

長崎県におけるニホンナシ 幸水 および 豊水 の 生育予測

田中 実・林田誠剛

Prediction of the Growth of the Japanese Pears 'Kousui'
and 'Housui' in Nagasaki Prefecture

Minori TANAKA and Seigo HAYASHIDA

緒 言

露地栽培におけるニホンナシの生育や生長は気象条件に大きく左右される。近年は暖冬や生育期の高温乾燥など異常気象の頻度が高く、このことが開花期の早晩や果実肥大等に大きな影響を及ぼしている。

ニホンナシでは人工受粉をはじめ、摘花や花採取、防除作業等、開花期前後に管理作業が集中している。そのため開花期の正確な予測が可能になると栽培管理を計画的に、適期に実施することができ、より高品質な果実生産ができるようになる。

また、収穫や出荷期にも労力が集中し、この時期の労力を雇用によって補完する生産者は多い。これまでは経験や勘によって成熟期を予想していたが、近年の異常気象条件下では大きくずれることが多い。幸水 は出荷時期の早晩が販売単価に大きな影響をおよぼしており、需要が高い時期の出荷が望まれているが、植物生長調整剤の利用により成熟期

の前進化は可能であり、生育初期に成熟期が予測できると出荷時期の調整も可能になる。

ニホンナシは小果では商品性が低いいため大果生産が求められており早期の摘果が重要であるが、毎年同じ管理を行っても果実肥大の条件が年度によって異なっており、同じようには果実が肥大しないことが多い。一般的には幼果期の果実の大小が成熟期の果実の大小と高い相関があること(猪崎, 1985)が報告されているが、果実肥大の正確な予測はできていない。生育初期の摘果時期に正確な果実肥大が予測できると摘果程度の調整により望ましい階級の果実生産が可能になる。

本研究では杉浦(1997)が開発した生育予測モデルを基に、長崎県におけるモデルの適合性を高める改良を行った。

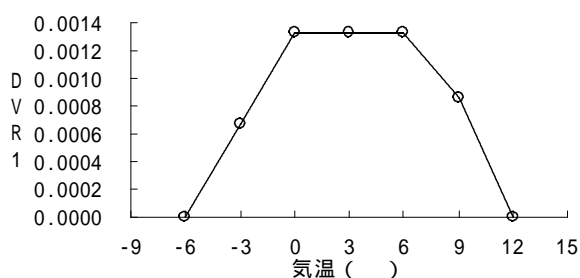
材料および方法

1. 開花期予測

場内に植栽されている 幸水 および 豊

水 の1983年から2004年までの開花期の生育相データを用いた。1983年から1995年までの特別気温は気象庁佐世保特別地域観測所観測値と果樹試験場気象観測値の相関から、毎月、毎時毎に推定した。1996年以降は果樹試験場気象観測値を用いた。欠測値は前後を移動平均した値を代用した。

休眠期の発育速度は 幸水 , 豊水 とも D V R 1 モデルは第 1 図の D V R (Developmental Rate1)モデル(1997, 杉浦)を用いた。



第 1 図 D V R 1モデル

D V R 1 は自発休眠期の休眠覚醒に向かう温度毎の速度で、0~6 では1時間に1/750 (0.00133)、6~9 では1時間に1/1160 (0.000862)進む。D V I 1 (発育指数: Developmental Index 1) はD V R 1 の積算値で 1 に達した日(時間)が自発休眠覚醒期である。

幸水 の発育予測 (D V R 2) モデルは下式を用いた。

$$t < 20 \quad \ln(DVR2) = 35.27 - 12094(t+273)^{-1}$$

$$t > 20 \quad \ln(DVR2) = 5.82 - 3474(t+273)^{-1}$$

t は特別気温 ()

豊水 の発育予測 (D V R 2) モデルは下式を用いた。

$$t < 20 \quad \ln(DVR2) = 35.15 - 12014(t+273)^{-1}$$

$$t > 20 \quad \ln(DVR2) = 6.83 - 3719(t+273)^{-1}$$

t は特別気温 ()

D V R 2 は他発休眠期の開花(発芽)に向かう速度で一般に高温ほど早くなる。D V I 2 もD V R 2 の積算値で、1 に達した日が理論上の満開日である。しかし同一圃場または同一樹であっても花芽(混合芽)の休眠ステ

ージは各花芽毎に異なるため、D V I 1 とD V I 2 の移行期を設定し、D V I 12とした下記モデル(杉浦, 1997)をそのまま利用した。

$$D V R 12 = D V I 1 + (-1/100000) D V I 2$$

今回の予測ではD V I 1 = 1 を自発休眠覚醒時とみなし、その時間以降からD V I 12の計算を開始した。D V I 12の期間は実験的にも求められていないので予測誤差が最小となるD V I 12について検討した(D V I 12とD V I 2の切り替え)。D V I 12が特定の値に達した時間以降にD V I 2を計算し、特定の数値に達した日を開花日とした。

なお、自発休眠期に21 以上の温度に遭遇するとD V I 1 (自発休眠覚醒効果)の打ち消し効果も報告されているが(杉浦ら, 2003), 自発休眠期には21 以上の高温遭遇はほとんどなかった。

2 . 成熟期予測

場内に植栽されている 幸水 および 豊水 の1993年から2004年までの開花期, 成熟期の生育相と果樹試験場気象観測値の特別気温データを用い, 満開期以降の一定期間の平均気温と成熟日数の相関を求め, 成熟期の予測式を作成した。

3 . 果実肥大予測

場内に植栽されている 幸水 および 豊水 の1985年から2004年までの開花期, 成熟期, およそ10日間隔の果実縦径および横径(2か所)を用いた。

気象データは果樹試験場気象観測値の特別気温を用い, 欠測値はその前後から移動平均し, 代用した。日別全天日射量は果樹試験場観測値を用い, 欠測値は長崎海洋気象台と果樹試験場のデータの相関から, 各月毎に推定した。

