

温度変換日数(DTS)法によるウンシュウミカンの満開期予測と精度

矢羽田第二郎・大庭義材・桑原 実

温度変換日数(DTS)法によるウンシュウミカンの満開期予測の福岡県における適用方法を明らかにし、予測時期別の精度について検討した。筑紫野市における気象データを用いて、コンピュータ用プログラム〔FLOWER〕による計算で得られたDTS法の温度特性値であるEaは、‘山川早生’、‘興津早生’、‘青島温州’の順に27,000, 19,000, 6,000であり、DTSは同じく38.3, 47.6, 85.6日で、成熟の早い品種ほどEaの値は大きく、DTSは少なくなった。開花予測の起算日は‘山川早生’と‘興津早生’は1月20日、‘青島温州’は1月25日であった。満開期の観測日とDTS法による推定日との相関係数は、‘山川早生’、‘興津早生’は0.89前後で相関が高かったのに対して、‘青島温州’は0.677と相関が低かった。過去12年間の平均気温を用いて行った筑紫野市における満開期予測の精度は予測時期が3月中旬以降になってから向上し、観測日と予測日の誤差は3月中旬～4月中旬は±2.5日前後、誤差の最も小さくなった5月上旬には±2.0日となった。また、筑紫野市における計算で得られたDTS, Ea, 起算日などの値を用いて、県内3か所のアメダス観測地点における満開期予測を行った場合の誤差は、±1～3日であった。

[キーワード: ウンシュウミカン, 満開期, 予測, DTS法, 精度]

Forecasting the Full Bloom Stage of Satsuma Mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) by DTS Method. YAHATA Daijiro, Yoshiki OBA and Minoru KUWAHARA (Fukuoka Agric. Res. Cent., Chikushino, Fukuoka 818, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. Res. Cent.* 14: 125-128 (1995)

Applicability of DTS (the numbers of days transformed to standard temperature) method to forecast the full bloom stage of satsuma mandarin in Fukuoka Prefecture and the precisions of the forecast were tested at every half months from mid-February to early-May. Values of DTS (standard temperature was 20 °C in this study), temperature characteristics (Ea, unit was cal mol⁻¹) and starting dates for forecasting calculated by computer program ‘Flower’ in three cultivars were 38.3 days, 27,000 and January 20 for ‘YAMAKAWA WASE’, 47.6 days, 19,000 and January 20 for ‘OKITSU WASE’, 85.6 days, 6,000 and January 25 for ‘AOSHIMA UNSHIU’ at Chikushino City. The correlation coefficients between observed and estimated dates of full bloom stage were ca. 0.89 for ‘YAMAKAWA WASE’ and ‘OKITSU WASE’, but for ‘AOSHIMA UNSHIU’, it was 0.677. The precisions of forecasting at Chikushino City with average temperatures during the last 12 years were risen from mid-March. The difference between observed and estimated date of full bloom stage were around ± 2.5 days from mid-March to mid-April and ± 2.0 days at early-May when errors were minimum. The difference between observed and estimated dates of full bloom stage forecasting at three AMEDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System) stations in Fukuoka Prefecture using values of DTS, Ea and starting date obtained by computation at Chikushino City ranged from ± 1 to 3 days.

[Key words : Satsuma mandarin, Full bloom stage, Forecasting, DTS method, Precision]

結 言

近年、暖冬や冷夏長雨など年による気象の変化が大きく、それに伴って果樹の生育も変動しやすくなっている。このため、安定的な果実生産を行うには、気象の変化に即応した生育の予測や診断を行って適切な対策を講じることが必要であり、精度の高い生育予測法や診断法の確立が望まれている。

これまで果樹の生育や果実品質の予測には、気温や積算温度、降水量との相関関係による回帰式が多く用いられてきた^{2,3,5,10}。しかし、これらの予測法は回帰式を各地点ごとに独立で作成するため、年次の違いや地域によっては精度が劣り、普遍性に欠けている^{6,10}。このような方法に替わって、最近では植物の生育速度と気象要因との関連性を実験的にモデル化して生育予測を行う手法が開発され、温度変換日数法や発育速度の概念を用いたノンパラメトリック

