

## ウンシュウミカンの生育予測システムの開発

林田誠剛・岸野 功・森田 昭

Development of Growth Forecasting System on Satsuma Mandarin

Seigo HAYASHIDA, Isao KISHINO and Akira MORITA

### 緒 言

果樹の生育は気温、降水量、日射量などの気象要素と密接な関係があり、気象は発芽期、開花期、成熟期の早晚や果実肥大、品質を左右する大きな要因である。

一方、気象条件からその年の発芽期、開花期、成熟期の予測は、防除や摘果などの栽培管理時期の決定、収穫労力の確保、果実の計画的な入出庫管理などの点から非常に有効な手段である。

これまで、果樹の生育や果実品質の予測には気象要因や生物季節との単回帰式や重回帰式から求める方法<sup>1,9,10</sup>が多く用いられてきた。しかし、これらの統計的手法による予測法は、過去にない気象条件が顕著に現れた年には予測精度が劣ることが多い。また、この手法は多くの年数を重ねれば、精度は高くなるものの植物の生理に基づいた予測法ではないので、普遍的な予測モデルとは言えない。

最近、植物の生育速度をモデル化して気象要因から植物の生育期を予測する手法が提案され、果樹の分野においても実用化できることが報告されている。

ここでは、そのような予測手法の一つであり、多くの果樹で利用されている温度変換日数法<sup>3,8,13</sup>とノンパラメトリック法<sup>17</sup>を用い、ウンシュウミカンの発芽期、開花期を予測し、さらに開花後の積算温度から成熟期を予測するシステムを開発したのでその

結果を報告する。

### 材料及び方法

#### 1. 発芽期、開花期及び成熟期の予測法

##### 1) 発芽期及び開花期の予測

金野・杉原は<sup>9</sup>アレニウスの法則を基に生物の生育速度と温度とを指数関数的に予測する温度変換日数法を提唱している。温度変換日数(DTS:The Number of Days Transformed to Standard Temperature)とは様々な温度における生育速度を標準温度に換算し、所要日数で表したものである。

本報ではこの温度変換日数法を用いて、発芽期及び開花期を予測した。まず、予測に必要なパラメータである DTS, Ea 及び起算日の最適値を計算によって求めた。Ea は気温が 1℃変化するとき生育速度が受ける係数 k より求めた値で、見かけの活性化エネルギーと呼ばれる。予測には場内における 1966~1988年の‘宮川早生’の発芽期、開花期の観測日及び日別平均気温データを用い、パソコン用プログラム FLOWER (金野, 1987) で発芽期、開花期を算出した。

また、1966~1988年の‘林温州’の発芽期、開花期の観測日及び同期間の日別平均気温を用い、発芽期、開花期を温度変換日数法とノンパラメトリック法で予測し、両者の予測精度を比較した。ノンパラ

メトリック法は植物の生育速度をパラメータを用いずに推定する方法で、パソコン用プログラム NON-PARA (金野ら, 1988) を用いた。

## 2) 成熟期の予測

ウンシュウミカンについては成熟期をどの時点とするか一定の基準はない。筆者らは酸含量がある一定基準 (宮川早生で1.0%) を下回った時期を成熟期とみなし、気象データとの関連について検討した。

1970年から1987年までの場内の‘宮川早生’について開花期から酸含量が1.0%に達するまでの期間内の平均気温、最高気温、最低気温及び降水量の積算値を計算し、年次間の変動を算出した。

また、成熟までの積算気温の品種による違いを明らかにするため、1982年から1988年までの場内における‘岩崎早生’、‘原口早生’及び‘宮川早生’について開花期から酸含量が1.0%に達するまでの日数とその間の平均気温、最高気温及び最低気温の積算値を算出した。

さらに、露地栽培と施設栽培における生育期間中の遭遇温度の違いを明らかにするため、場内で栽培している早生ウンシュウの施設栽培と露地栽培について、1989年から1991年の開花期から酸含量が1.0%に達するまでの日平均気温積算値を算出した。

## 2. 生育シミュレーションシステムの開発

上記によって検討した生育予測法とメッシュ気象データ等を使用して、長崎県内における実用的なウンシュウミカンの生育シミュレーションシステムを

開発した。

開発に用いた Operating System は Microsoft 社の Windows95, ソフトウェアは Microsoft 社の Excel95 for Windows である。また、記述言語には Visual Basic Application を用いた。

