HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	造林地のとどまつの凍害に關する研究
Author(s)	今田, 敬一
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 16(2), 117-174
Issue Date	1953-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/20693
Type	departmental bulletin paper
File Information	16(2)_P117-174.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

演習林研究報告 第十六卷 第二號

造林地のとどまつの凍害に關する研究

敎授 林學博士 今田敬一

STUDIES ON FROST INJURY OF AFFORESTED TODOMATSU (*Abies Mayriana*)

By

KEIICHI KONDA, *Professor, Ringakuhakushi*

目次

緒言 …… 118
研究の動機と經過 …… 118
研究の場所 …… 119
研究の方法 …… 121
凍害の痕跡 …… 122
A. とどまつ凍害造林地の實態 …… 128
1. 凍害の概況と調査地區 …… 128
概況 …… 128
調査地區とその低氣温 …… 129
2. 軸梢の芽の凍害 …… 130
3. 凍害地の生長 …… 133
地區の樹高 …… 133
地區の上長生長 …… 135
4. 凍害をうけたとどまつの形態 …… 136
5. 林縁の凍害緩和作用 …… 138
6. 林縁のとどまつの生長狀態 …… 141
7. 現在の狀況 …… 144
調査地區附近の現狀 …… 145
林縁附近の現狀 …… 146
凍害をうけたとどまつの枯損 …… 147
B. 凍害の試驗 …… 148
8. 植栽地とその低氣温 …… 148

植栽地・植栽の方法 …… 148
植栽地の最低氣温 …… 149
9. 凍害の經過 …… 152
10. 植栽した とどまつ の凍害 …… 159
輪梢の芽の凍害 …… 159
枝の先端の芽の凍害 …… 161
上長生長 …… 164
11. 發芽の遲滯 …… 165
12. 凍害試驗の結果 …… 167
結 言 …… 171

緒 言

とどまつは北海道の重要な造林樹種であるが，苗圃において凍害をうけやすいばかりでなく，造林地に植栽してからも凍害をうけやすい爲，生育が思わしくなかつたり，またいくら植えても枯れて了う場合がある。

別に**とどまつ**だけに限つたことではないが，造林地の凍害は，一般によく理解されていると言われない。生育がわるい直接の原因は凍害であるにも拘わらず，擧げれば擧げることができる立地の惡條件や，凍害の後にあらわれ勝ちな，蟲害や菌害などに直接の原因があるかのよう誤解されていることも少くない位である。

著者は北大苫小牧演習林の凍害地について，晩霜季の低氣温を觀測しその結果を公刊したが，同時に，その凍害地に造林した**とどまつ**の生育と被害狀況についても，調査と試驗を行つた。これによつて，造林地の**とどまつ**の凍害の實態を一應明らかにすることが出來たと思うので，この稿を草する次第である。これによつて北海道の**とどまつ**造林に，幾分でも貢獻することができれば幸いである。

この研究は服部報公會と日本學術振興會の援助，引續き文部省科學研究費をうけた著者の森林の微氣候に關する研究の一部分である。

研究の動機と經過

北大の苫小牧演習林は比較的寒冷なところで，苗圃の凍害がいつも問題になつている。昭和13年の春，造林のため**とどまつ**の成苗を檢査したところ，山出し可能の苗は3158本のうち約30%の950本にすぎなかつたことがある。しかしそれも大部分は凍害のため複梢になつており，植えるまえに梢頭の小枝を適當に剪定しなければならない有樣であつた。このように苗木のほとんど總てが可なりいちじるしい凍害にかかつているのを知つて驚いたが，同年の6月18日になつて，おなじ苫小牧演習林の山の神事業區の一部にひど

い晩霜があり，新植地の**とどまつ**約12萬本が大きい被害をうけ，他にやや古い造林地の**どいつたうひ**などの分もあわせ，合計約24萬本の植栽木に大小の被害があつた[1]。

著者はこれらを動機として造林地の凍害問題の研究を思いたち，13年の夏，北海道内の各北大演習林と當時の樺太演習林をめぐり，造林地の凍害について概念をえ，翌14年の4月，札幌にちかい苫小牧演習林のなかに典型的な凍害地を見出し，植栽した苗木に現に凍害をあたえている地表附近の低氣溫の觀測，それと同じ場所の**とどまつ**の凍害の實態調査及び凍害に關する試驗を實施した。

この研究に最も力をつくしたのは昭和14年の春から17年の春にいたる滿3年間で，重要な季節には現地に滯在し，またその前後の數週はほとんど毎週一兩日づつ現地に行つて觀測と觀察にあたり，できるだけ事態を正しくつかむように努力した。

その後はにわかに戰局がきびしくなり，やがて苫小牧演習林は北海道防衛の一基地となつて，昭和19年には試驗地の一部が軍用に伐採され，研究もひとまず打切らなければならない有樣となつた。

終戰後もしばらくそのままであつたが，昭和26年の春，研究のはじめに凍害地に試驗のため植えた**とどまつ**苗の成育と被害を調査したので，前後の結果とをあわせてこの稿をまとめることにした。

研究の場所

研究を實施した場所は，北大苫小牧演習林幌內事業區第21林班である。ここは著者が昭和23年に公刊した「晩霜季における林地の低氣溫」[2]の研究を實施した場所で，頂が海拔47.2 mの火山灰の丘の北斜面にあたり，問題になつた裾の部分は，ここを橫切つている林道づたいに，春の雪どけ水が火山灰を運んで堆積させるため淺く廣い凹地となり，そこに夜の寒冷な重い空氣が停滯して非常にはつきりした地形的凍害地となつた[3]。(圖1)

ここは**とどまつ**と**どいつたうひ**を昭和2年5月に植えた所である。當時は雜木林を皆伐して前生樹をほとんど殘さなかつた。ところが丘の斜面の高みに植えた**どいつたうひ**はほとんど無害であつたのに[4]，その下の丘の裾約4 haに植えた**とどまつ**の一部に凍害

---

1) 北海道東部の寒冷寡雪な弟子屈營林署部內の山火跡地等2500 haの造林の結果，針葉樹の成績不良の主因は晩霜害で．ことにとどまつの改植は87%が晩霜害に基因した。佐々木準長，弟子屈に於ける臨時造林事業に就いて．昭和27年，52頁．

2) 北海道大學農學部演習林研究報告．14卷，1號，昭和23年．

3) このような地形に低氣溫があらわれ凍害地になるということは，たとえばつぎの書にもみられ，なお多くの研究報告がある。M. Woeikle, Waldbau und Forstmeterologie. Neudamm und Berlin 1936, S. 16.

4) **どいつたうひ**も本來は凍害によわい樹種で，欧州では Tanne, Buche などと共に，最も弱いとされている。

があらわれ，昭和7年の春までに3割の補植をしたあげく，部分的に成林の見込みを失つたが，そのまま放置していたものである。

この**とどまつ**造林地の東側に，大正6年植栽の**てうせんからまつ**林があり，これは

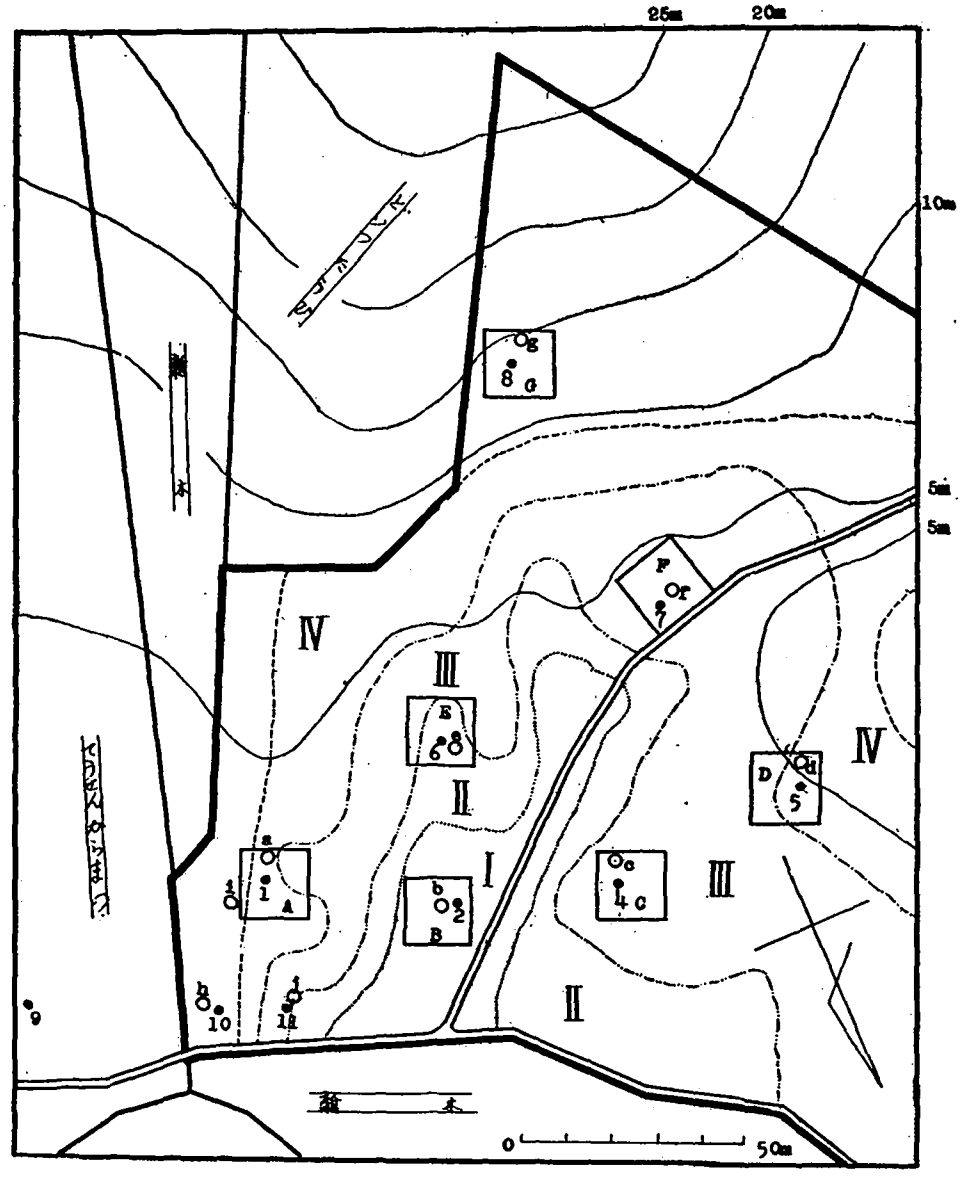

圖 1　凍害地の地形・被害狀況見取圖

Ⅰ	とどまつ激害地	□	調査地區
Ⅱ	〃 甚害地	○	試驗植栽地
Ⅲ	〃 中害地	●	氣溫觀測點
Ⅳ	〃 微害地		

既に成林していた。またこの**からまつ**林と**とどまつ**造林地の間に，**なら**等を植えて雜木林に變つたくさび形の帶狀地があつた。この二つの森林——ことに**からまつ**林は**とどまつ**の生育に大きい影響をおよぼしていた。

とどまつ造林地の西側は，**ストローブ**松の古い造林地と**からまつ**林で，どちらも成林していたが，**とどまつ**の生育にはほとんど關係がなく，また造林地の北側に，**やちだも**を植えた叢林狀の茂みがあつて，これはもつと北に流れようとする寒冷な重い空氣の流れをさえぎり，霜孔の形成を助長しているようであつた。

昭和14年ころの狀態は，造林ののち12年以上經過していたが，灌木狀の萠芽樹が局部的に散生していたほか，低所は，草丈け1mほどの**ほざきしもつけ**を主とする雜草をもつて全面的に覆われている有樣であつた。從つて夜の放熱がさかんで，低所に停滯する寒冷な空氣の有害作用は，造林當初の昭和2年から，萠芽がまだ繁茂するにいたらなかつた昭和18年頃まで，場所によつては引續き激しく働いていたのである。

前記東側の**からまつ**林は，軍用のため昭和19年に伐採され，跡地はしばらく耕作に用いられていた。

研究の方法

この火山灰の丘の斜面の**とどまつ**造林地は，地形と隣接林(前記の**てうせんからまつ**林と雜木林)の影響を大きくうけ，凍害の狀況が，場所によつて相當ちがつていることが注意をひいたので，とりあえず約200m×250mを區劃して水準測量と地形測量を實施し，また隣接林の位置などをたしかめた。

凍害の直接の原因は，この造林地にあらわれる低氣溫であると思われたから，適當な地點合計16箇所に觀測點をもうけ，最低寒暖計によつて晩霜季を主とする每日の低氣溫を觀測した。凍害は造林地に植栽したはじめの數年間に特にいちじるしいことが察せられたので，地表附近——主として地上0.25mの最低氣溫をはかつた。前記のとおり，このことに關しては既に一部を公表している。

またこの造林地がいちじるしい凍害地であることは，樣々な徵候からみて間違いないと信じていたが，たしかに凍害地であるということを確かめ，また凍害そのものの經過をくわしく知るためには，低氣溫と被害の狀況をいろいろな角度から照しあわせてみる必要があり，これについては出來るだけ念をいれて觀察した。

また凍害の實態については，地形測量ののち，測點から測點をたどりながら目測による被害度の區劃線を求めたほか(圖1)，低氣溫の觀測點のうち，主要な7箇所を圍む調査地區をもうけ，それぞれの區域のなかの**とどまつ**の生育と凍害の狀態を每木に調査し，また凍害を緩和する効果がいちじるしかつた東側の林緣附近でも，おなじような每木調査

を行つた。

また低氣溫の觀測點の附近 10 箇所に，凍害をうけていない健全な **とどまつ** 苗を植え，低氣溫をはかりながら凍害の狀態を觀察した。

これらの觀測・調査・觀察などは，長期間繰返して研究內容の充實をはかるつもりであつたが，數年にして戰爭のため打切らねばならなくなり，戰後ふたたび繰返そうとしたときには，往年の重要な標杭などがうしなわれ，始めの計畫とおり實施できなかつたことは殘念であつた。しかし一應結果は出ているので，この稿をまとめることにしたのである。

凍害の痕跡

凍害をうけた **とどまつ** は，その痕跡をのこしている[1]。ある痕跡はまもなく不明瞭になるけれども，數年または十數年，あるいはそれ以上ものこる痕跡がある。從つてこのことを知つていれば，凍害の判定に役立つはずである。またこのことは，本稿の全体と密接な關係があるので，一應先に取扱うこととする。痕跡の主なものは次のとおりである。

1. 膨らみかけて凍死した芽があること

冬を越す冬芽の狀態で，芽だけ凍死していることはほとんどないが，膨らみはじめると，開葉に先だつてしばしば凍死する。それは固く重なりあつていた芽鱗がわずかに綻んだ狀態で起り，凍死したのちは間もなく萎縮し，死んだことが見ただけでわかるようになる。側芽の場合は，そのすべてが同時に凍死するとはかぎらず，また，生き殘つたものはそれだけが發芽する。凍死した芽はくさりやすく形も小さいから，秋までにはその痕跡も消えてしまうことがしばしばで，また，あとから發生した不定芽のために，一層わからなくなることもしばしばである。凍害地の **とどまつ** には，このように膨らみかけて凍死する芽が，非常にたくさんあるものである。これだけでも凍害をうけていることがわかるのだが，凍害と氣がつかなければ，凍死してくさつた芽は，蟲害をうけたようにみえるのでよく間違われる。新綠のころ注意して觀察すれば，この凍死の狀態を正しくつかむことができる筈である。

2. 綻びかけて凍死した芽があること

前の場合は，膨らんでもまだ開かない芽が凍死した場合だが，この場合は，綻びた芽の狀態で凍死している場合である。前の場合はほとんど目立たないが，この場合はかなり目立つてくる。晩霜季の有害な低氣溫は連日あらわれるものではなく，その比較的ゆるやかな合間に開葉はさまざまな程度に進行する。そこに有害な低溫があらわれると，綻びか

1) W. Schädelin は Tanne, Fichte その他の凍害の痕跡，凍傷木の生育經過などをよく觀察している。Beiträge zum Kapitel Spätfrost. Schweiz. Zeitschr. Forstw. 1920, S. 329-344. 本稿の凍害はいわゆる晩霜害，すなわち晩霜季の低氣溫にもとづく被害を主として意味する。

けた芽は，芽鱗の間に新葉をわずかにのぞかせているものから，1～2 cm も伸び芽鱗を脱落するにいたつたものまで，さまざまな狀態で凍死し，凍害地の**とどまつ**には，それらが無數に附着しているのがみられる。圖4(a)は全長 30 cm の梢頭部であるが，前記の膨らんだまま凍死した芽と，この綻びて凍死した芽があわせて 65 も附着していた。圖3はまた，全長 56 cm の梢頭部で，これは 54 の凍死した芽を持つていた。

綻びた**とどまつ**の若葉は低溫に感じやすく，凍害をうけると紅になり，まもなく濃い褐色に變り，ほとんど枯れたままの姿で1年くらい，時には2～3年またはそれ以上も，梢端などに附着したまま殘つている。從つて注意すればいつでも直ちに見出すことができる。枯れた若葉がくさつて脫落し，芽の基部に小さい陷沒をつくつていることもある。

3. 針葉が紅變し脫葉すること

以上は晩霜季の凍害だが，秋にはいつて早霜の害をうけた育ちおくれの若葉，また晩秋から冬にかけてあらわれる激しい低溫の害をうけた針葉も紅に變色する。それは被害の程度によつて，葉の先端など一部分の變色に止つていることもあるし，葉の全体に及んでいることもある。おなじ個体でも，枝條によつて必ずしもおなじではない。この紅變した針葉は，春の若葉のように濃い褐色にかわることなく，次第に色があせ，被害の程度がいちじるしければ遂に脫葉する。したがつて脫葉しているものが多いところは，この凍害の激しいところである。冬芽は保護されているから，針葉は紅變しても，翌春凍害をうけなければ發芽するが，脫葉が多ければ，樹体が衰弱するから健全な生育は望まれない。しかもこのような秋の低溫の被害がいちじるしい所は，晩霜季の春の被害もいちじるしいのが常であつて，春秋二季の凍害のため，被害は促進されていると見ることが出來る。

4. 複梢が形成されること

凍害をうけた**とどまつ**は複梢になりすい。したがつて複梢木の多いところは，現に凍害をうけつつあるか，または以前に凍害をうけたことを示している。激しい凍害地では，複梢になる前に凍死するものがたくさん現われる。しかし梢頭部の凍害を繰返しながら，しかも生存を續けることができれば複梢が形成される。

複梢の最も極端な場合は，樹冠が箒のようにむらがる場合である。軸梢の頂芽が凍死すると，有勢な側芽のどれかが起き上るか，または軸梢の不定芽が伸長して新らしい軸梢となる傾向はあるが，激しい凍害が年々繰返されるところでは，この傾向は妨げられ枝が次第にむらがつてくる。圖2は，昭和15年5月に植えた健全な5年生の山出苗が，11年ののち箒狀の複梢に變つた昭和26年春の姿で，植付けたのち間もなく複梢となり，年とともに複雜になつている。これは一緒に植えた(後述植栽地 j) 20 本のうちただ1本の生存木で，脫葉も甚だしいから，そのままでも餘命はいくらもない。一般に，箒狀の複梢木は，上長生長がいちじるしく損われている。たとえばこの圖の複梢木は16年生だが，高さは

