

北林試研報
Bull. Hokkaido
For. Res. Inst.

北海道林業試験場研究報告

第59号

**BULLETIN
OF THE
HOKKAIDO FORESTRY RESEARCH INSTITUTE**

No. 59

地方独立行政法人 北海道立総合研究機構
森林研究本部 林業試験場

美唄市 光珠内

令和4年3月

FORESTRY RESEARCH INSTITUTE
FOREST RESEARCH DEPARTMENT
HOKKAIDO RESEARCH ORGANIZATION
BIBAI, HOKKAIDO, JAPAN

March 2022

北海道林業試験場研究報告 第59号

目 次

今 博 計 成 田 あ ゆ 石 塚 航 佐 藤 弘 和 来 田 和 人	カラマツ類の着花に及ぼす施肥の効果……………	1
佐 藤 弘 和	2002年度調査記録による網走川上流域における河岸侵食・崩壊発生状況…	9
雲 野 明 山 岡 克 年 明 石 信 廣 中 川 昌 彦 和 田 尚 之 牛 尾 守	カラマツ幼齡人工林における野ネズミ低密度変動時の被害の現状と…… エゾシカによる幹食害について	17
研究資料		
石 塚 航	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	25

Bulletin of the Hokkaido Forestry Research Institute

No.59

Contents

Effects of Fertilizer Application on Flowering of Larch in Japan Hirokazu KON, Ayu NARITA, Wataru ISHIZUKA, Hirokazu SATO, and Kazuhito KITA	1
Generations of bank erosion in the upper Abashiri River, eastern Hokkaido, based on analysis of 2002 survey report Hirokazu SATO	9
Damage to young larch trees by sika deer and voles at low population density Akira UNNO, Katsutoshi YAMAOKA, Nobuhiro AKASHI, Masahiko NAKAGAWA, Hisayuki WADA, and Mamoru USHIO	17
Research Material	
Re-planting design of a seed orchard: a report of the initial-mortality and arrangement for the replantation of a new <i>Abies sachalinensis</i> seed orchard in Osawa, Matsumae town, Hokkaido Wataru ISHIZUKA	25

カラマツ類の着花に及ぼす施肥の効果

今 博計*・成田あゆ*・石塚 航*・佐藤弘和*・来田和人*

Effects of Fertilizer Application on Flowering of Larch in Japan

Hirokazu KON*, Ayu NARITA*, Wataru ISHIZUKA*, Hirokazu SATO*, and Kazuhito KITA*

要旨

(1) グイマツとカラマツの雑種採種園で2015年から2018年にかけて施肥を行った。窒素の単肥区、窒素・リン酸・カリ(3:6:4)の混合肥料区、比較対照の通常施肥区の3処理を設けた。試験にはグイマツ精英樹(中標津5号)の107ラメットを用い、2019年まで雌花数を計測した。2017年から2019年の期間、窒素だけを与えた施肥は雌花数を減少させたが、窒素・リン酸・カリを混合した肥料では雌花数を増加させた。

(2) 小澤・松崎(1955)が施肥と針金のまきじめによる着花促進処理を行った16年生カラマツでの花芽の着生数を再分析した結果、窒素の施用は花芽の着生数を減少させる傾向があり、リン酸とカリの施用と針金のまきじめ処理には花芽の着生数を増加させる傾向が認められた。

キーワード：グイマツ，カラマツ，球果生産量，採種園，施肥管理

はじめに

カラマツ(*Larix kaempferi* (Lamb.) Carr.)は国内の造林用針葉樹の中でも優れた材質特性を持つ樹種であり、木材の乾燥・加工技術の向上にともなって、梱包材だけでなく、集成材・合板としての利用が増加している。このためカラマツ造林の意欲が高まりつつあり、カラマツの造林面積はスギ(*Cryptomeria japonica* D. Don)に次ぐ全国第二位、面積割合は24.4%を占めている(林野庁2019)。しかし、全国的にカラマツの苗木が不足する状況にあり、種子の安定生産が求められている。また、全国のカラマツ造林量の80%を占める北海道では、採種園から生産されるカラマツ種子の割合が2~3%と低下しており、採種園産種子の確保が喫緊の課題となっている。

カラマツ類の花芽形成を促進する有効な方法としては、幹の樹皮を1~2cm程度の幅で環状に剥ぎ取る処理がある(百瀬1964, 浜谷・倉橋1970, 内山ら2007, Matsushita et al. 2020)。しかし、若齢の個体や樹勢の低下した個体に環状剥皮を行うと、衰弱して枯死にいたることがある。継続的に種子生産を行うためには、母樹を健全に育てながら着花を促進する処理

を行うことが必要であり、その方法としては樹体の栄養状態を改善する施肥が有効と考えられている(浅川1965)。

採種園での施肥については、林野庁(1964)が策定した「採種園の施肥要領」の中で母樹あたりの施用量が示されている。しかし、施肥の効果を検証した事例は少なく、国内ではアカマツ(*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.)採種園(三宅・沖部1967, 高山1967)とヒノキ(*Chamaecyparis obtuse* Sieb. et Zucc.)採種園(山手1976)での報告に限られている。一般に、施肥には花芽形成や結実に対してプラスの効果があるとされる。肥料の三要素(窒素, リン酸, カリ)の中では窒素が樹木の花芽形成・結実を促進するとの報告例が多く、ダグラスファー(*Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco) (Ebell and McMullan 1970, Ebell 1972), クロトウヒ(*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) (Smith 1987), ナンキョクブナ(*Nothofagus solandri* (Hook. f.) Oerst.) (Smaill et al. 2011), ブナ(*Fagus crenata* Blume) (Miyazaki et al. 2014), アカガシワ(*Quercus rubra* L.) (Bogdziewicz et al. 2017)など様々な樹種で知られている。海外のカラマツ類採種園でも窒素の施用が行われており、アメリカ合衆国アイダホ州のウエスタンラーチ(*L. occidentalis* Nutt.)採種園では、5月最終週から6月第一週の間に硝酸態

* 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]

窒素を55kg/ha散布している（田村・宮下2016）。しかし、同じアイダホ州のウエスタンラーチ天然林での施肥試験では、336kg/haのアンモニア態窒素の施用により球果の着生数が抑制されたこと（Graham et al. 1995）、16年生のカラマツ人工林で行った施肥試験では、アンモニア態窒素の施用によって花芽が減少し、リン酸とカリの施用によって花芽が増えたことも報告されている（小澤・松崎1955）。同様に、ヨーロッパトウヒ（*P. abies* (L.) Karst.）でもアンモニア態窒素が着花を抑制しカリが促進するとの報告がある（Kurm and Kiviste 2004）。このように着花におよぼす窒素の影響はまちまちであり、また、リン酸やカリの影響についても十分検討されていない。

本研究では、カラマツ類の着花に及ぼす窒素とリン酸とカリの効果を検証することを目的に、二つのアプローチにより取り組んだ。一つは、グイマツ雑種F₁採種園の種子親であるグイマツ（*L. gmelinii* (Rupr.) Rupr. ex Kuzen, var. *japonica* (Maxim. ex Regel) Pilg.）を対象とした施肥試験であり、20年生の採種園において施肥と雌花数との関係を4年間にわたって調査した。もう一つは、カラマツで唯一報告例のある小澤・松崎（1955）が行った花芽着生におよぼす施肥試験の再解析である。60年以上前に行われた試験では28万個もの冬芽を対象に葉芽・花芽の分別を行うなど調査に多くの努力がかけられているものの、試験設計が複雑なこともあり、調査データが分析されてなく検証が不十分な結果に終わっている。本論では、この既往の報告例について改めて解析し、カラマツの花芽の着生数に及ぼす施肥の影響を評価した。

材料と方法

1. グイマツ雑種F₁採種園

施肥試験は北海道常呂郡訓子府町字駒里の道有採種園のNo. 1ブロック（面積2.88ha）とNo. 2ブロック（面積5.92ha）で行った（北緯43.749°、東経143.697°）。ブロックの間に作業道が通っているが、林分としては連続している。採種園は標高200mの平坦な台地上に位置する。土壌は黒ボク土であり、軽石流堆積物の上に火山灰が堆積している。試験地は1961年にカラマツ採種園として造成された。その後1996年にグイマツ雑種F₁採種園として再整備するため、南北方向に24m幅で伐採し、伐採帯の中央にグイマツ精英樹中標津5号が8m間隔で1列植栽された（黒丸ら2003）。列の長さは540mである。伐採帯は保残帯に挟まれる形で3列ある。カラマツが残る帯幅は32mで、2014年時点のカラマツの樹高は26～30m、胸高直径は50～60cm、本数密度は60～80本/haである。正確な時期と本数は不明であるが、グイマツは複数回にわたって補植が繰り返された。試験を開始した2015年時点でのグイマツの本数は102本、胸高直径は1～22cmである。また、光環境の改善により着花を促進することと効率良く安全に採種することを目的に、2006年と2009年に地上高4mの位置で断幹が行

われた。なお、このグイマツ1クローンをカラマツの中に列状に植栽した単一クローン母樹雑種採種園は、母樹となるクローン以外の他のグイマツが周囲にないため、雑種率が86%以上と高く、効率的に雑種子を生産できる特徴を持っている（Moriguchi et al. 2008, 森口・来田2015）。

採種園の整備として、毎年グイマツの植栽列で下刈り、殺鼠剤散布、施肥を行っている。通常の施肥は5月上旬から6月下旬の間に行われ、林業用固形肥料まるやま3号（成分：窒素3%、リン酸6%、カリ4%）を1本あたり144g与えている。樹冠下に深さ20cmの穴を3箇所開け、1穴につき3粒（16g/粒）を埋めている。成分ごとの施用量は1本あたり窒素4.32g、リン酸8.64g、カリ5.76gである。

2. 施肥試験の設定

試験では2種類の肥料を使用した。まず、雌花の着生に及ぼす窒素の効果を検証するため、尿素（成分：窒素46%）を与える処理（尿素処理）を設けた。次に、リン酸とカリの効果も含めて検証するため、事業的に使用している林業用固形肥料まるやま3号を通常よりも多く与える処理（まるやま3号処理）を設けた。いずれの処理も通常の施肥に加えて行っている。試験では、事業的にまるやま3号を施用している処理を事業処理とした。処理数は計3つである。グイマツが植栽された3列を6区画に分け、各処理2区画ずつ設けた。供試数は尿素処理とまるやま3号処理がそれぞれ各30個体、事業処理が47個体である。施肥の方法は、樹冠の外周線上の地上投影部分に幅1mの輪状の範囲を設け、所定の量を地上部に散布した。なお、土壌へのすき込みや覆土等は行っていない。施用量は4方位の樹冠幅から輪状の面積を計算し、尿素を1m²あたり43.5g（窒素20g）、まるやま3号を1m²あたり83.3g（窒素2.5g、リン酸5.0g、カリ3.3g）とした。施肥日は2015年6月11日、2016年5月19日、2017年5月15日、2018年5月25日である。ただし、尿素処理とまるやま3号処理の各1区画では2016年と2018年は施肥を行っていない。

3. 調査と解析方法

採種園の土壌の化学性を把握するため、2019年9月26日に調査地のNo. 1ブロック（1地点）、No. 2ブロック（2地点）を含む6地点で土壌試料を採取した。土壌試料の採取はグイマツ母樹の細根が多く分布する深さ25～30cmの黒ボク土層で行い、1試料あたり生土500gを採取した。採取した土壌は実験室に持ち帰り風乾した。分析は一般社団法人日本土壌協会に依頼し、pH（ガラス電極法）、EC（電気伝導率計法）、アンモニア態窒素（インドフェノール法）、硝酸態窒素（アルカリ還元・ジアゾ色素法）、有効態リン酸（Murphy-Riley法）、交換性加里（炎光光度法）、交換性石灰（OCPC法）、交換性苦土（XB-1法）、リン酸吸収係数（バナドモリブデン酸法）、陽イオン交換容量（インドフェノール法）を測定した。

雌花（若い球果）の着生調査は、処理前の2012～2015年と処理後の2016～2019年の計8年間行った。調査は各年6月11～25日に実施し、個体の周りを1周しながら着生数を肉眼で計測した。なお、雄花の着生について調査していない。

尿素処理とまるやま3号処理による雌花着生の効果は、施肥前後の雌花の平均着生数の変化率（2016～2019年の着花数／2012～2015年の着花数）を比較することにより求めた。比較対照には、事業処理の変化率を用いた。

雌花の着生数に及ぼす窒素、リン酸、カリの量的な効果を検証するため、2017～2019年の毎年の個体ごとに観測された着生数を応答変数、前年の窒素施用量、リン酸施用量、2015年春の胸高直径を説明変数とする一般化線形モデルを各年で

構築した。なお、処理前の平均着花数は胸高直径と相関関係があり（ $r = 0.436, p < 0.001$ ）、ばらつきはあるものの胸高直径が8 cmを越えると着花数が急激に増加する傾向があったため、説明変数として採用した（図-1）。モデルの誤差分布はポアソン分布（link関数はlog）であり、AICにより最良モデルを選択した。なお、本試験ではリン酸量とカリ量は比例関係にあるため、リン酸とカリの効果を分離できない。そのため説明変数にはリン酸量のみを用いた。また、重度の獣害を受けた個体や衰退した個体5本と、肥料を施用しなかった尿素処理とまるやま3号処理の各1区画（2017年と2018年の雌花の着生数）は解析から除外した。なお、2016年は凶作年であったことから、解析は行わなかった。

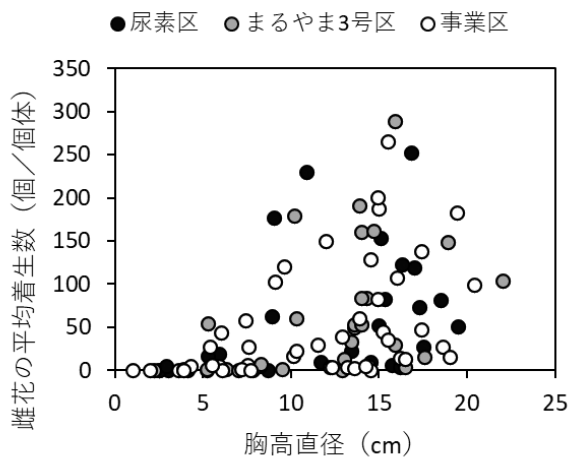


図-1 ギヤマツの胸高直径と施肥前4年間(2012～2015年)の雌花の平均着生数との関係
2016年からの施肥試験に供試した個体がわかるよう処理区別にわけて示している。

