

凍霜害の予報について

— 1956年4月29・30日を中心に —

田中正一* 鈴木雄次**

桜の花に雪が積るといった4月上旬としては珍しい寒さも、中旬に入るとともに解消し、その後全国的に6月頃の陽気を思わず高温の日が続いたため、一時おさえられていた農作物の生育は急速に進み、このまま順調に初夏に入ると思われた。ところが4月27日気圧の谷が東に去った後、冷たい大陸の高気圧が張り出してきて、これが移動性高気圧となって広く日本をおおったため、各地ともよく晴れ上り、28日から30日にかけての夜間の冷えこみはことのほか厳しかった。とくに30日の早朝には、各地に霜がおり、霜柱がたち、処によっては氷さえはって、ために農作物は近年稀な大凍霜害をうけるに至った。

そこで、「天気」編集部では、その日の予報当番であった田中正一氏と産業気象課の鈴木雄次氏に依頼して、記録的な大損害を与えた寒気がどのように溢流して来たか、それによって損害の程度がどのように予想されたか以上の点を中心にして霜害予報の解説をしていただいた。

気象状況と判断の基礎

§ 1. まえがき

晩霜が問題にされるのは、植物に対して生育の障害を与えるからであるけれども、よく考えると、晩霜がおきるまでは植物をある点まで育成させるに充分な温暖さが続き、そのあげく反動的な寒冷がやって来たということなのである。それで、単に平年気温とくらべて何度低いという考え方をするだけでなく、その前の寒冷な期間から温暖な期間に入って何日位経過したかを見なければならぬ。東京の例を取ると、今年の4月始めに最低気温が0°C近くになった日が数日あり、4月中旬に入って、最低気温はおおむね10°Cを越すようになった。最高気温は中旬半ばから20°Cを越す日が多く、下旬に入ってもそういう暖かさはつづいて、24日の如きは最高25.4°、最低16.2°であった。これは気圧の谷に伴って東進する低気圧がアムール河流域やオホーツク海で発達する事が多く、東支那海に誘発される低気圧も日本海に入ることが多かったからである。

台風第3号が東支那海から九州に近づいて、25日ごろにつぶれ南方から本邦に侵入した暖気が低気圧を作って本州南岸は前線帯となり、それ以後、アムール河流域の気圧があがるようになってから事情は変って来た。寒気

が少しづつ南下し、遂に30日に特につめた空気からなる移動性高気圧が本州をおおい、前線帯は弱まって南下し、各地共快晴となったため、ひろく晩霜を起したのである。5日前後から25日ごろまではほぼ20日間つづいた温暖はシベリヤから急激に南下した寒気によって中断された。強い寒気の溢流の周期はこの場合大体30日位になっている。以下、26日以後の高層の寒気の動きを中心にして、晩霜が起る迄の概況をのべる。

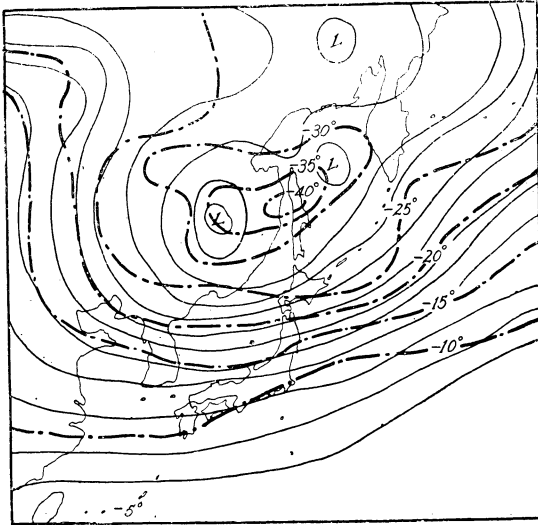
§ 2. 500mbの温度変化

26日は、アムール河中流の低気圧がオホーツク海に進んだあと、ハバロフスク附近に低圧部が残ったが、この低圧部が大きな寒冷渦(cold vortex)で、それは26日23時の500mbの等高線と等温線から明瞭である(第1図)。このような寒冷渦は、偏西風帯の北側にあり、中緯度の低気圧のように早く動くことができない。複雑になるので、地上天気図や毎日の変化を図示することを省略するが、第2図のように、その中心は3日かかってカムチャッカ東岸に移った。

