

開花期のニホンナシ園における気温分布の推移

瀬古澤由彦*

筑波大学生命環境科学研究科生物圏資源科学専攻（農林技術センター），
305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1

要 旨

微気象の制御による凍霜害の効果的な防止法確立のため、開花期における平棚栽培のニホンナシ園内の気温分布の推移について調査を行ったところ、次のようなことがわかった。平棚仕立てのニホンナシ園では、地面に近い地上0.2m地点で棚下の地上1.2m地点よりも、気温が低い傾向であった。また、気温の推移パターンは果樹園内の異なる位置では大きく異なり、昼夜によっても果樹園内の気温勾配が大きく変化した。さらに果樹園内の同地点においても、その高さによって、気温の推移パターンは異なる傾向であった。以上のことから果樹園内の霜害による被害を受けやすいと考えられる地点においては、開植時に栽培的対策が必要であると考えられた。また晩霜害防止法確立のためには、他の気候要素と霜害に関する実地調査結果との関連も含めて、さらなる詳細な解析が必要である。

キーワード：気温分布，早期開花，霜害，地球温暖化，微気象

緒 言

植物の中でも永年性作物である果樹は、人為的に作期を移動することが難しく、温度変化等の気象変動により、非常に影響を受けやすい。実際に我が国においても、果実の着色不良や果肉の軟化など温暖化の影響による可能性が推定される現象が、全国規模で確認されつつある。また現在のリンゴや温州ミカンの日本における主生産地のほとんどが、今後温暖化が進めば、栽培適地から外れるとのシミュレーション結果も出ている（杉浦・横沢 2004）。

このように果樹生産現場では生育期の変動がすでに起きつつあり、ニホンナシを含む他の落葉果樹においてもこのまま温暖化が進むことにより、発芽・開花期の前進が予測されている（本條 2005）。反対に、このまま温暖化が進行すれば、自発休眠打破に必要な低温要求量が満たされず、休眠打破の不良や不時開花などを招くことも予想され、我が国においてもこのような状況が、現在の栽培南限地域で近い将来現れる可能性が高い。

現在、懸念されている問題の一つとして、低温による被害、すなわち凍霜害の発生がある。果樹栽培において、開花期の低温による被害の回避や軽減は重要な課題であるが、温暖化により開花期が前進し、開花期における不測の低温により、晩霜を被る可能性はいつそう高くなる

* Corresponding Author: sekozawa@sakura.cc.tsukuba.ac.jp

と予想され、その対策法の確立は急務と考える。

果樹の凍霜害防止対策の現状としては、発生の可能性がある危険地帯での栽培を避けることや、低温耐性が強く、開花期が降霜時期と重ならず晩霜の被害にあいにくい果樹や品種を栽培するなどの、栽培的対策がまず挙げられる。また、最近では気象予報技術の進歩や局地的冷却現象の解析法の発達により、前日から数日前の時点で霜害発生の予報ができるようになってきている（高山ら 1999）。その情報をもとに晩霜害防止法として寒冷紗による被覆、ファンによる送風やスプリンクラーによる散水（氷結法）、また燃料を燃焼させることなどの微気象の調節による防止法が一般的に行われている。また興味深い霜害の防止法として、セイヨウナシにおいて霜害や火傷病を制御するため、氷核活性細菌と拮抗する微生物を処理することにより、霜害の発生を抑えることができるとの報告があり、様々な系統の細菌が商業的に使用できるかどうか試験が進められている（Lindowら 1996）。また、晩霜害により受精が不全であった花器に対し、ジベレリン処理によって単為結果をさせ、収穫物を得る試みも行われている（猪俣ら 1993）。しかし、この方法により生産される果実は品質が悪く、一部には生理障害も発生してしまう。また、他の植物成長調節物質を用いた試験報告もあるが、年度や処理時の植物体、および環境状況によって大きく効果が変動することがあり、実用的な面も考慮に入れた場合、更なる検討が必要である（Sekozawaら 2003）。一般的には、上記のような新規の方法においても現在のところ、晩霜の発生を完全に防ぐことは困難な場合が多い。

このように凍霜害の発生に対し、その対策については現在においても、以前から行われてきた微気象の制御による防止法が多数を占め、果樹園内におけるその変動を詳細に調査することは、凍霜害をより効果的に防止するためには欠かせない。

そこで本報は開花期における平棚栽培のニホンナシ園内の温度分布の推移について詳細な調査を行った。

材料および方法

1. 実験圃場

観測は茨城県西部の筑西市（旧関城町）の平棚仕立てニホンナシ圃場を使用した。図1に示すとおり、圃場の大きさは約北西～南東70m、南西～北東50mであり、西方に農業用道路、南方に用水路が流れている。5 m×5 mの栽植密度で‘幸水’および‘豊水’が栽植されていたが、2006年3月時点では半分ほどに間伐されており、平棚の高さは約1.7mであった。

2. 微気象の観測

2006年3月23日にナシ園内に温度記録用データロガー（THR-10, Maxell Co.）の設置を行った。データロガーは地上1.2mに5箇所、また同地点の地上0.2mに同様に5箇所設置し、測定間隔はともに15分とした（図1）。データロガーは風雨、直射日光、散布薬剤から保護するため、ポリエチレンの袋で密閉し、外側にアルミ箔を巻いた、ポリエチレンテレフタレート製の笠をかぶせた。データの収集は設置日から、5月19日まで連続測定を行った。取得したデータの解析はニホンナシの萌芽を確認した4月7日から、降霜の危険が無くなったと思われる4月30日までの期間について行った。また、市販の気象観測ユニット（Weather station Vantage Pro2, DAVIS, USA）を地上1.2mに、データロガーとは異なる地点に4機設置し、同

