

Title	チルユニットを用いた温度変換日数によるソメイヨシノの開花日の推定
Author(s)	青野, 靖之; 小元, 敬男
Editor(s)	
Citation	農業気象. 1990, 45(4), p.243-249
Issue Date	1990-03-10
URL	http://hdl.handle.net/10466/11162
Rights	

チルユニットを用いた温度変換日数による ソメイヨシノの開花日の推定

青野 靖之・小元 敬男

(大阪府立大学農学部)

Estimation of Blooming Date for *Prunus yedoensis*
Using DTS Combined with Chill-unit Accumulations

Yasuyuki AONO and Yukio OMOTO

(Lab. of Agrometeorological Environment, College of Agriculture,
University of Osaka Prefecture, Sakai 591, Japan)

Blooming dates of *Prunus yedoensis* at 38 sites are estimated by using "the number of days transformed to standard temperature (hereafter referred as DTS)" for the 25 year period starting 1961. The sites are all located at or in the vicinity of the meteorological observatories of Japan Meteorological Agency. The standard temperature for DTS in this study is chosen 25°C, for the temperature characteristic E_a , a value [71.1 kJ mol⁻¹] is used for all stations. Both of these values are the same as those in our previous paper, although CGS unit was used before.

It is shown that by this first estimation RMS errors of estimated blooming dates fell within a range 1-3 days except for stations in regions of southern coasts of Kyushu Is. and Izu Is. An attempt of reducing errors, in the first place, readjustment of accumulated DTS was made. This enable us to reduce RMS error up to 0.5 days from the previous computations. But this approach was not very effective at southern stations. Large RMS error in these warm regions seemed to be due to incomplete transition of rest break or large interannual variation of this process. An adjustment of estimation of blooming date at southern sites is made by applying the concept of chill-unit which is the weighted hour corresponding to the effectiveness of chilling to rest completion. It is shown that this procedure reduced RMS error of blooming dates to 2.32 days from 6.64 days at Hachijo Is., and at all stations in warm regions the error reduced to about 2 days.

Key words: Blooming date, Chill-unit, DTS (the number of days transformed to standard temperature), *Prunus yedoensis*, Rest break.

キーワード: 温度変換日数, 開花日, 休眠打破, ソメイヨシノ, チルユニット

1. はじめに

ソメイヨシノの開花日の変動は、気温と密接な関係がある。事実、ソメイヨシノを含むサクラの開花時期に対する気温の影響の評価や、気温による開花日の予想・推定が、重回帰分析(坂井・河原, 1952; 熊野, 1957), 単回帰分析(樋谷, 1941; 江原, 1941; 篠原, 1951; 1953), あるいは、ディグリーデーやディグリーアワー(Lindsey, 1963; Anstey, 1966; 江幡・石川, 1987) などによっ

て、多数試みられている。

ところで金野・杉原(1986)は、生体の活性の温度に伴う変化を表わす1つの指数である温度変換日数(DTS)を提案し、植物生態気候区分の研究にも応用できることを示唆した。そして小野ら(1987; 1988 a, b)は、温度変換日数の積算により、様々な果樹の開花期を、かなり正確に推定できることを示した。

著者ら(小元・青野, 1989; 以下では前報と記す)は、先にこの温度変換日数法を用いることによって、ソメイヨシノの開花日を全国的にかなり良く推定できることを示した。ただし、地点によってはかなり大きな誤差が認

められ、とくに九州や八丈島などの暖地で、その傾向が強いことが判った。その理由として、これらの地方では、冬季の休眠打破の遅速の年間の変動が大きく、そのため積算値の年変動を生み、推定誤差を増加させている可能性がある。そこで、休眠打破に対する低温の効果に応じた重みをつけた積算時数によって、暖地でとくに大きくなる誤差を減らすことを試みた。この目的のために、Richardson *et al.* (1974) の導入したチルユニットという指標を用いた。

