

森林科学

特集

車両系林業機械が 森林に与える影響を 解明する

シリーズ

- 森をはかる
流域試験
— 森林の水源涵養機能を評価するために —
- 林業遺産紀行
木地師文化発祥の地「東近江市小椋谷」
- 現場の要請を受けての研究
災害に強い森林づくりの推進と効果検証

No. 90

October 2020





編集委員長からのひとこと

みなさま、「森林科学」を手にとって下さり、ありがとうございます。

日本森林学会が発行している本誌は、これまで学会員向けの会報誌と思われていた感がありますが、実は、森林や林業、木材などにかかわる様々な研究について、広く皆さんに知っていただき、興味をもってもらうことを目的とする一般向け広報誌です。当学会では研究内容が多岐に渡っているため、研究者ですら分野が違えば「森林科学」は難解で読みにくいという意見がたびたびでした。そこで編集委員会（全員研究者です）では本来の趣旨に立ち返り、「伝える・伝わる」ことを意識し、より多くの方に読んでいただくために、今号（90号）より誌面を新しくすることとしました。これまでよりも「読めるかも！」と読んでいただけるとうれしいですし、その先に「森林研究って面白い！」と感じていただけると、もっとうれしいです。「森林科学」を読んでくださるみなさまの中から未来の森林研究者が生まれたり、森林研究を応援してくれる方が増えたりすることを願っています。本誌を通じて森林に関わる研究成果を広く発信してまいりますので、今後ともご愛読をよろしくお願い申し上げます。

2020年10月 森林科学編集委員長 松本麻子

特集 車両系林業機械が森林に与える影響を解明する

特集「車両系林業機械が森林に与える影響を解明する」

—解説と趣旨説明— 2

倉本 恵生・佐々木 尚三

車両系林業機械の走行による集材路での
締め固めと土壌物理性の回復 6

佐藤 弘和

土壌の締め固めと苗木の生育
—根系への注目— 14

菅井 徹人・小池 孝良・渡部 敏裕

林業機械の作業による立木の損傷と腐朽被害の発生
—トドマツでの事例— 19

山口 岳広

森林科学 No.90

2020年10月1日発行

頒 価 1,000円(送料込み)

年間購読割引価格

2,500円(送料込み)

編集人 森林科学編集委員会

発行人 一般社団法人 日本森林学会

102-0085 東京都千代田区六番町7

日本森林技術協会館内

郵便振替口座：00140-5-300443

電話 / FAX 03-3261-2766

印刷所 創文印刷工業株式会社

東京都荒川区西尾久7-12-16

表紙写真：日本の森林ではたらく林業専用の
車両系林業機械

(フォワーダ：造材された木を林
内から運び出す機械) (倉本恵生
撮影、2011年10月、北海道紋別
市にて)

表紙イラスト：赤谷加奈 (いきものパレット)

シリーズ 森をはかる

流域試験—森林の水源涵養機能を評価するために— 26

玉井 幸治

シリーズ 林業遺産紀行

木地師文化発祥の地「東近江市小椋谷」 28

山下 直子

シリーズ 現場の要請を受けての研究

災害に強い森林づくりの推進と効果検証 32

島田 博匡

コラム 職場紹介

36 北から

見えなかったことを科学する

斉藤 正一

37 南から

新しい「林業」の挑戦

古澤 祐史

コラム 森の休憩室Ⅱ 樹とともに

38 クローラクレーン

二階堂 太郎

39 ブックス

41 編集後記



特集「車両系林業機械が森林に 与える影響を解明する」

—解説と趣旨説明—

くらもと しげお
倉本 恵生 (森林総合研究所)

ささき しょうぞう
佐々木 尚三 (森林総合研究所北海道支所)

■ 広がる車両系林業機械での作業

林業機械は林業の作業を安全で効率よく行うためには欠かせません。傾斜の比較的緩い森林では、車両系林業機械（車両機）が活躍しています。日本でも北海道などで使われ、さらなる活用が期待されます。

海外では車輪（ホイール）を持つ林業用に開発されたものがよく使われますが（写真-1）、日本では土木工事に使われる油圧ショベルのアームの先を林業用途にあわせて付け替えたものが主に使われています（写真-2）。こちらは無限軌道（クローラ）とよばれるブルドーザなどに使われる足回りを持ちます（キャタピラの名で知られていますが実は登録商標です）。

車両機は森の中を自走し、様々な作業をこなします。伐倒から造材までを行うハーベスタ、造材されたものを

運び出すフォワーダの2台で、伐採と搬出をすべて機械で行うこともできます。車両機は急な斜面（傾斜30度を超す）では安全に進めないのが、日本の多くの森林では使えないといわれます。確かに急傾斜地ではチェーンソーで木を伐り倒していますが、そんな現場でも伐倒木を車両機で道までつかみ出しているところはかなりあるでしょう。海外では車両機を急傾斜地でも動かせるようにするための改良が急速に進められています。伐倒は林業の中でも特に危険な作業のため、急傾斜であっても車両機で安全に行おうとしているのです。将来、日本の急傾斜地でも車両機が入れるようになるかもしれません。

車両機は伐採や搬出だけでなく、造林の作業にも使われており、車両機による地拵えは日本でも行われていま



写真-1 海外製の車両系林業機械
(伐倒～造材を行うハーベスタ、雪中の作業のため前2つの車輪をまたぐベルトが巻かれています。北海道下川町で撮影)



写真-2 日本によく使われる車両系林業機械
(油圧ショベルのアーム先端を林業用のアタッチメント(写っている機械ではハーベスタ)に付け替えて使います)

す（写真-3）。作業を効率的に楽に行うことができ、高額な機械をより活用することにもなります。伐採したらすぐに地拵えも機械で行うことで、苗木の植え付けの効率化や初期の下刈りの省略につながるメリットがあります。植え付けや下刈りの機械化も海外では行われ、日本でも現在研究や現地試験が進められています。

このように車両系林業機械（車両機）の利用は国内でも広がっており、さらに期待がかけられています。気になる点があります。それは、「車両機が森林の中により多く入るようになったらどうなるのか」です。林業としては車両機が森の中で一層活躍していくことを目指しているわけですから、車両機が森の中を通過して作業することの影響についてよく理解し、適切な作業のありかたを考えていく必要があります。

■ 車両系林業機械による森林への影響

車両機は頑丈な機体を持つためにとっても重く（だから重機とも呼ばれます）、エンジンの力で森の中を進み、油圧の力で重い木をつかんで取り回します。この重量とパワーが森林の中で主に2つのところに影響を及ぼします。ひとつは機械が踏んで通る森林の地面、もうひとつは生えている木です。これらへの影響を通して、林業



写真-3 車両系林業機械による造林作業
（クラッシャーと呼ばれる機械での地拵え。高速回転するハンマー状の突起で伐採木の枝葉やササなどを破碎することで整地します。破碎物によって雑草の生育が抑えられ初期の下刈りが省略できます）

の収益や森林がもつ様々なはたらきに影響が及びます。

■ 地面への影響

重い機械が地面を踏んで進むとき、まず起こるのが、土壌の「締め固め」です（図-1 中上；調査方法は写真-4）。水分が多い状態でさらに何度も機械が通ると泥をこねた状態になります（泥濘化：図-1 右上）。そうになると機械が動けなくなり仕事にならないことすらありますが、乾いた後にはいっそう土が硬くなります。水分が多くなっても、機械が何度も通ったときや、木をひきずって運び出したときには表土や植生がはがれて鉱物質の土壌が露出します（図-1 左上）。この特集では、土壌の締め固め現象について、北海道立総合研究機構の佐藤弘和さんが詳しく紹介します。

■ 木への影響

森林内を機械が動く際に機体が木の幹や根元にぶつかることがあります（写真-5）。地面に出ている根張りを踏みつけることもあります。旋回やアームを動かす際にも、木にぶつかることがあります。機械がぶつかると樹



写真-4 土壌の締め固めを調べるための調査
（簡易貫入試験器：おもりの落下力で金属棒を土に打ち込み、一定の長さが入るのに要する打ち込み回数で土の硬さを評価します。）



写真-5 車両機が近くの木にぶつかる場所
(写真は実験的に傷をつける研究で撮影)

皮がはがれ、場合によっては木材のところまでえぐれたり割れたりすることがあります。車両機でつかみまわした伐採木が周りの木にぶつかることもあります。車両機は木をつかんだまま伐倒するため、倒れこむ伐倒木が周囲の木にぶつかることは少なそうですが、伐倒木をつかんだまま（枝払いや玉切りのために）ローラーで送り出すときに周囲の木にぶつかることがあります。急傾斜地ではチェーンソーで伐倒した木を機械で作業道までつかみ出しますが、その際にも周囲の木にぶつかることがあります。

こうした傷からは木材を腐らせる腐朽菌が侵入して木の内部を腐らせることがあります。収穫したときに材として使えなくなっていたり価値が落ちたりするのでは元も子もありません。腐朽の進み具合によっては収穫する前に強風で倒れてしまう危険も考えられます。北海道の主な造林樹種のトドマツは多くの林が収穫時期を迎えています。収穫した材に腐朽がみられることが多く、これまでの機械作業での傷との関連が問題になっています。この特集では、北海道各地の現場で研究を進めてきた森林総合研究所の山口岳広さんがこの問題について解説します。

■ 林業や森林の機能への影響

土壌や立木への直接的な影響の行き着く先は、林業や森林のもつ様々なはたらきに対する影響です。そのひとつが苗木の生育への影響です（図-1 左下）。苗木は大

きく成長して次世代の森を作り上げ、やがて収穫されて木材として利用されます。苗木が枯れたり成長が抑えられたりすることがあれば林業としての損益につながります。ある時点の作業の効率を高めることができて、その次の森林をつくることを妨げていては、持続的に林業を行うことができません。持続性を考えたうえで林業機械を活用していく必要があります。締め固められた土壌での苗木の生育やそこに関わる土壌や微生物との間の関係については日本ではほとんど調べられていません。この特集では、北海道大学農学院の菅井徹人さんがこの問題について解説します。

植えられた苗木だけでなく、天然更新や林床植生の発達にも影響は及びます（図-1 中下）。林床の植生は表土の流出を抑え、人工林の生物多様性を高める大事な役割を果たしています。林床植生の発達が抑えられ土壌が露出すると、降雨の時に表土が流出し土壌養分が減少します。影響はそれだけでなく、流れ出た土は沢や川の水の濁りの原因にもなります（図-1 右下）。

車両機が森林の中で作業するときには、森林の中にそのまま踏み込むときと、機械が作業するために設けられた道（作業道）を通るときとがあります。前者ではできるだけ元の森の状態を保つことが求められます。一方、後者では機械が通るのに十分な地面の硬さと崩れにくさが求められます。路面が露出したところに水が流れると浸食がおき、浸食が進むと崩れてしまい道として使えなくなります。放っておけば斜面の崩壊の原因にもなり、直すにはお金と手間がかかります。林業経営や防災の観点からも重要な問題です。作業道の土は締め固まっていることが必要ですが、締め固まり過ぎて草も生えないようでは困るのです。作業道の適度な締め固めを見極めるうえで、締め固めと植生の発達や土壌浸食との関係を明らかにすることは今後の重要な課題です。

■ 森林への影響を解明する

この特集では、第130回森林学会企画シンポジウム

車両系林業機械が森林に与える影響を解明する



図-1 車両機による地面のかく乱と、それらが影響を及ぼす対象

S13 をもとに、3つの研究を紹介しています。どの課題も現場の問題・現象を科学的に解き明かすことを強く意識しています。車両機の影響を解明する研究は機械のデメリットだけを示しているように一時的には見えますが、機械のメリットを安心して発揮するのに先々で役立つと考えています。最終的な目標は車両機を活用した持続可能な林業への貢献です。効率や安全性に優れ様々な作業に活用できる車両機の利用を今後進めていくためには、車両機による林業や森林機能への影響を見極め、作業の指針や機械の開発、そして現場での車両機の動かし方に活かしていくことが重要だと考えています（山口さんの解説では車両機と木との距離や木の大きさに基づいた傷の発生予測図が出てきますが、研究の成果が現場の作業指針につながる具体例のひとつです）。私たちは機械の作業法や普及を主目的にしたプロジェクトを担当す

るなかで影響の解明にも取り組み始め、科研費（25450228・16K07793・17K07861）などの予算を頂いてさらに詳しく研究を進めてきました。様々なご協力を得て、広く現場での調査を進める一方、実験的な手法も取り入れています。例えば、区間ごとに回数を変えて機械を走らせる試験、同じ部分を繰り返し踏むか同じ回数で別の場所を踏むようにする試験、大きさや季節を変えて機械で木に傷をつける試験などです。これらの試験では土壌の締め固めや植生の発達、苗木や更新稚樹の生育、あるいは木の腐朽を調べ始めています。これらの試験の結果は機会をあらためて紹介したいと思います。今回の特集は北海道での研究に絞って紹介していますが、問題は北海道に限られるわけではありません。この特集が、車両機の利用が森林に与える影響を解明する新たな研究のきっかけになれば幸いです。

車両系林業機械の走行による集材路での 締め固めと土壌物理性の回復

さとう ひろかず
佐藤 弘和 (北海道立総合研究機構林業試験場)

■ 車両系林業機械の走行と土壌かく乱

森の中に入って木を伐ったり伐採木を運搬したりする車両系林業機械（以下「車両機」という）の普及は、林業の効率化に貢献しています。その反面、車両機が通る道（作業道や集材路）を作る際や、林内を直接走って作業する際に（写真-1）、森林土壌の「かく乱」が生じるようになります。この「かく乱」として考えられることには、①下層植生・腐植層のはぎ取り、②排土板でのならしに伴う削剥、③支障木の伐根を引き抜いた後の土の埋め戻し、④履帯（クローラ）にある突起部による土の練り上げ、⑤車両機の重みによる土の締め固め、⑥車輪（ホイール）・履帯による「わだち」の形成（写真-2）、⑦路面の泥濘化、⑧切土・盛土を作設した場合の土の除去・移動・転圧などがあげられます。

こうしたかく乱は、林内の地面にある植生や葉などが分解してできる有機質土壌の喪失と裸地路面（主に鋤物からなる土壌）の露出に繋がることがあります。裸地路

面では、土が固められ水がしみ込みにくくなるため、降雨時に水が路面上を下方へ流れる「地表流」が発生しやすくなります。地表流が路面を削るため（路面侵食）、土砂で濁った水が流れることがあります。

道路作設とその後の車両走行は、土壌のしみ込みやすさ（浸透能）や土壌の硬さ（土壌硬度や貫入抵抗）などの物理性に影響を及ぼします。一方で、国内外の研究事例では、こうしたかく乱を受けた土壌の物理性がかく乱前の状態やかく乱を受けていない林地と同程度まで回復するとの報告があります（佐藤 2006）。ここでは、その回復実態について筆者の研究や経験を交えながら紹介します。

■ 土壌の圧縮と土壌物理性の評価項目

まずは用語の整理をしましょう（以降の紹介には出ない用語も含まれます）。土質力学では、土の粒子が破壊されない程度の力がかかったときに、力のかかる方向に



写真-1 集材路を走行する車両機
（短く伐り揃えた材を運搬するフォワーダ。積み込み用アームを搭載した機種もある）



写真-2 車両機が走行してきた「わだち」

土が変形することを「圧縮変形」または単に「圧縮」といいます。このうち形状の変化で圧縮が生じることを「せん断変形」といいます。土の粒子を除いたすき間の部分（間隙）の体積が減少して圧縮が生じる場合は、繰り返しがかって間隙中の空気が追い出されるものを「締め固め」、一定の力が長時間かかって間隙中の水が追い出されるものを「圧密」といいます（能条ら 2014）。車両機の走行による土壌の圧縮はこのうちの「締め固め」にあたります（厳密に言えば履帯による土壌の練り上げは「せん断変形」ですが、総じて締め固めに含めます）。

