

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

石塚 航*

Re-planting design of a seed orchard: a report of the initial-mortality and arrangement for the replantation of a new *Abies sachalinensis* seed orchard in Osawa, Matsumae town, Hokkaido

Wataru ISHIZUKA*

要旨

自然交配に頼る採種園では、近交弱勢のリスクを抑え、遺伝的多様性が高くなるような交配親の配置を維持する必要がある。松前町に新規造成したトドマツ採種園において、シカ等の獣害に起因する枯損が生じたことから、採種園の機能を適正に維持するために補植することとなった。ただし、造成時に使用した系統とは異なる系統を植栽することとなったため、新たに適正な配植設計を行う必要が生じた。この配植設計の過程において、既存の採種園設計支援プログラムを用いたので、その手順について報告する。

キーワード：採種園，配植設計，獣害，補植

はじめに

優良種苗の普及は、林木育種事業における重要な課題となっている。脱炭素社会の実現に向けた「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が2021年6月に策定され、農林水産業における貢献が求められる中、具体的な将来計画として「優良品種による造林の普及拡大」が項目として挙げられている（経済産業省 2021）。さらに、2021年5月には「みどりの食料システム戦略」が策定され、農林水産業の生産力強化のための研究開発・政策の中で、スマート農林水産業の社会実装が挙げられており、そのロードマップとして「早生樹の優良系統選抜」、「優良な系統の採種園・採種園の造成を拡大」が取り上げられている（農林水産省 2021）。すなわち、優良種苗の普及に向け、優良な系統を揃えて採種園へ導入し、採種園が種苗生産を担っていくことが求められている。ただし、採種園への導入を図るには、接ぎ木による選抜系統の増殖と、接ぎ木されたクローン苗の育成が必要のため、その時間・労力を踏まえながら、将来を見越した計画的な取り組みが必要となる。

北海道における主要樹種の1つ、トドマツ *Abies sachalinensis* Mast.の育種事業においては、第2世代精英樹候補木や優良木（以降、“第2世代精英樹等”）の選抜がひととおり済んだところである（田村ら2012, 2013, 2015, 大谷ら2015, 石塚ら2015）。これらは、成長・幹の形状等において優れた特性を有するとしてかつて選抜した精英樹（いわゆる第1世代精英樹）の後代集団より、成長、材質、幹形状において遺伝的特性に秀でた個体を選抜したものである。なお、優良木とは、精英樹より採種した後代ではあるが、花粉親が精英樹ではない。この点で第2世代精英樹候補木とは区別されている。さらに現在は、とくに成長に係る特性が優れた「特定母樹」についても選抜を進めているところである（加藤2021）。これら第2世代精英樹、優良木、特定母樹といった優良な系統を採種園へと導入していく段階に至ったため、北海道は2015年（平成27年）3月に「北海道採種園整備方針」を、2017年（平成29年）3月に「道有採種園整備計画」を策定し（北海道水産林務部 2017）、その第一弾となるトドマツ採種園の新規造成を2017年秋に進めたところである（山田 2018）。この新設採種園は道南の松前町にあり、将来、道西南部向けの

* 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59号 令和4年3月, Bulletin of the Hokkaido Forestry Research Institute, No. 59, March, 2022]

種苗生産を担う採種園として、当該地域にて選抜された第2世代精英樹等の導入が図られた(石塚ら 2018)。しかしながら、植栽後まもなくしてシカやネズミによるとみられる獣害が発生した。前述のとおり、採種園には接ぎ木クローンが植栽されており、同一クローンでの代替は困難なことから、本来はあってはならない被害である。ただし、すでに枯損が広がってしまった状況下においては、たとえ同一クローンが用意できなかったとしても、系統構成の異なるクローンでの補植はやむを得ない方策になると考えられる。その場合には、造成時とは系統構成が異なるために、元の配植が復元できなくなってしまう。そこで、まずはどの程度の被害があるかを把握することとした。続いて、系統構成の異なるクローンで効果的な補植を実施するため、適切な植栽配置を検討することとした。

植栽配置を検討しなければならないのは、本トドマツ採種園の新規造成についての既報で述べたとおりである(石塚ら 2018)。すなわち、採種園では、近交弱勢のリスクがなるべく小さく、同時に、遺伝的多様性がなるべく高い種子を生産することが求められ(White et al. 2007)、同一系統のクローンや血縁のある系統同士が近隣に配植されないような、系統の“適正配置”を満たす必要がある。一般に、系統の適切配置を設計するためには煩雑な計算が必要となるため、採種園の設計を支援する専用プログラムとして「MIX-WEX」が開発・公開されている(高橋 2002, 千葉 2014)。しかしながら、第2世代を植栽した本採種園では、植栽する系統間の血縁関係が複雑だったため、既存プログラムの利用に加えて事後処理が必要だったり、そもそも適用できなかったりした(石塚ら 2018)。今回の補植においても同様で、既存プログラムを利用するものの、事前準備、事後処理が必要になると見込まれる。そこで、既存の採種園設計支援プログラムの補植での活用事例として、本報告にてその手順を示す。また、本採種園の今後の管理に資するよう、本報告の末尾に最終的な配植情報を残すこととした。

大沢トドマツ採種園の枯損状況

1. 大沢トドマツ採種園の概要

採種園は北海道松前郡松前町大沢(41°26'6"N, 140°8'14"E)に位置し、道有林渡島西部管理区33林班48・50小班にあたり、面積は1.15haである。採種園の中央には用地を分断する形で作業道が通っており、北西側を1区(面積0.576ha)、南東側を2区(面積0.579ha)としている(図-1)。採種園の造成は2017年10月で、長方形型の採種園用地の短辺方向(南西-北東)に沿う「行」は、4m、6m交互の間隔で植栽し、長辺方向(北西-南東)に沿う「列」は4m間隔で植栽した。また、両区の中間位置には、将来の機械車両の走行路を想定した非植栽列を設け、この箇所においては列間幅が8mとなっている。詳しくは造成時の報告(石塚ら 2018)

を参照していただきたい。

2017年の造成時には、1区に254本、2区に236本、のべ490本(配植密度約430本/ha)が植栽され、これらはのべ138系統の第2世代精英樹等で構成されている。すべて西南部需給地域(西南部育種区と一致する)にて選抜された優良な系統で、同地域への種苗供給を担うことができるように設計されている。配植設計にあたっては、植栽個体を中心にしてタテ、ヨコ、ナナメ全方位に2つ隣まで、すなわち5×5の25マスにおいて適正配置を考える25型設計の仕様とした(石塚ら 2018)。そのため、採種園内の任意の5×5の25マス内に血縁個体が存在しない、という条件が満たされており、自殖等による近交弱勢リスクがなるべく小さく、かつ、遺伝的多様性がなるべく高くなるよう考慮されている。また、25型は将来の間伐後も適正配置を維持しやすい利点がある。補植においても25型の維持が求められる。