肥大予測には下記のモデル(杉浦, 1997)を利用した。

$$V_x = V_{33} + \sum_{d=33}^{x-1} k_n \cdot S_d^b \cdot V_{33}^p \dots (1)$$

V_x: 満開 x 日後の果実体積,

V_{33} = 満開33日後の果実体積,

S_d = 全天日射量

kn : 期間毎の係数 b : 日射量の影響を示す
指数, p : V_{33} が影響する指数

(1) 式について実測値との誤差が少なくなるよう下記のパラメータを求めた。

1) 満開33日後の果実体積 (V_{33})

各年の 5月12日 ~ 22日前後の果実縦径および横径の実測値から33日後の縦径および横径を求めた。果実体積 (V_{33}) は縦径および横径をそれぞれ短径および長径とする楕円形と仮定し, $V = 4/3 \times 1/2h \times (1/2w)^2$ の式から計算した。(h : 縦径, w : 横径)

2) V_{33} が影響する指数 (p)

1984年から2004年まで各年毎に $\ln(V_{62} - V_{33}) / \ln(V_{33})$, $\ln(V_{92} - V_{33}) / \ln(V_{33})$, $\ln(V_{112} - V_{33}) / \ln(V_{33})$ を計算し, その平均値の近似式の傾きを p とした。

3) 日射量の影響を及ぼす指数 (b)

1984年から2004年まで各年毎に $[\ln(V_{62} - V_{33}) / V_{33}^p] / \ln(S)$, $[\ln(V_{92} - V_{33}) / V_{33}^p] / \ln(S)$, $[\ln(V_{112} - V_{33}) / V_{33}^p] / \ln(S)$ を計算し, その各年の平均値をプロットした近似式の傾きを b とした (S はそれぞれの期間の全天日射量の合計値)。

4) 期間毎の係数 (kn)

1984年から2004年までの満開33日以降の果実体積と日射量を10日間隔に分け, それぞれの対数を V_{33} の対数で指数化し, その期間の日射量および V_{33} との関係 (An) を求めた。それぞれの年度の満開後日数と An をグラフにプロットし, 幸水 は5次式で近似した。満開123日以降は計算上の数値がマイナスになるため, 満開123日後は満開122日の数値を代用した。

豊水 も同様の方法で5次式で近似した。満開52日以前は計算上の数値がマイナスになるため, 満開52日以前は満開53日の数値を代用した。

5) V_{33} の調整 (V_0)

満開後33日間の平均気温により成熟日数が予測できることから, 成熟日数を計算した。平均成熟日数とその年の成熟日数の差は, 生育変換日 (細胞分裂期と細胞肥大期) が前後しているという仮定により, それぞれの年度で V_{33} を前後させた V_0 を求めた。

以上の計算から求めた値およびパラメータを用い, (1) 式に当てはめ, 肥大予測式を作成した。

結 果

1. 開花期予測

1) 幸水 の開花予測

DVI_{12} と DVI_2 の切り替えは DVI_{12} を 1.05 で行うと予測誤差 (RMSE) が最小の 1.57 になった (第1表)。満開日の DVI_2 は 0.78 ~ 0.95 で平均 0.85 であった。

予測結果は最大誤差 ± 3 日で, ± 2 日以内が20年中17年で精度良く予測できた (第2表)。

実際の予測には Microsoft Excel を用い, 9月以降の毎時の気温が必要である。

2) 豊水 の開花予測

DVI_{12} と DVI_2 の切り替えは 0.87 で行うと予測誤差 (RMSE) が最小の 1.69 になった。

満開日の DVI_2 は 0.85 ~ 1.02 で平均 0.93 であった。

予測結果は最大誤差 ± 3 日で, ± 2 日以内が20年中16年で精度良く予測できた (第3表)。

Microsoft Excel を用い, 9月以降の特別気温を入力すると 幸水 および 豊水 の開花日が表示できるプログラムを作成した (第2図)。

2. 成熟期予測

1) 幸水 の成熟期予測

開花期から幼果期の期間の平均気温と成熟日数は満開後 1 ~ 34日 が最も負の相関が高く (第3図), この時期に高温であると成熟日数は短くなった (第4図)。

第1表 幸水における DVI12とDVI2の切り替えと開花期の予測誤差

DVIの切り替え	1.10	1.05	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80	0.70
予測誤差 ^z	1.63	1.57	1.80	1.77	1.77	1.73	1.61	1.73

^z 誤差 2 乗平均の平方根

第2表 DVRモデルによる幸水の満開日予測

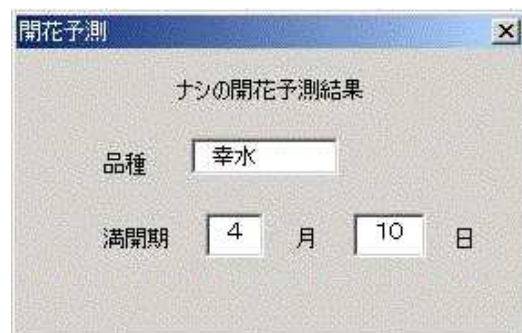
年度	満開日			満開予測日
	実測 (月日)	予測 (月日)	誤差 (日)	までのDVI2 積算値
1984	4.16	4.15	-1	0.87
1985	4.12	4.14	2	0.82
1986	4.14	4.14	0	0.83
1987	4.13	4.13	0	0.85
1988	4.20	4.17	-3	0.95
1989	4. 6	4. 7	1	0.82
1990	4. 3	4. 4	1	0.81
1991	4.12	4.12	0	0.84
1992	4. 7	4. 6	-1	0.86
1994	4.14	4.14	0	0.85
1995	4.16	4.16	0	0.85
1996	4.16	4.16	0	0.85
1997	4. 8	4. 6	-2	0.89
1998	4. 7	4. 6	-1	0.87
1999	4.12	4. 9	-3	0.91
2000	4.13	4.12	-1	0.88
2001	4. 6	4. 8	2	0.78
2002	4. 2	4. 4	2	0.79
2003	4. 6	4. 9	3	0.79
2004	4. 3	4. 3	0	0.85
平均	4.10	4.10	-0.05	0.85

