

北の森だより

No.32 令和7年8月

— 目 次 —

令和6年度 北海道地域研究成果発表会 発表集

- 炭素固定量の変化から見る羊ヶ丘落葉広葉樹林の25年 溝口 康子・・・2
- 定山溪森林理水試験地における窒素沈着量と渓流水の硝酸イオン濃度の長期変化 今村 直広・・・4
- ミズナラの開芽時期の長期変動 生方 正俊・・・6
—30年間でミズナラの開芽はどれだけ早まったか—



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

炭素固定量の変化から見る羊ヶ丘落葉広葉樹林の25年

寒地環境保全研究グループ（現関西支所森林環境研究グループ） 溝口康子

はじめに

樹木は大気中の二酸化炭素を吸収し、炭素を樹木の中に維持、すなわち固定します。多くの樹木からなる森林は、多様な生き物の住处であり人間が活用できる木材生産の場というだけでなく、地球温暖化が世界の関心事となった20世紀末から、産業革命以降増え続けている大気中の森林の二酸化炭素を吸収・固定する観点からも注目を集めるようになってきました。

しかし、広く行われている樹木の成長量測定だけでは葉や枯れた木の分解による二酸化炭素放出量がわからないため、森林全体がどのくらい炭素を固定しているかを評価するには不十分です。実際に森林が炭素をどのくらい固定しているかを評価する方法の一つとして、渦相関法と呼ばれる方法があります。この方法を用いるために必要な応答速度の速い二酸化炭素濃度計が利用可能になった30年ほど前から徐々に渦相関法による観測が行われるようになってきました。

当研究所でも観測手法のブラッシュアップを進め、1999年から統一的な手法による観測を全国5か所で開始しました。そのうちの一つで最も北に位置する羊ヶ丘実験林の25年の炭素固定量の変化についてご紹介します。

森林の炭素固定量を求める方法

羊ヶ丘実験林では主に渦相関法と成長量調査を行っています。渦相関法は、森林樹冠より上の位置に風速や二酸化炭素濃度などを1秒間に10回以上の測定が可能な測器を設置して行います(写真1)。樹冠より上に測器を設置する必要があるため、樹木より高いタワーが必要となります。設備が大掛かりとなりますが、日変化・季節変化を長期にわたっ



写真1 27mの高さに取り付けられた測器。
渦相関法に用いるため、1秒間に10回、二酸化炭素濃度や風速を測定している。

て連続的に測定できる利点の多い方法です。ただし、土壌からの放出等も含んだ値しか評価できないため、樹木そのものの成長量や変化を求めることはできません。

樹木の成長量調査では個々の木の高さ1.3mの位置の幹の直径を測ります。直径からその木の現存量を推定し、1年間の変化量から成長量を求め、樹木が固定した炭素量を換算します。この方法では森林の樹木の成長量しかとらえることができず、土壌や枯死木等から放出される二酸化炭素量を把握することができません。

渦相関法と成長量調査を組み合わせて行うことで、森林・樹木の成長量と二酸化炭素固定量の関係性がより詳細に見えてきます。

羊ヶ丘実験林の概要

札幌市郊外に位置する羊ヶ丘実験林は19世紀末から20世紀初頭にかけて数回の山火事があったことが記録されています。森林総合研究所北海道支所(当時は林業試験場北海道支場)が羊ヶ丘に

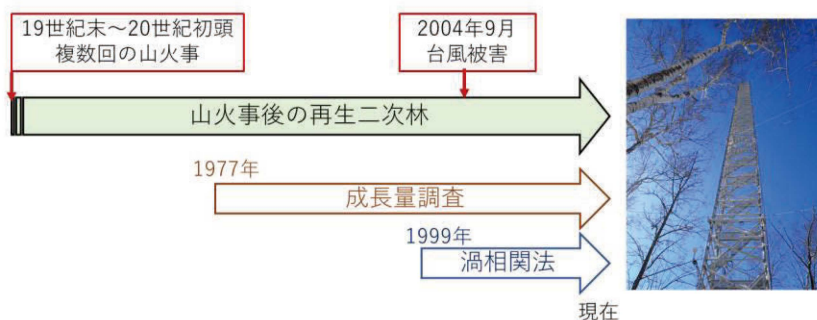


図1 羊ヶ丘実験林の変遷と渦相関法を用いるために建てられた高さ40mのタワー

移転したのを機に成長量調査が開始されました。羊ヶ丘実験林には山火事後にパイオニアとして侵入したシラカンバをはじめとした落葉広葉樹林が広がっているのですが、2000年頃からシラカンバの高齢化による枯死が目立っています⁽¹⁾。1999年には40mのタワーを用いた渦相関法による観測が開始され、現在も継続中です(図1)。