4. カラマツ施肥試験（小澤・松崎1955）の再解析

試験林分は北海道森林管理局定山溪国有林の傾斜約25°の斜面に位置する16年生のカラマツ人工林（面積0.6ha）である。3種類の肥料が用いられ、1個体あたりの施用量は、硫酸アンモニア（成分：窒素21%）が200g、過リン酸石灰（成分：リン酸16%）が500g、硫酸カリ（成分：カリ48%）が300gである。試験では各肥料を組合せてNPK、PK、NK、NP、P、Kの6種類の処理が設けられた（表-1）。さらに各処理について、春と秋の施肥時期を変えた処理があり、施肥は1952年5月と同年9月、1953年6月と同年10月、1954年6月に行われた。また、1954年6月には地上40cmの樹幹に針金を巻きつける「まきじめ」による着花促進処理が行われた。1954年11月に長さ2m前後の枝が採取され、短枝上に着いている冬芽の形態から、葉芽、花芽などが計測されている。供試数は無処理区の12個体を含めた72個体であり、処理の繰り返しはない。なお、冬芽の観察であることから雄花と雌花の区分はされていない。

表-1 針金まきじめ及び施肥処理別の調査本数

針金まきじめ	施肥種別	春散布 (本数)	秋散布 (本数)	無施肥 (本数)
有	NPK	3	2	-
	PK	3	2	-
	NK	3	2	-
	NP	3	2	-
	P	3	2	-
	K	3	2	-
	Cont	-	-	6
無	NPK	3	2	-
	PK	3	2	-
	NK	3	2	-
	NP	3	2	-
	P	3	2	-
	K	3	2	-
	Cont	-	-	6

(小澤・松崎1955)

カラマツの花芽の着生に及ぼす窒素、リン酸、カリの効果を検証するため、花芽数を応答変数、窒素施用量 (g/個体)、リン酸施用量 (g/個体)、カリ施用量 (g/個体)、斜面位置 (上部、中部、下部)、処理時期 (春、秋)、まきじめ処理の有無、調査枝の着生高 (m) を説明変数、短枝数をオフセット項とする一般化線形モデルを用いた。誤差分布はポアソン分布 (link関数はlog) であり、AICにより最良モデルを選択した。結果で用いる花芽率は、花芽数/短枝数の百分率である。

すべての解析はR4.0.2 (R Core Team 2020) を用いた。

結果

1. 土壌化学性

訓子府採種園の土壌化学性の結果を表-2に示す。土壌は無機態窒素と有効態リン酸が極めて少ない貧栄養の状態にあった。アンモニア態窒素と硝酸態窒素を合わせた無機態窒素量は1.3mg/100gであり、北海道で果樹栽培を行う場合の参考基準値5.0mg/100gを大きく下回った。また有効態リン酸 (1.2mg/100g) も無機態窒素と同様の傾向を示し、値は1.2mg/100gと小さく、植物が利用できるリン酸が欠乏していた。一方、土壌がリン酸を固定する程度を示すリン酸吸収係

表-2 訓子府採種園の土壌分析結果

項目	単位	訓子府	参考基準値
pH	-	5.9	5.5~6.0
アンモニア態窒素 (AN)	mg/100g	0.6	5.0*
硝酸態窒素 (NN)	mg/100g	0.7	
有効態リン酸 (P ₂ O ₅)	mg/100g	1.2	10~20
交換性カリ (K ₂ O)	mg/100g	18.4	15~30
交換性苦土 (MgO)	mg/100g	23.3	25~40
交換性石灰 (CaO)	mg/100g	246.3	170~350
リン酸吸収係数	-	1,583	

参考基準値は北海道でリンゴ栽培を行う場合の望ましい基準 (北海道農政部)

*無機態窒素は (一財) 日本土壌協会による畑での基準値

数は1,583と高く、火山灰土壌の特性を示していた。交換性カリは18±9mg/100gと果樹栽培の基準値内にあり、また、交換性苦土と交換性石灰の値も概ね基準値内もしくはそれに近い値であった。

2. ギヤマツ施肥試験

雌花の着生数は年変動が著しく2016年は着花調査した8年間のうち着花個体の割合が29.8%と最も少ない凶作年だった (図-2)。一方、2017年から2019年は83.9~89.4%の個体が着花していた。施肥処理後4年間の雌花の平均着生数は、処理前の4年間に比べて増加する傾向があった。しかし、処理区間で変化率は異なり、事業区の変化率は228%、尿素区は159%、まるやま3号区は337%だった。事業区の変化率に比べると尿素区は0.70倍 (159/228) の増加、まるやま3号区は1.48倍 (337/228) の増加幅であり、施肥の種類で雌花の量に違いが生じていた (図-3)。

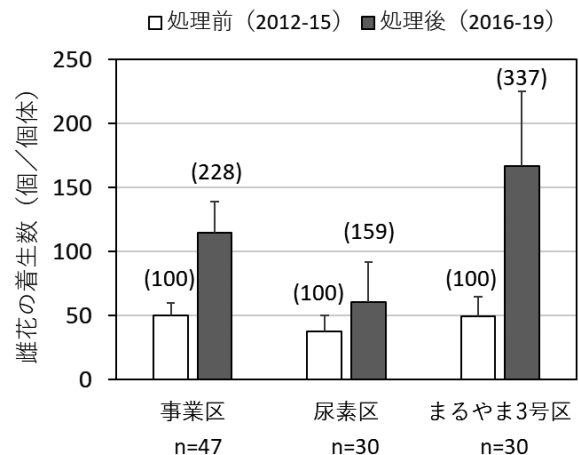


図-3 ギヤマツの施肥処理前後4年間の雌花の平均着生数 ()は処理前の着花数を100とした時の変化率 (2016~2019年の着花数/2012~2015年の着花数×100) を示す。

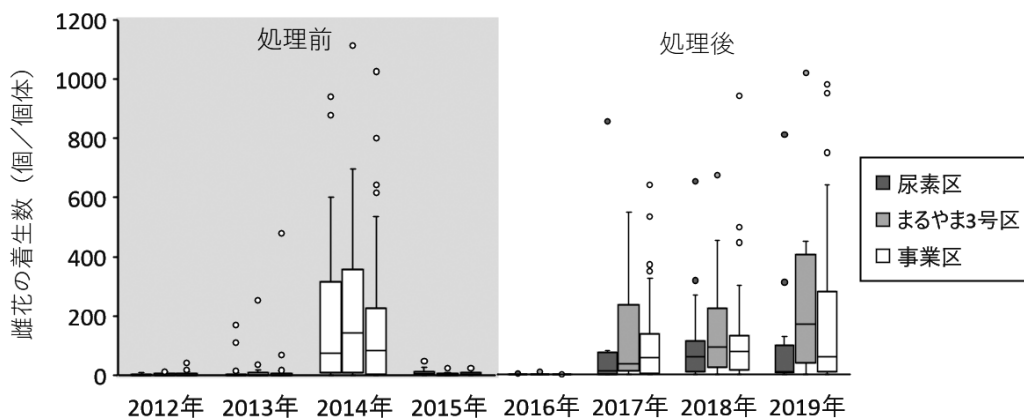


図-2 ギヤマツの施肥前後8年間の雌花の着生数の推移

処理前 (2012~2015年) の各年の3本の棒グラフは、処理後 (2016~2019年) の処理区と対応しており、左から尿素区の処理前、まるやま3号区の処理前、事業区の着花数を表している。

表-3 ギイマツ雌花の着生数を説明する一般化線形モデルの比較

応答変数	説明変数	AIC	ΔAIC
2017年	Fullモデル	12,992	0
	-リン酸	13,018	26
	-窒素	13,234	242
2018年	Fullモデル	13,213	2
	-リン酸	13,211	0
	-窒素	13,280	69
2019年	Fullモデル	30,890	0
	-リン酸	31,343	453
	-窒素	32,164	1,274
	-胸高直径	32,034	1,144

Fullモデルには、リン酸、窒素、胸高直径の3変数を含んでいる。
 モデルの比較は、FullモデルとFullモデルから変数を一つ取り除いたモデルのAICにより行った。

表-4 ギイマツ雌花の着生数を説明する最適な一般化線形モデルにおける係数の推定値

応答変数	説明変数	係数	標準誤差	p値
2017年	切片	3.8060	0.0353	***
	窒素	-0.0016	0.0001	***
	リン酸	0.0015	0.0003	***
	胸高直径	0.0748	0.0026	***
2018年	切片	3.4790	0.0297	***
	窒素	-0.0005	0.0001	***
	胸高直径	0.1059	0.0021	***
2019年	切片	4.8310	0.0222	***
	窒素	-0.0029	0.0001	***
	リン酸	0.0041	0.0002	***
	胸高直径	0.0556	0.0017	***

リン酸とカリの量は比例関係のため、効果を分離できない。そのため説明変数にはリン酸のみを用いている。

雌花の着生数を説明する変数を一般化線形モデルによって選択したところ、2017年と2019年の2年間の着生数は、胸高直径、窒素、リン酸の三つの変数を含むモデルが選ばれた(表-3、表-4)。また、2018年の着生数は、胸高直径と窒素を含むモデルが選ばれた。雌花の着生数は胸高直径が大きいほど増加していた。また、窒素の施用は雌花の着生数を減少させる傾向があり、リン酸の施用は雌花の着生数を増加させる傾向が認められた。

3. カラマツ施肥試験の再解析結果

花芽の着生数を説明する変数を一般化線形モデルによって選択したところ、窒素、リン酸、カリ、斜面位置、処理時期、

表-5 カラマツの花芽数を説明する最適な一般化線形モデルにおける係数の推定値

説明変数	係数	標準誤差	p値
切片	-3.0126	0.0528	***
N	-0.0112	0.0004	***
P	0.0004	0.0002	*
K	0.0032	0.0001	***
斜面下部	-0.2512	0.0186	***
斜面上部	0.1010	0.0188	***
春散布	0.0303	0.0137	*
まきじめ	0.1382	0.0148	***
枝高	0.0793	0.0074	***

*<0.05, ***<0.001

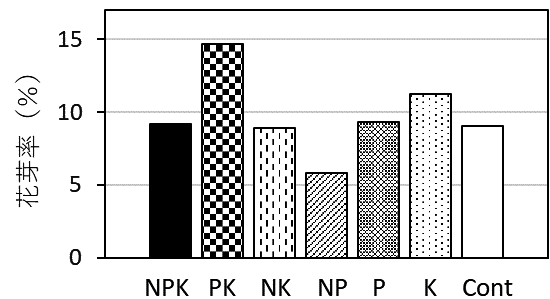


図-4 16年生のカラマツ人工林における肥料種別の花芽率
 小澤・松崎(1955)を再解析した結果
 花芽率は一般化線形モデル(斜面上部、春施肥、針金まきじめなし、枝の着生高6m)による推定値で、花芽には雄花と雌花の両方を含む。

まきじめ処理、調査枝の着生高の全変数を含むモデルが選ばれた(表-5)。このモデルにより推定した花芽率(条件:斜面上部、春施肥、まきじめなし、枝の着生高6m)は、無処理で9.0%、PK処理で最高の14.7%、NP処理で最低の5.8%であり、施肥の種類により花芽率に差があった(図-4)。窒素の施用は花芽の着生数を減少させる傾向があり、リン酸とカリは花芽の着生数を増加させる傾向があった。また、斜面下部で着生数が少なく、斜面上部で着生数が多く、着生位置の高い枝ほど着花数が多くなっていた。さらに針金のまきじめにより着花が促進されていた。施肥時期は5~6月の散布により着生数が増加していた。

考察

ギイマツ施肥試験では、施肥による着花促進の効果は小さく、2016年の凶作年に雌花の着生数が増えることはなかった。また、2017~2019年においてもギイマツの花数を大きく増加させることはなかった。また、カラマツの着花促進についても、花芽率を9.0%から5.7ポイント向上させる程度にとどまっていた。したがって、今回用いた施肥の種類や量は、着花促

進の主要な手段にならないと考えられた。事業的には、環状剥皮処理が着花促進の主処理であり、施肥は補助する役割になると考えられる。

着花に及ぼす施肥の効果は小さかったものの、肥料の種類により効き方が異なり、窒素は着花を抑制、リン酸とカリは着花を促進する傾向があった。この傾向はグイマツとカラマツの両種で共通していた。窒素の施用が雌花の着生数を抑制するという結果は、北米のウエスタンラーチ天然林での施肥試験 (Graham et al. 1995) や、ポーランドの若齢のヨーロッパカラマツ (*L. decidua* Mill.) 採種園での施肥試験 (Mejnartowicz 1970) とも一致していた。また、岩手県のカラマツ採種園では、6月に尿素を与えた場合、翌年の雌花の着生数が抑制されたことが報告されている (蓬田2019)。したがって、カラマツ類では窒素の施用が雌花の花芽形成に対してマイナスに働くと考えられた。

ただし、着花促進に及ぼす窒素の効果は、窒素の形態によって異なる可能性も残されている。例えば、ダグラスファーでは花芽形成が硝酸態窒素では促進するのに対して、アンモニア態窒素では抑制されることが知られている (Ebell 1972)。また、作物においても、硝酸態窒素とアンモニア態窒素のどちらをより有効に吸収利用するかは、植物の種類によって異なることが知られており、生育反応によって好アンモニア性植物や好硝酸性植物に区分されている (但野・田中1976, 柴田2018)。これらのことは、施肥として与える窒素形態についても検討が必要なることを示唆する。カラマツ類での施肥試験では、アンモニア態窒素 (小澤・松崎1955, Graham et al. 1995)、尿素態窒素 (蓬田2019, 本研究) では着花に対して抑制効果が示されている。その一方、アイダホ州の採種園で事業的に施用されている硝酸態窒素については報告事例がない (なお、Mejnartowicz 1970は窒素の施用形態が不明)。硝酸態窒素の効果については今後検討すべき課題である。

リン酸とカリについては、グイマツの施肥試験では効果を分離できなかったが、カラマツの結果とあわせると、リン酸とカリはともに促進効果を持つと考えられた。一般に、農業においては、リン酸は花芽形成を促進する働きがあるとされる。その詳しいメカニズムについては解明されていないが、樹木においても、リン酸を300kg/ha施用したレッドアルダー (*Alnus rubra* Bong.) で個体あたりの雌花序数が増加したこと (Harrington and Debell 1995)、リン酸とカリの混合肥料を葉面散布したブナの枝で雌花序数が増加したこと (和田ら2018) が報告されている。また、岩手県のカラマツ採種園では、6月に尿素 (240g/本) を与えた後、7月に過リン酸石灰 (305g/本, 601g/本) を与えた処理で、雌花の着生数が増加したこと、また、リン酸の施用量が多いほど雌花数が増えたことが報告されている (蓬田2019)。したがって、カラマツ類ではリン酸の施用が雌花の花芽形成に対してプラスに働くと考えられた。また、施肥の時期としては、前年の春 (5~6月)

