ISSN 1882-9627

北の森だより

Vol.25　令和3年3月

—目　次—

令和２年度 北海道地域研究成果発表会　発表集
（YouTube 森林総研チャンネルにて動画配信）

・サクラがこぶ病に抵抗するための重要な因子『光』について
石原　　誠・・・・２

・遺伝解析が示す"天女花" オオヤマレンゲの亜種間交雑と分布変遷
菊地　　賢・・・・４

・トドマツの特定母樹の指定　－ 令和２年度の成果 －
花岡　　創・・・・６

・植栽に最適な苗木の産地を予測する　－ トドマツの場合 －
津山幾太郎・・・・８

解説
・カシノナガキクイムシの生態と拡大するナラ枯れ被害
上田　明良・・・１０

活動報告・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１２
お知らせ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１２

国立研究開発法人　森林研究・整備機構　森林総合研究所北海道支所
Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

サクラがこぶ病に抵抗するための重要な因子「光」について

チーム長（樹木病態生理担当）石原　誠

はじめに

写真-1　枝に形成されたこぶ

サクラ類に発生するこぶ病（写真－１）は病原細菌：*Pseudomonas syringae* pv. *cerasicola*（サクラ亜属にのみこぶを形成する病原型）によって引き起こされる伝染病です。細菌（写真－２）の感染により、病巣（こぶ）が形成され、ここで細菌が増殖し、感染を繰り返すと考えられています。この病原菌は、栽培品種“染井吉野”において初めて記録されました。

写真-2　培養平板上のコロニー

光誘導抵抗性仮説の着想

写真-3　樹幹下部に形成されたこぶ

ところが九州の被害地を廻ってみたところ、こぶ病の被害はほとんが自生種のヤマザクラに見られ、“染井吉野”の被害は稀であること、とりわけ、林内の暗い場所に生育するヤマザクラや、その樹幹下部にひどい被害が発生していたことから（写真－３）、「サクラ類のこぶ病に対する抵抗性は光によって誘導されるのではないか？」との仮説を持つに至りました。

材料と方法

この仮説について検証するために２種類の試験を考案しました。それは、(ⅰ) 太陽光を被陰して、暗い環境を作り、こぶ病菌を接種した時に現れるこぶの発生頻度と大きさから抵抗性を評価すること、(ⅱ)人工気象室内で光や他の条件をより詳細に管理しながら接種試験を行うことです。後に、ガラス温室内での抵抗性低下要因として太陽放射中の紫外光の関与が疑われましたので、可視光に加えて紫外光を付加照射する接種試験も行いました。以下に用いた試験方法について説明します。

（１）人工接種方法

一定の頻度と程度で均一に発病を起こさせる条件ついて検討しました。本病は葉から感染しないこと、枝でも葉や花柄の脱落痕や分枝部、皮目部分からこぶが発生することから、傷感染性であること、また、自然状態に近いこぶ形状を再現するためには傷に注入する接種菌濃度も 10^6～10^7cfu/ml（cfu:コロニー形成単位）の範囲内が適切であり、枝上の１μl の菌液を注射針で穿刺する方法で接種を行いました。

（２）光の管理と計測

可視光は光合成との関係を重要視し、光量子センサーで光合成有効光量子束密度（PPFD:単位 μmol/m^2s）を計測し、紫外光は紫外線センサーで電磁波強度を仕事率（単位 W/m^2）として計測しました。太陽光の被陰はPPFDの相対値で、0%、33%、50%、90%の４段階に寒冷紗で遮光しました（写真－４）。人工気象室を用いた試験では、設置する白色光蛍光管の数を変えて光強度の異なる状態を作りしました。

（３）抵抗性の評価について

写真-4　４段階の寒冷紗被陰下での接種試験の様子

発生するこぶの大きさは元の枝の大きさに比例して大きくなる傾向があったことから、枝サイズに対するこぶサイズの大きさをこぶ肥大指数として求め、抵抗性の尺度としました。

（４）メカニズムの解明に向けて.

並行してこぶ組織の解剖学的観察と組織からこぶ病菌の分離試験を実施し、光による影響について調べました。光誘導抵抗性や病害応答の既存研究で使用された阻害剤や促進剤などを処理しながら光管理下でこぶ病菌を接種し、どの阻害剤が有効で、どのような応答経路が関与しているか推定を試みました。

結果と考察

（１）被陰下の接種試験

セイヨウミザクラのように、被陰しなくても発

病し易い樹種がある一方、太陽光の被陰に応じてこぶが肥大する樹種があること、その中でも、ヤマザクラのように軽度（33％）の被陰でこぶが肥大する中度感受性の樹種から“染井吉野”、オオシマザクラのように被陰の程度を強くしないと、こぶの肥大に至らない抵抗性を有する樹種・系統が存在していました。

（２）光管理下での接種試験

１．光強度と照射時間の影響

光強度の増大と照射時間の増長に応じて、こぶが縮小し、抵抗性が現れました（写真－５）。

２．光質の影響

写真-5　光強度を増大した条件での発病

同じ PPFD で光質（波長）を変えて接種試験を行ったところ、青色光にのみ白色光より高い抵抗性誘導能が認められました。このことから、光合成による同化産物の供給以外に抵抗性をもたらしている別の要因の存在が示唆されました。

３．こぶ内部と菌の増殖程度

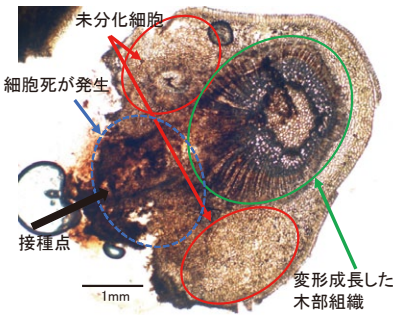


写真-6　‘染井吉野’の枝に形成されたこぶの断面切片の顕微鏡像

こぶ内部では師部組織での未分化細胞の異常増殖と木部組織の変形肥大が観察され（写真－６）、共にこぶ肥大の原因と考えられましたが、光強度に応じて、あるいは青色光の照射によって細胞増殖と細胞壊死の両領域が縮小し、加えて組織内から分離される病原細菌数も減少しました。すなわち、光はこぶの肥大に加えて、こぶ病菌の感染拡大に繋がる病巣内の病原細菌数も抑制していることが分かりました。