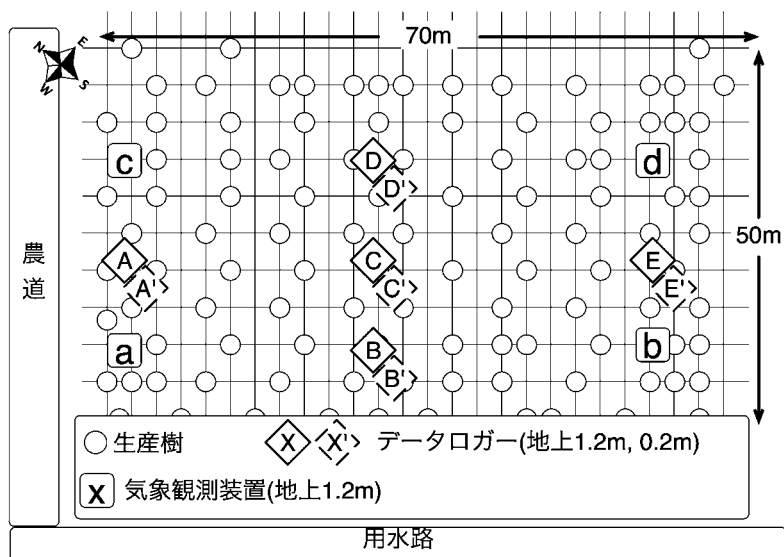


図1 実験圃場の概略図.

期間測定を行った。

これらを併せてニホンナシ園内の気温の分布の推移について解析を行った。

結 果

この年は観測を行った茨城県西部において、2006年4月22日、4月26日に降霜が報告された。

1. 地上からの高さによる気温分布の観測

図2に示したように、測定期間全体を通して比較した場合、地上1.2m (A, B, C, D, E) 地点で0.2m (A', B', C', D', E') 地点に比べ、平均気温で約0.4℃気温が高かったものの、それほど大きな差は見られなかった。日中 (6:00~18:00)、および夜間 (18:00~6:00) に分けて検討したところ、日中では平均気温でおよそ0.5℃、1.2m地点で気温が高く、また夜間においても同様に平均気温で0.3℃、1.2m地点が高く、大きな差は無かったものの地面に近い0.2m地点で、常に棚下の1.2m地点の気温よりも低い傾向であった。

次に降霜のあった2006年4月22、26日の早朝を含む、特徴的な一日における温度変化が観測された例を図3、4に示した。

2006年4月8~9日における夜間の気温の推移をみたところ、地上0.2mの気温が1.2mに比べ低く推移しており、最大で約1℃の差があった。霜害の危険が最も高まる早朝にその日の最低気温、1℃を観測したが、この時点では高さによる気温の差は縮まっていた。降霜が確認された4月22、26日早朝においても、高さによる気温の差は、あまり見られなかった。前述の例とは異なり、夜間における気温低下がほとんど観測されなかった2006年4月19~20日にかけては、常に地上0.2mの気温が1.2mに比べ低く推移していた(図3)。

また夜間と同様、日中の気温変化においても高さによる差は大きくは無かった(図4)。

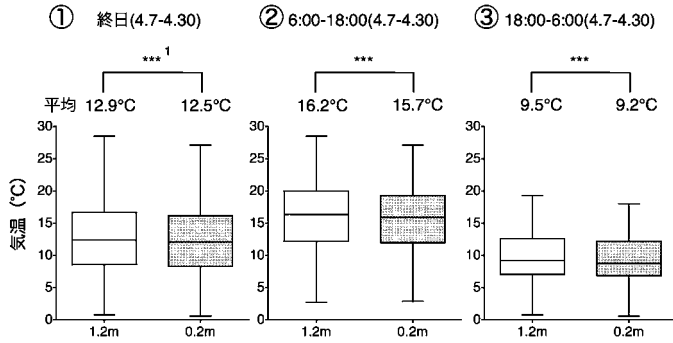


図2 2006年4月7～30日におけるニホンナシ園内の高さ別の気温分布。
t検定により、***は0.1%水準で有意差あり

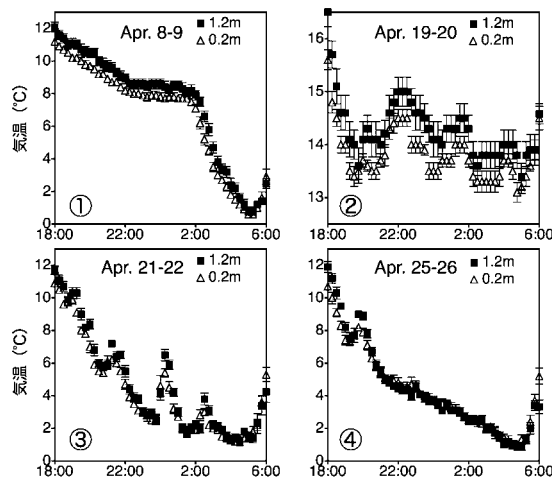


図3 2006年4月におけるニホンナシ園内の高さ別の気温の推移(18:00～6:00).
縦線は標準誤差を表す(n=5)

