

樹木の耐凍性とその調べ方

齋藤 満

はじめに

青空が高く澄み渡った静かな冬の早朝，うす雪につつまれたトドマツの葉は、やや黒ずんで不自然に曲ったまま硬く凍りついている。やがて朝日が当たると次第に葉の曲りはとれて、色も鮮緑色に変わっていく。

一般に、冬季には樹木の葉や小枝の部分は夜間に凍結し、日中に太陽の直射にさらされると気温が氷点下数度でもとける。また幹の太い部分や日中も太陽の直射が当たらない場所に生育している樹木は、ほとんど凍結したまま越冬している。

このような低温にさらされて生育している樹木の低温に耐える度合いは、外囲の温度条件と深い関連をもっている。

樹木の低温に耐える度合いは外囲温度によってどのように影響されるか、また樹木の低温に耐える度合いはどのようにして測定するかについてのべてみたい。

耐凍性と耐寒性

植物が凍結に耐える性質を耐凍性といい、その大きさを耐凍度とよび、害なく耐える最低の凍結温度で示す。一般に、低い温度の凍結に耐えることは、耐凍性が高いまたは耐凍度が高いと表現されている。

耐凍性と同様の意味で耐寒性という言葉が使われることがあるが、この言葉は寒さの害の発生機構がまだ十分明らかになっていない時に、寒さに関係して発生した害を総称して寒害と呼んだが、それに対応して用いられた言葉と思われる。現在、林木の寒さの害は、その発生原因から、低温が主因の凍害、乾燥が主因の寒風害および材部に異常に蓄積された水分が凍結して膨張するためにおこる凍裂に3大別されている。

したがって、耐寒性という言葉の内容も明確にする必要がある。樹木は過冷却の状態では低温の害をうけない。そして、この過冷却の状態は現実にはありうるが、一般に非常に偶発的であり、人工的にコントロールできない。

以上のことから、樹木が凍結状態でどの程度の低温に耐えるかを問題にする限り、耐寒性より耐凍性という言葉を用いる方が、内容の主体がはっきりしていてよいと考えられている。

樹木の耐凍性が高まる外囲の温度条件

一般に、植物は夏季の生育期にはほとんど凍結に耐えないが、秋になり、日長がある時間数

になると、それを葉で感じとり、生長抑制物質を合成して、先長を停止すると考えられている。ポプラやヤナギはこの状態で、約2週間、10~20の温度にさらされると-3~-5の凍結に耐えるようになる。この時期には、植物の体内では澱粉、核酸、タンパク質および各種脂質がたくわえられる。また細胞の浸透圧や透過性は徐々に高まりはじめ、かつ組織の含水率はしだいに減りはじめる。さらに形成層の層数が減って冬型となる。このように、樹木の体内では冬の低温に耐えるために積極的な生理変化が行われている。この段階は耐凍性の高まる準備の段階とよばれている。

この時期をおえた植物は、-5~10の低温にさらすと著しく耐凍性を高める。この時期には、体内の澱粉は糖に変換され、さらに水溶性タンパクが増加する。そして、細胞の浸透濃度や透過性が急速に高まり、含水率もさらに下る。この段階は耐凍性の高まる段階とよばれている。

準備の段階を十分経なければ、低温にさらされても耐凍性はあまり高まらない。また、準備の段階を終えても、低温にさらされなければ耐凍性はほとんど高まらない。

トドマツの芽は、約2週間、12より高い温度におくと-15の凍結に耐えるようになるが-5~0の低温におくと、耐凍性の高まり方はより促進され、-25~-30の凍結に耐えるようになる。

以上のとおり、植物の耐凍性が高まる過程で、最初に比較的高い温度が関係し、その後は低温が関係する二つの段階からなっている。

これらのことから、生長の停止のおそい樹種や同一樹種でも立地環境などにより生長の停止が遅ければ、それだけ耐凍性の獲得もおくれると考えられる。たとえば、生長の停止の早いトドマツは早くから耐凍性を獲得するが、生長停止のおそいカラマツは耐凍性の獲得がおくれる。早霜害に対してトドマツよりもカラマツが弱いのはそのためである。また耐凍性の高まるのに必要な二つの温度段階が十分でない立地環境に生育する植物は、たとえ高い耐凍能力をもっている低い耐凍性のままとどまっていることになる。