渦相関法による観測開始以降のこの25年間で羊ヶ丘実験林は風害、冠雪害、虫害と様々な攪乱(被害)を経験していますが、特に2004年9月の台風では大きな被害を受け、現存量は約3割減少したと見積もられています。現在は森林の回復途上にあり、林相も台風直後と比べかなり変化しています(写真2)。

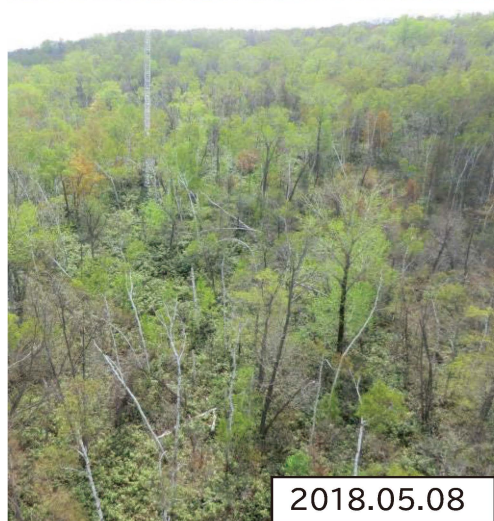


写真2 札幌市豊平区羊ヶ丘に広がるシラカンバ・ミズナラを中心とした落葉広葉樹林。2004年の台風で大きな被害を受けた(写真上)が、現在は回復途上(写真下)にある。

炭素固定量の変化

羊ヶ丘の年間の炭素固定量は、2004年の台風攪乱以前は一般的な温帯の森林同様年間3 ton/ha以上でした。しかし、台風によって樹木が大きく被害を受け、枯死した樹木が分解によって大量の二酸化炭素を放出することにより、森林が光合成によって吸収する二酸化炭素量を上回り、年間の炭素固定量はマイナス、つまり炭素を固定せずに放出する状況が長く続きました⁽²⁾。さらに、高齢シラカンバの枯死が継続したことで、炭素固定量のマイナスは10年以上と長期にわたりました。渦相関法で求まる年間炭素固定量が再びプラスになったのは2020年頃からです。ちょうど2020年頃から単位面積当たりの幹の成長量合計が顕著に増加し始める一方で、枯死量が減少していることがわかっています。光合成による二酸化炭素吸収量の増加と枯死量減少に伴う分解による放出量の減少により、年間の炭素固定量もプラスへと変化したことがわかりました。

当初、樹木の減少により光合成による吸収量の大幅な減少が予想されましたが、実は予想よりもその減少幅は小さくなりました。成長量調査では、樹木の現存量のみを評価するため、渦相関法の結果と差がありました。その原因は、林床のササの成長が挙げられます。倒木等により林床が明るくなったことにより、ササの成長が促進されました。ただ、現存量の回復とともに、ササの吸収量は減少していると推定されています。

おわりに

光合成による吸収量や分解・呼吸による放出量は光や気温などの気象条件とも大きく関わっています。長期にわたる観測により、これら気象条件との関係性が明らかになってきており、羊ヶ丘で起こっているような森林の変化や、乾燥や虫害による葉量の減少など一時的な影響と、気象条件の影響を分離することができるようになってきました。これらの観測データは、森林の炭素固定量予測向上のために活用されます。

引用文献

- (1) 溝口康子ら (2021) 老齢シラカンバを含む落葉広葉樹林の枯死率の変化-個体数及び現存量を基にした枯死率の違い-. 日本森林学会誌103: 291-296.
- (2) Yamanoi K et al. (2015) Effects of a windthrow disturbance on the carbon balance of a broadleaf deciduous forest in Hokkaido, Japan. Biogeoscience 12:6837-6851.

