

林木の寒さの害に関する研究 (I)

斜面方位別樹体温度と土壤凍結深度の季節変化

森田健次郎* 水 井 憲 雄*

Studies on the cold injury of forest trees (I)

**Temperature fluctuation of forest trees in
different directions on a slope**

By Kenjiro MORITA* and Norio Mizui

ま え が き

林木の寒さの害は凍害と寒風害とに大きく分けられる。凍害は植物が凍結されて耐え得る温度以下に冷やされておこる害であり、寒風害は、土壌か、幹の一部が長い間凍っていて上方への水の上昇がおさえられた状態で乾燥した風にさらされて起る冬季の乾燥害であるといわれている(酒井 1967)。このような寒さの害による林地の被害実態調査から、生井(1963)は多雪地帯の寒風被害は南斜面の風衝地形にあらわれることが多く、寡雪地帯の被害の方位は一定していないことを報告している。筆者(森田 1967)調査では、美幌地帯では南斜面のトドマツに被害が多く発生しており、厚岸では斜面のちがいによる被害の差はみられなかった。

さらにポプラやキリ・ハンノキなどは、1本の個体で雪の少ない道東地区では、地上約 10cm から 1m の間の幹の南側か南西側が害をうけ、雪の多い地帯では積雪面上約 10cm から 1m の間の幹の南側か、南西側が害をうける(酒井ら 1968)。

このように林地の斜面方位や1本の幹でも害をうける方位が一定方向に限られる樹種のあることから、林木が寒さの害をうける時期と、その時期の環境条件をあきらかにするため、斜面方位別に造林木の樹体温度と、その場所の土壤凍結深度の季節変化を調べた。

この報告にあたり、試験地の設定や調査に御協力を陽わった道有林第2課杉本育林係長、浦幌林務署山下造林課長ほか署員各位に謝意を表す。

試 験 方 法

試験地は十勝郡浦幌町福山にある道有林内に設定した。温度測定は 0.3mm の銅・コンスタンタン熱電対を用いて、6打点式の電子管式温度記録計で自記させた。

樹体温度の測定を行なった斜面方位は、南西面と東北面の斜面上部、中腹および両斜面にはさまれた谷間の5カ所で、1968年春植栽したトドマツ(樹高約 50~60cm)の頂芽の部分に感温部を挿入して測定した。外気温の

* 北海道立林業試験場 **Hokkaido Forest Experiment Station, Bibai, Hokkaido.**

測定は、両斜面にはさまれた谷間の北側で、地上 **1.2m**の高さの所で幅射の影響を除いた容器内に熱電対の感温部を挿入して測定した。測定した期間は、**1969**年5月下旬から**1970**年6月上旬まで1年間継続した。

土壌凍結深度の測定は、木下ら(**1967**)によって試作されたメチレン青の水溶液を用いた凍結深度計によって測定し記録した。凍結深度計はメチレン青の稀薄水溶液が、凍結によってメチレン青を析出し青色から透明に変ることを応用したものである。観測箇所は前記の樹体温度測定と同一箇所の南西斜面、北東斜面の中腹、両斜面にはさまれた谷間のトドマツ天然木の樹下、カラマツ造林木の樹下および裸地の5点である。

結果と考察

樹体温度の季節変化

北海道における林木の寒さの害の典型的なものは、カラマツ稚樹が生長を停止する前後の主軸や被の先端部の被害と、トドマツの開舒期前後の晩霜害である。林木の寒さの害に対する抵抗性は林木個体の成熟過程と密接な関係を示し、森田ら(**1966**)は、耐凍性の増大過程においては**5 ~ 0**で**Hardening**が有効であり、耐凍性が最大値を示した以後においては、**-3 ~ -5**の凍結状態におかなければ耐凍性は保持できないし、酒井(**1964**)は、冬にたかい耐凍性をもう枝を**0**におくと耐凍性は漸次低下するとのべている。

