



道総研

光珠内季報

・積雪地におけるエゾシカ侵入防止柵の設置と仕様の変更

南野一博 …………… 1

ミヤママタタビ (雄株)

・地下水が育む冷水性魚類の生息環境
：気候変動下でのClimate-change refugiaの重要性

サルナシ (雄株)

石山信雄・長坂有・長坂晶子 …………… 7

・クリーンラーチでのならたけ病と被害の見分け方

和田尚之 …………… 13

ベニイタヤ

・道南支場 (函館市) における産地別ブナの開葉状況

清水 一 …………… 18

サルナシ (雌株)

地方独立行政法人

北海道立総合研究機構

森林研究本部 林業試験場

NO. 209

2023. 12

イタヤカエデ

積雪地におけるエゾシカ侵入防止柵の設置と仕様の変更

南野一博

令和5年3月に森林環境保全整備事業における侵入防止柵の設置に係る仕様に変更されました。本報ではそれに関連する受託研究の成果や仕様の変更点について紹介します。

地下水が育む冷水性魚類の生息環境 ：気候変動下での Climate-change refugia の重要性

石山信雄・長坂有・長坂晶子

流域地質（流域内に占める火成岩の割合）が北海道の山地河川において冷水性種の好適な生息地を把握・予測するのに有効な指標であることを紹介します。また、その知見がどのように温暖化適応策に活かせるかについても河川ネットワークの保全・再生に着目して報告しています。

クリーンラーチでのならたけ病と被害の見分け方

和田尚之

クリーンラーチの適地植栽を進めるため、ならたけ病被害状況をカラマツと比較したところ、クリーンラーチのほうがならたけ病のリスクが高いことがわかりました。ならたけ病の被害を適切に把握できるようにならたけ病の特徴を解説しました。

道南支場（函館市）における産地別ブナの開葉状況

清水 一

函館市にある林業試験場道南支場に植栽して25年経過した産地別のブナ見本林の開葉状態を調査しました。開葉が早いのは東北、北海道産で、次いで長野産、富山産、鳥取産で、これより遅いのは岐阜産で、最も遅いのは愛媛産でした。また、産地別開葉の遅速は、3年生の苗木時代と植栽後25年経過した成木で順番に変化はありませんでした。

積雪地におけるエゾシカ侵入防止柵の設置と仕様の変更

南野一博

はじめに

明治時代に乱獲と2度の豪雪により絶滅寸前にまで減少したエゾシカですが、個体数は徐々に回復し、1980年代頃までは積雪の少ない道東地域を中心に生息していました。その後、生息数の増加とともに分布域も拡大していき、2000年代前半には積雪の多い空知地方でも越冬していることが確認されるようになりました。そして現在では、道南地域を含む北海道全域に生息するようになり、積雪の寡多にかかわらず、多くの造林地でエゾシカによる被害への対策が必要になってきました。

エゾシカの食害から造林地を守る有効な対策の一つとして侵入防止柵があります。

北海道では平成22年度より森林環境保全整備事業の付帯施設等設備における鳥獣害防止施設として侵入防止柵が追加されると、各地で設置されるようになりました。ここで言う侵入防止柵とは、道東地域の農地や道路脇でよく見かける農業被害や交通事故防止を目的に設置されている金網フェンスではなく、ポリエチレン製の獣害防止ネットを用いた柵のことで、造林地の周囲を囲いエゾシカの侵入を防ぐ設備のことです

(写真-1)。侵入防止柵のネットは2.5m以上の高さで設置されており、エゾシカが簡単に飛び越えることはできません。しかし、ネットと地面に隙間があったり、柵が壊れる

などして“通り道”ができてしまうと、柵の中に侵入されてしまい防護効果を十分に期待することができません。平成25年度に北海道水産林務部森林整備課が侵入防止柵の破損状況を調査したところ、平成22年度～平成24年度に設置された侵入防止柵（総延長242km）のうち、51%に破損が確認されました。破損原因の内訳は、シカが絡まるなどの動物的要因は4%にすぎず、自然要因が96%を占めていました。自然要因のうち積雪による被害が大半を占めており、多雪地域に設置した柵に破損が多いことがわかりました。エゾシカの分布が拡大し積雪の多い地域にまで侵入防止柵が設置されるようになったことで、このような柵の破損が増えたと考えられます。

そのため道総研林業試験場では、ネット製造業者であるナカダ産業株式会社からの受託研究「獣害防止ネットの耐積雪性に関する研究」(H27～R1)を実施し、積雪で破損しにくい侵入防止柵について検討してきました。その成果を踏まえ、令和5年3月には北海道水産林務部森林整備課が侵入防止柵の設置に係る仕様の見直しを行いました。受託研究の成果の詳細については、雲野ほか(2021)で紹介されていますので、ここでは受託研究のなかで仕様の変更に繋がった部分を中心にその経緯や変更点について解説します。

積雪による侵入防止柵の破損

一般に降り積もった雪は、雪自体の重さによって沈降し、下層の積雪は徐々に圧密され固くしまつて



写真-1 造林地に設置されたエゾシカ侵入防止柵
(美唄市東明)

いきます。積雪地に設置した侵入防止柵は、冬季間、柵の一部あるいはすべてが積雪に埋没しますが、雪に埋まった部分のネットは積雪とともに鉛直下方向に沈降し、圧密された雪の中に閉じ込められてしまいます。その後、降雪と沈降が繰り返されることでネットはさらに下方に引っ張られ、あるときその荷重に耐えられなくなり、破損が生じると考えられます。では実際にどのような被害が発生するのでしょうか？

侵入防止柵は、獣害防止ネットの上下にポリエチレン製のロープを通し込み、ステーブルと呼ばれるコの字形の金具で支柱に固定し張っています。これまでの仕様では、上下のロープに加えネットの中間部の2カ所をステーブルで支柱に固定することになっていました。

写真-2は試験1年目の2016年1月9日に撮影された柵の様子です。積雪深は86cmでネット（高さ2.5m）の大部分は積雪上にありますが、積雪の沈降により埋没したネットが下方に引っ張られ、それによりロープが伸びてたわんでいます。ネットには強い張力がかかっており、ネットを持ち上げても引き抜くことができませんでした。そして1ヶ月後の2月8日になると、ロープを支柱側面で固定していたステーブルが抜け落ちてロープが外れ、多くの区間でネットが落下していました（写真-3）。



写真-2 積雪によりロープがたわんだ状態の侵入防止柵（2016年1月9日）



写真-3 ステーブルの脱落によりネットが落下した侵入防止柵（2016年2月8日）

ネットが落下してしまうと侵入防止柵の機能が失われてしまうため、落下防止対策を講じる必要があります。ステーブルが抜け落ちないようにロープを側面2カ所で固定する方法や、針足長の長いステーブルを用いることを検討しましたが、いずれも効果が薄く、木口面にロープを固定(写真-4 左)することでステーブルの脱落(ネットの落下)を防止できることがわかりました。



写真-4 木口面で固定したロープ(左)とネット固定部分(右)で発生したネットの破網

しかし、これで一件落着とはなりません。ステーブルを木口面に打ち込んだ場合、その付近の網糸が破断する被害が多く発生したのです(写真-4 左)。また、網糸の破断は支柱とネットを固定するステーブル付近にも発生しました(写真-4 右)。このような被害は、ネットが下方に引っ張られることで一部の網糸に荷重が集中し発生すると考えられました。これらの解決策として、委託元のナカダ産業株式会社が提案したのが、網糸に強度の優れた超高分子量ポリエチレン繊維を用いることでした。超高分子量ポリエチレン繊維は、通常のポリエチレンと比べて強度に優れ、耐摩耗性や耐疲労性、耐光性、耐衝撃性、耐薬品性などに優れた素材であり、釣り糸や船舶係留ロープ、防護手袋などに使用されています。唯一の問題点は、非常に高価な素材であることです。そのため、破網が多く発生する上部1mのみ超高分子量ポリエチレン繊維を使用したネット(以下、新開発ネット)を製作し、その効果を検証しました。

