスケード利用の理念にもとづけば、マテリアルとして利用できるものをいきなり燃やしてしまうのは「モッタイナイ」と



図-1 未利用木材 (丸太) の粉碎作業
製材工場の敷地内に建設中のバイオマス発電所の稼働開始に備え、周辺森林から調達した間伐材を粉碎している (栃木県 2014 年、JSPS 科研費 24580213 による調査)。



図-2 林地残材のトラックへの積み込み作業
発電所へ輸送するために、林道端に集められた林地残材をトラックのコンテナへ積み込んでいく (高知県 2015 年、JSPS 科研費 15H04508 による調査)。

未利用木材の発電利用は持続的たり得るか？

ということになります。この背景には人口減少社会の到来と、いわゆるスマホやタブレット端末等の普及によるペーパーレス社会の到来にともなう紙需要の減退もあることでしょう。パルプ材調達のノウハウが豊富な製紙会社も、積極的に発電事業に進出しています。コスト面で燃料材は長距離輸送に適さないという点においても、地域の需給バランスに影響をおよぼさないような燃料の調達計画が、発電所には求められます。

なお、「電気が熱か」という議論を見かけることがあります。発電はムダの多いエネルギー変換であるというのが熱利用を主張する立場の意見ですが、経済的に見てもエネルギーの質の面で見ても、電気が熱よりも価値の高い便利なエネルギーであり、大規模は熱電併給、中小規模はボイラー、ストーブ等による熱利用という地域内のトータルシステムとして木質バイオマスのエネルギー利用を考える当面の方向性は、理に合っています。

FIT 後を見据えた研究

現時点で発電所へ供給される未利用木材の主力は、間伐材をはじめとする「丸太」です。しかし今後、この丸太は将来にわたり持続的に供給され続けるのでしょうか。わが国の人工林の齢級構成をご存知の本誌の読者であれば、その答えはお判りのはずです。発電所が必要とする量の丸太の供給が可能な間に、本来の未利用資源である造材時に発生する末木や枝条、端材などの林地残材について、長期的に利用可能な資源量の把握、低コスト収穫・輸送技術の開発を進めておくべきです(図-2)。また、昨今の皆伐再生林の動きを見れば、FIT 後のいまから 15～20 年先を見据えた、除伐で発生する小径木の利用も視野に入れておく必要があるでしょう。「日本森林学会誌」第 99 巻第 6 号(2017 年 12 月発行)において、特集「バイオマス発電所は燃料の未利用木材を安定的に確保できるのか？」を組み(吉岡・有賀 2017)、発電用の未利用木材の調達について、燃料の供給ポテンシャル、経済性、木材流通への影響等を、技術的・社会科学的な視点を中心に学術的な分析を行いました。本特集と併せてお読みいただければ幸いです。

先に触れた本誌第 40 号の特集において、筆者は森林バイオマスの収穫・輸送機械とそのシステムについて解説記事を執筆しました(吉岡 2004)。当時の時点で基本的な技術はほぼ完成しており、世界的に見れば、林内から林道端の土場までバイオマスを搬出した後に、土場で待機する大型のチップパーで粉碎し、大型のトラックまたはトレーラでエネルギー変換プラントまで輸送するというシステムが、現在では主流となりつつあります。その際、プラントが必要とする量のチップを安定して供給

するためのサプライチェーンをいかに構築するか、をねらいとした研究が活発に行われているのが現状です。

林地残材の収穫で問題となるのが、林地からの無機養分の収奪です。本特集から、急傾斜というわが国特有の立地条件が影響しそうなことが明らかになってきました。発電時に発生する燃焼灰を林地に還元する取り組みは、クローズドループの構築という意味合いでたいへん興味深いですが、これもあらゆる樹種に対して有効とはいえないさそうです。人工林の土地生産力を長期にわたり損なわないようにするためにも、サイエンスの側面からこの分野の研究成果の蓄積が待たれます。

バイオマスエネルギーの環境性能に関連して、日本が京都議定書の第二約束期間への不参加を表明した影響があるのが、国内では二酸化炭素をはじめとする GHG が、以前ほど騒がれなくなったようにも感じられます。その一方で、国際金融の世界では環境負荷の高い産業から投資が続々撤退しているという話も聞かれます。依然として GHG は排出を抑制していかなければならないものであることとともに、「バイオ燃料ブーム」の際に問題となったエネルギー収支にも目を向けることが、何よりも大切です。あらゆる木質バイオマスのあらゆるエネルギー利用が、エネルギーの無駄遣いにはならないことを科学的に明らかにしていく必要があります。さらに、パームオイルや PKS(ヤシの実の種の殻)の輸入・発電利用にあたっては、その利用がたとえ国内であっても、GHG だけでなく現地の生物多様性保全や地域社会への影響といったことも含めた、広汎な意味での国際的な環境性能が問われることとなります。

FIT には 20 年という調達期間が設定され、発電技術の導入・普及が進む過程で技術開発やコストダウンが進むことにより、再生可能エネルギーがわが国のエネルギーを支える存在となることを目指したものです。未利用木材の発電利用が盛り上がりを見せる中、バイオマス関連研究者は、その先の FIT 後を見据えて日々の研究に取り組んでいます。

引用文献

- 林野庁企画課(2017)平成 28 年木材需給表. <http://www.rinya.maff.go.jp/j/press/kikaku/attach/pdf/170926-1.pdf> (2018 年 4 月 10 日参照)
- 吉岡拓如(2004)森のバイオマスを効率よく集める・運ぶ機械とそのシステム. 森林科学 40: 25-32.
- 吉岡拓如・有賀一広(2017)日本森林学会におけるバイオマス関連研究と FIT. 日林誌 99(6): 217-219.



森へ虫を摘みに —森林の昆虫食—

野中 健一 (のなか けんいち、立教大学文学部)



食用昆虫は近年世界で注目されるようになってきている。国連食糧農業機構（FAO）が将来の有用な食料源になるとの報告書を出版したことが大きい。この動きはもともと森林保全のための非木材生産物資源の一つとして昆虫にFAOが注目し、2008年2月にタイ・チェンマイでその会議「Edible Forest Insects: Humans Bite Back!」を開催したことに始まる。私は日本の昆虫食の代表の一つ、クロスズメバチ食を取り上げ、森を生かした地域文化資源として持続的に利用されていることを報告した（Nonaka 2010）。世界では1,900種以上の食用昆虫が知られており（三橋 2008）、ハチの仲間の他にも、ガ、カミキリムシやゾウムシをはじめ、さまざまな甲虫、カメムシ、アリ、シロアリなど森林に生息するものも多い。本稿では、筆者がフィールドワークでみてきた「森の恵み」の昆虫を捕り食べる人びとの事例を紹介し、森の有効な生かし方を述べていきたい。

虫摘みに森へ～アフリカのイモムシ

南アフリカの北部、サバナ気候の山地に暮らすベンダ族の村の例を紹介しよう。雨季になり木々に青葉が茂ると虫の「実り」の季節にもなる。南アフリカの多くの土地が大規模な土地所有で自由な出入りができない中、ここはベンダ族の土地として共有されており村民は森へ出向いておのおの資源を得ることができる。さまざまな野生の動植物が食用や薬用、生活材に利用されている。道中、おしゃべりをしながら、ときおり果実を見つけては

摘んでほおばりながら群生するガの幼虫（イモムシ）を求めて歩いて行く。やがてイモムシが木の枝にたくさんついているのを見つくと、枝に手を伸ばして一匹ずつ手早く摘み取っていく。これはオオスカシバ（*Cephonodes hylas*）の幼虫だ（写真-1）。まさに果実を摘むのと同じような仕草だ。摘み取る人差し指と親指以外の指で、イモムシをうまく手のひらの中に押さえて保持し、いっぱいになるとカゴに移す。

収穫されたイモムシは家に持ち帰って干物に加工される。まず、体を指でしごいて肛門の方から内臓をしごき出す。これは食べると不味いからだという。その後鍋で塩を加えぐつぐつ煮る。焚き火で熱された灰と砂の熾に入れて煎ることもある。その後ザルに広げ、数日間天日で干して干物とする。

ほどよい塩味の干物はそのまま食べてもスナック感覚でおやつやビールのつまみに良いが、食事には水で戻してから油炒めやシチューにして、主食のトウモロコシや雑穀の粥のおかずにする（写真-2）。

南部アフリカの南回帰線の南北に分布するモパニ（*Colophospermum mopane*）という木はしばしば純林となり、それを食草とするヤマユガの1種モパニガ（*Gonimbrasia belina*）の幼虫が群生する（藤岡 2016）。ジンバブエ～ザンビアのミオンボ林と呼ばれる森林地帯ではチブミと呼ばれるヤマユガの幼虫（*Gynanisa maja*）が大量に採られて賞味されている（杉山 1997）。



写真-1 イモムシを摘む



写真-2 イモムシ料理（モパニガ幼虫）



写真-3 干しイモムシ（モパニガ幼虫）の販売（干しかメムシもいっしょに売られている）

干物は長期保存できるので、都会の市場でも一年を通じて売られ、国を越えて流通している。とくにモパニガの幼虫は人気商品で、養殖も試行されている。グラム単位にすると肉の3～5倍の値段で、ごちそうの食材である（写真-3）。

木を伐って～カミキリムシ・ゾウムシの幼虫

日本では昭和20年代までは多くの家庭で薪や炭が主燃料として使われていた。その後ガスに変わっていくが、中山間から山地にかけてはその用材の伐採時や炭の製造時、あるいは家で焼き物として木を細かく割る際に中から白いカミキリムシの幼虫がでてきて各地で食べられていた（野中 2008）。経験者は誰しものが「あれは甘くておいしかった」と語る。「取り出して火にくべるとひゅーっと長くなってな」、「風呂釜の焚き口でおやじや兄貴に焼いてもらった」など、当時の情景や家庭の思い出も合わさったまさにスウィート・メモリーである。

私がかつて伐採作業に従事していた時のこと。木の中から幼虫が出てきた。ともに作業していたSさんが青年時代によく食べていたというので、往時と同じように焚き火を熾して焼いてもらった。ほんとうに体がひゅーっと伸び香ばしい香りが漂ってきた。「こうやって食べてな」という顔はまさに「虫はおいしい!」（写真-4）、人と虫との豊かな関わり合いを究明する民族昆虫学の顔になった（野中 2005）。Sさんは天寿を全うされたが、今もこの写真を使わせていただくと、仕事の合間に山の暮らしなどたくさん教えてもらった記憶が蘇り、森とともに生きることの大切さを再認識させられる。

世界各地では他の木の虫も良く食べられている。その一つ、パプアニューギニアのヤシオオオサゾウムシ (*Rhynchophorus ferrugineus*) の幼虫（通称サゴムシ）の例を述べよう。

パプアニューギニアの川沿いの低地は鬱蒼とした密林に覆われ、集落は蒸し暑い。水辺にサゴヤシ (*Metroxylon sagu*) が植えられ、成長した幹のでんぷんが主食として食べられている。幹が伐倒され、樹皮が剥がされ、髓が家族総出で砕かれ、水さらしによってでんぷん粉へと

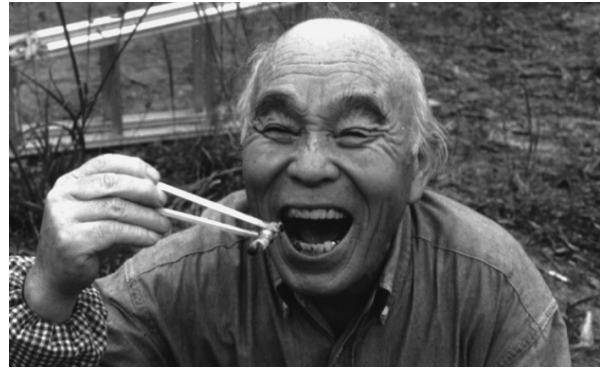


写真-4 カミキリムシ幼虫を食べる Sさん

加工される。その切り株やでんぷん採取から残された木部に、サゴムシが卵を産み付ける。卵を産み付けやすいようにプッシュナイフで切り込みを何力所も入れ、さらにサゴヤシの葉を被せて良好な生息環境を整えて再生産を促す（写真-5）。幼虫がほどよく成長する頃合いを見計らって、切り崩して幼虫を摘み出す。嬉しい副産物だ。一度に数十から百数十匹を得ることができるが、大人数で一軒に暮らす家族ではすぐに食べ切れてしまう量である。

幼虫はバナナの葉に包んで蒸し焼きにされる（写真-6）。脂っこくておいしい。ココナツミルクでシチューにもされる。串に何匹も刺していろいろの上において燻製にもされる。水分が抜けて味も濃くなる上に保存も効く。

2010年夏に初めて調査の村を訪ねたとき、この村に25年通っている先生が「ノナカは虫が好きなんだ」と村人に私を紹介した。この村では普段から何種類もの魚、ノブタをはじめとするほ乳類、さまざまな野鳥などが食べられている。しかし、この発言のおかげで村を去る前日のお別れ会に出てきた食事は…サゴムシづくし。これには紹介した先生も苦笑い。しかし我々に供されたサゴムシの量は一家総出の採取で得られた量であり、まさにご馳走だった。翌年は「虫は好きだが魚も鳥も好きだ。ワニも好物だ」と最初にあいさつした。そのおかげか最終日にはワニの頭付きのさまざまな料理が並べられた。サゴムシはこんな豊かな食文化の中の一品なのだ。

サゴヤシの切り株からはサイカブト (*Oryctes* sp.)



写真-5 サゴムシ繁殖の場作り



写真-6 サゴムシ料理



写真-7 焼きサイカブト



の幼虫とサナギも得られる。ただしサゴヤシであっても野生のサゴヤシからだけだといわれる。プッシュの中を歩き回って採集される。それだけ稀少性も高いからだろうか、これに限っては村内に設けられる定期市でも販売される。幼虫とサナギは焼いたり、スープにされたりと、サゴムシよりも大きく食べ甲斐がある(写真-7)。幼虫は腹が割かれ内容物が取り除かれて調理される。サゴヤシ林からは他にもバッタやスズメバチも採集され、蒸焼で食べられている。これらもサゴヤシ林の恵みである。

森を駆け抜けて～スズメバチ

スズメバチは危険害虫として怖れられる野生動物の一つである。そのいっぽうで「蜂の子」として、佃煮、蜂の子ご飯、佃煮を用いた五目寿司・朴葉寿司、五平餅のタレなどでも賞味される(写真-8)。とりわけ中部地方の丘陵から中山間地ではおもにクロスズメバチ(*Vespula flaviceps*)、シダクロスズメバチ(*V. shidai*) に対して「ハチ追い」として知られる技法で巣の探索がおこなわれてきた(野中 2008)。巣が地中にあるため、主な生息地の森の中で巣穴を発見することは至難の業である。しかし、働き蜂は肉食性の幼虫のエサとなる昆虫や小動物を求めて飛び交っている。そこで魚、イカ、鶏肉などを用意して働き蜂を寄せる。そのハチは肉を齧り取り肉団子にして巣に持ち運び、再び肉を取り

に戻ってくる。こんどは、人が目印を付けた肉団子を差し出してそちらを運ばせるよう仕向ける(写真-9)。そして目印のついた肉団子を抱えて巣をめざしてまっすぐに飛んでいくハチを追いかけていく。追うといっても体長1cmほどのハチに持たせる小さな目印である。数百mと林地を飛んでいくこともあり、一度で巣まで到達することは難しい。そこで何度も肉団子を持たせて追いかけて飛び立たせ、仲間でリレーしながら、巣に近づいていく方法がとられる。時には、木によじ登って、飛んでいく方向を見て指示したり、藪をかき分け、谷を降りたかと思うとまた登ったり、もう降りるかと思うとさらに谷を突っ切って飛んだり、ハチに追いつくためには走らねばならず、なかなかたいへんである。肉団子の大きさ、持たせ方、目印の大きさなどハチの個々の習性、その時の天候や場所の状況によって対応することが必要で経験と熟練を要する。目印は何十年と改良が重ねられており、真綿、ティッシュペーパー、スチロールなどから現在はレジ袋が多用されるようになっている。長さ、幅もさまざまに用意されて現場の状況に応じて使い分けられる。