このような現象とともに、被害時期をしる資料として必要な樹体温度の季節変化をしらべた結果を表 **1** に示す。

測定をはじめた**1969**年の6月2日に霜害が発生した。斜面の中腹以上は**0**の下の温度低下は認められず、谷間において**-2**の凍結状態が記録されており、被害の発生は谷間のみであった。日中の最高温度は南西斜面の中腹において**28**を記録して最も高く、したがって稚樹の開舒の早さなどの生育状態は南西斜面は北東斜面に比較して進んでおり、この時期では弱い霜によっても被害は発生する状態であった。

生長を停止する時期の**10**月初めの樹体温度は、日中の最高温度の上昇の度合いが、北東斜面では**12**にお

表 - 1 樹体温度の季節変化

斜 面 方 位		季節									
		6/2	7/1	10/4	11/5	12/1	1/4	2/6	3/2	4/2	5/15
南 西 斜 面 上 部	Min	1	9	1	6	4	13	12	12	7	4
	Max	10	20	25	20	15	11	7	8	15	31
南 西 斜 面 中 腹	Min	2	13	3	8	5	14	2	13	8	1
	Max	28	33	21	18	14	8	0	9	16	33
谷 間	Min	2	13	4	10	8	17	14	20	1	2
	Max	19	26	21	18	4	3	2	9	2	27
北 東 斜 面 中 腹	Min	2	14	3	8	5	16	16	15	1	0
	Max	19	24	12	5	3	4	5	5	1	22
北 東 斜 面 上 部	Min	3	14	1	6	5	14	11	14	0	3
	Max	14	20	12	5	4	5	5	5	2	28
外 気 温	Min	1	14	4	7	6	18	16	18	11	1
	Max	15	21	14	5	6	4	3	4	9	22

さえられているのに反し、南西斜面と谷間の温度は**21** を記録している。酒井（1967）は、12月にスギの耐凍性の低下におよぼす日周温度変化の影響を調べて、温度変動そのものよりも、むしろ約**13** 以上の温度におくことが耐凍性め低下に、より大きな関係をもつことを明らかにした。耐凍性が増大する過程において、**15** 以上の温度では **Hardening** 効果がほとんどなく、**10** では処理期間が長くなると効果があらわれ、**5** 以下、ことに**0** で処理した場合には、その効果が著しく高まることを酒井（1956）は明らかにしていることから、南西斜面の林木が耐凍性を獲得するのは北東斜面よりもおくれると考えられる。

耐凍性が最大値を示す**12** 月初旬から2月初旬にかけて、北東斜面の稚樹の樹体は凍結状態におかれているが、南西斜面側のトドマツは、2月初旬には日中の温度上昇によって融解と凍結状態をくり返し、4月の中旬以降には日中**15** 以上の温度が記録されるようになる。

これらの測定結果から、トドマツの耐凍性の獲得時期と、耐凍性を失ってくる時期は、植栽されている斜面の方位ごとの樹体温度の測定結果から、およそ想定することができるが、さらに現地の苗木の耐凍性の季節変化をあきらかにして、施業上被害防止の方策を検討することが必要である。

生長停止期の斜面方位別温度差

生長停止期の早霜害が発生した**1969**年の**10**月3日～**10**月4日の樹体温度の日周変化を示したのが図**1**である。外気温の低下につれて谷間の稚樹の温度低下の度合いは急激で、最低温度は他の斜面に比較して最も低く、低温の停滞状況が観察される。したがって凍結状態におかれた時間が長い。その時間は**24**時から翌朝の7時までの7時間で、北東斜面の上部では翌朝4時から6時までの2時間にすぎない。耐凍性を獲得しはじめる頃には凍結時間の長短による時間要因が有効となり、稚樹が生理的な成熟の度合い、凍結状態におかれた時間の長さおよび温度低下の度合いが被害程度に密接な関係があるので、図**1**に示した10月初旬の霜日のトドマツ樹体温度の日周変化から、斜面方位別の温度低下の度合いおよび凍結状態におかれた時間の長さとおよび現地の被害程度と