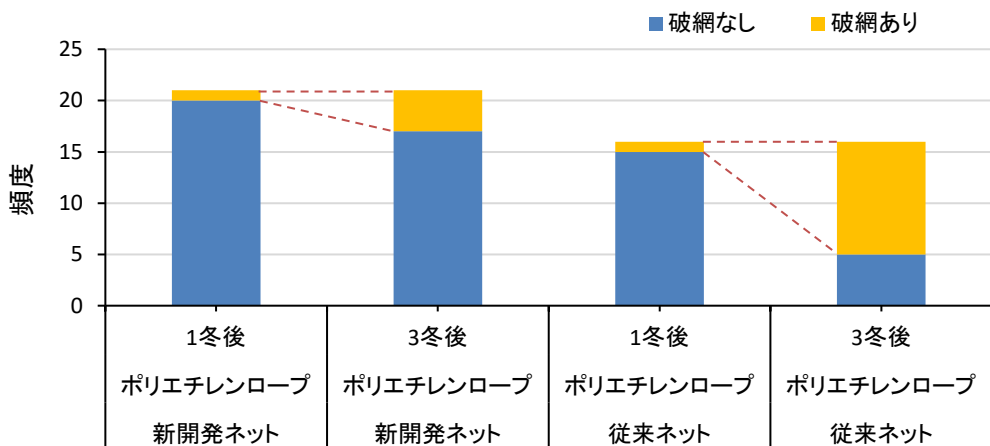


図-1 1冬及び3冬経過後における吊りロープ固定部のネットの破網数の変化(石狩厚田) 雲野ほか(2021)を改変

新開発ネットの引張強さは、3,500~4,000N 程度あり、通常のポリエチレン製の網糸を使用したネット（以下、従来ネット：1,200~2,000N）の約2倍の強度がありました。この新開発ネットと従来ネットについて3冬経過後の破網数を比較すると、新開発ネットは従来ネットよりも支柱付近のネットの破網数が少なく健全な状態を保っていました（図-1）。残念ながら新開発ネットであってもネットの破網を完全に防ぐことは出来ませんでした。破網による穴は従来ネットよりも小さく、3冬経っても穴が拡大しづらいことがわかりました。支柱上部の損傷（写真-4左）は、地上高2.5mほどの位置にあるためネットの落下とは異なり、そこからエゾシカに侵入されることはないと考えられます。とは言え、ネットの破網を確認したときには余った網糸を利用して穴を補修しておく必要があります。

積雪とネットの破網について

ネットの破網はどのくらいの積雪で発生するのでしょうか？受託研究を行った2016年度～2019年度の試験地3地点における最大積雪深とネット（従来ネット及び新開発ネット）の破網との関係を見ると、最大積雪深が52cm～86cmのときには破網が生じませんでした。124cm以上ではネットの破網や落下が観察されました（図-2）。

ネットに掛かる積雪荷重には、積雪の沈降による沈降荷重だけでなく、傾斜地では重力によって積雪が変形する「クリープ」や、積雪全体が斜面下方向へ移動する「グライド」と呼ばれる移動荷重も加わります。そのため、積雪深や地形だけでなく、降雪量や気温、積雪パターンなどの影響を受けると考えられ、どのようなときに破網するかを予測することは難しいのですが、試験地の状況から最大積雪深が100cmを超えるような地域ではネットの破網が生じやすくなると判断しました。

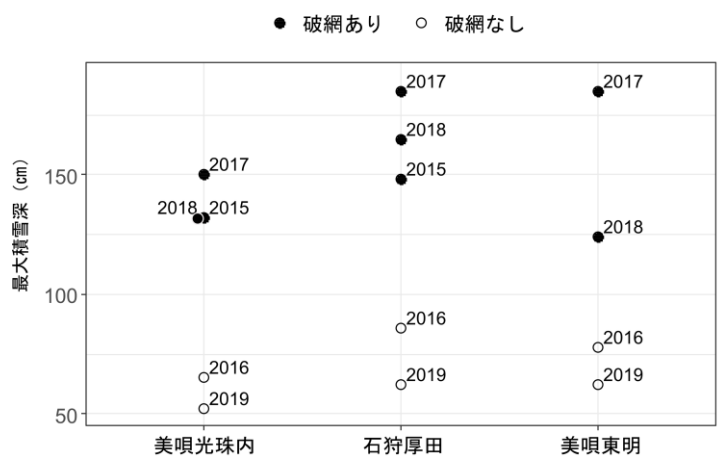


図-2 最大積雪深とネットの破網の関係

数字は年度を示す

ネットには従来ネット及び新開発ネットの両方が含まれる

雲野ほか（2021）より転載

仕様の変更

以上のような受託研究の結果を受けて、令和5年3月に森林環境保全整備事業における侵入防止柵の設置に係る仕様に変更されました。今回の改正における大きな変更点は「多雪区域型」と「標準型」に区分されたことです（図-3）。「多雪区域型」は、特定行政庁が定める「垂直積雪量」が100cm以上の区域で適用され、空知、後志、上川、留萌、宗谷、オホーツク管内では、すべての市町村がこれに該当します。「多雪区域型」の対象地域では、上部50cm程度が黒色の超高分子量ポリエチレン繊維（含有繊維度10,560dtex以上）を含むネットとするとともに、その部分は動物によって網糸が噛み切られる心配はないことからステンレス線を織り込まなくてもよいことになりました。一方の「標準型」では、基本的にこれまでの仕様と大きな変化はありませんが、使用する網糸の引張強さが1,200N以上とすることが明記されました。また、これまではネットを支柱の中間部2カ所で固定する必要がありましたが、それによりネットの破網が発生することや、固定しなくても大きな問題がなかったことから、ネットの固定は不要となりました。

