

東北育種基本区東部育種区におけるスギ耐寒性クローンの検定

那須仁弥⁽¹⁾・宮浦富保⁽²⁾

Jin'ya NASU⁽¹⁾ and Tomiyasu MIYAUURA⁽²⁾

Examination of the cold-resistance of sugi(*Cryptomeria japonica*)
in the eastern part of the Tohoku breeding region.

要旨：青森、岩手、宮城の各県下の国有林内に設定された14箇所の耐寒性検定林の5年間の被害調査データを解析し、スギ耐寒性クローン19個体を追加して確定した。これらの検定林には、236個体のスギ耐寒性候補木などのさし木クローンが植栽されている。耐寒性の評価に用いる各検定林のデータを検討し、クローンの寄与率が高い年次の平均被害指数と5年次樹高データを評価に用いた。耐寒性の評価に用いた平均被害指数の最小2乗推定値は、1～3年次の平均被害指数との相関が高かったことから、1～3年次の平均被害指数を用いて早期検定を行うことも可能であると推定された。過去に行われた特殊検定のうち、耐凍性検定、脱水抵抗性検定および冬期乾燥抵抗性検定については、早期検定への利用の可能性が認められた。

1 はじめに

東北地方における寒害によるスギの被害は、太平洋岸の青森県、岩手県、宮城県の少雪寒冷地帯に多くみられる。昭和36年から41年までの各県の年平均被害面積は100～300haと多く、特に昭和41年冬から42年春にかけて北上山系および三陸沿岸で発生した寒害では、スギ造林地において幼齢木から壮齢木にまで被害が及んだ⁶⁾。

昭和45年から国立林木育種場、営林局、県が気象害抵抗性育種事業²⁾を実施している。東北林木育種場（現林木育種センター東北育種場）では、青森営林局管内の国有林を対象に、寒害抵抗性候補木の選抜と検定林の造成を行い、耐寒性クローンを確定するための検定作業を進めてきた。昭和60年に14クローンの耐寒性クローンを確定した²⁷⁾。しかし、交配母材料や採種園の構成クローンとしての利用を想定すると、確定したクローン数は少ないと判断される。

本報告では、これまでに設定された14箇所の寒害検定林について、5年次までの調査データが揃ったことから、これらのデータを解析し、新たな耐寒性クローンの確定を行った。また、過去に行われたいくつかの特殊検定との比較検討を行い、寒害に対する調査結果をとりまとめた。

(1), (2) 林木育種センター東北育種場

岩手県岩手郡滝沢村滝沢字大崎 95

Tohoku Regional Breed. Office, Forest Tree Breed. Center, Takisawa-mura Oosaki 95 Iwate 020-0173

2 材料と方法

2. 1 耐寒性検定林

本報告では、青森県、岩手県、宮城県の各県下の国有林内に設定された14箇所の耐寒性検定林を解析の対象とした。表1に耐寒性検定林の設定箇所と設定年月日、クローン数、土壌型、面積、ブロック数を示す。図1に検定林の位置を、また表2に耐寒性検定林の地況を示す。

これらの耐寒性検定林（以下検定林とする）には、耐寒性候補木、精英樹、在来種のさし木クローンと精英樹の実生家系が植栽されている。今回は、さし木クローンのみを対象とした。

寒害には凍害と寒風害があるが、検定林における調査では凍害と寒風害の区別をしなかったため、本報告では凍害と寒風害を区別せずに寒害としてあつかった。

検定林に植栽されているさし木クローンは、東部育種区内から選抜されたスギ耐寒性候補木214クローン、スギ精英樹17クローン、スギ在来種5クローンであり、合計236クローンである。

これらのさし木クローンの採穂、養苗はすべて東北林木育種場（現林木育種センター東北育種場）で行われた。検定林に植栽された苗木は、1号から10号検定林では、2回床替え4年生苗木であり、11号から14号検定林では、2回床替え3年生苗木であった。

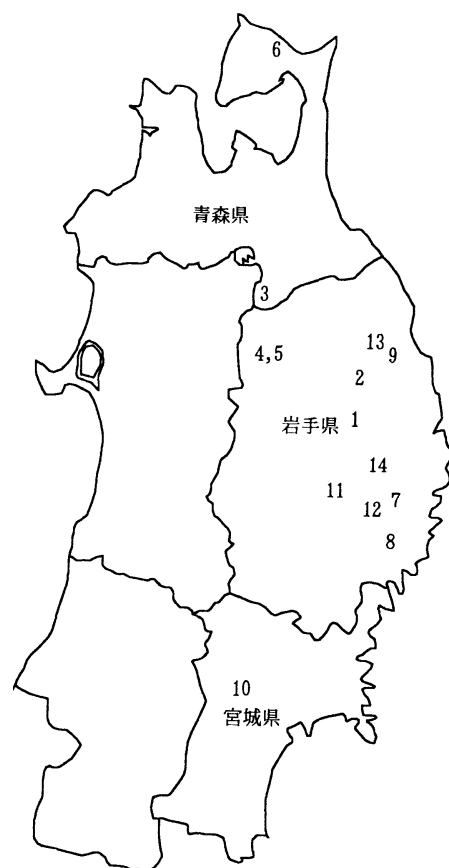
検定林の設定場所の選定にあたっては、気象害抵抗性育種事業実施要領²²⁾に従った。

1検定林あたりのクローン数は、23～159クローンで、1プロットに5本の苗木が列状に植栽されている。ブロックの数は4～10である。

プロットは傾斜方向に平行に配置され、ブロックも原則として傾斜方向に平行に配置されている。さし木クローン（以下クローンとする）の植栽は、1.2m×1.2m（haあたり約7000本）の間隔で行われている。

植栽した翌年の春から5年間、毎年6月に検定林の被害調査を行った。調査年次（以後年次とする）は植栽して翌年の春に調査した年を1年次とし、以後2年次、3年次、4年次、5年次とした。被害調査では、被害指数を単木ごとに記録した。ここで被害の程度と被害指数の区分を表3に示す。5年次の調査では被害調査に加えて、樹高の測定を単木ごとに10cm単位で行った。

各プロットごとに各調査年次の平均被害指数、年間生存率および健全率を算出した。また、5年次の調査データに基づき、5年次生存率および平均樹高（以下5年次樹高とする）を求め、これらを解析データとした。



図中の番号は、検定林No.
図1. 耐寒性検定林位置図

表1. 耐寒性検定林の設定年月日、位置、土壌型、面積、ブロック数

検定林 No.	検定林名	設定 年月日	位 置	クローン数*	土壌型	面積 (ha)	ブロック数
1	東耐寒青森営01号	昭和62年4月27日	岩手県下閉伊郡川井村田代字北田 代山307林班へ小班	120	Bld(w)	0.80	6
2	東耐寒青森営02号	昭和58年5月25日	岩手県岩手郡玉山村藪川字外山第 一国有林207林班い1小班	152	Blb	1.31	10
3	東耐寒青森営03号	昭和59年5月18日	青森県三戸郡田子町夏沢字北来満 山国有林47林班り小班	122	Bd	0.63	5
4*	東耐寒青森営04号	昭和59年6月1日	岩手県岩手郡松尾村松尾字前森山 国有林449林班と1小班	159	rBd	1.13	5
5*	東耐寒青森営04号	昭和59年6月1日	岩手県岩手郡松尾村松尾字前森山 国有林449林班と1小班	150	rBd	1.13	5
6	東耐寒青森営05号	昭和60年5月23日	青森県下北郡大畑町大畑字葉色山 国有林175林班と小班	104	Bd	0.68	6
7	東耐寒青森営06号	昭和60年5月16日	岩手県遠野市青笹町糠前字笛吹国 有林24林班ろ小班	116	Bld	0.74	6
8	東耐寒青森営07号	昭和60年5月16日	岩手県気仙郡住田町世田米時字子 飼沢国有林69林班ほ小班	126	Bld	0.95	6
9	東耐寒青森営08号	昭和61年5月9日	岩手県下閉伊郡岩泉町安家字折壁 国有林17林班ほ小班	91	Bb	0.81	6
10	東耐寒青森営09号	昭和61年5月23日	宮城県黒川郡大和町吉田字三峰山 国有林62林班た・ろ小班	130	Bd	0.79	6
11	東耐寒青森営10号	昭和62年6月30日	岩手県下閉伊郡宮守村達首部国有 林833林班い2小班	72	BLd	1.60	4
12	東耐寒青森営11号	昭和62年5月14日	岩手県遠野市工淵町栃内字東恩徳 国有林49林班路ろ10小班	10	Bld(d)	0.70	6
13	東耐寒青森営12号	平成1年4月28日	岩手県下閉伊郡岩泉町安家字松ヶ 沢国有林52林班ほ2小班	23	Bb	0.61	5
14	東耐寒青森営13号	平成1年4月20日	岩手県遠野市附馬牛町上附馬牛字 上附馬牛国有林428林班い小班	26	Bld	0.76	5

