農業気象(*J. Agr. Met.*) 36 (4): 279–286, 1981

果 樹 の 凍 害

中 川 行 夫

(農林水産省果樹試験場安芸津支場)

Cold Damage in Fruit Tree

Yukio NAKAGAWA

(Akitsu-Branch, Fruit Tree Research Station,
Minist. Agr. Fore. Fish., Akitsu-cho, Hiroshima-ken 729-24)

1. はじめに

農業気象災害の防止には微細気象の知識が非常に大切であり、微細気象の利用なくして災害防止はあり得ないといっても過言ではない。わが国でははっきりした秋まきムギ・牧草の凍害が北海道にも見られないようであるから、ここでは果樹の凍害に限って述べることにしたい。昭和51年以来、農林水産省で行われている別枠研究「異常気象対応技術の確立に関する総合研究」の一環として、気象研究者と果樹研究者の共同で実施されているカンキツ・リンゴの凍害に関する研究では幾多の成果があがっている。従来の業績にこれらの成果を加え、微細気象との関連のもとで話を進めよう。

2. 凍害とは

凍害と霜害とはどう違うのだろうか。植物の細胞・組織が凍結して被害を受ける点では同じであるが、前者が耐凍性の大きな冬季に起こるのに対して、後者は耐凍性を失い、生育をふたたび開始した春季に発生するところが相違していると考えられる。凍霜害という言葉があるが、これは凍害と霜害の両者を総称したものではなく、霜害と同義語である。

カンキツの寒害といえば、凍害と寒風害を含んだときに使われることが多いが、凍害の代りに使う人もいる。ビワは冬に開花して効果となるので、霜害といったほうがよいような気もするが、一般にはビワの寒害とか凍害といっている。秋に葉が落ちてしまう落葉果樹にも寒風害があるらしい。リンゴの耐凍性を超えるほどの低温がこない青森県の津軽地方で防風林に囲まれていないリンゴ園では枝の先枯れがよく起こるが、防風林があるとは

ほとんど起こらないことが知られており、これは寒風害であろうと考えられる。ところで、凍害は寒風害を助長し、寒風害は凍害を助長するので、防風林に囲まれた北海道のリンゴ園では囲まれていない園よりも凍害が軽くなる事例が多い。カンキツでは凍害と寒風害が一緒に起こることがかなりあるようである。

3. 常緑果樹の凍害

3.1 常緑果樹の凍害の起こり方

耐凍性の季節変化：小中原(1975)の静岡県での調査によると、ウンシュウミカンの春葉は11月下旬には -5°C 、3時間の低温にしか耐えられないが、12月下旬には $-6.5^{\circ}\text{C} \cdot 3$ 時間に、さらに厳寒期の1月下旬には $-8^{\circ}\text{C} \cdot 3$ 時間に耐えるようになる。その後、2月中旬ころから耐凍性はふたたび弱まり、2月下旬には $-5.5^{\circ}\text{C} \cdot 3$ 時間、3月下旬には $-4.5^{\circ}\text{C} \cdot 3$ 時間にしか耐えられなくなるといふ。カンキツの耐凍性は同じ場所でも冬の温度経過により年次変動し、また九州南部など冬季温暖な地方では低温な神奈川・静岡地方に比べて耐凍性が低く経過するのが普通である。上述した例はウンシュウミカンの耐凍性のほぼ最高値と考えられるが、異常な暖冬であった昭和54年の静岡での耐凍性は明らかに弱まり、厳寒期に $-6 \sim -7^{\circ}\text{C}$ の低温処理で激甚な凍害が発生した(中川, 1980)。

耐凍性の最高なときには、葉の浸透濃度や糖含量も最高となり、逆に葉や枝の含水量は最低を示すようになる。そして葉よりも枝の含水率のほうが低い(小中原, 1975)。

ところで、秋から冬にかけて気温の低下につれて越冬植物の耐凍性が増大してゆくのハードニングといい、逆に冬から春にかけて気温の上昇につれて耐凍性が消失

してゆくのをデハーディングと呼んでいる。

樹体の被害：耐凍性の弱いのは樹上越冬の果実で、次いで葉、新梢、太枝の順になっている。葉が枯死すると1～2日で巻いて下垂し青枯症状を呈するが、次第に褐色に変わって春先までに落葉する。枯死葉率が20～30%を超えるとその年の収量が減少するようになる。枯死葉率が90%くらいまでは翌年の秋には収量がほぼ回復するが、枯死葉率が100%の樹では枝もかなり枯死しているので回復に3～4年を要する(中川, 1980)。

被害の間接判定：低温を受けた直後の凍害程度の判定法として電気伝導法がある。これは低温を受けた葉5gを1cm角にきざんで50mlの蒸留水(20℃)に24時間ひたし、その液の電気伝導度を測定する方法で、凍害がひどいほど葉中の電解質が多く浸出して電気伝導度の値が高まることを利用したものである。無処理に対する比率が1.5～1.7倍以上になると明らかな凍害が起こることが多い(中川ら, 1971)。吉田(1974)は $[(A-B)/(C-B)] \times 100\%$ (ただし、A：処理葉の電気伝導度、B：無処理葉の電気伝導度、C：熱処理葉の電気伝導度)から凍害程度を計算し、この値が10%を超えると明らかな凍害が発生すると述べている。

