

植栽に適した苗木産地を知る

— 北方針葉樹トドマツの地域適応性に基づいて —

(地独)北海道立総合研究機構林業試験場保護種苗木部育苗グループ研究主任 石塚 航

1. はじめに

わが国では国土の3分の2を森林が占め、そのうち約4割にあたる1,020万haが人工林となっている。人工林の多くは戦後の拡大造林政策で植栽され、木材として利用する適期を迎えている。現在、森林からの木材生産の経済規模は年間約2,648億円(2018年時点)にのぼり、資源の充実した人工林が今後もその主役を担うと見込まれている。伐採された人工林では、順次苗木が植栽され、次の世代の人工林へと更新が図られている。そのため、次の世代でよりよい木材生産を図っていくためには、どのような苗木を植栽するかが重要な事項となる。ここには、最適な樹種選択や苗木の“産地”の選択が含まれる。本稿では、植栽に適した苗木の産地を調べた研究成果を紹介する。ただし、ここで言う産地とは、苗木が由来する産地、つまり苗木の親系統が

もともと生育していた場所を指し、私たちが小売店で作物や肉魚を購入するとき、に気にする産地(収穫物そのものが生育した場所)とは異なることに留意していただきたい。

都道府県の中で突出して森林面積が多いのが北海道で、154万haの人工林を有している。その主要な造林樹種が常緑針葉樹のトドマツ(*Abies sachalinensis*; 写真-1)で、北海道全域にかけて最も多く植栽されている。本種の天然分布は北海道全域、およびサハリンや千島列島と広く、自生地との適応とも関連して、さまざまな形質に遺伝的な変異が認められている¹⁾。そのため、本種の林業利用にあたっては、植栽先の環境に合わない苗木が植えられないよう、由来産地の考慮が必須である。このような広域分布する造林樹種の場合、国内外を問わず、ゾーニングの概念が用いられ、区分ごとの林業利用と育種的

改良が進められる。北海道ではもともと気候の違いに基づく3区分が制定されており、育種区と呼ばれて運用されているが、トドマツの場合には、さらに地域特性を勘案して5つに細分化する形でのゾーニングが提案され、需給地域区分として独自に運用されている(図-1)。苗木の生産・供給体制としては図-1に示すとおり、まず、ある地域区分の中において優れた特性(成長や幹の通直性)を有する精英樹を選抜し、そのクローンによって構成される採種園を造成する。植栽された精英樹クローンが種子を生産し、これを採集して苗木を育成し、当該地域内の造林用として、苗木を供給していく、という仕組みである。著者らは、このトドマツを対象として、さまざまな由来産地のトドマツが示す適応の実態と、林業利用にあたっての適/不適の評価に取り組んできた。



写真-1 常緑針葉樹トドマツの苗木育成 (A)、植栽後30年以上が経過したトドマツ林の林内 (B) ならびに外観 (C)

2. 長期試験による由来産地の評価

樹木の適応の実態を調べるには、産地試験と呼ばれる試験が用いられる。産地試験は、さまざまな由来産地の苗木を等しく揃えた環境条件下で生育させて、その成績を調べる試験をいい、生育する環境が同一であるために遺伝的特性を適切に評価できる利点がある。また、複数の産地試験の成績を比較することで、適応性についての情報も得られる。なお、寿命が長く、成長が緩やかな樹木においては、苗木の応答を長期にわたって追跡できればなお良い。そこで、トドマツの地域適応性を紐解くため、本種で長期にわたり継続されてきた産地試験を調べた^{2, 3)}。

