



凍霜害とその防ぎかた

日下部 正雄



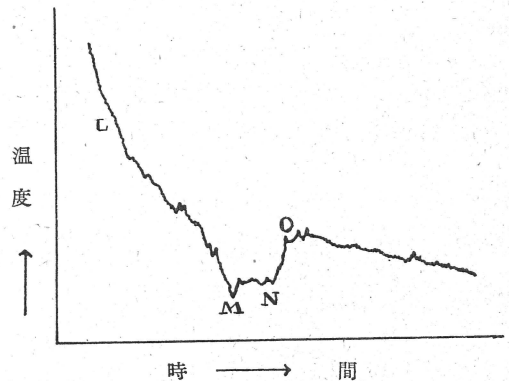
晩春から初夏にかけて、晩霜がおりるような寒さが訪れると、麦類、馬鈴薯、桑、果樹など各種の作物はいわゆる霜害を受ける。霜害

はその規模からいうと、必ずしも風水害や冷害、干害などと匹敵するほどのものではない。しかしある場所ではほとんど毎年のように霜害を受けるのに、そこから僅かしか離れていない所では、ほとんど霜害を受けない所があるということ、また風害を始め各種の気象災害を防ぐには、国家や地方自治体などの大規模の施策にまつことが多いが、霜害の対策のうちにはこのような大規模なことをやらなくとも、農業気象学の正しい知識があれば、かなりの効果をあげられるものがあることなどから、霜害は特に我々の関心を深くさせる災害の一つである。

1. 凍霜害とは何か

いわゆる霜害は、霜による災害ではなく、霜がおりるような低温にあつて起る一種の凍害であることはよく知られている。第1図は霜がおりるような状況下で、甘藷の葉を冷却していつた場合の、葉の温度変化を観測した一例である。〔1〕この図は葉の表面に露が下り、LからMまで冷却していくが、これが凍結する時に多量の熱が放出されるので、葉温はNからOに急上昇することを示している。すなわち霜は葉を寒さから守る役目を果たすもので、霜害といわれたのでは、霜は飛んだ濡れ衣を着せられたことになると説く学者もいる。

いわゆる霜害は霜による災害ではなく、低温による災害であることは、霜がおりなくとも、霜害を受けることがあることによつてもわかる。すなわちある程度の低温



第1図 霜がおりる時の甘藷の葉温(鈴木等)

が襲来し、作物に被害を生じて、場合によつては霜がおりないことがある。このような場合をアメリカなどでは、普通の霜 Hoar Frost に対して、Black Frost ということがある。しかし霜の有無やその強度によつて、ある程度被害の有無や強度を推定できることもまた事実である。

それで霜害というよりは凍害という方が適當であるという者もあるが、凍害というと土壌の凍結による災害と混同する恐れもあり、また霜害の中には必ずしも作物体の凍結が起つていないものもある。さらに霜害は凍結だけによつて起るのではなく、日出前に凍結した作物体が、日出後に急激に融解するために起ると考えられる点もある。それで最近では霜害というかわりに、凍霜害という言葉がよく用いられるようになった。

なお凍霜害には作物の耐寒性が関係するが、これは作物の生育時期によつて異つている。凍霜害は春または秋

に気温が2~3°C以下に下つた時に起る。厳寒期にはこれ以下の低温が始終起つているが、この頃の作物は耐寒性が強いので、いつその低温にさらされなければ災害(寒害)を被ることはない。しかし秋のまだ耐寒性の弱い間、または春になつて耐寒性が一度弱くなつた後に、急に低温に襲われると、気温が2~3°C程度の低温でも凍霜害を受けるのである。

2. 霜の予想と凍霜害の予想

現在の気象学では、翌朝の霜の有無を予想することは必しもむずかしくはない。しかし凍霜害の対策として必要なものは、霜の予想ではなく、凍霜害の予想であつて、これは次の点を明らかにして行われるものである。