により着花が促進しており、花芽分化時期前の散布に効果が見られた。

森林土壌におけるリン酸の供給は、降雨にはほとんど含まれていないため、土壌母材に由来する。しかし、火山灰土壌は鉄やアルミニウムを多く含むため、リン酸の固定量が多く、植物が利用できるリン酸が欠乏しやすい。施肥試験を実施した訓子府採種園の土壌は、リン酸吸収係数が1,500を越え、有効態リン酸が不足する状態にあったことから、リン酸の施用がグイマツの着花を促進していたと考えられる。また、同様の結果は、リン酸が不足する熱帯雨林において、一斉開花を示すフタバガキ科の巨大高木リュウノウジュ (*Dryobalanops aromatica* C.F.Gaertn.) でも報告されており、同種では、樹体内へのリン酸の蓄積程度が繁殖を引き越す一因になっているとされる (市栄2006)。したがって、施肥の効果については、対象とする森林土壌の栄養状態が影響しているだろう。花芽形成の制限要因となっている肥料要素を施用することが、効果的に働くのかもしれない。例えば、ヨーロッパアカマツ (*P. sylvestris* L.) の採種園では、土壌の養分状態が良好であれば、施肥による着花促進効果は小さく、施肥は不要であるとの報告もあり (Saarsalmi et al. 1994)、施肥の管理においては、土壌の種類や特性、養分状態の把握が必要である。

カリによる着花促進の効果については、エストニアのヨーロッパトウヒ採種園で報告があるものの (Kurm and Kiviste 2004)、農作物も含めカリが着花を促進するという報告はほとんどない。カリの効果については、花芽形成に直接寄与するのではなく、肥料における拮抗作用や相乗作用を通して間接的に関わっている可能性もある。窒素やリン酸、マグネシウムやカルシウムを含めた養分の構成割合について、さらなる検討が必要である。

採種園の種子生産量を増やすための施肥のうち、花芽形成に直接影響する施肥以外の方法には、採種木の成長を促進させて、栄養成長から生殖成長への移行を早める施肥がある。本研究でも、グイマツの着花量は個体サイズの影響を強く受けていて、胸高直径が8 cm以上を越えると雌花の生産量が著しく増えていた。現在、北海道ではグイマツ雑種F₁の母樹 (中標津5号) が「森林の間伐等の実施の促進に関する特別措置法」により特定母樹に指定され、民間事業者により採種園造成が進められている。こうした採種園では事業的に採種できるようになるまで、造成後15年以上かかる見通しである。採種園管理においては、生育段階に合わせて、成長を早める施肥と着花を促進する施肥の切り替えが必要と考えられる。

謝辞

本試験を実施するにあたり、北海道水産林務部林務局森林整備課およびオホーツク総合振興局東部森林室職員には、現地調査にご協力いただいた。また、岩手県林業技術センターの蓬田英俊氏には、土壌分析方法やカラマツ採種園での施肥

管理方法についてご教示いただいた。厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 浅川澄彦 (1965) カラマツの結実促進. 79pp. 日本林業技術協会, 東京.
- Bogdziewicz, M., Crone, E. E., Steele, M. A., and Zwolak, R. (2017) Effects of nitrogen deposition on reproduction in a masting tree: benefits of higher seed production are trumped by negative biotic interactions. *Journal of Ecology* 105: 310–320.
- Ebell, L. F., and McMullan, E. E. (1970) Nitrogenous substances associated with differential cone production responses of Douglas fir to ammonium and nitrate fertilization. *Canadian Journal of Botany* 48: 2169–2177.
- Ebell, L. F. (1972) Cone-induction response of Douglas Fir to form of Nitrogen fertilizer and time of treatment. *Canadian Journal of Forest Research* 2: 317–326.
- Graham, R. T., Tonn, J. R., and Jain, T. B. (1995) Cone and seed production of western larch in response to girdling and nitrogen fertilization - an update. In: Schmidt, Wyman C.; McDonald, Kathy J, comps. *Ecology and management of larch forests: A look ahead: Proceedings of an international symposium; 1992 October 5-9; Whitefish, MT, U.S.A.* Gen. Tech. Rep. GTR-INT-319. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station. p. 204–208.
- 浜谷稔夫・倉橋昭夫 (1970) 2, 3の機械的処理によるカラマツの着花結実促進. *日本林学会誌* 52: 244–253.
- Harrington, C. A., and Debell, D. S. (1995) Effects of irrigation, spacing and fertilization on flowering and growth in young *Alnus rubra*. *Tree Physiology* 15: 427–432.
- 北海道 (2017) 北海道採種園整備方針. 8 p
<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/srs/grp/hokkaidoseedplan.pdf>
- 市栄智明 (2006) 結実の豊凶はなぜ起こる? 正木隆・田中浩・柴田鏡江 (編) *森林の生態学*. 文一総合出版. pp 59–62
- Kurm, M., and Kiviste, A. (2004) The effect of fertilization on Norway spruce (*Picea abies* L.) cone and seed crops in Pauska seed orchards, Estonia. *Baltic Forestry* 10: 19–30.
- 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: 5–8.
- Matsushita, M., Nishikawa, H., Tamura, A., and Takahashi, M. (2020) Effects of Light Intensity and Girdling Treatments on the Production of Female Cones in Japanese Larch (*Larix kaempferi* (Lamb.) Carr.): Implications for the Management of Seed Orchards. *Forests* 11(10): 1110.
- Matthews, J. D. (1963) Factors affecting the production of seed by forest trees. *Forestry Abstracts* 24(1): 1–13.
- Mejnartowicz, L. (1970) The influence of mineral fertilization on the flowering of a larch seed orchard. *Arboretum Kórnickie* 15: 117–128 (in Polish with English summary and explanations).
*論文を読むことはできなかった。要旨のみ参照。
- 森口喜成・来田和人 (2015) DNAマーカーによるグイマツ×カラマツ採種園の雑種率検証と苗木の効率的生産. *森林遺伝育種* 4: 158–161.
- Moriguchi, Y., Kita, K., Uchiyama, K., Kuromaru, M., and Tsumura, Y. (2008) Enhanced hybridization rates in a *Larix gmelinii* var. *japonica* × *L. kaempferi* inter-specific seed orchard with a single maternal clone revealed by cytoplasmic DNA markers. *Tree Genetics & Genomes* 4: 637–645.
- 三宅登・沖部明 (1967) アカマツ, クロマツ採種園に関する基礎的研究 (第5報) アカマツクローンの生長および着果におよぼす施肥の影響. *島根県農科大学研究報告* 15: 101–112.
- Miyazaki, Y. et al. (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.
- 百瀬行男 (1964) カラマツの結実性促進について. *林業技術* 267(6): 12–15.
- 小澤準二郎・松崎昭三郎 (1955) カラマツ結実促進試験 (第1報) - 花芽着生におよぼす施肥の効果 -. *林試北海道支場特別報告* 4: 58–71.
- R Core Team (2020) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- 林野庁 (1964) 採種園の施業要領 (39. 林野造第1720号).
林野庁 (2019) 森林・林業統計要覧2019.
http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/toukei/kankou_youran.html
- Saarsalmi, A., Lipas, E., Mikola, J., Nikkanen, T., and Savonen, E. M. (1994) Effect of fertilization on flowering and seed crop in Scots pine seed orchards. *Silva Fennica* 28(3): 155–176.
- 柴田勝 (2018) 肥料と養分: 硝酸態チッソ (硝酸イオン) について (その2). *農業と化学* 704: 1–7.
- Smaill, S. J., Clinton, P. W., Allen, R. B., and Davis, M. R. (2011) Climate cues and resources interact to determine seed production by a masting species. *Journal of Ecology* 99: 870–877.
- Smith, R. F. (1987) The effects of fertilization on flowering of various-sized black spruce (*Picea mariana*) trees. *Forest Ecology and Management* 19: 189.
- 但野利明・田中明 (1976) アンモニア態および硝酸態窒素適応性の作物種間差 (第1報) 生育初期におけるアンモニア態および硝酸態窒素選択吸収能と生育反応—比較植物

- 栄養に関する研究一. 日本土壤肥科学雑誌47: 321-328.
- 高山芳之助 (1967) アカマツの採種園に関する研究 (II) アカマツツギキクロンで観察した肥培の影響. 日本林学会誌49: 192-197.
- 田村明・宮下久哉 (2016) 北米のカラマツ類採種園と育苗状況の視察報告. 森林遺伝育種 5: 155-158.
- 内山和子・黒丸亮・来田和人 (2007) ゲイマツクローンの着果量に対する光条件と環状剥皮の影響. 北海道林業試験場研究報告44: 119-127.
- 和田尚之・小林孝徳久・斎藤秀之 (2018) 施肥がもたらすブナの着果への効果. 北方森林研究66: 67-68.
- 山手広太 (1976) ヒノキ採種園の採種量におよぼす施肥の影響(1). 九州森林研究29: 85-86.
- 蓬田英俊 (2019) 第1章花芽形成の促進-施肥処理. 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 (編・発行) カラマツ種苗安定供給のための手引き. p17.

Summary

(1) During 2015–2018, fertilizers were applied to the interspecific seed orchards of *Larix gmelinii* var. *japonica* × *L. kaempferi* in Hokkaido. The following three fertilizer treatments were used: a nitrogen-only fertilizer, a complete fertilizer containing NPK (3:6:4), and a control fertilizer. The experiments comprised 107 ramets of *L. gmelinii* plus trees (Nakashibetsu 5). The cone production of these trees was observed until 2019. From 2017 to 2019, it was observed that the nitrogen-only fertilizer decreased the cone production, whereas the complete NPK fertilizer increased the cone production.

(2) During the analysis of flower production in a 16yearold *L. kaempferi* in response to fertilization and stem girdling with wire, it was noted that unfavorable flowering responses were attributable to the application of N fertilizer, whereas positive flowering responses were attributable to the application of P and K fertilizers as well as to the wire girdling.

Key words

Japanese larch, Kurile larch, seed orchard, strobile production, fertilization

2002年度調査記録による網走川上流域における河岸侵食・崩壊発生状況

佐藤 弘 和*

Generations of bank erosion in the upper Abashiri River, eastern Hokkaido, based on analysis of 2002 survey report

Hirokazu SATO*

要旨

浮流土砂の発生源となりうる河岸侵食の分布と流路形状、地質、周囲の土地利用の関係を明らかにするため、当時網走支庁が北海道東部オホーツク海沿岸に位置する網走川上流とその支流を対象に、河岸侵食地・河岸崩壊地の分布およびその位置での流路形状（攻撃斜面、滑走斜面、直走斜面）、地質、周囲の土地利用（森林、農地、宅地など）を記載した記録を解析した。侵食・崩壊地は、攻撃斜面で多かった。地質が泥岩主体で相対的にもろい網走川左岸側支流域では、安山岩を主体とする右岸側支流域に比べて侵食・崩壊地密度が多かった。河岸侵食・崩壊地の発生には、流路の地形、地質が関与している可能性が示唆された。

キーワード：網走川、河岸侵食、地質条件、流路形状

はじめに

2001年9月10～12日に襲来した台風15号と、これにともない活発化した秋雨前線がもたらした豪雨により、網走川流域では9月13日20時に最高水位を記録し、計画高水位2.50 mに18cmまでと迫る2.32 mに達した。また、網走湖の水位が警戒水位を超えた状態は9月12～21日の10日間（234時間）続いた（北海道水産林務部 2004など）。このとき、農林水産業被害や橋が流されるなどの土木被害による網走川流域の被害額は10億円に及んだ。また、隣接する常呂川流域においても、農地で生じた氾濫や流出土砂によるオホーツク海沿岸でのホタテ養殖に被害が生じた。

この台風により被害を被った地域住民の意見では、その被害拡大の原因の一つとして森林伐採を挙げている（北海道水産林務部 2004）。これに対し、北海道水産林務部では、常呂川・網走川流域を事例とした濁水発生の要因や森林の水土保全機能等を高めるための方策を検討するために「森林機能高度化促進事業」に取り組むことになった。同事業では、特に濁水となる浮流土砂流出の実態把握に焦点を当て、森林流域での浸透能の評価（阿部・佐藤 2008）や渓流水の透視度計測

（北海道水産林務部 2004）のほか、土砂流出に関連する河岸侵食の実態調査が行われた。

河川・溪流を流れる浮流土砂の発生源は、大きく分けると流路内とこれに隣接する斜面に区分される。このうち、流路内に生じる発生源は、河岸（川岸や溪岸の表現もあるが、ここでは引用での表現を除き「河岸」と表記する）と河床（川床・溪床の表現があるが、ここでは引用での表現を除き「河床」と表記する）に区分される。河岸は主に侵食や崩壊により流路内に浮流土砂が供給され、河床では下刻や流路内に堆積した土砂の再移動によって掃流土砂や浮流土砂が運搬される。土砂動態や土砂流出について論じた文献では、流路における土砂の生産源として、主に土石流や河床変動に着目している（高橋 2006；松島ら 2020）。河岸侵食については、網状流路の変動や（高橋 2006）、自由蛇行の形成に関連して論じられることがあるが（宇野木 2010）、土石流や河床変動に比べると河岸侵食に関する記述がないか、詳細な説明がなされていないことがある。

しかし、河岸侵食の形成は、浮流土砂等の発生源として無視できないものである。Curr (1995) では、溪岸侵食によって供給された土砂量は、供給土砂量全体の50%近くを占めて

* 北海道立総合研究機構森林研究本部 Forest Research Department, 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]

いる。知北（1998）は、北海道中央部に位置する幾春別川の融雪土砂流出が、河川流による河岸侵食に基づくと判断している。坂本ら（1993）は、溪岸斜面からの土砂供給に着目し、その部位からの負荷量が観測期間あたりの流域から生産される浮流土砂の16%程度を占めていることを報告している。Roberts and Church（1986）によると、伐採前の土砂発生源は崩壊、溪畔域の侵食、土壌クリープであり、伐採後の発生源は流路内に大量に堆積した粗粒堆積物に帰する河岸侵食（河岸の基盤斜面上に堆積した細粒な風化土壌の流出）である。これらの研究を概観すると、土砂流出の発生源として河岸侵食を扱うことは妥当であり、その分布に関わる要因の抽出は浮流土砂等の流出に対する理解を深める上で重要な意味をもつ。

災害が発生した河川において河岸侵食を論じた研究では、ある河道区間を限定することが多い（諏訪・山本 1991；藤田ら 1993；久加・山口 2018）。さらに、河岸侵食過程を把握するための現地実験（福岡ら 1993；福岡ら 1998；服部ら 1999）や、河岸侵食における植生の効果を再現した水路実験（尾花ら 2018）では、局所的なスケールの河岸侵食を扱っている。局所スケールでの議論は、河岸侵食の時間変動や侵食過程を詳細に記録することができる方法であり、河岸侵食の発生メカニズムを詳述するには効果的である。このような局所スケールを扱う研究は、土木分野に多い。一方で、河岸侵食を広範囲に調べた調査記録を利用し、その流域内で発生した河岸侵食の実態を広域的に捉えて統計解析を講じることが、実験とは異なる侵食要因を探索することに繋がり、河岸侵食の分布を説明する要因の理解を助けることに繋がる。しかし、河

岸侵食を対象とした災害報告において、溪岸侵食の形態や成因を記述する研究（岡本・阿部，2019）はあるが、著者が検索した限り統計解析を用いた事例は確認できなかった。河岸侵食に関する広域データを利用し、確率論的アプローチで河岸侵食を捉える研究は、浮流土砂流出にともなう水界生態系や水産業などに対するリスクの低減に繋がり、今後の河川管理、流域管理を行う際の基礎的情報を提供するものとする。