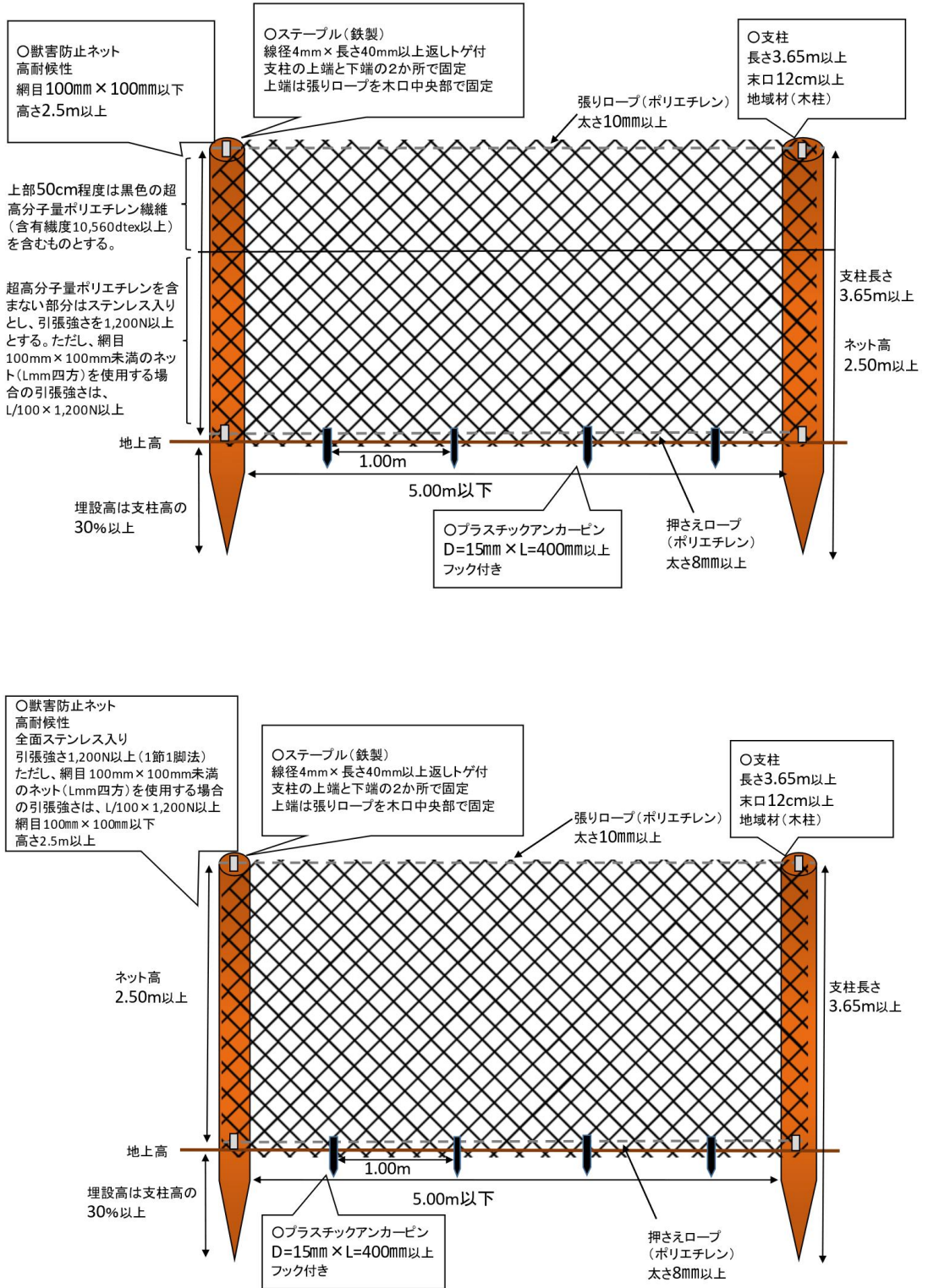


図-3 侵入防止柵基本図(多雪地域型:上 標準型:下)

北海道森林整備課「森林環境保全整備事業等の付帯施設等整備における鳥獣害防止施設等整備の実施について」を一部改変

最後に

北海道エゾシカ管理計画（第6期）では全道を4地域に区分し、個体数管理や被害対策等が行われていますが、令和4年度は依然すべての地域でエゾシカの増加傾向が継続している一方、捕獲数は頭打ちとなっており被害が減少する見込みは立っていません。そのため、今後もエゾシカによる森林被害が発生することを前提に、造林事業を行なっていく必要があります。侵入防止柵は忌避剤などに比べて初期投資は高くなりますが、特にエゾシカが多く高い採食圧が継続しているような地域や、広葉樹などエゾシカの好む樹種の植栽を検討している場合には、有効な防護対策になると考えられます。

今回、侵入防止柵の仕様が改正され、積雪に対応した「多雪地域型」の仕様が加わりました。これにより多雪地域におけるネットの落下や破網被害の軽減が期待できますが、積雪による破損が完全に抑えられるわけではありません。雪が解けた春先には、積雪による破損がないかを見回るとともに、ネットと地面に隙間がないかや、造林地内にエゾシカが侵入していないかを定期的に確認することで侵入防止柵の効果が保たれ、エゾシカによる被害を確実に防ぐことができます。

（保護種苗部保護グループ）

参考文献

雲野明，南野一博，南野一博，石川祐介，明石信廣（2021）多雪地における獣害防止ネットの破損とその対策. 北海道林業試験場研究報告 58: 9-17

地下水が育む冷水性魚類の生息環境

: 気候変動下での Climate-change refugia の重要性

石山信雄・長坂有・長坂晶子

Climate-change refugia とは？

地球温暖化の進行は、他の生態系同様に河川生態系の主要な脅威の一つとされています (Thomas et al. 2004)。現在、温暖化による世界の平均気温上昇を1.5℃以内に抑止すべく様々な緩和策が世界規模で取られていますが、今後10年以内にその目標値を超えるとする予想もあります (Matthews et al. 2022)。こうした状況の中、私たちは、サケ科魚類やハナカジカといった冷水性魚類の保全を目的としてその主な生息地である山地河川において「Climate-change refugia」の特定に関する研究を行ってきました。このClimate-change refugia (以下、Refugia) とは、気候変動による大気候の影響を受けづらく生物の生息にとって好適な環境条件が維持される避難場を指します (Morelli et al. 2016)。河川生態系でいえば、気温上昇が予測される将来においても他の場所より水温が低く維持され、冷水性魚類の生息地として持続しうる場所が該当します。

流域地質と地下水流出の関係

私たちはRefugiaの特徴を把握する上で流域内に広がる「地質」に着目しました。日本では以前から河川流量の特徴と流域地質との関係性の解明が試みられてきており、例えば、日本列島の複数の山地河川を解析した虫明ら (1981) は、流域内で火成岩が優占する河川では湧水流量が多く年最大流量が少ない、すなわち流量の年変動 (もしくは年較差) が少ないことを報告しています。この流量の安定性の高さを生む要因として指摘されているのが「地下水貯留能の高さ」です。特に、第四紀の噴出岩・溶岩あるいは火成砕屑物は亀裂や空隙に富んでいるため、結果として豊富な地下水を涵養できるのだらうと考えられてきました。北海道内でも羊蹄山や大雪山系等、山麓で湧き水を汲める場所がありますが、実際に湧き水を触った方はわかるように、とても冷たく感じるはずです。私たちは、この地質 (火成岩) と地下水湧出の関係性が、先行研究で行われてきた河川流量の特性把握だけでなく、温暖化下での冷涼なRefugiaの特定・予測にも応用できると考え、研究を進めることにしました。尚、本稿で「火成岩」とは、マグマが地上近くまたは地下深くで冷え固まってできた岩石を指し、地質調査総合センターが公開している「シームレス地質図」を参照に分類を行っています。

地質と気候によって形成される河川水温の時空間的な異質性

流域地質が1年の内で最も暑い夏 (7-8月) の河川水温に与える影響を明らかにするため、私たちは本州中部地方から北海道まで計140の山地河川に気温および水温ロガーを設置し、その変動を1時間間隔で記録しました。時に出水攪乱で河川地形が大きく変化する山地河川での観測は大変苦勞が多く (図-1)、データ回収率が50%を下回る時もありましたが、最長5年にわたる観測により解析に十分なデータ数を無事に取得することができました。

気候、流域地質、河川地形、土地利用など複数の環境要因を用いて夏季平均水温を予測するモデルを作成した結果、流域地質 (流域面積の内、火成岩が占める割合) の夏季平均水温に与える影響度は夏季平均気温に次いで2番目に大きいことがわかりました。私たちが予想した通り、火成岩が涵養する豊富で冷涼な地下水の影響は河川流量のみならず水温にも及んでおり、流域内

で火成岩が占める割合が増える程、夏季平均水温は低くなることが示されたのです（図-2）。さらに、その影響度は全国一律ではないということもわかりました。図-2 (a) は降水量毎に、図-2 (b) は気温毎に、火成岩割合と夏季平均水温の関係を示しており、線の傾きが急な程、流域地質が夏季平均水温に与える影響が強いことがわかります。特に各図の青い実線が示すように、夏季降水量が少ない、または気温が低い地域ほど、火成岩割合と夏季平均水温間の関係は強くなっていました。つまり、観測した地域の中でも夏季降水量が少なく気温が低い北海道は特に火成岩による冷却効果が高いこととなります。具体的には、北海道での火成岩河川（流域内で火成岩が50%以上を占める河川）とその他の河川での夏季平均水温の差は最大約3℃にまで達することもわかりました。



図-1 令和元年東日本台風前後の調査河川（群馬県・沼尾川）の様子
写真左上の橋が両写真の比較に有効な目印。Ishiyama et al. (2023b)より抜粋。