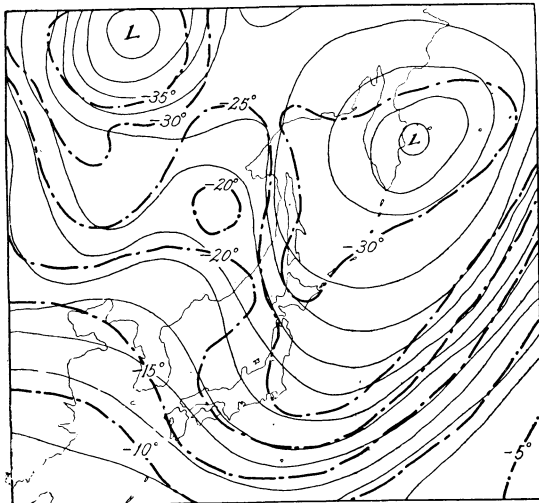
この間の変化は、26日23時のシベリヤにあるとじた等高線の中心は2つあって、一つはオホーツク海、一つは

* 中央气象台予報課

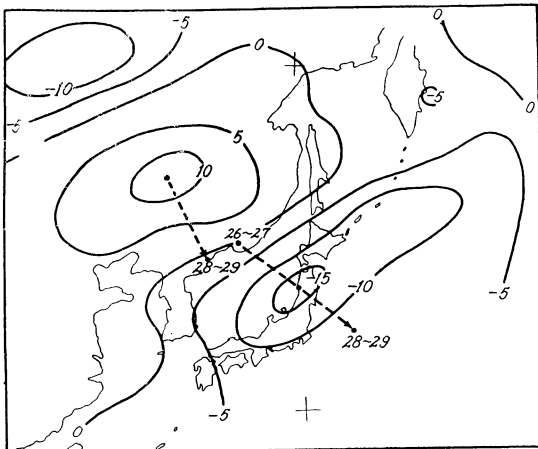
** 中央气象台産業気象課



第1図 1956年4月26日2300時500mb 温度分布図
実線は等高線



第2図 1956年4月29日2300時500mb 温度分布図
実線は等温線



第3図 500mb面における気温前日差図1956年5月
27~28日→ は一域あるいは+域の中心の移動を, 数字は前日差の日を示す

満洲東部にある。東方のものが、地上の低気圧と共に上層の低温を作って、単純に東進したが、西側のものは南々東に進んで日本海北部に入り、北日本を通過して本州東方海上にでた。そして発散してしまつて中心を失ひ、北の方にある先に進んだ渦の中心から南西にのびる冷たい気圧の谷の形を作つたものである。

毎日の気温の変化は、第3図に示してある。まず第3図により、27日には本邦の日本海側にむけて寒気の移動が起ると同時に、本邦の太平洋側は、暖気の移流が起つている。後述するように、本州南岸ぞいの前線の活動と低気圧とにより天気が悪く、27日は雨の所が多かつたがそれは上層の寒気と暖気が本邦附近に集中して起つた前線活動に相当する。

28日は、いよいよ寒気の移動中心は本邦附近に及び、特に東北地方では15度も降温している。一方、寒冷渦が移動した背後には満洲に中心を持つ昇温域、またさらにその西に再び降温域があらわれている。このことから吹きだしてきた寒気の水平のひろがりのおよその見当がつけられ、また寒気暖気の交替は何らかの周期性を持つ現象と関係を持っていることも想像される。28日の本邦附近の降温域が非常に広いことは注目し値する。それは前線上にできる低気圧の間のへだたりの2倍またはそれ以上の幅(東西の)を持っているようにみえる。なお後述するが、この日から西日本に大陸の高気圧が張りだして来て、一般に天気がよくなって来た。このような上層の寒気のひろがり前線が南下又は弱まることに相当することがわかる。

