



Title	越冬中の木の温度変化
Author(s)	酒井, 昭; 和田, 実男
Citation	低温科学. 生物篇, 21, 25-40
Issue Date	1963-12-10
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/17671">http://hdl.handle.net/2115/17671</a>
Type	bulletin (article)
File Information	21_p25-40.pdf



[Instructions for use](#)

## 越冬中の木の温度変化\*

酒井 昭・和田実男

(低温科学研究所 生物学部門)

(昭和38年7月受理)

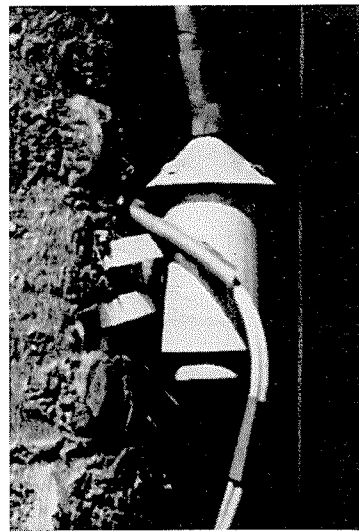
### I. 緒 論

凍害は植物が耐えられる凍結温度以下に冷やされたとき起こるし、植物の凍結に耐える程度は季節によって著しく異なる<sup>1)</sup>。その上、同一時期の同一植物についても、その部位や組織によって凍結に耐えられる度合いが異なっている。たとえば、1本の枝の南側と北側では皮層部の耐凍性がかなり異なっている<sup>1)</sup>。ことに耐凍性の大きさが変動している秋や春ではその差が著しい。秋や春とちがって、冬の間は植物の耐凍性は比較的安定しているが、温暖な日が数日つづいたり、降雨があると植物の耐凍性は低下する。これに対して寒さの厳しい日がつづいたあとは耐凍性は増大する。このような外圍条件による耐凍性の変動は耐凍性の小さい樹種ほど大きい傾向がある。ことに同一植物でも、直射日光のあたる上部の葉や茎や幹の南側では、大きな日週温度変化を受けているので、耐凍性の変動が著しいものと思われる。このような耐凍性の変動に対する外圍温度の影響、植物の凍害温度及び植物の凍結過程を知るうえからも、越冬中の植物の各部分の温度変化を知ることが必要である。しかし、この種の研究は石田のトドマツの生丸太<sup>2)</sup>や北浦のクワの枝<sup>3)</sup>を用いて行なった研究以外ほとんどない。

本論文は凍害の原因や耐凍性増大の機構を明らかにする研究の一端として、いろいろな木の幹、茎、枝及び葉の冬期間における温度変化をしべたものである。

### II. 材 料

実験材料は実験室から約10mはなれた野外のセンノキ (*Kalopanax septemlobus* Koidz.) を主として用い、同一場所においた5年生のトドマツ (*Abies sachalinensis* Masters), 3年生のアヲキ (*Aucuba japonica* Thunb.) 及びクワ (*Morus bombycis* Koidz. var. *takinokawa*) の鉢植を用いた。なお比較のため実験室から25mはなれた直径86cmのニレ (*Ulmus davidiana* Planch var. *japonica*



第1図 外気温測定用の  
アルミニウム容器

\* 北海道大学低温科学研究所 業績第644号

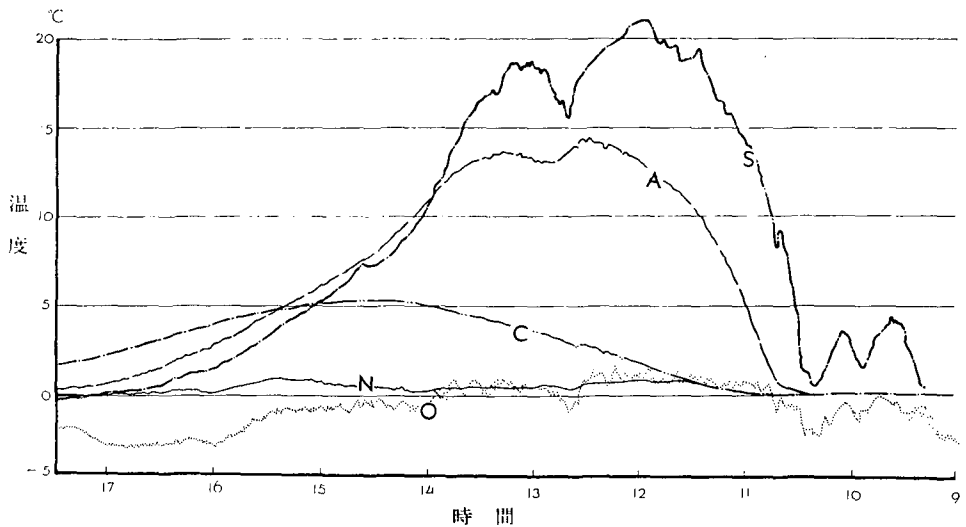
Nakai) の中心部の温度変化も測定した。温度測定は 0.2 mm の銅—コンスタンタン熱電対を用い、6 打点式の電子管式記録計で自記させた。

外気温の測定は 1 mm の厚さのアルミニウム板で第 1 図のような長さ 6.5 cm, 外径 2.5 cm の 2 重の円筒容器を作り、上部の穴より熱電対を挿入して直径 13 cm のセンノキの北側の地上より 1.2 m の高さの樹皮に固定した。この容器はアルミニウムで作られているので輻射の影響は除かれる。また外気は自由に容器内に入出できるが、雨露の入るのは防がれている。なお温度の測定とともにロジの日照計で日照量も測定した。

### III. 実験結果

#### 1. 日中における幹や枝の温度変化

直径 13 cm のセンノキの地上部より 1.2 m の高さにおいて、表面より約 5 mm の北側と南側の皮層部、幹の中心部、幹の南側の表面より 2.5 cm の材部\* における各温度変化を調べた (第 2 図)。12 月 11 日における朝 9 時の温度は  $-4^{\circ}\text{C}$  で木は凍結していた。日中の最高温度は  $1.5^{\circ}\text{C}$  で木の北側の皮層部の温度 (N) は外気温 (O) とほぼ同じ経過を示した。それに対して南側 (S) は直射日光があたり始めると 1 分間  $0.33^{\circ}\text{C}$  の割合で温度が上昇し、12 時から 13 時の間に温度は最高に達する。この日は 12 時半頃一時曇ったため温度が低下している。外気温が  $0^{\circ}\text{C}$  以上で晴天の時は木の中心部 (C) は融解し南側の皮層部 (S) より約 2 時間おくれて最高温度に達する。この場合、幹の皮層部の南側と北側では約  $20^{\circ}\text{C}$  の温度差がある。第 3 図 (12 月 1 日)



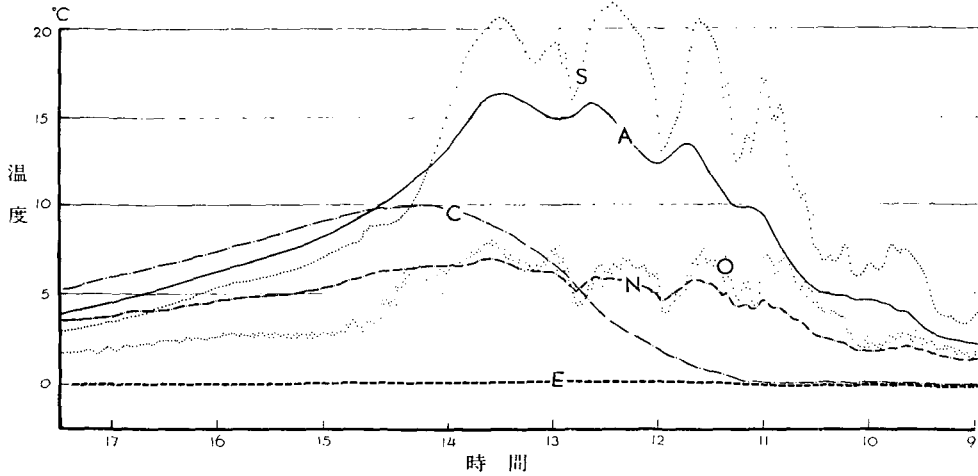
第 2 図 日中における木の幹の各部分の温度変化 (1)