４．紫外光付加照射下での接種試験

紫外光にも可視光と同様の、こぶの縮小効果と壊死領域が縮小する解剖所見が認められました。従って、「見える光」である可視光に加えて「見えない光」の紫外光も加わって、こぶ病を抑制している可能性が示されました。

５．メカニズムの解明

光合成阻害剤（ジウロン）処理によって光合成を阻害すると、全体に抵抗性は低下しますが、高光強度下では低光強度下に比べて低下の程度は小さくなりました。このことから光合成のエネルギー供給に加えて、何らかの病害応答シグナルが伝達され、併せて抵抗性をもたらしていると考えられました。そこで、植物で主として病害応答伝達に関わるとされるサリチル酸と、病害と食害応答伝達に関わるジャスモン酸で処理しながら、こぶ病菌を接種したところ（写真－７）、サリチル酸処理でこぶが肥大する一方で、ジャスモン酸処理では逆こぶが縮小する現象が観察されました。更にジャスモン酸合成阻害剤の処理で、こぶが肥大したことから、ジャスモン酸が光による誘導抵抗性に関与すると推定されました。

サクラの防御応答を担う物質がサリチル酸ではなく主に傷害応答を担うジャスモン酸が行っていることは、想定外のことで、なぜそうなるのかは分かっていません。

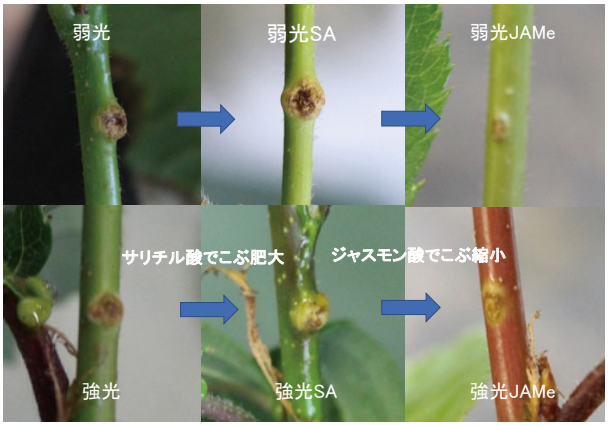


写真-7　植物ホルモン剤処理下における、サクラ類こぶ病菌接種部位の変化(処理濃度1mM葉面散布,接種後15日目)

おわりに

これまでの研究から、強い光や、青色光に加えて紫外光によってこぶ病抵抗性が誘導されることが分かりました。こぶの内部形態や、病原細菌の増殖状況も誘導抵抗性の存在を支持していました。また、そのメカニズムの一端も明らかにされました。これらの成果から、立地や光環境、樹種や株間など、サクラの植栽に際して好ましい植栽条件の提案がなされるようになるでしょう。抵抗性の伝達と誘導に関わる物質の解明は樹木病害への抵抗誘導剤開発のきっかけになることが期待されます。なお、今回紹介した成果は京都府立大学・池田武文特任教授をはじめとする多くの方々のご配慮とご協力を得て行っております。ここに改めまして感謝を申し上げます。

遺伝解析が示す“天女花”オオヤマレンゲの亜種間交雑と分布変遷

チーム長（生態遺伝担当）　菊地　賢

はじめに

「オオヤマレンゲ」は日本の山地に自生するモクレン属の落葉低木です。樹高は１～３ｍ程度で、北関東から屋久島にかけての標高 1000～2000m の深山に生育し、尾根や岩場、渓畔、林縁などの明るい場所や石灰岩・蛇紋岩地帯などで見ることができます。花期は６～７月の梅雨期で、直径５～10cm の芳香のある白い半球状の花を下向きに咲かせます（写真－１）。深山に咲く清楚で美しい花は「天女花」とも称され、登山者に人気があります。

オオヤマレンゲは、生物地理学的に見ても面白い植物です。冷温帯上部から亜高山帯に自生することから涼しい場所を好むと思われますが、分布の北限は北関東の谷川岳とされ、なぜかそれより北方の東北地方や北海道には分布しません。また、オオヤマレンゲは大陸では中国南西部（安徽省・浙江省など）に隔離分布する一方、近隣の朝鮮半島にはオオバオオヤマレンゲという異なる亜種が分布しています（図－１）。オオバオオヤマレンゲは樹高３～10m程度になり、葉も大型で、朝鮮半島では標高 100～1500mに分布する普通種です。オオヤマレンゲの雄蕊が淡黄色となるのに対し、オオバオオヤマレンゲは鮮紅色となる点で、区別がつきます。

このようなオオヤマレンゲの不思議な分布は、どうして出来上がったのでしょうか。本研究では、遺伝子解析および生態ニッチモデリングを行いオオヤマレンゲの系統分化や過去の分布変遷を解明することで、この謎に挑みました。

写真－１　オオヤマレンゲの花

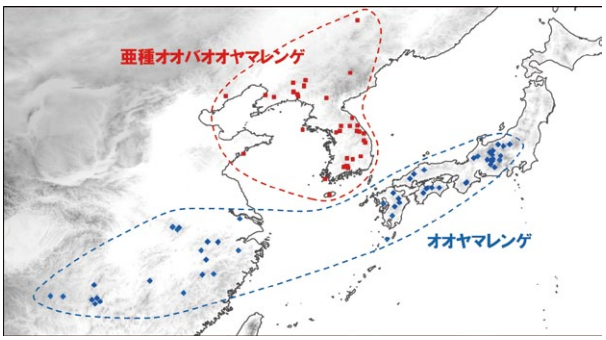
遺伝子が示す亜種間の分化と交雑

まず、日本のオオヤマレンゲ 27 集団と韓国のオオバオオヤマレンゲ３集団を対象に遺伝子解析を行い、種間・集団間の遺伝的分化の解明に取り組みました。遺伝子解析には、核 SSR マーカー、葉緑体遺伝子間領域、核機能遺伝子（LFY、Agt1、および Phy A 遺伝子）のイントロン領域の３つの異なるタイプの遺伝子領域を用いました。