巣を収穫する時期は、蜂の子が大量に得られる秋が中心であるが、夏の早いうち小さな巣を探して持ち帰り(写真-10)、専用の巣箱で飼育することも行われる。条件の良い森林内で小屋を設けて10～20巣育てられるこ



写真-8 クロスズメバチ料理(佃煮と混ぜご飯)



写真-10 飼育用の巣の掘り出し



写真-9 目印のついたエサを働き蜂に持たせる



写真-11 クロスズメバチの飼育



写真-12 オオスズメバチの掘り出し

ともある(写真-11)。

クロスズメバチよりも長距離を飛び、より深い山の森林に生息する、最も大型でどう猛なオオスズメバチ (*Vespa mandarinia*) も同様に山地を追いかけて捕獲される。このオオスズメバチ捕りは中部地方と九州地方の山間部で盛んである(野中 2008)。中部地方では体が大きい分、クロスズメバチよりも視認しやすいため目視で追いかけていたが、九州地方ではレジ袋を細く裂いて小さな短冊状にしたチラと呼ばれる目印が使われてきた。これがテレビで放映されると中部地方でも用いられるようになり、今ではクロスズメバチ追いにも適用されるようになった。大型のスズメバチは中国雲南〜ラオス、北タイあたりの東南アジア山地でも捕られて食べられている。その追跡時には鶏の羽毛が使われてり、方法の類似性がある。

中部地方のオオスズメバチ捕りでは、肉には寄せずに樹液を吸いに来る働き蜂を狙う。そこに濃度のより濃い砂糖蜜液を用意して、そちらを吸いに来るものを追う。オオスズメバチも地中に巣を作る。クロスズメバチより巣が大きく(1巣5kgほど)攻撃も激しく、また険しい場所に巣をかけることが多いので、掘り出し作業も大がかりとなる(写真-12)。攻撃から身を守りながら作業するために特製の防護服が用意される。針の貫通を防ぐだけでなく、作業では激しく汗をかくので通気も重要である。常に改良が重ねられてきた。攻撃するハチを気絶させるため、発煙筒が用いられ、ツルハシ、シャベルなどで掘り獲られる。蜂の子が主目的であるが、成虫の焼酎漬けも好まれる。そのためには生け捕りにせねばならず、瓶を用意して、煙幕を用いずに巣口にあてて集めることも行われる。成虫を慎重に現場で取り除いて、幼虫やサナギの詰まった巣盤を持ち帰る。

しかし、九州地方では雨合羽にポリバケツのヘルメット、発煙筒も使わず素掘りで掘り獲って、背負いカゴに入れて持ち帰るといった中部地方では信じられないような



写真-13 オオスズメバチそうめん

ラフな捕り方がされていた。九州高千穂周辺は中部地方に比べてはるかに山深く険しい。そんな中で、人が強いのか、オオスズメバチの攻撃力が弱いのか、人と森とオオスズメバチとの相互関連の解明は興味深い。

収穫された蜂の子は、煮付け、すき焼きにして、サナギは刺身でも食べられる。九州では蜂の子でダシをとってそうめんが煮られている(写真-13)。味がしっかり汁にでておいしい。フライにしてもほくほくしておいしい。

虫の森から

以上、ほんのさわりであるが、世界各地で森の昆虫が一年を通じてあるいは旬のごちそうとして賞味されていることをみてきた。昆虫の豊かさは森の豊かさの反映である。それを探し捕るために人びとは森の知識も相当に有しており、変化にも敏感である。「森<の虫>をたべる」が、さらなる森の有機的なつながりや多様な価値を知る新たな契機になれば幸いである。

引用文献

- 藤岡悠一郎(2016) サバンナ農地林の社会生態誌: ナミビア農村にみる社会変容と資源利用. 昭和堂
- 三橋 淳(2008) 世界昆虫食大全. 八坂書房
- 野中健一(2005) 民族昆虫学—昆虫食の自然誌—. 東京大学出版会
- 野中健一(2008) 昆虫食先進国ニッポン. 亜紀書房
- Nonaka K (2010) Cultural and Commercial Roles of Edible Wasps in Japan. Durst PB, Johnson DV, Leslie RN, Shono K (eds) Edible Forest Insects: Humans Bite Back!! FAO,123-130
- 杉山祐子(1997) ベンバの人たちの食べる虫. 三橋淳編『虫を食べる人びと』 平凡社 234-270

樹木の光合成と呼吸を同時にはかる

吉村 謙一 (よしむら けんいち、山形大学農学部)

はじめに

樹木は光合成によって空気中から二酸化炭素を吸収し、呼吸によって二酸化炭素を放出しています。光合成のほとんどは葉群でおこなわれていますが、呼吸は樹木内の全ての生きている細胞でおこなわれています。樹木全体の光合成量が呼吸量を上回ると炭素は樹木の中に徐々に蓄積され、呼吸量が光合成量を上回ると樹木の中の炭素は徐々に消費されることとなります。呼吸量が光合成量を上回る状態が続くと樹木が生命活動に用いることができる炭素が足りなくなり（炭素枯渇）、枯死する原因になってしまいます。そのため、光合成量と呼吸量のバランスを把握することは樹木の生育を考える上で重要であると考えられます。

樹木に蓄積された炭素は展葉や幹・枝・根の成長などに投資されます。また、樹木の成長量は温度や降水、立地条件によって変化することが知られています。これを言い換えると樹木の光合成量や呼吸量が各々環境条件に反応して変化することにより、結果として樹木の生長量が変化すると考えることができます。

これまで野外に生育する樹木を用いた多くの植物生理生態学的研究により単位時間あたりの炭素吸収量・放出量で表される光合成速度・呼吸速度がどのような環境条件に反応するか調べられてきました。葉の昼中光合成速度は光や水分、温度に反応し、葉の夜間呼吸速度もしくは幹や枝、根の呼吸速度は主に温度に反応することが知られています。しかし同時に、呼吸には光合成によって生産された同化産物が用いられるため、呼吸速度は過去の光合成量の影響を受ける可能性もあります。そのため、光合成・呼吸速度の環境反応性に注目するとともに、光合成と呼吸がどのような関係にあるのかについても目を向ける必要があります。その際に樹木の光合成速度と呼吸速度を同時に測定し、それらの時系列変動を把握することにより、樹木がどのように炭素を使って、どのように成長するのかを理解することができるようになると考えられます。

野外で光合成・呼吸速度の時系列変化を測定する

森林に生育する樹木を対象として自動チャンバー法を用いて葉群および幹の光合成・呼吸速度を同時に連続的に測定しました。自動チャンバー法については本連載でも過去に説明されているので今回は簡単な説明に留めますが、この方法を用いるとチャンバー（同化箱ともよば

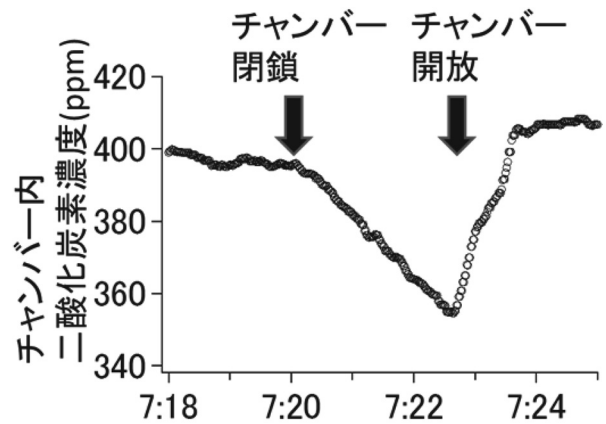


図-1 自動チャンバーで光合成速度を測定した例
チャンバーが閉じている間はほぼ直線的に二酸化炭素濃度が減少していることがわかる。

れる)に入れた測定対象物が吸収もしくは放出する二酸化炭素量をモニタリングすることにより光合成速度もしくは呼吸速度を連続的に測定することができます。今回用いた方法は自動チャンバー法のなかでも閉鎖系システムとよばれる手法であり、チャンバーに測定対象物を閉じ込めた状態で赤外線ガスアナライザーを用いてチャンバー内の二酸化炭素濃度を測定します。密閉したチャンバー内では光合成時に二酸化炭素濃度が低下し、呼吸時に上昇するため、二酸化炭素濃度の変化をモニタリングすることにより光合成・呼吸速度を計算することができます(図-1)。光合成速度の測定には一般に開放系システムとよばれるチャンバー内に常に新鮮な空気を送り続けるシステムを用います。これは、光合成速度は大気中の二酸化炭素濃度の影響を強く受けるため、閉鎖系システムにおけるチャンバー内の二酸化炭素濃度が変化すること自体が光合成速度に影響を与えてしまいます。一方で、閉鎖系システムはリーク等のトラブルを発生しやすい、葉群の夜間呼吸のように光合成・呼吸がわずかである場合でも測定精度が確保できる等の利点があります。そこで私たちは昼中光合成時に二酸化炭素濃度が下がりすぎるという問題を補うよう工夫することにより、閉鎖系システムを用いて光合成・呼吸の測定をおこなっています。また、マイクロコンピュータ等をタイマーとして用い、サンプリング空気の流路を制御することにより葉群や幹など光合成・呼吸速度を多点で測定できます。

アクリル製の透明チャンバーの内部に測定対象となる葉群を入れ、単管パイプで組み立てた樹冠観測塔に固定することで成木の葉群光合成速度を連続測定しました

(図-2)。測定時にはチャンバーを密閉し、それ以外の時間にはチャンバーを開放して換気しています。また、幹の呼吸速度を測定するためにポリ塩化ビニル製の円柱型チャンバーを幹に設置しました。このチャンバーは開閉作業を伴わないため、測定していない時間は排気用ポンプを用いて常に外気を送り込む必要があります。また、葉の光合成速度は二酸化炭素濃度によって律速されるためチャンバー内の二酸化炭素濃度の低下自体が光合成速度に影響を及ぼすこと、チャンバー内の温度や水蒸気濃度が上昇し自然状態の光合成速度を測定できなくなることにより、日中の光合成を測定するためにはチャンバーの閉鎖時間を短くする必要があります。一方で葉群の夜間呼吸速度は日中の光合成速度よりも低く、チャンバーの閉鎖時間を長くしておかねば二酸化炭素濃度の上昇をうまく感知できません。このように状況に応じてチャンバーの開閉時間を変えるようにプログラミングしておくことで測定精度を維持することができます。

葉群光合成と幹呼吸の環境応答

夏の日中のように温度が高いときや温度が低い冬に光合成低下が見られることが知られています。しかし、これまでの研究は一年の中で限られた日に測定しているため、このような現象が1年間の総光合成量の中でどれだけの意味をもつのがよくわかりませんでした。しかし、1年間連続して光合成速度を測定し続けることによって、「真夏の光合成の低下は1年間の光合成生産量を何%低下させているのか」といった定量的な評価が可能になります。

また、幹呼吸についても連続的に測定し続けることにより、単純な温度依存性だけでなく、展葉や形成層活動といったより生物学的な季節性との関係性を評価することができます。また、葉群光合成速度と幹呼吸速度を同時に測定することにより、幹呼吸速度はこれまでの積算し



図-2 野外で成木の光合成速度を測定する葉群チャンバー

た光合成量にどの程度影響を受けるのか明らかにできるのではないかと考えています。

樹木の生育の環境応答を考える上で

本稿では成木の葉群と幹の炭素収支を同時に連続して測定する方法について紹介しました。光合成・呼吸速度が光や温度などの環境条件によって律速されることが分かるだけでなく、光合成と呼吸の関係から樹木がどのように炭素を使っているのか知ることができます。成木のように幹や根に炭素を貯蔵する組織を多く持つものは光合成生産物を蓄えておくことができますが、実生苗のようにそのような組織を多く持たないものでは光合成生産物を蓄えることができず、すぐに消費してしまうと考えられます。このため実生は光合成速度が低下すると炭素枯渇の状態に陥りやすくなり、環境の変化に対して脆弱であるのではないかと予想できます。このように光合成と呼吸を同時に連続的に測定し、個体内の炭素の流れを明らかにすることは樹木の生長や生死の環境応答を考えるための強力なツールになると期待できます。

長野県林業総合センターの森へようこそ

小山 泰弘 (こやま やすひろ、長野県林業総合センター)

はじめに

長野県林業総合センターは、長野県の森林・林業・木材産業に関する試験研究と教育普及指導を行う施設です。この施設の周囲を囲むように42haの森林が広がっており、試験地や林業技術者の研修の場として活用しているほか、遊歩道を整備して一般の皆様が利用できるようになっています。

林業総合センターの森の概要

当センターは、長野県のほぼ中央部に位置する塩尻市片丘地区に位置します。美ヶ原から霧ヶ峰にかけて伸びる筑摩山地の南西に位置する高ボッチ山(標高1600m)の山すそ、標高800~900mに位置し、敷地の大半が傾斜5度以下の緩斜面となっています。当センターの気象観測(1989~2017年の平均値)によると、年降水量1,218mm、年平均気温10.3℃、暖かさの指数81.3と冷温帯に属します。

当センターの森林は、1988年に塩尻市宗賀から移転する際に建物周辺の25haの民有林を購入したことがきっかけですが、1999年に隣接地の民有林を購入し、現在では42haを管理しています。林内は現在60年生前後のアカマツ林が中心ですが、一部にカラマツ林やスギ林なども見られます。これらの多くは採草地や畑地として利用されなくなった際に植栽されたものや、放置されている間に天然更新したものです。現在の森林が成立する以前の1945年には、当センター近くにあった地元小学校の学校林で高さ50cmに満たない若木で開花するカスミザクラの一品種が発見され「カタオカザクラ(*Cerasus leveilleana* (Koehne) H.Ohba f. *norioi* (Ohwi))」(写真-1)と名付けられており、地元愛好家によって増殖され林業総合センター構内にも植栽されています。

また、江戸時代に築造された総延長28kmにも及ぶ「鉢伏連峰西麓の猪土手」の一部が遺されています(写真-2)。猪土手は畑と森林の境界に建てられることが一般的ですが、猪土手が遺されているのは敷地のほぼ中央部の森の中です。このことから、現在は森林に囲まれていたセンターの敷地も半分ほどにあたる部分はかつて畑と



写真-1 カタオカザクラ



写真-2 猪土手の遺構

して使われており、ここに立ってみると、森林が今よりもずいぶん少なかったのではないかと想像することができます。

森の活用

当センターで1999年に購入した土地は、「体験学習の森」と呼んで林業技術者向けの研修フィールドとして活用しています。林業作業は全ての産業の中でも労働災害のリスクが高く、死亡事故なども絶えないことが課題です。少しでも作業に従事される方が安全管理に配慮していただけるように、林業技術者向けの研修では構内の立木を伐採して、安全な伐採に理解を深めてもらっています。ただし、実際に伐採作業が可能な場所は多くあり



写真-3 立木伐採の研修

ませんので、話し合いをしながら時間をかけて一本の立木を伐採しています。このようにして、安全な作業を行うための留意点が理解できるような工夫をしています。

このほか、長野県労働財団が主催する「緑の雇用」研修場所としても利用されています。「緑の雇用」研修は、県内の林業事業者へ就職した新規就業者向けの技術指導が行われており、研修では県下各地で活躍する林業技術者が講師となって、新規就業者向けに技術指導を行う姿がみられます（写真-3）。実地での研修を通じて、安全で効率的な作業につながっていくことを期待しています。

森林学習展示館

当センターの森は先のような専門技術者向けの場所として活用するだけでなく、一般県民にも広く森林・林業に関心を持っていただく場としても利用しています。その拠点となるのが、林業総合センターの移転に合わせて設置された「森林学習展示館」です（写真-4）。

森林学習展示館には、一般の皆様にも森林・林業への興味関心を高めてもらうため、長野県に生育する主要な樹木の見本やセンターの森の土壌断面などが展示されており、森林とのふれあいづくりのきっかけとなる施設として多くの皆様に来館いただいております。展示館の一角では、当センターで得られた試験研究の成果を紹介するパネルも展示しております。

