

生育予測モデルに基づくニホンナシ開花予測システムの開発

戸谷智明・川瀬信三

キーワード：ニホンナシ，幸水，豊水，開花予測，生育予測

I 緒 言

ニホンナシは、落葉果樹の中でも気候に対する適応性が広く、東北地方から九州地方まで栽培されている。ところが最近、地球温暖化による気温上昇に伴い、ニホンナシの開花期は12都道府県で前進していること（杉浦ら，2007）が報告されており、千葉県においても気温上昇やそれに伴って生じる主力品種「幸水」の満開日は変動している（戸谷・川瀬，2011）。さらに、気象庁（2008）の予測では、21世紀末までに東北から西日本における寒候期（12月～2月）の平均気温が2～3℃上昇するとされていることから、開花期の変動は今後も継続する可能性が高い。

開花期が変動することによって、生産者は人工受粉用花粉の調達や受粉などの段取り、花芽整理、摘果、農薬散布、多目的防災網の展張などの作業時期も変動し、雇用の確保や作業計画の立案が難しくなっている。この問題に対応するため、千葉県内のニホンナシ産地の開花期を早期に予測し、生産者が余裕を持った作業計画を立案できるようにする必要がある。

栃木県（大谷，2006）や長崎県（田中・林田，2008）では、生育予測モデル（杉浦・本條，1997）に基づいた開花予測システムが実用化されている。生育予測モデルは、予測する地点によって予測式の発育指数が異なるため、それぞれの地点の過去の生育や気温データを利用して算出し、予測精度を検証する必要がある。また、予測には開花前年9月から開花日までの期間の1時間ごとの気温データが必要であり、これらをアメダスデータから自動で取得し、生産者が手軽に使用できるようにシステム化する必要がある。そこで本研究では、千葉県内の産地ごとに生育予測モデルの発育指数をアメダスデータに基づいて決定するとともに、予測精度を検証し開花予測に適するか明らかにした。また、必要なアメダスデータの自動取得や生育予測モデルの複雑な計算を行って結果を表示できるシステムの作製を行った。

受理日2012年8月8日

本報の一部は、園芸学会（2010年3月，藤沢市）及び園芸学研究（2011年）において発表した。

その結果、生産者がパソコンで手軽に使用できるニホンナシ開花予測システムを開発したので報告する。

本研究を実施するに当たり、独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センターの菅原幸治博士、千葉県農林総合研究センターの牛尾進吾病理昆虫研究室長及び大木浩主席研究員に御指導をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

II 材料及び方法

1. 生育予測モデルの実用性

(1) 千葉県内調査点の発育指数の算出

千葉県内各調査点の「幸水」及び「豊水」の開花始、満開日、開花終を予測する発育指数を、杉浦・本條（1997）が開発したニホンナシの生育予測モデルと開花期及び気温データに基づいて算出した。開花期は、千葉県が生産者の協力を得て実施している果樹生育調査事業の結果を用いた。開花始は連続開花の初日、満開日は70～80%の花が開花した日、開花終は20～30%の花が落弁した日とした。「幸水」では、千葉市と市川市が1980～2009年の30年分、印西市が1981～2008年の25年分（1983，1984，2001年欠測）、市原市が1980～2009年の29年分（1984年欠測）、木更津市が1980～1999年の18年分（1984，1993年欠測）、長生郡一宮町（以下一宮町とする）が1980～2008年の28年分（1984年欠測）、館山市が1993～2009年の16年分（1999年欠測）の開花期データを用いた。「豊水」では、千葉市が1980～2009年30年分、鎌ヶ谷市が1983～2009年の27年分、旭市が1991～2008年の16年分（1993，1998年欠測）、四街道市と八千代市が1986～2008年の22年分（1998年欠測）の開花期データを用いた。気温は調査点に最も近いアメダスデータを用い、千葉市、印西市及び四街道市がアメダス佐倉、市川市、鎌ヶ谷市及び八千代市がアメダス船橋、市原市がアメダス木更津、木更津市がアメダス牛久、旭市がアメダス横芝光、一宮町がアメダス勝浦、館山市がアメダス館山のデータをそれぞれ用いた。気温データの欠測は平年値から補正した。

発育指数は、調査点ごとに、それぞれの調査年度の気温を生育予測モデルに入力し、実際の開花始、満開日、開花

終の正午における発育指数を求め、その値を平均し開花始等を予測する発育指数とした。さらに、自発休眠覚醒日は杉浦 (1997) が推奨し、栃木県 (大谷, 2006) や長崎県 (田中・林田, 2008) が採用している発育指数が2.2となる月日とした。

