

九州におけるスギ、ヒノキ幼齡木の凍害と防止

高木哲夫⁽¹⁾

TAKAGI, Tetsuo : Freezing Injuries and Their Protection of Young Plantation
of Sugi (*Cryptomeria japonica*) and Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*)
Trees in Kyushu District

要 旨：九州地域に多発する若いスギ、ヒノキの造林地における凍害の実態を調べ、凍害の発生地形並びに発生気象条件などを明らかにするとともに、凍結実験による耐凍性の評価と耐凍性の品種間差、クローン間差を明らかにした。さらに、これらの知見から凍害防止法を試験的に実行し、若い造林地の凍害防止効果を判定した。

九州における凍害は耐凍性が十分に備わっていない初冬期、及び耐凍性がなくなっていく初春期の低温によって起こり、中部山地、盆地、台地などで多発した。耐凍性は晩秋期の気温低下に伴って急速に高まり、厳冬期に最大となったのち、初春期に向けて消失していく。厳冬期の耐凍性はスギでおよそ -20°C 、ヒノキで -25°C 、アカマツで -30°C であった。耐凍性に品種間差、クローン間差があり、オビアカ、メアサ、ヤブクグリが比較的強い品種、高岡署4号が比較的強いクローンであった。凍害の発生は幼齡木の耐凍性と接地気温の低下に伴う樹体温低下と関係が深かったので、凍害防止として、幼齡木基部の日中の高温化防止が有効であった。すなわち、植栽地形の選択、下刈の程度をかえる造林地植生の有効利用のほかに、樹下植栽法、マツ類の先行植栽による側方混植法あるいは囲み植えなどが凍害防止技術として有効であった。

目 次

1	はじめに	2
2	凍害の実態解析	3
2.1	被害の発生面積と発生経過	3
2.2	凍害の発生地域、地形、林齢	6
2.3	凍害の被害型	10
2.4	凍害の発生時期	11
3	凍害の発生機構	14
3.1	主要林木の耐凍性の季節変化	14
3.2	耐凍性の年変動	16
3.3	生育環境と耐凍性の関係	17
3.4	耐凍性の地域間差	20
3.4.1	高海拔地と低海拔地のスギの耐凍性	20
3.4.2	暖地と寒冷地に植栽されたスギ精英樹クローンの耐凍性及び耐凍性の産地間差	20
3.5	幹下部の耐凍性	22
3.6	スギ在来品種の耐凍性	25

3.7 スギ精英樹クローンの耐凍性	25
3.8 スギ, ヒノキの潜在的耐凍性の評価	32
3.8.1 スギのクローン及び品種について	34
3.8.2 ヒノキ精英樹クローンについて	36
4 凍害防止法の検討	38
4.1 樹体温度の日変化と温度調節法	38
4.1.1 冬季の樹体温度の日変化	38
4.1.2 囲み植え, 遮光板立て, 下刈りの効果	39
4.1.3 日覆いの効果	40
4.2 植栽法, 下刈り法による凍害防止効果	40
4.2.1 クロマツ側方植栽法 (混植法)	40
4.2.2 樹下植栽法	42
4.2.3 下刈り方法	42
5 おわりに	44
引用文献	46
Summary	50

1 はじめに

九州は日本列島の南西端に位置し、気候温暖な多雨地帯に属する林業上恵まれた地方である。このような九州において、植栽幼齡木が寒害によって枯死することは、一般的に考えられていなかった。

九州では、昭和 17 年 (1942) ころ、霧島山塊周辺の国有林で集団的にスギの幼齡木が枯死したが、翌年には被害が認められず、このような枯死が問題視されなかった。昭和 31 年 (1956) 以来、九州各地で毎年のように、4～5 月ころスギ、ヒノキの幼齡木が大量枯損するようになった。特に、昭和 32 年 (1957) には、数千 ha に及ぶ被害が南九州に発生し、原因不明の災害として、林業関係者を困惑させた。こうした被害が年々、相当量発生することから、九州の林業上無視できない重要な災害であるとされ、その対策が論じられるようになった。

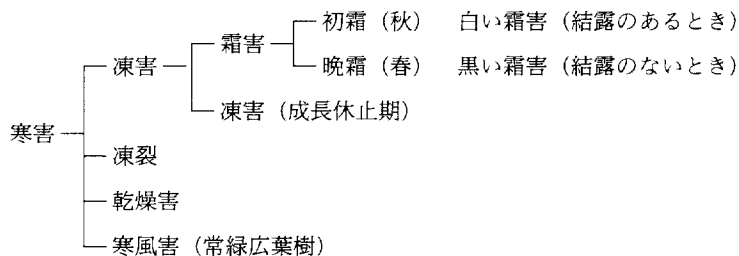
徳重ら (1962) は、この原因不明の被害について、当初、樹病の側面から調査したが、被害が病原菌によるものでなく、凍霜害による被害であることを突き止めた。その結果、温暖な九州でもスギ、ヒノキの凍霜による被害枯損があることが一般に知られるようになった。

凍霜害は、すでに北海道のエゾマツ、トドマツ (今田・佐々木, 1959)、東北・関東のスギ・ヒノキ (古川・岩崎, 1978、堀内, 1969) で知られており、九州のスギの凍霜害は、暖地でも発生する被害として注目を浴びた。

凍霜害は、気象害であるが発生機構は複雑であり、被害の対策技術の確立には、発生機構の解明を必要とする。徳重ら (1962) の実態調査が発端となって、林業試験場九州支場 (現森林総合研究所九州支所) では、昭和 37 年 (1962) から、関連研究室の共同研究態勢がとられた。また、九州の地域問題であ

ることから、九州各県の林業試験場との共同研究、さらに発生機構の解明には他地域の凍霜害研究との連携の必要性から、本・支場・各県試験場との共同研究へと発展した。その結果、昭和40年（1965）代に、凍霜害の発生機構に関する研究は飛躍的な進歩をとげ、凍霜害がほかの寒害と区別されて論議されるようになった。

すなわち、林木の寒害は、凍結による凍害から、風を伴う低温による乾燥害（寒風害）、幹が凍裂を起こす被害まで多様であることが分かり、酒井（1982）は、寒害を以下のように分類した。



すなわち、九州に発生する寒害は上記の凍害のなかに明確に位置づけされることが明らかとなった。

本研究は、九州におけるスギ、ヒノキ幼齡木の凍害について、凍害の発生実態、発生を誘発する環境条件、発生の可否をきめる耐凍性から、凍害の発生機構を明らかにするとともに、凍害防除技術の確立に資するいろいろな防除法を予備的に実施した結果である。

本研究は長期間にわたって、多くの方々の支えによって進められた。

今は亡き元林業試験場九州支場のちに鹿児島大学教授徳重陽山博士、元北海道大学低温科学研究所酒井 昭博士、元林業試験場長土井恭次博士、元同九州支場長甲斐原一朗博士ほか歴代支場長各位、共同研究時代の九州支場造林研究室長（元同九州支場長）尾方信夫氏、上中作次郎氏（現森林総合研究所九州支所暖帯林研究室長）、九州支場造林第一研究室長大山浪雄氏（同元関西支場育林部長）、九州林木育種場育種課長藤本吉幸氏の方々にはご指導とご協力を賜り、九州林木育種場と宮崎県林業試験場には実験材料や苗木を快く提供していただいた。また、森林総合研究所九州支所暖帯林研究室の方々には現地調査やデータ整理を快くお引受けいただいた。これらの方々に深く感謝の意を表する。この論文のとりまとめに当たって、森林総合研究所森林環境部の植物生態科長森川 靖博士には多くの助言と励ましをいただいた。厚くお礼申しあげる。

2 凍害の実態解析

2.1 被害の発生面積と発生経過

九州における林木の寒害による被害面積をTable 1（昭和31～49年度）、Figs. 1, 2（昭和39～57年度）に示す。その結果、被害に年変動があるものの、被害面積はかなり多いことが分かった。全国の気象被害面積のなかで、凍害は雪害のつぎに多いが、凍害のなかで九州の占める割合は5.5%であった。面積割合では少ないが、およそ9千haと実数ではかなりの面積にのぼる。九州地方の被害面積のなかで、

Table 1. 九州における凍害、寒風害の被害面積（徳重ら（1962）、尾方ら（1968））

Freezing and winter desiccation injuries area (ha) in Kyushu

県 Pref.	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966
福岡 Fukuoka	683.8					21.9		85.3 (3.0)			
長崎** Nagasaki						1.4					
佐賀** Saga						1.9					
熊本 Kumamoto		27.0		225.5		341.9	21.6 (10.3)	81.7 (49.3)	2.2 (2.2)	50.3 (50.3)	
大分 Ooita		5.0				393.2	24.5 (15.6)	13.6 (2.3)	1.7 (1.2)	28.9 (14.1)	
鹿児島 Kagoshima		3 852.2	153.8			14.3	59.6 (59.6)	85.2 (85.2)		74.4 (74.4)	
宮崎** Miyazaki		633.0				142.4					
国有林 National Forest		362.0*	176.0*	131.0*	216.0*	670.3*	11.0	944.0		100.0 (100.0)	1 762.0 (1 071.0)
合計 Total	683.8	4 879.8	329.8	356.5	216.0	1 587.3	116.7 (85.5)	1 210.3 (139.8)	3.9 (3.4)	253.6 (238.8)	1 762.0 (1 071.0)

* : 枯損原因が暗色枝枯病とされているが、1 次的原因は凍霜害と判断されるので記入した。

** : 佐賀、長崎、宮崎については1962～1966にかけてのデータが得られなかった。

() 内は凍害のみの数値

* : It was reported as disease, however, initial injury would be by frost.

** : There is no information of injuries area in Saga, Nagasaki, and Miyazaki from 1962 to 1967.

() frost injury only

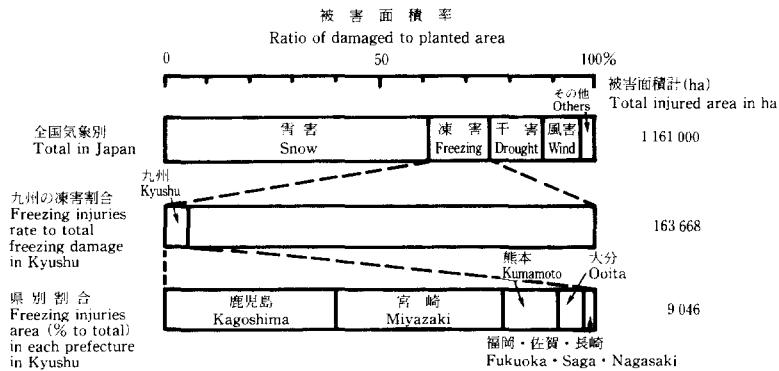


Fig. 1. 材木の全国気象害からみた九州の凍害（1964～1982）

Injured area of freezing by abnormal climate in percentage from 1964 to 1982

注：森林国営保険資料による（国有林含まず）

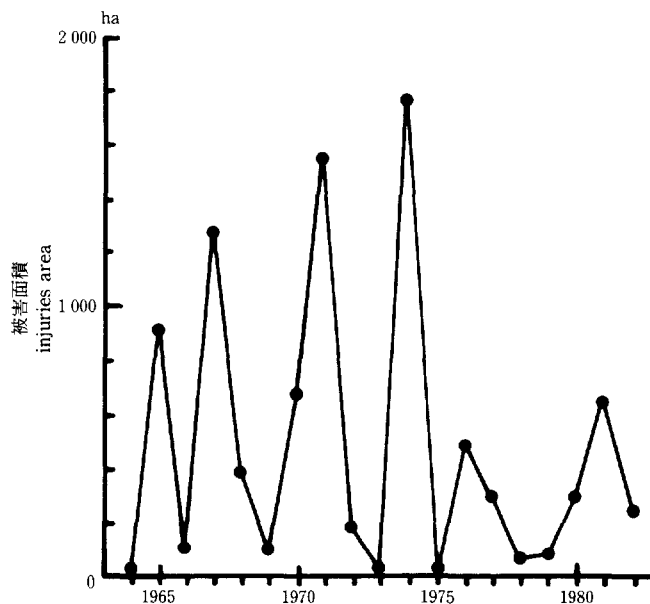


Fig. 2. 九州地方における凍害の年度別被害面積

Yearly trend of freezing injuries area in Kyushu

注：森林国営保険資料による

鹿児島県が40%を占めて最も多く、ついで宮崎県39%、熊本県13%、大分県6%、その他(福岡、佐賀、長崎県)3%の順であった。被害樹種はスギ、ヒノキであるが(Table 2)、九州全体の被害面積はスギが3 524 ha (79%)、ヒノキが932 ha (21%)でスギの被害が圧倒的に多かった。スギ、ヒノキの県別被害面積は、スギの場合、宮崎県、ヒノキの場合、鹿児島県が最も多く、福岡、佐賀、長崎県は両樹種とも少なかった。

Table 2. 九州における凍害の延べ被害市町村, 件数, 被害面積

Total number of freezing injured cities, towns, and villages, total number of freezing injured occurrences, and total injured area for ten years (1970~1979)

県 Pref.	スギ <i>Cryptomeria japonica</i>			ヒノキ <i>Chamaecyparis obtusa</i>		
	被害延べ市町村数 No. of administrative districts	被害件数 occurrence	被害面積 (ha) area	被害延べ市町村数 No. of administrative districts	被害件数 occurrence	被害面積 (ha) area
福岡 Fukuoka	9	28	11.12	4	5	0.94
佐賀 Saga	4	6	13.41	3	3	11.33
長崎 Nagasaki	1	2	2.44	2	5	6.04
熊本 Kumamoto	63	1 150	938.53	52	299	248.70
大分 Ooita	59	330	178.37	29	51	30.36
宮崎 Miyazaki	131	1 387	1 384.39	55	270	296.90
鹿児島 Kagoshima	169	3 956	995.55	98	1 207	338.03
合計 Total	436	6 859	3 523.81	249	1 840	932.30

注：昭和45～54年度（10か年），森林国営保険資料により改算

2.2 凍害の発生地域, 地形, 林齢

10年間のうち、各県市町村の被害を受けた年数を用いて、九州地方の凍害発生区分を行った(Figs.3～5)。スギ、ヒノキの凍害発生地域はほとんど同じ地域に発生していることが分かる。しかし、九重山塊周辺、宮崎県中南部海岸よりでは、ヒノキの凍害発生はなく、スギのみであった。これらのことから、スギ、ヒノキの凍害発生は、熊本県、大分県を境とする北九州には少なく、南九州地域に多いことが明らかとなった。すなわち、九州におけるスギ、ヒノキの凍害の常習的多発地帯として、九州中央山地を主とする九重、阿蘇、霧島山塊周辺、人吉、球磨盆地、大口盆地、都城盆地、志布志、鹿屋の大隅地区などである。

発生箇所は、標高にあまり関係がなく、山麓、丘陵、盆地、谷間、山合いのやや平坦なところに集中していた。また、発生地形は、南斜面、凹地、谷筋、平坦台地の黒色火山灰土壌地帯が比較的多かった。

被害木の樹齢は、植栽当年から5、6年未満の幼齢木に集中する特徴があった。

九州の七つの気候区分(Fig.6 福岡管区気象台 1964)特性と多発地帯を比べたところ、凍害発生の大部分の地域が南海型(宮崎県、鹿児島県の東側半分、高温多湿で冬季の晴天に恵まれた気候地域、年平均気温およそ17℃、1月の平均気温7～8℃、年降水量2 000～3 000 mm)、山地型(九州中央部山地、年平均気温15℃以下、1月の平均気温5℃以下、年降水量2 000 mm以上)に含まれていた。

凍害の発生は、その地域の冬季の最低気温と関係が深いといわれている。早川ら(1985)は九州の冬

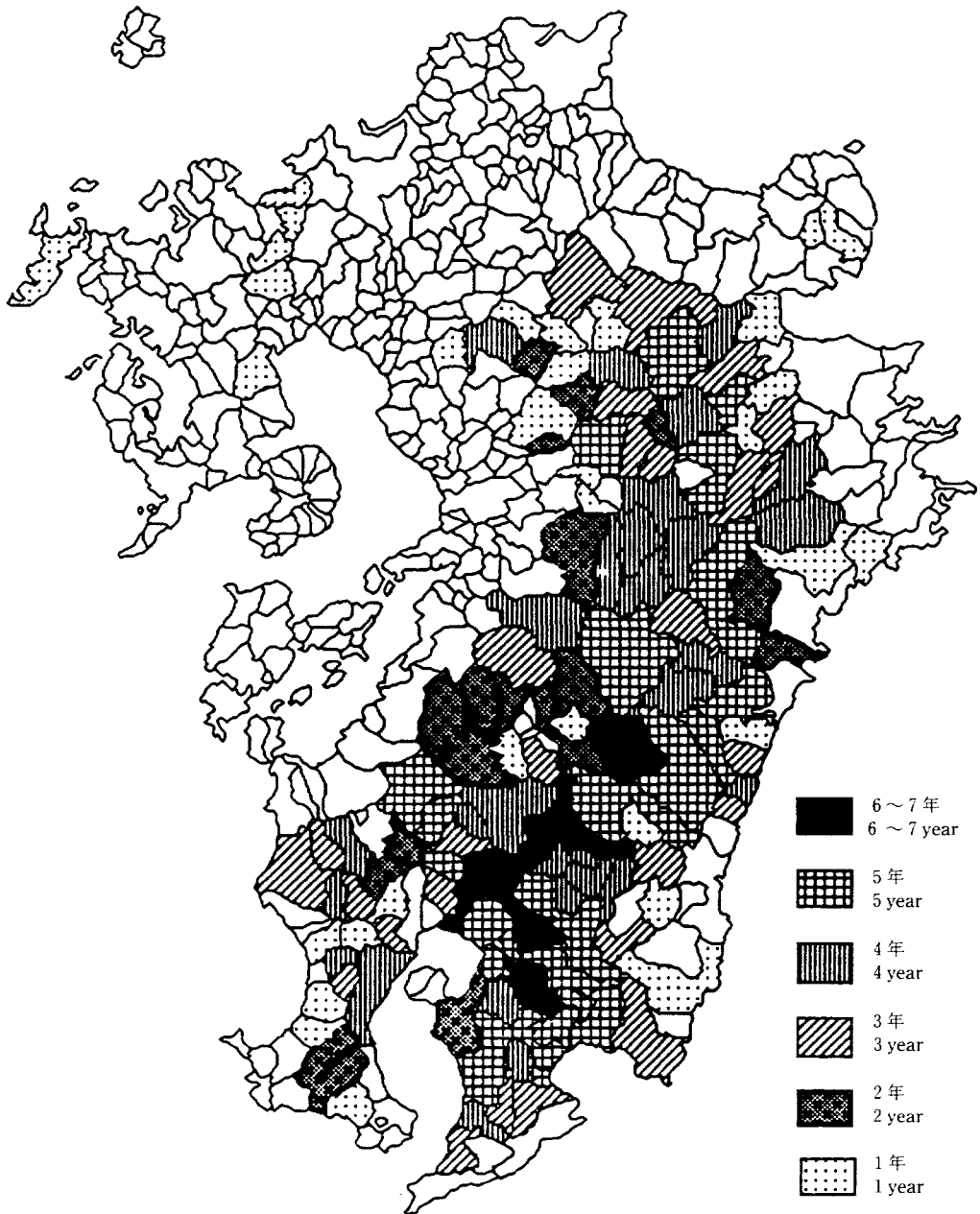


Fig. 3. 九州におけるスギの凍害発生地域

Frequency map of frost injuries of planted *Cryptomeria japonica* in Kyushu for ten years (1970~1979)