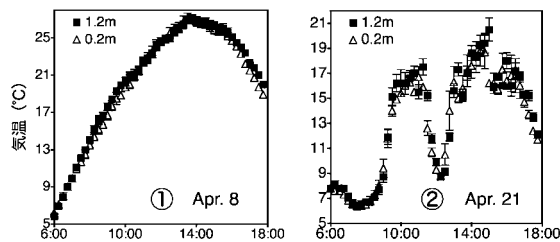


図4 2006年4月におけるニホンナシ園内の高さ別の気温の推移(6:00～18:00).
縦線は標準誤差を表す(n=5)

2. 果樹園内の位置による気温分布の観測

(1) 北西～南東方向

図5に地上1.2mと0.2mにおける北西～南東方向(地上1.2mではA, C, E, 0.2mではA', C', E'地点)にかけて測定された気温分布を示した。まず昼夜を通じた測定期間全体で比較した場合、地上部からの高さによって、北西～南東方向の気温分布の傾向が異なった。地上1.2mでは北西部(A)の平均気温が最も低く、南東方向にむけて気温が上昇する傾向が認め

られたが(図5-1), 地上0.2m 地点では, 果樹園の中央部(C')で測定期間中に観測された最高気温が高く, 大きな差は見られなかったものの, 中央部で気温が高く推移する傾向が認められた(図5-2)。さらに日中(6:00~18:00), および夜間(18:00~6:00)に分け検討したところ, 日中の地上1.2m 地点では測定された気温の差は小さく(図5-3), しかし地上0.2m 地点では有意に中央部の気温が高くなっていった(図5-4)。夜間においては1.2m 地点で北西部(A)において1℃気温が低く, 北西~南東方向にむけて気温が上昇していく傾向が認

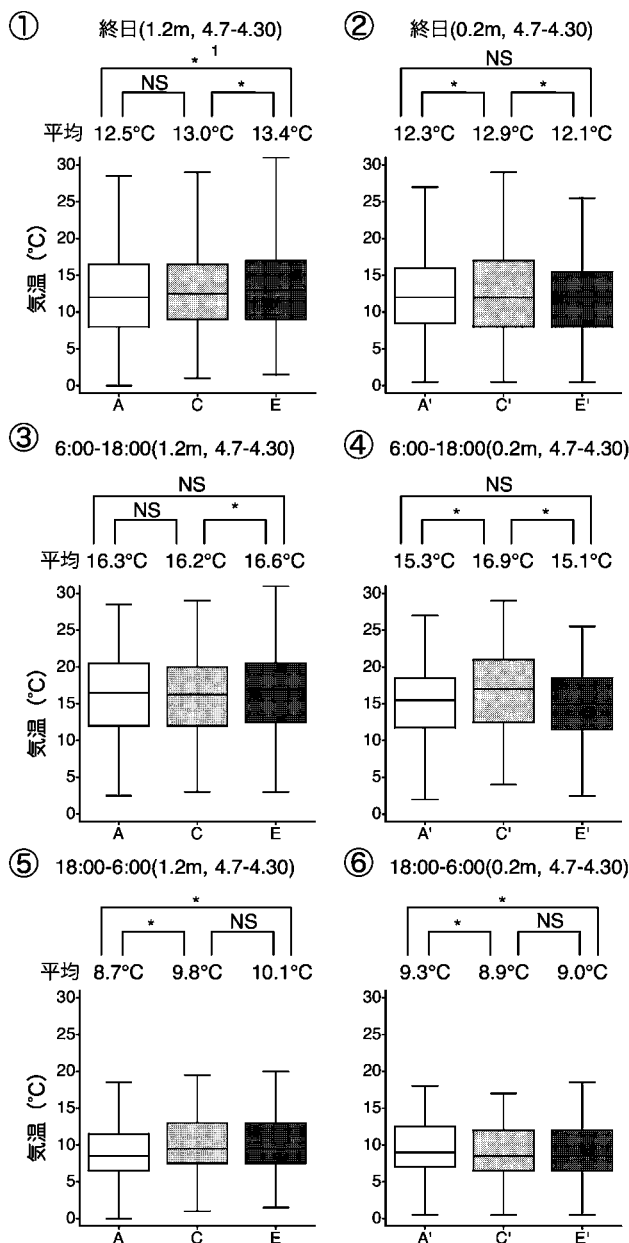


図5 2006年4月7~30日におけるニホンナシ園内の方位別(北西~南東)の気温分布.
¹TukeyのHSD検定により,*は5%水準で有意差あり

められたが(図5-5), 反対に0.2m 地点では北西部(A')で最も高く, 中央部の気温が低くなっていた(図5-6)。また夜間においては南東方向に向かうに従って, 地上部からの高さによる気温差が大きくなっていく傾向が見られた。

一日における夜間の気温の推移を図6に示した。図5-5で示したように地上1.2m 地点では, 測定期間を通した夜間において確認された, 北西部において気温が低く推移する傾向がほとんどの日で確認された。特に2006年4月8~9日における夜間においてその傾向は顕著であり, 北西部(A)において最大で約1℃以上気温が低く推移していた(図6-1)。反対に同日