- i 観候所の最低気温はどの位に下がるか
- ii 農耕地の気温、または作物体温はどの位に下がるか
- iii 作物の耐寒性はどの程度か

翌朝の最低気温を予想することは、一般の気象学の問題である。凍霜害が起るのは、ほとんど日本が移動性高気圧におおわれた時に限られる。このような時には、天気がよく、風が弱く、空気が乾燥しているので、地面からの輻射が盛んとなり、地面に接した空気が著しく冷え、しかも上層の空気と混ることがないので、いわゆる接地逆転が顕著となる。例えば百葉箱の内て測つた気温に比べて、地面附近の温度が4°C位低くなることは珍しくない。それで普通にいう気温が3~4°Cになれば、地面附近の温度は0°C近くにになり、風にさらされている作物体温はいつそう低くなり、そのため作物は凍霜害を被る。

測候所における翌朝の最低気温の予報についてはここではふれぬことにし、実際農業に従事している人が翌朝の最低気温を予想するために参考となることを次に述べよう。移動性高気圧の状況は新聞天気図や、ラジオの気象通報によつて知ることができる。また日中は割合に暖かくとも空気が乾燥していて、夕方になつて冷えだし風が弱く、しかも空は眞青で雲がなく、夜間星光明らかな時などは、翌朝の気温の低下は著しいと考えてよく、空に雲があり、風が強くと、空気が湿つている時は、夜間の冷却はさほどひどくないと考えてよい。

ある地方の翌朝の最低気温を予想するには、測候所の発表する最低気温の予報値から推定するか、自分で気象観測を行つて予想するのがよい。測候所の予報値から推定するには、平素から測候所の最低気温と、その地方で観測した最低気温とを比較して、両地の最低気温の間には普通どの位の差があるかを求めておき、これを測候所の発表した翌朝の最低気温に加減すればよい。この場合どの測候所の最低気温を利用するのが最もよいかをみつけることと、同じ季節でしかも移動性高気圧におおわれた時というような、気象状態の似ている場合の観測結果

により推定を行うことがたいせつである。〔3〕

自分で観測を行つて、ある土地の翌朝の最低気温を予想することは比較的簡単である。一般に夜間の気温の下りかたはだいたい一様であるから、一次式で外挿するのがよい。すなわち日没後に1時間ごとに3回位気温の観測を行つると、気温降下の割合がわかるから、この割合で翌朝の日出前まで気温が低下すると仮定すれば、翌朝の最低気温を予想することができる。

測候所の最低気温から個々の農耕地の最低気温を推定することは小気候の問題である。晩春に移動性高気圧におおわれた時に小気候測定を行つて、農耕地の最低気温の分布を明かにしておけば最もよい。簡単な方法は霜のおりた朝に、こまかい霜の分布を調べ、これに最低気温を附記しておけばよい。このような調査をつみ重ねておけば、最低気温が予想できれば、これによつてどの畑とどの畑のどの部分は凍霜害を被る恐れがあり、どの畑とどの畑のどの部分はその心配がないかを経験的に知ることができる。

作物の耐寒性は、個々の農家では実際に作物の生育状態を見れば、適確に知ることができる。しかし国家や地方自治体などの場合は、現地の状態を見ないで作物の耐寒性を推定し、これによつて凍霜害の発生を予想することが必要になる。そのためには桑や馬鈴薯などの発芽、麦類の幼穂形成、果樹類の花芽の形成などと気象との関係を明らかにし、気象観測の結果から各地の作物の生育時期、すなわち作物の耐寒性を推定する。例えば大俊等は冬の間でも気温が3°C以上の時は植物は生育を続けることに著目し、12月1日以降の3°C以上の積算温度と小麦の幼穂長との間に密接な関係があることを見出した。それで低温襲来時までの3°C以上積算温度から、その当時の小麦の生育状態(幼穂長)、すなわち耐寒性を推定して、これにより凍霜害の予想を行つている。〔4〕

以上のようにまず翌朝の最低気温を予想し、次にこれによつて作物が実際にさらされる低温の度を推定し、これと作物の耐寒性とを組み合せて、始めて凍霜害の発生を予想することができるのである。