定山溪森林理水試験地における

窒素沈着量と渓流水の硝酸イオン濃度の長期変化

植物土壌系研究グループ 今村直広

はじめに

緑色植物は、水溶性の窒素－アンモニア態窒素、硝酸態窒素などを根から吸収して、タンパク質を合成します。そのため、三主要養分元素である、窒素、リン、カリウムのうち、窒素は植物が最も多量に必要とする元素です。降水に含まれる窒素化合物の発生源は、土壌からのアンモニア揮散、工場や自動車からの窒素酸化物に由来する硝酸などです。森林土壌に雨としてもたらされた窒素は、その一部が植物の根から吸収され、一部はアンモニアとして空气中に揮散し、一部は難分解有機物や微生物へ取り込まれます。また、一般に、窒素はアンモニア態として土壌の粘土鉱物や腐植の陰荷電に吸着されるため移動しにくいですが、酸化されて硝酸態となれば容易に溶脱し、渓流へ流出します。

一般に温帯の森林生態系では、植物の窒素要求量に対して生態系外部からの窒素流入量や土壌中の窒素現存量が少ないため、渓流への流出は少なく、渓流水の硝酸イオン濃度は低濃度となることが多いです。ところが、大都市周辺では、大気からの過剰な窒素供給により、樹木が吸収できる窒素量よりも多くの窒素が供給され、高濃度の硝酸イオンが流出する事例が報告されています。また、近年では、我が国や大陸での窒素酸化物の放出量の低下により、窒素沈着量と渓流水の硝酸イオン濃度の減少傾向が報告されています⁽¹⁾。

本研究では、札幌市内の冷温帯天然生林に設置された定山溪森林理水試験地における窒素沈着量と渓流水の硝酸イオン濃度について、2002年から20年間の変化を報告します。

定山溪森林理水試験地

定山溪森林理水試験地は、札幌都心から西に18 km、日本海から南に20 kmの場所に位置する、石狩森林管理署の国有林内に1987年に設定されました。試験地内には、2.0 haの時雨1の沢と6.0 haの時雨2の沢流域が存在します。本研究では、時雨1の沢を解析の対象としました。

植生は、トドマツ、ミズナラ、シナノキ、イタヤカエデ、カツラなどの針広混交林、天然生壮齢林です。林床にササは少なく、草本に覆われています。また、支笏洞爺国立公園に位置するため、これまで伐採はこなわれていません。さらに、山火事や斜面崩壊のような大規模な攪乱(森林破壊)も起きていません。



写真1 時雨1の沢の量水堰

観測

降水または雪は、水量測定を現地でおこない、少なくとも月に2回回収しました。また、渓流水は、水温測定をし、少なくとも月に1度回収しました。採取したサンプルは実験室に持ち帰り、速やかにpH、電気伝導度、アルカリ度の測定、イオンクロマトグラフを用いて、主要溶存無機イオン(Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 NH_4^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-})濃度の測定をおこないました。さらに、プラスイオンとマイナスイオンのイオンバランスの確認、測定と計算で求めた電気伝導度を比較し、採取サンプルの精度確認をおこないました。

降水・雪による窒素沈着量の経年変化

調査開始時である2002年の降水・雪による硝酸とアンモニアによる窒素沈着量は、それぞれ2.0 kg/haと1.5 kg/haでした。これは、環境省による全国の湿性沈着量モニタリング⁽²⁾と比較して、低い値でした。

その後、硝酸による窒素沈着量は2013年のピークにかけて増加傾向を示し、2013年から2023年にかけては有意な($p<0.005$)低下傾向が見られました。アンモニアによる窒素沈着量は、2002年から2023年にかけて、有意な($p<0.01$)増加傾向が見られました。

硝酸による窒素沈着量は、冬季に沈着量が多く、夏季に少ない季節変化を示しました。これは、北西の季節風により冬季に大陸からの越境汚染物質が供給されているためと考えられます。また、大陸特に中国での窒素酸化物の放出量は2011年と2012年にかけて増大し、その後低下が報告されています