すると驚くことに、遺伝子領域によって結果は大きく異なりました。まず、核 SSR マーカーや葉緑体遺伝子では、遺伝的境界が亜種間ではなく、日本のオオヤマレンゲ集団を東西に隔てるように存在していました（図－２）。つまり、四国・九州地方のオオヤマレンゲは、むしろオオバオオヤマレンゲに近縁であることが分かったのです。ところが、核機能遺伝子イントロン領域の解析結果はそれとは全く異なり、亜種間に明瞭な遺伝的分化があることを示していました（図－３）。

このような相反する結果は、何を意味するのでしょうか。考えられるのは、亜種間で交雑が生じ、一部の集団では２亜種の遺伝子が混じりあった状態となっている可能性です。植物は、頻繁に種間交雑を行い、雑種を形成します。このとき、雑種個体を通じ、種間で遺伝子が混じりあうことがあります（遺伝子浸透）。オオヤマレンゲとオオバオオヤマレンゲは、現在は海峡を隔てて分布を分けていますが、朝鮮半島と日本列島は過去に何度も陸橋でつながったことがあると考えられ、こうした陸橋の形成が亜種間の交雑を生じさせた可能性があるのです。

さらに解析を進めると、亜種間の系統分化が



図－１　オオヤマレンゲおよびオオバオオヤマレンゲの分布

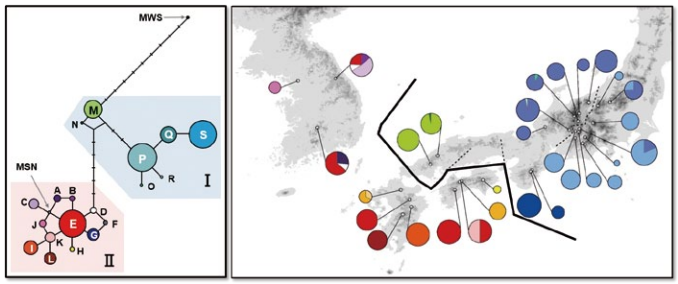
生じたのはおよそ 300～400 万年前頃の古い時代で、その後亜種が交雑し、遺伝子が混じったのがおよそ 100 万年前であるという推定値も得られました。

オオヤマレンゲの分布変遷

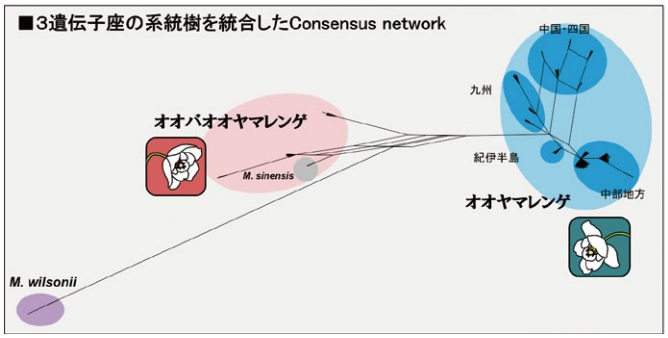
生態ニッチモデリングは、生物種の分布情報と現在の気候データから分布モデルを構築し、生物種の分布に影響する気候要因を推定する手法です。また分布モデルを過去（最終氷期）の気候モデルにあてはめることによって、分布変遷を推定することが可能です。

オオヤマレンゲとオオバオオヤマレンゲの自生地情報を基に、生態ニッチモデリングを行ったところ、どちらの亜種も雨の多い地域を好む点では共通しており、オオヤマレンゲが北日本に分布しないのは夏に雨が少なく比較的乾燥する気候を好まないためであること、オオバオオヤマレンゲは冬の乾燥に耐えられるために朝鮮半島に分布していることが推定されました。

図－４は、生態ニッチモデルから予測された、最終氷期最盛期（約 22,000 年前）のオオヤマレンゲの潜在生育域を示したものです。氷期のオオヤマレンゲの分布域が関東から屋久島にかけてと予測され、現在とは大きく変化していないことが分かります。各地域を見ると潜在生育域は拡大していますが、これは低標高域への移動を意味しているようです。とはいえ、氷期にお



図－２　葉緑体ハプロタイプ間の類縁関係（左）および各集団におけるハプロタイプの組成（右）



図－３　核機能遺伝子イントロン領域３領域で構築した系統樹を統合した系統ネットワーク

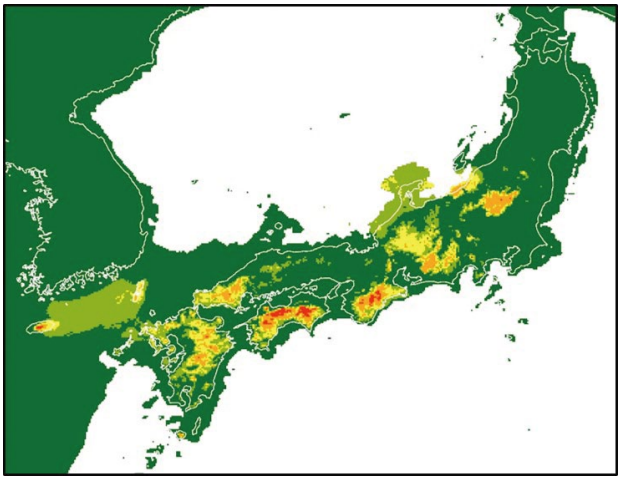
いても分布は連続的になったわけではなく、地域ごとに互いに隔離されたままであった可能性が高いことも判明しました。

この予測は、遺伝解析結果と合致しています。先に述べたように、遺伝解析の結果は遺伝子領域によって異なるものでしたが、共通点もありました。それは、どの遺伝子領域でも、オオヤマレンゲの集団間の遺伝的分化の程度が大きいということです。例えば核 SSR の解析結果から集団間の遺伝的分化を示す代表的な示数である F_{ST} を算出すると、0.617 という非常に高い値が検出され、集団間の遺伝的分化が大きいことが分かります。

