'カワヅザクラ'の生態特性と産業利用に関する研究*

Studies on Behavior and Industrial Application of 'Kawazu-zakura' Cherry Tree

村上 覚 Satoru Murakami

*岐阜大学大学院連合農学研究科審査論文 2008年(平成 20年)

序 文

静岡県の伊豆地域は、温暖な気候、美しい自然景観と温泉、歴史や伝統文化 など、多彩な地域資源と山海の幸に恵まれ、国内外から多くの人々が訪れる景 勝地となっております。静岡県では、このような地域特性を活かし、農業と観光 などの他産業との有機的な連携による伊豆地域の戦略拠点として、平成19年度 に農林技術研究所伊豆農業研究センターを設置いたしました。

本研究の対象である 'カワヅザクラ'は、伊豆地域の重要な観光資源として 位置づけられており、毎年 2 月から 3 月にかけて開催される「河津桜まつり」 は、今や、100 万人を超える観光客が訪れる地域の代表的なイベントとなってお ります。静岡県としても、伊豆農業研究センターの前身である有用植物園の時 代、昭和 47 年に 'カワヅザクラ'の母樹園を設置し、優良な苗木を増殖して、 地域に供給するなど、'カワヅザクラ'の地域資源としての定着に深く関わって まいりました。

本研究は、地域から強く要望されていた'カワヅザクラ'の開花予測や、駅 や旅館等での観賞用としての切り枝の利用について研究を進めたもので、その 研究成果は、地域に根差したものとして大いに活用されております。伊豆農業研 究センターでは、この成果を基礎に、現在も開花調節法の開発などの研究を進 めているところであります。

なお、本報告は、伊豆地域に自生する有用植物の利活用に関する研究に取り 組んできた村上覚副主任が、本研究論文により博士(農学)の学位を授与され たのを機に、農林技術研究所特別報告として刊行することとしました。

結びに、この研究の推進、並びに論文の取りまとめなどに御協力、御指導を 賜った関係の皆様に深く感謝の意を表します。

平成 21 年 9 月

静岡県農林技術研究所長

谷 正 広

第1章	緒 言
第2章	南伊豆地域における開花期と気温との関係 ・・・・・ 3
第3章	花芽形成とその発達 ・・・・・ 7
第4章	自発休眠覚醒期 ••••••• 11
第5章	他発休眠期における発育速度モデルの作成 ・・・・・・・・・14
第6章	切り枝での開花および花の品質に及ぼす気温の影響 ・・・・・・・・17
第7章	単回帰式,温度変換日数法,自発休眠覚醒期を考慮に入れた 開花予測法の比較検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
第8章	他発休眠期での発育速度モデルを利用した開花予測 ・・・・・・・24
第9章	総合考察
第 10 章	摘 要
Sumarry	33
謝 辞	
引用文南	犬 ······ 37

目 次

第1章 緒 言

日本に花鑑賞の事実が現れるのは万葉時代以降で ある⁵⁹⁾. その当時,日本では中国渡来のウメ,キク, ボタン、シャクヤク等とともに、日本固有のツバキ、 サクラ,ハギも庭園に植えられ鑑賞されるようになっ た 59). このうちサクラは、古代日本人の生活習慣に 深く関わり、春の到来を告げる「春告草、木の花」と して、開花をみて農耕の目安とした 20)、当時のサク ラはヤマザクラが主流であり、ハギ、ウメと比較する と位置づけは低かったといわれている 63). 平安時代 以降になると、サクラはウメに替わり春の花の主流と なり,貴族の花見といえばサクラを指すようになった ⁶³⁾. その後, 江戸時代以降には庶民の間にも花見が広 がり、サクラの名所が各地にできた 63). 明治時代に なって 'ソメイヨシノ' が全国的に広まると、日本人 にとってサクラは確固たる位置づけとなった²⁰⁾.こ のように日本人にとってサクラは昔から愛され、日本 を代表する花として定着している.

サクラは分類学上では、バラ科 Rosaceae サクラ亜 科 Prunoideae スモモ属 Prunus に属する落葉樹で ある.主に北半球の温帯に分布し、ヨーロッパから小 アジアを経て西シベリアにかけてセイヨウミザクラ 等3種が、北米に Prunus pensylvanica 等2種があ る他は、全て東アジアに産する²⁵⁾.東アジアではヒ マラヤに約3種、中国には約33種がある²⁵⁾.我が国 には、ヤマザクラ、オオシマザクラ、カスミザクラ、 エドヒガン、チョウジザクラ、ミヤマザクラ、マメザ クラ、カンヒザクラおよびタカネザクラの9種が分 布しているに過ぎない²⁵⁾.しかし、園芸品種の数は 多く、その数は300種以上あるといわれている¹⁷⁾. 伊豆地域では、古くからオオシマザクラ、ヤマザクラ、 マメザクラおよびエドヒガンが自生しており、さらに



図 1-1 河津町田中に現存する 'カワヅザクラの原木

現在ではカンヒザクラやシナミザクラ等の植栽も多 く見られる.このため、交雑種や変異種と想定される サクラも多く見られる.'ソメイヨシノ'の発生説の 一つについても、オオシマザクラとエドヒガンが伊豆 地域内における自然交雑した結果生じた可能性が示 唆されている^{56,57)}.さらに、中井は石廊崎で発見し たサクラを'シオカゼザクラ'と命名し、古里は南伊 豆町で発見したサクラを'ミノカケザクラ'と命名し た⁵⁸⁾.この他にも'アタミザクラ','サイフクジシ ダレ','イトウザクラ'等,観賞価値の高いサクラが 伊豆半島から数多く育成・発見され、一部は品種登録 までされている.このように、伊豆地域は遺伝的に多 種多様なサクラが見られる場所として注目されてい る.

伊豆環境緑化推進協議会は、伊豆地域の行政,普及, 研究の各機関が一体となって,地域の特色ある植物を 利用して地域振興を図ることを目的として,1972年 に発足した.伊豆環境緑化推進協議会は、特色あるサ クラを選定し植栽を推進することは、地域振興に寄与 するとの観点に基づき、伊豆地域の自生種の中から 'ソメイヨシノ'より開花が早く、鑑賞に適するサク ラの発掘と、その生態調査を行った.その結果、'カ ワヅザクラ'、'ミナトザクラ'、'オキチザクラ'、'オ オシマ早生'、'ベニカンザクラ'、'カンザクラ'、'オ オカンザクラ'の7品種を選定し、その植栽を推進 した³³⁾.

・カワヅザクラ、(Prunus lannesiana) Wils.Kawazu-zakura)の特徴は、開花期が2月上旬から3月上旬と早く、蕾は紅色が強く、満開時には淡紅色で花径は約3cmと大きいことである32).原木は河津町田中の飯田典延氏宅にあり(図1-1)、その来歴は飯田氏の亡父が1955年頃、河津町峰に生育していた当時5~6年生の若木を譲り受け、現在地に定植したとされる33).なお、'カワヅザクラ'には、カンヒザクラとオオシマザクラが関わったとする説49.58.60)とカンヒザクラと'カンザクラ'が関わっている説33)の2つの説がある.太田ら(2006)は、核および葉緑体のDNA分析により、'カワヅザクラ' はカンヒザクラとオオシマザクラに由来することを示唆した41).