2. データ及び解析方法

本研究に用いたデータは開花日、気温ともに、各気象官署により観測されたものである。解析期間は1961～85年の25年間、解析の対象は室蘭から宮崎までの全国38地点で、前報で解析地点の少なかった地域(主に日本海側)を中心に、新たに17地点を加えた。地点の選定に際しては、解析に用いる気温ならびに開花日のデータに欠測がないかに留意した。こうして25年間の平均の誤差を、全地点で一括して比較できる。

開花日の推定は、温度変換日数(金野・杉原, 1986)の積算により行う。温度変換日数は、ある温度での1日分の成長などといった変化の量が、ある特定の標準温度で何日分の量に相当するかを換算したものである。たとえば、あるj年のi日での日平均気温 $T_{i,j}$ (K)での1日分の変化の量が、標準温度 T_s での何日分(t_s) $_{i,j}$ に相当するかは次の様に表わされる。

$$(t_s)_{i,j} = \exp \{ E_a (T_{i,j} - T_s) / RT_{i,j} T_s \} \quad (1)$$

この $(t_s)_{i,j}$ が、j年i日における標準温度 T_s への変換日数である。ここで、 E_a は温度特性値(kJ mol^{-1})、 R は気体定数($8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)である。うち、この E_a は温度変換日数の温度に伴う変化の仕方を決定づける係数と、ここでは考える。ここでは、標準温度 T_s を金野・杉原が用いた値の25℃(298K)に合わせる。

この $(t_s)_{i,j}$ を、ある起算日Dからj年の開花日(BD_j)までについて積算し、25年平均積算値(DTS_{25})を次のように求める。

$$DTS_{25} = \left(\sum_{j=1}^{25} \sum_{i=D}^{BD_j} (t_s)_{i,j} \right) / 25 \quad (2)$$

この DTS_{25} に初めて達した日を毎年について見出し、これを推定開花日とする。今回の解析では、起算日Dを通り1日から平均開花日の約15日前までの毎日、 E_a を20.9～125.5 kJ mol^{-1} の4.18 kJ mol^{-1} 間隔とし、各組み合わせで推定を行う。推定誤差は平均二乗誤差の平方根の値 (root mean square error) で表わす。以下ではRMS誤差と記すことにする。

推定に適切と思われる各地点の起算日(D_s)は、20.9～

125.5 kJ mol^{-1} の範囲にある26の E_a の条件を使って求めた推定誤差の平均値が最小となった日に決定する。さらに、全国の38地点で全般的に最小の誤差を与えた E_a が、前報で適切とした E_a の値(71.1 kJ mol^{-1})と一致するかを確認する。

推定精度の改善は、起算日に D_s 、 E_a に全国共通の適切な値を使って推定する場合に試みる。まず、 DTS_{25} の過大評価が原因で生じる誤差の除去を試みる。 DTS_{25} は、開花日全体の温度変換日数の値を含んだ積算値から計算される。したがって、厳密に言えば実際の開花の時刻における温度変換日数は、平均して DTS_{25} よりも幾分小さい傾向にあると推測される。これに加え、こうした過大評価気味の DTS_{25} を超えた日を推定開花日とするため、推定開花日が全体的に遅くなると思われる。そこで、開花日の推定誤差を最小とする DTS_{25} の修正値を各地点について求め、これによる精度の向上を試みた。

また、暖地における休眠打破の遅速による開花日の推定誤差は、休眠打破に有効な低温に遭遇した時間数から25℃変換日数の積算値の年変動を把握することにより補正を試みる。この補正は、九州、四国の8地点、そして八丈島といった暖地の各地点について試みる。

休眠完了の低温要求量の表現としては、7.2℃以下の積算時数(たとえばWeinberger, 1950)が多かった。しかし近年は、休眠打破への温度の影響の程度に応じた重み、いわゆる‘チルユニット’を積算する例が比較的多い(Erez and Lavee, 1971; Richardson *et al.*, 1974; Shaltout and Unrath, 1983)。本研究では、同じPrunus属(モモ)について提案されたRichardson *et al.*のチルユニット(Table 1)の計算が最も容易と思われるので、これを用いることにする。