日本の植物多様性の成立を理解する意義

このように、オオヤマレンゲとオオバオオヤマレンゲは、古い時代に系統分化したものの、陸橋などを通じ二次的に分布が接触したことにより交雑し、遺伝子が混じった可能性が高いことが分かりました。また、オオヤマレンゲは降水量の多い環境を好むために北日本には分布できなかった一方、氷期の厳しい気候のなかでも分布域を大きく変化させることなく、低標高に逃れることで存続してきたことも分かりました。

以上の結果は、日本列島の森林生物相が大陸とも関連しながら進化したことを示すとともに、南北で異なる気候や複雑な地形が森林生物多様性の維持に寄与してきた可能性を示唆するものです。このように、生物種の分化過程や多様な生物種が維持される仕組みを解明することは、日本列島の生物多様性の保全に役立つ知見となります。



図－４　最終氷期（22,000 年前）におけるオオヤマレンゲの潜在生育域。黄色、オレンジ、赤の順に生育確率が高くなっていく。

トドマツの特定母樹の指定 －令和２年度の成果－

林木育種センター北海道育種場 育種課育種研究室長　花岡　創

特定母樹とは？

特定母樹とは、「森林の間伐等の実施の促進に関する特別措置法」（以降、間伐等特措法と記します）により、平成 25 年に制度化されたものです。同法律の基本指針においては、「特に優良な種苗を生産するための種穂の採取に適する樹木であって、成長に関わる特性の特に優れたものとして農林水産大臣が指定するもの」と定義されています。これから実施される造林・再造林に利用するための、より性能に優れた種苗を提供するための母樹となります。特定母樹の指定対象となるのは、林業種苗法第２条第１項の政令で定める樹種となっており、具体的には、スギ、ヒノキ、クロマツ、リュウキュウマツに加えて、北海道の造林樹種であるカラマツ（グイマツ含む）、エゾマツ（アカエゾマツ含む）及びトドマツがあります。林野庁が定めた特定母樹応募要領及びその別紙１にある特定母樹指定基準では、全樹種共通の項目として成長、剛性（材質）、通直性の３点について満たすべき基準が示されています。成長については、「申請個体又は申請クローン（以下「申請個体等」という。）の単木材積の平均値が、環境及び林齢が申請個体等と同様の在来系統の個体（対照個体）の平均値（基準材積）と比較して、おおむね 1.5 倍以上であることを基準とする」とされています。つまり、申請個体の周囲でおおよそ同じ環境にある 10 個体以上と比較して特に優れた成長性を示した個体のみが指定を受けることができます。また、指定基準では対象個体のとり方についても、細かく定められています。剛性（材質）については、「申請個体等の剛性の指標となる測定値が、環境及び林齢が申請個体等と同様の林分の個体（対照個体）の平均値と比較して、優れていることを基準とする。」とされています。一般的には Fakopp という器具を用いて測定できる、ヤング率と相関があることが知られる応力波伝播速度が用いられることが多くなっています。通直性については、「申請個体等の幹の通直性は、曲がりが全くないか、若しくは曲がりがあっても採材に支障がないものであることを基準とする」とされています。特定母樹の申請書には、５m まで伸ばした測桿を申請個体にあて、２方向から撮影した写真を添付し、通直であることを証明するようになっています。その他、花粉症の問題が大きいスギやヒノキについては、雄花着花量に関する基準も定められています。特定母樹は、以上の基準を基に申請個体の適否が判断されます。

北海道における特定母樹の活用

間伐等特措法により、民間の事業者が「特定増殖事業計画」を作成することができるようになり、都道府県知事の認定を受けた場合には国及び都道府県からの支援も受けながら、特定母樹を用いた採種穂園を造成することが可能となりました。同時に、森林総合研究所林木育種センター及び同センターの各育種場等から特定母樹の原種苗の配布を受けることができるようになりました。

北海道育種基本区では、令和元年度までに特定母樹に指定されていたのは、優良なグイマツ雑種 F_1 系統であるクリーンラーチの母樹、グイマツの中標津５号のみとなっていました。北海道では、全国的に見ても群を抜いて多くの認定特定増殖事業者（22 者）があり、平成 29 年から令和２年にかけて道内各地にクリーンラーチを生産するための民間採種園が造成されてきました（写真－１）。北海道育種場からは、特定母樹の中標津５号と合わせて花粉親となるカラマツの精英樹の苗木、あるいはつぎ木用の穂が配布されました。また、北海道庁、道総研林業試験場ならびに採種園造成地域を所管する各振興局とも連携し、苗木の生産や管理に関する技術支援も行ってきました。15～20 年後には、これら民間採種園からのクリーンラーチ種子の供給が本格化してくると期待されます。

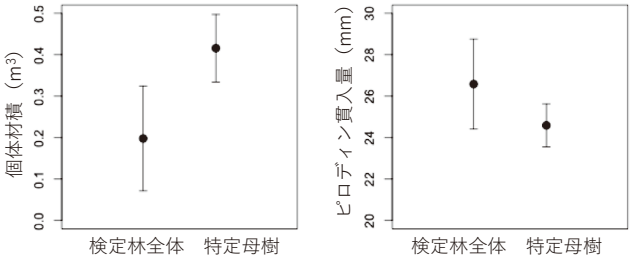
写真－１　造成された民間採種園の例

トドマツの特定母樹の指定（令和２年度の成果）

北海道育種場ではこれまで、第１世代の精英樹の採種園産種苗等で構成された検定林から、成長や材質、通直性が優れた第２世代精英樹候補木を選抜することや[1][2][3]、優良であった親精英樹を1.5世代精英樹として選抜してきました[4]。第２世代精英樹候補木のうち、林木育種センターが定めるエリートツリー選抜実施要領にある基準を満たした個体は、令和２年度より同センターに申請してエリートツリーの指定を受けてきました。これらエリートツリーについて、これまでに説明した特定母樹指定基準を満たすかについて検討することや、申請用の写真撮影、今後の普及時に近交弱勢等の問題が生じないように血縁関係の整理などを進め、令和２年度には４つの検定林で選抜された20個体（北旭７号検定林から２個体、北旭８号検定林から５個体、北見２号検定林から２個体、北帯５号検定林から 11個体）を林野庁に申請し、トドマツとして初の特定母樹の指定を受けることができました。写真－２にあるように、特定母樹は周囲の個体と見比べて成長がよく、非常に通直である個体となっています。