材料：センノキ (直径 13.5 cm), 実験期間：12 月 11 日, O: 外気温, S: 南側皮層部の温度, N: 北側皮層部の温度, A: 南側の外皮より 2.5 cm の深さにある材部の温度, C: 幹の中心部の温度

\* 熱電対は北側より挿入した。

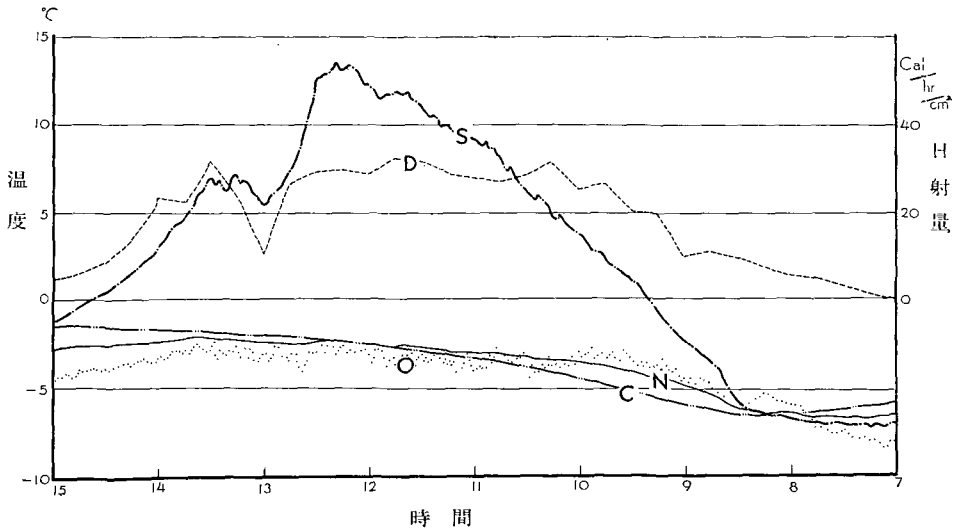
は第2図と同様に日中の外気温が $0^{\circ}\text{C}$ 以上で、晴ときどき曇のばあいである。11時すぎには幹の中心部も融解しているが、25 cmの積雪があるため地上20 cmの部位の幹の中心部(E)の温度は一日中 $0^{\circ}\text{C}$ に保たれている。

第4図(1月11日)は早朝の最低温度が $-8^{\circ}\text{C}$ で日中の外気温が氷点下の場合のセンノキ



第3図 日中における木の幹の各部分の温度変化(2)

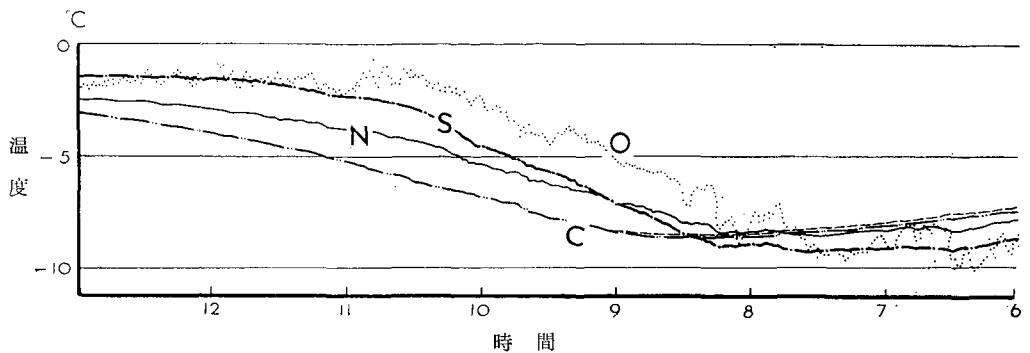
材料: センノキ(直径13.5 cm), 実験期日: 12月1日, O: 外気温, S: 南側皮層部の温度, N: 北側皮層部の温度, A: 南側の外皮より2.5 cmの深さにある材部の温度, C: 幹の中心部の温度, E: 地上より10 cm部位の幹の中心温度



第4図 日中におけるセンノキの幹の各部分の温度変化(3)

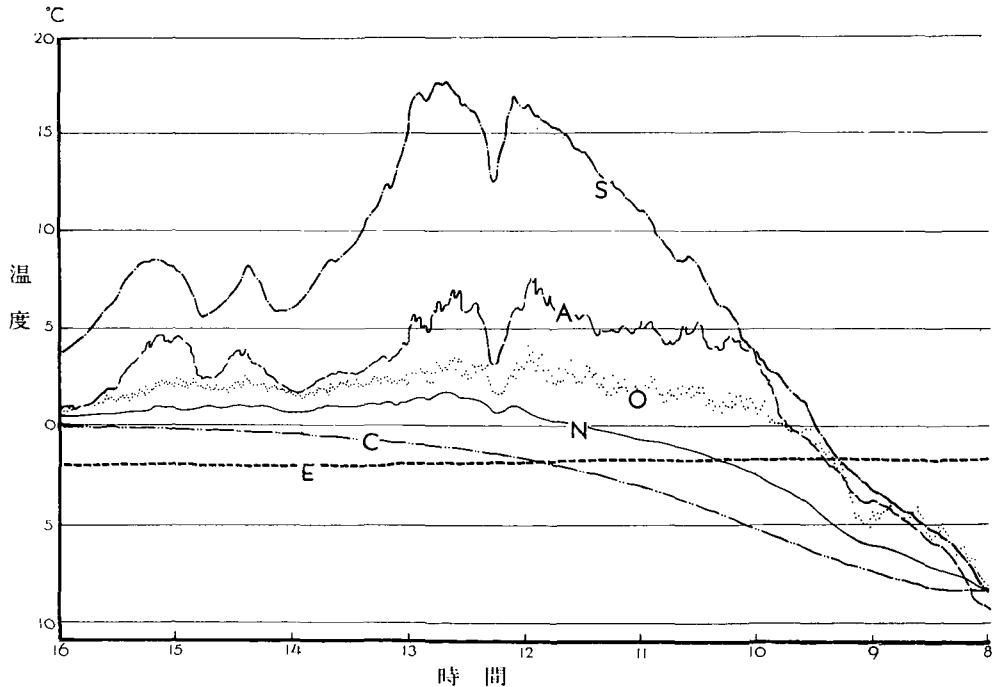
材料: センノキ(直径13.5 cm), 実験期日: 1月11日, O: 外気温, S: 南側皮層部の温度, N: 北側皮層部の温度, C: 幹の中心部の温度, D: 日射量で1時間、 $1\text{ cm}^2$ 当りのカロリーで現わした。

の温度変化を示している。北側の皮層部 (N) 及び幹の中心部 (C) は外気温 (O) とほぼ同様な温度経過を示している。この場合には、直射日光のあたる幹の南側の一部が融解するだけで、南側の皮層部も 15 時頃ふたたび凍結する。このように厳寒期では、直射日光を受ける南側の一部分が数時間融解するほかは木の大部分は凍結したままである。なお図中の D は日射量の変