被害の品種間差：池田ら(1978)は昭和52年の凍害発生時の圃場調査から、次のように耐凍性の区分を行った。甚強：カラタチ・ユズ・スダチ、強：ワセウンシュウミカン・ウンシュウミカン・カボス・オレンジ日向・サンボウカン、やや強：ウンシュウミカン・ハッサク、中：甘夏・タンカン・福原オレンジ・ネーブルオレンジ、やや弱：ネーブルオレンジ・谷川ブンタン・ナルト・パレンシアオレンジ、弱：グレープフルーツ・イヨ・宮内イヨ・ヒュウガナツ・ボンカン、甚弱：メキシカンライム・リスボンレモン・平戸ブンタン

小中原・牧田(1977a)は夏葉の電気伝導度法により、導入品種の耐凍性を次のように判定した。①ウンシュウミカンと同程度かやや弱いものとしてNova・Kara・Osceola, ②ネーブルと同程度かやや弱いものとしてCravo・Fremont・Muscio・Lee・Pixie・Beauty, ③スイートオレンジでネーブルより耐凍性が大いと思われるものはTarroco・Pera de Rio・Frost Navel・Best Seedless・Dacre・Berri Valencia・Bellamy Navel, ④タンゼロ・タンゴール類では上田ウンシュウ×ハッサク(5853), ハッサク×平戸(544)がウンシュウなみで、ネーブルなみの耐凍性を持つと考えられるものはMinneola・San Jacinto・Seminolがある。

なお、耐凍性の品種間差異と関連して、冬季にはウンシュウミカンの葉の含水量が最も低く、ナツミカンがこれに次ぎ、トルビタオレンジ・シシリーレモンの含水量

が高いという報告がある(西浦・吉田, 1973)。

果実の被害：果実の耐凍性は低いので、最低気温が-4～-5℃くらいまで冷えた朝には枝葉が無被害でも果実が凍結し、その後す上がり(果汁が消失する現象)が起こって比重が低下し、苦味が発生し、あるいは落果するなどの凍害が発生する。果実の凍り方として、まず果実表面が-3～-4℃以下に冷やされると果皮が凍結し、ついで果肉が凍り始めるようになり、その凍結時間が4～5時間では被害が軽微に留まるが、7～8時間以上になると著しい被害となる。そして百葉箱内気温と果実表面温は外成り果(天空にさらされた果実)では2～2.5℃の差があるので、百葉箱内気温が-0.5～-1.5℃になると樹冠外周の果実は凍り始めるといえる。一方、樹冠内の果実温はせいぜい0.5℃くらいしか百葉箱内と差がないので、百葉箱内気温が-2.5～-3.5℃で凍り出す。果肉の被害は凍結した砂じょうの割合に比例するので、果肉の凍結時間が長いほど、したがって最低気温が低く、低温の継続時間が長いほど被害も甚大となる(中川ら, 1976)。

内田ら(1976)によると、福原オレンジで果実の商品価値を失なうほどす上がりが起こるのは、外気温-4.5℃で7時間以上、-6.5℃で4時間以上とし、小中原・牧田(1977b)は明らかなす上がりの起こる果肉の凍結時間として、ハッサク8時間以上、甘夏7時間以上、ヒュウガナツ・福原オレンジ5時間以上、イヨ4時間以上と述べている。果実の位置でその冷え方が違うので、ヒュウガナツのす上がりは外成り果実では30～80%であるのに対して内成りでは0～25%に過ぎず、また一つの樹冠内でも上部80%、中・下部で33%の被害という調査例がある(佐野ら, 1976)。ハッサクでは最低気温が-4.6℃で果実の苦味が発生し、そのときの平均ナリニンジン含量は29.9mg%であったという(間苧谷・長谷, 1980)。

ビワは冬季に開花・結実して幼果で越冬するので、よく凍害が起こる。2～3枚の葉で被覆された果房中の果実に比べて天空に露出した果房中の果実は約2℃も低く、また樹冠内部の果実と頂部の果実とでも1～1.5℃の温度差があることが中井・森岡(1978)により報告されている。

融解速度と被害：日出直後の朝日にあてて凍結葉を融解させたものは日蔭や低温室内でゆっくりと融解させた葉に比べて明らかに凍害が助長された。融解速度は朝日区0.15℃/分、日蔭区0.11℃/分、低温室区0.04℃/分であった(小中原, 1975)。

立地条件・肥培管理と被害：凍害は低温になりやすい凹地・谷間地形・斜面のすそ・台地などに多発する。岡崎(1978)の昭和52年の冬の凍害調査によると、耕土の浅い園・弱っている樹・若木や老令樹・前年に結果過多

の樹に被害が多発し、甘夏では草生栽培園で凍害が助長され、一方、敷草・1～3月の中耕園では被害が軽微であったという。

3.2 常緑果樹の凍害の防ぎ方

被覆法：冬季を通じてカンキツ樹全体をこもその他の被覆資材で包むのが直接被覆法で、凍害防止だけでなく寒風害防止にも顕著な効果があり、静岡県を中心として広く普及している。被覆樹の微細気象として特記すべきことは、被覆内気温は外気温に比べて夜間は低温に経過