写真－２　令和２年度に指定をうけた特定母樹の例
（撮影は30年次に実施）

例えば、北帯５号検定林で選抜された特定母樹11個体の20年次の材積と26年次に測定したピロディン貫入量（トドマツではヤング率と相関があることが確認されており、値が小さいほど材の剛性に優れます）の平均値を比較してみると、検定林の全体平均値よりも大きく成長に優れ、材質も平均以上の個体であることを見ていただけます。（図－１）



図－１　北帯５号検定林における特定母樹と全個体の材積とピロディン貫入量の平均値±標準偏差の比較

トドマツの特定母樹の普及

令和２年度に指定を受けた特定母樹を含め、第２世代精英樹候補木はつぎ木によりクローン増殖され、北海道育種場の敷地内に保存されています。まだ増殖からあまり時間がたっておらず個体が小さいため、これらの保存木からまとまった数の穂木を採取することは難しい状態です。特定母樹の苗木の普及にはもう少々お時間をいただくことになりますが、今後の特定母樹の配布に向けて着実に準備を進めています。

今年度に特定母樹の申請を検討した４つの検定林以外にもトドマツの第２世代精英樹候補木を選抜した検定林は複数あります。引き続きそれらの検定林から選抜された個体を精査し、特定母樹の申請を進めていきたいと考えています。

引用文献

(1) 田村ら(2013) 北海道育種基本区における第二世代精英樹候補木の選抜 平成24年度の実施結果-. 林木育種センター年報 H25版

(2) 田村ら(2014) 北海道育種基本区における第２世代精英樹候補木と優良木の選抜. 林木育種センター年報 H26版

(3) 田村ら(2015) 北海道育種基本区における第二世代精英樹候補木の選抜～平成２６年度の実施結果～. 林木育種センター年報 H27版: 121-134

(4) 中田ら(2019) 次代検定林の成績によるトドマツ精英樹集団からの優良系統の選抜. 森林総合研究所研究報告 17: 155-174

植栽に最適な苗木の産地を予測する
－トドマツの場合－

森林育成研究グループ　主任研究員　津山幾太郎

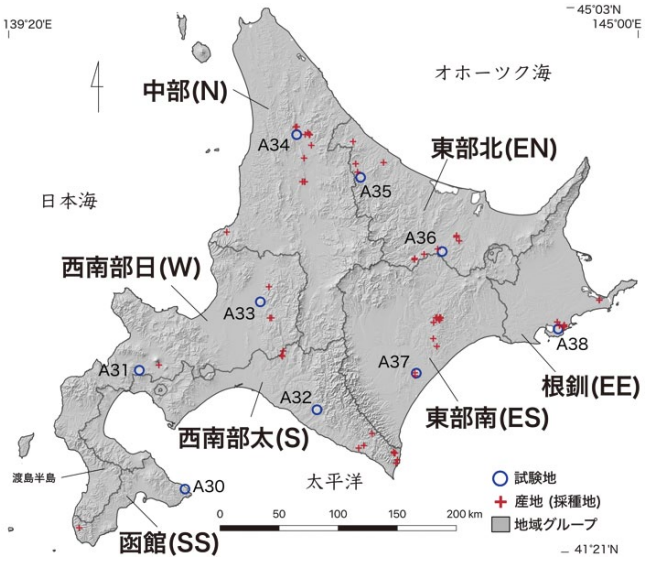
はじめに

マツ科モミ属のトドマツ（*Abies sachalinensis*）は、北海道の森林を代表する樹種であると同時に、道内の人工林蓄積量の約 50%を占める、最も重要な林業樹種の１つです。現在、多くの林分で伐採の適齢期（主伐期）を迎えており、主伐後の再造林に向けて、種苗の需要増加が予想されています。再造林に際して、植栽に最も適した種苗の産地を特定することは、持続的に森林を利用・管理する上で重要な課題です。

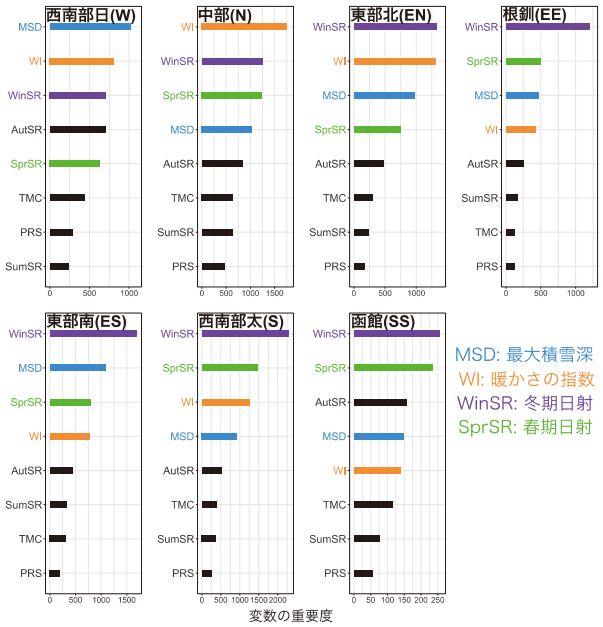
トドマツの種苗配布や造林利用について定めた需給地域区分は、1985 年に設定されました。これは、ローカルな（現地の）集団はその地域の環境条件における生存や繁殖に有利な特徴を持っている（地域適応している）、という前提に則っており、気候環境やトドマツの遺伝的特性に基づいて全道を５つの地域に区分しています。

