

改良型雑種採種園方式を用いたカラマツ類雑種採種園の配植設計

石塚 航*・今 博計*

Planting design of the interspecific seed orchard of larch, incorporating the modified design for hybrid seed orchard

Wataru ISHIZUKA*, Hirokazu KON*

要旨

将来にわたるグイマツ雑種 F_1 種苗の安定供給のため、かつ、さらに優れた遺伝的特性を有する種苗の供給のため、カラマツ類雑種採種園の拡充が求められている。道有訓子府採種園のブロック2箇所にて雑種採種園を新規造成することとなったので、種子の雑種率の向上を主目的とした改良型雑種採種園方式で配植を設計した。すなわち、グイマツは単一母樹クローン列状植栽で設計し、グイマツ1列に対してニホンカラマツ2列の割合で混植させた。植栽するグイマツやニホンカラマツの系統は、これまでの林木育種事業での利用実績を踏まえて優良な系統構成となるようにし、遺伝的多様性にも配慮して配植した。

キーワード：採種園，配植設計，カラマツ類雑種，雑種率向上

はじめに

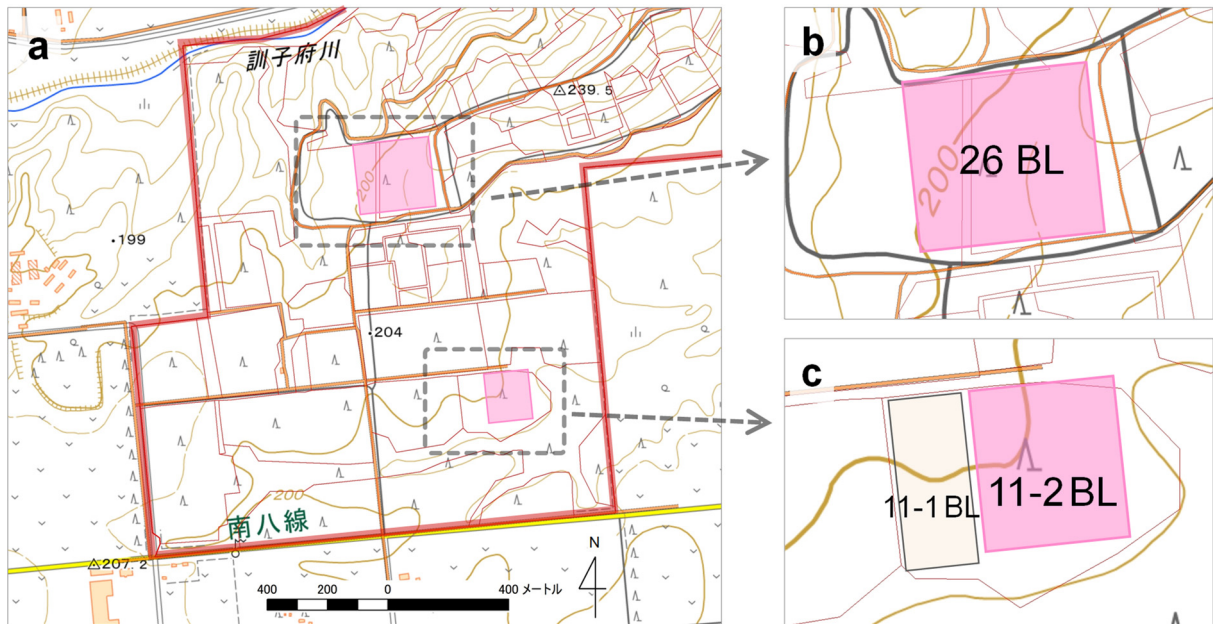
北海道では人工林資源が充実しつつあり、それらの伐採に伴う着実な再生林と同時に、脱炭素社会の実現への貢献も求められている。2021年に掲げられた「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」では「優良品種による造林の普及拡大」が項目に挙げられ（経済産業省 2021）、優良な造林用種苗に対するますますの要望・需要が見込まれる。これに応えるには、優れた遺伝的特性を有する優良品種の継続的な開発とともに、優良な種苗の安定供給体制の構築が欠かせない。種子の生産は採種園が担うことから、将来にわたる安定供給を図るため、北海道では2022年3月に「北海道採種園整備方針」と「北海道採種園整備計画」を改定した（北海道水産林務部林務局森林整備課 2022a, 2022b）。これらに基づいて道有採種園の整備を積極的に進めることとし、種子生産の拡充が必要な樹種については、優良な系統で構成させた採種園を造成することとしている。