(3)。そのため、定山溪試験地で見られた2013年にかけての硝酸による窒素沈着量の増加傾向とその後減少傾向は、大陸における放出量の経年変化を反映していると考えられました。

アンモニアによる窒素沈着量に関しては、我が国のアンモニア放出量はほとんど変化していないが、中国でのアンモニア放出量が増大し続けていることから(3)、大陸でのアンモニア放出量を反映し、定山溪試験地におけるアンモニアによる窒素沈着量の長期増加傾向が見られたと考えられました。

硝酸とアンモニアによる窒素を合計した窒素沈着量は、調査開始時の2002年に3.5 kg/haであり、その後有意に増加し($p<0.05$)、最も沈着量が多い2013年に7.6 kg/haとなりました。そして、その後、有意に減少し($p<0.05$)、2023年には4.8 kg/haとなりました。定山溪試験地は札幌都心から約20 kmと都市近郊に位置するにも関わらず窒素沈着量が少ないため、大陸からの越境汚染の影響が反映されやすく、窒素沈着量は、20年間で増加傾向と減少傾向を示したと考えられました。

窒素沈着量と渓流水の硝酸イオン濃度

調査開始時の2002年には、窒素沈着量は年間3.5 kg/haであり、2013年にかけて有意に増加し、2013年には、年間窒素沈着量は7.6 kg/haとなりました。これに対応し、渓流水の年平均硝酸イオン濃度は、2002年の0.8 mg/Lから2014年にかけて増加し、2014年には2.2 mg/Lとなりました。窒素沈着量は2013年以降、渓流水の年平均硝酸イオン濃度は2014年以降、有意に減少($p<0.05$)し、2023年にはそれぞれ4.8 kg/haと0.9 mg/Lとなりました。窒素沈着量と渓流水の硝酸イオン濃度のピークに1年ほどの遅延が見られましたが、窒素沈着量の増減に対応した渓流水の硝酸イオン濃度の変化が見られました。

定山溪試験地では、伐採や枯死などの大規模な攪乱は起こっておらず、樹木による窒素吸収量に大きな変化は存在しないと考えられます。そのため、渓流水の硝酸イオン濃度の経年変化は、窒素沈着量の経年変化が影響したと考えられます。また、通常、温帯林は窒素要求量に対して、利用可能な窒素が不足しているため、窒素沈着量が増加しても、渓流水の硝酸イオン濃度は低濃度のままであることが多いです。しかし、定山溪試験地は冷温帯の極相に近づいた天然林であるため、樹木の成長が遅く、窒素要求量が少なく、窒素沈着量の経年変化に、渓流水の硝酸イオン濃度が対応したと考えられました。

まとめ

大都市近郊に位置する定山溪試験地ですが、大陸からの越境汚染の影響により、窒素沈着量は2002年から2023年まで、増加と減少傾向を示しました。また、冷温帯に位置し極相に近づいた天然林のため樹木吸収量が少なく、窒素沈着量の増加、減少傾向に対応し、渓流水の硝酸イオン濃度も増加、減少傾向を示したと考えられました。

引用文献

(1) Chiwa M (2021) Long-term changes in atmospheric nitrogen deposition and stream water nitrate leaching from forested watersheds in western Japan. Environ. Pollut. 287:117634.

(2) 環境省(2002)平成14年度国内モニタリング調査結果。

(3) Kurokawa J & Ohara T (2020) Long-term historical trends in air pollutant emissions in Asia: Regional Emission inventory in ASia (REAS) version 3. Atmos Chem Phys 20:12761–12793.