'カワヅザクラ'は伊豆地域由来のサクラの中では特



図 1-2 毎年 2月 10日から 3月 10日まで開催される 「河津桜まつり」 (2004 年 2月 27日 河津町田中)

に観賞価値が高い. このため, 伊東市の造園業者であ る勝又光也氏は1968年頃から増殖を開始し、その普 及に努めた.また、河津町では1975年に町の木にす るとともに町内への植栽をすすめた.静岡県農林技術 研究所伊豆農業研究センターにおいても,その前身で ある有用植物園,伊豆振興センター南伊豆農場時代か ら深く関わりを持ち,南伊豆町石廊崎地内の大久保試 験地に母樹園を設け、そこから多くの苗を増殖した ³²⁾. 伊豆振興センター南伊豆農場時代の1980年から 1986 年には 1,852 本を増殖し、このうち河津町に 1,230本, 南伊豆町に 502本, 下田市, 西伊豆町にそ れぞれ 60 本を供給した 32, 48). こうした取り組みの 成果もあり、現在では約1万本が河津町内に植栽さ れ,伊豆を代表する早咲きサクラとして全国的にも注 目されるようになった. なお、 'カワヅザクラ' の原 木は2005年2月3日に河津町の天然記念物に指定さ れた.

河津町で毎年2月10日から3月10日に開催され る「河津桜まつり」(図1-2)は、1991年から始ま った.第1回目の来場者は3,000人程度であったが、 地域の積極的な取り組みもあり、来場者は徐々に増加 した(図1-3).1998年にマスメディアを通して全 国的に知られるようになると、一気に来場者は40万 人に達し、翌年の1999年には100万人が来場した. 以降は毎年100万人を超える観光客が訪れ、「河津桜 まつり」は伊豆半島の観光産業の柱となる一大イベン トへと成長した.また、ほぼ同時期に南伊豆町内で行 われている「みなみの桜と菜の花まつり」においても、 毎年多くの観光客が訪れ、2004年には37万人が来 場した.このように、カワヅザクラ、は南伊豆地域の



図1-3 「河津桜まつり」の来場者数の推移 (河津町観光協会調べ)

極めて重要な観光資源として位置づけられている.し かしながら, 'カワヅザクラ'の開花期は年次差が大 きいため,地域の観光関係者や自治体等から開花予測 法を確立することが要望されていた.また,河津町を はじめとする伊豆地域では開花を促成させた切り枝 を観賞用として駅や旅館で利用したいという要望も ある.

そこで、本研究では 'カワヅザクラ' において、生 態特性に関する基礎的な知見を得るとともに,開花予 測法の確立や切り枝での利用等,産業的な利用をさら に促進させることを目的とした. 第2章では南伊豆 地域における標高の異なる8か所の 'カワヅザクラ' の開花と気温について調査し,両者の関係について調 査した、第3章では花芽形成について年次差と植栽 地による差を明らかにし、さらに花芽形成後、落弁に 至るまでについても継続的に観察調査した. 第4章 では、自発休眠覚醒期について調査し、開花予測にお ける気温の積算開始時期や切り枝の促成開始時期を 決定する上での参考とした. 第5章では、切り枝に より他発休眠期における発育速度を明らかにし、モデ ル化した. 第6章では、切り枝の促成温度の条件に ついて検討した. 第7章では, 第2章で得た4年分8 か所の気温と開花日のデータをもとに、単回帰による 方法,温度変換日数法および自発休眠覚醒期を考慮に 入れた方法をそれぞれ比較し、開花予測法について検 討した. 第8章では, 第3章で明らかになった花芽 の発達過程と、第5章で明らかになった他発休眠期 における発育速度モデルを活用した開花予測につい て検討した.

第2章 南伊豆地域における開花期と気温との関係

サクラでは 'ソメイヨシノ' 3.22.43 46 47 をはじ めとして、ヤマザクラ 18, 'コヒガン' 18, カンヒ ザクラ 60 等で開花期と気温の関係について報告され ている. 'カワゾザクラ' については、地元では年に より約 1 か月程度開花日が異なるといわれている. しかし、'カワゾザクラ' の開花については立地条件 や気象条件等を含めて調査が行われているわけでは なく、詳細については明らかにされていない.

本章では、2002 年から 2005 年の4 年にわたり、 南伊豆地域における標高の異なる 8 か所の 'カワヅ ザクラ'の開花と気温について調査し、両者の関係に ついて検討した.また、「河津桜まつり」が開催され る河津町田中と、「みなみの桜と菜の花まつり」が開 催される南伊豆町青野川堤防において 'カワヅザク ラ'の開花の個体差についても調査した.

材料および方法 調査 1 南伊豆地域 8 か所における 'カワヅザ クラ'の開花期と気温との関係

南伊豆地域の標高の異なる 8 か所(図 2-1)で, それぞれの地点で開花状況の推移が中間的な'カワヅ ザクラ'の個体を開花標準木とし,2002 年から 2005 年の 4 年間,各調査地点において開花標準木の開花 状況について調査した.開花状況の調査は1月から3 月にかけて継続的に行い,2分咲き日,5分咲き日お よび満開日をそれぞれ決定した.気温は8 地点それ ぞれで観測した.気温の観測は自記温度記録計(サー モレコーダーミニ RT30S エスペックミック社製)



図 2-1 試験1で開花期と気温を調査した地点

を設置し、11月から翌年の3月までの5か月間、1 時間ごとに測定し、日平均、日最高および日最低気温 をそれぞれ算出した.調査は開花状況と同様に、2002 年(2001年11月から2002年3月)から2005年(2004 年11月から2005年3月)まで行った.しかし、2002 年と2003年の河津町梨本登尾、2003年の南伊豆町 伊浜においては調査途中で温度計が紛失したため、気 温のデータを得ることができなかった.

調査 2 'カワヅザクラ'における開花日と気 温との相関

気温が開花日に最も大きく影響を与える時期を推 定するため、開花日(2分咲き日)を始点として開花 前80日まで1日ずつ遡り、それぞれの期間における 日平均、日最高、日最低気温の平均を求め、開花日(1 月1日から2分咲き日までの日数)との相関を求め た.また、最も相関係数が小さかった期間の平均気温 と開花日との回帰分析も行った.解析には調査1で 得られた8地点4年分(うち3組は欠測)の計29組 の開花日と気温を用いた.

調査 3 河津町田中と南伊豆町青野川堤防の 'カワヅザクラ'における開花状況の 個体差

「河津桜まつり」が開催される河津町田中と「みな みの桜と菜の花まつり」が開催される南伊豆町青野川 堤防において 'カワヅザクラ'の開花状況の個体差に ついて調査した.開花状況は未開花から散り盛んまで



図 2-2 2004 年 10 月下旬から 2005 年 3 月上旬 までの各調査地点における旬別平均気温の推移

表2-1 'カワヅザクラ'の各調査地点における2002年から2005年の開花日¹⁾

			Q = • • = •				
調査地点	標高(m)	2002年	2003年	2004年	2005年	平均	最早最遅の差
河津町田中	11	1月26日	2月6日	2月9日	2月2日	2月3日	14日
河津町浜	5	2月1日	2月17日	2月19日	2月3日	2月12日	18日
河津町佐ヶ野	220	2月17日	2月24日	2月23日	2月18日	2月21日	7日
河津町七滝ループ橋下	190	1月29日	2月9日	2月9日	2月1日	2月5日	11日
河津町梨本登尾	409	2月24日	3月14日	3月2日	2月20日	3月4日	22 日
南伊豆町青野川堤防	8	2月2日	2月8日	2月13日	1月27日	2月7日	17日
南伊豆町石廊崎	20	1月28日	1月23日	2月4日	1月27日	1月28日	12日
南伊豆町伊浜	150	2月12日	2月6日	2月13日	2月15日	2月10日	9日
	-						