## 結 果

### 1. 発芽期, 開花期及び成熟期の予測法

#### 1) 発芽期及び開花期の予測

予測を行うに当たって算出した DTS,  $E_a$  及び起算日を第 1表に示した。 $E_a$  は発芽期よりも開花期で高く, ‘林温州’よりも‘宮川早生’で高かった。

温度変換日数法による‘宮川早生’の発芽期, 開花期の予測日を第 2表に示した。予測に供試した23年間に発芽期は最も早い年で3月20日, 遅い年で4月13日で, 年により24日の差がみられた。開花期は最も早い年で5月2日, 遅い年で5月18日で, 年次間差は17日であった。温度変換日数法で予測した推定日と観測日の差は2, 3の例外を除けば, 発芽期で4日以内, 開花期で3日以内で, 開花期の予測精度が高い傾向にあった。

‘林温州’について予測法の精度を比較した結果を第 3表に示した。温度変換日数法はノンパラメトリック法に比べ発芽期, 開花期とも標準偏差が小さく, 予測精度が高かった。また, ‘宮川早生’と同様に発芽期よりも開花期の予測精度が高い傾向にあった。

第1表 発芽期, 開花期予測に用いたパラメータ

	品 種 名	$E_a$	DTS	起算日
発芽期	宮川早生	20000	18.1	2月 5日
	林 温 州	14000	26.0	2月 5日
開花期	宮川早生	25000	27.0	発芽期 <sup>2</sup>
	林 温 州	23000	28.0	発芽期

<sup>2</sup> 当該年の発芽日

第2表 温度変換日数法による‘宮川早生’の発芽期・開花期の予測

調査年	発 芽 期			開 花 期		
	観測日	予測日	差	観測日	予測日	差
1966	3.22	3.23	1	5.7	5.7	0
1967	4.2	3.30	-3	5.10	5.11	1
1968	4.5	4.7	2	5.12	5.12	0
1969	4.8	4.5	-3	5.8	5.10	2
1970	4.11	4.7	-4	5.18	5.18	0
1971	4.1	4.4	3	5.13	5.11	-2
1972	4.1	4.2	1	5.5	5.8	3
1973	3.24	3.31	7	5.2	5.2	0
1974	4.4	4.5	1	5.12	5.10	-2
1975	4.4	4.8	4	5.10	5.10	0
1976	4.1	3.29	-3	5.12	5.11	-1
1977	4.2	4.2	0	5.10	5.10	0
1978	4.7	4.5	-2	5.13	5.13	0
1979	3.30	3.30	0	5.10	5.11	1
1980	4.7	4.5	-2	5.15	5.16	1
1981	4.7	4.5	-2	5.13	5.16	3
1982	4.2	4.2	0	5.11	5.11	0
1983	4.10	4.7	-3	5.6	5.6	6
1984	4.13	4.12	-1	5.17	5.15	-2
1985	4.2	4.6	4	5.9	5.10	1
1986	4.7	4.10	3	5.14	5.13	-1
1987	3.20	4.2	13	5.9	5.10	1
1988	4.7	4.6	-1	5.14	5.17	3

第3表 温度変換日数法及びノンパラメトリック法による‘林温州’の発芽期・開花期の予測誤差

調査年	発 芽 期			開 花 期		
	観測日	温度変換日数法	ノンパラメトリック法	観測日	温度変換日数法	ノンパラメトリック法
1966	3.29	1	5	5.9	1	2
1967	4.8	-6	-5	5.12	2	1
1968	4.7	2	1	5.14	0	-1
1969	4.10	-2	-4	5.9	2	3
1970	4.13	-4	-6	5.19	0	-1
1971	4.5	1	1	5.15	-2	-3
1972	4.3	2	2	5.7	2	1
1973	3.31	2	4	5.4	1	1
1974	4.6	1	1	5.13	-1	-1
1975	4.6	3	1	5.12	-1	-2
1976	4.3	-1	0	5.13	-1	-2
1977	4.3	2	3	5.12	-1	-2
1978	4.8	-2	-3	5.15	-1	-2
1979	4.3	-2	0	5.12	2	2
1980	4.9	-3	-3	5.17	2	1
1981	4.8	-2	-2	5.14	4	2
1982	4.3	1	1	5.12	-1	-1
1983	4.9	-1	-2	5.9	3	4
1984	4.15	-2	-7	5.18	0	1
1985	4.2	6	5	5.10	1	1
1986	4.6	4	3	5.14	-1	-2
1987	3.21	15	16	5.12	-2	-2
標準偏差		4.15	4.60		1.64	1.91

