

凍害抵抗性と寒風害抵抗性の特殊検定手法の開発

田淵和夫¹⁾

Kazuo TABUCHI¹⁾

Easy testing systems for a selection of resistible *Cryptomeria japonica* and *Camaecypris Obtusa* individuals to freeze dehydration in the winter conditions and to freeze injury by low temperature.

要旨：スギの寒風害と凍害は発生条件が異なるため、被害地の気象条件を考慮して特殊検定法を開発し相互関係を検討した。その結果、耐寒風性は厳寒期の切枝の乾燥抵抗でクローン間差が認められ、感受性クローンの淘汰により通常検定の効率化が期待できた。適期は耐凍性を獲得する初冬、消失する初春は変動が大きいため1～2月が最も安定した。また、低温風洞装置を用いた実験では切枝、鉢植苗とも無風状態で -25°C に耐えるが、 $15\text{m}/\text{sec}$ の風を併用すると -15°C でも激害が発生する。このことから $10\text{m}/\text{sec}$ で切枝を処理すると時間に関係なく健全クローンも認められた。耐凍性は胴枯れ型の凍害の発生する造林地にスギクローンを植栽し、切枝を用いた人工凍結実験の結果との被害率で有効性を検討した。厳寒期の処理温度は -25°C で下降時間、凍結状態、 0°C まで上昇の融解条件はそれぞれ16時間が作業効率も含め最良であった。なお、ヒノキクローンの特殊検定法の開発は今後の課題となった。

1 はじめに

林木の抵抗性育種を効率的に進めるためには、選抜や交雑などによって得られた個体・集団について育種目標となる抵抗性の差異を迅速に評価することが重要になる。寒さの害は凍害と寒風害に区分される^(酒井:1982)。よって、寒さの害に対する抵抗性の検定は被害種の異なる凍害と寒風害それぞれの被害の常習地に植栽して検定すべきであろう。一方、検定材料を実際に被害現地に植栽したことによる被害の発生は年により造林地の立地条件、気象要因など環境条件によって大きく左右されることは明らかであり、多量の材料を同一条件下で検定することは不可能に近い。このため、「気象害抵抗性育種事業実施要領」においては、寒さの害の抵抗性を被害の常習地に実際に植栽して検定する通常検定と室内実験等間接的な手法による特殊検定を併用し、事業の効率的な実施と精度の向上を図ることになっている^(林木育種協会:1980)。また、特殊検定によって十分な精度が得られるのであれば、時間の短縮と労力の削減を期待できる。このため、関東林木育種場（現林木育種センター）では、抵抗性育種事業がはじまった昭和45年から特殊検定法の確立を目的として、切枝の乾燥抵抗、低温風洞装置を用いた実験、人工凍結実験と現地検定の結果との関係を検討した。

本報告は凍害と寒風害の特殊検定法の開発に関する一連の研究を要約するものである。

1) 林木育種センター西表熱帯林育種技術園
〒907-1433 沖縄県八重山郡竹富町南風見仲36-5
Forest Tree Breeding Center Iriomote Toropical Tree Breeding Technical Garden
36-5 Haeminaka, Taketomi, Yaeyama, Okinawa 907-1433 Japan

1. 1 スギ切枝による乾燥抵抗の測定

関東林木育種場内は胴枯れ型の凍害常習地とされる^(堀内:1976)。そこで、関東林木育種場内(水戸市笠原町地内)に植栽されたスギクロンを供試材料とし、冬季間に発生した被害を調査した。同時に対象クロンの採穂台木から採取した切り枝によって乾燥抵抗を測定した。両手法による調査結果の相互関係を検討することにより、凍害に関する特殊検定法の確立を図った^(田淵・古越:1975, 田淵:1976)。

スギ採穂台木から冬季間に20~25cmの当年枝を10本採取し、生重量を直ちに測定した。その後、室内の棚で枝葉が重複することがないように配慮してランダムに並べ、乾燥重量を定期的に測定した。この生重量に対する乾燥の重量比を求め、その経時変化に基づきクロンを評価した。

第1回目の実験は昭和47年12月中旬、精英樹10クロンを供試材料として実施した。それぞれのクロンから先に示した切枝をそれぞれ10本ずつ計100本を採穂し、1か月後に測定した乾燥重量から平均脱水率を算出して表1に示した。この結果を分散分析したところ、クロン間に有意差が認められた。クロン平均値をLSDによって比較すると、強にランクされたクロンが6、弱にランクされたクロンが1、中程度の抵抗性にランクされたクロンが3あった。また、弱にランクされた精英樹はサンプスギ系の林分から選抜されたものである。

