

50 m メッシュ気候値情報とキャベツ凍害の被害実態の関係

五十嵐大造*・大原源二**・鈴木邦彦*・井上知昭*・松山明彦***・石原良行****

(平成 16 年 8 月 23 日受付/平成 17 年 1 月 28 日受理)

要約：三浦半島のキャベツ栽培地帯では凍害の多発地区とそうでない地区が混在していることが過去 16 年間に渡って行われた現地調査から明らかとなっている。凍害は、基本的に最低気温が低下しやすい場所ほど発生率が高くなることから、最低気温の温度分布の実態を、50 m メッシュ気候値分布図によって細かく示すことができれば、省力的に半島全体の凍害発生危険地区を把握できるとともに、適地適作を行うための基礎資料の構築が可能と考えられる。そこで、三浦半島のキャベツ栽培地帯 36 カ所に 5 分毎に計測できる温度記録計を設置し、計測日、計測時間帯を異にして収集した実測値を基にいくつかの 50 m メッシュ気候値分布図を作成した。過去 16 年間に渡り毎年行ってきたキャベツの凍害実態調査結果をもとに、50 m メッシュ気候値分布図が凍害発生危険地区を示すことができるかどうかを検証した。その結果、晴天、低温および弱風条件下という、とくに冷え込みが厳しい条件下でのデータを元に作成した 50 m メッシュ気候値分布図は、凍害実態調査結果で示された凍害発生率の高い地区が他の地区よりも一段と低温になることを示すことができることが明らかとなった。一方、日中では、凍害発生率の高い地区は高温で示された。50 m メッシュ気候値分布図で凍害の多発地区を把握するには、このような条件を絞り込んだ上で作成する必要があると考えられた。

キーワード：キャベツ、凍害、50 m、メッシュ気候値、微気象

緒言

神奈川県三浦半島地域は冬季温暖な気候（1月の平均気温 6.4°C、同最低気温 2.7°C）を生かして、キャベツやダイコンの栽培が盛んである。このうちキャベツでは 8 月下旬に播種、12～3 月にかけて収穫される約 400 ha の冬どりキャベツと、9 月に播種、3～5 月に収穫される約 700 ha の春どりキャベツが栽培されている。冬どりキャベツでは、冬期温暖という三浦半島の気候資源を活かすとともに、市場で有利に販売するため、葉が柔らかく結球内部が黄緑色である‘春系’の品種が栽培されている。しかし、冬期温暖とはいえ、低温に対しては限界に近い条件で栽培されている。したがって、わずかな気象の変動で、しばしば凍害および凍害を起因とする「腐敗病」の被害を受け大きな問題となっている¹⁾。

凍害は、主として低温の程度（最低葉温とその持続時間）と植物自身の耐凍性の強さが関連して発生する²⁾。さらに、日照時間によっても耐凍性が影響される³⁾。キャベツは秋から冬にかけて気温が低下していく過程で低温馴化（ハードニング）により耐凍性を高めていくので、この時期に平年値並に低下していけば凍害の発生は少なく、逆の条件下

では増加する場合が多い。また同時に 1 日の気温の変動によっても日々耐凍性は可逆的に変化する⁴⁾。このように凍害の発生には複数の環境要因が考えられるが、これらの気象要因は基本的にキャベツ栽培地帯全体に影響を及ぼす。また、キャベツへの直接的な凍害発生要因は、生育期間中に耐凍性を上回る低温に遭遇し、組織が障害を受けることである⁴⁾。したがって、生育期間中の極温としての最低値が大きな影響を与えることとなり、極温は場所によって大きく変動すると考えられる。

凍害の発生はキャベツの品種、生育ステージおよび圃場の温度、土壌、風通し等の生育環境条件によって影響を受ける⁴⁾。生産現場では、栽培品種は‘金春’に統一されており、播種から収穫時期に至る栽培時期もほぼ同じであることから、生育環境条件が現場での局地的な凍害発生にもっとも大きな影響を与えていると考えられる。このうち気象条件だけを対象にすれば、極温としての最低値がより低く出現しやすい地区および圃場ほど、凍害の発生の危険が高いと考えられる。

このような状況のもとで過去 16 年間に渡る現地調査結果から、凍害は圃場が台地上でなく周辺よりも低位にある「下畑」、「通風性・排水性不良畑」および「平坦」な畑に発