幸水

DVI2=DVI1+(t-1):自発:DVI2:開花日のDVI2
 $k=p \cdot DVI1 + q$ 1.3 1.05 0.85
 $DVR1+(t-1/k)DVR2$
 p 1 4
 q 25 16
 -1E+05

特別気温の入力またはコピー

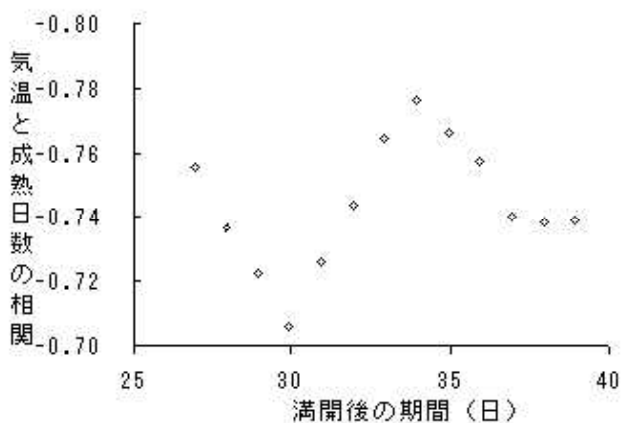
開年	DVR1	DVR2	k	DVR12	DVI1	DVI2	DVI2	気温	
2/26	0	0.001	2E-04	-1E+05	0.001	2.089	0.014	1.09	4.5
2/26	1	0.001	2E-04	-1E+05	0.001	2.091	0.014	1.092	3.5
2/26	2	0.001	2E-04	-1E+05	0.001	2.092	0.014	1.093	4
2/26	3	0.001	2E-04	-1E+05	0.001	2.093	0.015	1.094	3.3
2/26	4	0.001	2E-04	-1E+05	0.001	2.095	0.015	1.096	2.7
2/26	5	0.001	2E-04	-1E+05	0.001	2.096	0.015	1.097	2
2/26	6	0.001	2E-04	-1E+05	0.001	2.097	0.015	1.098	1.6
2/26	7	0.001	2E-04	-1E+05	0.001	2.099	0.015	1.1	1.9
2/26	8	0.001	2E-04	-1E+05	0.001	2.1	0.016	1.101	3
2/26	9	0.001	2E-04	-1E+05	0.001	2.101	0.016	1.102	2.7
2/26	10	0.001	2E-04	-1E+05	0.001	2.103	0.016	1.104	3.4



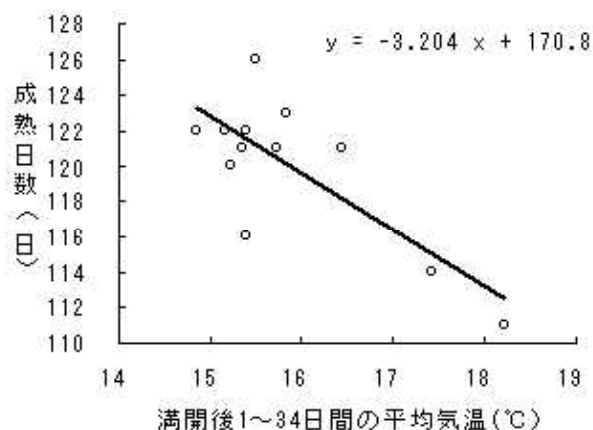
第2図 開花期予測の入力画面と結果表示

第3表 DVRモデルによる豊水の満開日予測

年度	満開日			満開予測日 までのDV12 積算値
	実測 (月日)	予測 (月日)	誤差 (日)	
1985	4. 9	4. 8	-1	0.96
1986	4. 9	4.10	-1	0.89
1987	4. 7	4. 5	-2	0.98
1988	4.16	4.13	-3	1.03
1989	4. 1	4. 2	1	0.89
1990	3.28	3.28	0	0.93
1991	4. 8	4. 7	-1	0.96
1992	4. 5	4. 3	-2	1.00
1993	4.10	4.11	-1	0.91
1994	4.10	4. 9	-1	0.96
1995	4. 1	4. 1	0	0.93
1996	4.10	4. 9	-1	0.95
1997	4. 5	4. 2	-3	1.02
1998	4. 2	4. 3	1	0.93
1999	4. 3	4. 3	0	0.93
2000	4. 6	4. 8	2	0.88
2001	4. 1	4. 4	3	0.85
2002	3.28	3.31	3	0.85
2003	4. 2	4. 3	1	0.90
2004	3.29	3.30	1	0.87
平均	4. 5	4. 5	-0.10	0.93



第3図 生育初期の平均気温と幸水の成熟日数の相関



第4図 幸水の満開後1~34日間の平均気温と成熟日数の関係 (1993~2004年)

第4表 幸水の満開期と予測成熟日数

年度	満開期 (月日)	収穫盛期 (月日)	成熟日数		
			実測 (日)	予測 (日)	誤差 (日)
1993	4.10	8.10	122	121	-1
1994	4.14	8.6	114	115	1
1995	4.16	8.15	121	120	-1
1996	4.16	8.10	116	121	5
1997	4.8	8.12	126	121	-5
1998	4.7	7.27	111	112	1
1999	4.12	8.11	121	122	1
2000	4.13	8.11	120	122	2
2001	4.6	8.6	122	123	1
2002	4.2	8.2	122	122	0
2003	4.6	8.7	122	120	-3
2004	4.3	8.2	121	118	-3
平均・RMSE ^z	4.9	8.7	120	120	2.6

