

花芽の温度要求性モデルを利用したウメ ‘南高’ における開花期 予測簡易プログラムの実装

北村祐人¹・沼口孝司・仲 慶晃²

和歌山県果樹試験場うめ研究所

Application of a Simple Blooming Time Prediction Program Using Development Rate Models for Temperature Requirements of Japanese Apricot ‘Nanko’ Flower Buds

Yuto Kitamura, Koji Numaguchi and Yoshiaki Naka

Japanese Apricot Laboratory, Fruit Tree Experimental Station, Wakayama Prefecture

緒 言

ウメ (*Prunus mume* Sieb. & Zucc.) は落葉果樹の中で最も早い, 2 ~ 3月のまだ寒さの厳しい時期に開花期を迎える。国内最大のウメ生産地である和歌山県における主要品種 ‘南高’ は自家不和合性を有し, 結実には開花期における訪花昆虫の活動が不可欠である (三宅ら, 1995)。しかし, 開花期の気象条件によっては昆虫の活動が不十分となり, 結実率が低下する原因となる。また和歌山県のウメ生産園地は梅林としての観光資源でもあり, 開花期の情報は地域経済的にも大きな価値のあるものである。

さらに将来的な気候変動によって, 開花・萌芽期や果実成熟期, 果実品質など, 果樹生産の性質が徐々に変化することが予測されている (Sugiura ら, 2012)。このような変化は果樹の栽培適地にも影響し, 従来の産地における大きな経済的損失が懸念される。そこで, 果樹生産にどのような変化がどの程度のレベルで生じうるかを定量的に予測することは, 気候変動対策の一環としても極めて重要な課題であると考えられる。

ウメの開花に関しては, これまでにもあらかじめ開花期を予測する試みが行われており, 温度変換日数法による開花期の推定などが評価されてきた (青野・佐藤, 1996)。また筆者らは, 人工的な温度処理実験によって, 温度ごとに単位時間あたりの休眠覚醒量を数値化する, いわゆる発育速度 (DVR) モデル (堀江・中川, 1990) を用いた開花期予測を実施した (Kitamura ら, 2017)。その結果, 和歌山県みなべ町内数地点における ‘南高’ の開花期を実用的なレベルの誤差で予測できるモデルを構築することができた。本研究では, その予測モデルを実際の生産現場で運用するために, 気温データ収集の簡便化と予測プログラムの作成を試みたので報告する。

材料および方法

1. 気象データの取得

本研究は 2015 年度から 2017 年度までのデータを用いて行った。果樹試験場うめ研究所内の代表

¹現在：和歌山県農林水産部農林水産政策局食品流通課

²現在：和歌山県農林水産部農業生産局果樹園芸課

的なウメ‘南高’1樹に記録温度計（おんどとり Jr. TR-51A, T&D 製）を設置し、毎時の気温を記録した。また、うめ研究所に設置された気象観測装置により毎日の最高気温および最低気温を記録し、それらの両気温を用いて、以下の計算式により毎時の気温を推定した（藤巻ら、1999 を一部改変）。

4:00 から 13:00 までの場合

$$T(t) = (T_{max} - T_{min}) \cdot \sin \frac{\pi t}{2(t_{max} - t_{min})} + T_{min}$$

14:00 から 3:00 までの場合

$$T(t) = -(T_{max} - T_{min}) \cdot \sin \frac{\pi t}{2(t_{min} - t_{max})} + T_{max}$$

$T(t)$: 毎時の推定気温, T_{max} : 該当日の最高気温, T_{min} : 該当日の最低気温, t : 時間コード (4:00 を 0 として 13:00 まで 0~9, 14:00 を 0 として 3:00 まで 0~13), t_{max} : 最高気温を観測した時間, t_{min} : 最低気温を観測した時間

なお、簡便のため本式では、最高気温は毎日 14:00、最低気温は毎日 4:00 に観測したものと仮定した。また、気象観測装置の故障に伴い、2016 年 11 月および 12 月における毎日の最高最低気温は記録温度計のデータから抽出して使用した。

2. 実測気温および推定気温を用いた予測開花期

上記の記録温度計による毎時気温および、推定式により算出した毎時推定気温を Kitamura ら (2017) の開花モデルに当てはめ、各年度における‘南高’の開花期予測を行った。すなわち、毎年 11 月 1 日 0:00 を起算日として低温要求量の発育速度 (DVR_{endo}) の計算を開始し、自発休眠覚醒の発育指数 (DVI_{endo}) として積算した。次に DVI_{endo} 値が 0.5 となった時点高温要求量の発育速度 (DVR_{eco}) の起算日とし、他発休眠覚醒すなわち開花に向けた発育指数 (DVI_{eco}) 積算を行った。この DVI_{eco} 値が初めて 1 を超えた時点予測開花日とみなすが、既報ではこの予測モデルは成木における開花始期とよく合致するように最適化されている。