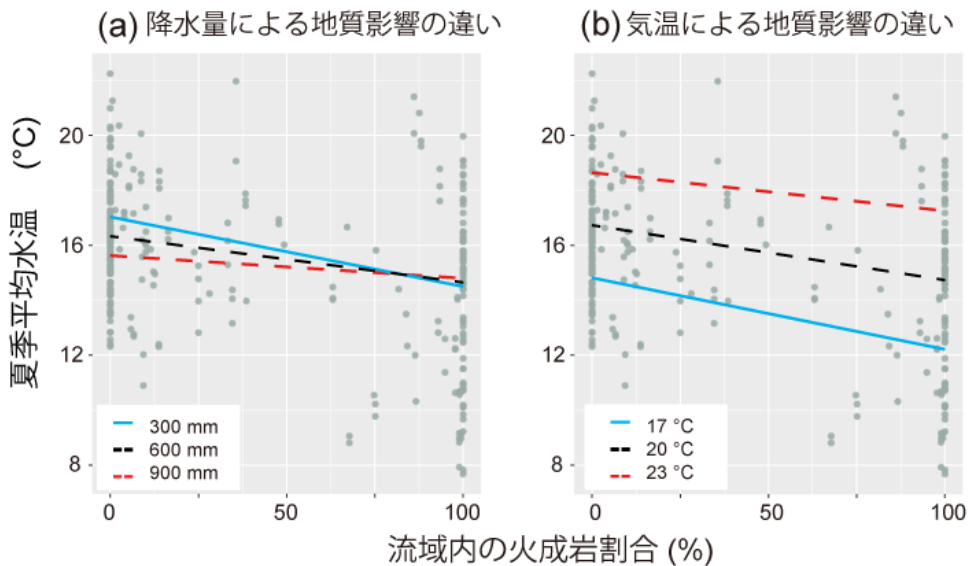


図-2 気候条件に応じた夏季平均水温（7-8月）と流域地質との関係
線の傾きが急な程、地質が水温に与える影響が強いことを示している。

流域地質と魚類群集の関係

上記の水温に関する解析から、火成岩河川が特に冷涼な環境を有することが分かってきたため、私たちは次に、流域地質が作り出す水温パターンと河川生物の分布が対応するか調査することにしました。観測地域から、気候条件の異なる本州中部（気温が高い・降水量が多い）と道央（気温が低い・降水量が少ない）の2地域を選び、魚類を採集してその群集構造を地質間（火

成 vs その他) で比較しました。前述したように、気候に応じた影響度の違いを考えると、影響度が大きい道央で、地質タイプと生物相の対応関係がより明確に見られるはずです。群集構造解析の結果、その予想が裏付けられ、流域地質の水温への影響度が大きい道央地域では、火成岩河川において冷水性種(図-3)がより多く生息することで地質間での群集構造の違いが明確だったのに対し、本州の中部地域では地質間で群集構造に大きな違いは認められませんでした(図-4)。



図-3 火成岩河川の代表的な冷水性魚類

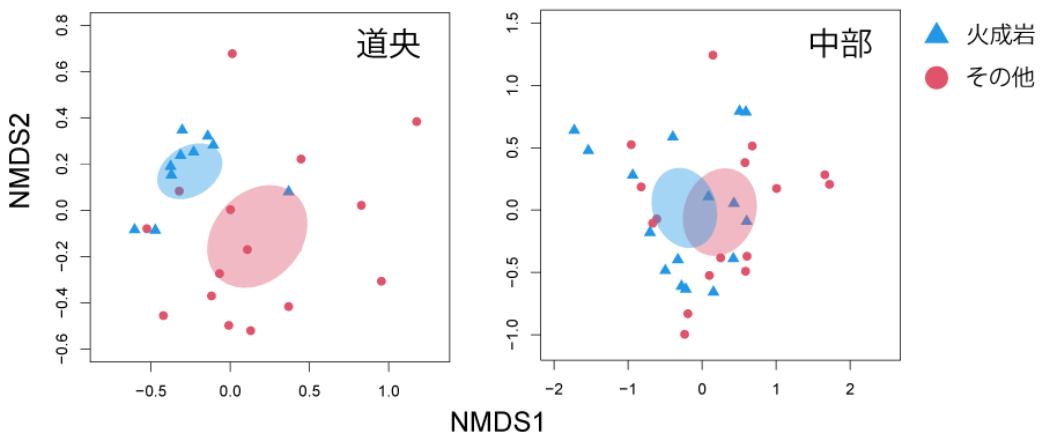


図-4 NMDS(非次元尺度構成法)による地質間での魚類群集構造の違いの可視化

図中の楕円は各地質の群衆構造の95%信頼区間を示しており、その重なりが大きいほど群集構造が似ていることを示す。

火成岩河川は将来も冷水性魚類の生息地となり得るか？

これまでみてきたとおり、現在、地下水涵養の豊富な火成岩河川が冷水性魚類の生息地として重要であることを示すことができました。しかし、温暖化が進行した将来においても冷水性種の生息が可能な水温が持続しなければ、Refugiaであるとは言えません。果たして、その機能は今後も維持されるのでしょうか？北海道地域を対象に、既に報告されている複数の気候モデルの将来気候(気温、降水量)に基づき河川水温を予測することで、その持続可能性を検証しました。今回検証対象としたのは、魚類の中でも特に火成岩河川で多く生息していたハナカジカ *Cottus nozawae* です(図-3左)。私たちの過去の研究において、本種の北海道での生息確率は夏季平均水温が上昇するとともに低くなることが明らかにされており、その温度閾値(=生息確率が0.5を下回る温度)は16.1℃でした(Suzuki et al. 2021)。今回の検証では、現在から

将来にかけての夏季平均水温の変化を地質間で比較し、どの程度の河川が本種が生息可能な16.1℃以下に保たれるかを予測しました。予測にあたっては、RCP (Representative Concentration Pathways) シナリオを用いました。これは人間活動に伴う温室効果ガス等の大気中濃度が、将来どの程度になるかを想定した排出シナリオで、2.6, 4.5, 8.5の順に温暖化の度合いが深刻になることを示しています。

各年代とRCP間で火成岩河川とその他河川を比較した結果(図-5)、北海道における火成岩河川のRefugiaとしての重要性が鮮明に示されました。赤色で示した火成岩以外の河川では、現在はハナカジカが生息可能な生息地が多く存在するものの、最も軽度なRCP2.6シナリオにおいてさえ近い将来(2041~2060年)に約半数もの生息地が生息不適となる可能性が予測されました。一方、濃い青色で示した火成岩河川は中程度の排出シナリオ(RCP4.5)までは、大半の河川が温度閾値を下回り続け、Refugiaとして機能することが予測されました。但し、最も温暖化が進むRCP8.5シナリオ下では、約50年後(2061-2080年)には火成岩河川でさえ半数程度が生息不適となる可能性があることから、いかなる場合も火成岩河川がRefugiaとして万能であるわけではなく、温暖化自体の進行を緩和する努力も引き続き必要なことには変わりありません。

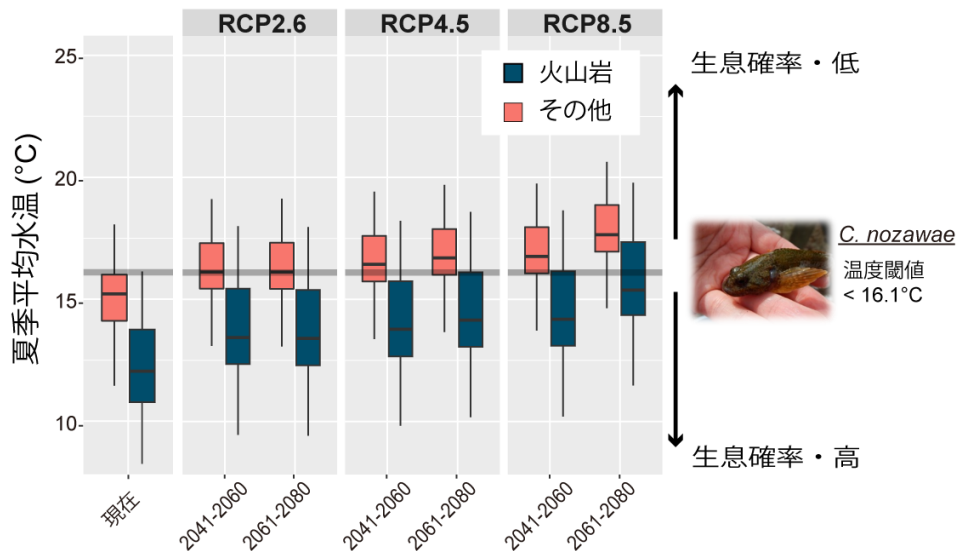


図-5 温暖化予測の程度に応じた地質ごとの水温変化予想とハナカジカの生息温度閾値との関係

太い横線がその温度閾値を示しており、この閾値より水温が低い生息地が多いほど、Refugiaとして機能する可能性が高い。

Refugiaを考慮した河川ネットワーク管理：冷水性魚類の保全に向けて

これまで示してきたように、森林に覆われ日射が遮断されている山地河川でも、河川間で夏季水温は大きく異なっており、その違いを気温だけでなく地質が生んでいることがわかりました。それでは、今回得た知見は今後の気候変動下での河川管理にどのように活かすことができるのでしょうか？特に流域の上流部である山地河川の管理において、気候変動とセットで管理者が考慮しないといけないのが河川横断工作物の存在です。山地河川には小規模な治山ダムや砂防ダムが数多く設置されており、これらによる生息地間の分断化は、将来の生息適地への個体の移動を妨げることで温暖化に伴う流域内での種や個体群の絶滅リスクを増大させている可能性が高いと言えるでしょう。