第 5 図 曇天の日の木の幹の各部分の温度変化

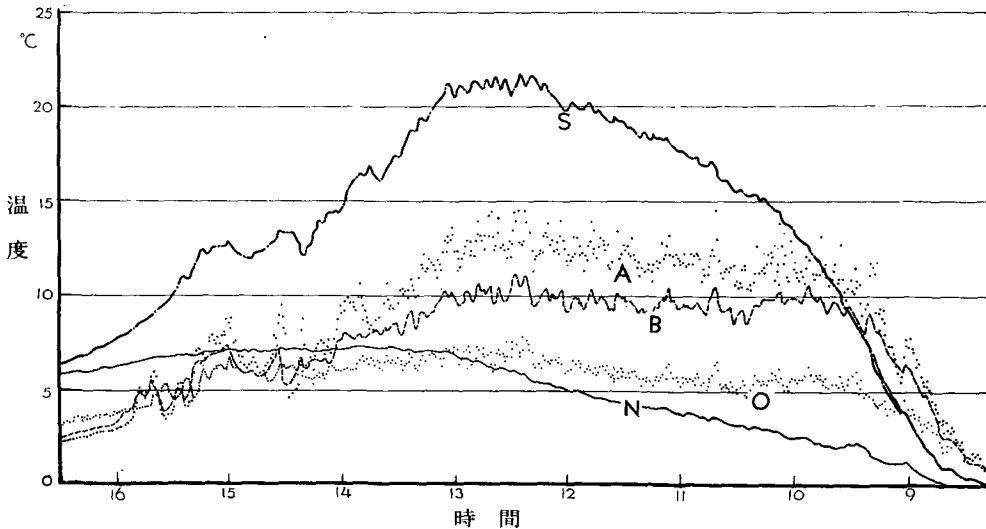
材料：センノキ (直径 13.5 cm), 実験期日：12 月 25 日, O: 外気温, S: 南側の皮層部の温度, N: 北側の皮層部の温度, C: 幹の中心部の温度



第 6 図 木の太さによる日中の温度変化の差

実験期日：2 月 11 日, O: 外気温, S: 直径 13 cm のセンノキの幹の南側皮層部の温度, N: 直径 13 cm のセンノキの幹の北側皮層部の温度, C: 直径 13 cm のセンノキの幹の中心部の温度, A: 直径 1.5 cm のセンノキの茎の中心部の温度, E: 直径 86 cm のニレの幹の中心部の温度

動を示す。第5図(12月25日)は曇天の日のセンノキの温度変化を示している。この日は6時30分頃  $-10^{\circ}\text{C}$  の最低温度を示した。日中のセンノキの幹の各部分の温度は外気温より低く凍結状態のままである。第6図(2月11日)は茎の太さによる日中の温度変化の差を示している。**A**は直径1.4 cmのセンノキの茎の中心部、**E**は直径86 cmのニレの幹の中心部の温度、**O**は外気温を示している。細い木では外気温と日射の影響を受けて変動しやすいが、ある程度太い幹とちがって、日射による温度上昇が少くない。12月から3月までの3カ月間の晴天の時ににおける外気温の1日間の隔差は  $7^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{C}$ 、直径1.5 cmのセンノキの中心部での隔差は  $10^{\circ}\sim 15^{\circ}\text{C}$ 、直径13.5 cmの中心部では  $5^{\circ}\sim 7^{\circ}\text{C}$ 、直径86 cmのニレの中心部では約  $0.5^{\circ}\text{C}$  であった。なお、このニレの幹の中心部の温度は12月から2月末まで  $-0.5^{\circ}\text{C}$  から  $-2^{\circ}\text{C}$  の間の温度を示し、北側の皮層部及び辺材部は凍結状態で越冬していた。辺材部には多量の氷が認められたが、心材部は辺材部とちがって含水量が少くないので、氷の存在がわかりにくく凍結していたか否かわからなかった。第7図は直径1.0 cmのクワの枝の南側(**A**)と北側(**B**)の皮層部の日中の温度変化を示している。この場合クワの南側の温度は北側よりも約  $3^{\circ}\text{C}$  高い。

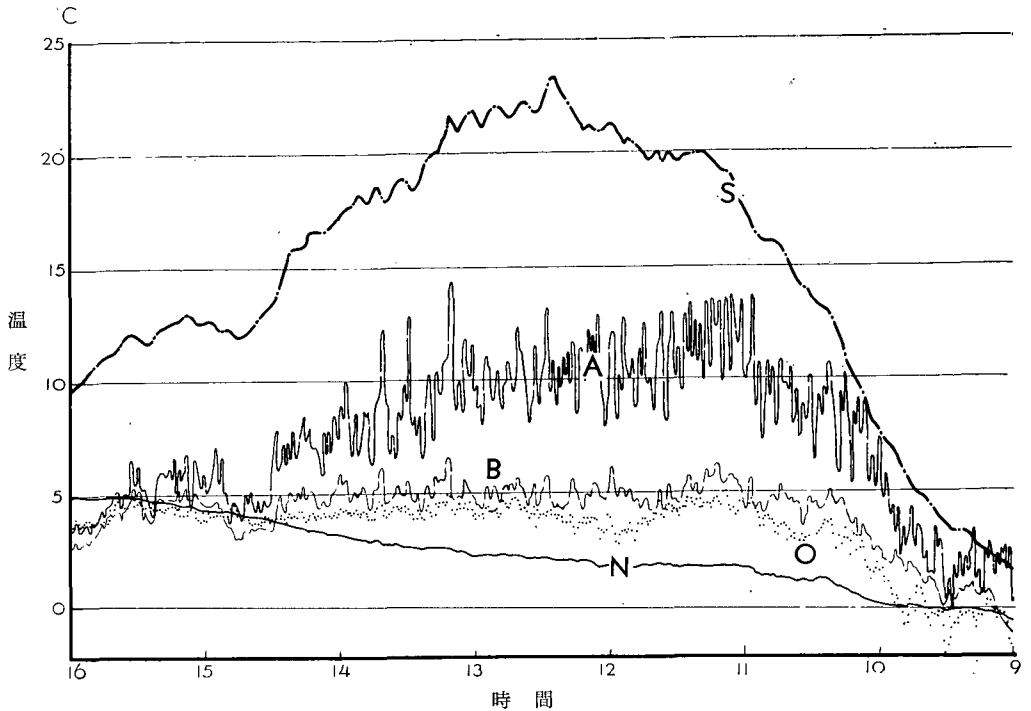


第7図 クワの枝の南側と北側の温度差

実験期日: 3月21日, 実験材料: クワ(直径1.0 cm), **O**: 外気温, **A**: クワの枝の南側皮層部の温度, **B**: クワの枝の北側皮層部の温度, **S**: 直径13 cmのセンノキの南側皮層部の温度, **N**: 直径13 cmのセンノキの北側皮層部の温度

## 2. 日中の葉の温度変化

第8図は1.2 mの高さにあるアヲキの葉(長さ8 cm, 幅3.5 cm)の晴天の時の日中の温度変化(**A**)を示す。熱電対は葉肉中に挿入して測定した。**B**は同一部位の日陰にある葉の温度変化を示す。日陰の葉の温度は外気温より  $0.5^{\circ}\sim 1.0^{\circ}\text{C}$  高い。日陰と直射日光のあたっている葉との温度差は約  $5^{\circ}\text{C}$  である。なお葉の温度はわずかな日射の変動によって著しく変化する。センノキの南側(**S**)は12時30分頃に外気温より約  $17^{\circ}\text{C}$  だけ温度が高くなる。アヲキの葉は同