「土壌物理性」といっても、その内容は多岐にわたります。締め固めの研究でよく使われている土壌物理性の評価項目は、①硬度、②水分、③三相構造に関するものに大別されます。三相構造とは、「土粒子（固相）」「水分（液相）」「空気（気相）」です。①硬度の代表的な指標として、土壌支持力（山中式土壌硬度計という機器で測定）、貫入抵抗値（コーンペネトロメータなどで測定）、Nc 値（簡易貫入試験器で測定）があります（器具の詳細はウェブ検索等でぜひ調べてみてください）。②水分については、（不飽和・飽和）透水係数や浸透能が用いられます。③三相構造について海外でよく調べられている項目が bulk density（単位体積あたりの乾燥した土の重さ）です。仮比重と訳されることもあります。乾燥密度や容積重が適訳のようです。その他に、間隙率、気相率などが測定されています。また、体積比（全体積／固相体積）といった指標もあります。液相に関わる指標では、含水率（全重量あたりの水の重さ）、含水比（土の重さや体積に対する水の重さや体積の比）、飽和度（間隙内にある水分体積の比）などが該当します。

■ 締め固め具合とその後の回復を測る方法

締め固め土壌が回復したかどうかを判断するには、同じ場所、同じ機器で時期別に繰り返し測定することが重要です。この条件に適した指標のひとつに、簡易貫入試

験器によって得られる Nc 値があります。Nc 値は、5 kg の金属製重りを 50 cm の高さに持ち上げてから、手を離して重りを落とし、同じく金属製で先端に円錐が付いた棒（途中で重り受けがあります）が土の中に深さ 10 cm に入り込むまで重りを落とした回数です。Nc 値は、ただ手を離して重りを落とすだけなので、人が力をかけて押し込むコーンペネトロメータとは違い、操作する人の体重や力加減は影響しません。また、貫入試験では土壌採取のための穴（土壌断面）をつくる必要がなく、かく乱は棒が入った直径 2 cm 程度の穴で済みます。棒を継ぎ足せば、深い場所（5～6 m くらいは大丈夫）の Nc 値も得られます。

■ 北海道における土壌物理性の回復事例

作業道の作設や車両機の林内走行によるかく乱を受けた土壌は、作設前の状態またはかく乱のない林地での状態（以下「対照」という）まで回復することが知られています。特に、対照と同じレベルまで土壌物理性が回復する年数（以下「回復年」という）に対して、多数の報告があります。国内の森林に関する例は多くはありませんが、筆者らが北海道岩見沢市（札幌から北東に約 40 km）のトドマツ人工林（岩見沢試験地）で行った研究結果（佐藤ら 2018）を紹介します。この林では、チェーンソーによって伐り倒した木を数本ロープで束ね、車両機で引っ張って運び出されました。集材路においては、



写真-3 集材直後の集材路と土砂受け

地面が車両機のクローラで何度も踏みつけられています(写真-3)。車両機が通る前、間伐作業で通った直後、その5年後と6年後に、路面上の測定地点で貫入試験を行い、Nc 値をそれぞれ求めました。

岩見沢試験地の集材路における貫入抵抗から、伐採直後では表層から深さ0~0.1mで硬い層ができることが確認されました(図-1)。しかし、伐採5年後では、間伐直後の値に比べ、深さ0~0.1mまでのNc値は低下し、かく乱のない切り捨て間伐地(伐った木を運び出さずに倒れたままにした場所で、車両機の走行はありません)と同程度の値でした。集材路において車両走行により締め固められた貫入抵抗は、伐採後5年で回復したことが示唆されました。

■ 締め固めを表す新しい指標を考えた

Nc 値を直接使った比較では地質や土壌水分状態の影響を受けるため、異なる場所間の比較がしにくいという問題があります。これを解決し、締め固めを表すのに汎用性のある簡便な指標ができないかと、いろいろな方に意見をもらいながら考えていました。できれば、締め固めの程度を現場での観測値を使って簡単に求め、かつ土壌水分などの影響を受けにくい指標であれば理想的です。さらに、深さ別に得られるNc値をまとめてひとつの値で表すと、異なる時期や場所による回復の違いを比較しやすくなります。

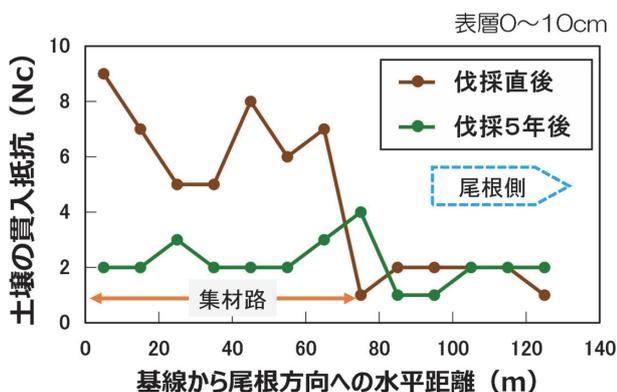


図-1 岩見沢試験地における伐採の直後と5年後の貫入抵抗(Nc値)(佐藤ら2018を改変)(水平距離85mより尾根側は車両走行なし)

あれこれ思案しているうちに、ついに表層土壌の締め固めを評価する土壌締固指数(soil compaction index: SCI)を考案しました(佐藤ら2018)。この指数は、森林内のある地点における土壌の締め固め状態を1つの値(無次元数という単位がない数)で表したものです。

SCIを計算する前に、かく乱のない場合(車両機の走行前)と、かく乱のある場合(車両機の走行後)で深さ別のNc値をそれぞれ求めます。このNc値から、深さの2乗を重み付けとした加重平均値(以後、かく乱あり・なしで、Nw (impact)、Nw (control)と表します)を計算します。重み付けの意味は、地表に近いほど機械の重さが強くかかるので、より地表に近い深さのNc値ほどNw値に大きく反映させるためです。また、加重平均にすれば、土壌の深さ別のNc値をひとつのNw値にまとめることができます。かく乱あり・なしのNw値から、SCIはNw (impact) / Nw (control)で求められます。かく乱ありの加重平均値がかく乱なし(対照)の値と同じであればSCI = 1.0となり、これに近づいたかが回復の目安になります。

岩見沢試験地の例(図-2)では、伐採直後は集材路上のほとんどの場所でSCIが1.0を大きく超えていて、土壌は強く締め固められた状態でした。伐採5年後、6年後には伐採直後より値が下がり1.0に近づき、元の状態に回復していることが示されています。伐採5、6年

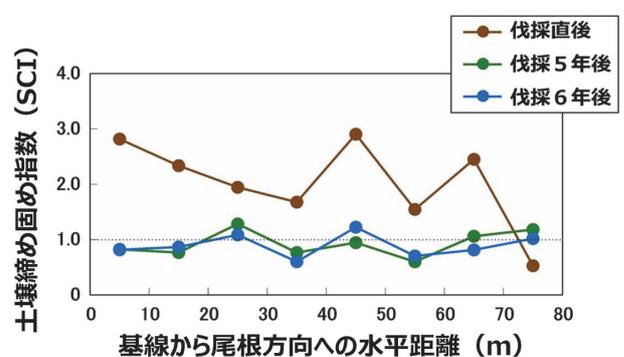


図-2 岩見沢試験地の集材路区間における土壌締め固め指数(SCI)(佐藤ら2018を改変)(水平距離75mはカーブの外側に相当し、締め固めの度合いが弱かった)

後の値は車両機が走行しなかった場所と比べても同程度でした。SCIによって、土壌の締め固め程度と回復をこのように1つの数値あるいはグラフで簡単に表すことができます。

SCIはNw(control)で割り返しているため、地質の違いや異なる計測機器であってもその値を比較できる利点もあると考えています。車両機の走行する前のデータがない場合にも、車両走行区間のすぐそばにある非締め固め区間での計測値をNw(control)として計算できます。ただし、SCIには、まだまだ改良の余地があります。他の調査事例でSCIを適用することで、使い方の検討や改良を進めたいと考えています。

■ 土壌が締め固められてから回復する年数

岩見沢試験地の事例のように、車両走行によって締め固められた土壌の硬さは回復し、その年数は5年程度でした。本来であれば、かく乱直後から元の状態(または対照のレベル)に至るまでの期間、土壌物理性の経年変化を追跡したデータを利用することが望ましいです。経年変化が追えない場合、作設年が異なる集材路を同一時点で比較するという追跡年数を掛けない評価方法があります(倉本ら2018)。また、回復年までに到達していない集材路では、説明変数に作設経過年、目的変数に乾燥密度の増加率などをあてた回帰式で回復年を推定している例があります。回復年まで調査ができなければ、外挿によって回復年を予測することもあります。

国内外の事例では、土壌物理性の回復年は最短で1年、長い場合は50年以上との推定結果があります(例えば、Mace 1971; Matangaran *et al.* 2006)。締め固め土壌の自然回復は複雑であり、「土壌タイプ」「締め固め度合い」「気候」に依存して、平均5~18年かかるとの報告もあります(Froehlich *et al.* 1985)。先行研究では、回復年の報告にばらつきがありますが、5年以上の回復年を報告している例が多いようです。ただし、過去

の事例をみると、回復年については、地形(路面勾配などに関連)、地質、土壌の違いや、車両機の種類、走行回数などによって変わることは十分考えられます。いろいろな場所や条件のもと、SCIなどの指標を使って回復状況を調べることで、地形・地質、走行回数などの条件と回復年の関係が明らかになると期待しています。

■ 土壌物理性回復を明らかにするために

この研究を始めてから、質疑応答でよく質問されるのが、「なぜ土壌物理性は回復するのか」です。その理由として、①降雨、②ひび割れ、③土壌の乾湿サイクル、④凍結・融解サイクル、⑤生物の作用(植物根やミミズなどによる)などが関与していると言われています。筆者が先に紹介した岩見沢試験地の集材路面において、作設後7年目に土壌サンプリングを行ったとき、複数のミミズが出現したことを確認しています。植生も回復していることから(写真-4)、根が伸長していることも想定されます。しかし、実際において、これらの動植物による土壌物理性の回復が先なのか、土壌物理性が回復してから動植物が侵入したのかはわかりません。ミミズ等の土壌動物や植物根が侵入できない土壌の硬さはどの程度なのか不明な点も多いです。現地確認として試しに岩見沢試験地でNc値と植物根の対応をみたところ、Nc値が6を超えると根がほとんどみられないところがあ



写真-4 岩見沢試験地の作設から5年経過した集材路(写真-3の5年後)



写真-5 泥濁化した路面

りました。体系的には調べていませんが、根や土壌動物の現存量と土壌硬度や貫入抵抗の対応について、ほかの地域でも多点で野外調査をすれば傾向がつかめるかもしれません。さらに、野外観察のみならず、実験的な手法を取り入れることも視野に入れるべきです。特に、土壌の乾湿や凍結・融解などによる土壌構造変化を把握する場合には、温度などのコントロールがしやすい実験を行うことで、新しい知見が得られるかもしれません。

鈴木ら（2017）では、泥濁化した土壌が一定期間後に強度回復する現象（「シキソトロピー現象」という）に触れています。読者の中にも、伐採作業中や直後において集材路を歩いた際に地面がぬかるんでいて、歩くと路面が沈む経験をした人はいないでしょうか。こうした路面は、伐採が終わり、路面が乾燥すると土が硬くなることがあります。シキソトロピー現象は、締め固めの開始日を車両機が走行した時とするのか土が硬くなった時とするのか判断することにも関係します。車両機の走行

による泥濁化（写真-5）とその硬化に関する研究も、今後進めるべきテーマです。

■ 集材路における植生の回復

わだちも含めて裸地化した路面では、土壌流亡が起こっています。岩見沢試験地の集材路において土砂受け箱（写真-3の白いボックス）を使って流亡土砂量を測定したところ、間伐後2年間の集材路の表土流出量が対照区（25年前に間伐した跡で、草本や侵入広葉樹稚樹が多数生育）や本試験地に隣接する皆伐跡地の流出量に比べて有意に多いことがわかりました（長坂ら2011）。しかし、作設後5年経過した際には、植生が路面を覆っていました（写真-4）。こうした状態に至るまで植生が回復することで、路面での土壌侵食、土壌流亡を抑制することが期待されます。

一方、植生回復の様子も場所によって様々です。空知地方にある美唄試験地における路面では、年が経つほど



写真-6 月形試験地の作設後2年目の集材路

スゲ類、ヒヨドリバナ類、アブラガヤが徐々に繁茂していきました（倉本ら 2018）。一方で、岩見沢や美唄と同じ空知地方にある月形試験地の集材路作設後2年目の集材路面では、選択的にスゲ類が繁茂しています（写真-6）。さらに、ここでは、集材路作設後1年目には植生がまばらで、2年目で急にスゲが増えました。このように、植生回復のタイミングや繁茂する種、その被覆度合いについては、単純に年を経れば徐々に増えるという訳ではなく、増え方や種構成の変化について継続的なデータから考察する必要があります。この集材路は作設1年で間隙率が対照区間（隣接林地）と同じになりましたが、飽和度（間隙に占める水分体積の割合）は、林内のそれより高い状況でした。こうした過湿状態が、スゲ類の繁茂に影響しているのかもしれません。

皆伐地では、皆伐の際に取り付けられた集材路に苗木が植栽されていることがあります。残念なことに、集材路では植えられた苗木が枯死したり、衰退したりする様



写真-7 わだちに植栽され衰退・枯死しているアカエゾマツ（矢印）

子がみられます（写真-7）。皆伐地においてトドマツなどが天然更新している場所でも、わだちでは更新が進んでおらず、その跡がくっきり残っています（写真-8）。先行研究でも、締め固められた土壌が樹木の成長（材積や密度、樹高など）に悪影響を及ぼすことが報告されて



写真-8 皆伐後のトドマツ天然更新地に残された「わだち（車両機の踏みつけ跡）」
（ここでは枯死した更新木もみられる）

います（例えば、Wert and Thomas 1981）。

■ 古くて新しいテーマ

今回取り上げた車両機の走行と土壌物理性をテーマにした研究は昔から行われており、その成果をすべて把握するのは難しいです。ちなみに、インターネットの科学論文検索 Google Scholar で「“Soil compaction” “Soil physics” Forest」と検索すると、4,110 件ヒットしました(2020 年 7 月時点)。これだけの報告はあるものの、実は土壌物理性が回復するメカニズムの解明にまでは至っていないようです。地中応力を表す式などから、任意点における圧縮応力度を計算、図化することはできます（形が似ていることから圧力球根といわれる図があります）。一方、締め固めに関する現場研究では、走行回数による違い、車両系（クローラ型ないしホイール型車両）の違い、地質の違いに着目したものがあります。数

理モデルでは、応力計算式に現場で得られた情報を取り入れたものが構築できるかもしれません。しかし、締め固め土壌の回復過程を表現するには、土壌の硬さや土壌構造の経年変化に関する情報を組み込む必要があります。

植生回復と関連づけるとなれば、土壌物理性のみならず、ここでは触れていない土壌化学性や土壌微生物の関与も考えなければなりません。土壌の団粒構造の形成・破壊も関与するかもしれません。土壌物理性回復に関する汎用的な成果を得るには、研究事例を積み重ね、数理モデルなどの拡張に繋げるような研究も必要です。

しかし、このような状況は裏を返せば、まだまだ研究としてのネタがあるということです。この手の研究テーマは、AI 開発やゲノム研究などと比べると、かなりというか相当地味です。さらに、古くから扱われているテーマでもあるため、新規性に乏しいです。しかし、今後主

伐が進むことを鑑みれば、経済性のみならず環境に配慮した施業は重要性を増し、集材路の経時変化に関する情報は有益なものとなります。研究としてみても、土壌学（物理、化学など）のみならず、林業機械工学、水文学、土質力学、生態学などが関係する学際的な分野でもあります。老兵の域に足を踏み入れつつある筆者からは、車両走行後の土壌物理性の応答を追跡する若手研究者による研究の発展を望むばかりです。興味のある方、締め固めの世界に飛び込んでみませんか？