このチルユニットの積算では、気温の影響に応じて、Table 1にある様な重みを時間毎に積算する。このチルユニットの起算日は、夏季からの積算値が最小(負の値)となった日とし、年毎に異なる。チルユニットの計算に必要な気温の時間別データは、Parton and Logan (1981)の正弦-指数モデルを適用する。このモデルは日中の気

Table 1 Conversion of selected temperature to chill-units (Richardson *et al.*, 1974).

Temperature (°C)	Chill-unit contribution
≤ 1.4	0
1.5 - 2.4	0.5
2.5 - 9.1	1.0
9.2 - 12.4	0.5
12.5 - 15.9	0
16.0 - 18.0	-0.5
18.1 ≤	-1.0

温を正弦曲線、夜間の気温を指数曲線にそれぞれあてはめたもので、日最高-最低気温、日の出、日の入時刻から気温の毎日の推移を推定するものである。なお、ここで用いる日の出、日の入時刻は、斎藤(1974)を参考に計算する。

本研究では、最初にこのチルユニットの積算の終算日を25℃変換日数の起算日 D_s と同じ日とし、休眠打破に有効な低温に、それまでの程度遭遇したかを推定する。そして、各地点毎に変換日数の積算値の年変動との間の関係を回帰式で表わす。さらに、各地のこの関係式を用いて、チルユニットの積算値から、開花までに必要な変換日数の積算値の年変動を推定する。こうして、推定精度の向上が可能かを検討する。ただし、25℃変換日数の積算値の過大評価を消去する意味で、ここで用いる回帰式の定数項も、誤差を最小にする様修正する。また、 D_s がチルユニットの終算日として最も適切とは限らない。ここでは、温度変換日数の積算値の年変動との間で最も相関の高いチルユニットの積算値をもたらし終算日(D_f)を各地点で見出す。そして、ここで求めたチルユニットの積算値を使い、前述と同じ要領で開花日の推定精度のさらなる改善を試みる。

3. 結果及び考察

3.1 各地の起算日 D_s と適切な E_a

38地点について求めた D_s の値はTable 2に示した。 D_s は函館や八戸、秋田では通日20日以前と早く、山形県や新潟県の各地点では20~30日、それ以南の各地では、およそ40~55日の範囲であった。各地のソメイヨシノの開花に気温が影響し始める時期は、一般的にだいたい通日50日前後とされている(植谷, 1941; 江原, 1941; 篠原, 1951, 1953)。今回求めた D_s は、これら過去の解析結果とほぼ一致する。

また、38地点の D_s における推定誤差をそれぞれの E_a で平均してみたところ、 E_a が71.1 kJ mol⁻¹の場合のRMS誤差が全地点平均で2.08日と最小となり、前報で求めた適切な E_a が、今回の場合にも精度の高い推定を可能とすることが確認された(Fig. 1)。

起算日に D_s 、 E_a に71.1 kJ mol⁻¹を使い、開花日の推定を行った場合、各地のRMS誤差は寒冷地で1~2日程度と小さく、推定精度はかなり高くなった(Fig. 4)。ところが、それ以南の温暖な地域では誤差がかなり多く、RMS誤差は全般に2~3日となった。とくに八丈島では6.64日と、ことのほか誤差は大きくなった。

3.2 平均積算値修正による精度の改善

過大評価気味の DTS_{25} のために、推定開花日が全体的に遅い方向にシフトし、誤差が増加した可能性があることは前にも述べた。そこで次に DTS_{25} の過大評価の消去による補正を試みた。RMS誤差を最小とする DTS_{25} の修正値を見出すために、 DTS_{25} を徐々に減少させてRMS