開花日は2分咲きの日



表2-2 河津町田中における 'カワヅザクラ' の2002年から2005年の2分咲き, 5分咲きおよび満開日

年	2分咲き日	5分咲き日	満開日	2~5分咲きの期間	5分~満開の期間	2分~満開の期間
2002年	1月26日	2月1日	2月12日	6日	11日	17日
2003年	2月6日	2月10日	2月21日	4日	11日	15日
2004年	2月9日	2月17日	2月23日	8日	6日	14日
2005年	2月2日	2月16日	2月28日	14日	12日	26日
平均	2月3日	2月11日	2月21日	8日	10日	18日

を12段階に区分し、観察により'カワヅザクラ'の 開花程度を当てはめた.河津町田中では2005年2月 18日に274本を,南伊豆町青野川堤防では2005年2 月23日に248本をそれぞれ調査した.

結 果

調査1 南伊豆地域8か所における 'カワヅザ クラ'の開花期と気温との関係

各調査地における 2004 年の 10 月下旬から 2005 年の 3 月上旬までの旬別平均気温の推移をみると, 海沿いで標高の低い場所では高く,内陸部で標高の高 い場所では低く推移していた(図2-2).調査した他 の年においても同様の傾向を示した(データ省略). 南伊豆地域内における 'カワゾザクラ'の開花日は調 査地により約1か月異なった(表 2-1,図2-3).4 年間の平均開花日をみると,最も早かったのは南伊豆 町石廊崎の1月28日,最も遅かったのは河津町登尾 の3月4日で,気温が高く推移していた場所では早 く,気温が低く推移する場所では遅くなる傾向を示し た(表 2-1). 年次間差をみると,河津町田中におい て,2002年と2004年では約2週間の違いがあった. 2分咲きから5分咲きまでの期間は平均8日間で,5 分咲きから満開までは約10日間であった. 他の7地 点においてもほぼ同様の傾向がみられた(表 2-2).

調査 2 'カワヅザクラ'における開花日と気 温との相関

開花日(2分咲き日)を始点として開花前80日まで1日ずつ遡り,各日数が対応した期間について日 平均,日最高,日最低気温の平均を求め,開花日(1 月1日から2分咲き日までの日数)との相関を求め た.日平均,日最高,日最低気温いずれにおいても開 花日との相関は開花前20日以降から徐々に相関係数 が小さくなり,特に開花前51日から70日の期間が 小さかった(図2-4).最も相関係数が小さかったの は,日平均気温では開花前67日目の-0.763,日最 低気温では開花前67日目の-0.720であった.日最 高気温は日平均,日最低気温とほぼ同様の傾向を示











図 2-6 河津町田中と南伊豆町青野川堤防の 'カワヅザクラ'における開花状況の個体差

したが,最も相関係数が小さかったのは開花前79日 目で-0.705 であった.また,開花日と開花前67日 間の平均気温について回帰分析を行った結果,開花日 yと開花前67日間の平均気温xについてy=-4.49x +72.70の回帰直線が得られ,気温が高くなるほど開 花日は早くなる傾向を示した(図2-5).

調査 3 河津町田中と南伊豆町青野川堤防の 'カワヅザクラ'における開花状況の個 体差

河津町田中では,2005年2月18日調査時に,5 分咲きから8分咲きを中心に分布し,1分咲きから散 り始めまでの個体が観察された.南伊豆町青野川堤防 では、2005 年 2 月 23 日調査時に満開から散り始め を中心に分布し、3 分咲きから散り盛んまでの個体が 観察された(図 2-6).

考察

南伊豆地域の'カワヅザクラ'では総じて標高が低 く気温の高い場所から開花が始まることが認められ た. 'ソメイヨシノ'では、冬季の低温遭遇が開花期 に影響を与えることが報告されている³⁵⁾. 'カワヅザ クラ'の片親と考えられているカンヒザクラについて は、上里・比嘉(1995) は沖縄において標高が高く 最低気温の低い場所から開花が始まり、低温遭遇の過 不足が開花期の早晩に影響を与えているとしている ⁶²⁾. 'カワヅザクラ'は早咲きのサクラであり³³⁾, 'ソ メイヨシノ'やカンヒザクラとは単純には比較できな いが,調査1と調査2の結果からみて冬季の気温が 高いほど,開花が早まると考えられた.しかし,例外 的に河津町田中と河津町浜の比較では,ほぼ同程度に 気温が推移しているのにも関わらず,開花日に違いが あった.また,河津町七滝ループ橋下のように比較的 気温が低く推移している場所においても開花が早く なる現象が確認された. 'ソメイヨシノ'では地形や 建造物による開花日の変動が報告されており⁵⁵⁾,植 栽場所により気温の影響が異なる可能性もある.今後, さらにデータを蓄積して,開花時期の地域間差につい て明らかにしていく必要がある.

'ソメイヨシノ' については、地域によって差はあ るが開花前 35 日から 70 日以降の気温が開花に影響 を与えることが報告されている 42,46,47). 一方,中川 (1972) は同様の調査をウメ,アンズ,スモモ,リ ンゴ,ニホンナシ,クリ,ブドウについて行っており, 樹種や調査地点により違いはあるが、満開前40日前 後の平均気温または最高気温が高いほど早く開花す ることを明らかにした³⁸⁾. 南伊豆地域の 'カワヅザ クラ'についてみると、開花前 51 日から 70 日以降 の気温と開花日との相関係数が最も小さく(図 2-4), またこの期間の気温が高くなるほど開花日は早くな る傾向を示した (図 2-5). 開花前 51 日から 70 日 は11月下旬から12月上旬にあたり、それ以降の気 温が開花に影響を与えるものと考えられた.この結果 から、 'カワヅザクラ' では既にこの時期には自発休 眠が覚醒している可能性がある.本研究で調査した地 点の11月の日最低気温をみると、概ね10℃を下回る ことは少なかった (データ省略). サクラでは 'アサ ヒヤマ'で、10℃以下の低温が自発休眠の覚醒に有 効とされる³⁴⁾. また, 勝木(1989)は 'ケイオウザ クラ'において特に8℃が休眠覚醒に有効な温度とし ている²³⁾. これらのことから, 'カワヅザクラ'はこ れらとは異なり,自発休眠の覚醒に有効な低温の範囲

が相対的に高いか,必要とする低温への遭遇時間が短いことが考えられる.

'カワヅザクラ'の開花は比較的緩慢に進み,4年 間の平均では2分咲きから5分咲きまで8日,花の 見頃である5分咲きから満開まで10日で,2分咲き から満開までは18日と長かった。南伊豆地域内にお ける開花日には約1か月の地域間差を認めており, 散り終わりまでを通算すると当地域において1月か ら3月までの長期間にわたりいずれかの場所で開花 が見られることとなる。本研究で得られたデータは 'カワヅザクラ'がいつ頃,どの場所で見頃であるか という情報を提供する上での基礎資料となり,観光面 での活用が期待される。

河津町田中および南伊豆町青野川堤防における'カ ワヅザクラ'の開花状況は、ある程度の個体差はある ものの、平均値を中心とした度数分布を示しており (図2-6)、地域内で開花が連続して進んでいくこと が認められた.また、南伊豆地域内における開花日の 地域間差とあわせ、'カワヅザクラ'には冬季に長期 間開花を続ける性質が認められた.このため、'カワ ヅザクラ'の観賞期間は概ね2分咲き頃から始まる と考えられ、今後、2分咲きの日を目標に予測するモ デルを作成することが観光面での利用上有益と思わ れる.