2) 成熟期の予測

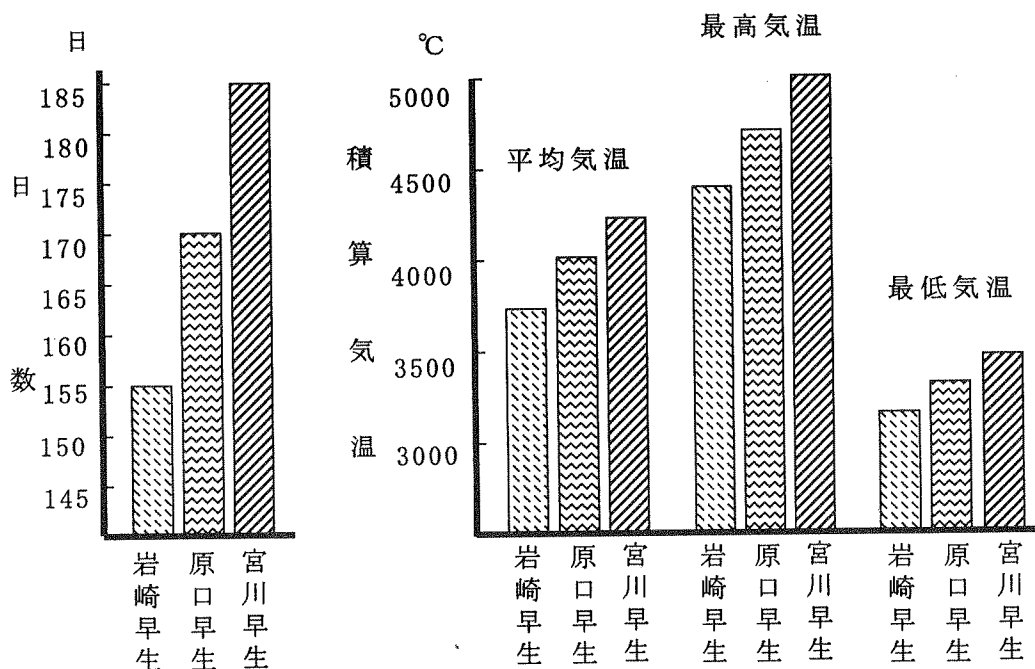
第4表に‘宮川早生’の開花期から酸含量1.0%に達するまでの日数、積算気温及び積算降水量の平均値及び年次間変動を示した。変動係数が最も小さいのは最低気温で、次いで平均気温、最高気温、日数、降水量の順であった。したがって、最低気温を使用した方が最も予測精度が高いが、データの汎用性が高いこと、比較的変動係数が小さいことから後述する生育シミュレーションシステムには平均気温を利用した。開花期から酸含量1.0%に達するまでの日数は184日、平均気温の積算値は約4250℃であった。

第1図には品種毎の開花期から成熟期までの日数と積算温度を示したが、極早生品種の‘岩崎早生’は日数が155日、平均気温の積算値が3700℃で、早生品種の‘原口早生’は170日、4000℃であった。