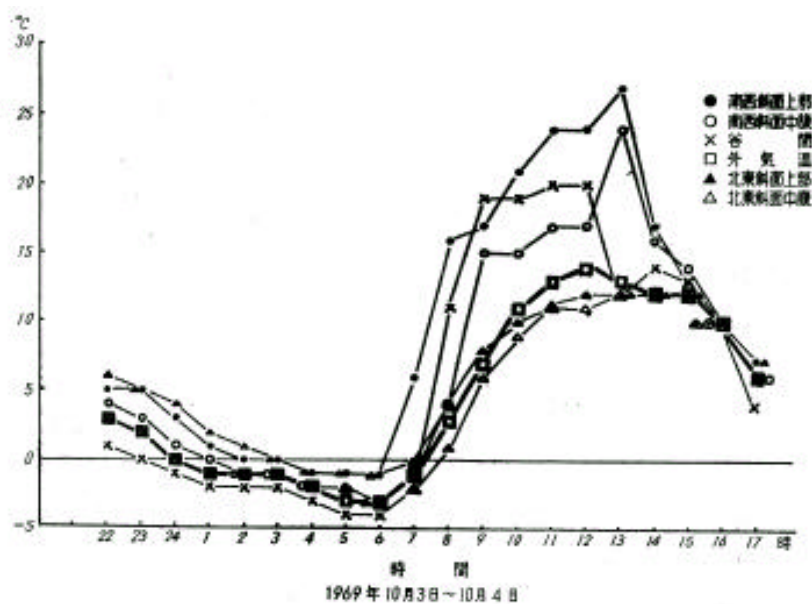


図 1 生長停止期の斜面方位別温度差

の関係が認められる。

10月初旬の霜日の樹体温度は、北東斜面の上部と南西斜面の上部はいずれも温度低下の度合いが少なく、0以下の温度に低下した時間も短い。谷間の樹体温度が最も低く、-4まで低下し、0以下の凍結状態におかれた時間も最も長く24時から翌朝7時までの7時間で、南西斜面中腹と北東斜面の中腹の樹体温度は、外気温の測定値におおよそ近似し、斜面上部と谷間の中間の値を記録した。

耐凍性が増大する時期の斜面方位別

温度差

11月下旬になると、樹体温度は図2に示すように、気温が低下するにしたがって低下を示し、北東斜面の上部、中腹ともほとんど凍結状態におかれる。しかし南西斜面の上部、中腹とも日中は12付近まで温度は上昇する。夜間の温度は-10付近まで低下しており、酒井ら(1967)の実験結果で耐凍性がかなり高まった時期に、10(日中)~-5(夜間)、10(日中)~-10(夜間)の温度変化を11日間与えても、また10で約10日間連続処理しても耐凍性はほとんど低下しなかったという報告から、この11月下旬の樹体温度の測定結果では、北東斜面は0以下におかれていることから、昼夜をとおして0付近におかれている状態となり、耐凍性は増大過程をたどるものと考えられる。

耐凍性が最大値を示す時期の斜面

方位別温度差

耐凍性が最大値を示す時期の斜面方位別の樹体温度差を示すと図3のように、谷間、北東斜面の上部ならびに中腹ともに気温の低下にともなって、日中も夜間も樹体は凍結状態におかれている。しかし南西斜面の上部と中腹は日中8時まで温度が上昇する。この程度の温度上昇の度合いでは、耐凍性が変動するとは考えられない。