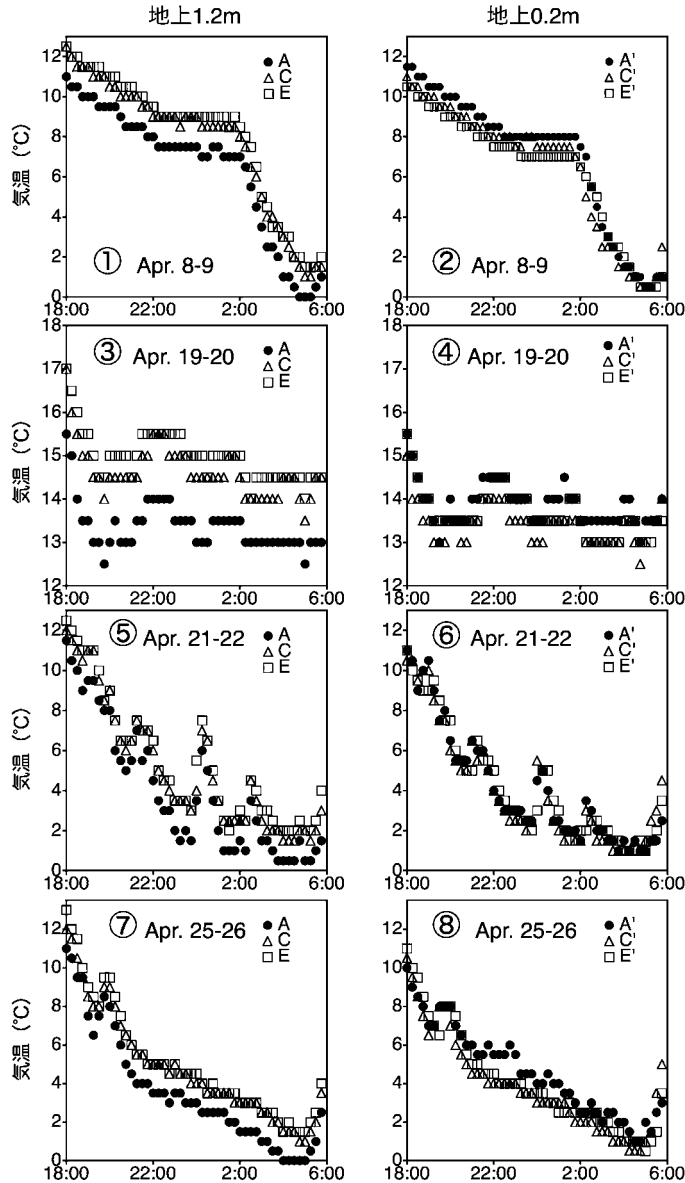


図6 2006年4月におけるニホンナシ園内の方位別(北西~南東)の気温の推移(18:00~6:00)。

の地上0.2m 地点では1.2m 地点とは異なり、AM 2:00 ぐらいまでは南東部に向かうほど気温が低く推移する傾向であったが、日の出前の早朝においては果樹園の位置による差はほぼ見られなく、1.2m 地点に比べ約0.5℃ほど高い最低気温を示した(図6-2)。降霜が確認された4月21~22日、25~26日の夜間の温度変化を解析したところ、ほぼ同様の傾向が見られた(図6-3, 4, 5, 6)。また、気温低下があまり見られなかった2006年4月19~20日の夜間においても、地上1.2m 地点では北西部において気温が低く、反対に地上0.2m 地点では高く推移する傾向が確認された(図6-7, 8)。

北西~南東方向にかけての一日における日中の温度変化を図7に示した。地上1.2m 地点では日によって気温分布の傾向は大きく異なった。4月18日の日中、6:00~18:00にかけては明らかに北西地点(A)で他の地点よりも気温が高く推移していたが(図7-1)、反対に4月21日においては南東部の気温が高く推移していた(図7-3)。

地上0.2m 地点では中央部の気温が高く推移する測定期間全体を通して確認された傾向が、観測を行ったほとんどの日で確認された(図7-2, 4)。

(2) 南西~北東方向

図8に地上1.2m と0.2m における南西~北東方向(地上1.2m ではB, C, D, 0.2m ではB', C', D')にかけての測定期間を通した気温分布を示した。測定期間全体を通して比較した場合、北西~南東方向で比較した場合と同様に、観測地点の高さによって気温分布の傾向は大きく異なった。地上1.2m では北東地点(D)で平均気温が最も低くなる傾向が認められたが(図8-1)、0.2m 地点では反対に南西地点(B')で最も気温が低くなっており、中央部においては地上からの高さによる差がほとんど見られなかった(図8-1, 2)。日中の時間帯だけで比較した場合では、地上1.2m 地点では、昼夜を合わせた傾向と同様に北東地点で平均気温が