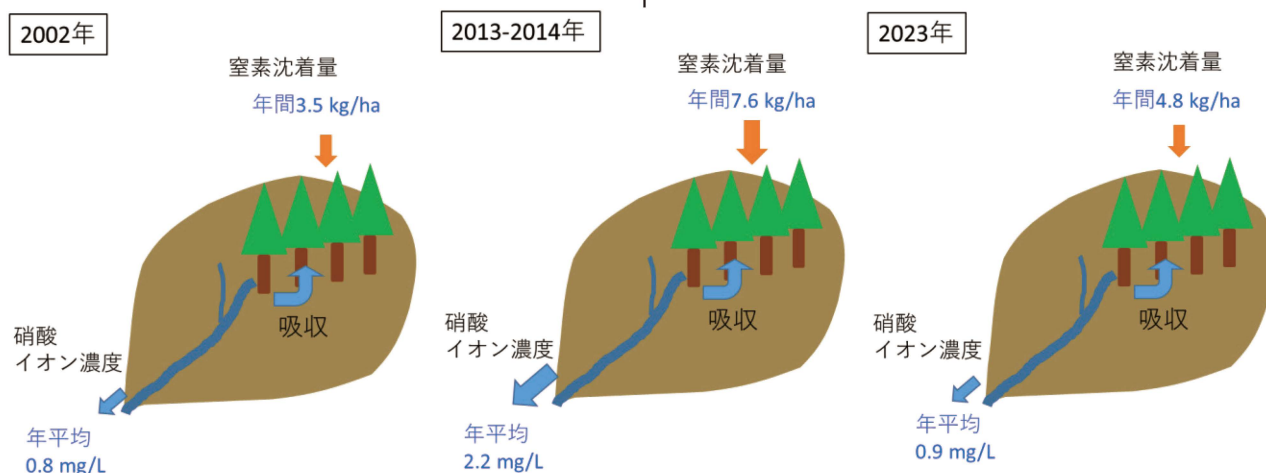


図1 時雨1の沢における2002年から2023年までの窒素沈着量と渓流水の硝酸イオン濃度の変化

ミズナラの開芽時期の長期変動

— 30 年間でミズナラの開芽はどれだけ早まったか —

北海道育種場 生方正俊

はじめに

ミズナラ(*Quercus crispula* var. *crispula*)は、北海道の主要な落葉広葉樹であり、材は重く、堅く、緻密であることから、家具材や内装材として利用されてきました。以前から北海道は良質なミズナラ材の産出地として有名ですが、天然林資源の減少、質的な劣化が指摘されていることや、北米産オーク材の輸入価格の高騰⁽¹⁾などから、人工造林への期待も高まってきています。

人工造林のリスクを減少させるためには「植栽地の自然環境に適した種苗」を用いることが重要となります。一般的に、同じ樹種であっても天然分布する地域ごとにそれぞれの環境に適した特性を持つことが知られています。この特性を把握することで対象となる樹種の「植栽地の環境に適した種苗」を明らかにすることが可能になると考えられます。

北海道内のそれぞれの地域に生育するミズナラがどのような特性を持っているか、生育地と異なった環境ではどのような応答を示すか、といった「植栽地の環境に適した種苗」を明らかにする上で重要な知見を得るため、森林総合研究所林木育種センター北海道育種場(以下、「北海道育種場」と表記します)では、北海道内各地域で採取したミズナラの堅果や穂木を用いて造成した産地試験園や交配園で様々な調査を行っています。

本稿では、生育地の気候的条件に適応してきたと考えられる開芽時期⁽²⁾を対象に、地球温暖化が進行していると言われている最近の30年間でどのように変動してきたかについて紹介します。

材料と調査方法

北海道育種場(江別市)のコナラ属産地試験園には、全道各地で採種し、産地別家系別に植栽されたミズナラ、カシワ等が植栽されています。このうちのミズナラ8産地11家系を調査対象としました。各家系の採種地および調査地を図1に示します。

1993年～2024年の32年間のうちの断続的に10年間、4月下旬～6月上旬にかけて、ほぼ2、3日おきに家系の開芽状況を記録しました。各家系は10個体程度で構成されていますが、家系内の全ての個体についている冬芽がひとつでも開芽状態になった時点をその家系の「開芽日」としました。開芽状態は、芽鱗が緩み内側の緑色部分が見え始めた時点としました(写真1)。