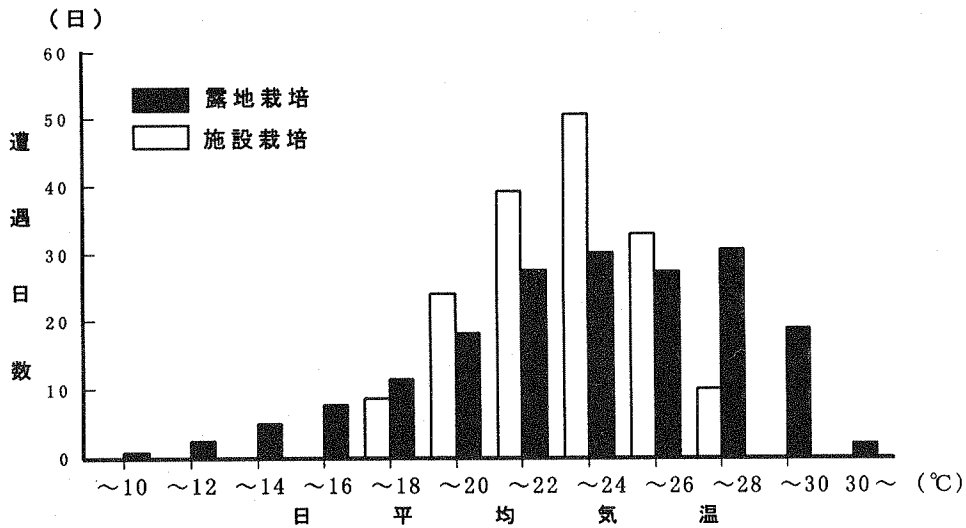
第5表に露地栽培と施設栽培での開花から成熟までの積算気温と日数を示した。積算気温の3年間の平均値は施設栽培で3779℃と、露地栽培の4236℃に比べ約500℃少なかった。第2図に開花期から成熟期までに遭遇した日平均気温のヒストグラムを示した。その結果、施設栽培では22~24℃が多いのに対し、露地栽培では26℃以上の頻度が高かった。

第4表 ‘宮川早生’の開花期から酸含量1.0%に達するまでの日数、積算気温及び降水量

	日数 (日)	積算気温			降水量 (mm)
		平均 (℃)	最高 (℃)	最低 (℃)	
平均値	184	4244.7	4988.2	3497.4	1293.6
標準偏差	12.0	140.4	201.1	104.8	319.4
変動係数	6.5	3.3	4.0	3.0	24.7
最大値	211	4548.7	5415.2	3678.5	2160.5
最小値	168	3952.2	4590.3	3310.5	808.2



第1図 ウンシュウミカンの開花から酸含量が1.0%に達するまでの日数と積算気温



第2図 早生ウンシュウにおける開花から成熟までの日平均気温のヒストグラム

第5表 露地栽培と施設栽培における早生ウンシュウの開花期から酸含量が1.0%に達するまでの日数と積算気温

作型	年	所要日数 (日)	積算気温 (°C)
露地	1989	186	4151
	1990	183	4318
	1991	192	4240
	平均	187	4236
施設	1989	173	3962
	1990	163	3627
	1991	159	3747
	平均	165	3779

## 2. 生育シミュレーションシステムの概要

今回、開発した生育シミュレーションシステムの概要を以下に述べる。

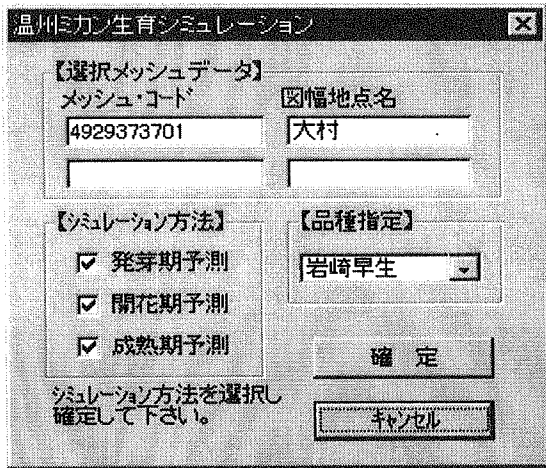
### 1) 予測に使用できる気象データ

- (1) 長崎県農林業メッシュ情報システム気象サブシステムにある長崎県内各500mメッシュ平年値
- (2) 第6表に示した長崎県内気象官署及び試験場、支場における実測データ