本研究では、平成13年（2001年）9月に来襲した台風15号に起因した濁水により、多大な被害を受けた網走川の上流域を対象に、網走支庁（現、オホーツク総合振興局産業振興部）林務課治山係が調査した河岸侵食および川沿いの崩壊地の調査記録を解析し、河岸侵食地や河岸崩壊地の発生数やサイズの特徴、ならびにその発生に関連する要因について考察した。

調査地域の概要

網走川は、北海道東部オホーツク海沿岸に位置しており、流路延長が115 km、流域面積が1,380 km²の一級河川である（図-1）。この川の源流は阿寒カルデラ外輪山である阿幌岳（標高978 m）で、北東方向に流れた後、湖水面積34.1 km²の網走湖にいったん流入してから海域へ流出する。流域内では標高1,000 mを超える場所はなく、上流の山地を除いては、平野と丘陵地が広がっている。なお、調査地域は網走川上流域に限定されている。これは流路周辺部が畑地や住宅地で占められ、河岸部に護岸工がなされていることが多い中～下流域を調査対象から除外したためである。

網走川上流域の地質は、大きく分けて本流の左岸側と右岸

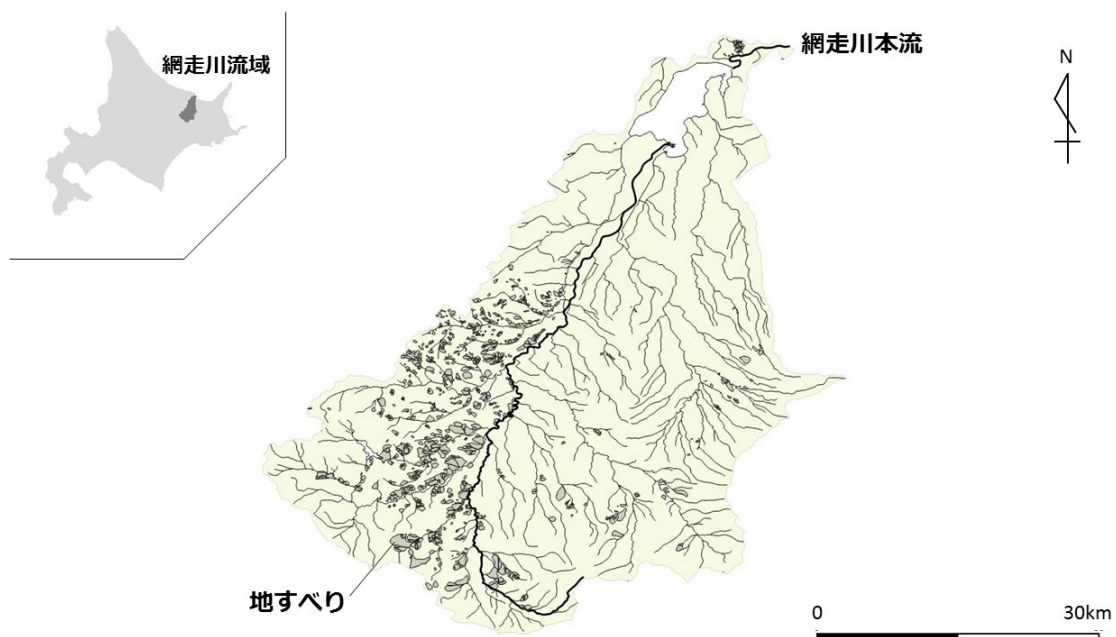


図-1 網走川流域と確認されている地すべり

河川、流域界データの作成に当たっては、国土数値情報（国土交通省）の河川（線）、湖沼（面）、流域界データを使用した。地すべり分布のデータは、国立研究開発法人防災科学技術研究所の地すべり地形分布図デジタルアーカイブを利用した。

側で大きく異なっている(産業技術総合研究所地質調査所「地質図Navi」)。左岸側では新第三系の堆積岩類が分布している。特に南北方向に延びる達娼層や津別層は、泥岩を主体とする地質であり、北海道内における地すべり多発地帯に挙げられている(山岸・伊藤 1993)。一方、右岸側上流部は安山岩・玄武岩質安山岩を主体とした地質が広がり、右岸側下流部は第四系の火山砕屑物が広く堆積する。同流域の左岸側では地すべりの発生数が多く、右岸側では地すべりの発生数は少ない(図-1)。

上流域の主な土地利用は、右岸側が国有林、左岸側が道有林となっており、エゾイタヤ、ミズナラなどを主体とする天然広葉樹林ならびにカラマツ・トドマツを主体とする針葉樹人工林が主体である。さらに、河岸部周辺の土地利用は河畔林が広がる場所が多く、本流および支流において、畑地、酪農用の草地ならびに宅地が点在している。

網走川流域は、年平均降水量が約800 mmで、月平均降水量も100 mmを超えることが少ない、北海道内でも最も寡雨な地域である。しかし、2001年(平成13年)9月10～12日に襲来した台風15号とこれにともない活発化した秋雨前線による豪雨は、降り始めから3日間で200～280 mmの雨量を記録した(北海道水産林務部 2004)。

研究方法

1. 使用した調査記録の概要

本研究では、平成13年台風15号により濁水が発生し多大な被害を受けた網走川の流域を対象に、網走支庁(現、オホーツク総合振興局産業振興部)林務課治山係が2002年7～8月に集中して行った河岸侵食と河道に接する斜面崩壊地(ここでは、両者をあわせて「河岸侵食・崩壊地」という)の発生状況に関する調査記録を利用した。同調査では、網走川上流域(津別町岩富より上流)にある本流ならびに支流沿いを車両にて走行し、目視により侵食地(一部、崩壊地を含む)を確認した場合には地図上にその位置をプロットしている。網走川本流とこれに接続する8支流およびこれらの支流に接続する7支流において、当該調査で記録された侵食地数は計190箇所であった(ただし、同一箇所でも左岸・右岸の両方に河岸侵食・崩壊地があった場合や、データが欠落している場合もあり、以後の解析に用いたデータ数はこの値と異なることがある)。なお、本研究では、この調査の実施機関や河川管理者に配慮し、侵食地の位置情報や河川名などは地図として提示しない。

当該調査記録では、目視判読により測定した侵食地のサイズ(高さ×横幅で、それぞれm単位)が記載されている。さらに、侵食地がある河岸側とその対岸の土地利用が記載されており、その区分は、「森林または山地」「畑地または草地」「宅地または道路」である。また、本流及び支流別に総面積や河岸侵食・崩壊地の密度(流路延長あたりの個数)について

は、網走支庁により集計されていた値を活用した。

2. 解析方法

本研究では電子データとして提供された調査記録から、河岸侵食・崩壊地の特徴を解析するため、(1)河岸侵食・崩壊地の発生数と流路形状の関係、(2)面積(高さ×横幅)とアスペクト比(高さ/横幅)の関係、(3)本流と支流単位でみた河岸侵食・崩壊地の面積と密度の関係、(4)河岸侵食・崩壊地の個数と流域内の地すべり数の関係に着目した。

(1) 河岸侵食・崩壊地の発生数と流路形状の関係

河岸侵食・崩壊地の位置について流路形状により次の3区分に類別した。すなわち、流路を線分とみなしたとき、①湾曲流路の外側で凹岸である攻撃斜面、②湾曲流路の内側で凸岸の滑走斜面、③流路が直線状(直岸)の直走斜面、である。①～③は穿入蛇行に用いられる用語であるが、ここでは人工改変された流路の状況にもこれらの用語を適用した。各河岸侵食・崩壊地について、それが位置する流路形状ごとに分類した。

(2) 面積(高さ×横幅)とアスペクト比(高さ/横幅)の関係

河岸侵食か河岸崩壊かを判断するために、河岸侵食・崩壊地の高さ×幅の情報から、無次元数であるアスペクト比(高さ/横幅)を算出した。アスペクト比が1.0の場合、河岸侵食・崩壊地を矩形とみなすと正方形になり、1.0を超えると縦長の形状、1.0未満では横長の形状とみなされる。

(3) 本流と支流単位でみた河岸侵食・崩壊地の面積と密度の関係

右岸側と左岸側の地質が異なることを考慮し、本流、右岸側の支流(4本)、左岸側の支流(10本)それぞれについて、河岸侵食・崩壊地の密度(=河岸侵食・崩壊地個数/流路延長、単位は個 km^{-1})と河岸侵食・崩壊地の1個あたりの面積(=高さ×横幅、単位は m^2)を本流・各支流単位で平均した値(以後「平均面積値」という)を算出した。

(4) 河岸侵食・崩壊地の個数と流域内の地すべり数の関係

各地質区分において十分なサンプル数がなく、また、名義変数では各地質区分における受食性の度合いは判断できないことから、名義変数である地質区分を説明変数としたモデルではなく、地すべり分布数オーダーを説明変数とした統計モデルにより、河岸侵食・崩壊地数に対する地質区分の影響を評価した。このオーダー値は、調査対象流域内にある地すべり(図-1参照)の個数に対し、①なし(Rank 0)、②地すべり数 10^0 オーダー(Rank 1)、③地すべり数 10^1 オーダー(Rank 2)、に区分した。地すべり数をオーダーで整理したのは、オーダー表記により、各支流の地質の違いによる地質

のもろさの差をおおまかに捉えるためである（地すべり個数そのものに着目すると、地すべりが発生した位置と河岸侵食が起きた位置との対応関係をみる必要があるが、本論では流域としての地質的な硬軟を把握するために、このような変数とした）。地すべり分布数オーダーは順序変数となる。

地すべり分布数オーダーを説明変数、侵食地個数を目的変数とした一般化線形モデルを構築した。誤差構造はポワソン分布で、リンク関数はlogである。オフセット項は調査距離である。なお、目的変数に0が含まれていないため、ゼロ切断モデルを適用した。計算はR3.5.1(R Core Team 2018)のVGAMパッケージを用いた。

結果

流路形状別に河岸侵食・崩壊地の数を整理すると、流路の攻撃斜面で発生した数が129カ所、滑走斜面で24カ所、直走斜面で41カ所と異なっていた。

個々の河岸侵食・崩壊地の面積に対するアスペクト比を図-2に示す。河岸侵食・崩壊地面積は10~30,000 m²とばらつきが見られたが、アスペクト比は14箇所（全数の7.6%）を除いて1.0未満に分布した。

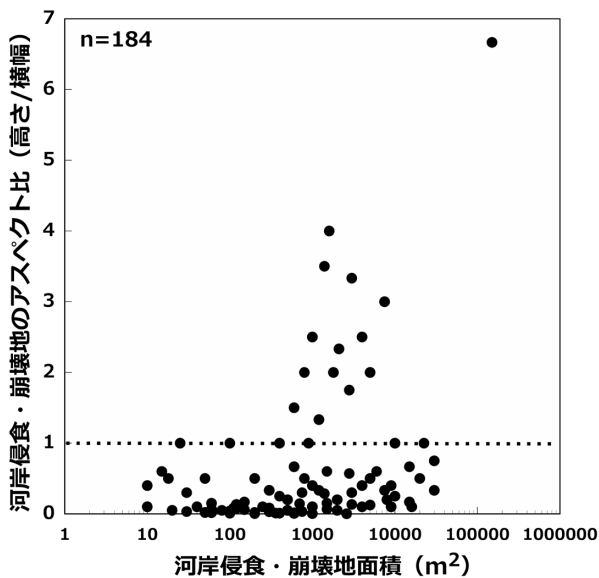


図-2 河岸侵食・崩壊地の面積とアスペクト比の関係

本流および地質が異なる右岸側に位置する支流と左岸側にある支流に区分し、河岸侵食・崩壊地の密度に対する平均面積値の関係を図-3に示す。本流を基準として両支流をみると、左岸側の支流では、河岸侵食・崩壊地の密度が2支流を除いて高い値を示していたが、平均面積値では本流に比べて高い値と低い値の支流域がそれぞれみられた。右岸側の各支流では、本流に比べて1個あたりの面積の平均値が1例を除いて本流より高い値であるものの、その密度は本流よりすべて低い値であった。

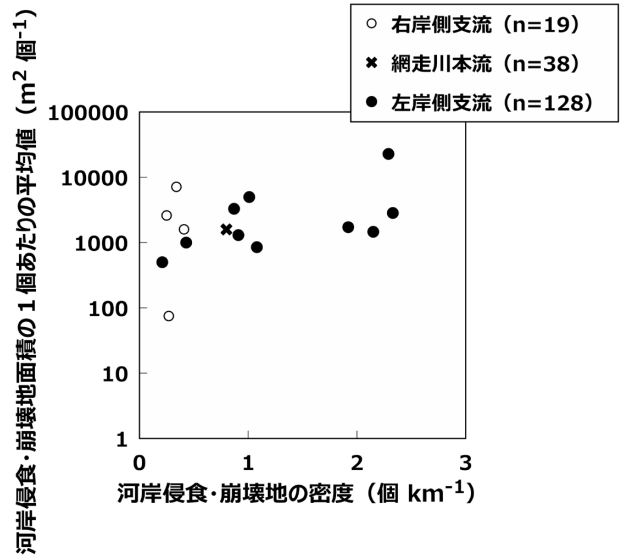


図-3 河岸侵食・崩壊地の密度と1個あたりの平均面積値の関係（nは該当する支流および本流内の河岸侵食・崩壊地の総数）

地すべり分布数オーダーと河岸侵食・崩壊地数の関係では、オーダーが上がるほど河岸侵食・崩壊地数が増える傾向があった（図-4）。河岸侵食・崩壊地数の個数を目的変数、地すべり分布数オーダーを説明変数としたゼロ切断モデルを適用したところ、有意水準 $p < 0.001$ で有意なモデル式が得られた。モデル式において、地すべり分布数オーダーに係る係数が5.78、切片が-31.6であった。

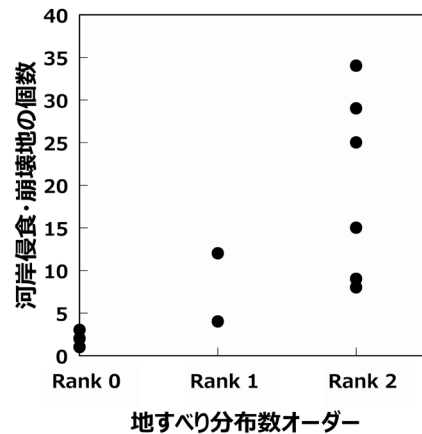


図-4 地すべり分布数オーダーと河岸侵食・崩壊地の個数の関係

考察

1. 流路地形と河岸侵食・崩壊地の関係

流路地形から攻撃斜面、滑走斜面、直走斜面に区分し、侵食地数を比較したところ、攻撃斜面での発生が最も多かった。1つの蛇行河川において、人工的な流路改変を含む直走斜面を除けば、攻撃斜面と滑走斜面は対面の関係にあることから、