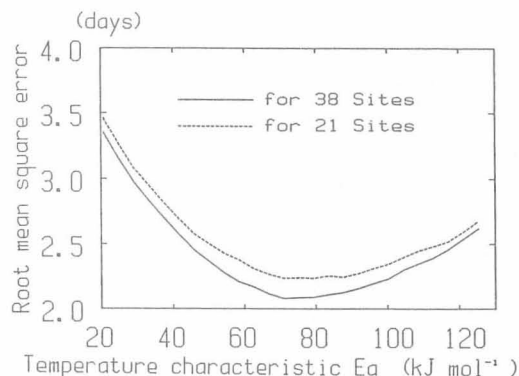


Fig. 1. RMS-error in the D_s using estimated blooming dates averaged for 21 sites (dashed line: Omoto and Aono, 1989) and 38 sites (solid line) as a function of E_a .

Table 2 Giving starting dates D_s and DTS_{25} for the 38 stations. The former are determined as suitable starting dates for accumulation of DTS using the value $E_a = 71.1$ kJ mol⁻¹. The latter are averaged over 1961-85.

Station	* D_s	DTS_{25}	Station	* D_s	DTS_{25}	Station	* D_s	DTS_{25}	Station	* D_s	DTS_{25}
		(days)			(days)			(days)			(days)
Muroran	64	8.16	Maebashi	45	7.25	Yokohama	41	8.34	Saga	49	7.48
Hakodate	13	10.81	Mito	43	7.93	Hachijo Is.	59	10.24	Oita	63	5.25
Hachinohe	16	10.46	Tsuruga	45	8.51	Saigo	44	8.09	Nagasaki	45	8.52
Akita	3	11.31	Nagoya	45	7.37	Yonago	43	8.14	Kumamoto	44	8.25
Sakata	30	9.37	Kofu	44	7.32	Tottori	43	8.12	Miyazaki	64	5.75
Onahama	45	8.26	Choshi	47	8.59	Kyoto	51	7.31	Takamatsu	44	8.02
Aikawa	35	9.61	Hamamatsu	45	8.17	Hikone	43	7.67	Kochi	49	7.30
Niigata	34	9.34	Shizuoka	45	8.74	Shimonoseki	49	7.81	Tokushima	49	7.61
Toyama	45	8.13	Tokyo	46	7.80	Hiroshima	51	6.93			
Matsumoto	20	9.22	Owase	49	7.96	Osaka	50	7.85			

*: Indicated by day of year.

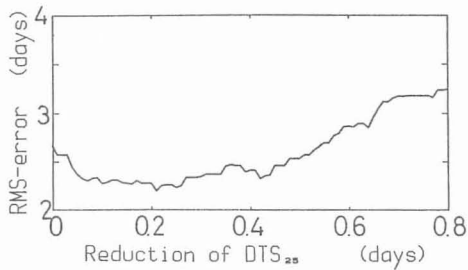


Fig. 2. Change of RMS-error with reduction of DTS_{25} at Tokushima. Initial value of DTS_{25} is 7.61 days.

誤差の変化を見た。Fig. 2は、このときの誤差の変化が最も顕著な徳島の例であるが、最初2.67日あったRMS誤差は、結果的に2.20日までになった。各地で同様な処理をした結果、38地点中、35地点でRMS誤差が0.1～0.5日だけ減少し、また、温暖地ではそれがやや多い傾向にあった(Fig. 4)。

Fig. 3は、この補正後の精度が最も高い相川(RMS誤差は1.00日)と秋田(1.08日)における開花日推定結果である。どちらも開花観測日の経年変化を極めて正確に推定できた。また補正後の開花推定日の誤差は、-(早)と+(晩)に、ほぼ同じ頻度で現われるようになった。

しかし、最小の誤差を与える DTS_{25} の修正量は-0.04～-0.29日の範囲にばらついており、また八戸など3地点では、こうした誤差の低下がなかった。従って、この様な補正を行う際には、各地点毎に、最小の誤差を与えるよう、 DTS_{25} を修正せねばならないと考えられる。