* 東京農業大学短期大学部生物生産技術学科

** 独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構 近畿中国四国農業研究センター

*** 神奈川県立中央農業高校

**** 栃木県農業試験場

生しやすく、きわめて近接した栽培地区でも、被害発生率の高い地区と少ない地区があり、凍害の発生率の高い地区は限定されることが明らかにされている⁵⁾。また、同じ地区内でも隣接した圃場間で発生率に大きな差があることが経験上明らかにされている。したがって凍害発生率の高い場所を圃場毎に明らかにして、有効な対策を講じるためには、さらに圃場毎でも対応できる詳細な温度データを開示することが有効と考えられる。とくに極温としての最低値の温度分布を示す必要があると考えられる。

三浦半島の地表温度分布図として、これまで気象衛星“NOAA/AVHRR”のデータが得られている⁶⁾。しかし、その分解能が1.1 kmであることから、そのデータからでは圃場毎の温度どころか、近接した地区の温度分布すら把握することはできない。

これまでも、兵庫県山間部を対象に50 m メッシュ気温分布図と野菜作付け事例を詳細に示した上で、50 m メッシュ気温分布図の有効性が示されるなど、その応用例が多く示されている^{7,8)}。三浦半島でも50 m メッシュ気温分布図によって、気温を圃場レベルで、かつ半島全体という面的なレベルで明らかにすることができれば、凍害対策を講じる上で極めて有益な情報となり得るものと思われる。凍害に関しては、すでに50 m メッシュ気温分布図によって、地形の冷却現象の解明も試みられている⁹⁾。しかし産地全体の温度分布を知り、具体的に凍害発生に焦点をあてて凍害発生の実態を捉えようとした例はない。

そこで、50 m メッシュ気温分布図を圃場毎の被害回避などに活用していく上での問題点を把握する前段階として、いくつかの50 m メッシュ気温分布図を作成し、これまでの現地での実態調査の蓄積を基にした地区別の凍害発生の実態を表すことができるかどうかを検証した。その結果50 m メッシュ気温分布図を作成するためのデータ収集法において、若干の知見が得られたので報告する。

試 験 方 法

(1) 被害実態調査

三浦市および横須賀市南部に広がっているすべてのキャベツ栽培地帯35地区にある圃場を対象とした(図1)。1地区につきランダムに概ね10 a以上の5圃場を調査対象とし、1圃場でまとまった場所に栽植されている100株、計500株のキャベツを調査した。

調査は、凍害の発生状況を立毛状態で観察した。凍害を受けた結球葉は、脱水症状を示し、さらに進行すると薄皮状となって壊死する。その発生程度の進行状況と被害面積から、0(無発生)、1(一部発生が認められるが商品価値は失っていないもので被害面積が5%以下であるもの)、2(出荷は可能で被害面積が6~20%のもの)、3(いわゆる剥き球としての出荷は可能で被害面積が21~50%のもの)、4(被害面積が51%以上で出荷不能なもの)の5段階で指数化した。凍害を起因とする腐敗病の発生状況についても、その病徴を同様に5段階で指数化した。

1地区につき、500株のうち発生程度が1以上のものはすべて発生株と判断してその発生率を求めるとともに、発

生度として次式によって求めた。

$$Y = \sum_{i=1}^{500} \{X_i / (500 \times 4)\} \times 100 \quad (1)$$

ここで、Yは発生度、iは株番号、X_iは株iの発生指数を示す。

なお、被害調査は、1983年から1999年に至るまで、毎年、三浦半島全体で収穫のピークとなる1月20日前後に行った。

(2) 気温の測定方法

キャベツ栽培地帯の気温は、三浦半島南部地域で36個の温度記録計(Thermo Recorder TR5, タバイエスペック社製)を放射の影響を避けるために、厚さ3 cmの断熱材にアルミホイルを貼り付けて内径が10 cm、高さ30 cmの通気性に優れた円筒形容器を作製し、その中に吊して高さ1.5 mの気温を測定した。温度記録計は5分毎に計測および記録を行うようにし、1998年2月17日~4月9日まで測定を行った。また、気温を測定した場所に最も近いアメダス観測点である神奈川県農業総合研究所三浦試験場の気象観測所(以後代表地点という)の気温および風速データ(10分毎の平均値)を引用した。