植栽成績の評価は、植栽後30年以上が経過したトドマツ産地試験地（写真-1 B, C）2ヶ所で実施した。北海道は（本州でも同様だが）太平洋側から日本海側に沿って明瞭な気候傾度があることが知られ（図-2）、典型的な太平洋側気候は、冬期に晴天が多く寡雪な一方、夏期は霧が多くて日照に優れず気温があまり上がらない。それに対して典型的な日本海側気候は、冬期に降雪が続いて積雪日、積雪量ともに多い一方、夏期は好天に恵まれて気温が高い傾向がある。調査対象とした二つの産地試験地は、この気候傾度において対照的な条件下にあり、一つは太平洋側（厚岸町）に、もう一つは日本海側（美唄市）に設定されている。成績の比較には好適な試験地である。

成績評価のため、全植栽木の生残状況と、成長については、個体サイズを表し、木材の生産量とも直結する幹材積を調査した²⁾。この産地試験では、北海道全域に由来するのべ73精英樹を親とする苗木が植栽されていることから、親を同一とする苗木のまとまり、すなわち家系ごとに成長・生残の集計を行った。その後、植栽成績として、成長・生残を包括させた指標である期待幹材積（家系あたりどのくらいの幹材積を生産できるか）を求め、これを家系のパフォーマンスとした。同時に、家系の由来産地（親の選抜地）情報と紐づけ、両試験地で移植距離と植栽後のパフォーマンスとの関係を見た。モデルを用いて関係性を解析したところ、興味深いことに、移植距離の増加に伴ってパフォーマンスが低下する傾向がどちらの試験地でも検出された（図-3）。これは、ある家系の苗木の植栽応答を考

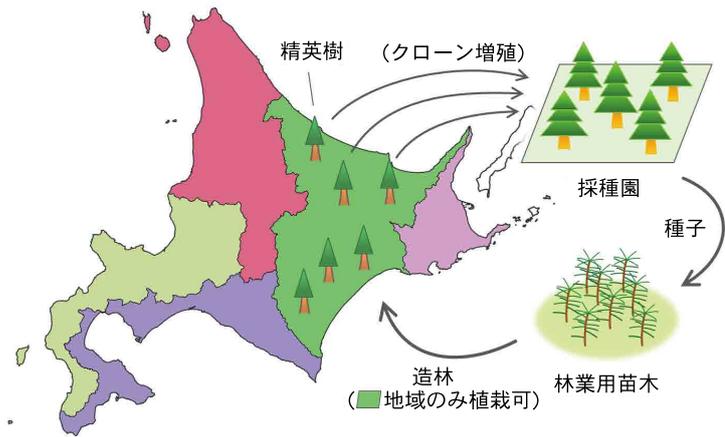
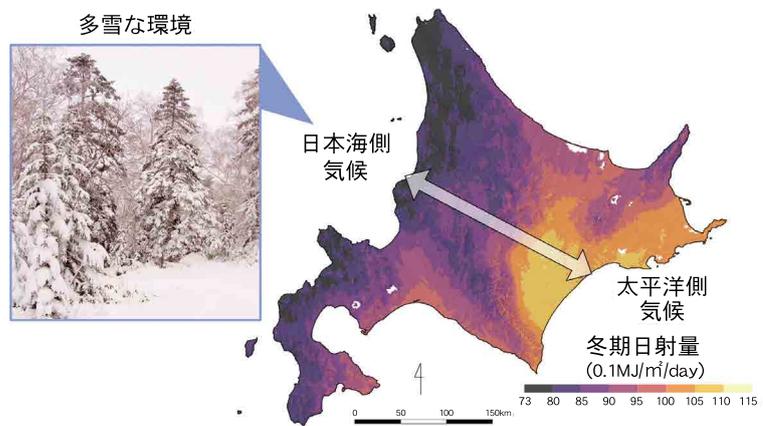