3.3 チルユニットによる推定精度の改善

本節では、温暖地9地点における、チルユニットによる精度の改善について述べる。まず始めに、各地点の D_s までのチルユニットの積算値と D_s 以後の25℃変換日数積算値との間の相関を調べてみた。なお、八丈島では、チルユニットの積算値が本土では考えられないほど極端に少なくなった場合、開花日までの変換日数が顕著に多くなるため、特別に2次回帰式も求めた。各地についての回帰では、八丈島で相関が $r = -0.848$ と最も高く、佐賀を除いた他地点でも、ある程度の有意性が認められた。

そこで、開花日の推定に DTS_{25} を使う代わりに、 D_s まで積算されたチルユニットから推定し

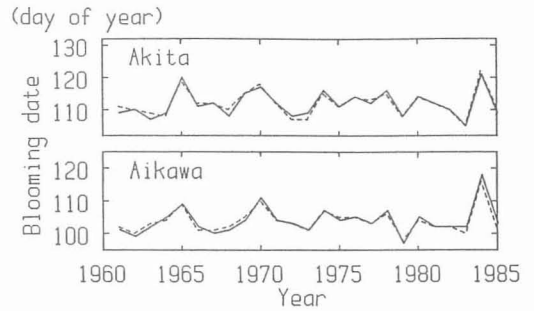


Fig. 3. Secular changes of observed (solid lines) and estimated (dashed lines) blooming dates at Akita and Aikawa.

た各年の変換日数の推定積算値を用いる補正を行った(Fig. 4)。誤差の減少が最も顕著なのは八丈島で、補正前には6.64日あったRMS誤差が、2次回帰式を使った場合で3.11日までになった。また、長崎ではRMS誤差で1日近く、その他でも0.2～0.8日の誤差の減少を見た。しかし、チルユニットと変換日数の積算値との間に有意な相関のない佐賀では、この場合、 DTS_{25} の修正のみによる補正より、誤差がやや多くなった。

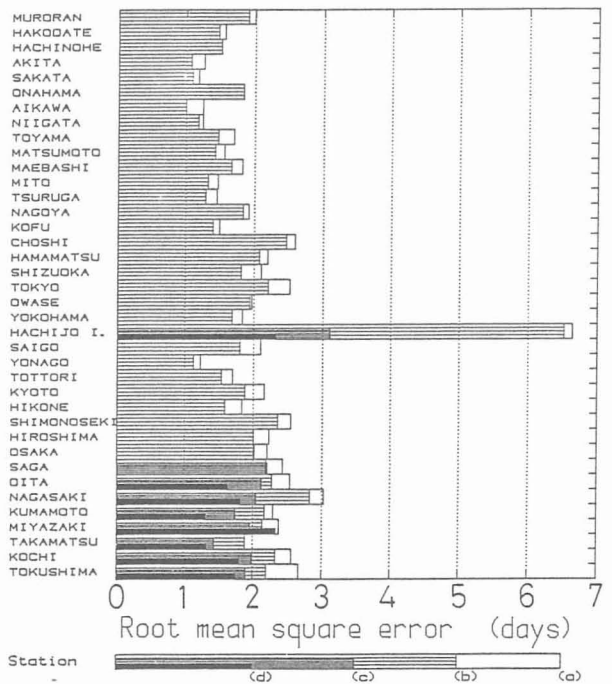


Fig. 4. Accuracy of estimated dates as the 38 sites. (a): not corrected values, (b): estimation using optimized DTS_{25} , (c) and (d): estimations when the variations of DTS accumulations are corrected by chill-units to D_s and D_f , respectively.