両斜面の出現数は同じとみなせる。これより、攻撃斜面は河岸侵食が発生しやすい部位と判断した。

岩手県雪谷川（福田ら 2002）やカンボジアのメコン川（南雲・久保 2013）で起こった洪水災害では、攻撃斜面で河岸侵食を受けた事例が報告されている。その他の河川災害においても、攻撃斜面での河岸侵食が顕著であったとの記述がみられる（植村 2005；海津ら 2012）。溪岸侵食発生要因を解析した石橋・日隈（1995）では、溪岸（対象が山地溪流のため、溪岸と称している）が侵食されるかどうかに対して、屈曲の外側（凹岸）で最も発生しやすく、次いで直岸、そして屈曲の内側である凸岸では最も発生しにくいという傾向があった。網走川上流域において河岸侵食・崩壊が攻撃斜面に多いことは、これらの結果に調和する。

諏訪・山本（1991）では、河岸侵食が発生する箇所として①深掘れが生じる箇所、②土質が他の箇所と比較して弱い箇所、③流速が他に比較して速い箇所を挙げており、茨城県涸沼川での河岸侵食を検証したところ、河床最深線が河岸に寄っている箇所で河岸侵食が発生していたことを報告している。湾曲流路の凹部である攻撃斜面では、水の衝突によって岸が洗掘され、さらに深くなり、湾曲部の凸部である滑走斜面では流れの弱い陰の部分で堆積が生じる（宇野木 2010）。これらの結果から、攻撃斜面では深掘れが生じやすいことが読み取れる。なお、滑走斜面においては、越流水による河岸侵食が報告されている（福田ら 2002）。

2. アスペクト比からみた河川侵食・崩壊の特徴

崩壊や地すべりの研究では、その形態に対してアスペクト比が算出されることがある。石丸ら（2008）は北海道日高地方で発生した崩壊の形態の特徴を整理しており、岩盤上に載る土層が植生とともに斜面を滑落する表層崩壊や、節理の発達した風化岩盤で発生し、節理面に強く規制された平滑的な面に囲まれた形態である浅層崩壊では、縦長の高アスペクト比となると報告している。本研究では、河岸侵食地と河岸崩壊地を区別せずに扱っているが、アスペクト比が1.0を超えた場合、表層崩壊や浅層崩壊である可能性が高い。

以上を踏まえ、本論では、同比が1.0未満で横長の矩形を表す場合には氾濫原堆積物等で構成される河岸が侵食された地形に相当し、同比が1.0以上の場合、縦長の長方形を表すことから流路に隣接する斜面での表層崩壊の形状に相当すると判断する。実際に、アスペクト比が1.0以上の地点の土地利用は森林・山地に区別されることがほとんどであったため、流路隣接斜面における表層崩壊と判断した。

網走川上流域の河岸侵食・崩壊地のアスペクト比は1.0未満が多かった。これは、河岸侵食・崩壊地が横長な形状を示しており、河岸の崩壊というより河岸の侵食に相当する地形が多いことを表している。河岸の後退では、侵食過程(erosion processes)と崩壊メカニズム(failure mechanisms)がある

(Sear *et al.* 2010)。侵食過程では、後退している河岸表層から土塊が剥がされ、運び去られる。崩壊メカニズムでは、河岸の一部または全面が崩れる。アスペクト比が1.0未満の場合、流水により河岸の土塊が運び去られて形成されたことが推察される。アスペクト比が1.0を超えた土地利用は、森林・山地が多かった。森林・山地においてアスペクト比が1.0を超えた河岸侵食・崩壊地では、河道に接触している河川の側壁斜面(の脚部)が渓流水で侵食され、不安定になった上部土塊が崩落することや、側壁斜面そのものが豪雨等で表層崩壊したと推定される。

3. 支流の位置や地すべり分布からみた地質と河岸侵食・崩壊地数の関係

右岸側に位置する支流域に比べて左岸側にある支流域では、本流での値を基準とした場合に2例を除いて河岸侵食・崩壊地密度が大きかった(図-3)。さらに、地すべり分布数オーダーが増加する支流域ほど、河岸侵食・崩壊地数が増加する傾向があった。左岸側の支流域は、地すべり分布教オーダーがすべてRank 1とRank 2であった。

伊藤(1995)は地質区分ごとに地すべりの特徴を記述している。それによると、網走川流域の右岸側に広がる更新世に堆積した軽石流堆積物や溶結凝灰岩、中新世に堆積した火砕岩層に伴われる安山岩溶岩および第四紀に堆積した安山岩溶岩地域に点在する地すべり地形は分布数が少なく、小規模なものが多い。また、安山岩主体の地域では表層岩屑(岩盤上の礫混じり粘土~粘土)が小規模に滑動したタイプが多い。これに対し、網走川の左岸側南部の地すべりは、第三紀漸新世~中新世に堆積した頁岩シルト岩互層や泥岩からなる地層の分布域に集中している。これは地質構成岩が、スレーキングが著しく風化すると容易に細角礫状~泥状になること、軟質なシルト岩と互層する硬質な頁岩に立方状の割れ目が発達し岩屑状になり易いこと、粘土化した凝灰岩の薄層や厚層を挟在すること、そして褶曲構造や断層の発達に伴って細かな割れ目が発達していることに起因している(伊藤 1995)。すなわち、網走川上流域の左岸側は、地すべりが多発する軟質な基岩が広がっている。これらのことから、左岸側の支流域における地すべり地が多く崩れやすい地質が、河岸侵食・崩壊地数が多いことにも関連していることが示唆される。

本研究では各支流域の地質の違いによる地質のもろさの差違をおおまかに捉えるために地すべり分布オーダーを指標として解析したが、地すべりと河岸侵食の関係について論じた研究がある。檜垣・阿部(2011)は、ネパールのカリガンダキ川での現地踏査から、河岸侵食による地すべりの発生が侵食拡大の主原因であると報告している。高堂ら(2021)は、地すべりが攻撃斜面に発生しやすいが、発生メカニズムがわかっていないことから、攻撃斜面に位置する地すべりを複数調査し、降雨・融雪に起因する地すべりのほか、河岸侵食に起

困する地すべりの事例を報告している。

ただし、粘性土で構成される河岸を有する河道区間は、河岸侵食が一般的に不活発であるとの記述もあり（服部ら1999）、局所的なスケールでみた場合の河岸侵食と地質の関係は、広域データを扱った統計解析による結果と異なることも示唆される。

4. 網走川上流域における河岸侵食予防対策

網走川地域では、災害後に流域保全に関する協議会が発足するなど、流域管理に対して高い関心もたれている。2001年以降も、平成13年の台風15号と同規模以上の豪雨が発生しており、今後、この地域で河岸侵食・崩壊に対する対策を立てる上で、その要因を検討することは重要である。

本研究で得られた結果から、網走川上流域において河岸侵食・崩壊の予防対策を考える際に考慮すべき点として、まず流路の形状と地質が挙げられる。地質が相対的に脆弱な左岸側の支流流域を中心として、攻撃斜面を対象に護岸工を予防的に施すことは有効であると考えられる。流路形状と地質は、地図や文献等から情報を得ることができるため、網走川以外の流域における河岸侵食・崩壊対策において、留意すべき項目といえる。さらに、道路のり面・斜面管理においても、河川の増水による道路下方斜面で特に攻撃斜面に相当する場合には、水位の想定と護岸等の対策が適切であるかどうか検討する必要があるとされている（佐々木・浅井 2013）。流路地形的にみて攻撃斜面は河川災害のみならず、河川と隣接する道路管理において留意しなければならない要因である。

また、流路側方への侵食は下流への土砂供給にとって重要な役目を果たすとされており、護岸によって横断方向の侵食力が垂直方向に集中して河床が低下することで樹林化が進行するととの解説もある（応用生態工学会編 2019）。河岸侵食や河岸崩壊は、土砂供給を通じて河畔林の成立や、瀬・淵などの地形構造に伴う水生生物の生息場、産卵場などにも影響するため、土木分野のみならず河川生態や流域管理の分野において河岸侵食・崩壊の実態を把握することは重要であると考えられる。

謝辞

本研究で用いた河岸侵食データは、網走支庁（現、オホーツク総合振興局産業振興部）林務課治山係の熊谷操氏（現、防災地質工業株式会社）および同係の方々により提供いただいた。北海道立総合研究機構産業技術環境研究本部エネルギー・環境・地質研究所の石丸聡研究主幹からは有益なご意見・ご指摘をいただいた。ここに記し、感謝の意を表します。

引用文献

阿部友幸・佐藤弘和（2008）北海道東部における林相、斜面地形、下層植生が森林土壌の浸透能に及ぼす影響。日林

誌 90(2)：84-90.

知北和久（1998）：積雪流域における土砂流出。（積雪寒冷地の水文・水環境。水文・水資源学会編集出版委員会編、322pp、信山社サイテック、東京）：123-137.

Curr R.H.F.(1995) Magnitude and frequency of fluvial sediment transport determined from recent lake sediment cores. In Sediment and Water Quality in River Catchment. Foster I., Gurnell A., and Webb B. (eds), 473pp, John Wiley & Sons., England, 107-120.

藤田裕一郎・八尋 裕・村本嘉雄（1993）淀川水系宇治川の低水路における河岸侵食過程。水工学論文集 37：649-656.

福田隆之・三輪 弐・永吉武志（2002）雪谷川（岩手県軽米町）における平成11年洪水災害について。水工学論文集 46：1199-1204.

福岡捷二・木暮陽一・佐藤健二・大東道郎（1993）自然堆積河岸の侵食過程。水工学論文集 37：643-648.

福岡捷二・渡邊明英・小俣 篤・片山敏男・島本重寿・柏木幸則（1998）河岸侵食速度に及ぼす土質構造の影響。水工学論文集 42：1021-1026.

服部 敦・藤田光一・平館 治・赤川正一・湯川茂夫（1999）粘性土からなる自然河岸の侵食に関する現地観測とその予測計算について。水工学論文集 43：713-718.

檜垣大助・阿部真郎（2011）地形・地質情報を活用した地すべり災害箇所調査。地すべり 48(2)：19-25.

北海道水産林務部（2004）水土保持機能に配慮した森づくりに向けて 常呂川・網走川流域の事例より。：24pp.

石橋秀弘・日隈百合子（1995）溪岸侵食発生要因の解析。岩手大学農学部演習林報告 26：99-114.

石丸 聡・川上源太郎・田近 淳・対馬俊之・阿部友幸・滝澤昭博（2008）2003年台風10号による北海道日高地方里平地区の崩壊の形態適特徴と発生場－航空レーザー測量データを用いた解析－。日本地すべり学会誌 45(2)：45-54.

伊藤陽司（1995）北海道東部、網走・北見・津別地域における地すべり地形の特徴と最近の地すべり災害。地すべり 32(2)：32-40.

久加朋子・山口里実（2018）側岸に繁茂する植生が流路変動に与える影響。土木学会論文集B1（水工学） 74(5)：1267-1272.

松島亘志・成瀬 元・横川美和（2020）土砂動態学－山から深海底までの流砂・漂砂・生態系－。共立出版：274pp.

南雲直子・久保純子（2013）カンボジア、メコン川下流平野における2011年洪水と河川微地形。E-journal GEO 8(1)：141-152.

尾花まき子・中村俊之・戸田祐嗣・椿 涼太（2018）植生流出が河岸侵食に与える影響に関する実験的研究。土木学

会論文集B1 (水工学) 74(5) : 1267-1272.

岡本 隆・阿部俊夫 (2019) 平成28年台風10号豪雨によって北上山地東部で発生した土砂災害. 水利科学 367:109-122.

応用生態工学会編 (2019) 河道内氾濫原の保全と再生. 技報堂出版 : 198pp.

R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

Roberts R.G. and Church M. (1986) The sediment budget in severely disturbed watersheds, Queen Charlotte Range, British Columbia. Can. J. For. Res. 16: 1092-1106.

坂本知己・中井裕一郎・北原 曜・寺嶋智己 (1993) 山地小流域における浮遊土砂の測定 (Ⅱ) —出水時における変化—. 日林北支論 41 : 145-147.

産業技術総合研究所地質調査総合センターウェブサイト「地質図Navi」. <https://gbank.gsj.jp/geonavi/> (参照2021-10-1).

佐々木靖人・浅井健一 (2013) 点検・災害データの蓄積と活用による道路のり面・斜面管理の高度化への取組み. 土木技術資料55(8) : 30-33.

Sear D.A., Newson M.D. and Thorne C.R. (2010) Guidebook of applied fluvial geomorphology. Thomas Telford Limited: 257pp.

諏訪義雄・山本晃一 (1991) 河岸侵食に関する現地調査. 水工学論文集 35 : 263-268.

高堂陶子・栗山大助・萩田 茂・林 一成・阿部真郎・檜垣大助 (2021) 攻撃斜面における地すべりの活動要因—秋田県小淵地すべりおよび崩ヶ沢地すべりを主な事例として. 地すべり. 58(3) : 33-40.

高橋 保 (2006) 地質・砂防・土木技術者／研究者のための土砂流出現象と土砂害対策. 近未来社 : 420pp.

植村善博 (2005) 京都府野田川・大手川における2004年台風23号災害の比較. 日本地理学会発表要旨集2005 : 64p.

海津正倫・Mardiatno Djati・Sartohad Junun (2012) インドネシア共和国ジョグジャカルタ市近郊における河川災害. 日本地理学会発表要旨集2012 : 100190.

宇野木早苗 (2010) 流系の科学 山・川・海を貫く水の振る舞い. 築地書館 : 364pp.

山岸宏光・伊藤陽司 (1993) 北海道における地すべり地形の分布からみた地質分帯. 地すべり 30(2) : 1-9.

distribution, channel side slope shape, geology, and surrounding land use. We found that erosion and collapse occurred more frequently on attack slopes. The geology of the tributary zone on the left bank of the Abashiri River was relatively brittle due to mudstone; erosion and collapse were more frequent in this region than on the right bank, which is mainly composed of andesite. These results suggest that topography and geology may influence erosion and collapse along the Abashiri River.