* : この検定林は、大きく2つの区画に分かれており、区画によってクローン構成が異なっている。

2つの区画を、それぞれ独立な検定林として扱った。

** : クローン数は、検定林に植栽されているさし木の系統数である

表2. 耐寒性検定林の地況

検定林 No.	標高 (m)										方位									
	ブロック										ブロック									
1	760	765	770	770	770	770					SE	SE	SE	SE	SE	SE				
2	730	730	730	730	730	730	750	750	750	750	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW
3	550	550	550	550	555						SSE	SSE	SSE	SSE	SSE					
4	580	580	585	585	585						S	S	S	S	S					
5	580	580	580	580	580						S	S	S	S	S					
6	500	500	500	500	500	500					SE	SE	SE	SE	SE	SE				
7	810	840	870	810	840	870					SE	SE	SE	SE	SE	SE				
8	610	620	610	620	610	610					NE	NE	NE	NE	NE	NE				
9	470	450	450	450	470	470					NE	NNE	NNE	N	N	NNW				
10	725	730	730	730	730	730					NE	NE	NE	NE	NE	NE				
11	760	770	810	810							SW	SW	SW	SW						
12	830	830	830	830	830	830					W	W	W	W	W	W				
13	580	590	580	580	580						SE	SE	S	S	S					
14	500	510	530	540	540						W	W	W	W						

検定林 No.	傾斜 (度)										斜面形状									
	ブロック										ブロック									
1	15	10	7	15	10	7					凹型	平衡	平衡	平衡	凹型	平衡	平衡	平衡	平衡	平衡
2	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	平衡	平衡	平衡	平衡	平衡	平衡	平衡	平衡	平衡	平衡
3	25~30	25~30	30~35	30~35	30~35						平坦	平坦	平坦	平坦	平坦					
4	12	12	12	12	12						平坦	平坦	平坦	平坦	平坦					
5	14	14	14	14	14						一部凹	一部凹	一部凹	一部凹						
6	8	8	8	8	8	8					平衡	平衡	平衡	平衡	平衡	平衡				
7	15	15	15	15	15	15					平衡	平衡	平衡	平衡	平衡	平衡				
8	20	20	20	20	20	20					平衡	平衡	平衡	平衡	平衡	平衡				
9	25	30	35	35	30	30					平衡	平衡	平衡	平衡	平衡	平衡				
10	5	5	5	5	5	5					平衡	平衡	平衡	平衡	平衡	平衡				
11	20	20	17	17							平衡	平衡	平衡	平衡	平衡					
12	5	5	5	5	5	5					平衡	平衡	平衡	平衡	平衡	平衡				
13	3	10	2	3	2						平坦	平坦	平坦	平坦	平坦	平坦				
14	10~20	10~20	10~15	25~35	25~35						平衡	平衡	平衡	平衡	平衡					

調査したときの被害指数をプロット内の全個体について合計し、これを調査した前年の生存本数で除したものを平均被害指数とした。前年の生存本数に対する調査時の生存本数の比を年間生存率とした。前年の生存本数に対する調査時の健全本数の比を健全率とした。5年次の生存本数の植栽本数に対する比を5年次生存率とした。

表3. 被害程度と被害指数

被害指数	区分	内容
5	健全	寒風害あるいは凍害による被害が認められない場合。
4	芽枯れ	寒風害あるいは凍害によると思われる枯死が、葉の先端のみに見られるもの。
3	枝枯れ	寒風害あるいは凍害によると思われる葉の枯死が、個体についている葉全体の1/3から1/2程度観察される場合。
2	半枯れ	寒風害あるいは凍害によると思われる葉の枯死が、個体についている葉全体の1/2以上程度観察される場合。
1	枯死	個体全体が枯死した場合。

2. 2 解析

前回の耐寒性クローンの確定²⁷⁾では、クローンの被害データを検定林、東北育種場場内試験地別、調査年次ごとに偏差値化し、これらの偏差値をクローンごとに平均し、上位にくるクローンをスギ耐寒性クローンとした。この方法には、検定林によるクローンの構成の違いや、検定林とクローンとの交互作用が、クローンの評価にどのように影響しているかが不明であるという問題点があった。

今回解析の対象とした14箇所の耐寒性検定林のデータでは、検定林によって供試されているクローンが異なっている。このようなデータについて、複数検定林のデータをまとめて、検定林、クローンを要因とする分散分析を行うことは、通常の方法では困難である。また、検定林ごとに分析を行う場合でも、プロット内の全個体が枯死したり、あるいは検定林設定時の事情により、欠測となるクローンとブロックが多くある。今回の解析では、以下の線型モデルに基づく最小2乗法によって分散分析を行った。

検定林ごとの分散分析では、

$$Y_{jk} = \mu + \beta_j + \gamma_k + \varepsilon_{jk} \quad (1)$$

の線型モデルを仮定した。ここで、 Y_{jk} はj番目のブロックのk番目のクローンのプロット平均値、 μ は全体の平均、 β_j はj番目のブロックの効果、 γ_k はk番目のクローンの効果、 ε_{jk} は誤差である。

複数検定林を対象とした分散分析では

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \alpha\beta_{ij} + \gamma_k + \alpha\gamma_{ik} + \varepsilon_{ijk} \quad (2)$$

の線型モデルを仮定した。ここで、 Y_{ijk} は、i番目の検定林のj番目のブロックにおけるk番目のクローンのプロット平均値、 μ は全体の平均、 α_i はi番目の検定林の効果、 $\alpha\beta_{ij}$ はi番目の検定林内のj番目のブロックの効果、 γ_k はk番目のクローンの効果、 $\alpha\gamma_{ik}$ はi番目の検定林とk番目のクローンとの交互作用、 ε_{ijk} は誤差である。

(1)、(2)式の線型モデルに基づく分散分析プログラム (LSQABS02.BAS, LSQABS21.BAS) が林木育種センターの栗延晋氏によって開発されている。これらのプログラムを用いた解析例がいくつか報告されている^{10,11,17)}。

LSQABS02.BAS, LSQABS21.BASはNEC社製のN88BASICによって開発されているため、プログラム言語の仕様上、大きなサイズのデータでは計算ができない。今回解析の対象としたデータは、クローン数236、ブロック数4~10、検定林数14であるので、特に、複数検定林についての分散分析は困難である。そこでLSQABS02.BASとLSQABS21.BASをMicrosoft社製Visual Basic (32bit版)に移植した、LSAB02VBとLSAB21VB

を用いて分析を行うことにした。この Visual Basic のプログラムでは、パーソナルコンピュータが搭載しているメモリーの許す範囲で、かなり大きなデータでも計算することができる¹⁸⁾。