法などによる予測技術の確立が進められている^{1,4,6,9,14,15}。これらの中で金野ら⁴の提案した温度変換日数法は、アレニウスの法則を用いて生物活性と温度の関係を指数関数的に解析するもので、カンキツ、ナシなど果樹の開花予測に適用できることが小野ら^{7,8}によって明らかにされている。しかし、実際に温度変換日数法による開花予測を行う場合の予測時期や精度についての報告は少なく、また温度変換日数の計算に必要な感温特性値は地域、品種によって異なるため^{11,12}、適用に際しては地域ごとの詳細な検討が必要である。

本報告では、温度変換日数法によるウンシュウミカンの満開期予測について、福岡県における適用方法を明らかにし、予測時期別の精度やアメダスの気象観測データを用いた予測についても検討を行ったので、その結果を報告する。

試 験 方 法

1 DTS 法によるウンシュウミカンの満開期の推定

コンピュータ用プログラム〔FLOWER〕(金野 1987)を使用し、温度変換日数(The Number of Days Transformed to Standard Temperature, 以下 DTS と略す)法によるウンシュウミカンの満開期予測を行うために必要な感温特性値である DTS, Ea (温度特性値, 単位は cal/mol) 及び起算日の計算を行った。計算に必要な満開期データは、福岡県筑紫野市の園芸研究所における‘山川早生’(1984～1993 年), ‘興津早生’(1982～1993 年), ‘青島温州’(1983～1993 年)の調査データを用いた。気温データは、所内で観測を行った 1982 年から 1993 年までの 1～5 月の日最高気温, 日最低気温及び日平均気温を用いた。コンピュータによる計算はそれぞれの品種について, 任意の Ea と起算日を用いて各調査年の満開までの DTS を計算し, その平均値を平均 DTS とした。次に平均 DTS を用いて, 各年の満開期を推定し, 観測日との差の平方和(残差平方和)を計算した。Ea と起算日の値を変えて繰り返し計算を行い, 残差平方和が最も小さい時の Ea と起算日を最適感温特性値とした。なお, 計算に使用する標準温度は, ウンシュ

ウミカンで一般に用いられる 20℃とした。

2 DTS 法によるウンシュウミカンの満開期の予測と精度

前項で得られた最適感温特性値を用い, コンピュータ用プログラム〔FLOWER〕を使用して DTS 法によるウンシュウミカンの満開期の予測を行い, 予測時期を変えてその精度を検討した。調査場所は筑紫野市で, 調査年度と供試品種も前項と同様とし, 満開期及び気温データも感温特性値の計算と同じデータを使用した。予測月日は 2 月 15 日, 3 月 1 日, 3 月 15 日, 4 月 1 日, 4 月 15 日及び 5 月 1 日とし, 予測月日以降の気温には 1982～1993 年の 12 ヶ年の通算平均気温を用いて計算を行った。それぞれの品種について各調査年の満開期を予測し, 予測月日ごとに残差平方和及び予測誤差の日数を計算した。残差平方和は調査年数の違いによる差を排除するため, 調査年数(自由度 $n-2$)で除して残差分散を計算し, 精度判定の材料とした。また, 予測誤差は各調査年次の誤差日数の絶対値平均で表示した。

次に, 同じ最適感温特性値を使用して福岡県内各地の予測を行った場合の誤差を検討するため, 県内のアメダスの気温データを用いて DTS 法によるウンシュウミカンの満開期予測を行った。アメダス観測地点としては, 観測所から 2～5 km の範囲にウンシュウミカンの生産地が存在する宗像(宗像市田熊), 前原(前原市前原), 黒木(八女郡黒木町本分)の 3 ヶ所を選定した。予測を行った年は 1991～1993 年で, ウンシュウミカンの満開期は各地区で早生ウンシュウ(‘宮川早生’及び‘興津早生’基準)及び普通ウンシュウ(‘青島温州’基準)として農協で調査されたデータを用いた。ただし, 前原地区での調査は早生ウンシュウのみである。予測の方法は筑紫野市の場合と同様に行い, 予測月日ごとに残差分散と誤差日数を計算した。なお, 予測月日以降の気温は各地区ごとに, 1984～1993 年の 10 ヶ年の通算平均気温を用いた。