引用文献

- Froehlich HA, Miles DWR, Robbins RW (1985) Soil bulk density recovery on compacted skid trails in central Idaho. *Soil Sci Soc Am J* 49: 1015-1017
- 倉本恵生・津山幾太郎・橋本 徹・石橋 聡・佐藤弘和 (2018) 同一林分内の作設年代の異なる森林作業道上の植生発達. *北方森林研究* 66: 23-25
- Mace AC Jr (1971) Recovery of forest soils from compaction by rubber-tired skidders. *Minnesota For Res Notes* No. 226
- Matangaran JR, Aruga K, Sakurai R, Iwaoka M, Sakai H (2006) The recovery of soil compaction in the selection logged over area at Tokyo University forest in Hokkaido. *森林利用学会誌* 21: 79-82
- 長坂 有・今 博計・長坂晶子・棚橋生子・佐藤弘和 (2011) 森林施業後の林床被覆の違いが表土流出に及ぼす影響. *日本森林学会北海道支部論文集* 59: 137-139
- 佐藤弘和 (2006) 浮遊土砂の流出抑制に配慮した森林管理方法. *日本森林学会誌* 88: 50-59
- 佐藤弘和・津田高明・倉本恵生・飯田滋生・橋本 徹 (2018) トドマツ人工林間伐時の車両走行により締め固められた集材路における土壌貫入抵抗の経年回復. *日本森林学会誌* 100: 110-115
- 鈴木秀典・中澤昌彦・佐々木達也・上村 巧・吉田智佳史・陣川雅樹・戸田堅一郎・大矢信次郎・高野 毅・近藤道治 (2017) 黒色土における林内走行の影響－ホイール式車両を用いた CLT システムの事例－. *森林利用学会誌* 32: 123-130
- Wert S, Thomas BR (1981) Effects of skid roads on diameter, height, and volume growth in Douglas-fir. *Soil Sci Soc Am J* 45: 629-632

土壌の締め固めと苗木の生育

—根系への注目—

すがい 菅井 徹人 (北海道大学農学院)
 こいけ 小池 孝良 (北海道大学農学院)
 わたなべ 渡部 敏裕 (北海道大学農学院)

■ はじめに

現在、国内の人工林の約半数は伐採期を迎えており、伐採した場所には、再び苗木を植える必要があります。この再造林には膨大なコストが見込まれており、様々な対策が検討されています。なかでも、伐採と造林を一貫して行う効率的な作業システムが注目されており、大きな役割を期待されているのが車両系林業機械（車両機）です。林業の作業効率や安全性を向上させる上で、車両機は大きな期待を集めています。一方、そのような大型の機械を利用することで土壌が締め固められてしまうと稚樹の更新や植えられた苗木の生育が阻害されてしまう恐れもあります。特に伐採や造林にかかるコストより、苗木を育てる育林コストのほうが高いことが知られています。このため、車両機の利用により作業効率と安全性を向上させると同時に、植えられた苗木の健全な生育を

損なわないような作業のありかたを検討する必要があります。

機械作業によって土壌が締め固められると、どうして苗木の生育が阻害されてしまうのでしょうか。ここでは締め固められた土壌と苗木の関係を考える上で、苗木の根に注目します。成長が際立ってわかりやすい枝や葉と比べると、あまり目にする事のない根ですが、車両機の利用による締め固めが直接影響するのは土壌であり、土壌中では根が成長しています。また近年の研究では、根のダイナミックな動きによって、締め固められた土壌の性質が変化することも明らかになりつつあります。今回は、このような根のふるまいを明らかにするなかで、土壌の締め固めを考慮した新しい造林のあり方のヒントを探っていきたいと思います。



写真-1 (左) 車両機による地拵えを行った後にアカエゾマツを植栽する様子。

写真-2 (右) 伐採後の林内におけるカラマツ苗木の植栽風景。苗木の植栽空間を土壌中に鋤で作設しています。

■ 苗木を植える土壌

農業と違って、林業では苗木を植える土地を全面的に耕すことはありません。地拵えなどの作業により、植生や表土が除かれることもあります。基本的には苗木を植える場所を手作業で掘るだけです（写真-1、写真-2）。一方で、苗木を植える前には、伐採木を運び出す作業や機械を用いた整地作業を行うため、土壌は締め固められてしまいます。このように、耕すことのないまま、締め固めの頻度や強度が大きくなることは、植えられた苗木の生育にどのような影響を与えるのでしょうか？

締め固められた土壌に植えた苗木の生育や生育が抑えられる要因を明らかにすることは、苗木の生育の予測やコスト管理だけでなく、造林に適した土壌条件の検討や造林の作業システムの改善、植栽される苗木の樹種を選択、育種への応用など、様々な観点から重要な基礎情報となります。近年、国内では再び造林が広く行われることを見据え、苗木の生育条件を検討する植栽試験が各地で行われています。しかし、苗木の樹種や植栽密度、気象条件、植栽時期が注目されており、機械作業による土壌の締め固めが苗木の生育に与える影響を調べた例はあまりありません（猪内 2001）。そこで私たちの研究チームは、締め固められた土壌環境を実験的に再現し、植えた苗木の生育を調べてみることにしました（Sugai *et al.* 2020）。

■ 苗畑での野外操作試験

北海道の森林は車両機が入ることのできる傾斜 30 度以下の緩い傾斜地が 8 割を占めています。このため、車両機を活用した作業システムが広く展開される地域として期待を集めています。私たちの研究チームでは、北海道大学北方圏フィールド科学センターの札幌研究林苗畑において、実験的に締め固めた処理区画と締め固め処理を行わない、耕しただけの区画を設け（図-1）、植栽した苗木の生育や土壌の状態を継続的に調査しました。実験に用いた苗木は、北海道の再造林に向けて期待を集めるグイマツ雑種 F₁ です。この実験では締め固めによる苗木の成長低下は一目瞭然でした（写真-3）。

一方で、世界の研究では苗木の生育に対する締め固めの影響が出ていない例や、締め固めたことによりむしろ成長が向上した例も報告されています。このように結果が異なる理由には、締め固めの強度や期間、また樹種や樹齢、土壌・気候条件等の違いが関係していると考えられます（Mariotti *et al.* 2020）。今後、車両機の利用が広まることを考えると、日本国内でも植栽された苗木と土壌の関係をさらに調べていく必要があるでしょう。

■ 土壌が根に与える影響

根は、土壌粒子の間にある、細かい空間に沿って成長します。一般に、根は表層土壌に集中して分布すること

A. 対照区（耕運のみ）

B. 処理区（強度：中）

C. 処理区（強度：強）



図-1 締め固めを再現する野外操作実験
試験地全体の土壌を耕した後、締め固めの処理を行わない対照区（A）と、強度を二段階に分けた土壌の締め固め処理区（B・C）を設定。

が知られています (Lambers and Oliveria 2019)。これは土壌の物理的特性や化学的特性が垂直方向に勾配をもつことと関連すると考えられています。土壌では、深い層ほど粒子が詰まり密度が高く、逆に浅い層では隙間が多く、比較的密度が低くなっています。また、土壌中の水分やリター等から供給される無機栄養分は、比較的

浅い土壌に多く分布しています。養水分の吸収を行う根は、このように土壌中の条件に応じて発達することが知られています。

締め固めによって土壌が硬くなることは、根の発達を阻害します (Kozlowski 1999 ; Correa *et al.* 2019)。車両が林地を走ることで土壌の締め固めが生じると、土壌の粒子間の隙間が潰れて、粒子が密に詰まった状態になります。この状態では根が伸びる隙間がないため、その発達が阻害されてしまいます。これまでの研究では、根の長さ・数や太さのほか、角度やねじれ度合い、内部の構造や根毛組織の形態、さらには根の寿命といった点に影響があらわれると報告されています (図-2)。根は苗木を支えつつ、水や養分を得るために欠かせない器官であるため、根の発達が抑えられると苗木の生育が低下してしまうと考えられます。



写真-3 締め固められた土壌に植栽した2年生のグイマツ雑種 F₁ 苗木。
左-対照区 (図-1A)、右-処理区 (図-1C)

■ 菌根との共生関係

苗木が育つためには土壌中の水や養分を取り込むことが不可欠です。養分が制限された条件下では、植物は根の構造や発達のしかたを変化させることで、養分を効率的に取り込み、取り込んだ養分をうまく利用しようとしています。さらに、樹木をはじめほとんどの植物は、菌根菌との共生によって養分を取り込むやり方を発達させてき

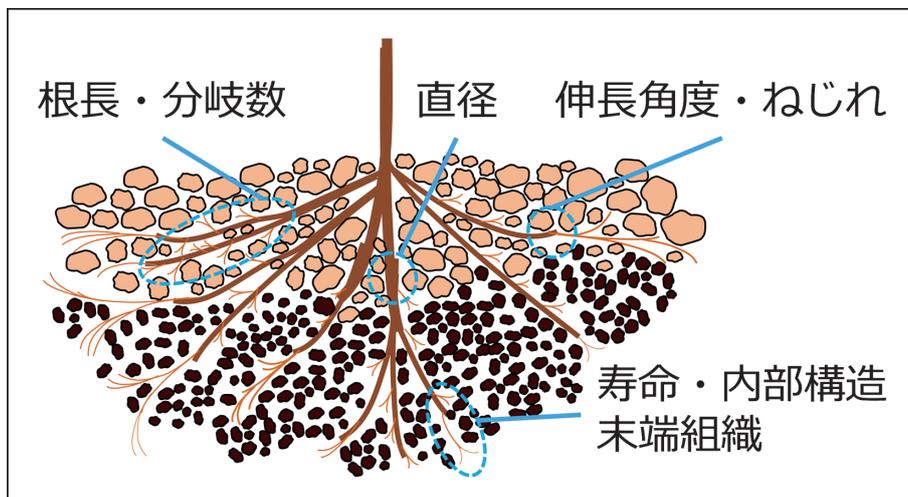


図-2 土壌の構造と苗木の根の発達 (Correa *et al.* 2019 を参考に作成)
土壌粒子が形づく空間に沿って根が発達する様子を土壌の断面からとらえた模式図。
土壌の締め固めに対して影響が表れるとされている根の形質は主に8つ。

ました。菌根菌とは、菌根と呼ばれる植物の根と菌類が共存する根を構成する土壌微生物です。植物は光合成で得られた炭素化合物を菌根菌に与え、菌根菌はリン酸等のミネラルを植物に与えることが知られています。また菌根菌が伸ばす菌糸は、植物の根よりも非常に細いため土壌中の小さい隙間にも伸びていけると考えられます。実際に締め固めの試験で植えた苗木を掘り起こしてみると、はっきりと根に菌根菌が感染していることが確認できました(図-3)。締め固められた土壌では根の発達を物理的に制限されるため、養分を取り込むために菌根菌との共生がより重要になると考えられます。

■ 根が土壌に与える影響

ここまでは、締め固められた土壌に対して様々な応答を示す苗木の根について紹介してきました。一方、苗木の根の発達が、土壌に対して影響を与えている可能性があります(Meyer *et al.* 2014)。締め固められた土壌の隙間に根が伸び、大きくなることで土壌の隙間が増え、空間が広がっていきます。このため、根の発達によって、締め固められた土壌構造が変化し、締め固め前の状態への回復が促進されると考えられます。このように、締め固められた土壌が根に影響をおよぼすだけでなく、締め固められた土壌に対して根が影響をおよぼすため、根と土壌は相互に影響し合う関係にあるといえそうです。このため、締め固めの根の発達阻害に対する影響は一定ではないこと、その要因は締め固められた土壌における根の発達が関係していることがわかります。しかし、枝や葉と比べて、根の発達を継続して評価することは決して簡単ではありません。また、根の発達が土壌におよぼす物理的な影響を明らかにするためには、土壌の養分条件や、菌根菌との共生関係も同時に考慮する必要があります。このように様々な要因が複雑に絡み合っていることを考えると、今後の研究では、実際の野外環境における締め固めに対する現象のパターンを把握することに加えて、操作実験による詳細な根の応答メカニズムの解明も

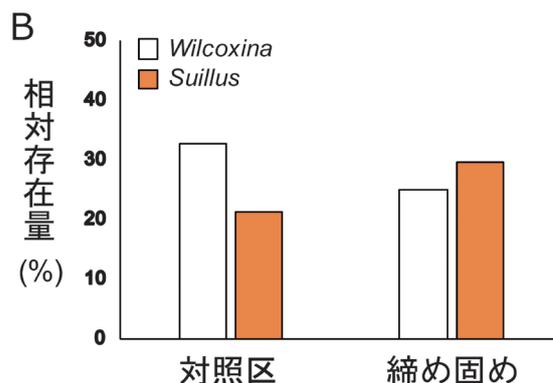


図-3 締め固めた土壌での菌根菌との共生
A：掘り起こした根における菌根菌の感染の様子。
B：主に感染していた菌根菌の構成。Suillus 属はカラマツ属に共生する菌根菌として知られています。

重要になると考えられます。

■ まとめ

この特集では、締め固められた土壌と植栽苗木の根の発達との関係について紹介しました。車両系林業機械の利用によって林内の土壌は硬くなってしまい、そこに植えられた苗木の生育への影響は無視できません。しかし作業の効率化や安全性の向上には、車両系林業機械の活用は不可欠で、そこに作業道の整備も必要になります。作業道の作設では、林内に機械が踏み込んで作業するのは異なり、車両機が踏んでも崩れないように、ある程度の締め固めが必要になります。このような課題を解決するうえで、締め固められた土壌と苗木との相互関係を明らかにすることは重要です。なかでも、①締め固めの強度と苗木の生育阻害程度との関係や、②根の発達が土

壤に与える物理的影響を明らかにすることは、締め固めの影響を考慮した新しい造林システムの検討だけでなく作業道の安全を確保するうえでも必要不可欠な研究課題です。

車両系林業機械を一層活用していくことに並行して、機械の林内走行に伴う土壌の変化と、植えられた苗木の生育の関係に対する理解を深め、深刻な影響を与えないような機械作業のあり方につなげていくことで、安定した木材生産と安全な森林管理が実現できると考えています。

引用文献

- Correa J, Postma JA, Watt M, Wojciechowski T (2019) *Journal of Experimental Botany* 70: 6019-6034
- Kozłowski TT (1999) *Scandinavian Journal of Forest Research* 14: 596-619
- Lambers H, Oliveira RS (2019) *Plant Physiological Ecology*, pp. 385-449
- Mariotti B, Hoshika Y, Cambi M, Marra E, Feng Z, Paoletti E, Marchi E (2020) *Forest Ecology and Management* 462: 118004
- Meyer C, Lüscher P, Schulin R (2014) *Soil and Tillage Research* 143: 7-16
- Sugai T, Yokoyama S, Tamai Y, Mori H, March E, Watanabe T, Satoh F, Koike T (2020) *Forests* 11: 947
- 猪内正雄 (2001) *森林科学* 32: 25-33

林業機械の作業による立木の損傷と 腐朽被害の発生

—トドマツでの事例—

やまぐち たけひろ
山口 岳広 (森林総合研究所北海道支所)

■ はじめに

伐採や搬出の作業の効率化・省力化のため林業機械の役割が近年ますます大きくなっています。北海道は傾斜の緩やかな地形が多く、ハーベスタ・フォワーダなどの車両系高性能林業機械が直接林地内に入り込み伐採・搬出を行なう作業が主流となってきています。さらには更新作業（地拵え・地がき）でも車両系林業機械が用いられることが多くなっています。こうした重量と動力のある林業機械が林地内に直接入り込んで作業することは、林地や立木に対して影響を与えると考えられます。機械が林内に入って作業を行うと、機体が直接ぶつかったり、取りまわした伐採木がぶつかったりすることで林内の立木の幹や根が傷つくことがあります（図-1）。こうした