(2) 予測精度の検証

調査点の開花始、満開日、開花終を予測する発育指数を用いて算出した予測値と実測値から平均二乗誤差 (以下誤差とする、 $X = \sqrt{(X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2) / n}$) を求め、生育予測モデルの精度を検証した。気温及び開花期データは、前述したデータを用いた。

千葉市、市川市及び一宮町の満開日を予測する発育指数と予測精度は、園芸学研究 (戸谷・川瀬, 2011) で発表済みであるが、本報告では千葉県全体の開花予測の結果を論じる必要があるため記載した。

2. ニホンナシ開花予測システムの開発

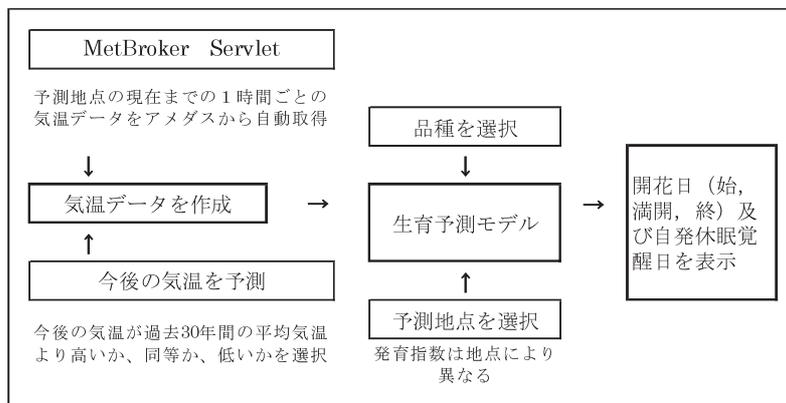
開花予測システムはパソコンの表計算ソフトであるMicrosoft社のExcel 2007を利用して開発した。本システムの概要を第1図に示した。

すなわち、開花前年9月1日0時から本システムを作動させた時点までの既存の気温データは、気象データ仲介ソフ

トMetBroker Servlet (Laurensonら, 2002) を介して、予測したい地点ごとにインターネット上のアメダスデータを取得する。また、システムを作動させた時点から開花期までの気温データは、地点ごとに今後の気温が過去30年間の平均気温より高いか、同等か、低いかを選択する。さらに、品種と地点を選択する。これらを行った後に、前述の生育予測モデルにデータが挿入され計算が行われる。その結果、選択した品種や地点における開花日 (開花始、満開日、開花終) 及び自発休眠覚醒日が表示される。

MetBroker Servletはアメダスなどの気象データを仲介するプログラムで、気温や降水量などのデータをインターネットから簡単に取得することができる上、データベースの形式が異なる場合でも統一的形式で出力できる。ただし、MetBroker Servletを利用するためには、通常JAVA言語などの高度な技術が必要である。そこで本システムでは、MetBroker Servletを介して必要な気象データを容易に取得できるように開発されたアプリケーションMetXML (Kei Tanaka, 2006) を利用した。

また、生育予測システムでは、発育指数が地点や品種によって異なるため、予測する地点の品種とアメダスの地点との組み合わせを第1表のとおりとした。



第1図 開花予測システムの概要

第1表 開花予測が可能な品種及び地点、アメダスの組み合わせ

品種	予測可能地点	アメダス
「幸水」	千葉市	佐倉
	市川市	船橋
	印西市	佐倉
	市原市	木更津
	木更津市	牛久
「豊水」	千葉市	佐倉
	鎌ヶ谷市	船橋
	旭市	横芝光
	四街道市	佐倉
	八千代市	船橋

Ⅲ 結果及び考察

1. 生育予測モデルの実用性

(1) 千葉県内調査点の発育指数

「幸水」の開花始を予測する発育指数は、千葉市が0.79、市川市が0.83、印西市が0.89、市原市が0.83、木更津市が0.86、一宮町が0.78、館山市が0.78であった（第2表）。

満開日を予測する発育指数は、千葉市が0.90、市川市が0.93、印西市が1.04、市原市が0.93、木更津市が1.04、一宮町が0.85、館山市が0.89であった。開花終を予測する発育指数は、千葉市が1.05、市川市が1.09、印西市が1.19、市原市が1.02、木更津市が1.24、一宮町が0.94、館山市が1.02であった。

「豊水」の開花始を予測する発育指数は、千葉市が0.84、鎌ヶ谷市が0.95、旭市が0.95、四街道市が0.89、八千代市が0.88であった（第3表）。満開日を予測する発育指数は、千葉市が1.00、鎌ヶ谷市が1.08、旭市が1.06、四街道市が1.06、八千代市が1.01であった。開花終を予測する発育指