2. 枯損状況の調査

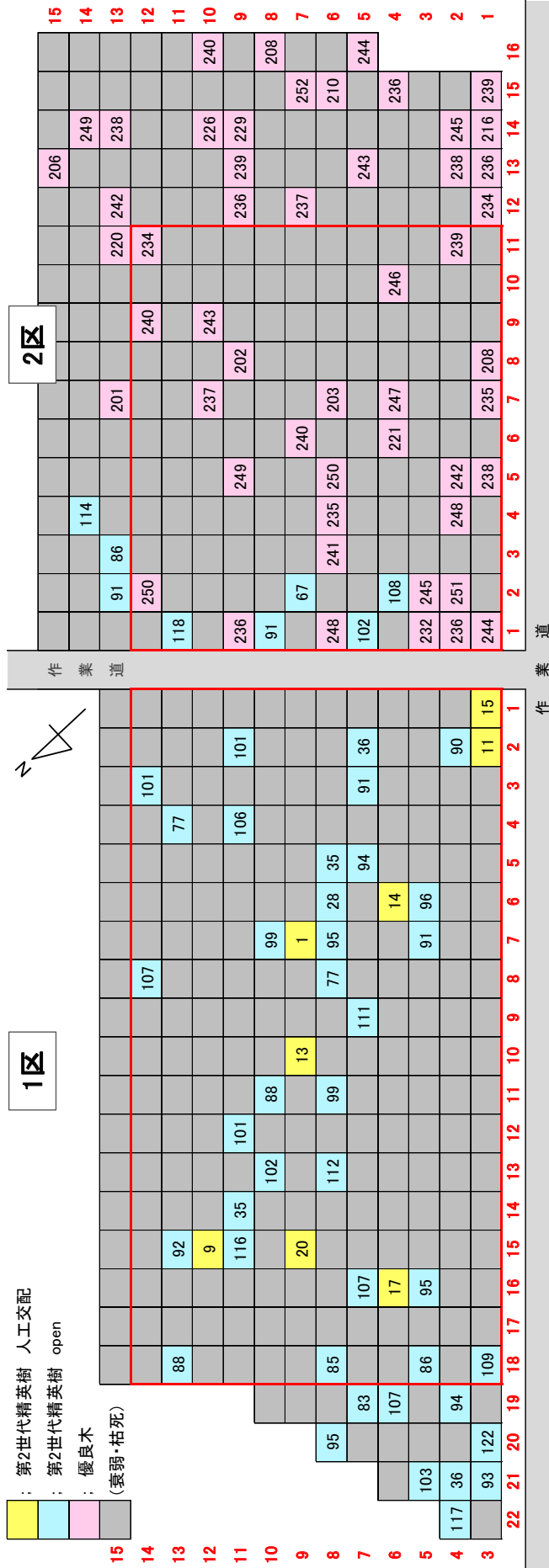
植栽後まもなくして獣害とみられる被害が発生した。そこで、全植栽個体を対象として、生死と獣害有無を調査した。調査は複数回にわたり、2019年7月9日、2020年7月16日、2021年5月18日、および、補植前日の2021年10月13日に実施した。ただし、初回の調査では生死のみしか記録しなかった。獣害にはシカによる剥皮被害とネズミによる樹皮食害、および、本採種園での発生は稀だったが、ウサギによる梢端の食害が想定される。補植時(2021年10月14日)に、獣害の主要因を確認した。

3. 枯損状況の調査結果

植栽4年後までの、のべ4回の枯損状況調査の結果を表-1にまとめた。補植時までに79.2%が枯損したことがわかった。採種園の1区では82.3%、2区では75.4%の枯損率で、区画によって枯損状況が大きく異なるわけではなかった。時系列に沿ってみると、植栽後2冬を経た初回調査時の枯損率が約20%、その1年後の枯損率が約50%、その翌年の枯損率が5月で約70%、10月で約80%と、時間の経過とともに被害が拡大していた。とくに、この直近2年間の被害が際立っていた。

2021年5月の調査時点における生存木と枯損木(枯死と衰弱の両方を含む)の位置を図-1の配植図にて示す。採種園に導入した系統は、表-2にてまとめた配植番号でコード化されて管理されており、図-1の生存木は、配植番号で表示されている。図より、枯損は局所的でなく全体で生じていたようだった。一方で、2区については、2つの作業道と接する端部分において、やや枯損率が低いような傾向もうかがえた。

獣害は、生存、衰退、枯死の3つの区分それぞれで記録された。生存木の中で獣害が記録される割合は調査を経ること



図一 大沢トドマツ採種園における現存状況

2021年5月時点の状況を配植図で示す。色付きの各マスに1個体が植栽される。灰色のマスが、造成後の枯損（衰弱含む）箇所である。数値付きの色塗りマスは生存木のみ。赤字が系統の区分の違いを示し（表-2）、番号が系統ごとに割り当てられる配植番号を示す（表-2）。赤字が補植の対象範囲で、欄外の数字（赤字）が各区画の行列番号を示す。

表一 大沢トドマツ採種園における枯損・獣害調査の結果

調査時期	対象	全数	生存		衰退		枯死	
				獣害		獣害		獣害
2019年 7月9日	1区	254	181		7		66	
	2区	236	197		4		35	
	全体 (%)	490	378	77.1	11	2.2	101	20.6
2020年 7月16日	1区	254	86	(22)	22	(10)	146	(63)
	2区	236	119	(31)	19	(7)	98	(40)
	全体 (%)	490	205	(53)	41	(17)	244	(103)
2021年 5月18日	1区	254	48	(14)	16	(10)	190	(82)
	2区	236	60	(33)	30	(29)	146	(60)
	全体 (%)	490	108	(47)	46	(39)	336	(142)
2021年 10月13日	1区	254	29	(14)	15	(15)	210	(102)
	2区	236	54	(33)	4	(4)	178	(92)
	全体 (%)	490	83	(47)	19	(19)	388	(194)
				16.9		3.9		79.2



写真一 シカによる剥皮被害を受けた苗木の様子

に増え、最終的には生存木の半数以上（56.6%）で獣害が記録されていた。枯死についても、最終的に半数（50.0%）に獣害の記録があった。ただし、枯死の場合、獣害の確認が困難な場合もあり、見落としが含まれることは留意すべきである。

現地において、獣害個体を確認したところ、そのほとんどがシカによる剥皮被害だった（写真一）。実際、採種園管理を

請け負う方から話を聞いたところ、本採種園の用地内でシカの群れを見かけることがあり、とくに春先に見かけることが多かったという。シカが一定頻度で採種園内に滞在しており、その中で剥皮被害が発生したのと思われた。一方、確認できたネズミによる食害は、採種園の配植図面（図一）上側の端域に限られ、わずかだった。ここはスギ林帯に面しており、