29日も、北海道、東北地方と北陸を除いて、降温しており、特に関東以西に根強く降温域が頑張っていた。このため寒気の移流は北日本のみならず、本邦全般をおそつたことになり、30日早朝の低温は全国的規模のものとなる下地を持ったのである。なお29日にウラジオ附近にある昇温域がまもなく本邦全体をおおう体制にあるので29日夜半までで降温は大體一段落となることも予想せられる。

ついでながらはるか西方にある降温域について30日の変化をみると、大陸各地が弱い下降となっているだけで強い中心を持たない。これは、寒気の強い移流はたびたびおこるものではないことをあらわす。今回の晩霜をおこした強い寒気の溢流は、図示せられた寒暖気の交替のような短かい周期の変化に必ず伴うものではない。4月26日から30日までのような変化を単純に4日周期と考え、大きな溢流の周期を4月1日から30日(又は29日)までとするとおよそ短かい周期の7回目に大きく溢流したことになるわけである。

§ 3. 地上天気図から

(A) 29日までの変化

26日、本州南岸沿いに北海道東方の低気圧から沖縄北

方に伸びる前線が停滞していたが、この日の後半に沿海州を通った低気圧に伴い、日本海をさらにもう1つの前線が南下して来て、27日にはオホーツク海に抜けた低気圧から南西に伸びるやや幅の広い気圧の谷と、これら2つの前線が一致し、本邦は前線帯の中に入って全般に雲の多い天気となった。高気圧は、黄海にある移動性高気圧と、太平洋中部に中心をもち南方海上に大きくひろがる太平洋高気圧とである。

発達をつづけるオホーツク海の低気圧は、沿海州から北日本に新鮮な寒気を流入させ、黄海の移動性高気圧は日本海を越えて本州をおおうようになり、前線帯は本州南岸ぞいに後退した。その前線帯の中を東支那海から低気圧が東進し、27日後半には本州全般に雨、北海道と九州も曇り勝ちという大規模な前線性の悪天となった。

前線帯はほとんど停滞していたが、波動性低気圧はかなり早く(雨域の移動の次に早い)北東に進んでいる。

28日、前線帯にできた低気圧群は本州東方で1つにまとまり、前線帯は弱まり南下して、太平洋高気圧は後退し、東支那海から大陸の高気圧が大きく西日本に張りだし始めたのである。このため天気は大体よくなった所が多い。

いよいよこの高気圧が東日本までおおって全般に天気は回復するかに見えたが、実は晴れたのは西日本と北日本であって、本州中部にはさきの前線帯とは別な弱い前線が残っていて俄雨が降った。くわしく気団をみると北日本では積雲がよく発達して俄雨こそないが、新鮮で垂直安定度の悪い寒気団であることを示し、西日本は積雲の発生がはるかに少く、従って雲量も少く、安定なそして水蒸気量の少ない気団であることがわかる。

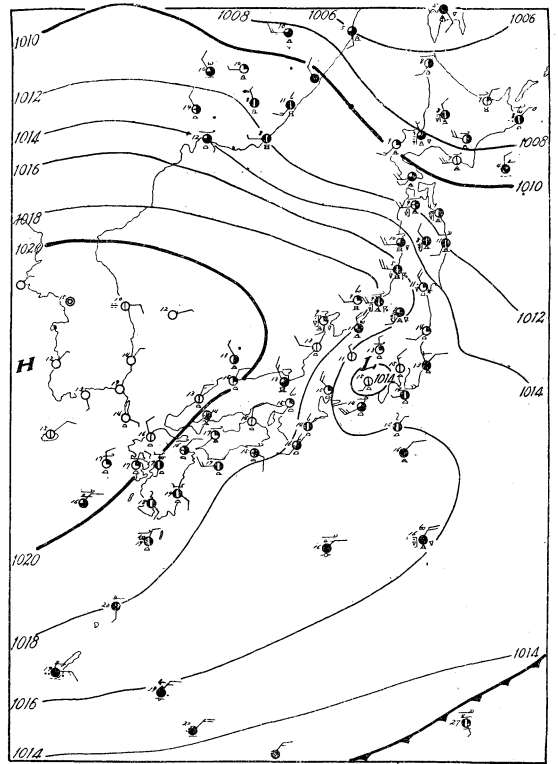
28日の後半には本州中部の俄雨はやんだが、本州附近に弱い低気圧生成が起り、これらは南北にのびる弱い気圧の谷を作って29日には本州東方に抜けた。その北部は北海道附近に残っていたため、29日の前半は、気圧の谷の後面に、満州または沿海州から北西の風と共に、もう一段の寒気が本邦に流れこんだ。