^z 誤差 2 乗平均の平方根

第5表 豊水の満開期と予測成熟日数

年度	満開期 (月日)	収穫盛期 (月日)	成熟日数				
			実測 (日)	予測(1) (日)	誤差 (日)	予測(2) (日)	誤差 (日)
1993	4.10	9.6	149	144	-5	144	-5
1994	4.10	8.26	138	142	4	142	4
1995	4.10	9.5	148	145	-3	145	-3
1996	4.10	8.30	142	146	4	145	3
1997	4.5	8.28	145	145	0	146	1
1998	4.2	8.21	141	141	0	141	0
1999	4.3	8.29	148	147	-1	148	0
2000	4.6	9.2	149	147	-2	147	-2
2001	4.1	8.24	145	147	2	147	2
2002	3.28	8.19	144	146	2	147	3
2003	4.2	8.24	144	145	2	145	1
2004	3.29	8.24	148	144	-4	145	-4
平均・RMSE ^z	4.9	8.27	145.1	144.9	2.8	145.2	2.7

^z 誤差 2 乗平均の平方根

1993年～2004年までの開花盛期から収穫盛期までの実測成熟日数は最大 126日，最小 11日，平均 120日であった（第4表）。

成熟期（満開後日数）は満開 1～34日後の平均気温 × (-3.204) + 170.8の式から求められた（第4図）。

上式からの予測日数と実測日数の差は最大で 5日，最小は 0日，± 3日以内は12年中10年であった。RMSE（予測誤差）は 2.6で，ほぼ精度良く予測できた（第4表）。

2) 豊水 の成熟期予測

1993年～2004年までの開花盛期から収穫盛期までの日数は最大149日，最小138日，平均145日であった（第5表）。

成熟日数は，満開後 5～39日の平均気温と負の相関が高くなり，その後再度，満開後 5～57日の平均気温と相関が高くなった（第5図）。満開後 5～39日に高温であると成熟日数は短くなった（第6図）。

満開後 5～39日および 5～57日の平均気温から予測した成熟日数は，下記の通りである。
満開 5～39日後の平均気温 × (-1.835) + 174.3

・・・(2)

満開 5 ~ 57日後の平均気温 $\times (-2.552) + 188.3$

・・・(3)

上式からの予測日数と実測日数の差は最大で5日、最小は0日で、 ± 3 日以内は12年中8年であった。RMSE(予測誤差)は(2)式が2.8、(3)式が2.7で大きな差は認められなかった。成熟日数の予測は早い時期に行う方が仕上げ摘果など栽培管理に利用しやすいため(2)式で良いと思われた(第5表)。

3. 果実肥大予測

1) 幸水 の肥大予測

V_{33} が影響する指数(p)は第7図の通りであった。この図は V_{33} と満開後33~113日の果実の体積生長量を対数値で示したもので V_{33} が大きいほど満開後33~113日の果実の体積生長量が大きく、回帰直線の傾き(p)は0.5842であった(第7図)。

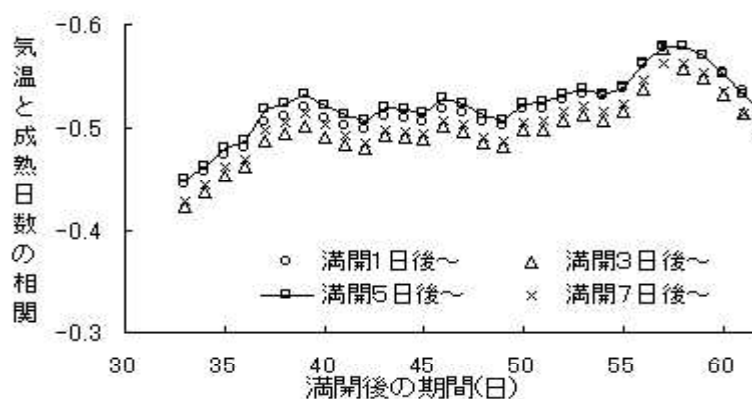
日射量が影響を及ぼす指数(b)は第8図の通りであった。この図は満開後33~113日の日射量(Sn)と V_{33} で標準化した体積生長量の関係に対数値でプロットしたもので日射量が多いほど体積生長量は大きく、回帰直線の傾き(b)

は0.4842であった(第8図)。

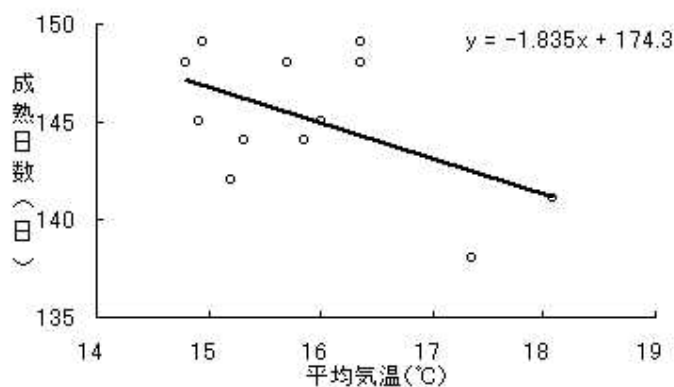
期間毎の係数(kn)の分布は第9図の通りであった。knは V_{33} とSdの関係を示す係数で、光合成産物の果実への転流の分配に関連するパラメータである。算出した5次式に満開後日数を代入し、小数2桁で示したものが第10図である。

