

アカエゾマツは春先、一時的に低温害を受けやすくなる

北尾 光俊

はじめに

北海道は多くの樹種の北限や南限が位置するという特色を持っています。低温障害はこれらの樹木の分布を決める大きな要因です。アカエゾマツは苗木生産がトドマツ同様に事業ベースに置かれ、材も優れていることから、北海道における主要造林種として多用されています。

春先の低温により、主として芽吹き直後の葉に障害が生じる現象は「晩霜害」として広く知られています。アカエゾマツはトドマツと比べて一般に晩霜害を受けにくいとされていますが、これは開葉時期が遅いことで晩霜害を回避しているためと考えられています。アカエゾマツは、くぼ地など、冷気が貯まり易い場所に、そしてトドマツでは寒害に遭遇し易い場所に植えられてきました。しかしながら、昭和60年6月に北海道弟子屈町のトドマツ、アカエゾマツ人工林で生じた晩霜害では、トドマツは開葉した新葉のみに障害が生じましたが、アカエゾマツでは開葉は始まっておらず、既存の葉の多くに障害、枯死が生じた事例が報告されています。このことより、開葉直前にアカエゾマツの既存の葉では低温への耐性が一時的

に弱まる可能性が指摘されています²⁾。また、開葉期の光合成速度と呼吸速度を調べた実験により、アカエゾマツでは開葉直前に呼吸速度の上昇とともに光合成速度が低下することが報告されています¹⁾。これらの知見より、アカエゾマツでは開葉前に既存の葉において急激な生理的変化の生じていることが推察されます。

近年、高山に生育する植物を対象とした研究によって、低温下での強光ストレスが、植物の成長および生存率に悪影響を与えることが明らかとなりました³⁾。例えば、樹冠下で庇陰されている稚樹の方が強光ストレスを受けにくく、直射日光が当たる場所に生育するものよりも生存率が高くなることが報告されています^{7) 8)}。

ここで、強光ストレスについて簡単に説明しておきます。強光によるストレスを測る指標として「光阻害」という現象が広く用いられています。光阻害の定義は長時間にわたる光合成効率の低下であり、植物が消費できるエネルギーに対して過剰な光エネルギーを照射された場合に生じます。そのため、単に強光を受けた場合のみならず、低温などの環境ストレスにより光合成活性が低下し、

消費するエネルギー量が減少した場合にも光障害が生じることが知られています⁴⁾。前述したアカエゾマツの開葉直前の急激な生理的変化は、既存の葉の光合成活性を低下させ、それに伴い光障害の感受性が増加する可能性が考えられます。弱光環境に生育するアカエゾマツを強光環境への急激な環境の変化にさらすことにより、陰葉が褐変後、落葉する現象が観察により確認されています。春先の光合成活性の低下による光障害がアカエゾマツの成長、生存に与える影響は無視できないと考えられます。

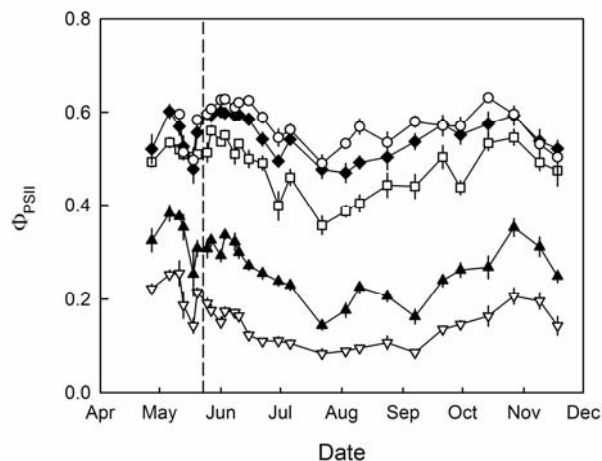
それでは、アカエゾマツの一年生葉について開葉前後に光合成活性と光障害との関係を調べた研究を紹介していきます。