表-2 植栽系統一覧

区分	配植番号	クローン系統名	区分	配植番号	クローン系統名	区分	配植番号	クローン系統名	管理番号			
第2世代 人工交配	1	トドマツ北育2-1	第2世代 open (続き)	68	トドマツ北育2-68	第2世代 (続き) 優良木	119	トドマツ北育2-119	優良木	244	トドマツ優良木-44	
	2	トドマツ北育2-2		69	トドマツ北育2-69		122	トドマツ北育2-122		245	トドマツ優良木-45	
	3	トドマツ北育2-3		70	トドマツ北育2-70		201	トドマツ優良木-01		246	トドマツ優良木-46	
	4	トドマツ北育2-4		71	トドマツ北育2-71		202	トドマツ優良木-02		247	トドマツ優良木-47	
	6	トドマツ北育2-6		72	トドマツ北育2-72		203	トドマツ優良木-03		248	トドマツ優良木-48	
	7	トドマツ北育2-7		73	トドマツ北育2-73		204	トドマツ優良木-04		249	トドマツ優良木-49	
	8	トドマツ北育2-8		74	トドマツ北育2-74		205	トドマツ優良木-05		250	トドマツ優良木-50	
	9	トドマツ北育2-9		75	トドマツ北育2-75		206	トドマツ優良木-06		251	トドマツ優良木-51	
	11	トドマツ北育2-11		77	トドマツ北育2-77		207	トドマツ優良木-07		252	トドマツ優良木-52	
	13	トドマツ北育2-13		78	トドマツ北育2-78		208	トドマツ優良木-08		1.5世代	301	俄虫104号
	14	トドマツ北育2-14		79	トドマツ北育2-79		210	トドマツ優良木-10	302		俄虫109号	2
	15	トドマツ北育2-15		82	トドマツ北育2-82		211	トドマツ優良木-11	303		苫小牧1号	3
	16	トドマツ北育2-16		83	トドマツ北育2-83		212	トドマツ優良木-12	304		苫小牧103号	4
	17	トドマツ北育2-17		84	トドマツ北育2-84		213	トドマツ優良木-13	305		白老1号	5
	18	トドマツ北育2-18		85	トドマツ北育2-85		214	トドマツ優良木-14	306		白老8号	6
	19	トドマツ北育2-19		86	トドマツ北育2-86		215	トドマツ優良木-15	307		振内105号	7
	20	トドマツ北育2-20		88	トドマツ北育2-88		216	トドマツ優良木-16	308		振内108号	8
	21	トドマツ北育2-21		90	トドマツ北育2-90		217	トドマツ優良木-17	309		岩内105号	9
	22	トドマツ北育2-22		91	トドマツ北育2-91		218	トドマツ優良木-18	310		岩内106号	10
	23	トドマツ北育2-23		92	トドマツ北育2-92		219	トドマツ優良木-19	311	大夕張101号	11	
	24	トドマツ北育2-24		93	トドマツ北育2-93		220	トドマツ優良木-20	312	大夕張104号	12	
	25	トドマツ北育2-25		94	トドマツ北育2-94		221	トドマツ優良木-21	313	大夕張110号	13	
	26	トドマツ北育2-26		95	トドマツ北育2-95		222	トドマツ優良木-22	314	岩見沢102号	14	
	第2世代 open	28		トドマツ北育2-28	96		トドマツ北育2-96	223	トドマツ優良木-23	315	岩見沢105号	15
		29		トドマツ北育2-29	98		トドマツ北育2-98	224	トドマツ優良木-24	316	岩見沢107号	16
		34		トドマツ北育2-34	99		トドマツ北育2-99	225	トドマツ優良木-25	317	浦河1号	17
35		トドマツ北育2-35	100	トドマツ北育2-100	226	トドマツ優良木-26	318	浦河3号	18			
36		トドマツ北育2-36	101	トドマツ北育2-101	227	トドマツ優良木-27	319	浦河5号	19			
38		トドマツ北育2-38	102	トドマツ北育2-102	229	トドマツ優良木-29	320	浦河8号	20			
41		トドマツ北育2-41	103	トドマツ北育2-103	230	トドマツ優良木-30	321	浦河9号	21			
42		トドマツ北育2-42	104	トドマツ北育2-104	231	トドマツ優良木-31	322	浦河101号	22			
50		トドマツ北育2-50	105	トドマツ北育2-105	232	トドマツ優良木-32	323	浦河102号	23			
51		トドマツ北育2-51	106	トドマツ北育2-106	233	トドマツ優良木-33	324	浦河103号	24			
52		トドマツ北育2-52	107	トドマツ北育2-107	234	トドマツ優良木-34	325	札幌101号	25			
53		トドマツ北育2-53	108	トドマツ北育2-108	235	トドマツ優良木-35	326	定山溪101号	26			
55		トドマツ北育2-55	109	トドマツ北育2-109	236	トドマツ優良木-36	327	余市3号	27			
56		トドマツ北育2-56	111	トドマツ北育2-111	237	トドマツ優良木-37	328	芦別102号	28			
58		トドマツ北育2-58	112	トドマツ北育2-112	238	トドマツ優良木-38	329	倶知安104号	29			
59		トドマツ北育2-59	114	トドマツ北育2-114	239	トドマツ優良木-39	330	新冠102号	30			
60		トドマツ北育2-60	115	トドマツ北育2-115	240	トドマツ優良木-40	331	樽山9号	31			
62		トドマツ北育2-62	116	トドマツ北育2-116	241	トドマツ優良木-41	332	八雲2号	32			
66		トドマツ北育2-66	117	トドマツ北育2-117	242	トドマツ優良木-42	333	函館2号	33			
67		トドマツ北育2-67	118	トドマツ北育2-118	243	トドマツ優良木-43						

区分は4つを設け、それぞれの説明は下記のとおりとした。

- ・第2世代 人工交配：人工交配によって作出した後代より選抜された第2世代精英樹候補木。
- ・第2世代 open：採種園で自然交配（open pollination）によって得た後代より選抜された第2世代精英樹候補木。
- ・優良木：精英樹から採種して得た後代より優良な個体を選抜したもので、かつ、花粉親は精英樹ではないもの。
- ・1.5世代：精英樹（いわゆる第1世代精英樹）の中から選り抜いた精英樹集団。なお、1.5世代の区分については、補植での導入を図るため、採種園設計支援プログラム上における管理番号も右列に付した。