従来の山地河川での温暖化に関する研究では、低標高から冷涼な高標高域への冷水性魚類の分布変化のみに焦点が当てられていました。しかし今回の研究は、地質が水温の空間的なばら

つきを生んでおり、流域内でも特に火成岩河川が温暖化時の冷水性魚類のRefugiaとして機能する可能性があることがわかりました。このことから、温暖化下での効果的な河川ネットワーク管理を行うためには、標高だけでなく地質の違いに着目することが重要だと言えるでしょう。具体的には、生息地として不適になる可能性が高い火成岩以外の河川からRefugiaとなる火成岩河川への個体の移動を再生することが望ましく、堤体への魚道設置や堤体自体の切り下げがその手法の例になります（図-6；石山ら2017；速水ら2021）。観測した地域の中でも夏季降水量が少なく気温が低い北海道は特に火成岩による冷却効果が高かったことから、こうした河川管理が有効かもしれません。

尚、本原稿はIshiyama et al. (2023a)に掲載された内容を要約したものです。詳細については、論文を併せて参照ください。また、Ishiyama et al. (2023b)では調査地や調査風景の様子を写した写真が掲載されておりますので、併せてご覧頂けると幸いです。

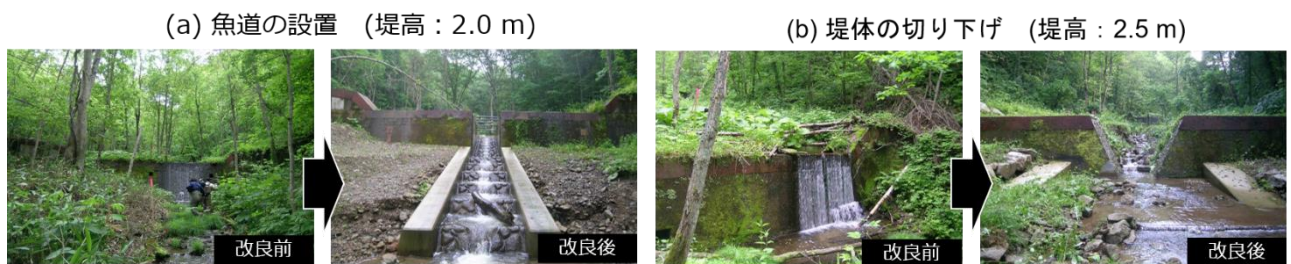


図-6 魚道の設置 (a)、堤体の切り下げ (b) による治山ダムの改良事例
速水ら (2021) の図を改変。

謝辞

本研究は、科研費18K18221, 19H04314, 22H03796, 国土交通省・河川技術研究開発制度（石狩・十勝川）および環境省・環境研究総合推進費（JPMEERF20202004）の助成を受けて行いました。各図は出版社の許可を得て改変・引用しています。

（森林環境部機能グループ）

引用文献

- 速水将人・石山信雄・水本寛基・神戸崇・下田和孝・三坂尚行・ト部浩一・長坂晶子・長坂有・小野理 (2021) 北海道の溪流魚を対象とした治山ダムの改良効果の検証：長期モニタリングによる検証と環境 DNA の活用可能性. 応用生態工学 24:61-73
- 石山信雄・永山滋也・岩瀬晴夫・赤坂卓美・中村太士 (2017) 河川生態系における水域ネットワーク再生手法の整理：日本における現状と課題. 応用生態工学 19:143-164
- Ishiyama N, Sueyoshi M, García Molinos J, Iwasaki K, Negishi JN, Koizumi I, Nagayama S, Nagasaka A, Nagasaka Y, Nakamura F (2023a) Underlying geology and climate interactively shape climate change refugia in mountain streams. Ecological Monographs, 93:e1566
- Ishiyama N, Sueyoshi M, Molinos García Jorge, Iwasaki K, Negishi JN, Koizumi I, Nagayama S, Nagasaka A, Nagasaka Yu, Nakamura F (2023b) Geology-climate interactions are key determinants of climate-change refugia in Japanese mountain streams. Bulletin of the Ecological Society of America, 104:e02062
- Matthews HD, Wynes S (2022) Current Global Efforts are Insufficient to Limit Warming to 1.5°C. Science, 376:1404-9
- Morelli TL, Daly C, Dobrowski SZ, Dulen DM, Ebersole JL, Jackson ST, Lundquist JD,

- Millar CI, Maher SP, Monahan WB (2016) Managing Climate Change Refugia for Climate Adaptation. PLoS One, 11:e0159909
- 虫明功臣・高橋裕・安藤義久 (1981) 日本の山地河川の流況に及ぼす流域の地質の効果. 土木学会論文報告集, 309:51-62
- Suzuki K, Ishiyama N, Koizumi I, Nakamura F (2021) Combined Effects of Summer Water Temperature and Current Velocity on the Distribution of a Cold-Water-Adapted Sculpin (*Cottus nozawae*). Water, 13:975
- Thomas CD, Cameron A, Green RE, Bakkenes M, Beaumont LJ, Collingham YC, Erasmus BF, De Siqueira MF, Grainger A, Hannah L (2004) Extinction Risk from Climate Change. Nature, 427:145-148

クリーンラーチでのならたけ病と被害の見分け方

和田尚之

はじめに

クリーンラーチ（以下，CL）はグイマツを母親，カラマツを父親としたグイマツ雑種 F_1 （以下， F_1 ）の中の特定家系で，成長に優れており炭素固定能が高いことから温暖化対策としての期待も高く植栽需要が急速に高まっています。しかしながら，現状 CL の苗木生産量は多くないため，限られた苗を生育条件がよく枯損リスクの低い地域に優先的に植栽する必要があります。そのためには，CL の植栽が本格化する前に枯損や成長低下につながる病害リスクを把握し，病害の面からも適地を把握することが重要です。その中で，近年 CL や F_1 の植栽地でのならたけ病の発生情報が寄せられています。ならたけ病に罹ると植栽木が枯れてしまうこともあり，CL がならたけ病に弱いとなると早急の対応が必要になります。一方で，ならたけ病は拡大造林時には多数の被害報告が挙げられていましたが，ここ 20 年ほどは被害報告がほとんどありません。しかし，実際に調査しているとならたけ病の枯死木を多数確認できるため，多くのならたけ病被害木がほかの被害と誤認されて被害が見過ごされてきた可能性があります。

そこで，CL のならたけ病の被害状況を植栽地で調査した結果を紹介するとともに，被害を見過ごさないためのならたけ病の識別方法を解説します。

ならたけ病とは

ならたけ病は，ナラタケ属菌による根株腐朽病であり，多くの樹木に病原性を持つ病気として知られています。ナラタケ属菌は子実体（きのこ）が「ボリボリ」としてなじみのある菌類ですが，北海道には9種が分布しています (Cha et al. 1994, Ota et al. 2009)。そのうちの一部分が針葉樹に対して病原性を持つことが知られ，北海道の造林樹種の中ではカラマツ属が特に感受性が高く，拡大造林時を主体に多数の被害報告があります。



写真-1 ならたけ病被害木

被害地では2m以上の成長した個体でも夏場に突如枯れる（左）。被害木の根は腐っており（右上），細根が消失している（右下）。

ナラタケ属菌に感染すると、根や地際部の組織が壊死してしまいます。感染が拡大して根の腐朽が進むと、やがて水分や養分の吸収ができなくなり衰弱・枯死に至ります(写真-1)。ならたけ病による枯損は10年生までの若齢林で発生しやすく、過去には植栽木の40~50%が枯損した報告もあります(小野1970)。壮齢林になるとならたけ病により枯死することはほとんどありませんが、感染木では慢性的な感染によって成長量が低下します。被害は多くの場合、滞水や乾燥などで樹木が衰弱することで発生しやすくなりますが、激害地では他の衰弱要因がないカラマツ林でも多数の枯損が発生します。