Key words

Abashiri River, geological condition, streambank erosion, stream channel formation

Summary

In this study, we examined the distribution of stream bank erosion, which can influence suspended sediment concentrations, and its relationship with stream channel shape, geology, and land use surrounding the upper Abashiri River and its tributaries in eastern Hokkaido, Japan. We analyzed records of bank erosion and collapse

カラマツ幼齢人工林における野ネズミ低密度変動時の被害の現状と エゾシカによる幹食害について

雲野 明^{*,**}・山岡克年^{***,****}・明石信廣^{****}・中川昌彦^{*}・
和田尚之^{*}・牛尾 守^{***,****}

Damage to young larch trees by sika deer and voles at low population density

Akira UNNO^{*,**}, Katsutoshi YAMAOKA^{***,****}, Nobuhiro AKASHI^{****}, Masahiko NAKAGAWA^{*},
Hisayuki WADA^{*}, and Mamoru USHIO^{***,****}

要旨

近年、野ねずみ^{*}発生予察調査におけるエゾヤチネズミ捕獲数は年変動が小さくなり、比較的少ない数で推移しているが、野ネズミによる被害面積は減少していない。このような捕獲数と被害の乖離について検討するため、継続して被害が報告されている厚真町の3～8年生カラマツ人工林において獣害の発生状況を調査し、正確な識別につながる被害形態の違い、被害報告との関係等について検討した。解析対象とした18～19林分において林分の野ネズミ被害率は4.3%、シカ幹食害率は22.9%とシカ幹食害が多かった。捕獲数と被害の乖離の原因の1つとして、シカ幹食害を野ネズミ被害として誤判定している可能性が次の3つの理由から考えられた。その3つとは、(1)本調査を行った者が調査初期にシカ幹食害を野ネズミ被害として間違えたこと、(2)聞き取りから、被害報告を提出する者が誤判定している可能性があると考えられたこと、(3)野ネズミ被害が報告されている3林分において、野ネズミ被害が確認できずにシカ幹食害のみ確認できたことである。一方で、シカ幹食害率は野ネズミ被害報告指数と関連がなく、捕獲数と被害の乖離の原因には、誤判定以外の要因もあると考えられた。野ネズミ被害率は、被害報告との明らかな関係はなかったが、シカ幹食害を野ネズミ被害として報告していた可能性のある3林分を除外して解析したところ、野ネズミ被害率と被害報告指数は明らかな正の関係が認められた。野ネズミ被害率は林齢とともに増加し、被害が累積していることが推測された。被害形態の違いを検討したところ野ネズミ被害は地際に多く、シカ幹食害は地際に少ないことである程度識別が可能であることが示唆された。シカ幹食害率は、狩猟者1人1日当たりの目撃数(SPUE)との関連が得られず、調査地域内のSPUEの範囲が3.49～4.89と小さいことが原因と考えられた。

キーワード：野ネズミ被害、シカ幹食害、野ねずみ発生予察調査、誤判定、SPUE

*「野ねずみ」と「野ネズミ」の表記について：行政文書等には正式名称であるひらがな表記とし、それ以外では一般的な表記であるカタカナを使用した。

* 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

** 現所属：北海道立総合研究機構 Hokkaido Research Organization, Kita19-jo Nishi11-chome, Kita-Ku, Sapporo 060-0819

*** 北海道水産林務部林務局森林整備課 Forestry bureau Forest Maintenance Division Department of Fisheries and Forestry, Hokkaido Government Kita 3-jo Nishi 6-chome, chuo-ku, Sapporo 060-8588

**** 北海道立総合研究機構林業試験場道北支場 Dohoku Station, Forestry Research Institute, Hokkaido Research Organization, Nakagawa, Hokkaido 098-2805

***** 現所属：北海道水産林務部森林環境局森林活用課美唄普及指導員室 Bibai Promotion Instructor Room, Forest Environment bureau Forest Utilization Division Department of Fisheries and Forestry, Hokkaido Government, Bibai, Hokkaido 079-0198

***** 現所属：北海道渡島総合振興局産業振興部林務課 Forest affairs division, Oshima subprefectural office, Hokkaido Government, Hakodate, Hokkaido 041-8558

[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]

はじめに

北海道において林木を加害する哺乳類は、主にエゾヤチネズミ (*Craseomys rufocanus bedfordiae*, 以下、野ネズミ), エゾユキウサギ (*Lepus timidus ainu*, 以下、野ウサギ), エゾシカ (*Cervus nippon yesoensis*, 以下、シカ) の3種である。森林被害報告では野ねずみ, 野うさぎ, エゾシカとして集計され, 2019年度の被害実面積は, それぞれ順に611 ha, 83 ha, 1,394 haと野ねずみとエゾシカによる被害が大半を占める(北海道水産林務部林務局森林整備課 2021)。

エゾヤチネズミの個体数は大きく年変動することが知られ, ヘクタール当たりの個体数が数頭から数十頭と短期間にダイナミックに変動する(例えば, 藤巻1969, Nakata 1984)。個体数は被害程度に影響を与え, 一般に個体数の多い年は被害が多くなり, また, 個体数が増加しつつある年も大きな被害が発生することがある(本間1987, 中田2015)。個体数を知ることが防除の第一歩という考えのもと, 1956年から現在とほぼ同じ方法で全道において野ねずみ発生予察調査(以下, 予察

調査)が行われている。これまで野ネズミの個体数は大きな年変動を繰り返してきたが, 近年の予察調査による野ネズミの捕獲数をみると, 年変動が小さくなり比較的少ない捕獲数で推移している(雲野2018)。しかしながら, 被害面積は減少していない(雲野2018)。このような捕獲数と被害の乖離について, 継続して野ネズミによる被害が報告されている市町村の中から厚真町を選び, 野ネズミ被害の実態調査を行った。

今回の調査では野ネズミ被害とともに野ウサギ被害やシカ被害も同時に記録し, この地域のカラマツ人工林に影響を及ぼしている獣害を特定するとともに, 正確な識別につながる被害形態の違い, 被害報告との関係, 被害率に影響を与える要因について検討した。

方法

1. 調査地

2018年5月28~29日に厚真町内一般民有林の3~8年生のカラマツ造林地21林分で調査を行った(図-1)。過去に野ネズミによる被害報告のある林分を含むように調査地を選定し

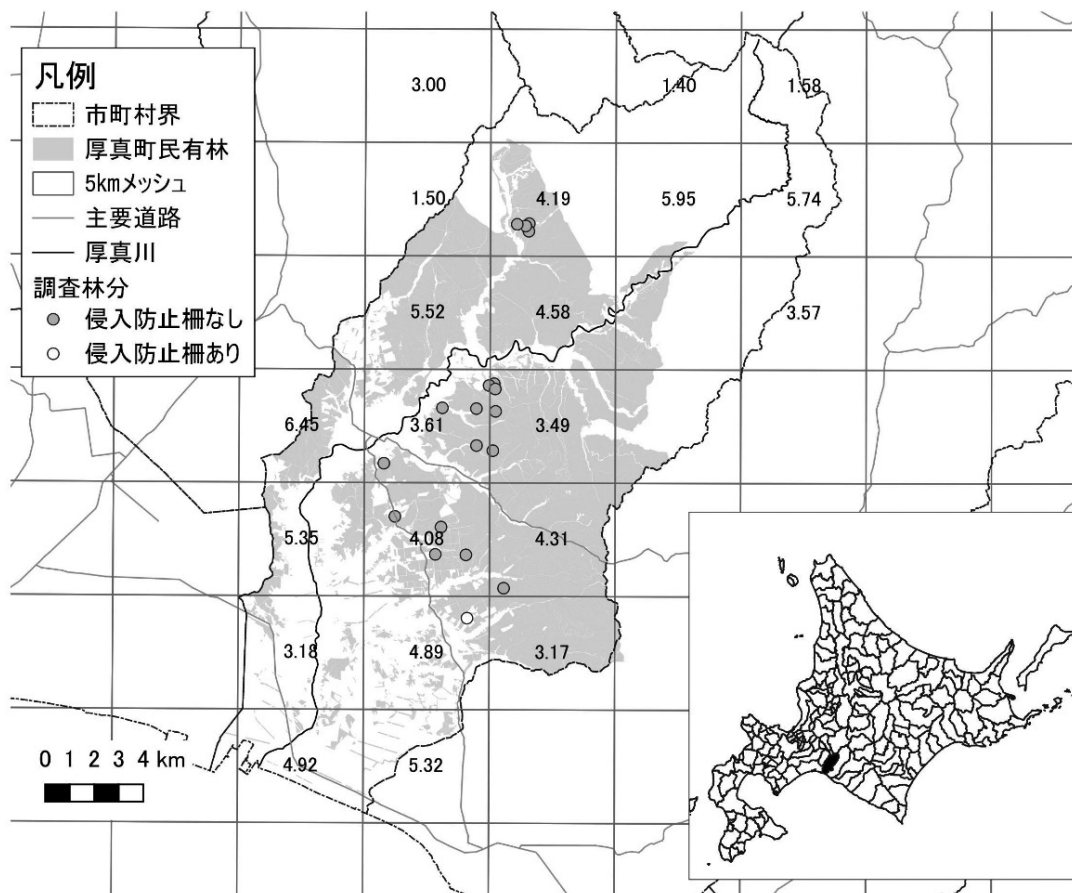


図-1 厚真町における調査林分位置図

5 Kmメッシュ中心の数値は, 2016年度と2017年度11月~1月のSPUEの平均値。市町村界は国土数値情報ダウンロードサイト (<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/jpgis/datalist/KsjTmplt-N03.html#prefecture01>), 厚真町民有林は北海道のオープンデータ, 5 Kmメッシュは環境省生物多様性センターのGISデータを使用した (<http://gis.biodic.go.jp/webgis/sc-023.html>)。

表－1 調査林分と被害の発生状況

No.	林齢	小班面積 (ha)	地形	被害調査 指数*	SPUE**	調査本数	生残本数	被害本数		
								野ネズミ***	シカ幹食害***	角こすり
1	4	4.77	斜面	20	3.49	100	87	12	13	0
2	5	5.94	斜面	20	3.55	100	91	2	15	15
3	4	3.51	斜面	0	3.49	100	88	0	11	1
4	4	1.91	斜面	0	3.55	100	96	0	3	0
5	8	5.71	平坦地	0	3.61	50	48	2	16	12
6	3	3.17	平坦地	0	3.61	100	92	2	19	4
7	8	2.05	平坦地	0	4.31	51	46	7	14	7
8****	7	3.00	平坦地	20	4.89	50	46	3	2	1
9	4	2.75	平坦地	20	4.08	100	92	0	12	3
10	6	0.60	平坦地	0	4.08	50	48	0	26	8
11	3	1.67	斜面	0	4.08	100	86	0	2	0
12	5	0.26	平坦地	0	4.19	50	42	2	18	2
13	4	3.84	斜面	20	4.19	100	91	4	19	3
14	3	0.44	平坦地	0	4.19	52	33	0	15	0
15	3	5.28	平坦地	0	4.19	50	33	0	3	0
16	5	10.87	斜面	20	3.55	100	93	0	17	0
17	8	2.13	斜面	20	3.61	50	46	0	34	0
18	8	2.49	平坦地	25	3.55	50	45	11	0	0
19	7	0.67	平坦地	0	4.08	50	48	2	0	0

*：被害報告指数は2015～2017年度に報告された被害率の合計

**：SPUEは2016年度及び2017年度の11月から1月のデータをもとに算出

***：野ネズミ被害及びシカ幹食害は幹及び地際の被害本数の合計

****：シカ用の侵入防止柵あり

た。調査開始から最初の2林分においては、野ネズミ被害とシカ幹食害を混同した可能性があり、データを利用しなかった。そのため、データを利用した調査地は19林分である(表-1)。厚真町内における予察調査では、調査前年である2017年に道有林内を含め7箇所調査が行われ、野ネズミ捕獲数は合計で6月3頭(0.4頭/0.5 ha)、8月5頭(0.7頭/0.5 ha)、10月0頭であった。

エゾシカ管理計画の中で、厚真町は西部地域に該当する(北海道2017)。西部地域のエゾシカ個体数は2010年度まで増加し、その後、捕獲等により減少してきているがその減少は鈍化し、個体数が高止まりしている状況である。林業被害はおおよそ個体数に連動して増加していたが、2013年度を境に減少傾向となっている。

すべての林分は苗間2 m、列間2.5 mで植栽され、5年生まで下刈りが全刈りで行われていた。多くの林分で地拵時に火入れを行っているため、エゾヤチネズミの生息場所となる林分内の粗朶枝条は少なかった。また、調査を行ったすべての林分で前年秋に殺そ剤散布が行われていた。また、1林分(No.8)でシカ用の侵入防止柵が設置されていた。調査時には柵の一部で破損がありシカは侵入可能であったが、この林分のデータはシカによる幹被害に関する分析時には除外した。そのため、解析に利用した調査林分は、野ネズミ被害は19林分、シカによる幹被害は18林分となった(表-1)。

2. 被害調査

各林分において、林縁部を避けて無作為に列を選び、下刈りの行われていた林分は100本、下刈りの行われていない林分は原則50本について被害調査を行ったが、2林分(No.7, 14)ではそれぞれ51本、52本を調査した(表-1)。苗間から推定し欠損となっている植栽木については欠損として記録し、これらを含めて前述の本数とした。被害調査は、根元径または胸高直径、生死、下刈り時の誤伐の有無、野ネズミ被害、野ウサギ被害、シカによる幹被害を記録した。シカによる枝先の食害は記録したが本解析からは除外し、野ウサギ被害は非常に少なかったため、統計解析を行わなかった。

加害動物は歯の痕などから識別し、被害の種類を野ネズミ被害、シカによる幹被害(シカ幹食害と、角こすり)に区分した。樹皮が除去され材が露出しているものを被害とし、古いものを含めて記録した。シカによる幹被害は、まず、樹皮の剥がれた様子を観察し、樹皮がかじりとられたと推測されるものを幹食害、樹皮が浮いて角をこすったような跡に見えるものを角こすりとして区分した。野ネズミ被害は、被害部位により地際と幹に分類した。シカ幹食害は被害部位により、地際、枝基部、幹と分類したが、データ数の少ない枝基部は幹に含めて解析した。被害木の剥皮率として、被害部の幹の周囲長に対する水平方向の割合を10%括約で記録した。

3. 林分データ

各林分の林齢や野ネズミ被害報告のデータは、北海道水産林務部林務局森林整備課から提供を受けた。野ネズミ被害報告は、調査直前の3年間に該当する2015～2017年度のデータを使用した。これらのデータはサンプリング調査と異なり、森林所有者や管理委託を受けている林業事業者などから被害発見時に自己申告で報告されるものである。目視または林分の一部を調査して直前の冬期に発生した新しい被害を本数被害率として記録している。調査林分における単年度の被害率は0～20%であり、毎年、一部の林分で被害が発生していた。今回の調査では古い被害も含めて被害を記録したので、3年分の被害率を足し合わせたものを被害報告指数とした。被害報告指数は0～25であった。前述の被害調査時に、林分の地形を斜面と平坦地の2区分で記録した。2016年度と2017年度のシカの個体数の指数として、約5 km四方のメッシュごとに集計された厚真町内における狩猟者の1人1日当たりの目撃数 (Sight Per Unit Effort, 以下 SPUE) を、北海道環境生活部環境局自然環境課から提供を受けた。食害時期が不明だったので、SPUEはAkashi and Terazawa (2005) を参考に、11月～1月のデータを用いた平均値をSPUEの値として使用した。分析対象の19林分は6メッシュに位置し (図-1)、SPUEの値は3.49～4.89頭/人・日であった。

4. 統計解析

林分の被害率は生きている木の本数に対する各獣害被害本数の割合、残存率は欠損木を含む全調査本数に対する生きている木の本数の割合とした。残存率と被害の種類ごとの被害率との相関関係をKendallの順位相関で分析した。

野ネズミ被害率、シカ幹食害率、角こすり率の比較は、各被害率を応答変数とし、被害の種類を説明変数、誤差を二項分布とする一般化線形モデル (GLM) で分析を行った。分析の結果、過分散が認められたので、quasi-GLM modelを用いて変数の標準誤差を修正した (Zuur et al. 2009)。事後分析として各被害率の差をTukey's testで比較した。