スギ林帯内には多くの枝条が残るために、ネズミの生育場所となっている可能性があった。したがって、本採種園の枯損は、シカによる獣害が主因となっていたとまとめられた。

これらの枯損状況を踏まえ、枯損箇所への補植を実施することとした。なお、あらかじめ配植設計をする必要があるため、その際には、2021年5月時点の枯損状況を用いた。

大沢トドマツ採種園の補植用の配植設計

1. 補植苗と補植範囲

補植に用いる苗木は、森林総合研究所林木育種センター北海道育種場が準備した。本来は大沢に新規造成する予定だった苗木を、補植に転用することでまかされた。系統構成は西

南部向けの1.5世代精英樹である。1.5世代精英樹とは、精英樹（いわゆる第1世代精英樹）の中から、各系統の特性を鑑みて、より優れた集団となるように絞った精英樹を指し、西南部向けは34系統で構成される（中田ら 2018）。このうちの33系統が補植用として提供され（表-1）、苗木数はのべ278本だった。

苗木総数が枯損数よりも少ないため、採種園の中で補植する範囲を定める必要があった。そこで、集約的な管理という観点より、1区と2区を連結させた長方形型で対象範囲を設定した。1区では12行×18列（216マス）、2区では12行×11列（132マス）が補植範囲となった（図-1 赤枠）。

2. 配植設計の手順

設定した補植範囲において、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試みた。高橋 (2002) や千葉 (2014) は新規造成手順を紹介

したが、本プログラムは補植の場合にも対応できる。設計の流れは新規造成と補植とで変わらないが、補植の場合には、生存木を避けた配植や、隣接する生存木との系統重複について考慮する手順が新たに必要になる (図-2)。さらに、第2世

MIX-WEXを用いた設計手順

赤字; 補植での必要事項

- 手順1 血縁関係の把握
- 手順2 血縁関係性の付与
生存木への血縁情報付与
- 手順3 採種園の仕様の決定
(9/25/49型)
- 手順4 植栽位置情報の作成
非植栽位置の情報整理
 - ・生存 かつ 系統考慮必要
 - ・生存 かつ 系統考慮不要
 - ・枯損だが補植対象外
- 手順5 図面上での植栽情報付与
非植栽位置の情報付与
「生存 かつ 系統考慮必要」の入力
→ 0 (MIX-WEX上)
それ以外は未入力(空欄)
- 手順6 系統毎の個体配分決定
(区画毎の配分)
- 手順7 系統情報の入力
「生存 かつ 系統考慮必要」箇所の
情報入力
- 手順8 プログラム実行
- 手順9 出力結果の確認と事後処理
(配植番号の割り当て)
「生存 かつ 系統考慮必要」個体への
適切な配植番号割り当て
- 手順10 配植図完成
生存木の情報との重ね合わせ

MIX-WEX画面 (Microsoft社Excel 2019 version 2111)

架空事例として6列4行のエリアでの“補植”を設計

「設計プラン1」シート

採種園全体の設定		採種園サイズの確定		ブロックの区画を確定								
列数(X)	6	列数(X)	6	行数(Y)	4							
行数(Y)	4	間伐回数	0	←「0」 or 「1」 or 「2」を入力する								
		1	2	3	4	5	6					
4						0		4				
3		0		1		1		2		2		3
2				1		1		1		2		2
1		0		1		1		1		2		1
		1		2		3		4		5		6

各座標(マス目)にブロックナンバーを入力してください。
ただし、ブロックの形状は長方形としてください。
個体を植栽しない座標は未入力にしてください。

「植栽しない座標」シート

植栽しない座標数	
7	
X座標	Y座標
1	3
2	1
3	1
4	2
5	3
6	4
7	6

「植栽プラン2」シート

採種園全体の設定		列数(X)	行数(Y)	反復回数	10	詳細配置	しない
列数(X)	6	配置範囲	5	5	←「する」 or 「しない」を入力する		
行数(Y)	4	確認範囲	5	5			
ブロック数	2				植栽しない座標	7	
植栽系統数	5				すでに植栽されている座標	3	
間伐回数	0						

データシートの準備 → 入力したデータのチェック → 設計の開始

ブロック	ブロックの原点		ブロックの形状		座標数	植栽本数	No.	系統	本数	ブロック1	ブロック2
	X座標	Y座標	列数(X)	行数(Y)							
1	2	1	3	3	8	8	1	301	4	2	2
2	5	1	2	3	6	6	2	302	3	2	1
					24	14	3	303	3	2	1
							4	304	2	1	1
							5	305	2	1	1
							本数	14	8	6	
							コメント	OK	OK	OK	

「すでに植栽されている座標」シート

すでに植栽されている座標数			
3			
No.	X座標	Y座標	植栽系統
1	1	1	3
2	1	3	5
3	5	4	5

「系統配置図」シート

1-2	1	2	3	4	5	6
4						4
3		3	4	3	1	4
2		1	5	2	3	2
1		2		1	5	1
	1	2	3	4	5	6

図-2 採種園設計支援プログラム「MIX-WEX」を用いた手順と操作画面

代精英樹等が植栽された本採種園においては、補植によって新たな系統の導入を図る際に、親子・兄弟の血縁関係を考慮する必要が生じる。そこで、図-2のフローで示すとおり、具体的には以下の手順で配植設計を実施することとした。

＜手順1＞植栽済みの系統（第2世代精英樹等）と補植によって導入を図る系統（1.5世代精英樹）との間の血縁関係を把握する。

＜手順2＞生存木が補植する系統と血縁関係を有していた場合、その血縁情報を生存木に対して付与する。

＜手順3＞採種園の仕様を決める。なお、造成時と同じ25型の仕様とする。

＜手順4＞植栽・非植栽位置の情報を作成する。適正配置を検討するためには、非植栽位置の情報に関しては、採種園の仕様に合わせた範囲で、補植範囲よりも広い範囲で整備する。今回は25型の仕様のため、補植範囲よりも行列に2マスずつ広げて非植栽位置の情報を作成する。非植栽位置に関しては以下の3つの場合に仕訳ける；「すでに植栽されている（生存木がある）、かつ、補植する系統のいずれかと血縁があるために、適正配置の際に系統の考慮が必要」「生存木がある、かつ、補植する系統とは血縁がないために、系統の考慮は不要」「枯損したものの、補植の対象範囲外」。これらのうち、1つ目の「生存かつ系統考慮必要」については、手順2で血縁情報が付与されているはずなので、情報を紐づける。

＜手順5＞プログラム内の「設計プラン1」シートへ、適切な項目を入力する。まず、植栽したい位置にブロック番号を割り振る。本採種園では、1区と2区の情報を用いた。さらに、手順4で整備した「生存かつ系統考慮必要」の位置は「0」と入力し、「生存かつ系統考慮不要」および「枯損だが補植対象外」の位置については未入力でも空欄のままにする（図-2内、「設計プラン1」シートの図参照）。プログラム内の手順に従って入力を進めると、「植栽しない座標」シートへ自動で必要項目が出力される。想定通りに出力されているか確認する（図-2内、「植栽しない座標」シートの図参照）。