クリーンラーチでのならたけ病

CLをはじめとしたカラマツ類のならたけ病に対する感受性を比較するため、カラマツ類が混植されている5年生前後の林分を対象に、道内4か所でならたけ病の被害調査を行いました。ここでは、その中で特にならたけ病の被害の大きかった1林分の結果を紹介します。

調査地は2018年春に造成されたカラマツ類次代検定林で、約0.6haの試験地の中にカラマツ類が家系ごとに反復を設けながら12個体ずつ126の区画に植栽されています。このうち、カラマツ、CL、F₁に該当する家系はそれぞれ62、13、46区画植栽されています。この試験地の全個体について、2022年10月にならたけ病による枯損状況を調査しました。発見した枯死木のうち、ナラタケ属菌の感染がみられ、他に致命傷となるような病虫獣害や外傷・被圧などがなかった個体をならたけ病による枯死木としました。

調査の結果、この林分では2022年の新規枯死木(誤伐、消失を除く)は100本見つかり、そのうちの99本がならたけ病によるものでした。現地では、2021年にも獣害や誤伐以外による枯損が90本近く発生しており(この時はならたけ病の調査がされていません)、2年間で植栽木の1割以上が枯死しています。樹種別にならたけ病による新規枯死率(2022年ならたけ病枯死木/(2021年生残木-2022年誤伐・消失木))を比較すると、カラマツの区画ごとの新規枯死率が平均(グラフの×印)で4%ほどだったのに対し、CLでは14%にも達していました(図-1)。F₁でも平均10%以上の新規枯死木が発生しており、CLやF₁ではカラマツよりもならたけ病による枯損が多く発生していました。同様の結果は12年生時点でならたけ病による枯損が2割を超えている別の林分などでも確認されており、調査事例はまだ少ないですが、ならたけ病が発生しやすい林分ではCLはカラマツ以上にならたけ病による枯損が起きる可能性があることが分かりました。

一方で、ならたけ病がほとんど発生していない林分ではカラマツとCLの間で枯損状況に違いはなく、CLやF₁の枯損も数本程度でした。そのため、CLやF₁はならたけ病に極端に弱いわけではなく、カラマツで被害がほとんど確認されないところではCLやF₁もほとんど枯れないとみられます。CL植栽でならたけ病を過度に心配する必要はありませんが、ならたけ病の被害地域ではカラマツ以上に被害リスクが高く、多数の枯死木が発生する可能性があることを考慮する必要があります。

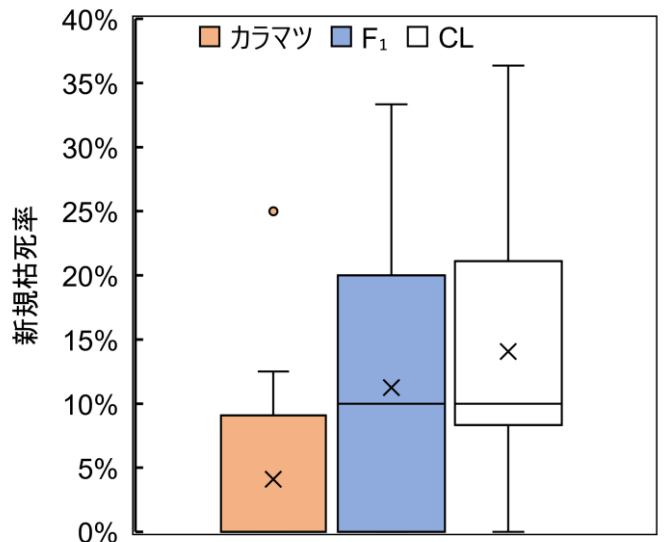


図-1 カラマツ類植栽地でのならたけ病被害率 (ならたけ病激害地)

5年生カラマツ類次代検定林での結果。新規枯死率は区画ごとに計算した。箱ひげ図中の×印は平均値を、横線は中央値をそれぞれ示す。

ならたけ病の識別ポイント

ならたけ病の被害地では CL の枯損リスクが高いことが分かりましたが、現在のところ、ならたけ病の被害に地域性があるのかや、どのような立地環境で発生しやすいのかについては明確には分かっていません。しかし、例えば周辺のカラマツ植栽地でならたけ病が発生している場合は、そこは被害リスクが高い場所と考えられます。すなわち、ならたけ病による枯死木をきちんと識別することができれば、ならたけ病の被害リスクがどの程度あるのか植栽前に推測することができます。ここでは、ならたけ病を識別するためのポイントをいくつか紹介します。

1. ならたけ病の外見的特徴

ならたけ病の特徴として、植栽後数年たってから外傷なく枯れることが挙げられます。最も多い枯れ方は、夏に葉が赤くなり新梢が萎れるなど萎凋症状を示しながら枯れるケースです。前年まで葉をつけていたものの、春に芽吹かずに枯れる場合もあります。枯死木は前年の被害木の周辺へと拡大していき、林分全体でみるとパッチ上に植栽木が存在しない場所ができる傾向にあります。ただし、林内で散発的に枯死木が発生する場合があります。

外見症状としては、幹からのヤニの流出が挙げられます（写真-2）。被害木では幹表面から傷がないのにヤニが流れているほか、ヤニが出なくても樹皮下にヤニが溜まることで多数のこぶができ、樹皮がデコボコすることも多々あります。また、異常着果がみられる場合もあります（写真-3）。健全木でも5年生前後の若い個体で着果することはありますが、ならたけ病の場合は多数の着果がみられ、そのまま当年か翌年のうちに枯死してしまいます。ただし、すべてのならたけ病枯死木でヤニの流出や着果が起きるわけではないので、症状がないからといってならたけ病ではないと判断せず、2. で後述するナラタケ属菌の有無を確認してから判断してください。

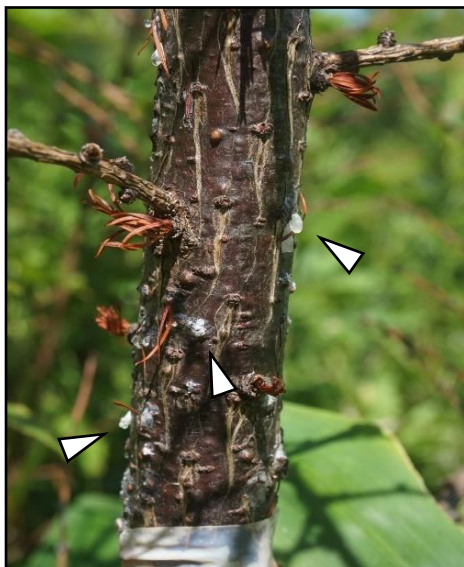


写真-2 ヤニの流出した枯死木

噴き出したヤニが白く見える（矢印）。樹皮下にヤニが溜まり樹皮がこぶ状になっている。



写真-3 異常着果の様子

大量の着果がみられるならたけ病枯死木（5年生カラマツ）。

ならたけ病感染木では、枯死前の生立木の段階でも成長量の低下や葉の黄化・矮小化などの外見症状がみられることもあります。ただし、若齢林においてはこれらの症状がみられたときはすでに回復の見込めない末期の状態であることが多いようです（小野 1970）。

2. ならたけ病の診断ポイント

ならたけ病の確実な診断は、病原体であるナラタケ属菌そのものを見つけることです。ならたけ病の枯死木では地際部の樹皮を鉋などで剥ぐと、キノコ臭のする白い膜状のものが付着しています（写真