第 1 表 ウンシュウミカンの満開期予測に関する DTS 法の最適感温特性値¹⁾

品種名	Ea ²⁾	DTS ³⁾	r ⁴⁾	起算日	平均満開日	調査年次
山川早生	27,000	38.3	0.894	1月20日	5月18日	1984～1993
興津早生	19,000	47.6	0.881	1月20日	5月17日	1982～1993
青島温州	6,000	85.6	0.677	1月25日	5月23日	1983～1993

- 1) 調査場所は福岡県筑紫野市
- 2) 温度特性値
- 3) 温度変換日数
- 4) 観測日と推定日の相関係数

第 2 表 DTS 法によるウンシュウミカンの満開期の推定

調査年	山川早生			興津早生			青島温州		
	観測日	推定日	差	観測日	推定日	差	観測日	推定日	差
	月日	月日	日	月日	月日	日	月日	月日	日
1982	—	—	—	5.15	5.15	0	—	—	—
1983	—	—	—	5.13	5.13	0	5.17	5.21	-4
1984	5.23	5.25	-2	5.24	5.26	-2	5.26	5.28	-2
1985	5.16	5.15	1	5.16	5.16	0	5.24	5.22	2
1986	5.17	5.18	-1	5.17	5.19	-2	5.23	5.25	-2
1987	5.18	5.19	-1	5.18	5.19	-1	5.21	5.23	-2
1988	5.19	5.19	0	5.19	5.19	0	5.28	5.24	4
1989	5.11	5.11	0	5.12	5.12	0	5.20	5.20	0
1990	5.18	5.14	4	5.18	5.13	5	5.22	5.19	3
1991	5.20	5.21	-1	5.20	5.19	1	5.25	5.23	2
1992	5.14	5.16	-2	5.13	5.16	-3	5.17	5.21	4
1993	5.20	5.23	-3	5.19	5.22	-3	5.24	5.25	1
平均 ¹⁾	±1.5			±1.4			±2.4		

- 1) 観測日と推定日の差の絶対値平均

第 3 表 DTS 法によるウンシュウミカンの満開期予測と精度¹⁾

予測月日 ³⁾	山川早生		興津早生		青島温州	
	残差分散	予測誤差 ²⁾	残差分散	予測誤差 ²⁾	残差分散	予測誤差 ²⁾
	±日		±日		±日	
2月15日	22.1	3.1	17.7	2.9	12.8	2.5
3月1日	17.8	2.6	15.5	2.8	8.2	2.2
3月15日	14.8	2.4	10.8	2.3	10.3	2.3
4月1日	14.6	2.7	11.4	2.5	10.0	2.4
4月15日	13.0	2.8	12.1	2.8	9.0	2.3
5月1日	6.4	1.9	7.7	2.1	7.3	2.0
DTS 推定 ⁴⁾	4.6	1.5	5.3	1.4	8.7	2.4

- 1) 調査場所は福岡県筑紫野市, 調査年次は‘山川早生’1984～1993年, ‘興津早生’1982～1993年, ‘青島温州’1983～1993年
- 2) 各調査年次の誤差日数の絶対値平均
- 3) 予測月日以降は1982～1993年の通算平均気温により計算
- 4) 各調査年の気温により計算

第4表 アメダスの気温データを用いたDTS法による
早生ウンシュウの満開期予測と精度¹⁾

予測月日 ³⁾	宗 像		前 原		黒 木	
	残差分散	予測誤差 ²⁾	残差分散	予測誤差 ²⁾	残差分散	予測誤差 ²⁾
	±日		±日		±日	
2月15日	35.0	3.0	86.0	4.0	33.0	3.0
3月1日	33.0	3.0	58.0	3.3	27.0	3.0
3月15日	19.0	2.3	40.0	2.7	12.0	2.0
4月1日	14.0	2.0	30.0	2.7	11.0	1.7
4月15日	17.0	2.3	17.0	1.7	2.0	0.7
5月1日	6.0	1.3	14.0	2.0	4.0	0.7
DTS推定 ⁴⁾	13.0	1.7	29.0	2.3	3.0	1.0