表1. スギクロンの級平均比較と分散分析表

順位	クロン	平均脱水率	Q0.05 S \bar{x} 6.35	範囲	
1	下高井5	38.26%	↓	1-6	
2	今市3	41.18		1-8	
3	久慈12	41.29		1-8	
4	勢多5	41.76		1-8	
5	長野5	42.10		1-9	
6	坂下2	42.22		44.61	1-9
7	揖斐3	44.93		1-9	
8	南会津5	45.20		1-9	
9	喜多方1	47.80		2-9	
10	筑波1	55.81		49.46	10-10

分散分析表(第1回12月11日)

要因	自由度	平方和	平均平方	分散比
級間	9	2161.76	240.20	12.66**
級内	90	1707.72	18.97	
全体	99	3969.48		

(注)**: 1%水準で有意

$$D = Q0.05 \bar{x} 6.35$$

$$SD = \sqrt{2S^2/n} = 1.95$$

第2回目は、1月下旬に前回と同様の手法により、CR系(寒害の激害地で実験的に選抜された個体 cold resistance 略)を含めた精英樹41クロンを供試材料として実験を行った。採取直後からの経過日数が3週間目の測定結果を分散分析し、その結果を表2に示した。表2から明らかなように、クロン間に有意差が認められた。一方、脱水率のクロン平均値は24.96%から53.13%まで変異した。Q0.05S \bar{x} の31.03%を基準とし、クロン平均値から順位づけを行うと、16クロンは強、47.06%以上の3クロンは弱、他の22クロンはそれらの中間にランク付けられた。また、この結果とLSDの値による評価付けとは中位に位置するクロンでは順位の変動が大きかったものの、1位から16位までにランク付けられたクロンは一致した。

これらにより、切り枝の乾燥抵抗速度にクロン間差があることがわかった。よって、感受性クロンを淘汰することによって常習地における通常検定の効率化が期待できると考えられた。

さらに、時期を変えて実験を繰返した結果、実験当初の2週間は乾燥速度が著しく早く、その後は緩慢になることがわかった。また、クロンの分散比が最も高くなるのは初冬で実験開始2週間後、厳寒期で3週間後であった。しかし、耐凍性の獲得が徐々に消失して行く初春では1週間後と早い時期になる傾向にあった。

乾燥による脱水率が低いクローンについて、実験開始後2週間の脱水率を採取時期別にみると、11月下旬が31%、12月中旬24%、1月下旬は19%、2月上旬は16%と順次低下す

表2. スギクローンの乾燥抵抗性による分散分析表

要因	自由度	平方和	平均平方	分散比
級間	40	16021.96	400.55	27.68**
級内	36	5341.23	14.47	
全体	409	21363.19		

$$D = Q 0.055S\bar{x} 6.07$$

$$SD = \sqrt{2S^2/n} = 1.20$$

(注)**: 1%水準で有意

る傾向にあった。その後、2月下旬が23%、4月中旬には35%になった。このように、初冬から厳冬期至るまでは脱水率が低下し、その後は上昇する傾向にあった。このことは、脱水に対する枝葉の抵抗が厳冬期に向かって上昇する、枝葉自体の含水率が低下する、あるいは両者が総合して切り枝の乾燥抵抗が変化することを示唆しているが、いずれにしても1月から2月は脱水率の変化が小さいことは明らかであった。

以上の結果により、スギ切枝を用いた乾燥抵抗性の実験適期は、耐凍性を獲得する初冬や消失する春先を避けて1月～2月の厳寒期が最も良好であるとした。

1. 2 低温風洞装置による乾燥抵抗の測定

寒風害の発生する造林地は東北地方の太平洋側、北上山系から関東平野北部の阿武隈山系南端までに多く、冬季間の季節風が常風となって吹きつけ、比較的標高の高い北西斜面の風衝地（沢沿い、尾根筋を含む）に多く発生する^(吉川:1968)。この被害は樹冠の梢端や枝先から徐々に脱水乾燥して行くが、被害が激害になると枝葉は全て枯損し、地際の幹だけ生存している場合も多い。これらの被害形態を再現することを目的とし、林業試験場東北支場（現森林総合研究所東北支所）に人工低温風洞装置が設置された。そこで、東北林木育種場（現林木育種センター東北育種場）と林業試験場東北支場はこの装置を利用した共同研究を企画し、スギ精英樹と関東林木育種場が独自に選抜した寒害抵抗性クローンであるCR系クローンを供試材料として実験を行った。