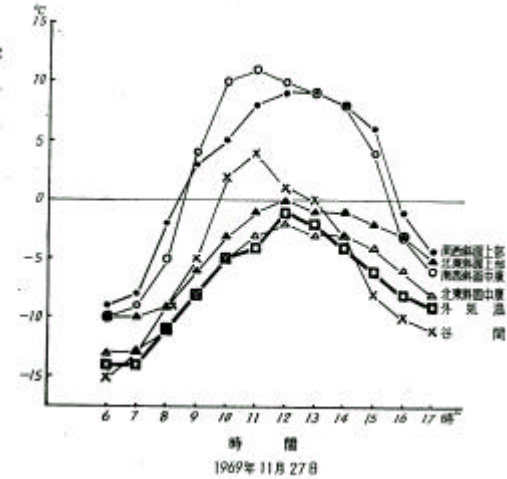


図2 耐凍性が増大する時期の温度差

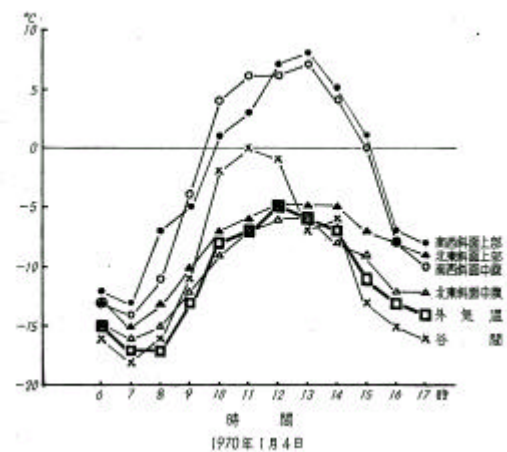


図3 耐凍性が最大値を示す時期の斜面方位別温度差

耐凍性が最大値を示す時期に到達すると、樹体が $-3 \sim -5$ の温度で凍結状態におかれるとその耐凍性を保持できるが、 0 以上の温度に **10** 日間から **2** 週間の間おかれると耐凍性は急激に減少する。

この観測結果では、北東斜面、谷間の場合にはほとんど樹体は凍結状態におかれており、南西斜面では日中 **11** 時から **14** 時頃までの **3** 時間は $5 \sim 8$ の温度が記録されているが、夜間は -10 以下となるので、耐凍性が最大値を示すようになったトドマツ稚樹の耐凍性が低下することはないように考えられる。

耐凍性が減少する時期の斜面方位別温度差

耐凍性が減少する時期の4月初旬の斜面方位別の樹体温度は図 4 に示すように、北東斜面上部、中腹、谷間の稚樹は積雪面下にあつて雪によって保護され $0 \sim -2$ 付近を示している。南西斜面の上部・中腹とも斜面の雪は融けて日中の気温の上昇にともない、樹体温度は **14** 付近まで上昇する。

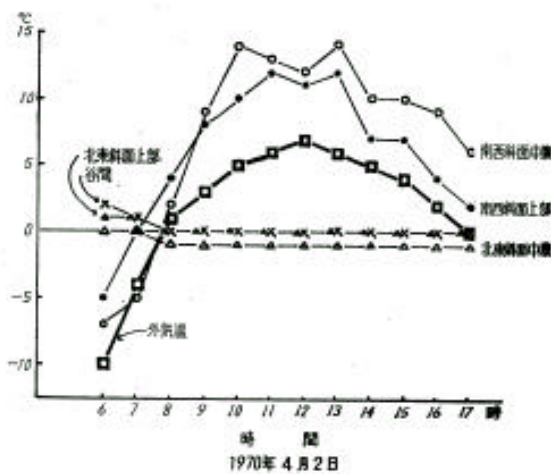


図 4 耐凍性が最大値を示す時期の斜面方位別温度差

酒井ら (1967) の報告にあるように約 **13** 以上の高い温度におくことが耐凍性の低下に、より大きい影響を及ぼす。したがってこの4月初旬の頃から南斜面の稚樹は、耐凍性の急激な減少過程をたどっているように考えられる。今田ら (1958) の実験によると、頂芽の凍死が始まる時期は、トドマツの場合 -20 の **8** 時間の凍結では開芽前 **70** 日、 -10 の **8** 時間の凍結では開芽前 **40** 日、 -5 の **2** 時間の凍結では開芽前の **10** 日としていることから、5月15日頃をトドマツの開舒期とすると、この観測記録の4月2日は開芽前約 **45** 日にな