第 8 図 日中におけるアヲキの葉の変動

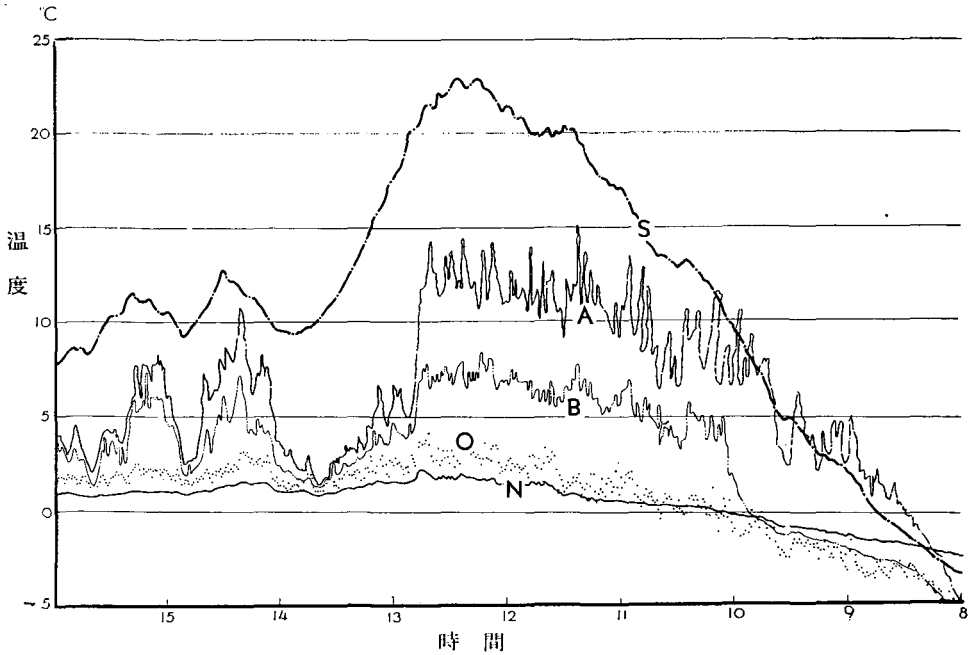
実験期日：4月6日，O：外気温，A：アヲキ(長さ8cm，幅3.5cm)の葉の温度，  
B：日蔭にある同じ大きさの葉の温度，S：直径13cmのセンノキの南側の皮層  
部の温度，N：直径13cmのセンノキの北側の皮層部の温度

時刻に外気温より約8°C高くなるにすぎない。なお、アヲキの茎(直径0.5cm)の直射日光のあたる部位の温度はA曲線とB曲線の間を変動していた。第9図はアヲキの葉(長さ7cm，幅3.5cm)の葉肉と葉脈(葉の裏側)との温度変化を示している。葉脈と葉肉の間に約5°Cの温度差が認められる。第10図はトドマツの葉(長さ1.0cm，幅0.2cm)の温度変化を示す。熱電対を葉肉(A)の中に挿入して温度を測定した。B曲線は日蔭の葉の温度を示している。この場合、外気温と日光のあたっている葉との温度差は約5°C，日蔭の葉と日光のあたっている葉との温度差は約3°Cであった。なお、測定した葉は地上より1.2mの高さにあった。今迄の結果を第1表にまとめてみた。

第 1 表 冬の木の葉、茎及び幹の日射部と日蔭部の温度差

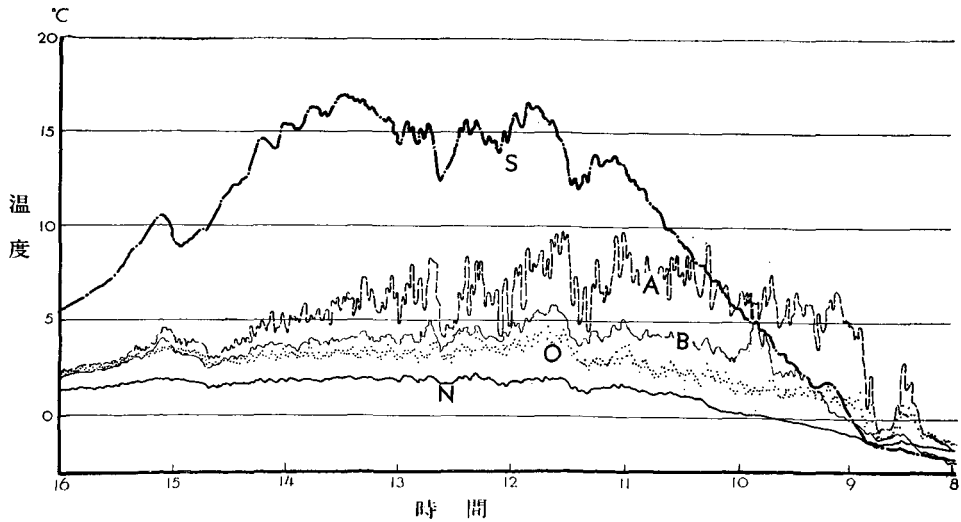
	トドマツの葉 (長さ1.0, 幅0.2 cm)	アヲキの葉 (長さ7.0, 幅3.5 cm)	クワの茎 (直径1.0 cm)	センノキ (直径13.5 cm)
外 気 温	4°~5°C	4°~5°C	4°~5°C	4°~5°C
日 蔭 部 の 温 度	5°~5.5°C	5°~5.5°C	6°~7°C	3°~4°C
日 射 部 の 温 度	8°~8.5°C	10°~11.5°C	9°~10.5°C	20°~25°C
日蔭部と日射部との温度差	3°C	5°~6°C	3°~3.5°C	17°~21°C

測定はいずれも1.2mの高さにある材料について行なった



第9図 アラキの葉の葉肉と葉脈の日中における温度変化

実験期日：3月3日，O：外気温，A：アラキの葉(長さ7cm，幅3.5cm)の葉肉の温度，B：同じ葉の裏側の葉脈の温度，S：直径13cmのセンノキの南側の皮層部の温度，N：直径13cmのセンノキの北側の皮層部の温度



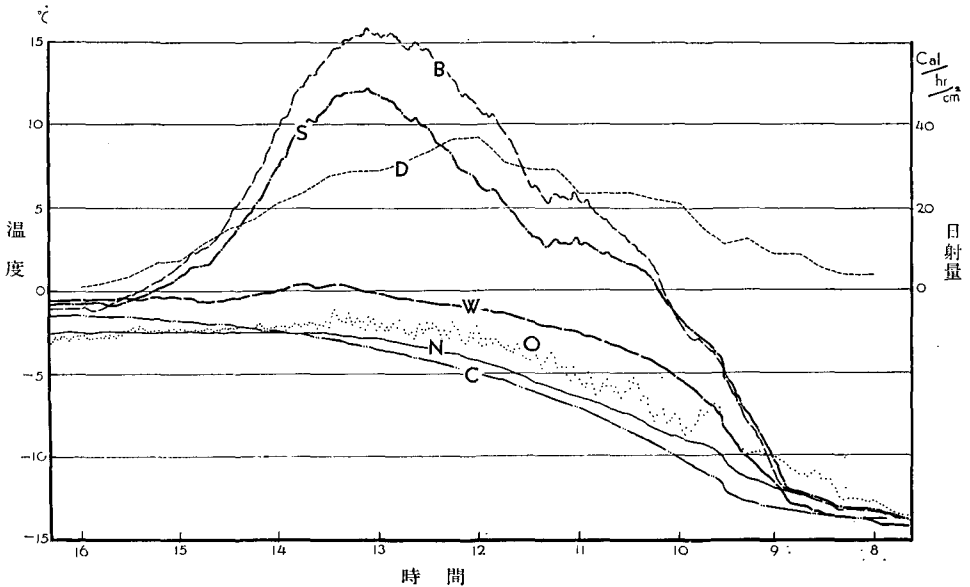
第10図 トマトの葉の日中における温度変化

実験期日：2月10日，O：外気温，A：直射日光のあたっているトマトの葉の温度変化，B：日陰にあるトマトの葉の温度変化，S：直径13cmのセンノキの南側の皮層部の温度，N：直径13cmのセンノキの北側の皮層部の温度