(3) 50 m メッシュ気温分布図作成方法と被害実態調査

測定期間のうち、比較的冷え込みが厳しかった日として1998年3月15日夕刻から16日早朝にかけてと、1998年3月17日夕刻から18日早朝にかけての時間帯を選定して両夜の3時から6時にかけて、および1998年3月14日の11時から15時にかけての平均気温をデータとして、それぞれの時間帯毎に50 m メッシュ気温分布図を作成した。なお、50 m メッシュ気温分布図は国土数値情報、複数の温度記録計データの相互作用およびアメダスデータを基に、海岸からの距離、周囲との高低差、傾斜の角度および方向、土地の利用状況等、気温に影響を与えられ得る要因を変動要因とし、温度記録計のデータから重回帰式によって50 m 四方毎に気温を推定して全体のメッシュ気温分布図を作成した。また、50 m メッシュ気温分布図の作成にあたっては、海岸に極めて近い地区や、台地上の圃場と下畑が接近していて海拔差が大きい地区では、変動要因が大きく正確な気温を示しにくいと判断されるため、これらの地区を除外した18カ所について検討した。

気温の実態調査結果から、1998年3月14日の11時から15時にかけての平均気温および1998年3月16日の0時から3時までの平均気温を示した50 m メッシュ気温分布図と、比較的凍害発生率の高かった1990年と1993年の被害率調査データを引用して、50 m メッシュ温度値の各地区の温度データとそれに対応する地区の凍害被害率との関係を調査した。

結 果

(1) 被害の発生と地域性

図1に示した35地区のうち、経験的に年度によって甚大な凍害が発生する地区である長井新田地区(代表地点が

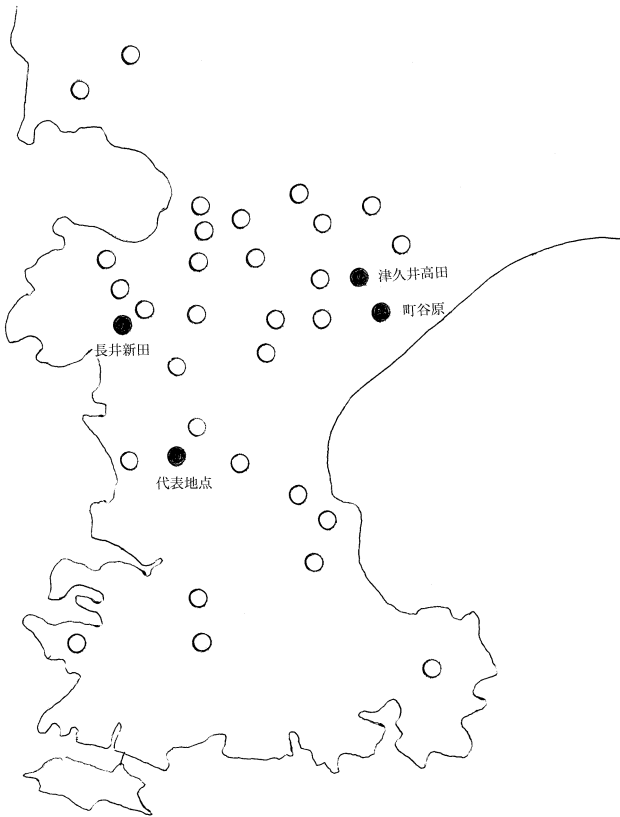


図 1 三浦半島南部のキャベツ栽培地帯 (○印)