以上の結果から, 'カワヅザクラ'の開花日は南伊 豆地域内において約 1 か月の地域間差があり, 同一 地点における開花日も過去 4 年間で最大 2 週間以上 の違いがあった. 2 分咲きから満開までの期間は平均 18 日間と長期間開花を続ける性質が認められた. 'カ ワヅザクラ'の開花日 (2 分咲き)と気温との関係を みると,開花前 51 日から 70 日以降の気温が影響を 与えているものと考えられた. また河津町田中と南伊 豆町青野川堤防の 'カワヅザクラ'の開花状況には個 体差はあるが,平均値を中心とした連続的な度数分布 を示しており,地域内で長期間連続して開花を続ける 性質が認められた.

第3章 花芽形成とその発達

切り枝での利用や開花予測モデル等を作成するた めに,花芽形成とその発達に関する基礎的な知見を明 らかにする必要があると考えられる. これまでに、サ クラの花芽形成の調査は'ソメイヨシノ'^{8,12,28)}, 'アサヒヤマ'¹¹⁾, 'ケイオウザクラ'²³⁾ および 'ヒ ガンザクラ'²³⁾ で行われているが、早咲きの'カワ ヅザクラ'では調査は行われていない. さらに、サク ラの花芽の発達過程について, 落弁に至るまで調査さ れた報告はみられない.

そこで本章では試験1と試験2で'カワヅザクラ' の花芽形成について,年次間差および植栽地による差 を調査した. また, 試験3 では花芽形成後, 鱗片葉 が割れて緑色が見え始める状態から落弁に至るまで について継時的に観察調査した.

材料および方法 'カワヅザクラ'の花芽形成の観察と 試験 1 その年次間差

河津町田中に植栽されている 'カワヅザクラ' につ いて花芽形成の年次間差を調査した.材料は中間的に 開花状況が推移した'カワヅザクラ'を調査木とし, その2年生の枝に着生した花芽を6月から11月まで 約2週間おきに採取した.採取した材料は翌日に実 体顕微鏡下で剥皮法により観察調査した.調査は 1999年、2003年、2004年のそれぞれ同一日に行い、 1回の調査につき10個の花芽について行った.花芽 形成は小杉(1951)²⁸⁾に従い、未分化(I)から胚 珠形成期(Ⅶ)に分類した(図3-1). 調査した年の

表3-1 試験2で花芽形成を調査した場所

調査場所	標高(m)
河津町梨本登尾	409
河津町佐ヶ野	220
河津町七滝ループ橋下	190
河津町田中	11
南伊豆町青野川堤防	8
南伊豆町石廊崎	20

気温は最寄りのアメダスが設置されている東伊豆町 稲取のデータを参考とした.

'カワヅザクラ'の花芽形成における 試験 2 植栽地による差

南伊豆地域の標高の異なる6か所(表3-1)に植 栽されている 'カワヅザクラ' の花芽形成をそれぞれ 調査した.調査木はそれぞれの植栽場所において中間 的な開花状況を示した'カワヅザクラ' とした.材 料の採取および観察方法は試験1に準じた.調査は 2004 年7月から11月まで約2週間おきに行った. 花芽の観察調査期間中,同調査地点に自記温度記録計 (サーモレコーダ RT-30S エスペック社)を設置 し,気温を調査した.

試験 3 花芽形成後の 'カワヅザクラ' の花芽 の経時的観察

南伊豆町青野川堤防で中間的な開花状況を示した 'カワヅザクラ'について、2004年と2005年の1 月から3月まで1日から3日おきに目視により花芽 の観察を行った.2年生の枝に着生した花芽に番号を 付与し,同一の花芽について鱗片葉が割れて緑色が見



図 3-1 'カワヅザクラ'における花芽形成





図 3-4 'カワヅザクラ'の花芽形成の地域間差

え始める状態から落弁まで,継続的に観察調査を行っ た. 2004 年は3本の'カワヅザクラ'から30個の 花芽について,2005 年は4本から40個の花芽につ いてそれぞれ調査した.また,花芽の観察調査期間中, 同調査地点に自記温度記録計を設置し,気温を調査し た.得られた調査結果から,それぞれの花芽の状態か ら開花までと落弁までに要する日数と日平均気温の 積算値を算出した.

結 果 試験1 'カワヅザクラ'の花芽形成の観察と その年次間差

いずれの年次においても7月中旬には花房分化期 (II)で,花芽分化は開始していた(図3-2).その 後,9月上中旬にがく片形成期(III),10月上旬に花 弁形成期(IV),10月中旬に雄ずい形成期(V)と花 芽形成は連続的に進んだ.最も年次間差が大きかった のは,雄ずい形成期(IV)から胚珠形成期(VI)で, 11月5日における調査において,2004年では胚珠形 成期(VII)に達していたのに対し,1999年では雄ず い形成期(VI)であった.いずれの年の調査でも11 月下旬には胚珠形成期(VII)に達した.調査した年の 9月から11月までの平均気温をみると,胚珠形成期



図 3-3 東伊豆町稲取における 1999 年,2003 年および 2004 年の 9 月から 11 月までの旬平均気温の推移





に達したのが早い 2003 年は低く, 胚珠形成期に達したのが遅い 1999 年は高く推移した(図 3-3).

試験 2 'カワヅザクラ'の花芽形成における 植栽地による差

調査した6か所のいずれにおいても、7月下旬には 花房分化期(II)で花芽形成の開始が確認された(図 3-4).9月中旬以降,植栽地による違いが認められ, 標高が比較的高い河津町梨本と河津町佐ヶ野におい ては花弁形成期(IV)であったのに対し,他の調査地 ではがく片形成期(III)であった(図 3-4).その後, 10月下旬にかけて,河津町梨本と河津町佐ヶ野の花 芽形成は他の調査地点より早く進んだ.しかし、その 後は調査地点による差は小さくなり、11月上旬には いずれの場所においても胚珠形成期(VII)に達した. 調査地の9月から11月の平均気温は、標高が高い地 点で低く、標高の低い地点で高く推移した(図 3-5).