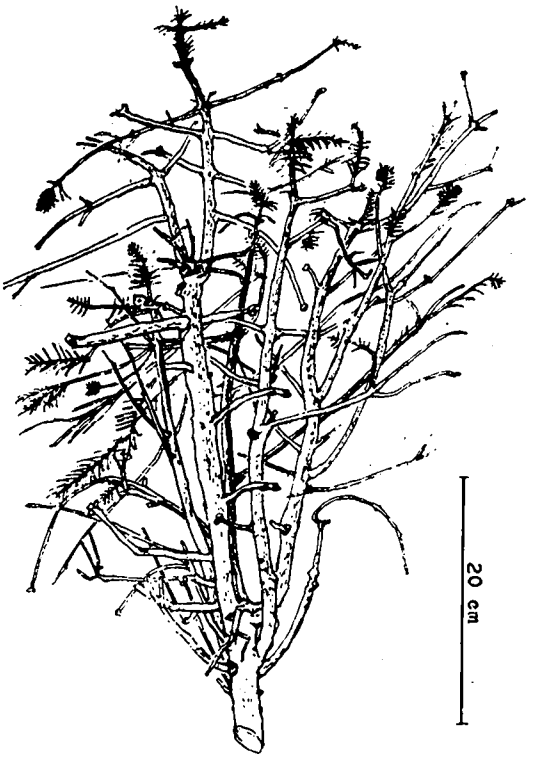

圖 2　箒狀の複梢

凍害をうけていない5年生のとどまつ苗を激しい凍害地に植え11年經過したもの，辛うじて生きているが將來の望みは勿論ない。

42cm にすぎない。このようなものが多く發生するところは激しい凍害地で，特に凍害豫防の手段を講じないかぎり，植えても成林の見込みは先ずないと考えてよい。

二叉・三叉またはそれ以上の複梢も，凍害地では凍害の痕跡であり，すでに成林していても，このような複梢が多くあれば，かつて凍害地であつた疑いがある。これらの複梢は，互にほとんど同じ生育をつづけることがあり，またそのうちに，どれか一つ，特に優勢になることもある。前者は激害地の傾向で，後者は微害地の傾向である。たとえいくらか育ちがおくれても，この傾向のあらわれることがのぞましい。しかし1～2m またはそれ以上も生長してから形成される複梢は，不良木としての將來を擔う場合が多く，あまり凍害が激しくないところに，かえつてしばしば現われている。たとえば問題の凍害地では，丘の中腹附近に相當散在している。植付けてのち間もなく形成された複梢は，そののちの生育狀況がよければ無用のものは萎縮し，痕跡さえ消えてしまうことがしばしばある。

5. 軸梢の枝付きが不整になること

軸梢の頂芽が凍死すれば複梢になりやすいが，頂芽は損われず，側芽の一部が損われれば，ととのつた形に輪生するはずの枝付が不整になる。最惡の場合は，側芽のすべてが凍死するから，ただ頂芽だけ伸長し，枝のない新梢が形成される。ただし後になつて，側芽の位置またはその近くに，不定芽を發生することもあるが，枝のない新梢は異樣に目立つものである。

梢頭の側芽の凍死は，條件次第で非常に多い現象であるから，軸梢の枝付きの不整は非常に多く見うけられる凍害の痕跡である。

圖3は基部が4年生の軸梢で，最近の2年間は，すべての側芽がつづけさまに凍死し，頂芽だけが無事に伸長して梢頭部をつくつている例である(小枝は1年生，不定芽が伸長)，

圖 3　凍害のため不整形になつた軸梢
基部は 4 年生，側芽の凍死のため正常な形が失われている。

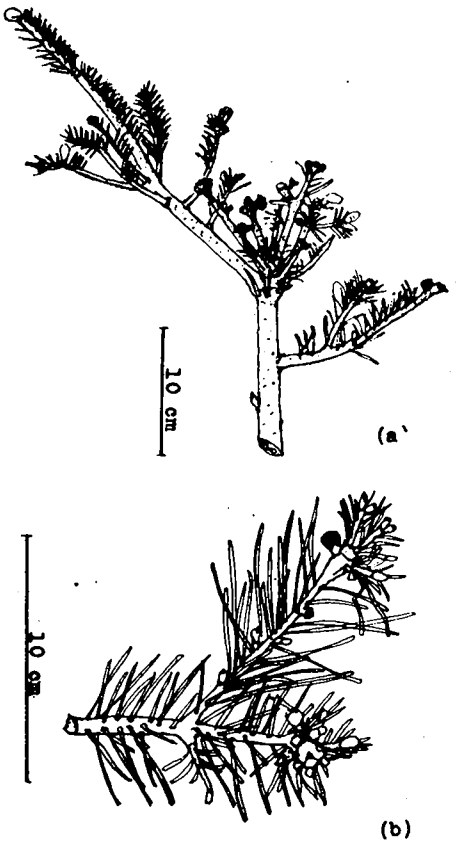

圖 4
(a)　頂芽が凍死した軸梢 (4年生)
(b)　凍害のため分岐不整の小枝

3 年前の春は，ただ一つの側芽が生存，他のいくつかの側芽はみな凍死し，枝付きはこのように不整になつた。

前記のとおり，この軸梢と側枝に，凍死してくさつた芽が 54 も附着していた。全長は 56cm，中害地から採取したものである。

圖 4 (a) もおなじところから採つたもので，基部はおなじく 4 年生である。これは 3 年前に，側芽の大部分と頂芽が凍死し，梢頭に多くの不定芽が發生し，これから形成された小枝が不規則に密生している。左斜め上にのびている 1 本の枝は，3 年前に生きのこつたただ一つの側芽が發達したもの。現狀から判斷すると，梢頭にむらがつている小枝から，特に優勢なものは當分あらわれそうでなく，左の大きい枝も，當分は斜め上に伸長するだけであろう。この不整な軸梢に，凍死してくさつた芽が合計 65 附着しているが，春とともに若干のあたらしい芽が萠えている。圖 5 も頂芽と側芽が凍死して不整になつた軸梢である。

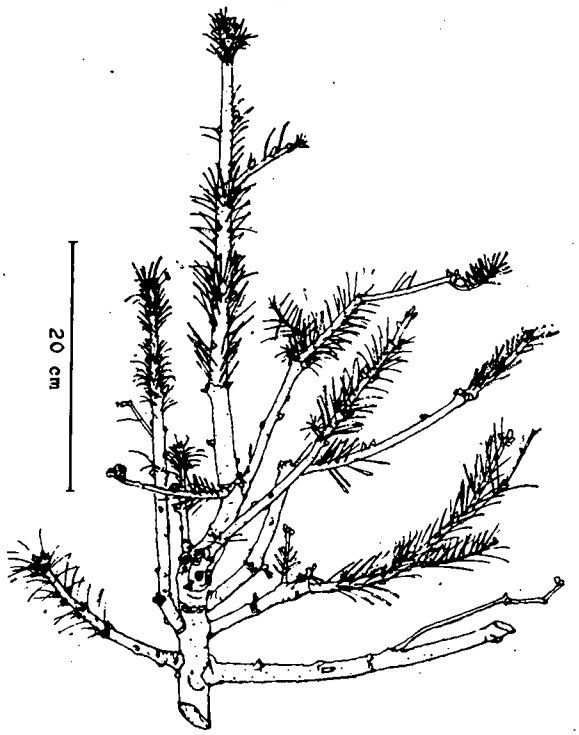

圖5　凍害のため著しく不整形になつた軸梢

軸頭の頂芽と側芽の凍死を繰返しこのような不整な形になつた。右下の切断した枝は64cmこれより上の高さにくらべ異様な形である。

6. 小枝の分岐が不整であること

とどまつのほとんどすべての枝は，軸に一つと，これに並んで左右に一つづつ，合計三つの芽を先端にもつているが，凍害地ではこれらの芽も，所詮凍害をまぬがれることができない。この結果は正常な分岐をさまたげ，枝の軸の方向への伸長がなかつたり，分岐が片落ちになつたり，または全く分岐がなかつたりする。この状態が年々繰返されれば，枝全体の構造が不整になり，正常に育つたものとくらべ，いちじるしく萎縮してみえる。もしも枝の構造が不整で，しかも凍死した芽がたくさん附着していれば，もはや凍害とみて間違いない。

圖4(b)は中害地の凍害木から，一つの枝の先端を切断したもので，不整な分岐の實例である。基部は3年生なので，2年前の春，先端の三つの芽のうち側方の一つが凍死した。そのため亞枝は片落ちとなり，二つのうち一つだけ伸長した。翌年の春は凍害がいちじるしく，この亞枝の先端の三つの芽も，また元の枝の先端の三つの芽もすべて凍死し，そのかわり不規則に不定芽を發生した。このとき，2年前に凍死した亞枝となるべき芽の跡にも不定芽を發生している。この枝には，凍死してくさつた芽が現在10箇附着していた。不定芽の先端その他に，あたらしい芽がみられる。これは採取したのち室内で膨んだものである。

7. 上長生長が損われていること

これは凍害に限つたことでないが，凍害の場合，極端にまであらわれることがある。軸頭の頂芽が凍死すれば，そこに不定芽が形成され伸長したとしても，また軸頭の枝のどれかが側方から立上つたとしても，上長生長はさまたげられるのが常である。また時には上長生長が全くないことがあるばかりでなく，激しい凍害地にしばしば見られることは，頂芽，側芽もろとも，軸梢そのものの上部が數cmまたは數十cmも凍死することで，結果として樹高は以前より減少する。箒状の複梢を形成するほど，連年凍害が繰返されている

ところでは，ほとんど上長生長のいとまがない。圖2の複梢木はそのよい例である。同圖の軸梢は地上1.4 cmで切斷しているから，樹高2 m未滿で植栽後24年經過している。一般に，樹高は凍害の程度の一つの指標と考えてよいほど關係は密接である。

8. 新梢が凍死すること

新梢と開きはじめた芽の區別はあきらかでないが，凍害地に多い**とどまつ**の新梢の凍死は，精々1～2 cmの程度伸長したものである。凍害をうけた新梢はまず紅變し，間もなく暗褐色となり先端が下垂する。そしてそのまま乾燥し，1年くらい，またはそれ以上梢端などに附着しており，形も大きいから，凍死した芽より目立つている。しかし，この狀態で凍死するものより，前に述べたように，芽鱗の間から，新葉がわずかに現われただけで凍死するものがはるかに多く，またこれよりも，發芽に先立ち，芽が膨んだだけで凍死するものの方が多い。そのわけは，季節がすすみ開葉がすすんだとき新梢の凍死がおこるので，すでに有害な低溫があらわれる頻度，すなわち凍害の機會がすくなくなつているからである。

晩春または初夏のいわゆる霜害は，いちじるしく人の注意をひくことがある。それは意外な季節はずれの被害が注意をひくばかりでなく，誰がみても一目でわかる被害の狀態が注意をひくのである。このようなことは，**とどまつ**の造林地にも時として見ることである。しかし甚だしい季節おくれの凍害は度々繰返されているのではなく，むしろ珍らしい出來事であつて，それよりも，あまり目立たないが，毎年繰返されていて被害甚大な芽の凍害に注意しなければならない。

9. 育ちおくれの新梢が多いこと

凍害地では凍死する定芽が多く，これに替わる不定芽がたくさんできて二次的に發芽するため，時には發芽が夏までつづくことがある。軸梢や枝そのものまで凍死した場合は別とし，凍害をうけた芽が多いほど不定芽の發生が多く，また凍害が激しいほど，發芽の期間はながびく。すでに夏になり，晩霜季を無事に經過し伸長した新梢の色も濃くなつたとき，この黃をおびた育ちおくれの新梢がたくさんあるのは，可なり目立つて奇異の感じをいだかせるが，頂芽が凍死した梢頭にはそれがむらがり生え，また，たいてい著しく纖弱であることなどから，直ちにそれとわかり，これによつても凍害を知ることができる。

植栽ののち何年もたつている激しい凍害地では，以上の痕跡のすべてが存在すると考えてよい。春早く植えたあたらしい植栽地では，もしそこが凍害地であれば，間もなく芽の凍死が無數におこるであろう。激害地ではその夏までに，または翌年の夏までに多くの枯損があらわれ，生きのこつたものも複梢となる傾向をしめし，結局2～3年でほとんど全滅する。輕微な凍害地では，一般にすべての種類の被害がかるく，また個体によつて，可なり被害の程度がちがつている特徴がある。從つて極端な場合には，多くの樹々にほと

んど凍害の痕跡なく，いずれもよく育つているなかに，たまたま致命的な痕跡をとどめたものが混つている。

A. とどまつ凍害造林地の實態

1. 凍害の概況と調査地區

概　況　この造林地をみて直ちに氣がつくことは，低い所に植えた**とどまつ**は凍害のため著しく損われて生育がわるく，丘の斜面はだいたい上ほど生育がよいことで，1～2 m も地盤が高くなれば，生育は眼にみえてちがつている。そして，地盤が最も低くて生育も最もわるい地點から，直高で 10 m ほど坂を登ると，それから上の斜面には，ほとんど正常な生育がみられたのである。

また他の一つの著しいことは，東側にある隣接林，ことに**てうせんからまつ**の林緣にあたる**とどまつ**が帶狀によい生育をとげていることで，それは特に目立つていた。だいたい隣接林に近い部分ほどよく育つているが，林緣をある距離だけはなれると，地盤の低い所では，急に生育がわるくなつていた。

圖 1 に，昭和 14 年の，これら**とどまつ**の生育狀態の見取圖が記入してある。これはまた凍害狀態の見取圖である。この圖の區劃線は主として**とどまつ**の樹高によつた。丘の裾の最も低い所をしめている激害地 (I) は，新植または補植の後 7～12 年たつていたにもかかわらず，樹高は僅か 0.5 m 內外，箒を立てたような複梢木が點々と散在しているだけで，植えた**とどまつ**の大部分は既に消えていたが，立枯れたままのものも相當あり，將來成林する見込みはなく，最もみじめな有樣を呈していた。

甚害地 (II) は激害地のまわりの 1 m ほど高い土地をしめ，激害地よりいくらか伸びているが樹高は大差なく，複梢木も，凍死して消えたものも，立枯れもたくさんあつて將來の見込みはないが，激害地ほど被害がきわだつていない所である。

中害地 (III) は甚害地のまわりの，更に 1～2 m ほど高い土地で，**とどまつ**の樹高は 1 m くらい，凍死したものも可なりあるが，殘つているものは先ず育つように思われた。尤も生長は遲れている。

微害地 (IV) は樹高 1.5 m くらい，凍死したものも點々とあるが凍害は比較的すくなく，正常にちかい生育をとげている地區，最も低い地點からおよそ 5～6 m 以上高い斜面をしめている。

この微害地の更に上部，最低地點からおよそ 9～10 m 以上高い斜面には致命的な凍害がなく，必ずしもすぐれた生育狀態でないとしても，樹高は大体 2 m 以上，ほとんど無害といつてよい地區がある。

また圖にみるように，**からまつ**林と雜木林の緣ぞいにも，ほとんど無害にちかい生育

をとげている地帯がある。この幅はあまり廣くはない。しかも土地の低いところには凍死したものも混つている。しかしその同じところに，全域を通じて最も樹高生長のよい**とどまつ**も混つていた。

この造林地にはまた，**とどまつ**と同時に植えた**どいつたうひ**があるが，圖のように大体8m以上の斜面に植えられており，しかもその比較的低い部分は，側方から雜木林の保護をうけており，凍害はほとんど認められなかつた。

この見取圖は，測量と同時にできるだけ愼重に踏査してえがいたものである。このように，**とどまつ**の生育狀態の區劃線——從つてまたその凍害の程度をしめす區劃線は，林緣附近を別とすれば，だいたい等高線と一致する傾向をしめしている。

昭和14年から引續き觀察した結果，次のような事實もみとめられた。

凍害は造林地に新植したはじめの數年間が特にいちじるしく，この時代に凍死した苗木は間もなく腐朽して消えてしまう。このことは，別に試驗によつて確めた事實ともよく一致する。

しかしまた10年以上も一應生存しつづけ，結局凍死してしまうものもある。これは主として，凍害が可なりいちじるしい地區にみられる現象であつた。したがつてこのような所では，昭和14年以後にも枯死するものが相當あり，次第に殘りすくなくなつて，26年の再調査のときまでに，皆無の狀態になつてしまつた地區もある。

しかしまた，凍害のあまり著しくない地區では，若い時代に凍害をうけ，その傷痕をのこし，生長もおくれ勝ちながら，次第に正常な生育をとりもどして行くものも少くなかつた。

調査地區とその低氣溫　この凍害地の**とどまつ**の生育と被害の狀況をみるため，昭和14年の早春，圖1に記入してあるとおり，AからGまで7箇所の地區を區劃して毎木調査を行つた。生育と被害は場所ごとにちがつており，大きい區劃は適當しないので15m×15mとし，6尺方形になつている植列と一致させたから，各地區にそれぞれ8×8=64本の**とどまつ**が植えられていたはずである。

これらの地區內にはそれぞれ氣溫の觀測點があり，地區內にない場合は極めてちかいところに觀測點があつた。したがつて各地區の低氣溫は大体わかつていた。

次の表は各地區に該當する觀測點の番號と，地上0.25mではかつた昭和14年の晩霜季——5月の最低氣溫である。霜日は最低氣溫が0°または0°以下に降つた日で，この月は11日あつた。(表1)

最も有害であり，また最も或る場所の低氣溫の特徵をあらわす最低氣溫の極によつて，各地區の寒暖の順をもとめてみると，G, A, D, C, F, E, Bの順に，終りほど寒冷であるということができる。またこれによつて，便宜上の寒暖の區別をすれば，G, A, Dはいず

表 1　晩霜季の最低氣温[1]　℃，地上 0.25 m

觀測點番號	地　區	月平均	霜日平均	極	寒暖の傾向
1	A	2.15	−2.92	−5.2	暖
2	B	1.65	−4.23	−8.2	最寒
4*	C	1.35	−4.36	−7.2	中
5	D	2.25	−2.98	−5.9	暖
6	E	1.70	−4.13	−8.0	寒
7	F	1.63	−3.81	−7.5	寒
8	G	2.96	−1.25	−3.5	最暖

*　寒暖計を設置した箱の構造と大さが他とちがつている。

れも割合に暖く，F, E, B は寒冷，C はそれらの中間にあるとみて都合がよい。G 地區は最も暖かく，反對に B 地區は最も寒い。このことを寒暖の傾向として表に附記した。

寒冷なところは凍害がいちじるしくて生育もわるく，比較的暖いところは凍害がすくなく生育もよいはずである。生育を調査した結果も正にそのとおりであつた。

2.　軸梢の芽の凍害

春發芽する前の**とどまつ**は，軸梢[2]の先端に一つの頂芽と，これをかこむ數個の側芽をもつている。順調に發芽すれば，頂芽は伸長して軸梢のあたらしい部分となり，側芽は軸梢をとりまいて輪生するあたらしい枝になるのだが，凍害をうければ，このような完全な形になることができない。

この凍害地には，軸梢部の凍害がいたるところに存在する。かつての凍害は何らかのかたちで痕跡をのこし，現在の凍害は，頂芽または側芽の不發芽，また發芽したものが現に凍死していることによつて直接みることができるのである。なかにはまた，軸梢の頂芽または側芽ばかりでなく，軸梢そのものの先端が凍死しているものもある。これは被害の甚だしい地區に多い現象であつた。

研究を開始した翌年の 6 月 8 日，各地區について，軸梢の頂芽と側芽の凍害を每木にしらべて次の結果をえた。發芽は地區によつて多少ちがうが大体 5 月 15 日頃からはじまり，6 月上旬までに，發芽すべきものはたいてい發芽を終つていた。發芽しなかつたのはほとんどみな凍死したためである。まず地區別に，軸頭の頂芽も側芽も全部凍死した本數と，反對に頂芽もそのまわりのすべての側芽も完全に發芽した本數をあげ，各地區の總本數から計算した百分率をそえる。各地區の總本數からこれらを差引いたものは，軸梢の頂

1)　晩霜季における林地の低氣温．8 頁，觀測點の番號もこれに記載してあるのとおなじである。

2)　針葉樹の軸となつている頂條 (Gipfeltrieb) のことであるが，意味をはつきりさせるためこの文字をつかつた。また軸梢の先端部を，本篇では軸頭といつている。

芽または側芽のどれかに凍害をうけ，發芽はしたが，すべてが完全な發芽をするにはいたらなかつたものである。よつてこの本數と百分率も記入して表2をつくつた。

表 2　軸梢の凍害狀態

地　　區	A	B	C	D	E	F	G
頂芽も側芽も全部凍死した本數	11	10	19	16	24	19	11
頂芽または側芽の一部が凍死した本數	28	0	28	25	19	9	8
頂芽も側芽も全部發芽した本數	16	0	7	22	2	3	38
計	55	10	54	63	45	31	57
同上百分率 (%)							
頂芽も側芽も全部凍死した本數	20.0	100	35.2	25.4	53.3	61.3	19.3
頂芽または側芽の一部が凍死した本數	50.9	0	51.8	39.7	42.2	29.0	14.0
頂芽も側芽も全部發芽した本數	29.1	0	13.0	34.9	4.5	9.7	66.7
計	100	100	100	100	100	100	100

表のとおり，軸頭に重大な凍害をうけているものはどの地區にもみとめられ，比較的溫暖地區もこれを免れていないことがわかる。ことにB, E, Fの寒冷地區では，總本數の50%以上をしめている。また凍害地だけあつて，軸頭の芽のすべてが發芽したものも，最も溫暖なG地區の67%をのぞけば意外にすくなく，B地區はもとよりE, Fの寒冷地區も，完全に發芽したものはほとんど無いといつてよいくらいである。軸頭の芽の完全凍死は複梢木をつくりやすく，**とどまつ**の生育の大きい障害となり，これが上長生長不良の主な原因となつている。

一般に地面にちかいほど低溫があらわれるから，軸頭の頂芽も側芽もみな凍死してしまうようなことは，樹高がひくい場合にたしかに多いのだが，地上から相當の高さにまで及んでいることがしばしばあつた。各地區のうち，比較的溫暖[1]で凍害がすくないA, D, G地區には，地上2m以上の高さで頂芽も側芽もみな凍死した**とどまつ**が合計15本あり，その樹高——すなわち凍死した軸頭の芽の地上高は表3のとおりであつた。

表 3　梢頭の凍害の地上高 (m)

A地區	D地區	G地區	C地區
3.22	4.12	3.33	2.71
2.64	2.81	3.15	2.48
	2.64	2.82	2.38
	2.62	2.71	2.23
	2.33	2.62	2.15
	2.25	2.23	2.05
	2.12		2.00

このように，少ない例ではあるが，3m以上4mにおよぶ高さにさえ凍害はみられるのであつて，これら三つの地區の2m以上の**とどまつ**は合計39本，したがつて15本の凍害はその1/3以上にあたつ

1) この稿で溫暖というのは，すべて最低氣溫が高いということで，日中の氣溫や，1日の平均氣溫がたかいという意味ではない。晩霜季の日中の氣溫がたかいことは，發芽を促進して不利な場合もある。

ている。このことは，比較的温暖な地區で2m以上に生長しても，この凍害地では必ずしも安全でないことを示している。

しかし中庸度に寒冷なC地區について，枝の芽の凍害を全般的に觀察すれば，だいたい2mを境とし，2m以下には芽の凍害が無數にあるにもかかわらず，それより上は著しくすくなくなつている。それゆえC地區では，だいたい地上2mくらいをいわゆる霜高と考えてよい[1]。

非常に寒冷なB地區やF地區で，2m以上に育つたものは皆無の狀態だが，ここの霜高は2mよりもつと高いにちがいない。反對に，比較的温暖なA, D, Gの各地區では，2m以上にも凍害はあるけれども，霜高は2mよりもつと低いと考えられる。枝の芽の全般的な觀察は，やはりこのことを裏付けてくれるのである。

この霜高を嚴密にもとめることは困難であるとしても，凍害はたしかに地上からの高さによつてちがつているから，前記の資料を更に樹高階別に檢討したのが次の表である。この表は，軸頭の芽が全部凍死したものと，一部分凍死したものをあわせて取扱つている。

表 4　樹高階別軸頭の芽の凍害本數

地區	A	B	C	D	E	F	G
2m以上	4 (11)	·	6 (7)	11 (20)	1 (1)	·	7 (21)
1～2 m	16 (23)	1 (1)	19 (24)	14 (22)	9 (11)	9 (9)	6 (22)
1m以下	19 (21)	9 (9)	22 (23)	16 (21)	33 (33)	19 (22)	6 (14)
計	39 (55)	10 (10)	47 (54)	41 (63)	43 (45)	28 (31)	19 (57)
同上の百分率 (%)							
2m以上	36.4	·	85.7	55.0	100	·	33.3
1～2 m	69.6	100	79.2	63.6	81.8	100	27.9
1m以下	90.5	100	95.7	76.2	100	86.4	42.9
計	71.0	100	87.0	65.1	95.6	90.3	33.3

( ) 內は總本數　1～2mは1～2m未滿を意味する

このように，寒冷なB地區とF地區では，1m以下でも，また1m以上でも，軸頭の芽の凍害は非常に多く100%または90%にちかく，2m以上に育つことができないほど，被害の程度もいちじるしい。その他の地區では，どれにも樹高をますほど凍害がすくなくなる傾向がみられ，温暖なA地區とD地區では，2m以上となれば凍害はもはや可なりすくなくなる。最も温暖なG地區では1m以下でもすくないのである。

1) この凍害地の地上高と低氣温の關係は先に公刊した。地上2mの最低氣温は，地上0.25mより4.3℃高温なことがあつた。林地の地表附近に現れる低氣温の觀測例．北海道大學農學部演習林研究報告．14卷2號，昭和24年．

凍害本數を合計した百分率は，各地區の凍害の激しさを知るに都合がよい。これによつてもB地區は最も激しく，反對にG地區は最も緩和されている。

前の表は，軸頭の芽に凍害のある林木を樹高別にかぞえたのだが，軸頭のすべての芽が滿足に發芽し，全く凍害をまぬがれているものを樹高別にすると次の關係がある。

表 5　凍害がない軸梢

地區	A		D		G		C	
	本數	%	本數	%	本數	%	本數	%
3m 以上	3 (5)	60.0	2 (3)	66.7	1 (4)	25.0	•	•
2～3 m	4 (6)	66.7	7 (17)	41.2	13 (17)	76.5	1 (7)	14.3
1～2 m	7 (23)	30.0	8 (22)	36.4	16 (22)	72.2	6 (24)	25.0
1m 以下	2 (21)	9.5	5 (21)	23.8	8 (14)	57.1	1 (23)	4.4

( ) 內は總本數

結果は前の表とおなじことを反對の面から示しており，樹高をますほど安全に發芽している。2m 以上の傾向を知るため，2～3m と 3m 以上にわけてみた。本數の半分以上が凍害から安全になる樹高は，A地區では 2m 以上，D地區では 3m 以上，G地區では 1m 以下である。

3. 凍害地の生長

地區の樹高　**とどまつ**の凍害は軸梢の被害がもつとも有害で，それは高さの生長に大きく影響する。したがつて凍害の甚だしいところでは樹高がひくく，甚だしくないところでは比較的たかい。それゆえ樹高は凍害地內の生育の良不良，また被害の程度をはかるよい尺度になつている。よつて各地區の樹高をくらべてみる。

樹高は測量用のロッドを用い每木に調査した。凍害地のため二又または二又以上の複梢木がたくさんあつたが，このような場合は主軸と認められるか，または將來の主軸と豫想される梢端までの高さをはかつた。しかし軸梢の頭部がまつたく凍死し，また替るべき枝もわからないため，凍死した軸梢の先端までの高さを測つたものもある。

つぎの表は，各地區に現に生育している**とどまつ**の本數，その平均樹高，最大および最小樹高，現在本數から推測した枯損本數をしめしている。枯損木のなかには現に立枯れているものもあり，消失してしまつたものもある。消失の原因は，わずかな例外のほか凍害とみなして誤りがないと思う。(**表6**)

このように，平均樹高は最も溫暖なG地區の 1.72m が最大で，最も寒冷なB地區の平均 0.66m より 1m 以上もたかくなつている。この最も生長不良のB地區のほか，寒冷で凍害がひどいE地區とF地區の平均樹高は，どちらも 1m 以下である。

表 6　各地區の樹高 (m)

地區	A	B	C	D	E	F	G
寒暖の傾向	暖	最寒	中	暖	寒	寒	最暖
平均	1.48	0.66	1.22	1.59	0.91	0.77	1.72
最大	4.68	1.14	2.71	4.12	2.02	1.72	3.15
最小	0.40	0.28	0.32	0.43	0.47	0.26	0.36
現在本數	55	10	54	63	45	31	57
枯損本數	9	54	10	1	19	33	7
計	64	64	64	64	64	64	64
樹高階別本數							
3m 以上	5	0	0	3	0	0	4
2～3 m	6	0	7	17	1	0	17
1～2 m	23	1	24	22	11	9	22
1m 以下	21	9	23	21	33	22	14
計	55	10	54	63	45	31	57

各地區の平均樹高の順位は G, D, A, C, E, F, B だが，各地區の最大樹高の順位も大体おなじで，ただ溫暖地區の G と A がいれ替つているだけである。そして A 地區の 3 m 以上のもの 5 本——最大 4.68 m にたいして，寒冷な B 地區は 1.14 m のものがわずか 1 本あるだけである。

各地區の最小樹高をみると，造林ののち既に 12 年，最後に補植したものさえ 7 年もたつているのに，山出し當時の苗高（大体 0.25 m くらい）とどれだけのちがいもないのは意外である。しかもまた，1 m 以下のものはどの地區にも相當あつて，凍害がいちばん少くほとんど無害とみてよい G 地區でも 14 本（現在木の 25%），D 地區は 21 本（33%），A 地區も 21 本（38%），凍害が最もひどい B 地區では現在の 10 本のうち 9 本（90%），E 地區には 33 本（73%）あるのである。このように寒冷で凍害のひどいところほど多いにちがいないが，どの地區にも相當な被害をうけた凍害木をみるのである。

また B 地區の枯損 54 本（植栽本數の 84%），F 地區 33 本（52%），E 地區 19 本（30%）などと，寒冷な地區には枯損も多い。

以上を綜合した大きい傾向として，比較的溫暖な G, A, D の三つの地區は比較的凍害がすくなく生長狀態もよく，可なり寒冷な E, F, B の三つの地區は凍害が多く生長狀態もわるく，C 地區はこれらの中間にあつて，各地區の間の生長または被害の關係は，各地區の間の前記の寒暖の關係とほとんど同じであるといつてよい。

なお F 地區は前の表のように寒冷で，生長は B 地區についで不良である。見取圖（圖

1) ではC地區とおなじ中害區となつているが，それはこの地區のすぐ下手に土地の隆起があり，その部分の生長がよかつたため中害區として區劃線をひいた結果である。したがつて，もつと上手に區劃線をひくべきであつたかも知れない。そうすれば區劃線は，いつそう等高線にちかづいてくる。

地區の上長生長　研究をはじめたとき，各地區の上長生長は現にどのくらいであるかを知りたいと思つた。當時は植付の後12年(最後の補植の後7年)たつていたが，地區によつては激しい凍害が依然としてつづいており，輕微な凍害はもちろんすべての地區にあらわれていた。

昭和14年5月，發芽にさきだち前年(昭和13年)の軸梢の生長をはかつた結果はつぎのとおりである。測定は，前記の樹高の場合とおなじやりかたをした。平均は各地區の現在本數について計算している。

表7　各地區の上長生長 (m)

地區	A	B	C	D	E	F	G
寒暖の傾向	暖	最寒	中	暖	寒	寒	最暖
平均	0.12	0.04	0.08	0.11	0.07	0.04	0.14
最大	0.76	0.12	0.27	0.41	0.19	0.15	0.43
本數	55	10	54	63	45	31	57

このように，現在の平均樹高が最も大きいG地區は，現在の平均生長もまた最も大きく，反對に現在の樹高が最も小さいB地區は，現在の生長もまた最も小である。全体としてみると，比較的溫暖で凍害がすくないため，樹高が大きいところでは，現在，比較的よい上長生長がみられ，反對に寒冷で凍害がいちじるしく樹高の小さいところでは，現在も上長生長は不良である。また上長生長の平均の順位はG, A, D, C, E, F, Bで，これも前にあげた順位とほとんどおなじである。

つぎに各地區の上長生長の最大をみると，A地區の0.76 mをはじめとして，G地區の0.43 m，D地區の0.41 mは，造林後12～7年もたつているのだから必ずしもよい生長といわれないが，一應順調な生長と考えることも許されるであろう。しかし寒冷なB地區は，最大の生長さえ0.12 mにすぎず，E地區もF地區もほとんどこれと大差がない。そして上長生長の最大の順位はA, G, D, C, E, F, Bとなつていて，前記の順位のGとAが替つているだけである。

またもとに戻るが，比較的溫暖なG, A, D地區の或る個体のさかんな上長生長は一應正常であるとしても，地區全体の平均はそれぞれ0.14 m，0.12 m，0.11 mにすぎないのであるから，決して正常な生長であるということができない。これはこれらの地區に今も凍害があり，すくなくとも一部の樹の生長が阻害されていることを示している。またB, E, F

地區の平均が，それぞれ僅か0.04～0.07 m であることは，寒冷なこれらの地區内のほとんどすべてが今も凍害に苦しめられている證據である。

現在の上長生長は，現在の平均樹高が大きい地區ほどよいといつたが，おなじ地區のなかでも，大きい樹ほど一般に生長がよい。それは凍害が地表附近で特にいちじるしく，上層はこれが緩和されている結果である。つぎの表は昭和13年の上長生長を，各地區について樹高階別に平均したものである。樹高階の4m以上は4mをふくみ，3～4mは3m以上4m未滿の意味で，以下これに準ずる。

表8　樹高階別平均上長生長　(m)

地區	A	B	C	D	E	F	G
4m以上	0.41 (1)	・	・	0.34 (1)	・	・	・
3～4 m	0.39 (4)	・	・	0.26 (2)	・	・	0.30 (4)
2～3 m	0.20 (6)	・	0.15 (7)	0.17 (17)	・	・	0.20 (17)
1～2 m	0.12 (23)	0.00 (1)	0.09 (34)	0.08 (22)	0.11 (11)	0.05 (9)	0.16 (22)
1m以下	0.06 (21)	0.04 (9)	0.06 (23)	0.06 (21)	0.05 (33)	0.03 (22)	0.05 (14)

( ) は調査本數

このように，各地區とも上位の樹高階ほど上長生長がよく，ことにA, G, Dのように，比較的溫暖な地區ではこの關係がはつきりしているが，E, Fのように，寒冷で被害の甚だしいところでも，樹高をませば上長生長もます傾向をみせている。また地區別におなじ樹高階をくらべてみると，大体において溫暖な地區の生長がよい。しかし1m以下の場合，この關係はかなり混亂していて，結局どの地區も大きいちがいがなく，微々たる生長を，いずれも辛うじてつづけているだけである。

4. 凍害をうけたとどまつの形態

各調査地區の軸梢の凍害や，上長生長の狀態等は以上のとおりであるが，これらのほか，現在の生育狀態を毎木に判定し，優劣を定めることをやつてみた。尤もこれは主觀的な判斷であるし，優劣の段階の限界もはつきりしていないため，大体の傾向を知るにとどまつたけれども，地區別には，やはりはつきり差があらわれた。不可は近い將來に枯死するか，また生存していても，成木の見込がないものである。(表9)

このように，優級の生育をとげている樹があるのはA, D, Gの溫暖地區で，反對に不可級の凍害木は，寒冷なB, F地區において斷然多いことをしめしている。

またこの凍害地には，二又またはそれ以上の複梢木が非常にたくさんある。それらの中には，間もなく枯死するにちがいないもの，今後とも完全な生育は望めないもの，或いはまた，多少育ちおくれても成木の見込が充分なものなど，狀態はいろいろであるが，と

にかく複梢木の痕跡をあきらかに止めているものはすべて數え，反對に，かつての複梢木も，その痕跡が消えてしまつたものは除いて表 10 をつくつた。

表 9　生育の優劣

地區	優	良	可	不可	總本數
A	5	7	38	5	55
B	—	—	5	5	10
C	—	2	48	4	54
D	4	28	26	5	63
E	—	1	29	15	45
F	—	—	7	24	31
G	4	24	24	5	57
同上の%					
A	9	13	69	9	100
B	—	—	50	50	100
C	—	4	88	8	100
D	6	45	41	8	100
E	—	2	65	33	100
F	—	—	22	78	100
G	7	42	42	9	100

表 10　複梢木の比較

地區	二叉木	二叉以上の複梢木	小計	總本數
A	16	21	37	55
B	5	5	10	10
C	18	27	45	54
D	24	9	33	63
E	22	12	34	45
F	8	16	24	31
G	14	2	16	57
同上の%				
A	29	38	67	100
B	50	50	100	100
C	33	50	83	100
D	38	14	52	100
E	49	27	76	100
F	26	52	78	100
G	25	4	29	100

結果はこのとおり複梢木が非常に多く，逆に複梢木の多いところは，凍害地であることをしめしている。最も溫暖で凍害がすくない G 地區の計 16 本(29%) を除けば，比較的凍害が輕微な A, D 地區でさえ複梢木は全体の 50% をこえ，その他の凍害地區では，ほとんど 80% またはそれ以上である。しかも凍害がことに激しい B, F 地區では，計 100 %，二叉及び綜錯した二叉以上の複梢木がともに 50% をしめている。

とどまつ は單幹通直で，軸梢すなわち蕊が勢よく伸長していることが望ましい。しかし激しい凍害地では，軸梢の頂芽がしばしば凍死するため複梢となり，二つまたはそれ以上の數の梢頭がたがいに生長を競つたり，またしばしばほとんど上長生長がなく，軸梢の形はあつても機能をうしなつていたり，その他いろいろな狀態で軸梢不明のものが多くあらわれる。凍害の如何によつてはまた，全く不明でないまでも，ようやく軸梢らしく推測できる程度のものもたくさん現れる。これら不明または不明瞭なものはもとより，現在の明らかな軸梢も，はじめから同じものが，軸梢としてそのまま生育をつづけることは，非常に激しい凍害地では不可能であるといつてよく，傷ついた軸梢を補うあたらしい軸梢の形成がうながされるから，凍害地には **軸梢の交替** の現象が多くみられ，しかも場合によつては，これを何回となく繰返している。

つぎの表は各地區について，軸梢が不明なもの，すなわち蕊がないもの，軸梢がやや

明らかなもの，すなわち蕊らしいものが認められるもの，及び軸梢が明らかなもの，すなわち蕊がよく立つているものに區別し，毎木に調査した結果である。また軸梢の交替があるものは，その回數とかかわりなく本數を數えて附記した。

表11　軸梢の狀態

地區	全く不明	やや明らか	明らか	總本數	軸梢交替
A	3	10	42	55	27
B	4	4	2	10	10
C	6	22	26	54	27
D	9	10	44	63	21
E	11	7	27	45	22
F	16	6	9	31	15
G	4	7	46	57	19
		以上の%			
A	6	18	76	100	49
B	40	40	20	100	100
C	11	41	48	100	50
D	14	16	70	100	33
E	24	16	60	100	49
F	52	19	29	100	48
G	7	12	81	100	33

被害が最も輕いA，G地區では，蕊不明のものはすくなく，その明らかなものが著しく多い。反對に，寒冷なB，F地區では，蕊不明のものが著しく多く，明らかなものはすくない。軸梢の交替も，寒冷地區に多い傾向があらわれている。すべての地區において，この交替は30%以上を占め，相當多いことがわかるが，古い痕跡は消えてしまつたものがあり，實際はもつと多いと考えてよい。以上は軸梢のことだが，枝も同時に凍害をうけ損われている。この結果，枝の着生・分枝・伸長などがさまたげられ，一般に，分枝が不整で枝張りのすくない，まばらな貧しい樹冠が形成され，脫葉がともなえば一層貧しくみえている。しかし，帶狀の複梢になつたものなどは，不規則に錯綜した，低い密な樹冠である。B，C，E，F地區には，このような樹冠がたくさんあつて，一目で異狀に氣がつくが，同じ地區でも，低いところほど，樹冠の構造は全体として不良である。

5. 林緣の凍害緩和作用

林緣の保護作用はひろく知られているが，凍害を緩和する効果は相當はつきりしている。この凍害地の**とどまつ**の生育は，前記のように斜面の低いところほど惡く，ほとんど凍死してしまつた箇所もあるくらいだが，圖1の見取圖にもあるとおり，**からまつ**の林緣の或る帶狀地は，ほとんど凍害がないといつてよい丘の上とおなじような生育をとげ，

非常に目立つている。ただし，全く林縁の凍害緩和作用だけで良い生育をとげているのは，最も低いせまい或る區域だけで，ほかの大部分は急に1m以上高くなつているから，林縁の保護作用と，凍害をすくなくする地盤の高さの影響をうけている。

これらの事情をあきらかにする爲，林縁の植列16について必要な檢討をした。第1列は**からまつ**林まで約4mで最もちかく，第16列は最もはなれていて，林道附近ではかつた距離は約33mである。また林道にちかい或る一線からはじめ，6尺方形植の**とどまつ**をそれぞれの列ごとに數えて行くと，1～5列は18～44本目で雜木林につきあたり，6～16列は55本目で**どいつたうひ**の造林地に移つている。これを50本目で打切り，各植列の現在本數と枯損本數(消失したものも含む)はつぎの表である。枯損のほとんど全部が凍害によるものであることは，附近の狀況から判斷して間違いないつもりである。

表12　林縁の現在本數と枯損本數

植列	1	2	3	4	5	6	7	8	9
現在本數	16	19	21	33	41	45	49	47	43
枯損本數	2	1	3	3	3	5	1	3	7
計	18	20	24	36	44	50	50	50	50

植列	10	11	12	13	14	15	16	計
現在本數	33	40	38	38	38	39	44	584
枯損本數	17	10	12	12	12	11	6	108
計	50	50	50	50	50	50	50	692

この表をみると，第10列あたりから急に枯損を增していることがわかる。これは林縁から14～15mの距離で，大体**からまつ**林の高さにひとしい。また林道附近では，だいたい第16列あたりが，植列をみとめることができる最後の列で，これよりなお數米前進すれば，消失しているものが多く，植列を見出すことは困難である。

とどまつの生育は，大体**からまつ**林に近いほどよく，また地盤が高いほどよい。生育がよい所は，ここでは勿論凍害がすくない所である。また圖1のとおり高い所は次第に**からまつ**林から遠ざかり，雜木林がこれに替つている。この雜木林も，側方から凍害緩和作用を及ぼしている。

凍害を緩和されている林縁附近の樹高を，昭和14年の春に調査した結果は，前記の584本のうち，3m以上に生長したものが83本あり，その16本は4mをこえていた。つぎの表はこれを示しており，なお列ごとに最大樹高を附記して參考とした。

表 13　樹高 3 m 以上本数

列	4m以上	3~4m	計	最大樹高 (m)
1	4	7	11	5.44
2	3	5	8	4.75
3	3	4	7	4.96
4	1	3	4	4.36
5	1	9	10	4.72
6	2	8	10	4.46
7	1	13	14	4.27
8	1	9	10	4.00
9	0	3	3	3.55
10	0	1	1	3.13
11	0	0	0	—
12	0	2	2	3.06
13	0	2	2	3.70
14	0	1	1	3.50
15	0	0	0	—
16	0	0	0	—

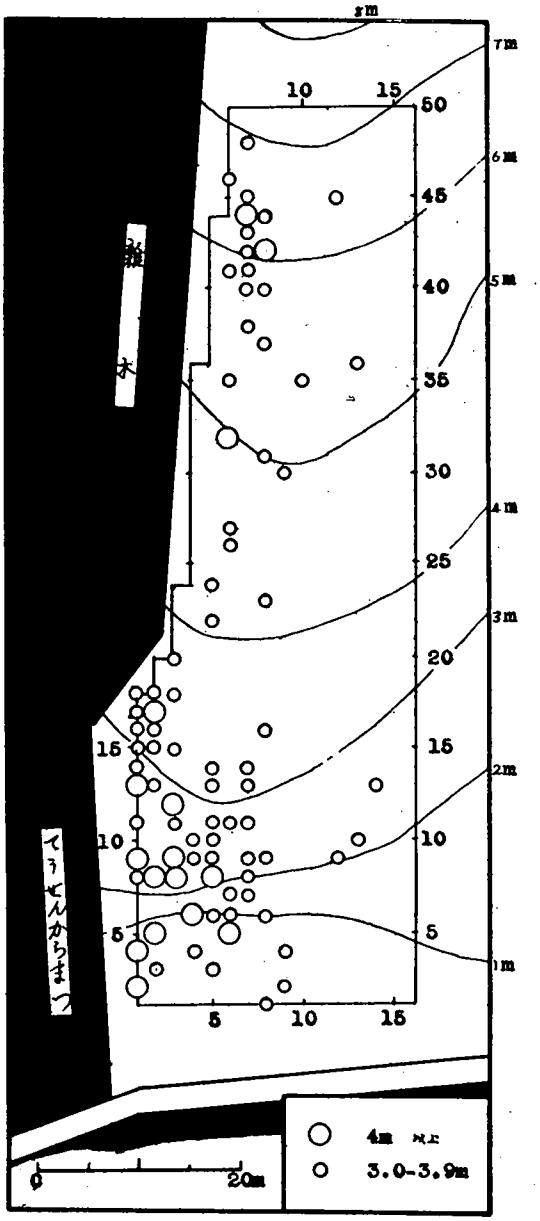

図 6　林縁における とどまつ の生育

このように，4 m 以上に生長しているのは第 8 列までで，15，16 列には 3 m に達したものもない。それらの本数と最大樹高をくらべてみれば，林縁に近いほど生長がよくなつている。このことはまた，林縁を遠ざかるほど，凍害のため生長が悪いことを意味する。

図 6 は，3 m 以上の **とどまつ** の位置を正しく地図に記入したもので，林縁の生育状態を概括的に判断するために都合がよい。記入を略した箇所を，3 m 以下の 584−83＝501 本がしめしている。右下の部分は凍害のため生育不良である。3 m 以上のものは，ことに地盤高 2 m 以上の **からまつ** 林縁に多く，雑木林の林縁で一旦すくなくなつているが，地盤高 6 m 附近の林縁で，また多くなつていることがわかる。

6. 林縁の とどまつ の生長狀態

林縁の生育は，前記のとおり**からまつ**林の影響をうけている箇所と，雜木林の影響をうけている箇所があり，**からまつ**林の影響は行番號1から15までの**とどまつ**に及んでいると考えてよいから(圖6參照)，それぞれの列につき，行番號15までの平均樹高をもとめ，最大樹高と最小樹高その他を附記してつぎの表をつくつた。各列とも本來15本づつ植えたのであるが，枯損があるから現在の本數はすくなくなつており，樹高の平均はその現在木だけの平均である。

表 14　からまつ 林縁の樹高

列	平均樹高 (m)	最大樹高 (m)	最小樹高 (m)	現在本數	枯損本數	總本數
1	3.16	5.44	1.03	13	2	15
2	2.63	4.75	0.96	14	1	15
3	2.92	4.96	1.52	13	2	15
4	2.25	4.36	0.76	15	0	15
5	2.95	4.72	0.84	14	1	15
6	2.64	4.26	1.20	13	2	15
7	2.55	3.82	0.74	15	0	15
8	2.29	3.22	0.50	13	2	15
9	2.15	3.55	0.99	14	1	15
10	1.39	2.24	0.32	11	4	15
11	1.64	2.88	0.46	12	3	15
12	1.08	3.03	0.40	14	1	15
13	1.20	3.70	0.54	12	3	15
14	1.57	3.50	0.32	11	4	15
15	1.17	2.47	0.61	10	5	15
16	1.37	2.99	0.42	12	3	15

このように，**からまつ**林に最もちかい第1列は，平均樹高が最大でまた最大の生長をとげた樹があり，2本の枯損を除けば最小の樹も樹高は1mに達している。一般に，平均樹高と最大樹高は，**からまつ**林にちかいほど良い生長をみせていることがわかるのである。しかし第9列から10列に移ると，急に生長がわるくなる傾向をしめしている。これは**からまつ**の林縁の凍害緩和作用が，第9列まで相當はつきり働いているということである。**からまつ**林からここまでの距離は約14～15m，**からまつ**林の高さは約14mであるから，凍害緩和作用の有効距離はこの場合だいたい林高に等しい。

第10列以下にも，**からまつ**林の影響が全くないわけではない。第16列は，**からまつ**林から林高の約1.5倍はなれているが，微弱ながら有利な關係はあるらしく，16列以下は甚だしい凍害をうけている。しかしこの程度では實際には問題にならない[1]。

つぎの表はおなじ場所の**とどまつ**を樹高階別に數えたものである。表の5mは5m以上，4mは4m以上5m未滿の意味，以下これに準ずる。

表15　樹高階別本數

列	5m	4m	3m	2m	1m	1m以下	枯損	計
1	2	2	4	1	4	0	2	15
2	0	2	3	5	3	1	1	15
3	0	3	1	7	2	0	2	15
4	0	1	3	3	6	2	0	15
5	0	1	7	4	1	1	1	15
6	0	1	3	7	2	0	2	15
7	0	0	6	5	2	2	0	15
8	0	0	3	5	4	1	2	15
9	0	0	2	4	7	1	1	15
10	0	0	0	4	4	3	4	15
11	0	0	0	5	4	3	3	15
12	0	0	1	0	6	7	1	15
13	0	0	1	0	4	7	3	15
14	0	0	1	2	4	4	4	15
15	0	0	0	1	5	4	5	15
16	0	0	0	3	4	5	3	15

第1列は5m以上が2本，1m以下のものはなく，樹高生長は最も良好，**からまつ**林をはなれるほど樹高生長は劣つている。それが凍害の結果であることは勿論である。この表も，9列と10列の間に或る一線の存在をしめしており，10列以下には3m以上に達したものがほとんど無くなり，反對に1mまたは1m以下の本數を增して現在木の過半數をしめている。

この林緣の**とどまつ**は，**からまつ**林の有利な作用をうけるとともに，また地盤がたかくなつているため有利な作用をうけている。圖6のように，林道附近のほとんど平らかな地盤は，第6行目あたりから急に1mほどたかくなり，その先はゆるやかな斜面になつている。この斜面の**とどまつ**(第11～15行)が，その下の平地の**とどまつ**(第1～5行)より，全体としてよい生長をとげていることつぎの表のとおりである。(表16)

このように，平均樹高は，若干の例外を除けば地盤のたかい方が大きい。最大樹高も最小樹高も，過半數はやはり地盤のたかい方が大きい。このような地形では，地盤がたかくなれば低氣溫は緩和されるのだから，凍害もまた緩和される。したがつて樹高ばかりで

1) 林緣の凍害緩和作用が實際に有効な距離は，林高と略ひとしいか，または林高までにいたらぬ距離と考えるべきである。佐々木準長助教授も，實地の經驗から，樹高の2倍はないということを力說している。弟子屈に於ける臨時造林事業について．昭和27年，80頁．なお詳細は　今田敬一，晩霜季における林地の低氣溫．29頁．

表 16　からまつ林縁の樹高比較

行＼列	平均 (m)		最大 (m)		最小 (m)		本数	
	1～5	11～15	1～5	11～15	1～5	11～15	1～5	11～15
1	2.87	3.32	4.40	5.44	0.35	1.03	5	5
2	2.66	2.56	4.75	3.69	0.96	1.15	5	5
3	2.39	2.94	2.62	4.30	1.80	1.52	4	5
4	2.33	1.25	3.40	1.80	1.05	0.76	5	5
5	2.54	2.79	3.99	3.68	1.05	0.84	5	4
6	2.38	2.73	4.26	3.52	1.20	2.06	4	4
7	2.14	2.45	2.92	3.82	0.74	0.87	5	5
8	2.13	2.16	3.00	2.94	0.50	1.15	4	4
9	2.65	1.89	3.55	2.49	1.59	1.70	4	5
10	0.74	1.50	1.11	2.16	0.32	0.70	3	5
11	0.54	2.10	0.62	2.88	0.46	1.11	2	5
12	0.63	1.26	0.99	1.46	0.40	1.03	5	5
13	1.05	0.86	1.46	1.15	0.79	0.54	3	4
14	1.35	2.09	2.37	3.50	0.32	0.34	2	5
15	0.87	1.08	1.16	1.81	0.61	0.53	3	4
16	1.73	1.37	2.24	.99	0.76	0.79	3	5

なく，現在木の數にも影響し，地盤がたかければ現在木が多く，枯損(主として凍害)したものが少ない結果がでている。地盤がたかく，しかも**からまつ**林にちかい林縁は，凍害が最も緩和されていて生長がよい。前の表を綜合すれば，第1列から第3列あたりまでが，この最もめぐまれた狀態にある。圖6もまた，3m以上に達した比較的優良木が，主として**からまつ**の林緣附近及び比較的地盤のたかい所に散在していることをしめしている。

なら等の造林地が壯齡の雜木林化した林緣も，凍害を緩和する作用をもつていることを，**とどまつ**の生育狀態がしめしている。この作用は第5列からみとめられるが，同時に強度の底壓が生長を害しているから，第6列以下を檢討することとして次の表をまとめた。

表 17　雜木林の林縁の樹高比較

行＼列	21～30 (m)	31～40 (m)	41～50 (m)	總平均 (m)	本数	枯損
6	2.35	1.99	2.51	2.29	28	2
7	1.80	2.22	2.95	2.34	29	1
8	2.17	2.27	2.45	2.30	29	1
9	1.71	1.90	1.66	1.76	24	6
10	1.32	1.39	1.25	1.32	22	8
11	0.93	1.13	1.28	1.15	23	7
12	0.95	1.64	1.44	1.39	21	9
13	0.71	1.67	1.74	1.52	21	9
14	1.12	1.72	1.29	1.34	23	7
15	1.11	1.48	1.24	1.30	24	6
16	1.25	1.56	1.25	1.35	27	3

これは雜木林の林緣にあたる行番號21から10行づつまとめた平均樹高で，現在木で計算している。また總平均は，三つの平均樹高から計算せず，樹高の總計と現在の總本數を用いて計算した。

このように，すべての平均樹高をくらべてみると，8列と9列の間に可なりはつきりした區別があり，また現在本數にも，從つてまた枯損本數にも，8列と9列の間におなじような區別がみられる。それゆえこの雜木林の林緣の凍害緩和作用は，だいたい8列まで及んでいると考えてよいと思う。雜木林の高さは**からまつ**林とおなじくらいであるのに，この緩和作用の區域が**からまつ**林よりも狹い主なわけは，雜木林の土地が低く，有効な林高が低くなつている結果である。(圖1參照)

またこの林緣は，行番號が多くなるほど地盤が高くなり，50行目附近では21行目附近より3mも高くなる。そのために凍害が緩和されていることも，表の中にあらわれている。ただし，林緣からはなれれば地盤の隆起がすくなく，また林緣の緩和作用もなくなるので，14列あたりから，どこも同じようにあまり良くない成育である。

林緣の**とどまつ**の上長生長は，昭和14年の春の生長を調査しただけであつた。調査したのは前記の16列で，この植列とは關係なく，すべてを五つの樹高階にわけ，凍害木の生長の傾向をもとめてみた。

表18　林緣の上長生長

樹高階	平均 (m)	最大 (m)	本數
4m以上	0.31	0.56	16
3～4m	0.31	0.84	67
2～3m	0.20	0.49	150
1～2m	0.12	0.29	193
1m以下	0.06	0.16	53

結果は前記の七つの地區の場合と非常に似ており，ことに2m以下の樹高階については，ほとんどおなじ値がでた。一般に，低い樹ほど上長生長は阻まれていて，この場合1m以下のものは，最大の生長さえ僅か0.16mにすぎない。從つて激しい凍害をうけた**とどまつ**の將來は，林緣でも希望がもてないということになる。

7. 現在の狀況

研究をはじめてから5年目の昭和19年，一部の**とどまつ**に極めてよい影響を與えていた**てうせんからまつ**林は軍用のため伐採され，終戰後の數年にわたつて，この凍害地は全く放置されていた。昭和24年の秋，再び機會をえて訪れたときは，全域が萌芽と侵入してきた若い雜木のためにほとんど埋まり，林內を歩くことはもちろん，林內を見透すことさえ困難な有樣であつた。昭和26年の春，粗い除伐が行われたとき，わずかな通路をつくり最小限度の調査を行い，翌春もまたこれを繼續した。

この結果によると，昭和14年に造林地を踏査して目測できめた圖1の激害と甚害の二つの地區の**とどまつ**はほとんど消失し，細長い不整形の弱々しい殘存木が，わずか散

存しているだけであつた。その外側の，かつて微害と判定した地區は，散生の傾きはあるが一應生育し，無害と判定した地區では，他の地區と明らかにちがう良い生育をとげてもはや閉鎖している。この生育がよい丘の中腹の斜面と，伐採されてしまつた曾つての**からまつ**林の林緣の**とどまつ**は，今日6～7mになつたものが相當あり，遠くからみると，凍害地區の雜木を抜きしかも鬱蒼としていて，前より一層目立つ現狀である。

調査地區附近の現狀　昭和14年にもうけた前記の7つの調査區は，戰時戰後の特別な事情もあつて手入れができず必要な標識の大部分を失つたため，26年の調査のとき，すべての箇所を前回と一致させることを不可能にした。また充分な勞力もえられなかつたので，今回は前回とできるだけ同じ位置をえらぶようにつとめ，面積も狹くして6m×6mとし，前回の7地區のうちの5地區について調査をした。この際も調査區の方向を植栽の列に合せたから，それぞれ4×4＝16本の**とどまつ**が植えられていたはずである。16本では前回の64本に比して非常にすくないが，大体の傾向はわかつたつもりである。

つぎの表は各地區の現在の樹高の平均，樹高の最大，前回とことなり今回は測れるようになつた胸高直徑の平均，その最大を列記したもので，殘存本數は凍害の有無，その程度にかかわらず現に生育している本數，枯損本數は16本づつ植えられていたものとして計算した。その中には現に枯損木として殘つているものもあるし，消失してしまつたものもある。

表19　各地區の生長　　昭和26年5月14日調査

地區	A	B	E	F	G
平均樹高 (m)	4.78	—	1.95	1.88	5.06
最大樹高 (m)	8.20	—	2.94	2.85	6.67
平均直徑 (cm)	6.13	—	3.20	4.33	6.84
最大直徑 (cm)	13.2	—	4.4	6.5	10.0
殘存本數	10	0	4	3	12
枯損本數	6	16	12	13	4

このように，最も凍害が著しかつたB地區にはもはや1本の殘存木もない。これは調査した區域がせますぎるためでなく，附近の狀態もまたおなじことである。Bについで凍害が著しかつたF地區には3本の殘存木があるが，ここは標準として成績がよすぎ，ほとんどんど殘存木がないのが附近の狀態である。Eも前から成績の惡いところで殘存木はわずか4本，これらのひどい凍害地の殘存木は生育がわるく，すでに鬱閉しているA, D, G地區の林木にくらべると，平均樹高も最大樹高も1/2またはそれ以下であり，また最もよい生長をとげている曾つての林緣木のなかには，この表にはないけれども，すでに11m以上の高さになつているものもあるから，これにくらべれば1/3以下にすぎない貧しい生

長である。

林縁附近の現状・　側方からいちじるしい凍害緩和作用を及ぼしていた**からまつ**林は，前記のとおり伐られてしまつたが，それまでに林縁の**とどまつ**は，安全に育ちうるまでに生長していた。昭和26年の調査によると，曾つて**からまつ**の保護をうけたと考えられる林縁には，昭和17年以後にうけた致命的な凍害はなく，しかも全体として，どこよりもよい生長をとげていた。ことに林道ぞいの低所から急に1mほど高くなつている丘の肩の附近に，最もよい生長をみることができた。

非常に目立つている事實は，林縁のよい生長が，林道ぞいの低所では9列目で急に終り，10列目から先は，極く生育のわるい樹が數本しか殘つていないことである。尤も丘の肩のところでは，14列まで可なりよい生育をみせ，15列目から急にほとんど消失している。しかしこれも10mほどの間だけで，その先は再び9列目あたりでよい生長が終り，やがて斜面の高さの影響が大きくあらわれてくる。このことは，12年前の昭和14年にもみとめることが出來たが，今では一層はつきりしてきた。

先年は林縁の**とどまつ**を16列，毎木に數百本調査したが，今回は樹高をまし，また林地の大部分が叢林化して作業を困難にしたので，前記の方法に準じた小面積の調査で大体の傾向を知ることとした。

つぎの表はかつての林縁の**とどまつ**の現状をしめす。No. 10 (a) は低氣溫の觀測點No. 10の近くにもうけた 6m×6m の地域 3, 4, 5, 6 列の夫々4本づつ計16本をふくむ。No. 10 (b) はこの眞上の丘の肩にもうけ，おなじ植列におなじ區劃をし，おなじ本數をとつたものである。なおこれと比較するため，觀測點No. 11附近で，第11, 12, 13, 14列についておなじことを測つた果結を記入した。

表20　林縁の とどまつ の生長

調査の場所	No. 10 (a)	No. 10 (b)	No. 11
平均樹高 (m)	5.51	6.42	1.04
最大樹高 (m)	8.80	11.60	1.37
平均胸高直徑 (cm)	6.97	8.26	2.90
最大胸高直徑 (cm)	12.00	18.20	3.70
現在本數	14	12	3
枯損本數	2	4	13
計	16	16	16

この表を前の表とくらべると，かつての**からまつ**林縁で，**とどまつ**は最もよい生長をとげていることがわかる。ことにNo. 10 (b) では，高さ11m，直徑8cmをこえているものがあり，凍害地の全域を遠く望むとき，この附近のよい生長は特別に目立つている。

No. 11 にはただ3本のこつているだけで，最大のものも 1.37 m，最小のものは 0.65 m であつた。しかしこれでも附近のいちばん良いところで，このあたりから B地區にいたる廣い低地にはほとんど殘存木がない。

凍害をうけたとどまつの枯損　この凍害地のうち，寒冷で凍害のはなはだしい地區にうえた**とどまつ**は，次第に凍死しやがてまた腐朽して消えていつた。これは昭和 14 年以來の最初の數年間に，興味をもつて觀察しつづけたことであつた。しかしまた，凍害の輕微なところ——たとえば丘の頂にちかい高みや**からまつ**の林緣などでは，凍死は造林後の數年間だけで，あとは被害はあつても凍死することはほとんどなく，次第に勢をえて生長していた。

このことについて別に試驗をしたけれども，造林地についてはつぎのような事實があつた。それは曾つての**からまつ**の林緣で行つた調査だが，第 6 と第 7 の**とどまつ**の植列の間にもうけた刈拂道をつたい，先年の調査と照し合わせながら，昭和 16 年以來のあたらしい凍死木を調べたところ，**からまつ**の保護作用で初めから比較的よく育つていた第 1～9 列には該當するものが全くなかつた。第 10～16 列は灌木などの發生がいちじるしく，從つてあたらしい凍死木もあるように思われたが極度に見透しがわるく，そのため甚害及び激害地になつていた林道に近い低地の部分だけ調べることにし，それらの植列をふくむ 11m×9 m を區劃しつぎの結果をえた。この區劃に，はじめは 7×6＝42 本の**とどまつ**が植えられていたはずである（補植苗は別として）。

表 21　とどまつの枯損

植　　列	10	11	12	13	14	15	16	計
最初の植栽本數	6	6	6	6	6	6	6	42
殘存本數（昭16）	3	3	5	4	2	3	3	23
〃　（昭26）	1	0	1	1	1	0	0	4
昭和 16 年以來の枯損	2	3	4	3	1	3	3	19
最初の植栽以來の枯損	5	6	5	5	5	6	6	38

このように，もと 42 本の**とどまつ**は，昭和 16 年の春までにほとんど半減して 23 本になつていた。しかもその後も枯損をつづけ，現在——昭和 26 年にはわずか 4 本に減じてほとんど全滅している。殘存木のうち，第 14 列にのこつた 1 本は高さ 4.5 m（昭和 14 年 2.87 m），他の 3 本はどれも 1 m 內外である。この特に大きくなつたものも，枝張りがすくない痩せた幹で，梢頭附近は複梢になつており，他は一層生育がわるく，近い將來にやはり枯れるか，精々のこつても不良木にすぎない。從つて**からまつ**から 21 m 以上はなれているこのあたりに，林緣の保護作用を認めることは困難である。

この造林地は昭和2年の新植ののち，5年と7年に補植している。表の枯損本數は，補植がなかつたものとして數えているけれども，實際は新植ののち數年で大部分が枯損して昭和5年の補植となり，昭和7年にもまた，大部分を補植しなければならなかつたことが想像される。 從つて實際は42本のうち4本が殘つたのではなく，多分これよりはるかに多い苗木のなかから，僅か4本が殘つたものと考えてよい。

B. 凍害の試驗

8. 植栽地とその低氣溫

植栽地・植栽の方法　この凍害造林地の**とどまつ**が，現在の狀態になつた經路を知るため，あたらしく苗木を植えて凍害試驗を實施した。

昭和14年5月11日，造林地のなかに適當と思われる箇所を10箇所えらび，それぞれ1.2×1.2 m を區劃，草と地下のすべての根を除いてよく耕し，當時密生していた周邊の雜草と，疎生していた萠芽と灌木の類は直接の影響がない程度に刈拂い，各10本づつ**とどまつ**苗を植栽した。苗木は苫小牧演習林で養成した5年生，平均苗高20.4 cm，平均根元直徑1.04 cm，優良な苗木ではなかつたが，軸梢の完全なものを特にえらんでいる。 床は平床で中央に30 cm の間隔をおいて4本，その前後におなじ間隔で互の目に3本づつ植えて合計10本とした。 最も熟練した一人の人夫が，すべてを出來るだけ丁寧に，またおなじように植付けたから，植方による生育の差はほとんどなかつたと思う。

昭和15年5月9日，前年植えたものに枯損が現われはじめていたし，また植栽本數も不足と考えられたので，前年の箇所につづけて同じ床をつくり，すべて前年と同じように各10本づつ植えて補充した。**とどまつ**苗はやはり苫小牧演習林養成の5年生，平均樹高22.1 cm，平均根元直徑1.04 cm (前年と同じ)，これでそれぞれ20本づつ10箇所，計200本植えたことになつた。

これらの試驗地のうち7箇所は前記の凍害調査地區の中にもうけ，他の3箇所は**からまつ**の林緣附近にもうけた。また1～10 m をへだててどの試驗地にも氣溫の觀測點をもうけたから，地上0.25 m の最低氣溫と照しあわせながら，健全苗の凍害の狀態をみることができた。

植栽した箇所は圖1に記入してあるが，なお次表のとおりである。地區は植栽地所在の前記凍害調査區，氣溫觀測點はそれぞれの調査區のなかにあつてその氣溫を代表し，從つてまたそれぞれの植栽地の氣溫をも代表する地點，距離は，この觀測點から植栽箇所のおよそ中央部までの最短距離である。林緣には特にもうけた二つの觀測點がある。

表 22　植栽地一覧

植栽地	地区	氣温観測點	観測點からの距離 (m)	備考
a	A	No. 1	5	
b	B	No. 2	4	
c	C	No. 4	5	
d	D	No. 5	5	
e	E	No. 6	3	
f	F	No. 7	4	
g	G	No. 8	6	
h	林縁	No. 10	4	からまつ林から5m, 平地
i	〃	No. 10	10	〃 12 m, 丘の高み
j	〃	No. 11	4	〃 25 m, 平地

植栽地の最低氣温　あたらしく**とどまつ**苗をうえた植栽地 10 箇所のうち，a, b, c, d, e, f, g の最低氣温は，ちかくにある観測點 No. 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8 の観測値とそれぞれ大差がないと考えられる。表 23 は昭和 14 年 5 月の観測値で，6 月は 1 日と 5 日に弱度の霜日があつただけなので省略する。前記の通り No. 4 の観測法は他と少しちがう。

表 23　最低氣温 ℃, 地上 0.25 m　　昭和 14 年 5 月

植栽地	a	b	c	d	e	f	g
地区	A	B	C	D	E	F	G
観測點	No. 1	No. 2	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8
V. 1	−3.0	−3.7	−3.5	−2.9	−3.9	−3.6	−1.5
4	−2.2	−3.2	−3.4	−2.0	−3.2	−2.5	−0.3
5	−1.6	−3.0	−2.7	−2.0	−2.8	−2.6	−0.5
6	−1.6	−2.6	−2.8	−1.8	−2.7	−2.3	−0.5
8	−3.2	−4.6	−4.5	−3.1	−4.5	−4.2	−0.9
10	−0.3	−1.0	−1.4	−0.2	−0.9	−0.8	+1.1
13	−2.2	−3.5	−3.8	−2.5	−3.0	−3.3	+0.4
14	−5.2	−8.2	−7.6	−5.9	−8.0	−7.5	−3.5
16	−5.6	−7.0	−7.2	−5.7	−7.1	−6.7	−4.3
17	−4.2	−5.5	−7.1	−3.9	−5.3	−4.8	−2.3
18	−3.0	−4.2	−4.0	−2.8	−4.0	−3.6	−1.4
霜日平均	−2.92	−4.23	−4.36	−2.98	−4.13	−3.81	−1.25

残りの植栽地 h, j のための観測は，No. 10, 11 において翌 15 年と 16 年に施行した。この時の他の観測點は No. 1, 2, 8 の 3 點で，16 年には No. 1 も観測を中止した。これは各観測點の低氣温の相互關係がわかり，測らなくとも全体の傾向がだいたい推察できたからである。次の表は昭和 15 年と 16 年の 5 月の観測値で，15 年の 6 月は霜日がなく，16

表 24　最低氣溫 °C, 地上 0.25 m　　昭和 15 年 5 月

植栽地 地區 觀測點	a A No. 1	b B No. 2	g G No. 8	b · No. 10	j · No. 11
V. 1	−9.5	−10.8	−7.2	−10.2	−9.8
2	−2.7	−3.4	−0.6	−3.1	−3.2
5	−5.6	−6.8	−3.6	−6.3	−6.8
6	−2.1	−2.4	−0.6	−2.5	−2.3
8	−5.5	−6.9	−3.7	−6.6	−7.1
9	−3.5	−4.5	−1.5	−4.5	−5.0
10	−5.4	−6.7	−3.1	−6.5	−6.8
11	−7.1	−7.9	−5.1	−7.8	−8.1
12	−3.1	−3.8	−1.2	−3.5	−3.9
15	−5.2	−6.0	−2.9	−5.7	−6.5
16	−2.6	−2.9	−0.6	−3.1	−3.2
20	−4.1	−4.7	−1.8	−4.2	−4.6
21	+0.4	−0.1	+2.3	+0.1	±0.0
24	−3.2	−4.1	−0.1	−3.8	−4.2
26	−4.4	−5.1	−2.0	−4.9	−5.1
霜日平均	−4.24	−5.07	−2.11	−4.84	−5.11

表 25　最低氣溫 °C, 地上 0.25 m　　昭和 16 年 5 月

植栽地 地區 觀測點	b B No. 2	g G No. 8	h · No. 10	j · No. 11
V. 1	−9.0	−4.8	−7.5	−8.9
2	−3.4	+0.2	−1.8	−2.7
4	−7.6	−4.5	−5.1	−7.3
7	−9.5	−6.5	−7.3	−9.6
8	−1.6	+1.6	+0.2	−0.7
9	−5.2	−2.5	−3.7	−4.7
11	−6.2	−2.8	−4.6	−5.7
12	−6.8	−4.6	−5.6	−7.1
13	−11.2	−7.1	−9.6	−10.7
14	−1.1	+1.6	+0.1	−0.5
15	−6.7	−3.2	−5.1	−6.4
16	−10.9	−6.5	−8.9	−10.1
17	−5.4	−2.2	−3.8	−5.1
18	−4.8	−1.7	−3.6	−4.5
20	−1.7	+0.4	−0.7	−1.4
22	−2.1	+0.7	−1.2	−1.8
29	−1.2	±0.0	−0.5	−1.0
31	−2.1	−0.4	−1.5	−1.6
霜日平均	−5.36	−2.35	−3.90	−4.99

年は6月1日に −3.1° まで下り，9, 10, 14, 16日に，それぞれ −1° 前後の霜日があらわれている。(表24, 26)

經驗によると，造林地の**とどまつ**に凍害があらわれるのは霜日のすべてではなく，だいたい −4° 以下の霜日である[1]。またこの造林地の**とどまつ**の芽の凍害は，5月の上旬からはじまつているが，ことに5月10日ごろから重要な段階にはいつている。それゆえ5月10日以後の −4° 以下の霜日を，特に凍害日とみて間違いない。この重要な日は，次のようにあらわれていた。

表26　凍　害　日

年	月	日
昭和 14	5	14・16・17・18
〃 15	5	10・11・15・16・20・21・24・26
〃 16	5	11・12・13・15・16・17・18

これらの有害な霜日には，10箇所の植栽地のうちどこかに凍害が起つているが，溫度は場所によつてちがうから，どこも同じように被害をうけているのではない。b, e, f, jのように，いつも著しく寒冷なところでは，その都度はげしい凍害をうけるとしても，比較的溫暖なところでは，被害の程度がすくないばかりでなく，しばしば被害をまぬかれてさえいるのである。たとえばgにおいて，−4° 未滿の霜日を無害とすれば，昭和14年の有害な霜日は5月16日ただ1日だけで，15年もまた5月11日だけ，16年も5月12, 13, 16日の3日にすぎなかつた。しかも溫度は，寒冷な場所より 4° 前後までたかいことがあること(昭和16年5月13, 16日)表のとおりである。この結果として，10箇所の植栽地は，はじめ同じであつたにもかかわらず，それぞれちがう凍害の容態をあらわすようになつた。

iの植栽は，主としてaと比較するための補助であつたから，最低氣溫を連續してはからなかつた。ここは周圍の**とどまつ**の生育狀況から判斷して，aよりも最低氣溫がたかいことが想像され，それはaよりも一層**からまつ**林に近いためにちがいなかつた。iはまた，**からまつ**林からの距離はhと大差ないが，2mほど地盤がたかくなつているため，hより高溫であることも想像された。しかしiの最低氣溫をはかつたのは僅か數回で，ことに晩霜季の觀測がなかつたのは殘念であつたが，つぎの例はiその他の觀測點の低氣溫の相互關係をよくしめしている。これは初冬の觀測であるが，積雪はなく，また地面の枯草が早春のような狀態であつたから，晩霜季の有害な霜日には，丁度このような低氣溫の關係があるとみて差支えがないように思う。

1) これは實地の經驗溫度であるが，同じようなことが他でもいわれている。稻垣乙丙，新編農業氣象學，247-8頁．鈴木清太郎，農業氣象學，118頁．大後美保，農業氣象通論，178頁．

表 27　最低氣溫 °C, 地上 0.25 m

觀測點 植栽箇所	No. 10 h	i	No. 11 j	No. 1 a	No. 2 b	No. 8 g
昭15. XII. 1	−5.2	−4.2	−6.7	−5.5	−7.2	−4.4

このように，iの最低氣溫はgにちかく，aよりも，またhよりも高溫である。

9. 凍害の經過

植えた**とどまつ**は，ほとんどおなじ苗であつたのに，わずか2～3年で，植えた場所による生育の差があらわれた。その原因が主として晩霜季——特に5月の凍害によるものであることは確かである[1]。このことについて，始めはいろいろ疑問をもつたが，檢討をかさねた結果，いよいよ間違いがないという確信に達した。

試驗を實施した苫小牧演習林の秋は寒冷で，9月下旬には氷點以下の氣溫がしばしばあらわれ，現に2回目の植栽をした昭和15年の9月30日には演習林内の露場で −4.1°，最も寒冷な植栽地b (氣溫觀測點 No. 2) は −10.6° に降つている。これを例外としても，寒冷箇所の10月には，−10° 以下の低溫がすくなくも數日あらわれる。11月と12月の觀察によれば，秋の低溫にふれた育ちおくれの新葉はしばしば黃變または赤變し，箇所と個体によつては，育ちおくれたものばかりでなく，針葉のほとんどすべてが黃または赤味を帶びることもある。しかしそのために枯れるほどのことはなく，あたらしく形成されている冬芽にも，被害をみとめたことはほとんどなかつた。

10月から初冬(根雪はおそい)にかけて，霜柱が形成されることがある。尤も，どこも粗鬆な火山灰土で排水狀態もよいのだから，内部は別として，表土の霜柱がうえた苗木を拔出したり，根を露出させたりすることは全くなく，新植の年，箇所によつて幾分ゆるんだ根元を，念のために踏みかためたことがあつた程度であつた。おなじように，消雪後の霜柱の害もないのである。

初雪は11月の上旬でも，根雪はたいてい12月の上旬，年によつてはもつと遲れ，昭和15年は12月30日であつた。冬の溫度はいちじるしく低く，寒冷な植栽箇所では12月のうちに −20° 内外に降り，嚴冬季1～2月には −30° をこえる日もでてくる。苗木時代の**とどまつ**は，嚴冬の低氣溫に直接ふれると凍死することもあるが，植栽地では，どこも50 cm ほどの積雪に保護されて冬をすごし，ただ偶然雪の上に出た部分が傷けられたことがあつただけである。

1) 原田泰博士も，林木，特に稚苗の被害は，ほとんど晩霜のみによつて生ずるとし，早霜の被害はすくないという。森林氣象學，195頁.

消雪は3月下旬になる。植栽地はおなじように地被を除き土壌を露出してあるから，雪融け頃はどこも可なり深く固く凍結している。雪融水は斜面をすこしづつ流れて低い所に集まる傾きがあるが，どの植栽地にもながく停滞することはなく，上層のやや多量の水も，凍土の融解につれて速やかに吸收される。やがて氣溫は昇りはじめ，それぞれの植栽地の4月の最低氣溫は，−15°を下廻る日がほとんどなくなり，芽鱗にかたく包まれている**とどまつ**の芽は，4月も依然としてほとんど安全であるが，やがて有害な5月の發芽季がちかづいてくるのである。

この凍害地の**とどまつ**の冬芽が，春になつて膨みはじめるのは5月の上旬である。まず日當りのよい高所からはじまり，次第に比較的寒冷な低地におよんで行く。年によつて多少ちがうが大きいちがいはない。5月15日ごろは，最も暖い場所で，芽が綻びるか綻びないか間際の狀態になり，新緑が目立つてくるのは，5月の下旬から6月の上旬の間である。尤も，これは，ここに造林した**とどまつ**のことで，試驗にうえた**とどまつ**苗の發芽は，これよりもすこし遲れる傾きがあつた。昭和16年の觀察によると，丘の中腹にあつて最もあたたかいgの**とどまつ**20本の平均發芽日は，軸頭の側芽が5月24日，頂芽は6月5日，また林緣にあるあたたかいiにおける20本は，側芽が5月27日，頂芽が6月4日，またやや土地が高くて比較的あたたかいdの17本は，側芽が6月4日，頂芽が6月8日であつた。低氣溫が最も有害にはたらくのは，冬芽がようやく膨んだ5月10日頃から，發芽したばかりの新梢がさかんに伸びている6月のはじめにいたる大体40日くらいで，ことにこの季節のはじめ，5月10日ころからの2週間は，低溫があらわれる頻度も多く，また低溫そのものもきびしいため非常に有害である。

5月下旬になつて發芽しない芽をしらべてみると，膨らみかけた芽鱗のなかで，微細な針葉が小さく纏まれたまま褐色をおびて凍死している。寒冷な箇所では，このように發芽以前に凍死してしまうものが非常に多かつた。たとえば，昭和16年に觀察した，最も寒冷な植栽地bにおける12本の**とどまつ**苗の平均發芽日は，側芽が6月29日，頂芽が6月12日で，側芽と頂芽の發芽の順序が正常の逆になつているばかりでなく，また非常におくれているが，これは頂芽も側芽もほとんど發芽の前に凍死し，不定芽が後からおくれて發芽して來たためであつた。

發芽季にはまた，有害な低氣溫があらわれるたびに，わずかに綻びた芽，萠えいでた新葉，ようやく伸長した梢も凍死し，ことに綻びた芽の凍死は，膨んだ芽の凍死とともに，毎年ほとんど無數にみるところであつた。この結果はまた，6月の上旬から7月にかけての二次的な不定芽の盛んな發芽となり，また凍害地特有の複梢を形成する原因となつた。

夏はまた凍害をうけた針葉の脫落，凍害をうけた小枝の枯死，衰弱した苗木自体の枯死を促進し，昭和14年春の植栽直後からはじまつた凍害の實態は，間もなく植栽の場所

表28　凍害の經過

	植栽地 a		地區 A			氣温觀測點 No. 1					暖
苗番號	昭14		昭15			昭16			昭18		昭26
	春	秋	春	夏	秋	春	夏	秋	春	夏	春
1	○	○	○	●	●	●	●	●	○	○	○
2	○	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○
3	○	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○
4	○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○
5	○	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○
6	○	●	●	●	○	○	●	●	○	○	○
7	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○	○
8	○	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○
9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
10	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
11			○	○	○	○	○	○	○	○	○
12			○	○	○	○	○	○	○	○	○
13			○	●	●	●	●	●	◕	○	○
14			○	●	●	●	●	●	○	○	○
15			○	○	○	○	○	●	○	○	○
16			○	○	○	●	●	●	○	○	○
17			○	●	●	●	○	○	○	○	○
18			○	○	○	○	○	○	○	○	○
19			○	○	○	○	○	○	○	○	○
20			○	○	○	●	●	●	●	×	×

○ 生育の見込みがある　● 生育の見込みがない　× 枯死

	植栽地 b		地區 B			氣温觀測點 No. 2					最寒
苗番號	昭14		昭15			昭16			昭18		昭26
	春	秋	春	夏	秋	春	夏	秋	春	夏	春
1	○	○	●	●	●	●	●	●	●	×	×
2	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●
3	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	×
4	○	●	×	×	×	×	×	×	×	×	×
5	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●
6	○	○	●	●	●	●	○	○	○	○	●
7	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×
8	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	×
9	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	×
10	○	●	●	●	●	×	×	×	×	×	×
11			○	●	●	●	●	×	×	×	×
12			○	●	●	●	●	×	×	×	×
13			○	●	●	●	●	●	●	×	×
14			○	●	●	●	●	●	●	×	×
15			○	●	●	×	×	×	×	×	×
16			○	●	×	×	×	×	×	×	×
17			○	●	×	×	×	×	×	×	×
18			○	●	●	●	●	×	×	×	×
19			○	●	×	×	×	×	×	×	×
20			○	●	×	×	×	×	×	×	×

植栽地 c　　地區 C　　氣溫觀測點 No. 4　　中

苗番號	昭14 春	昭14 秋	昭15 春	昭15 夏	昭15 秋	昭16 春	昭16 夏	昭16 秋	昭18 春	昭18 夏	昭26 春
1	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●	●
2	○	○	○	○	○	●	●	●	●	●	×
3	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●	×
4	○	○	○	○	○	●	○	●	●	●	×
5	○	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○
6	○	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○
7	○	○	●	●	●	●	●	●	×	×	×
8	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	×
9	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	×
10	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	×
11			○	●	●	●	●	●	●	●	×
12			○	●	●	●	●	○	○	○	×
13			○	○	○	○	○	●	●	●	×
14			○	●	●	●	●	●	●	●	×
15			○	●	●	●	●	●	●	●	×
16			○	○	○	○	○	○	●	●	●
17			○	●	●	○	○	○	○	○	●
18			○	○	○	○	○	●	●	●	×
19			○	○	○	○	○	○	○	○	×
20			○	○	○	○	○	○	○	○	○

植栽地 d　　地區 D　　氣溫觀測點 No. 5　　暖

苗番號	昭14 春	昭14 秋	昭15 春	昭15 夏	昭15 秋	昭16 春	昭16 夏	昭16 秋	昭18 春	昭18 夏	昭26 春
1	○	○	○	●	○	○	●	●	●	●	●
2	○	○	●	●	●	●	●	●	○	○	○
3	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●	●
4	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○	○
5	○	●	○	●	○	○	●	●	○	○	○
6	○	○	○	●	●	●	●	●	○	○	○
7	○	○	○	○	○	●	●	●	○	○	○
8	○	●	○	●	●	●	●	●	○	○	○
9	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
10	○	○	○	●	×	×	×	×	×	×	×
11			○	○	○	○	○	●	○	○	○
12			○	○	○	○	○	○	○	○	○
13			○	●	●	●	●	○	○	○	○
14			○	○	○	○	○	●	×	×	×
15			○	●	●	○	●	●	○	○	○
16			○	○	○	●	●	●	×	×	×
17			○	○	○	○	○	●	○	○	○
18			○	○	○	○	○	○	○	○	○
19			○	○	○	○	○	○	○	○	○
20			○	○	○	○	○	○	○	○	●

	植栽地 e	地區 E	氣溫觀測點 No. 6	寒

苗番號	昭 14		昭 15			昭 16			昭 18		昭 26
	春	秋	春	夏	秋	春	夏	秋	春	夏	春
1	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	×
2	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
3	○	○	○	●	●	○	●	●	●	×	×
4	○	●	○	○	●	●	●	●	○	○	○
5	○	●	○	●	●	●	×	×	×	×	×
6	○	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●
7	○	○	○	○	○	○	●	●	×	×	×
8	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
9	○	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○
10	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●
11			○	○	○	●	●	○	○	○	○
12			○	●	○	●	●	○	○	○	●
13			○	●	●	●	●	●	○	○	○
14			○	●	●	●	●	●	●	●	●
15			○	●	●	●	●	●	○	○	○
16			○	○	○	●	●	●	○	○	○
17			○	●	●	●	●	●	○	○	○
18			○	●	●	●	●	●	○	○	○
19			○	○	●	●	●	×	×	×	×
20			○	○	○	●	●	×	×	×	×

	植栽地 f	地區 F	氣溫觀測點 No. 7	寒

苗番號	昭 14		昭 15			昭 16			昭 18		昭 26
	春	秋	春	夏	秋	春	夏	秋	春	夏	春
1	○	○	○	●	●	●	●	×	×	×	×
2	○	○	○	●	●	●	●	×	×	×	×
3	○	○	●	●	×	×	×	×	×	×	×
4	○	○	●	●	×	×	×	×	×	×	×
5	○	○	○	○	○	●	●	●	●	×	×
6	○	○	●	●	●	●	×	×	×	×	×
7	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	×
8	○	○	●	●	×	×	×	×	×	×	×
9	○	○	●	●	●	●	●	●	●	×	×
10	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	×
11			○	●	●	●	●	●	●	●	×
12			○	○	○	○	○	●	×	×	×
13			○	●	●	●	×	×	×	×	×
14			○	○	○	●	○	●	●	×	×
15			○	●	●	○	●	○	○	○	×
16			○	●	●	●	●	×	×	×	×
17			○	●	●	●	●	●	●	×	×
18			○	●	●	●	●	○	○	○	×
19			○	●	●	●	●	●	●	×	×
20			○	●	●	●	●	●	●	●	×

植栽地 g　　地區 G　　氣溫觀測點 No. 8　　最暖

苗番號	昭 14		昭 15			昭 16		昭 18		昭 26
	春	秋	春	夏	秋	春	夏 秋	春	夏	春
1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○
4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6	○	●	●	●	○	○	○	○	○	○
7	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
10	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
11			○	○	○	○	○	○	○	○
12			○	○	○	○	○	○	○	○
13			○	●	●	●	●	○	○	○
14			○	○	○	○	○	○	○	○
15			○	○	○	○	○	○	○	○
16			○	○	○	○	○	○	○	○
17			○	○	○	○	○	○	○	○
18			○	○	○	○	○	○	○	○
19			○	○	○	○	●	○	○	○
20			○	●	●	●	●	○	○	●

植栽地 h　　林緣$_1$ (低所)　　氣溫觀測點 No. 10　　暖

苗番號	昭 14		昭 15			昭 16		昭 18		昭 26
	春	秋	春	夏	秋	春	夏 秋	春	夏	春
1	○	○	○	○	○	○	○ ○	○	○	×
2	○	○	○	○	○	○	● ○	×	×	×
3	○	○	○	●	●	○	● ●	●	●	×
4	○	○	○	●	●	○	○ ○	○	○	×
5	○	○	○	○	○	○	○ ○	○	○	×
6	○	○	○	○	○	○	○ ○	×	×	×
7	○	○	○	○	○	○	○ ○	×	×	×
8	○	○	○	○	○	○	○ ○	○	○	×
9	○	○	○	○	○	○	○ ○	○	○	○
10	○	○	○	○	○	○	○ ○	○	○	×
11			○	○	○	○	○ ○	○	○	×
12			○	○	○	○	○ ○	×	×	×
13			○	○	●	○	○ ○	○	○	○
14			○	○	○	○	○ ●	●	●	×
15			○	●	○	○	○ ●	●	●	×
16			○	○	○	○	○ ○	○	○	×
17			○	○	○	○	○ ○	○	○	×
18			○	○	○	○	○ ○	○	○	○
19			○	○	○	○	○ ○	○	○	○
20			○	●	○	○	○ ○	○	○	○

植栽地 i　　林緣$_2$（高所）　　暖

苗番號	昭14 春	昭14 秋	昭15 春	昭15 夏	昭15 秋	昭16 春	昭16 夏	昭16 秋	昭18 春	昭18 夏	昭26 春
1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	×
3	○	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○
4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×
7	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
10	○	●	○	○	●	○	○	○	○	○	○
11			○	○	○	○	○	○	○	○	○
12			○	○	○	○	○	○	○	○	○
13			○	○	○	○	○	○	○	○	○
14			○	○	○	○	○	○	○	○	×
15			○	●	●	●	●	●	○	○	○
16			○	○	○	○	○	○	○	○	○
17			○	○	○	○	○	●	○	○	○
18			○	○	○	○	○	○	○	○	○
19			○	●	●	○	○	●	○	○	○
20			○	○	○	○	○	○	○	○	○

植栽地 j　　林緣$_3$（低所）　　氣溫觀測點 No. 11　　寒

苗番號	昭14 春	昭14 秋	昭15 春	昭15 夏	昭15 秋	昭16 春	昭16 夏	昭16 秋	昭18 春	昭18 夏	昭26 春
1	○	●	×	×	×	×	×	×	×	×	×
2	○	○	○	●	●	●	●	●	×	×	×
3	○	●	●	●	●	●	●	×	×	×	×
4	○	○	●	●	●	○	●	●	●	●	×
5	○	○	●	●	●	○	○	●	●	×	×
6	○	●	×	×	×	×	×	×	×	×	×
7	○	○	○	●	●	●	●	●	×	×	×
8	○	○	○	○	●	●	○	●	×	×	×
9	○	○	○	○	●	●	●	●	●	●	×
10	○	●	●	●	×	×	×	×	×	×	×
11			○	●	●	●	○	●	●	×	×
12			○	○		●	○	●	●	●	×
13			○	●	●	●	●	●	●	●	×
14			○	●	●	●	○	○	●	●	×
15			○	○	○	●	○	●	●	●	●
16			○	●	●	●	●	●	●	●	×
17			○	○	●	●	●	●	●	×	×
18			○	●		○	○	○	○	○	×
19			○	●	●	○	●	●	●	○	×
20			○	●	●	●	●	●	●	●	×

による被害狀態の段階が，非常にはつきりわかる程度にまで進行した。

植栽した**とどまつ**の凍害と生育の調査は，昭和16年の秋まで相當綿密にまた連續して行い，そののちは昭和18年と昭和26年に行つた。つぎの表は凍害の經過と生育の狀態を總括的にあらわしているもので，凍害はあつても一應生育の見込みがあるもの(○)，見込みがないもの(●)，枯死したもの(×)に區別している。比較的溫暖なところでは，生育の見込みがないようにみえても，後に立直るものが相當ある。まただいたい植栽後2～3年で生育の傾向はきまるもののようであつた。(表28)

10. 植栽したとどまつの凍害

軸頭の芽の凍害　昭和14年5月11日，10箇所に10本づつ計100本の**とどまつ**を植えた翌日は都合よく小雨，しかし雨があがつた13日から18日にかけて霜日がつづき，あだかも綻びかけていた無傷の苗は凍害にさらされ，14，16，17，18日の低氣溫のため被害をうける結果になつた。つぎの表は軸頭の頂芽と側芽について，發芽伸長したものと，すでに凍死して發芽しなかつたか，又は發芽してから凍死した芽の數を，植栽地ごとに示したものである。

表29　軸頭の芽の凍害　　昭和14年春

植栽地		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
頂芽	發芽數	5	6	10	9	5	10	10	10	9	6
	凍死數	5	4	0	1	5	0	0	0	1	4
	凍死(%)	50.0	40.0	0	10.0	50.0	0	0	0	10.0	40.0
	計	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
側芽	發芽數	17	11	16	17	7	14	18	18	10	8
	凍死數	26	31	30	23	37	27	21	22	34	35
	凍死(%)	60.5	73.8	65.2	57.5	84.1	65.9	53.8	55.0	77.3	81.4
	計	43	42	46	40	44	41	39	40	44	43

c, d, f, g, h, iでは，頂芽の凍死がなかつたか又はあつても僅かであつた。そのうちd, g, h, iは比較的あたたかい所である。反對に，寒冷なb, jでは40%凍死した。側芽はどこでも過半數が凍死し，寒冷なところでは70%をこえている。このように，それぞれの植栽地の，凍害に關する特徵は最初の年からあらわれていたが，年とともにいよいよはつきりした。

著しい凍害をうけた苗は，この年の夏から秋にかけて次第に成育不良の徵候をあらわし，a, d, eにおいては枯死するものを出すにいたつた。しかし間もなく絶望狀態になつたb, f, jには，まだ凍死するほどの被害がなかつた。凍害はあつても，全体としての生育狀

態はiが最も良く，gはこれに次いでいた。

昭和15年5月9日，前年の植栽地に10本づつ，軸梢に凍害がみとめられない5年生苗を追加したから，10箇所にそれぞれ20本づつ合計200本の**とどまつ**を植えたことになつた。これらは前年とおなじ注意をもつて，おなじように植えつけている。

當時周圍の造林した**とどまつ**の芽は，溫暖な場所で大きく膨んでいた。植栽苗の芽は，前年の分もすべてまだ固かつたが間もなくゆるみ，5月26日まで繰返してあらわれた霜日に凍害をうけ，ことに15, 20, 24, 26日の低氣溫のためなやまされた。(表30)

表30　軸頭の芽の凍害　　昭和15年春

植栽地		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
頂芽	發芽數	11	0	11	11	6	3	17	13	17	5
	凍死數	8	18	9	8	12	17	3	7	3	11
	凍死(%)	42.1	100.0	45.0	42.1	66.7	85.0	15.0	35.0	15.0	68.8
	計	19	18	20	19	18	20	20	20	20	16
側芽	發芽數	23	4	28	40	9	19	73	19	46	13
	凍死數	43	66	56	39	59	65	13	65	34	60
	凍死(%)	65.2	93.3	66.7	49.4	86.8	77.4	15.1	77.4	42.5	82.2
	計	66	70	84	79	68	84	86	84	80	73

寒冷なbでは，頂芽の100%と側芽の93%をうしない，fにおいてもまた頂芽の85%と側芽の77%をうしなつている。このような狀態では，もはや正常な生育を望むことが困難である。これに反し，比較的溫暖なgでは，頂芽も側芽も15%，iでは頂芽の15%と側芽の43%の凍死で危險をのがれている。

この第2年目には，あたらしく植えた苗が半分をしめているにもかかわらず，全体として見るとき，寒冷な植栽地の凍害がいちじるしく，溫暖な植栽地の凍害は緩和される傾向があらわれている。一面においてそれは，前年うえた苗木に，第2年目から，植栽地の低溫の影響がはつきりあらわれたことを意味する。この秋までに，前年植栽の分に合計13本，新植の分に4本の立枯を生じた。その原因は凍害による衰弱である。

昭和16年の春は夜の氣溫がひくく，凍害のおそれある5月10日から6月16日までに18日も霜日があり，ことに**とどまつ**苗の芽がふくらみ始めた5月中旬の最低氣溫は，bにおいて −11.2°(13日)と −10.9°(16日)に達したほど厳しかつた。苗木は植栽後3年目と2年目であつたから，前年の被害はさらに加重され，凍害の容態は，もはやいたる所で非常にあきらかになつた。(表31)

表 31　軸頭の芽の凍害　　昭和 16 年春

植栽地		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
頂芽	發芽數	6	0	2	8	3	3	15	14	13	3
	凍死數	8	3	13	9	6	5	5	4	7	9
	凍死(%)	57.1	100	86.7	53.0	66.7	62.5	25.0	22.2	35.0	75.0
	計	14	3	15	17	9	8	20	18	20	12
側芽	發芽數	27	0	9	15	6	10	42	25	32	1
	凍死數	18	8	31	30	20	17	8	28	23	41
	凍死(%)	40.0	100	77.5	66.7	76.9	63.0	16.0	52.8	41.8	97.6
	計	45	8	40	45	26	27	50	53	55	42
軸梢の凍死		5	9	5	1	9	9	0	2	0	5
枯損(凍死)		1	8	0	2	2	3	0	0	0	3
3 箇年平均											
頂芽の凍死(%)		49.7	80.0	43.9	35.0	61.1	49.1	13.3	19.1	20.0	61.3
側芽の凍死(%)		55.2	89.0	69.8	57.9	82.6	68.8	28.3	61.7	53.9	87.1

頂芽と側芽の凍死の百分率は，全体として前年よりいくらか多くなつているのだが，j では特に目立つて多くなり，b と共に最も激しい凍害地であることを示すようになつた。一方，h の凍死率は前年より目立つて少くなり，g, i と共に比較的凍害が緩和されていることを示すにいたつたが，これらの状態は周邊の**とどまつ**造林地の状態とよく一致している。

この年はまた，軸頭の頂芽と側芽の凍死ばかりでなく，軸梢そのものの凍死があらわれており，表のとおり，寒冷な b, e, f ではそれぞれ 9 本づつある。このような苗は枯損の一歩前にほかならない。表の頂芽と側芽の數は，この凍死した軸梢を除いて數えている。それにしても側芽の數がすくないのは，凍害のため衰弱していることを示している。かくして秋までに，合計 31 本の枯損苗を生ずるにいたつた。

枝の先端の芽の凍害　凍害をうけるのは，軸梢の芽ばかりでなく，枝の先端の芽もまたおなじことである。軸梢の芽よりも，枝の先端の芽の方がはるかに數が多いから，凍害地では，この枝の先端の芽の凍害が非常にたくさんある。

昭和 15 年 6 月 10 日，それぞれの植栽地について，この狀況をしらべてみた。これらの植栽地には，前に述べたとおり，前年の 5 月 11 日にうえたそれぞれ 10 本と，調査の 1 箇月前，5 月 9 日にうえた 10 本と，あわせて 20 本の無傷の**とどまつ**があるはずであつたが，前年にうえた分は，所によりすでに凍害にもとづく枯損さえ生じていた。

調査した枝は，前年軸梢に形成された枝，すなわち軸梢の最上位におよそ3～4本づつ輪生している枝に限つた。14年にうえた分は，その春のうちに凍害にかかり，不定芽がこの最上位の枝を形成しているものもあつた。

これらの枝の先端には1個の頂芽と，これを左右からはさむ2個の側芽があり，あわせて3個づつ芽をもつている。極めて少數の枝は，3個の芽のうちどれかが始めから缺けていたにちがいないが，早春に凍死したものとの區別が明らかでなかつたから，便宜上，これらも凍死したもののなかに數えた。この結果を表32にまとめる。

表32　枝の先端の芽の凍害

植栽苗所	凍死	發芽	芽の總數	枝の數	苗本數	凍死%	發芽%	備　考
a	66	84	150	50	19	44	56	枯損1本
b	105	9	114	38	14	92	8	〃 2本
c	101	34	135	45	18	75	25	
d	75	63	138	46	16	54	46	〃 1本
e	98	31	129	43	15	76	24	〃 2本
f	104	46	150	50	20	69	31	
g	28	155	183	61	20	15	85	
h	97	92	189	63	20	51	49	
i	37	53	90	30	10	41	59	他の10本缺測
j	97	41	138	46	17	70	30	枯損2本

あたたかく被害がきわだつてすくないgの15%を除けば，a, iのように，比較的被害が輕いところでも40%以上が凍死し，被害が甚だしいc, e, f, jでは70%以上，最も甚だしいbでは90%以上の凍死である。これをもつても，枝の先端の芽の凍死が，凍害地ではいかに多いかがわかるであろう。苗本數は枯損と枝のないものを除いて數えた。

表33はまた，おなじ資料を別にまとめ，枝の先端の芽の凍害狀態を檢討したもので，すべての芽が凍死した苗の數，反對に，凍死した芽は一つもなく，すべてが發芽した苗の數，一部の芽は凍死をまぬがれているが，全体の2/3以上が凍死した苗の數をあげている。

このように，比較的あたたかいh, iでは，枝の芽が全部凍死してしまつた苗は1本もなく，gではまた20本のうち1本にすぎないが，最も寒冷なbでは，14本のうち10本まで，すべての芽が凍死している。百分率をみると，全体の傾向が一層よくわかつてくる。最初の欄と次の欄をあわせれば，bの100%を最大とし，c, e, jはいずれも70%以上で被害の大きいことをしめし，反對にgの5%とiの10%は被害がいたつて輕いことをしめしている。

表 33　本數別枝の先端の芽の凍害

植栽箇所	全部凍死	2/3 以上凍死	全部發芽	其の他	苗本數	備　考
a	3	4	1	11	19	
b	10	4	0	0	14	
c	6	7	1	4	18	
d	2	4	2	8	16	
e	2	11	0	2	15	
f	8	5	0	7	20	
g	1	0	9	10	20	
h	0	7	1	12	20	
i	0	1	1	8	10	他の 10 本缺測
j	7	5	2	3	17	
			同　上　%			
a	16	21	5	58	100	
b	71	29	0	0	100	
c	33	39	6	22	100	
d	13	25	13	49	100	
e	13	74	0	13	100	
f	40	25	0	35	100	
g	5	0	45	50	100	
h	0	35	5	60	100	
i	0	10	10	80	100	
j	41	29	12	18	100	

表 34　枝の頂芽と側芽の凍死の比較

植栽箇所	頂芽			側芽			備　考
	凍死	總數	凍死の%	凍死	總數	凍死の%	
a	19	50	38	47	100	47	
b	37	38	97	68	76	89	
c	36	45	80	65	90	72	
d	25	46	54	50	92	54	
e	33	43	77	65	86	76	
f	38	50	76	66	100	66	
g	6	61	10	22	122	18	
h	34	63	54	63	126	50	
i	11	30	37	26	60	43	20 本のうち 10 本缺測
j	34	46	74	63	92	68	

表34はまた，枝の頂芽と側芽の凍死の關係をしらべたものである。百分率をみると，それぞれの植栽地によつて，それは可なりちがうが，おなじ箇所の頂芽と側芽の凍死率は可なり似ている。百分率の平均を計算しても，頂芽60%，側芽58%となるのである。しかしよく見れば，比較的わずかな兩者の差に，或る傾向があらわれている。それはa, g, iのように溫暖なところでは側芽の凍死が多く，またb, jのように著しく寒冷なところでは頂芽の凍死が多く，したがつて被害も惡質であることである。ただし側芽の數は頂芽の2倍であるから，絶對數では側芽の凍死が常に多くなつている。

上長生長　凍害をうけた苗木は，被害の程度によつて，形がいちじるしく不整になるため，上長生長の測定に無理がともないやすいが，まだそれほど不整になつていない昭和14年と16年に測つた結果を一應まとめてみる。

測定の方法は，測定のときすでに枯死している苗を先ず除いた。頂芽が發芽伸長したものは問題がないが，頂芽を失つたものについては，頂芽に替る軸頭の不定芽，優勢な側芽，複梢であればその最も優勢なもの等を適當にえらんで測り，場合によつては上生長長を0とした。平均はそれらの合計を，現存本數で除したものである。また最大生長は，頂芽が發芽して伸長した長さで，側芽や不定芽からは求めなかつた。

表35　上長生長 (cm)

植栽地	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
昭和14年秋										
平均	2.6	3.7	7.1	3.0	3.7	7.2	5.3	7.1	5.6	3.5
最大	7.3	9.1	10.7	5.1	8.7	10.4	10.3	11.3	9.4	6.4
本數	9	10	10	9	8	10	10	10	10	10
枯損（凍死）	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0
昭和16年秋										
平均	2.2	1.1	4.1	1.3	3.0	1.1	3.3	6.6	6.2	3.1
最大	7.7	•	6.8	4.3	0.9	1.6	10.0	12.9	14.7	2.8
本數	19	9	20	18	15	12	20	20	20	16
枯損（凍死）	1	11	0	2	5	8	0	0	0	4

表のとおり，平均生長と最大生長をあわせて考えれば，だいたいの傾向として，g, h, iのように溫暖で凍害が緩和されている場所の生長がよく，b, jのように寒冷な場所はその反對になつている。16年の平均生長は，全体として前年よりも減少し，ことに寒冷なb, fにおける激減は，凍害の激しさを思わせるに充分である。eの平均生長が3.0 cmで最大生長が0.9 cmであるのは，前記のとおり頂芽の生長を測つているためで，bの最大生長が

ないのも同じ理由である。このbをはじめとしてcやjの平均生長は，主として側芽や不定芽から求めており，ほとんど頂芽の生長からこれを求めたgやiにくらべると，b, e, jの樹形はいちじるしく不整である。また16年のb, jの平均生長が1.1 cmにすぎないことは現在ほとんど生長がなく，植栽後2～3年で，将来の見込みも最早やなくなつたということを意味している。

11. 發芽の遲滯

發芽季の凍害地の**とどまつ**は，一齊に發芽せず，また一齊に發芽をおわらない。ことに發芽の終りは不整いで，夏になつても，まだ育ちおくれの新葉がぽつぽつ萠えていることがある。發芽は日中あたたかい丘の中腹などからはじまり，寒い箇所はいくらか遲れる傾きがあるが，いずれにせよ，冬芽のうちに凍死した芽があつたり，一旦開くことは開いてもやはり凍死した芽があつたりすると，あたらしい不定芽が形成され，二次的の發芽が夏まで續くことがおこるのである。それらの多くは，肉がうすく形も小さい弱々しい葉をひらくのが常で，秋には早霜と晩秋の凍害をうけやすい。頂芽を失つた軸頭に，頂芽となる優勢な不定芽を發生することは概してすくなく，それよりも不定芽がむらがつて生じ，遂に主軸が形成されないことがおこる。

昭和16年の春から夏にかけて，各植栽地の苗木につき發芽日を記錄した結果は，以上の發芽遲滯の關係をよくしめしていた。それは各地區のすべての苗木につき，軸梢先端の頂芽と側芽の發芽日を記錄したもので，側芽は數個のうちどれかが最初に發芽した日を記錄している。5月中旬から9月の初めまで隔日に植栽地を巡回し，芽鱗がひらき，新葉がすこしでも露出した日を發芽日とした。調査本數は，c, g, h, iだけが植えつけた時とおなじ20本づつで，他は凍死したものがあつて減つており，ことにbの生存苗は少なくなつていた。

表36はこの記錄を更にまとめたもので，或る植栽地の發芽の始まりは，その植栽地の苗木のうちどれかが最初に發芽した日，發芽の終りは，どれかが最後に發芽した日，平均發芽日は，それぞれの苗の發芽日を平均したもの，發芽期間は，發芽の始まりから終りまでの日數で，最初の日も數えている。

また**表37**はおなじ記錄から，季節別に發芽した苗木の本數をかぞえてまとめたものである。不發芽の欄には遂に發芽しなかつた本數をあげ，計は各植栽地の調査本數，すなわち現存本數であるが，若干の瀕死木は除いた。

このように，昭和16年の發芽は，5月17日，丘の中腹にあつて最もあたたかいgの側芽がひらいたのに始まり，いくらか寒冷なcの頂芽がひらいた7月16日にいたる2箇月におよんでいて，地區によりそれぞれ特徴があらわれている。一般に，發芽が長びくとこ

表 36　頂芽と側芽の發芽日とその期間

植栽地	側芽				頂芽			
	發芽の始	發芽の終	平均發芽日	發芽期間	發芽の始	發芽の終	平均發芽日	發芽期間
a	V/23	VII/4	VI/4	43	V/27	VII/4	VI/11	39
b	VI/2	VII/4	VI/29	33	VI/2	VI/22	VI/12	21
c	V/27	VII/4	VI/7	39	V/29	VII/16	VI/16	49
d	V/23	VII/4	VI/4	43	VI/2	VII/4	VI/8	33
e	V/25	VII/4	VI/4	41	V/29	VII/4	VI/20	37
f	V/23	VII/4	VI/11	43	VI/6	VII/8	VI/23	33
g	V/17	V/29	V/24	13	V/31	VI/20	VI/5	21
h	V/21	VII/4	VI/8	45	V/23	VII/2	VI/7	41
i	V/21	VII/4	V/27	45	V/25	VI/12	VI/4	19
j	V/23	VII/4	VI/7	43	V/31	VII/10	VI/13	41

表 37　季節別發芽苗數

植栽地	側芽						頂芽					
	5月	6月上半	6月下半	7月	不發芽	計	5月	6月上半	6月下半	7月	不發芽	計
a	10	4	3	1	0	18	2	13	0	3	0	18
b	0	1	0	6	0	7	0	2	2	0	3	7
c	6	10	2	2	0	20	2	10	2	5	1	20
d	8	7	0	2	0	17	2	12	0	1	2	17
e	5	5	1	1	2	14	2	1	1	4	6	14
f	2	9	2	2	0	15	0	5	4	5	1	15
g	20	0	0	0	0	20	1	17	1	0	1	20
h	9	4	2	5	0	20	3	14	2	1	0	20
i	17	1	1	1	0	20	7	13	0	0	0	20
j	6	8	0	3	0	17	1	12	0	3	1	17

ろほど凍害はいちじるしい。

gにつづき，5月21日には，これも比較的あたたかい林縁のhとiの側芽がひらきはじめている。しかし最も寒冷なbの側芽がひらいたのは6月2日からで，これはgよりも16日遅れたことになる。

この側芽の發芽の終りは，あたたかいgでまた最も早く切上り，最初の發芽ののち13日目の5月29日には，すべての苗の側芽のどれかが發芽してしまつた。凍害が非常にすくないこの植栽地は特別なところで，他のすべての植栽地の側芽の發芽の終りは7月4日で，大体40日あまりかかつている。これは凍害がある證據で，7月にさえなつている遅い發芽はもとより，6月も下旬の發芽は，定芽が凍死したのちの不定芽であると考えても差支えなく，それらの生育は思わしくないのが常である。それゆえbのように發芽のはじま

りが遅れること，また發芽が長びきすぎることは，凍害が起つているという悪い知らせである。

發芽日の平均は，gの5月24日が最もはやく，bの6月29日が最もおくれている。gのように，あたたかく凍害のすくないところでは，早くはじまつた發芽がまた早く終り，發芽日の平均もはやくなる。これに反し，寒冷で凍害の特に多いところでは，ほとんどすべてが不定芽の二次的發芽であるから，發芽の開始も終止も遅れ，平均發芽日も遅れる。gについであたたかいiの發芽日は5月27日で，これも早い。つぎはa, d, e地區の6月4日であるから，側芽の平均發芽日の順位はだいたい凍害の順位をしめし，その早いところの被害は輕く，遅いところの被害はいちじるしいと言つてよい。

頂芽の發芽が側芽よりおくれる傾向は，表36，表37のどちらにもよくあらわれている。被害甚大のbを除けば，それぞれの地區において頂芽の發芽は側芽よりも數日または10日以上もおくれている[1]。また表37のように，5月の發芽は側芽がおおく，6月上半期の發芽は頂芽がおおい。

最初の頂芽の發芽は，比較的あたたかい林緣h地區の5月23日で，ここでは側芽がひらいたのち2日で頂芽もひらきはじめたのだが，これはあまりよい傾向ではない。望ましいのは，凍害のおそれが去つたころ一齊に發芽することである。そのよい例はあたたかいg地區で，ここで頂芽がはじめて開いたのは5月31日であつたから，はじめて側芽がひらいた5月17日ののち2週間目にあたり，最後にひらいた6月20日まで，頂芽の發芽期間は21日であつた。尤もこの最後の分は，不幸にも多少被害をうけた軸梢であつたから，もしこれを除けば，gの頂芽の發芽は一應6月8日に終つているのであつて，その發芽期間は，わずかに9日にすぎないことになるのである。これにくらべてiの頂芽の發芽期間19日は，少々長びいてはいるが，これでも他の地區より可なり短く，林緣のあたたかい惠まれた環境でほとんど順調に發芽したのである。これに反し，頂芽の發芽が6月のなかばすぎから7月までも長びくことは，側芽の場合とおなじように，凍害があるときの悪い傾向で，頂芽の育ちおくれもまた，生育は思わしくないものである。

頂芽の平均發芽日は，iとgの6月4日と5日からfの6月23日にいたり，fのほかc, j, bのように，遅れるところほどだいたい凍害はいちじるしい。

12. 植栽試驗の結果

結果は直ちにあらわれ，ほとんどおなじ苗であつたにもかかわらず，或るものは植栽の年の夏または秋までに凍害のため枯死し，或るものはまた凍害のため生育の狀態に異狀

1) このように頂芽の發芽期がおくれることは，致命的な凍害の機會をすくなくする。このことは既に注意されている。

を呈した。周圍の**とどまつ**造林地の凍害がいちじるしく，殘存木もすくない所では，植えた苗木もまたいちじるしい凍害をうけて年々消失し，周圍が比較的凍害をまぬがれている所では，植えた苗木にも凍害がすくない等，それぞれの植栽地の凍害の狀況は，周圍の林分の狀況と非常に似ている結果をえた。

つぎの表は，昭和14年と15年の植栽以來，現在(昭和26年春)なお生育している本數と，凍害のため枯死してしまつた本數で，參考のため周圍の林分の凍害狀況を記入した。

現存本數のなかには，現在生存しているだけで，近い將來に枯れるか，また枯れなくとも健全な生育は望めないものを含んでいる。

表38　植栽地の現在本數　　昭和26年春

植栽地	植栽本數	現在本數	凍死本數	周圍の林分の狀況
a	20	18	2	凍害は微害の程度，生長は多少おとり，若干の枯損
b	20	3	17	凍害甚だしく，殘存木はほとんどない
c	20	6	14	中害地，枯損は相當あり，生長は大小不同の傾きがある
d	20	16	4	微害地，生長はよいが多少枯損がある
e	20	12	8	中害地，但し狀況はcよりもわるい
f	20	0	20	凍害甚だしく，殘存木はない
g	20	20	0	生長頁好でまたよくそろつている，枯損はまれである，しかし無害ではない
h	20	5	15	生長はよいが不同があり，また割合に枯損がある
i	20	17	3	生長頁好でまたよくそろつている，枯損もまれで局部的にはgにまさる
j	20.	1	19	凍害甚だしく，殘存木はほとんどない

このように，寒冷で凍害がいちじるしいb, f, jに植えた苗木はほとんど凍死し，生存するものも健全な生育の見込みはまつたくない。これに反し比較的溫暖なa, d, g, iでは凍死したものがすくなく，ことにgでは1本も凍死していない。

とどまつは植栽後の11～12年間を，それぞれちがつた低氣溫のなかに生育して現在にいたつた。その最も見やすい特徵を，上記の現存本數と高さの生長に見出すことができるのであつて，つぎの表は，現存木について計算した平均樹高と，現存木中の最大樹高をあげ，參考のため平均根元直徑と最大根元直徑を記入した。大体の傾向として，樹高が低く直徑が太いことは凍害のいちじるしい證據で，また高く太いことは凍害が比較的すくなかつたことを示している。また現存木の生育狀態には良いものと惡いものがあり，その間に多くの段階もあるが，可と不可に大別してそれぞれ數を記入した。多少とも凍害をうけないものはない位だが，過去に被害はあつても現狀から將來の見込みがあるものは可とし，見込みがないものは不可とし，可か不可か判斷に苦しむものも一應可とした。植えたときの苗間距離は30 cm內外でそのままになつているから，箇所によつては枝張りが不自然になつている。昭和19年以後に發生してきた灌木のため，局部が庇壓されたところもあつ

たが，hの一部分を例外とすれば，将来の生育の望みがあるかないかは，ほとんど全く凍害の程度に支配されている現状である。

表 39　現在の生長狀態　　昭和 26 年春

植栽箇所	平均樹高 (m)	最大樹高 (m)	平均根元直徑 (m)	最大根元直徑 (m)	現存本數	生育可	生育不可
a	0.73	1.13	0.018	0.023	18	18	0
b	0.58	0.67	0.020	0.027	3	0	3
c	0.61	0.94	0.019	0.023	6	3	3
d	0.71	0.93	0.019	0.026	16	13	3
e	0.64	1.09	0.019	0.024	12	8	4
f	・	・	・	・	0	0	0
g	1.88	2.65	0.022	0.034	20	19	1
h	1.03	1.61	0.020	0.028	5	5	0
i	0.90	1.53	0.017	0.025	17	17	0
j	0.42	0.42	0.010	0.010	1	0	1

寒冷で凍害が著しい箇所は，凍死したものが多いために現存本數がすくないばかりでなく，現存するといつても，ただ生きているだけのものがすくなくない。特に寒冷なb, f, jはそのよい例で，fは全部凍死してしまつたし，jにはただ1本殘つているだけで勿論將來の見込みはなく，bの3本の現存木にも將來の見込みはもちろんない。また樹高は，植えてから10年以上たつているのに，jに殘るただ1本はわずか0.42mで，bの3本も平均0.58mにすぎない。反對に，丘の中腹の溫暖なgでは，凍死したものが1本もなく，樹高の平均1.88m，最大は2.65mに達している。樹高は劣るけれども，溫暖な林緣のiもこれと似ている。樹高の平均が大きい溫暖な林緣のhの現存本數がすくないのは，隣接して發生した灌木の庇陰が主な原因であつた。

試驗に植えたとどまつの形態　凍害の程度はちがうけれども，凍死をまぬがれて現に殘つている**とどまつ**の形態は，凍害木特有の形態になつているものが多く，また今は正常な形態だが，よくみると凍害の痕跡をとどめているものも相當ある。

その最も典型的な形態は，二叉，三叉またはそれ以上にわかれている複梢で，またたびたび軸頭が凍害をうけたため，軸梢の交替もくりかえされていた。これには同じ軸梢の枝が立ちあがり軸となつているものもあるし，また同じ軸梢の不定芽から新らしい軸を形成しているものもある。しばしばまた，二叉，三叉などのうちの或る主軸が凍死して他の軸がこれに替つているものもある。いずれにせよ，軸頭の凍死は高さの生長をさまたげ，高さの割に直徑が太い。そのほか針葉の脫落，下枝の枯れあがり，小枝の密生，その反對に小枝の疎生なども，凍害の結果としてあらわれていた。どの植栽箇所にも，このような

とどまつが意外なほど多く，ある箇所では現存木のすべてがそれであつた。

10箇所の植栽地のなかから，代表的な例をあげる。現存木の形態のあらましのほか，高さとくらべるため根元直徑を記入した。枝張りは凍害のほかに，せますぎる苗間距離の影響を大きくうけているから省略，不可は生育の望みがないもの，その數は前の表にでている。激害をうけたbに現存している3本と，jに現存する1本はつぎのとおりである。

表 40　激害をうけた形態

植栽地	苗番號	樹　高 (m)	根元直徑 (m)	形　　態
b	2	0.46	0.018	三又，軸梢は繰返し交替，不可
〃	5	0.67	0.016	四又，〃　〃
〃	6	0.61	0.027	〃　〃　〃
j	15	0.42	0.010	五又，〃　〃

三又または四又などのそれぞれの軸は，さらに不規則に分岐しているから箒を立てたような形になり，**とどまつ**固有の形は全く失われている。(圖2)

以上の箇所ほどではないが，なお可なり激しい凍害をうけたcの6本，eの12本の現存木はつぎのとおりである。

表 41　中害をうけた形態

植栽箇所	苗番號	樹　高 (m)	根元直徑 (m)	形　　態
c	1	0.46	0.015	針葉脫落，ほとんど枯れている，不可
〃	5	0.62	0.023	下枝枯死，軸梢繰返し交替
〃	6	0.56	0.022	小枝異樣に密生，軸梢繰返し交替
〃	16	0.50	0.016	軸梢枯死，樹勢衰弱，不可
〃	17	0.58	0.016	脫葉多く，下枝はすでに枯死，不可
〃	20	0.94	0.024	比較的よく伸びているが，枝が極端にすくない
e	4	0.88	0.022	下位に三又の部分，軸梢は繰返し交替
〃	6	0.30	0.020	典型的な箒梢，枯れかけている，不可
〃	9	0.70	0.020	下位に二又の部分，軸梢は繰返し交替
〃	10	0.70	0.024	脫葉，中位より三又となる，軸梢は繰返し交替，枯れかけている，不可
〃	11	1.09	0.018	異狀がない
〃	12	0.71	0.014	脫葉，軸梢不明，不可
〃	13	0.53	0.012	軸梢不明
〃	14	0.72	0.020	梢頭凍死
〃	15	0.73	0.020	軸梢が交替
〃	16	0.66	0.019	梢頭凍死
〃	17	0.47	0.019	〃
〃	18	0.35	0.015	典型的な箒梢，不可

eの4は根元附近が三叉になつていて，その一つが優勢で主軸になつている。eの10は根元から30～40 cm上から複梢になつているのである。

最も安全にそだち，現在どこよりも蕊が立つてよく伸びているgにおいてさえ，全体の1/3にある7本の幹に凍害の痕をみる。ただし現存木20本で凍死したものはなく，不可はただ1本である。つぎのような凍害はあつても本質的には無害にちかい。

表42　無害にちかい形態

植栽箇所	苗番號	樹高 (m)	根元直徑 (m)	形態
g	1	0.88	0.022	下位に三叉の部分，上位で軸梢交替
〃	2	2.65	0.025	異狀がない
〃	3	1.50	0.028	下位に大きい二叉の部分
〃	4	1.88	0.028	異狀がない
〃	5	2.00	0.026	下位に大きい二叉の部分
〃	6	2.12	0.025	中位に二叉の部分
〃	7	2.38	0.031	異狀がない
〃	8	1.91	0.025	〃
〃	9	1.61	0.021	〃
〃	10	2.06	0.026	〃
〃	11	1.87	0.034	下位に二叉の部分，軸梢交替
〃	12	0.92	0.018	異狀がない
〃	13	1.87	0.028	中位に複梢の部分
〃	14	1.00	0.016	異狀がない
〃	15	1.34	0.018	〃
〃	16	1.04	0.015	〃
〃	17	1.38	0.024	〃
〃	18	0.90	0.012	〃
〃	19	0.90	0.013	〃
〃	20	0.51	0.013	三叉，主軸不明，不可

結　　言

この研究は，造林地における**とどまつ**の凍害の實態を，北海道大學苫小牧演習林の典型的な凍害地について研究したものである。**とどまつ**は養苗中にも凍害をうけやすいが，造林地においてもまた，凍害地の條件をもつところでは凍害をうけやすい。問題の凍害造林地は，斜面の裾にあるひろい凹地で，昭和2年に植えた**とどまつ**が，造林後12年の昭和14年の狀態で，激害地ではすでにほとんど全滅し，ほとんど被害のないところでは，4 mまたは5 m以上まで生長していた。

凍害はさまざまな生長障害を及ぼし，また凍害の程度によつて障害の程度も異るから，

この凍害地の**とどまつ**の生長狀態は，場所によつて相當ちがつていた。その場所によるちがいは，地盤の高さと密接な關係があつて，地盤の高さをませば，比較的溫暖になるため低氣溫の有害作用を減じ，凍害は緩和されて生長もよくなつている。したがつて最も寒冷な凹地の底は最も凍害がいちじるしく，生長もまた最もわるいばかりでなく枯損を多くだしている。しかし丘の高みでは，ほとんど凍害がなく正常な生育をとげており，凹所の底と丘の高みの間に，次第に移つている凍害の段階が存在した。

生長の場所によるちがいはまた，地盤の高さの他に，造林地の東側に隣接する林高14 m の**てうせんからまつ**林と，**なら**の造林地が雜木林化した森林の影響があつた。ことに**からまつ**林の影響はいちじるしく，その林緣における凍害の緩和作用のため，激害地の條件をそなえている場所にさえ，際立つてよい生長があり，ことに，林緣でしかも地盤が高いところには，この凍害地の全体を通じて最もよい生長をとげた**ととまつ**があらわれた。

植栽後7～12年を經過した昭和14年の調査では，激害地に殘存した10本の**とどまつ**の平均樹高 0.7 m，最小のものは僅か 0.3 m にすぎなかつた。これらはすべて著しい凍害をうけて極端な複梢となり矮生しているのであつて，一年の上長生長の平均は 0.04 m，これではほとんど生長がないにひとしく，昭和26年の調査のときは，これらも全部枯死していた。これに反し，比較的溫暖で凍害がいちじるしく緩和されている丘の中腹では，57本の平均樹高 1.7 m，最大のものは 3.2 m になつていた。また**からまつ**の林緣の，最も生長がよい部分15本の平均樹高は 3.3 m，最大は 5.4 m であつた。昭和26年の調査によると，前記の丘の中腹12本の平均樹高 5.1 m，最大は 6.7 m，また前記の林緣における12本の平均樹高 6.4m，最大 11.6 m に生長していた。このように，寒冷な激害地の**とどまつ**は絶滅し，比較的溫暖な場所では，幼齡時代の凍害の痕跡をのこしているとしても，今日安全に生長をつづけつつあり，この二つの間に，次第に移つている生長の段階と被害の段階が，依然としてみとめられるのである。

凍害の實態をたしかめるため，造林地の現狀調査のほか，造林地内の10箇所に20本づつ，凍害のない**とどまつ**苗をうえ，最低氣溫の觀測と併行して軸頭の凍害を觀察した結果は，3箇年の平均で頂芽の凍死 13～80%，側芽の凍死 28～89% であつて，**とどまつ**の凍害として最も重要な，しかも激害地ではしばしば致命的なこの梢頭の頂芽の凍死は，比較溫暖で凍害が緩和されているところでは明らかにすくなく (13～20%)，激害地ではまた明らかに多い (61～80%)。側芽の凍死はこれほど際立つたちがいはないが，比較的溫暖地で50% 內外，激害地ではどこも 80% をこえた。側芽は頂芽より發芽季が早い傾向があるため，總体的にみたその凍死は意外に多い。

梢頭の芽ばかりでなく，比較的重要ではないが枝の先端の芽もまた凍死している。こ

の調査は1回かぎりであつたが，前記の**とどまつ**苗の，軸梢の最上位に輪生している數條の枝の先端にある芽の凍死は，比較的溫暖な場所の15%から，激害地の92%の間にあり，平均は59%，すなわち半分以上が凍死している。一例によると，中害地區の造林木から採集した4年生全長約30 cmの軸梢に，合計65箇の凍死した芽が附着していた。このような狀態で，凍害地の**とどまつ**の樹形が，凍害木固有の不整な形になるのはあたりまえである。

10箇所の植栽地は，戰爭末期以來放置し，植栽後11年及び12年の昭和26年，試驗に植えた**とどまつ**の生育を調査した。凹地の底の激害地では，20本の大部分が枯損し(17～20本)，最も溫暖な丘の中腹ではそのまま全部生存した。また生存していても，激害地では生育が非常にわるく，平均樹高は0.6 m前後またはそれ以下，被害がすくなく特に生長がよかつた丘の中腹は平均1.9 mで最高のものは2.7 mに達していた。この狀態は，植栽ののち7～12年の問題の**とどまつ**造林地を，昭和14年に調査したときの狀態とほとんど一致していて，當時激害地の平均樹高は同じく0.7 m，丘の中腹は1.7 mであつた。

凍害をうけた**とどまつ**は，固有の痕跡が殘されていて，外觀からたやすく判定することができる。主な痕跡は，發芽の直前または直後に凍死した芽が多くあること，複梢が形成されていること，軸梢の枝付または小枝の分岐が不整になつていること，不定芽の發生が目立つて多いこと，上長生長が損われていること等である。激害地では，これらの痕跡が年と共にいちじるしくなる。あたらしい造林地では，最初にあげた芽の凍死を，特に注意する必要があり，新綠季の凍死直後の，判定のたやすい時に觀察すると都合がよい。

凍害地の判斷に最ものぞましいことは，發芽季の最低氣溫を現地で測ることで，**とどまつ**の場合，−4°內外の低氣溫があらわれていれば，凍害の危險があると思わなければならず，發芽季にもかかわらず，もし−10°くらいまでも，しばしば降るようであれば，そのまま造林しても**とどまつ**は生育しないであろう。たとえ附近に氣象觀測所があつても，一應は現地ではかることが是非必要であり，現地の狀況次第で場所によるちがいが大きいから，ただ1箇所ではかつても不充分なことがある。この場合は，適當な數箇所で同時にはかることが望ましい。このとき，觀測の地上高に注意し，必要な高さではからなければならず，新植の場合は，地上0.25 m位が適當であろう。

本稿は凍害の實態をあきらかにすることを努めたため，その豫防法については直接ふれなかつた。しかしこの研究から，つぎのことは言うことができる。

1. **とどまつ**は，造林地でも凍害にかかりやすい樹種であるから，その恐れがある所では，たとえば**からまつ**，**あかえぞまつ**のような耐寒性樹種をえらぶとよい。

2. 地形に注意し，丘つづきの低凹地では，比較的溫暖な丘の斜面に**とどまつ**を植え，寒冷な低凹地には，耐寒性の樹種を植えるとよい。本稿でとりあげた激害地は，昭和

16年**やちだも**に植えかえて一應成功している。ただし，丘の上がひろい高臺になつていれは，寒冷な部分があるかも知れない。

3. 凍害の恐れあるところでは，ひろい皆伐面をつくることを避けた方がよい。

4. 保護林として，前生樹の保殘は有利と考えられるが，凍害豫防のためには，相當多く殘さなければならず，できうれば，列狀に殘すことも考えるとよい。

5. 林緣の保護作用を利用することも有利である。ただし林緣の有効距離は，林分の高さくらいであるから，大規模には，幾條も帶狀に伐採することが考えられる。凍害にたいしては，朝日をさえぎる西側林緣が特に有利である。

6. したがつて，寒冷な地方では，人工造林よりも天然更新の方が，無理がなくて自然であろう。

7. 耐寒性で生長がはやい，たとえば**からまつ**と**とどまつ**の列植も實行するとよい。苫小牧演習林では，これによつて特に成績がよいところがある。

8. 條刈の方向も吟味するとよい。

これらの具体的な方法はなお檢討する必要があり，若干の試驗も實施したが，これらについては稿をあらためたい。

Résumé

The late frost injury of a Todomatsu (*Abies Mayriana*) plantation was closely investigated and coordinated with low temperature measurements.

On account of the good quality of the timber and the rapidity of growth, Todomatsu is planted extensively in Hokkaido, Japan. But damage from frost occurs quite frequently. The effects are sometimes fatal, and if not fatal, they tend to reduce the vigor and quality of the tree. Damage begins in early May, a low temperature from −4°C may suffice to do the damage. It injures mainly the swelling and opening buds, especially the killing of the swelling buds of the main terminal shoot demands attention.

1) 前に注意したように，最低氣温が比較的高いことを意味する。