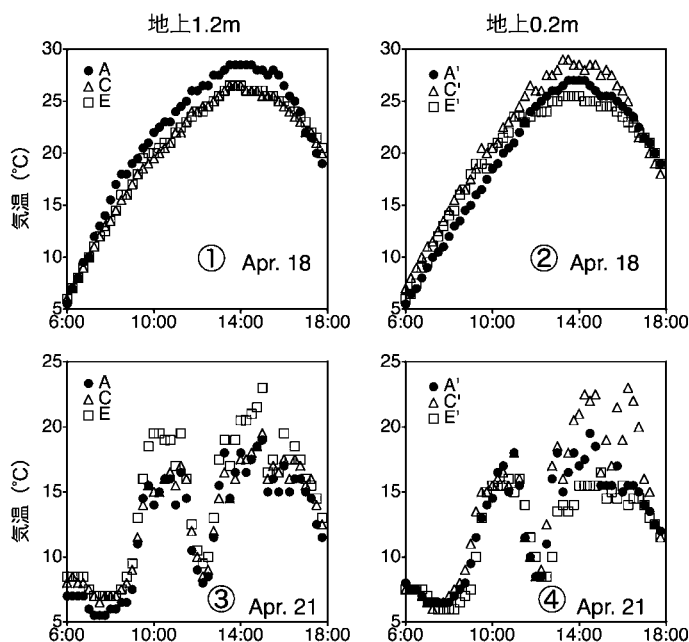


図7 2006年4月におけるニホンナシ園内の方位別(北西~南東)の気温の推移(6:00~18:00)。

低くなる傾向が認められた(図8-3)。しかし地上0.2m地点では昼夜含めた期間全体での傾向と異なり、有意に中央部の気温が高くなっていた(図8-4)。夜間から早朝にかけては地上1.2m地点で日中と同様に北東地点で平均気温が最も低くなる傾向が認められたが、その差は日中に比べ縮まっていた(図8-5)。また0.2m地点では日中での傾向とは反対に、有意に中央部の気温が低くなっていた(図8-6)。

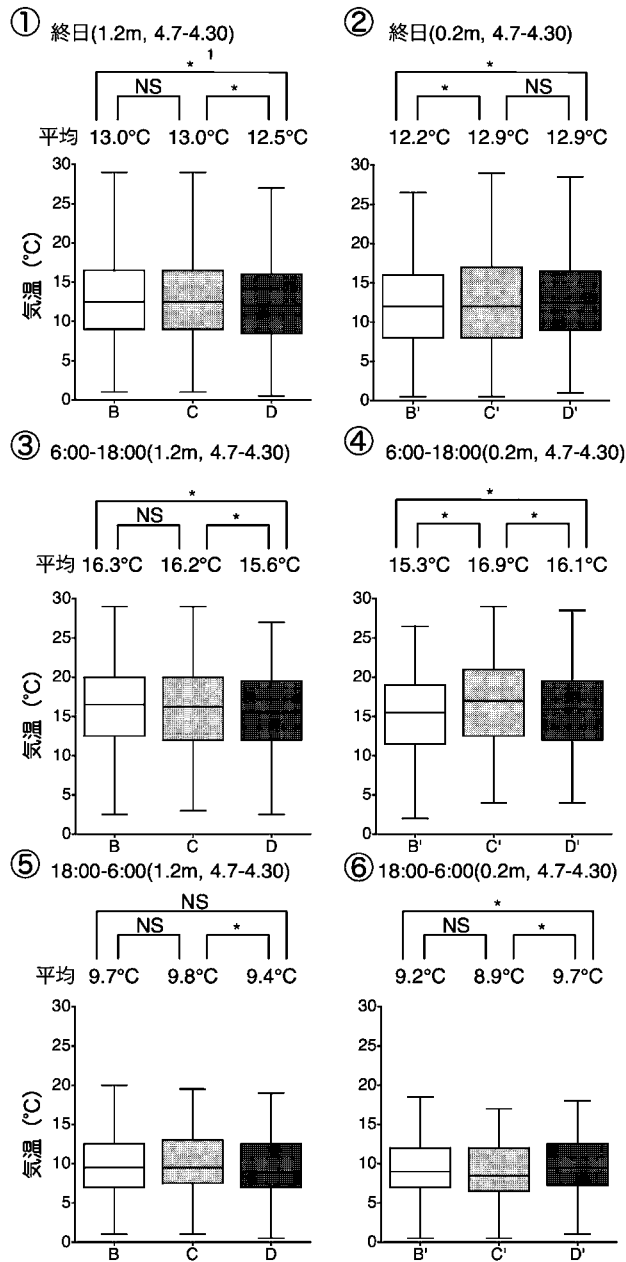


図8 2006年4月7～30日におけるニホンナシ園内の方位別(南西～北東)の気温分布。
¹TukeyのHSD検定により、*は5%水準で有意差あり

一日における推移を見た場合、夜間において地上1.2m では測定期間を通した傾向通りであり、北東部 (D) において気温が低く推移していた (図9-1, 3, 5, 7)。また0.2m 地点でも測定期間を通した傾向と同様であり、中央部 (C') で気温が低く推移する傾向であった。このようにほとんどの日の夜間において、同様の傾向が見られた (図9-2, 4, 6, 8)。

日中においては地上1.2m 地点では、測定期間を通した傾向通り、西南部 (B) に比べ北東地点 (D) では気温がわずかに低く推移する傾向が認められた (図10-3) 日もあったが、設置位置によって気温の差がほとんど見られなかった (図10-1)。地上0.2m では測定期間を通した傾向どおり、ほとんどの日において中央部 (C') で気温が高く推移していた (図10-