北海道の主要造林樹種のうち、まだ造林需要を十分に満たしていないのがグイマツ雑種 F_1 である。グイマツ雑種 F_1 はグイマツ（母親）にニホンカラマツ（花粉親）を交雑させて得

られ、ニホンカラマツからは成長性の良さ、グイマツからは材質特性の良さ、野鼠による食害の受けにくさを受け継ぐ（倉橋 1988；松本 2022；宮木 1990）。このうち、とくに成長・材質特性に優れ、二酸化炭素固定能が高いクリーンラーチ（グイマツ中標津5号×ニホンカラマツ精英樹）については採種園整備等の普及が進められている（今 2022）。道有採種園のほか、2013年改正の「森林の間伐等の実施の促進に関する特別措置法」において認められた特定増殖事業者による採種園、いわゆる民間採種園でもクリーンラーチ採種園が新規造成され、2022年現在、クリーンラーチ採種園の総面積は47.47 haとなっている（北海道水産林務部林務局森林整備課 2022a）。

クリーンラーチ開発当初に試みられたのが、雑種率の向上を主目的とした植栽仕様の採種園である（黒丸ら 2003, 2009；黒丸 2021）。従来の雑種採種園では、任意交配ができるように無作為化配植（藤澤 2014）を行い、様々な系統のグイマツとニホンカラマツが入り混じるような混植がなされていた。一方、クリーンラーチは母樹となるグイマツが1系統（中標津5号）のみに限られる特徴があり、かつ、クリーンラーチ採種園は既存のニホンカラマツ採種園からの改植によって新しく造ろうとした背景があった。そこで、同一系統のクロー

* 北海道立総合研究機構林業試験場 Forestry Research Institute, Hokkaido Research Organization, Bibai, Hokkaido 079-0198
[北海道林業試験場研究報告 第60号 令和5年3月, Bulletin of the Hokkaido Forestry Research Institute, No. 60, March, 2023]



図－1 道有訓子府採種園の全体図 (a) ならびに新規造成する2箇所のカラマツ類雑種採種園用地の拡大図 (b, c)

a : 採種園用地 (網走東部管理区40林班) の外周を太線 (赤) で、園内のブロック (BL) にほぼ対応する小班の境界を細線 (赤) で示す。園内の中太線 (橙色) は作業道。b : 26 BLの用地を色付きで示す。新設につき小班界とは対応していない。c : 11 BL内において新規造成する11-2 BLの用地を色付きで示す。隣接し、既に造成が済んでいる11-1 BLの用地も参考のために示す。背景図は、国土地理院地形図 (基盤地図; <https://www.gsi.go.jp/kiban/index.html>) をもとに、ArcGIS 10.3 (ESRI社) を用いて加工し、作成した。

ン間では交配が成功しにくいという前提のもと、既存採種園内を列状に伐開した後に、グイマツ1系統を列状で植栽するという仕様でクリーンラチ採種園を設計した。この仕様の導入により、実際に約90%と高い雑種率が実現できたほか (黒丸ら 2009; Moriguchi et al. 2008)、採種する母樹が列状に並ぶために、採種作業や、樹形維持・結実促進等の各種作業が容易となり、作業効率の点でも利点があった。そこで現在においても、民間採種園を含めて、新規造成するクリーンラチ採種園の構成はすべてこの仕様に統一されている (北海道水産林務部林務局森林整備課 2022b)。

将来にわたるグイマツ雑種F₁種苗の安定供給や、さらに優れた遺伝的特性を有する種苗の供給に資するためには、クリーンラチ採種園にとどまらず、中標津5号 (クリーンラチ母樹) 以外の優良なグイマツ系統や、優良なニホンカラマツ系統で構成されたカラマツ類雑種採種園の拡充が必要である。そこで、北海道採種園整備方針に基づいて (北海道水産林務部林務局森林整備課 2022a)、道有採種園に雑種採種園を造成することとなったので、これまでのクリーンラチ採種園造成の際に改良された設計方式での雑種採種園設計を行うこととした。本報告では、今後の採種園管理や林木育種に資するため、この方式での雑種採種園の配植設計について提示する。

改良型雑種採種園の概要

1. 採種園用地

北海道常呂郡訓子府町 (43° 44'51"N, 143° 42'12"E) に位置し、道有林網走東部管理区40林班に設定された道有訓子府採種園のブロック2箇所をカラマツ類雑種採種園の新規造成用地とした (図－1 a)。当該採種園は約60 haの面積を有し、園内が複数のブロックに分割され、様々な樹種の採種園が集約される形になっており、とくにカラマツ類の種子を生産する北海道の主力採種園として機能している。標高は約200 mで、園内はほぼ平坦で目立った傾斜や起伏はみられない。