加えて、記録温度計を設置した‘南高’1樹の開花始期（開花率が全体の約 20% を超えた日）を記録し、予測開花期と比較した。

3. 簡易開花期予測プログラムの作成

Microsoft Excel を用い、10 月 31 日以降毎日の最高最低気温を逐次入力することで、11 月 1 日午前 0 時以降毎時の推定気温を自動的に算出して、それぞれの気温を‘南高’花芽の DVR 値 (DVR_{endo} および DVR_{eco}) に変換して積算し (DVI_{endo} および DVI_{eco})、さらに DVI_{eco} 値が 1 となった日付を自動で表示する関数を設定した。

結果および考察

1. 実測気温と推定気温との誤差

記録温度計により測定した気温と、最高最低気温のみから推定した気温は、概ね同じような推移を示した(図1)。ただし、推定気温の方が実測気温よりも低く算出される時間帯が時折みられ、これは記録温度計と気象観測装置との間で低温域の検出能力に差がある可能性を示唆している。また、推定気温は最低気温と最高気温との間の温度を正弦関数近似によりまんべんなく収集するが、実際は日によって最高気温付近の温度が長く続くことや、雨天時には午前中よりも午後の方が気温が低くなるといったことも起こりうるため、そのような場合にも両気温間に若干の誤差が生じることになる。

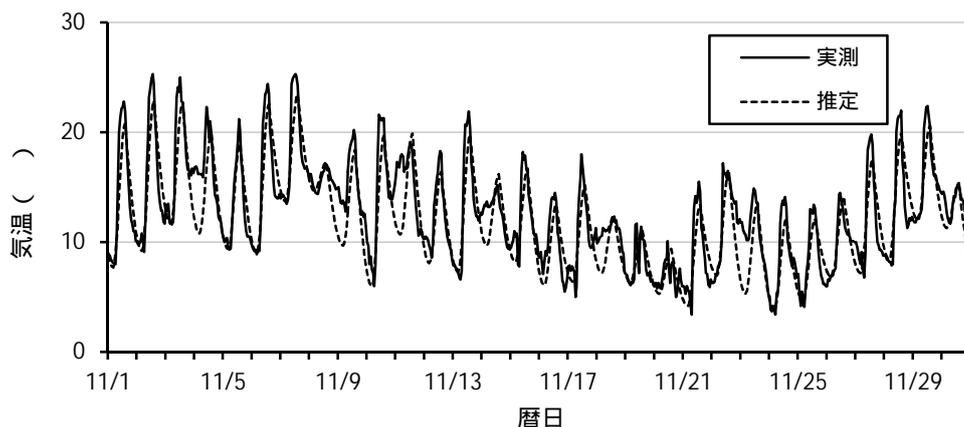


図1 記録温度計による実測気温と近似式による推定気温の推移(2017年11月の例)

2. 推定気温による開花期予測精度の検証

2015, 2016年度においては、推定気温に基づいた予測開花期は実測気温に基づくものと大きな差はなく、実際の開花期とも近い日付を示した(表1)。2017年度は、推定気温による予測において実測気温との間でやや大きな差(8日)が生じたが、実際の開花期とは比較的近い日付を示した。

各年度における DVI_{endo} および DVI_{eco} の積算値の推移を図2に示す。2015年度は DVI_{endo} および DVI_{eco} とともに実測気温と推定気温間で大きな乖離なく蓄積していることが見て取れる。2016年度は11月上中旬の両気温間でやや差が生じたために DVI_{endo} の蓄積速度には影響が出たが、その後の推移で DVI_{eco} の起算日はほぼ同じとなり、両気温も大きな差がなかったため、結果として予測開花期にも大きな差が生じなかったと考えられた。これらに対して2017年度は、 DVI_{endo} の蓄積および12月下旬までの DVI_{eco} の蓄積には両気温間で差がほとんどなかったものの、それ以降の気温の推定においてやや大きな差が生じたことが、予測開花期のズレにつながる原因であった。

これらの結果からは、実際の開花期との比較で評価すれば推定気温による開花期予測は実用的な利用に耐えうるものと期待できる。将来的な予測地域の広範囲化も想定すると、毎時の気温を近似式により推定する手法は必須のものである。ただし、今回は直近3か年のみの検証に留まっており、