(B) 29日の朝から晩まで

寒気の流入は北日本に強く西日本に弱いが、第4図により同日早朝の地上気温の分布をみると、朝鮮半島から本州の内陸まで一様な気団におおわれてしまっていることがわかる。

この移流は29日中つづき、特に強い風力をもって流入が起っている北日本(北陸から北海道まで)では積雲の発達が著しく、至る所で積乱雲を作り俄雨が起っている。特筆すべきは、東北地方の北部では平地でも雪に変わったということである。

29日の午後になると、これら不安定気団内の降水は終り、寒気の移流の中心は北海道方面に移ると共に、西日本から風が弱くなり始め、同時に雲量が非常に少くなっ



第4図 地上天気図 1956年4月29日12h

て来た。すなわち下層の昇温による積雲は消えて、快晴の所が多くなった。

29日の夜から、移動性高気圧はいよいよ東に進んで日本海に入り、夜半には完全に本州附近をおおうようになった。移動性高気圧の中心がやや南下して本州附近をおおうようになったのと対応するように見えるのは、関東地方にある弱い地形性の低気圧が夜中に房総沖に移ったことで、これと同時に、本州中部では一段と寒気が南下した。例えば東京の気温と風の変化をみると、9時すぎに急に気温が下り始めている。

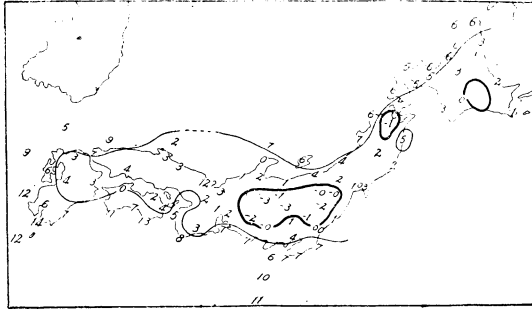
(C) 30日の早朝

すでにこのようにつめた高気圧が完全に本邦附近をおおったまま夜に入り、全般に快晴となってしまっは、輻射による冷却で地上気温は下る一方である。

東北地方北部から北海道の西海岸では、依然として西よりの風がやや強く雲量が多いが、それでも内陸地方は晴れて本州中部以西と同じく冷却が著しい。

第5図は同日9時の観測とともに送られて来た各地の最低気温(少数点以下四捨五入)によって作った等温線を示す。4°Cの等温線は北海道から新潟県までの海岸を走り、山口県から九州、四国の内陸をつつんで東海道と関東地方の太平洋岸を走っている。また0°Cの等温線は本州中部から東北地方の山岳地帯をつつみ、青森附近にも現われている。最低気温が4°C前後になると、霜が

おりるといふ予報則からみると、霜がおりた地方は極めて広範囲に及んでいるということになる。



第5図 1956年4月30日0900時までの最低気温分布図

§ 4. 判断の手順

われわれは災害が起ることをできるだけ早くなるべく正確に予測して、多くの人に知らせる義務を負っている。このため、全国各地の予報者は、大いに努力されたに違いないが、これらの人々が、作業したときの考え方を列挙してみよう。

(1) 大局的立場から

(i) シベリアにある背の高い寒冷低気圧の存在、及びその冷たさに着目し、等温線の移動または寒気の南下を予想する。そして、その水平のひろがりを考える。
(ii) 時間的には、ある幾つかの小さい周期を組み合わせた、より長い周期の変化にあてはまっているかどうかを判断する。(iii) 前線帯が2本(大体の位置はアムール河方面と本州南岸)現われるという状態から、どちらの前線帯が強まって行くか、また本州南岸から前線帯がさらに離れるかを見定める。

凍霜害による農作物の被害の推定

この日、中央气象台では各地の測候所から気象電報によって報ぜられる4月29・30日の最低気温と当日までの気象経過から推定される農作物の生育状態の2つから凍霜害被害地域を推定し発表した。その結果並びに推定の方法は次のとおりである。