シカ幹食害と角こすりなど複数の被害がある一部の被害木で被害の種類ごとの剥皮率の記録がなかったため、複数の被害が確認された被害木と被害のなかった木を除いて、野ネズミ被害、シカ幹食害、角こすりによる剥皮率の比較を行った。被害の種類ごとの剥皮率を応答変数として、被害の種類を説明変数、誤差を二項分布とするGLMで分析を行った。分析の結果、過分散が認められたので、quasi-GLM modelを用いて変数の標準誤差を修正した。事後分析として各剥皮率の差をTukey's testで比較した。

被害報告と被害率の関係を調べるため、被害率を応答変数とし、林齢と被害報告指数を説明変数、林分をランダム効果、誤差を二項分布とする一般化線形混合モデル (GLMM) で分析を行った。被害率に影響を与える要因を調べるため、被害

率を応答変数とし、林齢、地形、SPUEを説明変数、林分をランダム効果、誤差を二項分布とするGLMMで分析を行った。モデルは野ネズミ被害率とシカ幹被害率についてそれぞれ作成し、AICが最小となるモデルからそのモデルとAICの差 (ΔAIC) が2以下のモデルまでを候補モデルとして列挙した。

統計解析にはR ver.4.1.0 (R Core Team 2021) 及びlme4 (Bates et al 2015)、multcomp (Hothorn et al 2008)、MuMIn (Bartoń 2020) パッケージを利用した。

結果

1. 被害の種類ごとの被害率

過去3年間連続で野ネズミ被害が報告されている厚真町での調査であったが、林分の野ネズミ被害率は $4.3 \pm 6.7\%$ (平均 \pm SD) と低かった。シカ幹食害率は $22.9 \pm 20.4\%$ と野ネズミ被害率よりも高く、最も被害率の高い林分では73.8%のカラムツが幹を食害されていた (図-2)。一方で、角こすり被害率は少なく、 $5.0 \pm 7.7\%$ であった。野ウサギ被害は全体で2本のみであった。シカ幹食害率は野ネズミ被害率や角こすり被害率より明らかに高かった (GLM, Tukey's test, $p < 0.05$)。林分の残存率は、 $88.5 \pm 8.8\%$ (最小: 63.5%, 最大: 96.0%) で、野ネズミ被害率、シカ幹食害率、角こすり率、これらを合わせた全被害率ともに相関はなかった (Kendallの順位相関, 順に, $p = 0.59, 0.89, 0.25, 0.52$)。

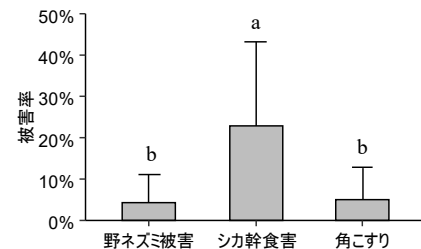


図-2 林分被害率

縦棒の値は平均値、エラーバーは標準偏差、異なるアルファベットはTukey's testで有意差があることを示す。

2. 被害の識別につながる被害位置や剥皮率の違い

枯死木を除いた全調査木1,251本のうち野ネズミによる被害木は47本あり、実際に被害のあった木は78.7%、幹に被害のあった木は21.3%で、野ネズミ被害による加害部位の多くが地際であった。一方、シカ幹食害による被害木は234本あり、幹に食害のあったのは97.4%、実際に食害のあった木は2.6%と、ほぼ幹に食害があった。

全周に対する剥皮率を比較すると、シカ幹食害は野ネズミ被害や角こすりより剥皮率は小さかった (GLM, Tukey's test $p < 0.05$)。しかし、剥皮率の平均はシカ幹食害 $33.4 \pm 19.2\%$ 、野ネズミ被害 $43.7 \pm 29.6\%$ 、角こすり $45.7 \pm 24.2\%$ とその差は小さかった。

3. 被害報告との関係

野ネズミ被害率は、林齢が上がるほど被害率が高く、被害報告指数はベストモデルに含まれなかったが、2番目の候補モデルでは被害報告指数は正の値を示していた(表-2)。本調査で野ネズミ被害が0%であった3林分において、過去3年の間に野ネズミによる被害が20%発生したと報告されていた。この3林分を除いてGLMMで同様に分析を行うと、野ネズミ被害率と被害報告指数は明らかな正の関係が認められた(ベストモデル: $p=0.01$, 図-3) シカ幹食害率は、林齢、野ネズミ被害報告指数ともに明らかな関係は認められなかった(表-2)。

表-2 被害率と被害報告との関係における一般化線形混合モデルの係数とΔAIC

切片	林齢	野ネズミ被害報告指数	ΔAIC
野ネズミ被害率			
-6.85	0.52		0.00
-7.03	0.48	0.04	0.67
シカ幹被害率			
-1.66			0.00
-2.29	0.13		1.55
-1.64		-0.003	1.99

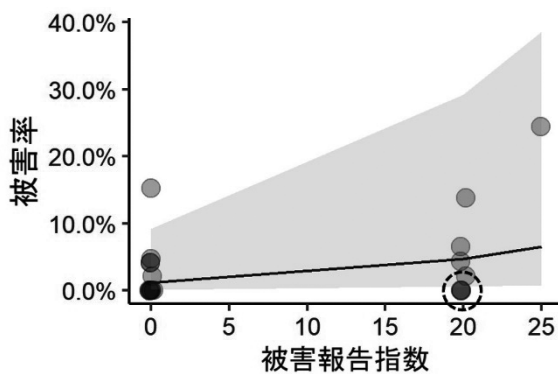


図-3 野ネズミ被害率と被害報告指数との関係

点線の丸で囲まれた点は、過去3年の間に野ネズミによる被害が20%発生したと報告されていたが、本調査で野ネズミ被害が0%であった3林分。モデルによる予測線と95%信頼区間は、これらの林分を除いた場合で、林齢の平均値である4.5年の場合。各調査地点のデータは重なりが多いため、左右に位置を少しずらしている。

4. 被害に与える要因

野ネズミ被害率、シカ幹食害率ともに、SPUE、地形(斜面・平坦地)はベストモデルに含まれなかった(表-3)。野ネズミ被害率は林齢のみを説明変数とするモデル、シカ幹食害率は切片モデルがベストモデルとなった(表-3)。

表-3 被害率と環境変数との関係における一般化線形混合モデルの係数とΔAIC

切片	林齢	SPUE	地形 平坦地	ΔAIC
野ネズミ被害率				
-6.85	0.52			0.00
-6.86	0.47		0.45	1.75
-7.56	0.51	0.19		1.97
シカ幹被害率				
-1.66				0.00
-2.29	0.13			1.55
-3.95		0.60		1.72
-1.77			0.22	1.90

考察

1. 発生予察調査による捕獲数が少ないにもかかわらず被害が減らない要因

調査には、研究者、獣害の実務経験のある北海道職員、森林組合職員とある程度獣害の知識がある者で行ったが、本研究の主目的が野ネズミ被害の実態調査という当初の思い込みがあったこともあり、調査を開始してしばらくは野ネズミ被害とシカ幹食害を混同した。そのため、2林分のデータは分析から除外する必要性が生じた。さらに被害報告と本調査で得られたデータを比較すると、本調査で野ネズミ被害が0%であった3林分で、過去3年間に野ネズミによる被害が20%発生したと報告されていた。この3林分の本調査によるシカ幹食害は13.0, 18.3, 73.9%であり、誤判定だった可能性がある。ただし、シカによるカラマツ幼樹の幹食害は決して珍しいものではなく、これまでも北海道の道東では報告されている(折橋ほか2001, Akashi and Terazawa 2005)。

一方、GLMMの結果をみるとシカ幹食害率は野ネズミ被害報告指数と関連がなく、データからはシカ幹食害が野ネズミ被害と誤判定されている影響は確認できなかった。本調査でシカによる幹被害がみられず、野ネズミ被害のみが記録された林分で野ネズミ被害が報告されている林分や、シカによる幹被害がみられても野ネズミ被害の報告がない林分もあり、被害が正しく判別、報告されている林分もあることが示唆される(表-1)。そのため、シカ幹食害率と野ネズミ被害報告指数に関連がみられなかったことが考えられる。

このように予察調査による野ネズミ捕獲数が少ないにもかかわらず野ネズミ被害の報告が減らない原因の一つとして、シカ幹食害の誤判定が含まれている可能性が考えられる。ただし、誤判定だけで捕獲数と被害の乖離は説明できず、ほかの要因もあるだろう。

2. 野ネズミ被害とシカ幹食害の識別

本研究の結果から水平方向の剥皮率を比較すると、シカ幹

食害は野ネズミ被害や角こすりより小さいが平均値に大きな差はなく、剥離率では簡単に見分けることが困難であった。しかし、野ネズミ被害は地際に多く、シカ幹食害は地際に少ないということである程度識別が可能であることが示唆された。足寄町の9年生カラマツ人工林でシカ幹食害を調査した小島ほか(1998)も、地上高30 cmから食痕を認め、地上高90~100 cmに食痕数のピークがあったことを報告している。シカ幹食害は下枝のびっしり生えた部分にもあり、枝と枝の間に頭を入れて幹をかじると推測される(図-4)。新しい食痕であれば野ネズミ被害は被害部に2 mm以下の小さな歯の跡が多数残される。一方、シカ食害では幅5 mm前後の歯の跡が残されることが多く、しっかり観察することで野ネズミ被害とシカ幹食害は簡単確実に見分けることができる(北海道立総合研究機構森林研究本部林業試験場森林資源部保護グループ2013)。



図-4 シカ幹食害

3. 獣害が植栽木に与える影響

林分の残存率は現在の獣害被害率と関係はなかった。枯木として残っている木は少なく、過去の獣害が残存率に影響を与えているかは不明であった。カラマツの腐朽進行速度は遅いが(山根ほか1990)、若齢時における材の露出の影響は調査事例がなく、材質劣化が懸念される(Gill 1992, 折橋ほか2001)。獣害対策は野ネズミとシカで異なるので、加害獣の正確な判断は重要である。

4. 野ネズミ被害率に影響を与える要因

剥皮被害を受けた部分は時間の経過とともに修復され、やがて傷がふさがる場合もある(夏目ほか1997)。そのため古い被害を含めた野ネズミ被害率は修復率と被害発生率に影響を受ける。本調査地では、古い被害を含めた野ネズミ被害率は林齢とともに増加したので、修復率よりも被害発生率が高いと推測できる。中高齢カラマツ林分では、繰り返しの被害により、枯死木を含めた被害本数は増加することが示されている(中田2000, 雲野2006)。野ネズミの個体数変動は数年おき

に増減を繰り返し、被害は個体数が多い年と増加傾向にある年に多く発生するため(本間1987, 中田2015)、数年おきに被害発生を繰り返すことが多い。被害が累積されることで林齢とともに被害率が増加している可能性がある。

北海道では、森林所有者等からの自己申告により得られたデータをもとに発生した野ネズミ被害を毎年まとめている(例えば、北海道水産林務部林務局森林整備課2021)。統計的なサンプリング手法に基づいた集計ではないが、継続して同じ方法で記録されていることから、被害程度を知る上で相応の信頼性が確保されていると考えられている(中田・雲野2020)。本研究では古い野ネズミ被害を含めて集計し、被害報告も3年分をまとめた数値を被害報告指数としたため、直接的に実際の野ネズミ被害と被害報告を比較したのではないが、野ネズミ被害率と被害報告指数に明らかな正の関係はみられなかった。ただし、フルモデルの変数はプラスを示していたことやシカ幹食害を誤判定した可能性のある3林分を除くと正の関係が認められたことから、被害報告と実際の被害の関係が否定されたとは言えないだろう。

5. シカ幹食害率に影響を与える要因

シカ幹食害は林齢やSPUEとの関連は認められなかった。幹食害は野ネズミ被害と同様に繰り返し被害を受ける可能性が示唆されている(松下ほか1991)。また、樹高100 cmぐらいから被害を受け(高柳ほか1989)、林齢3年生以上で発生する(明石1999)。Akashi and Terazawa (2005)は、北海道釧路支庁管内(当時)のカラマツの樹皮食害についてSPUEとの関係を検討し、SPUEによって被害発生確率を予測できることを報告している。一方、今回SPUEとの関連がみられなかった理由として、本調査地におけるSPUEは3.49~4.89と地域差が小さく、被害率に明らかな違いが生じなかったことが考えられる。明石(1999)は、小さな空間スケールでは、同一の樹種・林齢でも、被害のない林分や被害率の高い林分が混在している地域がしばしばみられ、このような被害状況の違いが生じる原因として、小さな空間スケールでの地形や周辺の土地利用などの立地条件の違いを指摘している。本調査においても斜面と平坦地といった単純な分類ではない複合的な林分の立地条件の違いが被害率に大きく影響を与えている可能性がある。また、厚真町が含まれる西部地域での近年の個体数減少による被害率の低下の影響も否定できない。

6. 今後に向けて

加害種により獣害対策は異なるため、加害種の正確な判定が重要である。調査を行った厚真町における野ネズミ被害率は一般的に低かった。森林組合によると、野ネズミ被害対策として、伐採後の火入れ、全刈、殺そ剤散布と多くの対策を行っており、予察調査以外にも野ネズミの個体数調査を行って対策に役立てているとの話であり、参考にするべき取り組み

みである。野ネズミ被害対策はこのまま継続しつつ、シカ被害対策の検討が必要だろう。例えば、7～8年生の林分でシカ幹食害が少なかった林分が3箇所あり、そのうち1林分は一部破損があったがシカ用の侵入防止柵が設置されていた。このようにシカ幹食害が激しい地域では、苗木食害防止チェーンや侵入防止柵の検討も必要であろう。

謝辞

調査を実施するにあたり、苫小牧広域森林組合には調査地の紹介、案内、調査補助を行っていただいた。北海道胆振総合振興局森林室普及課及び北海道胆振総合振興局産業振興部林務課には、調査補助を行っていただいた。北海道水産林務部林務局森林整備課には、被害報告データを提供していただいた。北海道環境生活部環境局自然環境課にはSPUEを提供していただいた。北海道立総合研究機構エネルギー・環境・地質研究所の稲富佳洋氏には、SPUEに関する情報提供をしていただいた。皆様に深く感謝の意を表す。