3. 日射による木の皮層部の温度上昇と木の表面の色との関係

センノキの表面の色は灰褐色である。皮層部における熱の吸収量は樹皮の色によって異なると思われるので、センノキの樹皮を黒、赤、緑及び白色に塗って色による皮層部の温度上昇の差を調べてみた。第11図は無処理(S)、黒(B)、白色(W)に塗った場合の皮層部の温度を示す。なおDは日射量の変動を示している。なお緑色に塗った場合の温度はBとSの両曲線の間を示す。また赤く塗った場合にはS曲線より約2°C低い値を示す。第2表は外気温が



第11図 日射による幹の皮層部の温度上昇と表面の色との関係

実験期日：1月5日，実験材料：センノキ(直径13cm)，O：外気温，B：樹皮を黒く塗った場合の南側の皮層部の温度，W：樹皮を白く塗った場合の南側の皮層部の温度，S：無処理の南側の皮層部の温度，N：無処理の北側の皮層部の温度，C：幹の中心部の温度，D：日射量で1時間1cm<sup>2</sup>あたりのカロリーであらわす。

第2表 幹の表面の色と日射による温度上昇との関係

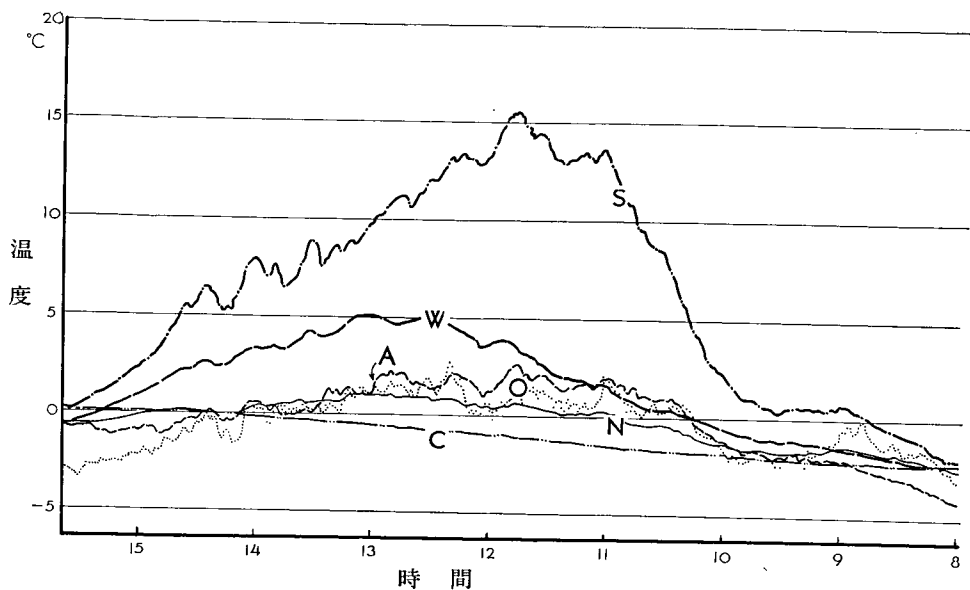
材料：センノキ(直径13.5cm)，外気温：-2°C，測定時刻：13時

幹の色	南側の皮層部の温度 (°C)	外気温と皮層部との温度差 (°C)
無処理(灰褐色)	12	14
黒	16	18
緑	14	16
赤	10	12
白	0	2

なお北側の皮層部の温度は-1°Cであった

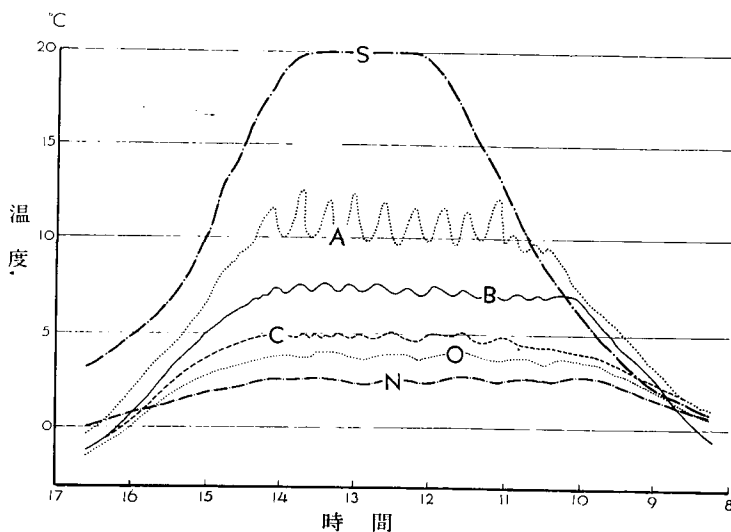
-2°Cの時に於ける、幹の表面の色と日射による温度上昇との関係を示したものである。第11図及び第2表から判るように、白く塗った場合には、皮層部の温度上昇は非常に抑えられる。第12図はセンノキと同一直径の白樺の生木をセンの木に接しておき、その皮層部の温度を測定したものである。直射日光があたっても白樺の皮層部(A)は外気温より0.5°~1°C高く現われるにすぎない。この場合センノキの表面を白く塗った場合の皮層部の温度がW曲線で示されている。シラカバ

は樹皮が白いことのほかに、皮層部が数層の薄い皮でおおわれているので日射による温度変化が殆んど現われない。今迄の結果を総括して第13図に示した。



第12図 日射によるシラカバの幹の温度変化

実験期日：2月13日，O：外気温，A：直径13cmのシラカバの南側の皮層部の温度，S：直径13cmのセンノキの南側の皮層部の温度，N：直径13cmのセンノキの北側の皮層部の温度，C：直径13cmのセンノキの中心部の温度

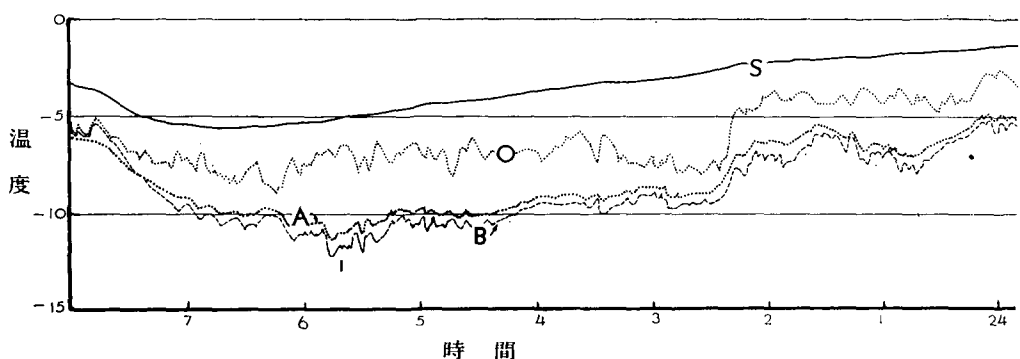


第13図 晴天のときの木の幹，細い茎及び葉の日週温度変化

O：外気温，S：幹の南側の皮層部の温度，N：幹の北側の皮層部の温度，A：日光のあたる広い葉の温度，B：日光のあたる細い茎，枝，針葉の温度，C：日蔭にある細い茎，葉，白く塗った幹の南側の温度