ところで、花岡ら(1980)などは、サクラの開花促成では、12月下旬～1月上旬には休眠打破もかなり進み、実用的な促成を開始できるとした。この時点では、休眠打破の年次間差が大きいと思われる。これ以後、休眠打破の遅い年には休眠打破がさらに進み続けるが、逆に早い年にはほぼ休眠を完了していながら、低い気温のために花芽の発達があまり進まず、やがて両者の推移の差が縮まり、 D_s ごろにはこの差が最も小さくなると考えられる。

そうなると、休眠打破の推移が相対的に早い年には、 D_s まで積算されたチルユニットが必要以上に過大評価される可能性があり、休眠打破の進捗を表わす指標としてあまり意味を持たない。従って、休眠打破の遅速の年次間差をよりよく反映するチルユニットの終算日は、 D_s より前にあると思われる。

そこで、この D_s 以後の変換日数の積算値に対するチルユニットの相関が最も高くなる、チルユニットの終算日(D_f)を求めることにした。ここでは、サクラの休眠打破がかなり進むと思われる1月初頭から、 D_s の範囲で終算日 D_f を見出すことにした。

この終算日 D_f や、その時の相関係数などをTable 3に示した。各地の D_f は、八丈島で通日50日、それ以外の九州や四国の各地点では通日2～13日であった。ちなみに佐賀では両者の間に有意な関係が現われず、 D_f を決定できなかった。なお、大分と宮崎では、 D_s が他地点と比べかなり遅く、両者の間に良好な相関は得られなかった。そこで、暫定的な変換日数の起算日(D_s')を、他の九州各地の D_s とほぼ同じ通日45日に設定したところ、終算日 D_f は大分と宮崎でそれぞれ通日13日、12日となった。これらの D_f は、五井(1982)などで述べられた実用的な促成を開始できる最も早い時期と一致する。このときの両者の相関は、 t 検定の結果、佐賀を除いた8地点が危険率1%で有意であった。なお、佐賀で両者の高い相関を得られなかった理由については、今後の検討を要する。

D_f までのチルユニット積算値を使った補正の結果、八丈島では推定精度がRMS誤差で2.32日(2次回帰式を適用)と、さらに高くなった。また佐賀と宮崎を除いたその他の地点でもRMS誤差が2日以下となった(Fig.4)。これは補正を施さなかった寒冷地の精度に匹敵する。

D_f まで積算されたチルユニットによって補正した場合

Table 3 Correlation between the chill-unit accumulations up to D_f and DTS accumulated from starting date D_s . The accuracy of estimation using correction by these relations is also shown.

Station name	D_s	D_f	Mean chill-unit	Correlation coefficient	Root mean square error
	(days of year)				(days)
Hachijo Is.	59	50	880	-0.876***	3.21
Oita	†45	13	932	-0.741***	1.63
Nagasaki	45	12	862	-0.747***	1.81
Kumamoto	44	11	834	-0.795***	1.31
Miyazaki	†45	12	726	-0.646***	2.33
Takamatsu	44	11	1008	-0.719***	1.33
Kochi	49	2	648	-0.578**	1.80
Tokushima	49	8	880	-0.558**	1.74

†: D_s' , the starting date is determined provisionally instead of D_s .

,*: Statistical significance of linear regression at $P<0.01$ and $P<0.001$ respectively.

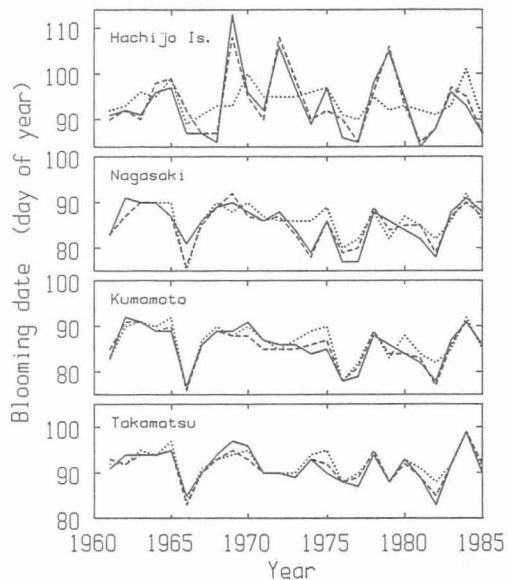


Fig. 5. Secular changes of blooming dates at 4 warm sites. Solid lines show observed blooming dates. Dashed lines and dotted lines are blooming date estimated with and without correction using chill-units accumulated to D_f , respectively.