予備実験の要因として処理温度と風速の組み合わせを時期別に示したのが表3である。予備実験においては、切枝と3年生苗の鉢植は、無風状態で-20℃、-25℃の低温に耐えることができたが、風を併用すると-15℃でも被害が発生した。また、被害形態の観察からこの被害は凍害が枯損の主な原因であるとした。この被害は耐凍性を十分獲得した実生3年生

表3. 低温風洞実験によるスギの被害率

材料	処理	温度 (°C)	風速 (m/sec)	処理時間の被害状態		
				8時間	16時間	24時間
切枝	1月	-5	20	-	-	-
		-15	15	+++	+++	+++
	2月	-5	20	-	-	-
		-10	20	+	+	++
鉢植	1月	-15	15	+++	+++	+++
		-5	20	-	-	-
	2月	-15	15	++	++	+++
		-5	10	-	-	-
		-10	10	+	+	+
		-15	10	++	++	+++

(注) 低温風洞処理時間に対する被害率は、-: 健全で0%,
+: 1~29%, ++: 30~69%, +++: 70~100%を示す。

苗を寒風にさらすと、初めは樹冠の下層から褐変が始まり、次第に上層の針葉まで進行し、梢端部が最後まで生存した。よって、この部分が最も凍結に対する抵抗が強い部分であるとした。

予備実験の結果に基づき、低温風洞による被害再生の実験を関東林木育種場（現林木育種センター）のスギ精英樹の切枝を供試材料として昭和48年2月行った。なお、切り枝は1月下旬に採取したうえで林業試験場東北

支場に送付し、実験まで0℃の冷蔵庫に保存した。処理条件は次の通りである。処理温度は-15℃、風速は10m/secでそれぞれ一定とし、処理時間を8、16、24時間の3段階に変えた。クローンごとの供試本数は処理時間ごとに2本であった。よって、2本×3処理=6本であり、全体の供試枝数は6本×供試した44クローン=合計264本であった。風洞処理した枝葉は直ちに温室に水挿し、約1か月間水耕した後に被害を調査した。被害の判定は形成層の剥皮褐変の程度によって行い、無被害で健全の場合を(-)、褐変が全体の1/3以下を軽害(+), 褐変が1/2~1/3程度を中害(++), 全体が褐変を激害(+++)とした。結果を表4に示す。

表4. スギ精英樹, CR系クローンの低温風洞と切枝による耐凍性の評価

精英樹 クローン名	被害程度			CR系 クローン名	被害程度		
	8時間	16時間	24時間		8時間	16時間	24時間
相馬1	++	+++	+++	富岡3	-	+	+
伊達1	+	+	+	5	-	-	+
喜多方1	+	+	+	白河1	-	+	++
太田原2	++	++	++	2	+++	+++	+++
沼田4	-	-	+	3	++	+++	+++
那珂6	++	++	++	高崎2	+++	+++	+++
久慈12	+++	+++	+++	太子1002	++	++	+++
19	+++	+++	+++	1005	-	+	++
筑波1	+++	+++	+++	埼玉4	+++	+++	+++
新治6	+++	+++	+++	秩父2	+	++	+++
高萩13	+	++	++	3	++	++	+++
西川3	+++	+++	+++	諏訪2	+++	+++	+++
13	++	+++	+++	5	++	+++	+++
比企1	-	-	-	下呂1	+++	+++	+++
中7	+++	+++	+++	2	+++	+++	+++
塩科1	+++	+++	+++	3	+++	+++	+++
下高井2	++	++	+++	5	+++	+++	+++
長水3	+++	+++	+++	9	-	+	++
飯山18	-	-	-	11	+	++	+++
鎌次2	+++	+++	+++	12	+	++	+++
沼津3	++	++	+++	14	++	+++	+++
				結城1001	++	+++	+++
				津久井1001	+	+	++

(注) 切枝の風洞処理に対する被害程度は、-: 無被害、+: 軽害、++: 中害、+++ : 激害で標示した。

実験時期は耐凍性が最も高まったことが期待できる厳冬期である。表4から明らかなように、比企1と飯山18は処理時間の長さに関係なく無被害であり、久慈12ほか16クローンは8時間処理で激害を受けた。また、24時間処理では軽害であるが、それ以下の時間では無被害となった沼田4、CR富岡5のようなクローンも存在した。なお、この実験では風洞処理の前後において供試材料のハードニングなど前処理を行っていない。