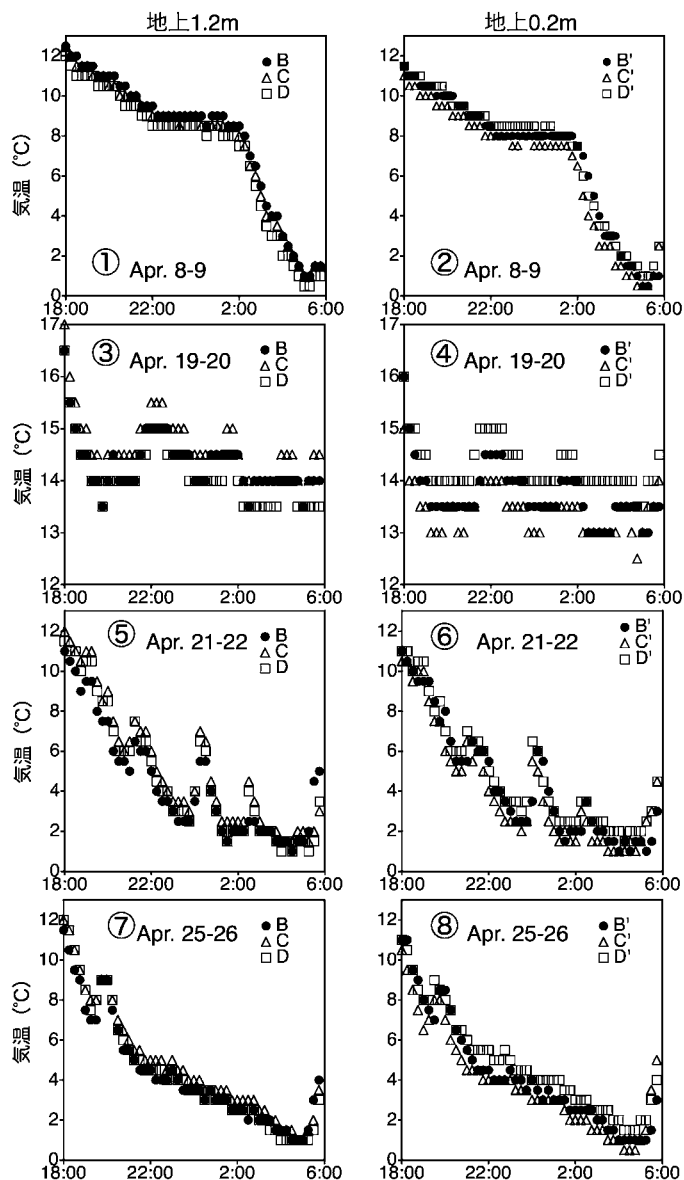


図9 2006年4月におけるニホンナシ園内の方位別 (南西～北東) の気温の推移 (18:00～6:00)。

2, 4)。

3. 測定機器の種類による測定された気温の差異の検討

今回の測定において、データロガーを使用した測定の場合、特に日中で急激な気温の変化が観測されたため、気温の測定方法に関して検討を行った。地上1.2mの気温について、温度測定用のデータロガーに加えて、市販の気象観測ユニットを使用し、この2種類の機器における測定された気温の差異の有無を検証した。図1に示したように、今回は全くの同一地点において測定を行っていないが、均等に測定に使用した園内全体に配置されているため、果樹園全体でのそれぞれの機器で計測される気温の結果について評価を行った。

測定期間全体を通して評価を行ったところ、機器の種類による明らかな差異が見られた(図11-1)。次に日中(6:00~18:00)と夜間(18:00~AM 6:00)に分け、それぞれについて評価したところ、日中においては特に顕著に機器による測定気温の差異が見られたものの(図11-2)、夜間においてはその差が小さくなっており、機器の違いによる測定された気温に差異は認められなかった(図11-3)。