図-1は、著者らが札幌と水戸で生育したスギ幼鈴木の耐凍性を時期別に測定したものである。平均気温をみると、水戸では札幌より約1ヵ月おくれて気温が

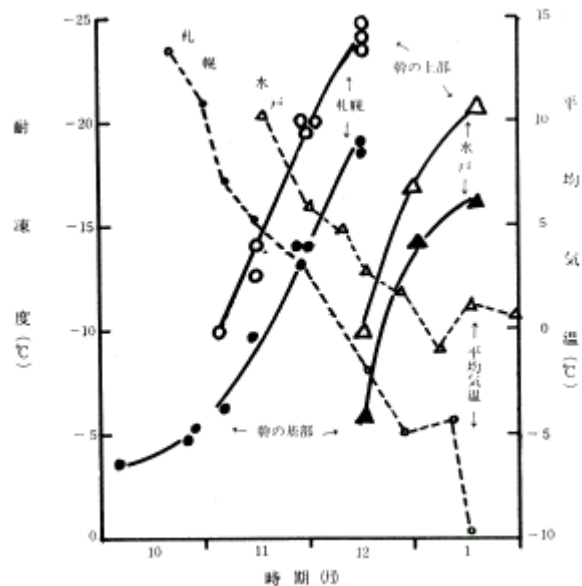


図-7 スギ幼齢木の耐凍性の季節変化

下がり、真冬の低温も札幌より高い。耐凍性もそれに対応して、水戸で生育したものに比べて約1ヵ月おくれて高まっているのがわかる。

樹木の耐凍性を最も効果的に高める温度条件

植物の耐凍性が高まる一般的過程は前述のとおりであるが、耐凍性が高まる準備の段階を終えた比較的高い耐凍能力をもつ植物に対して、耐凍性を最も効果的に高める温度条件は1964年酒井によりヤナギやポプラの枝で初めて明らかにされた。その温度条件は材料を -3 の凍結状態で約20日間おくことであった。のちに、この条件はブドウ、スギ、トドマツ、その他多くの樹種で共通であることがわかった。現在、この温度条件は春になっていったん低下した耐凍性を再び高めるにも、また一度高まった耐凍性を高いまま維持するにも最適の温度条件とされている。

この植物の耐凍性を高める最も効果的な温度条件が明らかになったため、このことを利用して、生育環境が異なっても、外囲温度が与えた耐凍性のちがいを少なくすることができるようになり、生育地の異なる多くの樹種や同一樹種の産地による耐凍性のちがいを大がかりな移植実験をしなくても容易に比較できるようになった。

耐凍性を低下させる温度条件

北海道のように秋は早くから低温となる地域では、通常、樹木は厳冬期の直前にすでに高い耐凍性を獲得している。このような高い状態にある耐凍性はどのような温度条件で低下するか。スギとトドマツの幼齡の鉢植苗を用いて行われた実験の結果はつぎのとおりであった。

スギは $-5\sim 20$ の変温条件でも、恒温条件でも、 13 以上の平均温度で2週間おかれたときに耐凍性は低下した。また、さらされる温度が 0 でも凍結しない状態で長期間おくと耐凍性は低下する。トドマツでは 15 以上の温度で2週間おいたとき低下した。

これらのことから、厳冬期には外気温が平均して 15 以上で2週間も続くことは考え難から、スギやトドマツは厳冬期には耐凍性が容易に低下することはなく、比較的安定したものといえよう。しかし、春に近づくにしたがって外気温は上昇し、耐凍性自体も急速に低下しやすくなるといわれている。このような耐凍性の低下に関する温度の影響は、造林樹種についてはまだあまりよくわかっていない。

樹木の耐凍性の調べ方

実験室的に樹木の耐凍性を調べるには、材料を温度制御可能な低温室で一定の時間低温にさらし、融解させてから、水ざしして室温に約1ヵ月おいて、芽のでの状況や組織の変色などから耐える温度を判定する。低温処理の際の基本的な留意点はつぎのとおりである。(1) 急激な温度変化を避ける。(2) 凍結のはじめは組織の凍る溢度(組織の氷点という)附近で行い、その温