るので、この時期の -10 C、**8** 時間の凍結時間は凍害をうける危険期に入っていることが考えられる。

今田ら (1958) の実験では、トドマツ2年生の苗木を用いて -20 で処理した苗木は、3月18日まで雪中にあったものを実験室に搬入して、処理後温室で生死の判定を行なった。この期間が3月7日から4月4日まで、 -10 の処理は同様の苗木を4月5日から4月25日まで、 -5 の処理は4月18日からの実験として用いられているので、この樹体温度の観測を行なった現地の条件とは、トドマツの斜面方位別の耐凍性の変動に影響する外圍温度条件や、苗木の生育条件が異なっているが、ほぼその被害時期を想定することは可能であるように考えられる。しかし前記のように、自然条件下におかれた斜面方位別の耐凍性の季節変化をあきらかにすることは必要であろう。

生長開始時期の斜面方位別温度差

晩霜によってトドマツが被害をうける危険な時期は、5月中旬から6月中旬の間の約1ヵ月間である。この時期になると、南西斜面では5月中旬に、開舒期が遅れる北東斜面でも5月下旬になるとほとんど生長をはじめ。したがって晩霜による被害が北東・南西の両斜面の方位別に差異が生ずるとすれば、温度の差異としか考えられない。6月2日の降霜のあった時の観測結果を図 5 に示す。南西斜面の上部と中腹は、**21** 時から **22** 時に

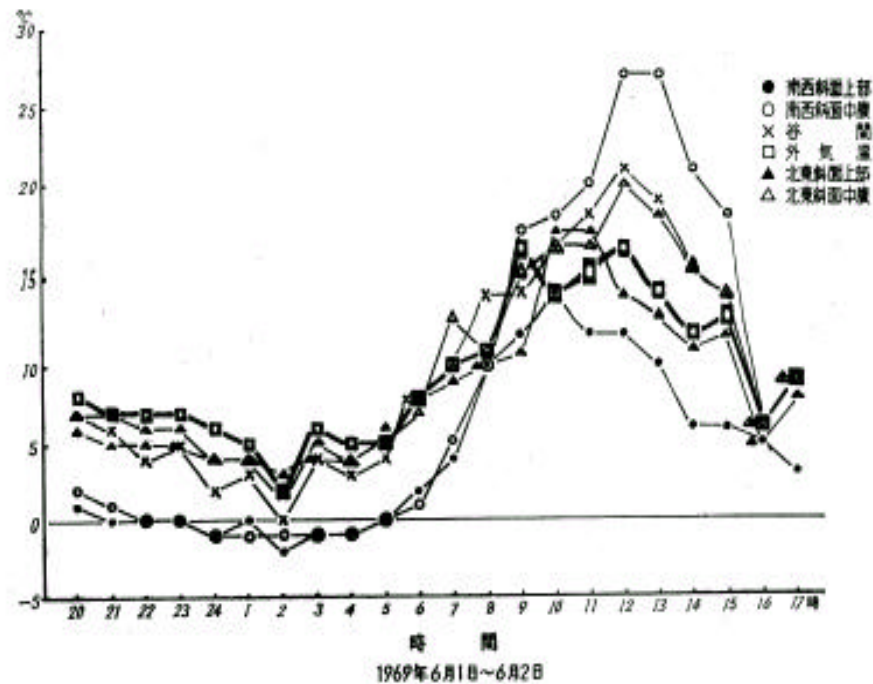


図 5 生長開始時の斜面方位別温度差

0 に下がり、24時から翌朝4時までや4時間 - 1 ~ - 2 の凍結状態におかれるが、他の斜面は 0 以下に温度は低下しなかった。

1970年6月16日~17日の間に北海道東部地帯に発生した霜害は農作物に被害を与えた。忠類村駒畠の人工林のトドマツ、カラマツ、アカエゾマツにも被害が発生し、との時の被害は葉の展開部位が凍害のため黒褐色に変色するような被害程度を示していたが、全木枯死するとは考えられないし、霜害としては軽微な被害であった。