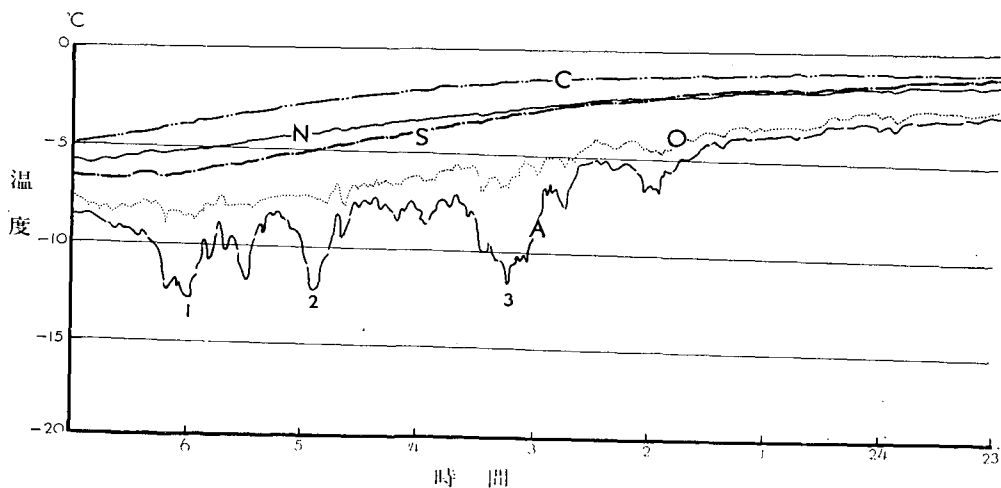
#### 4. 夜間の木の枝や葉の温度

第14図は夜間晴天の時のアヲキの葉(長さ7.5 cm, 幅3.5 cm)の葉脈(A), 葉肉(B)とセンノキの南側の皮層部(S)の温度変化を示す。なお, アヲキの葉は外気温と同じ1.2 mの高さのものについて測定した。夜間アヲキの葉脈は外気温よりも $4^{\circ}\sim 5^{\circ}\text{C}$ 低い値を示す。早朝6時頃には両者の温度差は約 $5^{\circ}\text{C}$ に達する。なお葉脈は葉肉よりも $0.5^{\circ}\sim 1.0^{\circ}\text{C}$ 高い温度を示している。夜間はセンノキの幹の南側(S)も北側(N)もほぼ同じ温度を示す。なお, アヲキの葉よりも2 cm上に白い紙をおいて輻射冷却を防いだ場合には, 葉温の低下は少なく外気温より約 $1^{\circ}\text{C}$ 低い値を示す。第15図は曇時々晴のトドマツの茎(直径0.5 cm)の夜間の温度変化を示す。晴れた時(1, 2, 3)にはクキの温度は外気温よりも約 $5^{\circ}\text{C}$ 低くなる。



第14図 アヲキの葉の夜間における温度変化

実験期日: 3月14日, O: 外気温, A: アヲキの葉(長さ7.5 cm, 幅3.5 cm)の葉脈(裏側)の温度, B: 同じ葉の葉肉の温度, S: 直径13 cmのセンノキの南側の皮層部の温度

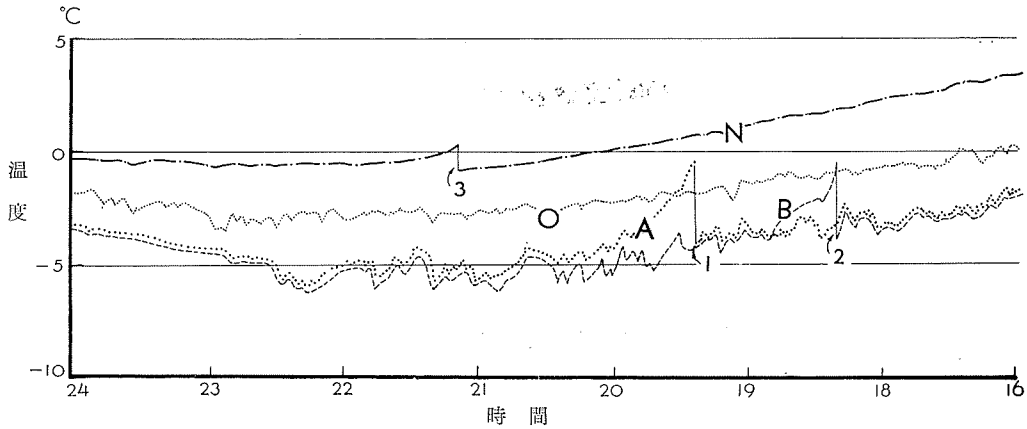


第15図 夜間のトドマツの茎の温度変化

実験期日: 3月3日, 実験材料: トドマツの茎(直径0.5 cm), O: 外気温, A: 直径0.5 cmのトドマツの茎の先端部の温度, S: 直径13 cmのセンノキの南側の皮層部の温度, N: 直径13 cmのセンノキの北側の皮層部の温度, C: 直径13 cmのセンノキの中心部の温度

5. 凍結開始温度

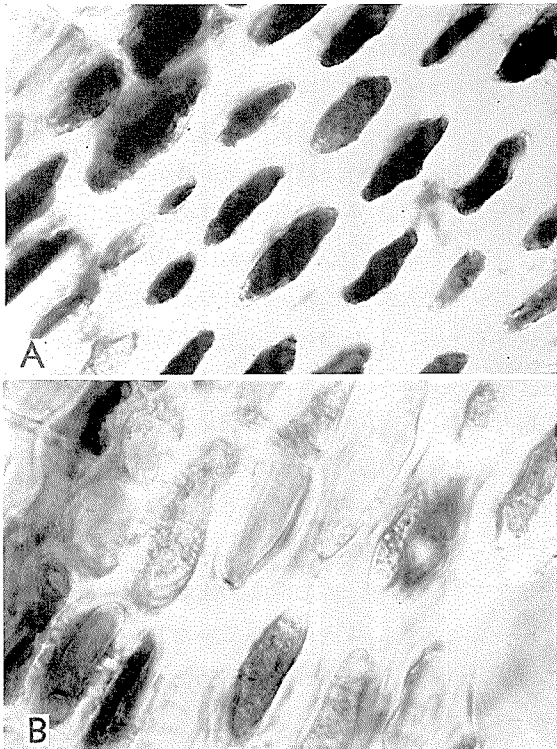
第16図はセンノキの皮層部(N), トドマツの茎(A), アヲキの葉(B)の凍結開始温度を示



第16図 幹、茎及び葉の凍結開始温度

実験期日：3月11日，○：外気温，N：直径13cmのセンノキの北側皮層部の温度，A：トドマツの茎の温度 B：アヲキの葉の温度

1, 2, 3：トドマツの茎，アヲキの葉及びセンノキの幹の過冷却の破れた事を示す。  
 なお過冷却の破れた事を判りやすくするために，過冷却点と凍結による上昇点を直線で結んだ。



実験期日：2月20日

実験材料：センノキの幹(直径13.5cm)