＜手順6＞系統ごとに、1区と2区への補植個体の配分を決める。それぞれの系統でなるべく均等な配分率を割り振ることで、どちらかの区画に特定の系統が偏ってしまう可能性を低減できるとともに、プログラム上、適正配置も満たされやすくなる。

＜手順7＞プログラム内の「設計プラン2」シートへ、適切な項目を入力する。手順6で決めた配分率をプログラム内の手順に従って入力を進めると、シート内の『コメント』欄に『OK』が表示される（図-2内、「設計プラン2」シートの図参照）。続いて、「すでに植栽されている座標」シートにて、「生存かつ系統考慮必要」とした箇所の情報を入力する。X座標（列）、Y座標（行）、植栽系統の情報を必要とするが、入力には注意を要する。シート端の『No.』の列へ1番からの連番で生成した後、X座標、Y座標が昇順となるように入力し、

『植栽系統』は該当する系統について「設計プラン2」シート上の『No.』と一致する番号を入力する（図-2内、「すでに植栽されている座標」シートの図参照）。ここが誤りやすい箇所ので、間違っても『植栽系統』の列へ「設計プラン2」シート上の『系統』の内容を書き込んでしまうと、次の手順時にエラーになる。おそらく、プログラム実行時には、「設計プラン2」シート上の『No.』と『系統』の情報が紐づけられて、『No.』が見かけの“系統”番号のように振舞うように設計されているためと思われる。なお、一致させなければならない『No.』はプログラムが自動生成する連番であるため、あらかじめ配植番号、もしくは系統名の順で連番（たとえば管理番号）を振っておけば事前の用意が可能である。

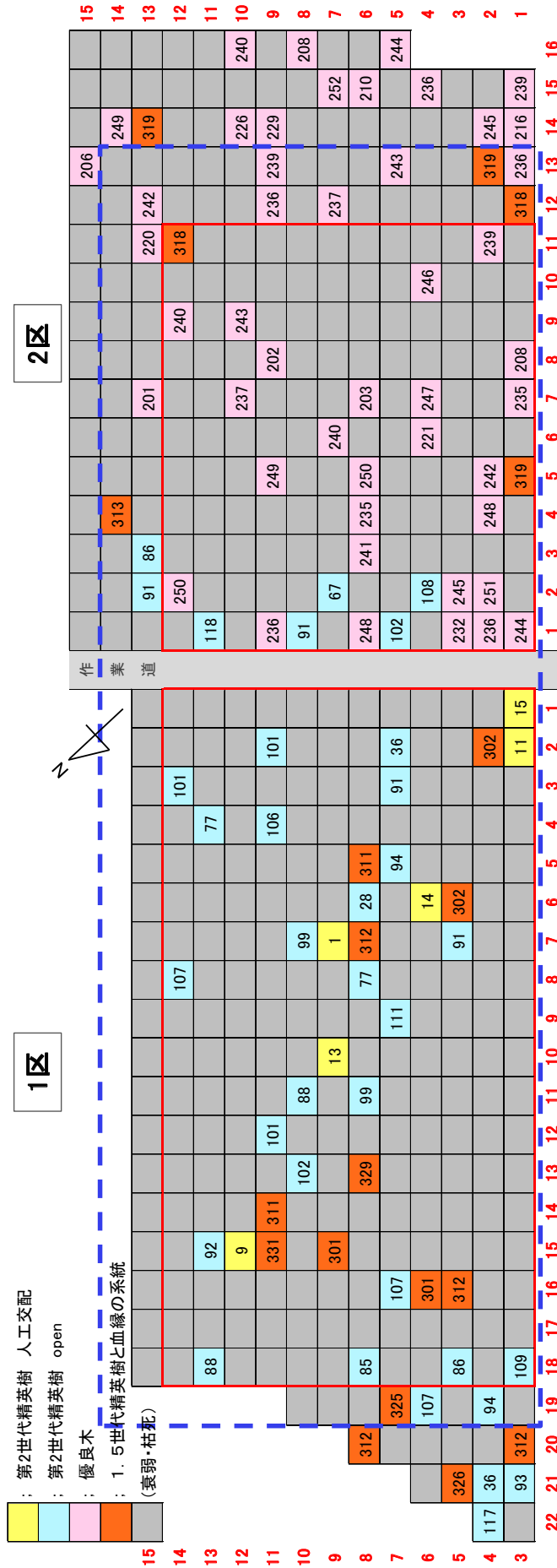
＜手順8＞プログラムを実行し、無作為化による配植設計を行う。ここまでのデータ入力時に不備があればプログラムは止まるため、誤った配植設計がなされる心配はない。また、無作為化を試行し、適正配置の解が得られたところで結果が出力されるため、プログラムを実行するたびに出力結果は異なる。

＜手順9＞出力結果を確認する。出力される値は手順7で述べた『No.』の番号である（図-2内、「系統配置図」シートの図参照）。そのため、植栽用に事後処理が必須であり、まずは、該当する配植番号の紐づけを行う。続いて、配植設計の際に系統考慮を行った箇所について、元の植栽済み個体の情報を割り当てる作業を行う。

＜手順10＞補植用の配植図面、および、今後の管理のため、植栽済みの個体情報と重ね合わせて、配植図を作成する。

3. 配植設計の結果

手順1で血縁を確認したところ、導入を図る1.5世代精英樹のべ33系統のうち16系統が植栽済みの系統の交配親として貢献したことがわかった。手順2に沿って、導入する系統が交配親の一方になっている生存木を抽出し、該当する親の番号へと置き換えたのが図-3である。生存木のうち、導入する系統と血縁関係があったのは20個体だった。このうち、交配親の両方が導入する系統の中にいるというケースはなかった。手順3と4に沿って、25型の仕様、33系統のべ276本を1区に177本、2区に99本植栽することとし、12行×33列の配植設計範囲を定めた（図-3青枠太点線）。植栽・非植栽の位置情報の整理の過程で、導入する系統が交配親の一方だったものの配植設計範囲の外側に位置した2箇所（1区5行21列、2区13行14列）を除く、のべ18箇所を「生存かつ系統考慮必要」な箇所とした。手順5に沿って、植栽・非植栽箇所の情報を図面上に整理した（図-4）。手順6に沿って個体の配分を決定した。植栽予定の278本のうち配植箇所数よりも多い2本については補植時の予備として扱うこととし、配植数が最も多い配植番号「317」、系統名「浦河1号」の2本を予備とした。続いて、手順7と8に沿って、「MIX-WEX」プログラムヘデ



図一3 血縁系統名への置換表示と補植等の範囲の設定

図の見方については図一1と同じ。橙色の箇所では、植栽済みの系統が補植を図る系統と血縁関係にあったため、交配親の情報（300番台の配植番号）へと置き換えた。赤枠が補植の対象範囲で、それより2マス広げた青太点線の枠が配植設計を考慮する範囲である。