こうした仕組みを検証する上で、各地で採種・育苗された苗木を様々な試験地に植栽し、成長や生残の追跡調査を行う産地試験が有効です。北海道では、道立総合研究機構林業試験場が、1980 年から全道９カ所において、41～82 産地で得られたトドマツの苗木を各試験地に植栽し、産地試験を行ってきました（図－１）。

本研究[1]では、上記の産地試験で得られたデータを用いて、トドマツの植栽に最適な産地を全道で明らかにするとともに、現在の需給地域区分の妥当性を検証することを目的としました。



図－１　産地試験地、産地の位置と地域グループ
Tsuyama et al. (2020)[1]を改変。



図－２　地域グループにおける気候変数の重要度
AutSR：秋期日射、TMC：最寒月日最低気温平均、PRS：夏期降水量、SumSR：夏期日射を示す。Tsuyama et al. (2020)[1]を改変。

トドマツの成長に重要な気候要因

対象地域は、北海道全域としました。現行の需給地域区分と、気候条件やこれまでの遺伝解析の結果に基づき、７つの地域グループを産地の候補グループとして設定しました（図－１）。産地試験で得られたデータから、最も質と量が充実していた植栽 10 年後の樹高を、成長の指標として解析に用いました。気候要因には、トドマツの生育に重要と考えられる８要因を用いました。

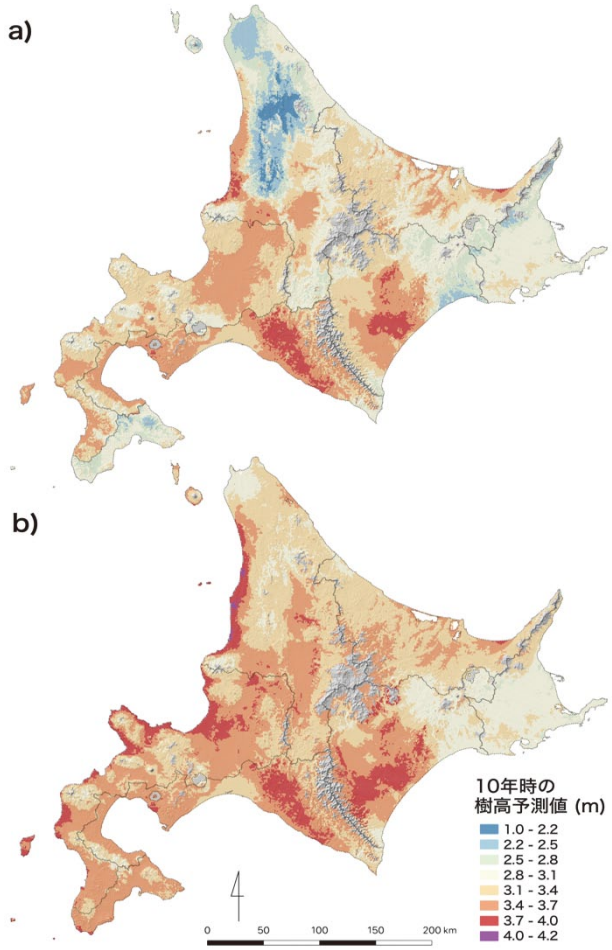
これらのデータを用いて、試験地における植栽 10 年後の樹高を、産地と植栽地（試験地）との気候的な差異で説明する統計モデルを構築しました。解析は、７地域グループ単位で行いました。統計モデルには、機械学習の１つで、応答変数に多変量を扱うことが可能な多変量ランダムフォレストを用いました。

モデル解析の結果、トドマツの樹高成長には、冬期日射、暖かさの指数、最大積雪深、春期日射

の４要因が重要なこと、各要因の重要性は地域によって異なることがわかりました（図－２）。冬期日射は、７地域グループ中５地域グループで最重要な要因となっており、特に重要な要因であることが示唆されました。樹高成長が産地と植栽地の気候的差異にどのように反応するのかを解析した結果、冬期日射と最大積雪深では、ローカルな環境に近い条件で樹高成長が最も良いことが明らかになりました。これらの結果は、トドマツが気候環境、特に冬期日射と積雪環境に強く地域適応していることを示唆しています。

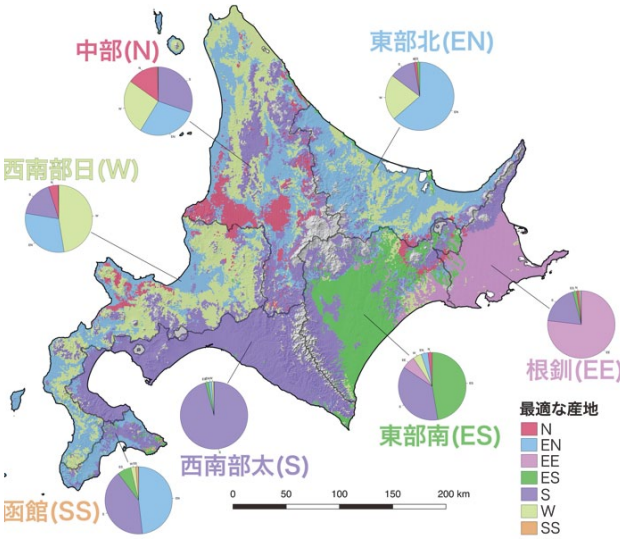
トドマツの植栽に最適な産地はどこか？

構築した統計モデルを全道（植栽に不適な高標高域を除く）に当てはめ、各地域グループの苗木を全道に植栽した場合の 10 年後の樹高を予測し



図－３a）ローカルな苗木、b）最適な産地の苗木を植えた場合の植栽 10 年後の樹高
Tsuyama et al. (2020)[1] を改変。

た結果、予測された樹高は地域によって明瞭な差があり、ローカルな地域で樹高成長は良好で、他の地域では成長が低下する傾向があることがわかりました。各地域グループでローカルな苗木を植えた場合と、樹高の予測値が最も高かった苗木（最適な産地の苗木）を植えた場合を比較すると、多くの地域では、ローカルな苗木が最適な苗木となりましたが、中部や函館では、他の地域の苗木を植えた方が樹高成長が良いと予測されました（図－３）。