3 結果

3. 1 検定林ごとの分散分析

検定林ごと、調査形質ごとに、クローンとブロックを要因とする分散分析を行い、検定データとしての精度を確認した。

表 4. 各形質の各年次の平均値

形質	検定林No.	1年次	2年次	3年次	4年次	5年次
平均被害指数	1	3.30 **	3.25 **	2.44 **	2.64 *	3.67
	2	4.33 **	3.22 **	3.40 **	3.62 **	3.21 **
	3	4.52 *	4.62 **	4.62 **	4.54 **	4.25 **
	4	4.68 *	4.84 **	4.88	4.67 **	4.19 **
	5	4.75 *	4.83 **	4.19 **	4.47 **	4.31
	6	4.29 **	3.50 **	3.23 **	4.28 **	4.54 **
	7	4.29 **	3.04 **	3.23 **	4.01 **	4.54 **
	8	3.78 **	3.43 **	3.69 **	3.86 **	4.47 **
	9	3.92 **	3.47 **	4.14 **	4.54	4.74
	10	3.30 **	3.63 **	2.84 *	2.85 **	4.12 **
	11	4.23 **	3.72 **	4.51 **	4.68 **	4.65 **
	12	3.04 **	2.55 **	2.58 **	3.70	3.43
	13	4.87	4.68	4.32 **	4.66 **	4.69 **
	14	4.34 **	4.61 *	4.54 *	4.60 **	4.51 **
年間生存率	1	0.69 **	0.74 **	0.51 **	0.52 *	0.90
	2	0.96 **	0.77 **	0.85 **	0.88	0.89 **
	3	0.91	0.99	0.99	0.99	0.99
	4	0.93 *	1.00	0.98	0.99	0.99
	5	0.95 **	1.00	0.99 **	0.99	0.99
	6	0.93 **	0.72	0.70 **	0.89	0.99
	7	0.93 **	0.82	0.70 **	0.98	0.99
	8	1.00	0.99 **	0.98	0.99 *	0.99
	9	0.95 **	0.93	0.95	0.95	0.95
	10	0.93 **	0.93 **	0.92 **	0.93	0.98
	11	0.99	0.96 **	0.98	0.99	0.99
	12	0.96 **	0.98	0.80	0.81	0.96
	13	0.99	0.99	0.98	1.00	0.95 **
	14	0.97 **	0.98 *	0.98	0.97 **	0.98
健全率	1	0.35 **	0.26 **	0.18 **	0.19 **	0.29
	2	0.55 **	0.19 **	0.17 **	0.31 **	0.13 **
	3	0.81 *	0.74 **	0.70 **	0.62 **	0.41 **
	4	0.91 *	0.88 **	0.95 **	0.74 **	0.26 **
	5	0.93 *	0.87 **	0.28	0.55 *	0.36
	6	0.55 **	0.27 **	0.29 **	0.34 **	0.64 **
	7	0.55 **	0.06 **	0.29 **	0.34 **	0.64 **
	8	0.30 **	0.07 **	0.33 **	0.27 **	0.66 **
	9	0.41 **	0.19 **	0.48 **	0.77	0.94
	10	0.05 **	0.23 **	0.08	0.07 **	0.42 **
	11	0.48 **	0.22 **	0.62 **	0.74 **	0.71 **
	12	0.08	0.00	0.00	0.46	0.16
	13	0.92	0.72	0.47 **	0.73 **	0.75 **
	14	0.50 *	0.70	0.61	0.71	0.59 **

*: 分散分析の結果クローン間に5%水準で有意差あり

**: 分散分析の結果クローン間に1%水準で有意差あり

平均被害指数，年間生存率，健全率の年次別の検定林平均値を表4に示す。表5に5年次生存率と5年次樹高の検定林平均値を示す。検定林ごとの分散分析の結果，クローン間に有意差のみとめられたものについては*印あるいは**印を付した。

表5. 各検定林の5年次の生存率と5年次の樹高の平均値

検定林No.	生存率	5年次樹高(dm)
1	0.098 **	3.33 **
2	0.456 **	9.51 **
3	0.822 **	15.21 **
4	0.872 *	17.00
5	0.896	17.96
6	0.515 **	13.05 **
7	0.545 **	11.10 **
8	0.937 **	15.30 **
9	0.867 **	15.97 **
10	0.657 **	11.69 **
11	0.881 **	16.21 **
12	0.661	7.39
13	0.905	16.97
14	0.860	14.27

*: 分散分析の結果クローン間に5%水準で有意差あり

** : 分散分析の結果クローン間に1%水準で有意差あり

平均被害指数，年間生存率，健全率については，各検定林で5回（1年次～5年次）の調査が行われており，全検定林では70回の調査が行われている。これらのうち，5%水準あるいは1%水準でクローン間に有意差が認められた回数の調査回数に対する比率は，平均被害指数では89%，年間生存率では40%，健全率では80%であった。

5年次生存率，5年次樹高について，全検定林で14回の調査が行われている。このうち，クローン間に5%水準あるいは1%水準で有意差が認められた回数の調査回数に対する比率は5年次生存率については71%，5年次樹高については64%であった。

クローン分散と誤差分散の和に対するクローン分散の割合（以下クローン分散の割合とする）を，平均被害指数，年間生存率，健全率のそれぞれについて表6に示す。

以上の検定林ごとの分散分析により，年間生存率の精度が劣ることが明らかになった。また，クローン間に有意差のない検定林と年次のデータは，本来ならば複数検定林の分散分析に使用するべきでない。しかしながら，今回解析対象とした検定林は全体で14検定林しかなく，クローン間に有意差が認められない検定林と年次のデータを除くと，評価できる寒害抵抗性候補木のクローン数が減少してしまう。すべての寒害抵抗性候補木のクローンを評価するために，以下の解析ではクローン間の有意差の認められなかった検定林および年次のデータも使用することにした。

表6. 各検定林の各年次のクローン分散の割合

形質	検定林No.	1年次	2年次	3年次	4年次	5年次
平均被害指数	1	0.486	0.257	0.319	0.173	0.125
	2	0.353	0.414	0.313	0.282	0.302
	3	0.051	0.164	0.145	0.213	0.136
	4	0.056	0.231	0.024	0.176	0.144
	5	0.137	0.281	0.273	0.146	-0.070
	6	0.305	0.285	0.313	0.125	0.116
	7	0.305	0.512	0.313	0.352	0.116
	8	0.540	0.562	0.426	0.364	0.292
	9	0.289	0.364	0.110	0.037	0.031
	10	0.278	0.146	0.076	0.261	0.293
	11	0.426	0.526	0.435	0.230	0.355
	12	0.454	0.495	0.299	-0.039	0.135
	13	0.069	0.036	0.378	0.204	0.390
	14	0.294	0.153	0.166	0.298	0.239
	平均	0.289	0.316	0.256	0.202	0.186
年間生存率	1	0.454	0.130	0.255	0.172	0.065
	2	0.212	0.328	0.084	0.026	0.070
	3	0.034	0.000	0.000	0.000	-0.025
	4	0.060	0.000	0.019	-0.019	-0.028
	5	0.165	-0.200	0.200	-0.133	0.077
	6	0.133	0.041	0.209	-0.031	-0.013
	7	0.133	0.346	0.209	-0.033	-0.013
	8	0.000	0.105	0.033	0.057	0.038
	9	0.087	0.044	-0.027	0.000	0.024
	10	0.131	0.090	0.083	0.050	0.000
	11	-0.095	0.367	-0.080	0.111	0.200
	12	0.331	0.026	-0.091	-0.094	-0.115
	13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.931
	14	0.336	0.202	0.012	0.517	0.144
	平均	0.141	0.106	0.065	0.045	0.097
健全率	1	0.377	0.316	0.177	0.219	0.083
	2	0.324	0.190	0.359	0.329	0.261
	3	0.071	0.173	0.174	0.255	0.154
	4	0.055	0.320	0.128	0.196	0.089
	5	0.125	0.243	0.074	0.118	-0.098
	6	0.318	0.274	0.384	0.251	0.147
	7	0.318	0.300	0.384	0.387	0.147
	8	0.443	0.289	0.319	0.283	0.274
	9	0.259	0.309	0.137	0.019	0.000
	10	0.111	0.208	0.043	0.132	0.231
	11	0.380	0.390	0.290	0.220	0.275
	12	0.103	0.000	0.000	-0.020	0.067
	13	0.054	0.003	0.281	0.209	0.263
	14	0.211	0.136	0.109	0.054	0.330
	平均	0.225	0.225	0.204	0.189	0.159

注) クローン分散の割合は、次のようにして求めた。

$$\text{クローン分散の割合} = \text{クローン分散} / (\text{クローン分散} + \text{誤差分散})$$

3. 2 複数検定林の分散分析

耐寒性クローンを選出するにあたって、どの年次のどの形質のデータを用いるのが合理的であるのかについて、吟味を行う必要がある。そこで、次のような基準によって、各検定林の調査データの分類を行い、複数検定林のデータを使用して13種類のデータファイル（以下データセットとする）を作成し、分析結果の比較を行った。なお、各データセットのデータはいずれもプロット平均値である。

データセット Y1, Y2, Y3, Y4, Y5：各検定林のデータから、年次ごとの平均被害指数、年間生存率、健全率のデータを抽出したデータセット。例えば1年次について行ったものがY1で、2年次についてはY2である。

データセット DW, SW, HW：各検定林のデータから、寒害被害の大きい年次（平均被害指数、年間生存率、健全率の検定林平均値がもっとも小さい年次）の平均被害指数、年間生存率、健全率のデータを抽出したデータセット。平均被害指数について行ったものがDW、年間生存率について行ったものがSW、健全率について行ったものがHWである。