図-1 トドマツにおける現行の需給地域区分と、地域内での優良な苗木生産・供給体制の概要



地図：津山幾太郎氏（森林総合研究所北海道支所）提供

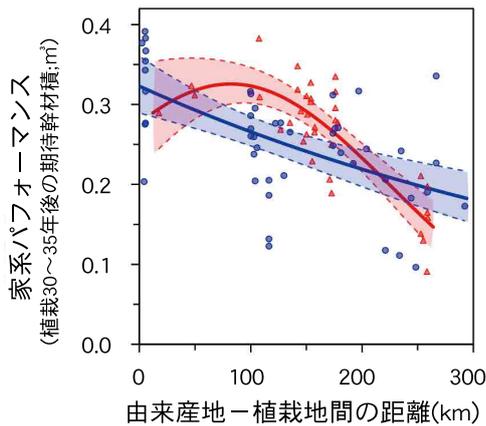
図-2 冬期日照量の地理的分布と多雪な日本海側気候における森林の様子

えた時、地理的に由来産地と近い場所へ移植した場合には高いパフォーマンスが期待できるものの、遠方に移植した場合には、距離的に遠くなるほど大きなパフォーマンスの低下が見込まれることを示す。また、この傾向はとくに太平洋側に設定された試験地の結果（図-3 青線）において明瞭で、最大で約4割もパフォーマンスに差があることが推定された。太平洋側の試験地ほど、由来産地による苗木の適/不適が明瞭だったものとみられた。なお、地理的距離は気候傾度に沿った環境の類似性を示すと想定される。このことを踏まえれば、近隣を由来産地とする苗木の有利性は、自生地域の環境に遺伝的に適応した本種の特徴を反映する結果といえよう。

さらに長期試験は、健全性についての示唆も与えてくれる。上記とは別の産地試験では、2016年（植栽37年後）に到

来した台風によって、半数以上の植栽木に根返りや幹折れといった風倒被害が発生した（写真-2）。その被害実態を調査したところ、由来産地によって被害率に差があったことがわかり、試験地の遠方を由来産地とする一部の家系で被害率が低かったものの、全体として、近隣を由来産地とする家系は被害を受けにくい傾向があった³⁾。一つの仮説として、近隣産の苗木は、植栽先によく適応して成長するために林の健全性・頑健性も高く維持させられ、結果として、台風のような比較的大きな自然撓乱に対する抵抗性にも秀でた可能性がある。

以上より、トドマツは太平洋側から日本海側に向けた気候傾度に対応した適応的な遺伝変異があり、それゆえに、成長・生残の両面や、（仮説にとどまるものの）林の健全性を鑑みると、植栽地の近隣を由来産地とする苗木の活用が望ましい。



図は、2ヶ所の産地試験における移植距離（由来産地と植栽地間の地理的距離）と成長・生残を包括したパフォーマンス（期待幹材積）の関係を示し、太平洋側の試験地と日本海側の試験地において推定した回帰線、信頼区間をそれぞれ青色、赤色で示す。

資料：Ishizukaら (submitted)²⁾ をもとに作成

図-3 長期試験の成績が示す近隣を由来産地とする苗木の有利性

3. 成長の優れる由来産地の可視化

長期試験の動態からトドマツの地域適応性を解明してきた。このような地域適応性を踏まえて、現行の地域区分の仕組みの妥当性を評価しつつ、最良の造林成績を得るための由来産地の在り方を検討したいが、そのためには北海道全域スケールへと視点を拡張させる必要がある。実は、先に紹介した長期試験は、1984年に北海道全域にまたがって設定された大規模な産地試験のうち、現存するものを対象とした研究であった。諸々の理由で一部試験地は継続調査がなされなかったものの、若齢時に限れば全9ヶ所において調査履歴があり、全域スケールへの拡張が可能な貴重なデータを提供してくれる。そこで、植栽10年後の苗木の成長に焦点をあて、北海道全域にまたがるさまざまな産地のトドマツ苗木を、さまざまな地域の試験地へと植栽した際の応答を紐解いた⁴⁾。

最初に、由来産地と試験地の位置情報をもとに、各地の気候情報との紐づけを行った。冬期日照量（図-2）など、候補となる8つの気候変数を用意して、苗木をどのような気候条件からどのような気候条件へ移植するとどのような成長を示すか調べられるようにした。予備的な解析からは、由来産地や移植先の気候条件そのものよりも、移植で生じる気候条