1971年5月中旬にこの被害地のその後の回復状態を観察したところ、1969年植栽3年生のアカエゾマツはほとんど回復していたが、同齡のトドマツは大半が根際の凍害をうけたため1年後の再生がみられたのはわずかで、同齡のカラマツはその中間の被害程度を示していた。この時期の被害は斜面の方位では南西面の中腹から下部にかけて被害木が多く観察されることから、温度の低下の度合いがより低くあらわれる典型的な輻射型の凍害であると考えられる。輻射型の放熱による温度の低下の度合いは、南西向斜面がより大きいようである。

土壤凍結濃度の季節変化

樹体温度を観測した同じ北東斜面の中腹、南西斜面の中腹、両斜面め間にある谷間、谷間にあるトドマツ天然木の樹冠下および谷間にあるカラマツ人工林の樹林内の5個所で観測した土壤凍結深度の季節変化を示したのが図 6である。

凍結深度は谷間の裸地とトドマツ天然本の樹冠下が浅く、北東斜面中腹と谷間のカラマツ人工林樹林内が深く、南西斜面中腹はその両者の中間の深さを示した。谷間の裸地は積雪深が深く、積雪によって保護されたように考えられるが、温度の低下の度合いによって土壤凍結深度は深くなるように、積雪を除くとしたならば、北東斜面と同じ深さになったものと考えられる。同じ谷間でもトドマツ樹冠下が浅く、カラマツの樹林内が深かったためは今後検討してみる必要がある。

土壤凍結の時期の早晩は、北東斜面が早く凍結しはじめており、谷間の裸地が遅く、その日数のずれは約 10

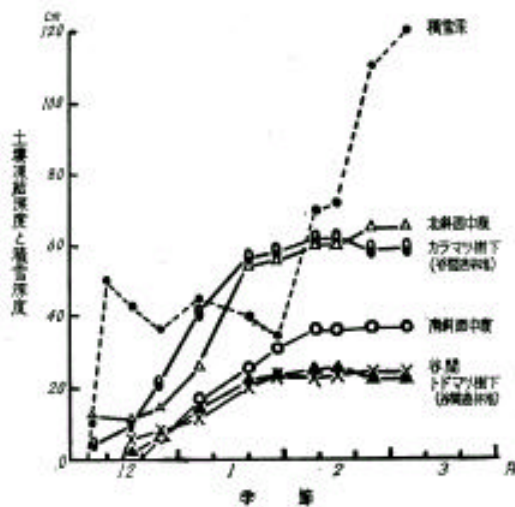


図 6 土壤の凍結深度の季節変化

法で被害が緩和されるのではないかと考えられる。

摘 要

この研究は林木が寒さの害を受ける被害時期と、その時期の環境条件をあきらかにするため、北海道東部にあたる浦幌町福山の道有林内に試験地を設け、斜面方位別に造林木の樹体温度と、土壤凍結深度の季節変化を調べその結果をとりまとめた。

1. 生長停止期の斜面方位別温度差

10月初旬の霜日の樹体温度は、北東斜面の上部と南西斜面の上部が温度の低下の度合いが少なく、 0 以下の温度に低下した時間が短い。谷間の樹体温度が最も低く -4 まで低下し、 0 以下の凍結状態におかれた時間も7時間で最も長く、南西斜面、北東斜面の中腹の樹体温度は。外気温の測定値におよそ近似し、斜面上部と谷間の中間の値を記録した。

2. 耐凍性が増大する時期の斜面方位別温度差

11月下旬の樹体温度の測定結果では、北東斜面は 0 以下におかれており、南西斜面では日中 12 、夜間 -10 付近におかれていることから、 0 付近におかれているのと同じ条件となり、耐凍性は増大過程をたどるものと考えられる。

3. 耐凍性が最大値を示す時期の斜面方位別温度差

谷間、北東斜面の上部ならびに中腹ともに気温の低下にともなって、日中も夜間も樹体は凍結状態におかれている。しかし南西斜面の上部と中腹は日中 8 まで温度が上昇する。この程度の温度の上昇の度合いでは耐凍性が変動するとは考えられない。