引用文献

- 明石信廣 (1999) 釧路西部地区の人工林におけるエゾシカによる幹被害の実態. 日林北支論 47: 76-78
- Akashi, N., and Terazawa, K. (2005) Bark stripping damage to conifer plantations in relation to the abundance of sika deer in Hokkaido, Japan. *Forest Ecology and Management* 208: 77-83
- Bartoń, K. (2020) MuMIn: Multi-model inference. R package version 1.43.17. <https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn>
- Bates, D., Mächler M., Bolker, B., and Walker, S. (2015) Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software* 67: 1-48
- 藤巻裕蔵 (1969) 天然林におけるネズミ類の生息密度と個体群構成の変動. 北林試研報 7 : 62-77
- Gill, R. M. A. (1992) A review of damage by mammals in north temperate forests: 3. Impact on trees and forests. *Forestry* 65: 363-388
- 北海道 (2017) 北海道エゾシカ管理計画 (第5期). 25pp
- 北海道立総合研究機構森林研究本部林業試験場森林資源部保護グループ (2013) 哺乳類による森林被害の見分け方. 8 pp
- 北海道水産林務部林務局森林整備課 (2021) 令和元年度 (2019年度) 北海道森林保護事業実績書. 114pp
- 本間俊明 (1987) 網走支庁管内における野ねずみ被害の実態について. 昭和61年度林業技術研究発表大会論文集: 150-151. 北海道林業改良普及協会, 札幌
- Hothorn, T., Bretz, F., and Westfall, P. (2008) Simultaneous inference in general parametric models. *Biometrical Journal* 50: 346-363
- 小島康夫・折橋健・寺澤實・大賀祥治 (1998) 足寄地区にお

- ける針葉樹人工林のエゾシカによる食害. 日林北支論 46: 135-37
- 松下幸司・高柳敦・山内隆之・大窪勝・谷口直文・柴田正善・山田容三 (1991) 北海道演習林標茶区人工林におけるエゾシカ害の状況と防護法 (IV). 京都大学農学部演習林集報 22: 28-44
- Nakata, K. (1984) Factors affecting litter size in the red-backed vole, *Clethrionomys rufocanus bedfordiae*, with special emphasis on population phase. *Population Ecology* 26: 221-234
- 中田圭亮 (2000) 中高齢カラマツ林分における野ネズミ被害の量的評価と立木の空間分布 -被害林分の取扱いに向けて-. 北海道カラマツ・トドマツ人工林対策協議会季報 99: 1-36
- 中田圭亮 (2015) 野ネズミの予察調査と防除の手引. 77pp. 北海道森林整備公社, 札幌
- 中田圭亮・雲野明 (2020) 北海道における野ネズミ被害の発生状況: 50年間の年次変化. 森林防疫 69: 48-54
- 夏目俊二・杉山弘・米康充 (1997) エゾヤチネズミの食害をうけたヤチダモおよびトドマツ若齢植栽木の癒傷と成長. 北海道大学農学部演習林研究報告 54: 14-21
- 折橋健・安井洋介・小島康夫・寺澤実・岡野哲郎 (2001) 足寄地区における針葉樹人工林のエゾシカによる食害 (II): 若齢カラマツ人工林における被害の経過. 日林北支論 49: 99-101
- R Core Team (2021) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- 高柳敦, 山田容三, 柴田正善, 山内隆之, 大窪勝, 木田政彦, 松下幸司 (1989) 北海道演習林標茶区人工林におけるエゾシカ害の状況と防護法 (II). 京都大学農学部演習林集報19: 17-27
- 雲野明 (2006) カラマツ中高齢林分の野ネズミ被害実態と枯死木の発生経過. 光珠内季報144: 1-3
- 雲野明 (2018) 野ネズミ発生予察調査の現状と捕獲されるネズミについて. 山づくり 493: 6-7
- 山根玄一・薄井五郎・北川善一 (1990) 北海道におけるカラマツ人工林の立木腐朽. 北林試研報 28: 64-74
- Zuur, A. F., Ieno, E. I., Walker N. J., Saveliev, A. A., and Smith, G. M. (2009) Mixed effects models and extensions in ecology with R. 580pp. Springer, New York

Summary

In general, damage to planted trees increases with the population size of voles (*Cruseomys rufocanus bedfordiae*). Despite the recent decline in the vole population size with low annual variability, the damage caused by voles to young trees has not decreased. We

investigated the damage caused by mammals to young larch trees (age 3–8 years) at larch plantations in Atsuma Town, Central Hokkaido and its relation to the vole damages reported by forest owners or managers. The types of damages produced by the damaging animal species were also examined. The proportion of damage to the deer-browsed trees (21.9%) was larger than the vole-damaged trees (4.3%). On analysis of the data, excluding the three stands that may have reported deer-browsed trees as vole-damaged, a positive relationship was found between the proportion of vole-damaged trees and the reported vole damages by the forest staff. Damages by both deer and voles were not associated with the reported vole damages. We postulated that few deer-browsed trees may have been misjudged as vole-damaged trees for the following three reasons. First, the deer-browsed trees were mistaken to be vole-damaged at the beginning of the investigation; second, this possibility of misjudgment was also suggested by the forest company staff; and finally, our investigation found no vole-damaged trees and only deer-browsed trees were found in some stands where vole damage had been reported. No obvious differences between the ratios of the damaged part to the stem circumference were observed among the damaging animal species. The place of damage on the stems could be an appropriate identifier of the damaging species; most vole damages occurred on the stems close to the ground, whereas deer damage occurred on higher areas of the stems. The proportion of vole damage increased with stand age. The proportion of deer-browsed trees was not related with the number of deer sighted per hunter-day (SPUE); however, the range of SPUE in the plantations was very small (3.49–4.89).

Key words

vole damage, deer damage, vole census data, misjudgment, SPUE

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

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) 41.8		41 (17) 8.4		244 (103) 49.8	
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) 22.0		46 (39) 9.4		336 (142) 68.6	
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) 16.9		19 (19) 3.9		388 (194) 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ものと思われた。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	檜山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					
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	1	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。

「生存 かつ 系統考慮必要」箇所
「生存 かつ 系統考慮不要」箇所

「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

「生存 かつ 系統考慮不要」箇所
「枯損だが補植対象外」箇所

「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
列数(X)	6	行数(Y)	詳細配置	しない
行数(Y)	4	配置範囲	確認範囲	5
ブロック数	2	確認範囲		5
植栽系統数	5			
間伐回数	0			
			植栽しない座標	7
			すでに植栽されている座標	3

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
	X座標	Y座標	列数(X)	行数(Y)		
1	2	1	3	3	8	8
2	5	1	2	3	6	6
					24	14

No.	系統	本数	ブロック1	ブロック2
1	301	4	2	2
2	302	3	2	1
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	

桃色セルに必要事項を入力

「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

「生存 かつ 系統考慮不要」箇所
※手入力が必要で
『植栽系統』は「植栽プラン2」シートの
『No.』であることに注意

「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

「植栽プラン2」シートの「No.」が出力

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

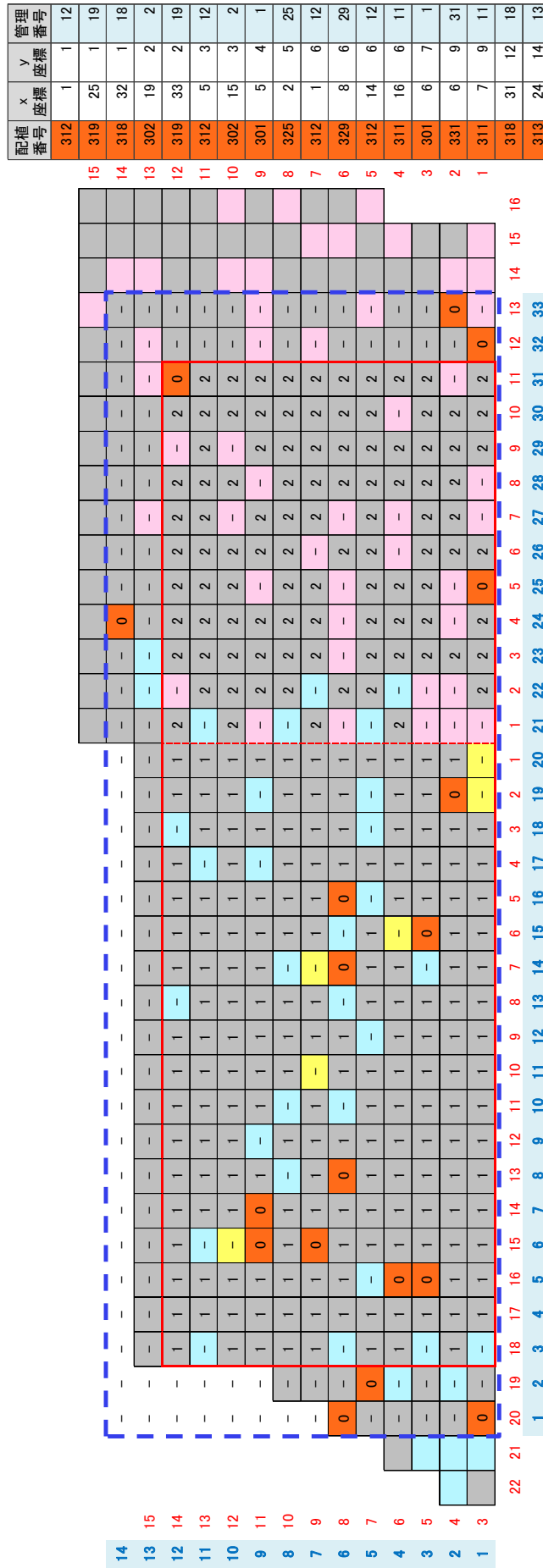
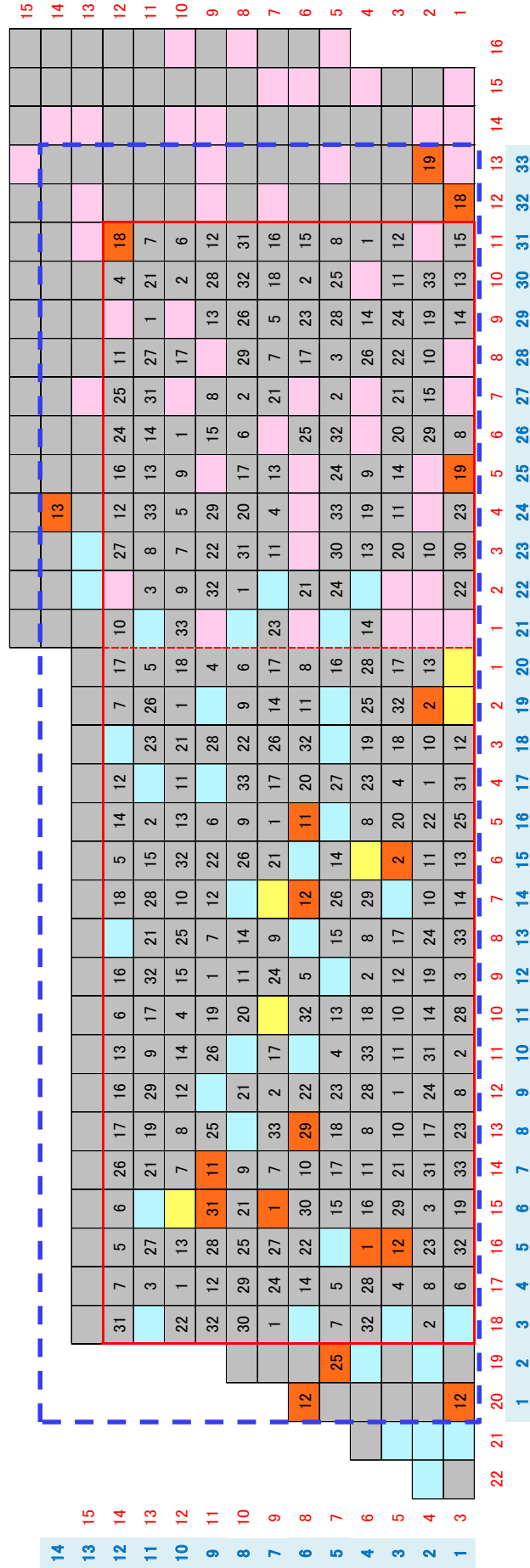


図-4 採種園設計支援プログラムへの入力用データセット

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。



図一5 採種園設計支援プログラムの出力結果

図一4と同じ図面です。25型の仕様において適正配置が実現している。管理番号ごとの系統名については表一2を参照。



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

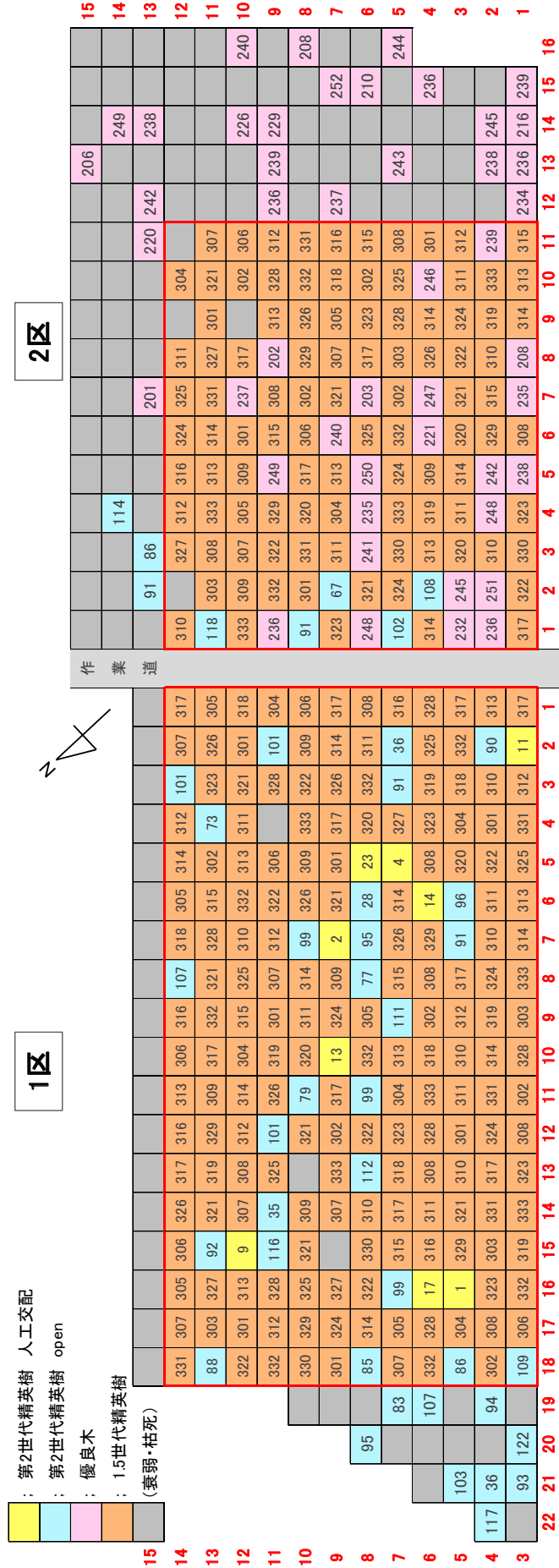


図-7 補植後の大沢トドマツ採種圃配植図 (簡易版)

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

北海道林業試験場研究報告 No.59

発行年月 令和4年3月
編集 林業試験場刊行物編集委員会
発行 地方独立行政法人 北海道立総合研究機構
森林研究本部 林業試験場
〒079-0198
北海道美唄市光珠内町東山
TEL (0126) 63-4164
FAX (0126) 63-4166
ホームページ <https://www.hro.or.jp/list/forest/research/fri>
印刷 株式会社 総北海
旭川市工業団地2条1丁目1-23
TEL (0166) 36-5556