注：森林国営保険資料による

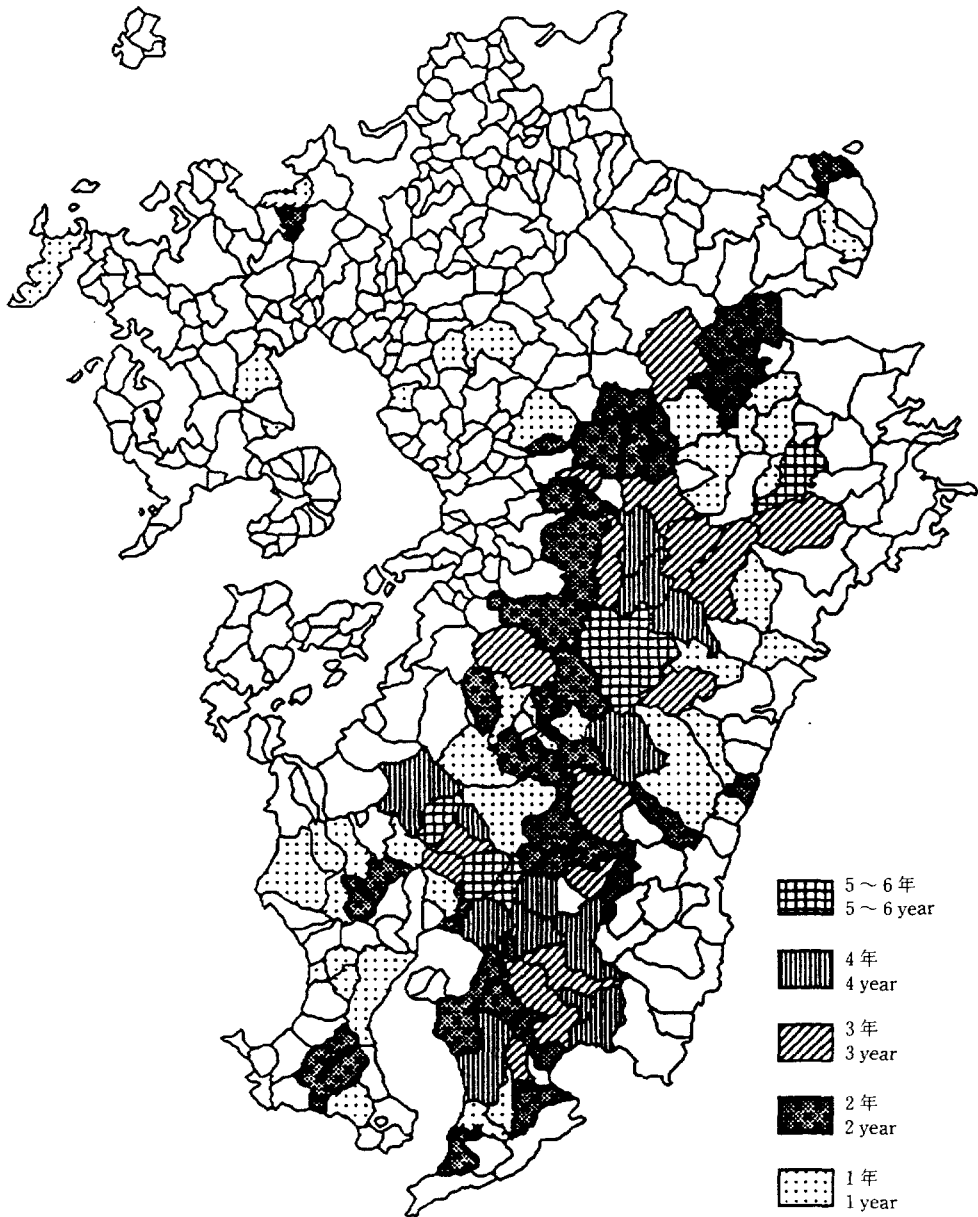


Fig. 4. 九州におけるヒノキの凍害発生地域

Frequency map of frost injuries of planted *Chamaecyparis obtusa* in Kyushu for ten years (1970~1979)

注：森林国営保険資料による

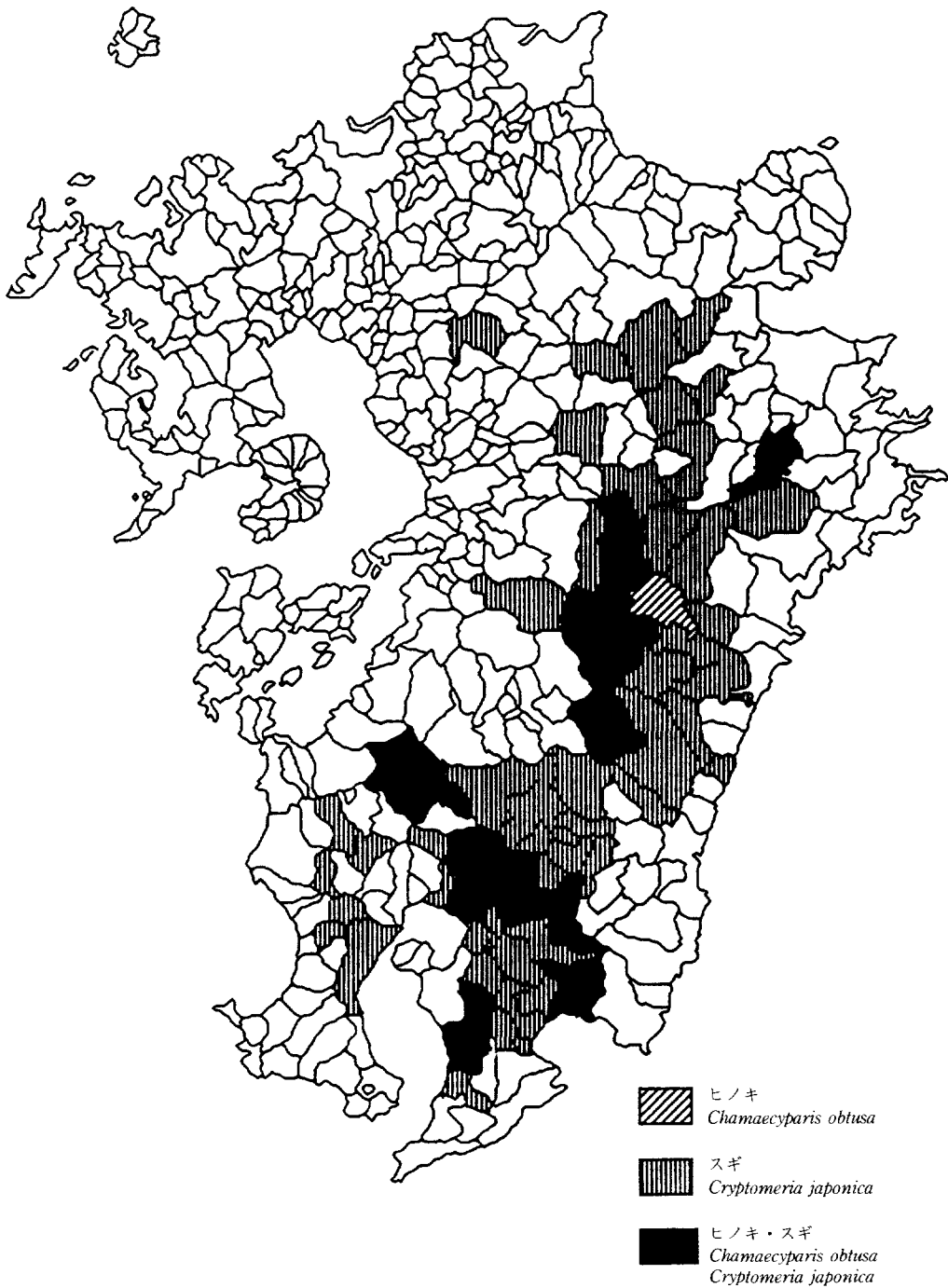


Fig. 5. 九州におけるスギ・ヒノキの凍害多発地域

Sensitive districts to frost injuries of planted *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* in Kyushu for ten years (1970~1979)

Data indicate the districts with over four injured years for ten years (1970~1979).

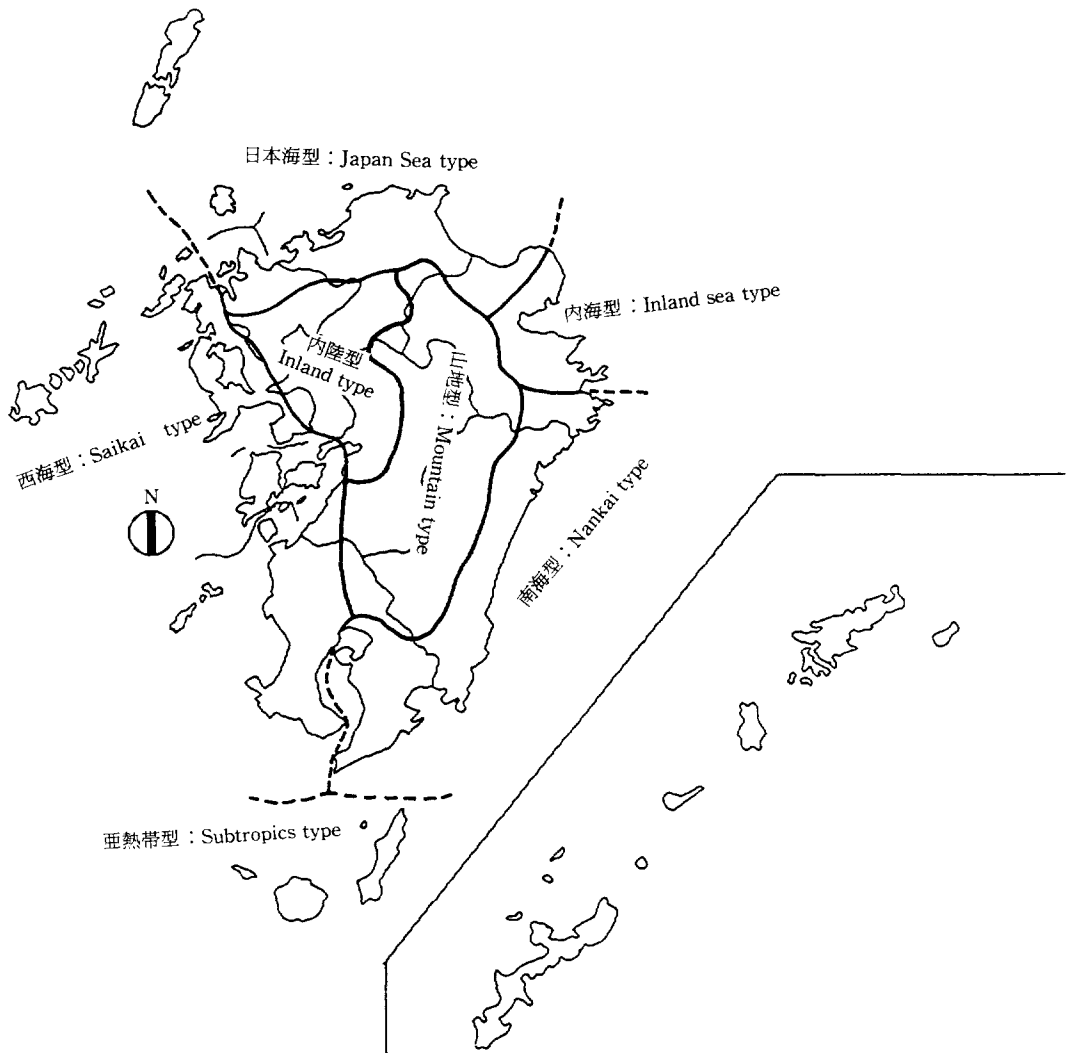


Fig. 6. 九州の気候区分 (福岡管区気象台 (1964))
Clasification of climate in Kyushu

季最低気温の地理的分布特性を述べた。それによると、冬季の移動性高気圧におおわれたとき、盆地や山岳地帯の気温低下が著しく、特に人吉や大川などの盆地、大隅半島などでの冷却が著しいとしている。従って、これらの低温発生地域の配置が凍害発生地域を規定していると考えられる。

2.3 凍害の被害型

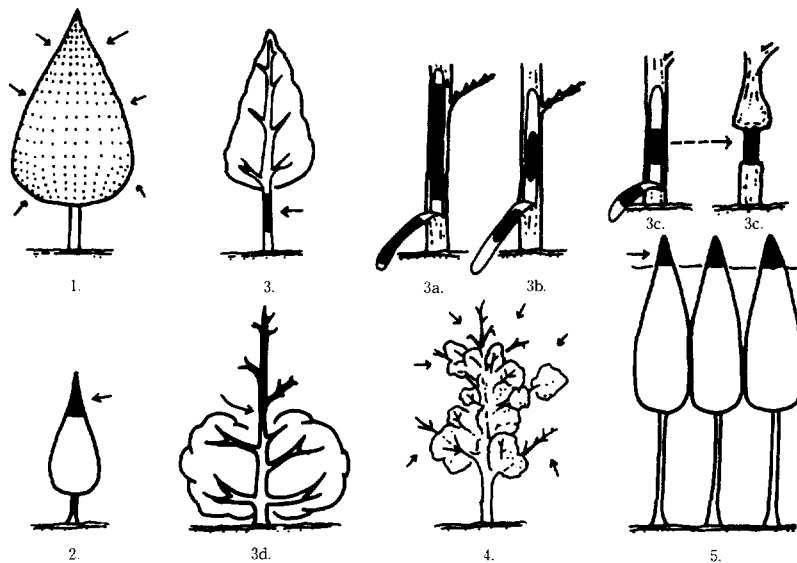
徳重ら (1962) はスギ、ヒノキの被害型を、全枯れ型、胴枯れ型、上半枯れ型、頂端枯れ型、芽枯れ型の 6 種類に分類 (Fig.7) した。凍害発生地ではいずれの被害型も認められるが、枯死になる実害を伴うものは、全枯れ型のほかに胴枯れ型のものであった。胴枯れ型は、地際より 10~20 cm の高さの幹基部が褐変するもので、樹皮の裂傷を伴う場合もある。胴枯れ型には、全周胴枯れと半面胴枯れがあり、前

者がやがて完全枯死に至る。一方、後者では幹部の南面に被害を受けるが、やがて回復する場合が多い。しかし、傷が大きい場合には、傷害部の巻き込みに時間がかかり、病原菌による二次的被害につながるので無視できない。こうした胴枯れ型の凍害は、ユーカリ、アカシア類、クリ、クヌギ、マツ類などでもみられる現象である。チャ（鳥屋ら，1974）の場合には、幹基部に裂傷型の被害が特徴的で、チャ栽培上大きな問題となっている。また、胴枯れ型被害は北関東（堀内，1969）のスギの造林地でも報告されている。

ほかの被害型は直接的には枯死の原因とはならないが、毎年被害が繰り返されると、成長や樹型に影響し、不成績造林地となっていく。

2.4 凍害の発生時期

枯死原因となる全枯れ型、胴枯れ型凍害の発生時期は、可視被害の発生が春になってしまうので、あまりはつきりしなかった。多くの場合、葉色が冬季の褐色の時期から緑色に変わるところ被害に気付くので、春先の低温による被害とされてきた。しかし、徳重・尾方（1968）は九州林木育種場構内で、冬季



1. 芽枯れ型：Injuries in buds.
2. 先枯れ型：Injuries in the top crown.
3. 胴枯れ型：Injuries in the lower trunk.
- 3a. 全周胴枯れ型：Injuries in the whole lower trunk.
- 3b. 半面胴枯れ型：Injuries in the part of lower trunk.

- 3c. 巻枯れ型：Killed in the whole lower trunk.
- 3d. 軸枯れ型：Injuries in the trunk and branches.
4. 萎縮叢生型：Injuries with drought.
5. 梢枯れ型：Injuries in the top of crown (relatively larger tree)

Fig. 7. 材木凍霜害の被害型（徳重ら（1962））
Clasification of frost injuries

の調査時にすでに胴枯れ型被害を観察し、接地気温から、11月25日(−5℃)かあるいは12月15日(−7℃)を被害の発生時期とした。すなわち、凍害が晩秋から初冬にかけて発生するとした重要な知見であった。堀内(1969)も茨城県下で凍害の発生が初冬であるとする調査結果を得ている。

このような凍害の発生時期を実際の造林地で確認するため、阿蘇外輪山東側、波野村に設定した試験地で、1979年と1980年の2か年、晩秋から初冬にかけて幹下部の褐変被害状況を調べた。1979年11月1日の調査ですでに被害木が観察され、12月13日までに全体の80%に及ぶ被害木を確認した(Table 3)。こうしたことから、被害は11月1日以前にすでに受けていることが予想されたので、気温、接地気温(地上25cm付近にU字型最高最低温度計を設置)の観測結果を検討した。10月後半は比較的暖かい日が続いたが、10月22~25日の間にそれまでの最低気温である−9℃を記録し(Table 4)、この

Table 3. 幹基部の褐変調査(高木, 藤本(1979))
Browning stem in the lower part by freezing

項目 Category	1979.11.1		1979.12.13		合計 Total	
	本 No.	%	本 No.	%	本 No.	%
健全木 Healthy	27	30.0	22	14.1	49	19.9
褐変木 Browning	63	70.0	134	85.9	197	80.1
調査本数 Total	90	100.0	156	100.0	246	100.0

Table 4. 試験地における接地気温(地上25cm)(高木・藤本(1979))
Air temperature near planted tree at 25cm high above the ground

期間(1979) Duration of observation	スギ単植区 Young plantation of Sugi		樹下植栽区 Young plantation of Sugi planted under forest canopy	
	最高気温 (°C)	最低気温 (°C)	最高気温 (°C)	最低気温 (°C)
	Max.Temp.	Min.Temp.	Max.Temp.	Min.Temp.
10/15~10/22	25.0	− 3.0	21.0	− 2.0
10/22~10/25	25.5	− 9.0	16.5	− 4.0
10/25~11/01	27.0	− 6.0	18.0	− 2.5
11/01~11/12	25.0	− 4.0	17.0	− 1.5
11/12~11/19	15.0	−12.5	9.0	− 8.0
11/19~11/26	21.5	−12.5	13.0	− 8.0
11/26~12/03	15.5	−14.5	8.0	− 9.0
12/03~12/13	17.0	−12.5	10.5	− 8.5
12/13~12/26	17.0	−15.0	12.5	−10.5
12/26~ 1/13	13.5	−14.0	8.0	−13.5

期間内を凍害の発生時期と予想した。10月23日は山口、九州各県で冷え込みがきびしく、阿蘇山上では前年より1週間早い初氷を記録したので、現地でも、10月23日を凍害発生日と予測した。

なお、胴枯れ型被害は幹下部におこり、植栽木の幹周辺の気温変化が重要な要因であることを予想して、1980年に同じ試験地で下刈り方法の違いと被害の発生を検討した。接地気温が $-5\sim-10^{\circ}\text{C}$ を記録したあとの11月22日時点で、全刈り区でおよそ21%、筋刈り区でおよそ6%の褐変被害木が観察されたが、対照区(放置区)では被害が認められなかった。こうした被害は時間とともにさらに増加した(Fig.8)が、下刈り区間の差異は同じであった。すなわち、被害の発生は、放置区で少なく、全刈り区で多く、筋刈り区がその中間であった。期間中の接地気温は、対照区が全刈り区より最高気温で 1.2°C 高く、最低気温で 1.8°C 低かった。1月中の最低気温の出現は対照区で -20°C 、筋刈り区で -18°C 、全刈り区で -18.5°C で、このような傾向は徳重・尾方(1968)、徳重・上中(1964)の調査結果と一致した。笹沼(1983)は、冬季における枯れた植生層の存在が放射冷却を助長する結果低温となり、裸地に植栽された造林木より、こうした植生内の造林木に被害の多いことを報告している。今回得た調査結果はこのことと全く逆であった。従って、徳重・尾方(1968)が指摘しているように、凍害は単に気温からだけで説明できないこともある。造林木と他の植生との関係から、造林木樹冠の日中の葉温と夜間の低温との温度較差の問題や、それに伴う造林木の生理状態なども関与していることが考えられるので、今後の解析を必要とする。