写真-4 被害木にみられるナラタケ属菌

地際部樹皮下に形成された菌糸膜（左、破線部分）と根に付着する根状菌糸束（右、矢印）。

—4 左、材表面や樹皮内面の白くなっている所が菌糸膜)。これは、ナラタケ属菌の菌糸膜で、ならたけ病によって根株が侵されている証拠になります。また、枯死木を掘り取ると根に赤褐色～黒色でエナメル質の紐状のものが付着している場合があります（写真-4 右）。これは根状菌糸束と呼ばれるもので、ナラタケ属の菌糸が乾燥耐性を高めて別の感染源へと移動するために形成するものです。秋には枯死木の地際部からナラタケ属の子実体が発生している場合もあります。ナラタケ属の子実体はその色から英語では「Honey mushroom」と呼ばれており、傘が蜜色～こげ茶色を帯びて表面に細鱗片が密生しているほか、柄につばがついているなどの特徴があります（写真-5）。



写真-5 被害木に発生したナラタケ属菌子実体

3. ならたけ病と間違えやすい被害

ならたけ病と誤認しやすい被害として、野ネズミ被害や乾燥害での枯死があります。これらはすべて夏に葉が赤くなって枯れるため、遠目からだあまり違いが判りません。しかし、近くで見れば野ネズミ被害の場合は地際部の樹皮がかじり取られているのに対して、ならたけ病の場合は無傷であるため、一目瞭然です。また、乾燥害も発生環境が大きく異なります。乾燥害は苗が十分に活着するまでの1～2年生の植栽直後の林分で発生しやすく、それ以降ではほとんど起きません。一方で、ならたけ病による枯損は植栽直後ではほとんど発生せず、3～5年生ごろに発生することが多いです。また、カラマツは乾燥に強い樹種であり、カラマツで乾燥害が起きる場合は周辺の植物にも乾燥の影響がみられます。一方で、大半の草本はならたけ病に罹病しないため、ならたけ病の場合は、周辺植生には異常がみられません。また、ならたけ病ではヤニの流出や異常着果が起きることがありますが、これらの症状は乾燥

害ではみられません。野ネズミ被害や乾燥害は発生環境や枯死木の外見を確認すればならたけ病と区別できますので、意識的に枯死木の状態を確認してみてください。

様々な人と植栽木の調査をしていると、ならたけ病の存在は把握しているものの、幹からのヤニの流出のみでならたけ病を判断している人が多いように思います。しかし、前述のようにヤニを出さずに枯れる場合も多々ありますので、少し手間ですが、外傷の無い枯れ木を見つけた場合には根元の樹皮を剥いでならたけ病か判断してください。乾燥害の場合は補植すれば成林できますが、ならたけ病の場合は補植しても再び同程度の枯損が発生してしまう可能性があります。被害の正確な診断は今後の被害の抑制にもつながりますので、参考にしてください。

まとめ

CL や F₁はカラマツよりもならたけ病の被害を受けやすいことが分かりました。被害地では植栽直後に多くの枯死木が出るほか、その後も慢性的な成長への影響により期待する成績が発揮できない場合があります。そのため、CL の植栽時には地位などの成長情報だけでなく、その場所のならたけ病リスクも考慮する必要があり、周辺林分などでのならたけ病被害を見過ごさないことが重要です。一方で、ならたけ病の防除に関しては、費用に見合った防除効果を発揮できる対策がなく、現状ではリスクを考慮して植栽樹種を選ぶしかありません。CL を安心して植栽できるように、ならたけ病のリスク地域を明らかにするとともに、ならたけ病の被害を抑える技術の開発に向けて研究を進めていきます。

(保護種苗部保護グループ)

参考文献

- Cha JY, Sung JM, Igarashi T (1994) Biological species and morphological characteristics of *Armillaria mellea* complex in Hokkaido: *A. sinapina* and two new species, *A. jezoensis* and *A. singula*. *Mycoscience* 35: 39-47
- 小野馨 (1970) カラマツならたけ病に関する研究—特に土壌条件と発病—. 林業試験場研究報告 229: 123-219
- Ota Y, Sotome K, Hasegawa E (2009) Seven *Armillaria* species identified from Hokkaido Island, northern Japan. *Mycoscience* 50: 442-447

道南支場（函館市）における産地別ブナの開葉状況

清水 一

道南支場におけるブナ産地別見本林

函館市にある北海道立総合研究機構森林研究本部林業試験場道南支場の構内には、全国から集めた種子を用いて造成したブナ産地別見本林が2箇所あります。そのうちのひとつは東京大学北海道演習林で作られた苗木を1991年4月に植栽したものです。この試験地に植栽したブナと同じ産地の苗木は全国各地に植栽され、北海道富良野市（梶・高橋1999）と岡山県川上村（橋詰ほか1996）で開芽状況について報告されています。一方、もうひとつのブナ産地別見本林は道南支場で独自に種子を集めて苗木にして1998年に植栽されたもので、道南支場にしかありません。

東京大学北海道演習林で作られた苗木を植栽した見本林は、調査できる本数が極端に少ない産地があることと、前述のように既存の報告もあります。そのため今回は道南支場独自で種子を集めたブナ産地別見本林を対象にブナの開葉状況について報告します。

材料と方法

道南支場独自で種子を集めたブナ産地別見本林は1998年に9産地各20本計180本が植栽され、25年経過後の2023年には上層樹高11.4~11.7m、胸高直径15~23cmとなっていました。生存本数は2023年も各産地それぞれ20本近くありましたが、調査対象は各産地とも正常に成長している樹木の上層樹冠とし、枯損枝が多かったり被圧を受けている個体は除きました（写真-1）。そのため調査本数は各産地でばらつきがありました（表-1）。

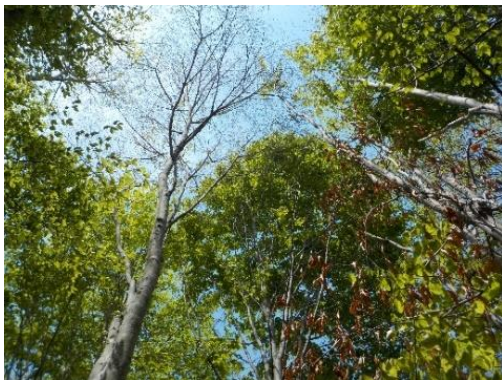


写真-1 左：開葉の遅い樹木
右：枯葉のついてる一部の生存木

表-1 試験地に植栽されている産地別ブナの本数と調査本数

産地	種子採取地	1998年植栽本数	2023年生存本数	2023年調査本数
北海道	函館市恵山町	20	20	14
青森	青森県十和田町	20	20	19
岩手	岩手県花巻市	20	20	16
山形	山形県鶴岡市	20	19	14
長野	長野県木島平村	20	20	17
富山	富山県	20	20	18
岐阜	岐阜県荘川村	20	19	8
鳥取	鳥取県	20	20	17
愛媛	愛媛県小田町	20	20	18

調査は2021年から2023年までの4月と5月に実施しました。上層樹冠を双眼鏡で観察し、調査木1本ずつの複数の芽について、1：未開芽、2：開芽したが葉の見えない状態、3：緑色の縮葉が見えたりシュートが伸長中の状態、4：すべての葉が開いた状態の4区分としました。これら4区分について調査日別に、各産地の調査個体ごとに割合を求めた定性データを取得しました。

葉が完全に開く時期

2021年、2022年は4月の調査開始時点ですでに開芽している個体があったため産地別の開芽状況を正確に測定することができませんでした。そのため、2021年から2023年まで前述したすべての個体で

「4：すべての葉が開いた状態」（開葉率 100%）になる時期を各産地で比較してみました（図-1）。

各年とも最も早く開葉率 100%になっていたのは東北地方産（青森，岩手，山形）で，北海道産は若干遅れていました。次に開葉が早かったのは本州中部の長野，北陸の富山，山陰地方の鳥取で，ほぼ同じ状態で開葉が進んでいましたが，年によって開葉率 100%になる順番は異なっていました。岐阜産は長野産，富山産，鳥取産に比べて開葉の進み方が遅く，2022 年を除いて開葉率 100%に達する日も遅くなっていました。開葉が最も遅かったのは愛媛産で，3 年間とも他の産地と全く異なる開葉状態でした。（図-1）。