つづけて一日における変化を見た場合、夜間に比べ、明らかに日中において測定される気温に差異が確認された(図12)。

考 察

果樹をふくむ植物は季節やその生育段階において低温耐性が変化するとされており、秋から

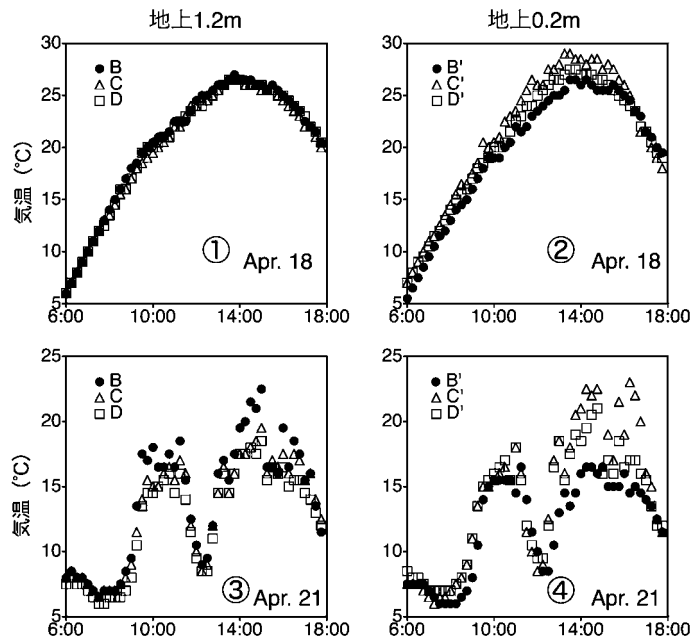


図10 2006年4月におけるニホンナシ園内の方位別(南西~北東)の気温の推移(6:00~18:00)。

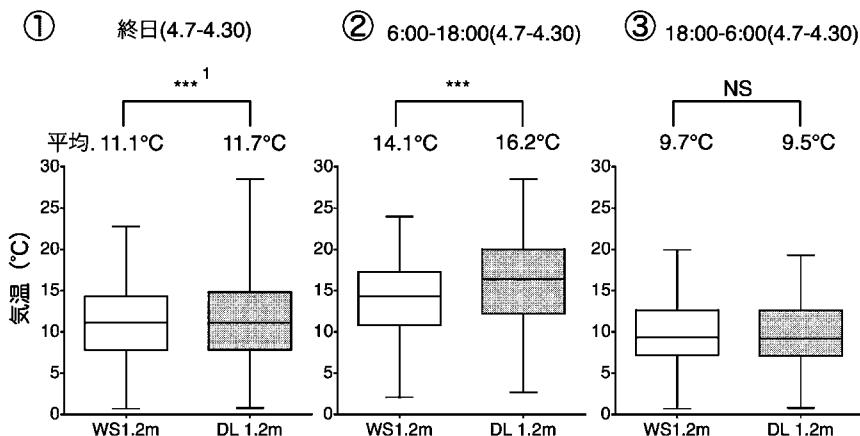


図11 2006年4月7～30日におけるニホンナシ園内の測定機器別の気温分布。
tの検定により、***は0.1%水準で有意差あり

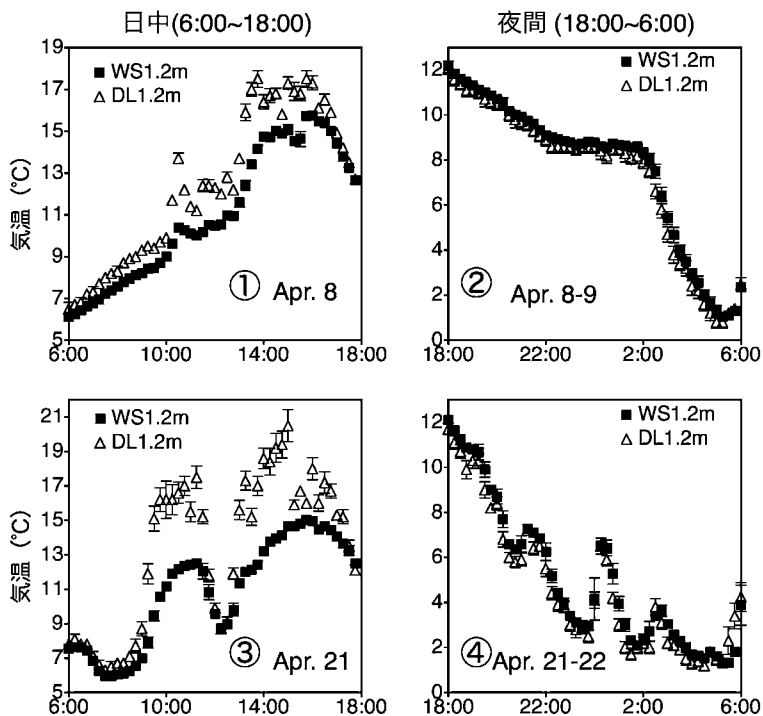


図12 2006年4月におけるニホンナシ園内の測定機器別の気温の推移。
縦線は標準誤差を表す (WS n = 4, DL n = 5)

冬にかけて低温耐性を著しく高めていくが、それに対応して代謝系や細胞の構造、および成分が著しく変化する(酒井 1982)。将来、温暖化によってハードニング(低温順化)が充足しない果樹では、厳冬期における低温耐性が劣ることが予測される。また、温暖化による開花期の前進が、不意の低温による晩霜を誘発する可能性も今後高くなると考えられる。

著者が以前行った試験においてニホンナシ‘幸水’の花芽は10月中旬においては-5°Cの低温でも若干の傷害がみられ、-10°C以下では低温による傷害が著しかった。その後気温が低下

するに伴い低温耐性を高めていき、12月には -20°C の低温遭遇後も傷害の様子は見られなく、翌年の3月中旬まで高い低温耐性を保った。しかしその後、気温が上昇するに伴いデハードニングが始まり4月になると著しい低温耐性の低下が確認された(瀬古澤 2004)。また、ニホンナシの花器においては開花前後、低温に最も弱いのは雌ずいや胚珠であると考えられており(猪俣ら 1993)、 -3°C の低温に遭遇させた場合、被害が著しい。

霜害の発生には、植物における凍結機構とその凍結の制御機構が重要であることがわかってきている。とりわけそれぞれの器官の組織において、過冷却が破れ、氷晶が形成始める、つまり氷核活性の閾値を下回るかどうかによって、大きく被害の状況が異なる。したがって園地の内部におけるごくわずかな気温の差異によって、凍霜害の発生やその被害の程度が左右されると考えられる。

凍霜害の諸問題については生産者の経験的感覚に基づく推論や栽培現地における通説が広く伝搬しており、いわゆる「霜が降りてくる」という表現がよく用いられる。そのためまず、棚下の高さによる気温の分布の推移について調査を行ったところ、著しい差は見られなかったが、日中および夜間ともに棚直下の地上1.2m地点の方が高い気温であった。茶園における調査においても地上に近づくにつれて気温が低下することを示しており、また放射冷却時には茶株面の葉温と気温の差は大きく異なり、物体の表面温度は気温に比べ著しく低下することを示している(静岡県農林水産部 2004)。今回の調査においても霜害発生の報告があった2006年月22日、26日において花器の花托部に軽微ではあったが障害がみられたが、地上1.2m地点では氷点下以上の気温しか観測されなかった。よってナシの花器においても茶と同様に、表面組織の温度は気温に比べ著しく低下していたと考えられた。