1) 品種は‘宮川早生’及び‘興津早生’基準で、調査は1991～1993年

2) 3カ年の誤差日数の絶対値平均

3) 予測月日以降は1984～1993年の通算平均気温により計算

4) 各調査年の気温により計算

結 果

1 DTS法によるウンシュウミカンの満開期の推定

計算によって得られたDTS法のための最適感温特性値を第1表に示した。温度特性値Eaは‘山川早生’、‘興津早生’、‘青島温州’の順に27,000, 19,000, 6,000であり、DTSは同じく38.3, 47.6, 85.6日で、成熟の早い品種ほどEaの値は大きく、DTSは少なくなった。起算日は、‘山川早生’と‘興津早生’は1月20日、‘青島温州’は1月25日であった。観測日と推定日の相関係数は‘山川早生’が0.894、‘興津早生’は0.881で相関が高かったのに対して、‘青島温州’は0.677と相関が低かった。

品種ごとの満開期の観測日と推定日との差を第2表に示した。調査各年の観測日は、‘山川早生’が5月11日～23日、‘興津早生’が5月13～24日、‘青島温州’は5月17日～28日で各品種とも11～12日間の開きがあった。最適感温特性値を用いて計算した推定日は、観測日との差がおおむね±0～3日となったが、年によっては±4～5日の誤差を生じた。誤差の平均は‘山川早生’が±1.5日、‘興津早生’は±1.4日、‘青島温州’は±2.4日で、‘青島温州’の誤差が大きくなった。

2 DTS法によるウンシュウミカンの満開期の予測と精度

筑紫野市の‘山川早生’、‘興津早生’及び‘青島温州’について、2月から5月にかけて半月おきに行った満開期予測の結果を第3表に示した。残差分散の値は‘山川早生’と‘興津早生’は2月15日及び3月1日の予測で15.5～22.1と大きくなり、また‘青島温州’も2月15日が12.8とやや大きく、この時期の予測は精度が劣った。その後、‘山川早生’、‘興津早生’は3月15日から4月15日にかけて、‘青島温州’は3月1日以降に残差分散が低下または横ばい傾向となり、5月1日には各品種とも7前後と最も小さくなって、当年の気温で推定した場合と大差なくなった。予測誤差の日数は、‘山川早生’と‘興津早生’は3月1日～4月15日が±2.3～2.8日、5月1日は±2日前後になったのに対し、‘青島温州’では2月15日～4月15日が±2.2～2.5日、5月1日は±2.0日で、‘青島温州’の方が誤差の変動がやや小さかった。

第5表 アメダスの気温データを用いたDTS法による
普通ウンシュウの満開期予測と精度¹⁾

予測月日	宗 像		黒 木	
	残差分散	予測誤差 ²⁾	残差分散	予測誤差 ²⁾
	±日		±日	
2月15日 ³⁾	6.0	1.3	72.0	4.0
3月1日	6.0	1.3	62.0	4.0
3月15日	6.0	1.3	49.0	3.7
4月1日	2.0	0.7	33.0	3.0
4月15日	1.0	0.3	30.0	2.7
5月1日	4.0	0.7	30.0	2.7
DTS推定 ⁴⁾	5.0	1.0	30.0	2.7

1) 品種は‘青島温州’基準で、調査は1991～1993年

2) 3カ年の誤差日数の絶対値平均

3) 予測月日以降は1984～1993年の通算平均気温により計算

4) 各調査年の気温により計算

アメダスの気温データを用いた満開期予測の結果は、早生ウンシュウは第4表、普通ウンシュウは第5表に示した。早生ウンシュウの残差分散は、2月15日と3月1日の値が大きく、3月15日以降は低下傾向となり、宗像と前原では5月1日、黒木では4月15日が最も小さくなった。また3地区の中では、前原の残差分散が大きかった。普通ウンシュウでは宗像の残差分散が小さく、2月15日～3月15日は6.0で、その後さらに低下した。黒木の残差分散は2月15日と3月1日の値はそれぞれ72.0, 62.0と大きかったが、3月15日以降は低下して4月15日と5月1日には30.0となった。予測誤差の日数は早生ウンシュウでは3月15日以降小さくなり、各調査地点とも3月15日と4月1日は±1.7～2.7日、4月15日と5月1日では±0.7～2.3日であった。普通ウンシュウは、宗像が2月15日から5月1日まで±0.3～1.3日であったのに対して、黒木は3月15日～5月1日で±2.7～3.7日あり、誤差が大きくなった。