1箇所目の採種園用地は、園内の北側に新規で設定した26ブロック (26 BL) とした (図－1 b)。もとは、林木育種事業でカラマツ類次代検定林として使用した林地であったが、第2世代精英樹候補木の選抜・増殖後に皆伐、整地したため、採種園として新規造成できるようになった用地である。面積は3.7 haで、東西200 m、南北185 mの形状で正方形に近い (表－1)。南側および東側には作業道が敷設されており、本作業道は大型車両の走行が可能なおことから、採種時のアクセスが良好である。

2箇所目の用地は、11ブロック (11 BL) 内で2分割された区画のうち更新対象となっている11-2 BLとした (図－1 c)。11 BLは1963年に従来方式でカラマツ類雑種採種園が造成されたが、当該区画は皆伐されたため、新規植栽による更新を図ることとした。面積は1.5 haで、東西115 m、南北125

表-1 道有訓子府採種園において新規造成するブロック2箇所と隣接ブロック(参考)の概要

項目	26 BL	11-2 BL	(参考) 11-1 BL
生産種子	グイマツ雑種F ₁	グイマツ雑種F ₁	グイマツ雑種F ₁
植栽仕様(全体)	改良型雑種採種園方式	改良型雑種採種園方式	—
(グイマツ)	単一母樹クローン列状植栽	単一母樹クローン列状植栽	単一母樹クローン列状植栽
(カラマツ)	16系統, 採種園9型設計	13系統, 採種園9型設計	20系統, 配植の型は不明
面積(ha)	3.7	1.50	0.84
植栽設計	グイマツ1条, カラマツ2条 植え(東西方向)	グイマツ1条, カラマツ2条 植え(南北方向)	グイマツ1条, カラマツ3条 植え(南北方向)
苗(行)列間	5 m(横)×10 m(縦)	5 m(横)×10 m(縦)	4 m(横)×10, 12 m(縦)
行列情報	40行×19列	25行×12列	35行×7列
行延長(m)	200	125	140
列延長(m)	185	115	62
植栽数(全体)	760本	282本	98本 [†]
(グイマツ)	240本	100本	24本 [†]
(カラマツ)	520本	182本	74本 [†]
密度(本/ha)	205	188	117

[†]:現存数で示す。カラマツについては昭和38年(1963年)に植栽後、間伐や枯損によって数を減じた。

mの形状で正方形に近い(表-1)。用地の北側には作業道が敷設されており、大型車両の走行が可能なることから、採種時のアクセスが良好である。また、同じブロック内の隣接する区画(11-1 BL)には既にカラマツ類雑種採種園の植栽が済んでおり、今回、11-2 BLの配植設計時には11-1 BLの配植情報も用いることから、参考に情報を付すこととした(表-1)。11-1 BLの面積は0.84 haで、東西62 m、南北140 mの長方形である。

2. 採種園の仕様

クリーンラーチ採種園造成の際に改良された設計方式(黒丸ら 2003, 2009; 黒丸 2021)に基づきながら、26 BL, 11-2 BLで植栽の仕様を共通させた。すなわち、列ごとに植栽樹種を分けた列状の植栽仕様とし、とくに母樹となるグイマツの植栽列については単一の系統のクローンのみを植栽する。このグイマツの植栽仕様を、以降では『単一母樹クローン列状植栽』と呼ぶ。これは、Moriguchiら(2008)が用いた“a single maternal clone”の用語や、上述の報告(黒丸ら 2003, 2009; 黒丸 2021)、ならびに、従来からの改良点を整理した上で定義した。さらに、母樹(グイマツ)については単一母樹クローン列状植栽の仕様を導入し、花粉親(ニホンカラマツ)についてはより多くの系統がまんべんなく交配親として貢献できるような配植で設計される。採種園の設計方式のことを『改良型雑種採種園方式』と呼ぶこととする。これは、種子の雑種率の向上を主目的として従来方式から改良した設計方式を指すため、クリーンラーチ採種園やカラマツ類雑種採種園の

みならず、種間(系統間)の交雑によって種子を生産する雑種採種園において広く適用可能な設計方式と定義できる。

なお、26 BL, 11-2 BLの植栽においては、グイマツ1列(1条植え)に対してニホンカラマツ2列(2条植え)の割合で列状植栽することとした(表-1)。植栽列は26 BLが東西方向、11-2 BLが南北方向とした。これは、採種時に車両を用いることを想定し、基幹となる作業道からの乗り入れが可能なるように、作業道と直行方向で設定したためである。列に沿って苗列間5 m×10 mで植栽することとした。26 BLでは40行×19列、のべ760本を植栽することとし、11-2 BLでは25行×12列、のべ282本を植栽することとした。植栽密度は26 BLが205本/ha、11-2 BLが188本/haである(表-1)。