数は、千葉市が1.14、鎌ヶ谷市が1.21、旭市が1.18、四街道市が1.19、八千代市が1.15であった。

(2) 予測精度の検証

調査点ごとにニホンナシ開花予測システムを用いて算出した予測値と実測値を比較してシステムの検証を行った。その結果、「幸水」の開花始の予測値と実測値の誤差は、千葉市が2.5日、市川市が2.0日、印西市が2.9日、市原市が2.5日、木更津市が3.0日、一宮町が5.4日、館山市が7.0日であった（第4表）。満開日の誤差は、千葉市が1.6日、市川市が1.7日、印西市が2.8日、市原市が2.4日、木更津市が2.2日、一宮町が5.0日、館山市が6.1日であった。開花終の誤差は、千葉市が2.1日、市川市が1.8日、印西市が3.0日、市原市が2.3日、木更津市が2.2日、一宮町が5.2日、館山市が5.8日であった。

「豊水」の開花始の予測値と実測値の誤差は、千葉市が2.2日、鎌ヶ谷市が3.3日、旭市が3.0日、四街道市が2.6日、八千代市が3.0日であった（第5表）。満開日の誤差は、千葉市が2.0日、鎌ヶ谷市が2.4日、旭市が2.9日、四街道市が2.1日、八千代市が2.7日であった。開花終の誤差は、千葉

第2表 千葉県内各調査点の「幸水」開花期予測用の発育指数

調査点	データの使用 ¹⁾ 年数（年）	使用した アメダス地点	発育指数 ²⁾		
			開花始	満開日	開花終
千葉市	30	佐倉	0.79	0.90	1.05
市川市	30	船橋	0.83	0.93	1.09
印西市	25	佐倉	0.89	1.04	1.19
市原市	29	木更津	0.83	0.93	1.02
木更津市	18	牛久	0.86	1.04	1.24
一宮町	28	勝浦	0.78	0.85	0.94
館山市	16	館山	0.78	0.89	1.02

注1)データの使用年数は、各市町とも1980～2009年において実測した開花期データが記録されている年数を示す。

2)発育指数は複数年の実測した開花日や気温データを生育予測モデルに挿入して求めた各年次の平均値。

第3表 千葉県内各調査点の「豊水」開花期予測用の発育指数

調査点	データの使用 ¹⁾ 年数（年）	使用した アメダス地点	発育指数 ²⁾		
			開花始	満開日	開花終
千葉市	30	佐倉	0.84	1.00	1.14
鎌ヶ谷市	27	船橋	0.95	1.08	1.21
旭市	16	横芝光	0.95	1.06	1.18
四街道市	22	佐倉	0.89	1.06	1.19
八千代市	22	船橋	0.88	1.01	1.15

注1)データの使用年数は、各市とも1980～2009年において実測した開花期データが記録されている年数を示す。

2)発育指数は複数年の実測した開花日や気温データを生育予測モデルに挿入して求めた各年次の平均値。

市が2.3日、鎌ヶ谷市が2.0日、旭市が3.1日、四街道市が2.6日、八千代市が2.8日であった。

杉浦 (1997) は、実測値の調査は目視で行うので誤差が生じやすいため、予測値と実測値との誤差が3日程度であればその地点の予測精度が高いとしている。このことから、調査点のうち、「幸水」では一宮町と館山市以外の5地点で、「豊水」では5地点全てで予測精度が優れ、開花予測が可能であることが明らかになった。

生育予測モデルは、一宮町と館山市で開花期の予測を行う場合、精度の面では問題が残った。このことについて本條 (2007) は、生育予測モデルは予測値と実測値との誤差が四国や九州地域では他の地域に比べ大きく、温暖な地域ほど精度が低下する傾向があることを報告している。一宮町の開花前年9月から4月までの気温の平均は千葉市や市川市に比べ2.0~2.1℃ 高く、そのため自発休眠覚醒日も千葉市に比べ1か月遅い3月上旬である。さらに温暖化の影響で気温が上昇し自発休眠覚醒日は遅延している (戸谷・川瀬, 2011)。これらのことから、一宮町において予測精度が劣った原因としては、平均気温の高さと温暖化の進展、それに伴う自発休眠覚醒日の遅延が考えられ、館山市も同

様の原因であると推察される。また、気象庁 (2008) によると、21世紀末までに温暖化によって東北から西日本の寒候期の気温が2~3℃ 上昇すると予想されている。以上のことから、今後も気温上昇が継続した場合、千葉市などにおいても一宮町や館山市と同様に、生育予測モデルの精度が低下する可能性が示された。