傷から材内に菌類が入って腐れ（腐朽）が進むことで、材質の劣化や、さらには倒れる・折れるといった被害に結びつくおそれがあります。

トドマツは北海道内の人工林で最大の面積を占める樹種です。現在多くのトドマツ人工林が高齢級に移行し、間伐や主伐の対象になる林分が増えています。このトドマツ、幹の傷からの腐朽が進みやすい樹種であることがこれまでの研究から明らかになってきています（徳田ら 1996；徳田 1998）。間伐や主伐の対象となるトドマツ人工林が増えている中で、車両系林業機械をいっそう活用して効率的に作業を進めたいところですが、残った立木を傷つけることで腐朽が進み材質劣化や折れなどの被害を後々生じないか心配されています。



図-1 林業機械の作業によって生じたトドマツの幹や表層部の根の傷

この問題を考えるために、これまでで分かったことと今後明らかにすべきことを整理してみました。林業機械が林内に入って作業を行ったときの立木の幹の損傷についてはいくつか研究がありますが（徳田ら 1996；徳田 1998）、機械が林内で作業するとき、傷つくのは幹だけではありません。車両系林業機械は必ず林地を踏んで走るので、土壌を締め固めるだけでなく、地表部に出ている立木の根を傷つけます（図-1 右）。根の傷の発生については、機械を試験的に走らせて確かめた研究が行われ、機械と立木の距離や立木の大きさ、機械の走った回数などが傷の発生や程度に主に関わっていると指摘されています。機械に近いところにある木は傷つきやすく、太い木は地表に出ている根張りが大きいので傷つきやすい、と想定されます。こうした関係が広く現場で確かめられ、数値で明らかになると、被害の予測やその対策にも役立ちます。

また、ひとくちに傷といっても大きさや深さは異なります。大きな傷や深い傷のほうが腐朽につながりやすい印象がありますが、実際に確かめた研究はありません。

もうひとつ忘れてはならないのは、どんな菌類が傷から侵入して木を腐朽させるかです。車両系林業機械を古くから使っている北欧では、機械による幹の傷を想定した実験によって傷口から侵入する腐朽菌の種類が詳しく調べられています（Roll-Hansen & Roll-Hansen 1980）。トドマツでも林業機械やエゾシカが幹につけた傷から入ったと考えられる腐朽菌が調べられた例（徳田

ら 1996；徳田 1998）はありますが、広い範囲で調査されていないので全体像が明らかではありません。また、根の傷だと幹の傷とは入る腐朽菌が同じかどうかもまったくわかっていません。

ここでは、1) 機械作業による根の傷の発生、2) 機械作業による傷と腐朽発生の関係、3) 幹や根の傷から腐朽を起こす菌類、を明らかにするために行われた最近の研究について、順を追って以下にご紹介します。

■ 1) 機械作業による根の傷の発生

林業機械での作業が行われたトドマツ人工林の現場で、地表部の根の傷がどの程度発生しているのか、北海道の広い範囲で調査を行いました（山口 2019）。機械の走行実験の結果を参考に、機械の走った跡（以下「走行路」）の近くにあるトドマツ立木の胸高直径、走行路の端から立木の幹までの距離（以下「距離」）、伐採木の枝条やササ等による走行路上の被覆の有無、および地表部の根の損傷被害の有無を調べました。傷があった場合には、傷の幅と傷の長さから傷面積を求めています。

これらのデータを距離、胸高直径の階級別、走行路被覆の有無別に区分し、傷のある木の本数割合を示しました（図-2）。立木と機械との距離が近いほど、立木が太くなるほど、傷ついた木が多くなっています。大きめの傷は距離が離れると急に少なくなる傾向がありました（図-2 左 赤線）。また、走行路上に伐採木の枝条やササ、あるいは積雪などの被覆があると傷が少なくなることが

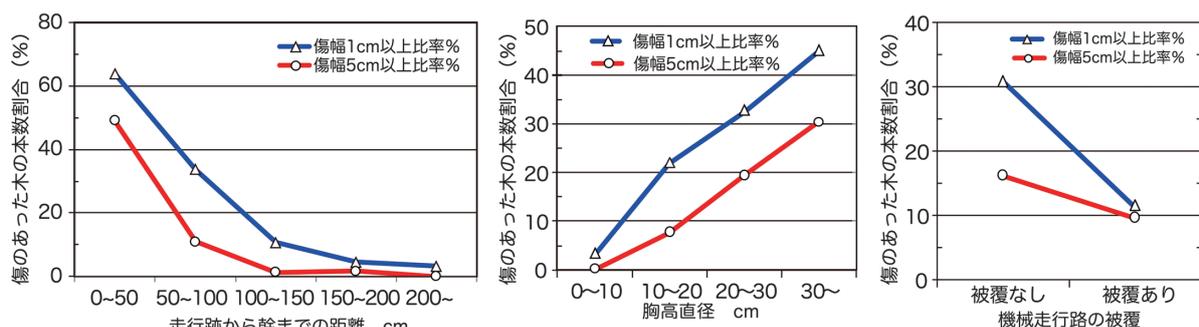


図-2 走行路端からの距離（左）・胸高直径（中）・走行路被覆の有無（右）で区分した損傷木の発生割合（山口 2019 を改変）

分かりました (図-2 右)。

この結果をもとに、機械と木の距離、木の太さ (胸高直径、走行路上の被覆の3つから、地表部の根の傷が生じる可能性 (確率) を評価する簡単な予測図を作ることができました (図-3)。この図の見方を少し説明しましょう (専門的にはロジスティック回帰分析と一般化線形モデルという統計学的手法を使っていますが、その詳細については山口 (2019) を参照してください)。図-3 は機械の走行路上に伐採木の枝条やササなどの被覆がある場合 (右) とない場合 (左) に分けられています。被覆がある場合とない場合で傷の発生は大きく変わるからです。傷は大きめのもの (幅 5 cm 以上) を対象にしています。図の横軸はトドマツの太さ (胸高直径)、縦軸は機械とトドマツとの間の距離、点は実際に調べられたトドマツ 1 本 1 本を示します。曲線は傷が生じる可能性 (生起確率) ごとに求められた直径と距離の関係を表しています。

生起確率 $p = 0.001$ とは、直径と距離が同じ条件で機械を 1000 回走らせると 1 回くらいの割合で木の傷が生じることを意味します。仮に、機械の林内走行による傷の発生をこれ (確率 0.1%) よりも少なく抑えたいとしましょう。図-3 左から、胸高直径 20 cm のトドマツでは機械と木の間が 150 cm まで近寄ると先ほどの確

率 ($p = 0.001$) で木が傷つくことが読み取れます。つまり、機械の林内走行による傷の発生確率 0.1% よりも小さくするには、木から 150 cm 以上離れる必要があることがわかります。トドマツの立木の根が傷つくのをあつめる確率以下に抑えたい、そのときにこの太さのトドマツだと機械と木の間が何 m 以上離れていると安全なのか (限界距離と呼んでいます) を図から読み取ることができます。

2) 機械作業による傷と腐朽発生の関係

傷の程度と腐朽の関係を確かめるときに注意すべきことがあります。立木が傷ついてから、その木の内部で腐朽が進むのにはある程度年数がかかります。この経過を直接追いかけた研究はまずないので、機械が木につけた傷から本当に腐朽が起こるのか、何年くらいかかるかもほとんどわかっていません。そこで、20 年ほど前に車両系林業機械による間伐作業が行われ、近々皆伐する予定のトドマツ人工林で調べてみました (山口 2018)。このくらいの年数だと、当時の機械の走行路や木の傷が確認できるほど残っていて、その一方で傷からの腐朽が進むのには十分な時間が経っていると考えられます。伐採前に、木と機械の距離 (走行路端からの距離) や木の

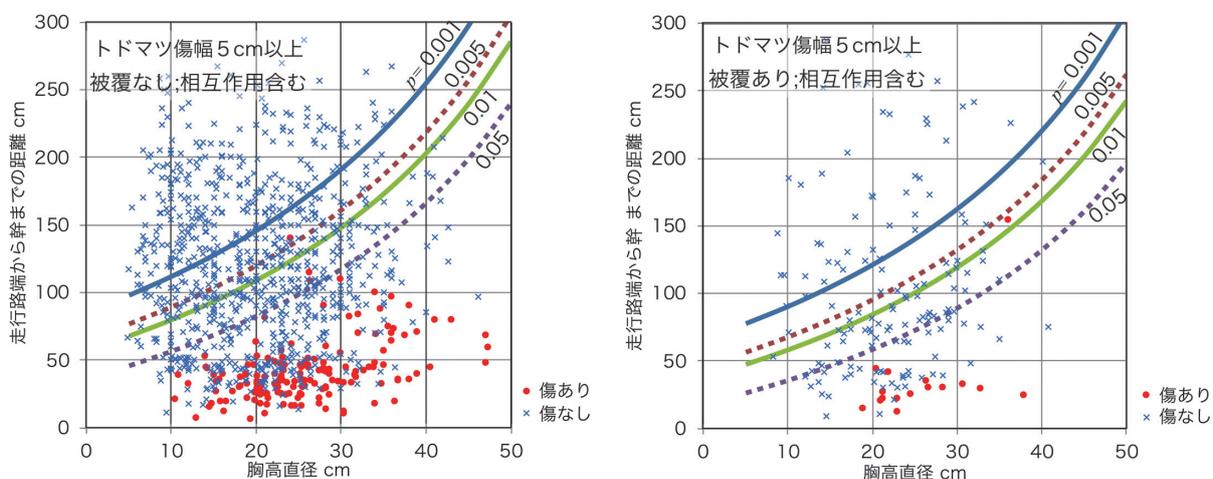


図-3 損傷発生モデルから導かれた生起確率に応じて表される胸高直径と走行路端から幹までの距離 (限界距離) の関係 (山口 2019 を改変)
各曲線右上の p 値は生起確率、●と × は元データでの傷の有無を示す。

太さ（胸高直径）、幹と地表部の根の傷の有無や傷の大きさを調べておきました。この際に機械が走った場所として特定したのが、伐った木を運び出す際に機械が通ったところ（旧搬出路）で、この端から10mの範囲内の木をすべて調べています。根の腐朽の有無や大きさは、皆伐後に伐根の断面を見て調べました。

今度は、根の傷だけでなく、幹の傷も調べたので、2つを比べながら傷と腐朽の関係をみてみましょう（図-4）。地表部の根の傷は機械の通ったところ（旧搬出路）の近くに集中しています。旧搬出路から1m以内にある木ではほとんどの木に傷がありますが、1~2m離れると急に減少し、3m以上離れると傷は見られません。幹の傷も旧搬出路から1m以内で多く、距離が離れると徐々に減少しますが10m離れても4割ほどの木に傷がついています（図-4 青線）。

傷口からの腐朽の発生も根と幹の傷で異なります。根の傷から腐朽していたのは根張りが大きく傷面積も大きかった1例のみでした。一方、幹の傷から辺材（幹材の外側の部分）の腐朽が進んだ木は2割くらいあり、旧搬出路からの距離に対応して、幹に傷がついた木と同じような変化を示していました（図-4 黒線）。トドマ

ツの辺材腐朽はその多くが幹の傷と関連があると考えられます。

次に、根や幹の損傷からどの程度腐朽が進んでいるのか調べてみました。北海道内の広い範囲でたくさんの木を調べるため、切り倒さずに木の内部の腐朽を調べられる装置（レジストグラフ）を使っています。まずわかったのが、傷から腐朽している場合としていない場合があることでした。傷のうち4割は内部に腐朽が進んでいましたが6割では腐朽していませんでした。

さらに腐朽の進み方をみてみます。傷ついてからの年数は調べた木によって違いますので、1年間あたりに傷の端から材内を上方向にどれだけ腐朽が進んだかで示します（図-5）。木によってかなり違いはありますが、幹・根の傷の両方とも傷の面積が大きくなると腐朽の進みも大きくなる傾向があり、傷の大きさが腐朽の進み方に大きな影響を与えていそうなのがわかりました。

■ 3) 幹や根の傷から腐朽を起こす菌類

ではどんな菌類が幹や根の傷から入って木を腐朽させているのでしょうか。木を腐らせる菌類（腐朽菌）はキノコを作る菌の仲間で、そのなかの担子菌類というグ

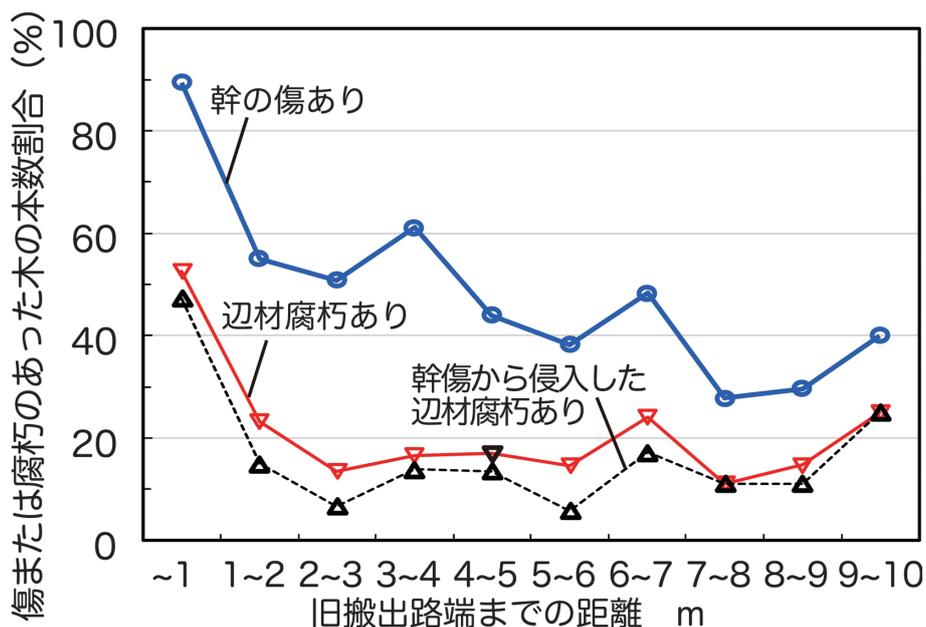


図-4 旧搬出路端までの距離と幹の傷・辺材腐朽・幹の傷から侵入した辺材腐朽を有する本数比率の関係（山口 2018 を改変）

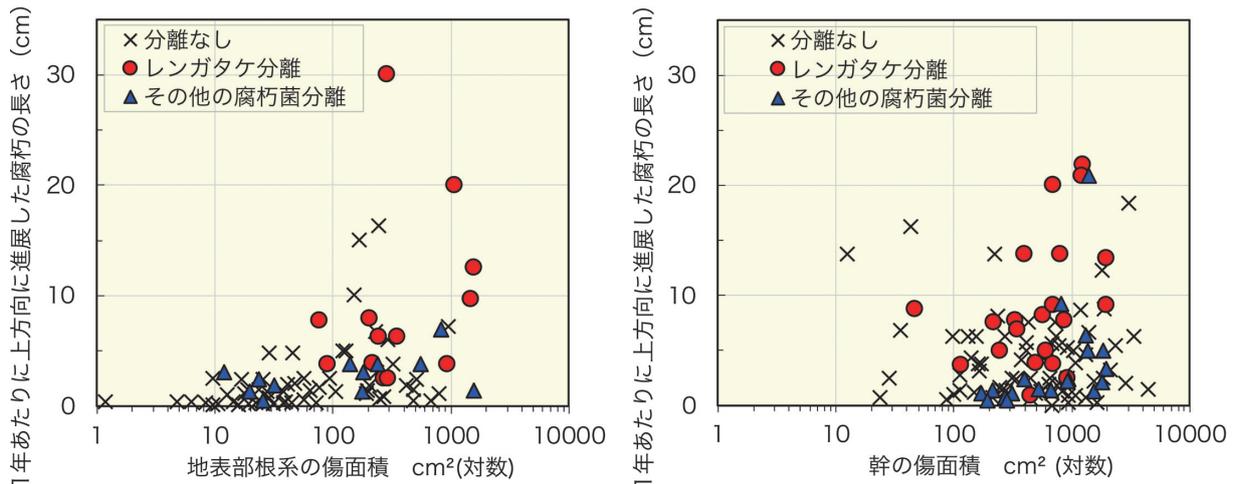


図-5 トドマツの幹・根の傷面積と1年あたりに上方向に進展した腐朽の長さの関係

グループに属します。その種類を見分けるには幹に生えてくるキノコ（俗にいうサルノコシカケ）の形態を調べるか、腐朽した木材の中にある菌を培養し、シャーレ内の寒天培地の上に移した菌のコロニーを種類の判っている菌のそれと比較観察する、あるいは培養菌糸を顕微鏡で形態観察することで確かめていました。ただ、キノコが幹の傷に生じることは滅多になく、培養した菌糸の形態観察による判別も限界があるので、培養菌糸のDNAから種類を調べる方法も併用してみました。幹と根の小から大まで様々な傷から進展した腐朽材を調べたところ、うまく腐朽菌が培養できたのはこのうちの2～3割で、材は腐朽していても菌が分離されなかったケースも結構ありました。おそらく腐朽菌が材内を進展した後に何らかの理由で死滅してしまったためと考えられます。