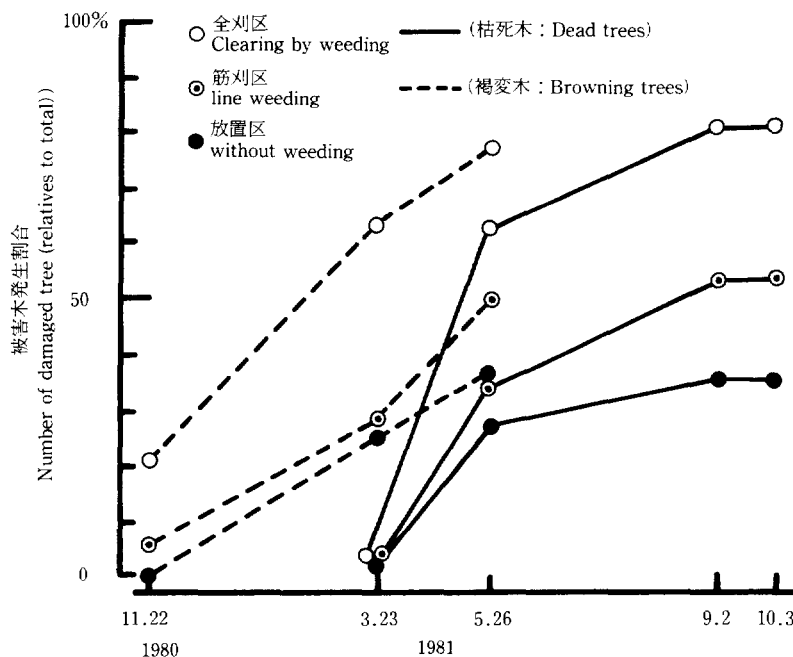


Fig. 8. 下刈り方法と褐変木及び枯死木の発生割合の推移（高木（1982））

Trends of browning and dead trees under various weeding

3 凍害の発生機構

林木の凍害は耐えられる限度を超えて冷却された場合に起こるとされている（酒井，1982）。一方で、組織が凍結に耐えて生き残る性質を耐凍性といい、この耐凍性は、林木の遺伝的性質と環境前歴に依存する複雑な性質である。そこで、凍害の発生条件と耐凍性との関係を明らかにするため、現地の実態調査と凍結実験を行った。

3.1 主要造林木の耐凍性の季節変化

我が国の主要造林樹種であるスギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツの4樹種について、耐凍性の獲得経過と耐凍度を調べるため、凍結実験により、耐凍性の季節変化を調べた。

材料及び方法

昭和39年(1964)3月、1年生スギ、2年生ヒノキ、2年生アカマツ及び3年生カラマツ山行き苗を、林業試験場九州支場（熊本市）に移植し、同年10月から実験を始めた。

各樹種それぞれ15本の苗木から梢頭部（一部枝葉付き）、幹下部を長さ15cmに切り、水洗後ポリエチレン袋に入れた。この凍結試料は各樹種ともそれぞれの温度処理に対して3本用意した。低温貯蔵器（日立製）3台と冷凍実験室を用い、温度を -3 、 -5 、 -10 、 -15 及び -20°C の5段階に設定し、これらの試料を入れた。凍結実験方法をTable 5に示す。 $-3\sim-10^{\circ}\text{C}$ 凍結の場合、 0°C の予備冷却から始めた。 $-15\sim-20^{\circ}\text{C}$ 凍結の場合、 -5°C から始めて1時間に 5°C ずつ温度を下げ、所定の温度に達してから14～16時間凍結を続けた。

凍結実験終了後、取り出した幹を 0°C に5時間置いたのち、室温条件下で水ざしした。1～2か月後に皮をはいで、幹表面の変色程度から被害状況を調べた。被害のない最も低い温度条件の値をそれぞれの時期の耐凍度とした。測定は10～12月の場合上下旬の2回、それ以降、翌年の5月まで、およそ1か月間隔で行った。

なお、それぞれの時期の葉の水分状態と溶質量を知るため、幹を切り取るときに、枝葉を採取し、含水率と浸透濃度を調べた。含水率は、生重量測定後 100°C の乾燥器に入れ、乾燥重量（生重量当たり）の値を用いた。浸透濃度は、枝葉を煮沸したあとの搾汁液について、ベックマンによる氷点降下法を用いて測定した。

結果と考察

各樹種の耐凍度の季節変化をFig. 9に示す。10月から11月にかけての耐凍性はいずれの樹種とも小さく、耐凍度は -3°C 前後であった。耐凍性は、気温の低下とともに急激に大きくなるがその程度は樹種間に差があった。耐凍性の獲得はカラマツで最も早く、ついでアカマツ、ヒノキ、スギの順であった。カラマツでは11月中旬ですでに -20°C 以下の温度に耐える性質を獲得する顕著な特徴があった。しかし、スギの耐凍性の獲得が最も遅く、最も高い耐凍性の時期、1月ごろでも耐凍度は -20°C 前後と測定樹種のなかで最低であった。なお、実験装置の能力から、 -20°C 以下の条件をつくることができなかったが、翌年に -30°C の設定が可能となった。その結果、ヒノキの最大の耐凍度は -25°C であり、スギより耐凍性が高いことを確認した。

Table 5. 凍結実験法

Freezing method for estimating freezing resistance

凍結温度 (°C) Temperature in the refrigerator	温度処理 Duration of treatment
— 3°C	(0°C・3時間) + (−3°C・14~16時間) (0°C : 3hrs.) + (−3°C : 14~16hrs.)
— 5°C	(0°C・3時間) + (−5°C・14~16時間) (0°C : 3hrs.) + (−5°C : 14~16hrs.)
−10°C	(0°C・3時間) + (−5°C・2時間) + (−10°C・14~16時間) (0°C : 3hrs.) + (−5°C : 2hrs.) + (−10°C : 14~16hrs.)
−15°C	(−5°C・2時間) + (−10°C・1時間) + (−15°C・14~16時間) (−5°C : 2hrs.) + (−10°C : 1hr.) + (−15°C : 14~16hrs.)
−20°C	(−5°C・2時間) + (−10°C・1時間) + (−15°C・1時間) + (−20°C・14~16時間) (−5°C : 2hrs.) + (−10°C : 1hr.) + (−15°C : 1hr.) + (−20°C : 14~16hrs.)
−25°C	(−10°C・1時間) + (−15°C・1時間) + (−20°C・1時間) + (−25°C・14~16時間) (−10°C : 1hr.) + (−15°C : 1hr.) + (−20°C : 1hr.) + (−25°C : 14~16hrs.)

* 試料は15~20cmに切断して水洗いした後、水を切ってポリエチレン袋に密封した。温度処理後、0°Cで5時間おき、その後、室温で融解水挿しを行った。

Each samples were put into polyethylene bags after cutting at 15 to 20cm and washing by pure water.

After treatment in refrigerator, each samples were stored at 0°C for 5hrs, and cut end of stems were soaked in water at room temperature.

スギ、ヒノキ、アカマツでは1～2月ごろから耐凍性が小さくなり始めるが、この傾向と平均気温の変化とはあまりはっきりしなかった。耐凍性の獲得時期には、気温低下と顕著な関係があったことから、このころの耐凍性の減少時期は、気温以外の要因と体内の生理過程を検討する必要がある。一方、カラマツでは平均気温の上昇とともに耐凍性が減少しはじめるが、この時期はスギなどよりもかなり遅れる傾向にあった。

スギの耐凍性の獲得がほかの樹種よりも遅く、11月中旬でもおよそ -5°C 前後ということが凍害の発生と関係が深いように思われる。2.4で述べたように、11月ごろは最低気温が -5°C 以下になる日がしばしば出現するので、耐凍性を十分に獲得できない時期の低温が凍害の発生へとつながっている。

幹の耐凍性と平行して調べた枝葉の含水率と浸透圧の季節変化をFig.10に示す。枝葉の浸透圧は幹の耐凍性の増大と平行して高くなり、また、耐凍度の減少と平行して低くなった。一方、含水率の変化は耐凍性の変化と逆の関係となった。枝葉の浸透圧の上昇は組織の溶質量を増加させて、脱水による水ストレスを緩和するものと考えられる(酒井, 1957)。しかし、浸透濃度の上昇時期は枝葉の含水率の減少時期である。このことは、組織の溶質量が変わらなくても、組織の水分量が減るので、浸透濃度が高くなることになる(Doi *et al.*, 1986)。耐凍性の獲得は細胞内凍結の防御機構にあるといわれている。従って、凍結に耐えるための細胞内の溶質量増加は、細胞内水分の脱水と溶質そのものの増加の両者に依存していることが考えられるが、今回の測定結果から、この両者の機構を説明することはできない。浸透濃度の測定の際に、細胞外の水分(アポプラスト水)も含まれていることに注意する必要がある。今後、細胞内の水分量や溶質量を決めるには、pressure-volume法(丸山・森川, 1983)などの導入を図ることが大切であろう。

3.2 耐凍性の年変動

樹木の耐凍性は環境の年変動の影響を受けて、変動するという(酒井, 1982)。そこで、3.1の凍結実験を翌年も繰り返して、このような事実の存否を確かめた。

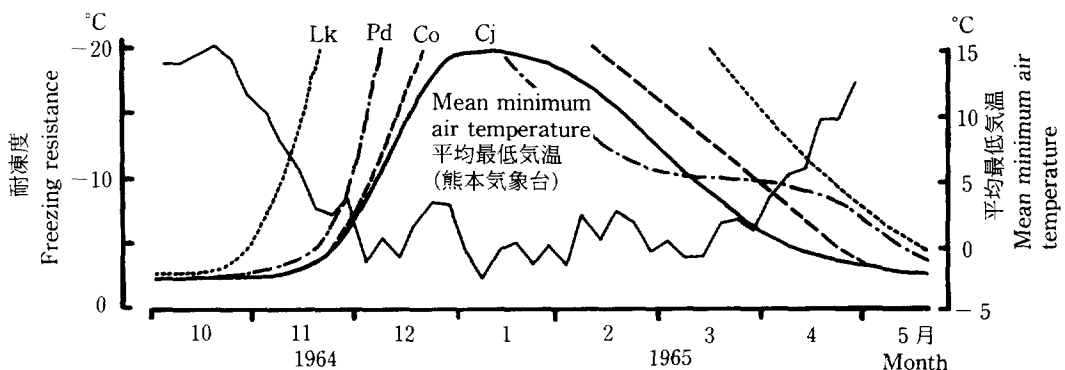


Fig. 9. 各樹種苗の耐凍性の季節変化 (高木・上中 (1965))

注: Cj: スギ, Co: ヒノキ, Pd: アカマツ, Lk: カラマツ

Seasonal trends of freezing resistance of *Cryptomeria japonica* (Cj), *Chamaecyparis obtusa* (Co), *Pinus densiflora* (Pd), and *Larix kaempferi* (Lk)

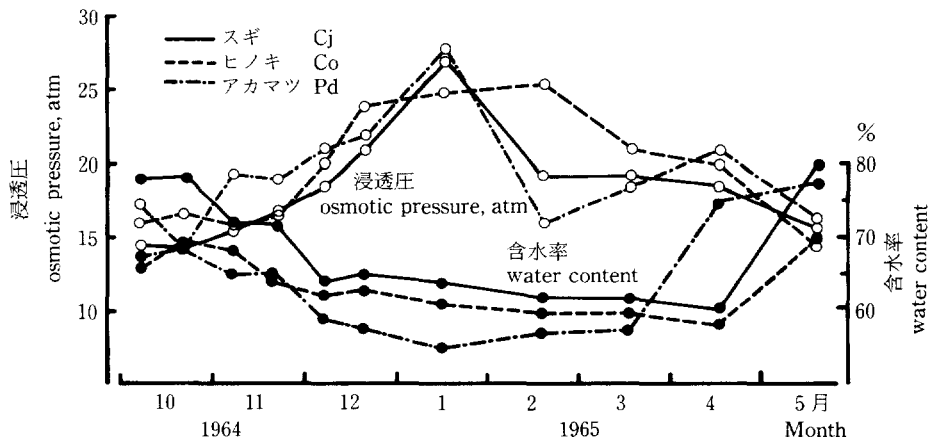


Fig. 10. 各樹種苗の浸透圧と含水率の季節変化（高木・上中（1965））

Seasonal trends of osmotic pressure and water content (fresh weight basis) in *Cryptomeria japonica* (Cj), *Chamaecyparis obtusa* (Co), and *Pinus densiflora* (Pd).

結果と考察

各樹種とも耐凍性の獲得経過と、最大耐凍度のあとの耐凍性の減退経過は変わらなかったが、耐凍度が増す時期と減る時期は前年と異なった。ただし、樹種間の耐凍性の順序は変わらなかった（Fig. 11）。2年にわたる結果から、耐凍性の変動と気温変化が負の平行関係にあることが分かった。耐凍性の獲得には、平均気温よりも夜間の最低気温、特に氷点以下の気温が影響すると思われるので、5日間ごとに氷点以下の最低気温の積算を2か年について調べ耐凍度と比較した（Figs. 12, 13）。耐凍度の変化と積算最低気温の変化は比較的良好に一致するが、この積算温度から耐凍度を評価することは難しかった。

3.3 生育環境と耐凍性の関係

樹木の休眠は気温変化と関係が深く、晩秋からしばらくの期間は比較的高い温度を与えても開葉してこない。これは、夜間の低温に対する耐凍性の獲得と同時に、温暖な日中の気温でも覚醒しない防御機構と思われる。一方、耐凍性を十分に獲得した1月ごろからは、高い温度条件を与えれば開葉する。すなわち、条件さえ整えば、いつでも覚醒する期間である。従って、最大の耐凍性を持つ時期から耐凍性の小さくなっていく時期に、耐凍性が温度環境によってどのような変化をするのか実験的に確かめた。

材料と方法

ヤブグリのさしき山行き苗を昭和41年（1966）3月、30 cmの素焼鉢に植えた。野外条件で育成後、翌年1月24日に一部を温室に移し、野外据置苗と、耐凍度の比較を行った。温室の温度環境は、日中最高気温が32°C、夜間の最低気温が3°C、平均気温がおおよそ20°Cであった。野外の平均気温に比べ10～15°C高かった。温室にいてから3週間後と6週間後に凍結実験を行った。

凍結実験は苗に水を噴霧し、ポリエチレン袋で覆ったあと、鉢植え苗をそのまま低温庫に入れた。低温庫の温度条件を、-5、-10、-15、-20及び-25°Cの5段階に設定した。凍結処理の方法はTable 5と同じ順序で行った。鉢植え苗の凍結による被害の判定は、枝葉の被害の有無にかかわらず、幹の部分の変

色から生死を判定し、被害のない最も低い温度条件の値を耐凍度とした。

結果と考察

温室に入れた苗は 10 日目ころより、葉が冬季の赤褐色から緑色に変わりはじめ、およそ 15 日後にはほとんど全体が緑色となった。また、およそ 40 日後（3 月上旬）には米粒大の新葉が着生した。

温室に入れてから 3 週間後（2 月中旬）と 6 週間後（3 月上旬）に調べた耐凍度を Fig. 14 に示す。3 週間後の耐凍度は、野外据置苗が -22.5°C で、最大の耐凍性を維持していたが、温室に移した苗は -15°C まで減退した。6 週間後の耐凍度は、野外のものは -15°C で、温室のものは -5°C まで減退した。これら

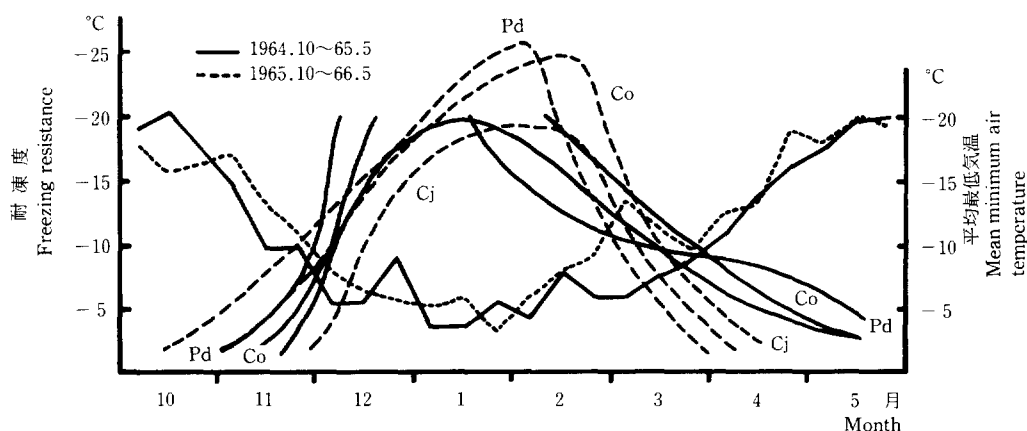


Fig. 11. 樹種別耐凍性の季節変化の年による違いと平均気温（高木ら（1965））

注：Cj：スギ，Co：ヒノキ，Pd：アカマツ

Yearly difference of seasonal freezing resistance trends in *Cryptomeria japonica* (Cj), *Chamaecyparis obtusa* (Co), and *Pinus densiflora* (Pd).

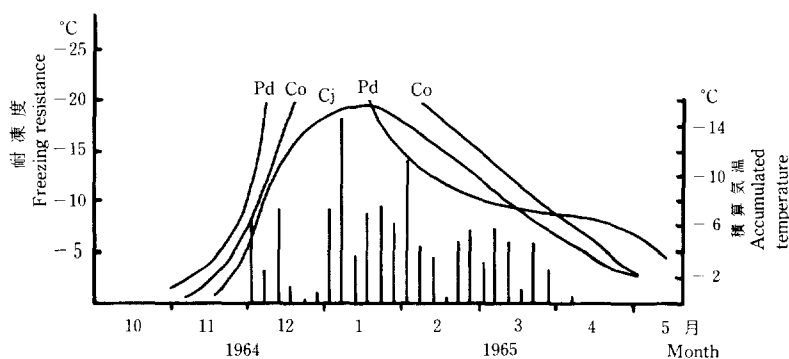


Fig. 12. 1964～1965年冬期における樹種別の耐凍性と日最低気温の氷点以下の積算温度（5日ごと）（高木ら（1965））

注：Cj：スギ，Co：ヒノキ，Pd：アカマツ

Seasonal trends of freezing resistance in *Cryptomeria japonica* (Cj), *Chamaecyparis obtusa* (Co), and *Pinus densiflora* (Pd), and integrated minimum air temperature at the intervals of 5 days, in 1964～1965.

Minimum air temperature below 0°C were integrated for 5 days.

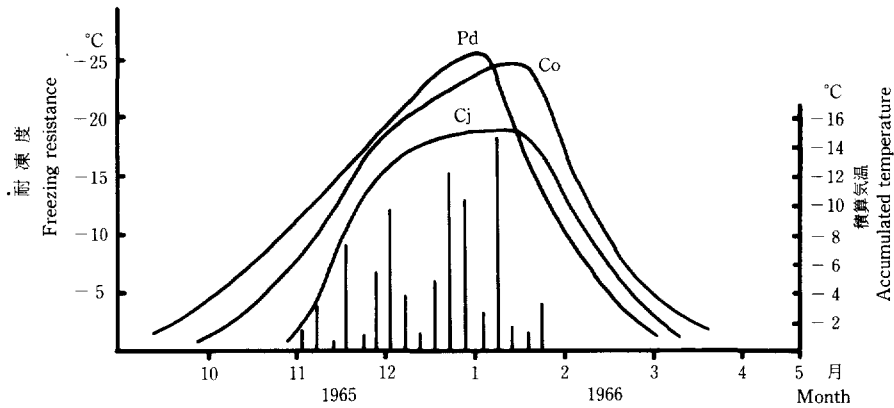


Fig. 13. 1965～1966冬期における樹種別の耐凍性と日最低気温の氷点以下の積算温度 (5日ごと) (高木ら (1965))

注：Cj：スギ，Co：ヒノキ，Pd：アカマツ

Seasonal trends of freezing resistance in *Cryptomeria japonica* (Cj), *Chamaecyparis obtusa* (Co), and *Pinus densiflora* (Pd), and integrated minimum air temperature at the intervals of 5 days. Minimum air temperature below 0°C were integrated for 5 days, in 1965～1966.