つづけて果樹園内の位置による気温分布の推移を調べたところ、設置高さ、および時間帯によって大きく傾向が異なった。棚直下の地上1.2m付近では日中においては中央部から北東部でわずかに気温が低い傾向が見られたが、あまり大きな差は認められなかった。それに対し夜間においては明らかに、中央部から南部に比べ北部で気温が低く、明け方の最低気温時には最も低温障害が起こる可能性が高いと考えられた。また地上0.2m地点では外周部に比べ、園の中央部で夜間は気温が低くなり、反対に日中は上昇する傾向が認められた。

放射冷却による露地の植物体の温度低下は風の有無が大きく関与していると考えられており、北側の棚下の地上1.2mでは夜間、空気の攪乱が起こりにくく、放射冷却が進みやすい可能性が示唆された。また地面に近い0.2m地点では、ナシ園の周囲から吹き込む風の影響を受けにくい中央部において、夜間気温が低下したと考えられる。

以上のように夜間に他の地点よりも気温が下がる傾向があるナシ園北側において、日中では気温が他の地点よりも著しく低いわけでは無く、この一日における温度変化によって、開花期の花器におけるデハードニングが他の地点よりも進む可能性も考えられた。そのためこのような霜害による被害を受けやすいと考えられる地点においては、果樹園の開植の際に、低温耐性の高い品種や開花期の遅い品種を選択する等の栽培的対策が必要と考えられた。

また、測定機器の種類によるデータの差異の検討を行ったところ夜間においては大きな差は見られなかったが、日中においては、顕著に機器による測定された気温に差異が見られた。これは各機器のセンサー部の形状や分解能および設置状態が異なることが影響していると考えられる。とくにデータロガーは風雨、直射日光、散布薬剤から保護するため密閉しており、外気の温度を正確に計測できていない可能性も考えられる。また日中、急激に温度上昇することも

あり、これは機器自体の体積も小さいため、日中の直射日光等による機器自体の温度上昇の影響を受けやすいのではないかと考えられた。そのため、特に日中の測定においては使用する機器の選定には、十分注意する必要がある。

今回の調査によってニホンナシ園内の気温分布が時間的および空間的差異によって、刻々と変化することが明らかにされた。しかし今回の解析は気温のみの結果であり、風速、風向といった他の気象要因については解析を行っていない。そのため微気象の制御によるより効率的な凍霜害の発生防止法の確立のためには、今回明らかになった気温分布の推移と他の気象要因との関連性、また実際の霜による障害の発生頻度および深刻度についても調査を行い、詳細かつ総合的に解析する必要があると考える。

謝 辞

本研究の一部は科研費「温暖化時代における果樹生活環の安定化—休眠芽のレドックスと水の動態制御の分子機構」(18208003)の助成を受けたものである。

引用文献

- 本條 均 2005. 寒候期の気候温暖化が落葉果樹の休眠、開花現象に及ぼす影響. 園学雑. 74(別2). 64-65.
- 猪俣雄司・八重垣英明・鈴木邦彦 1993. ジベレリン処理によるニホンナシの晩霜害軽減対策. 農業気象. 49. 105-109.
- Lindow, SE, McGourty, G and Elkins, R 1996. Interactions of antibiotics with *Pseudomonas fluorescens* strain A506 in the control of fire blight and frost injury to pear. *Phytopathology* 86. 841-848
- 酒井 昭 1982. 植物の耐凍性と寒冷適応. 学術出版センター. 東京
- Sekozawa, Y., Sugaya, S., Gemma, H. and Iwahori, S. 2003. Cold tolerance in 'Kousui' Japanese pear and possibility for avoiding frost injury by treatment with n-propyl dihydrojasmonate. *HortScience*. 38. 288-292.
- 瀬古澤由彦 2004. ニホンナシの凍霜害発生機構とその防止法に関する研究. 筑波大学農林学研究. 11. 6-18.
- 静岡県農林水産部 2004. 凍霜害の発生メカニズムと昇降式防霜ファンによる葉温上昇効果の特性. あたらしい農業技術. 436. 1-4
- 杉浦俊彦・横沢正幸 2004. 年平均気温の変動から推定したリンゴおよびウンシュウミカンの栽培環境に対する地球温暖化の影響. 園学雑. 73. 72-78.
- 高山 成・早川誠而・川村宏明 1999. 霜害発生予察のための50m メッシュ地形情報を用いた局地的冷却現象の解析. 農業気象. 55. 235-246.

Distribution of Air Temperature in a Japanese Pear Orchard and its Change Throughout Flowering Period

Yoshihiko SEKOZAWA*

Biosphere Resource Science and Technology, Graduate School of Life and Environmental Sciences (Agricultural and Forestry Research Center), University of Tsukuba, Tsukuba 305-8572, Japan

Abstract

In order to establish the new applicable management methods aiming at preventing frost injury, the distribution of air temperature and its change were investigated throughout flowering period in a Japanese pear orchard with trellis training system. The air temperatures at the points 0.2m above the ground were lower than that of 1.2m. The changing patterns of air temperature were different depended upon different position in the orchard, depicting different gradient patterns at the night or daytime. Therefore, cultural control method is important at a position with risk of frost injury in the orchard. It is necessary to analyze effects of other climatic elements and results of field survey about frost injury in the orchard, more carefully.

Key words: Distribution of Air temperature, Frost injury, Global warming, Micrometeorological phenomena, Precocious flowering

* Corresponding Author: sekozawa@sakura.cc.tsukuba.ac.jp