4. 耐凍性が減少する時期の斜面方位別温度差

4月初旬の斜面方位別の樹体温度は、北東斜面上部・中腹・谷間の稚樹は積雪面下にあつて $0 \sim -2$ 附近

日である。土壤凍結深度が深い北東斜面の中腹とカラマツ人工林の樹林内は融雪時期がおくれて、カラマツ人工林内に植え込みされたトドマツや北東斜面に植栽されたトドマツは、南西斜面に植栽されたトドマツに比較して霜害の被害が少ないことは道東地帯ではしばしば観察される場所である。しかし土壤凍結の深度と寒さの害の間には密接な関係は少ないようである。

以上の樹体温度の斜面方位別々季節変化と土壤凍結深度の観測結果から、道東地帯の寡雪地帯では、北側斜面に植栽されているトドマツは他の方位の斜面に植栽されているトドマツに比較して寒さによる被害には保護される環境条件にあるようである。南側斜面や谷間になる地形のところでは、全面皆伐による裸地造林をできるだけさせて、樹冠下の植え込みか、裸地面積をできるだけ少なくする方

を示しており、南西斜面の上部・中腹とも斜面の雪は融けて日中の樹体温度は**14** 附近まで上昇する。したがって4月初旬の頃から南斜面の稚樹は耐凍性の急激な減少過程をたどっているようである。

5. 生長開始時期の斜面方位別温度差

6月初旬の霜日の斜面方位別の樹体温度は、南西斜面の上部と中腹は**24**時から4時までの4時間 -**1** ~ -**2** の凍結状態におかれ、他の斜面は**0** 以下に温度は低下しなかった。この時期の低温は典型的な輻射型の放熱によるものと考えられ、南西向斜面の温度低下の度合いがより大きいようである。この時期の斜面方位別の被害の差は、温度低下の度合いの差と考えられる。

6. 土壌凍結深度の季節変化

土壌凍結深度は、谷間の裸地とトドマツ天然木の樹冠下が浅く、北東斜面中腹と谷間のカラマツ人工林樹林内が深く、南西斜面中腹はその両者の中間の深さを示した。

土壌凍結の時期の早晩は、北東斜面が早く凍結しはじめ、谷間の裸地が遅くその日数のずれは約**10** 日である。

土壌凍結深度と寒さの害の間には密接な関係は少ないようである。

文 献

木下誠一・鈴木義男・堀 口 董・田沼邦雄・青田昌秋 **1967** 紋別における凍上観測結果（昭和**41** ~ **42** 年冬期）。

低温科学物理篇 **25** : **229** **230** .

今田敬一・武藤憲由 **1958** 北海道造林樹種の凍害に関する研究（ ），凍害発生の時期．北大演習林報 **19** :

79 **122** .

森田健次郎・酒 井 昭**1966** ポプラ類の凍害に関する研究（**1**）, 改良ポプラ品種間の耐凍性の差．日林誌

48 : **267** **273** .

———**1967** 道東地方の造林地に発生した寒さの害の実態．北方林業 **19** : **345** **348** .

———**1967** 林木の寒さの害．林 **186** : **1-6** .

生井郁郎 **1963** 道有林における寒風害の実態．北方林業 **15** : **258** **262** .

酒 井 昭**1956** 植物における耐凍性増大と外圍温度．低温科学生物篇 **14** : **7** **15** .

———**1964** 木本類の耐凍性増大過程 X , 枝の耐凍性を効果的にたかめる温度．低温科学生物篇 **22** :

29-52 .

———**1966** 林木の寒さの害に関する用語の使用法についての一提案．日林誌 **48** : **25** **27** .

———**1966** トドマツの霜害に関する問題点．北方林業 **18** : **96** **98** .

———**1967** 幼木の幹の基部における凍害．低温科学生物篇 **25** : **46** **58** .

———・斎 藤 満**1967** スギの幹の基部の凍害．日林誌 **49** : **244** **251** .

———・森田健次郎 **1968** ポプラ類の凍害に関する研究（**V**）, ポプラの幹の耐凍性．**79** 回日林講集 :

162 **163** .