

【特 集】カラマツの遺伝育種学の進展と育種の展望

ポット苗を用いたカラマツ類の着花誘導試験

今 博 計^{*1}・来 田 和 人¹

はじめに

グイマツとニホンカラマツの交配で生まれたグイマツ雑種F₁ (一代雑種) は、両親より優れた形質をもつことから、北海道ではニホンカラマツに代わる造林樹種として期待されている。近年は、クリーンラーチなどの生産性の優れた品種も開発され (黒丸2005)、森林所有者のニーズが非常に高い。しかし、これらカラマツ類は接ぎ木後、花を着けるまで最低10年以上かかる上、その後も2～5年に1回しか咲かないという特性がある。そのため、品種開発に長い時間がかかることや、雑種種子が安定的に生産できず苗木が不足するといった問題を抱えている。以上の問題を解決するためには、接ぎ木増殖した個体が短期間で花を着け、その後も安定的に咲くことが必要である。

これまでカラマツ類では人為的に花を着けるため、様々な方法が試みられてきた。着花促進の研究成果については、丹藤 (2010) が詳しく紹介をしているが、環状剥皮、根切り、乾燥、加温などの処理に加えてジベレリンGA_{4/7}を用いることで、着花が誘導できることがわかってきた。しかし、研究が勢力的に行われた1990年代以降、技術的な改善ははかられておらず、着花誘導の基礎的なメカニズムについても理解が進んでいない。こうしたこともあり、カラマツ類ではスギのように確実に着花させる手法の確立にはいたっていない。

本稿ではこれまでの研究事例を参考に、カラマツ類の着花促進技術の開発の方向性を整理するとともに、我々が取り組んでいる実験の内容を紹介する。

剥皮やスコアリングによる着花促進が事業的に行われている。しかし、幼齢木では雄花が多く着生すること (橋詰1967)、処理の強度によっては樹勢が弱り、枝が折れたり枯死する場合もあるなど問題を抱えている (浅川1964)。さらに、凶作年に着花させる効果は小さく、確実な手法とはなっていない。特に、対象が大径木になると、環境条件に強い影響を受けてしまうため、着花誘導が困難になると考えられる。

ニホンカラマツ、ヨーロッパカラマツ、アメリカカラマツ、セイブカラマツの着花がGA_{4/7}により促進することが報告されている (Bonnet-Masimbert 1982 ; Eysteinsson and Greenwood 1990 ; Ross 1991)。しかし、効果には個体間のバラツキが大きく着花しない個体も多い。これはクローンによる反応の違いに由来すると考えられている。また、GA_{4/7}処理の問題として、薬剤の価格が高いことがある。コストに見合う生産量が見込めない現状では、実用化される手法となっていない。

フランスでは乾燥ストレスが着花を誘導しているとの報告がある (Bonnet-Masimbert 1982)。5～7年生のニホンカラマツ、ヨーロッパカラマツの実生苗を対象に行われた実験では、黒色のポリエチレンフィルムで地表面を多い、縁を深さ30 cmまで埋めることで降水の遮断が行われた。この降水遮断処理は同時に行われたGA_{4/7}処理よりも着花誘導の効果が高く、検討に値する処理と考えられる。しかし、採種園などの野外では実験の難しさなどもあり、それ以降研究が進んでいない。