3. 凍霜害対策のありかた

凍霜害の対策といへば、煙燻法とか覆蓋法とかがすぐに思い出される。しかしこれらは応急的対策に過ぎないので、凍霜害に限らずすべての災害対策は、まず恒久的対策を構じ、恒久的対策の及ばないところを応急的対策で補うようにするのが当然である。

凍霜害の恒久的対策としては、まず災害常習地帯と無被害地帯とを見出し、次に常習地帯の小気候を改良し、また作付にあつて作物学的な工夫例えば耐寒性の強いものを選んだり、栽培期間を調節して凍霜害の起る期間を回避するなどにより、作物のさらされている微気候を改良して作物が低温に会わないようにする(例えば桑では

根刈仕立をやめて、中刈や高刈仕立とするなど)がたいせつである。

凍霜害の応急的対策には昔からいろいろあるが、これを気象学的にみれば、凍霜害を起すような低温を招く原因を人工的になくすることで、これは次の3種に大別することができる。

- a. 熱を保持すること 覆蓋法、燻煙法、灌水法など
- b. 熱を加えること 加熱法、敷藁除去法など
- c. 空気を混合または擾乱すること 送風法など

応急的対策はどれもかなりの労力や経費を要するので広い農耕地の全部に行くことは、むずかしいというよりはむしろ不可能である。それで農耕地のこまかい気候のちがいを明らかにして、最も被害を受ける恐れのある所から逐次行つていくとか、稚蚕用の桑についてまず行つてというように重点的に行うようにしなければならない。応急的対策は作物によつてその方法がちがうのは当然であるが、同じ作物でもそれが集団的に栽培されているかどうかによつて対策は一様でない。例えば燻煙法・加熱法・送風法などは集団的な桑園、果樹園などには適するが、畦畔に栽培されたものや、独立した果樹、苗床などには覆蓋法などの方がよい。また対策は経済的な関係によつても異なる。すなわち果樹のようにかなりの経済的負担に耐えられるものであれば、加熱法を始め各種の有効な方法を自由に行うことができるが、桑・麦・馬鈴薯などのようなものでは、この方面からの制約が加えられる。

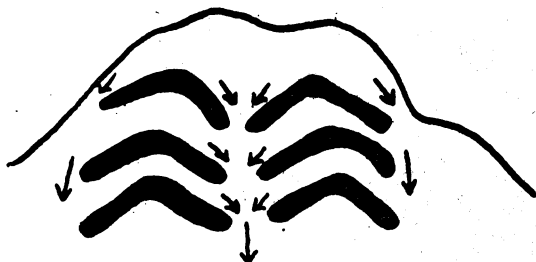
なお凍霜害対策としては、災害の発生した後に、速効性肥料を追肥して生育を回復し、薬剤撒布を行つて病虫害の発生を防止するとか、共済制度による保険金の支拂いというような事後の処置もあるが、ここではふれないことにする。

4. 凍霜害の恒久的対策

凍霜害の恒久的対策のうち、気象学的に関心のあるものは主として小気候に関するものである。凍霜害の常習地帯を小気候学的にみれば、地形、地物の関係から冷気が停滞したり、冷気流が通る所であり、森林はその疎密と附近の傾斜との関係では冷気流をせきとめて凍霜害の原因となる。一方傾斜の中腹以上では、地面近くの冷えた重い空気は下方に流れ去るので、凍霜害を被りにくく、川や湖沼などの附近は、水の比熱が大きいためと、水蒸気が夜間の輻射を防ぐために、一般に被害の発生は少い。ただ地形の関係で川や湖沼に向つて冷気が流れこむようになつて居り、しかも水量が少い時などは、かえつて被害を招くこともある。南面した斜面は日中暖められているので、夜間もよそほどには冷えず、普通は被害がないが、このような所では作物が伸び過ぎていることが多いので場合によつてはひどい凍霜害を被ることもあ