データセット DP, SP, HP：各検定林のデータから、クローン分散と誤差分散の和に対するクローン分散の比が最も大きい年次の平均被害指数、年間生存率、健全率のデータを抽出したデータセット。平均被害指数について行ったものがDP、年間生存率について行ったものがSP、健全率について行ったものがHPである。

データセット S5：各検定林で5年次に測定された生存率の値からなるデータセット。

データセット H5：各検定林で5年次に測定された樹高（5年次樹高）の値からなるデータセット。

表7に、データセットDW, SW, HW, DP, SP, HPにおいて使用した、検定林のデータの調査年次を示す。

表7. 各データセットに使用した検定林ごとのデータの調査年次

データセット	検定林No.													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
DW	3	2	5	5	3	3	2	2	2	3	2	2	3	1
SW	3	2	1	1	1	3	3	3	2	3	2	3	5	4
HW	3	5	5	5	3	2	2	2	2	1	2	2	3	1
DP	1	2	4	2	2	3	2	2	2	5	2	2	5	4
SP	1	2	1	1	3	3	2	2	1	1	2	1	5	4
HP	1	3	4	2	2	3	4	1	2	5	2	1	3	5

注) 各データセットのデータの選択基準については本文を参照。

検定林とクローンを要因とし、ブロックを検定林内のくりかえしとする、複数検定林の分散分析を、各データセットについて実行した結果を表8,9に示す。どのデータセットにおいても、検定林、検定林内反復、クローン、クローン×検定林の交互作用の各要因の効果は、1%水準で有意であった。

表8. 各データセットについての複数検定林の分散分析表

データセット	要因	平均被害指数		年間生存率		健全率	
		自由度	平均平方和	自由度	平均平方和	自由度	平均平方和
Y1	検定林	13	115.963 **	13	3.050 **	13	32.461 **
	検定林内反復	66	3.765 **	66	0.097 **	66	0.957 **
	クローン	235	3.102 **	235	0.089 **	235	0.467 **
	クローン×検定林	1110	0.704 **	1110	0.032 **	1110	0.112 **
	誤差	6094	0.289	6094	0.015	6094	0.052
Y2	検定林	13	211.450 **	13	5.601 **	13	43.429 **
	検定林内反復	66	9.999 **	66	0.500 **	66	0.925 **
	クローン	235	4.068 **	235	0.133 **	235	0.300 **
	クローン×検定林	1099	0.858 **	1099	0.059 **	1099	0.092 **
	誤差	5901	0.369	5901	0.031	5901	0.046
Y3	検定林	13	258.445 **	13	8.778 **	13	35.555 **
	検定林内反復	66	10.963 **	66	0.363 **	66	1.367 **
	クローン	235	4.152 **	235	0.136 **	235	0.501 **
	クローン×検定林	1110	0.867 **	1110	0.060 **	1110	0.089 **
	誤差	5686	0.465	5686	0.036	5686	0.054
Y4	検定林	13	193.768 **	13	4.301 **	13	24.192 **
	検定林内反復	66	7.660 **	66	0.237 **	66	1.188 **
	クローン	235	2.545 **	235	0.037 **	235	0.595 **
	クローン×検定林	1076	0.684 **	1076	0.029 **	1076	0.123 **
	誤差	5336	0.378	5336	0.021	5336	0.075
Y5	検定林	13	109.424 **	13	0.627 **	13	25.457 **
	検定林内反復	66	6.117 **	66	0.028 **	66	1.781 **
	クローン	235	1.640 **	235	0.027 **	235	0.404 **
	クローン×検定林	1075	0.444 **	1075	0.018 **	1075	0.113 **
	誤差	5224	0.276	5224	0.015	5224	0.080
DW	検定林	13	150.292 **	13	9.065 **	13	6.697 **
	検定林内反復	66	10.528 **	66	0.523 **	66	1.002 **
	クローン	235	4.833 **	235	0.182 **	235	0.277 **
	クローン×検定林	1107	0.947 **	1107	0.077 **	1107	0.101 **
	誤差	5863	0.416	5863	0.034	5863	0.054
SW	検定林	13	247.902 **	13	8.136 **	13	44.273 **
	検定林内反復	66	13.571 **	66	0.549 **	66	1.179 **
	クローン	235	4.914 **	235	0.214 **	235	0.346 **
	クローン×検定林	1112	1.044 **	1112	0.078 **	1112	0.085 **
	誤差	5863	0.499	5863	0.039	5863	0.047
HW	検定林	13	130.958 **	13	7.077 **	13	7.120 **
	検定林内反復	66	8.323 **	66	0.158 **	66	1.172 **
	クローン	235	3.503 **	235	0.093 **	235	0.275 **
	クローン×検定林	1095	0.824 **	1095	0.059 **	1095	0.090 **
	誤差	5523	0.354	5523	0.032	5523	0.051
DP	検定林	13	218.160 **	13	7.377 **	13	39.875 **
	検定林内反復	66	9.085 **	66	0.478 **	66	0.978 **
	クローン	235	5.101 **	235	0.194 **	235	0.371 **
	クローン×検定林	1115	0.955 **	1115	0.069 **	1115	0.111 **
	誤差	6056	0.371	6056	0.027	6056	0.050
SP	検定林	13	170.704 **	13	5.972 **	13	42.120 **
	検定林内反復	66	9.585 **	66	0.482 **	66	0.947 **
	クローン	235	4.939 **	235	0.220 **	235	0.263 **
	クローン×検定林	1115	0.964 **	1115	0.070 **	1115	0.092 **
	誤差	6082	0.404	6082	0.031	6082	0.043
HP	検定林	13	161.545 **	13	6.317 **	13	29.454 **
	検定林内反復	66	6.819 **	66	0.295 **	66	1.015 **
	クローン	235	4.179 **	235	0.076 **	235	0.670 **
	クローン×検定林	1112	0.890 **	1112	0.048 **	1112	0.130 **
	誤差	5813	0.375	5813	0.023	5813	0.060

** : 1%水準で有意

注) 各データセットのデータの選択基準については本文を参照。

表9. データセット S5 (5 年次生存率) とデータセット H5 (5 年次樹高) についての複数検定林の分散分析表

要因	データセット S5		データセット H5	
	自由度	平均平方和	自由度	平均平方和
検定林	13	26.149 **	13	6760.368 **
検定林内反復	66	0.946 **	66	392.652 **
クローン	235	0.237 **	235	74.508 **
クローン×検定林	1052	0.076 **	1052	33.855 **
誤差	5153	0.038	5153	26.790

** : 1%水準で有意

調査年次ごとにデータを抽出して作成したデータセット (Y1, Y2, Y3, Y4, Y5) の, 平均平均被害指数, 年間生存率, 健全率についての, クローン分散, クローン×検定林交互作用分散 (以下交互作用分散とする), 誤差分散の相対的な大きさを図2に示す。クローン分散の占める割合は, 平均被害指数と健全率については 10 ~ 20% の範囲であったが, 年間生存率については 1 ~ 10% の範囲であった。また, 平均被害指数と年間生存率については, 年次を経るごとにクローン分散の占める割合が, 減少する傾向がみられた。平均被害指数の場合, 各年次とも, クローン分散の大きさとほぼ等しい大きさの交互作用分散が認められた。年間生存率の場合には, 各年次とも, 交互作用分散の方がクローン分散よりも大きくなっていた。

データセット DW, SW, HW, DP, SP, HP の平均被害指数, 年間生存率, 健全率についての, クローン分散, 交互作用分散, 誤差分散の相対的な大きさを図3に示す。クローン分散の占める割合は, 平均被害指数については 17 ~ 21%, 健全率についてはほぼ 10 ~ 20% の範囲であったが, 年間生存率については 3 ~ 11% の範囲であった。