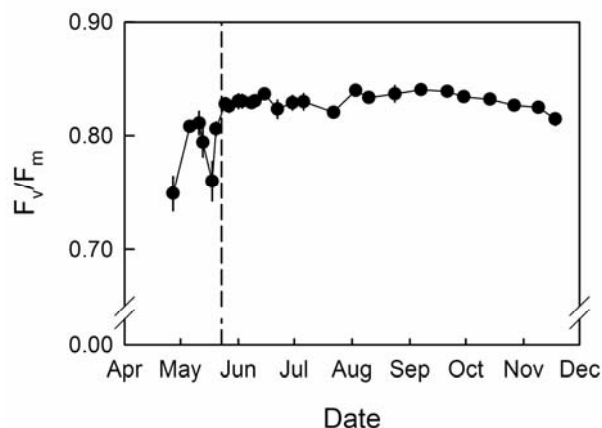
写真－１．クロロフィル蛍光反応測定の様子。

調べる方法とその結果

光合成活性及び光障害の程度を測定するためにはクロロフィル蛍光測定を用いました。クロロフィル蛍光測定に関する詳細は総説⁴⁾を参照してください。クロロフィル蛍光測定による光合成活性を示す指標として、光化学系Ⅱでの電子伝達の光量子収量を示す Φ_{PSII} を用いました。結果として、開葉およそ1週間前（5月20日頃）に顕著に光合成活性が低下することが明らかとなりました（図－１）。植物の葉を一晩暗順化したのちに



図－１．アカエゾマツ1年生葉における Φ_{PSII} の季節変化。測定は温度を変えておこなった；5°C (▽), 10°C (▲), 20°C (□), 25°C (◆), 30°C (○)。破線は開葉開始日を示す。



図－２．アカエゾマツ1年生葉の F_v/F_m の季節変化。破線は開葉開始日を示す。

測定する F_v/F_m という蛍光反応のパラメーターは光化学系Ⅱの最大光量子収率を表し、その低下が光障害の指標となります¹⁰⁾。光合成活性の低下と同時に、光障害の程度も大きくなっていることが F_v/F_m の変化から明らかになりました（図－２）。これらの傾向は別の年に測定した際にも同様に観察されました。この時期のアカエゾマツ苗木の様子を写真－２に示しています。

このように開葉直前に既存の葉において、一時的ではありますが光合成活性の低下にとまらな



写真-2. 5月20日頃のアカエゾマツ苗木の様子。芽が少しふくらんでいるのがわかる。

阻害が生じていることが明らかとなりました。また、温度を変えて光阻害感受性を測定した結果、10度を下回るような低温下では光阻害防御機構がうまく働かなく、より光阻害を受けやすくなることも明らかとなっています。そのため、開葉前の光合成活性が低下する時期に低温下で強光にさらされる場合には、光阻害の危険性はさらに増大すると予測されます。

なぜ、春先に光合成活性の変化が生じるのか？

針葉樹は既存の葉が春先に光合成によって獲得した光合成産物を使って新しく葉を展開させることが安定同位体を用いた研究によって明らかにされています⁶⁾。開葉直前には、既存の葉において葉緑体へのデンプンの集積が顕著に見られています⁹⁾。その時期の葉緑体は光合成器官としてではなく、新葉展開のための一時的な光合成産物の貯蔵器官として働いていると考えられます。これは、枝などに蓄えた前年度の光合成産物を用いて葉を展開させる落葉広葉樹と大きく異なるところです。

アカエゾマツでデンプンの集積量を調べた結果、光合成活性の低下が見られた時期には高いレベルのデンプン集積が明らかとなりました。このよう

なデンプンの集積は葉緑体を構造的に圧迫し、光合成の機能不全を引き起こすだけでなく、デンプンのさらなる集積を防ぐ方向に働くフィードバック制御により、光合成活性を低下させると考えられます。