1. 3 低温恒温室を用いた人工凍結実験

耐凍性は、耐低温性の獲得時期の早晚性、厳寒期における耐性の最高値、消失までの期間などの因子が相互に組み合さって決定されるものであると考えられる。人工凍結実験は、処理温度、温度の低下率などの処理条件を変えて切枝や鉢植えしたさし木苗に低温を与え、これによって凍害を再現するものである。

関東林木育種場(現林木育種センター)では、人工凍結実験の結果と胴枯れ型の凍害の発生する造林地にスギクローンを植栽し、この生存率の結果との間の相関関係によって本検定法の有効性を検討した。実験は温度の時間変化をプログラミングできる恒温室(タバイ製TBU-3NIOR型、温度プログラム設定)を用い、温度と時間

の処理条件を変え、最適の処理条件を決めるために行った^(藤澤・田淵:1984)。

表5. スギ切枝の人工凍結処理による条件とその結果

実験日	温度低下過程の条件			温度上昇過程の条件			凍結温度	処理クローン数	結果
	室温と凍結温度との温度差 ℃	温度下降時間 h	温度低下率 ℃/h	温度差 ℃	凍結時間 h	温度上昇率 ℃/h			
1982年2月10日	20.0	0.5	40.0	20.0	2.0	40.0	-25	6	全て枯損
3月4日	15.0	0.5	30.0	15.0	2.0	30.0	-20	22	全て枯損
4月14日	15.0	0.5	30.0	15.0	2.0	30.0	-20	50	全て枯損
11月16日	12.0	1.0	12.0	17.0	16.0	11.3	-17	27	全て枯損
12月15日	22.0	16.0	1.4	22.0	16.0	1.4	-12	200	全て生存
1983年1月10日	22.0	16.0	1.4	22.0	16.0	1.4	-15	200	全て生存
1月13日	29.0	16.0	1.8	22.0	16.0	1.8	-25	60	適
1月27日	26.0	16.0	1.6	22.0	2.0	11.0	-22	200	適
2月21日	26.0	16.0	1.6	22.0	2.0	11.0	-22	140	適

処理法は、凍結温度を -22°C から -25°C の間、温度の低下率を $1.6^{\circ}\text{C}/\text{時間}$ から $1.8^{\circ}\text{C}/\text{時間}$ の間、温度の上昇率を $1.8^{\circ}\text{C}/\text{時間}$ から $11.0^{\circ}\text{C}/\text{時間}$ の間で変化させた。結果を、表5に示した。その結果、幹や枝葉の凍害発生にクローン間差が認められる最適の条件が明らかとなった。すなわち、外気温からの温度低下率 $30\sim 40^{\circ}\text{C}/\text{時間}$ で急速に -25°C まで降下凍結し、短時間に融解するとほとんどの検定クロンの切枝は枯損した。一方、耐凍性を最も獲得している厳寒期の凍結処理温度を -15°C に設定すると、ほとんど被害が発生しなかった。よって、処理温度を -22°C から -25°C とし、所定の処理温度まで16時間かけて下げ、凍結状態で16時間維持した後、16時間で 0°C まで上昇させて融解させる処理条件が最適であった。実験の処理条件を図1に示す。

この実験結果による生存率から、クロンの抵抗性を評価した結果を表6に示した。表6から供試した410クロンのうち80%以上生存したクロンは全体の16.8%の頻度であり、70%生存までを許容するとすると全体の27.3%にあたる112クロンが合格クロンとなる。この手法によって複数年にわたって厳寒期に実験を繰り返す、それらを総合して最終的な抵抗性の評価を行った^(藤澤・田淵:1987)。

ヒノキの特殊検定法の開発は困難な面が多かった。すなわち、スギの凍結実験と同様に処理条件を適用したばあい、水挿し3か月後には被害葉が落下するとともに、軽害の個体では師部の枯死によって水の吸い上げが困難になり全体が枯死に至った。また、切枝の乾燥抵抗を測定するばあい、枝葉が乾燥すると鱗片葉が離散したり2・3次枝が落下することによって誤差が大きくなった。

このため、ヒノキについては特殊検定手法の開発は滞っているのが現状である。これまでに、候補個体からさし木苗を養成し、1年生及び2年生苗を鉢植することにより人工凍結実験を行う技術開発が試みられたが大きな成果は得られていない。この手法は供試材料が鉢植えであることをのぞくと、スギクロンの凍結実験と大差はない。