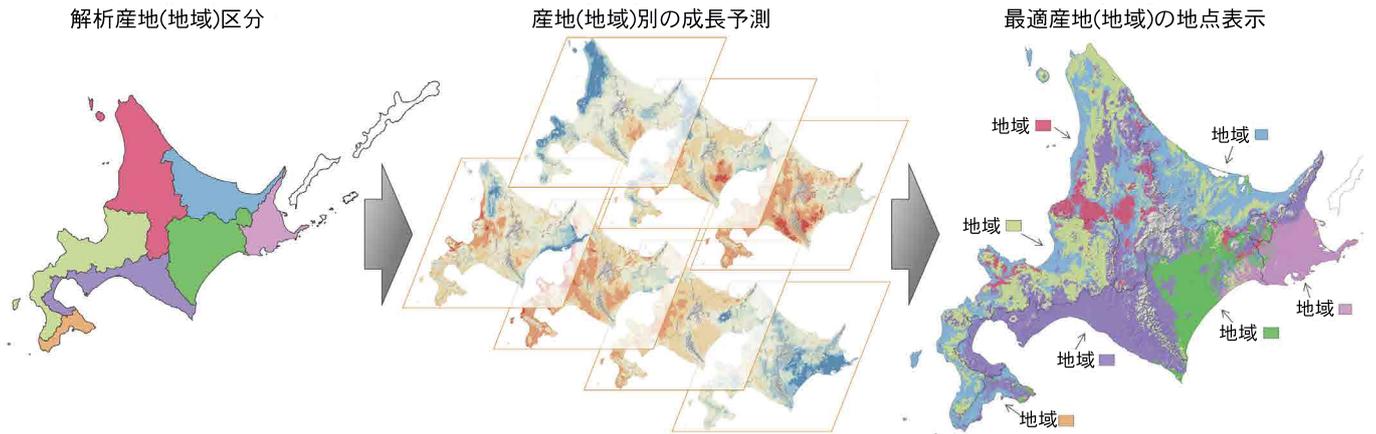
写真-2 台風被害を受けたトドマツ林

件のズレが重要なパラメータであることがわかっていった。そこで、長期試験で解析した移植距離（図-3）の考え方を導入し、気候条件のズレを表現する「由来産地と植栽地間の気候差」を算出した。こうすることで、全試験地におけるのべ4万本の苗木の成長応答を統一して解析し、地域適応性を定量的に評価できるようにした。また、由来産地によって苗木の成長に関わる気候変数が異なると想定されたことから、候補変数をすべて用いた煩雑な解析を、多変量ランダムフォレスト（機械学習の一つ）を使用して実施した。この解析結果をもとに、由来産地ごとに苗木の成長応答を北海道全域スケールで予測し、任意の地点で最適な成長を示す産地を抽出することとした。解析フローは図-4に示すとおりである。なお、実際の解析では、トドマツの需給地域区分（図-1）に対応させるために“地域”を産地の単位とした。また、需給地域区分内での気候条件の違いを鑑み、7つの地域を設定した（図-4左）。

解析の結果、冬期日照量・最大積雪深・温量指数が苗木の成長に深く関わる気候条件だったこと、中でも日本海側の2地域（北・西地域）を除く5地域では冬期日照量が最も重要な変数で、冬期日照量のズレが大きい移植先では成長が悪いことが明らかとなった。この気候条件は前述のとおり、太平洋側から日本海側にかけて地理的に徐々に変わる傾向がある