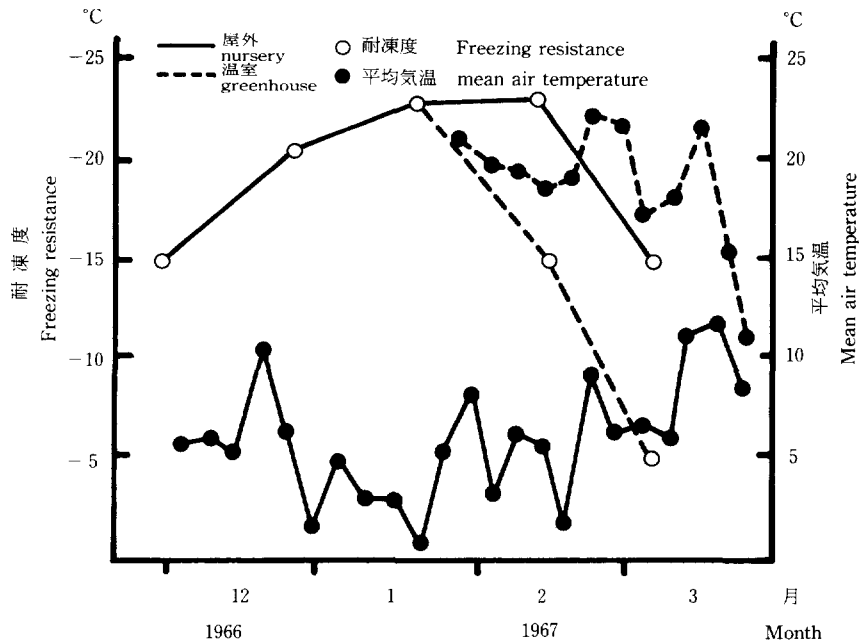


Fig. 14. 環境を変えて育てた鉢植えスギ苗の耐凍度 (高木ら (1967))

Freezing resistance of stem in *Cryptomeria japonica* seedlings grown in nursery and greenhouse

の結果は、耐凍性が小さくなって春に向かう時期は、温暖な天候のあとの急激な気温低下などによって凍害が現れる可能性を示している。酒井・斎藤（1967）も、耐凍性がかなり高まった厳冬期には、大きな気温日較差があっても耐凍性は低下しないが、適当な高温処理で耐凍性が著しく小さくなることを見出ししている。従って、凍害の発生時期を考える場合、耐凍性の高まりつつある時期（11～12月）の異常低温とともに、耐凍性が小さくなっている晩冬の温暖な時期のあとの異常低温を考える必要があるだろう。

3.4 耐凍性の地域間差

3.1, 3.3 で明らかになったように、耐凍性に年変動があること、気温変化と関係が深いことなどは、異なった地域では気象条件が違うので耐凍性も異なる可能性を示唆している。そこで、海拔高が異なる場合と地域が異なる場合について、耐凍性を比較した。

3.4.1 高海拔地と低海拔地のスギの耐凍性

材料と方法

阿蘇外輪山東側に阿蘇郡波野村内（海拔 700 m、林業試験場九州支場からおよそ 60 km 東）と支場構内（海拔 40 m）の 10 年生スギ（在来品種；ヤマクグリ）を対象木とし、月に 1 回枝葉を採取して、耐凍性の季節変化を調べた。試料の調製及び凍結処理は Table 5 と同じ方法で行った。実験期間は 1967 年 10 月～翌年 3 月とした。

結果と考察

両地域の耐凍性の季節変化を Fig. 15 に示す。耐凍性の大きくなる時期は高海拔地のスギで早く、最大の耐凍度は高海拔地の方が大きかった。また、耐凍度が小さくなっていく時期は高海拔地のスギの方が遅かった。高海拔地、波野村は冬の冷え込みが強い地域で、初霜も秋早くにある。また、霜は春遅くまでである特徴をもっている。従って、こうした気温の特性が耐凍性の季節変化に影響を与えていると思われる。

高海拔地の耐凍性の季節変化の特徴として、最も耐凍性の大きい時期が 2 月下旬から 3 月上旬にあること、この最も大きい時期から急激に耐凍性が失われることがあげられる。このことは、高海拔地域の場合、平地の晩冬期が比較的温暖であっても夜間の低温が厳しいこと、晩冬期から初春期への気温上昇が急激であることなどの気象特性を反映していると考えられる。

3.4.2 暖地と寒冷地に植栽されたスギ精英樹クローンの耐凍性及び耐凍性の産地間差

材料と方法

①暖地と寒冷地の差：九州各地に設定されている次代検定林のなかから気象条件の異なる 2 か所を選び、耐凍性の最も大きいことが予想される厳冬期に、枝葉の耐凍性を比較した。

暖地として、南九州大隅半島の内之浦営林署管内大谷添国有林（海拔 200 m）内のクローン植栽地、寒冷地として、中九州の九重山系の玖珠営林署管内寺床国有林（海拔 800 m）内のクローン植栽地を選んだ。これらの植栽地は次代検定林として設定され、12 の共通クローンが植栽されている。

試料は、両地域とも 1 クローン 15 本のそれぞれの個体から、樹冠中部付近の枝葉を 3 本採取し、凍結実験に供した。凍結実験は、暖地の場合、2 月上旬、寒冷地は 2 月下旬に行った。試料は、枝葉を長さ 15 cm に切り、1 個体当たり 3 本のそれぞれを各凍結温度条件に入れた。凍結設定温度は、 -17.5 、 -20 及

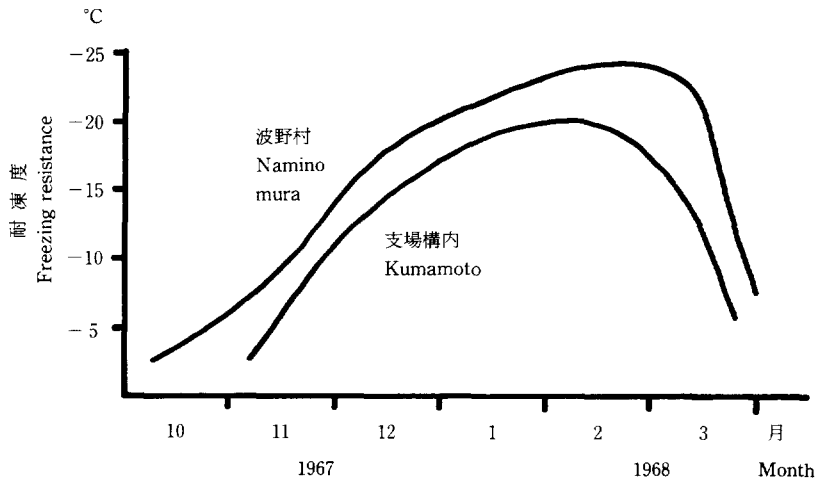


Fig. 15. 標高差（地域）によるスギ（ヤブクグリ10年生）の耐凍度の季節変化（高木・上中（1968））

Difference of freezing resistance in 10-year-old *Cryptomeria japonica* (YABUKUGURI) grown in Naminomura (700m above sea level) and Kumamoto (40m above sea level)

び -22.5°C の3段階とした。凍結過程はこれまでと同じTable 5の方法で行った。凍結実験終了後水挿しし、2か月後に、枝葉の外観変化と皮をむいて木部表面の被害状況を調べ、生存率が80%を超える最低処理温度を耐凍度とした。

②産地間差：宮崎大学田野演習林内にある日本各地産のスギ（林，1963）について（Table 6），耐凍性の違いを検討した。日本各地から集められた実生15年生スギ，及びさしスギ品種タノアカを用いて，1月下旬に3.4.1と同じ方法で耐凍度を調べた。

結果と考察

①暖地と寒冷地の差：耐凍性の増大する11月から1月までの気温を，植栽地に最も近い気象観測所の観測データから比較した結果，最高，最低，平均気温のいずれも暖地の植栽地のほうが寒冷地の植栽地に比べて $8\sim 9^{\circ}\text{C}$ 高かった。また，暖地の植栽地では，最低気温が氷点下を記録したのは1月に1日だけで，それも -0.2°C 程度であった。

両地域のスギ12クローンの耐凍度をFig.16に示す。暖地に植栽された12クローンのうち，4クローンが -20°C の凍結に耐え，残りの8クローンが -17.5°C の凍結に耐えた。一方，寒冷地に植栽された12クローンのうち，9クローンが -22.5°C の凍結に耐え，1クローンが -20°C ，残りの2クローンが -17.5°C の凍結に耐えた。すなわち，暖地に植えたクローンでは， -22.5°C に耐えるものは皆無であった。唐津6号と福岡署2号の2クローンを除いて，寒冷地に植栽された方が耐凍性が大きくなる結果となった。唐津6号と福岡署2号の2クローンは，両地域とも耐凍度が -17.5°C で地域差はなく，また，耐凍性もほかのクローンに比べてあまり大きくない特徴があった。

以上のことから，耐凍性の大小は植栽された地域の気温条件によって変わることが明らかとなった。しかし，唐津6号や福岡署2号のように，耐凍性のあまり高くないものは，地域の気象の影響をあまり

受けず、本来備えている耐凍性の範囲を超えることができないので、地域差として現れないと考えた。

②産地間差：産地による耐凍度の違いをFig.17に示す。−20°Cの処理条件でも低温に耐える産地のものが7系統あり、いずれも九州より西北の関東・東北のものであった。しかし、群馬県産のものは−15°Cまでしか耐えられなかったので、産地の違いをいうことは難しい。各産地のものがそのままその地域の地スギであるかどうか検討の必要があろう。

3.5 幹下部の耐凍性

従来、胴枯れ型の凍害は、幹の地際付近の微気象変化によって起こると考えられていた。この仕組みについて、酒井・斉藤（1967）は、スギ幹の地際付近の耐凍性が中部、上部より低いこと、このような部位による耐凍性の差異は12月中旬に大きいこと、地際付近の気温が夜間に最も下がることなどをあげた。幹下部から上部に向かっての凍害の拡大は、幹の各部分の耐凍度と冷え込みの強さできまる。堀内（1976）は、北関東の造林地で冷え込みの強いときは、幹の方位による被害の差はなく、かなり上部まで全面に被害が及ぶことを明らかにした。九州のスギ、ヒノキ造林地でも同様の被害が観察されたので、ヒノキの幹の部位による耐凍性の違いを検討した。

Table 6. 系統別母樹産地
Provinance of mother tree.

No	府県及び営林署名 Jurisdiction	母樹の生育地 Collection site	海拔高(m) Above sea level	樹齡(年) Age(yr)
1	福島営林署 Fukushima Forestry Off.	福島営林署信夫経営区 Nobuo District	485	54
2	栃木県林務部 Tochigi Pref.	栃木県那須郡七合村 Nanaai, Nasu	120	52
3	栃木県林務部 Tochigi Pref.	栃木県塩谷郡玉生村 Tamanyuu, Shioya	220	82
4	群馬県 Gunma Pref.	群馬県碓氷郡細野村 Hosono, Usui	420	151
5	群馬県利根地方事務所 Gunma Pref.	群馬県利根郡赤城根村 Akagine, Tone	600	90
6	群馬県 Gunma Pref.	群馬県多野郡三波川村 Sanbagawa, Tano	700	81
7	群馬県 Gunma Pref.	群馬県勢多郡敷島村 Shikishima, Seta	500	73
8	群馬県 Gunma Pref.	群馬県山田郡梅田村 Umeda, Yamada	350	94
9	茨城県農林部 Ibaraki Pref.	茨城県筑波郡筑波 Tsukuba	250	40
10	茨城県農林部 Ibaraki Pref.	茨城県久慈郡袋田村 Fukuroda, Kuji	350	30
11	水戸営林署 Mito Forestry Off.	茨城県久慈郡堂平国有林 Doudaira, Kuji	140	123
12	水戸営林署 Mito Forestry Off.	茨城県久慈郡堂平国有林 Doudaira, Kuji	260	72
13	水戸営林署 Mito Forestry Off.	茨城県那珂郡丹生山国有林 Nyuyama, Naka	80	47

Table 6. (つづき) (Continued)

No.	府県及び営林署名 Jurisdiction	母樹の生育地 Collection site	海拔高(m) Above sea level	樹齡(年) Age(yr)
14	水戸営林署 Mito Forestry Off.	茨城県東茨城郡北川国有林 Kitakawa, Higashi-Ibaraki	220	53
15	水戸営林署 Mito Forestry Off.	茨城県久慈郡久幾国有林 Kuki, Kuji	230	52
16	水戸営林署 Mito Forestry Off.	茨城県久慈郡久幾国有林 Kuki, Kuji	230	52
17	埼玉県林務課 Saitama Pref.	埼玉県児玉郡渡瀬村 Watase, Kodama	300	200
18	長野営林署 Nagano Forestry Off.	長野県上水内郡姫山国有林 Himeyama, Kamimizunai	730	45
19	飯山営林署 Iiyama Forestry Off.	長野県下水内郡飯山町 Iiyama, Shimomizunai	900	43
20	富山営林署 Toyama Forestry Off.	富山県中新川郡ブナ坂本国有林 Bunasakamoto, Nakanikkawa	940	200
21	福井県今立地方事務所 Fukui Pref.	福井県今立郡上池田村 Kamiikeda, Imadate	—	—
22	河津営林署 Kawazu Forestry Off.	静岡県賀茂郡上河津村 Kamikawazu, Kamo	420	23
23	河津営林署 Kawazu Forestry Off.	静岡県賀茂郡上河津村 Kamikawazu, Kamo	—	—
24	静岡県林務部 Shizuoka Pref.	静岡県鹿原郡西河内村 Nishikawachi, Kahara	200	70
25	静岡県林務部 Shizuoka Pref.	静岡県安倍郡大川村 Ookawa, Abe	340	60
26	岡崎営林署 Okazaki Forestry Off.	愛知県額田郡閭刈国有林 Yamigari, Nukata	600	60
27	三重県農林部 Mie Pref.	三重県北牟婁郡尾鷲町 Owase, Kitamuro	30	90
28	和歌山県西牟婁地方事務所 Wakayama Pref.	和歌山県西牟婁郡三舞村 Mimai, Nishimuro	153	120
29	滋賀県林務部 Shiga Pref.	滋賀県甲賀郡上山町 Kamiyama, Kouka	290	70
30	兵庫県森林組合連合会 Forestry Assoc Hyougo	兵庫県多可郡杉原谷村 Sugiharadani, Taka	—	—
31	魚梁瀬営林署 Yanase Forestry Off.	高知県安芸郡魚梁瀬 Yanase, Aki	700	200
32	野根営林署 None Forestry Off.	高知県安芸郡北川村 Kitakawa, Aki	270	120
33	松山営林署 Matsuyama Forestry Off.	松山営林署山田深山 Yamadashinzan	1 150	52
34	大分県北海部地方事務所 Ooita Pref.	大分県北海部郡坂ノ市町 Sakanoichi, Kitaamabe	300	52
35	大分県大野地方事務所 Ooita Pref.	大分県大野郡野津町 Nozu, Oono	100	50
*	宮崎大学演習林 Miyazaki Univ.	宮崎県宮崎郡田野町 Tano, Miyazaki	150	15

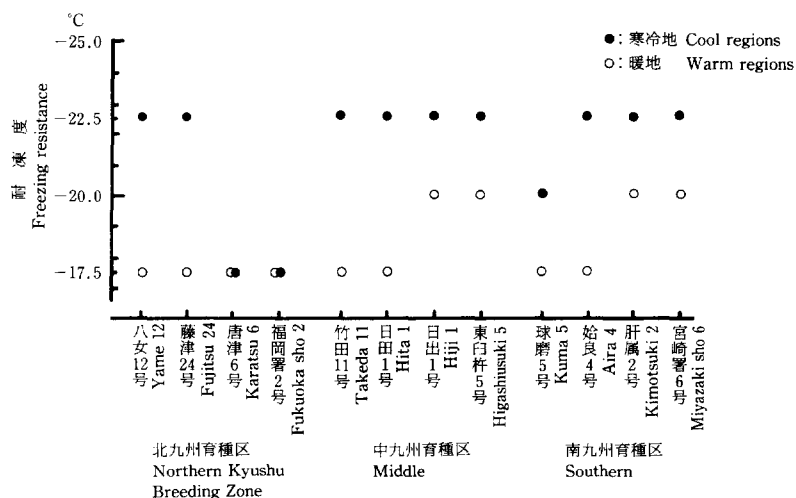


Fig. 16. 暖地、寒冷地におけるスギ精英樹クローンの耐凍度 (高木 (1974))
Freezing resistance of plus tree clone in *Cryptomeria japonica* grown in warm and cool regions

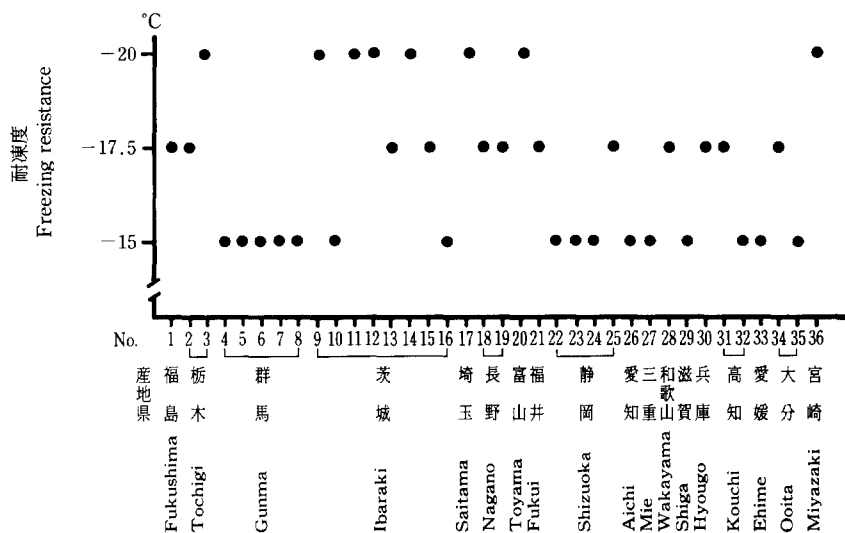


Fig. 17. 厳冬期における各地方産実生スギ系統の耐凍性 (高木 (1970))
Freezing resistance of *Cryptomeria japonica* seedling from various prefecture in mid winter

材料と方法

九州支場苗畑に植栽されている4年生ヒノキの地際部の幹と梢端付近の幹(枝葉付き)から、長さ20 cmの試料を採取した。凍結温度は -3°C から -15°C としたが、予想される耐凍度に対応して、設定温度は3段階とした。凍結方法は3.1と同じ方法 (Table 5) によった。

結果と考察

幹下部と上部枝葉の耐凍度をFig.18に示す。10月中旬から11月上旬まで、両者の耐凍度に差異がなく、 $-3\sim-4^{\circ}\text{C}$ の耐凍度であった。11月上旬から中旬にかけて、両者の耐凍度に差が生じ、11月中旬に幹下部で -5°C 、上部枝葉で -7°C であった。耐凍度が増した12月上旬でも両者の差は明らかで、幹上部で -9°C 、上部枝葉で -12°C の耐凍度を示した。このことは、幹下部の耐凍性の獲得が遅く、また、耐凍度も低いことを示しており、酒井・斉藤（1967）、堀内（1976）のスギで得た結果とよく一致した。スギの場合、2の項で述べたように、耐凍性の獲得がヒノキよりも遅いため、初冬の低温による幹下部の胴枯れ型被害を受けやすく、このことがヒノキよりもスギで被害量を大きくしているものと考えられる。

3.6 スギ在来品種の耐凍性

九州地方は古くからスギのさしき造林が盛んで、多数の在来品種に加え、選抜育成品種も導入されている。ここでは、九州の代表的な在来品種について耐凍性を検討した。

材料及び方法

1964年に支場苗畑に植栽した1年生さしき在来品種アヤスギ、ヤブクグリ、メアサ、オビアカ及び2年生実生スギの苗を用い、耐凍性の獲得期、最高期、減退期（1章参照）ごとに、耐凍度を調べた。方法はこれまでの方法（Table 5）と同じである。また、耐凍性の減退期の凍害は枝葉の休眠からの覚醒程度と関係が深く、樹冠部に被害の現れることが多い。そこで、それぞれの品種について、新葉の成長状態を調べ、品種の成長特性と耐凍性の関係に検討を加えた。

結果と考察

各品種とも幹上部枝葉より幹下部の耐凍性が低かった。耐凍度は時期によって品種間に差があったが、幹下部の耐凍度は耐凍性獲得期の場合 $-3\sim-6^{\circ}\text{C}$ 、最高期の場合 $-15\sim-20^{\circ}\text{C}$ 、減退期の場合 $-3\sim-4^{\circ}\text{C}$ （上部枝葉では $-6\sim-9^{\circ}\text{C}$ ）の範囲にあった。品種間の差は耐凍性の最高期に最も大きく、ほかの時期で小さかった。これらの結果から、各時期におけるそれぞれの耐凍性をTable 7にまとめた。全期間を通じて、ヤブクグリ、オビアカについてメアサの耐凍性が強く、アヤスギ、実生スギが弱かった。