の推定結果の例はFig.5に示す。八丈島では未補正の場合、1ヶ月近くもある開花日の変動をほとんど捉えることはできなかった。しかし、 D_f までのチルユニット積算値を補正に用いることにより、開花日の変動をかなり正確に再現できたことが判る。また熊本や高松の場合は、 D_f までのチルユニットを使うことにより、精度が寒冷地の推定結果(たとえばFig.3)とあまり変わらなくなった。

高砂(1957)によれば、千葉県柏市におけるソメイヨシノの花芽の顕著な重量の増加が2月中～下旬に始まるようである。しかし、アンズの花芽の観察(Brown, 1960)やサンカオウトウの開花促成(Felker and Robitaille, 1985)から、休眠が徐々に打破されるに伴い、花芽の成長が少しずつ進むことも示唆された。起算日 D_s は、低温による休眠打破の進捗と高温による花芽の成長、それぞれの年次間差が、どちらも最小になる統計的な平均日と考えられ、決してこの日に花芽が成長し始めるわけではない。今回の推定では、チルユニット積算の終算日 D_f と25℃変換日数の起算日 D_s との間の気温については考慮できなかった。これは、この時期の気温が相対的に低いので気温が開花にほとんど影響しないと思われたため、またさらに、この時期に休眠打破に対する低温の効果の異なることを、今回の様な統計処理で加味することが困難と思われたためである。今後、こういった補正を進める際には、サクラの休眠から発育への『過渡期』にあたると思われる、チルユニットの終算日 D_f から25℃変換日数の起算日 D_s までの期間の扱い方を問題にしなければならない。徐々に打破される休眠と、同時に徐々に再開される花芽形成を、どの様にモデルに組み込むべきかが、今後の検討課題として残った。

4. 結 論

25℃への温度変換日数による積算モデルを全国38地点のソメイヨシノの開花日推定に適用し、より正確な推定結果を得るための誤差の消去も併せて試みた。

25℃変換日数の積算に適切な起算日(D_s)は、東北部以南のほとんどの地点で通日40～55日、それ以北では通日40日以前が多かった。また、推定に適切な温度特性値 E_a の値は約71 kJ mol⁻¹と、前報と同じ値になることも確認された。これらの起算日 D_s と E_a を用いたときの開花日推定精度は、東北、北陸などの寒冷地でRMS誤差が1～2日程度と比較的少ないが、これ以南の暖地では2日以上とかなり多くなった。

この推定方法では、開花推定日が実際より全般的にやや遅れる傾向があった。これが原因で生じる誤差を消去するために、変換日数の平均積算値を減少させ、最も高い精度を与える修正値を見出した。その結果、ほとんどの地点で0.1～0.5日だけRMS誤差を減少できた。

さらに九州、四国などの暖地では、休眠打破の進捗の年次間差が、変換日数の積算値の年変動となって現われ、開花日の推定誤差も増加した。このため、チルユニットを用いて、休眠打破の進捗を把握し、変換日数の積算値の年変動を補正することにした。

とくに、 D_s 以後の変換日数の変動との間の相関の最も

高いチルユニット積算値をもたらず終算日 D_f を求め、 D_f までのチルユニットを補正に用いたところ、八丈島でRMS誤差が2.32日、その他のほとんどでは2日以内となった。この終算日 D_f は、サクラの開花促成において、実用的な開花を得るとされる促成開始時期の限界と概ね一致する。

今後は、過去の開花、気温データなしに、どこでも容易に開花時期の推定や予想が可能となりうるか、また暖地ではさらに、現実の花芽の休眠と発達の時間的な流れを、どのようにモデルの作成に加味すべきなのかについて、検討する必要があると考えられる。