(1)式に上のパラメータを当てはめ、果実肥大を予測した結果、過去20年中、8年は実測値と予測値の体積差が $\pm 3.3\%$ 以下で、16年は7.2%以下で精度良く予測できた(第6表)。体積誤差が約3.3%の場合は、横径で1mm、成熟日数が1日以内の誤差となり、体積誤差が約7.2%の場合で横径が2mm、成熟日数が2日の誤差となる。予測と実測の差が大きい1991年、1993年は台風の被害を受けた年で1994年は夏季の干ばつ被害を受けた年であった。

Microsoft Excelを用い、満開日、満開33日後の果実縦径、横径および満開後33日以降の日射量を入力すると成熟期の果実重が予測表示できるプログラムを作成した(第11図)。



第5図 満開後指定期間の平均気温と豊水の成熟日数の相関

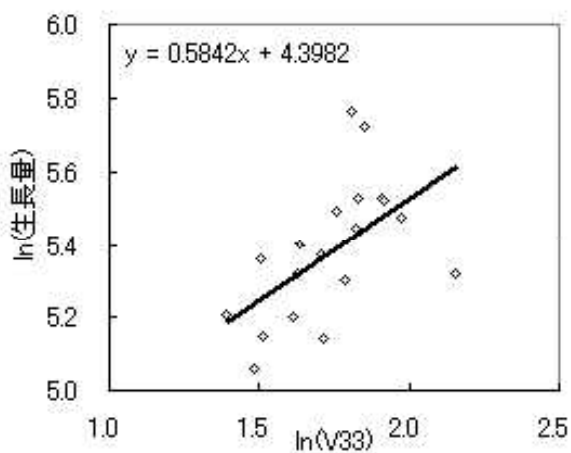


第6図 満開後の平均気温と豊水の成熟日数

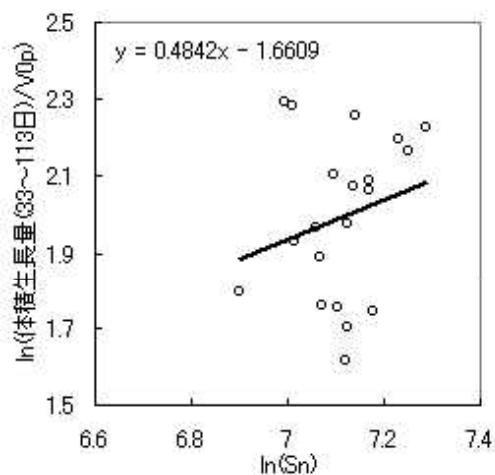
第5表 豊水の満開期と予測成熟日数

年度	満開期 (月日)	収穫盛期 (月日)	成熟日数				
			実測 (日)	予測(1) (日)	誤差 (日)	予測(2) (日)	誤差 (日)
1993	4.10	9.6	149	144	-5	144	-5
1994	4.10	8.26	138	142	4	142	4
1995	4.10	9.5	148	145	-3	145	-3
1996	4.10	8.30	142	146	4	145	3
1997	4.5	8.28	145	145	0	146	1
1998	4.2	8.21	141	141	0	141	0
1999	4.3	8.29	148	147	-1	148	0
2000	4.6	9.2	149	147	-2	147	-2
2001	4.1	8.24	145	147	2	147	2
2002	3.28	8.19	144	146	2	147	3
2003	4.2	8.24	144	145	2	145	1
2004	3.29	8.24	148	144	-4	145	-4
平均・RMSE ²	4.9	8.27	145.1	144.9	2.8	145.2	2.7