凍結条件：室温から直接 $-30^{\circ}\text{C}$ の部屋に入れて凍結させ，1日間同温度においた。

A：融解後の南側の皮層細胞。大部分の細胞が死んで変色している。  
 ×400

B：融解後の北側の皮層細胞。多くの細胞が生存している。×400

第17図 南側と北側の皮層細胞の耐凍性の差

している。センノキの皮層部は  $-1^{\circ}\text{C}$  (3), トドマツのクキは  $-4.5^{\circ}\text{C}$  (1), アヲキの葉は約  $-4^{\circ}\text{C}$  (2) で過冷却が破れている。結霜がある時は葉、枝及び細茎では  $-4^{\circ}\sim-5^{\circ}\text{C}$  で凍結が始まる。センノキの皮層部の凍結開始温度が高いのは熱電対を挿入する際の損傷部が露出しているためと思われる。損傷部に流動パラフィンを塗って測定した場合には過冷却は少なくとも  $-3^{\circ}\text{C}$  までは破れなかった。

#### 6. 北側と南側の皮層部の耐凍性の差

晴天の日の14時30分に、センノキの南側と北側から  $4\text{ cm}^2$  の皮層組織を切取って両者の耐凍性の大きさを比較してみた。この日の南側の最高温度は13時に  $23^{\circ}\text{C}$  で北側は  $3^{\circ}\text{C}$  であった。皮層組織を室温から直接  $-30^{\circ}\text{C}$  の低温室に入れて凍結させた。24時間後  $0^{\circ}\text{C}$  の部屋に取出して3時間おいた後皮層組織の褐変の度合を調べた。第17図に示すように、南側の皮層細胞は約10層にわたって褐変していたが、北側は南側と比較して褐変の度合がすくなくかった。なお凍結前の南側の皮層細胞にはすこしも褐変が認められなかった。

### IV. 考 察

#### 1. 植物の凍結開始温度

野外にある植物の凍結は外部から霜の形で植氷されて始めて起るもので、外部からの植氷がなければ植物体内に自然発生的に凍結が始まるということはきわめてまれである。今年の冬表日本は空気が異常に乾燥していて氷点下数度になってもしばしば結霜をみなかった。こういう場合には、ミカンの葉が  $-8^{\circ}\text{C}$  まで凍結しないで過冷却していた事が観察されている<sup>9)</sup>。植物の凍結は一般に葉で始まり、ついで枝や茎に凍結が進行してゆく。しかし、葉がない冬の落葉樹では凍結の開始場所が問題となる。しかも、多くの枝や幹は表面がコルク層でおおわれているので、外部から植氷されにくいように思われる。しかし、結霜のある時にはこのような枝でも比較的高い温度で過冷却が破れている。たとえば、冬季の野外のクワの枝は結霜のある時には  $-3.5^{\circ}\sim-4.5^{\circ}\text{C}$  の温度で凍結が始まる。しかし結霜のない時には、 $-10.5^{\circ}\text{C}$  まで過冷却している事が観察されている<sup>9)</sup>。枝の表面にコルク層があっても、皮日や熱電対を挿入する時にできる損傷部位から植氷される可能性も考えられる。したがって、過冷却が何度で破れ、枝や幹のどの部分から植氷されるかを調べる実験では、実験を行なう数カ月前に、熱電対を挿入しておいて充分傷口をふさいでから実験を行なう事が必要である。センノキや針葉樹では熱電対を挿入すると樹脂がでて熱電対は2~3日以内に組織内に埋められてしまうので好都合である。本実験の場合、アヲキの葉やトドマツの茎では  $-4^{\circ}\sim-5^{\circ}\text{C}$  で過冷却が破れているが、センノキの皮層部は  $-0.5^{\circ}\sim-1.5^{\circ}\text{C}$  のような高い温度で過冷却が破れている。これは熱電対を挿入する際にできた外皮の傷がそのまま露出していた事と、幹の北側の皮層部や材部が日中も凍結状態にあるため、夕方、南側の樹温が下ってくると、体内に残っていた氷が生長してくるために  $-1^{\circ}\sim-1.5^{\circ}\text{C}$  のような高い温度で過冷却が破れたものと考えられる。

#### 2. 越冬中の木の温度変化

越冬中の木の温度は外気温、日射量等によって強く影響を受けるし、またそれは木の高さ、

幹の方位、幹の内部的場所、幹や枝の太さ、幹の樹皮の色によっても著しく異なる。

石田<sup>2)</sup>は直径 28 cm、長さ 3.5 m のトドマツの生丸太の地上より 1.2 m 部位の材の各部分の温度変化を冬期間札幌で自記させて調べた。この実験では直射日光は 3 時間しかあたらなないので日射の影響は少ない。彼の結果では 1 月に入ってから外気温は殆んど完全に 0°C 以下となり、1 月末までに 0°C 以上になった日数は 3 回で合計 30 時間であった。そして 1 月は生丸太の水分が完全に凍結している典型的な期間で、1 個の物体としての生丸太の温度が外囲温度の変動に対応して変動していた。そしてこの丸太の外側の材部は高含水率のうすい辺材部の円筒があって、その部分が低温の侵入に対しては潜熱を放出して内部温度の降下を防ぎ、また気温の上昇に際して融解熱を吸収して材部の温度上昇を防ぐから、この部分は気温変化にもづく丸太内部の温度変化に対して一種の緩衝帯をなすものと説明している。本実験で用いた直径 86 cm のエルムの木の中心部の温度は 1~2 月中 -0.5°~-2°C の間を変動し 1 日間の隔差もせいぜい 0.5°C 以内であった。このような大木でも幹の辺材部は凍結していてその中に多量の氷が認められたが、心材部は含水量が少くないため凍結しているか否か明らかでなかった。

本実験の場合には石田の上記の実験とちがって幹が数時間日射にさらさるので、樹温は日射の影響を受けやすい。日中の気温が約 -5°C で晴天の日に、直径 13 cm の木では、日射を受ける南側の皮層部と材部の一部のみが数時間融解するが、北側の皮層部や材の大部分は凍結状態のままである。この場合、北側の皮層部の温度は外気温 (-5°C) より約 1°C 低く、南側の皮層部の温度は 12 時半頃約 15°C に達するので、南側と北側の皮層部の温度差は約 20°C に達する。晴天で正午頃の気温が 5°C 以上の時には、直径 13 cm の木でも地上部は殆んど融解する。この場合、根際に約 20 cm の積雪があると、積雪内の地際の木の温度は約 0°C に保たれている。外気温が約 -5°C で晴天の時には、直径 1 cm 内外の茎、枝の大部分は日中融ける。こういう細い枝や茎では日射による温度変動は著しいが、日射による温度上昇は少なく、外囲温度より数度高い温度で日中平衡状態を保っている。外気温の変動は、風が少くない場合には、地表面からの輻射量に関係するので、外気温の変動は結局は日射量の変動に対応している。したがって直射日光のあたる茎や葉の温度変動は外気温や日蔭にある材料より著しい。ことに広葉樹の葉温は日射量の変動に敏感に対応している。そのため大きい葉は一種の敏感な日射計ともいえる。とにかく札幌では、大きい木も小さい木も、日射をうける部分が 1 日数時間融解するほかは凍結状態で越冬している。

### 3. 外囲温度の変動と耐凍性との関係

植物の耐凍性を効果的に高める外囲温度は植物の種類によって異なるし、また同一植物では発育の段階によって異なっている。耐凍性をもつ植物が 10°C 以下の温度にさらされると徐々に耐凍性をますが、外囲温度が 0°C に近づくとその増加割合はより大きくなる。数日間の凍結状態に耐えられる植物では凍結状態に数日間おくと耐凍性の増加はさらに著しくなる<sup>5,6,7)</sup>。冬にポプラやヤナギの枝を 0°C に数日間おくと耐凍性は低下する<sup>8,9)</sup>。冬期これらの枝を -10°C で 4~5 日間凍結状態におくと、これらの枝の耐凍性は最高になる<sup>9)</sup>。0°C よりは -5°C、-5°C よりは -10°C で hardening する方が効果的に耐凍性を示す。それ以下に温度を下げてても効果