考 察

DTSは、自然条件下での植物の生育日数を、標準温度に変換すると何日に相当するかを表した数値である⁴⁾。DTSを用いた生育予測には、温度特性値であるEaと起算日が必要となる。この内、Eaはアレニウスの法則で見かけの活性化エネルギーとして定義され、植物の温度に対する感受性を数量化した特性値であるが、その実態は不明な点が多いとされている^{8,14)}。小野ら^{7,11)}は、Eaが種、品種及び地域によって固有の値を示し、ウンシュウミカンでは早生ウンシュウは普通ウンシュウに比べてEaが大きく、その場合、DTSは小さい値を示すことを報告している。本報告においても、‘山川早生’と‘興津早生’のEaは‘青島温州’より明らかに大きく、またDTSは逆に小さくなり、小野らの報告と一致した。Eaはアレニウスの式から導き出される発育速度の温度係数Kに比例し、Kの値が大きいほど植物は温度変化に敏感になることから^{4,8)}、‘山川早生’、‘興津早生’などの極早生及び早生ウンシュウの開花期変動に及ぼす気温の影響は、普通ウンシュウに比べて大きいと考えられる。

開花予測の起算日もこれまでの報告とほぼ一致した結果

が得られ、‘山川早生’及び‘興津早生’が1月20日、‘青島温州’は1月25日となった^{7,11)}。小野¹⁰⁾は起算日について、果樹が生理的に温度変化に感応し始める休眠覚醒期に相当するとしている。しかし、DTS法による発芽予測のための起算日は12月以前になることがあり、また施設栽培のウンシュウミカンでは、休眠現象が終了して加温により発芽しやすくなる時期は12月上旬前後であることから¹⁶⁾、開花予測の起算日がそのまま休眠覚醒期に当たるとは考えにくい。小元⁶⁾は、ソメイヨシノの開花日の推定の際、暖地では休眠完了度合いの年次差によって予測誤差が大きくなることを報告している。また、杉浦¹⁴⁾は、ニホンナシの休眠覚醒から開花までの厳密な予測には、自発休眠覚醒期、催芽期及び開花期というように発育ステージを区切って予測式のパラメータを与える必要があるとしている。本報告における満開期の推定日は、観測日との差が±3日以内の場合が多く、精度の高い推定結果が得られたが、年によっては±4～5日の誤差を生じた。このような誤差の要因を解明して精度を向上させるには、休眠覚醒期前後やその後の発育ステージごとに気温の影響程度をさらに検討する必要がある。

DTS法による開花予測についての報告は、当年の気温データを用いた推定結果が多く、過去の通算平均気温による予測事例はきわめて少ない^{6,7,8,11,12)}。本報告では、満開期のDTSに達するまで当年の気温で計算した場合を「推定」とし、予測月日以降に過去の通算平均気温を用いた場合は「予測」として区別し、予測時期ごとに精度を検討した。DTS法における精度の判定には、観測日と予測日との残差平方和を用いる¹⁰⁾。しかし、本報告では調査年数の多少によるばらつきを排除するため、残差分散により精度判定を行った。残差分散は残差平方和を調査年数(自由度 $n-2$)で除して求めた数値であり、傾向は残差平方和と同じと考えてよい。筑紫野市及びアメダス観測地点の3地区で2月中旬から約半月おきに行った満開期予測の結果は、2月中旬～3月上旬までは残差分散が大きくなる場合が多く、精度向上のためには3月中旬以降に予測を行う必要のあることが明らかになった。その場合、誤差日数は3月中旬～4月中旬でおおむね±2～2.5日であり、開花期が近くなる5月上旬には精度がさらに向上して±1～2日になった。