図－４最適な産地と地域グループにおけるその割合
Tsuyama et al. (2020)[1] を改変。

植栽に最適な産地を全道を対象に予測した結果、中部や函館以外の地域では、ローカルな苗木が高い割合で最適と予測されました（図－４）。また、ローカル苗以外では、気候環境が類似した近隣の地域グループの苗木が最適となる傾向がありました。中部や函館については、試験地における生物害（枝枯れ病）の発生や、苗木の選抜方法などが影響し、このような結果になったと考えられます。

おわりに

本研究の結果、現行の需給地域区分は概ね適切なことが確認されました。それと同時に、地域によってはより適した苗木の産地があることが示唆されました。今後は、温暖化による苗木の不適応を考慮した最適産地の予測に発展させていきたいと考えています。

引用文献

(1) Tsuyama, I., Ishizuka, W., Kitamura, K., Taneda, H. and Goto S. (2020) Ten years of provenance trials and application of multivariate random forests predicted the most preferable seed source for silviculture of *Abies sachalinensis* in Hokkaido, Japan. Forests, 11, 1058.

カシノナガキクイムシの生態と拡大するナラ枯れ被害

チーム長（生物多様性担当）　上田明良

はじめに

2020 年夏にカシノナガキクイムシ（以下カシナガと略す（写真－１））の生息が、北海道で初めて道南の松前町と福島町で確認されました[8]。カシナガは体長 4～5mm の小さな虫ですが、本州以南の日本の各地で発生している「ナラ枯れ」被害の原因となる虫です。ナラ枯れは、ブナ属以外のブナ科樹木（シイ、カシ、ナラ、クリ類）が集団で枯死する現象です。北海道では、まだ枯死被害は確認されていませんが、その火種が存在することが確認されたわけです。ここでは、カシナガの生態および、ナラ枯れ被害拡大の推移とその要因を紹介します。

写真－１　道南で捕獲されたカシノナガキクイムシ

カシナガの生態

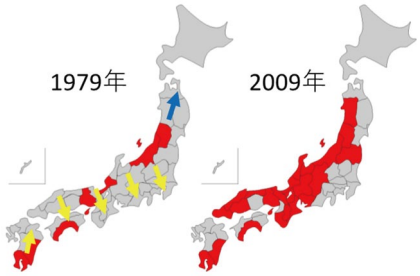
ナラ枯れは、カシナガのマスアタック（集中攻撃）により樹木が枯死する現象です。カシナガは初夏から夏にかけて父親が前年に開けた穴（孔道）から脱出し、新たな寄主を探して飛び回ります。まず、オスが寄主に着地し、数 cm の孔道をほぼ垂直に掘ります。体全体が隠れるほど掘ると、フェロモンを出して同種のメスだけでなくオスも誘引します[10, 11]。メスだけが誘引されるなら性フェロンですが、両性が誘引されるので集合フェロモンと呼ばれます。オスは、良好な寄主を探すのにフェロモンを利用しているのです。このフェロモンは交尾すると出なくなります[13]が、それまでに次々とやってきたオスが穴を掘り、新たにフェロモンを出します。これが繰り返されるので、高密度に穴が開くマスアタックになるのです。交尾後は、オスは入口のガード、フラス（糞と木くずの混合物）の排出、幼虫の脱落阻止、メスは産卵、孔道の拡張、餌の栽培に専念し、翌年に死ぬまで一生つがいます[5]。メスの背中（前胸背：写真－１の矢印部分）には数個の大きな穴があり、そこには特定の菌類が蓄えられています。メスは菌類のうち酵母菌類を選択的に孔道の壁に植え付けて育てます[5]。これを親だけでなく子（幼虫）も食べて育つのです。このような菌類を育て、子を養育する種は、ナガキクイム類のほぼ全てやキクイムシ類の多くで知られています。食物を栽培する昆虫なのです[4]。

ナラ枯れの仕組み

孔道の拡張は多数の幼虫も参加するので、加速します[5]。最終的には、総延長約４ｍにもなります[9]。このような長い孔道がマスアタックによって、高密度に走るのですから、木はたまったものではないでしょう。それに追い打ちをかけるのが病原菌です。カシナガのメスの背中の穴には酵母菌類以外に *Raffaelea* 属菌等の病原性糸状菌類も蓄えられています[7]。なかでも通称「ナラ菌」と呼ばれる *Raffaelea quercivora* は比較的病原性が高くかつ検出率が高いことが知られています[7]。病原菌が孔道周辺の木部に広がると黒っぽい変色が生じ、通水機能が停止します。虫と病原菌双方の作用により、幹のどこかの断面全体で通水機能が停止し、水が上がらなくなることで急速に枯死すると考えられています[7]。虫害と病害の両方の作用で枯れるので、「虫病害」とも言えます。

拡大するナラ枯れ被害

ナラ枯れ被害の拡大方向は大きく２つのベクトルに分けることができます。ひとつは、人口密度が低い地域から高い地域への方向、もうひと



図－１　1979 年（左）と 2009 年（右）までにナラ枯れ被害が報告された府県（赤色）
黄矢印は人工密度の高い地域へのベクトル、青矢印は寒冷地へのベクトルを示す。上田・小林[12]を改変。

つが温暖地から寒冷地への方向です。ナラ枯れは1934年に宮崎県と鹿児島県で初めて報告され、その後1979年まで散発的に7県で報告されました（図－1左）。1980年代から被害が急速に拡大し、2009年には、東北地方北部・東部、関東、大阪、瀬戸内、九州北部を残すだけとなりました（図－1右）。その後昨年までに、北海道、愛媛県、沖縄県以外の全府県で被害が生じました（図－2）。このうち大分県だけは韓国のナラ枯れ被害の原因となっているコウライナガキクイムシによるもの[1]ですが、他は全てカシナガが原因です。