＝小麦の場合＝

凍霜害による小麦の被害の推定は、「山中氏法」¹⁾によったが、その大要は次のとおりである。

まず、小麦の生育状態は発芽以後の気象経過によって推定することができる。すなわち、播種後30日目より日平均気温 $\left(\frac{\text{最高気温} + \text{最低気温}}{2}\right)$ 3°C 以上の有効積算温度を求め、この値と小麦の幼穂長との関係を求めると第6図のようになる。

ここで播種後30日目としたのは、この時期がだいたい小麦の発芽期であるためであり、また日平均気温3°C以上について積算したのは、日平均気温3°C以下では小麦

(2) 天気変化

24時間位の長さの間、雲量がどのように変化するかを考える。このため移動性高気圧の大きさ、その中心の位置がどうなるかが重要である。これがわかると昼間の昇温と夜間の冷却の程度がほぼ見当がつく。

(3) 小規模の風系

29日に関東地方にできた小さい低気圧は日中の内陸の気温が上がったために発生した。夜に入ってこの低気圧が南方海上に下って関東平野全体に寒気が流入した。このように山谷風または海陸風によって小規模の移流があるかどうかを考えなければならない。

(4) 地面ふきんの空気の冷却

空気自身の輻射による冷却と地面の冷却、さらにそれを組み合わせた接地層の冷却も、量的にわかればよい。これは風速に關係する。このように、ひろい範囲の変化から微気象に至るまでを考慮して(理想的には計算して)霜注意報は出されるのである。

結 論

経過を説明し、われわれの作業の要点をのべたので次の事がいえる。

(1) 作業は、分業化することができる。

(2) その部分部分に多少の不確定性があるので、一つの作業の結果がはっきりしないうちに次のこまかい段階には進むことはできない。

(3) 気象事業の効率というものを見ると、作業の各段階の精密度を増すと共に、部分的な結果を総合することも重要である。

の生育にほとんど影響しないからである。

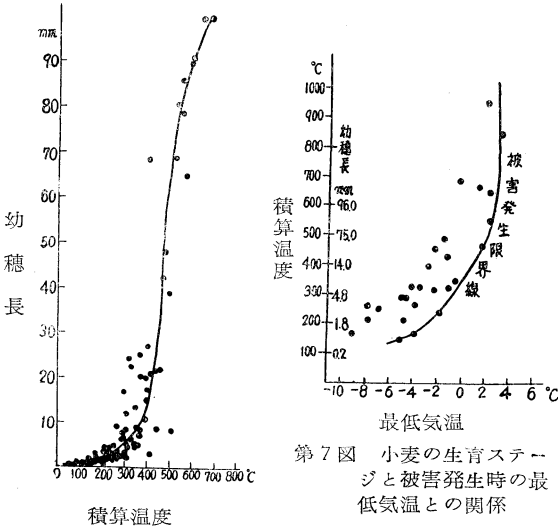
次に過去の凍霜害発生資料から各発生日までの上記積算温度を計算し、被害発生日の最低気温と積算温度との関係を求めると、第7図のような被害発生限界曲線をひくことができる。

以上2つの関係から小麦の凍霜害発生の有無を推定するわけである。まず、気象電報により最低気温が報ぜられる各地の測候所について、昨年秋の小麦の播種後30日目から本年4月28日までの日平均気温3°C以上の積算温度を求め、そしてこの積算温度を用いて第6図から求めた幼穂長は4月28日現在の小麦の生育ステージということになる。次に第7図より4月28日現在の幼穂長に対する被害発生限界温度を求め、これと4月29・30日の最低気温とを比較して、最低気温が被害発生限界温度より下ったところは被害をうけたと推定した。すなわち、次式により被害発生指示温度を求め、この温度が-(負)の時は被害があったと推定され、-(負)の値が大きい