また、アメダス観測地点における満開期予測では、品種、地域によるばらつきはあるものの、良好な予測結果が得られたことから、本報告のEa、起算日などの最適感温特性値は、県内のウンシュウミカンの満開期予測に適用できることが実証された。しかし、今回選定したアメダス観測地点はウンシュウミカンの生産地からの距離が2～5 kmの範囲にあり、距離が大きくなった場合には誤差が拡大すると考えられる。アメダス観測地点は約21 km四方に1地点の割合で設置されている。しかし、設置地点が必ずしもウンシュウミカンの生産地に隣接しているわけではなく、距離が近くても地形の影響などによっては気温が変化する。このため県内各地のウンシュウミカンの満開期予測に、アメダスの全観測地点の気温データをそのまま利用することはできない。近年、1 km²を基礎単位として気温や降水量の平年値を推定したメッシュ気候図の整備が全国的に進められており、福岡県でもすでに作成されている。このメッシュ気候値とアメダス実況値を用いて調和解析法による変換を行うと特定年月日の気温データをメッシュ化(リアル

タイムメッシュ気温情報)することができる¹³⁾。気象観測の行われていない地域にDTS法を適用するためには、リアルタイムメッシュ気温情報を用いた予測方法の確立が必要である。

引用文献

- 1) 林田誠剛・岸野 功・小野祐幸・竹澤邦夫(1993) アンサンブル法を用いたウンシュウミカンの果実品質予測. 園学九州支部研究集録2: 25～26.
- 2) 嶋田福也(1990) 気象要因に基づく果樹生育予測の問題点. 果樹・野菜における予測と診断, 東京: 化学日報社, pp. 60-65.
- 3) 金子友昭・松浦永一郎(1990) 気温によるニホンナシ幸水の果実肥大予測. 園学雑 59 (別1): 168-169.
- 4) 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: 51-63.
- 5) 岡田正道・鈴木晴夫・牧田好高・大野文征・小中原実(1984) ウンシュウミカンの発芽期および開花期に及ぼす気象要因の影響. 静岡柑試研報 20: 1-10.
- 6) 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 (1): 25-31.
- 7) 小野祐幸・金野隆光・田村良文・岩垣功・高原利雄・山田彬雄(1988) 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.
- 8) 小野祐幸・金野隆光・奥野 隆・浅野聖子(1988) 日本ナシの催芽・開花まで日数への温度の影響. 農業気象 44 (3): 203-208.
- 9) 小野祐幸・金野隆光(1989) ノンパラメトリック法を用いた温度影響評価による果樹の生育予測. 園学雑 58 (別2): 184-185.
- 10) 小野祐幸(1990a) 速度論的手法による果樹の萌芽・開花予測法. 果樹・野菜における予測と診断, 東京: 化学日報社, pp. 49-55.
- 11) 小野祐幸・薬師寺博・金野隆光(1990b) ウンシュウミカンの開花予測に関連する要因の地域による違いについて. 園学雑 59 (別2): 58-59.
- 12) 小野祐幸・薬師寺博(1992) ウンシュウミカンの広域的な開花予測に関連する気温の影響について. 園学雑 61 (別2): 88-89.
- 13) 清野 豁(1990) 農業環境研究におけるメッシュデータと気象情報の利用(2). 農業および園芸 65 (8): 925-931.
- 14) 杉浦俊彦・小野祐幸・嶋田福也・朝倉利員・奥野 隆・浅野聖子(1991) ニホンナシの自発休眠覚醒期から開花期までの発育速度モデルについて. 農業気象 46 (4): 197-203.
- 15) 竹澤邦夫・田村良文・小野祐幸(1989) 作物の生育ステージのノンパラメトリック推定の有効性. 農業気象 45 (3): 151-154.
- 16) 矢羽田二郎・大庭義材・松本和紀・津田勝男(1990) 温州ミカンの早期加温栽培に関する研究. (第1報) 休眠・花芽分化に及ぼす低温の影響. 福岡農総試研報 B-10: 57-60.