試験 3 花芽形成後の 'カワヅザクラ'の花芽 の経時的観察

観察の結果,花芽の発達過程は1. 鱗片葉が割れて 緑色が見え始めるから8. 落弁まで8段階に分類する ことができた(図3-6).1. 鱗片葉が割れて緑色が



図 3-6 'カワヅザクラ'における花芽の発達過程

<u>表3-2 'カワヅザクラ'¹⁾におけるそれぞれの花芽の発達過程から開花までと落弁までに要する日数と日平均気温(℃)の積算</u>

花茸の発達過程	2004年	調査 ²⁾	2005年調查 ²⁾		
化才妙光连遍性	開花まで	落弁まで	開花まで	落弁まで	
1. 鱗片葉が割れて緑色が見え始める	$35 \pm 4 (234 \pm 28)^{3)}$	$48 \pm 4(343 \pm 26)$	$32 \pm 5(259 \pm 39)$	$46 \pm 7 (371 \pm 52)$	
2. 緑色部分が半分以上になる	$28 \pm 3(192 \pm 28)$	$40 \pm 4 (302 \pm 24)$	$26 \pm 4(209 \pm 27)$	$38 \pm 8(310 \pm 64)$	
3. 頭部が割れ始める	$22 \pm 3(164 \pm 26)$	$35 \pm 3(273 \pm 23)$	$21 \pm 4(175 \pm 26)$	$35 \pm 6 (286 \pm 45)$	
4. 頭部が完全に割れる	$17 \pm 2(127 \pm 19)$	$29 \pm 3(237 \pm 19)$	$16 \pm 3(134 \pm 19)$	$28 \pm 8 (233 \pm 65)$	
5. 花色が見え始める	$12 \pm 3(100 \pm 21)$	$25 \pm 3(211 \pm 20)$	$13 \pm 3(116 \pm 23)$	$27 \pm 6(223 \pm 51)$	
6. 萼筒が現れる	$8 \pm 2(70 \pm 20)$	$20 \pm 3(180 \pm 23)$	$8 \pm 3(73 \pm 22)$	$22 \pm 5(185 \pm 42)$	
7. 開花	_	$13 \pm 3(118 \pm 26)$	_	$14 \pm 3(115 \pm 25)$	
 市田吉昭田県店の、カロバボク 	ラリアクレア調本				

1) 南伊豆町青野川堤防の カワツザクラ について調査

2) 2004年は30個、2005年は40個の花芽についてそれぞれ調査

3) 平均日数±標準偏差(日平均気温の積算の平均±標準偏差)

表3-3 南伊豆町青野川堤防における2004年と2005年の1月から2月までの10日ごとの平均気温(℃)

調査年	1/1~10	$1/11 \sim 20$	$1/21 \sim 31$	2/1~2/10	2/11~20	$2/21 \sim 28^{10}$
2004年	7.3	6.2	5.0	6.5	7.5	10.0
2005年	7.8	7.8	7.6	7.7	8.2	7.9
 1) 2004年は 	2月29日まて	2				





見え始めるから7.開花までには約1か月を要し,そ の間の日平均気温の積算は230℃から260℃であっ た(表3-2).花芽の生長が進むにつれて,その時点 から開花までの日数と積算温度は減少していった.7. 開花から8.落弁までは約2週間で,その間の積算気 温は約120℃であった.調査期間の10日ごとの平均 気温をみると,2004年,2005年ともに開花が始まる 2月中旬まで概ね7℃前後で推移し,日平均気温が 10℃を上回ることは少なかった(表3-3).また, 2003年の2月4日と2月12日の観察結果をみると, 2月4日は2. 緑色部分が半分以上になるから6. 萼 筒が現れるまでが,2月12日は3. 頭部が割れ始め るから7. 開花までの花芽が確認され,同日の観察日 においても様々な発育ステージの花芽が混在してい た(図3-7).

考察

サクラの花芽分化開始時期は'ソメイヨシノ'⁸ ¹² ²⁸), 'アサヒヤマ'¹¹), 'ケイオウザクラ'²³), 'ヒ ガンザクラ'²³ で調査されており, その多くは 6 月 下旬には花芽分化が開始していると報告している. 早 咲きの'カワヅザクラ'においても, 試験 1 と試験 2 で 7 月上旬には花房分化期(II)に達していること が認められたことから, サクラの花芽分化は開花の早 晩性に関らず, ほぼ同時期の 6 月下旬頃には開始す るものと考えられた.

花芽形成の年次間差は、野口ら(2003)がサクラ と同じ *Prunus* 属であるオウトウ'佐藤錦'で調査し ており⁴⁰,がく片形成期から雄ずい形成期にかけて 年次間差を認めており、その原因として気温の影響を 示唆している.試験1の'カワヅザクラ'の花芽形 成においても、雌ずい形成期から胚珠形成期にかけて の年次間差が認められ、気温が低く推移した年の方が 早期に胚珠形成期に達することが認められた.この結 果は、野口ら(2003)の報告⁴⁰⁾とは若干のずれがあ るものの、*Prunus*属の花芽形成はそれぞれの年次の 気温の影響を受けているものと考えられた.

花芽形成の植栽地による差は、'ヒガンザクラ',モ モ,ウメ¹³⁾およびオウトウ'佐藤錦'⁴⁰⁾で調査され ている.いずれの報告も花芽分化の開始時期は気温の 高い地域ほど早く開始するものの、その後は徐々にそ の差は小さくなり、胚珠形成期に早く達するのは気温 が低く推移する地域であるとしている. 試験 2 では 'カワヅザクラ'の花芽形成について植栽地による差 が認められ、標高が高く気温が低く推移した場所ほど 早く胚珠形成期に達する傾向を示した.このことから、 'カワヅザクラ'の花芽形成は他のサクラや落葉樹と ほぼ同様の傾向を示すものと考えられた.

五井(1982)はサクラを含む温帯花木の花芽形成 について、日長よりもむしろ気温の影響が大きく、ま た花芽形成が進むにつれてその適温は低下するとし ている¹¹⁾.野口ら(2000)も、オウトウ'佐藤錦' において花芽形成は日長よりもむしろ気温の影響が 大きく、特に雌ずい形成期以降にその影響を受けやす いことを報告している³⁹⁾.これらのことから、試験1 と試験2 で調査した'カワヅザクラ'の花芽形成過 程において、花弁形成期(IV)以降に年次間差と植栽 地による差が認められたのは、いずれも気温の違いに よるものと考えられた.

試験 3 では 'カワヅザクラ'の花芽の発達過程を 調査した.これまで,花木類においては花芽形成後, 落弁に至るまで継続的に観察された報告はほとんど みられない.試験 3 の結果から, 'カワヅザクラ'の 花芽の発達過程は,8 つのステージに区分することが できた(図 3-6).これによると,1. 鱗片葉が割れ て緑色が見え始めるから7.開花までは1か月以上を, 8. 落弁までには約 1 か月半を要した(表 3-2).花 芽の生長が進むにつれて,その時点から7.開花と8. 落弁までの日数と積算温度は減少していった.また, 7.開花から8. 落弁までは約 2 週間と開花期間が長 いことが認められた.これらの一因として, 'カワヅ ザクラ'の開花期が2月中下旬で年間の最低温期に あたり,緩慢な生育をするためと考えられた.永田・ 万木(2005)は 'ソメイヨシノ'の開花について冬 の低温により開花可能温度が低下し,関東地方では 10℃付近の気温により開花が可能になることを示唆 した³⁶⁾. 'カワヅザクラ'では日平均気温が 10℃を 下回る温度条件下においても花芽の生長が確認され た.このことから 'カワヅザクラ'は 'ソメイヨシノ' と異なり低温条件下においても生長し,かつ開花可能 温度も低いことが示唆された.また,試験 3 では同 日の観察日においても異なる発育ステージの花芽が 混在することが確認された(図3-7).第2章で, 'カ ワヅザクラ'の開花が長期間連続して推移することを 報告しているが,これは異なるステージの花芽が次々 と開花していき,かつ一つの花芽においても約2週 間の開花期間があるためと考えられた.