写真1 とも被覆 (小中原)

することが多く、とくに被覆資材に近い空間ではその傾向が著しい。したがって、被覆による保温効果をあらわすには、無被覆樹の葉温に対する被覆内の葉温の差でなければならぬことである。

ブドウ棚やナシ棚のように、カンキツ園の上に簡易な棚をつくり、こもその他の被覆資材をこれにのせることにより園全体を被覆するのがたな張り被覆法で、直接被覆法よりも保温効果が高い(小中原, 1975)。たな張り用の被覆資材の保温効果として、こも(厚手)は無被覆樹葉温に対して $+3.2^{\circ}\text{C}$ 、テトロトリコット $+3.0^{\circ}\text{C}$ 、PP発泡解繊糸織物 $+2.8^{\circ}\text{C}$ が調査されている(小中原・中川, 1980)。

写真2 たな張り被覆 (小中原)

ところで、被覆資材によるカンキツ樹のしゃ光程度によって冬の樹の耐凍性が影響を受ける。100%しゃ光のときには、2月上旬には無被覆樹に比べて、 0.5°C くらい耐凍性が低下し、これが3月下旬には 2.5°C も低下するようになる。一方、83%しゃ光樹では厳寒期の耐凍性は無被覆樹と変りないが、2月下旬から3月一杯にかけてかえって耐凍性が上回り、 $0.5\sim 1^{\circ}\text{C}$ くらいの差があった。これは、83%しゃ光樹では無被覆樹に比べて昼間の葉温の上昇が抑えられるので、デハードニングの抑制がその主因になると考えられる。100%しゃ光樹の耐凍性の低下は、光合成の著しい抑制がその原因であろう(小中原, 1975)。

送風法： $0.5\sim 1$ 馬力の小型換気扇を地上6mに設置してカンキツ園を昇温させようとするもので、一部に普及している。昇温試験としては谷口・白井(1972)、白石ら

写真3 25馬力ウインドウマシン (小中原)

(1975)などのものがあり、いずれも半径 $5\sim 10\text{m}$ の範囲まで $1\sim 1.5^{\circ}\text{C}$ 昇温している。地上10mにプロペラのある25馬力の大型ウインドウマシンによる昇温効果は高く、1haが $1\sim 2.5^{\circ}\text{C}$ 以上昇温したが(中川, 1977)、上野ら(1978)も同様な効果を認めている。この問題点として、湿潤な夏季にカンキツ園にまったく使わずに置いておくので、かえって損耗が促進されることである。

燃烧法：燃烧法は昇温効果は確実であるが、労力的なことやカンキツ園は冬季厚くしきわらさされていて火災の恐れがある点などからほとんど普及していない。三好ら(1969)によると、ヒーター数が10aあたり20～40まではヒーター数の増加につれて直線的に昇温効果が高まる

写真4 燃烧法(リターンスタック) (小中原)

が、それ以上にふやしてもあまり昇温しないと報告している。さらに、4号練炭(径12cm)を1樹あたり4個使用すると10aあたりヒーター20個の場合よりも昇温効果が高かったという成績もある(大和田ら, 1972)。固形燃料は1樹あたり3~4.5kgを必要とし、地上1.5mまでは昇温効果はあるが、樹頂付近では効果が少ないという(小中原, 1975)。

写真5 固形燃料(小中原)

散水氷結法：ナツミカン樹で行った試験によると昇温効果はたしかにあるが、枝に付着した水の重量で主枝・亜主枝が根元から裂けて甚大な被害をこうむったという(大和田・船上, 1972)。

部分しきわら：カンキツ園の地面をしきわらで一面におおとその上の気温が冷えやすくなるので、地上部の冷え防止と地温保持の点からは部分的なしきわらが望ましい(下大迫・栗山, 1971)。中川(1962)によると、百葉箱最低気温が-1.5℃の朝に果樹園のしきわらの表面温度は-10℃に低下していたという観測例がある。

適地判定：坪井(1964)の考案したすぐれた判定法があるが、観測期間の長さなどに問題が残されている。

4. 落葉果樹の凍害

4.1 ブドウの凍害

4.1.1 ブドウの凍害の起こり方

ブドウの樹はリンゴよりも冬の耐凍性が低い、枝のつる性を利用して主幹の低いところから枝を出して結果させ、冬には樹全体を土中や雪下に埋めて越冬させることが可能である。ソ連・中国ではこの防寒法を採用しているので、リンゴよりも低温の厳しい地帯での栽培がある。わが国でも、北海道の内陸部では秋に棚から枝を地面におろし、雪の下で越冬させている。この地方の1月平均最低気温を見ると、砂川で-13.2℃、池田で-13.0℃を示している。

長野県のブドウ産地は砂川・池田よりもはるかに冬の低温がおだやかであるが(松本-6.6℃)、枝が棚上で越冬

するために凍害が起こり、ねむり病と呼ばれている(三好ら, 1968; 柴ら, 1978)。これは、芽の不発芽・発芽遅延・発芽後の生育不良などの症状を呈するので、あたかも芽が休眠から覚めないで朝寝坊したり、ずっと眠り続けることにたとえたものであろう。