このようにして調べた結果、最もよくみられたのがレンガタケ (*Heterobasidion orientale* (Tokuda et al. 2009)；図-6) で、機械作業による傷から進展した腐朽の約1割でこの菌が見つかりました。他にたくさんの種類の菌が見つっていますが、どれも1～2例と稀なものです。

レンガタケはこれまでも林業機械による傷由来の腐朽からよく見つかった菌ですが（徳田ら1996）、この菌が北海道のトドマツで広い範囲に被害を生じさせていることが再確認されました。この菌の傷からの腐朽



図-6 林業機械の作業でできた幹の傷に発生したレンガタケの子実体（キノコ）

の進み方には幅がありますが（1年あたり2.5～20cm）、他にみつかった菌よりも大きい傾向がありました（図-5）。

さらに、この菌の腐朽能力を実験的に確かめるため、シイタケ栽培に使う種駒の材にレンガタケを培養してトドマツの幹に打ち込んでみました。ただ打ち込む方法だけでなく、幹の傷を模して周囲の樹皮を直径10cm程度はがしてから打ち込む方法も試しました（図-7）。対照実験として、皮むき（剥皮）のあり・なしの処理別に無菌の種駒材を打ち込みました。その結果、培養した系統によっても多少違いがありましたが、樹皮をはがしてレンガタケを打ち込んだ時に、木の内部に腐朽が大きく進んでいったことがわかりました（図-8）。ここからも、



図-7 レンガタケの菌糸をトドマツに打ち込む実験
写真は「剥皮+菌接種」処理で、樹皮を100cm²
の円形に切りはがし、中心部に菌糸を培養した
種駒を打ち込んだ。

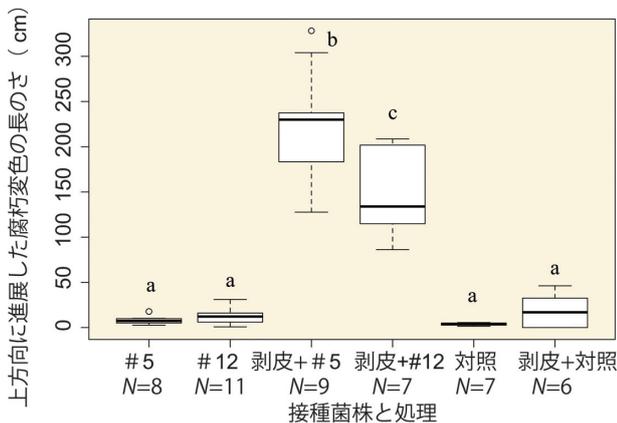


図-8 レンガタケの2つの菌株(#5、#12)をトドマツ
の幹に接種した4年後に幹上方向に腐朽が進ん
だ長さを比較したもの(山口2020を改変)

傷から侵入して木を腐らせる菌の代表がレンガタケであること、傷の大きさが腐朽の進み方に大きく影響する可能性が明らかになりました。

ちなみにレンガタケと近い(同属の)種類に、マツノネクチタケ(*H. parviporm*)があります(Tokuda *et al.* 2009)。この菌は生きている針葉樹の根から侵入して心材を腐らせる根株腐朽菌で、さらに欧米では(広義の)マツノネクチタケが根株腐朽だけでなく樹木の枯死を引き起こすことから問題になっています。また北欧のヨーロッパトウヒで幹の傷から侵入する腐朽菌の1種であることも報告されています(Roll-Hansen & Roll-Hansen 1980)。今回明らかになったレンガタケの腐

朽の進み方はマツノネクチタケにも匹敵するもので、機械の作業によってトドマツの幹や根に大きな傷がついたときには侮れない速さで腐朽が進む可能性があります。

■ まとめと今後の課題

「1) 機械作業による傷の発生」では、トドマツの立木の表層部の根の傷を回避するヒントが見えてきました。木の太さに合わせて機械と木の間の適正な距離を保つことが大切で、その目安も分かってきました。機械の走るところを伐木の枝葉で覆っておくことや、積雪時に作業を行うことも効果的であることが確かめられました。一方、幹の傷については、機械との間に距離があっても大きな傷がつく場合があって、どんな作業過程やどんな条件でそのような傷が生じるのかをあらためて調べていく必要があります。

「2) 機械作業による傷と腐朽発生の関係」では、傷の面積が腐朽の進み方に大きく影響していることが現場の調査で確かめられました。実験的に菌を打ち込む実験でも、周囲の樹皮が大きくはがれているときに腐朽が進んでいました。傷の面積が大きくなると空中を漂う腐朽菌の胞子が傷口に到達する機会が増え、材では菌の侵入を防御する働きが弱まることが理由として考えられます。傷が大きいほど、菌の成長に必要な酸素が傷口から内部に供給されることや、傷口が修復・閉鎖するまでの時間が長くなることも、腐朽の進展にきいていと推測されます。こうした過程をより詳しく調べていくことで、傷からの腐朽を防ぐヒントが新たに見つかるかもしれません。

「3) 幹や根の傷から腐朽を起こす菌類」では、レンガタケが大きな「鍵」を握っており、腐朽の進み方も大きいので警戒すべき種類であることが見えてきました。その一方で、レンガタケが見つかったのは腐朽全体の1割程度で、そもそも傷口から腐朽が進んでいない、あるいは腐朽があっても菌が見つからない場合も結構あります。レンガタケ以外にも重要な菌がないかもう少し調

べてみる必要もあるでしょう。胞子の飛散時期など生態面の情報も重要です。レンガタケについてもさらに調べてみるべきことがあります。今回は北海道で広く少しずつ調査していますが、季節・場所などの条件によってはまとまった被害があるかもしれません。こうした点を機械作業の内容とも関係づけながら見ていく必要があると考えています。

■ おわりに

これまでに紹介した調査研究は、森林総合研究所の交付金プロジェクト「緩中傾斜地に適した低コスト生産システムの開発」、「トドマツ人工林主伐に対応した低コスト天然更新施業・管理システムの開発」、JSPS 科研費 JP17K07861「林業機械によるトドマツ幹・根系損傷がもたらす腐朽被害のリスク評価」の助成によって行われました。これらの現地調査に際し、便宜を図っていただいた北海道森林管理局および同局管内の森林管理署関係各位に感謝申し上げます。

引用文献

- Roll-Hansen F, Roll-Hansen H (1980) Microorganisms which invade *Picea abies* in seasonal stem wounds: I. General aspects. Hymenomyces. Eur J For Path 10: 321-339
- 徳田佐和子・秋本正信・高橋幸男・由田茂一 (1996) 林業機械化作業によるトドマツ立木の損傷と腐朽. 日林論 107: 277-280
- 徳田佐和子 (1998) 幹の傷はトドマツの腐朽を引き起こしやすい. 光株内季報 110: 10-14
- Tokuda S, Hattori T, Dai YC, Ota Y, Buchanan PK (2009) Three species of *Heterobasidion* (Basidiomycota, Hericiales), *H. parviporum*, *H. orientale* sp. nov. and *H. ecrustosum* sp. nov. from East Asia. Mycoscience 50:190-202
- 山口岳広 (2018) 過去の伐採・搬出作業による攪乱がトドマツ人工林の腐朽被害に与える影響. 北方森林研究 66: 87-90
- 山口岳広 (2019) 林業機械の林内走行で生じるトドマツの地表部根系損傷リスク評価. 北方森林研究 67: 75-78
- 山口岳広 (2020) 林業機械のトドマツへのレンガタケ接種による腐朽の進展に剥皮処理が与える影響. 北方森林研究 68: 35-38

流域試験

— 森林の水源涵養機能を評価するために —

たまい こうじ
玉井 幸治 (森林総合研究所)

はじめに

森林は「河川へ流れ込む水の量を平準化して洪水を緩和するとともに、川の流量を安定させる機能（水源涵養機能）」を備えています。この機能は、日々の生活に安全と安心をもたらしており、これを維持・改善するための研究が進められています。具体的には、森林流域に設けた試験地で降水量と流出量を計測するもの（流域試験）と、森林流域内の様々な場所で生じている水の移動を詳細に調べる研究（プロセス研究）に大別されます。森林総合研究所では日本全国 11 か所に設置した試験地で流域試験を実施しており、計測した降水量と流出量を森林理水試験地データベースとして公開しています（森林総合研究所 2020）。その中の 1 つで岡山県にある竜ノ口山理水試験地を例に、流域試験の意義を紹介します。

流域試験

森林に降り注いだ降水は流域内の様々な場所を移動し、最終的には川に流れ出ます。川へ流れ出る水量（流出量）は、森林が持っている機能の影響を反映していることから、降水量と流出量の関係を調べることによって、森林が流出量に及ぼす影響を調べる研究が広く行われて

います。これが流域試験と呼ばれるものです。

竜ノ口山理水試験地では、1937 年に流域試験が開始されました（図-1）。この試験地は北谷流域、南谷流域という 2 つの流域で構成されています。1937 年の観測開始以来、降水量と流出量を 24 時間欠かすことなく、測定を継続しています。（図-1）。北谷流域では落葉広葉樹林が継続して成長してきましたが、南谷流域では火災やマツ枯れによって森林が衰退していた時期があります。南谷流域の森林が衰退した時期には、降水量と流出量の関係が変化したことが予想されたことから、森林が大きく変化していない北谷の結果と比較することで、森林の影響を評価しました。

比較する方法には、「単独流域法」「並行流域法」「対照流域法」があるので、順番に説明することにします。森林が順調に生育していた期間を基準として比較を行うため、この期間を基準期間とし、衰退した時期を処理期間とします。

「単独流域法」では、南谷だけに着目し、基準期間と処理期間の比較を行います。しかし、この方法では森林の効果のみを抽出して評価することはできません。なぜならば、基準期間と処理期間は別の年であり、気象条件



図-1 降水量を観測している気象露場（左）と南谷流域からの流出量を観測する施設（右）

が全く異なるためです。例えば、片方の期間にのみ洪水が起きるような豪雨が含まれていたり、あるいはダムが枯渇するような少雨であった場合には、「単独流域法」は森林の影響よりも、それぞれの期間の雨の降り方の違いによる影響を大きく受けてしまうのです。

「並行流域法」では、北谷流域と南谷流域の降水量と流出量の関係を、処理期間について比較します（図-2の右）。この方法では同じ年を比較するので、雨の降り方の違いが影響を与えることはありません。しかし、2つの異なる流域を比較しているため、それぞれの地形・地質などの違いによる影響が含まれてしまうのです。

雨の降り方の違いと地形・地質の違いによる影響を排除する方法が「対照流域法」です。基準期間と処理期間のそれぞれについて降水量と流出量の関係を求め、それを比較する方法です。

森林土壌と森林樹木による働き

森林が降水量と流出量の関係に及ぼす効果は、2つあります。1つは森林土壌が林床に達した降水を浸透させ、土壌中をゆっくりと時間をかけて河川へと流出させる現象で、流出遅延効果と呼ばれます。一方、降水の一部は樹木の表面に付着して蒸発します（遮断蒸発）。また、樹木は光合成の際に根で土壌中の水分を吸収して葉の気孔から蒸発させます（蒸散）。遮断蒸発と蒸散を合わせて蒸発散と呼びますが、これによって森林は降水を大気

に戻し、洪水抑制効果を発揮すると言われています。

実際の森林流域では、森林樹木が伐採されたり火災や病害虫の被害により衰退した状態になることが、しばしば起こります。このため、流域試験によって森林の効果を検討することが可能です。それに対して森林土壌は変化しにくいいため、同じ方法では森林土壌による働きを評価することができません。森林土壌の働きは水循環プロセスモデルを用いて検討されます。水循環プロセスモデルとは、森林流域内の様々な場所における水の移動をコンピュータ上で再現するものです。このモデルを作成するためには、森林内の水移動を詳しく調べるプロセス研究が必要不可欠です。また、モデルの確からしさを検証するために、流域試験による降水量と流出量データが必要となります。

このように、流域試験とプロセス研究による知見を合わせると、森林土壌の働きも含めた水源涵養機能を評価することができます。その一例を解りやすく紹介した文献（玉井 2020）がありますので、参考にして下さい。

引用文献

森林総合研究所（2020）<https://www2.ffpri.go.jp/labs/fwdb/>（2020年6月24日参照）

玉井幸治（2020）森林の持つ「洪水災害の軽減機能」について。山林 1635：66-73

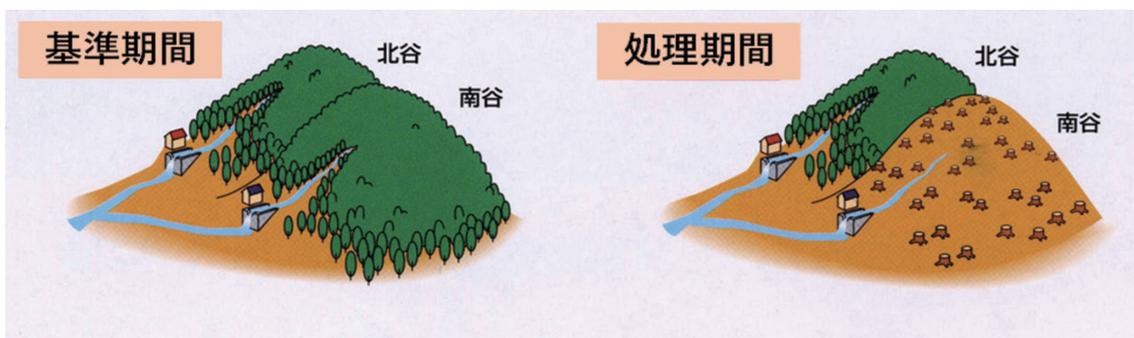


図-2 対照流域法の説明（基準期間：森林が順調に生育していた期間）（玉井 2020）

林業遺産紀行 第18回



きじし 木地師文化発祥の地 「東近江市小椋谷」

やました なおこ
山下 直子 (森林総合研究所関西支所)

滋賀県東近江市の奥永源寺地区は、かつて木地業が盛んで、木地師の聖地である社寺が現在も残っています。これらの社寺では、平安時代に遡る木地師関連の古文書や、全国の木地師の保護や統轄を行った際に用いられた木札の印鑑、往来手形、氏子駟帳、氏子狩帳、建造物、能面や道具類などの貴重な史料が数多く所蔵されています。木地師の職祖と伝えられるこれたか惟喬親王への信仰と、当地を故郷とする強い絆は、全国の木地師の中で今もなお健在で、総本山で受け継がれてきた祭祀には、毎年多くの木地師関係者が訪れています。