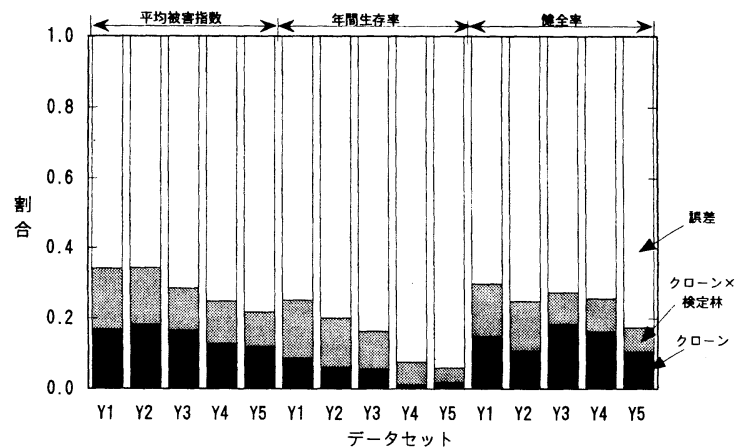


図2. データセット Y1, Y2, Y3, Y4, Y5 についてのクローン分散, クローン×検定林の交互作用分散, 誤差分散の相対的な割合の比較

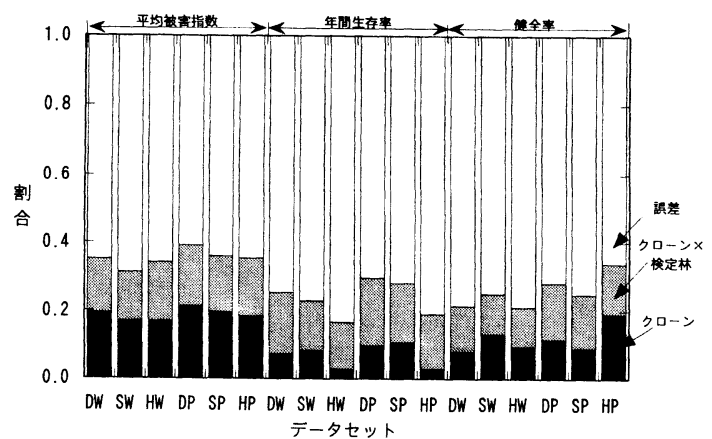


図3. データセット DW, SW, HW, DP, SP, HP についてのクローン分散, クローン×検定林の交互作用分散, 誤差分散の相対的な割合の比較

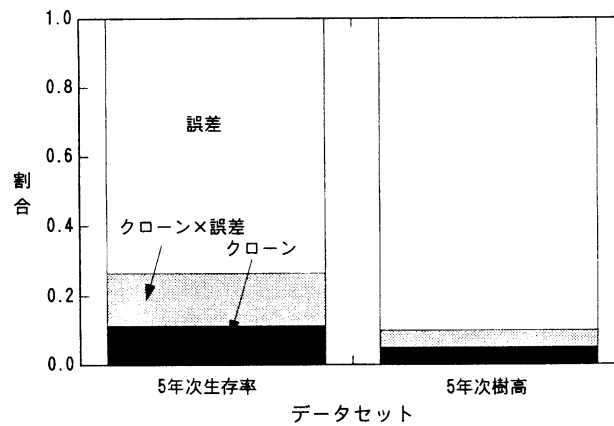


図4. 5年次生存率と5年次樹高のクローン分散、クローン×検定林の交互作用分散、誤差分散の相対的な割合の比較

表10. 各データセット間の相関係数

形質	データセット	データセット										
		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	DW	SW	HW	DP	SP	HP
平均被害指数	Y1		0.73	0.62	0.52	0.52	0.71	0.73	0.69	0.81	0.85	0.76
	Y2	**		0.79	0.63	0.64	0.92	0.87	0.89	0.91	0.89	0.85
	Y3	**	**		0.62	0.63	0.89	0.90	0.85	0.80	0.80	0.86
	Y4	**	**	**		0.40	0.64	0.62	0.68	0.60	0.57	0.63
	Y5	**	**	**	**		0.60	0.55	0.67	0.63	0.59	0.70
	DW	**	**	**	**	**		0.95	0.92	0.91	0.89	0.85
	SW	**	**	**	**	**	**		0.85	0.89	0.90	0.83
	HW	**	**	**	**	**	**	**		0.82	0.80	0.83
	DP	**	**	**	**	**	**	**	**		0.97	0.92
	SP	**	**	**	**	**	**	**	**	**		0.88
	HP	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	
年間生存率	Y1		0.55	0.43	0.25	0.19	0.61	0.62	0.60	0.73	0.79	0.67
	Y2	**		0.53	0.13	0.20	0.87	0.79	0.70	0.86	0.85	0.60
	Y3	**	**		0.23	0.07	0.77	0.83	0.69	0.63	0.63	0.76
	Y4	**	*	**		-0.23	0.25	0.27	0.33	0.24	0.24	0.23
	Y5	**	**		**		0.07	0.11	0.20	0.19	0.17	0.18
	DW	**	**	**	**			0.94	0.82	0.90	0.88	0.73
	SW	**	**	**	**		**		0.75	0.87	0.88	0.76
	HW	**	**	**	**	**	**	**		0.70	0.69	0.66
	DP	**	**	**	**	**	**	**	**		0.97	0.81
	SP	**	**	**	**	**	**	**	**	**		0.79
	HP	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	
健全率	Y1		0.63	0.58	0.50	0.55	0.59	0.67	0.55	0.71	0.75	0.66
	Y2	**		0.65	0.65	0.51	0.82	0.79	0.78	0.81	0.75	0.75
	Y3	**	**		0.70	0.66	0.77	0.77	0.75	0.63	0.63	0.82
	Y4	**	**	**		0.54	0.65	0.66	0.67	0.57	0.49	0.70
	Y5	**	**	**	**		0.60	0.56	0.63	0.55	0.50	0.61
	DW	**	**	**	**	**		0.86	0.92	0.77	0.75	0.77
	SW	**	**	**	**	**	**		0.75	0.80	0.82	0.74
	HW	**	**	**	**	**	**	**		0.69	0.67	0.76
	DP	**	**	**	**	**	**	**	**		0.90	0.86
	SP	**	**	**	**	**	**	**	**	**		0.78
	HP	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	

注) 各データセットのデータの選択基準については本文を参照。

*: 5%水準で有意

** : 1%水準で有意

平均被害指数の場合、どのデータセットでも、クローン分散の大きさとほぼ等しい大きさの交互作用分散が認められた。年間生存率の場合には、どのデータセットでも、交互作用分散の方がクローン分散よりも大きかった。また、健全率の場合には、SW と HP の2つのデータセットを除いて、交互作用分散の方がクローン分散よりも大きくなっていった。

5年次生存率と5年次樹高のクローン分散、交互作用分散、誤差分散の相対的な大きさを図4に示す。クローン分散の占める割合は、生存率で11%、5年次樹高で5%であった。5年次生存率では、クローン分散の方が交互作用分散よりも小さく、5年次樹高ではクローン分散と交互作用分散とはほぼ同じ大きさであった。

クローンの最小2乗推定値を使用して、形質別に算出したデータセット間の相関を表10に示す。

平均被害指数と健全率については、すべてのデータセット間で1%水準で有意な相関がみられた。年間生存率については、ほとんどのデータセット間で1%水準で有意な相関が認められた。

5年次生存率の最小2乗推定値と、各データセットの平均被害指数、年間生存率、健全率の最小2乗推定値との相関係数を表11に示す。これらの相関は、すべての組み合わせで、1%水準で有意であった。

5年次樹高の最小2乗推定値と、各データセットの平均被害指数、年間生存率、健全率の最小2乗推定値との相関係数を表12に示す。年間生存率は、データセットY5を除いて、5年次樹高との間に1%水準で有意な相関があった。健全率は、どのデータセットについてみても、5年次樹高との間に有意な相関が認められなかった。

表11. 5年次生存率の最小2乗推定値と、各データセットの平均被害指数、年間生存率、健全率の最小2乗推定値との相関係数

データセット	形質		
	平均被害数	年間生存率	健全率
Y1	0.69 **	0.61 **	0.49 **
Y2	0.68 **	0.74 **	0.41 **
Y3	0.68 **	0.66 **	0.50 **
Y4	0.45 **	0.29 **	0.44 **
Y5	0.46 **	0.27 **	0.36 **
DW	0.70 **	0.74 **	0.42 **
SW	0.74 **	0.76 **	0.51 **
HW	0.66 **	0.67 **	0.41 **
DP	0.72 **	0.75 **	0.43 **
SP	0.77 **	0.78 **	0.48 **
HP	0.67 **	0.66 **	0.47 **