起こりやすい条件：ねむり病の発生するのは、火山灰土じょうの園・チッソの多用や過じょうなかん水で枝の徒長や遅伸びを招いた場合及び早期落葉や着果過多の場合などで、いずれも枝の炭水化物ならびにC-N比の低下をもたらし、充実不良となり、したがって耐凍性が低下する場合である。

起こりやすい品種：ねむり病の発生は耐凍性の小さな品種に多い。欧州系品種のマスカット・ベリーA、マドレイヌ・アンジュ・ビーズなどは厳寒期の耐凍性が小さいうえに、初冬の耐凍性の獲得が遅く、逆に春季における耐凍性の低下が急激でその時期も早いので、ねむり病が多発する。一方、耐凍性の大きな米国系のコンコード・ナイアガラは耐凍性の獲得が早く、厳寒期には-20℃を上回る耐凍性を備えている。そして、耐凍性の低下も遅いので、2月以降に耐凍性を超える低温に見舞われることはほとんどない。デラウェア・巨峰など欧米系雑種はこれらの中間で、前年の栽培管理のいかんで耐凍性が変わり、着果過多・遅伸びなどの管理を行ったときには耐凍性の低下が早く急激で、欧州系品種の耐凍性のパターンとなり、ねむり病が多発する。

枝の部位別の耐凍性：枝の部位別の耐凍性をみると、じん皮部が最も弱く、形成層・芽は比較的強いようである。しかし、Pogonian・酒井(1969)によると、主芽の耐凍性が最低で、副芽・じん皮部射出ずい・じん皮部柔組織の順に高いと報告されている。ねむり病樹の解体調査によると、褐変障害部が枝梢内部の各所に見られ、とくに2~3年枝にひどく存在している。このために、芽への養水分の移行が円滑でなくなり、ねむり症状を呈すると考えられる。ねむり病樹では3月ごろから枝の水分低下が著しくなるのもこれを裏付けている。

発生時期：ねむり病の発生時期として、長野県で自発休眠が完了し、急激に耐凍性が低下する2月以降と考えられ、2月以降に-10℃以下の低温の日が多い年に多発する傾向がある。しかし、昭和49年、52年のように1~2月中旬にかけての期間でも、長期にわたって異常な寒波に見舞われたときには、ねむり病が多発している。

安延(1972)は、神奈川県ではブドウの凍害被害は考えられず、従来、ねむり病と呼んでいた症状は乾燥害の可能性が強いと述べている。土屋・萩原(1972)は越冬中の枝の耐凍性を調べ、-20℃・10時間ではデラウェアの被害が少ないが、甲州はほとんど枯死し、-25℃・10時

間では両者とも100%枯死する結果を得ている。

4.1.2 ブドウの凍害の防ぎ方

樹体の耐凍性の向上・品種の選択及び防寒がポイントとなる。栽培管理の面では、徒長・遅伸び防止をもたらし過ぎようなかん水、多肥、密植、強せん定を避け、さらに着果過多・収穫の遅れ・早期落葉・新梢管理の不徹底など樹の栄養状態を悪くする管理は戒めなければならない。火山灰土壌では肥培管理だけで徒長・遅伸びを防ぎきれないので、B-995の0.1～0.2%液やCCCの0.05%液など生長抑制剤を7月下旬～8月上旬に散布すると、新梢の遅延びを抑えて耐凍性が向上する(平田ら, 1971)。

冬季、主幹部に20Wのグラフトカーボンヒーターを内蔵した防寒マットを巻きつけると、明らかな凍害防止効果が見られる。しかし、この方法は経費がかさむ(10aあたり約5万円)という理由で、あまり普及しなかった。その代りとして、発泡ウレタンや稲わらで主幹を包む方法がとられている。わらは雨で濡れないように、その上をビニールで包んでやることが不可欠である。昭和47年の成績では、無被覆樹の主幹温度が-5℃以下に17.7時間下がったのに対して、稲わら+ビニール区、発泡ウレタン区ともにまったく-5℃以下に下がらなかった。

4.2 リンゴの凍害

4.2.1 リンゴの凍害の起こり方

リンゴの冬の耐凍性はきわめて高いので、わが国ではリンゴの凍害は北海道の一部にしか起こらず、しかも低温な年に限られている。

発生温度：リンゴの1～3年枝・短果枝及び花芽の凍害発生限界温度は-28℃付近にあり(西山・村上, 1980a), このような低温に30分さらされると被害が起こり始め、それから3時間までは時間の経過につれて被害が次第にひどくなるが、3時間を超えても被害はそれ以上ふえないことを実験的に明らかにしている(西山・村上, 1979)。さらに、被害程度と低温の関係をみるために、リンゴの12月上旬の耐凍性を-15℃、中旬を-20℃、下旬～2月までを-25℃として、過去の凍害発生年における温度経過から耐凍性を超えた低温の積算値を求めると、8℃までは被害が軽微、8℃を超えると頂芽・1年枝の枯死が目立ち、それから28℃に近づくにつれて幹・大枝の枯死が増すようになり、28℃を超えると枯死樹が出現することが解明された(西山ら, 1978)。