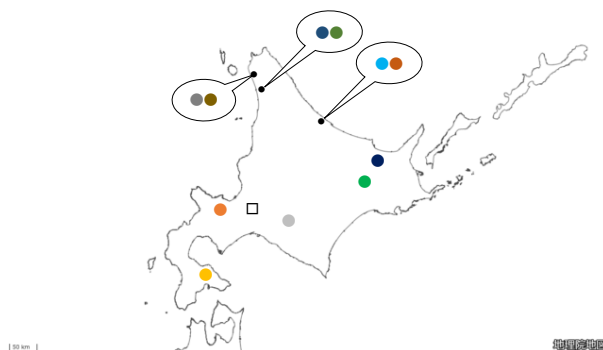


図1 調査対象の採種地(丸印、色は図3と対応)および調査地(□)の位置

道北の3採種地は2家系、その他は1家系を対象
地理院地図⁽³⁾を基に作成



写真1 開芽の基準

開芽日と気温との関係を解析する指標として、「有効積算気温」を用いました。これは、生物の成育等に対して有効な最低気温以下の温度(閾値)を無効として除去し、それ以上の気温だけを一定期間積算したものです。閾値と積算期間を変えることにより開芽日の変動を最も説明できる有効積算気温の条件を探索しました。閾値は、-10℃から10℃まで0.5℃単位で変化させ、積算期間は、1月1日を始点として10日単位で伸ばしていき、最終的に1月1日から5月1日までの4か月間になるまで変化させました。なお試験地の気温は、メッシュ農業気象データ⁽⁴⁾を用いました。

開芽日の変動

調査地の32年間の4月の平均気温の推移を図2に示します。1990年代前半は約4℃だったものが2020年代では約7℃となり、3℃程度上昇していることがわかりました。

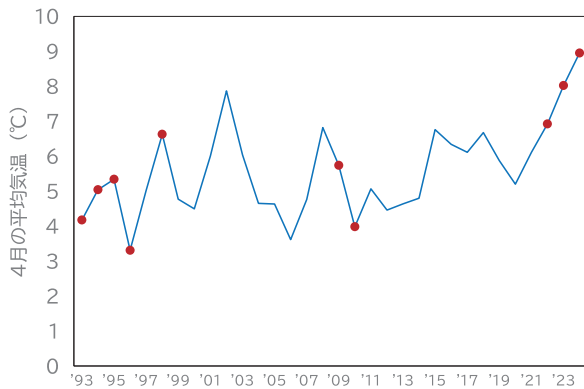


図2 32年間の調査地の4月の平均気温の推移

●:調査年

家系別の開芽日の変動を図3に示します。図中の同じ色のマーカーは同じ家系を示しています。大きなマーカーは年ごとの全家系の平均です。ミズナラの平均で一番遅い開芽日は1996年の5月22日、最も早い開芽日は2023年の5月1日と、3週間の差があり、大きく変動しています。また1990年代前半では、5月10日前後だったミズナラの平均開芽日は、2020年代になると10日程度早まり、5月1日前後になっていることがわかりました。本稿の副題である「30年間でミズナラの開芽はどれだけ早まったか」の答えは、「約10日間早まった」ということになります。

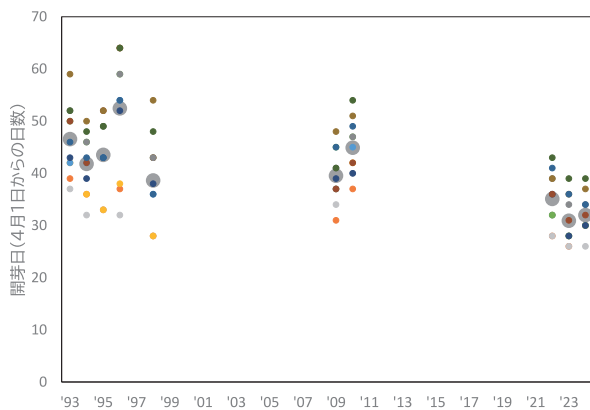


図3 ミズナラの家系別の開芽日

(図中の同じ色のマーカーは同じ家系を示し、大きな●は調査年ごとの全家系の平均値を示す)

開芽日と気温との関係

各調査年のミズナラの平均開芽日と調査地の4月の平均気温との関係をみると、4月の平均気温が高い年ほどミズナラは早く開芽する傾向があることがわかりました(相関係数:-0.959)。次にミズナラの平均開芽日と有効積算気温との関係を解析しました。前述のとおり、有効積算気温は、閾値や積