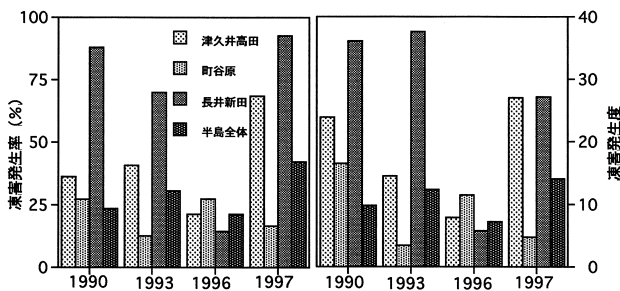


図 2 主な地区の年度別凍害発生率 (左) および発生度

ら 2.4 km), 同様にやや凍害発生率が高い地区とされている津久井高田地区 (同 4.0 km) および比較的凍害発生率の小さい地区である町谷原地区 (同 3.6 km) の計 3 地区と三浦半島全体の凍害発生率と発生度を図 2 に示した。凍害は年度間差があるが、凍害の発生が少ない年度では、いずれの地区も発生が少なく、各地区の特長を表すことができないために、16 年間の調査結果から凍害が比較的多く発生した 3 力年 (1990 年, 1993 年および 1997 年) および比較的凍害の発生が少なかった 1996 年の結果を抜粋して比較することにした。なお、凍害発生率および発生度は年度および地区によって大きく異なった。

年度が異なっても長井新田地区では凍害発生率および発生度が高く、町谷原地区では低かった。しかし三浦半島全体の凍害発生率が低かった 1996 年は長井新田地区も他の地区と同等は若干低くなった。すなわち、長井新田地区は

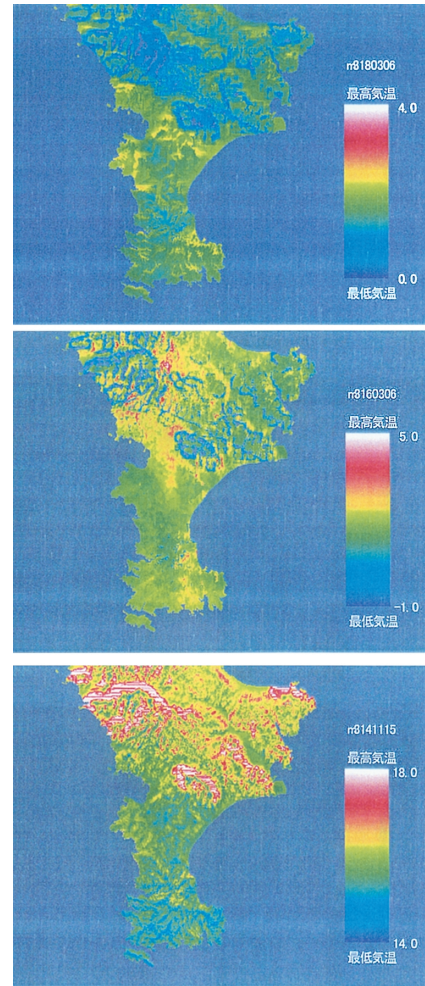


図 3 50 m メッシュ気候分布図
(上段 3 月 18 日 3 時~6 時, 中段 3 月 16 日 3 時~6 時, 下段 3 月 14 日 11 時~15 時, いずれも平均気温 1998 年)

凍害が多発する年に限って顕著にその発生率および発生度が高くなった。長井新田地区の地形的な特徴として「下畑」, 「通気性不良」, 「平坦」の条件が揃っていた。

各栽培地区間の被害の差は、全体的に被害が高い年に明瞭となった。

(2) 50 m メッシュ気温分布図と気象実測値の関係

比較的冷え込みが厳しいと思われた、1998 年 3 月 15 日夕刻から 16 日早朝にかけてと、1998 年 3 月 17 日夕刻から 18 日早朝にかけての両夜の 0 時から 3 時までの平均気温データをもとに作成した 50 m メッシュ気温分布図および 1998 年 3 月 14 日の 11 時から 15 時にかけての同分布図を図 3 に示した。なお、各地点の温度記録計によるデータは 5 分毎の計測値であり、温度記録計の起動を同時に行うことができなかつたため、いずれも 3 時間の平均気温データで示した。半島北部および都市化された東部は温度記録計による計測データがないため、メッシュ気温分布図の信頼性に欠けるとともに、複数の計測データによる補正が行えないことから誤差が大きく表れた。