2. ニホンナシ開花予測システムの開発

(1)ニホンナシ開花予測システムの操作方法

開花日を予測するため、以下の i~iv までの4項目を入力又は選択する (第2図) と、最後に結果が表示される (第3図)。なお、ニホンナシ開花予測システムは開花前年9月1日から開花日までの期間に使用できる。

i 開花を予測したい年

開花を予測したい年を西暦で、半角数字で入力する。

ii 予測したい地点のアメダス

「アメダス地点を選択」の選択ボタンをクリックすると「アメダス地点名」ユーザーフォームが表示され、アメダス地点を選択できる。アメダス地点を選択するとインターネット接続下で1時間ごとの気温データが取得できる。ただし、インターネットの接続状況によっては、時間がかか

第4表 千葉県内調査点の「幸水」の開花期における実測値と予測値との誤差 (日)

調査点	開花始	満開日	開花終
千葉市	2.5	1.6	2.1
市川市	2.0	1.7	1.8
印西市	2.9	2.8	3.0
市原市	2.5	2.4	2.3
木更津市	3.0	2.2	2.2
一宮市	5.4	5.0	5.2
館山市	7.0	6.1	5.8

注1)実測値は1980~2009年において、千葉市と市川市が30年分、印西市が25年分、市原市が29年分、木更津市が18年分、一宮町が28年分、館山市が16年分の開花期データを用いた。

2)予測値は各調査点における開花始、満開日、開花終を予測する発育指数を用いて算出。

3)誤差は実測値と予測値との差を平均二乗誤差 ($X = \sqrt{(X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2/n)}$) として求めた。

第5表 千葉県内調査点の「豊水」の開花期における実測値と予測値との誤差 (日)

調査点	開花始	満開日	開花終
千葉市	2.2	2.0	2.3
鎌ヶ谷市	3.3	2.4	2.0
旭市	3.0	2.9	3.1
四街道市	2.6	2.1	2.6
八千代市	3.0	2.7	2.8

注1)実測値は1980~2009年において、千葉市が30年分、鎌ヶ谷市が27年分、旭市が16年分、四街道市と八千代市が22年分の開花期データを用いた。

2)予測値は各調査点における開花始、満開日、開花終を予測する発育指数を用いて算出。

3)誤差は実測値と予測値との差を平均二乗誤差 ($X = \sqrt{(X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2/n)}$) として求めた。

第2図 開花予測のための条件入力ワークシート

第3図 予測結果を表示するワークシート

る場合がある。データの取得に成功すると、セルに選択した地点名が表示される。データの取得に失敗した場合は0が表示されるため、インターネット接続状況やMetBroker Servletのホームページ（URL：http://pc105.narc.affrc.go.jp/metbroker2/?gui=station&lang=ja）に接続して動作することを確認する。

iii 今後の気温

「今後の気温を選択」ボタンをクリックすると「気温の選択」フォームが表示され、今後の気温の推移を選択できる。今後の気温の推移は、1980～2009年までの30年間の気温を平均したものを平年値とし、それに対する -1.0°C 、 -0.5°C 、 $\pm 0^{\circ}\text{C}$ 、 $+0.5^{\circ}\text{C}$ 、 $+1.0^{\circ}\text{C}$ となる気温の推移を選択できる。気象庁の長期予報を参考に選択する。

iv 予測する地域と品種

「地域と品種を選択」ボタンをクリックすると、「地域と品種」フォームが表示され、地域と品種を選択する。

v 結果の表示

「結果を表示する」ボタンをクリックすると、「結果表示」ワークシート（第3図）に切り替わり、開花予測の結果が表示される。また、自発休眠覚醒日も予測して表示される。

(2)ニホンナシ開花予測システムの特徴

これまでにニホンナシの開花期の予測方法として、回帰式で開花期と気温の関係を示した方法（青木，1985）やサクラ「ソメイヨシノ」の開花期から予測する方法（金子・松浦，1990）などが用いられてきた。しかし、これらの方法はデータの範囲を超える気象条件の下では精度が問題になる。また、千葉県内のニホンナシ産地では温暖化により気温が上昇し、自発休眠覚醒日の遅延や他発休眠期の短縮が生じ開花期が変動しているため（戸谷・川瀬，2011）、正確な開花時期や休眠打破剤の処理開始日を決定するため参考になる自発休眠覚醒日の予測が求められている。このため、ニホンナシ開花予測システムでは、千葉県内の多くの産地において予測精度が高く、開花予測に適している杉浦・本條（1997）の生育予測モデルを用いた。一方、生育予測モデルによる開花予測には複雑な計算と膨大な量の気温データが必要である。さらに、このモデルは「幸水」と「豊水」でモデル式が異なり、発育指数が地点によって異なるなど問題点が多い。このため、だれでも簡単に計算できるように、広く普及しているExcel 2007を利用して、品種や地点をボタンで簡単に選択し、複雑なモデル式を自動的に計算できるシステムとした。さらに、予測に必要な膨大な量のアメダスの気温データは、インターネット接続下でMetBroker Servletを介し自動的に取得するようにした。これにより、利用者は即時的に気温データを容易に取得することができる。また、本システムの利用時以降の気温は、