算する期間を変えることで値が変動します。閾値1℃、積算期間1月1日から4月26日までで得られた有効積算温度が、ミズナラ平均開芽日との相関が極めて高いことがわかりました(図4)。有効積算気温の閾値は、前述したとおり、一般に生物の成育等に対して有効な最低気温と考えられています。ミズナラの春に向けた開芽準備に1℃以上の気温が影響していると考えられることもできます。また、開芽直前まで(4月26日まで)の気温に開芽が左右されることもわかりました。

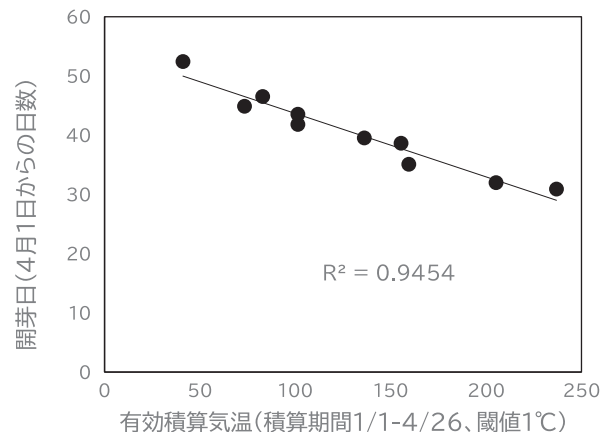


図4 有効積算気温と平均開芽日との関係

まとめ

本研究から、ミズナラの開芽時期と春先の気温との相関は非常に高く、気温の高い年ほど開芽が早い傾向が認められました。この30年間で江別市周辺では、4月の平均気温が約3℃上昇し、これに伴ってミズナラの平均開芽日も約10日早まっていることがわかりました。今後は、気温の変動による開芽時期の変化の産地間の違いなどを解析することにより、ミズナラの人工造林を行う上での問題解決に貢献したいと考えています。

引用文献

- (1)青井秀樹(2023)海外産の広葉樹製品を巡る最近の動向.もっと使える日本の広葉樹林(「もっと使える日本の広葉樹林」編集委員会編):13.
- (2)石田 清・杉本 咲(2024)山地のブナ集団は晩霜発生時期の時間的・空間的変化に対してどのように局所適応しているか.北海道の林木育種 67(2):14-20
- (3)国土地理院ウェブサイト
<https://maps.gsi.go.jp/#10/44.194513/143.132629/&base=blank&ls=blank&disp=1&vs=c1glj0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1&d=m> (2025年5月1日確認)
- (4)農研機構 メッシュ農業気象データシステム
https://amu.rd.naro.go.jp/wiki_open/doku.php?id=start (2025年5月1日確認)

当支所実験林内全域でヒグマ出没が多数確認されています。
—支所構内への立入制限について—



今年(2025年)は、5月28日の初確認以降、当支所の構内とその周辺において、例年になくヒグマ出没が多数確認されています。当支所では、安全確保の観点から、必要に応じて、標本館の臨時休館、樹木園の見学禁止、実験林への入林禁止などの措置を講じております。支所構内への立ち入りや施設利用の制限に関する情報は、支所正門に設置した看板のほか、支所ホームページ(URLは下記をご参照ください)でもご案内しておりますので、ご来場前によくご確認ください。ご来場になる際も、札幌市ホームページなどを参考に、ヒグマに出遭わないための対策を施した上で、十分に注意してご利用ください。

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』 No.32

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ヶ丘7番地
TEL(011)851-4131 FAX(011)851-4167
URL <https://www.ffpri.go.jp/hkd/>

印刷 ひまわり印刷株式会社
〒065-0030 北海道札幌市東区北30条東6丁目2-1
TEL(011)748-4500 FAX(011)748-4100

令和7年(2025年)8月29日発行

(表紙写真 ニセコ連峰の針広混交林 撮影:津山幾太郎)

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。



エコマーク商品
古紙/パルプ配合率60%
19 107 003
王子製紙株式会社