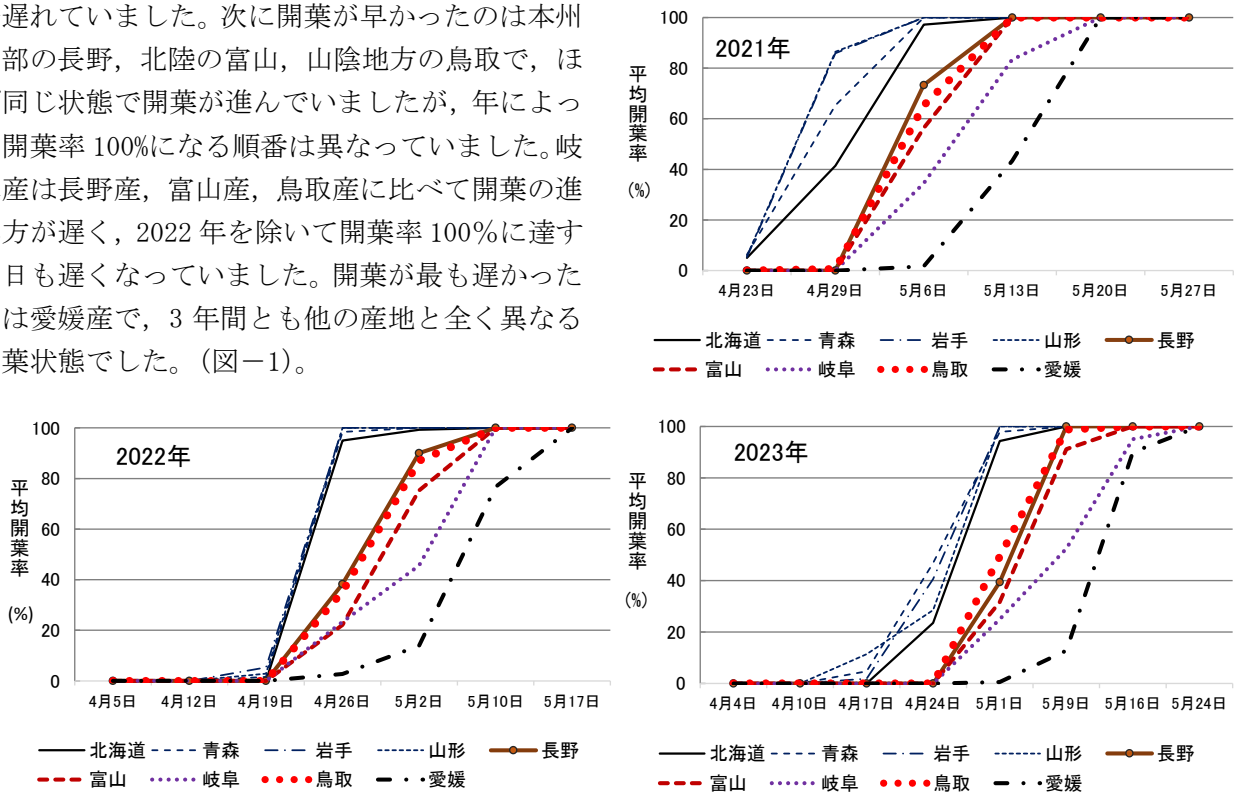


図-1 2021 年～2023 年までの産地別開葉率の推移

未開芽の芽が残る割合

2023 年は調査開始時に各産地ともすべての個体が未開芽の状態でした。そこで各個体の「1：未開芽」の割合（未開芽率）の季節変化を調べ、各産地の推移を比べてみました。最も遅くまで未開芽の割合が高い＝開芽が遅い産地は愛媛産で，次いで岐阜産となっており，東北地方や北海道産は4 月中にすべての開芽が終了していました（図-2，写真-2，3）。

これらの結果から，元々生育していた産地が緯度的に概ね南の産地ほど開葉が遅くなる傾向があることが認められました。一方，長野産と岐阜産という隣県で開葉の進み方（図-1）や未開芽の割合（図-2）は異なっていました。これは採種地の標高（長野産：1460m，岐阜産：1100m）が影響しているのかもしれませんがはっきりとしたことは分かりませんでした。

北の産地での開葉が早い形質は生育期間の短い北国に適応した結果だと思われます。ただし開葉が早いのは良いことばかりではなく，晩霜害による被害を受けやすいというリスクも内在していることになります（梶・高橋 1999）。

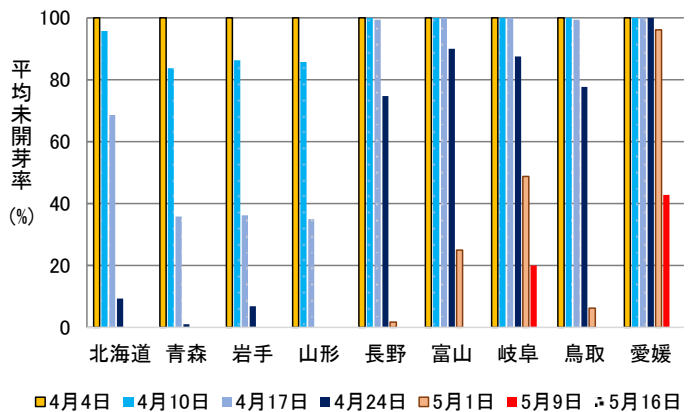


図-2 2023 年各産地の時期別未開芽の割合



写真-2 岩手の開葉状況
(2023年4月24日撮影)



写真-3 愛媛の開葉状況
(2023年4月24日撮影)

苗木時代の葉が開く時期

調査樹木の育成段階である3年生苗木における開葉状況の調査が1993年5月12日に行われました(寺澤1993未発表)。苗木時代においても開葉が進んでいたのは東北、北海道産で、ついで長野、富山産でした。岐阜産は成木時代と異なり鳥取産より開葉が進んでいました。苗木で影響を受けやすい要因として、採種種子の100粒重さの違い(岐阜産17.5g, 鳥取産23.6g)や地表面からの輻射熱が挙げられますが、岐阜産は成木の開葉でも年変動が大きく、要因を特定することはできませんでした。苗木時代において開葉の最も遅いのは成木時代と同様に愛媛産で、5月12日時点でも未開芽の状態でした(表-2)。このことからブナの産地別開葉の遅速は、一部の産地を除いて苗木時代と成木時代で変化のないことが分かりました。

表-2 3年生苗木における産地別ブナの開葉状況
(1993年5月12日調査)

開葉段階	単位：%									
	北海道	青森	岩手	山形	長野	富山	岐阜	鳥取	愛媛	
0	8	5	7	11	31	32	51	79	100	
1	32	9	23	22	54	33	40	15	0	
2	49	43	47	35	9	22	9	4	0	
3	11	43	23	32	6	13	0	2	0	

0:未開芽 1:開芽したが葉身は展開せず 2:葉身が展開を開始
3:シュート伸長中, 葉は展開を完了せず垂れている。

おわりに

道南支場(函館市)にあるブナ産地別見本林における各産地の開葉状況は、苗木時代、成木時代とも東北、北海道産が最も早く、次いで長野、富山、鳥取産あるいは岐阜産となり、最も遅いのは愛媛産となっていました。この結果は種子採種地が異なるものの、富良野や岡山の試験地における開芽の産地別遅速と同じ傾向を示していました(橋詰ほか1996, 梶・高橋1999)。このように植栽環境が異なっても、ブナは元々の産地が持っている開葉特性をそのまま持ち続けていることがわかりました。

本報告をまとめるにあたり苗木時代の開葉データとともに有益な情報を提供していただいた元林業試験場職員で道総研フェローの寺澤和彦博士に感謝申し上げます。

(道南支場)

引用文献

橋詰隼人・李廷鎬・山本福壽(1996)ブナの開芽期の産地および家系による差異. 日本林学会誌 78巻 4号: 363-368

梶幹男・高橋康夫(1999)東京大学北海道演習林におけるブナ産地別フェノロジー—1998年の開葉期と晩霜害—. 日本林学会北海道支部論文集 47: 54-57

光珠内季報 NO. 209

発行年月 令和5年12月

編 集 林業試験場刊行物編集委員会

発 行 地方独立行政法人北海道立総合研究機構

森林研究本部 林業試験場

〒079-0198

北海道美唄市光珠内町東山

TEL (0126) 63-4164 FAX (0126) 63-4166

URL <https://www.hro.or.jp/forest/research/fri/index.html>