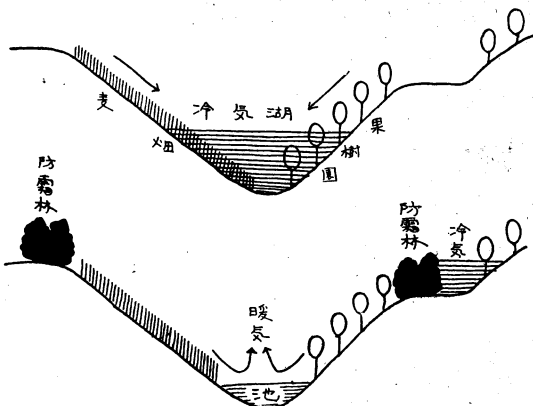
る。森林は冷気をせきとめたり、吸収したりして、風下に対しては防霜林の役目を果たす。また林外の冷たく重い空気が、林内の暖かく軽い空気の下にもぐりこんで、いわゆる呼吸作用を営み、森林の週辺部に無被害地帯を作ることもあるが、その幅はせいぜい森林の樹高程度の狭いものである。

凍霜害を恒久的に防止するには、小気候の改良を行えばよい。その普通のやり方は、防霜堤、防霜林の造成、冷気流をせきとめるような地物の除去、貯水池による冷気の吸収などである。斜面には防霜堤、防霜林を計画的に造成して、冷気流を一個所に集めて流し去るのがよ



第2図 傾斜地の防霜堤・防霜林の造りかた(大後)
矢印は冷気の流れを示す

い。なお冷気の一部は防霜堤を乗り越えて斜面を下るが、この時冷気は上昇して高い所の暖かい空気と混り温度が上がる。また防霜林の場合は斜面を下つてきた冷気は、林内にもぐりこみ、林内の暖かい空気と混つたり、これを押しだしたりする。冷気は一般に凍霜害と関係のない地点に放流するが、川や湖沼などに導くようにする



第3図 凍霜害対策としての小気候改良の一例

のがよい。またこの水は灌水法、撒水法などに利用する。

5. 凍霜害の応急的対策

凍霜害の応急的対策は微気候の問題として興味がある。

- a. 加熱法 最近日本の果樹園や桑園などで熱心に実

用化を研究しているのは加熱法である。外国ではその国の燃料事情により、重油、煉炭、薪などを用いる防霜用燃焼炉を用いて居り、赤外線発生装置も使われている。

福島県の梨畑では、剪定で生じた薪を 100 平方 m に 1 カ所の割で集積しておき、梨柵附近の気温が 1°C 以下に下り、地表面にかすかに霜が認められた時に、重油を用いて点火し、その後 5~6 本の薪が、常に中程度の焔を出してもえているように加減して実用試験を行つた。温度の上昇が最も著しかったのは、地上 250~300 cm のところで、点火後約 30 分たつと、 3°C 以上高温のところが見られた。しかし梨柵の高さは約 160 cm であるから、後に述べる送風法を併用して、上下の空気を攪拌すれば、いつそう効果があり、気温の垂直分布の観測結果などから推定すれば、 4°C 以上の上昇は容易であると想像される。〔5〕

重油を用いる加熱法は農林省蚕糸試験場の統一の下に、各地で連絡試験が行われたが、問題は目的に合うような燃焼炉を製作して、燃料を有効に使い、労力を節約することにあるようである。重油を燃焼する場合には多量の煤煙がでるが、これは燻煙法の場合と同じく輻射放熱を遮断する効果があると考えられる。

b. 送風法 凍霜害の起るような時は、接地逆転が顕著であるから、夜間扇風機で地面近くの空気を攪拌すれば、地面附近の温度は上つて、凍霜害の発生は防止される。この方法も外国では古くから行われていたが、最近では日本でも果樹園などで行われるようになった。福島市外のある梨畑では高さ約 4 m、直径約 2 m、3 枚羽根のプロペラの扇風機（1 分間 1,800 回転、3 馬力）5 台を設備しているが、これは風速 1 m/s 以上の風で、約 1 反歩の梨畑をおおるように設計されてある。