(3) Microsoft Excelにインポート可能な気象データ

### 2) システムの特徴

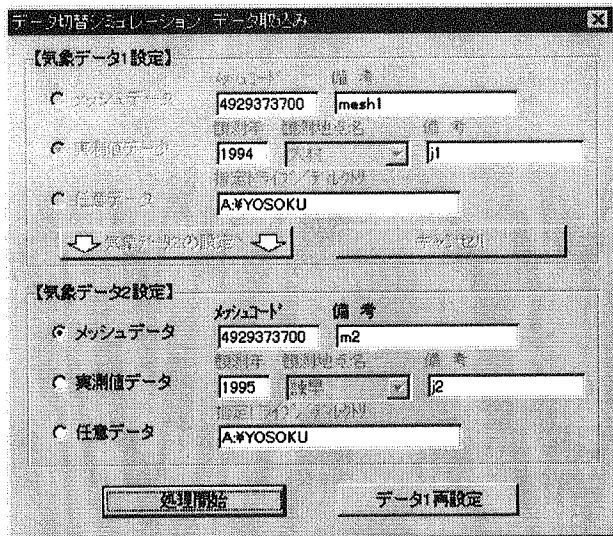
- (1) プログラムの実行はメッシュ地点を入力する以外はマウスで行うことができる。
- (2) 発芽期、開花期、成熟期をそれぞれ予測することができる(第3図)。開花期を予測する場合、発芽期がわかっている場合、発芽期、開花期を予測し、成熟期を予測する場合、発芽期、開花期がわかっている場合、発芽期、開花期を予測することができる。
- (3) 予測時点までは実測データを用い、それ以降はメッシュデータを用いてシミュレーションするなど実測データとメッシュデータを切り替えて予測することができる(第4図)。
- (4) 指定したメッシュ地点の気温の偏差から(気温+偏差)を高温で推移した場合として、(気温-偏差)を低温で推移した場合としてそれを基に生育を予測することもできる。
- (5) あらかじめ Ea, DTS, 開花期から成熟期までの積算気温を設定しておけば、全部で10品種の予測ができる(第5図)。
- (6) 予測結果は Microsoft Excelのワークシートに出力され、ファイル保存も可能である(第6図)。



第3図 メッシュコード、シミュレーション方法及び品種の指定画面

第6表 実測値として選択可能な気象観測場所

地域	観測所名	利用可能な気象年
長崎	長崎海洋気象台	1879～1997
諫早	総合農林試験場	1961～1997
大村	果樹試験場	1965～1997
愛野	総合農試馬鈴薯支場	1950～1997
有明	畜産試験場	1970～1997
東彼	総合農試茶業支場	1981～1997
佐世保	佐世保測候所	1960～1997
平戸	平戸測候所	1960～1997
福江	福江測候所	1960～1997
巖原	巖原測候所	1960～1997



第4図 気象データ切り替え画面

品種名	起算日	起算日～発芽期		発芽日～開花期		成熟積算気温
		E <sub>s</sub>	DTS	E <sub>s</sub>	DTS	
岩崎早生	2月5日	15000	18.102	20000	27.014	3700
原口早生	2月1日	15000	18.102	20000	27.014	4000
真澄早生	2月10日	15000	18.102	20000	27.014	4250

第5図 品種のパラメータ設定画面

温州ミカン生育シミュレーション 結果表示

No.	気象データ1			データ 切替日	気象データ2			品種	発芽期			開花期			成熟期		
	メッシュコード	図幅地点名	備考		メッシュコード	図幅地点名	備考		低温	平年値	高温	低温	平年値	高温	低温	平年値	高温
	観測年	観測地点名			観測年	観測地点名											
1	4929373700	大村															
2	1990	大村					岩崎早生	3月28日	3月24日	3月20日	5月15日	5月10日	5月3日	10月4日	9月23日	9月14日	
3	1992	長崎					原口早生	3月26日	3月22日	3月17日	5月11日	5月6日	4月29日	10月25日	10月12日	9月29日	
4	4929373700	大村					原口早生	4月4日	3月30日	3月25日	5月21日	5月15日	5月9日	11月10日	10月24日	10月10日	
5	1994	大村	j1	4月25日	4929373700	大村	m2	岩崎早生	4月4日	3月31日	3月26日	5月19日	5月13日	5月7日	10月22日	10月8日	9月27日
6																	