3. 系統構成の考慮

導入するグイマツとニホンカラマツの系統のクローンについては、これまでの林木育種事業での利用実績等を踏まえて決めた。

グイマツについては、26 BLと11-2 BLとで大きく設計を変えた。まず、26 BLでは6系統を導入することとし、成長性と材質関連形質において優良な以下の系統を選定した: クリーンラーチの母樹である①中標津5号、北のバイオニア1号の母樹である②留萌1号、材質・通直性優良系統の③豊岡111号と④中標津4号、さらに、南サハリンにて採取した種子に由来する後代で、検定において優れた成績を示した⑤グイマツ優良木2号と⑥グイマツ優良木4号である(来田 2013; 来田ら 2011; 田村ら 2015)。続いて11-2 BLでは、材質・通直

性優良系統の豊岡111号の1系統のみを導入することとした。豊岡111号を親とした雑種F₁検定では、材の強度的性質の指標となる幹のヤング係数や、材の歩留まりを左右する幹の通直性（矢高）が優れており（来田ら 2011）、グイマツ同士の交配によるグイマツ第2世代精英樹選抜においても、材強度と通直性に優れた候補木の親として豊岡111号が貢献していた（来田 2013）。本系統は隣接するカラマツ類雑種採種園（11-1 BL）に既に導入されていたことから、11 BL全体において母樹が1系統に固定された、一貫した設計となった。

ニホンカラマツについては、より多くの優良な系統が花粉親として貢献し、生産される種子の遺伝的多様性がより高くなるように選出した。まず、これまでの林木育種事業での利用実績（たとえば、森林総合研究所林木育種センター北海道育種場 2019）に基づいて18系統を整理した（表-2）。内訳は、特定増殖事業者によるクリーンラーチ採種園造成（特定増殖事業）の際に導入されて利用が進む12系統、ならびに、幹重量（二酸化炭素吸収・固定能力）の大きい品種として開発品種に指定された3系統（うち1系統は特定増殖事業での選出と重複）、優良な品種として選抜・開発されたグリーン（大島 1996）と北のバイオニア1号の花粉親2系統、さらに、林業試験場や森林総合研究所林木育種センター北海道育種場（以降、北海道育種場）が実施した次代検定で優良と確かめられた2系統である。この中から、26 BLでは16系統、11-2 BLでは13系統を導入することとした。

改良型雑種採種園における配植設計

1. 26 BLの配植設計

グイマツは6列のべ240本、ニホンカラマツは13列のべ520本植栽することとして配分した。グイマツは単一母樹クローン列状植栽の植栽仕様にのっとり、1系統につき1列を無作為に抽出して配植した。ニホンカラマツについては、構成する全系統がまんべんなく親として貢献できるような適正な配植であることが求められ、採種園9型の方式に沿った配植設計が望ましいと考えた。採種園9型とは、植栽個体を中心にしてタテ、ヨコ、ナナメ全方位において接する個体について系統を考える方式をいう。採種園9型で適正配置が満たされる場合には、採種園内の任意の3×3の9マス内に同一クローン（血縁個体含む）が2個体以上存在しない（石塚ら 2018）。本ブロックにおいても、採種園9型で適正配置が満たされるようにした。なお、本ブロックの造成は複数年にかけて行うこととしたため、配植設計は順次行った。造成初期の植栽範囲については、表計算ソフトを用いた手作業で無作為化配植と同一クローンの隣接有無の確認作業を行った。植栽後半では、作業が煩雑になることを踏まえて、採種園設計支援プログラム「MIX-WEX」（高橋 2002；千葉 2014）を活用した配植設計を実施した。なお、適正配置を満たすには、既に植栽が済んだ配植についても考慮する必要が生じる。そこで、石塚（2022b）が紹介した手順ののっとり、植栽済み個体の

表-2 道有訓子府採種園の雑種採種園用ブロックへ新規導入するニホンカラマツの内訳

系統名	26 BL 配植番号	11 BL 配植番号	系統利用状況
後志30号（支）	1	32	特定増殖事業
空知10号（支）	2		特定増殖事業
十勝1号（支）	3	33	特定増殖事業
十勝19号（支）	4		特定増殖事業
十勝35号（支）	5	34	特定増殖事業
十勝75号（支）	6		特定増殖事業
十勝79号（支）	7		特定増殖事業
日高10号（支）	8	28	特定増殖事業
日高11号（支）	9	29	特定増殖事業
空知3号（支）	10	35	特定増殖事業
稚内12号	11	36	特定増殖事業
日高8号（支）	12	37	特定増殖事業、開発品種指定 ^a
網走1号（支）	13	38	開発品種指定 ^a
空知4号（支）	14	39	開発品種指定 ^a
胆振1号（支）	15	30	‘グリーン’親
諏訪16号	16		材質特性優良 ^a
上川2号（支）		40	雑種後代の成績優良 ^b
諏訪14号		41	‘北のバイオニア1号’親