栽培地区周辺では 15~16 日にかけて長井新田地区の気

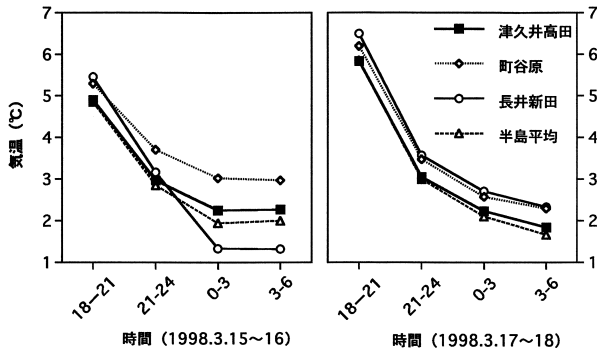


図4 地区別の気温(3時間平均気温)の推移
(左) 1998.3.15~16, (右) 1998.3.17~18

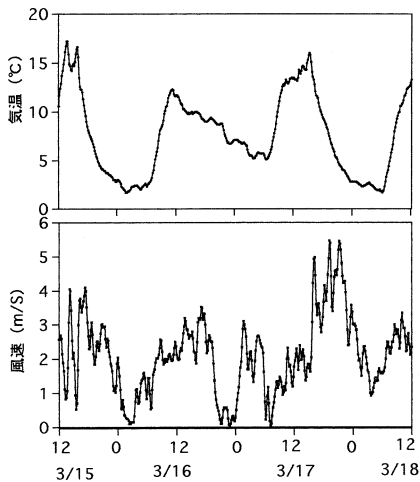


図5 代表地点の気温および風速の推移

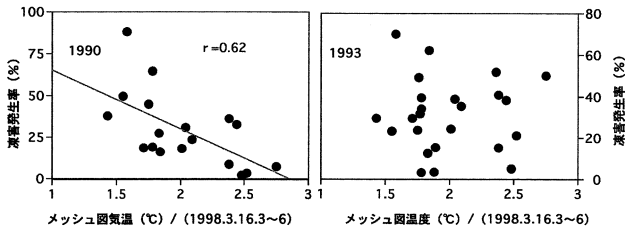


図6 メッシュ図上の気温と凍害発生率との関係
(左) メッシュ図 1998年3月16日3時~6時の平均気温と1990年の凍害発生率
(右) 同 1993年の凍害発生率

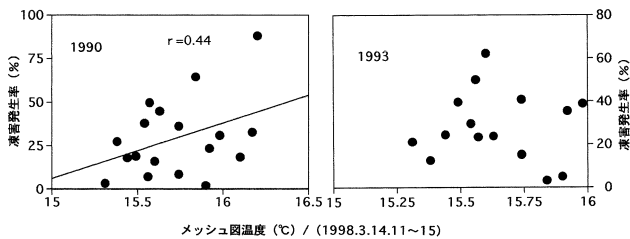


図7 メッシュ図上の温度と凍害発生率との関係
(左) メッシュ図 1998年3月14日11時~15時の平均気温と1990年の凍害発生率との関係
(右) 同 1993年の凍害発生率との関係

温が 1.3°C と低くなっていることが示される一方、町谷原地区では 3.0°C と高めに、津久井高田地区は 2.3°C と表示された。なお、代表地点の気温は 2.3°C であった。

被害実態調査結果を示した3カ所および半島全体(36カ所)の実測値による3時間毎の平均気温推移を図4に示した。1998年3月15日夕刻から16日早朝にかけての気温は夜半から早朝にかけて長井新田地区が最も低く、他の2カ所は半島全体の平均値よりもむしろ高かった。1998年3月17日夕刻から18日早朝にかけての冷え込みは15日~16日よりやや弱く、3カ所の気温は半島平均値よりもむしろ高めに推移した。このように、3カ所の事例ではあるがメッシュ気温分布図は実測値を良く表していることが確認された。

この2日間の代表地点の気温および風速の推移を図5に示す。これによると、15~16日は明け方にかけて風速が 1ms^{-1} 以下であったのに対し、17~18日は、常に 1ms^{-1} 以上の風が吹いていたことがわかる。一方、最低気温はほぼ同じであった。このように50mメッシュ気温分布図に示される気温は、風速との関係を持った気候値情報であることが示された。

一方、3月14日の11時から15時にかけての気温は、図3にも示されているように、長井新田地区が 16.1°C と最も高く、町谷原地区で 15.6°C 、津久井高田地区で 15.5°C となり、日中はむしろ長井新田地区の気温が上昇しやすい条件にあることが明らかとなった。