送風法の効果を実地にくわしく調べたものは少ないが、大後・丸山は家庭用の扇風機を用いて、こまかい模型実験を行つた。〔6〕送風法は接地逆転がある場合に始めて効果があるのであるから、加熱法により接地逆転が顕著になつた時に送風法を併用すれば効果が大きいことは前

にも述べた。

c. 燻煙法 凍霜害が起るのは、晴天で地面からの輻射を妨げるものがない場合に多い。そこで燻煙を行つて煙によつて地面をおおえば、輻射冷却を防ぐことができる。外国では重油などを燻煙材料としているが、日本では昔から青草、半乾草、もみがら、木屑などを用いている。

Schmidt は幅 200 m、長さ 300 m の地域に 10 m ごとに発煙器を配置して観測を行つたが、これによると $2\sim 2.5^{\circ}\text{C}$ 温度が上り、輻射放熱が 30~40% 遮断されている。日本では普通 1 反歩に 2 個所以上の発煙点（発煙材料 1ヶ所 30 貫位）を必要とし、また昇温の効果は $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ である。

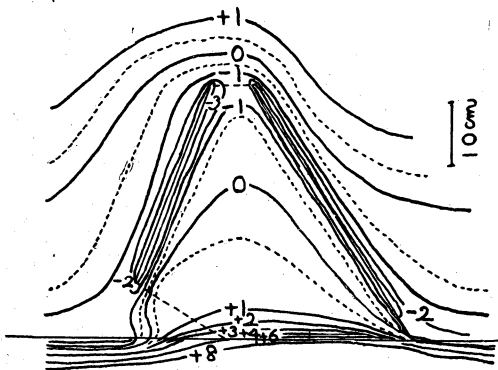
d. 覆蓋法 覆蓋法は資材や労力を必要とするが、効果は確實で大きい。そこでむしろ・こもなどの自家製品・ゼイニール・金属などの耐久力があり、格納・運搬に便利な覆蓋材料を工夫して、他の方法が適用できぬ場合に重点的に行うようにするのがよい。

日本では馬鈴薯の萌芽に土をかけた（ $4\sim 5^{\circ}\text{C}$ 温度を高く保つことができる）〔7〕苗床にむしろをかけた、爪類の苗を紙テツトでおおふことは普通に行われている。外国では小型の霜傘をたくさん準備しておき、苗にかぶせるのが普通である。紙製霜傘の内外の温度分布を観測すると $3\sim 6^{\circ}\text{C}$ の差がある。傘を二重にしたり、表面が反射性の大きい金属で作れば、いつそう効果は大きい。外国ではアルミニウム製品が実用に供されているが、紙製品よりも 2°C 位高温に保つことができる。

以上の他応急的対策として灌水法、撒水法、敷葉除去法などいろいろあるが、これらの方法の効果や、実施上のこまかい注意については、微気候学的な研究を要するものがすくぶる多い。（産業気象課長補佐官）

参 考 文 献

- 〔1〕 鈴木・吉田・荒井：霜害の可能性（予報），農業気象，7，1，17~18，1951
- 〔2〕 大谷・高橋：天気予報論（地人書館），355~359，1946
- 〔3〕 能勢・市川・宇佐美：測候所の気象観測値の適用範囲について，産気調報，17，1，25~31，1953
- 〔4〕 大後美保：凍霜害の予想と対策，農及園，29，3，372~378，1954
- 〔5〕 福島測候所：果樹園における防霜実験について，産気調報，16，2，107~115，1952
- 〔6〕 大後・丸山：風機により地面近くの気温を変える方法についての一実験，産気調報，15，2，93~96，1951
- 〔7〕 日下部・山本：馬鈴薯の霜害防除（土かけ）の効果，産気調報，14，3，8~10，1950



第 4 図 紙製霜傘内外の温度差 (Schmidt)