気象庁の長期予報を参考に、平年値を基に一定条件を選択して予測できる。これらのことから、ニホンナシ開花予測システムは、即時的に正確かつ簡単に開花始、満開日、開花終、自発休眠覚醒日の予測ができる。

なお、ニホンナシ開花予測システムは、2012年2月から千葉県農林水産部担い手支援課より無償で配布されている。

IV 摘 要

千葉県では地球温暖化によってニホンナシの開花時期が大きく変動した結果、人工受粉や摘果などの作業計画が立てにくくなっている。そこで、気温の変化が大きい年でもニホンナシの開花時期をパソコン上で手軽に予測できるシステムを開発した。

1. 杉浦・本條（1997）が開発した生育予測モデルは、「幸水」では千葉市、印西市、市川市、市原市及び木更津市、「豊水」では千葉市、四街道市、鎌ヶ谷市、八千代市及び旭市における開花期を高い精度で予測できる。
2. 一宮町や館山市では、千葉市に比べ気温が 2°C 以上高いため自発休眠覚醒日が遅延し、生育予測モデルの精度が劣った。
3. ニホンナシ開花予測システムは、パソコンの表計算ソフトExcel 2007を利用して、インターネット接続下で予測に必要なアメダスの気温データを自動取得し、生育予測モデルに基づき、簡単な操作で即時的に正確な開花始、満開日、開花終、自発休眠覚醒日を予測できる。
4. ニホンナシ開花予測システムは、2012年2月から千葉県農林水産部担い手支援課より無償で配布されている。

V 引用文献

- 青木秋広（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。
- 本條 均（2007）気候温暖化が落葉果樹の休眠、開花現象に及ぼす影響。園学研。4:1-5。
- 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法。栃木農試研報。37:43-48。
- Kei Tanaka（2006）The Utility Web Applications for MetBroker. AFITA2006 5th International Confer. pp.603-609。
- 気象庁（2008）地球温暖化予測情報第7巻。11-12。東京。
- Matthew LAURENSON, kira OTUKA and SeiShi NINOMIYA（2002）Developing Agricultural Models Using MetBroker Mediation Software. 農業気象.58（1）:1-9。
- 大谷義夫（2006）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.
- 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・本條均 (1997) ニホンナシの自発休眠覚醒と温度の関係解明およびそのモデル化. 農業気象. 53: 285-290.
- 杉浦俊彦・黒田治之・杉浦裕義. (2007) 温暖化がわが国の果樹生育に及ぼしている影響の現状. 園学研. 6: 257-263.
- 田中 実・林田誠剛 (2008) 長崎県におけるニホンナシ「幸水」および「豊水」の生育予測. 長崎果樹研報. 11:29-42.
- 戸谷智明・川瀬信三 (2011) 気温上昇が千葉県内におけるニホンナシ「幸水」の休眠期と開花期に及ぼす影響. 園芸学研究. 10:531-536.

Predicting Anthesis in Japanese Pears by using a Growth Forecast Model

Tomoaki TOYA and Sinzo KAWASE

Key words : Growth forecast model, Housui, Japanese pear, Kousui, Prediction of anthesis

Summary

In Chiba Prefecture, Japan, it is difficult to formulate work plans for Japanese pears orchards because of changes in the flowering period due to global warming. We developed a system that can accurately and easily predict anthesis in Japanese pears, even under unusual weather conditions, by using a personal computer.

1. We demonstrated that the model developed by Sugiura and Honjo (1997; *J. Agric. Meteorol.* 53: 285-290) can be used to predict flowering dates in the near future in the cities of Chiba, Inzai, Ichikawa, Ichihara, and Kisarazu in the case of the cultivar Kousui, and in the cities of Chiba, Kamagaya, Asahi, Yotsukaidou, and Yachiyo in the case of Housui.
2. The model developed by Sugiura and Honjo is not suited to the town of Ichinomiya and the city of Tateyama, both of which have a warmer climate.
3. The system can easily predict flowering dates and dates for breaking of endodormancy.
4. Since February 2012 the system has been distributed free by the Chiba Prefectural Government.