1959年の春に、支場構内スギ品種見本林と波野村（後出）のスギ品種別造林地で、新葉の開序状況を調べた。支場見本林では実生スギの新葉の展開が早く、アヤスギ、ヤブクグリ、メアサ、オビアカがそれに次いでいた（Fig.19）。こうした品種間差は波野村造林地でも同じであったが、開序は見本林より一か月程度おそかった。この新葉の展開の品種間差はこの時期の耐凍性の品種間差とよく一致した。すなわち、実生スギでは、晩冬から初春の気温の上昇に対応した新葉開序の生理的な体制が早く作られる一方で、耐凍性は弱くなることを示している。春期に展開した桑葉では耐凍性の品種間差はなく、晩霜害の品種間差は、新葉の展開時期の早晩性によっていること（北浦，1967）が知られている。

3.7 スギ精英樹クローンの耐凍性

精英樹は樹高成長や肥大成長、樹形などから選抜されていることが多い反面、耐乾性や耐凍性など立地環境とかかわりの深い性質はあまり調べられていない。ここではスギ精英樹クローンの凍害の発生状況と、耐凍性について検討した。

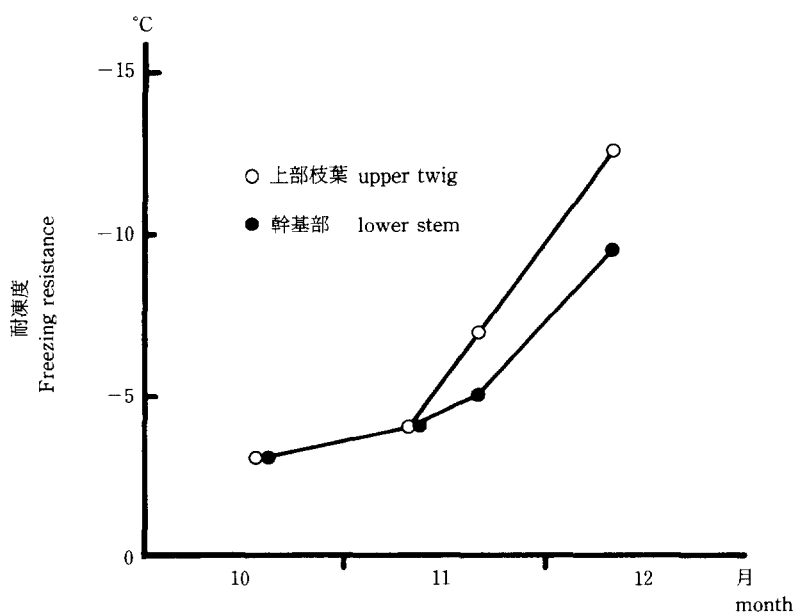


Fig. 18. ヒノキ幼齢木の幹基部と上部枝葉の耐凍度
Freezing resistance of lower stem and upper twig in young *Chamaecyparis obtusa*

材料と方法

低海拔地の九州林木育種場内と、高海拔地の波野村試験地に植栽されたスギ精英樹クローンを選び、凍害の発生状況と耐凍度を調べた。材料は、すべて九州林木育種場で育成されたものである。

(1) 凍害の発生と生存率

九州林木育種場内スギクロンの採穂園に 1968 年 11 月中旬、初霜による害が萌芽枝の枝葉に発生した。505 クロンのなかで、中程度の被害が 5 クローン、小程度の被害が 43 クローン、微害が 23 クローンで、およそ 14% のクローンに霜害が認められた。そこで、特定クローンについて、被害の発生状況の観察を行った。

1969 年 4 月、育種場で育苗されたスギ精英樹の 11 クローンを選び、各クローンから 1 年生さし木苗 30 本を 1.8×1.8 m 間隔でランダムに植栽した。活着本数は 303 本(活着率 92%)で、補植は行わなかった。その後、2 年間にわたって被害の経過を観察した。接地気温は自記温度計で記録した。

(2) 凍害発生の地域差

地域間差も比べるため、育種場試験地と波野試験地を設けた。波野試験地では、20 クローンについて被害を観察した。各クローンから得た 60 本のさしき苗を 1971 年 4 月に 1.0×1.0 m 間隔で植栽した。植栽に当たって、試験地を 6 分割にし、各区に 1 クローン当たり 10 本をランダムに植栽した。育種場試験地では、波野試験地と同じ 19 クローンについて被害を観察した。各クローンから得た 25 本のさしき苗を 1971 年 3 月に 1.8×1.8 m 間隔でランダムに植栽した。

育種場試験地：熊本市の北東、菊池郡西合志町、海拔 85 m の平坦地に位置する。土壌は黒色火山灰で

Table 7. スギ在来品種の耐凍性
Freezing resistance of local varieties (cuttings)
and seedlings of *Cryptomeria japonica*.

耐凍度 Freezing resistance	獲得期 Early winter	最高期 Mid winter	減退期 Early spring
強 High	ヤブクグリ Yabukuguri	オビアカ Obiaka	ヤブクグリ Yabukuguri
	オビアカ Obiaka	ヤブクグリ Yabukuguri	オビアカ Obiaka
	メアサ Measa	メアサ Measa	メアサ Measa
	アヤスギ Ayasugi	アヤスギ Ayasugi	アヤスギ Ayasugi
弱 Low	実生スギ Seedling	実生スギ Seedling	実生スギ Seedling

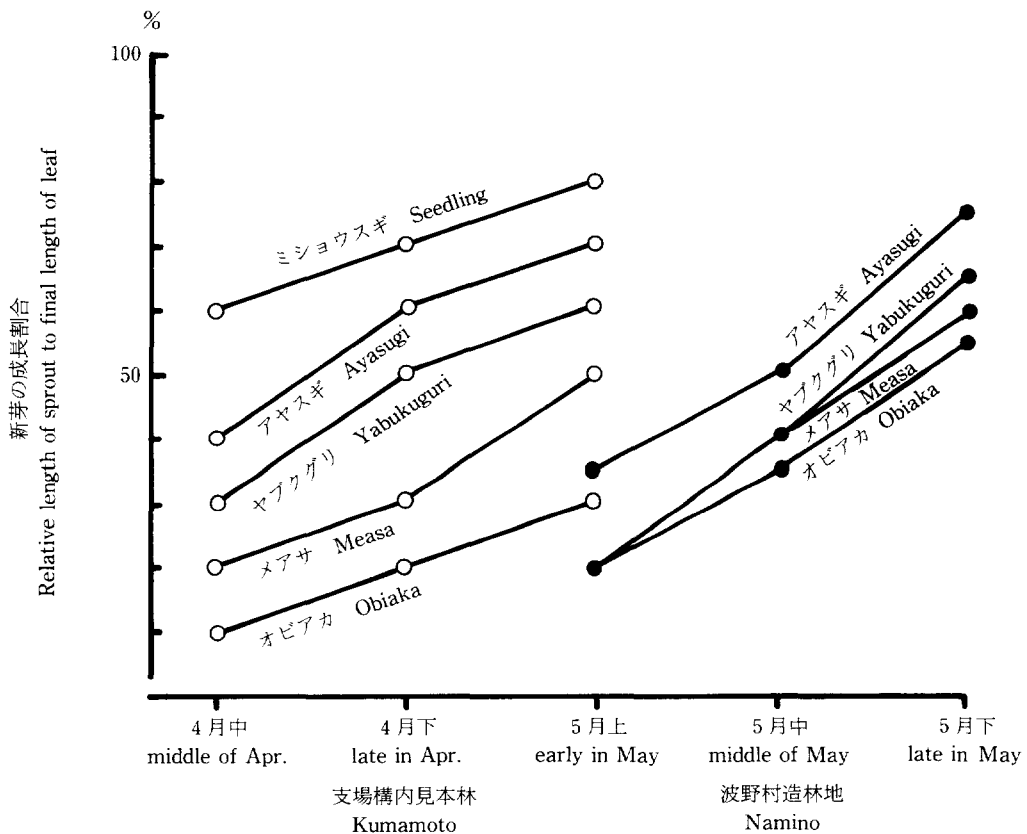


Fig. 19. スギ新芽の成長過程

Growth of sprout in *Cryptomeria japonica* in spring

注：新芽が発芽成長とともに葉針が全開するまでの成長割合

あった。接地最低気温は -11°C 前後となる地域である。

波野試験地：阿蘇外輪山の東側、熊本市より約 60 km 東方の阿蘇郡波野村にあり、海拔 700 m の山あいのやや平坦地に位置する。土壌は育種場試験地と同様に黒色火山灰であった。接地最低気温が -17°C 前後となり、毎年、凍害の発生が著しい地域である。

(3) 耐凍性の検定

①耐凍性の季節変化、産地間差

九州林木育種場内の 8～9 年生採穂園から 30 クローンを選んだ。クローンの産地は海拔高が 60～1 000 m の範囲にあるものとした。各クローンの台木の直立した当年生頂部萌芽枝に着生した枝葉を検定試料とした。凍結処理温度を -2.5°C から -25°C の間で 6 段階に設定し、処理方法はこれまでと同じ方法 (Table 5) によって行った。測定は、1968 年 12 月 11 日、1969 年 1 月 24 日、3 月 19 日、4 月 8 日の 4 回行った。耐凍度は供試試料 5 本のうち 3 本以上生き残った最低処理温度とした。

②耐凍性の検定

九州林木育種場内の採穂園から 44 クローンを選んだ。試料の採取方法は①と同じである。凍結温度は各検定期に設定温度を変え、3 温度処理とし、処理方法はこれまでと同じ (Table 5) である。検定は、1971 年 12 月 8 日、1972 年 2 月 8 日、3 月 29 日の 3 回行った。

結果と考察

(1) 凍害の発生と年変動

1969 年に育種場試験地に設定した植栽木の 1 年目、2 年目における被害を Table 8 に示す。枯死の形態はすべて胴枯れ型凍害であった。1 年目の 2 月中旬には全体で 63 本に幹下部のじん皮部に褐変被害が観察されたが、最終的には 54 本が枯死した。生存率にはクローン間差が著しく、生存率 100% の高岡署 4 号から、生存率 56% の日置 2 号まで大きな差があった。

2 年目には被害の進行が著しく、1 年目に生存率 100% であった高岡署 4 号では生存率 50% と減少し、日置 2 号では全部枯死してしまった。両年の接地気温 (Fig. 20) 観測結果から、2 年目の被害の大きかった理由として、耐凍性が十分獲得できていない初冬期の低温、耐凍性減退期の 3 月上旬の低温があげられる。

いずれの年でもクローンによる被害順序に差異はなく、ここで得たクローン間差はそのまま耐凍性のクローン間差として判定できよう。

(2) 地域差とクローン間差

1971 年に育種場試験地と波野試験地に設定した植栽木の被害を 1972 年 6 月に調べた。両試験地とも被害のクローン間差は著しく、波野試験地の生存率は 23～98%，育種場試験地では 18～100% の範囲にあった。しかし、平均生存率では、前者で 64%，後者で 51% であった。

両試験地における接地最高、最低気温の極値 (Table 9) を比較すると、育種場試験地の方が波野村試験地より最高気温で $4.4\sim 6.5^{\circ}\text{C}$ 、最低気温で $2.6\sim 7.0^{\circ}\text{C}$ 高かった。育種場試験地で最低気温が氷点下になったのは 11 月中旬であった。

両試験地における各クローンの生存率を比較した (Fig. 21)。生存率 40～60% を耐凍性中位として、そ

の前後を耐凍性強と耐凍性弱にグループ分けしてクローンの耐凍性を比較した。その結果、両地域で同じ耐凍性を示すものと異なるものに分けられた。同じ耐凍性を示すもののなかで、高岡署 4 号、宮崎署 6 号、日田 1 号などは耐凍性の高いグループに、綾署 6 号、日田 5 号、福岡署 2 号、薩摩 3 号などは耐凍性の低いグループに分けられた。両地域で耐凍性の異なるもののなかで、高海拔地で耐凍性が高いが低海拔地で耐凍性の低いクローンとして、日置 5 号、玖珠署 3 号、始良 5 号、玖珠 4 号などがあつた。また、高海拔地で耐凍性が低く低海拔地で耐凍性の高いグループとして、阿蘇 8 号、宮崎署 5 号、7 号などがあつた。

両地域で同じような生存率を示すクローンは、低温に対する生理特性が固定しているものと考えられるので、ここで得たクローンの耐凍性強度はそのまま九州各地で造林するときのクローンを決定するうえで有効であろう。両地域で異なる生存率をもつクローンは、低温に対する生理特性が不安定なこと、あるいは気温較差や風などほかの環境条件も生存率にかかわっていることなどが考えられるので、耐凍性の強度を判定することは難しいと思われる。

Table 8. スギクローン凍害の 2 か年の推移

Freezing injuries of *Cryptomeria japonica* clone for 2 years

		初年目 First year		2 年目 Second year		2 か年合計 Total
	活着本数 No. of Plants	枯死本数 Dead	生存本数(率) Alive (ratio, %)	枯死本数 Dead	生存本数(率) Alive (ratio, %)	生存率 Survival rate
高岡署 4 Takaoka sho 4	30	0	30 (100.0)	15	15 (50.0)	50.0
宮崎署 5 Miyazaki sho 5	28	8	20 (71.5)	8	12 (60.0)	42.9
玖珠 4 Kusu 4	30	2	28 (93.3)	16	12 (42.9)	40.0
玖珠 3 Kusu 3	29	3	26 (89.7)	17	9 (34.6)	31.0
児湯 1 Koyu 1	26	6	20 (76.8)	13	7 (35.0)	26.9
鹿児島 1 Kagoshima 1	27	5	22 (81.5)	16	6 (27.3)	22.2
日置 5 Hioki 5	27	1	26 (96.3)	21	5 (19.1)	18.5
大根占 1 Oonejime 1	26	3	23 (88.5)	19	4 (17.4)	15.4
始良 4 Aira 4	25	4	21 (84.0)	18	3 (14.2)	12.0
日田 5 Hita 5	28	10	18 (64.3)	17	1 (5.6)	3.6
日置 2 Hioki 2	27	12	15 (55.6)	15	0 (0.0)	0.0
合計 Total	303	54	249 (82.2)	175	74 (29.7)	24.4

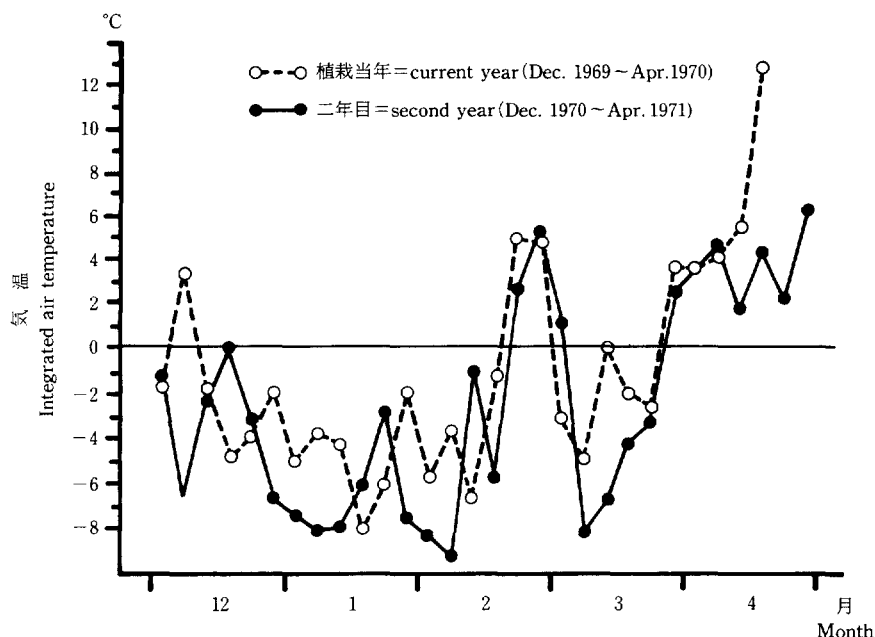


Fig. 20. スギ精英樹クローンの耐凍性試験地における半月ごとの接地最低気温変化
(松永・高木 (1971))

Mean minimum air temperature just above the ground at the intervals of 15 days in the experimental plots for freezing resistance of plus tree clones of *Cryptomeria japonica*

(3) 耐凍性の検討

①耐凍性の季節変化, 産地間差

耐凍度の検定結果から, 耐凍性の高い時期である, 1月から3月までの特徴を三つのグループ, A: 1月から3月までの持続型, B: 1月最大型, C: 3月最大型に分けた。30クローン中, A型が6クローン, B型が21クローン, C型が3クローンあり, B型が全体の70%を占めた (Fig. 22, Table 10)。

選抜産地の海拔高と耐凍性との関係を明らかにするため, 産地海拔高を60~500m (低海拔), 500~1000m (高海拔) に分けて検討した (Fig. 23)。高海拔地及び低海拔地産の耐凍性は, 獲得, 減退期で有意差は認められなかったが, 1月の最高期では有意差が認められ, 高海拔地で選抜されたクローンは耐凍性が低い傾向にあった。耐凍性は環境条件や林木の成長過程とも関係が深い。すなわち, スギの成長習性には, 品種, クローン間に差異があり, 晩秋遅くまで成長を続ける系統のスギは寒い地方に多い (外山, 1954)。このような成長習性を持つものは, 九州の場合, 北部産のクローンに多い (塚原・西村, 1966)。

また, 寒害抵抗性とスギ種子の産地の関係では, 全体的に日本海側のスギの抵抗性が低い (武藤・堀内, 1974) など種子の産地によっても寒害抵抗性が変わるといわれる。九州の高海拔地は寒地に属し, 耐凍性が低いことはこれらの報告とよく一致する。しかし, 高海拔地産といっても九州南部地区産のクローンが多かったこと, 前述 (2) の調査で示したように, 植栽地による耐凍性の変動があることなど問題点もある。苗木の試験結果と採穂母樹の頂部萌芽枝の試験結果の違いについて, 今後検討を進める

Table 9. 両試験地における接地気温 (月極値)

Monthly maximum and minimum air temperature just above ground in the experimental plots at high (700m) and low(40m) elevation sites

試験地 Plots		高海拔地 Namino (alt.700m)		低海拔地 Nishigoushi (alt.85m)		差 Temp. difference	
年月 date	気温 Air temp. (°C)	最高(°C) max. (a)	最低(°C) min. (b)	最高(°C) max. (c)	最低(°C) min. (d)	最高(°C) c-a	最低(°C) d-b
1971.12		17.0	-14.5	21.4	-11.9	4.4	2.6
1972.01		14.0	-14.0	20.5	-9.2	6.5	4.8
02		12.0	-13.0	17.0	-9.3	5.0	3.7
03		20.0	-17.0	25.5	-10.0	5.5	7.0
平均 mean		15.8	-14.6	21.1	-10.1	5.3	4.5