引用文献

- Anstey, T. H., 1966: Prediction of full bloom date for apple, pear, cherry, peach and apricot from air temperature data. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **88**, 57-66.
- Brown, D. S., 1960: The relation of temperature to the growth of apricot flower buds. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **75**, 138-147.
- 江原武吉, 1941: 熊谷に於ける桜の開花と気象との関係に就て. *天気と気候*, **8**, 679-688.
- 江幡守衛・石川雅士, 1987: 植物季節と有効積算気温—名古屋におけるソメイヨシノの開花日について—. *農気東海誌*, **45**, 27-29.
- Erez, A. and Lavee, S., 1971: The effect of climatic conditions on dormancy development of peach buds. I. Temperature. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **96**, 711-714.
- Felker, F. C. and Robitaille, H. A., 1985: Chilling accumulation and rest of sour cherry flower buds. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **110**, 227-232.
- 五井正憲, 1982: 温帯花木の花芽形成ならびに開花調節に関する研究. *香川大農紀要*, **38**, 1-120.
- 花岡喜重・茂木孝夫・森 昭, 1980: 標高差による花木の生態的研究 II ヒガンザクラ, モモ, ウメについて. *群馬園試報告*, **8**, 1-18.
- 金野隆光・杉原 進, 1986: 土壌生物活性への温度影響の指標化と土壌有機物分解への応用. *農環研報*, **1**, 51-68.
- 熊野羊太郎, 1957: 下関における桜(そめいよしの)の開花日, 満開日の予想について. *産気調報*, **20**, 75-78.
- Lindsey, A. A., 1963: Accuracy of duration temperature summing and its use for *Prunus serotina*. *Ecology*, **44**, 149-151.
- 小元敬男・青野靖之, 1989: 速度論的手法によるソメイヨシノの開花日の推定. *農業気象*, **45**, 25-31.
- 小野祐幸・金野隆光・田村良文, 1987: 永年作物の感温特性に関する研究(第1報), 果樹の開花における感温特性. *園学要旨*. 昭62秋, 72-73.
- 小野祐幸・金野隆光・田村良文・鴨田福也・杉浦俊彦・奥野 隆・浅野聖子, 1988a: 永年作物の感温特性に

- 関する研究(第2報), ナシの開花期予測. 園学要旨. 昭63春, 142-143.
- 小野祐幸・金野隆光・田村良文・岩垣 功・高原利雄・山田彬雄, 1988b: 永年作物の感温特性に関する研究(第3報), カンキツの開花期予測. 園学要旨. 昭63春, 30-31.
- Parton, W. J. and Logan, J. A., 1981: A model for diurnal variation in soil and air temperature. *Agric. Meteorol.*, **23**, 205-216.
- Richardson, E. A., Seeley, S. D. and Walker, D. R., 1974: A model for estimating the completion of rest for 'Redhaven' and 'Elberta' peach trees. *Hortsci.*, **9**, 331-332.
- 斎藤平蔵, 1974: 建築気候. 共立出版, 東京, pp. 121-127.
- 坂井恭正・河原律子, 1952: 東京における桜(ソメイヨシノ)の開花予想, 産気調報, **16**, 65-69.
- Shaltout, A. D. and Unrath, C. R., 1983: Rest completion prediction model for 'Starkrimson Delicious' apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **108**, 957-961.
- 篠原久男, 1951: 気温がソメイヨシノの開花日に影響する時期. 農業気象, **7**, 19-20.
- 篠原久男, 1953: 朝鮮の桜開花日に影響する気温. 農業気象, **8**, 23-24.
- 高砂 学, 1957: ソメイヨシノザクラの開花期と落花期に関する小観測(統報). 産気調報, **20**(3), 7-12.
- 槌谷 勇, 1941: 桜の開花及満開期日. 天気と気候, **8**, 214-216.
- Weinberger, J. H., 1950: Chilling requirements of peach varieties. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **56**, 122-128.