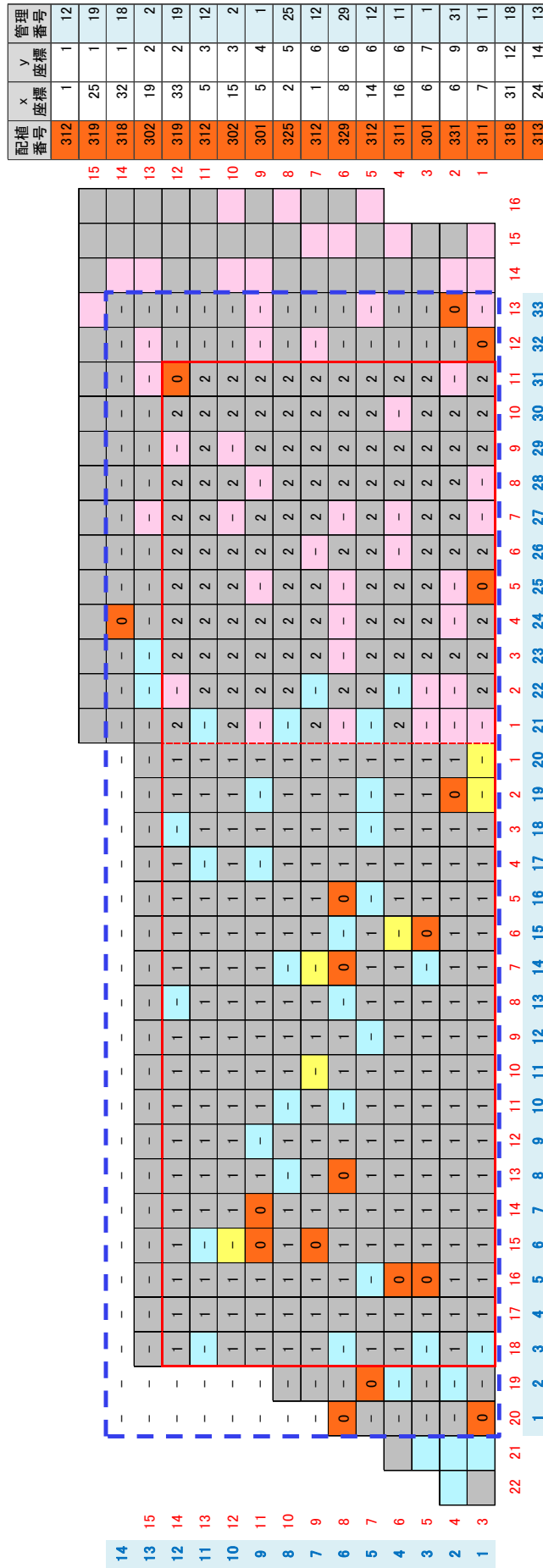
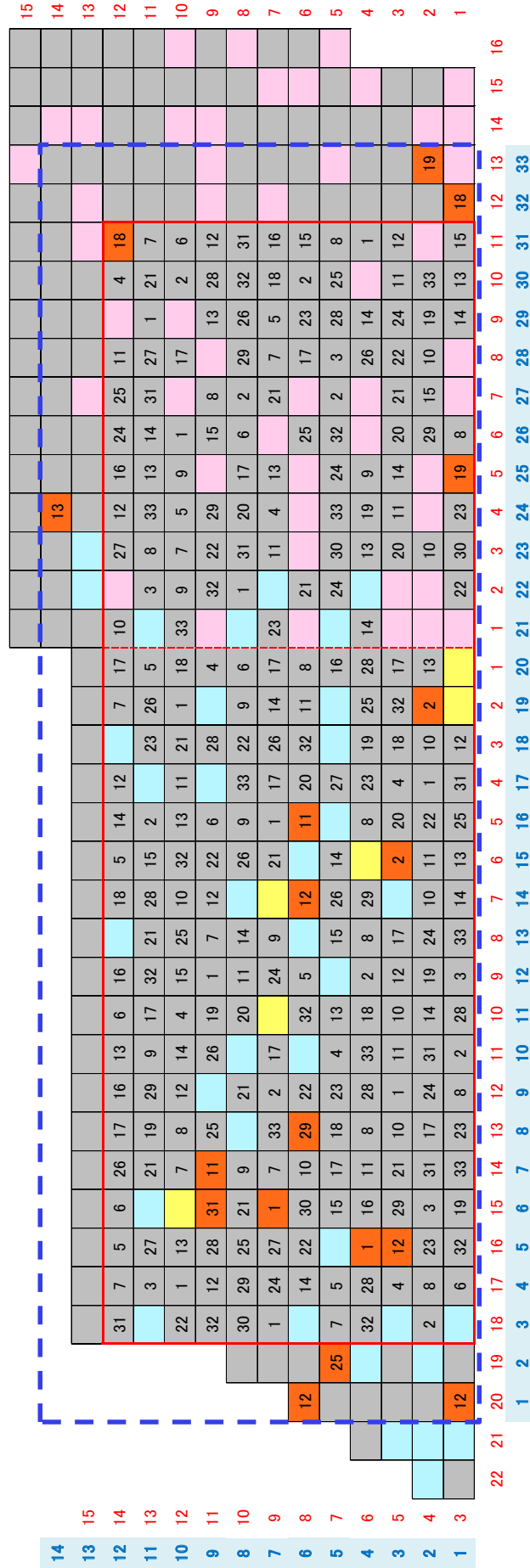


図-4 採種園設計支援プログラムへの入力用データセット

図-3の配植図より改変した。欄外の数字（青背景,青太字）が、配植プログラム上での仮想の行列番号を示し、各区画の行列番号（欄外の赤細字）とは一致しないことに留意。図中、プログラムの設計範囲内にある補植箇所については、1区内ならば1、2区内ならば2と表記した。生存木あり、かつ、系統考慮が必要な箇所を0と表記し、生存木はあるが系統考慮は不要の箇所、ならびに、補植対象範囲外で植栽が不要な箇所については“-”と表記した。0と表記した箇所の系統情報について右に併記した。





写真－2 補植が済んだ大沢トドマツ採種園の1区の外観（左）と補植個体の例（右）

ータセットを渡して実行した。配植設計の反復回数は10回（初期設定のまま）で、この試行回数内で適正配置を満たす解が得られたことがわかった。

プログラムによって得られた配植を図－5に示す。全箇所において、25型の仕様で適正配置が実現していた。続いて、手順9と10に沿って、配植番号を割り当て、系統考慮を行った植栽済み個体の情報を元に戻した。補植用として、対象個体のみを抽出した図面を作成した（図－6）。