注) 各データセットのデータの選択基準については本文を参照。

* : 5%水準で有意

** : 1%水準で有意

表12. 5年次樹高の最小2乗推定値と、各データセットの平均被害指数、年間生存率、健全率の最小2乗推定値との相関係数

データセット	形質		
	平均被害数	年間生存率	健全率
Y1	0.25 **	0.36 **	0.10
Y2	0.14 *	0.33 **	-0.04
Y3	0.18 **	0.29 **	-0.02
Y4	0.16 *	0.24 **	0.03
Y5	0.06	0.11	-0.01
DW	0.20 **	0.40 **	-0.03
SW	0.23 **	0.37 **	0.04
HW	0.11	0.39 **	-0.11
DP	0.20 **	0.41 **	-0.06
SP	0.22 **	0.40 **	-0.03
HP	0.10	0.40 **	-0.11

注) 各データセットのデータの選択基準については本文を参照。

* : 5%水準で有意

** : 1%水準で有意

4 考察

4. 1 耐寒性の評価

SHELBOURNE²³⁾とJOHNSON⁵⁾は、クローンと検定林の交互作用分散のクローン分散に対する比が0.5以上になるとき、その地域で検定や選抜を行うのは危険であると報告している。この基準によって、関東育種基本区内のスギ地域差検定林のデータを用いて地域区分を検討した報告がある¹⁷⁾。

今回の耐寒性検定林のデータでは、どのデータセットでも交互作用分散のクローン分散に対する比が0.5より

も大きかった。したがって、本報告でも地域区分をしてクロンの評価をする必要があると考えられる。しかし、耐寒性検定林のデータには、以下のような特徴があることから、地域区分を行うことは不相当であると判断した。

寒害の発生には、微地形や微気候が影響している^{7,2)}。このことは、誤差分散やクロンと検定林との交互作用分散を大きくしている原因の1つであると考えられる。

被害の程度が、検定林、年次によって異なっている（表4）。このことは、寒害の発生頻度と強さが、年により、また場所によって、変動しているためと思われる。このこともまた、誤差分散やクロンと検定林との交互作用分散を大きくしている原因の1つであろう。

5年次生存率の検定林間の相関（表13）が比較的高い検定林の場所を地図上（図1）で検討してみた。お互いに相関の高い検定林が地理的にまとまっている例（例えば検定林No. 3, 4, 5など）も見られたが、検定林間の相関から明瞭な地域区分を行うことはむずかしいと考えられた。

表13. 5年次生存率と5年次樹高についての各検定林間の相関係数

形質	検定林 No.	検定林No.													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
5年次 生存率	1		0.55 **	0.15	0.07	0.18	0.19	0.30 *	0.13	0.03	0.36 *	0.10	0.56	0.04	-0.70 *
	2	90		0.12	0.31 **	0.10	0.20	0.53 **	0.34 **	0.18	0.33 *	0.11	0.08	0.41	-0.22
	3	74	100		0.29 **	0.28 **	0.40 **	0.17	0.53 **	0.13	0.30	0.25	0.11	-0.58	-0.80
	4	93	124	120		0.20 *	0.33 **	0.27 *	0.36 **	0.27 *	0.26	-0.09	-0.08	-0.26	-0.39
	5	77	107	97	133		0.39 **	0.13	0.07	0.06	0.43 **	-0.08	-0.74	-0.07	-0.34
	6	45	67	55	67	58		0.35 **	0.30 *	0.15	0.31	0.28	-	-0.40	-
	7	62	90	73	92	80	80		0.44 **	0.08	0.42 *	0.30	-0.61	-0.75	-0.52
	8	72	99	88	107	92	74	88		0.36 **	0.17	0.13	-0.18	-0.27	-
	9	51	63	47	64	53	41	48	56		0.15	0.21	-0.04	-0.01	0.19
	10	42	56	40	55	48	31	37	43	57		0.18	0.07	0.36	0.14
	11	40	38	32	44	37	21	35	34	32	27		0.39	0.3	0.60
	12	7	8	5	7	5	2	4	6	7	6	9		-	-
	13	8	15	5	11	12	4	8	10	11	12	9	1		-0.37
	14	11	10	4	6	5	2	5	2	7	8	3	1	4	
5年次 樹高	1		0.29 *	-0.23 *	-0.17	0.04	-0.15	0.25 *	0.08	0.12	0.13	-0.26	0.41	-0.50	-0.44
	2	90		-0.07	-0.17	-0.04	0.02	0.32 **	0.23 *	-0.10	0.41 **	-0.06	0.15	-0.29	-0.07
	3	74	100		0.37 **	0.48 **	0.07	0.06	0.48 **	0.43 **	0.08	0.66 **	0.38	-	0.98 *
	4	93	124	120		0.26 *	0.02	0.02	0.25 *	0.50 **	0.09	0.52 **	0.50	-	0.73
	5	77	107	97	133		0.00	0.07	0.29 **	0.32 *	0.23	0.53 **	-0.20	-	0.59
	6	45	67	55	67	58		0.25 *	0.53 **	0.47 **	0.44 *	0.60 **	-	-	-
	7	62	90	73	92	80	80		0.32 **	0.05	0.06	0.24	0.08	-	0.64
	8	72	99	88	107	92	74	88		0.57 **	0.34 *	0.70 **	0.65	-	-
	9	51	63	47	64	53	41	48	56		0.29 *	0.53 **	0.76 *	0.61	0.58
	10	42	56	40	55	48	31	37	43	57		0.16	-0.19	-0.24	0.09
	11	40	38	32	44	37	21	35	34	32	27		0.72 *	0.56	-0.37
	12	7	8	5	7	5	2	4	6	7	6	9		-	-
	13	12	12	2	2	2	1	2	1	7	9	3	1		0.01
	14	11	10	4	6	5	2	5	2	7	8	3	1	13	

対角上の空白より上半分は2検定林間で共通なクロン数を用いて計算した相関係数。

対角上の空白より下半分は2検定林間の共通なクロン数。

- : 2検定林間で共通なクロン数が少ないため相関係数が算出できない

* : 5%水準で有意

** : 1%水準で有意

検定林ごと年次別の分散分析においてクロン間に5%水準、1%水準で有意差のみられた回数の調査回数に対する比率は平均被害指数がほかの形質よりも高く、クロン間分散の占める割合も他の形質についてのクロン分散の割合より大きい傾向にあった（表6）。複数検定林の分散分析において、平均被害指数のクロン分散の割合は、他の形質のクロン分散の割合よりも大きい傾向があった（図2, 3）。平均被害指数が寒害の被害に対するクロンの反応を最もよく反映している形質であると判断した。

平均被害指数について、各データセットの中でクロン分散の相対的な大きさが最も大きかったのは、データ

セット DP であった (図 3)。データセット DP はその他のデータセットとの相関も高かった (表 10)。

藤沢・田淵¹⁾、久保田・板鼻⁸⁾ は、各検定林のデータからクローンの寄与率が高い年次データを抽出することにより、クローン検定の精度を高くできると報告している。これらのことからデータセット DP の平均被害数が耐寒性の評価指標の 1 つに用いるのが適当であると判断される。

古川²⁾ は、寒害発生地におけるスギ造林木は、植栽後数年は寒害を受けながら徐々に成長するとしている。寒害の抵抗性の要件としては、被害が軽いということが第一にあげられる。これに加え、被害を受けた後も成長がそれほど衰えないということも重要であろう。このような考えから、データセット DP の平均被害指数とデータセット H5 の 5 年次樹高を使用して、耐寒性を評価するが適当であると判断した。

4. 2 スギ耐寒性クローンの追加

データセット DP の平均被害指数と 5 年次樹高の最小 2 乗推定値を以下の式によって標準正規変量 (Z) に変換した。

$$Z = (X - X_m) / \sigma$$

ここで、X はあるクローンのデータセッ

ト DP の平均被害指数の最小 2 乗推定値

あるいは 5 年次樹高の最小 2 乗推定値、

X_m は全クローンの最小 2 乗推定値の平均値、σ は標準偏差である。

クローンによっては、1 箇所あるいは 2 箇所の検定林でしか供試されていないものもある。これらのクローンについては、最小 2 乗推定値の信頼性が低いと考えた。したがって、耐寒性クローンの見込みにあたっては、3 箇所以上の検定林に供試されているクローンのみを対象とした。

平均被害指数も 5 年次樹高も連続変量であり、耐寒性クローンを選択するための境界値を決めるのは困難である。交配母材料や採種圃構成クローンとしての利用を想定すると、30 クローン程度を選択するのが安全であると考えた。