表1 実際の開花日と予測開花日との比較

年度	開花日		
	実測 ^z	予測	
		実測気温	推定気温 ^y
2015	2/4	2/5	2/8
2016	2/16	2/10	2/14
2017	2/21	2/16	2/24

^z 樹全体の約20%が開花した日

^y 2016年11~12月の推定気温は、記録温度計の最高最低気温を抽出して算出(気象観測装置故障のため)

今後さらに検証を重ねて実用性を判断していく必要がある。

ウメは例年2月中には開花を迎え、秋季の自発休眠導入期から起算すると開花までの期間が最も短い果樹の一つであるとともに、自発休眠深度すなわち自発休眠覚醒に必要な低温要求量も小さい。同様の発育速度モデルによる開花期予測はニホンナシなどでも試みられているが(杉浦ら, 1991; 杉浦・本條, 1997), ニホンナシと比較すると、ウメにおける単位時間当たりのDVR値は相対的に大きくなる。総発育期間が短いことは誤差の蓄積頻度が小さくなることでもあるが、一つ一つの気温が反映するDVR値の誤差の大きさが、推定気温を用いたときの予測開花日のズレを生み出す一因であると推測される。

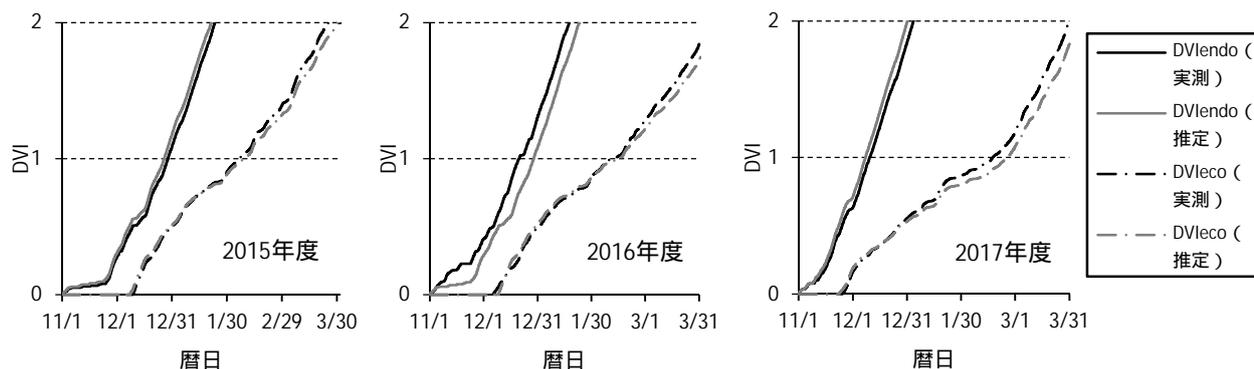


図2 実測気温および推定気温をもとにしたDVI値の積算推移

3. 開花期予測簡易プログラムの利用

本研究で構築した開花期モデルをできるだけ簡便に実際の予測に用いるため、Microsoft Excelによる実行ファイルを作成した(図3)。DVR_{endo}値の起算日となる11月から、遅くとも開花が終了する3月までの毎日の最高最低気温セルを設け、ここは手動で数値を入力することとしている(実際には10月31日から4月1日までの気温が必要)。これらを入力してしまえば、あとは上記の近似式に基づいて自動的に毎時の推定気温を返し、DVR算出式に従って毎時のDVI積算まで行うことができ、DVI_{eco}値が1を初めて超えた日付が予測開花日のセルに表示される。

ただし実際に予測に用いる際には、当然予測を行う日までの気温しか明らかになっていないため、それより先の未来の気温は平年値などの気温を用いることになる。それらの気温は、気象庁の長期予報などを参考にして、「平年値+1」や「平年値-2」といった修正を施して入力することも可能である。したがって、当年度の予測値を計算するのは、ある程度入力すべき実際の気温データがそろった時点、具体的には平年の自発休眠覚醒時期にあたる12月下旬頃から予測を始めることが現実的である。その際には、「今後の気温が平年並みに推移すれば」などの条件下で予測開花日が計算されることになる。

同様の開花予測プログラムは栃木県および千葉県のカシノナシや福島県のカシノリンゴなどでも利用されている(大谷, 2006; 戸谷・川瀬, 2013; 安達ら, 2018)。これらに比べると、今回作成したウメ「南高」の予測モデルはやや大きな誤差の可能性を内包しているが、事前の開花期情報の提供は、作柄の予測や授粉対策の必要性など、果実生産上も有益なものとなりうる。さらには、「南高」の授粉用品種にも本モデルを拡張することができれば、より開花期予測を有効活用することが可能となる。そのため、今後の研究においては各授粉用品種に関しても休眠期の温度反応性の定量およびモデル化が求められる。