東近江市小椋谷

名神高速の八日市ICから三重県にぬける国道を15kmほど行ったところに、小椋谷(旧愛知郡東小椋村)と呼ばれる地域があります(写真-1)。ここは、現在の滋賀県東近江市奥永源寺地区の君ヶ畑町、蛭谷町、箕川町、政所町、黄和田町、九居瀬町であり、背後に鈴鹿山脈を有した自然豊かな山間部に佇む集落です。かつてこの地域は、ブナやトチノキ、ケヤキ、クリなどの広葉樹材を、お椀や皿、盆等の木製品や、道具類に加工した木地師の活動拠点でした(永源寺町役場 2001)。

古代日本では日常的に使用されてきた食器の多くは土器でしたが、十二世紀頃から木製品の使用が増えたと報告されています(須藤 2018)。この日本の木の文化とも言える木製食器の普及を支えてきたのが木地師であり、さらには漆職人であり、そこから派生して様々な職人史が育まれてきました。かつて小椋谷は、筒井千軒、小椋千軒、藤川千軒と言われるほど、木地業に関わる多くの人が住み活気に満ちた場所でしたが、加工に用いる



写真-1 現在の小椋谷の様子(蛭谷町)



写真-2 筒井公文所(帰雲庵)(貞観7(865)年創祀。蛭谷町)木地民芸品資料展示館が隣接し、木地師の身元を証明した「木地師往来手形」をはじめ、多くの古文書が所蔵されています(滋賀県指定有形民俗文化財)。

原木が不足すると、人々は各地の山へ移住を始めました。そのため、近世初期まで小椋谷から木地師が途絶えてしまうことになりました。

惟喬親王伝説

今から約1200年前に実在したこれたか惟喬親王(文徳天皇の第一皇子)が、小椋谷でまくり轆轤の技術を伝え、全国各地に



写真-3 高松御所（金龍寺）（貞観元（859）年創祀。君ヶ畑町）木地を生業とする人々の生活習俗の変遷や背景に関する古文書等木地師に関連する資料が所蔵されています（滋賀県指定有形民俗文化財）。

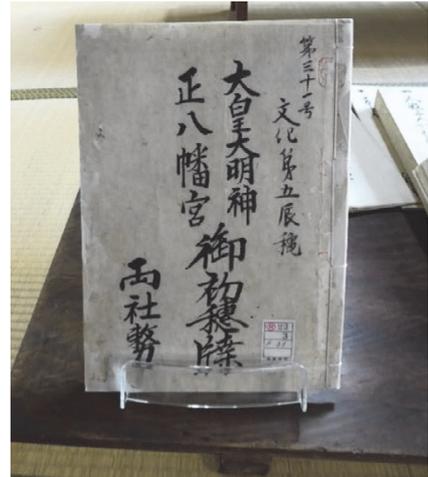


写真-4 氏子狩帳（文化5（1808）年君ヶ畑町高松御所所蔵）

木地師が広がったという伝説があります。小椋谷には惟喬親王を祀る蛭谷町の筒井神社、君ヶ畑町おおきみきじぞの大皇器地祖神社があり、それぞれ筒井公文所（写真-2）、高松御所（写真-3）と呼ばれる木地師支配所が、全国の木地師を保護する活動を行ってきました。木地師には「大蔵」「小椋」という姓が多く、これは惟喬親王の家臣の名前に由来するといわれています（永源寺町役場 2001）。現在でも木地師の仕事をしている人には、小椋、小倉、大蔵、大倉という名字の人が多く存在します。

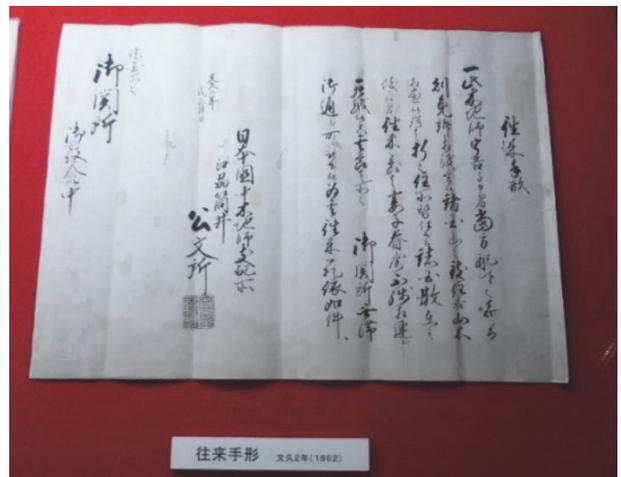


写真-5 往來手形（蛭谷町木地師資料館所蔵）

筒井公文所と高松御所

全国に広がった木地師を統括する支配所である筒井公文所および高松御所の役人は、各地の木地師を訪ね歩いて木地師の戸籍簿（氏子駟帳、氏子狩帳）を作成し（写真-4）、それぞれの神社への氏子料などを徴収しました。その一方で、木地師が新しい土地で支障なく仕事ができるように、山への立ち入り、7合目もしくは8合目以上の山の原木伐採を許可するお墨付きであった綸旨や、諸国の関所を自由に通行できる往來手形（写真-5）、檀家であることを証明する宗門手形、活動の許可証となる神札や鑑札（写真-6）などを発行して、身分を保証しました。それによって流浪の民であった木地師は、全国どここの山でも自由に稼業を営むことを許されたのです。こ



写真-6 木地師の身分を保証する木札（蛭谷町木地師資料館所蔵）

の氏子狩（駟）りの制度は、木地師と神社の双方に都合が良いものであったといえます。筒井公文所の保管する氏子駟帳は正保4（1647）年から明治26年までの35冊があり、近畿、中国、四国など主に西日本を中心に約



写真-7 手挽き轆轤 (木地民芸品資料展示館所蔵 蛭谷町)

3500軒、その人数は4万8500人にのぼる木地師が記載されています。一方、高松御所の保管する氏子狩帳は、元禄7(1694)年から明治6年までの53冊があり、中部、東北など主に東日本を中心とした訪問先は、延べ3000軒を超えます。これらの資料は、江戸時代の木地師の統轄の様子や、全国の木地師の分布と移動、集団の形態などを把握することができる極めて貴重なものです。

木地師研究

木地師に関する研究は、明治中期に御料局(後の皇室林野局)職員であった田中長嶺^{ながね}によって始められました。彼は、各地を来訪し木地師に関する資料を調べ、明治三十三年「小野宮御偉績考」^{おののみやごいせきこう}を刊行し(田中 1900)、これが木地師研究の先駆けとなりました。この中では、江州愛知郡小棕谷が木地挽物の根源地であることが記されています。一方、正倉院文書の中の天平6(734)年「造物所作物帳」に「給近江轆轤工二人 糶米一斗五升」という記載があり、当時すでに轆轤をつかう職人が近江に存在していたことが記録されています(須藤 2010)。田中長嶺の研究以降、木地師に関する資料は、民俗学者や歴史学者によって分析され、木地師研究の裾野がさらに広がりました(柳田・倉田 1941、宮本 1964、田畑 1975、橋本 1982)。蛭谷や君ヶ畑を本籍とする木地師に関する文献や鑑札等の史料は、全国各地でも報告され

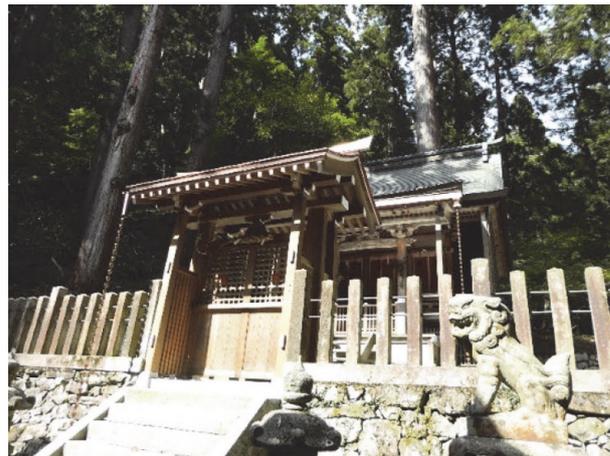


写真-8 大皇器地祖神社(寛平10(898)年創祀。君ヶ畑町)



写真-9 木造能面(室町末期作。君ヶ畑町金龍寺所蔵)



写真-10 足踏み轆轤の実演指導(匠の祭2019年10月 蛭谷町。左は三重県在住の木地師 高橋力男氏)

ています(文化庁文化財保護部 1969、戸高 2016)。これらの研究から、少なくとも江戸時代から明治中期に

かけて、木地師は山村の形成、林産物の創出に重要な役割を果たし、氏子狩（駈）りの制度によって木地師の活動や身分が保証され、全国最大の木地師統治組織が確立したことが示されています。日本の木の文化の基層は、良材を求めて点々と移住し、人知れず奥山で木を伐り、器や道具を作って生計を立ててきた木地師という職人の存在なしには築かれなかったのかもしれませんが。

木地師文化を未来に繋ぐ

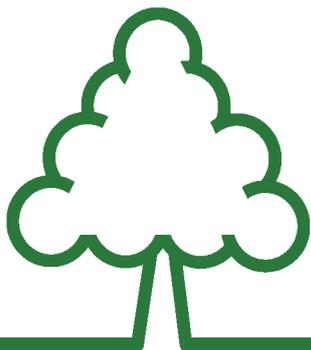
現在、君ヶ畑町の高松御所と蛭谷町の木地民芸品資料展示館に、木地師統括の記録（氏子狩帳、氏子駈帳）や、轆轤の道具類（写真-7）、木地師往来手形、木地師関係文書等の貴重な資料が所蔵されています（滋賀県指定有形民俗文化財）。また、小椋谷に数多く残る神社（写真-8）や仏閣では、能面（写真-9）や木造聖観音像、古文書等が所蔵されており、どれも重厚で趣深く、思わず手を合わせたくなるようなものばかりです。東近江市では、「木地師のふるさとアーカイブプロジェクト」として、収集した資料の整理・分類を行い、民俗文化財への登録を目指す取り組みを進めています。また、全国各地の木地師に所縁のある土地への訪問調査や木地師フォーラム等の開催によって、木地師と技術者、研究者との交流やネットワーク化を積極的に進め、森林資源を活用した地域振興に繋げようとしています（山下 2020）。小椋谷では、一時期職人が途絶えていましたが、昭和に入ってから技術が復興され、現在は若手の職人も移り住んでいます。蛭谷町、君ヶ畑町が中心となって全国の木地師をはじめとした職人によるイベントや（写真-10）、指定文化財の公開ツアーなども実施され、意欲的な情報発信が行われています。林業遺産認定を契機に、これまでの

活動がさらに発展し、木の温もりがもたらす地域の伝統と文化が再興されることを期待します。小椋谷周辺は、歴史ある建造物の他、鈴鹿の山々と愛知川源流の渓流美を満喫できる見所も多いので、みなさんぜひ一度訪れてみてください。

引用文献

- 文化庁文化財保護部編（1969）木地師の習俗 2 愛知県・岐阜県 民俗資料叢書 10. 平凡社
- 永源寺町役場（2001）永源寺町史 木地師編 下. 永源寺町史編さん委員会
- 橋本鉄男（1982）木地屋の民俗 民俗民芸双書 88. 岩崎美術社
- 宮本常一（1964）山に生きる人びと. 未来社
- 須藤 譲（2010）木の文化の形成 日本の山野利用と木器の文化. 未来社
- 須藤 譲（2018）東近江・小椋谷と木地師.（琵琶湖水域圏の可能性 里山学からの展望. 牛尾洋也・吉岡祥充・清水万由子編著）晃洋書房. 198-209
- 田畑久夫（1975）わが国における山村研究の系譜とその問題点—木地屋のムラの場合. 人文地理 2714: 398-426
- 田中長嶺（1900）小野宮御偉績考. 近藤活版所
- 戸高厚司（2016）宇目の木地師について. 佐伯史談 229: 5-16
- 山下直子（2020）地域の森林資源と文化を未来に繋ぐ. 山林 1634: 2-11
- 柳田国男・倉田一郎（1941）分類山村語彙. 信濃教育会

林業遺産事業の概要やこれまでの登録遺産については、<https://www.forestry.jp/activity/forestrylegacy/> をご覧ください。



災害に強い森林づくりの推進と効果検証

しまだ ひろまさ
島田 博匡 (三重県林業研究所)

はじめに

近年、全国的に手入れ不足による荒廃人工林の増加、集中豪雨の増加に伴って頻発する土砂、流木災害を背景として、災害に強い森林づくりに対する注目が集まっています。三重県でも2011年紀伊半島大水害などの被災を契機とし、「災害に強い森林づくり」と「県民全体で森林を支える社会づくり」を進めるため、2014年度より「みえ森と緑の県民税」が導入され（三重県2020）、これを財源とした災害に強い森林づくり推進事業が行われています。この事業の実施効果を検証し、結果を県民に対して説明するとともに、必要に応じて事業の実施方法を改善するために、三重県林業研究所では三重大学、名古屋大学との共同研究により、事業の効果検証を実施しています。本稿では、これらの取り組みについて紹介します。

三重県が進める災害に強い森林づくり

災害に強い森林づくり推進事業は災害緩衝林整備事業と土砂・流木緊急除去事業からなり、そのうち、災害緩

衝林整備事業に対して効果検証を行っています。

災害緩衝林整備事業（以下、本事業）では災害発生のおそれのある溪流沿いの森林を対象とした森林整備により、災害時に土砂や流木が発生しにくい森林づくりが行われています（三重県 2020）。本事業では、流域内を溪流部、溪岸部（土石流等の流下部になり得る溪流沿いの森林）、山腹部（溪岸から片岸概ね50mの範囲の山腹斜面）の区分に分けて、以下の整備が実施されています（図-1、2）。

溪流部：流木発生抑制を目的とした危険木等の除去

溪岸部：流木や土砂等の流下緩衝機能向上を目的とした調整伐（材積率35%を上限とする抜き伐り）

山腹部：樹木根系発達による斜面安定、土砂流亡抑制を目的とした調整伐、伐採木を等高線方向に並べた土砂止設置

1期目（2014～2018年度）には、151箇所危険木等除去22,119m³と調整伐1,049haが行われ（三重県 2020）、2期目（2019～2023年度）にも引き続

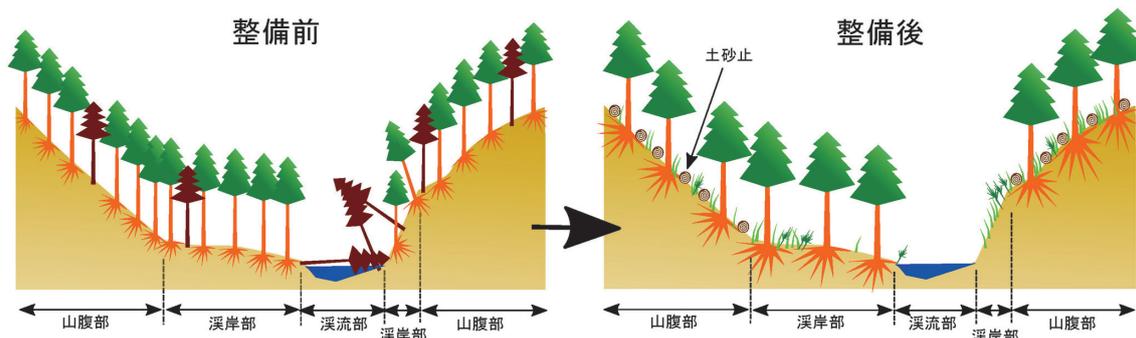


図-1 災害緩衝林整備事業のイメージ



図-2 災害緩衝林整備事業による整備直後の森林



図-3 整備後3年目の山腹部

いて整備が進められています。

効果検証の実施

1 期目の効果検証では、山腹部を対象とする土砂流量調査、渓岸部、山腹部を対象とする航空レーザ測量データを用いたモニタリング調査、渓岸部を対象とする立木引き倒し試験による根系抵抗力調査の3課題について取り組みました。