ポット苗を使った実験事例

野外での実験事例

日本ではニホンカラマツとグイマツを対象に環状

イギリスでは、ニホンカラマツとヨーロッパカラマツの接ぎ木クロンのポット苗を使った着花促進が

* E-mail: kon-hirokazu@hro.or.jp

¹ こんひろかず、きたかずひと 北海道立総合研究機構林業試験場

試みられている (Philipson 1995 ; Philipson et al. 1997)。2～3年生のポット苗を5月から8月末にかけてビニルハウスで育てることで、翌年の着花量が増加した。乾燥ストレスと高温ストレスが花芽分化を誘導したとみられる。水分条件は測定されていないが、気温は35～38℃に達するなど、高温下で育てられていた。同様の試験は、カナダのセイブカラマツの1～3年生の接ぎ木クローンでも行われた (Webber and Ross 1995)。気温15～25℃に保たれたビニルハウスで3年間育てられたが、カナダではイギリスとは逆に着花を抑制する結果を示した。気温に10℃以上の開きがあること、処理期間が異なること、水分状態が不明なことなど、多くの条件が異なるため単純な比較ができないが、ポット苗を使った環境操作実験は、着花誘導のメカニズムの理解につながる可能性があると考えられる。

施設内採種園の事例

カナダのケベック州の種子センターでは、ニホンカラマツとヨーロッパカラマツの施設内雑種採種園が設置されている (来田2008 ; 武津2008 ; 写真-1)。接ぎ木ポット苗を用いた採種園であり、特別な処理を施すこともなく連年にわたって着花させることに成功している (Colas et al. 2008)。着花成功の原因は不明であるが、接ぎ木後の年数が5～21年を経つなど個体サイズが大きくなっていることが影響している可能性がある。この採種園では花粉採取と種子生産 (人工授粉) の基準を1ポットあたり雄花が300個以上、雌花が100個以上としているが、多くの花を着けさせるためにも、一定以上のサイズが必要になると考えられる。しかし、着花数が多かった2003～2005年の実験においても、雄花と雌花がともに着花したクローンの割合は、ニホンカラマツで50～63%、ヨーロッパカラマツで26～37%にとどまった。また、花粉採取と種子生産の基準を超えたポットの割合は5～33%であり、決して高い数となっていない。種子生産コストが高くなりやすい施設内採種園においては、確実な着花誘導は実用化にあたり重要な課題でもある。



写真-1 カナダ・ケベック州の施設内雑種採種園

着花促進技術の開発の方向性

開発の方向性については、丹藤 (2010) が整理しているが、上記の研究事例を踏まえ今一度、整理し直してみたい。

まず、クリーンラチのような付加価値の高いブランド種子の生産を目的に、ケベック州で造られたような施設内採種園の造成を開発の目標とする。乾燥ストレスや高温ストレスなどが着花誘導のトリガーになっていることを想定し、施設内で環境操作したポット苗での実験を行い、成功度の高い着花促進技術を開発する。環境操作にあたっては、着花誘導に関わる自然条件を模倣した処理を行う。例えば、ニホンカラマツでは6～7月の高温、多照、小雨の条件を与え、グイマツではそれに加え5月の低温条件を与える。これまで結実と気象の長期データの解析により抽出されてきた、これらの条件を組み込んだ実験が、着花誘導の近道になると考えている。また、こうした実験処理に近年急速に研究が進んだ花成制御遺伝子の解析 (Miyazaki et al. 2014) を一緒に行うことで、メカニズムの解明にも迫れると考える。

ポット用土の検討も重要な検討課題である。ケベック州の事例では、104リットルのポットにピートモス、バーミキュライト、パーライトを3:1:1の割合で混ぜている (Colas et al. 2008)。我々の経験では圃場の土を混ぜると40リットルのポットでも移動が人力では困難になるため、軽い用土の開発が必要となる。ただし、管理上の利点だけでなく着花促進を妨げないことも重要となる。乾燥ストレスの付与にあたっては、用土の排水性や保水性なども灌水方法と並んで検討すべきである。

北海道での取り組み事例

道総研林業試験場では、2011年からニホンカラマツとグイマツの接ぎ木クロンのポット苗を用いた着花誘導実験に取り組んでいる。着花に及ぼす影響条件としては、ニホンカラマツでは6～7月の高温ストレスと乾燥ストレスを取り上げ、グイマツではそれに加え5月の低温ストレスを取り上げている。実験結果については口頭で紹介しているが紙面での発表は控え、ここでは実験の内容について紹介する。