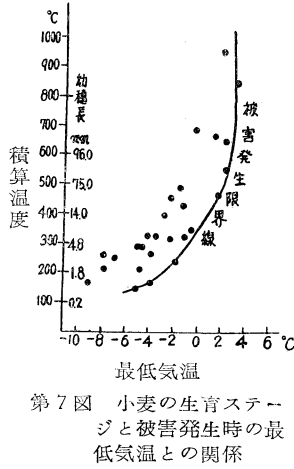
ほど被害程度が大きいとみなすことができる。

被害程度指示温度 = 当日の最低気温 - 被害発生限界温度

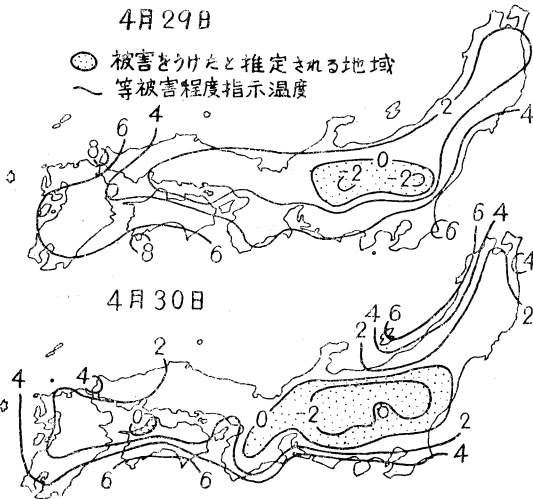
次に4月29・30日の最低気温から求めた各地の被害程度指示温度と被害地の推定分布図は第8図のとおりである。



第6図 積算温度と幼穂長との関係



第7図 小麦の生育ステージと被害発生時の最低気温との関係



第8図 4月29・30日の最低気温から推定した小麦の凍霜害被害地域

=桑の場合=

凍霜害による桑の被害を推定するには、まず桑が脱苞(発芽)しているかどうかを知らなければならない。

桑の脱苞日は、脱苞前の気象から推定することができる。この点に関しては従来多くの人々によって調査されているが、ここでは鈴木氏²⁾の行った全国的な調査結果

によることとした。次にその脱苞予想式を示す。

桑の脱苞日の前年差を ΔD 、気温の前年差を ΔT とすると両者の関係は

市平:

北部—東北, 北陸, 長野県

$$\Delta D = 0.25 - 4.15 \Delta T_1$$

$\Delta T_1 = 3月15日 \sim 4月15日$ の平均気温の前年差

中部—関東, 東海道, 近畿, 中国

$$\Delta D = 0.09 - 3.53 \Delta T_2$$

$\Delta T_2 = 3月$ の平均気温の前年差

南部—四国, 九州

$$\Delta D = 0.46 - 3.46 \Delta T_3$$

$\Delta T_3 = 3月1日 \sim 3月20日$ の平均気温の前年差

で示される。

次に桑の各生育ステージは第1表に示すとおり脱苞日後の日平均気温の積算から凡そ推定することができる。

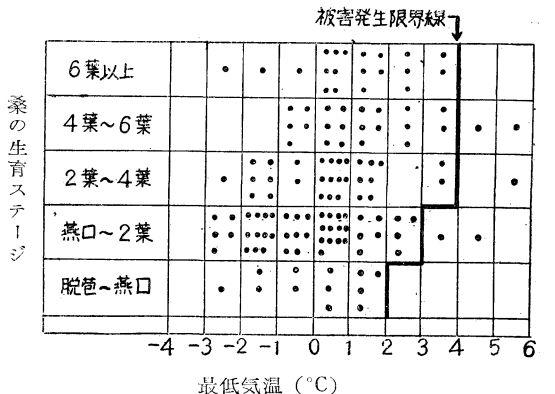
ところで桑は各生育ステージにより被害をうける温度がちがっている³⁾。すなわち、過去の凍霜害発生資料から各被害発生日の生育ステージと当日

の最低気温との関係を求めると第9図に示すような被害発生限界線をひくことができる。

以上2つの関係から桑の凍霜害発生の有無を推定するわけである。まず小麦の場合と同じ測候所について、3月1日から4月15日に至る平均気温を用いて今年の桑の脱苞日を推定する。そしてこの推定脱苞日以後4月28日までの日平均気温の積算から第1表に準じて各地における4月28日現在の生育ステージを推定する。次に第9図から各生育ステージに相当する被害発生限界温度を求め