上に述べたことを基にクローンの順位付けを行い、平均被害指数の Z の値が上位で、かつ 5 年次樹高の平均を上回る 30

表14. データセット DP の平均被害指数と 5 年次樹高に基づいて選択したスギ耐寒性クローン

クローン名	検定回数*1	最小二乗推定値	
		平均被害指数	樹高 (cm)
耐寒青森営 9 3	6	4.48	140.74*
玉造 1	7	4.43	141.14
耐寒青森営 6 3	7	4.38	137.57*
耐寒青森営 4 5	11	4.36	132.43*
耐寒青森営 1 5 0	7	4.32	151.22
上閉伊 1 4	6	4.30	134.00*
耐寒青森営 1 9 8	5	4.27	140.46
耐寒青森営 2 1	6	4.26	136.59
耐寒青森営 3 6	4	4.25	128.90
耐寒青森営 1 8 6	4	4.24	150.70
耐寒青森営 1 3 2	10	4.24	138.74
耐寒青森営 1 8	6	4.24	134.62
耐寒青森営 6 9	7	4.23	138.35
耐寒青森営 1 1 4	7	4.22	130.49
耐寒岩手県 1 2 0	9	4.20	128.36*
西津軽 4	7	4.19	138.24*
耐寒青森営 1 4 9	8	4.18	142.84
耐寒青森営 6 6	8	4.18	155.16*
耐寒青森営 6 0	11	4.18	128.10
耐寒青森営 1 0 1 9	9	4.16	126.93
耐寒岩手県 1 2 2	10	4.16	125.78
耐寒青森営 3 9	7	4.14	147.24
耐寒青森営 1 5	5	4.13	140.69*
耐寒青森営 8 5	5	4.13	131.72
耐寒青森営 1 6 6	11	4.13	139.70*
耐寒岩手県 1 2 1	9	4.12	138.23
耐寒青森営 3 2	9	4.12	151.57
耐寒青森営 1 3 9	3	4.10	148.34
耐寒青森営 1 8 0	10	4.09	155.01*
耐寒青森営 1 4 3	12	4.09	139.92*

注*: 前回 (昭和60年度) 確定クローン

*1検定回数は検定林に植栽された回数である。

クローンを耐寒性クローンとして選択した（表14）。この中には、過去に東北育種場が確定した耐寒性クローンが11クローン含まれている。選択したクローンの影響被害指数の最小2乗推定値は4.1～4.5の範囲にあり、5年次樹高の最小2乗推定値は128.1～155.2cmの範囲にあった。

図5に、全供試クローンについてのデータセットDPの平均被害指数最小2乗推定値と5年次樹高の最小2乗推定値の関係を示す。この図では、今回選択した耐寒性クローンを●で示してある。耐寒性クローンの影響被害指数の最小2乗推定値の平均値と全供試クローンの影響被害指数の最小2乗推定値の平均値との差は、平均被害指数で0.48、5年次樹高で14cmであった。

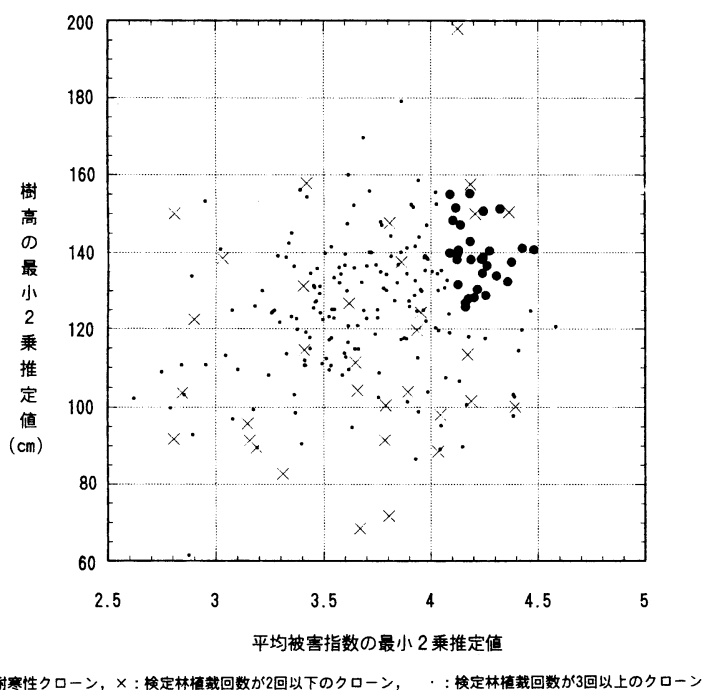


図5. データセットDPの平均被害指数と5年次樹高の関係

4. 3 早期検定の可能性

平均被害指数についてデータセットDPとデータセットY1, Y2, Y3との間の相関は比較的高く（表10）、クローン分散の占める割合も高かった（図2）。これらのことから考えると、1～3年次の間に平均被害指数の調査を行うことにより、比較的早期に耐寒性の評価を行える可能性があると考えられる。一つの例として、2年次の平均被害指数で選択された上位30クローンと今回選んだ耐寒性クローンとを比較した。2年次の平均被害指数で選択した場合の30クローンのうち14クローンが今回の耐寒性クローンに選択されたのと同じであった。

4. 4 耐凍性検定、脱水抵抗性検定、浸透圧検定、冬季乾燥性検定の結果との比較

東北育種場では、過去にクローンの選別の手段として耐凍性検定^{3,4,12,13,25)}、脱水抵抗性検定^{4,12,13,14,26)}、浸透圧検定^{14,15,16)}、冬季乾燥性検定⁹⁾（以下これらの検定をまとめて特殊検定とする）を実施してきた。これらの検定手法の概略は以下の通りである。

耐凍性検定

青森営林局選出のスギ耐寒性候補木の227クローンについて、長さ15cm程度のスギの当年生枝を時期別（11月中旬，12月中旬，4月上旬）に採取した。その切り枝を水に漬けた後，余分な水分を切ってからポリ袋に入れて密封した。この材料を，所定の方法で凍結させた後，解凍させ，供試材料に生じた凍結による被害を肉眼で観察した。

この結果に基づいて，クローンの凍結に対する抵抗性を強，中，弱の3段階に区分した。

脱水抵抗性検定

耐凍性検定で強と判定された58クローンについて，長さ15cm程度の当年生枝を採取し，切り口にラノリンを塗布した。その切り枝をシリカゲルと共にポリ袋に入れて密封した。スギ切り枝の含水率が50%まで低下するのに要した日数を基準にクローンの脱水抵抗性を特強，強，中，弱の4段階に区分した。

浸透圧検定

スギ寒害抵抗性候補木85クローンとスギ精英樹2クローン，スギ在来種2クローンについて，1g前後の枝葉を乳鉢ですりつぶして，その組織粥を冷却し，氷点を測定した。この氷点からの換算によって浸透圧を求めた。

冬期乾燥抵抗性検定

地上2mの高さの棚を東北育種場構内に作成し，この棚にスギの鉢植え苗を冬期間置き，寒風にさらした。その後，鉢植え苗を棚から温室内に移して，6月に被害調査を行った。被害調査では，耐寒性検定林における被害指数と同様の方法で，被害程度を判定し，クローンごとに平均被害指数を算出した。

耐凍性検定，脱水抵抗性検定に関する報告書では，それぞれ耐凍性の強さを強，中，弱の3段階，脱水抵抗性の強さを特強，強，中，弱の4段階に区別して報告されている^{25,26)}。このままでは，データの比較，分析に不都合であるので，特強を4，強を3，中を2，弱を1という評価指数に，便宜的に置き換えた。

特殊検定による各形質の評価値と各データセットの平均被害指数との相関を表15に示す。また特殊検定による各形質の評価値の結果と5年次生存率および5年次樹高の最小2乗推定値との相関を表16に示す。

各データセットの平均被害指数との間に有意な相関が認められたのは，耐凍性検定，脱水抵抗性検定，冬期乾燥抵抗性検定の評価値であり，浸透圧検定の評価値については無相関であった（表15）。脱水抵抗性検定の評価値と平均被害指数との間に有意な相関が認められたことは，田淵ら²¹⁾の報告と一致している。

耐凍性検定の評価値は，5年次生存

表15. 特殊検定結果と各データセットの被害指数の最小2乗推定値との相関係数

データセット	耐凍性検定	脱水抵抗性検定	浸透圧検定	冬季乾燥性検定
Y1	0.38**	0.30*	0.00	0.39**
Y2	0.38**	0.43**	0.06	0.40**
Y3	0.37**	0.36**	0.04	0.42**
Y4	0.35**	0.44**	0.14	0.40**
Y5	0.27**	0.32*	0.09	0.44**
DW	0.38**	0.36**	0.06	0.42**
SW	0.38**	0.39**	0.03	0.40**
HW	0.34**	0.41**	0.05	0.48**
DP	0.38**	0.39**	0.07	0.40**
SP	0.39**	0.36**	0.07	0.36**
HP	0.39**	0.37**	0.08	0.47**