特定増殖事業：特定増殖事業者による民間クリーンラーチ採種園の造成を指し、この際にニホンカラマツ12系統が選定されて導入された。

開発品種指定：幹重量（二酸化炭素吸収・固定能力）の大きい品種として指定

^a：森林総合研究所林木育種センター北海道育種場により実施

^b：林業試験場により実施

情報を考慮した配植設計を実施した。

2. 26 BLの配植設計の結果

ニホンカラマツの配植において、「MIX-WEX」を活用した範囲では、実行時の反復試行回数（初期設定10回のみ）内で適正配置を満たす解が得られた。全体を通して適正配置と

なっていることを確認した。

グイマツとニホンカラマツそれぞれの配植を合わせて得られた26 BL全体の配植図と植栽系統一覧を図-2に示す。グイマツは図中の橙色の色付きで示した列に植栽される。

植栽用の苗木は北海道育種場が準備し、2019年から5年間かけて配布を受けた。そこで、この配植図に従って、2019～

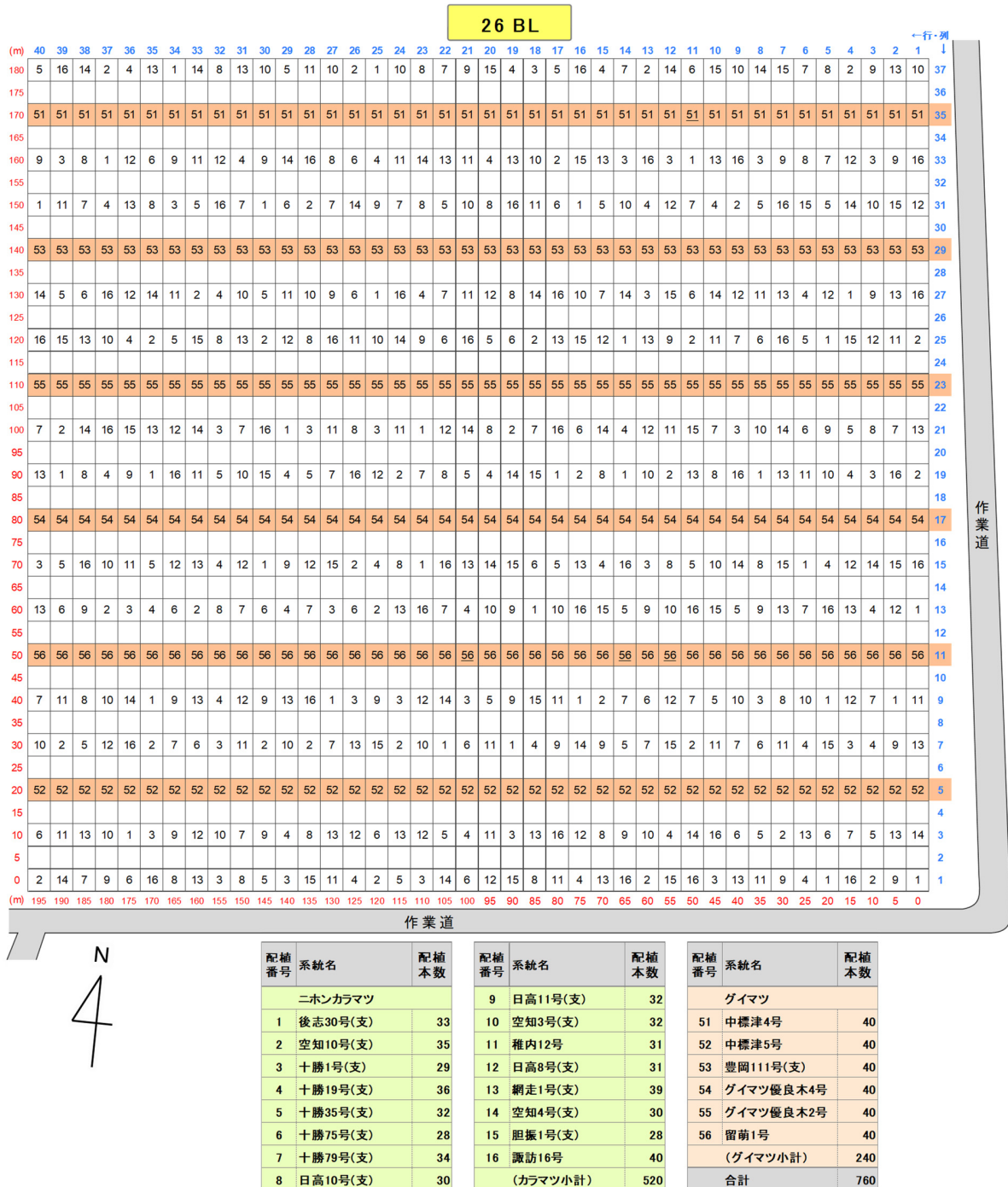


図-2 道有訓子府採種園26 BLの配植図面

番号付きのマスに1個体が植栽される。番号は系統ごとに割り当てる配植番号と対応し、図下部の凡例のとおり。色付き（橙色）の列がグイマツ植栽列。この中の一部、下線付きの個体は2022年秋時点で枯損していたことを表す。欄外の青色数字（上、右端）が各区画の行列番号を、赤色数字（下、左端）が1行目もしくは1列目からの距離を示す。