材料は接ぎ木後4年以上を経過した苗を使用している。接ぎ木後の2年間は苗畑で養成し、3年目の春にポットへ移植する。海外での事例ではポットへの移植当年から実験を行っているようであるが、我々は移植の影響も考慮し4年目以降に実験に供している。また、クローン間差が非常に大きいため、多数のラメットを用意して処理数を設定している。例えば2011年の実験では1処理あたり7～11ラメットを用いている。処理を一つ加えると材料数が急に増えるため、十分な材料の準備が必要である。

用土については、黒土、バーミキュライト、腐葉土、鹿沼土、ピートモスをそれぞれ60%、15%、12.5%、10%、2.5%の比率で配合している。用土の比較試験は行っていない。ただし、ケベック州の事例に比べると容積あたりの重量が重く、ポットが大きくなるにしたがって移動が困難になっている。

ビニルハウスでの高温処理にあたっては、昼間の高温を抑えることが鍵になっている。密閉したハウスでは日が当たると、急激に気温が上昇する。我々のハウスでは側面を部分的に開放しているが、晴天時には気温が40℃近くに達する。気温の抑制のため、林間の空き地にハウスを立てているが、日射量が50%になってしまうなど高温と多照条件の両立ができていない(写真-2)。日射量を確保しつつ高温を与えるには、野外での温暖化実験などで用いられているオープントップチャンバーによる処理も有効と考え試行している(写真-3)。この装置では2～3℃程度のマイルドな加温を与えるが、ポットごとに温めるため実用的ではない。

ビニルハウス内では気温の上昇にともなう乾燥ストレスが実験にあたり難しい課題ともなっている。過去の実験では、ゆき過ぎた乾燥ストレスにより苗木がすべて枯死したこともある。そのため苗木の状態を常に見ながら、灌水の頻度や量を決定する必要がある。現在は、ポットに埋め込んだpFメーターの値を元に、

灌水を行うようにしている(写真-4)が、思ったような条件は作りだせていない。

環境の測定は、日射量、降水量、気温、湿度、土壤含水率について記録している。この中では土壤含水率の測定がポットごとにしか行えないため、センサー数の制約を受けている。1処理で数個体計測するようしているが、ポット間のばらつきもあるため、できればすべてのポットで記録したいところである。また、異なる



写真-2 林間の空き地に設置したビニルハウス



写真-3 上部を開放しチャンバーでの加温の様子



写真-4 pFメーターと土壤水分センサーの設置

用土の比較となると土壌含水率だけでなく、pF値など植物にとって利用可能な値での評価が必要となる。あらかじめ検量線を作っておくことも大事である。

現在、処理でもっとも苦慮しているのがグイマツで実施している低温の付加である。北海道大学低温科学研究所と林業試験場が共同で実施した実験結果によると、グイマツでは5月に低温を与えることで花成制御遺伝子の一つであるLFY相同遺伝子の発現量が増加した(岩崎郁ほか未発表)。また、2011年と2012年に実施した高温と乾燥の付加実験では、カラマツと異なりグイマツでは着花が誘導できなかったこともあり、2013年以降は5月の低温を含めた実験を行っている。幸い試験場のある美唄は道内でも有数の多雪地であるため、除排雪で集まった雪を利用した低温処理を行っている(写真-5)。5月は短枝が開葉する時期にあたるため、日射を遮らずに寒くする必要がある。そこで、大きく作った雪山の中央部に穴を開けポット苗を入れている。上から見るとドーナツの中に苗木が配置されている格好である。



写真-5 雪山内部に設置したグイマツのポット苗

今後の課題

予備実験を含めると5年以上の年月をかけ実験を繰り返してきた。その結果、カラマツ、グイマツともに着花が誘導できるようになってきた(写真-6)。少なくとも1990年代の研究には追いついたと考えている。しかし、一方では、小型のポット苗では球果サイズが小さくなるなど、新たな課題も見えてきた。果樹などで行われている摘花や施肥といった項目についても検討が必要と考えている。また、ケベック州で検討された外部花粉のコンタミを避けるための開花時期の