第6図 予測結果の表示画面

## 考 察

### 1. 発芽期及び開花期の予測

発芽期及び開花期を予測するのに用いた温度変換日数法は品種毎に DTS, Ea, 起算日の三つのパラメータを求めなければならない。ウンシュウミカンの開花期予測における DTS と Ea は品種によって異なっており、早生ウンシュウは普通ウンシュウに比べ、Ea が大きく、DTS が小さい値を示すとした報告<sup>12, 18)</sup>がある。本報でも‘宮川早生’は‘林温州’に比べ、発芽期、開花期予測とも Ea が大きく、DTS が小さく、それらの報告と一致した。Ea が高いことは感温特性が高いことを意味しており、早生ウンシュウの方が普通ウンシュウよりも温度に対して敏感と思われる。また、両品種とも発芽期より開花期が Ea が高く、DTS が低かった。このことは発芽期に比べ生育ステージが進んだ開花期の頃が温度に対する反応が敏感になっていると思われる。

最適 Ea の地域的な差について小元・青野<sup>10)</sup>はソメイヨシノを使って Ea を固定して全国21か所で予測を行ったところ寒冷地に比べ、暖地での精度が劣ることを報告している。本報ではこの点について未確認であるが、Ea の変動は計算上出現するとの報告<sup>10)</sup>もあり、長崎県内という比較的狭い範囲では品種毎に Ea を固定しても大きな誤差は生じないと考えられる。

小野ら<sup>11)</sup>はウンシュウミカンの開花期の予測において起算日を1月5日から1月25日、矢羽田ら<sup>18)</sup>は早生ウンシュウで1月20日、普通ウンシュウで1月25日と報告しており、発芽期の予測のために求めた本報の起算日(2月5日)と多少異なる結果となった。起算日については今後詳細な検討が必要である。

本来、起算日とは植物の生理的な面から見れば生育ゼロ点であり、休眠が完了した日でなければならない。青野・小元<sup>9)</sup>はソメイヨシノの開花期の推定を行う際、遭遇した温度を段階的にユニット化して求めるチルユニットで起算日の補正を試みている。本報においては計算上、起算日を求めたが、正確な起算日を算出するには低温遭遇時間やチルユニットなどから休眠完了期を予測することが必要と思われる。

る。

### 2. 成熟期の予測

ウンシュウミカンの酸含量と気温との関係について坂本ら<sup>15)</sup>は月ごと13℃以上の有効積算温度と酸含量との相関について、松本・白石<sup>6)</sup>は標高との関係について報告しているように、一般に気温が高いほど減酸が早いことから、本報においても酸含量の低下をいわゆる成熟として開花からの積算気温で推定した。

小林<sup>4)</sup>は同一品種であっても地域によって開花から成熟までの積算気温は異なる可能性があることを指摘している。地域的な差ではないが、第2図のように施設栽培に比べ、露地栽培が26℃以上の高温の頻度が高くなっていることから夏季の高温は成熟に対して必ずしも有効に働いていないと考えられる。今後、成熟期の予測精度を向上させるためには成熟に対する有効温度域の設定や生育ステージ毎の感温性の解明など検討する課題は多い。

### 3. 生育シミュレーションシステム

メッシュデータを利用した植物の生育予測の研究は主として水稻で進み、既に実用化技術として定着しつつある。果樹におけるメッシュ気象情報の利用としては、メッシュ情報から推定した最深積雪による棚栽培果樹の地帯区分、落葉果樹の生育マップの作成などの報告<sup>7, 19)</sup>がある。今回、筆者らが開発したウンシュウミカンのシミュレーションシステムも、多くの品種でパラメータを設定し、予測精度を高めていくことで、より実用性の高いシステムに改良する必要がある。

また、本システムでは実測値を利用することで、当該年の気象に即した予測ができるようにしたが、さらに進めてアメダスデータ等をオンラインで取り込んだリアルタイムの予測が可能なシステムにする必要がある。

## 摘 要

ウンシュウミカンの発芽期、開花期、成熟期を予

測する手法を検討し、気象観測のメッシュデータ及び実測データからパソコン上で動作する長崎県内各メッシュ地点の生育を予測するソフトウェアを開発した。

1. ウンシュウミカンの発芽期と開花期を温度変換日数法で予測したところ、おおむね発芽期は 4日以内、開花期は 3日以内で予測できた。
2. 成熟期を開花期から酸含量が 1%に達するまでの積算値で推定したところ、極早生品種の‘岩崎早生’で 155日、3700℃、早生品種の‘原口早生’で 170日、4000℃であった。
3. 開発した生育シミュレーションのソフトウェアは Microsoft Excel95 上で動作する。本ソフトは予測に使用する気象データの任意の期日での切り替えや高温あるいは低温で推移した場合の今後の予測ができるなどの特徴を持っている。