(3) 50mメッシュ温度分布と被害実態との関係

被害の状況を示す指標として凍害発生率について、50mメッシュ温度との関係を調査した。図6および7に1998年3月14日11時から15時、3月16日3時から6時にかけての平均気温の50mメッシュ分布図上の気温と1990年および1993年の被害率との関係を示した。これによると、1990年の凍害発生率と1998年3月16日3時から6時までの平均気温の50mメッシュ気温値との間に負の相関($r=0.62$)が認められた。すなわち、メッシュで示された地点の気温が低いほど凍害発生率は高くなった。一方、1993年の凍害発生率との間には一定の傾向は認められなかった。1998年3月14日11時から15時にかけての平均気温を示した50mメッシュ気温値と凍害発生率との間には、図7に示したように、1990年は正の相関($r=0.44$)が認められた。また1993年との間には一定の傾向は認められなかった。

考 察

代表地点の気温をみる限り、3月15日夕刻から16日早朝にかけてと3月17日夕刻から18日早朝にかけてはともに冷え込みが厳しく、最低気温もほぼ同じであったものの、凍害の発生を助長する条件は15~16日に揃っていたといえよう。

すなわち、代表地点の気温が同じであっても、図4に示したように、例えば長井新田地区のような凍害発生率の高い地区では、3月15日夕刻から16日早朝にかけては気温

が一段と低下することが明らかとなった。一方、17日から18日にかけては代表地点の気温が反映されずに長井新田地区では強い冷え込みはみられなかった。このように凍害の多発地区では常に気温が低くなるのではなく、とくに冷え込みの厳しいときに一段と気温が低下することが明らかとなった。

ここで、15日から16日にかけてと、17日から18日にかけて、冷え込み方に違いがみられたことについて次のような考察が可能であろう。低温と弱風という条件は、晴天であれば地形に関わりなく放射冷却が強まる条件である。中でも長井新田地区は、凍害発生率を助長する「下畑」、「通風不良」、「平坦」といった条件をもっとも良く備えている。「下畑」は冷気の流れ込む場所、通風不良は冷気の堆積しやすい場所、「平坦」は冷気の流出しにくい場所を意味していると考えられる。このような条件を備えた場所では、冷気の堆積によって風速はいっそう弱められるために、顕熱の供給が抑制され、植物体からの放射冷却が強まったと考えられる。放射冷却が強い状況下で風が遮断された状態になると気温が低下し、風速の増加が気温の低下を抑制する¹⁰⁾ことを考えると、図5をみても代表地点の気温は同じであっても風速が15日から16日にかけての方が弱かったことが気温の低下に結びついたと考えられる。

日中の気温が凍害発生率の最も高かった長井新田地区で高かったことは、日中は「下畑」、「通風不良」、「平坦」といった条件が、地表面の純放射による受熱量が風によって運ばれにくく、また顕熱として奪われにくかったためと考えられる。したがって、日中の高温条件が脱低温馴化（デハードニング）として作用することと考え合わせると、夜間の気温低下とともに、日中の高温が凍害発生を助長する条件として作用すると考えられる。

このように長井新田地区の凍害発生率が高かったことと考え合わせると、最も冷え込みが厳しい時に低温になりやすい場所を表示できることが第一に必要な条件である。したがって上で述べたような放射冷却が強まる条件下での50 mメッシュ気温分布図の作成こそ被害の発生を予測する上で重要と考えられた。さらに日中に高温になりやすいかどうかでも重要な要素と考えられた。すなわち、低温で弱風時、さらに日中の高温条件というように条件を絞り込んだ上で、温度記録計による実測結果から50 mメッシュ気温分布図を作成すれば、時間単位で示されたメッシュデータであっても凍害発生の危険性の実態を良く説明できると考えられた。また、同時に50 mメッシュ図ではどのような気象環境条件下でのデータを用いて作成されたのかを見極め、気温に対する風速の影響のように、メッシュデータ以外の気象要素を考慮した上で利用するとともに、現場での実態調査とのすり合わせを事前に行っておくことも必要と考えられた。