1. 土砂流量調査

山腹部における土砂流亡は渓流への土砂流入の原因になるほか、表土が流れて根系が浮き上がることで、立木の引き倒し抵抗力が弱くなる可能性が示されており（島田 2018）、強風による根返りの発生やそれに起因する山腹崩壊の発生が懸念されます。

本事業では、調整伐の実施により林床植生を導入し、林床被覆率（植生被覆率と堆積リター被覆率の合計）を高めることに加え、土砂止を設置することにより土砂流亡抑制を目指しています（図-3）。効果検証では、調整伐と土砂止設置による土砂流亡抑制効果を検証するために、三重大学との共同研究により県内4カ所のスギ人工林、ヒノキ人工林で土砂止有無別に土砂受け箱法による土砂移動の観測を3年間行いました（図-4）。これにより、調整伐後の林床被覆率上昇に伴い、土砂移動レート（ $g\ m^{-1}\ mm^{-1}$ ；土砂移動量を観測期間雨量で除したもの）が減少することを明らかにしました。また、林床



図-4 山腹部のヒノキ人工林に設置した土砂受け箱

被覆率と土砂移動レートの関係を土砂止有、土砂止無別で指数式に当てはめたところ、いずれの試験地でも土砂止有無ともに、土砂移動レートは林床被覆率が高いほど小さい傾向と、土砂止有の方が土砂止無よりも小さく、その差は林床被覆率が低い箇所ほど大きい傾向がみられました（島田ら 2020）。つまり、土砂移動が顕著な林床被覆率の低い場所ほど土砂止の効果が大きいことがわかりました。

今後、林冠閉鎖に伴う林床被覆率の低下や土砂止の腐朽により、再び土砂が動き出す可能性があります。今回確認された整備効果の持続期間を明らかにすることは、今後の施業実施時期を検討するうえで重要であるため、一部の試験地では現在も調査を継続しています。

2. 航空レーザ測量データを用いたモニタリング調査

本事業の渓岸部、山腹部では、調整伐により立木の肥

大成長を促進し、胸高直径 30 cm 以上の森林を育成することを目指しています。本事業では流域内を広域的に整備することで効果が発揮されることから、調整伐による成長促進効果を広域的に検証するため、名古屋大学、三重大学との共同研究により、航空レーザ測量データを解析することで整備後の森林状態の変化をモニタリングしました。

2014 年度に本事業が行われた流域（多気郡大台町；2.7 km²）をモニタリングエリアとして、調整伐直後（2015 年 8 月）と調整伐後 3 年目（2017 年 8 月）に航空レーザ測量を行いました。得られたデータは名古屋大学山本一清教授らが開発した航空レーザ測量データ解析システム（山本ら 2015、中武ら 2018）で解析し、単木抽出、樹種、樹高、樹冠面積、胸高直径などの推定を行いました。スギ、ヒノキの調整伐を行った調整伐区（0.21 km²）と無調整区（0.25 km²；調整伐区と同一林分の調整伐を行っていない区域）の直径成長を比較したところ、2 年間の成長量はわずかでしたが、調整伐区の平均胸高直径成長量は無調整区よりも 17% 大きく、調整伐を行うことで直径成長が大きくなる傾向が広域的に確認できました。

これまでの調査期間は短く、今後も森林状態のモニタリングを続ける必要があります。現在はドローンを用いたモニタリングに取り組んでおり、モニタリングエリアの一部を対象として、調査を継続しています。

3. 立木引き倒し試験による根系抵抗力調査

溪岸部においては、調整伐により立木を肥大成長させることで、流木や土石流に対する緩衝機能を高めることを目的としています（図-5）。本事業では、溪床勾配 5°（2 期目から 10°に改正）、土石流流下幅 20 m の場所でピーク流量 100 m³/秒の土石流が流下すると想定しています。この規模の土石流の流体力に対して緩衝機能を発揮するために、国内で得られた既存の立木の胸高直径と最大引き倒し抵抗モーメント（以下、最大抵抗モーメント）の関係式（以下、既存式）を根拠として、胸高直径



図-5 整備後 2 年目の溪岸部、溪流部

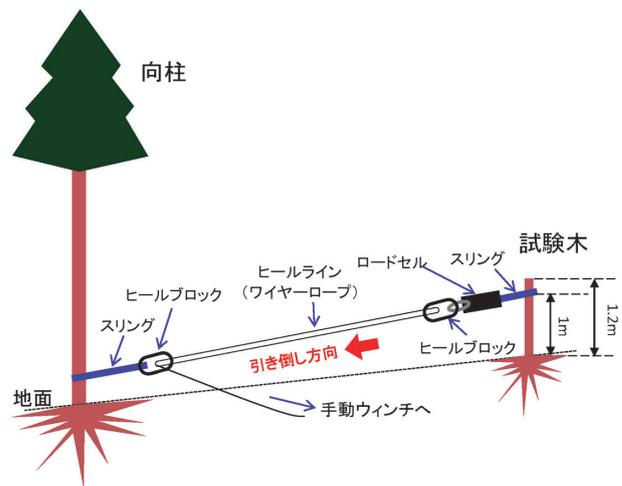


図-6 立木引き倒し試験の概要

30 cm 以上の森林を育成することを目標としています。しかし、既存式は、胸高直径 30 cm 以下の小～中径木の最大抵抗モーメント値をもとに構築されているため、胸高直径が大きい立木では推定精度に不安があります。

このため、これまでほとんど測定事例が無かった胸高直径 30 cm 以上の立木を中心に立木引き倒し試験（図-6）を行って最大抵抗モーメントを測定し、スギ 23 本、ヒノキ 32 本のデータセットから、樹種毎に胸高直径と最大抵抗モーメントの関係を検討しました（島田・野々田 2017）。その結果、スギ、ヒノキともに胸高直径 30 cm に成長した際に、本事業が想定する立木 1 本当たりにかかる土石流の流体モーメント（11 kNm；2 期目から上述の溪床勾配 10°への改正のため 18 kNm）よりも大きな最大抵抗モーメントが得られ、十分な緩衝機能を有することが確認できました。

4. 成果の活用

得られた成果は、リーフレット「みえ森と緑の県民税 災害に強い森林づくり推進事業 効果検証にかかる調査・研究事業の結果」(図-7)の配布やイベント時のパネル展示などで広く県民に情報発信しています。また、事業の整備基準改正時の根拠資料としても活用されています。

おわりに

現在の2期目においても効果検証を継続し、1期目で未実施の課題に新たに取り組むとともに、継続が必要な1期目課題についても引き続き検証を行っています。新たな課題として、山腹部における調整伐後の樹木根系発達による斜面安定効果を検証するために、スギ、ヒノキの樹木根による崩壊防止力 ΔC の調査を開始しました。また、渓流部における危険木除去の効果を明らかにするため、過去の事業地の渓流部における倒流木の発生状況調査、固定試験渓流における倒流木モニタリングを実施しています。

災害に強い森林づくりに対して、これまでは主に森林の防災機能面の評価を行ってきました。当面はこれを継続する予定ですが、将来的には森林の育成面についても検討を行う必要があります。例えば、山腹部で土砂流出を抑制するには林床の光環境を改善するために立木密度を下げる必要がありますが、下げすぎると根系量が少なくなることで樹木根による崩壊防止力 ΔC が低下する危険性があり、それぞれの機能発揮に最適な立木密度が異なることが考えられます。そのため、整備森林において防災機能を高度に発揮するために最適な密度管理技術の検討が求められます。また、本事業が行われる渓流付近は生産力が高い林地でもあることから、木材生産も両立できるよう目標林型を設定し、それに対する施業方法



図-7 作成したリーフレット

を検討することも必要であると考えられます。

引用文献

- 三重県 (2020) みえ森と緑の県民税 平成30年度事業 成果報告書。
- 中武修一・山本一清・吉田夏樹・山口 温・宇野女草太 (2018) 航空機 LiDAR による単木樹種分類手法の開発. 日林誌 100: 149-157
- 島田博匡・野々田稔郎 (2017) 三重県中部地域におけるスギ・ヒノキ立木の引き倒し抵抗力. 日緑工誌 43: 138-143
- 島田博匡 (2018) 根元付近の根系が露出したヒノキ立木の引き倒し抵抗力. 日緑工誌 44: 123-126
- 島田博匡・沼本晋也・野々田稔郎 (2020) スギ・ヒノキ人工林における林床被覆と間伐木を利用した筋工が表土移動に及ぼす影響. 日緑工誌 46: 63-68
- 山本一清・梅藤幸太郎・宇野女草太・吉田夏樹・都竹正志 (2015) 早期森林資源利用診断システムの開発—林冠復元解析による LiDAR データ解析システムの構築—. 日本森林学会大会発表データベース 126: 436



見えなかったことを科学する

さいとう しょういち
 齊藤 正一 (山形大学農学部)

雪国に位置する山形大学農学部

冬期間は、北西の風雪が吹きすさぶ非常に厳しい環境の中、森林資源の育成と利用、生物多様性の保全を推進する東北地方の雪国ならではの研究を進めています。

違う世界にきました

私は、これまで山形県の研究機関に26年間在職し、森林病虫獣害の研究に携わってきました。被害状況や原因について知るためには、現場に何度も通って、被害木の計測や観察により多数のデータを集めて、傾向を統計解析して考察してきました。しかし、直接的に加害に関与する菌類や昆虫などが分かって、結果として樹木が異常になったり、枯れることが分かったと、「やれやれ」と安心します。ところが、加害する森林生物が樹木にどんな変化をもたらしていくか、途中経過は、外観上の様態や伐採して木口面からヒントを得るだけでした。「どうしてそうなったのか？」という疑問は「どの部位がどのように化学的・物理的に変化するか起こる」という説明なしには、納得しにくいものでした。それを解決する芦谷竜矢教授の研究室にお世話になりました。

匂いの化学に触れて

森林には様々な匂いが発生していて、昆虫の誘引や忌避に関わっています。該当する化学物質を合成して、昆虫の触覚の反応を利用した Electroantennographic detector (以下 EAD) で、誘引や忌避の判別を行い、物質を特定して誘引剤等を製造し、調査や防除に役立っています。

現場では、選択された物質を特定するために、EADで反応があった物質を現地のトラップに設置してターゲットとする昆虫を有意に誘引できるか調査して、誘引物質を決定します。カシノナガキクイムシの誘引剤とし



研究室の分析機器の一部

て農薬登録された集合フェロモンのケルキボロールは、この方法で製品化されました。しかし、誘引物質を決定する際に、どの立体異性体に本当の誘引作用があるのか絞り込む際は苦労しました。合成物質の純度をあげると製造費用が多額になるため、混合物でも期待した誘引効果が得られる場合は、これを誘引物質として決定します。実用化を目指す場合は、経費計算も優先されるので、現場での検証が大切でした。現在所属する芦谷研究室は、誘引物質の揮散量を定量することも可能です。誘引効果を数値で比較検討することで、「どうして効く、効かない」が説明できるようになったので、納得づくの仕事ができます。

展開していきたい樹木類の抽出成分の利用

芦谷教授は、枝・葉等から抽出成分を得て、消臭・防虫をはじめとする多用途な利用を目指した研究をしています。これまで利用されてこなかった林床の低木類に付加価値が付き、人間生活にいろいろと利用されていくチャンスが到来しています。森林から得る匂いの科学を進展させ、より健全な人間社会に役立てていくお手伝いのできたらと思っています。



新しい「林業」の挑戦

ふるさわ ゆうじ
古澤 祐史 (マルカ林業株式会社)

私が勤務しているマルカ林業株式会社は和歌山県有田郡有田川町にあり、町内を中心に約2,500 haの山林を経営管理しています。急峻な紀伊半島の奥地にありながら全体の半分が人工林で、80年生以上の山林も多く、そこから「紀州材」と呼ばれる強度があり色味の美しいスギ・ヒノキ材を産出しています。年間約5,000 m³の原木丸太を生産していますが、その多くがワイヤーロープを使って木材を運ぶ架線集材による皆伐で、急傾斜地でも効率の良い集材方法を採用しています。対して傾斜の緩やかな林地では作業道を開設して間伐を行い、価値の高い森林の育成を行っています。

年間の皆伐面積は5～10 haになるため、伐採後の森林再生が非常に重要です。伐採跡地には主にスギ・ヒノキを植林していますが、増えすぎたシカによる苗木の食害が大きな問題となっていました。そこで平成28年からわな猟によるシカの駆除に取り組み、今では社員全員が狩猟免許を取得し対策に当たっています。昨年度は55頭を捕獲、苗木の被害も目に見えて減っており、将来は防獣ネットをなくすことを目標にしています。平成25年には苗木の自社生産も始めました。植林に使う苗木は年間約25,000本。以前は全て外部から購入していましたが、現在は約10,000本を自社で生産しており、将来は全て自給することを目指しています。

近年は積木やフォトフレーム、樹齢100年をこえるスギの端材から作る割り箸など、紀州材の魅力を伝える製品も作っています。カシなど広葉樹を利用した備長炭の製造にも挑戦し、昨年には伝統的な備長炭窯を完成させました。また林内に自生するカエデ類からのメープルシロップ生産も試行中で、将来はカエデの森を天然更新

で育成しようと目論んでいます。いずれもこれまで有効に使われてこなかったものを原料に、地域色のある製品を作ることを主眼としています。その理由は森林資源の有効利用のためだけでなく、物語のある製品を世に送り出すことで、一般の消費者に地域の森林に興味を持ってもらいたい、森林・林業をもっと知ってほしいと思うからです。そんな思いから、近年は森林環境教育にも力を入れるようになり、和歌山市内の小学生を受け入れ、森林散策や間伐体験などのプログラムを提供しています(写真)。さらに、子どもたちに木材とふれあう機会を提供する「木育」にも取り組み、平成29年度からは「木の国わかやま木育キャラバン」の実行委員として木工のワークショップを開いています。

このように私たちは、これまでの林業の形にとらわれず様々なことに挑戦し試行しています。それは、木を育てて収穫するばかりでなく、森林が持つ多様な機能と価値を引き出し、持続的に利用したいとの思いがあるからです。そしてこの思いを、自社や林業関係者だけにとどまらず、一般の人たちまで広げることで、林業と林業を取り巻く社会の活性化に貢献することが私たちの責務であると考えています。



クローラクレーン

にかいどう たるう
二階堂 太郎

(国立科学博物館 筑波実験植物園)

著者プロフィール
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」に入社。後藤雄行氏に師事。
現在は筑波実験植物園の技能補佐員。屋外と園場
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

高い樹の剪定や伐採のとき、私は作業を行う樹上を数日前から何度も眺めます。どうやってそこへ行き、どのように作業しようかと思案を繰り返すのです。特に悩むのは、高所作業車を入れられない温室内や樹林地に育つ、登ったら倒れる可能性がある樹。この難題にどれだけ苦労してきた事でしょうか。解決方法はというと、体に過剰な負担を伴う根性頼みな手段ばかり。しかし、ついに4年前、私を助けてくれる重機を導入しました。2本のクローラ（キャタピラ）で移動する機体幅60cm、高さ1.3m、長さ2.7mのクローラクレーンです。

この重機はその細長い形で狭い所へ入れますが、重心が不安定なので、クレーンの使用前に変形させます。機体前後の両脇に長い脚が畳んで収納されており、それらを四方へ伸ばすと、アメンボが水面に脚を張るがごとく地面へ張り付く仕組みです。しかし、そのように脚を設置したくても、温室内などは園路がクネクネしている上に植物だらけなので、良い足場がそうありません。事前に作業内容を何度も練り、平行してそれらを可能とする機体の設置場所と搬入経路を探します。樹上作業は1時間でも、準備に数時間かかることは当たり前。しかし、高所作業とは、その作業する高さへの到達とワークスペースの確保が肝なので、これらの準備こそ頑張るべき所です。