サクラでは 'ソメイヨシノ' において, 気温データ から自発休眠覚醒期を推定し,その時期から気温を積 算していくモデルが開発されている^{3 11)}. 'カワヅザ クラ'では試験1および試験2で明らかとなったよ うに,花芽形成には年次や地域間差はあるものの胚珠 形成期(VII)に達するのは概ね同時期である.また, 2月という開花時期から見て、自発休眠は比較的浅い と考えられるため、この時期を特定することが出来れ ば 'ソメイヨシノ' と同様の手法による開花予測も可 能と考えられる. また, 試験 3 において花芽の発達 過程を視覚的な8 つのステージに区分することがで き、その発達は緩慢に進んでいることから、'カワヅ ザクラ'の開花予測ではこの8 つの発育ステージか ら開花日を推定できる可能性もある. 今後, さらに気 温と花芽の生育との関係について詳細に調査するこ とにより、実用的な 'カワヅザクラ' の開花予測モデ ルの作成が期待される.

以上の結果から, 'カワヅザクラ'の花芽形成は 7 月の上旬には既に開始しており, その後, 9月上中旬 にがく片形成期, 10月上旬に花弁形成期, 10月中旬 に雄ずい形成期と花芽形成は進んでいった. 花弁形成 期以降には年次間差と植栽地による差が確認された ものの, 11月上中旬には胚珠形成期に達した. 胚珠 形成期に達するのが早い年次あるいは植栽地では, 気 温が低く推移する傾向が認められた. 花芽の発達につ いては, 1月上旬に鱗片葉が割れて緑色が見え始める 状態となって以降, 緩慢に進み, 開花までには 1か 月以上を要した. また, 開花から落弁までは約 2 週 間で鑑賞期間が長いことが明らかとなった.

第4章 自発休眠覚醒期

落葉樹では一般に自発休眠現象があり,それぞれ に覚醒期や低温要求量が異なるといわれている.自 発休眠覚醒期を把握することは,開花予測において 気温の起算時期を決定する上での重要な要因となる ⁴ ^{19,51}.サクラにおける自発休眠覚醒期については, 3月下旬以降に開花する'ソメイヨシノ'等で報告さ れているものの^{11,23},早咲きの'カワヅザクラ'で は報告されていない.

そこで、本章では南伊豆地域の重要な観光資源で ある'カワヅザクラ'において開花予測や切り枝生 産等の産業利用を進めるための基礎資料として、自 発休眠覚醒期について調査した.

材料および方法

2003 年度と 2004 年度のそれぞれ 10 月 20 日, 11 月 5 日, 11 月 26 日, 12 月 5 日, 12 月 26 日に静岡 県河津町田中の河津町役場に植栽されている'カワ ヅザクラ'から切り枝を採取した.切り枝は 1 回の 処理につき 20 本採取し,先端から約 1m に調整した. 調整した枝には花芽,葉芽あわせて約 30 個から 100 個が着生していた.材料を採取・調整後,その日の うちに枝物用水揚げ剤(ハイフローラ/BRC,パレス 化学製 有効主成分 50% ブドウ糖) を 50 倍に希釈し た水溶液に水挿しした.温度処理は材料を採取・調 整した翌日から南伊豆分場内(南伊豆町上賀茂)の 環境制御温室で行った.処理温度については, Sugiura et al. (1998) ⁵²⁾ が同じ Prunus 属であるオ ウトウ '佐藤錦'において自発休眠覚醒に対し,15℃ 以上では影響を与えないと報告しているため,最低 気温 15℃に設定した.日中の温度管理は温室内の気 温が 15℃を下回らない限り 9 時から 16 時まで側窓 を開放した.温室搬入後は 10 日ごとに開花済み花芽 数と展葉済み葉芽数を調査し,その結果から開花率 と展葉率を算出した.開花率と展葉率は全ての芽数 を温室搬入前に調査し,その割合として算出した.

'カワヅザクラ'の切り枝の採取を行った河津町 田中の気温は、自記温度記録計(サーモレコーダー ミニ RT-30S)を用い、10月1日から翌年の2月 28日まで1時間ごとに計測した.10月1日から各切 り枝日まで5℃、8℃、11℃以下の積算時間をそれぞ れ算出し、自発休眠覚醒に影響を及ぼす気温を推定 した.また、参考として切り枝を採取した河津町田 中の'カワヅザクラ'について2分咲きの開花日を 調査した.



図 4-2 'カワヅザクラ'の切り枝における温室搬入後日数と展葉率との関係

<u>表4-1 'カワヅザクラ'の切り枝における切り枝日の違いが温室搬入60日後の開花率、展葉率、開花・展葉率</u>に与える影響

われたロ		2003年度		2004年度			
90.912日	開花率(%) ¹⁾	展葉率(%) ²⁾	開花•展葉率(%) ³⁾	開花率(%)	展葉率(%)	開花・展葉率(%)	
10月20日	$4.4\pm5.2^{4}a^{5}$	1.2±2.0a	5.6±5.3a	16.0±10.8a	0.1±0.5a	16.1±11.0a	
11月5日	11.7±7.3a	4.3±5.6ac	15.9±5.0a	14.1±13.6a	3.8±5.5a	17.9±15.2a	
11月26日	26.8±9.1bc	6.1±5.4ac	32.9±10.3b	30.7±12.5b	15.7±5.6b	46.6±16.5b	
12月5日	42.4±12.1bd	10.9±9.8bc	53.3±15.7c	32.6±10.7b	18.1±8.4b	50.7±14.2b	
12月24日	45.5±14.0bd	23.7±13.7bd	69.2±18.5d	41.0±9.0b	19.9±11.0b	61.0±12.0b	
1) 関七支(0)	() = (関本)な プ゚	步步粉/(步步)	粉 茜 芸 粉)) > 100				

開花率(%)=(開花済み花芽数/(花芽数+葉芽数))×100
)展葉率(%)=(展葉済み葉芽数/(花芽数+葉芽数))×100

3) 開花·展葉率(%)=((開花済み花芽数+展葉済み葉芽数)/(花芽数+葉芽数))×100

4) 平均值±標準偏差(n=20

5) 異なるアルファベット間には、Tukey検定により5%レベルで有意差あり

<u>表4-2 2003年度と2004年度の河津町田中における10月から2月までの月平均気</u>温と 'カワヅザクラ' の開花日

調本在 庙		<u>+</u>		同士 : ロ1)		
,则且十度	10月	11月	12月	1月	2月	刑 1匕 口
2003年	17.0	15.4	9.5	6.2	8.3	2月9日
_2004年	18.9	16.3	11.9	8.1	8.2	2月2日
1) 開花日	は2分咲き	と日				

表4-3 河津町田中における10月1日から各切り枝日までの5℃以下、8℃以下、11℃以下の積算時間

<u>X</u> • 117			e)]: [](e)	<u>, , , , , , , , , , , , , , , , , , , </u>				<u> </u>		12 24 4 1
	~10月2	0日	~11月	5日	~11月	26日	~12月	5日	~12月	26日
×(1血	2003年20	04年	2003年2	004年	2003年2	2004年	2003年2	2004年	2003年2	<u>2004年</u>
5℃以下	0	0	0	0	0	0	0	1	68	24
8℃以下	0	0	0	5	18	14	27	59	243	193
_11℃以下	6	5	8	29	78	114	154	201	491	490