調整や花粉採取・花粉貯蔵・人工交配などの技術の確認、結実までの中絶や種子の充実率・発芽率などの確認が必要である。さらには想定される生産規模の検討や設備費や人件費など種子生産コストの試算も必要だろう。

カラマツ育種の普及をはかるためにも、研究者がおりがちに技術開発にとどまらず、実用化を見据えて研究に取り組んでいきたい。



写真-6 雌花が着生したグイマツ(左)とカラマツ(右)

引用文献

- 浅川澄彦(1964) 機械的処理によるカラマツ・マツの着花促進 — Dr. Melchiorの研究を中心として —. 林木の育種28: 7-11
- Bonnet-Masimbert M (1982) Effect of growth regulators, girdling, and mulching on flowering of young European and Japanese larches under field conditions. *Canadian Journal of Forest Research* 12: 270-279
- Colas F, Perron M, Tousignant D, Parent C, Pelletier M, Lemay P (2008) A novel approach for the operational production of hybrid larch seeds under northern climatic conditions. *The Forestry Chronicle* 84: 95-104
- Eysteinsen T, Greenwood MS (1990) Promotion of flowering in young *Larix laricina* grafts by gibberellin A_{4/7} and root pruning. *Canadian Journal of Forest Research* 20: 1448-1452
- 武津英太郎(2008) *Larix* 2007に参加して —カナダ・ケベック州のカラマツ属育種と種苗生産の現状—。林木の育種226: 43-46
- 橋詰隼人(1967) カラマツ幼齢木の着花促進試験. 日本林学会誌49: 405-408

- 来田和人 (2008) カナダのケベック州におけるカラマツ属の林木育種 - IUFROの研究集会 “Larix 2007” に参加して - . 北海道の林木育種 51 (1) : 7-11
- 黒丸 亮 (2005) 儲かる林業への挑戦 - グイマツ雑種 F₁ のブランドさし木苗による用材生産戦略 - . 北方林業 57: 42-45
- Miyazaki Y, Maruyama Y, Chiba Y, Kobayashi MJ, Joseph B, Shimizu KK, Mochida K, Hiura T, Kon H, Satake A (2014) Nitrogen as a key regulator of flowering in *Fagus crenata*: understanding the physiological mechanism of masting by gene expression analysis. Ecology Letters 17: 1299-1309
- Philipson JJ (1995) Effects of cultural treatments and gibberellin A_{4/7} on flowering of container -grown European and Japanese larch. Canadian Journal of Forest Research 25: 184-192
- *Philipson JJ, Fletcher AM, O’ Donnell MA (1997) Manual for inducing flowering of Sitka spruce and European and Japanese larch. Internal Report, Forestry Commission, Research Division, Northern Research Station, Roslin, Midlothian, UK
- Ross SD (1991) Promotion of flowering in western larch by girdling and gibberellin A_{4/7} and recommendations for selection and treatment of seed trees. Research Note No. 105, Province of British Columbia, Ministry of Forests, Victoria, British Columbia
- 丹藤 修 (2010) 施設内でのカラマツ類の着花促進. 北海道の林木育種 53 (1) : 21-24
- *Webber JE, Ross SD (1995) Flower induction and pollen viability for western larch. In: Schmidt WC, McDonald KJ (eds), Proceeding of International Symposium on Ecology and Management of *Larix* forests: a look ahead. USDA Forest Service General Technical Report GTR-INT-319, 395-402. Intermountain Research Station, Ogden, Utah
- *印の付いた2本の論文は直接読むことができず、以下のOwens (2008) から間接引用した。
- Owens JN (2008) The reproductive biology of western larch. FGC Extension Note 08. Forest Genetics Council of British Columbia. <http://www.fgcouncil.bc.ca/IETC-ExtNote8-Feb08-web.pdf> (2015年9月1日アクセス)