4. 補植の実施

2021年10月14日、図－6に基づいて補植を完了させた（写真－2）。補植の際には、5月の枯損状況調査からの変化（枯損の追加）を鑑み、衰弱木の植替えや予備とした苗木の植栽を合わせて行った。それらをすべて反映し、補植後の配植図面を作成し、図－7に示した。また、植栽数と、採種園内の現存数について、最新版の値を表－3にて示した。278本の苗木を植栽したことで、現在、1区222本、2区155本、のべ377本が生育している状況である。

表－3 補植実施後の採種園内個体数の内訳

	元配植	当初植栽個体		新規補植	全数 (2021年10月14時点)
		健全	衰退		
1区	254	29	15	178	222
2区	236	54	1	100	155
全体	490	83	16	278	377

2区において、衰退3個体を新規補植用苗で植え替えた。表－1と衰退個体数が整合しないのはこれによる。

まとめ

2017年秋に新規造成した大沢トドマツ採種園では、植栽後に主にシカの剥皮害が発生し、4年間で79.2%の苗木が枯損した。そこで、系統構成が異なるクローンをを用いた補植を実施することとした。配植の設計の際には、既存の系統と補植によって導入を図る系統とが親子関係にある場合もみられ、それら血縁個体の扱いを考慮する手順を加えることで、既存の配植設計支援プログラムを用いた適正配植を実現できた。本報告にて手順を示したので、他の採種園で補植を行う際に参考にできると考えている。

今後の採種園管理にあたっては、二度と同様な被害をなくすよう、シカによる獣害をあらかじめ防ぐ手立が必要になることは言うまでもない。大沢トドマツ採種園においては、植栽した苗の養生のための幹保護材を設置する予定である。北海道では、優良種苗の安定供給のため、「北海道採種園整備方針」と「道有採種園整備計画」を策定し、今後もトドマツ採種園の新規造成・更新を進めていく予定である（北海道水産林務部 2017）。採種園の造成にあたっては、今後も獣害対策を合わせて実施していく必要がある。

また、本採種園造成時の既報で述べたとおり（石塚ら 2018）、採種園では、常に個体の配置が明確で、かつ、系統情報を正確に辿ることが重要で、そのためにも、看板等の設置、適した密度での個体の生存は必須条件である。明確な個体情報をもとに、継続的な管理（下刈り、除伐や獣害・雪害対策）や将来の適正な間伐計画の策定、効果的な事業用採種を行うことができる。とくに、将来の事業用採種にあたって

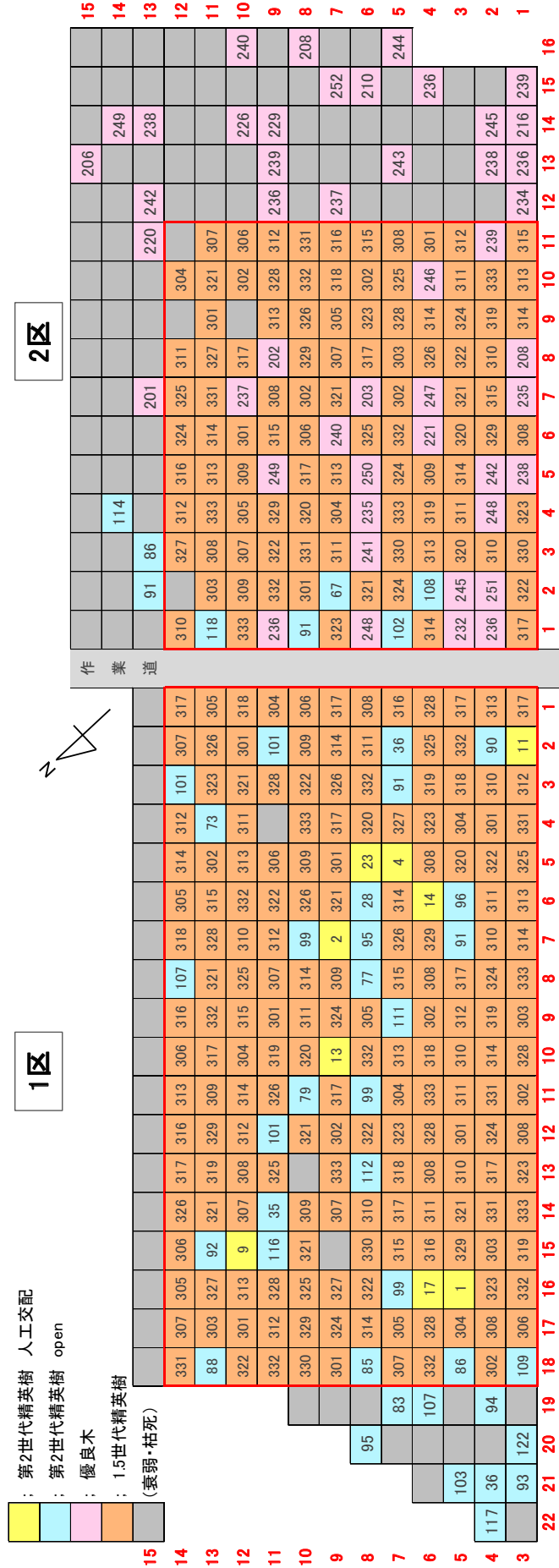


図-7 補植後の大沢トドマツ採種圃配植図 (簡易版)

図の見方は図-1参照。橙色塗りで補植した1.5世代精英樹の情報を追加した。配植番号と系統名の対応表、ならびに、補植実施後の各系統の生残数は次ページにて示す。

第2世代 人工交配

#	クローン	数	1区	2区
1	トドマツ北育2-1	1	1	0
2	トドマツ北育2-2	1	0	0
3	トドマツ北育2-3	0	0	0
4	トドマツ北育2-4	1	1	0
6	トドマツ北育2-6	0	2	0
7	トドマツ北育2-7	0	0	0
8	トドマツ北育2-8	0	0	0
9	トドマツ北育2-9	1	0	0
11	トドマツ北育2-11	1	0	0
13	トドマツ北育2-13	1	0	0
14	トドマツ北育2-14	1	0	0
15	トドマツ北育2-15	0	0	0
16	トドマツ北育2-16	0	0	0
17	トドマツ北育2-17	1	0	0
18	トドマツ北育2-18	0	0	0
19	トドマツ北育2-19	0	0	0
20	トドマツ北育2-20	0	0	0
21	トドマツ北育2-21	0	0	0
22	トドマツ北育2-22	0	0	0
23	トドマツ北育2-23	1	0	1
24	トドマツ北育2-24	0	0	0
25	トドマツ北育2-25	0	0	0
26	トドマツ北育2-26	0	0	0
合計		9	1	1