結 果

各切り枝日から10日ごとに60日間の開花率の推 移を図 4-1, 展葉率の推移を図 4-2 に示した. 温室 搬入日が遅くなるほど、花芽および葉芽の動きだし が早く、かつ、開花率および展葉率は上昇した.開 花または展葉に至る日数も温室搬入日が遅くなるほ ど短くなる傾向を示した. 各切り枝日の温室搬入 60 日後の開花率,展葉率および開花・展葉率を表 4-1 に示した. 開花率については 10月 20日から 12月5 日まで徐々に上昇し、2003年度と2004年度ともに 11月5日処理と11月26日処理の間で明らかな差が みられた. 展葉率についても同様に 10 月 20 日処理 から12月26日処理まで上昇し、2003年度は11月 5日処理と11月26日処理の間で,2004年度は11 月5日処理と12月5日処理の間で明らかな差がみら れた. 2003 年度と 2004 年度の河津町田中における 10月から翌年の2月までの各月ごとの平均気温と開 花日(2分咲き日)を表 4-2 に示した. 10 月から1 月までは2004年度の方が高く推移し、2月について は 2003 年度の方が若干高かった.開花日(2分咲き 日)についてみると、2003年度は2月9日であった のに対し、2004年度は2月2日で、1週間の年次間 差が確認された.

考 察

開花率と展葉率は10月20日以降,温室搬入日が 遅くなるほど上昇し,また,花芽および葉芽の動き だしが早かった. 60 日後の開花率は温室搬入日が 10 月 20 日から 12 月 5 日まで遅くなるほど上昇し, 12 月5日処理と12月24日処理の間では差がみられな かった (表 4-1). このことは 2003 年度と 2004 年 度ともに同じ結果であった.従って、'カワヅザクラ' の花芽の自発休眠の覚醒は10月下旬より徐々に開始 し、12月上旬にはおおむね終了していることが明ら かになった. 著者らは第2章で、 'カワヅザクラ' で は開花前51日から70日以降の気温が開花に影響を 与えていることを明らかにした. この時期は、11月 下旬から12月上旬にあたり、本章で推定した自発休 眠覚醒期と概ね一致した、また、2004 年度は 2003 年度と比較して、10月20日から12月5日まで開花 率は高く,また到花日数は短くなる傾向を示した(図 4-1). このことから, 2004 年度は 2003 年度よりも 自発休眠覚醒期が早いと考えられた.開花日につい ても 2004 年度のほうが 2003 年度よりも1週間早く (表 4-2), 自発休眠覚醒期は開花日に影響を与える 可能性が示唆された.

展葉率については,2003 年度は 12 月 26 日処理ま で上昇を続け,2004 年度についても明確な差がみら れなかったものの12月26日処理まで上昇した(表4 -1). このことから, 'カワヅザクラ'では葉芽と花 芽の間では自発休眠覚醒期に差があり, 葉芽は花芽 よりも自発休眠が深いと考えられた. 南伊豆地域の 'カワヅザクラ'は先に花が開花し, その後に展葉 することが知られている³³⁾が, この現象は花芽と葉 芽の自発休眠の深さの違いが原因の一つと考えられ た. また,開花または展葉に至る日数も温室搬入日 が遅くなるほど短くなる傾向を示した. このことか ら, 'カワヅザクラ'では自発休眠が覚醒していくに つれて開花または展葉に至る日数も短縮していくも のと考えられた.

著者らは第3章で,2003年度と2004年度に材料 を採取した河津町田中において,'カワヅザクラ'の 花芽形成について調査した.これを本章の結果とあ わせると,自発休眠が徐々に解除され始める10月中 旬は雄ずい形成期で,休眠解除期間中の11月上旬に は胚珠形成期に達して花芽形成がほぼ完了し,その 約1か月後の12月上旬にはほぼ自発休眠が覚醒する ことが示唆された.アンズ⁵やサンカオウトウ⁹に おいては,休眠が徐々に解除していくにしたがって 花芽は少しずつ生長することが報告されており,'カ ワヅザクラ'においてもこれとほぼ同様の現象であ ると考えられた.今後,花芽形成と自発休眠覚醒期 との関連についてはさらに詳細に検討する必要があ る.

サクラにおける自発休眠覚醒期と休眠解除に影響 を与える気温については幾つかの報告がある.五井 ら(1982)は'アサヒヤマ'を年内に開花させるた めには10月下旬からの0℃・4週間の処理が,1月 中旬に開花させるためには11月下旬以降の開花に は低温処理が適当であり,1月下旬以降の開花に は低温処理は不要としている¹⁰.花岡ら(1980)は ヒガンザクラについて促成試験を行い,標高の違い により切り枝の開花率と到花日数が異なることを報 告している¹³⁾.本研究では自発休眠覚醒に影響を及 ぼす気温について推定するため,材料を採取した河 津町田中における気温を計測し(表4-2),さらに 10月1日から各切り枝日までの5℃以下、8℃以下、 11℃以下の積算時間について調査した (表 4-3). そ の結果をみると、10月から12月まで平均気温で概ね 10℃を超えており、比較的温暖に推移していた. 10 月1日から自発休眠が概ね覚醒したと考えられた12 月5日までの8℃以下の積算時間は,2003年度は27 時間, 2004 年度は 59 時間, また 11℃以下の積算時 間については 2003 年度が 154 時間, 2004 年度は 201 時間だった. このため、 'カワヅザクラ' においては 自発休眠の覚醒に対して、比較的高い気温が影響す る可能性があることが示唆された. 勝木(1989)は サクラ 20 種について自発休眠覚醒期を調査し、自発 休眠の深さに応じて7つのグループ(第1群(浅い) ~第7群(深い))に分類した²³⁾.本研究の結果とあ わせると、 'カワヅザクラ' は自発休眠が比較的浅い 第2群と考えられ、このことが 'カワヅザクラ' が1 月下旬以降に開花する早咲きザクラとしての特性の 一因と推察された. 'ソメイヨシノ', ウメ, ニホン ナシでは休眠覚醒に影響を与える低温を考慮するこ とにより、開花予測モデルの精度が向上したことが 報告されている 3.4.51). 今後は本研究で得られたデ ータを基礎資料として, さらに詳細に休眠覚醒に影 響を及ぼす気温について検討することにより、 'カワ ヅザクラ'においても精度の高い開花予測モデルの 開発が期待される.

切り枝としての産業利用についてみると,12月上 旬以降の温室への搬入により,40日後の1月上旬に は開花することが明らかとなった.今後,切り枝の 需要が多い年末に出荷するためには,低温処理等に よる休眠打破や加温温度について検討する必要があ る.

以上の結果から, 'カワヅザクラ'では花芽の自発 休眠は 12 月上旬には覚醒することが明らかになり, 花芽と葉芽の間では自発休眠の深さに差があること が示唆された.また,休眠覚醒に影響を与える気温 は比較的高いことが推察され,これらのことが'カ ワヅザクラ'が1月下旬以降に開花する早咲きの一 因と推察された.

第5章 他発休眠期における発育速度モデルの作成

ニホンナシでは自発休眠覚醒後から開花までの発 育速度と気温との関係がモデル化され,開花時期の予 測に役立てられている^{44,53}.サクラでは青野(1993) が'ソメイヨシノ'において花芽の生長と気温との関 係をモデル化し,そのデータを活用して開花時期を予 測した². このように,落葉樹において自発休眠覚醒 後から開花までの温度反応をモデル化することは,開 花予測モデルを開発する上での重要な基礎データと なる.