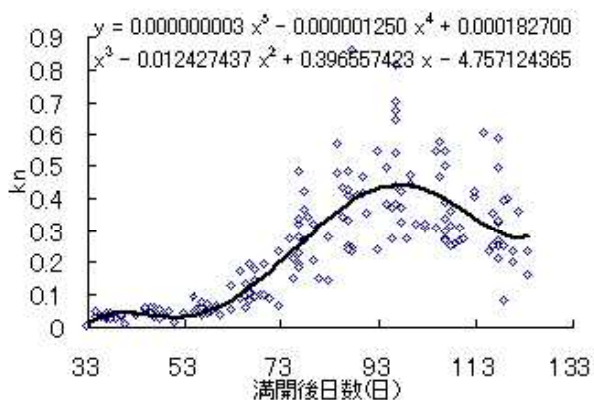
² 誤差 2 乗平均の平方根



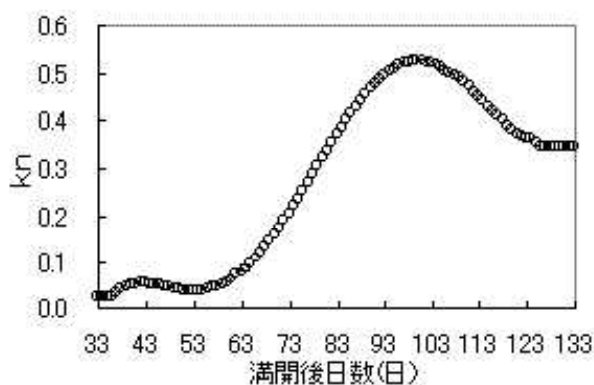
第7図 幸水のV₃₃と満開後33～113日の体積生長量の対数値の関係



第8図 幸水の満開後33～113日の日射量とV₃₃で標準化した体積生長量の対数値の関係



第9図 幸水の満開後日数とknの分布



第10図 幸水の満開後日数とkn値

第6表 幸水の生育初期の体積と収穫時体積，予測体積及び誤差

年度	V ₃₃ (cm ³)	V ₀ (cm ³)	成熟時果実体積			初期平 均気温 ^x ()	成熟 日数 (日)
			実測 ^z (cm ³)	予測 (cm ³)	誤差 ^y (%)		
1985	4.43	4.01	211	212	0.2	16.3	122
1986	6.24	6.05	265	272	2.5	16.5	120
1987	4.58	5.66	240	254	5.5	15.4	130
1988	8.66	5.37	248	238	-4.1	16.8	119
1989	6.01	6.01	265	271	2.1	15.6	127
1990	5.11	6.48	291	283	-2.4	13.8	132
1991	5.57	5.69	202	223	10.8	15.0	130
1992	4.54	5.43	241	224	-7.1	15.4	118
1993	4.03	4.62	225	192	-14.3	15.4	122
1994	6.86	6.50	262	298	14.0	17.4	114
1995	5.06	4.06	235	215	-8.5	15.8	121
1996	5.15	5.77	244	242	-0.6	15.4	116
1997	5.54	5.82	277	254	-8.2	15.5	126
1998	6.81	6.14	242	235	-2.7	18.2	111
1999	6.43	11.12	339	332	-2.2	15.4	121
2000	6.83	7.48	303	285	-5.9	14.9	120
2001	6.13	11.22	373	374	0.2	14.9	122
2002	7.25	7.73	313	295	-5.8	15.2	122
2003	6.27	9.96	303	323	6.3	15.9	123
2004	5.84	6.26	282	296	4.9	16.5	121

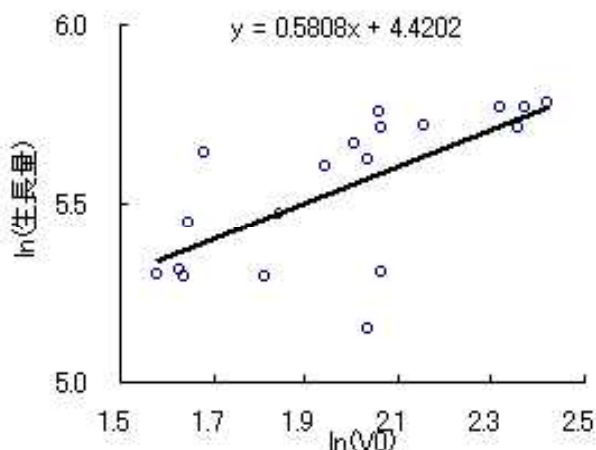
^z 縦，横径実測値による体積換算値

^y (予測値 - 実測値) / 実測値 × 100

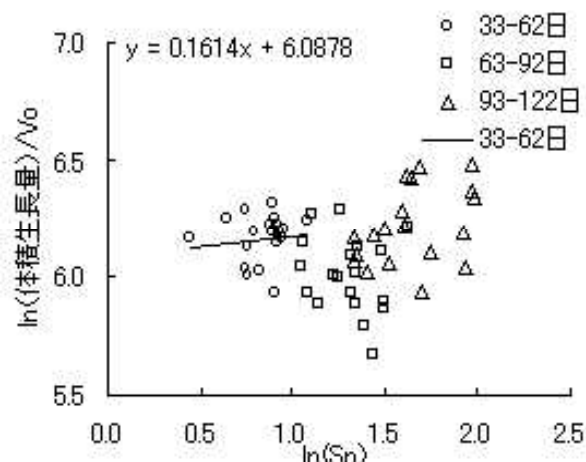
^x 満開後33日間の時別気温の平均

幸水				↓黄色セル内に予測年度、満開日、満開33日後の果実縦横径を入力	
実測値を入力	西暦	2005 年			
	満開日	4月12日			
	満開33日後果実縦径	22	mm		
	横径	25	mm		
	V33	7.20	cm ³		
予測結果	成熟期	8月10日			
	果実重	337.8	(g)		
	階級	3 L			
	果実横径	8.9	(cm)		
				↓黄色セル内に日射量を入力またはコピー	
満開後日数	kn	月日	日射量(MJ/m ²)	FV(cm ³)	FW(g)
117	0.380	8/7	16.9	278.0	322.2
118	0.370	8/8	16.8	282.7	327.6
119	0.365	8/9	15.2	287.2	332.9
120	0.360	8/10	16	291.5	337.8
121	0.360	8/11	15.4	295.8	342.8
122	0.351	8/12	15.8	300.1	347.7
123	0.345	8/13	16.7	304.3	352.6
124	0.342	8/14	18.5	308.5	357.5
125	0.342	8/15	17.7	312.9	362.5