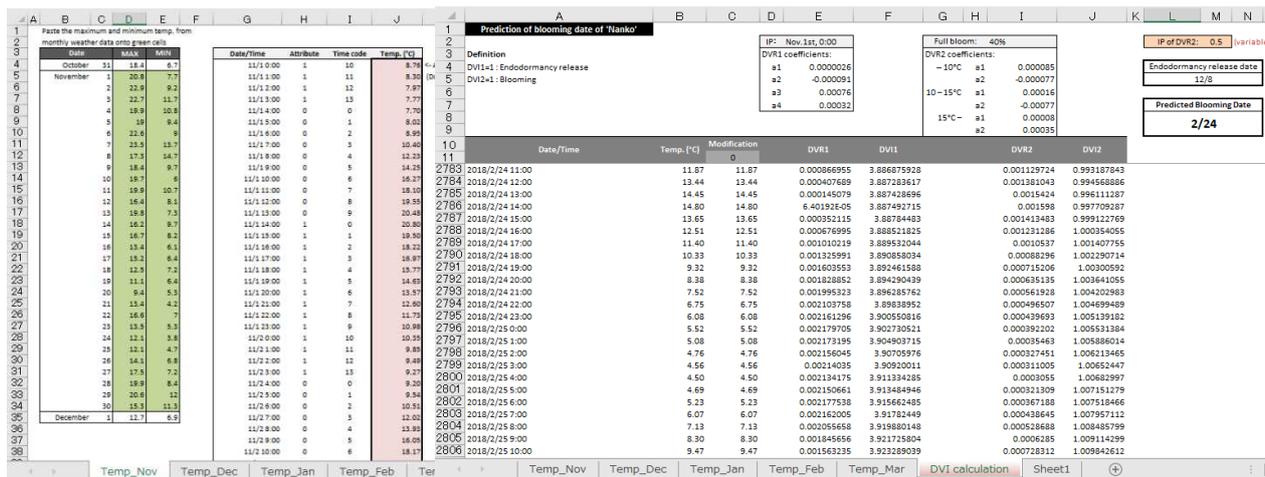


図3 ウメ‘南高’の簡易開花期予測ファイルの実行画面

注) 各日の最高最低気温を入力すると(左画面緑色セル), 毎時の推定気温が表示される(左画面桃色セル). それらの気温は DVI 積算シート(右画面)に入力され, DVI_{eco} が 1 を超えた時点の日時の日付部分が予測開花日として表示される(本図では 2/24 と表示)

摘要

本研究では, ウメ‘南高’の開花期予測モデルの簡易化を検証するとともに, 予測プログラムの作成を行った.

1. 近似式によって毎時気温を推定することで, 気温データ収集の簡便化を図った.
2. 推定気温を用いることで, ウメ‘南高’の開花期を実際の開花期と大きな誤差なく予測することができた.
3. Microsoft Excel による簡易な開花期予測プログラムを作成した.

本研究の遂行にあたり, 観測樹およびほ場の維持管理に尽力していただいた和歌山県果樹試験場うめ研究所の歴代職員諸氏に深く感謝の意を表す.

引用文献

安達義輝・志村浩雄・額田光彦・斎藤祐一・桑名 篤・安部 充. 2018. 温暖化傾向における果樹の発育速度 (DVR) モデルの検証. 福島農総セ研報. 9: 11-22.

青野靖之・佐藤和美. 1996. 休眠解除過程を考慮した西日本におけるウメの開花日の推定. 農業気象. 52: 125-134.

藤巻伸一・本永尚彦・松本辰也. 1999. ナシ「幸水」の開花期予測法. 新潟農総研研報. 1: 49-50.

堀江 武・中川博視. 1990. イネの発育過程のモデル化と予測に関する研究. 日作紀. 59: 687-695.

Kitamura, Y., H. Yamane, A. Yukimori, H. Shimo, K. Numaguchi and R. Tao. 2017. Blooming date predictions based on Japanese apricot ‘Nanko’ flower bud responses to temperatures during dormancy. HortScience 52: 1-5.

三宅正則・山口正己・土師 岳. 1995. ウメの自家和合性に関する研究. 園学雑. 64 (別 2): 116-

117 .

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・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・小野祐幸・鴨田福也・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 : 197-203 .

Sugiura, T., H. Sumida, S. Yokoyama, and H. Ono. 2012. Overview of recent effects of global warming on agricultural production in Japan. JARQ. 46: 7-13.

戸谷智明・川瀬信三 . 2013 . 生育予測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 . 千葉農林総研研報 . 5 : 11-17 .