は殆んど変わらない<sup>9)</sup>。このように耐凍性が比較的安定している冬の木の枝でも、外周温度によって耐凍性はかなり変動する。一般に耐凍性の小さい植物ほど外周温度による耐凍性の変動が大きい。1本の枝や茎については、日射の影響を受けるそれらの南側は北側よりも日周温度変化が著しい。枝の南側は北側よりも耐凍性が小さく、ことに耐凍性の変化がはげしい秋や春には両者の差はかなり大きい。早春、枝の南側に最初に澱粉が増加してくるが、北側はそれよりおくれて澱粉が現われる。この場合、枝の南側の皮層部の耐凍性は北側より小さい<sup>10)</sup>。南側に澱粉がかなり現われている枝を0°Cで7日間 **hardening** すると、南側と北側の耐凍性の差は減少する<sup>11)</sup>。しかし、なおある程度の耐凍性の差が残ることからして、枝や茎の南側の皮層細胞の耐凍性が北側より小さいのは、日射による温度変動が大きく関係しているほか、南側の組織がもともと北側より弱いという事もその一因として考えられる。この事についてはさらに調べてみる予定である。

西日本の暖地では、スギ、茶、柑橘類、アカシア、栗等の幹や茎の南側の根際が凍害を受けやすい。そのため、九州の造林地の南斜面ではスギやアカシアの苗木が生育しがたい。茎の南側の根際は日中は日射のために温度が最も高まり、夜間や早朝では、もっとも冷却されるので、凍害を受けやすい。こうした根際の凍害は一般に寒冷地よりも暖地に多く、また耐凍性の比較的小さいスギ、柑橘類、茶、アカシア、バラ等の幼木に多く認められる。しかもこうした凍害は時期的には耐凍性が比較的小さい初冬や早春ににみとめられる。しかし、こうした凍害は日射を防いだり、幹の日射部分を白く塗ったり、土もりや被覆によって日射による地際部の温度上昇を抑えることによってかなり防がれる<sup>10,11)</sup>

茎の南側の凍害は茶、柑橘類、バラ等では凍裂をとともなう事が多い。茎が凍っただけでは凍裂はおきない。凍裂が起きるためには、組織内に水の異常分布があることが前提条件として考えられる<sup>12)</sup>。そして組織内に水の異常分布があらわれるのは次の2つの場合に限られると思う。その一つは凍結融解直後の場合である。他の一つは細胞外凍結によって細胞外に脱水された氷が融解後もなかなか細胞内に再吸収されない場合である。細胞外凍結によって脱水された水は、細胞が害されていない場合には比較的速く再吸収されるが、あるていど害を受けているとその水はなかなか再吸収されない。また耐凍性の小さい植物は細胞が正常でも再吸収される速度が比較的小さい。このような理由で組織内に水の異常分布がある時に、凍結させれば凍裂がおこるものと考えられる。最近、中山<sup>9)</sup>は茶の茎を用いて凍結融解を繰返す場合に凍裂がおこる事を確めた。

トドマツのガンシュ病、柑橘類のジュン病、桑のドウガレ病はいずれも地際の茎や幹に現われる。他の樹種についても地際部に冬期間に現われる樹病について種々の病名が与えられている。これらの樹病は現象的には非常に類似している。これらの多くは一次的には凍害が主因で、二次的に凍害部分がそれぞれの病害菌におかされたものと解釈できないだろうか。これを実証するためには、幹や茎の根際部分が凍害を受けないように、日射を防いだり、白く塗った場合にそれらの樹病がどのように減少するかを調べれば、これらの樹病の一次的原因が凍害であるか否か判明するものと思う。

## 摘 要

1. 札幌で越冬している木は、外気温が数度以下の場合には、殆んど凍結状態で越冬している。直径 86 cm のニレの大木でも、冬季間は幹の大部分は凍っている。

2. 木の幹の南側の皮層部は日射のため著しい温度変化を示す。日射の影響は木の太さと木の外皮の色によって著しく異なる。直径 13 cm のセンノキでは、日射のため南側の皮層部の最高温度は外気温よりも約 20°C 高くなる。それに対して幹の北側の皮層部や材部の温度は外気温よりも約 1°C 低い。白樺のような白い外皮の木では日射による温度変動が殆んどない。

3. 直径 1 cm 位の細い枝や茎は日射による温度変化を受けやすいが、その温度上昇は太い幹に較べて非常に少くない。枝や茎とちがって広葉樹の葉は日射量の変動に敏感に対応して著しい温度変化を示す。

## 文 献

- 1) 酒井 昭 1957 木本類の耐凍性増大と糖類及び水溶性蛋白質との関係. 低温科学, 生物篇, **15**, 17-29.
- 2) 石田茂雄 1960 直立生丸太材内部の冬季における温度分布に関する一実験. 日本林学会北海道支部講演集, **10**, 95-98.
- 3) 北浦 澄 未発表\*
- 4) 小中原実 未発表\*
- 5) 酒井 昭 1956 植物における耐凍性増大と外囲温度. 低温科学, 生物篇, **14**, 7-15.
- 6) Туманов, И. И. и Красавцев, О. А. 1959 Закаливание северных древесных растений отрицательными температурами. Физиология Растений, **6**, 654-667.
- 7) Красавцев, О. А. 1961 Закаливание древесных растений к сверхнизким температурам. Известия Академии Наук, Сер. Биология, No. **2**, 228-232.
- 8) 酒井 昭 1956 耐凍性の持続及びそれに及ぼす温度の影響 (I). 低温科学, 生物篇, **14**, 1-6.
- 9) 酒井 昭 1963 超低温における植物の生存 III. 一耐凍性の大きさと効果的予備凍結温度との関係一, 低温科学, 生物篇, **21**, 1-14.
- 10) 徳重陽山 未発表\*
- 11) 高木哲男 未発表\*
- 12) 石田茂雄 1963 トドマツ樹幹の凍裂の発生機構とくに水喰材との関係について. 北海道大学農学部演習林報告, **22**, 印刷中.
- 13) 中山 仰 未発表\*

## Summary

To make clear the mechanism of frost damage in trees, the fluctuation in temperature of inside the trunks of some overwintering trees was recorded by means of copper-constantan thermocouple.

1. In Sapporo most part of the trunk even in a large elm tree, having a diameter of 86 cm, overwinters in frozen state.

2. In a trunk of *kalonax* with a diameter of 13.5 cm, the temperature in the bark

\* 引用文献中未発表はいずれも著者への私信による



of the south side exposed to direct sunbeam reaches to nearly  $20^{\circ}\text{C}$  about midday in winter, while, that of the north side remains almost unchanged throughout the day and is nearly the same with that of the environment ( $0^{\circ}\sim-5^{\circ}\text{C}$ ). The similar trends were also found in various trees examined. On the other hand, the bark of white birch under similar condition is rarely warmed to a higher temperature than that in the environment.

3. The temperature in a small twig, a slender stem and a small leaf is affected only slightly by direct sunbeam.

4. The rise of bark temperature in trees is considerably affected by some factors such as the intensity of sunbeam, environmental temperature, the diameter of trunk and the colour of bark surface.

5. In the bark of a trunk or twig, the cortical cells of south side are less tender than that of north side against a deep freezing.