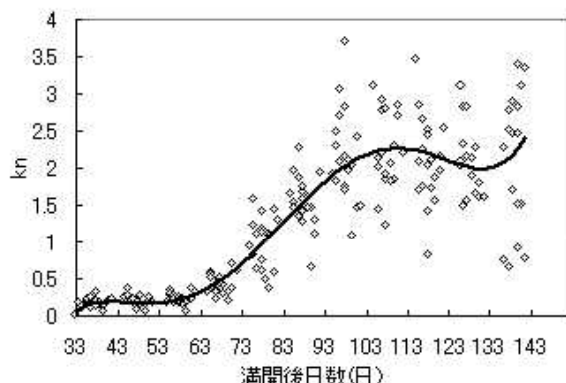
第11図 データ入力と予測結果の表示



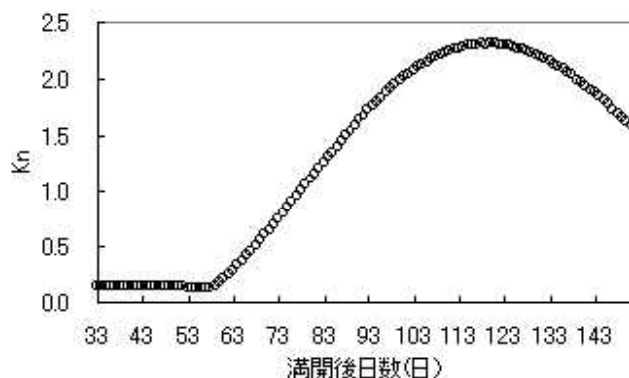
第12図 豊水のV₀と満開後33～123日の体積生長量の対数値の関係



第13図 豊水の満開後33～122日の日射量とV₀で標準化した体積生長量の対数値の関係



第14図 豊水の満開後日数とknの分布



第15図 豊水の満開後日数とkn値

第7表 豊水の生育初期の体積と収穫時体積，予測体積及び誤差

年度	V ₃₃ (cm ³)	V ₀ (cm ³)	成熟時果実体積			初期平 均気温 ^x ()	成熟 日数 (日)
			実測 ^z (cm ³)	予測 (cm ³)	誤差 ^y (%)		
1985	5.27	3.06	284	291	2.5	15.9	147
1986	5.47	5.47	364	370	1.7	15.8	139
1987	4.85	3.12	303	296	-2.4	14.6	149
1988	7.92	2.54	321	272	-15.1	16.5	149
1989	7.90	4.93	304	348	14.8	15.3	140
1990	4.94	4.71	385	369	-4.1	13.5	149
1991	5.13	3.65	225	228	1.4	15.3	138
1993	6.08	5.85	270	295	9.4	15.6	151
1994	6.41	5.58	351	379	8.0	16.8	136
1995	6.76	6.76	440	464	5.6	15.1	148
1996	6.01	6.27	381	361	-5.5	13.9	140
1997	11.25	9.48	507	541	6.5	15.1	145
1998	12.26	9.48	449	508	13.2	17.4	141
1999	7.48	6.56	372	344	-7.6	13.9	150
2000	6.88	7.28	502	464	-7.5	14.3	149
2001	6.88	6.95	437	446	2.2	14.1	143
2002	10.10	7.11	401	414	3.0	14.5	143
2003	8.40	6.25	466	428	-8.0	15.0	144
2004	7.96	6.08	434	440	1.3	15.7	147

^z 縦，横径実測値による体積換算値
^y (予測値 - 実測値) / 実測値 × 100
^x 満開後33日間の特別気温の平均
 1992年はデータ欠測

2) 豊水 の肥大予測

V₀が影響する指数 (ρ) は第12図の通りであった。この図はV₀ (cm³) と満開後33 ~ 123日の果実の体積生長量 (cm³) を対数値で示したものでV₀ が大きいほど満開後33 ~ 123日の果実の体積生長量が大きく，回帰直線の傾き (ρ) は0.5808であった。

日射量が影響を及ぼす指数 (b) は第13図の通りであった。この図は満開後33 ~ 62日，63 ~ 92日，93 ~ 122日の日射量 (Sn) とV₀で標準化した体積生長量の関係に対数値でプロットしたもので満開後33 ~ 62日までは日射量が多いほど体積生長量は大きく，回帰直線の傾き (b) は0.1614であったが，満開後63 ~ 92日および93 ~ 122日は相関がなかったためこの期間のbは0とした。

期間毎の係数 (kn) の分布は第14図の通りであった。第14図の5次式に満開後日数を代入し，小数2桁で示したものが第15図である。

(1) 式に上のパラメータを当てはめ，果実肥大を予測した結果，過去19年中，7年は実測値と予測値の体積差が ± 3.3%以下で，10年は7.2%以下でほぼ精度良く予測できた。

幸水 と同様に予測と実測の差が大きい年度は1988年，1989年の台風被害年および1998年の夏季の干ばつ年であった(第7表)。

考 察

1 . 開花期予測

落葉果樹は秋季以降，一定時間の低温に遭遇することで自発休眠から覚醒し，他発休眠に移行する。他発休眠はこの期間の気温が高いほど発芽，開花が促進される。ニホンナシの開花予測にはウメやサクラなどの生物季節を利用した開花予測法 (佐久間ら，1989) や有効積算温度による方法 (浅野・奥野，1989) で行われているがこれらの方法は最初に予測式を決め，様々なパラメータを決めていく方

法であり、近年の異常気象条件下では誤差が大きかった。

このような事態に対処できる、生態実験を基にしたモデル(杉浦, 1997)が開発され、ニホンナシ以外の樹種でも普及しつつある。このモデルは毎時毎にDVR1, DVR2を積算し、自発休眠と他発休眠の移行期間(DVR12)を設けており、気温のみで生育を予測できる実用的なものである。

このモデルを用い、長崎県における生育および気象の実測データから様々なパラメータ等を改良し、実用性が高い予測プログラムを作成できた。

2. 成熟期予測

果実の成熟期は品種固有のものであり、果皮の着色や果実糖度、果肉に含まれる澱粉量などから決定されている。これまでは成熟日数や積算気温等から予測されてきたが、同一品種であっても地域間で差が確認され必ずしも普遍的なものではなかった。

成熟日数の予測には他県においても杉浦(1997)のモデルが活用されているが、必ずしも満開後34日間の平均気温でなく、30から37日と差が認められており(前島ら, 1999, 大谷, 2006a), 気温が低い寒冷地では成熟日数が長く、気温が高い西南暖地ではやや短い。これは果実の細胞分裂期間の長短が気温に影響されて地域間差が生じたものと思われる。

大谷(2006b)は生育初期の平均気温と併せ、果実肥大後期の平均気温を加味することで予測精度を向上させている。今回の予測でも果実肥大後期の気温を加えると精度はやや向上したが、成熟日数の差は極く小さかったため、幼果期の平均気温のみからの予測方法で実用上は問題ないと考えられる。

3. 果実肥大予測

果実肥大は着果程度や気温、土壌水分などによる影響を強く受けている。果実肥大はシグモイド曲線を描き、その生育ステージ毎に

肥大に与える因子は異なっていることが報告されている(遠藤, 1973)。果実肥大は幼果期の果実体積から回帰式を用いて予測する方法や生育期の気温と日肥大量の関係から予測する方法などがある(金子・松浦, 1990)。しかしながら、近年は成熟期が大きく変化しているため、成熟日数が短いと果実は予測値より小さくなり、成熟日数が長いと大きくなる。