第1表 桑の生育ステージと脱苞後の積算温度

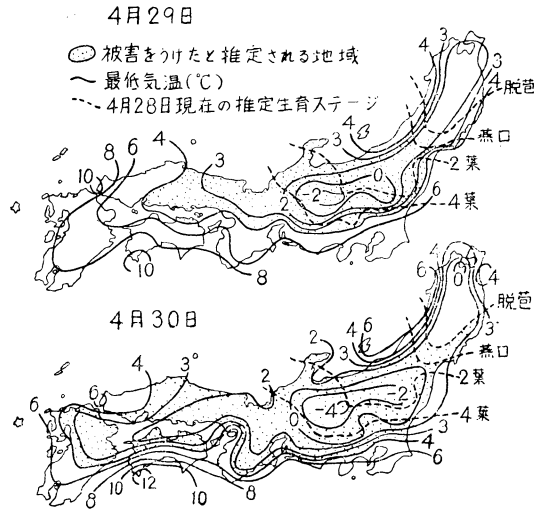
生育ステージ	積算温度
燕口期	91°C
第1開葉期	136
第2開葉期	174
第3開葉期	212
第4開葉期	261
第5開葉期	334
第6開葉期	391



第9図 桑の生育ステージと被害発生時の最低気温との関係

これと4月29・30日の最低気温とを比較して、最低気温が被害発生限界温度より低くなった処は被害をうけたと推定した。

次に4月29・30日の最低気温から推定した桑の凍霜害被害地域を示すと第10図のとおりである。



第10図 4月29・30日の最低気温から推定した桑の凍霜害被害地域

＝馬鈴薯の場合＝

凍霜害による馬鈴薯の被害を推定するには、まず馬鈴薯が芽を出したかどうかを知らなければならない。

馬鈴薯の萌芽日は播種期の気温からだいたい推定することができる。次に全国共通の萌芽日推定式を示す。

馬鈴薯の萌芽日Yと3月の平均気温Tとの関係は

$$Y = 134.4 - 4.0T \quad \text{平均誤差} = \pm 2.4 \text{日}$$

まず上式より今年の萌芽日を推定し、4月28日現在すでに萌芽していると推定される地域で、4月29・30日の最低気温が4°C以下に下った地域を凍霜害が発生したものと推定した。ここで4°Cを被害発生限界温度としたのは、百葉箱の気温が4°C以下に下ると霜があり、馬鈴薯が凍霜害をうけることが多いからである。

以上、4月29・30日の最低気温から推定した、小麦、桑、馬鈴薯の凍霜害被害地域およびその求め方について記述したが、このような推定図は被害発生日の午後には出来上り、関係方面に参考資料として配布している。

ところで4月29・30日の凍霜害による実際の被害状況はどうかというと、農林省統計調査部が5月22日発表した被害概況は第2表のとおりである(表は被害発生後1週間目頃において統計調査事務所職員が被害見積調査を行った結果を取組めたものである)。

第2表 昭和31年4月29日～5月1日
農作物凍霜害概況

品目	被害面積	被害量
麦類	130,100 町	358,640石
馬鈴薯	20,520	8,433千貫
雑穀	1,100	1,680石
雑種	11,330	10,070石
工芸作物	3,750	246千貫
野菜	3,670	4,408千貫
果樹	11,020	9,786千貫
繭(桑換算)	68,040	3,222千貫
茶	15,010	7,394千貫

農林省統計調査部 (31. 5.22)

なお、実際の被害地域を、たとえば桑についてみると東北地方の南部から九州地方の北部にまで及んでいて、第10図の推定被害地域ときわめてよく一致している。

参考文献

- 1) 山中閔利: 気象災害による農作物の被害の推定, 中央気象台産業気象調査報告, 19. (2), 77-80(1956).
- 2) 鈴木親抵・吉野清: 桑の発芽(脱苞)に及ぼす気温の影響(第2報), 農業と物理, 159-162 (1947).
- 3) 蚕糸試験場: 桑の凍害に関する調査資料 (1955).
- 4) 鈴木 茂: 馬鈴薯の萌芽日の推定式, 農業気象災害推定調査報告(解説) (1955).