発生頻度：今まで北海道で広域にわたって凍害が発生したのは、明治35年、昭和28年、同52年の3回で、平均して35年に1回の発生頻度となっている。凍害発生限界温度である-28℃の再現期間を求めると、江別で1.6年、旭川・富良野・美瑛で2～4年、美幌・北見・遠軽で3～9年、深川、滝川・長沼で4～10年、網走で44

年、岩見沢で60年、増毛・札幌以南ではほとんど起こらない(西山・村上, 1980b)。

被害の様相：大枝・幹の枯れ込み、枝・幹の部分死、枝の分岐部の被害、地際部の被害、樹皮及び木質部の裂傷、木質部の変色、頂芽の枯死、枝梢の先枯れなどいろいろな症状を呈し、複雑な被害となっている。年枝別では一年枝が弱く、組織別ではずい・頂芽・材が弱く、皮層・えき芽・形成層は比較的低温に強いように思われる。さらに、一年枝の頂芽は2～3年枝の頂芽より弱い。昭和52年には、2～3年枝の頂芽が特異的に被害を受け、次いで一年枝の枯れ込み・短果枝内部の褐変・枝の分岐部の変色が目立った(西山, 1977)。

耐凍性の品種間差異：昭和52年の凍害のときの現地調査から、被害の少なかった順に品種を示すと、

祝・旭<レッドゴールド<デリシヤス系<ふじ<陸奥・ゴールデンデリシヤス・王鈴

となり(西山, 1977)、耐凍性の実験からは、

旭・あかね<レッドゴールド<つがる・スターキング・デリシヤス・陸奥<ふじ・4814-18<タイズマンレッド<紅玉

が得られ(西山・村上, 1978)、早生系が強く、晩生種が弱い。

立地条件と被害：低地の凍害は著しく、地下水位が高くて排水不良の園もひどい。

肥培管理と被害：強過ぎるせん定・結果過多・極端な多肥と少肥・過ぎようなかん水・腐らん病などで弱った樹・病害虫の被害樹・過ぎようの有機物を慣行の2～3倍投入した園などでは枝の二次伸長や遅伸びを生じ、枝が充実不良となり、初冬でのハードニングの進行が遅れて凍害が助長された。また、土壌管理は6月まで清耕、7月以降は雑草草刈取りでよかったが、刈取りの悪い園では樹勢を狂わせて被害を助長した(西山, 1977)。

台木による被害差：新梢の休眠芽形成と伸長停止はM26, MM104, MM106台使用樹が早く、したがって耐凍性の獲得も早かった。これに対してM2, M7は休眠芽の形成が遅れ、耐凍性が遅かった。なお、MM102の耐凍性は弱い(村上・西山, 1977)。

4.2.2 リンゴの凍害の防ぎ方

肥培管理：適切なせん定・施肥、適度な着果量・収穫量、病虫防除の励行、土壌改良による排水不良や土壌悪化の防止などの管理を行うと、新梢の伸びも早く停止し、十分な炭水化物が樹体に蓄積されて新梢も成熟し、休眠芽の形成も早く、したがって耐凍性の獲得も早まり、厳寒期の耐凍性も高い。リン酸肥料も枝の成熟を進める作用があるようである。

品種の選定：冬季が寒冷な地帯では祝・旭・レッドゴ

ールド・あかねなど耐凍性のある品種の栽植が望ましい。わが国ではこのような地帯では生育期間の積算温度が晩生種には不足するので、この点からも早生系のほうが望ましい。旭の主幹地際部の凍害防止法として、ミツバカイドウ台を用い、接木部の高さを 30 cm 以上にすると効果的である(細目ら, 1971)。

適地への栽植：凍害発生限界温度である -28°C 以下の低温がときに発生するような地帯での栽植は控えたい。

凍害の早期判定：圃場にある樹木の枝梢に電気針を差し込み電気抵抗を測定すると、凍害を受けたものでは電気抵抗が減少するので、凍害程度が早期に判定できる(赤羽・細目, 1967)。

4.3 クリの凍害

4.3.1 クリの凍害の起こり方

十分にハードニングされたニホングリの厳寒期における樹体の耐凍性は $-15\sim-17^{\circ}\text{C}$ の低温にも耐えるほど大きいと考えられるが、初冬の耐凍性の出来方が遅いのか、栽培管理によって耐凍性の獲得が大きく影響を受けるのか、それとも暖地では十分にハードニングが進まないのか耐凍性が低いのかのいずれかが関与するかについては明らかでないが、 -10°C 前後の低温で凍害がしばしば起こって問題になっている。