図－2　2020年までにナラ枯れが報告された都府県
橙色の大分県はコウライナガキクイムシによる被害。

ナラ枯れ被害の拡大要因

人口高密度地域への被害拡大は、薪炭林の放棄が一番の原因と考えられます[6]。江戸時代（1750年）に長野県でナラ枯れに違いない記録がある[2]ことから、カシナガは古来から日本に生息していたと考えられます。カシナガは太い木を好み、直径20cm以下の木にはほとんど加害しません[6]。太古のカシナガは、広大で豊かな広葉樹主体の森林の中でわずかに生じる老齢衰弱木やその倒木を寄主に低密度で生息していたと考えられます。やがて、人間活動の活発化に伴い人口密度の高い地域では、薪炭用の小径木ばかりとなり、カシナガが絶滅し、より人口密度の低い地域の森林に徐々に閉じ込められてきたと考えられます[12]。そうした長い分布域縮小時代ののち、1950年以降の燃料革命により薪炭林が放棄され、広葉樹が大径化することで、閉じ込められていたカシナガが広がったと考えられます[6]。本州温暖地ではコナラ、千葉県と九州ではマテバシイがもっともよく枯れています。その背景には、薪炭用の管理が容易なため、本来の自生地とは異なる場所に植栽されてきた歴史があるのかもしれません。

寒冷地への被害拡大は、温暖化が原因と考えられます[3]。高標高方向も含む寒冷地での被害木の多くはミズナラです。屋久島より南にも、カシナガは南西諸島から東南アジアやインドにかけて広く分布しますが、ナラ枯れ被害の報告はありません。分布域を見る限り、カシナガは南方起源の昆虫と考えられます。南方域で被害報告がないのは、樹種の多様性が高く被害があっても目立たないことと、長い進化の過程で木が何らかの抵抗性を身につけていることが考えられます。これに対し、ミズナラの分布はカシナガの分布とほとんど重なってこなかったので、無抵抗に近いのかもしれません[3]。実際、カシナガにもっとも弱い樹種がミズナラだと言われています。

秋田県との県境付近でしか見られなかった青森県での被害（写真－2）が、昨年、津軽半島中北部の中泊町まで一気に北上しました。このまま温暖化が進めば、北海道で大きな被害が生じる可能性があります。注意が必要です。

写真－2　青森県でナラ枯れ被害を受けたミズナラ枯死木の根本付近
白色のフラス（虫糞と木くずが混ざったもの）が積もっている。

引用文献

(1) 後藤秀章ら（2011）日林大会要旨 123:pb153
(2) 井田秀行・高橋 勸（2010）日林誌 92: 115-119
(3) Kamata N et al (2002) Bul Entomol Res 92: 119-126
(4) Kirkendall LR (1983) Zool J Linn Soc 77: 293-352
(5) 小林正秀（2006）柴田叡弋・富樫一巳編著「樹の中の虫の不思議な生活」，東海大出版，秦野，p189-210
(6) 小林正秀・上田明良（2005）日林誌 87:435-450
(7) Masuya H and Ichihara Y (2012) Proc Inter Sympo on oak forest preservation. August 27-29, KFRI, Korea, Seoul
(8) Ozaki K et al (2021) J For Res 印刷中
(9) Sone K et al (1998) Appl Entomol Zool 33:67-75
(10) Tokoro M et al (2007) 森林総研報 6:49-57
(11) Ueda A and Kobayashi M (2001) J For Res 6: 173-179
(12) 上田明良・小林正秀（2008）昆虫と自然 43(12):17-20
(13) Ueda A and Kobayashi M (2014) J For Res 19:523-528

活　動　報　告

◆令和２年度北海道地域研究成果発表会「樹木の生態・遺伝と育成をめぐる最近の研究から」を配信◆

令和２年度北海道地域研究成果発表会を、北海道支所、北海道育種場、札幌水源林整備事務所で共催し、令和３年２月15日（月）から YouTube 森林総研チャンネルで配信を開始しました。北海道支所ホームページにリンクがあります。札幌水源林整備事務所の業務紹介ポスターも掲示しています。発表要旨は本号に掲載しています。

◆札幌市立西岡南小学校の校外学習を受け入れ◆

令和２年10月８日（木）に北海道支所樹木園および標本館において、札幌市立西岡南小学校２年生112名の校外学習を受け入れました。新型コロナウイルス感染症対策を十分に行った上で、職員による森のクイズや観察を行いました。

◆「ICT を活用した伐採・造林のムダなし一貫作業システムの構築」実演会を開催◆

令和３年２月18日（木）に北海道支所構内において、森林総合研究所と道内企業の共同研究「ICT を活用した伐採・造林のムダなし一貫作業システムの構築」で行った研究開発事業の成果普及のため、林業関係者向けの実演会をコロナ禍の中で人数を限った現地開催とライブ配信により開催しました。野外の会場では、丸太情報管理システムとして造材丸太への IC タグ付け装置やタグを活用した丸太検知のデモ、植栽計画を自動生成する造林プランニングのアプリ紹介、作業員を苗木植付け位置に誘導する装着型の位置情報管理システム（植付けナビ）のデモ等を行い、参加者との意見交換を行いました。

実演会会場の様子

お　知　ら　せ

◆北の森だより Vol.24 の訂正◆

北の森だより Vol.24 の記事「旭川地域の広葉樹木材業の歩み」で、下記の誤りがありました。お詫びして訂正致します。

21 ページ左段 14～15 行目　（誤）5500 万 m^3 →（正）5500 万 m^2、（誤）3800 万 m^3 →（正）3800 万 m^2

国立研究開発法人　森林研究・整備機構　森林総合研究所北海道支所　研究情報誌
『北の森だより』Vol.25

編集・発行　国立研究開発法人　森林研究・整備機構　森林総合研究所北海道支所（担当：地域連携推進室）
〒062-8516　北海道札幌市豊平区羊ケ丘７番地
TEL(011)851-4131　FAX(011)851-4167
URL　http://www.ffpri.affrc.go.jp/hkd/
印　刷　ひまわり印刷株式会社
〒053-0815　北海道苫小牧市永福町２丁目１－４
TEL(0144)74-4500　FAX(0144)74-1151

2021年３月26日発行

本誌から転載・複写する場合は、森林総合研究所北海道支所の許可を受けて下さい。
この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。
PRINTED WITH SOYINK
SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS