



|                  |   |
|------------------|---|
| Title            | 植物の霜害に関する研究 : トドマツの晩霜害におよぼす朝日の影響  |
| Author(s)        | 吉田, 静夫; 酒井, 昭; 渡辺, 富夫   |
| Citation         | 低温科学. 生物篇, 26, 51-60  |
| Issue Date       | 1968-11-25  |
| Doc URL          | <a href="http://hdl.handle.net/2115/17738">http://hdl.handle.net/2115/17738</a> |
| Type             | bulletin (article)  |
| File Information | 26_p51-60.pdf   |



[Instructions for use](#)

Shizuo YOSHIDA, Akira SAKAI and Tomio WATANABE 1968 Studies on the Spring Frost Damage in Plants. II. The Effect of Sunshine in the Early Morning upon the Spring Frost Damage in Young Todo Firs. *Low Temperature Science, Ser. B*, 26. (With English Summary p. 59)

## 植物の霜害に関する研究 II\*

トドマツの晩霜害におよぼす朝日の影響

吉田 静夫・酒井 昭  
(低温科学研究所 植物凍害科学部門)

渡辺 富夫  
(農林省林業試験場北海道支場)  
(昭和43年9月受理)

### I. 緒 言

前報<sup>1)</sup>において、凍っているトドマツの芽に朝日があたったばあいの融解速度を現地で実測し、さらにそれを実験条件下で再現した。その結果、日の出直後あるいは日の出約2時間後の日射量に相当する人工光線の照射では一度も被害を見出せなかった。

これらの結果から考えて、トドマツの霜害のていどをきめる重要な要因は冷えこみの程度とトドマツの耐凍度にある。トドマツの耐凍性、ことに芽の耐凍性は開芽の進み具合でいちぢるしくことなる。造林地の地形、方位がことなれば苗木をとりまく因子もことなるから、開芽の進み具合がいちぢるしく影響されるものと思われる。たとえすべての斜面が同じ温度まで冷えても各斜面でトドマツの開芽に差があれば、当然斜面によって被害に差を生ずるはずである。したがって、植物の霜害の問題をより明らかにするためには、植物をとりまくこれらの因子を現地で総合的に調べる必要があるように思われる。

本論文は斜面の方位および場所による芽の温度や地温のちがいと開芽度合との関係、および朝日の影響等を主として現地において調べたものである。

この実験を行なうにあたり御協力をいただいた北海道林務部道有林課江口技官、山根技官および池田林務署造林課の各位に対し深く謝意を表します。

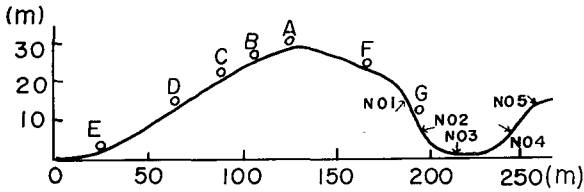
### II. 材料と方法

材料はトドマツ *Abies sachalinensis* Mast. の5年生苗木を用いた。

池田林務署8林班ろ小班(旅来)に実験地を設定した。温度測定は太さ0.2mmの銅コンスタンタン熱電対をトドマツの頂芽、地上10cmの幹の皮層部、および地下10cmの土壌中の小試験管中に挿入し実験地から230m離れた民家に置かれた12打点電子管式記録計で自記

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第919号

させた。実験地の概況は第1図に、その斜面の断面図を第2図に示した。各観測点は山頂(A)を基点としてそれから南東(B, C, D, E), および北西(F, G)の両斜面に設定した。南東斜面の底から30mほど離れた平坦地は広葉樹の林となっており、北西斜面の底の部分はいわゆるU字型の谷となっている。各観測点A-Gには、4月25日に5年生トドマツ苗を1実験区あたり25~42本あて30cm間隔で植えた。その中の1本のトドマツの頂芽のほぼ中心に熱電対を挿入した。観測点Cには高さ2m, 幅4mのヨシズを苗木の北東側に地上から40cm離して地面に垂直に立て、朝日をさえぎる実験区を設けた。観測点Eにおいて、トドマツの頂芽のほかに幹の地際10cmの部位の皮層部に熱電対を挿入した。なお、観測点Eでは夜間の冷えこみを裸地と比較するために、ヨシズを高さ50cm, 2m×4mの範囲に地面と平行に張り、その下にトドマツを植えた。南東、北西両斜面の地下10cmの地温は観測点CとFで測定した。熱電対の長さの関係で北西斜面の底の部分のトドマツの芽の温度は測定できなかったため、第2図に示したようにNo.1~No.5にそれぞれ2本のくいを立てて、その北側に地面と水平に地上30cmの位置にルサフォード最低温度計を設置して1週間ごとの最低気温を調べた。5月9日から



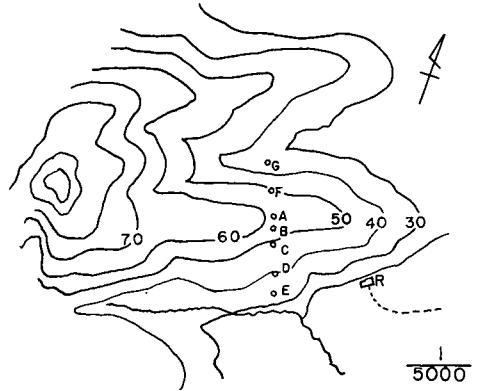
第2図 観測点の位置

A-Gは第1図におなじ。A-Eは南東斜面, F, Gは北西斜面にある。縦軸は比高を横軸は水平距離を表わしている。A-Gではトドマツの頂芽の温度を, No.1~No.5ではルサフォード最低温度計で地上30cmの最低気温を測定した。観測点CとFで地下10cmの地温を測定した。朝日をさえぎる実験はCで行なった

冷えこみがあり、この期間実験地でも降霜があった。5月25日に開芽状況と霜害の調査を行なった。霜害の判定は1年生主軸の芽と幹の根際について行ない、頂芽か側芽のいずれかが凍死したものを被害木とみなし全体に対する割合で表わした。幹の根際の害<sup>2)</sup>は皮層部が褐変しているものを被害木とみなした。

### III. 結 果

5月9日から11日までの3日間のうち、5月10日の冷えこみがもっともきびしかった。トドマツの芽は被害をうけたのちも、少なくとも半年間は、そのまま木に付着している。したがって被害をうけた芽の状態から被害時の開芽の状態を比較的容易に判定できる。霜害時、南



第1図 実験地の概況

池田林務署8林班ろ小班(旅来) 図中A-Gの符号は各観測点の位置を示す。Rは民家の位置で12打点電子管式記録計をここに設置した

にトドマツを植えた。南東、北西両斜面の地下10cmの地温は観測点CとFで測定した。熱電対の長さの関係で北西斜面の底の部分のトドマツの芽の温度は測定できなかったため、第2図に示したようにNo.1~No.5にそれぞれ2本のくいを立てて、その北側に地面と水平に地上30cmの位置にルサフォード最低温度計を設置して1週間ごとの最低気温を調べた。5月9日から

第1表 降霜日の各観測点の最低温度、最高温度および融解速度 (昭和43年5月)

| 観測点 | 方位 | 頂上からの斜距離<br>(m) | 最低*<br>温度<br>(°C) | -4°C 以低*<br>の持続時間 | 最高**<br>温度<br>(°C) | 融解速度*<br>(°C/分) | 温度測定部位                |
|-----|----|-----------------|-------------------|-------------------|--------------------|-----------------|-----------------------|
| A   |    |                 | -3.0              | —                 | 23.3               | 0.064           | 頂芽                    |
| B   | 南東 | 19              | -3.9              | —                 | 24.4               | 0.078           | 頂芽                    |
| C   | 南東 | 39              | -4.2              | 3.30              | 25.1               | 0.055           | 頂芽(裸地)                |
| C   | 南東 | 39              | -4.3              | 3.40              | 26.1               | 0.036           | 頂芽<br>{(ヨシズで朝日をさえぎる)} |
| C   | 南東 | 39              | —                 | —                 | 14.1               | —               | 地下10 cmの土壌            |
| D   | 南東 | 70              | -4.9              | 5.20              | 26.4               | 0.052           | 頂芽                    |
| E   | 南東 | 109             | -6.3              | 7.00              | 25.7               | 0.091           | 頂芽(裸地)                |
| E   | 南東 | 109             | -6.5              | 5.40              | 29.8               | 0.082           | 幹の地上10 cm(裸地)         |
| E   | 南東 | 109             | -5.7              | 6.00              | 23.1               | 0.053           | 頂芽(ヨシズでおおう)           |
| F   | 北西 | 50              | -5.2              | 4.40              | 24.1               | 0.065           | 頂芽                    |
| F   | 北西 | 50              | —                 | —                 | 10.2               | —               | 地下10 cmの土壌            |
| G   | 北西 | 86              | -4.7              | 4.40              | 17.9               | 0.052           | 頂芽                    |

\* 昭和43年5月10日の記録

場所: 池田林務署8林班ろ小班(旅来)

\*\* 昭和43年5月1日の記録

東斜面の下部のトドマツの側芽は膨んで長楕円形となっていたものと推定される。第1表に5月10日の苗木の各部位の最低温度とその持続時間を示す。斜面の頂上(A)はすべての観測点のうち温度がもっとも高く $-3^{\circ}\text{C}$ であった。南東斜面では斜面の下方ほど冷えこみがきつく、斜面の底の裸地(E)は $-6.3^{\circ}\text{C}$ であった。なお、地上10 cmの幹の温度はこれよりもさらに $0.2^{\circ}\text{C}$ 低かった。 $-4^{\circ}\text{C}$ 以下の温度の持続時間も斜面の下方ほど長く、Eの部分では6~7時間におよんだ。なお、Eの部分でヨシズでおおったトドマツの芽の温度は、裸地よりも $0.6^{\circ}\text{C}$ 高く $-5.7^{\circ}\text{C}$ であった。北西斜面は中腹(F)の方が底に近い部分(G)よりも $0.5^{\circ}\text{C}$ 高かった。なお、北西斜面の中腹は傾斜がゆるやかで、底に近い観測点Gのあたりは傾斜がけわしく、しかも底から5 mほど高かった。また、このあたりは西の方向から東に向って大きな谷が入りこむなど地形的に複雑であった。第2表にNo.1~No.5(第2図)の地点で測定された最低気温を示す。観測点Gの近くのNo.1は $-4.3^{\circ}\text{C}$ 、斜面の底のNo.3は $-6.3^{\circ}\text{C}$ であった。

一方、5月1日のトドマツの芽の最高温度を調べてみると第1表に示すように、南東斜面は頂上(A)がもっとも低く斜面の下方ほど高く、ことに斜面の中腹付近がもっとも高かった。頂上が $23.3^{\circ}\text{C}$ のとき観測点Dは $26.4^{\circ}\text{C}$ であった。斜面の底の裸地に植えた幹の地際の部分は $29.8^{\circ}\text{C}$ を示し頂芽の温度より約 $4^{\circ}\text{C}$ 高かった。北西斜面の中腹は頂上よりも幾分高く $24.1^{\circ}\text{C}$ であったが、底に近い観測点Gは $17.9^{\circ}\text{C}$ です

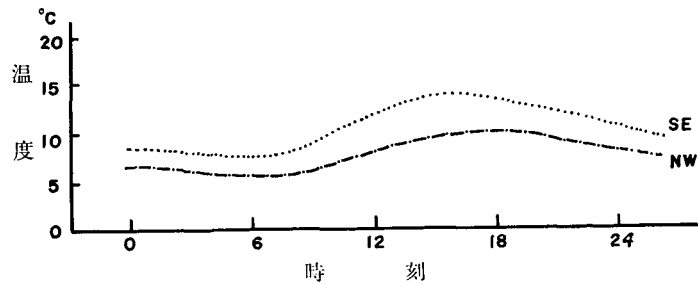
第2表 観測点No.1~No.5  
における最低気温  
(5月9~11日)

| 観測点*  | 最低気温<br>(°C) |
|-------|--------------|
| No. 1 | -4.3         |
| No. 2 | -5.3         |
| No. 3 | -6.3         |
| No. 4 | -6.3         |
| No. 5 | -5.1         |

\* 観測点は第2図  
測定はルサフォード最低温度計  
で行なった

すべての観測点中もっとも低かった。なお、観測点 C で朝日をさえぎったところはヨシズからの輻射熱のため午後は裸地より幾分高かった。

5月1日の両斜面の中腹の地下10cmの地温の日周変動を第3図に示す。地温は地上の温度より約4時間おくれで変動し、南東斜面で午後4時頃、北西斜面で午後6時頃にそれぞれ最高温度に達する。南東斜面と北西斜面の地温の差は夜間で2~3°C、昼間で4~5°Cに達し、つねに南東斜面の方が高い。凍結がまだ残っている4月26日頃はこの違いが一層大きくその差は6°Cに達する。



第3図 南東および北西斜面の中腹の地温の日周変動  
観測期日：5月1日 測定部位：地下10cm  
SE：南東斜面 NW：北西斜面

第3表 各観測点におけるトドマツの芽の開芽状況と霜害のていど (5月25日)

| 観測点 | 供試本数 | 頂芽、側芽とも*<br>開芽している<br>植物の割合<br>(%) | 霜害を受けたもの                  |                         |
|-----|------|------------------------------------|---------------------------|-------------------------|
|     |      |                                    | 芽の害を受けた**<br>植物の割合<br>(%) | 幹の害を受けた<br>植物の割合<br>(%) |
| A   | 30   | 50                                 | 0                         | 0                       |
| B   | 30   | 50                                 | 3                         | 0                       |
| C   | 42   | 85                                 | 12                        | 0                       |
| C'  | 25   | 88                                 | 12                        | 0                       |
| D   | 30   | 100                                | 37                        | 7                       |
| E   | 30   | 76                                 | 83                        | 20                      |
| E'  | 30   | 93                                 | 43                        | 0                       |
| F   | 48   | 58                                 | 0                         | 0                       |
| G   | 40   | 43                                 | 0                         | 0                       |

\* 霜害を受けたものを除いて計算した

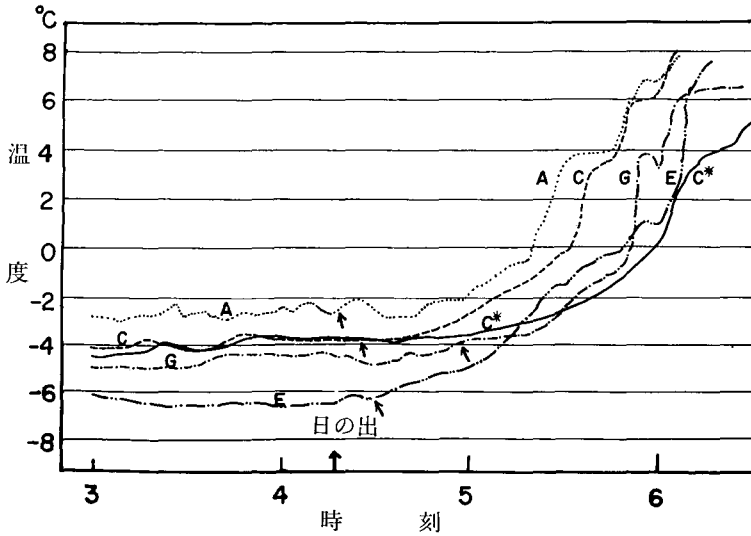
\*\* 頂芽、側芽のいずれかが害を受けたものを被害木とみなした

C'はヨシズで朝日をさえぎった、E'はヨシズでおおった地点を示す

第3表に5月10日の霜による被害とその時のトドマツの開芽状況とを示す。なお、被害調査は5月25日に行なった。一般に開芽は南東斜面の方が北西斜面よりも進んでいた。ことに斜面の中腹はもっともはやく、苗木の80%以上が頂芽、側芽とも開芽していた。斜面の上りほど開芽がおくれ、開芽しているトドマツの割合は50%程度であった。北西斜面の中腹は頂

上と大差ないが、斜面の底に近いところはもっともおくれている、頂芽も側芽も開芽していないものが約20%もあった。この部分は4月25日の植付当時、なお地下5~10cmのところにかかるい土壤凍結層がみられた。

霜による被害は、1年生主軸の頂芽および側芽のうち1個の芽でも害をうけたものはこれを被害木とみなした。被害は南東斜面に限られ、北西斜面では被害はまったくみられなかった。南東斜面の底に近い観測点Eの被害がもっとも大きく、その中腹より上方では被害が軽微であった。南東斜面の観測点Dと北西斜面の観測点Fの最低温度はそれぞれ-4.9、-5.2°Cで、むしろ北西斜面の方が低かった。しかし、南東斜面では苗木の43%が被害をうけ、根際の幹の部分が被害をうけたものが約7%あったのに、北西斜面ではこの被害は皆無であった。



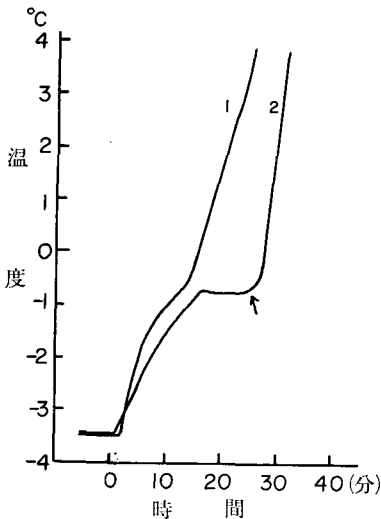
第4図 霜日におけるトドマツの頂芽の融解曲線

A, C, E, Gは各観測点を示し(第1図, 第2図), C\*はヨシズで朝日をさえぎったトドマツの融解曲線である。矢印は朝日のあたる時を示す観測期日, 5月10日; 日の出, 4時15分

実験地: 池田林務署8林班ろ小班

第4図に5つの観測点におけるトドマツの頂芽の早朝の融解曲線を示す。なお、各観測点のトドマツの芽の融解速度が第1表に示されている。融解速度は日の出直前の凍結温度から-0.5°Cまであがる時間をはかり求めた。頂芽の融解速度は南東斜面の底(E)でもっとも大きく0.09°/分で、南東斜面の頂上近くの観測点Bは0.08°/分でこれにつき、その他の観測点ではおよそ0.05°/分~0.06°/分であった。ヨシズで朝日をさえぎった南東斜面の中央の観測点Cにおける融解速度は0.04°/分で、ヨシズをかけない対象の裸地でのそれは0.06°/分であった。記録された温度から判断して、ヨシズで朝日をさえぎった部分は融解後約2時間日陰の状態におかれた。しかし、裸地にあるトドマツとヨシズで朝日をさえぎったトドマツの間には被害の差は認められなかった。

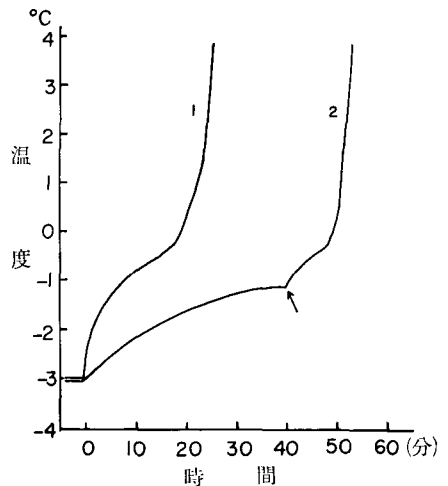
昨年に引き続いて、開芽の段階のことなる5年生トドマツを使って、5月27、28日の両日、人工的に凍結させたトドマツの頂芽に500Wのフラットランプを50cm離れた距離から電圧を加減してあてた。このときの電圧と熱輻射量との関係はネットラヂオメーターで測定し、75Vで照射したときは5月11日の朝8時頃の朝日の熱輻射量に相当する<sup>1)</sup>。芽の凍結融解の過程は銅コンスタン熱電対を使ってペン書レコーダーで自記させた。第5、および6図にいろいろな条件での芽の融解曲線を示す。5月27日の実験に使った材料は側芽の芽鱗が破れる寸前のもので、5月28日の実験に使った材料はこれよりも開芽段階が進みすでに側芽の芽鱗の一部が破れた開芽直後のものである。5月27日の実験では $-3.5^{\circ}\text{C}$ で1.5時間凍結させたトドマツの頂芽に直接75V、500Wでフラットランプを連続的にあてるか、照射して $-1^{\circ}\text{C}$ まで温度をあげてから一時電圧を下げ、その温度に10分間たもって再び75Vで照射した。5月28日の実験では $-3^{\circ}\text{C}$ で凍結させたトドマツの頂芽に上述のように75Vで連続的に照射するか、 $-1^{\circ}\text{C}$ まで恒温箱の中で温めてから75Vで照射した。後者の条件は現地において日の出後しばらく日陰にあったトドマツに急激に強い朝日があたる場合を想定したものである。第4表に苗木の被害状況を総括して示した。なお、 $-3\sim-3.5^{\circ}\text{C}$ で凍結した芽を75Vで照射すると約0.27%/分で融解した。凍結後 $0^{\circ}\text{C}$ の空中でゆっくりとかしたばあいは、頂芽はすべて正常に開芽したが、側芽は27、28日の実験でそれぞれ82%および14%が開芽し、凍結そのも



第5図 凍っているトドマツの頂芽に人工光線をあてたときの融解曲線 (1)

1は $-3.5^{\circ}\text{C}$ で凍っているトドマツの頂芽に75V、500Wでフラットランプを頂芽から50cm離して連続照射した。2は1と同じ条件で温度をあげてから電圧をおとし、 $-1^{\circ}\text{C}$ に10分間たもった。ついで矢印のところで再び電圧をあげて照射した

実験期日：5月22日 芽の状態：側芽が開芽直前の5年生トドマツ



第6図 凍っているトドマツの頂芽に人工光線をあてたときの融解曲線 (2)

1は第5図の1と同じ条件、2は $-1^{\circ}\text{C}$ まで恒温箱の中でゆっくり加温してから矢印のところで75V、500Wで照射した

実験期日：5月28日 芽の状態：側芽が開芽直後の5年生トドマツ

第4表 人工光線の照射と被害との関係

| 実験期日  | 凍結温度<br>(°C) | 処 理 条 件                                    | 側 芽   |               |
|-------|--------------|--|-------|---------------|
|       |              |  | 供 試 数 | 開 芽 数*<br>(%) |
| 5月27日 | -3.5         | 1. 75 V で連続照射                              | 26    | 15 (58)       |
|       |              | 2. -1°C まで75 V で照射し、そこに10分間おいてから再び75 V で照射 | 28    | 20 (71)       |
|       |              | 3. 0°C の空中で融解                              | 22    | 18 (82)       |
| 5月28日 | -3.0         | 1. 75 V で連続照射                              | 27    | 0             |
|       |              | 2. -1°C までゆっくり加温して75 V で照射                 | 25    | 9 (36)        |
|       |              | 3. 0°C の空中で融解                              | 28    | 4 (14)        |

\* 被害は1ヵ月後に調査した。

ので被害をうけるものは後者でいちぢるしかつた。凍結後75 V で人工光線をあてたとき、開芽直前の側芽(27日)は実質的には害をうけなかつたが、開芽直後(28日)の側芽はすべて被害をうけた。しかし、-1°C までゆっくり(0.05°/分)温めてから75 V で人工光線をあてると実質的に被害はなかつた。

#### IV. 考 察

トドマツの霜害は、冷えこみの程度とそのときのトドマツの耐凍性とのかねあいでは決まるものと考えられる。したがって、霜害の問題は霜日以前に苗木のおかれていた生育環境をぬきにしては考えられない。たとえ方位のちがひによつて被害に差があつたとしても、これをただちに朝日の影響<sup>3)</sup>に結びつけることはできないように思われる。

5月10日の夜間の最低温度(頂芽の温度)は、南斜面では斜面の下ほど低く、低温の持続時間も下ほど長かつた。一方、開芽は斜面の下ほどはやく進み、霜による被害も斜面の下ほど大きかつた。ことに、斜面の中腹以下では幹の根際のがめだつてゐた。

南東斜面の昼間の芽の温度は斜面の中腹以下がもっとも高く、斜面をのぼるにつれて低下する傾向があつた。また、北西斜面の中腹の芽の最高温度は頂上と大差ないが、斜面の下部では非常に低かつた。トドマツの開芽の状態と昼間の芽の最高温度との間には密接な平行関係が認められた。一般に、同一斜面でも斜面の上部は霜害は無いが、かりにあつても非常に軽度である。このことは冷えこみの緩和と開芽のおくれという二つの好条件によるものと考えられる。今回の実験では霜害が南東斜面に限られていたが、これは朝日の影響によるのではなく苗木の開芽段階のちがひに基づくと考えるのが妥当のように思われる。

苗木の開芽を支配している因子として、外気温のほかには地下部の温度も考えられる。南東斜面の地温は北西斜面の地温よりも常に高い。春先、土壤の融解は地表面から始まるが<sup>4)</sup>、土壤の凍結が深ければ、たとえ表面がとけてもその下が凍つてゐる場合がある。こうしたばあい根のおかれてゐる地下10~15 cmの部分の温度上昇がおさえられ、斜面の方位のちがひによる地温の差はいちぢるしく大きいことが予想される。また、積雪の多い地方では融雪そのものが



斜面によってことなるのでそれだけ地温の上昇もちがってくる。樹下植栽の保護効果は冷えこみの緩和にあるといわれるが<sup>5)</sup>、このほかに、上木の下の屋間の気温ならびに地温の上昇がおさえられるので、トドマツの開芽がおくれることも関係しているのではなからうか。今のところ、地下部のおかれる条件と開芽の関係についての直接的な実験がなく、今後人工的な条件ならびに自然条件での実験と調査が必要であるように思う。

これまでのわれわれの実験結果<sup>1)</sup>によれば、すくなくともトドマツの頂芽に関する限り、朝日による急速融解の害は考え難い。朝日のよくあたる南東斜面の中腹で朝日をさえぎっても被害の程度が裸地に比べて軽減されない。また、融解直後に植物体のおかれる条件のちがいが、被害の程度に影響することも考えられる<sup>6)</sup>。しかし、朝日をさえぎったところでは芽が融解してからすくなくとも1.5時間は日陰の中におかれていたので、前述のようなことは考えられないように思われる。

トドマツの芽は開芽が進むにつれて耐凍性も低下するし、急速融解に対する抵抗性も低下する。開芽直前の側芽は $-3.5^{\circ}\text{C}$ で凍結して、5月11日の朝8時の日射量に相当する人工光線をあててとかしても融解そのものの害はでないが、開芽直後の側芽は、 $-3^{\circ}\text{C}$ で凍結して上述のような条件でとかすとすべてが害をうける。しかし、 $-3^{\circ}\text{C}$ から $-1^{\circ}\text{C}$ までゆっくり(0.05°/分)加温してから上述のような人工光線をあてても融解そのものの害はうけない。自然条件で朝8時まで日陰にあって急に朝日があたる場合があったとしても、それまでに芽の温度は外囲の気温およびまわりからの輻射熱により次第に上昇して、朝日のあたる時点ではすでに $0^{\circ}\text{C}$ 近くまであがっている<sup>2)</sup>ので、それ以後の日射の影響はないものと考えられる。

植物組織は、たとえ組織搾汁の氷点以下でも温度の上昇につれて、細胞外にできた氷は融解し、これについて細胞への再吸水が起る<sup>7)</sup>。凍結した組織を組織搾汁の氷点付近までゆっくり加温するか、急速に組織搾汁の氷点付近まで温めてそこに一定時間おけばその間に氷の融解および細胞の再吸水が十分行なわれるので<sup>8)</sup>、その後の急速融解は無害であると思われる。

トドマツは開芽が進むにつれ、凍結温度のわずかなちがいが被害の程度を大きく左右する。開芽直前のトドマツを厳密な条件下で人工的に $-2.5$ 、 $-3.3$ 、 $-3.8^{\circ}\text{C}$ で15時間凍結し、 $0^{\circ}\text{C}$ の空中でゆっくりとかすと、頂芽は $-3.8^{\circ}\text{C}$ で50%の害をうけるが $-3.3^{\circ}\text{C}$ ではまったく害をうけない。側芽は $-2.5^{\circ}\text{C}$ では害をうけないが、 $-3.3^{\circ}\text{C}$ 以下ではすべて害をうけて開芽しない。南東斜面の底のところでは苗木の上をヨソズで被覆したところは裸地に比べて約半分の被害率であったが、霜日の夜間の最低温度は裸地よりも $0.6^{\circ}\text{C}$ だけ高かったので大きな被害にいたらなかったため、朝日をさえぎったためではないと考えられる。

## V. 摘 要

自然条件でのトドマツの晩霜害におよぼす朝日の影響を明らかにするために、昭和43年4月から6月にかけて池田地方において実験を行なった。

1. 5月10日の霜日におけるトドマツの頂芽の最低温度は、南東斜面の底の部分がかっとも低く $-6.3^{\circ}\text{C}$ 、中腹で $-4.9\sim-5.2^{\circ}\text{C}$ であった。北西斜面は $-4.7\sim-5.2^{\circ}\text{C}$ であった。このと

きの霜害は南東斜面の中腹から下の部分に集中し、斜面の頂上付近および北西斜面には霜害はなかった。

2. 地下 10 cm の地温は南東斜面がより高く、トドマツの頂芽の最高温度は南東斜面の中腹から下の部分が斜面の頂上付近および北西斜面よりも高かった。
3. トドマツの開芽のはやさと芽の最高温度の間には平行関係が認められ、南東斜面の中腹から下の部分はほかのいかなる場所よりも開芽がはやかった。
4. 南東斜面の中腹で人為的に朝日をさえぎっても、対象の裸地と比べて霜害は軽減しなかった。
5. 自然条件では起り得ないような過激な条件で人工的に融解しても、開芽直前の芽は害されない。

以上のことから、トドマツの霜害が南東斜面に限られていたのは朝日による急速融解の影響ではなく、南東斜面の冷えこみがより大きかったことと、開芽が進んでいたことの二つの理由によるものと考えるのが妥当であろう。

#### 文 献

- 1) 酒井 昭・吉田静夫 1967 植物の霜害に関する研究 I. 霜害におよぼす融解速度の影響. 低温科学, 生物篇, **25**, 59-70.
- 2) 酒井 昭・吉田静夫 1967 トドマツの霜害に関する研究 (II). 霜害時に現われる幹の被害. 日本林学会誌, **49**, 87-93.
- 3) 今田敬一・武藤憲由 1953 北海道主要造林樹種の凍害に関する研究 (II). 凍害と朝日の影響. 北海道大学農学部演習林研究報告, **19**, 61-78.
- 4) 木下誠一・堀口 薫・田沼邦雄・大野武敏 1968 北見における凍上観測 (昭和 42~43 年冬期). 低温科学, 物理篇, **26**, 印刷中
- 5) 今田敬一 1959 林木の凍霜害 (今田敬一・佐々木準長共編: 凍害と霜害). 北方林業会, 札幌, 1-110.
- 6) Levitt, J. 1957 The moment of frost injury. *Protoplasma*, **48**, 289-302.
- 7) 吉田静夫・酒井 昭 1968 植物の凍害におよぼす融解速度の影響 II. 凍結状態における温度変動に伴う氷の量の変化. 低温科学, 生物篇, **26**, 23-31.
- 8) 吉田静夫・酒井 昭 1967 植物の凍害におよぼす融解速度の影響 I. 急速融解の害. 低温科学, 生物篇, **26**, 71-79.

#### Summary

To clarify the effect of sunshine in the early morning upon the spring frost damage, some experiments were made using Todo fir *Abies sachalinensis* Mast. in Ikeda in Hokkaido.

In early May, 5-year-old Todo firs were planted on south-eastern and north-western slopes. The terminal buds and basal stems in Todo firs which were planted on the south-eastern slope, especially in its lower parts suffered serious damage by late spring frosts in the middle of May, while those on the north-western slope remained undamaged even in its lowest parts.

It was also observed that the buds of Todo firs growing on the south-eastern slope began unfolding earlier than those on the north-western slope, and it was noted that

the lower the planted area on the south-eastern slope, the earlier the time of unfolding of buds in the planted Todo fir. For this reason, the buds of Todo firs on the south-eastern slope, especially in the lower part are more sensitive to frost damage than those on the north-western slope.

In the middle part on the south-eastern slope, the warming rate of frozen buds exposed to sunshine immediately after sunrise and of those which were prevented from exposure to sunshine with marsh-reed screens were observed to be  $0.06^{\circ}\text{C}/\text{min}$  and  $0.04^{\circ}\text{C}/\text{min}$  respectively. It was also found that little or no difference in damage was observed between both Todo firs. Further, the frozen buds which were thawed rapidly by exposure to artificial light corresponding to the sunshine at 8 o'clock in the middle of May suffered no damage (warming rate:  $0.28^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ). This fact seems to indicate that even this rewarming rate is not great enough to cause damage by rapid thawing.

From these facts, it seems apparent that sunshine in the early morning have hardly any harmful influence on the frozen buds of Todo firs in a frosty morning, and that the difference in frost damage observed between south-eastern and north-western slopes is chiefly attributable to the degree of unfolding of buds of Todo firs growing on both slopes.