## 引用文献

- 1) 青木秋広・金子友昭・山崎一義. 1985. ニホンナシの開花日の予測について. 栃木農試研報. 31 : 77-86.
- 2) 青野靖之・小元敬男. 1990. 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. 農業気象. 45 : 243-249.
- 3) 福島正幸・小野祐幸・大垣智昭・弦間 洋. 1989. ブルーベリーの開花・成熟期における感温特性の温度変換日数法による評価. 園学雑. 58(別 2) : 186-187.
- 4) 小林 章. 1972. 生産地の相違による積算温度の変異. 果樹園芸大要. p. 44. 養賢堂. 東京.
- 5) 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 : 51-58.
- 6) 松本明芳・白石眞一. 1982. 温州ミカンの品質、主として酸含量に及ぼす標高の影響. 九農研. 44 : 246.
- 7) 三浦 浩・荒垣憲一・小笠原和博. 1991. メッシュ気象情報の利活用. 第 2報 果樹の開花期および桑の発芽期予測. 山形農試研報. 25 : 1-6.
- 8) 村岡邦三・小野祐幸・金野隆光. 1989. 温度変換日数法によるウメの開花予測. 園学雑58別1 : 116-117.
- 9) 野呂昭司・小原信実・工藤仁郎・斉藤貞昭・一戸治孝. 1986. 発芽後の有効積算温量によるリンゴの開花日の予測. 園学雑. 54 : 405-415.
- 10) 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.
- 11) 小野祐幸・金野隆光・田村良文. 1987. 永年性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.
- 12) 小野祐幸・金野隆光・田村良文・岩垣 功・高原利雄・山田彬雄. 1988. 永年性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.
- 13) 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 : 203-208.
- 14) 小野祐幸・葉師寺 博・金野隆光. 1990. 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.
- 15) 坂本辰馬・奥地 進. 1968. 温州ミカン果実の酸、可溶性固形物に及ぼす気温の影響. 園学雑. 37 : 21-27.
- 16) 鈴木 宏・丹野貞男. 1970. リンゴの開花結実に関する研究. 第 1報. リンゴの発芽および開花予想. 秋田果試研報. 2 : 19-37.
- 17) Takezawa, K. 1987. Applications of nonparametric smoothing. Bull. Biom. Soc. Japan. 8 : 87-89.
- 18) 矢羽田二郎・大庭義材・桑原 実. 1995. 温度変換日数法 (DTS) 法によるウンシュウミカンの満開期予測と精度. 福岡農総試研報. 14 : 125-128.
- 19) 山田一茂・岩切 敏. 1986. メッシュ情報を用いた最深積雪の推定と棚栽培果樹地帯区分へのその応用. 農業気象. 42 : 103-111.



## Development of Growth Forecasting System on Satsuma Mandarin

Seigo HAYASHIDA , Isao KISHINO and Akira MORITA

*Section of Deciduous Fruit Tree, Nagasaki Fruit Tree Experiment Station, 1370 Onibashi-cho,  
Omura, Nagasaki, 856-0021*

### Summary

We established forecasting method of the sprouting, flowering and maturing date on satsuma mandarin, and developed growth forecasting system at mesh point of Nagasaki pref. The system was application software run on personal computer.

1. Compared an actual survey value with forecasted value by DTS (the number of days transformed to standard temperature) method. It was in error by less than 4 days at sprouting date, and 3 days at flowering date.
2. DTS method was extremely accurate than nonparametric method at forecasting of the sprouting and flowering date on satsuma mandarin 'Hayashi unshu'.
3. As a result of forecasted maturing date of satsuma mandarin at the integrated temperature from flowering to the citric acid come down to 1%, a very early ripening variety 'Iwasaki wase' was 3700 °C, an early ripening variety 'Haraguchi wase' was 4000 °C.
4. The growth forecasting system runs on Microsoft Excel95 for Windows. This software has the merits of following points. One of merits is the ability to forecast vegetation period by use the temperature on mesh data or actual survey data at any day. Another, it is possible to forecast vegetation period at shift on high and low temperature from forecasted date.