本予測で用いた果実肥大予測モデル(杉浦, 1997)の細胞分裂終期は満開33日後と一定の日を用いている。このままでは成熟日数の長短により果実肥大の予測誤差が大きくなったため、幼果期の果実体積の決定には、満開後33日間の平均気温と予測年の気温の実測値の差から細胞分裂終期の日を計算し、幼果期体積とした。

また、このモデルでは予測日以降の日射量は平年値を用いているが、過去のデータに日射量の最大年および最小年の値を代入しても予測誤差は数%と低く、実際の予測への影響は小さいと思われた。

謝 辞

本生育予測にあたり、予測式の作成について懇切丁寧な指導を賜った(独)農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所杉浦俊彦博士に心から謝意を表する。

摘 要

1. 開花期予測

幸水 の開花予測には開花予測前年の9月以降の特別気温を用い、自発休眠期から他発休眠期の移行期間(DVI12)と他発休眠期(DVI2)の切り替えを1.05にすると精度良く予測できた。豊水 では0.87で切り替えると精度良く予測できた。

2. 成熟期予測

幸水 の成熟日数は(満開後1~34日の平

均気温) × (-3.204) +170.8の式から予測できた。豊水の成熟日数は(満開後5~39日の平均気温) × (-1.835) +174.3の式から予測できた。

3. 果実肥大予測

幸水の果実体積(Vx)は下式およびパラメータから予測できた。

$$V_x = V_{33} + \frac{x-1}{d-33} kn \cdot S_d^b \cdot V_{33}^p$$

kn: 第10図 b:0.4842 p:0.5842

豊水の果実体積(Vx)は下式およびパラメータから予測できた。

$$V_x = V_0 + \frac{x-1}{d-33} kn \cdot S_d^b \cdot V_0^p$$

kn: 第15図 b: 0.1614 (満開92日後まで)

b: 0 (満開93日以降) p: 0.5808

V₀: 33 - 2.1(15.1 - 満開1~33日間の平均気温)

引用文献

- 浅野聖子・奥野隆. 1989. ニホンナシの生育予測法の策定と着果管理及び収穫適期判定法の確立. 地域重要新技術開発促進事業研究成果報告書. 52-58.
- 遠藤融郎. 1973. 和ナシ果実の日肥大周期に関する研究(第1報). 園学雑. 42: 91-103.
- 猪崎政敏. 1985. 日本ナシ生産の実際. p.14 7-149. 博友社. 東京.
- 鎌田昌吉. 1992. リンゴの開花日に及ぼす気象要因の影響. 園学雑. 61: 17-24.
- 金子友昭・松浦栄一郎. 1990. 気温によるニホンナシ幸水の果実肥大予測法. 栃木農試研報. 37: 43-48.
- 前島勤・泉克明・小川秀和・臼田彰. 1999. 日本なし「幸水」, 「豊水」, 「南水」の収穫始期予測法. 平成11年度関東東海農業研究成果情報. 418-419.
- 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.
- 大谷義夫. 2006a. 気象生態反応に基づくニホンナシの開花予測. 栃木農試研報. 58: 7-16.
- 大谷義夫. 2006b. 気象生態反応に基づくニホンナシの収穫期, 果実肥大, 果実生理障害予測. 栃木農試研報. 58: 17-29.
- 佐久間文雄・片桐澄雄・山本正幸・石塚由之・渡辺幸夫. 1989. ニホンナシの生育予測法の策定と着果管理及び収穫適期判定法の確立. 地域重要新技術開発促進事業研究成果報告書. 36-37.
- 杉浦俊彦. 1997. ニホンナシの気象生態反応の解析と生育予測モデルの開発. 京都大学学位論文.
- 杉浦俊彦・伊藤大雄・黒田治之・本條均. 2003. ニホンナシ混合芽の自発休眠覚醒を抑制する温度条件について. 農業気象. 59: 43-49.

Prediction of the Growth of the Japanese Pears ‘Kousui’ and ‘Housui’ in Nagasaki Prefecture

Minori TANAKA and Seigo HAYASHIDA

Nagasaki Fruit Tree Experiment Station, 1370 Onibashi-machi, Omura Nagasaki, 856-0021, Japan

Summary

1. Prediction of flowering

To predict the flowering of ‘Kousui’, hourly temperature data from September through December of the preceding year were used. Accurate prediction was possible when the value 1.05 was assigned to the shift from the transition phase between endodormancy and ecodormancy (DVI12) to the ecodormancy phase (DVI2). For ‘Housui’ accurate prediction was possible by making the shift at the value 0.87.

2. Prediction of maturity

The number of days to maturity for ‘Kousui’ could be predicted using the following formula: (the average temperature during 1-34 days after full bloom) $\times (-3.204) + 170.84$. The number of days to maturity for ‘Housui’ could be predicted using the following formula: (the average temperature during 5-39 days after full bloom) $\times (-1.835) + 174.3$.

3. Prediction of fruit growth

The fruit volume (V_x) of ‘Kousui’ could be predicted using the following formula and parameters.

$$V_x = V_{33} + \sum_{d=33}^{x-1} k_n \cdot S_d^b \cdot V_{33}^p$$

kn:fig10 b:0.4842 p:0.5842

The fruit volume (V_x) of ‘Housui’ could be predicted using the following formula and parameters.

$$V_x = V_o + \sum_{d=33}^{x-1} k_n \cdot S_d^b \cdot V_o^p$$

kn:fig15 b:0.1614 (until the full bloom 92th next), b :0 (after full bloom 93th)

p :0.5808 $V_o : 33 - 2.1 (15.1 - \text{Average temperature of full bloom 1-33 days})$