処理温度を探る目的で実生の1年生苗の鉢植えを供試材料として実施した。温度の下降率と上昇率を図1に示した処理条件と同じにして -18°C を16時間維持した場合の生存率は60%から80%の値であった。同様にして凍結温度のみ -25°C に下げた場合の生存率は60%であった。これらは、ヒノキは凍結温度をスギより低く設定する必要があることを示唆していた。しかし、鉢が浅い場合には土壌凍結によって根系の障害が発生することが判明した。この現象は地上部の被害に強く影響することから、深鉢によって根系を保護する必要のあることもわかった。

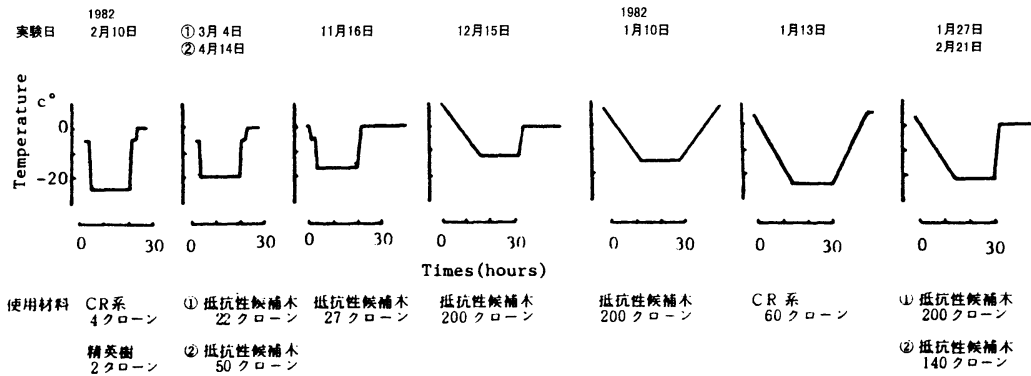


図1. 人工凍結実験の温度処理プログラムとスギ供試クローン数

表6. 人工凍結実験によるスギクローンの生存率頻度

生存本数	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	計
前橋営林局												
耐寒風	7	12	15	21	23	21	23	21	23	27	20	213
耐凍		1	1							4	2	8
耐雪									1			1
東京営林局												
耐寒風	3	6	9	8	7	6	11	6	7	6	4	73
耐凍	1			4	3	5	4	9	6	5	7	44
埼玉県												
耐寒風			2	1	1			2	2	1		9
育種場CR系		3	9	9	8	7	4	7	7	5	3	62
合計	11	22	36	43	42	39	42	45	46	48	36	410

これらの予備実験に基づき、ヒノキ耐寒風抵抗性候補木から養成したさし木当年生苗を鉢に秋植して野外で厳寒期までハードニングを行い、 -20°C を16時間維持と -25°C で16時間維持の2種の人工凍結実験を行った。クローンあたり3本で9系統を供試材料とした。よって、全体の供試数は3本 \times 9系統 \times 2反復 \times 2処理温度=108本となる。凍結処理後、鉢植えをハウス内に移動して養生し、4カ月後に被害調査を行った。その結果、凍結温度を -20°C で処理したばあいはいずれの個体も枝葉にはほとんど被害は認められなかった。一方、凍結温度を -25°C に設定した場合は、針葉、形成層ともに軽害から中害程度の被害を受けた。よって、凍結温度を -25°C とし、この温度を16時間維持する。設定温度までの温度低下に16時間をかけ、凍結処理後、 0°C まで16時間かけて上昇させて解凍する。この処理条件を中心として最適の処理条件のあることが推定された。

一方、ヒノキは師部が薄いため、剥皮による形成層の被害調査にはスギのばあいよりも困難が伴う。しかし、針葉の被害が微害であっても形成層の被害は中害を示すこともあったので、今後は両者の相関関係を詳細に検討する必要があると判断された。

このように、ヒノキの特殊検定法の開発は今後の課題として残されている。

引用文献

- 1) 藤澤義武・田淵和夫：関東林木育種場年報，16，241～247（1984）
- 2) 藤澤義武・田淵和夫：関東林木育種場年報，19，54～66（1987）
- 3) 堀内孝雄：茨城県林試研報，10，1～59（1976）
- 4) 林木育種協会：林木育種事業運営要綱，88～113（1980）
- 5) 酒井昭：学会出版センター，469pp（1982）
- 6) 田淵和夫・古越隆信：関東林木育種場年報，11，255～270（1975）
- 7) 田淵和夫：関東林木育種場年報，12，228～234（1976）