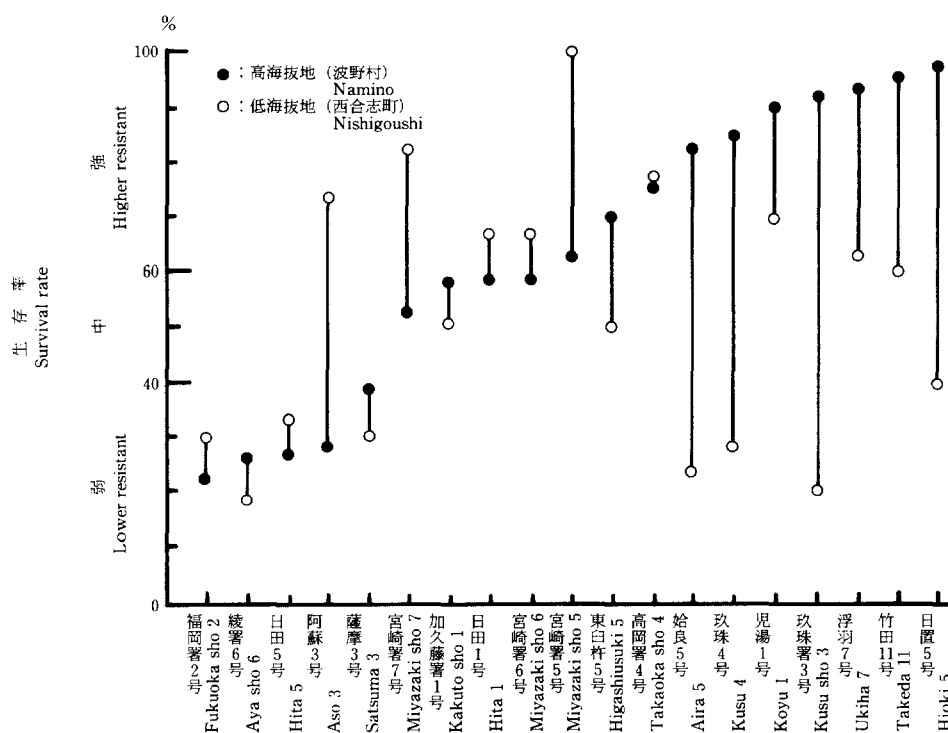


Fig. 21. 凍害試験地におけるスギ精英樹クローンの生存率 (高木・松永(1974))

Survival rates of plus tree clone of *Cryptomeria japonica* in the high (Namino, 700m) and low (Nishigoushi, 40m) experimental plots

必要がある。

②耐凍性の検定

各時期の凍結処理による生存個体数別のクローン数をTable 11 に示す。表から生存本数が最も広い範囲に及ぶ凍結処理が -15°C であったことから、検定温度 -15°C から各クローンの耐凍性を判定した。この温度で4～5本生存するものを耐凍性強、0～2本生存するものを耐凍性弱と判断した (Table 12)。初冬期あるいは厳冬期の検定で耐凍性クローンの検討は可能であったが、初春期になると、 -15°C に耐えられるクローンはわずかとなってしまった。初春期の低温もしばしば凍害の原因となることから、全期間にわたる検定も必要である。全期間を通じて耐凍性の高かったクローンは玖珠1号と高岡署4号で、特に高岡署4号はすでに述べた現地試験結果とよく一致しており、凍結温度 -15°C を用いた凍結検定が有効であることが明らかとなった。

3.8 スギ、ヒノキの潜在的耐凍性の評価

自然条件下における厳冬期の耐凍度はスギでおよそ -20°C 、ヒノキでおよそ -25°C であった (3.1)。すでに述べてきたように、このような耐凍度は調べた地域の低温の程度によって変わるので、本来、種特性あるいは品種、クローン特性として備えている耐凍度を評価するには、実験科学的な手法が必要である。本来備えている最大の耐凍性 (潜在的耐凍性あるいは遺伝的耐凍能力) を知ることは、貴重な遺

Table 10. スギ精英樹クローン選抜地と耐凍性タイプ (高木ら (1969))
Classification of freezing resistance among the clones of *Cryptomeria japonica*

耐凍性 タイプ Type/Site	低海拔地 Low elevation (alt. 60~500m)	高海拔地 High elevation (alt. 600~1 000m)
A	始 良 5 号 Aira 5 薩 摩 3 号 Satsuma 3	唐 津 5 号 Karatsu 5 八 女 9 号 Yame 9 球 磨 2 号 Kuma 2 阿 蘇 8 号 Aso 8
B	伊万里 2 号 Imari 2 高岡署 4 号 Takaoka sho 4 芦 北 2 号 Ashikita 2 鹿児島 1 号 Kagoshima 1 大口署 3 号 Ookuchi sho 3 玖 珠 4 号 Kusu 4 都城署 4 号 Miyakonojyou sho 4	日 南 2 号 Nichinan 2 児 湯 1 号 Koyu 1 日 置 5 号 Hioki 5 大根占署 1 号 Oonejime sho 1 宮崎署 5 号 Miyazaki sho 5 飢肥署 10 号 Obi sho 10 八 女 12 号 Yame 12 竹田署 1 号 Taketa sho 1 綾 署 4 号 Aya sho 4 宮崎署 7 号 Miyazaki sho 7 日 田 5 号 Hita 5 玖珠署 1 号 Kusu sho 1 綾 署 6 号 Aya sho 6 加久藤署 1 号 Kakutou sho 1
C	浮 羽 7 号 Ukiha 7	加久藤署 8 号 Kakutou sho 8 玖珠署 3 号 Kusu sho 3

A, continuous higher resistance throughout the winter ; B, maximum resistance on January ; C, maximum resistance on March

伝資源の確保や造林品種・クローンの適地判定, 合理的な育種技術開発にとって必要であろう。ここでは耐凍性を高めるための温度前歴を与えること, すなわちhardening法 (酒井, 1982) を用いて, 潜在的な耐凍性を検討した。

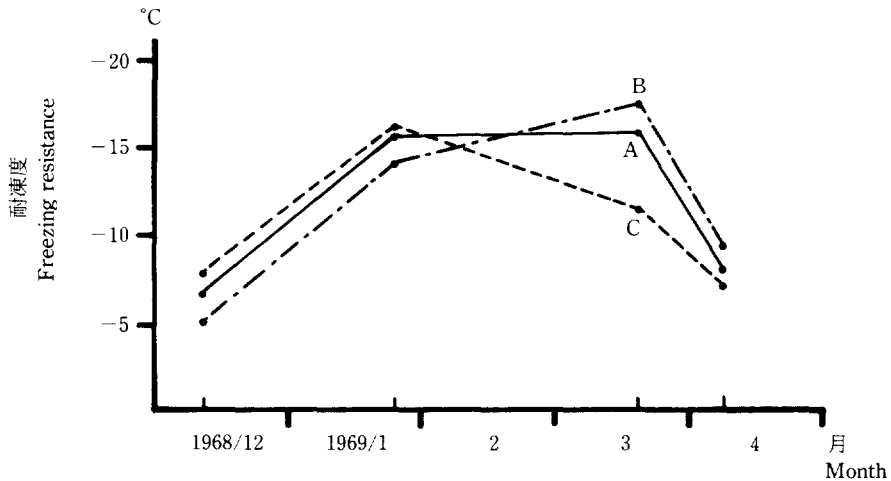


Fig. 22. スギ精英樹クローンの耐凍性の区分とそれらの耐凍度の変化 (高木ら (1969))
Classification of freezing resistance and their seasonal changes in plus trees of *Cryptomeria japonica*

- A : continuous higher resistance throughout the winter
- B : maximum resistance on January
- C : maximum resistance on March

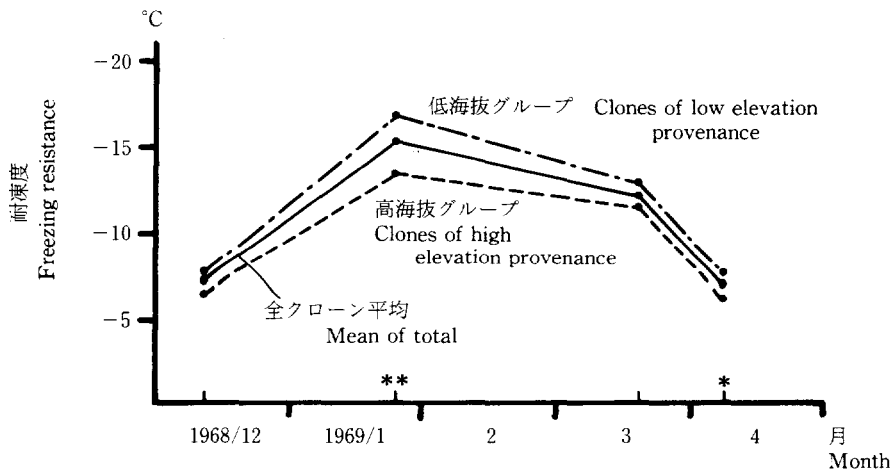


Fig. 23. 高海拔地産と低海拔地産クローンの耐凍度 (高木ら (1969))
Freezing resistance of clones of high and low elevation provenance

- ** : 1 % significance
- * : 5 % significance

3.8.1 スギのクローン及び品種について

材料と方法

実験材料：宮崎県林業試験場苗畑のさしつけ苗 4 クローン各 30 本、九州支場苗畑に植栽された 5 年生の在来 4 品種を用いた。クローンの場合、15 本の苗はハードニング前の、残りの 15 本はハードニング後の凍結実験に供試した。苗の幹の地際から 10 cm ごとに切り、1 処理 3 本の苗を使用した。上部の幹試料は枝葉をつけた状態とした。在来品種の場合、各品種 3 個体からそれぞれ 5 本の枝葉を採取し、長さ 15 cm に調整した。

クローン苗についてはハードニング前の耐凍度を調べるため、 $-15 \sim -25^{\circ}\text{C}$ まで 2.5°C 間隔で 5 段階の凍結温度を設定した。処理方法はこれまでと同様の方法 (Table 5) によった。この実験は 1983 年 2 月 4～7 日に行った。

ハードニングは実験試料を 0°C の部屋に 1 週間、 -3°C の部屋に 30 日間保存する方法をとった。ハードニング後、 $-24 \sim -30^{\circ}\text{C}$ まで 2°C 間隔で 4 段階の凍結温度を設定した。処理方法はこれまでと同様の方法 (Table 5) によった。ハードニングは 1983 年 1 月下旬からはじめ、耐凍度測定は同年 3 月 8～10 日に行った。

凍結による被害は、実験終了後、じん皮部形成層の褐変状態から判定した。

結果と考察

①クローンの場合

ハードニング前の場合、東白杵 5 号は -17.5°C 、日南 2 号では -20°C 、東白杵 4 号と西白杵 4 号は -22.5°C の凍結に耐えることができなかった (Fig. 24)。東白杵 5 号は -15°C でも 40% の生存率しかなく、耐凍性の極めて低いクローンであった。

ハードニング処理によって耐凍度の増すクローンとあまり変わらないクローンがあった。耐凍性の低

Table 11. 時期別凍結処理による生存個体数別クローン数 (高木・松永 (1973))
Number of survival clones under various freezing temperature in early and mid winter and early spring

時 期 Sampling time	凍結温度 Freezing temp. ($^{\circ}\text{C}$)	生存本数 Survival samples					
		5 本	4 本	3 本	2 本	1 本	0 本
1971.12.08	- 5	23	10	7	3	1	0
	-10	17	11	7	4	3	2
	-15	7	10	3	7	8	9
1972.02.08	-12.5	19	13	7	2	2	1
	-15	11	15	8	3	6	1
	-22	0	0	0	0	0	44
1972.03.29	-10	41	2	0	0	0	1
	-15	2	3	1	1	1	36
	-17.5	0	0	0	0	0	44

Table 12. -15°C凍結処理における各クローンの耐凍性の強弱 (高木・松永 (1973))
 Estimation of freezing resistance among clones in the treatment of -15°C

	生存数 Survival samples Date	1971. 12. 08	1972. 02. 08	03. 29	全 期 Throughout the winter
強 Higher resistant	5 本	玖 珠 1 国 東 5 西 臼 杵 1 Kusu 1 Kunisaki5 Nishiusuki 1 高岡署 6 日 南 2 川 辺 2 Takaokasho6 Nichinan2 Kawanabe 2 日 置 2 Hioki 2	唐 津 4 日 田 5 国 東 3 Karatsu4 Hita 5 Kunisaki3 西 臼 杵 1 東 臼 杵 12 Nishiusuki1 Higashiusuki12 高岡署 6 薩 摩 3 始 良 16 Takaokasho6 Satsuma3 Aira 16 川 辺 3 日 置 2 宮 崎 署 7 Kawanabe3 Hioki 2 Miyazakisho7	玖 珠 1 Kusu 1 日 田 3 Hita 3	玖 珠 1 Kusu 1 高岡署 4 Takaoka sho 4
	4 本	高岡署 4 浮 羽 12 藤 津 5 Takaokasho4 Ukiha 12 Fujitsu5 藤 津 14 日 田 5 国 東 3 Fujitsu14 Hita 5 Kunisaki 3 東 臼 杵 4 東 臼 杵 12 東 臼 杵 14 Higashi Higashi Higashi usuki 4 usuki12 usuki14 薩 摩 5 Satsuma 5	玖 珠 1 高岡署 4 薩 摩 14 Kusu 1 Takaokasho4 Satsuma14 藤 津 5 藤 津 14 竹 田 12 Fujitsu5 Fujitsu14 Taketa12 東 臼 杵 4 宮 崎 署 2 都城署 5 Higashi Miyazaki Miyakonojyou usuki 4 sho 2 sho 5 日 南 2 薩 摩 1 薩 摩 5 Nichinan2 Satsuma1 Satsuma5 肝 属 1 肝 属 6 肝 属 9 Kimotsuki1 Kimotsuki6 Kimotsuki9	八 女 6 Yame 6 竹 田 6 Taketa 6 高岡署 4 Takaoka sho 4	
	3 本	薩 摩 14 始 良 16 鹿児島署 2 Satsuma14 Aira 16 Kagoshimasho2	甘 木 4 八 女 3 杵 島 2 Amagi 4 Yame 3 Tsukishima2 日 田 3 竹 田 6 国 東 5 Hita 3 Taketa 6 Kunisaki5 薩 摩 4 東 臼 杵 14 Satsuma4 Higashiusuki14	薩 摩 14 Satsuma 14	薩 摩 14 Satsuma 14
弱 Lower resistant	2 本	佐 賀 3 八 女 3 八 女 6 Saga 3 Yame 3 Yame 6 唐 津 4 竹 田 6 宮 崎 署 7 Karatsu4 Taketa 6 Miyazakisho7 肝 属 1 Kimotsuki1	佐 伯 6 八 女 6 東 臼 杵 15 Saiki 6 Yame 6 Higashiusuki15	竹 田 12 Taketa12	福岡署 1 Fukuoka sho 1 佐 賀 3 Saga 3 諫 早 2 Isahaya2
	1 本	福岡署 1 竹 田 5 臼 杵 12 Fukuokasho1 Taketa5 Usuki 12 佐 伯 6 日 田 3 薩 摩 1 Saiki 6 Hita 3 Satsuma 1 薩 摩 3 薩 摩 4 Satsuma3 Satsuma4	福岡署 1 竹 田 5 臼 杵 12 Fukuokasho1 Taketa5 Usuki 12 諫 早 2 浮 羽 12 鹿児島署 2 Isahaya 2 Ukiha 12 Kagoshimasho2	東 臼 杵 4 Higashi usuki4	臼 杵 12 Usuki 12 佐 伯 6 Saiki 6 東 臼 杵 15 Higashi usuki15
	0 本	諫 早 2 甘 木 4 東 臼 杵 15 Isahaya2 Amagi 4 Higashiusuki15 杵 島 2 竹 田 12 宮 崎 署 2 Tsukishima2 Taketa12 Miyazakisho2 都城署 5 肝 属 6 肝 属 9 Miyakonojyou Kimotsuki6 Kimotsuki9 sho 5	佐 賀 3 Saga 3	残りの 36クロー ン Others	竹 田 5 Taketa 5

い東臼杵 5 号は耐凍性の増加はほとんどなかった。日南 2 号は 4 クロウンのなかで中程度の耐凍性をもっているが、このクローンもハードニングによる耐凍度の増加はわずかであった。一方、耐凍性の高かった東臼杵 4 号と西臼杵 4 号は、ハードニングによって耐凍度が増加し、処理前には -22.5°C で生存率が 0 であったが、処理によって -24°C でおよそ 25% の生存率になった。

②品種の場合

ハードニング前の耐凍度は $-15\sim-20^{\circ}\text{C}$ であったが、ハードニング処理による影響はクローンの場合と同様に、品種間差があった。耐凍性の低いアヤスギではハードニングの効果は全く認められなかった (Fig. 25)。ヤブクグリ、オビアカ、メアサはハードニングによって、 -24°C の凍結に耐えた。 -26°C の凍結では、メアサ、オビアカの生存率は高く、それぞれ 86%、93% であったのに対し、ヤブクグリでは 30% まで低下した。 -30°C ではどの品種も凍結に耐えることができなかった。

クローン、品種いずれの場合も、ハードニングによって耐凍性は高まるが、本来耐凍性の低いクローンや品種では、ハードニングの効果は期待できなかった。耐凍性の高いクローンや品種では、ハードニングによって耐凍度はさらに増加し、潜在的に高い耐凍能力を持つ。しかし、それでもクローンでおよそ -24°C 、品種で -28°C 以下の凍結に耐えることはできない。

自然状態の材料から判定される耐凍性の強弱が今回のハードニング実験から立証されたことになる。ハードニングによって耐凍性を増加させることも立証されたが、ここでの実験は切り取った幹で行ったものである。実際の苗について、ハードニングの方法やハードニングして与えた耐凍性の持続性の問題など、今後明らかにしていく必要のあることも多い。

3.8.2 ヒノキ精英樹クローンについて

材料と方法

九州林木育種場内の接ぎ木 18 年生ヒノキ精英樹クローン集積所から、1980 年 4 月に採穂し、同育種場内苗畑でさしつけ育苗された。1982 年 3 月に床替え育苗されて母樹となった。この母樹から 1986 年 12 月 2 日、発根率が 50% 以上の 43 クローンについて、1 クローン当たり 5 個体、1 個体当たり 3 本の枝葉を採取した。この枝葉をポリエチレン袋にいれ、 0°C の低温庫に 1 週間保存した。12 月 8 日にこの枝葉を長さ 20 cm に調製し、ハードニングの試料とした。ハードニングは 0°C 2 週間、 -3°C 40 日間とした。翌年 1 月 31 日から、これら試料の耐凍度を調べた。凍結温度は -26°C 、 -28°C 、 -30°C の 3 段階とし、1 温度処理に 1 クローン当たり 5 個体とした。凍結処理の方法はこれまでと同じ方法 (Table 5) によった。凍結処理後、水ざしして室温におき、1 か月後に生死を判定した。

結果と考察

実験材料を採取した 12 月初旬の自然条件におけるヒノキの耐凍度は $-10\sim-15^{\circ}\text{C}$ の範囲、厳冬期の最大耐凍度はおよそ -25°C にあった。ハードニング後 -26°C で生存率 0% の 7 クローンではハードニング効果がなかった (Table 13)。処理最低凍結温度 -30°C で生存率 100% を示したものに薩摩 9 号と四日市 14 号の 2 クローン、生存率 80% に神崎 2 号と薩摩 11 号の 2 クローンがあった。 -28°C で生存率 100% を示したものが 7 クローン、80% を示したものが 4 クローンあった。自然条件下における厳冬期の最大耐凍度がおよそ -25°C であることから、これら 13 クローンはハードニングによって耐凍性が高まるクローン

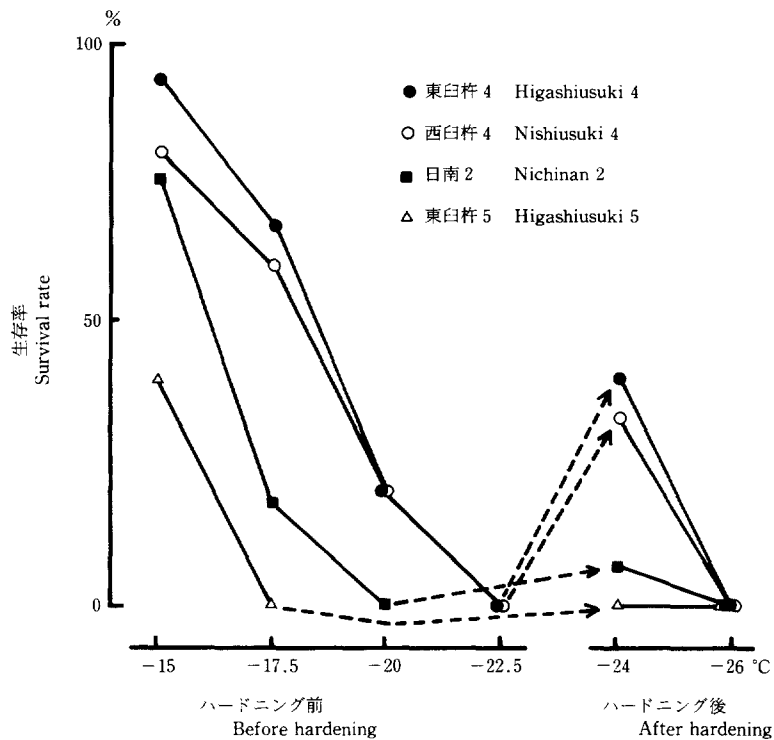


Fig. 24. スギクローンの生存率に与えるハードニング処理の効果 (高木・細山田 (1984))
Effect of hardening on the survival in each clone