（図-2）。苗木の成長にとって、冬期に晴天が多く寡雪な太平洋側地域から冬期の積雪日・量ともに多い日本海側地域へと移植することは、負の影響がとくに大きいものと解釈できる。日本海側の2地域においても、冬期日照量や最大積雪深のズレが比較的大きく成長に影響していたことから、概ね“冬”の気候条件が産地と植栽地とで大きく異ならなければ良好な成長が期待できるといえよう。これは、葉をつけたまま越冬する常緑針葉樹ならではの応答である。日本海側では降り積もる雪（雪圧）による物理的傷害への耐性や、消雪時に蔓延する雪腐病菌への耐性が必要な一方、太平洋側地域は雪に覆われにくいために寒乾害、寒風害のリスクがあり、必要な耐性が異なる。トドマツがそれぞれの自生地域における冬のストレスに対して遺伝的に適応した結果、移植先の気候条件が合わないと気象害・生物害などで成長を損ねてしまうのかもしれない。あるいは、自生地域の積雪・消雪スケジュールに対して最適な休眠・成長開始タイミング（フェノロジー）を有しており、これらのタイミングが合わない移植先では良好な成長を望めないのかもしれない。

北海道全域スケールでの成長予測図からは、たとえ同じ種であっても、産地の違いは明瞭な応答パターンの違いとして表れていることがわかる（図-4中）。これらの成長予測をもとに最適産地を抽出した図からは、大半の地点において現地産の苗木、すなわち同じ地域を由来産地とする苗木を用いることが最適であるとわかった（図-4右）。これは、由来



資料：Tsuyamaら（2020）⁴⁾をもとに作成

図－4 地域別の成長予測の比較によって可視化したトドマツの最適産地

する地域の気候条件に遺伝的に適応するトドマツの特性がよく反映された結果といえる。この傾向はとくに太平洋側の地域で明瞭で、最適産地は地域区分とよく対応しており、概ね現行の需給地域区分が適切であることを示している。一方で、全体的な傾向からは逸脱する地点の存在も指摘できる。たとえば、北海道南端（渡島半島）では、現地産が最適産地に選ばれなかった。ただし、最適産地の中でも、なるべく近隣産地からの苗木導入を推奨するならば、この地域も現行の需給地域区分と重なるため、現行の仕組みでの運用が妥当であるといえよう。北海道北部の地域においては、地域内の一部のみでしか現地産が選ばれず、適した他産地からの苗木導入が推奨される結果となっていた。温量指数に関する結果も加味するならば、温量の差が正值になる方向の移植、すなわち本地域より寒い産地からの導入が妥当だと提言できる。今後は、植栽後の生存状況についても同様に調べ、現地産以外の苗木導入の妥当性を生存率や健全性の観点でも評価しておく必要がある。

4. おわりに

本稿で扱ったトドマツは明瞭な地域適応性を有しており、最適な成長が見込まれる苗木産地の可視化によって、現地産の苗木を用いる現行の仕組みが概ね適切であることが示された。また、各産地の適応性をきめ細かく反映させることができれば、さらなる成長の向上が見込めることもわかった。将来のよりよい木材生産に貢献するためにも、現行の種苗（種

子と苗木）生産・供給体制の徹底を図りつつ、最適化に向けた検討の余地はまだ大いにあるといえよう。

最後に、40年以上前に設定され、他に類を見ない重厚かつ貴重な産地試験の設計・維持・調査に携わった林木育種の諸先輩方に深く敬意を表する。本稿を通して、林木育種分野の息の長い取り組みを知っていただければ幸いである。なお、本内容には JSPS 科研費 16H02554、20H03021 の成果を含む。

【参考文献】

- 1) 石塚航 (2016) 長期移植試験が語る北方針葉樹トドマツの局所適応. 森林科学 78: 30-33
- 2) Ishizuka W., Kon H., Kita K., Kuromaru M., and Goto S. (submitted) Ecotypic divergence of Sakhalin fir (*Abies sachalinensis*) to local climates revealed by long-term provenance trials.
- 3) 石塚航・今博計・来田和人 (2019) 台風被害にみられたトドマツの産地間差異. 日本森林学会誌 101: 82-87
- 4) 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. doi:10.3390/f11101058