さて、安全に関する重要な話です。クローラクレーンはフックで重量物を吊り上げる機械であり、人の運搬はクレーン等安全規則で禁止されています。但し、その方法以外に人の安全を確保できない場合は、クレーンに搭乗設備を設ける事で運用が認められています。それで当園では、高所作業車を使用できない場所にて、特注の Gondola を取り付けて乗っている次第です。落下防止には、墜落に高い安全性があるツリークライミング用のハーネスを装着します。そこには、ツリークライミングへの移行が可能と言う利点もあります。例えば、樹の一番上から幹を一定の長さで切る伐採作業では、Gondola で目いっぱい上り、そこからツリークライミングでさらに登

るのです。そして、小さい手持ちチェーンソーで枝や細い幹を切り下ろし、Gondola に戻って大きいチェーンソーで太い幹を切ると言った次第です。ロープで地面から樹上へ登るのとは比較にならないほど楽で、大きいチェーンソーの使用は足場を確保して行えます。では、この方法を他者へ勧めるかと言うと、凄く悩みます。なぜなら、便利=安全ではないからです。

重機は、その使用目的の安全だけを確保するように作られているので、クローラクレーンの安全性能の中に、人の搭乗は全く入っていません。また、高所での剪定や伐採は極めて危険な作業であり、Gondola に乗れば安全になるわけでもありません。ところが、この重機は人を容易に高所へ運び、その先には危険が無いかのように感じさせます。大きな便利は時に大きな危険を伴いますが、クレーンの先に乗って行う樹木高所作業はその典型であり、「危険」を意識せず作業したなら、事故は人災として起きかねません。安全な使用を考えると、重機がなくてもやり遂げた経験や技術をどれだけ持っているかが重要だと私は思います。自身の安全確保を重機に依存しない為には、それらが不可欠だからです。今回のコラム、樹木高所作業の紹介と同時に、クローラクレーンへ何かと頼りがちになっている私への戒めを含めました。私は樹上をもっと凝視し、他の手段がないか悩み続けなければいけません。その諦めない繰り返しの先に、不測の態から自分を守る知恵や機転があるのですから。



クローラクレーン



ブックス

森林利用学

吉岡拓如・酒井秀夫・岩岡正博・松本武・山田容三・鈴木保志 著、丸善出版、2020年3月、256ページ、価格4,400円（税別）、ISBN:978-4-621-30500-3

森林利用学という用語はドイツ・ミュンヘン大学のガイヤー(K.GAYER)の著書である“Die Forstbenutzung (1863)”の直訳です。わが国の森林利用学はガイヤーの著書を参考として構成され、「林産物の性質用途及び其の最も有利なる供給法を考究する」学問としてスタートしました。よって、当初の森林利用学は林産物の性質・用途の解明といった林産学の一部を包含していましたが、林産学はその後分離独立しました。森林利用学は、森林の諸機能を如何に人間に役立つようにするか、という技術と学問です。これまで木材収穫を中心としながら研究が展開されてきたところですが、伐採後の造林や育林等、山づくりに関する技術的課題についても研究が図られています。さらに近年では地球温暖化防止に寄与する木質バイオマス利活用、情報通信技術を活用した森林作業・木材供給システムの構築等、研究展開の幅が広がってきています。

わが国における森林利用学は、林道の設計・施工技術に関する領域(森林土工学)、森林作業に用いられる機械に関する領域(森林機械学)、伐出作業計画・技術に関する領域(森林作業学)の3領域を包括した学問としてとらえることができます。森林利用学に関する教科書として、これまで「林業土工学」(上飯坂実ら1974)、「林業機械学」(大河原昭二編1991)、「森林作業システム学」(上飯坂実・神崎康一編1990)等の名著が刊行されてきましたが、これらは森林利用学を構成する領域の専門的な知識を取り扱うものであり、

森林利用学の学問領域を包括した体系立った教科書が望まれているところでした。今回発刊された本書はこの3つの領域を体系立てて構成されたものであり、主に大学での専門教育の講義使用を想定して15章から構成されています。各章のタイトルは、「第1章：森林利用学序論」、「第2章：森林利用学の歴史」、「第3章：森林作業」、「第4章：林業機械1」、「第5章：林業機械2」、「第6章：森林作業の生産性とコスト」、「第7章：森林作業の安全」、「第8章：労働科学」、「第9章：森林作業と路網とのつながり」、「第10章：路網計画」、「第11章：林道の構造」、「第12章：林道の設計」、「第13章：林道の施工・維持管理」、「第14章：バイオマス総論」、「第15章：バイオマス各論」です。

第1章では森林利用学に関する定義、これまで森林利用学の中心的研究対象となってきた木材収穫に関する概説、近年における新しい課題としてのバイオマスの特徴や基礎知識が概説されています。第2章では森林利用学の学問としての由来と伐出技術の発展過程について概説されていますが、「2.1 森林利用学の名称」の項目については森林利用学の導入・展開の歴史が詳細に説明されています。林道の設計・施工技術に関する領域は第9章～第13章、森林作業に用いられる機械に関する領域は第4章～第5章、伐出作業計画・技術に関する領域は第3章、第6章～第8章、第14章～第15章が該当します。各領域の執筆分量を比較すると、これまでの教科書ではあまり取り上げられなかった安全管理や労働科学、新たな課題としてのバイオマス関連を伐出作業計画・技術に関する領域に区分していますので、ここの部分の分量が多いところですが、林道の設計・施工技術に関する領域の分量も多く、執筆にあたって力が入っているように感じました。森林内道路についてはこれまでは林道の構造等を中心とする紹介・説明が多くみら

れたところですが、本書では森林作業とのつながりを意識しつつ、実際の施工例を取り入れて説明されています。また、全体として説明が丁寧であり、数式の展開等、読者にとっては理解しやすい書籍と言えます。本書は大学の授業を想定して執筆されているところですが、公務員試験や林業指導普及員資格試験対策、各種研修用教材としても利用できる書籍です。

今富裕樹(東京農業大学)

SDGs時代の森林管理の 理念と技術

山田容三 著、昭和堂、2020年05月15日、209ページ、価格3,080円(税込)、ISBN: 9784812219218



「哲学なき森林政策に終止符を！森林管理の4つの視点と3つのポイントを提案。100～200年の計をもって、森林を持続的に管理するための理念から技術面までを体系的にまとめる。」このキャッチ・コピーで手にし、読み込んだのが2009年に刊行された前書であった。その前書のイントロに利用された新聞情報などの更新が気になっていたが、本書が改訂版として刊行された。「科学は分析、解析を追求するが、絵画と同じく、森林を対象とする科学には統合が必要である」と、森林美学を集大成された今田敬一氏は述べている。森林管理は国家百年の計であり、知見統合のための指針を模索していた私には、前著が灯台のごとく輝いていた。

本書は2部構成として、第I部森林管理の理念(5章から構成:経済性の破綻、日本人の自然思想、環境倫理学、その新たな流れ、理念への問いかけ)と第II部森林管理の技術(6章から構成、森林のゾーニング、人工林の見直し、真の生産性への希求、魅力ある林業へ、担い手育成、そして、私たちの自由と責任)とに分けられている。表題枕言葉のSDGs(持続可能な開発目標:2015年、国連の提案)は、言うまでもなく森林管理の基本であり、第5、11章にSDGsの進め方、解説・指針が示されている。どのような時代になっても、我々には護るべき国土と森林がある。その考えを磨いたのが本書と言える。私は、本を前・後書き、コラム、そして本文の順で読むが、著者による4つのコラムがあって、それらに本書の本質が記されている、と思う。

森林利用学系の著作の書評を造林系が書くにあたり、自らの経験を述べたい。著者の山田氏の指導教員・佐々木功先生に私も教わったが、特に森林教育への取り組みの姿勢を学んだ。土曜の「2校時に間に合うように出張先から駆けつけた」と言う言葉が耳に残る。職場でも「森への働きかけ」を重視した林業工学を担当された湊克之先生は、片道4時間かけて280kmを移動して講義を担当されたが、その姿勢に感銘を受けた。そして、担当することになった

森林美学講義中の林道整備を講じる準備に際し、上飯坂實先生の景観生態学を踏まえた「森林利用学序説」の前半に、すっかり魅了された。多くの森林科学系の学部生は、自らも含め林業工学の名称に、極めて数理解・工学的な印象をもつ。林間モノレールの加重の数理解析など、院の同期が取り組んでいたが、その表層だけを見ていたと、2009年の改訂版の本書を手にし、今、感じる。

どの章も説得力があるが、かつて私も同僚であった鬼頭秀一氏の「自然保護を問い直す」の影響を感じた。その考え方「切り身と生身の自然」を具体的な森林管理の指針として紹介したのが、第I部の第4、5章である。第II部の第8章、「真の生産性」の定義は、“林道は木材を搬出するための道ではあるが、実は持続的な森林経営を行う「森への働きかけ」のために、(安全に)人を森林へ運ぶための道でもある”、という北海道森林管理局の先輩の言葉を思い出す。第10章のコラムのタイトル「1に安全、2に環境、3に生産性」は、本書の意義を明確に示している。前書より強調された内容は、第10章のいわば森林教育にある。結局、人工林の保育に関連して「人工物を作るからには、手入りが前提である」と指摘された太田猛彦先生の言葉に帰結される。前後するが、AI(人工知能)やICT(通信情報技術)などの先端技術の紹介は第9章にある。

CLT(直交繊維板)の登場と難燃化技術の高度化は、木材の新たな用途を生み出したが、一方で、樽材などを除くと各地で生まれた生産体系は、今後、どのくらい意味を持つかわらなくなった。ただ、機械化の3段階へ向かうなら、傾斜地が多く、チェーンソー利用の我が国は第1段階であり、平地林でのCTL(ハーベスタとフォワーダの組み合わせ)が一般的になった第2段階の欧米とは、同じというわけには行かないと思う。

なお、全体を通じて気になる記述は第2章にある。自然保護関係の方との議論を避けてきた私には(言訳;樹林地保全と環境影響解析で札幌市の公園関係の方、弟子屈町の役場の方と関わった程度)、発言の資格はないかも知れない。しかし、ディープ・エコロジーとシャロー・エコロジーに関連して、日本では理解されにくいと思われるウィルダネスの解説、そして、混乱の原因と思われる「天然林」と行政用語の「天然生林」の解説も欲しかった。

全国的に森林と名の付く学科やコースが、改組の度に失われる。副題の「森林と人間の共生の道へ」が根底にあることが理解されるためにも、新入生など広く専門家以外にもぜひ本書を読んでいただけるように切望する。もちろん、講義のテキストとしても、そのまま利用できる。

小池孝良(北海道大学)

特集

森林の放射能汚染のゆくえ—原発事故から10年—(仮)

森林科学 91 は 2021 年 2 月発行予定です。ご期待ください。

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

- ・日本森林学会サイト内の森林科学のページ <https://www.forestry.jp/publish/ForSci/> 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。

森林科学編集委員会

- 委員長 松本 麻子（森林総研）
委員 長倉 淳子*（土壌/森林総研）
坂下 渉*（土壌/森林総研）
岡 輝樹（動物/森林総研）
飯田 真一（防災/森林総研）
江口 則和（保護/人間環境大学）
佐藤 顕信（経営/日本森林技術協会）
今村 直広（土壌/森林総研）
田中 亘（林政/森林総研）
花岡 創（育種/森林総研）
田中 恵（土壌・造林/東京農大）
板谷 明美（利用/三重大）
田中 憲蔵（造林/森林総研）
大橋 伸太（木材/森林総研）
當山 啓介（林業遺産/東京大）
宮本 敏澄（北海道地区/北海道大）
吉村 謙一（東北地区/山形大）
逢沢 峰昭（関東地区/宇都宮大）
大洞 智宏（中部地区/岐阜県森林研）
長谷川尚史（関西地区/京都大）
榎木 勉（九州地区/九州大）
（*は主事兼務）

編集後記

本号で「森林科学」がリニューアルされました。待望の「全ページカラー化」です。今まで白黒だったシリーズ物やコラムがカラー化されるのは、読み手・書き手としてはもちろん、編集委員としても本当に嬉しいことです。これからはもう執筆依頼の際に「カラーではなく、白黒になります」と申し添える必要もなければ、白黒と聞いて明らかに執筆モチベーションの下がった著者をあの手この手で奮い立たせる必要もないのです。また、提出していただいた大変美しいカラー写真が、何だかよくわからない白黒写真に変換されるという凄惨な工程もなくなります。あれは本当に MOTTAINAI でした。これで多くの方が幸せになると確信しております。しかし一方で、色覚多様性に配慮するためには、引き続き色に頼らないデザインを心がける必要があるということをお忘れはいけません。カラーユニバーサルデザインの強化・ガイドライン化は、今後取り組むべき重要な課題でしょう。

今回のリニューアルでは「内容の平易化」も行われました。本誌は学会の広報誌という位置付けですが、「まるで論文集を読んでいるよう」と揶揄されるくらい小難しい記事が多かったのが実情で、広報誌としてはやはり「森林科

学に興味のある一般の方・大学生・高校生にも読んでもらえるもの」であるべきと見直されたためです。形式面では「1 ページあたりの行数の削減」「引用文献の削減」「写真・図の拡充」「です・ます調への統一」が実施され、内容面ではこれまで以上に「用語説明の拡充」「内容の噛み砕き」「専門的過ぎる内容の割愛」などが徹底されました。その甲斐ありまして、少なくとも「専門外の研究者が気軽に読めるレベル」はクリアできたのではないかと思います。一方、「森林科学に興味のある一般の方・大学生・高校生にも読んでもらえるレベル」になったかどうかは、実際に読者の方々のご意見・ご感想を伺うほかありません。正直なところ、そのレベルに達するのはなかなか難しいことだと感じますので、皆様のフィードバックを受けて修正していく必要があると思います。今回のリニューアルで本誌の雰囲気さがらりと変わりましたので、今後は書き手の意識も大きく変わってくるはずで、そうすれば良い循環が生まれ、号を重ねるごとにわかりやすい内容になっていくと期待しております。

（編集委員 大橋伸太）

すぐれた効果

豊富なデータの裏付けで
薬剤持続期間7年を実現。

高い安全性

人体および水産動植物への
高い安全性。

充実の フォローアップ

薬剤濃度検査
サービスの実施。

培った技術力

蓄積したノウハウで最適な
アドバイスをを行います。

信頼のブランド

1982年の発売以来、
永きにわたり、全国の松を
守っております。



松枯れ防止樹幹注入剤

グリーンガード®・NEO

農林水産省登録 第22028号

マツノマダラカミキリの
後食防止剤

マツグリーン®液剤

農林水産省登録第20330号

普通物
マツグリーン®液剤2

農林水産省登録第20838号

- ① マツノマダラカミキリ成虫に低薬量で長期間優れた効果。
- ② 樹木害虫にも優れた効果を発揮。
- ③ 新枝への浸透性に優れ、効果が安定。
- ④ 車の塗装や、墓石の変色・汚染がほとんどない。
- ⑤ 環境への影響が少ない。
- ⑥ 周辺作物に薬害の心配がほとんどない。

剪定・整枝後の
傷口ゆ合促進用塗布剤

トップジンM® ペースト

農林水産省登録第13411号

作物名	適用病害名・使用目的
樹木類	切り口及び傷口のゆ合促進
きり	腐らん病
さくら	てんぐ巣病
ぶな(伐倒木)	クワイカビ類による木材腐朽



株式会社 ニッソーグリーン

www.ns-green.com

「林業遺産」 選定事業について

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

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

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

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

詳細情報については、学会ウェブサイト「林業遺産」をご参照下さい。

<http://www.forestry.jp/activity/forestrylegacy/>



林業遺産
ロゴマーク



日本森林学会

The Japanese Forest Society Since 1914