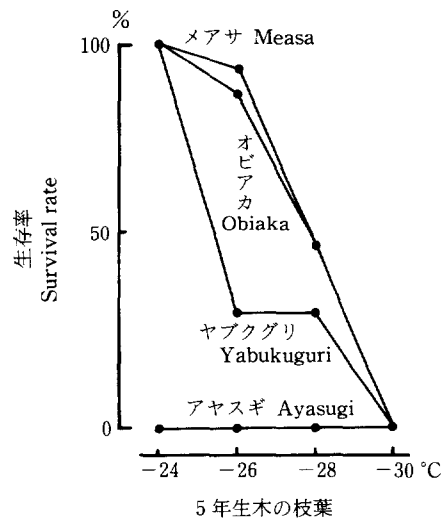


Fig. 25. スギ品種の生存率に与えるハードニング処理の効果 (高木・細山田 (1984))
Effect of hardening on the survival in each variety

といえよう。 -26°C で生存率 100%を示したものが 12 クローン、80%が 5 クローン、60~20%が 10 クローンであった。これらは、試料採取時の耐凍度から比べれば耐凍性は増加したといえるが、最大耐凍度 -25°C とあまり変わらない。すなわち、ハードニングによって耐凍性は増すが自然条件下の最大耐凍度を超えることの出来ないクローンといえよう。

4 凍害防止法の検討

凍害防止法に関する主な報告として、北海道では今田・佐々木 (1959)、北関東では堀内 (1976)、笹沼・坂上 (1979)、九州では徳重・尾方 (1968)、徳重・上中 (1964) などがあり、そのほか各地で試験的な防止法が試みられた。凍害発生はその地域の低温の出現と、造林木の耐凍度によって決まる。従って、凍害防止、あるいは回避対策は、造林適地の選定、造林地の環境改善、抵抗性品種・クロンの選定などが重要である。

凍害発生地には常習地、突発的多発地があり、常習地では造林してもその年のうちに枯死するかあるいは 1, 2 年で全滅する。このような地域は九州の場合、標高 500 m 以上の開放地形や凹地形に多く現れ、冬季の日最低気温が低く日最高気温が高いため、日較差の大きい特徴がある。九州の凍害は胴枯れ型の被害、すなわち、幹基部の被害が致命的であることから、幹基部の保護対策が必要である。

徳重・上中 (1964) は、凍害防止対策として、巢植えと幹下部への遮光板立てが効果的であるが、下刈り、除草、耕運、ワラ巻きはあまり効果がないという。尾方・上中 (1965) は、遮光板立て、溝切り、囲み植えは防止効果が大きい、完全な下刈りはかえって凍害を大きくするという。すなわち、下刈り方法や時期については検討を要するが、マツ類によるそえ植え、平坦地や緩斜面でのトラクターによる溝切りなどが有効な施業法であるという。そこで、凍害防止法の検討を凍害発生常習地で検討した。

4.1 樹体温度の日変化と温度調節法

これらの凍害防止、回避技術は、いずれも接地気温や樹体温度の調節にかかわることから、まず冬季の樹体温度の特性を調べるとともに、これら気温、樹体温度と施業法の関係を検討した。

4.1.1 冬季の樹体温度の日変化

材料と方法

熊本県上益城郡内熊本営林署吉無田国有林に試験地を設定した。凍害が発生する凹地、南斜面及び 12 年生スギが成林している北斜面に、1963 年 3 月 1 年生さしスギ苗を植栽した。1964 年 2 月 27~28 日に、スギ幼木の地際より高さ 20 cm の幹に測温用サーミスタを挿入し、温度変化を記録した。

結果と考察

日最高温度は南斜面のスギで現れ、ついで凹地形のスギであった。北斜面のスギはあまり温度が上がらなかった (Fig. 26)。夜間の日最低温度は凹地形のスギで最も低く、ついで南斜面、北斜面のスギであった。すなわち、北斜面のスギの樹体温度の日較差が最も小さかった。それぞれの地形に植栽された樹体温度と接地気温の関係を検討したところ、凹地や南斜面では日中の樹体温度が接地気温より高く、夜間は低かった。北斜面では逆に日中の樹体温度が低く、夜間は変わらなかった。北斜面では隣接するスギ林の遮蔽も加わって日射量が制限され、温度差を小さくしたと思われる。一方、北斜面のスギの樹体温

Table 13. ヒノキ43クローンの凍結温度と生存率 (高木ら (1988))

Relationship between survival rate and temperature of treatment in 43 clones of *Chamaecyparis obtusa*

-30°C		-28°C		-26°C			
100%	80%	100%	80%	100%	80%	60~20%	0 %
薩摩9 Satsuma9	神崎2 Kanzaki 2	神崎2 Kanzaki 2	始良15 Aira 15	始良15 Aira 15	始良30 Aira 30	鹿児島5 Kagoshima 5	始良14 Aira 14
四日市14 Yokkaichi 14	藤津11 Fujitsu 11	藤津11 Fujitsu 11	始良45 Aira 45	始良45 Aira 45	川辺2 Kawanabe 2	曾於2 Soo 2	始良46 Aira 46
		伊佐1 Isa 1		始良52 Aira52	大分5 Ooita 5	始良4 Aira 4	川辺14 Kawanabe 14
		長崎1 Nagasaki 1		鹿児島4 Kagoshima 4	阿蘇1 Aso 1	始良32 Aira 32	川辺16 Kawanabe 16
		始良2 Aira 2	川辺13 Kawanabe 13	川辺13 Kawanabe 13	阿蘇3 Aso 3	川辺3 Kawanabe 3	薩摩2 Satsuma 2
		始良43 Aira 43	大分4 Ooita 4	大分4 Ooita 4		川辺25 Kawanabe 25	藤津8 Fujitsu 8
		川辺17 Kawanabe 17		大分7 Ooita 7		川辺29 Kawanabe 29	藤津10 Fujitsu 10
				神崎5 Kanzaki 5		山田2 Yamada 2	
				藤津7 Fujitsu 7		中津9 Nakatsu 9	
				藤津12 Fujitsu 12		神崎4 Kanzaki 4	
				南高来10 Minamitakaki 10			
				長崎署1 Nagasaki sho 1			

度が南斜面のそれよりも夜間で高い理由は考えにくい。測定木の位置関係やわずかな地形の凹凸も影響すると思われるので、今後調べていく必要がある。

凹地形や南斜面は凍害発生の危険地形であるといわれ、今回調べた樹体温度の低下が著しいこととよく一致した。

4.1.2 囲み植え、遮光板立て、下刈りの効果

材料と方法

1964年春、九州材木育種場内で1年生さしスギ品種アヤスギ苗を植え付け、凍害防止法として設定したクロマツによるスギ苗囲み植え区と、合板(50×50 cm)をスギ苗の南側にたてる遮光板区、及び下刈り区について、接地気温(地上20 cm)と地温(深さ10 cm)への影響を白金抵抗温度記録計を用いて調べた。

結果と考察

寒さの厳しかった1965年2月25～26日の各温度の日変化をFig.27に示す。日最高気温では、下刈り区で最も高く、遮光板立てが最も低かった。日最低気温では、下刈り区で最も低かった。また、地中温度では下刈り区が低かった。これらのことから、遮光板立ては日中の接地気温の上昇を抑え、接地気温の日較差を小さくするばかりでなく、地温低下に効果があることが分かった。このような効果はスギの樹体温度にも影響を与え、遮光板立ては樹体温度の日中上昇と夜間の下降を抑制する効果として現れる。クロマツによる囲い込みも同様の効果があるが、遮光板立てほどではなかった。これらの施業法による温度抑制効果は、堀内(1976)、今田・佐々木(1959)、江口ら(1972)の樹下植栽地、笹沼・橋本(1970)、土井ら(1970)の巢植えなどによる実験結果と一致する。

下刈りは夜間の放射冷却を助長して、地温、接地気温を下げるばかりでなく、日中の太陽光による接地気温の上昇を増加させ、幹周辺の温度を高くすることから、凍害を発生させる条件を作り出している。従って、北斜面植栽や遮光、巢植え、樹下植栽法により幹基部の日中温度を低く保つことで、幼齢木の凍害はかなり防止できると思われる。

4.1.3 日覆の効果

材料と方法

九州支場苗畑に1967年3月、さしスギ品種ヤブググリ1年生苗を50 cm正方形で植え付け、同年9月末にヨシズで日覆をした。同年10月から翌年の3月末まで接地気温(地上30 cm)、地中温度(深さ10 cm)、及びスギ苗樹体温度(地際より高さ30 cm幹の南側)を、銅-コンスタンタン熱電対で調べた。対照区は無日覆区とした。

結果と考察

接地気温の場合、日覆区では対照区に比べ最高気温でおよそ3℃低く、最低気温は逆におよそ2℃高かった。地中温度は日覆区が低く、厳冬期では対照区と1.5～2.0℃の差があった。スギ苗の樹体温度(Fig.28)は気温変化に追従したが、夜間は接地気温よりも低く、日の出直前に最低温度となった。気温の上昇に伴って樹体温度も上昇し、日中は接地気温より高温となった。夜間では、日覆区、対照区とも接地気温との差は小さいが、日中は日覆区が小さく対照区が大となった。また、接地気温が氷点下2℃前後で幹内部に結水が生じ、凍結が始まった。この場合、一時的に温度は接地気温より高くなるが再度低下する。幹の凍結は日覆区が遅く始まり、また、凍結時間が短く、日中の樹体温度上昇に遅れがあった。従って、日覆をすることは、接地気温を緩和し、スギの樹体温度の日中の温度上昇と、夜間の温度下降の抑制に効果があることが明らかとなった。

4.2 植栽法、下刈り法による凍害防止効果

4.2.1 クロマツ側方植栽法(混植法)

材料と方法

試験地を波野試験地(前出)に設定した。試験地は、谷合いの南から北にわずかに傾斜する平坦地形に位置していた。植栽方法として、①:2年生クロマツを1.0×1.0 mの正方形に先行植栽(1970年)し、翌年スギ苗を南北列の中間に植栽する方法、②:クロマツとスギ苗を同時に植栽する側方植栽法(1971

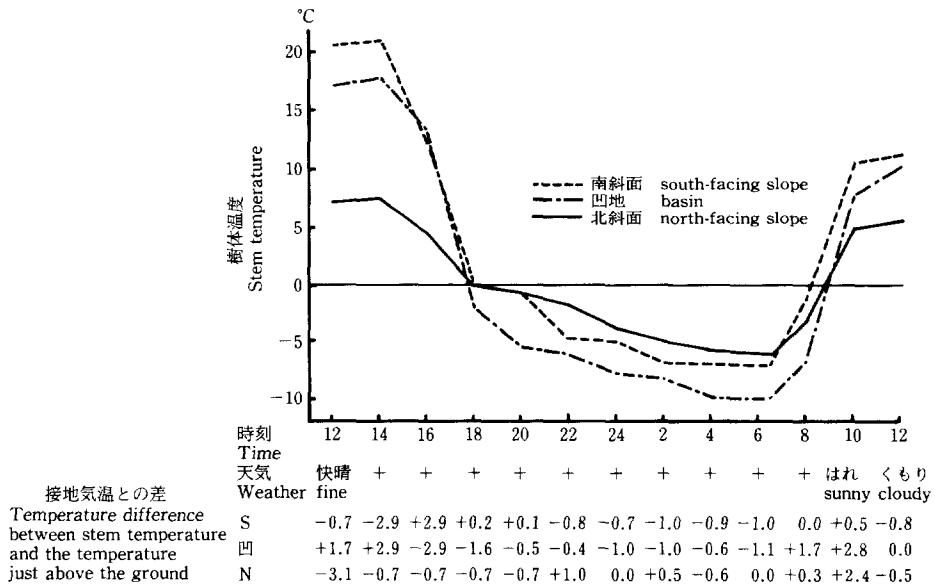


Fig. 26. 地形別のスギ苗の樹体温度 (尾方ら (1966))

Diurnal trends of stem temperature of planted *Cryptomeria japonica* in various sites

年), 及び③: 対照区, スギ単植法 (1.0×1.0 m 方形植え, 1971 年) を用いた。これらの試験区は二つの繰り返り区を用意した。ただし, ①のクロマツ先行植栽試験区では, クロマツに胴枯れ型の凍害が 50% 発生し, 補植を行ったので, この試験区は②の試験区と同じような試験区となった。凍害の発生調査は 1972 年に行った。

結果と考察

クロマツに被害は認められなかった。スギの生存率は, 側方植栽区で 64%, スギ単植区で 62% とあまり大きな違いがなかった。しかし, 試験区内の被害発生状況に差異があり, 北側にあるものほど被害が多かった。被害の少なかった南側だけに注目して, 翌年以降調査を続けた。その結果, 側方植栽区の場合の生存率は, 1972 年に 78%, 1975 年に 69%, 1983 年に 65% となった。一方, 単植区では, 1972 年に 72% と側方植栽区と変わらなかったが, 1983 年には 26% まで低下した。

側方植栽区は 1975 年以降, 生存率は安定していたが, 生存していたものの中に, 幹の二股や幹の変形などの個体も含まれていた。植栽後 13 年の成長結果では, いずれの区でも成長に個体差が大きく, 側方植栽区で, 胸高直径 1~21 cm, 樹高 1.2~12 m, 単植区で, 胸高直径 1~18 cm, 樹高 2~8.8 m の範囲であった。

これらの結果は, クロマツを用いた側方植栽方法が, 凍害の発生を回避する技術として有効であることを示している。スギがある程度成長してくれば, クロマツの除伐などによって, スギが成林するものと思われる。また, 今回, 1971 年の低温によって先行植栽したクロマツが被害を受けてしまったので, よい結果は得られなかったが, クロマツの先行植栽や, 同時であればクロマツ大苗の植栽も有効な方法

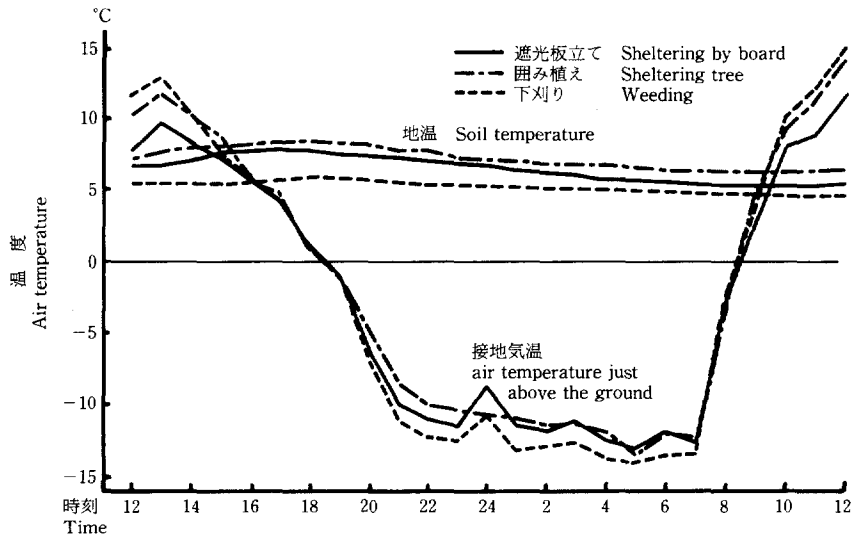


Fig. 27. 処理別の接地気温と地温の日変化 (尾方ら(1966))

Diurnal trends of air temperature just above the ground and soil temperature
(1965年2月25～26日) Feb. 25～26, 1965

といえよう。

4.2.2 樹下植栽法

材料と方法

4.2.1と同じ試験地で実験を行った。2年生クロマツを1971年4月に1.0×1.0 mの方形に植えた。4年後の1975年4月中旬に、クロマツの中間に1年生さし木クローン苗55種類、及びアヤスギ苗の計56種で、各種10本ずつ植栽した。対照区として、単植区を設けた。

結果と考察

1976年の調査では試験区間に差が認められなかったが、1977年の結果は、樹下植栽区で生存率63%、単植区で1%以下であった。単植区の被害はすべて胴枯れ型であった。このように、樹下植栽は凍害防止に大きな効果があり、この防止効果を生む原因として、次のような過程が考えられる。耐凍性の獲得時期では、樹下植栽されたスギの方が、裸地に植栽されたスギより早く耐凍性を獲得するといわれ(堀内, 1976)、その結果、初冬期の低温に対して、樹下植栽されたスギは耐性がある。一方、3月の耐凍性減退期についてみれば、3月下旬の耐凍度は、樹下植栽のスギが単植区のそれよりも高い。(Figs.29, 30)。すなわち、初春期の低温に対しては、樹下植栽のスギの方が耐性が強いことになる。このような樹下植栽されたスギの耐凍性の特性が晩秋～初冬、初春期の最も凍害の危険時期を回避する。

4.2.3 下刈り方法

材料と方法

1980年4月にさしスギ品種1年生アヤスギ、及びスギ精英樹12クローンを波野試験地へ1.0×1.0 mで植えた。同年7月に第1回の下刈りを行った。この場合は全試験区とも全刈りとした。さらに同年9

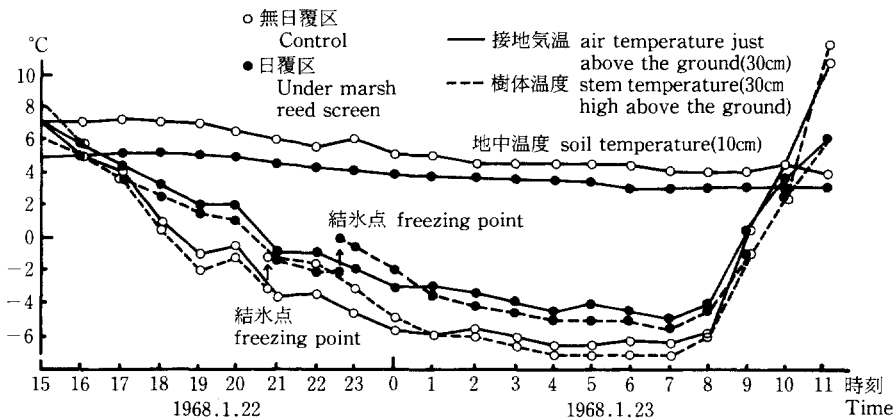


Fig. 28. 厳冬期におけるスギ幼齢木幹の樹体温度と接地気温及び地中温度の日変化 (高木ら (1968))

Diurnal trends of stem temperature of seedlings, air temperature just above the ground, and soil temperature

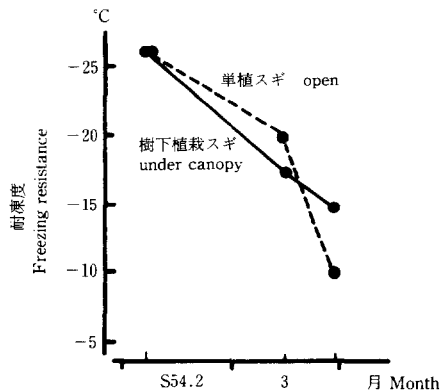


Fig. 29. クロマツ樹下植栽スギと単植スギの耐凍度 (高木 (1980))

Freezing resistance of *Cryptomeria japonica* planted in open and under the canopy of larger *Pinus densiflora*

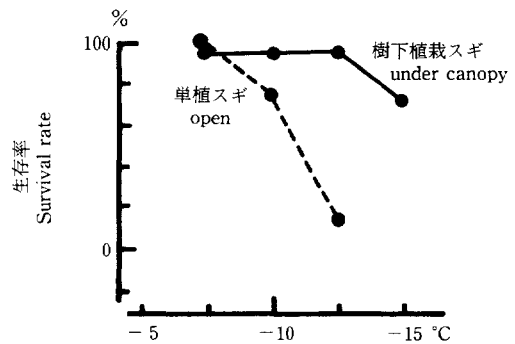


Fig. 30. 耐凍性減退期の凍結温度と生存率 (高木 (1980))