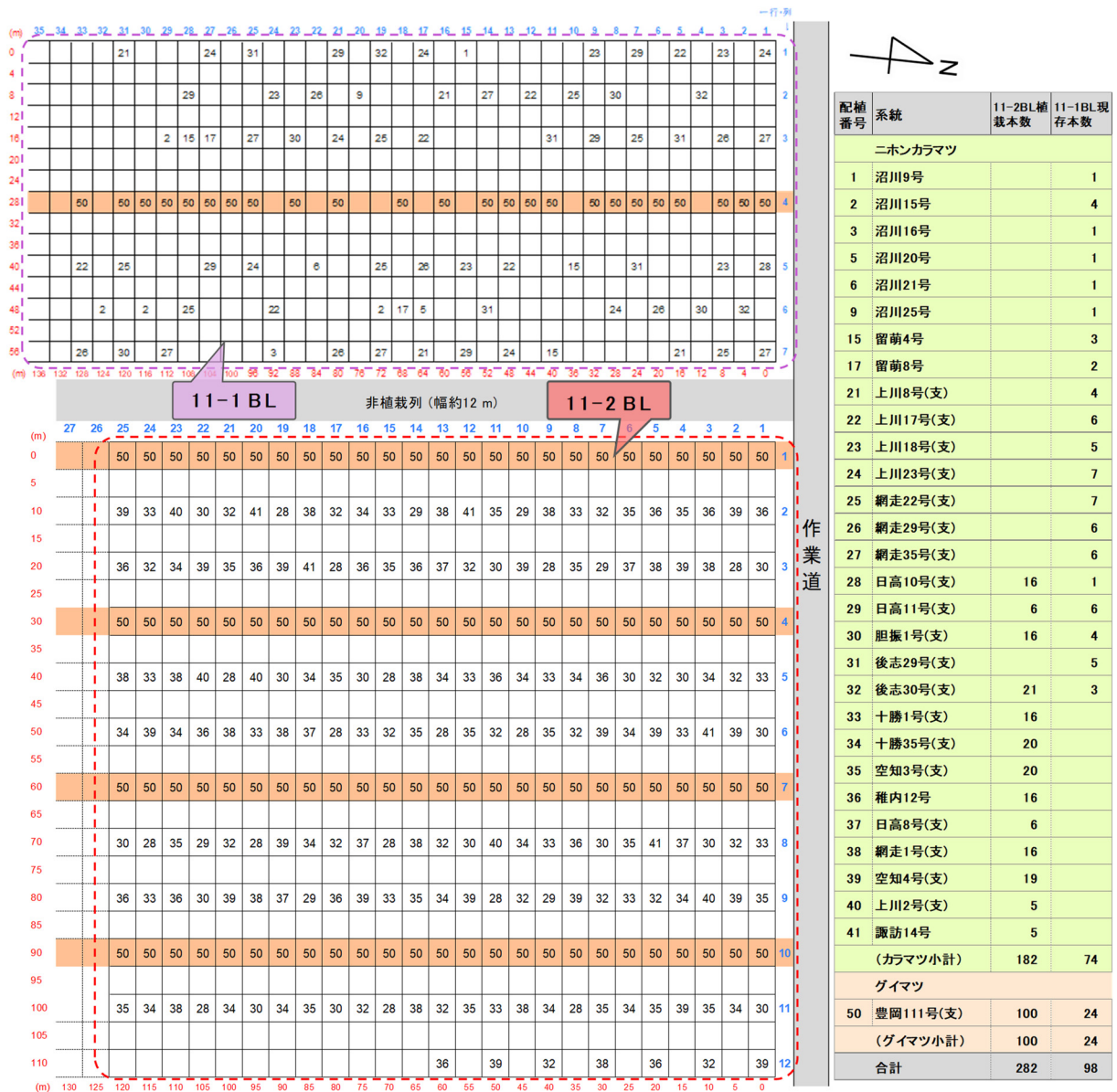


図-3 道有訓子府採種園11-2 BLおよび隣接する11-1 BLの配植図面

番号付きのマスに1個体が植栽される。番号は系統ごとに割り当てる配植番号と対応し、図中の凡例のとおり。色付き(橙色)の列がグイマツ植栽列。欄外の青色数字(上,右端)が各区画の行列番号を,赤色数字(下,左端)が1行目もしくは1列目からの距離を示す。

2022年春に植栽を実施し、また、2023年春に配植調整や補植を実施する予定である。なお、今後の管理に資する資料として、図-2はすべての植栽が反映されたあとの配植として示している。

3. 11-2 BLの配植設計

グイマツは4列のべ100本、ニホンカラマツは8列のべ182本植栽することとして配分した。隣接する11-1 BLの配植を踏まえ、グイマツは11-1 BLと接する1列目より3列おきに植栽することとした(図-3)。すなわち、11-1 BLに配植されたニホンカラマツを花粉親として効果的に機能させるための配植とした。なお、本11-2 BLは、隣接する11-1 BLと植栽

列方向を統一させたものの、苗列間等の仕様は異なる(表-1)。しかし、2つの区画間で植栽年が大きく異なり、今後の管理を同一に行うことはないと考えられ、支障は生じにくいと判断した。

ニホンカラマツについては、26 BLと同様に、採種園9型で適正配置が満たされるようにした。そのため、採種園設計支援プログラム「MIX-WEX」(高橋 2002;千葉 2014)を活用し、隣接する11-1 BLの植栽個体情報を考慮させながら(石塚 2022b)、配植設計を実施した。

4. 11-2 BLの配植設計の結果

ニホンカラマツの配植において、「MIX-WEX」実行時の反

復試行回数内で適正配置を満たす解が得られた。これをグイマツの配植と重ね、隣接する11-1 BLと合わせて示した全体の配植図と植栽系統一覧を図-3に示す。11-1 BLの配植から連続するように、グイマツ1系統（豊岡111号）の植栽列が並び、その両隣をニホンカラマツが取り囲む。