以上の結果の詳細は、Kitao et al. (2004)を参照してください⁵⁾。

今後の展開

地球環境変動にともなう環境ストレスが樹木に与える影響が懸念されています。なかでも、大気中CO₂濃度上昇は、樹木の生存・生育に新たな環境ストレス要因を生じさせるおそれがあります。現在のところ、アカエゾマツを対象とした研究によって、当年葉のみならず一年生葉においても、春先に低温による光阻害を受けやすくなる時期が存在することが明らかとなっています。しかしながら、CO₂濃度上昇が、開葉時期および炭水化物集積に関連する低温障害感受性の増加に与える影響は明らかになっていません。春先の一年生葉は、光合成器官として働くのみならず、新しい葉を展開するための炭水化物の貯蔵器官として働いています。高CO₂環境に生育することで葉の炭水化物含量が増加すると、開葉時期が早くなり、低温の影響を受ける危険性が増加する可能性が考えられます。また、高CO₂による炭水化物の集積が、フィードバック制御などを通じて、光阻害感受性に影響を与える可能性も考えられます。今後、CO₂濃度上昇による環境変動が北方森林生態系に与える影響を予想するために、これらの可能性を検討する必要があります。

引用文献

- 1) 坂上幸雄、藤村好子 (1981) トドマツ, アカエゾマツ苗の光合成速度, 呼吸速度の季節変化. 日本林学会誌 63: 194-200
- 2) Takahashi K, Fujimura Y, Koike T (1987) Frost damage of Akazomatsu (*Picea glehnii* Mast.) plantations by a cold

- air lake. In: Fujimori T, Kimura M (eds) Human Impact and Management of Mountain Forests. Forestry and Forest Products Research Institute, Tsukuba, Japan. 167-175
- 3) Ball MC (1994) The role of photoinhibition during tree seedlings establishment at low temperatures. In: Baker NR, Bowyer JR (eds.) Photoinhibition of Photosynthesis: from molecular mechanisms to the field. Bios Scientific Publishers, Oxford, 365-376
- 4) 北尾光俊 (2004) 樹木の光合成に及ぼす環境ストレスの影響. 日本林学会誌 **86**: 42-47
- 5) Kitao M, Qu L, Koike T, Tobita H, Maruyama Y (2004) Increased susceptibility to photoinhibition in pre-existing needles experiencing low temperature at spring bud-break in Sakhalin spruce (*Picea glehnii* Masters) seedlings. *Physiologia Plantarum* **122**: 226-232
- 6) Hansen J, Beck E (1994) Seasonal changes in the utilization and turnover of assimilation products in 8-year-old Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees. *Trees* **8**: 172-182
- 7) Germino MJ, Smith WK (1999) Sky exposure, crown architecture, and low-temperature photoinhibition in conifer seedlings at alpine treeline. *Plant Cell Environ* **22**: 407-415
- 8) Germino MJ, Smith WK (2000) High resistance to low-temperature photoinhibition in two alpine snowbank species. *Physiol Plant* **110**: 89-95
- 9) Senser M, Schötz F, Beck E (1975) Seasonal changes in structure and function of spruce chloroplasts. *Planta* **126**:1-10
- 10) Krause, G.H. (1994) Photoinhibition induced by low temperatures. In Photoinhibition of Photosynthesis: From Molecular Mechanisms to the Field. Baker, N.R. and

J.R (eds.), BIOS Scientific Publishers, Oxford, 331-348

**○平成17年度森林総合研究所北海道支所研究
成果発表会のお知らせ**

平成17年度の研究成果発表会を下記の要領にて開催いたします。お忙しい折とは存じますが、奮ってご参加いただけますようお願い申し上げます。

記

○日 時：平成18年3月2日(木)

午後1時から

○場 所：札幌教育文化会館

小ホール

札幌市中央区北1条西13丁目

電話：(011)271-5821

○入 場：無料(事前申込不要)

○テーマ：

北海道のカラマツ、トドマツ人工林を考える

—長伐期化のなかで—

1. トドマツ人工林における下層植生の種多様性
(飯田 滋生)
2. 高齢級カラマツの腐朽について
(山口 岳広)
3. 人工林は土壌を悪化させるか？
—トドマツの場合はどうだろう—
(田中 永晴)
4. トドマツの凍裂の発生状況について
(松崎 智徳)
5. カラマツ人工林の収益性
—造林補助金削減にどう対応するか—
(駒木 貴彰)

研究レポート NO. 85

発行 平成17(2005)年12月28日

編集 独立行政法人

森林総合研究所北海道支所

〒062-8516 札幌市豊平区羊ヶ丘7

電話(011)851-4131

FAX(011)851-4167

URL <http://www.ffpri-hkd.affrc.go.jp/>