図2にも示されているように、凍害発生率は年度間差が大きい。50 mメッシュデータは、図6からも明らかのように、50 mメッシュ気温分布図の作成条件に注意しても、1990年のように50 mメッシュデータによって凍害状況を説明できることはあっても、1993年のように、十分に被害状況を説明できるまでには至らない場合もある。これらの点から、凍害の発生は極温としての低温値の出現を捉えることだけでなく、他の要因が関与している可能性が考えられることから、さらに、低温以外の要因に焦点を当てた50 mメッシュ気温分布図の作成を考慮する必要があると考えられた。すなわち、単なる温度測定値に頼るだけではなく、他の要素も考慮した気候値情報を適格に取り入れる工夫が必要と考えられた。現状では、被害実態というよりも被害を受ける危険性を栽培者に示し、適地適作、畑の使い分け等に活かしていくのがメッシュデータの有効な利用法と考えられる。さらに、50 mメッシュ気温分布図の信頼性をより高める方法として、気温以外の気象要因を考慮に入れた利用法を具体的に示す必要があると考えられる。

謝辞：本研究を行うにあたり、現地調査および温度記録計の設置等にあたり、神奈川県農業総合研究所三浦試験場の伊藤喜誠氏および三浦市農業協同組合の職員の方々の多大なご協力を得た。ここに感謝の意を表す。

引用文献

- 1) 陶山一雄・大林延夫, 1982. 早春キャベツに発生した腐敗病. 植物防疫, 36, p.68-71.
- 2) 酒井 昭, 1956. 植物における耐寒性増大と外囲温度. 低温科学, 生物篇, 14, p.17-23.
- 3) IRVING, R.M. and LANPHEAR, F.O., 1967. Environmental control of cold hardiness in woody plants. *Plant Physiol.*, 42, p.1191-1196.
- 4) 五十嵐大造・大林延夫, 1985. 夏まき冬どりキャベツの凍害と腐敗病の関係について. 神奈川園試研報, 32, p.35-41.
- 5) 五十嵐大造・中山敬一・坂本英介・伊藤喜誠・大林延夫, 1993. 冬種りキャベツの凍害発生および耐寒性獲得におよぼす気温の影響. 農業気象, 49, p.91-98.
- 6) 千葉県農業試験場編, 1987. 冬春キャベツの生産安定における阻害要因(主として気象災害)の解明とその対策技術の確立報告書. 千葉県農業試験場.
- 7) 大原源二・植山秀紀, 1998. 局地の50 mメッシュ気温分布図の試作. 農業気象学会講演要旨, p.104-105.
- 8) 大原源二・藤森英樹・植山秀紀, 1998. 局地の気温分布と野菜作付け適地の事例的検討. 農業気象学会講演要旨, p.142-143.
- 9) 高山 成・早川誠而・川村宏明, 1999. 霜害発生予察のための50 m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, p.235-246.
- 10) 五十嵐大造・岡田益己 1989. キャベツの凍害防止を目的としたべたがけ下の気温および葉温と屋外風速の関係. 神奈川園試研報, 38, p.15-19.

The Relationship between Cold Injury Occurrence to Cabbage and 50 m Mesh Climatic Information

By

Daizou IGARASHI*, Genji OOHARA**, Kunihiko SUZUKI*, Tomoaki INOUE*,
Akihiko MATSUYAMA*** and Yoshiyuki ISHIHARA****

(Received August 23, 2004/Accepted January 28, 2005)

Summary : We investigated the relationship between 50 m mesh climatic information and the cabbage cold injury occurrence on cabbages cultivated in the Miura peninsula. The cold injury data of cabbage was obtained in the field investigation from 1983 to 1999. The 50 m mesh climatic data was calculated based on the data collected using thermorecorders in 1998.

Information of 50 m mesh climatic data which show the danger area for cold injury, was that it is effective at the time of limited meteorological conditions on clear nights under low temperature and the weak wind speed. The temperature of the area where cold injury occurred at a high rate was the lowest temperature on a clear night when the wind was weak on the 50 m mesh climatic data. In order to create the 50 m mesh climatic charts for cold injury prevention, we must create then using the data by the temperature measurement under low temperature and weak wind speed condition on clear nights.

We thought that the 50 m mesh climatic information was an effective application to show the field in which cold injury is difficult to occur, and could be utilized for finding the field whose occurrence of cold injury on cabbage is low.

Key words : Cabbage, Cold injury, 50 m, Mesh climate data, Micrometeorology

* Department of Bioproduction Technology, Junior College of Tokyo University of Agriculture

** National Agricultural Research Center for Western Region

*** Kanagawa Prefectural Chuo nogyo Senior High School

**** Tochigi Prefectural Agricultural Experiment Station