植栽用の苗木は北海道育種場が準備し、2023年に配布を受ける。そこで、この配植図に従って、2023年春に植栽を実施する予定である。

おわりに

カラマツ類雑種採種園はこれまでも改良型雑種採種園方式での造成があったが、その明確な設計の資料が今までなかった。本報告では、訓子府採種園26 BLと11-2 BLの造成に伴う配植設計の根拠を示した。これは本採種園の今後の管理に資するのみならず、これからの雑種採種園の造成・整備・管理や林木育種において広く参照できる資料となると考えられる。

一方、26 BLで導入したような、グイマツ複数系統による「単一母樹クローン列状植栽」仕様でも、想定通りに高い雑種率が得られるかどうかについては、まだ知見に乏しいのが実情である。本採種園や、造成が済んだ他採種園での雑種率の解明は今後検証すべき点である。

採種園では、常に個体の配置が明確で、系統情報を正確に辿ることが重要なため、1本1本の確実な生存と、看板等による個体情報の明確化を図る必要がある（石塚ら 2018; 石塚 2022b）。とくに雑種採種園の場合、確実な雑種F₁種子を生産させる必要があり、継続的な管理（下刈り、除伐や獣害・雪害対策）や適正な断幹、効果的な事業用採種の実行に手抜きがないよう、関係者一同での取り組みを続けていくことが重要である。

補足情報

今回配植したニホンカラマツに関しては、採種園9型での適正配置が満たされていることから、次代（生産される子ども）の遺伝的多様性と自殖リスクの低減の両方が担保されていると考えられる。優良な系統で構成させているため、将来、事業用カラマツ種子の生産の場（ニホンカラマツが母樹となり、周囲個体が花粉親となって生産された種子はニホンカラマツとして扱うことができる）として期待できる。さらに、北海道では遺伝情報を利用したカラマツ類育種が進みつつあるため（石塚 2022a）、有用な育種集団の生産の場としても期待できる。

謝辞

植栽するクローン苗木の育成において、国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所林木育種センター北海道育種場の辻山善洋氏はじめスタッフの協力を賜った。採種園