※全て1区に配植

第2世代 open

#	クローン	数	1区	2区
28	トドマツ北育2-28	1	1	0
29	トドマツ北育2-29	0	0	0
34	トドマツ北育2-34	0	0	0
35	トドマツ北育2-35	1	1	0
36	トドマツ北育2-36	2	2	0
38	トドマツ北育2-38	0	0	0
41	トドマツ北育2-41	0	0	0
42	トドマツ北育2-42	0	0	0
50	トドマツ北育2-50	0	0	0
51	トドマツ北育2-51	0	0	0
52	トドマツ北育2-52	0	0	0
53	トドマツ北育2-53	0	0	0
55	トドマツ北育2-55	0	0	0
56	トドマツ北育2-56	0	0	0
58	トドマツ北育2-58	0	0	0
59	トドマツ北育2-59	0	0	0
60	トドマツ北育2-60	0	0	0
62	トドマツ北育2-62	0	0	0
66	トドマツ北育2-66	0	0	0
67	トドマツ北育2-67	1	0	1
68	トドマツ北育2-68	0	0	0
69	トドマツ北育2-69	0	0	0
70	トドマツ北育2-70	0	0	0
71	トドマツ北育2-71	0	0	0
72	トドマツ北育2-72	0	0	0
73	トドマツ北育2-73	1	1	0
74	トドマツ北育2-74	0	0	0
75	トドマツ北育2-75	0	0	0
77	トドマツ北育2-77	1	1	0
78	トドマツ北育2-78	0	0	0
79	トドマツ北育2-79	1	1	0
82	トドマツ北育2-82	0	0	0
83	トドマツ北育2-83	1	1	0
合計		9	4	4

優良木

#	クローン	数
201	トドマツ優良木-01	1
202	トドマツ優良木-02	1
203	トドマツ優良木-03	1
204	トドマツ優良木-04	0
205	トドマツ優良木-05	0
206	トドマツ優良木-06	1
207	トドマツ優良木-07	0
208	トドマツ優良木-08	2
210	トドマツ優良木-10	1
211	トドマツ優良木-11	0
212	トドマツ優良木-12	0
213	トドマツ優良木-13	0
214	トドマツ優良木-14	0
215	トドマツ優良木-15	0
216	トドマツ優良木-16	1
217	トドマツ優良木-17	0
218	トドマツ優良木-18	0
219	トドマツ優良木-19	0
220	トドマツ優良木-20	1
221	トドマツ優良木-21	1
222	トドマツ優良木-22	0
223	トドマツ優良木-23	0
224	トドマツ優良木-24	0
225	トドマツ優良木-25	0
226	トドマツ優良木-26	1
合計		47

※全て2区に配植

1.5世代

#	クローン	数	1区	2区
301	樺虫104号	11	7	4
302	樺虫109号	9	5	4
303	若小牧1号	5	3	2
304	若小牧103号	7	5	2
305	白老1号	7	5	2
306	白老8号	7	5	2
307	振内105号	9	6	3
308	振内108号	11	7	4
309	岩内105号	8	5	3
310	岩内106号	9	6	3
311	大夕張101号	10	6	4
312	大夕張104号	9	6	3
313	大夕張110号	11	6	5
314	岩見沢102号	13	8	5
315	岩見沢105号	8	4	4
316	岩見沢107号	6	4	2
317	浦河1号	15	11	4
318	浦河3号	6	5	1
319	浦河5号	7	5	2
320	浦河8号	6	3	3
321	浦河9号	11	7	4
322	浦河101号	9	6	3
323	浦河102号	8	5	3
324	浦河103号	8	4	4
325	札幌101号	8	5	3
326	定山溪101号	8	6	2
327	余市3号	5	3	2
328	芦別102号	9	7	2
329	倶知安104号	7	4	3
330	新冠102号	4	2	2
331	樽山9号	7	4	3
332	八雲2号	11	8	3
333	函館2号	9	5	4
合計		278	178	100

(図-7 続き)

は、両区にまたがって、より多くの系統の母樹からの種子採集が重要になる。本採種園では、高所作業車等を用いた効率的な採種が可能のように非植栽箇所を設けたため、効率的な採種が実現できるよう、植栽個体を適切に生存・維持していく取り組みがことさらに求められるだろう。

謝辞

補植用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飯野貴美子氏およびその他スタッフの協力を賜った。補植の設計にあたっては、同北海道育種場の中田了五氏、花岡創氏に助言をいただいた。補植や枯損状況調査にあたっては、北海道水産林務部林務局森林整備課、渡島総合振興局西部森林室、檜山振興局産業振興部林務課、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) ランダム配置ソフト「MIX-WEX」のご紹介. 東北の林木育種, 206: 5.
- 北海道水産林務部 (2017) 道有採種園整備計画の策定について. 北海道の林木育種 60(2): 1-4.
- 石塚 航・今 博計・来田和人 (2015) 根釧地域におけるトドマツ第2世代精英樹の選抜. 光珠内季報 176: 9-16.
- 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.
- 加藤一隆 (2021) トドマツエリートツリーの開発及び特定母樹の指定. 野幌の丘から, 191: 2-3.
- 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> (2021.11/8確認).
- 中田了五・坂本庄生・西岡直樹・花岡 創・来田和人・今 博計・石塚 航・黒丸 亮 (2018) 次世代検定林の成績によるトドマツ精英樹集団からの優良系統の選抜. 森林総合研究所研究報告, 17: 155-174.
- 農林水産省 (2021) みどりの食料システム戦略. <https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/index.html> (2021.11/8確認).
- 大谷雅人・田村 明・矢野慶介・西岡直樹・上田雄介・坂本庄生・植田 守・佐藤亜樹彦・湯浅 真・井上 晃・来田和人・今 博計・黒丸 亮 (2015) 北海道育種基本区における第2世代精英樹候補木の選抜-平成26年度の実施結果-. 平成27年版2015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/2015/2015.html> (2021.11/8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・阿部正信・竹田宣明・上田雄介・来田和人・今 博計 (2012) 北海道育種基本区における第2世代精英樹候補木の選抜-平成23年度の実施結果-. 平成24年版2012年報 森林総合研究所林木育種センター, 26-30.
- 田村 明・山田浩雄・福田陽子・矢野慶介・植田 守・阿部正信・竹田宣明・大城浩司・佐々木洋一・佐藤亜樹彦・織田春樹・小園勝利・渡邊 謙・来田和人・今 博計 (2013) 北海道育種基本区における第2世代精英樹候補木と準次代検定林からの優良木の選抜-平成24年度の実施結果-. 平成25年版2013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/2013.html> (2021.11/8確認).
- 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> (2021.11/8確認).
- White, T.L., Adams, W.T., and Neale, D.B. (2007) Deployment - open-pollinated varieties, full-sib families and clones. *In* White et al. *Forest genetics*, 439-477. CAB International, London, UK.
- 山田浩二 (2018) 道有採種園整備-大沢採種園(トドマツ)造成-. 北海道の林木育種 61(2): 27-29.

Key words

seed orchard, planting design, herbivory damage, replanting