被害の発生時期と温度：まだ耐凍性が十分に高まっていない初冬に多いとする説(松山ら, 1970)と十分にハードニングが進むほど冬が低温でない暖地では厳寒期の耐凍性が低いので厳寒期の凍害も起こりうるとする考え方(緒方ら, 1971)とがある。安延(1969)は神奈川県での2月の伊吹・筑波の耐凍性として -12°C 付近であることを明らかにし、緒方ら(1971)は地面付近の温度が -10°C で凍害が発生しており、樹の耐凍性が低いときには -7°C でも相当数の枯死樹が発生すると述べている。一方、1月平均最低気温が $-7\sim-8^{\circ}\text{C}$ の盛岡地方では積雪面より上方のニホングリの枝はすべて毎年のように凍死するが、これが初冬の被害か厳寒期のものかについては明らかでない。

被害の症状：二つの型がある。一つは胴枯型で、主幹の地上10~30 cmの南~南西側に多く発生する。この型では幹の周りの1/3~1/2程度の組織が凍死するので、二次的に病害虫が侵入しなければ枯死することは少ない。凍死部に胴枯病菌、疫病菌、キクイムシ類が侵入・加害すると枯死することもある。もう一つは全樹凍害といわれ、胴枯型が幹の全方向に発生したものとみられ、地上部は水浸状となり、発芽後に間もなく枯死するものが多い。九州・四国など暖地に多発するといわれている。茨城でも年により、あるいはやせ地・地下水位の高いところで発生することがある(松山ら, 1970)。

地際の樹体温：主幹の南側皮層部の高さ別温度変化をみると、地際0 cm はほかの高さと比べて日中は低く、夜は冷えにくい。10 cm 付近が日中は最高になり、気温よりも 10°C くらい高い。それより位置が高くなるにつれて皮層温度は低下する。逆に夜になると、10 cm 付近が最低となり、上方に行くほど温度が高まる(松山ら, 1968)。酒井(1967)によると、幹の基部の耐凍性は上部よりも常に低く、晩秋には幹の基部は上部よりも10日遅れて凍結に耐えるようになり、一方、早春には10月早く凍結に耐えなくなる。幹の基部と上部の耐凍性の差は $7\sim10^{\circ}\text{C}$ にも達する。同じ皮層でも南側は日中高温になるので、とくに初冬の耐凍性の増大が遅れ、早春には耐凍性の消失が早まるなどを報告している。これから、南側の10~20 cmの皮層部は夜は低温になりやすいのに、その耐凍性は初冬、早春ともに上部の皮層よりも弱いので、凍害が起こりやすいわけである。

栽培管理：植えるときに20 cmしか耕さなかった区では50 cmや70 cm深耕した区に比べて根の張りが悪く、凍害が多かった(柴・緒方, 1973)。敷わらは凍害がきわめて少なく、50 cmや70 cmの深耕区でも草生にすると葉中のチッソ含量が減って凍害が発生した。土壌水分の過じょうも凍害を助長した。少肥区、表層への施肥は著しい凍害をもたらした(青木・松浦, 1972)。

被害の品種間差異：南館・藤田(1972)が青森県で行った調査によると、とくに弱いのは筑波・丹沢・伊吹・銀寄で、有磨がこれに次ぎ、豊多摩早生はかなり強く、シナグリ・田辺・利平・銀鈴・小布施2号は被害がなかったという。山本(1975)はシナグリが強く、ニホング리가中間で、欧州グりは最弱であったことを述べている。

盛土・わら巻きの防寒：主幹の地際に盛土したり、わら巻きをして防寒すると、かえって凍害が助長されることを内原ら(1970)および松山ら(1970)が明らかにしている。しかし、Table 1に示したように、実生苗木では盛土、わら巻き処理でも凍害が起こっていないなど、その発生機構については不明である。

表1 1年生樹の凍害発生と各種被覆処理との関係(松山ら, 1970)

処 理	供 試 樹 数	発生程度			発 生 本 数	発生率 (%)
		+	++	+++		
白 塗 剤	90	2	3	2	7	7.8
墨 汁 塗 布	90	0	0	4	4	4.4
割竹はめこみ	60	3	2	0	5	8.3
わ ら ま き	60	24	11	17	52	86.7
実生わらまき	60	0	0	0	0	0
盛 土	60	8	12	28	48	80.0
実 生 盛 土	60	0	0	0	0	0
無 処 理	90	1	2	5	8	8.9

4.3.2 クリの凍害の防ぎ方

高接苗の採用：50 cm 以上で接木した高接苗は凍害にかかりにくいので、凍害防止に有効である。これは台木の耐凍性が高いためである（塚本・後藤，1976）。

主枝の出す高さ：第一主枝を発生する高さは1 m 付近から出すようにする。

適切な施肥：クリの幼木は旺盛な生育するのが特徴なので、施肥量を増すと枝が長く伸び、その冬は凍害にかかりやすくなるとされている。そこで、従来は幼木期の施肥を極端に抑え、無施肥同様の管理が多く行われ、開こん地ややせ地でも少肥栽培の事例が多かった。このために根の張りも悪く、生育が貧弱となり、栄養不良で凍害を受けたことが多かった。苗木は50～70 cmの深耕してから植えるとともに、かなりの施肥をすることが不可欠であり、このようにすると耐凍性も増大する（荒木ら，1975）。