用地の設定、植栽、現況調査等において、北海道水産林務部林務局森林整備課、オホーツク総合振興局東部森林室、北海道立総合研究機構林業試験場の職員に協力賜った。この場を借りてお礼申し上げる。

引用文献

- 千葉信隆（2014）ランタム配置ソフト「MIX-WEX」のご紹介. 東北の林木育種, 206: 5
- 藤澤義武（2014）林木育種の現場のABC(8)採種園（造成準備）. 森林遺伝育種, 3:179-184
- 北海道水産林務部林務局森林整備課（2022a）北海道採種園整備方針 <https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/srs/new23/syubyou01.html>（2022.11/4確認）
- 北海道水産林務部林務局森林整備課（2022b）北海道採種園整備計画 <https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/srs/new23/syubyou01.html>（2022.11/4確認）
- 石塚 航・今 博計・黒沼幸樹・中田了五（2018）第2世代精英樹等を用いた採種園設計：北海道松前町大沢トドマツ採種園造成の事例から. 北海道林業試験場研究報告, 55: 23-41
- 石塚 航（2022a）日本の林木育種の過去・現在・未来：（1）カラマツ-9 カラマツ属におけるゲノムリソース情報と今後の育種への活用. 森林遺伝育種, 11: 135-140
- 石塚 航（2022b）採種園の補植設計：北海道松前町大沢トドマツ採種園造成後の枯損と補植用の配植について. 北海道林業試験場研究報告, 59: 25-39
- 経済産業省（2021）2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略 <https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005-3.pdf>（2022.11/4確認）
- 来田和人・田村 明・今 博計・内山和子・秋本正信・生方正俊・黒丸 亮（2011）グイマツ第2世代精英樹選抜に向けた次代家系の評価. 北方森林学会第60回大会, Pa-18
- 来田和人（2013）グイマツ第2世代精英樹の選抜. 光珠内季報, 167: 4-8
- 今 博計（2022）日本の林木育種の過去・現在・未来：（1）カラマツ-7 クリーンラーチの開発と普及. 森林遺伝育種, 11: 124-129
- 倉橋昭夫（1988）カラマツ属の交雑育種に関する研究. 東京大学演習林報告, 79: 1-94
- 黒丸 亮・大島紹郎・来田和人・内山和子（2003）グイマツ雑種F₁種苗のブランド化目指した新採種園方式-列状植栽した単一クローン母樹産種子の品質と雑種率-. 北海道の林木育種, 46（2）: 5-8
- 黒丸 亮・内山和子・来田和人（2009）北海道におけるカラマツ類採種園の改良の現状と展望. 北海道の林木育種, 52（2）: 1-4

- 黒丸 亮 (2021) 光珠内における林木育種の始まりから今,そしてこれから. 光珠内季報, 200: 7-12
- 松本和茂 (2022) 日本の林木育種の過去・現在・未来:(1) カラマツ-3 カラマツとグイマツ雑種F₁材の特徴と利用. 森林遺伝育種, 11: 69-73
- 宮木雅美 (1990) ハイブリッドカラマツの特性と改良. 北海道の林木育種, 53 (1): 8-11
- Moriguchi Y, Kita K, Uchiyama K, Kuromaru M, Tsumura Y (2008) Enhanced hybridization rates in a *Larix gmelinii* var. *japonica* × *L. kaempferi* interspecific seed orchard with a single maternal clone revealed by cytoplasmic DNA markers. *Tree Genetics & Genomes*, 4: 637-645
- 大島紹郎 (1996) グイマツ雑種F₁の優良品種「グリーン」の開発とその特性. 光珠内季報, 101: 1-3
- 森林総合研究所林木育種センター北海道育種場 (2019) 開発品種紹介 <http://www.ffpri.affrc.go.jp/hokuiku/kenkyushokai/seka/kaihatsuhinsyu.html> (2022.11/4確認)
- 高橋 誠 (2002) 採種園設計のためのVisual Basicプログラム「Mixed」の開発・評価と設計の作業効率に影響する要因. 日本森林学会誌, 84: 239-245
- 田村 明・山田浩雄・福田陽子・矢野慶介・竹田宣明・大城浩司・上野義人・植田 守・佐藤亜樹彦・湯浅 真・上田雄介・佐藤新一・織田春樹・黒丸 亮・来田和人・今博計 (2015) 北海道育種基本区における第2世代精英樹候補木と優良木の選抜-平成25年度の実施結果-. 平成26年版2014年報 森林総合研究所林木育種センター, <https://www.ffpri.affrc.go.jp/ftbc/business/issue/nenpou/2014.html> (2022.11/4確認)

Key words

seed orchard, planting design, hybrid larch, enhancement of hybridization rate