注) 各データセットのデータの選択基準については本文を参照。

*: 5%水準で有意

**: 1%水準で有意

表16. 特殊検定による各形質の評価値と5年次生存率および5年次樹高の最小2乗推定値との相関係数

検定	形質	
	5年次生存率	5年次樹高
耐凍性検定	0.37 **	-0.04
脱水抵抗性検定	0.16	-0.30 *
浸透圧検定	0.05	0.03
冬季乾燥性検定	0.21	-0.06

*: 5%水準で有意

**: 1%水準で有意

率との間には有意な相関が見られたが、5年次樹高とは無相関であった。脱水抵抗性検定の評価値については、5年次生存率との相関は有意ではなく、また5年次樹高との間には有意な負の相関が認められた。浸透圧検定、冬期乾燥性検定の評価値と、5年次生存率、5年次樹高との間には、有意な相関が認められなかった。

4種類の特殊検定のうち、耐凍性検定、脱水抵抗性検定、冬期乾燥性検定については、その評価値と各データセットの被害指数および5年次生存率との間に、ある程度の正の相関が認められた。このことから、これら3種類の特殊検定の評価値を用いて、野外における寒害による被害および5年次生存率について、クローンごとに予測することが、ある程度可能であるかもしれない。ただし、これらの特殊検定による評価値は、5年次樹高とは無相関であるか、あるいは脱水抵抗性検定の場合には負の相関であったので、注意する必要がある。

5 おわりに

現在東北育種基本区内において気象害抵抗性種苗のスギ種苗全体に占める割合は少ない²⁰⁾。また、凍害の被害面積は全国で276ha（平成7年度）であり、昭和49年の7105haに比べ減少している²¹⁾。しかし、スギの気象害に対する育種的な対応の要望は高い¹⁹⁾。東北育種基本区内で生産されている種苗の大部分は実生苗である²⁰⁾ことから、気象害抵抗性種苗の普及をはかるには実生苗を用いることも必要であろう。寒害抵抗性の遺伝様式の研究を進めることが今後の課題である。

スギ耐寒性検定林の設定、被害調査およびスギ寒害候補木の特殊検定にあたった歴代の東北育種場の職員の方々、そして気象害抵抗性育種事業の歴代の担当者の方々に厚く感謝申し上げる。検定林データの解析プログラム（LSQABS02.BAS, LSQABS21.BAS）を開発された林木育種センター九州育種場の栗延晋博士に深く感謝申し上げる。また、林木育種センター東北育種場織田春紀育種課長、寺田貴美雄育種第二研究室室長からは、本報告をまとめるにあたり、貴重な助言をいただいた。ここに厚く感謝申し上げる。耐寒性検定林の設定、管理に御協力をいただいた青森営林局の関係者の方々に感謝申し上げる。

6 引用文献

- 1) 藤沢義武・田淵和夫：スギの寒風害におけるクローン間差の樹齢による推移，40回日林関東支論，115～116（1988）
- 2) 古川忠：東北地方におけるスギ造林地の寒害について，林試東北支場年報 9，95～103（1968）
- 3) 伊藤克朗・三上進：スギ耐寒性育種に関する研究，東北林育年報9，82～88（1978）
- 4) 伊藤克朗・三上進：スギ耐寒性育種に関する研究，東北林育年報10，56～63（1979）
- 5) JOHNSON, I. G.: Family-site interactions in radiata pine families in New South Wales, Australia. *Silvae Genetica*41, 55-62(1992)
- 6) 貴田忍・古川忠・岩崎正明・及川信夫：北上山系におけるスギ寒害発生地の実態，日林東北支誌19，43～51（1968）
- 7) 貴田忍・及川信夫・古川忠：北上山系におけるスギ寒害発生地の実態，昭和43年度青森営林局林業技術研究

集録, 184~191 (1968)

- 8) 久保田正裕・板鼻直栄：スギ耐寒性検定林における被害とクローン間差の経年変化, 日林東北支誌43, 180~181 (1991)
- 9) 久保田正裕：鉢植えした苗木によるスギ冬期乾燥抵抗性検定, 東北林育年報22, 59~64 (1991)
- 10) 栗延晋・宮浦富保・久保田権：関東育種基本区のスギさしき検定データに対するB L P法の適用について, 日林論104, 441~442 (1993)
- 11) KURINOBU,S. and MIYAURA,T.:An applcation of a best linear prediction to clonal tests of sugi(*Cryptomeria japonica*)in the northern Kanto Region. J. Jpn. For. Soc. 75,350-355 (1993)
- 12) 三上進・伊藤克朗：スギ耐寒性育種に関する研究, 東北林育年報11, 54~60 (1980)
- 13) 三上進・伊藤克朗：スギ耐寒性育種に関する研究, 東北林育年報12, 43~51 (1981)
- 14) 三上進・伊藤克朗：スギ寒害抵抗性, 東北林育年報13, 63~66 (1982)
- 15) 三上進・伊藤克朗：スギ寒害抵抗性, 東北林育年報14, 48~54 (1983)
- 16) 三上進・伊藤克朗：スギ寒害抵抗性, 東北林育年報15, 55~63 (1984)
- 17) 宮浦富保・栗延晋・久保田権：関東育種基本区のスギ地域差検定林10年次データに基づく地域区分の検討, 日林論104, 437~439 (1993)
- 18) 宮浦富保：検定林データの分散分析プログラム (N88Basic 版) の Visual Basic への移植, 林育研報15, (1998)
- 19) 織田春紀：林木育種ニーズに関するアンケート調査 (Ⅱ), 東北の林木育種153, 3~6 (1996)
- 20) 林木育種センター：平成7年度育種種苗の生産と普及の現況表, 48pp (1996)
- 21) 林野庁：平成7年度森林国営保険事業統計書, 林野庁造林保全課, 165pp (1996)
- 22) 林野庁研究普及課：林木育種事業関係通達集, 255pp, 林木育種協会 (1994)
- 23) SHELBOUNE,C.J.A.:Genotype environment interaction:its study and its implication in forest tree improvement. Proc. IUFRO Genetics-SABRAO Joint Symposia, B-1 (Ⅱ), 1-28,Tokyo.(1972)
- 24) 田淵和夫・藤樫武二・古越隆信：スギ枝葉の冬季乾燥抵抗性と耐寒性 (Ⅱ), 関東林育年報9, 56~76 (1973)
- 25) 東北林木育種場：気象害抵抗性個体の特殊検定, 東北林育年報12, 20~21 (1980)
- 26) 東北林木育種場：気象害抵抗性個体の特殊検定, 東北林育年報14, 25 (1983)
- 27) 吉村研介：スギ寒害抵抗性個体の検定結果, 東北の林木育種111, 1 (1985)

**Examination of the cold-resistance of sugi (*cryptomeria japonica*) in the eastern part of the
Tohoku Breeding Region.**

Jin'ya NASU⁽¹⁾, Tomiyasu MIYAUURA⁽¹⁾

summary

Nineteen Sugi (*cryptomeria japonica*) clones were newly selected as cold-resistant clones on the basis of data a 5-year period obtained from 14 test sites. The cold-resistant clones were defined as clones having hardiness to freezing injury and cold wind damage. The test sites were established in the National Forests in Aomori, Iwate, and Miyagi Prefectures. Each test site was set up by randomized complete-block design with 4 to 10 replications and 23 to 159 clones. The total number of clones used for these tests was 236, and they had been propagated by cutting from the candidates for cold-resistant trees. The average damage index for the year when the largest clonal differences were observed, and the 5-year tree height were considered to be the best measures of evaluating the cold-resistance of the clones for each test site. The least-squared estimate for the average damage index highly correlated with the average damage index of 1 to 3 year. These results suggest that we can conduct as early selection of cold-tolerant trees based on the 1- to 3- year average damage index. Among the formerly conducted the specific tests, the freezing hardiness test, the dehydration resistance test, and the test for hardiness to the desiccated by cold wind may be effective in the earlier selection of cold-resistant trees.

(1) Tohoku Regional Breed. Office, Forest Tree Breed. Center,