病害虫の防除：胴枯型凍害で枯死するのは二次的に発生する樹幹病害虫によるところが大きい。凍害発生の多い幼木期には徹底した防除が大切である。

5. 結 び

筆者の不幸によって講座というよりも文献抄録のような感じになったことをまずお詫び申し上げる。気象災害の研究にあたって、気象・物理の面からのみでなく、作物の面からの研究も行える農業気象研究者が1 人でも多くなることを祈りつつ筆をおく。

引 用 文 献

- 1) 赤羽紀雄，細貝節夫，1967：耐凍性とその電気抵抗測定法について，北農誌集報，**15**，37～47。
- 2) 青木秋広，松浦永一郎，1972：台木および施肥条件と凍害発生との関係，昭和44年度落葉果樹研究打合せ会議資料，果樹試。
- 3) 荒木 齊，谷口 保，中岡利郎，1975：N栄養と耐凍性の変動並びにTTC活性との関係，昭和49年度落葉果樹研究打合せ会議資料，果樹試。
- 4) 平田克明，柴 寿，1971：ブドウのねむり病防止のための栽培管理(1, 2)，農及園，**46**(8, 9)，1165～1168, 1314～1316。
- 5) 松山博也，星野正和，土井 憲，1970：クリの凍害防止対策，農及園，**45**(11)，1663～1668。
- 6) 同 ， 渡辺幸夫，土井 憲，足立元三，1968：クリの凍害防止試験，昭和42年度落葉果樹研究打合せ会議資料，果樹試。
- 7) 細貝節夫，峰岸恒弥，小野賀隆一，難波 正，1971：接木部位の高低と凍害発生との関係，北海道園芸研究談話会，**4**，77～80。
- 8) 池田 勇，中谷宗一，小林省蔵，1978：カンキツ類の耐寒性について，昭和52年度常緑果樹試験研

- 究打合せ会議栽培分科会資料，果樹試。
- 9) 小中原 実，1975：カンキツの寒害発生機構と防除法に関する実験的研究，静岡柑試特報，**3**，1～164。
 - 10) 同 ， 牧田好高，1977a：導入品種における品種間の夏葉の電気伝導度，昭和51年度常緑果樹試験研究打合せ会議栽培分科会資料，果樹試。
 - 11) 同 ， 同 ， 1977b：中晩生カンキツの耐凍性，(5)果肉の凍結時間と果実比重との関係，昭和51年度常緑果樹試験研究打合せ会議栽培分科会資料，果樹試。
 - 12) 同 ， 中川行夫，1980：昭和54年度異常気象の対応技術に関する総合研究推進会議資料，農林水産技術会議事務局。
 - 13) 間苧谷 徹，長谷嘉臣，1980：カンキツの苦味に関する研究，Ⅱ. 苦味発生の限界温度，果樹試報，**E 3**，67～74。
 - 14) 南館 昌，藤田俊雄，1972：青森県でのクリ栽培品種の寒害，昭和46年度落葉果樹研究打合せ会議資料，果樹試。
 - 15) 三好実成，山口勝市，石田善一，向井 武ら，1969：重油燃焼法によるナツミカン園の昇温効果，昭和43年度常緑果樹試験研究打合せ会議栽培分科会資料，果樹試。
 - 16) 三好武満，平田克明，柴 寿，1968：ブドウねむり病の発生機構と原因について，長野農試報，**33**，86～92。
 - 17) 村上準市，西山保直，1977：台木の種類が穂品種の耐凍性に及ぼす影響，昭和51年度寒冷地果樹に関する試験研究打合せ会議第一分科会資料，果樹試。
 - 18) 中川行夫，1962：果樹園の土壌管理の違いと地温の変化，果実日本，**17**(3)，43～44。
 - 19) 同 ， 1977：大型ウインドマシンによる昇温効果，昭和51年度常緑果樹試験研究打合せ会議栽培分科会資料，果樹試。
 - 20) 同 ， 1980：昭和54年度異常気象対応技術の確立に関する総合研究推進会議資料，農林水産技術会議事務局。
 - 21) 同 ， 本條 均，小中原 実，1976：晩生カンキツ果実の凍結によるす上がりの発生限界温度，農業気象，**31**(4)，195～198。
 - 22) 同 ， 角田篤義，恒遠正彦，1971：凍害程度の間接的判定，昭和45年度常緑果樹試験研究打合せ会議栽培分科会資料，果樹試。
 - 23) 中井滋郎，森岡節夫，1979：ビワ果実の寒害に関する研究(第2報)，樹冠内における気温と果実温度，千葉暖地園試報，**10**，1～7。
 - 24) 西浦昌男，吉田俊雄，1973：葉の電気伝導度・糖・水分含量の時期的変化，昭和47年度常緑果樹試験研究打合せ会議栽培分科会資料，果樹試。
 - 25) 西山保直，1977：北海道における緊急調査結果，昭和52年度果樹の寒害に関する緊急調査報告，農林水産技術会議事務局。