Relationship between survival rate and freezing temperature in the lowering freezing resistance period

月, 下刈りを実施したが, このときは, 全刈り区, 筋刈り区(植栽スギの南側の雑草木を帯状に 30 cm幅で残す), 放置区(下刈りをしない)の 3 試験区を設置した。凍害の防止効果は翌年 10 月に調査した。

結果と考察

各試験区の被害状況をFig.31 に示す。健全木の割合は放置区で高く, 全刈り区で低かった。逆に, 枯

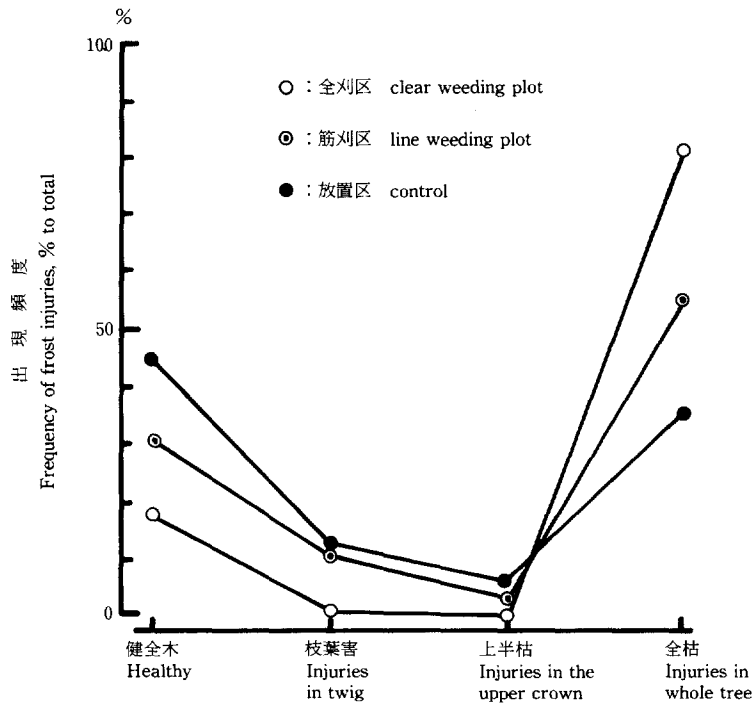


Fig. 31. 下刈り方法と被害 (高木 (1982))
Relationship between freezing injuries and various weedings

死木の割合は全刈り区で高く放置区で低かった。筋刈り区はいずれも中間であった。すなわち、雑草が多いほど造林木の保護効果は大きかった。下刈りは造林木の成長を助長する一般的な造林技術であるが、成長休止期に限っていえば、マイナス効果となる。この試験地は、厳冬期の最低気温が $-18\sim-20^{\circ}\text{C}$ にもなる厳しい立地条件であったため、放置区の凍害防止効果が高かったが、これほど冬季の低温が厳しくない地域では、適度な下刈りが成長期の造林木の成長を促進するとともに、冬季の凍害を防止するものと考えられる。

5 お わ り に

本研究は、スギ、ヒノキ幼齢木の凍害防止技術の確立に資するため、凍害発生の実態調査、凍結実験による耐凍性の評価、発生機構の解明を目的とした。

1. 九州における凍害の発生は、晩秋から初春にかけて移動性高気圧におおわれるときの冷え込みが発生しやすい地形と地域に起こる。すなわち、南九州の中部山地や盆地、台地などに多発し、枯死の原因は胴枯れ型被害がほとんどであった。この激害型のタイプは東北や関東地方で起こるものと同じであった。凍害の発生は、耐凍性を十分に備えることのできない初冬期、耐凍性がなくなっていく初春期

の低温である場合が多いことを明らかにした。

2. 耐凍性は晩秋の上長成長休止後、気温の低下に伴って急速に高まり、厳冬期に最大になったあと、初春に向かって低下するが、この傾向に種間差があった。

耐凍性の増加はカラマツで最も早く、次いでアカマツ、ヒノキ、スギの順であった。

3. 厳冬期の耐凍度はアカマツが最も低く、 -30°C 程度でヒノキでおよそ -25°C 、スギでおよそ -20°C であることを明らかにした。スギの部位別の耐凍度を比較した結果、幹下部の耐凍度は幹上部、枝葉より低かった。また、初冬期の耐凍性の獲得が遅い一方で、初春期の減退が早いことが明らかとなった。これらのことは幹基部の被害が多いことと一致する。

4. 凍害の発生、耐凍性には品種間差、クローン間差があった。

①品種間差の概要

人工的な低温処理によって -28°C の耐凍性を発現する品種があるが、自然条件下の寒さの厳しい地域で越冬しているスギは、 -24°C が耐凍性の限界であった。同一場所に植栽されたスギ品種の耐凍性には差異があり、比較的強い品種にオビアカ、メアサ、ヤブクグリ、弱い品種にアヤスギ、実生スギがあげられた。しかし、耐凍性の差異は極端に大きくなかった。初冬、早春期の気象条件とスギ品種の生育条件によって、地域変動が認められた。この場合、その地域を郷土とする品種が強かった。

②クローン間差の概要

九州で選抜されているスギ精英樹クローンは、挿し木由来品種の林分からのものが多く、形態的にも類似したクローンが多い。従って、耐凍性のクローン間差は在来品種と同じような傾向にあり、今後検討する必要がある。耐凍性の地域差が小さく、比較的強いクローンに高岡署4号があり、弱いクローンに福岡署2号があった。これらは、クローン間差を明らかにする指標クローンとしても重要である。

補足的に調べたヒノキは、自然条件下で -25°C の耐凍性を示したが、実験的には -30°C の耐凍性を発現するクローンがあった。九州のヒノキ挿し木造林は少なく、地域によって種子採取源が異なるので、品種的に明確でないことが多く、今後検討していく必要がある。

5. 凍害の発生は幼木の耐凍性と接地気温の低下に伴う樹体温度の低下と関係が深かった。従って、凍害の発生防止は、耐凍性にかかわる幼木幹部の日中の高温化を防止する温度環境の制御が重要であることが分かった。すなわち、凍害防止技術として、植栽地形の選択、造林地の植生の有効利用のほかに、凍害常習地域では樹下植栽法、マツ類の先行植栽による側方混植法などが有効であった。凍害のあまり著しくない地域では、下刈り法を検討することによって可能であり、強度の下刈りはあまり好ましくないことを明らかにした。

引用文献

- 土井恭次ほか：スギ寄せ植えによる凍害防止効果，日林誌，52,120～125（1970）
- DOI, K. *et al.* : Seasonal trends of several water relation parameters in *Cryptomeria japonica* seedlings, Can. J. For. Res., 16,74～77（1986）
- 江口 完ほか：北海道における材木の凍害，北方林業叢書，50,1～131（1972）
- 古川 忠，岩崎正明：東北地方におけるスギの寒風害・凍害の発生要因と被害防止について，林業技術研究集録 青森営林局，31,36～45（1978）
- 早川誠而ほか：九州地域の最低気温の地理的分布特性，九州の農学気象，21,43～47（1985）
- 林 武彦：各地方産ミショウ杉の植栽試験，日林九支講，17,94～96（1963）
- 堀内孝雄：北関東におけるスギの寒さの害に関する研究，茨城県林試研報 3,1～39（1969）
- ：スギ幼齢木の幹の凍害と防除に関する研究，茨城県林試研報，10,1～59（1976）
- 今田敬一，佐々木準長：凍害と霜害，北方林業叢書，13,1～196（1959）
- 北浦 澄：晩霜による桑の凍結および被害に関する研究，蚕試研報，22,202～323（1967）
- 丸山 温，森川 靖：葉の水分特性の測定—P—V曲線法—，日林誌，65,23～28（1983）
- 松永健一郎，高木哲夫：スギ精英樹クローン耐凍性の年変動，日林九支研論，25,70～71（1971）
- 武藤 淳，堀内孝雄：スギ種子産地と寒害抵抗性，日林誌，56,210～215（1974）
- 尾方信夫，上中作次郎：林木凍害防除試験について(2) スギの施策方法別被害状態，日林九支講，19,92～94（1965）
- ほか：林木凍害防除試験について(3) 凍害常習地における接地気温と樹体気温の2・3の測定例について，日林九支研論，20,32～34（1966）
- ほか：九州地方スギ造林地の寒害，山林，1 013,4～9（1968）
- 酒井 昭：木本類の耐凍性増大と糖類及び水溶性蛋白質との関係(1). 低温科学 生物篇，15,17～29，（1957）
- ：材木の寒の害に関する用語の使用法について—提案，日林誌，48(1), 25～29，（1966）
- ，斉藤 満：スギの幹の基部の凍害，日林誌，49(6), 244～251（1967）
- ：植物の耐凍性と寒冷適応—冬の生理・生態学—，学会出版センター，1～469（1982）
- 笹沼たつ，橋本武雄：阿武隈山系(高原状地形)におけるスギの凍害と地形，日林誌，52,28～288（1970）
- ，坂上幸雄：造林地の寒害とその対策，わかりやすい林業解説シリーズ，64,1～61（1979）
- ：冬期における地表植生と凍害—スギ幼齢・植栽木の凍害軽減について—，緑化士技術，9(2),16～21（1983）
- 高木哲夫，上中作次郎：主要林木の耐凍性季節変化，日林九支講，19,90～91（1965）
- ほか：主要林木の耐凍性カーブの年変動について1・2の知見，日林九支講，20,31～32（1965）
- ほか：サシスギ苗の生育環境をかえた場合の耐凍性の変化，日林九支研論，21,11～12（1967）
- ，上中作次郎：生育環境を異にしたスギの耐凍性の変化，日林九支研論，22,85～86（1968）
- ほか：日よけ条件下の耐凍性，林試九州年報，10,45～47（1968）
- ほか：九州産スギ精英樹クローンの耐凍性，日林九支研論，23,152～153（1969）
- ：各地方産実生スギの耐凍性，日林九支研論，24,62～64（1970）
- ，松永健一郎：切り枝凍結試験によるスギ精英樹クローンの耐凍性比較，日林九支研論，26,165～166（1973）
- ，———：凍害常習地におけるスギ精英樹クローンの耐凍性検定，日林九支研論，27,75～76（1974）
- ：暖地と寒冷地に造林されているスギ精英樹クローンの耐凍性，日林九支研論，

27,73～74（1974）

———，藤本吉幸：スギ幼齡木の凍害発生時期とスギクローンの被害，林試九州年報，22,8～9（1979）

———：樹下植栽によるスギの耐凍性，日林九支研論，33,323～324（1980）

———：スギの凍害常習地における下刈り方法と凍害防除，日林九支研論，35,75～76（1982）

———：スギの凍害常習地における下刈り施業方法と凍結防除，日林九支研論，35,75～76（1982）

———，細山田典昭：スギ枝葉のハードニングによる耐凍性，日林九支研論，27,79～80（1984）

———ほか：ヒノキサシ木クローンのハードニングによる耐凍性，日林九支研論，41,55～56（1988）

徳重陽山ほか：九州地方における林木の凍霜害および寒風害に関する調査報告，林試九州研資料 5,1～34（1962）

———，上中作次郎：林木凍害防除試験について，日林九支講，18,15～17，（1964）

———，尾方信夫：造林地の寒さの害，わかりやすい林業研究解説シリーズ，27,1～52（1968）

外山三郎：林木育種に関する知見，林試研報，66,5～39（1954）

鳥屋尾忠之ほか：チャの耐寒性の品種間差異と早期検定，茶試研報，9,1～72（1974）

塚原初男，西村康二：スギ精英樹クローンの成長周期性について（II），日林九支講，20,17～18（1966）

福岡管区気象台：九州の気候，西日本気象協会，14～17（1964）

附表

スギクローンの耐凍性一覧表

クローン	現 地 試 験			凍 結 実 験			耐凍性 タイプ
	低地 (育種場)	高地 (波野)	地域 変動	低地	高地	地域 変動	
福岡署 1	—	—	—	小	—	—	
福岡署 2	小	小	小	小	小	小	
嘉穂 1	—	小	—	—	—	—	
甘木 4	—	小	—	中	—	—	
浮羽 6	—	中	—	—	—	—	
浮羽 7	中	大	大	—	—	—	C
浮羽 9	—	—	—	—	—	—	
浮羽 12	—	—	—	小	—	—	
八女 3	—	—	—	中	—	—	
八女 6	—	—	—	小	—	—	
八女 7	—	小	—	—	—	—	
八女 9	—	—	—	—	—	—	A
八女 12	—	—	—	小	大	大	B
佐賀 3	—	—	—	小	—	—	
唐津 4	—	—	—	大	—	—	
唐津 5	—	中	—	—	—	—	A
唐津 6	—	—	—	小	小	小	
伊万里 2	—	—	—	—	—	—	B
杵島 2	—	—	—	中	—	—	
藤津 5	—	—	—	大	—	—	
藤津 12	—	大	—	—	—	—	
藤津 14	—	—	—	大	—	—	
藤津 17	—	中	—	—	—	—	
藤津 24	—	—	—	小	大口	大	
藤津 29	—	中	—	—	—	—	
諫早 2	—	—	—	小	—	—	
阿蘇 8	大	小	大	—	—	—	A
芦北 2	—	—	—	—	—	—	B
球磨 2	—	—	—	—	—	—	A
球磨 5	—	小	—	小	中	小	
日出 1	—	—	—	中	大	小	
国東 3	—	—	—	大	—	—	
国東 5		—	—	中	—	—	
臼杵 12	—	—	—	小	—	—	
佐伯 6	—	—	—	小	—	—	
竹田署 1	—	—	—	—	—	—	B
竹田 5	—	—	—	小	—	—	
竹田 6	—	—	—	中	—	—	
竹田 11	中	大	大	小	大	大	
竹田 12	—	—	—	—	大	—	
玖珠署 1	—	—	—	—	—	—	B
玖珠署 3	小	大	大	—	—	—	C
玖珠 1	—	—	—	大	—	—	
玖珠 4	中	大	大	—	—	—	
日田 1	中	中	小	中	大	大	
日田 3	—	—	—	中	—	—	
日田 5	小	小	小	大	—	—	B
東臼杵 4	—	—	—	大	—	—	
東臼杵 5	中	中	小	中	大	小	
東臼杵 12	—	—	—	大	—	—	
東臼杵 14	—	—	—	中	—	—	
東臼杵 15	—	—	—	小	—	—	
西臼杵 1	—	—	—	大	—	—	
尻湯 1	小	大	大	—	—	—	B
綾署 1	—	中	—	—	—	—	
綾署 2	—	中	—	—	—	—	
綾署 3	—	中	—	—	—	—	
綾署 4	—	—	—	—	—	—	B
綾署 6	小	中	小	—	—	—	B
高岡署 1	—	大	—	—	—	—	
高岡署 2	—	大	—	—	—	—	
高岡署 4	大	大	小	大	—	—	B
高岡署 6	—	大	—	—	—	—	
宮崎署 1	—	大	—	—	—	—	

(つづき)

クローン	現 地 試 験			凍 結 実 験			耐凍性 タイプ
	低地 (育種場)	高地 (波野)	地域 変動	低地	高地	地域 変動	
宮崎署 2	—	中	—	—	—	—	
宮崎署 3	—	大	—	—	—	—	
宮崎署 4	—	大	—	—	—	—	
宮崎署 5	大	中	小	—	—	—	B
宮崎署 6	大	中	小	中	大	小	
宮崎署 7	大	大	小	大	—	—	B
日南 2	—	—	—	大	—	—	B
鉄肥署 1	—	大	—	—	—	—	
鉄肥署 5	—	中	—	—	—	—	
鉄肥署 9	—	大	—	—	—	—	
鉄肥署 10	—	—	—	—	—	—	B
都城署 1	—	大	—	—	—	—	
都城署 3	—	大	—	—	—	—	
都城署 4	—	小	—	—	—	—	
都城署 5	—	大	—	大	—	—	
加久藤署 1	中	中	小	—	—	—	B
加久藤署 8	—	—	—	—	—	—	C
鹿屋署 1	—	中	—	—	—	—	
鹿屋署 2	—	大	—	—	—	—	
大根占署 1	小	大	大	—	—	—	B
曾於 1	—	大	—	—	—	—	
肝属 1	—	大	—	大	—	—	
肝属 2	—	—	—	中	大	小	
肝属 3	—	小	—	—	—	—	
肝属 6	—	—	—	大	—	—	
肝属 9	—	—	—	大	—	—	
始良 4	—	—	—	小	大	大	
始良 5	小	大	大	—	—	—	A
始良 16	—	—	—	大	—	—	
始良 23	—	中	—	—	—	—	
始良 52	—	大	—	—	—	—	
鹿児島署 1	小	—	—	—	—	—	B
鹿児島署 2	—	大	—	小	—	—	

クローン	現 地 試 験			凍 結 実 験			耐凍性 タイプ
	低地 (育種場)	高地 (波野)	地域 変動	低地	高地	地域 変動	
川辺 2	—	—	—	大	—	—	
川辺 3	—	大	—	—	—	—	
川辺 6	—	大	—	—	—	—	
指宿 1	—	大	—	—	—	—	
日置 2	小	中	大	大	—	—	
日置 5	小	大	大	—	—	—	
日置 7	—	中	—	—	—	—	
川内署 1	—	中	—	—	—	—	
川内署 2	—	中	—	—	—	—	
薩摩 1	—	中	—	大	—	—	
薩摩 3	小	中	小	大	—	—	
薩摩 4	—	中	—	中	—	—	
薩摩 5	—	大	—	大	—	—	
薩摩 8	—	中	—	—	—	—	
薩摩 13	—	大	—	—	—	—	
薩摩 14	—	—	—	大	—	—	
大口署 1	—	中	—	—	—	—	
大口署 2	—	中	—	—	—	—	
大口署 3	—	—	—	—	—	—	B
伊佐 2	—	大	—	—	—	—	

Hardeningによる耐凍性（葉）

（宮崎）

（支場）

東白杵 4	大	ヤブクグリ	中
東白杵 5	小	アヤスギ	小
西白杵 4	大	オビアカ	大
日南 2	小	メアサ	大

**Freezing Injuries and Their Protection of Young Planted Sugi
(*Cryptomeria japonica*) and Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*)
Trees in Kyushu District**

TAKAGI, Tetsuo⁽¹⁾

Summary

Freezing injuries in young plantation of *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* severely occurred in southern districts of Kyushu; Kujyu, Aso, and Kirishima Mountains, Hitoyoshikuma, Ookuchi, and Miyakonojyo Basins, Shifushi and Kaya Areas.

Places where the freezing injuries had occurred were south slopes of piedmonts, basins, concaves, and valleys. About five to six years old trees in the plantation were sensitive to frost. Visible injury was observed in spring, however, latent damages were in late autumn and early March. These damages were well corresponding to the times of abnormal low air temperature and feeble freezing resistance of the trees.

Freezing resistance increased rapidly with decreasing air temperature in late autumn, reached maximum value in mid winter, and decreased with increasing air temperature on March. Maximum freezing resistances were about -20°C in *Cryptomeria japonica*, about -25°C in *Chamaecyparis obtusa*, and below -30°C in *Pinus densiflora* under natural conditions, respectively. Freezing resistance was lower in lower part of stem than tree crown, branches, and upper part of stem in *Cryptomeria japonica*. Artificial hardening was effective to increasing freezing resistance and the maximum value was -24°C in most races of *Cryptomeria japonica*.

There were difference in freezing resistance among races and clones of *Cryptomeria japonica*, the stronger races were Obiaka, Measa, and Yabukuguri, and stronger clone was Takaoka No. 4.

Freezing injury of planted *Cryptomeria japonica* was avoided with artificial various treatments; cutting down the weeding and utilizing the natural vegetation, planting the seedlings beside the planted *Pinus densiflora* trees, planting under the bigger trees, and placing the small white board at the south side of stem. These treatments were effective to protect the increasing stem temperature in midday. These results suggest that decreasing the differences of stem temperature between midday and night was important to avoid frost injury.