度段階で潜熱を十分放出させる。(3) 処理中の乾燥を防ぐ。

これらの点を考慮し、現在行われている具体的低温処理の方法をのべてみよう。

まず、材料を薄手のポリエチレン袋でつつみ、袋の中の空気をできるだけ除く。その際、材料が切枝などのように樹木の小部分のときは、切口や先端部分を水で十分湿らせる。また鉢植え苗のときは葉や枝先を霧吹きなどを利用して十分湿らせる。この操作は過冷却を防いで凍結を早めるために行う。冷却する前の材料の温度がかなり高いときは、あらかじめ 10 前後に数時間おいてから - 5 に約 1 時間おいて凍結させる。1 時間後にも凍結が始まっていなければ、氷片を材料の一部に接触させて凍結させる。この操作を植氷とっている。植物体の凍る温度は樹種や同一個体でも組織、部位で異なり、それは 0 ~ - 5 の範囲にあると考えられている。筆者の測定によれば、スギ幼齢木の幹下部の材部の氷点は - 0.55、皮層部は - 3.4 であった。植氷の操作を行って凍結を確認してからさらに 1 時間 - 5 において、組織が凍ったために生じた氷の潜熱を十分放出させる。つぎに、1 時間おきに 5 の割合で冷却し、所定温度で 1 時間おく。16 時間という時間は材料が所定温度に達し、さらに確実にその温度にある長さとして経験的に適当とされている時間である。

所定温度で 16 時間冷却した材料は所定温度から直接 0 において、24 時間かけてゆっくり融解する。融解が完全におわってから室温で水ざしして、約 1 ヶ月後に芽のでかたや組織の変色などを観察し、害がない最低の凍結温度を判定する。水ざし中にはできれば毎日、おそくても一日おきに水を新しいものにとりかえる。これが一般的な耐凍性を調べるための低温処理の方法である。

耐凍性が非常に低い材料は - 2 ~ - 3 で凍結させ、所定温度で数時間処理する。融解以後の処理は前にのべたのと同様である。

耐凍性が非常に高い材料は - 40 までは一般的な方法と同じであるが、- 40 以下 - 70 までは、2 時間ごとに 10 ずつ温度を下げる。

耐凍性が - 70 をこえるものではすべて - 196 の液体窒素に耐えるから、ふつうの方法では耐凍性を測定できない。1963 年、酒井はこのような樹種の耐凍性は液体窒素に処理する直前の温度（これを予備凍結温度という）と密接な関係があることを明らかにし、予備凍結温度と液体窒素の略号である $L N_2$ を併記してあらわすことができるようになった。たとえば、- 30 $L N_2$ は予備凍結温度が - 30 から液体窒素の低温に耐えることを意味し、- 20 $L N_2$ はより高い予備凍結温度から液体窒素に耐える。予備凍結温度が高くても液体窒素の中で生存しうるものほど耐凍性が高い。シラカンバ、ダケカンバ、れよびある種のヤナギは - 15 の予備凍結温度から液体窒素に処理されても生きている。これらの樹種は最も耐凍性の高いグループの樹種である。液体窒素に処理したときの融解の方法は、まず - 30 に 24 時間おき、その後は一般的な方法と同様である。

厳冬期に、樹木のもっているほとんど最高に近い耐凍性を発揮させるばあいは、まえにのべ

た耐凍性を高める最も効果的の温度条件におき，融解しないでそのまま1日5%の割合でゆっくり所定温度まで下げる。この場合も融解は一般的方法と同様である。筆者は昨年スギの切枝をこのような方法で-30℃まで耐凍性を高めることができた。

あ と が き

ここにのべてきた耐凍性は，主に樹木の切枝や幼齡木を対象にして，実験室で人工的に低温を与えて行った実験結果にもとづくものである。したがって，処理の過程ではできる限り不自然な条件を排除するように配慮されているものの，排除できない条件があるかもしれない。かりに低温処理が万全であったとしても，判定された耐凍度は現実にそぐわないばあいもある。このことに若干ふれて，本論のしめくくりとしたい。

植物は地質時代から現在にわたる長い歴史のなかで低温に対して何らかの形で対応をしてきたはずである。その1は，低温に直接に耐える方法，その2として，低温を回避する方法が考えられる。低温を回避する方法として，形態的に矯性化や匍伏化など一般に小型化の方向へ適応したものもあるだろう。また，萌芽性などの回復力や再生力が旺盛でしかも生長が著しく良好なために，一般的に最も危険な幼齡期を早く脱してしまうような方向も考えられる。このように，低温を回避する方向で適応してきた植物と耐凍性を高める方向で適応してきた植物を，実験室的に測定した耐凍性のみについて比較することは必ずしも適当ではないであろう。

(造林科)