- 26) 同 , 村上準市, 1978 : 品種栽培法の改善による寒害対応技術の研究, 北海道地域における異常気象対応技術の確立に関する総合研究, 北海道農試.
- 27) 同 , 同 , 1979 : リンゴの寒害発生の限界気象条件の解明, 昭和 53 年度異常気象対応技術の確立に関する総合研究推進会議資料, 農林水産技術会議事務局.
- 28) 同 , 同 , 1980a : リンゴの寒害発生の限界気象条件の解明, 昭和 54 年度異常気象対応技術の確立に関する総合研究推進会議資料, 農林水産技術会議事務局.
- 29) 同 , 同 , 1980b : 北海道のリンゴ産地における寒害発生危険低温の出現頻度, 昭和 54 年度寒冷地果樹に関する試験研究打合せ会議 第一分科会資料, 果樹試.
- 30) 同 , 泊 功, 藤原 忠, 村上準市, 1978 : 気象要因と被害程度および地域性との関係についての統計的研究, 北海道地域における異常気象対応技術の確立に関する総合研究, 北海道農試.
- 31) 緒方俊雄, 柴 茂, 宮崎政善, 古原剛二, 吉野賢一, 1971 : クリの凍害防止に関する研究, 大分農技センター研報, **2**, 1~20.
- 32) 岡崎哲二, 1978 : 52 年寒波によるカンキツ被害の事例調査結果, 昭和 52 年度常緑果樹試験研究打合せ会議栽培分科会資料, 果樹試.
- 33) 大和田 厚, 船上和善, 1972 : 散水氷結防寒法試験, 昭和 46 年度常緑果樹試験研究打合せ会議栽培分科会資料, 果樹試.
- 34) 同 , 同 , 赤松 聰, 高橋敬二, 1972 : レンタン燃焼試験, 昭和 46 年度常緑果樹試験研究打合せ会議栽培分科会資料, 果樹試.
- 35) Pogolian, K.S., 酒井 昭, 1969 : ブドウの耐凍性, 低温科学生編, **27**, 125~142.
- 36) 酒井 昭, 1967 : 幼木の幹の基部における凍害, 低温科学, 生物篇, **25**, 45~57.
- 37) 佐野 洋, 平木永二, 松田儀四郎, 1976 : ヒュウウガナツの適地判定と品質向上試験, (1) すがりの発生状況と果実成分, 昭和 50 年度常緑果樹試験研究打合せ会議栽培分科会資料, 果樹試.
- 38) 柴 寿, 茂原 泉, 三好武満, 平田克明, 1978 : ブドウのねむり病に関する研究, 桔梗ヶ原 40 年の歩み, 長野農総試中信地方試研報, **1**, 274~287.
- 39) 柴 茂, 緒方俊雄, 竹田津毅之助, 1973 : クリの凍害防止に関する試験, 深耕程度と土壌管理の影響, 昭和 47 年度落葉果樹研究打合せ会議資料, 果樹試.
- 40) 下大迫三徳, 栗山隆明, 1971 : 成木園におけるしきわらと微気象について, 昭和 45 年度常緑果樹試験研究打合せ会議栽培分科会資料, 果樹試.
- 41) 白石利雄, 佐藤二郎, 三股 正, 佐藤 隆, 1975 : ウインドマシンによるヒュウガナツの寒害防止試験, 昭和 49 年度常緑果樹試験研究打合せ会議栽培分科会資料, 果樹試.
- 42) 谷口哲徹, 白井敏男, 1972 : 小型ウインドマシンの昇温効果, 昭和 46 年度常緑果樹試験研究打合せ会議栽培分科会資料, 果樹試.
- 43) 坪井八十二, 1964 : 寒害からみた柑橘栽培の不適地判定法の一試案, 農業気象, **19**(4), 145~149.
- 44) 土屋和士, 荻原更一, 窪田友幸, 1972 : ブドウの凍害防止に関する試験, 昭和 46 年度落葉果樹研究打合せ会議資料, 果樹試.
- 45) 塚本 実, 後藤光憲, 1976 : 接木方法による凍害回避と接木初年度の樹の生育の関係, 昭和 50 年度落葉果樹研究打合せ会議資料, 果樹試.
- 46) 内田 誠, 吉永勝一, 河瀬憲次, 1976 : 福原オレンジの低温によるすがりに関する研究, (1) 気温の最低極温とその持続時間の影響, 昭和 50 年度常緑果樹試験研究打合せ会議栽培分科会資料, 果樹試.
- 47) 内原 茂, 三島恭一, 仁志正己, 1970 : クリの凍害防止に関する研究, 昭和 44 年度落葉果樹研究打合せ会議資料, 果樹試.
- 48) 上野武男, 森本拓也, 大畑 繁ら, 1978 : 昭和 52 年度常緑果樹試験研究打合せ会議栽培分科会資料, 果樹試.
- 49) 山本忠義, 1975 : クリの凍害に関する研究, 種・品種別枝の耐凍性, 昭和 49 年度落葉果樹研究打合せ会議資料, 果樹試.
- 50) 安延義弘, 1969 : 栄養状態がクリの耐凍性に及ぼす影響, 昭和 43 年度落葉果樹研究打合せ会議資料, 果樹試.
- 51) 吉田俊雄, 1974 : 耐凍性の品種間差異の判定, 昭和 48 年度常緑果樹試験研究打合せ会議栽培分科会資料, 果樹試.