また、施設周辺の森林は、一般の皆様にも親しんでいただけるような遊歩道が整備され、森林散策を楽しむことができます。ここでは春先のマンサクから秋の七草であるキキョウなど四季折々の花が観察できますし、ニホンカモシカのなわばりにもなっていますので、運が良ければ出会うことも可能です。夏にはキビタキやクロツグミ、冬にはアトリやジョウビタキなど多くの野鳥も訪れ



写真-4 森林学習展示館内の展示



写真-5 間伐した丸太で小屋を作成中

るため、野生動物との触れ合いを求めて当センターにお見えになる方もおられます。さらに、林業を身近で感じてもらうことを目的として、林業現場を再現する屋外展示も作って見学できるようにしています。これらは、当所が主催する林業後継者を育成する「森林・林業セミナー」の中で実践しており、研修生の知恵と工夫で森の中に列状間伐の伐採跡や規格ごとにはい積みした丸太、間伐材を活かした丸太小屋、ちょっとした遊具などをみることができます（写真-5）。

屋外展示の場所は一般の皆様にも開放しており、その拠点となる森林学習展示館は月曜日を休館日として週末も開館しております。また、長野自動車道塩尻インターからも近い場所にありますので、お近くをお訪ねの際は是非一度お立ち寄りください。

長野県林業総合センターホームページ
<https://www.pref.nagano.lg.jp/ringyosogo/index.html>

林業遺産紀行 第11回



屋久島の林業集落跡及び森林軌道跡

柴崎 茂光 (しばさき しげみつ、国立歴史民俗博物館)

はじめに

屋久島といえば、「世界自然遺産」「屋久杉（スギの巨木）」というイメージを持たれる方も多い。しかし時代を半世紀だけさかのぼると、九州地方の一大林業地として君臨していた。1920年代～1970年頃までは、島内に森林軌道が張り巡らされ、山中の国有林内には木材生産に従事する目的で林業集落が建設された。現在も林内に林業遺構が残されている。

森林利用の歴史を紐解く

中世後期、既に時の為政者は、屋久島の豊富な森林資源に関心を持っていた。1589（天正17）年、豊臣秀吉が方広寺に大仏を建立するために、屋久杉・ヒノキの資源調査を薩摩藩に厳命し、同年に屋久島の資源調査が実施されたといわれている¹⁾。継続的な林野の開発は、薩摩藩がスギ材などを年貢として収めることを求めた17世紀の中頃から始まった。聖地である山域への立ち入りを拒む島民を説得したのが、儒学者・僧侶である屋久島出身の泊如竹だったという²⁾。島民は山中に1か月近く小屋掛けしながら、伐採しようとするスギに櫓を組み、ヨキ（斧）を使って切り倒した。その後、山中で平木に加工され、トイサンを使って里まで運んだ（図-1）。

明治期に入ると、入会林野として利用してきた場所を含む大半の土地が官有地となった。奪われた土地を取り戻すために、下げ戻し訴訟をおこしたものの、1920（大正9）年に島民側の敗訴が確定した³⁾。しかし、島民の不満がくすぶり続けたため、翌1921（大正10）年に、里に近い国有地から自家消費用の薪炭材の無償譲渡や、周回道路の建設などを約束した屋久島国有林経営の大綱（通称：屋久島憲法）が発布され、国と地域住民の軋轢は一応の解決をみた。

森林軌道を使った国有林野の経営

雑誌「山林」創刊号（1882年1月号）にも、屋久島の森林資源に関する記事が残されており、林業地「屋久島」の知名度がうかがい知れる。当時はスギやツガ等の豊富な森林資源があるものの、「山途険悪にして乱石突

山 運輸甚だ便ならず」⁴⁾という問題があり、大正期に入っても同様な状況は続いた。そこで島民との軋轢が解決した1921（大正10）年から、鹿児島大林区は森林軌道の建設に取り掛かり、翌年には安房から旧小杉谷までの約16kmの森林軌道が完成した（図-2）。その後も、宮之浦川上流域など各地にも建設された。このほかに、水力（ペルトン水車）を活用した製材機を使った製材工場が山中に建設されるなど、当時の最新技術が投入され



図-1 江戸時代の伐採のイメージ
国立歴史民俗博物館蔵

注：屋久島町歴史民俗資料館、屋久杉自然館の展示もご覧いただきたい



図-2 建設直後の森林軌道・林業集落建設の様子
撮影：1925（大正14年）
屋久島森林生態系保全センター蔵

た⁵⁾。伐採木や製材をトロッコに積みこみ、軌道を使って河口の貯木場に運ぶシステムが確立されていった。

戦前期には用材だけでなく、ヤマグルマを用いたトリモチ生産や、木炭生産なども盛んに行われた。終戦を迎え、1956（昭和31）年には九州管内ではじめてチェーンソーが導入され、軌道も延伸されるなど、生産性の向上が図られた。最盛期の1960年頃には、小杉谷の人口は540人に達し、島内で一番早く電化が進んだ。小・中学校、郵便局、商店・購買部、公衆浴場などが整備され、近代的な「林業都市」が存在していた⁶⁾。しかし次第に軌道沿いの資源が枯渇し始め、また車両運搬を目的とした林道の建設も進み、軌道を使った輸送の優位性が失われていった。そして1970（昭和45）年に最後まで残った林業集落である小杉谷製品事業所は閉鎖された。

そして現在へ

林業集落が閉鎖される頃から、里地の広葉樹の大面积皆伐とあわせて、奥地の林野開発も世論の批判の対象となり、1970～80年代には「屋久島を守る会」などの一部島民などによる伐採反対運動が行われた。こうした運動も一因となり、1980年代以降、屋久をめぐる森林政策は「森を護る」方向へと転換し、1993（平成5）年の世界自然遺産登録、その後の観光ブームへとつながっていく。大半は忘れ去られた屋久島の森林軌道だが、ごく一部の区間では、水力発電所の維持管理や登山者のし尿搬出などで、軌道が現役利用されており、歩道としても利用されている（図-3）。屋久島の国有経営の歴史を刻んだ古写真群が、屋久島森林生態系保全センターに所蔵されている。こうした古写真群も、今回林業遺産に選定された。



図-3 小杉谷周辺に現在も残る森林軌道跡
撮影：2012（平成24）年9月15日
注：地元住民の呼称として「軌道」を用いている。

今後の取り組むべき課題

屋久島林業史に関する研究蓄積は十分とはいえない。屋久島森林管理署の職員にも、林業の歴史が十分伝えられないと、通常の施業の中で、遺構が劣化・消失する恐れがある⁷⁾。観光地やトレッキングルート沿いに多くの林業遺構が残されており、無秩序に林業遺産の観光利用を進めると、林業遺構の劣化・消失を引き起こす可能性が高い。今回の選定を契機に、利用することだけを優先するのではなく、林業遺産を適切に保全し、後世にその価値を受け継ぐ仕組みを構築することが強く望まれる。

引用文献

- 1) 屋久町郷土誌編さん委員会（2007）屋久町郷土誌第 四巻 自然・歴史・民俗．屋久島町教育委員会．424-434
- 2) 五代秀堯・橋口兼柄（1982）三國名勝圖會第4巻（復刻版）．新潮社．275-286
- 3) 北条 浩（1983）大審院最高裁判所入会判決集第5巻．御茶ノ水書房．41-72
- 4) 著者不明（1882）屋久島の概況．山林1：52
- 5) 稲本龍生（2006）屋久島国有林の施業史．（世界遺産 屋久島－亜熱帯の自然と生態系－．大澤雅彦・山極寿一・田川日出夫編著，朝倉書店）．199-216
- 6) 津田邦宏（1986）屋久杉の消えた谷．朝日新聞社
- 7) 柴崎茂光（2015）屋久島に眠る人々の記憶（国立歴史民俗博物館民俗研究映像）．80分

山と森に育てられて

望月 将悟 (もちづき しょうご、静岡市消防局)

シリーズ
うごく森 34



<著者紹介>

今回の「うごく森」は、研究者ではない、しかし山のエキスパートである望月将悟さんに執筆頂きました。望月さんは、日本で最も過酷なレースのトランスジャパンアルプスレース(TJAR、左写真)で4連覇中の「絶対王者」、まさに天空の超人です。TJAR以外にも、国体の山岳競技や国内外の数々のトレイルランニング・山岳レースで優勝しています。面白い記録としては、2015年の東京マラソンで「40ポンドを背負い、世界一フルマラソンを速く走れる男」としてギネス記録(3時間6分16秒、右写真)を達成しています。職業は静岡市消防山岳救助隊員でそういう面からも山のプロといえます。



はじめに

私は静岡県静岡市の最北部に位置する葵区井川という場所で生まれ育ちました。井川は間ノ岳から赤石岳・聖岳といった3000m級の山々を連ねる南アルプス南部の麓に位置し、周囲を森林に囲まれた、現在人口約400人の小さな集落です。また、美しく美味しい水を駿河湾へと運ぶ大井川の源流地でもあります。自然豊かな、いや、私的には自然しかない土地で生まれ育ち、その森からたくさんのお話を学んできました。生きていくための食材を作ったり、木の実や魚を採ったり、森は常に生活の一部であり、親にとっては仕事場であり、子供の私にとっては遊び場でした。最近ではトレイルランニングや登山といったスポーツ、1ターンやUターン、田舎への移住

や農業といった地域おこし、ダム工事やリニア工事などの開発というような、様々な人間活動と自然との関係を考えて、思いを巡らせるようになってきたところです。

何でも簡単に手に入り、情報もすぐにキャッチできる現代は、私の子供の頃のような生活とはかけ離れてきてしまった感じがします。もちろん、私が子供の頃の体験も祖父や父の頃とは大きく違うだろうし、先人からしたら、「何を言っているんだ」と呆れられそうでもあります。しかし、そんな人間の考えなんか気にせず動き続けているのが森であり、私たちに精一杯の恵みを分け与えてくれています。言葉を発することなんかできないし、黙々と気象の脅威に晒され、自然保護や開発といった人間の力も受けても、地道に動く森、年間数ミリいやそれより



写真-1 故郷、井川湖から見る南アルプス



写真-2 静岡市葵区井川の私の生まれ育った集落

もほんの少ししか成長しないものもある。でも、「うごく森」を止めてはいけない。一生懸命に生き、たくさんの命を育む森、その我慢強さを私達は見習うべきであり、大切に守り一緒に寄り添い共存していく、それが私達の使命だと感じます。本稿では、私が森の中を「うごき」経験してきたことを紹介したいと思います。

森からの教え

私は幼少期から、親の農業や林業の手伝いで森に行き、椎茸やワサビ、木の伐採などを手伝ってきました。危険を伴う山仕事中は、山小屋に兄弟3人と3匹の犬で残され、野山を駆け遊んだり、木で小屋を作ったり、魚を捕ったりと常に森の中での生活をしてきました。山では森を守ってきた祖父やさらにその先代から受け継がれたしきたりがあり、それを守ることを子供ながらに教わってきました。山の朝は早く日の出とともに麓の家を出発します。途中の林道で土砂崩れがあれば石をよけたり、木を切ったりと次の村人が来ても通りやすくします。また、途中では飼い犬を離し山小屋まで走らせ、獣に山で作った作物を食べ荒らされないように、犬の匂いをつけていました。その他にも道中に生えているタラの芽や蕨、フキといった山菜は収穫していきます。恵みをもらう感覚で、すべては採りません。いくつかの芽を残しどんな山菜でも絶やさないと教わりました。小屋についても仕事は直ぐにしません。着いたら、まずは薪ストーブに火を入れます。現代の別荘や住居にあるような、しゃれた物ではなく、ただ鉄板で火の粉が飛ばないように囲まれた物に薪を入れお湯を沸かします。今日1日安全に山仕事ができるように、まずはお茶1杯飲んで心を落ち着かせるのだと。お茶を1杯飲み終えると、山仕事が始まります。森の手入れをしたり、木を伐採したり、



写真-3 娘にも野菜の収穫を手伝ってもらおう。井川の実家にて。

草を刈ったりと季節ごとにいろんな事を学びました。その作業中に動物や毒蛇、蜂など危険なものとも遭遇したり、刺されたり、脅かされたりとありましたが、危険な物や山の中で気を付けなければならないことを祖父や父、村人の背中から自然と感じとり、教わってきました。四季を通して、森が変わり、景色が変わり、やる作業が変わります。その繰り返しによって、私は森からたくさんの恵みと教えを学びました。

山岳救助から見た山や森

私は現在、静岡市消防局の消防士であり、山間地で遭難や滑落があった際には、山岳救助隊として現場に行き救助する活動をしています。当然、仕事で行く災害現場では、多くの危険な状況や悲しい場面を目の当たりにして、山や森の怖さも身をもって実感しています。

最近でも登山ブームはまだ続いていて、年間を通してたくさんの方が山に入ってきます。事故の件数も上昇気味です。山やアウトドアの本を開けば、きれいな景色がたくさん載っていて、わかりやすい地図や、どのような装備で山に登ったらいい、困ったらどうしたらいいなどが教科書のように細かく書かれています。しかし最新の装備や、技術などを持ち得ても、とうてい自然の脅威や自然界には逆らうことができないと思います。しっかりとした準備も大切ですが、やっぱり「山や自然は怖い場所だ」と言うことを忘れてはいけません。山や森とどう上手く付き合っていくのが大切かだと思います。上手に付き合い、自然に対する謙虚さを持ち得れば、きっと森も優しく迎えてくれます。

野山を舞台とするレースで得られた教訓

私は、野山を走るマラソンのトレイルランニングの



写真-4 山岳救助現場へヘリコプターにより投入されている様子。天気が良ければヘリコプターを使い、悪ければ自分の足で救助に向かう。

レース（大会）や、TJAR（トランスジャパンアルプスレース）^{注1}といった山岳レースに参加していますが、その中で感じた事はやはり、山に関わってきた先人の考えや、その地を守ってきた人のすごさです！僕が通らせてもらっている登山道だって先人が物流や生活のために築いてくれたもの。そのフィールドで私は遊ばせてもらい、学ばせてもらっているのです。道具だって同じ事が言えます。先人のこんな物がいい！こんな物が必要だ！という知識や経験をもとにメーカーが作り出してくださり、それをまとい山に登っているだけだから……自分という個人はなんともちっぽけな人間なのです。我々は、ソーシャルネットワークシステムを通じて簡単にたくさんの登山記録を掲載することができますが、そのほとんどが先人が歩き築いてきた道なのです。先人にはかなわないばかりか、差を広げて行かれるような感じがします。それでも、何かを得ようと、感じようと山に登る。そんな魅力が自然にはあるのです。

レースやトレーニングの楽しみ方

レースでは初めて訪れるコースが大好きです！何回も同じコースを走るの少し苦手、それはタイムとの戦いになっちゃうからです。トレイルランニングは山へ登る1つの手段だと私は思っています。こここのところは、現在のトレイルランニングとは考え方がずれてきてしまっていることかもしれません。絶対安全の中でやらなければならないのが今のトレイルランニングレースであり、私は山に安全はないと考えています。自然の中で危険なことや、楽しさを感じ、五感をフルに稼働させて考え学ぶ、それが私のトレイルランニングの考えです。それよりも、広大な自然や山の多い日本、少ない時間でいろんな場所へ行ってみたいから！速く進めるトレイルランニングという手段はうってつけですね。



写真-5 トランスジャパンアルプスレースのゴール。たくさんの仲間や応援者に迎えられてのゴール。自分一人の力では絶対にゴールできていないと応援力の強さを感じた。

当然、レースで人との競い合いだったり、自分の練習の成果が試せる所に面白さはありますが、やっぱり、地元の人や山岳会の人、参加者の人とお話ししたり励ましあったりできることは楽しいです。でもレース中だって忘れてはいけないこともあります。それは登山道はレース参加者だけのものではないということです。私はレース中だって登山者とすれ違う際には挨拶したり、道を譲りあったりもします。

トレーニングの際は、特にレースへの意識はしていません。私は職業で山岳救助隊員になっています。地元の山々を知り尽くしたいというのが目的でもあり、山間地で困った人がいたら助けに行くという使命感を持っています。そのため、トレーニングではもっぱら、管轄する山の登山口や登山道、危険箇所をぐるぐる回って、不測の事態に即座に対応できるようにしています。それが私のトレーニングになっています。

登山者との関わり方

私は、いつだって自分も登山者だと思って、登山者の方々と関わっています。登山、クライミング、トレイルランニングは、いずれも山という場所に向かう手段だと私は考えています。山頂を目指す手段は違えど、同じ登山道や山頂、山を使わせてもらっているいわゆる共通の目的に向かう仲間だと私は思います。

挨拶や自然保護などの観点からいろんなお話や苦言を聞いたりもしますが、それは人の感じ方の違いであるかと思えます。山を登っていれば、大変な気象条件下に咲く花や植物があったら大切にするのは当たり前、すれ違った人に挨拶を交わすのも当たり前、困っていた人がいたら助けたり声をかけたりするのも当たり前です。この当たり前のことができない人はまだまだ山と向き合う上での修行が足りないのではないのでしょうか？お互いが



写真-6 自然豊かな緑の山である南アルプスでの登山

思いやりをもって楽しい山登りがしたいですね。

井川のトレイルランニングコース

昨年 2017 年 5 月に私の故郷である井川の、南アルプスユネスコエコパーク井川少年自然の家の敷地内において、今まではウォークラリー場として使用していたコースを再整備し、トレイルランニングの常設コースとして開放しました。このコースの特徴は道幅が広く起伏も少なく、かといって山の要素を減少させない程度に自然が豊かで、テクニカルなコースでもあり、走るだけでなく歩いても楽しめるコースとなっています。私は、トレイルランニングは自然の中に身をおき、体全体で森を感じる遊びの一つだと思っています。現在のトレイルランニングは競技志向が強くなってきてしまっていて速い人が強いとかすごい！と称賛される傾向にあります。そこが少し残念なところではありますが、安全に楽しめるトレイルランニングコースを常設することにより、自然の中でのルールや危険、森の大切さを感じ、仲間や家族などと自然や森を親しむ 1 歩になったら嬉しいです。

おわりに

今後、山や森と接する人や機会が減ってきてしまう時代が来るかもしれません。最近の異常気象や大災害は山や森からの大切なメッセージだと私は思います。私達へ大切な恵みや気づきを与えてくれる森を次世代へ残して行けるよう、これからも森と携わっていきたいと思います。

注1) TJAR (トランスジャパンアルプスレース) : 日本海の富山湾をスタートし、日本アルプスと言われる北・中央・南アルプスを越え、太平洋の駿河湾にゴールする 415 km の山岳レース。途中誰からのサポートも受けることはできず、テントや食料を担ぎながらゴールを目指す。



写真-7 井川自然の家のトレイルランニングコース上から見る井川湖

産官学民連携による林業成長産業化に向けて —愛媛県 久万高原町を事例として—

本藤 幹雄 (ほんどう みきお、久万高原町林業戦略課林政アドバイザー)

1. 久万高原町における林業の現状

愛媛県上浮穴郡久万高原町(図-1)は、平成16年に上浮穴郡内4ヵ町村(久万町、面河村、美川村、柳谷村)が合併し誕生しました。当町は、愛媛県の中間に位置し総面積58,369haの県下最大の面積を有し、その内森林面積は52,495ha(森林率90%)、民有林面積43,169ha(82%)という山林に覆われた町です(図-2, 3)。

当町では、平成17年度より始まった、久万広域森林組合及び当町と愛媛県の連携による提案型施業地集約化事業「久万林業活性化プロジェクト」(年間集約面積概ね1,000ha)により森林整備が進められています。このプロジェクトでは、施業継続が困難となった民有林を

森林組合が集約化し、それを事業化して町内の林業事業者へ入札発注することで、山林所有者への利益還元と担い手の確保・育成を行っています。

また、農家林家を中心とした個人所有林における自伐施業(年間推計5万m³)も盛んに行われており、域内の素材生産量は年間概ね20万m³で推移しています。林業総生産額は概ね25億円であり、林業は町の基幹産業となっています(図-4)。

2. 現在の久万高原町の林業の成り立ち

当町の林業の歴史は、愛媛大学をはじめとする研究機関と深い関係にあります。特に旧久万町からの要請により、昭和36年から37年の2ヵ年をかけて、当時の愛媛大学農学部林学科により行われた「久万町における林業構造改善総合調査」は、当町が有力な林業地となるきっかけとなった育林技術体系「上浮穴地方育林技術とその体系」の策定に大きく影響を及ぼしました。

この調査では、地域の林業構造や木材流通状況などを詳細に調査した上で、域内の林業構造が小規模零細かつ農家林家による貯蓄型林業であることを把握し、将来の方向性として「良質、均一な小丸太生産」を地域一体となって行い、原木の安定供給体制を構築し、地域の木材産地化を目指すべきという提言をおこないました(愛媛大学農学部林学科1962)。この提言は、それ以降の当町林業の基本となっていきました。

このような背景の元、当町の育林技術体系である「上

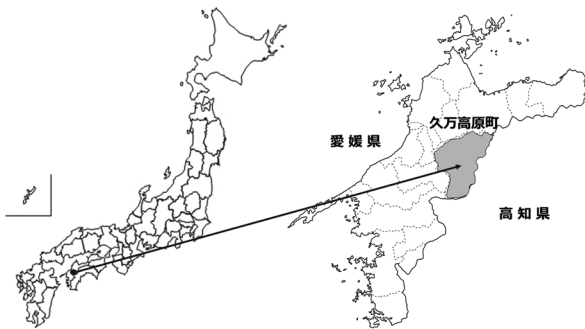


図-1 久万高原町の位置

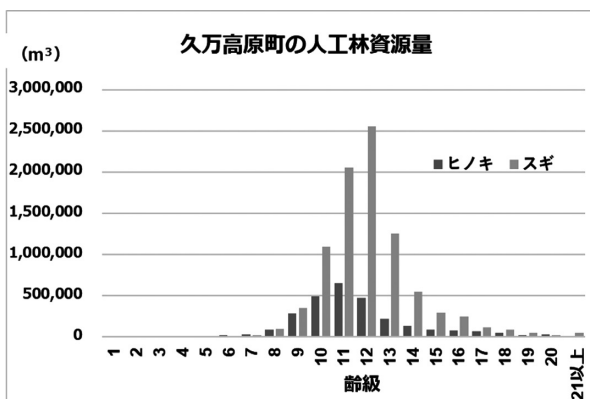


図-2 久万高原町の人工林資源量

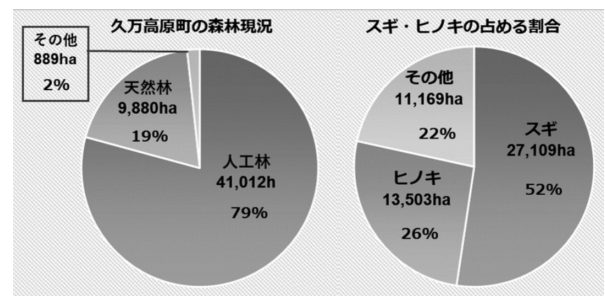


図-3 久万高原町の森林資源状況

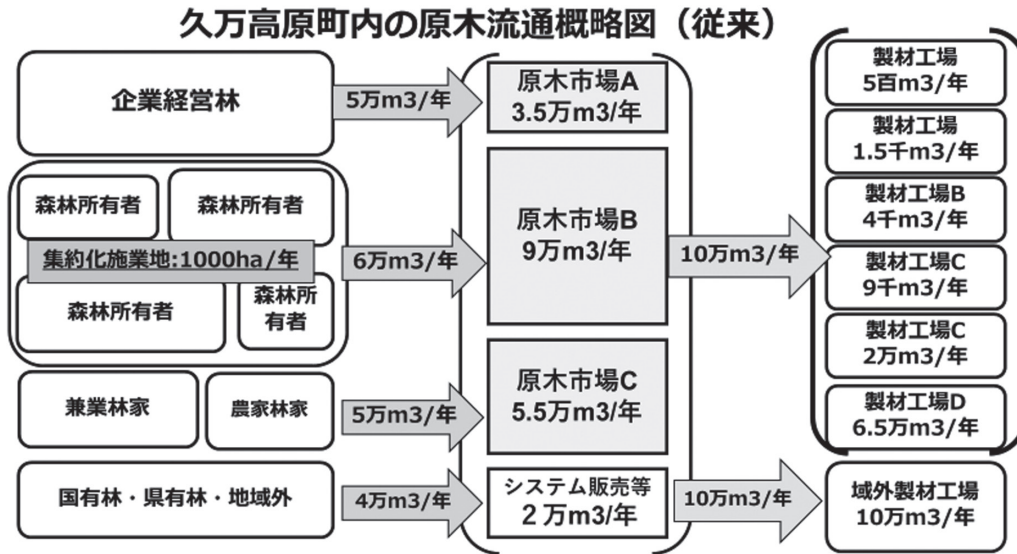


図-4 久万高原町の原木流通状況

「浮穴地方育林技術とその体系」が、昭和44年に地域の林家と行政（愛媛県、旧上浮穴郡内5ヵ町村）、学識経験者により策定されました（上浮穴郡林業振興協議会1969）。「枝打ち優良柱材の大量生産」を目的として、枝打ちや間伐時期、間伐回数などを樹木の成長に合わせて緻密に設計されたその内容は、林業の産業化に向けた取り組みとして当時は全国から注目されました（図-5）。

また同時期に域内で、幅員1.5m程度で300m/haの高密度路網を開設し、小型林内作業車とチェーンソーで搬出を行う「西岡式作業システム」が開発され普及しました。この作業システムは、当時1m³/人日程度であった作業効率を3～4m³/人日にまで引き上げました。全国から多くの研究者や林業関係者が当町に視察に訪れ、その知見を各地に普及していきました（図-6）。

その他、当町では、複層林施業や、全国初の第3セクター方式での林業株式会社の設立、大型製材工場（年間原木消費量6万m³）の設置など、当時としては非常に先進的な取り組みが行われてきました。そして、そのいずれにも愛媛大学をはじめとした大学・研究機関が関わってきました。

いわば、当町の林業は研究者と行政、そして民間が長年に渡る連携により作り上げてきたものといえるでしょう。

3. 愛媛大学森林環境管理特別コース新設と久万高原町林業振興基本計画の策定

平成に入り、高性能林業機械が普及し、作業システムに大きな変化が現れ始めました。さらに近年では、GISによる森林管理やGPS測量の普及をはじめ、林業の世

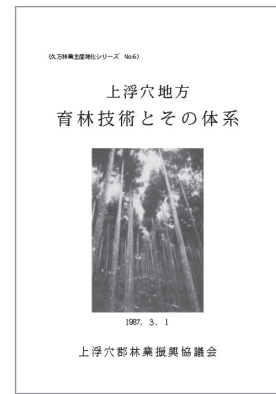


図-5 上浮穴地方育林技術とその体系



図-6 西岡式作業システム作業風景

界にも技術革新が起こるようになってきました。

当町でも、こうした新たな森林管理に対応できる人材の確保が急務となってきました。このため当町は、愛媛県や県下他市町とも連携して、愛媛大学に新たな森林管理を行える人材の育成を要請しました。

これを受け、愛媛大学は愛媛県と連携し、平成 23 年 4 月に、当町内に所在する愛媛県林業研究センター内に、愛媛大学大学院農学研究科森林環境管理特別コース・リカレントコース（現在は、森林環境管理学サブコース・リカレントコース）を新設しました。

本コースは、森林管理における高度技術者の養成を目的とした大学院コース（2 年）と、林業や木材業等の現場で働く人のスキルアップを目的とした社会人リカレントコース（1 年）で構成されており、現在の大学教育としては稀な「林学」を基本としたカリキュラムを備えています。講師は、大学教員だけでなく行政や民間企業など実務者も担当し、講義と演習をセットにした実践的教育を行っています。

また、本コースのもう一つの特徴として、「課題研究」が挙げられます。「課題研究」とは、森林組合や市町村など現場が抱える課題を学生自らが発見し、その解決策を科学的な調査・分析に基づき提案するというものです。これを修士論文の代わりと位置づけています。

課題研究の内容は、木質バイオマス利用可能性調査や森林資源量推計など、多岐に渡っています。特に平成 23 年に森林計画制度が改正され、当町も新たな計画策定に着手していたこともあり、学生の多くが、当町で森林機能区分の見直しや木材流通調査など、当町の林業政策と直結した課題について、研究し提案を行いました。

これらの提案は、それまで関係各所で個別に取り扱っていたデータを総合化するという効果をもたらし、停滞していた当町林業の現状分析を行うための貴重な基礎資料にもなりました。

これら提案や資料は、当町林業関係者や有識者からなる委員会で協議され、平成 27 年に「久万高原町林業振興基本計画」（図-7）としてまとめられ、当町の今後 20 年の森林管理の基本方針として公表されました。

基本計画では、各種調査結果を根拠として、(1) 森

林の機能区分、(2) 木材資源の循環利用に係る方針、(3) 担い手の確保・育成、(4) 地域づくりと一体となった森林づくり、など地域の森林・林業、製材業の活性化と産官学民連携による森林の持続的管理に関する基本方針が謳われています（久万高原町 2015）。

4. 林業成長産業化地域創出モデル事業

平成 28 年 4 月に当町は、林野庁事業「林業成長産業化地域創出モデル事業」のモデル地域（全国 16 カ所）に選定されました。この選定に先立ち、当町では「林業成長産業化地域構想」を策定しました。（久万高原町 2017）

地域構想では、「林業日本一のまちづくり」をキャッチフレーズに、(1) 森林資源から木材製品までの物流・商流の一元化、(2) 森林経営者を含む担い手の確保・育成、(3) 町産材のブランド化と利用拡大、(4) 森林の多面的利用推進という 4 つの目標を立て、これを実現するため、産官学民連携による「地域総合商社」の設立を目指すこととなっています（図-8）。

この構想策定に当たっては、先述の「久万高原町林業振興基本計画の実現」が強く意識されています。本構想では、基本計画策定の際把握された、地域の課題である「原木流通の市売り依存に伴う販売価格の不安定化」や「高齢化に伴う森林管理の担い手減少」「生産原木の大径化に伴う価格下落」や「優良材の市場評価不足」の解決を目指しています。

モデル事業の運営に当たっては、委員会を設置し、町内の林業・製材業関係者の他、愛媛大学（森林、林業）や法政大学（木材利用、建築）といった大学、さらには、IT 企業や建築業者といったこれまで林業とはあまり関わりのなかった企業、そして愛媛県や愛媛森林管理署などの広域行政機関も参画して、これまでは「中山間部の問題」としてのみ捉えがちにされてきた課題を、「都市部も含めて共に解決する方法」を模索していきます。

5. まとめ

当町では過去に優良材生産という目標を掲げ、育林技術体系を策定し、「木材の産地化」を目指してきました。そして現在も「地域一体となって木材の産地化を目指す」という方針は「林業成長産業化地域構想」に引き継がれています。過去に「目的をもって森林を造成」した結果が、今私たちの目の前にある訳です。

一方で、当町の林業の特徴である枝打ちをはじめとする「育林技術」の次世代への継承が、高齢化の進展もあり途絶しつつあります。更に、主伐後の森林をどうしていくかなど、「将来の森林管理」について議論がまとま



図-7 久万高原町林業振興基本計画

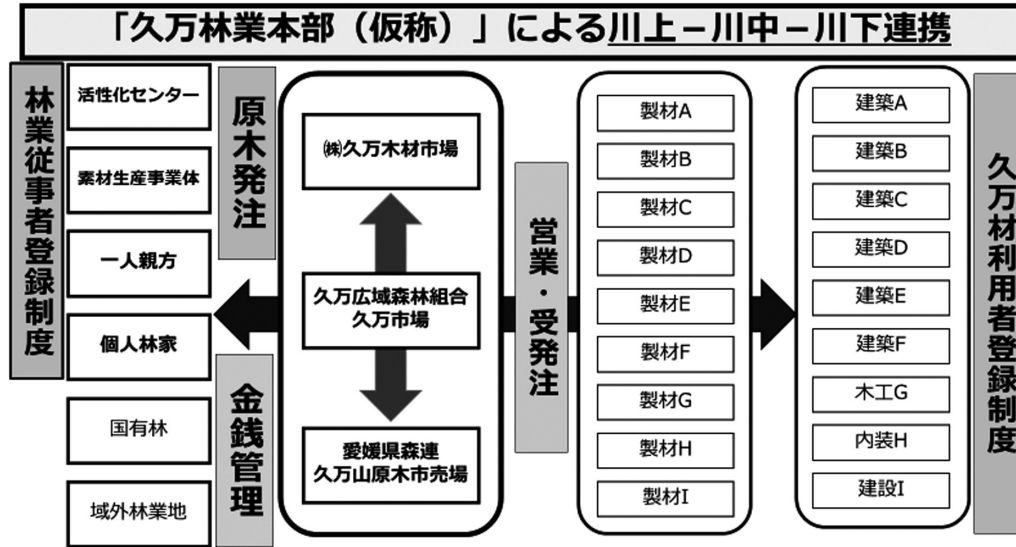


図-8 久万高原町の林業が目指す姿

らないのが現状です。

かつて、全国で林業を対象とした研究「林学」が行われていました。当町の林業が、この恩恵を十二分に受けて発展してきたことは先述の通りです。

しかし現在、森林を環境や生態系として捉えるなど、いわゆる「学究的」な研究者が増加していき、「林学」に取り組む研究者が少なくなってきました。そしてこの減少こそが、日本の「林業技術」や「森林管理手法」を欧州等と比較して、後らせてしまった一因ともいえるでしょう。

現在日本の森林資源は充実期を迎え、様々な観点から森林の重要性が再認識されています。さらに、中山間地域において林業は重要な産業であり、日本政府も「林業の成長産業化」を経済目標の一つに掲げています。そのような中での「林学に関わる研究者の減少」は、森林を持続的に管理していく人材や技術の将来的な不足を招きかねません。

今、林学を見直して将来の人材を確保する必要が生じ

ています。特に窮乏する中山間地域の課題発見や解決ができる人材を育成し、持続的な森林管理や経済活動を行える体制を整えることが急務です。

現場からの要請として、国内の大学等において膨大な森林資源の活用や、その後の森林を創造できる人材の育成・研究を進めてくださるようお願いをして、本稿のまとめとします。

引用文献

愛媛大学農学部林学科（1962）久万町林業構造改善調査報告
 上浮穴郡林業振興協議会（1969）上浮穴地方育林技術とその体系
 久万高原町（2015）久万高原町林業振興基本計画
 久万高原町（2017）久万高原町地域林業成長産業化地域構想

森の休憩室 II その31 樹とともに

ツリークライミング

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)



「climbing (クライミング)」を英語辞書で引いてみると、「よじ登る」とあります。岩肌を登るロッククライミング、氷を登るアイスクライミング、クライマー達の動きを見れば、なるほど、確かに体を壁にへばり付かせてよじ登っていますね。その際必ず身に付けている物に、ハーネスと呼ぶ安全ベルトとロープがあります。登る途中途中で壁に楔(くさび)を固定し、金属製の輪を掛け、そこへロープを様々に通して墜落対策を施しているのです。いまは私も樹を登る時、「ツリークライミング」と呼ばれるロープに頼った手法を用いる事が多々あります。しかし、樹にへばりつきながらよじ登っていません。ロープを使う目的は、そのロープを登る為が第一で、次に作業をする際のポジショニング確保、それらの結果に墜落防止が機能しています。

私が造園会社で高木に登っていた20年前、ロープの使用は作業箇所にて体を確保する時だけでした。庭木や街路樹の枝は、梯子のように幹のあちこちから伸びているものなので、ロープに頼って登るといった発想自体がなかったと言えます。もっとも、仕事量を増やすには早く登ることが手っ取り早かったため、身軽こそが大事と余計な物を使わないようにもしていました。しかしそれだと枝と枝の間が大きく開いている場合、気合とかを原動力によじ登る他ありません。そして私個人の近年の問題として、そんな時の頼みであった身体能力が加齢により大きく低下してきました。もし無理を重ねて登ろうものなら、脇腹や肩甲骨、首の後ろや腿の裏などで、「電撃こむら返り」が乱発です！楽しいはずの樹の上にて、息が出来ぬほどの悶絶を幾重も味わう事になるのは……。どうやったら今後も安全な樹登りを続けられるのでしょうか。そこで思いついたのが、ボルダリングで「登る」トレーニングをやる事でした。ボルダリングとは、大小さまざまな突起部が各所に取り付けられた壁を、手と足で登るスポーツです。するとどうでしょう、年に数回3年ほど通った頃、「登る」は明確な2つの動作で実行される事が期せずしてわかってきました。「腕で体を引っ張り上げる」と、「脚で体を押し上げる」です。

「腕」と「足」の筋力や持続力は、「脚」が圧倒的に勝っています。私が27歳で樹登りを始めてから約15年間、「少ない腕力による引き上げ」に頼っていた事をようやく知り、今後は「大きい脚力で体を押し上げる」を目指せばよいと光が見えました。早々に試みたのが、縄梯子を使って樹を登ってみる事です。高さ3mの箇所の

枝に固定して、いざ出発。結果は、足で梯子その物を前方へ押す事となり、どうにも姿勢が背後へ斜めとなってスムーズに登れません。縄梯子で空飛ぶヘリコプターへ登る映画があったりしますが、それが決死の撮影である事を知る良い機会となりました。ならば重心が真下にあって、登る際に身体が揺れない登り方はないものか探してみれば、なんとピッタリな技法があるではありませんか。だいぶ前に講習を受けて道具も揃えていた、ツリークライミングです。

ツリークライミングとは、ロープを上方の枝に掛け、そのロープ自体を登って樹上へアプローチする技法です。ロープに取り付ける「アッセンダー」と言う器具(それらの仕組みや機能はここでは省きます)を安全ベルトと足首の2か所に付けて運用すると、体を地面に垂直なまま、驚くほどに楽な姿勢で、蹴るように真上へ登れます。手足だけで枝や幹を登る事に邁進していた頃は、「ロープをただ登るだけなんて、そんなの樹登りじゃない!」と思い、遠ざけていたのですが、いざ頼ってみると、いえいえそんな事はありません。まずロープを掛けるその枝は、強度や作業内容を考慮して吟味しなければなりませんし、幹や枝を登る通常の樹登りも併用します。大きくて高い樹だと、樹上でロープの掛け替えを行う事もあります。このように、ツリークライミングは樹木を良く知っているからこそ出来る登り方だったのでした。そして樹にぶら下がって見える景色は、ロープに頼らず登っている時とそんなに大きな違いはありません。太い幹や枝が目前にあり、樹木から発せられる香りがあり、幹にとまっているカエルやカタツムリと目が合います。たどり着くその場所はいつ来ても透明で特別な空間です。そしてこの技法を使う事で、私は手足だけでは登れなかった数多くの樹々を登り、剪定し、伐採して来ました。一見したところ、ぶらんこ毛虫のようにロープでぶら下がっているだけにしか見えないかもしれませんが、目を凝らせば、樹登り、作業、そして樹と対話するアプローチとして大変優れていることも見えると思います。

.....

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

記録

森林 landscape 復元に関する国際会議に参加して

長池 卓男 (ながいけ たくお、山梨県森林総合研究所)

はじめに

2017年6月6-9日に、プエルトリコで開催された「森林 landscape 復元に関する国際会議—ボン・チャレンジ実行への貢献—」(International Conference on Forest Landscape Restoration—A contribution to the implementation of the Bonn Challenge—)に参加する機会を得たので報告する。

ボン・チャレンジとは、世界中の伐採地や劣化した土地について2020年までに150百万ha、2030年までに350百万haを復元するための国際的な計画で、復元することにより、経済、健康、環境、水、食料、燃料に関する課題の改善が期待されている (<http://www.bonnchallenge.org/>)。2011年にボンで開催された会議において、ドイツ政府と国際自然保護連合の主導により採択され、2014年の国連気候サミットにおけるニューヨーク森林宣言により、その承認と2030年までの目標が追加された。これまでに、47の国、州、企業等により160.2百万haの復元がこの計画のもとに誓約された(2018年1月15日現在)。

この会議は、ドイツ環境・自然保護・建築・核安全省(以下、ドイツ環境省)、アメリカ合衆国林野局、国際森林研究機関連合(以下、IUFRO)の共催で、6-8日の知識共有ワークショップ(Knowledge-sharing Workshop: “Translating Global Forest Landscape Restoration Policy into Local Action”)と、9日の大臣レベル会合(Ministerial-level dialogue: “Shaping Policy for Forest Landscape Restoration Implementation”)によって構成された。ワークショップの成果が、最終日の大臣レベル会合における議論の

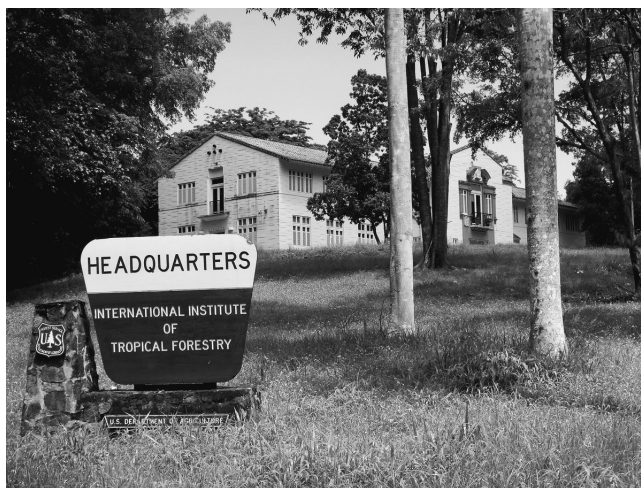


写真-1 会場となったアメリカ合衆国林野局国際熱帯林業研究所



写真-2 ポスター発表の様子

題材として用いられた。

ワークショップは、29か国から60名の招待者のみで構成され、日本からは私のみの招待であった。参加者のすべてが口頭もしくはポスターで森林 landscape 復元に関する発表を行った。発表内容については、ボン・チャレンジ、愛知目標15(2020年までに、劣化した生態系の少なくとも15%以上の回復を含む生態系の保全と回復を通じ、生態系の回復能力

及び二酸化炭素の貯蔵に対する生物多様性の貢献が強化され、それが気候変動の緩和と適応及び砂漠化対処に貢献する)、Initiative 20x20(2020年までに、ラテンアメリカとカリブ海諸国の劣化した土地20百万haを復元する)、AFR 100(2030年までに、アフリカ諸国の伐採地や劣化した土地100百万haを復元する)などの、森林 landscape 復元に関する国際的計画の1つ以上に言及・貢献するこ

とが事務局から事前に求められた。

会議の内容

ワークショップは6-7日に発表と討議、8日はエクスカージョンが実施された。発表と討議の会場は、アメリカ合衆国林野局国際熱帯林業研究所で行われた(写真-1)。冒頭のあいさつで、Bolte氏(ドイツThünen 森林生態系研究所、IUFROタスクフォース「気候変動下での森林の適応と復元」コーディネーター)は、ボン・チャレンジの目標達成は厳しいが、実行に向けてこの会議が充実したものになるよう期待すると述べた。Horst氏(ドイツ環境省)は、ボン・チャレンジは気候変動やESG投資とともに今後10年間の重要なトピックであること、異なった視点や様々なオプションを考える必要性があること、今回の会議は政策に反映させる大きなチャンスであることを述べた。

発表は、「landscape 復元の長期経験」「ガバナンスと森林 landscape 復元」「森林 landscape 復元プロジェクトの計画とモニタリング」「復元を開始するには」「森林 landscape 復元の実行アプローチ」「森林 landscape 復元と気候変動適応」「森林 landscape 復元の成功事例」「森林 landscape 復元の実行への投資」のセッションごとに行われた。私は、「森林 landscape 復元の実行アプローチ」の中で、富士山での企業CSR活動による森林復元についてポスター発表した(写真-2)。Parrota氏(アメリカ合衆国林野局研究開発部)は、原生林を人工林に転換した際の環境負荷は非常に大きい、鉱石採掘跡地を人工林にした際は炭素蓄積や生物多様性回復に大きな貢献があるため、様々な背景に応じて適切な復元方法を考える必要があることを述べた。Chazdon氏(コネチカット大学)は、アクセスが悪くても天然更新に適した場所では、その土地に生態的に適した種や住民になじみのある種が生えることが、重要なることを述べた。Bauhus氏(フライブルグ大学)は、短伐期施業は社会的な期待、気候変動に対する不確実性や、林分およびlandscapeの複雑性を低下させるが、長伐期施業になればそれらが高まる



写真-3 Luquillo 実験林の森林動態試験地



写真-4 San Patricio Forest

こと、混交林は気候変動や気象害に対する不確実性やリスクには適応しうる手段であるが管理のための情報はいまだ不足していることを示した。

大臣レベル会合へのまとめとして、回復した森林が発揮すべき機能を多機能で考えること、非自生種の役割を評価すること、投資されるための動機付けが重要であること、などの視点をもった上で、森林 landscape 復元は国連持続可能な開発目標(SDGs)の実現に貢献する、ということがまとめられた。閉会のあいさつで、Lugo氏(アメリカ合衆国林野局熱帯林業国際研究所所長)は、この研究所で最初に開催されたIUFRO会議は熱帯林の成長に関してであったが、森林面積が1950年代の10万haから近年の50万haへと回復したプエルトリコで、今回のように復元をテーマにして広い分野を統合的に議論するようになってきたことは感

慨深いと述べた。このワークショップでの発表資料は、以下のサイトからアクセスできる(<https://www.iufro.org/science/special/spdc/flr/flrconf/>)。

ワークショップのエクスカージョンでは、Luquillo 実験林と、San Patricio Forestを訪れた。Luquillo 実験林では、耕作放棄地に植栽された80年生のマホガニー人工林、ハリケーンにより枝が折れることが樹木や林床植生等へ及ぼす影響に関する実験的攪乱模倣試験地、キューバ危機時に実施された放射能暴露試験地、伐採からの経過時間が異なる林分を含む16haの森林動態試験地(写真-3)など、論文で見たことのある試験地を直に見ることができ、興奮を覚えた。San Patricio Forestは、18世紀はサトウキビ畑であった場所が海軍の居住地となり、その後庭木も含めて30年間で立派な熱帯林に

復元されていた（写真-4）。その復元には、近隣住民も協力し、森林内でのヨガなど、森林を生かした活動も活発に行われている（2017年9月のハリケーンイルマとハリケーンマリアにより、両森林とも、甚大な被害を受けた。San Patricio Forestでは、クラウドファンディングなどで資金を集めながら、復旧が進められている）。

大臣レベル会合は、ドイツ環境省副大臣、ルワンダ水・森林局長官、マラウィ森林局長官、IUFRO 会長、世界銀行や国連食糧農業機関（FAO）の担当者などの出席により開催された（写真-5）。Flasbarth 氏（ドイツ環境省副大臣）は、森林減少対策としては特にブラジルは成功し減少が止まったが、森林復元に関しては、ドイツはボン・チャレンジを推進することでSDGsに貢献し、成功するために関与することを表明した。Wingfield 氏（IUFRO 会長）は、“Post true”（嘘がまかり通る）の時代となったがこれは冗談ではなく、政策決定者と議論するときに“Post true”は大事な視点であり、科学者として政策決定者を理解させ、納得させる努力が求められることを強調した。

ルワンダからは、23年前に行政や社会統治は壊滅してしまっただが、復興に向けてこの森林 Landscape 復元アプローチに賛成すること、マラウィからは、燃料のための炭焼きが森林劣化の主要因であり、今後も協力を



写真-5 大臣レベル会合の様子

お願いしたいことが表明された。

世界銀行は、これまで開発への援助中心だったが森林 landscape 復元に強く関与していくこと、FAOからは、森林復元のために計5百万ドルを各国へ拠出することとなっており、モロッコが8百万haを森林復元すると宣言したので出資したこと等がそれぞれ報告された。

おわりに

この会議を通じて、ドイツが、世界的な森林 landscape 復元に対して積極的に関与していく強い意欲と意志を感じた。また、「SDGsへの貢献」という語が何度も聞かれ、森林分野が持続可能な社会の構築に対して貢献するための仕組み作りが、このような会議を通じて組み立てられてい

くことを学ぶ機会でもあった。

この会議がなぜプエルトリコで開催されたのかを事務局に聞いたところ、ドイツ環境省の担当者が、最後のあいさつで「プエルトリコに来るのが夢だった」と述べたように、森林 landscape 復元の成功例として著名であることが開催理由となったようだ。

すべての参加者が同じホテルに宿泊し、また食事を共にし、著名な Luquillo 実験林を見学できたなど、得難い経験であった。私をご招待いただいたアメリカ合衆国林野局森林研究所の John Stanturf 博士に厚くお礼申し上げる。参加経費の一部は、JSPS 科研費 16K07801 の助成を受けた。

記録

日本森林学会大会第5回高校生ポスター発表

井上 真理子 (いのうえ まりこ、中等教育連携推進委員会委員長)

1. 講評

日本森林学会 100 周年を記念して始まった「高校生ポスター発表」は 5 回目を迎えました。今年は 19 校から 29 件の発表がありました。当日は、ポスターの前は大賑わいでしたが、中には、ポスター縮小版を持って離れた場所でも説明する勇姿もありました。高校生達が緊張していた第 1 回から比べると、本企画も定着した感があります。

参加校は、森林・林業を含む農業系専門学科 8 校、理数系専門学科 4 校、普通科 7 校で、SSH (スーパー・サイエンス・ハイスクール：文部科学省事業) が 5 校ありました。初参加は 5 校で、当日は高校生 64 名 (14 校) が発表を行いました (旅費等支援 7 校：国土緑化推進機構支援)。距離等の課題がありますが、多くの高校生と専門家が直接話をできる機会となればと思います。

「高校生ポスター発表」では、生物部などの研究活動と、専門高校などの実践的な活動があります。発表内容は、動物 10 件 (シカ、水生生物など)、資源利用 9 件 (国産材など)、森林・環境調査 5 件、森林管理 3 件、教育活動 2 件でした。今年の特徴として、研究と実践との違いが少なくなった点が挙げられます。例えば、間伐による環境変化の調査 (河瀬高校)、ササ活用のためのゼロエミッション (旭川農業高校)、地域の森林被害を即座に調査 (奈良県立青翔中学・高校、帯広農業高校) など、科学的調査と実践活動とつながった取り組みです。実学としての森林科学では、課題解決のために過去の経過や生態学的知見、地域の実情など多角的な視点が求められます。高校生の発表からは、研究と実践と融合した実学としての本来の姿を改めて感

じました。また、今年発表された特徴的な活動には、高校生が狩猟免許を取得 (高知農業高校)、高校演習林で FSC 認証取得 (五所川原農林高校)、高校生が森林教育プログラムを考えて実践 (三重中学・高校) などがありました。今後の展開に期待します。

発表が多様なため、審査はいつも難航します。ポイントとして、取り組みのテーマ設定や結果をふまえた考察を高校生が自分達で捉えているかに注目しました。この後で受賞校 7 校の感想文を紹介しますが、受賞ポスターは学会ホームページで紹介します。是非、参考にして下さい。また、発表の課題として、内容が書き込まれ過ぎており、説明も詳しく長い印象を受けました。活動内容が充実していても、重要な点を絞る工夫を心がけてほしいと思います。

「高校生ポスター発表」にあわせて、キャンパスツアー (3 月 27 日、参加者 13 名、協力：高知大学)、記念品贈呈 (高知県産材利用、製作：高知大学教育学部附属特別支援学校、支援：大日本山林会)、森林・林業を学べる大学・大学紹介も行っています。また、発表ポスター集を作成し、当日参加できない高校も他の発表が分かるようにするなど (発表会場では希望者にも配布)、高校生の活動支援をしています。

「高校生ポスター発表」は、多くの関係者のご協力で運営されています。高校生の実直な活動は、学会員にも刺激になっています。来年、また多くの高校生の発表を新潟で見られることを期待しています。

2. 受賞校の感想

1) 最優秀賞：「鳥とともに森林環境を考える一繁殖鳥モニタリング調査

を通じて」

鳥取県立智頭農林高等学校

亀井丈人ほか

ほとんど毎日見ている鳥たち。どこにでもいる動物ですが、調べてみるととても奥が深いことがわかりました。調査を行い、その結果を分析することで、鳥たちがどこから飛んできたのか、これからどこへ飛んでいくのか、飛び立った場所がどんな環境なのか想像することが出来ました。実際に調査地である学校林に登り、カスミ網を張り、捕まえるために、午前 3 時に登ったのでとても眠かったのですが、触れることのない鳥に触れ、鳥たちの生態から地元の森林環境について考えることができたのは、とてもいい経験だと思いました。

正直、最初はスズメなどの一般的に人に認知されている鳥だけしか捕まらないと思いましたが、調査を進めるうちに今までに見たことのないような鳥が捕まり感動の連続でした。特に、スズメの足にリングを付ける作業をしたことが印象に残っています。リングを付ける時、スズメの足が折れてしまわないか緊張して手が震えてしまいましたが、それだけ自分は手の中に命を持っているのだと実感しました。とても貴重で一生やることのない経験をさせていただきました。

そして、こうして自分たちの研究を発表する場所があり、多くの方に知っていただけたことはうれしく思いました (写真-1)。先輩たちの調査を継続して行い、またその結果から、新しいプロジェクトを開始することが出来ました。今後の研究や発表は後輩たちに任せたいと思います。

2) 最優秀賞：「秋田平野のため池に

おける水生植物群落の分布と埋土種子集団に関する研究」

秋田県立秋田中央高等学校

秋山実希

私は「秋田平野のため池における水生植物群落の分布と埋土種子集団に関する研究」というテーマで研究活動を進めてきました。昨年の夏、北海道ウトナイ湖で行われた環境省のモニタリングサイト1000調査に参加させていただいたことで水生植物に興味をもちました。その後、秋田ではどのような水生植物が生育しているのか疑問に思い、秋田平野に点在するため池を対象に研究を始めました。研究の結果、秋田平野のため池ではヒシやハスなどの浮葉植物が単一で優占し、沈水植物の分布は極めて局所的であることがわかりました。近年、何らかの要因によって沼底に泥が堆積し、嫌気的な環境へとシフトしたことで、浮葉植物群落への遷移が進行したことが示唆されました。今後は劣化したため池の環境を改善し、減少した沈水植物を再生するという目標をもって研究していきたいです。

この一年間、私が研究してきたことをより多くの皆さんに伝えたいと考え、今回、高校生ポスター発表に参加させていただきました(写真-2)。当日は他校の工夫されたポスターと素晴らしい発表を聞きとても緊張しましたが、そんな中で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、多くの専門家の方々から様々な助言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、これからの研究活動に活かしていきたいです。

3) 優秀賞:「ピンクに染まる不思議な杉~未利用資源としてのサンプスギの利用~」

東京都立科学技術高等学校

久岡日向子ほか

私たちは「ピンクに染まる不思議な杉~未利用資源としてのサンプスギの利用~」という題目で研究発表会に参加しました(写真-3)。私たちが住む東京都から近距離にある千葉県東部の山武市にフィールドワークに行き、そこで生産されているサ

ンプスギについて学習しました。ここでは、サンプスギ林の約8割が非赤枯性溝腐病にかかっていることや林地残材の現状を知ることができ、森林に放置されているサンプスギを有効利用したいと考えました。このことがきっかけで研究を始めてから1年が経ちました。はじめの頃は草木染めが中心でしたが、今では、染物に使用した木材チップを再利用するために木質バイオマスとして熱分解し、可燃性ガスと活性炭を取り出すところまで内容を発展させることができました。私たちは、この研究によって林地残材を減らし、山武市に貢献することができたら良いと考えています。

今回の発表会では、大勢の方がとても興味深そうに聴いてくださったりと、様々な質問をして頂くことができてとても嬉しかったです。対話を通して自分の持っている知識

を深めることができました。また、専門的な知識をもっている方から具体的なアドバイスを頂くこともでき、良い機会になったと思います。そして、私たちの研究のことを多くの人に知ってもらえるだけでも嬉しかったけれど、まさか優秀賞を受賞できるとは思っていなかったのも、とても感激しました。先生、仲間と一緒に高知を散策したことも含めて、素敵な思い出になりました。

4) 優秀賞:「切り枝で林業を元気に!—シキミ生産販売に向けて」

高知県立高知農業高等学校

藤田佑成ほか

本校は各学科に専門部があり、私は2年生より森林総合科の「森のめぐみクラブ」に所属してシキミの生産に関する研究を始めました。今年度の森林学会高校生ポスター発表は、地元高知大学で開催されることを先

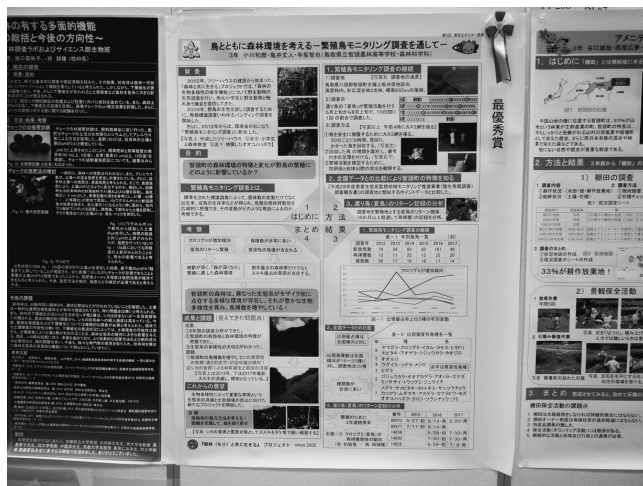


写真-1 最優秀賞 鳥取県立智頭農林高等学校

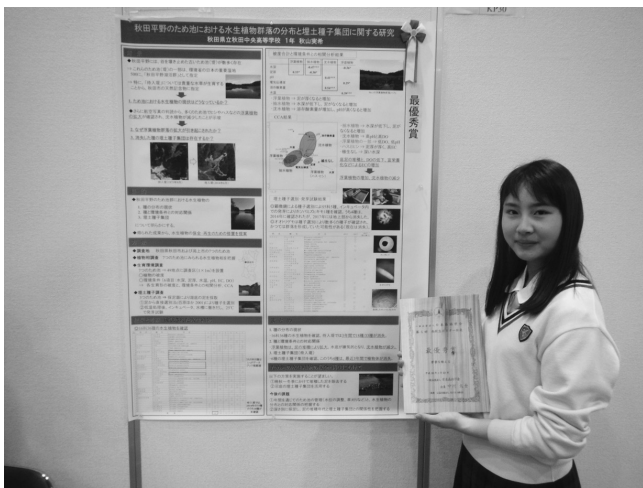


写真-2 最優秀賞 秋田県立秋田中央高等学校

生に教えていただきました。先生に参加を勧められ、初めての経験でしたが思い切って参加することになりました(写真-4)。農業クラブや四国森林管理局の発表会など、プレゼンテーションには取り組んできましたが、ポスターを作ったのは初めてで、その大切さが分かりました。本校の先輩が毎年参加していましたので、それらを参考にポスターを作りました。しかし、作成作業の中では文章を区切ったり、付け加えたり、画像を貼り付けるのが難しかったです。ポスター発表は初めてで、人に分かりやすく、疑問の残らないように説明することに緊張しました。しかし、思ったよりも、自分の言葉で説明することができました。そして、1年間研究活動してきた中で、自分の成長を感じることが出来ました。また、質疑応答では満足に答えることができ、達成感も感じる事が出来ました。

今回、多くの高校の研究活動を見学でき、全国に同じように取り組む仲間がいることを身近に感じられ嬉しかったです。しかも、その取り組みは勉強になるものばかりでした。今回、研究の成果を評価していただき、優秀賞を受賞できました。さらに3年生では、自分のアイデアを盛り込めるよう研究を続けていきたいと思っています。

5) 優秀賞:「守れ!ふるさとのカスミサンショウウオⅨ～GISと環境DNAを用いた生息地の未来予想～」

岐阜県立岐阜高等学校
日下部綾音ほか

私たちは、「守れ!ふるさとのカスミサンショウウオⅨ～GISと環境DNAを用いた生息地の未来予想～」というテーマで発表させていただきました(写真-5)。地形情報を効率的に解析できるGISと、個体を確認せずとも生息の有無を調査できる環境DNA解析を、「組み合わせる」ことによって、希少生物の新規生息地を迅速かつ効率的に発見できると考えました。その結果、実際にカスミサンショウウオの新規生息地を約1年で発見し、この手法が有効であると示すことができました。また、過去、現在、未来と時間を追って生息地の様子を調査することで、植生や気温

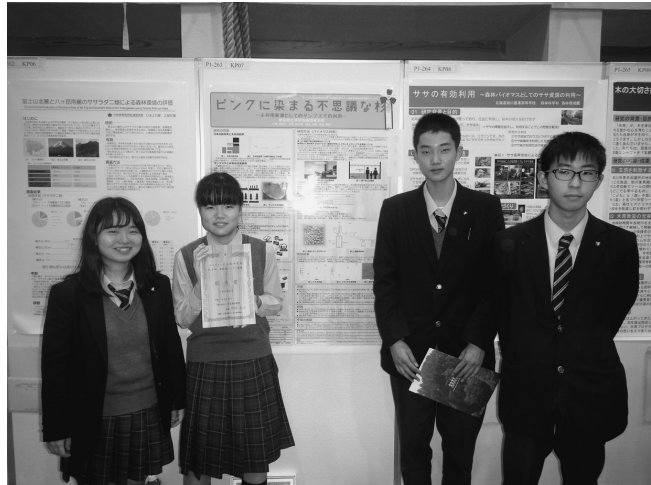


写真-3 優秀賞 東京都立科学技術高等学校

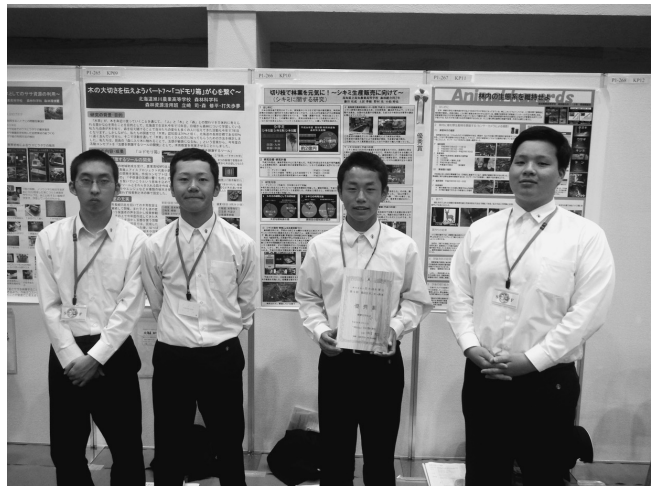


写真-4 優秀賞 高知県立高知農業高等学校



写真-5 優秀賞 岐阜県立岐阜高等学校

といった環境の変化が、生物の生息に大きな影響を与えることを明らかにしました。

この研究を通して、生物の保護において環境保全がどれほど重要な意味を持つかということを私たちは学び、それを、学会などを通して多く

の人に伝えなければならぬと感じました。今後は、カスミサンショウウオが生息する、森林と水環境が一体となった環境、いわゆる「里山環境」を中心に、環境保全に貢献する活動に力を入れたいと思います。カスミサンショウウオを始めとする生き物

を守り、身近な自然を守っていききたいです。

6) 特別賞：「国際森林認証 FSC 取得への取組」

青森県立五所川原農林高等学校
古坂翔

今年度初めて、森林学会高校生ポスター発表に参加しました(写真-6)。発表当日の会場は想像以上の関係者が集まっており、改めて大舞台上で発表することを実感しました。ポスター発表では緊張のあまり練習通りの発表ができず苦労しましたが、自分たちの取り組みを多くの人に伝えることができ良かったと思います。また、質問を通して知識を深めることができ、新たな方向性も見出すことができました。

本学会では「特別賞」を受賞することができとてもうれしく思います。私たちの取り組みが評価されたことで、今後のさらなる原動力に繋がりました。今後は取り組みを更に発展させるとともに、地域に広く発信していきたいと思います。また、同じ会場で学んだ知識を本校の生徒に還元し、森林、林業の発展に貢献できればと思います。

高校生ポスター発表に参加して私は多くの事を身に付けることができました。特にコミュニケーション能力はとても大事であると実感しました。この発表会で学んだ事を今後の高校生活や卒業後に活かしていきたいと思っています。また、この体験を先輩に伝え、来年度は最優秀賞を目指すよう指導していきます。最後に、高校生ポスター発表会の準備、運営を担当して下さった方々に感謝を申し上げます。来年もよろしくお願いいたします。

7) 特別賞：「トドマツ集団枯死の謎に挑戦」

北海道帯広農業高等学校
森林保育班 (小野田優希、野口晶葉、池野由樹、野村耕平、飯野夢実)

私たちは、1年間トドマツの集団枯死について調査してきました。学校林の中でこれまで40年以上育成

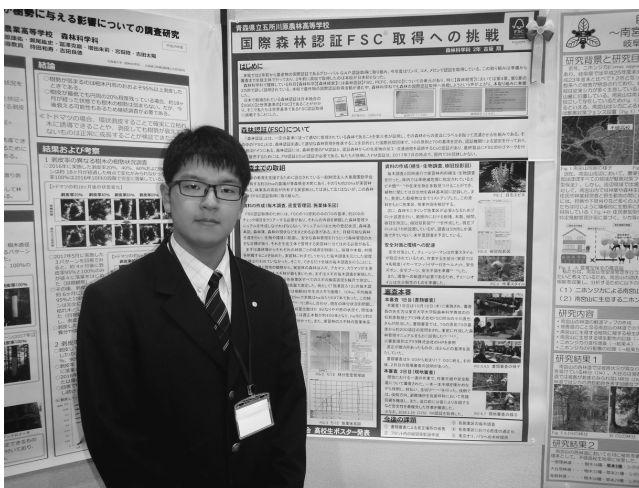


写真-6 特別賞 青森県立五所川原農林高等学校

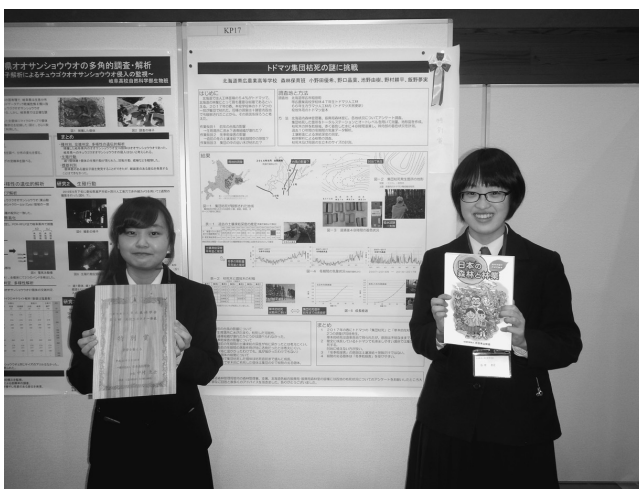


写真-7 特別賞 北海道帯広農業高等学校

してきた森林が急に枯死したこと、そして、地域の他の森林でも同様の現象が見られたことから、原因を見つめたいと考え、研究活動に参加しました。

はじめのうちはどんな方法で原因に迫れば良いかわからず、まずは授業で習った基本的な森林調査法によって、調査を行って行きました。研究の途中でアンケート調査を行ったら、たくさんの方々から激励とアドバイスをいただくことができ、調査の幅を広げることができました。また、ポスター作成も放課後の限られた時間を使って行い、大変なところもありましたが、完成したときはとてもうれしかったです。

大会会場では、質疑応答を繰り返しているうちに自信を持てるように

なりました。また、お話をした方々から具体的なアドバイスをいただくことができ、私たちが気づかなかったことや知らなかったこと、実験の改善点、良い点を教えていただき、さらに深く研究したいという気持ちになりました。賞をいただけたことには驚きましたが、とても嬉しかったです(写真-7)。私たちの高校生活は残り1年になりました。これまでの研究で原因の一部はわかったのですが、わからなかったものもあったため、引き続き調べてみたいです。また、トドマツ以外の木の、いろいろな謎にも挑戦して、少しでも地域の林業・林産業に貢献できるようになりたいと考えています。

北から

冬の寒さが森林の土壌養分を変える

柴田 英昭 (しばた ひであき、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター)



北海道の冬は長く、寒いのが特徴です。場所によっては約半年間にわたって地面は積雪に覆われ、年間降水量の半分が降雪によってもたらされています。北海道で森林の研究をしていると専門外の知人に話すと、「冬は調査ができないと思うが、その時期は暇なんですか？」などと聞かれることがあります。確かに、多くの野外調査は雪の無い時期に集中しています。しかしながら、土壌の養分動態については冬を中心として興味深い現象があることが分かり始めていて、それに関心のある研究者は、寒い冬でも積極的に野外に出かけ、調査や観測を行っているのです。

土壌には多数の微生物が生息しており、その一部は、低温環境でも休眠せずに活動を続けていることが知られています。秋に落葉・落枝として土壌に供給された枯死有機物(リター)には、新鮮な有機物や栄養塩が多く含まれています。その新鮮リターは冬の間、土壌微生物によって変質を受け、その後の養分の動きに重要な役割を果たしていることが分かってきました(Shibata 2016: Ecol. Indic. 65: 4-9 ほか)。

最近では、地球温暖化などの影響も含めて冬の気候状況が大きく変化していることが懸念されています。北海道北部の雨龍研究林(北海道大学)での長期観測によると、過去数10年間にわたり最大積雪深が減少し、積雪期間が短くなっている傾向が示されています(Shibata 2016: Ecol. Indic. 65: 4-9)。積雪は多孔質で内部に空隙があるので、土壌を断熱する効果があります。そのため、十分な積雪がある場合には、気温が氷点下であったとしても土壌は凍結しません。実際、北海道北部の森林河川では谷底の積雪が2メートルを超え、最低気温が時にはマイナス30℃を下回りますが、積雪下の土壌は真冬でも凍らず、溪流にはゆっくりと水が流れています。積雪が減少すると土壌への断熱効果が低下するため、気温の変化に応じて地温も大きく変動します。特に、気温の日変動が大きい積雪初期や

融雪時期においては、土壌内で凍結や融解を繰り返すことが知られています。

そのような少雪下での地温環境の変化は、土壌養分の動きにどのような影響があるのでしょうか。これまでの研究で、積雪下の土壌では微生物バイオマス量が増加する傾向にあることや、土壌の凍結・融解サイクルが増えることで土壌中の炭素や窒素の動態に変化があることが報告されてきました。著者らは北海道の森林を対象として、冬の気候変化、特に積雪減少が土壌内の窒素養分の動きに及ぼす影響について研究を行ってきました。研究手法にはいくつかの種類がありますが、特徴的なものとしては野外での積雪除去実験があります。これは実験的に人力で除雪を行い、その処理区でさまざまな調査や観測をするのですが、多大な労力が必要となります。京都大学北海道研究林で行った林分スケールでの除雪実験では、研究林の技術スタッフの全面的な協力によって実現することができました(写真-1)。技術スタッフの皆さんにこの場をお借りして改めて厚く御礼申し上げます。

これまでの研究で分かってきたことは、土壌内の水分が凍結や融解を繰り返すと、水の膨張・収縮による物理的な力が働き、土壌に含まれる有機物が破碎を受けやすくなるのではということです。その有機物には葉や枝のリターをはじめとして、土壌微生物、樹木の細根リターなどが含まれます。破碎された有機物は、低温下で生存している土壌微生物のエネルギー源や窒素無機化の基質として利用されやすい形態であるため、その影響によって有機態窒素からアンモニウム態窒素への生成速度が促進すると考えられています。

地球温暖化というと温まる現象のことに関心が高まっていますが、雪が減ることで逆に土壌が冷え、そのことが生態系の構造や機能を支えている土壌養分に無視できない影響を及ぼしているのです。



写真-1 凍結土壌と除雪処理作業の様子(京都大学・北海道研究林)

現場百遍と研究

猿田 けい (えんだ けい、静岡県農林技術研究所森林・林業研究センター)



南から

異動で静岡県農林技術研究所森林・林業研究センターに研究員として配属されて、今年で4年目になる。業務では主に海岸林造成に係る研究を担当している。当初は正直なところ海岸林研究はもうやり尽くされていると思っていた。何が解明されていないのか、まずは「現場百遍だ!」と思って現場に通った。

1年目は現場に通って先行研究を読むだけで終わった。当然、研究成果もモニタリング結果しか出せず、「研究が浅い!」と言われてしまった。一方、現場工事を実施している事業課からは、海岸林担当の研究者としての専門的な意見が求められた。しかし先行研究等で相談に対応できる事例を探してもなかなか見つからない。質問や要望に応えられないのは、自分の知識・経験が不足していることも大きい。意外に海岸林造成について、わからないこと、これまでの手法ではうまくいかないことが多いのではないかと考えた。

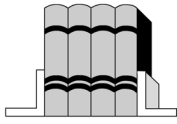
さて、2年目。応えられなかった質問や要望を整理すると、海岸の強い環境ストレスに対する植物の応答と植栽木の枯死要因というテーマが見えてきた。

説明が後先になったが、静岡県ではマツくい虫被害で枯損したマツ林を伐採し、海岸防潮堤を盛土して海岸防災林を造成している。海岸防災林植栽樹種のうち、クロマツは400年以上の実績があり、植栽手法が確立している。しかし、新たな海岸防災林ではクロマツ以外の広葉樹も植栽を進めており、活着が安定していない。工事を実施する事業課からの質問も、それらの活着を改善する植栽基盤の造成方法についてのものが多い。先行研究を読むと、「この場所ではこの樹種がうまくいった」という結果は出ているが、うまくいった要因は推測の域に留まっている。同じ樹種をほかの海岸で試して活着結果が異なるというのはよく聞く話である。海岸環境の飛砂量、飛塩量、日射量、貧栄養、乾燥、その他のストレスがどの程度までであれば、その樹種は耐えることができるのか。色々な環境ストレスに対する樹種ごとの耐性閾値を明らかにして、それぞれの樹種の植栽適地や植栽手法を、工事業課に提案したいと考えた。3箇所ある調査地の海岸林には、1か月に1回以上通うこととし、植栽木の枯損が始まる部位の観察や年間を通して枯死が発生する時期の記録をした。併せて海岸における植物の枯死原因と考えられる塩耐

性や乾燥耐性を室内試験で検証した。2年目の試験では、現地のごまめな調査のほか、真夜中の海岸での葉の生理測定や、夜明け前の葉の水分ストレスを測定する試験も実施した。夜明け前にセンター内をうろついて、駆けつけた警備会社の方に免許証を確認されたり、真っ暗な中の物音にびびって、ガマガエルにスパナを振りかざしたりしながらもデータを集めたが、解析に活かすことができたものはわずかである。調査ばかり先走ってしまい、解析から外したデータが多かった。膨大なデータを活かし、まとめあげて結果を出している研究者は、ちゃんと何を見るべきか、筋があったからそれだけの労力をかけて最後までやり遂げられたのだろう……と反省した。

がむしゃらな観察だけではダメなのだと学習した3年目。今度こそは先行研究でよく情報収集をして効果的な試験をするぞ!と意気込んだ。テーマは引き続き、「色々な海岸の環境ストレスに対する樹種ごとの耐性閾値を明らかにして、各樹種に適した植栽工事手法を提案する」である。工事業課にご協力いただいで設定した現地試験・観察と、樹種ごとの海岸耐性を検証する室内試験を併せて実施した。観察すればするほど、海岸林の複合的なストレスの複雑さに圧倒される。先行研究の植栽結果の考察で推測以上のものが少ないのも当然だと、今さらながら感じる。

3年目を省みた反省点は残念ながら2年目とほぼ同じである。最初の計画の詰めが甘く、労力と結果が比例していない、始めにこのデータをとっておくべきだった等の悔いがある。学会発表では、考察が浅くもっと色々な文献を勉強するべきだったと反省ばかりである。センターに配属されてからの3年間、色々な先輩方や先生にご助言・ご指導をいただいたが、言われてすぐに理解できたものはほとんどない。助言をいただいてそれを実行しているつもりでも、真意を理解しきれなかったなど、後で気が付くことも多い。一県職員としては研究者と名乗らせていただくことに気後れを感じるが、研究をするチャンスをいただいたことは、とても恵まれていると感じる。3年間の反省を礎に、今後も工事業課と協力して現場に活かすことができる研究を追求したい。



ブックス

マングローブ林 変わりゆく海辺の森の生態系

小見山章著、京都大学学術出版会、
2017年3月、284ページ、2000円（税
別）、ISBN 978-4-8140-0088-3

「マングローブ」と聞いて、あなたは何を想像するだろうか？「熱帯林」、「耐塩性」、「泥の中での生育」、「奇妙な形態の根」といったところだろうか。奇怪な植物である。本書は、マングローブの魅力に取りつかれた著者が、35年の年月をかけてマングローブ林を旅した紀行文である。長期の研究・経験に基づいてマングローブ生態系の変貌を当時の社会的背景と共に解説している。森林問題を深く考える人にお勧めの一冊である。

第1章では、マングローブ林の魅力や基礎知識及び著者がマングローブ研究に情熱を傾けることとなったきっかけについて丁寧に説明している。そして、第2章からいよいよマングローブ研究に関する話が展開される。著者が最初に対峙したのは、当時南タイにまだ存在したマングローブ原生林だ。マングローブ地上部の現存量の調査から始まり、根の現存量の重要性に気づき、それらを調査するための手法開発に至る点を時系列に述べている。また、泥や湧き出る地下水と格闘しながらの根掘り作業の様子や、採取したサンプル測定之苦労話などが語られていて興味深い。挿話が各章に散りばめられており、「仲間との出会いと別れ」、「デンバサールからの脱出」、「マラリア予防危機一髪」、「呪術師オミティ」や「コブラとネズミ」などの話は一般向けの読み物としても面白い（注：このようなタイトルの章はありません）。次に著者らは、東インドネシアのマングローブ原生林に遠征している（第3～4章）。ここでは潮間帯内に生じるわずかな標高

差によって生じるマングローブの帯状分布の不思議について語っている。また、このころ著者はタイとインドネシアで作成したマングローブの相対成長式の林分間の分離（一つの式で表現できない状態）に悩まされており、このことが、この後の主要な研究テーマになる世界共通のマングローブ相対成長式の開発を目指すきっかけになっている。第5章では、原生林から二次林へと変貌するマングローブ林について当時の社会情勢と共に語っている。その様子を記録した写真は衝撃的である。目先の利益を追い求めすぎた結果、我々は資源と公益面で大きなリスクを背負ってしまった。人間と森林の関わり方について考えさせられる。そして、2000年代に入り、著者らの二期目のマングローブ研究がタイの新たな調査地で開始される（第6章）。二次林と化したマングローブ林の機能を調べるためだ。また、先に述べたマングローブの世界共通式の開発にも挑み、あの複雑な形態のマングローブの重量をたった一つの数式で表現することに成功している。「博士が愛した数式」である。ここでの研究は現在進行形であり、今なお年に数回はタイに調査に出かけているようである。著者の研究に対するバイタリティーには頭が下がる。第7章では、荒廃したマングローブ林での植林と再生の難しさを語っている。たった35cmの標高差がマングローブの活着に影響を及ぼすとは驚きである。そして、物語は最終章を迎え、著者は再び南タイを訪れる。しかし、世界最大級の規模を誇り、威風堂々と存在していたマングローブ原生林は消滅していた。そこにあった林は、かつて感じた森の荘厳さはなく、生物多様性は失われ、全く別の生態系となっていた。「ああ、いったい私たちはこの森に何をしてしまったのだろう……」と言う著者の言葉が脳裏から離れない。そして、著者は訴えている。失った自然は元には戻らない、だから、森林を破壊してはい

けない、と。

本書を読み終えて、環境問題の根源は全て我々人間の活動にあり、人々が一時的な経済的恩恵を追い求めた結果であることを再認識させられた。現在世界中で生じている人間と森林との危機的状況を打破するために、我々は何ができるのだろうか？我々世代が考えていかなければならない。しかし、荘厳な原生林の感動を知らない我々が、著者らからのバトンを受け取ることができるのだろうか。後続の研究者として少し不安にかられる。

最後に、本書を読んだ後にもう一度問うて欲しい、「マングローブとは？」、と。読む前と違うことを想像するかもしれない。

片畑伸一郎
（岐阜大学 応用生物科学部）

抵抗と創造の森アマゾン 持続的な開発と民衆の運動

小池洋一・田村梨花編、現代企画室、
2017年11月、336ページ、2700円（税
別）、ISBN 978-4-7738-1722-5

アマゾンというとまず通販のアマゾンを思う私たち日本人は、地球の裏側にある遙か彼方の地、そこで起きていること、その人々の生活には馴染みがない。本書は、ブラジル・アマゾンに次々と襲う開発に伴う森林破壊と現地住民への侵害、それらに対する様々な抵抗と創造的な活動を描き、世界が学ぶべき持続可能な社会のあり方を思考させる。

世界最大の森林面積を誇るアマゾンは、豊富な森林資源とともに、大規模工業型農業や畜産にはうってつけの広大な土地を有している。人類は資源を搾取し、森林を切り開き、環境を顧みないビジネスを展開している。本書は、それらに対抗する、自然と共生的な農法の展開、先住民や土地なし農民の運動、森林資源を守りつつ、その価値を高めるビジネス、子供の権利や森林の保護活動など、多様なアマゾンの現実を、研究

者、活動家、ジャーナリストが詳細に伝える11の章で構成される。

第1章から第3章は、アグリビジネスに対抗する、環境負荷が少なく高い生産性を誇る伝統農法に基づくアグロエコロジー、森の恵みを享受しながら森を守る採取経済やゴム樹液採取労働者（セリンゲイロ）が起こした運動、日系移民が普及したアグロフォレストリーをそれぞれ取り上げ、その衝突と努力の経緯と現状を描く。しかし、気候変動の影響を受けながら、アグリビジネスのオルタナティブとして継続的な挑戦が必要である。続く第4章と第5章は、開発によって土地への権利が侵害される先住民の現状と抵抗運動について、それぞれ、先住民保護政策とその攻防、そして、巨大なベロモンテダム開発を取り上げ、法制度が定められ、権利が与えられていても、必ずしもそれが反映されない実態を描く。第6章では、土地なし農民の生き方と運動に焦点を当て、土地や富の再分配、資源利用や自然環境の維持の課題を投げかけている。

アマゾンに暮らす人々が森林を守りながら、生活水準を高めるための取り組みに関する第7章と第8章は、それぞれ、伝統工芸に新たな価値を付加するソーシャルデザインとフェアトレード、ブラジル流公正取引の仕組みと実践事例を紹介する。課題はありつつも、アイデアや仕組みによって、伝統やアイデンティティ、環境を維持しつつ、生計を向上させる道筋が開かれることを示している。NGOの活動に焦点を当てた最後の二章のうち、第9章は、開発によって進むアマゾンの都市化がもたらす貧困地域における子供の人権の実態とその権利を守るための活動事例を紹介する。ブラジルにおいて、子供や女性、社会的マイノリティ層を対象とする差別や暴力は深刻な問題である。ここでも法制度は確立していても、現実と乖離している実態がうかがえる。第10章は、人と自然の調和を目指し、森を生かして

森を守るアマゾニア森林友の会（アスフローラ）の教育や植樹のため活動や農業技術支援を紹介する。

止むことない消費経済、グローバル化した経済の波は、無慈悲にアマゾンの森林を破壊し、人々の生活と人権を脅かし続ける。住民たちの飽くなき抵抗も支援の努力も、その巨大な波を鎮めることはできない。私たち日本人はその波の一端を担っている。遠いアマゾンの現状を知らずして、その事実を省みることは容易ではない。本書は、そんな私たちに、ローカルとグローバルな現実を突きつける。

開発の名のもとに行われているアマゾンの土地と生命の収奪に抵抗する民衆運動は、単に開発を批判し、環境保全と権利の保護を訴えるものでなく、自然と人の共生を目指したオルタナティブを提示するものである。「フェアトレードや倫理的消費といった社会的公正性を保つことができるオルタナティブな経済の促進、生物多様性の尊重を行動に移し、地球上のすべての生命をあきらめず持続可能とする方法の探求に必要な知として学ぶことは、本書の重要な目的である。」と編者は序章で述べている。

戸田美紀（元筑波大学）

基礎から学べる菌類生態学

大園亨司著、共立出版、2018年3月、272ページ、定価 2,500円＋税、ISBN978-4-320-05787-6

本書の紹介としては、「はじめに」の冒頭をそのまま引用するのが一番である。「本書は、日本語で読める初めての菌類生態学の入門テキストである」。「植物や動物と同じように、菌類でも生態学ができるのか、と聞いてくる人も多い」と筆者は続ける。答えは「本書そのもの」であり「これをみよ」ということであろう。

生態系のなかで菌類は「分解菌」や「病原菌」としては既にひろく認

知されている。近年「菌根菌」や「内生菌」等も含め様々な菌類が生態系の物質循環のなかで最新の分子生物学的手法によって目に見えるようになってきた。さらに近年は環境要因や空間要因と菌類群集との関係が様々な森林、樹種、地域において報告され、菌類が生態学の枠組みのなかで当たり前のように語られるようになってきている。いまや菌類生態学は生態学のなかで重要な分野のひとつである。そんなホットな一分野を基礎から学べる教科書が本書である。

本書は3部構成をとっている。第1部「基礎生物学編」は4章からなり、菌類の生態を理解する上で必要な基礎的内容を丁寧に解説する。菌類の形態、分類、系統および多様性を解説する日本語の教科書は多数あるが、生き物としての菌類の特徴や生活様式までを、要点をしぼり分かりやすく解説した教科書はない。第2部は「生態機能編」である。菌類の生態的特性と機能的なはたらきについて「内生菌」「菌根菌」「病原菌」「分解菌」「地衣類」の5つの章にわけて紹介している。ここでも一般的な概説にとどまらず、具体的な事例と分かりやすい図表が引用されている。著者本人の研究成果も多く含まれていて面白い。第3部は生態解析編である。菌類の生態研究法と多様性解析法について概説し、これらの手法を用いて明らかにされた菌類と環境適応について、つまり菌類生態学の最先端を紹介している。

すべての章の後に、「理解度チェッククイズ」が2～3問程ついている。巻末にはその回答例が掲載されている。章によっては「さらに勉強したい人のために」という項目があり、巻末の英語文献リストとは別に、日本語で読める本や文献が紹介されている。さらに自力で勉強を進めたい場合、次のルートが示されているのである。

また、「Box」では、その章のトピックスの一部の補足やさらに掘り下げた内容や、ちょっとしたこぼれ話が

掲載されてこれがまた面白い。「Box 12-1」には著者が日本南極地域観測隊隊員として4ヶ月間南極に滞在し調査した様子が書かれている。これだけでもう1冊本になりそうである。また「Box 11-1: 菌目線のススメ、菌目線でススメ」には、「菌類が手をさしのべてきた（著者が菌類研究を始めた）」きっかけが、光るきのこと、モグラの便所からできるものに導かれたものであることがサン・テグジュペリのフレーズとともに語られる。「Box 8-1: 落ち葉と菌類の生態学」では、京都駅ビルになぞらえたブナ落葉の「お菓子の家」を菌糸が縦横無尽に食べている様子があ

りありと映し出される。

本書の特徴は、まず、読みやすく、見やすく、わかりやすいことにある。平易で簡潔かつ要点を押さえた文章に、写真や図がふんだんに使われているので、文字だらけのページになっていない。すいすいと内容が頭に入り、面白い。書かれている内容は非常に濃いにもかかわらず、ここまでわかりやすく書き下せるのは、本書が大学での教養科目・基礎専門科目の講義に基づいて執筆されたものであり、著者が一流の研究者であるばかりでなく優れた教育者でもあるからこそであろう。

最後にもう一度くりかえすが、本

書は日本語で読める初めての菌類生態学の入門テキストである。これまで生態学においてあまり注目されることのなかった菌類が、生態系の中で主役級で関わっていることを見える形で示した良書である。興味のある方は、本書とあわせて、「菌類の生物学 生活様式を理解する」ジェニングス・リゼック著、広瀬大・大園亨司訳（京都大学学術出版社2011年）もお薦めする。こちらには菌類の生活様式、菌類を取り巻く環境条件、菌類の繁殖に関する基礎知識が網羅されている。

太田祐子

（日本大学 生物資源科学部）

「森林科学」への投稿について

「森林科学」投稿要領

(2016年12月22日改訂)

1. 投稿できるのは日本森林学会会員および「森林科学」購読者のみとする。ただし筆頭者以外の共同執筆者および依頼による記事の執筆者についてはこの限りではない。
2. 原稿は、解説、記録、研究トピックス、読者の声、その他とし、和文とする。
3. 原稿の採否は編集委員会が決定する。
4. 原稿の長さは原則として、すべてを含む刷り上がり解説、記録は4頁以内、研究トピックス、読者の声、その他は2頁以内とする(2,000字/頁を目安とする)。
5. 投稿原稿は執筆要領にしたがって作成し、電子メールで提出する。
6. 著者校正は原則として初校に限り、誤植の訂正にとどめる。
7. 解説・記録・研究トピックスの著者は別刷50部を希望により無料で受け取ることができる。無料分以上(50部単位)およびpdf別刷りを希望する場合は、著者の負担とする。
8. 原稿の送付および編集についての問い合わせは森林科学編集主事あてとする。
9. 著者は最終原稿を提出する際に、著作権譲渡承諾書を提出しなければならない。

著作権について

(日本森林学会学会誌等刊行規則(2011年6月15日制定)
第15条より抜粋、一部修正)

1. 本会の刊行物への掲載が受理された記事、論文等の著作権は、本会単独であるいは本会の定める出版社と共同で、本会に帰属するものとする。
2. 著者に許容される権利については、刊行物ごとに別に定める。

「森林科学」執筆要領

(2016年12月22日改訂)

1. 原稿の書き方
専門分野以外の読者が理解しやすいように、図表や写真を多くし、わかりやすく、簡潔な表現を用いる。図にできる場合はなるべく表を使わない。目安として、少なくとも1頁に1つの図や写真を入れるようにする。
2. 投稿原稿の種類
解説：特定の研究テーマや話題に関する解説
記録：シンポジウムや研究会の記録
研究トピックス：プロジェクトや国際共同研究、特徴ある研究の紹介
読者の声：読者の意見や主張
ブックス：書評、出版物の紹介
その他：上記以外の内容についての投稿。編集主事まで問い合わせること。
3. 原稿の形式
原稿の種類に合わせて、以下の内容をそれぞれページを分けて記載すること。
①投稿連絡票(表題、著者名、所属先、原稿種類名、連絡先(住所、電話番号、電子メールアドレス))、②本文、③引用文献(「解説」・「記録」・「研究トピックス」で必要な場合のみ。最大10点を目安に。)、④図表、⑤図表の説明、⑥紹介する印刷物の書誌情報(ブックスのみ。著者・出

版社・出版年・頁数・価格・ISBN。)

4. 原稿の体裁

原稿は電子メールに添付しての提出を基本とする。ファイル形式などの詳細については編集委員会が定める「原稿執筆ガイドライン」を参照のこと。

図表の表題にはそれぞれ通し番号をつけ、1点ごとに別ファイルとする。各ファイルには筆頭著者名と通し番号を含む分かりやすい名前を付ける。

5. 引用文献

引用文献は必要最小限とする。本文中での引用は、①引用順に(1)、(2,3)のように上付きの通し番号を振る、②該当人名に(年号)あるいは事項に(人名 年)をつけて引用する。混用はしないこと。引用文献の記載は、①では通し番号順、②ではアルファベット順に行う。誌名の略記法は和文の場合は慣例により、欧文の場合は日本森林学会誌に準じる。巻通しページがある場合は巻のみとし、ないときは巻(号)を併記する。

<引用文献記載例>

a. 雑誌の場合

笠井美青・丸谷知己(1994)山地河川における立木群による土砂の滞留機構. 日林誌 76: 560-568

Ochiai Y, Okuda S, Sato A (1994) The influence of canopy gap size in soil water conditions in a deciduous broad-leaved secondary forest in Japan[†]. J Jpn For Soc 76: 308-314

b. 書籍の場合

Levitt J (1972) Responses of plant to environmental stresses. Academic Press
渡邊定元(1994)樹木社会学. 東大出版社

c. 書籍中の場合

小林繁男(1993)熱帯土壌の瘦悪化.(熱帯林土壌・真下有久編, 勝美堂). 280-333

Wells JF, Lund HG (1991) Integrating timber information in the USDA Forest Service[†]. In: Proceedings of the Symposium on Integrated Forest Management Information Systems. Minowa M, Tsuyuki S (eds) Japan Society of Forest Planning Press. 102-111

[†] 紙幅が足りない場合は、タイトルの省略を認める。

原稿の送付および編集についての問い合わせ先は下記あてとする。

森林科学編集主事 古川拓哉

〒305-8687 茨城県つくば市松の里1

国立研究開発法人 森林研究・整備機構

森林総合研究所 生物多様性研究拠点

Tel 029-829-8224

e-mail tfurukawa@affrc.go.jp

学会事務についての問い合わせ先

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

Tel/Fax 03-3261-2766

https://www.forestry.jp/

複写をされる方に：一般社団法人学術著作権協会へ複写権委託済み

許諾・連絡は、〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3F (e-mail: info@jaacc.jp, URL: https://www.jaacc.jp/)

特集

世界自然遺産候補、沖縄・奄美の
森林生態系管理（仮題）

森林科学 84 は 2018 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。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 古川 拓哉*（植生/森林総研）
岡本 隆*（防災/森林総研）
山浦 悠一（動物/森林総研）
深山 貴文（気象/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）
長倉 淳子（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）
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）
川崎 章恵（九州支部/九州大）
（*は主事兼務）

編集後記

本誌で「木質バイオマス発電」に関する特集を組めないだろうか、と話題に上がったのは 2016 年 3 月の編集委員会でした。編集委員会では特集のテーマ（案）をブレインストーミング的に出し合い、専門分野に近い研究者を中心に実現可能性を議論し、このテーマならばコーディネータと複数の著者候補者が想像できるというものについて特集掲載に向けて具体的な作業が始まります。あくまでも私感ですが、我が分野のホットピックを！という提案ももちろんありますが、意外にも多くのテーマが専門ではないけれど興味があるという方から提案されているように思います。木質バイオマスを含む再生可能エネルギーの普及を後押しする FIT 制度が 2012 年に始まり、FIT 制度に基づいた事業認定・プラント建設のプロセスを経て 2015 年に全国的に稼働を開始するプラントが急増しました。本特集もそういった業界の盛り上がりを感じて興味を持たれた方からの発案だったと記憶しています。

木質バイオマスに関しては、日本森林学会では春の大会にて毎年のようにシンポジウム・公募セッションが設けられ、複数の分野の会員が参加し活発な議論が継続的に行わ

れています。本誌としては過去に No.40（2004 年 2 月）にて特集「木質バイオマスエネルギーの利用」が掲載されて以来の特集になります。スケジュールの都合上、発案から掲載まで丸 2 年と経ちましたが、業界の状況や制度は刻々と変化しており研究課題も尽きません。

最後になりましたが、本号特集のコーディネータである吉岡拓如先生には、日本森林学会誌 99 巻 6 号（2018 年 2 月）掲載の特集「バイオマス発電所は燃料の未利用木材を安定的に確保できるのか？」のコーディネータと並行して、本号特集のコーディネータを引き受けていただきました。お陰さまで学習初心者にとっても分かりやすく網羅的に学べる素晴らしい構成になりました。著者のみなさまには新鮮な研究成果をお届けいただき、年度末年度初めのお忙しい時期に入稿・校正作業にお付き合いいただきました。この場を借りて心より御礼申し上げます。

学会誌 99 巻 6 号特集と本誌特集ではそれぞれ執筆者が異なりますので、読者の皆様には併せてお楽しみいただければ幸いです。

（編集委員 川崎 章恵）

「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