そこで本章では, 試験1 として他発休眠期におけ る花芽の発育速度モデルを作成し, さらに試験2 で は露地条件下におけるその適合性について調査した.

材料および方法

試験1 'カワヅザクラ'の他発休眠期におけ る開花率に及ぼす気温の影響解明およ び発育速度モデルの作成

自発休眠が十分に覚醒したと考えられる 2004 年 12月15日に河津町田中に植栽している23年生の'カ ワヅザクラ'から枝を採取した.採取した枝は長さを 15 cm 程度に調整し,枝ごとに花芽の数を数えるとと もに花芽に番号を付与した.なお,調整した枝 1 本 あたりに着生していた花芽は3芽から6芽であった. 切り枝を調整後,枝物用水揚げ剤(ハイフローラ/BRC, パレス化学製 有効主成分50%ブドウ糖)を50倍に 希釈した水溶液に水挿しした.翌12月16日に,暗 黒条件で0,5,10,15,20および25℃の一定温度 に設定した恒温器 (0℃: Program Incubator IN602W, Yamato 製 5~25℃: MULTI THERMO INCUBATOR MTI - 201, EYELA 製) に切り枝を1 処理区につき 8 本ずつ搬入した. 温度処理期間中は 毎日,花芽の観察調査を行い,花芽の鱗片葉が割れて 緑色が見え始めた日から最初の一輪が完全に開き終 わった日(以下,開花日)までの日数(以下,到花日 数)を花芽ごとに求めた. 到花日数の逆数をそれぞれ の処理温度における発育速度とし,処理温度との間で 回帰分析を行い,発育速度モデルを作成した.

試験 2 発育速度モデルの露地条件下における 適合性の調査

調査は南伊豆町青野川堤防に植栽してある21年生 の 'カワヅザクラ'を対象に,2004年は1月7日か ら3月9日,2005年は1月15日から3月13日に行 った.気温の観測は自記温度記録計(サーモレコーダ ーミニRT30S エスペックミック社製)を設置し,1 時間ごとに測定して日平均気温を算出した.調査で得 られた花芽の観察結果と気温データから,花芽の鱗片 葉が割れて緑色が見え始めた日から開花日までの日 平均気温の積算値を算出した.次に,この日平均気温 の積算値を試験1 で得られた発育速度モデルに当て はめて,発育速度の積算値(発育指数)を算出した. なお,調査対象とした花芽の数は,2004年は3樹か ら選んだ30芽,2005年は4樹から選んだ40芽であ った.

結 果

試験 1 'カワヅザクラ'の他発休眠期におけ る開花率に及ぼす気温の影響解明およ び発育速度モデルの作成

処理温度が 'カワヅザクラ' の開花率, 到花日数お

表5-1	暗黒恒温条件下	での 'カワヅザクラ'	'の切り枝における開花率(%),	到花日数および発育速度

処理温度	調査花芽数	正常開花花芽数	開花率(%) ¹⁾	到花日数 ²⁾	発育速度 ³⁾
$25^{\circ}\mathrm{C}$	45	5	11	$9\pm 2^{4)}$	0.112 ± 0.022
20°C	44	13	30	12 ± 2	0.087 ± 0.011
$15^{\circ}C$	37	21	57	16 ± 3	0.063 ± 0.010
$10^{\circ}\mathrm{C}$	35	26	74	27 ± 3	0.037 ± 0.004
$5^{\circ}C$	29	15	52	55 ± 7	0.019 ± 0.003
0°C	32	0	0		05)

1) 開花率(%)=(正常開花花芽数/調査花芽数)×100

2) 鱗片葉が開き始めた日から各花芽中の最初の一輪が完全に開き終わった日までの日数

3) 発育速度=1/到花日数

4) 平均值±標準偏差

5) 0℃の発育速度は0とみなした



図 5-1 暗黒恒温条件下における 'カワヅザクラ'の花芽の発育速度 (DVR) と気温 (T) との関係 1)

は発育速度モデル

図中の縦線は標準偏差を示す

発育速度モデルは0℃以下の発育速度を0と仮定し、0℃から25℃まで直線的に増加するとみなしモデル化した

表5-2 南伊豆町青野川堤防の 'カワヅザクラ' における花芽の 鱗片葉が開き始めた日から開花日までの発育指数と日平均気温の積算

調査年1)	開花日2)	鱗片葉が 開き始めた日	日平均気温 の積算値(℃) ³⁾	発育指数4)			
2004年	2月16日±6 ⁵⁾	1月13日±8	234 ± 28	0.98±0.11			
2005年	2月20日±4	1月15日±5	259 ± 39	1.09 ± 0.16			
) 2004年は30個, 2005年は40個の花芽について調査							

2) 開花日は各花芽中の最初の一輪が完全に開き終わった日とした

3) 日平均気温の積算値(℃)は鱗片葉が開き始めた日から開花日までの日平均気温を積算して得た

4) 発育指数は0.0042×日平均気温の積算値により算出した

5) 平均值±標準偏差

よび発育速度に及ぼす効果を表 5-1 に示した. 開花 率は10℃処理で74%と最も高くなった.これより処 理温度を上げると開花率は15℃では57%,20℃では 30%, 25℃では 11%となり, 処理温度を下げた場合 は5℃では52%,0℃では0%となった.到花日数は 25℃では9日であったが,温度を下げると長くなり, 5℃では 55 日となった. 実測の発育速度をY, 処理 温度をXとして、5℃から25℃の範囲で回帰分析を行 った. その結果,回帰式Y=0.0045X-0.0034 が得 られ、回帰係数は0.9922となり、5℃から25℃では 発育速度と気温の関係が直線的に近似できることが 示された.回帰分析ではY切片がほぼ0に等しくな ったこと、 'カワヅザクラ'の切り枝は 0℃では開花 しなかったことから、0℃以下における発育速度を0 と仮定し、0℃から25℃まで温度上昇に伴い発育速度 が直線的に増加するとみなした. その結果, 発育速度 をDVR,気温をTとした発育速度モデルとしてDVR =0.0042T (0<T≦25), DVR=0 (T≦0) が得られ た (図 5-1).

試験 2 発育速度モデルの露地条件下における 適合性の調査

試験2における花芽の観察結果をみると(表5-2), 鱗片葉が割れて緑色が見え始めた日は2004年が1月 13日,2005年は1月15日であり,開花日は2004 年が2月16日,2005年は2月20日であった.また, 鱗片葉が割れて緑色が見え始めた日から開花日まで の日平均気温の積算値を求めると,2004年は234℃, 2005年は259℃であった.

試験1で得たモデルDVR=0.0042T(0<T≦25), DVR=0(T≦0)のTに2004年と2005年に実測し た日平均気温の積算値を当てはめた結果,花芽の鱗片 葉が割れて緑色が見え始めた日から開花日までの発 育指数をみると,2004年では0.98,2005年は1.09 となり,両年とも1.00に近い値となった(表5-2).

考察

高等植物における発育と気象要因との関係につい ては幾つか報告がある.古くは De Wit *et al*(1970) がトウモロコシにおいて,日長時間を一定とした条件 下で発育速度と気温との関係を求めた⁶. イネ²⁴ や ダイズ⁴⁵⁾においても発育速度と日長・気温との関係 が報告されている.サクラ類では、石井(1992)は 他発休眠期における花芽の発育速度について、水分の 供給が十分な場合には、温度のみに左右され、光の有 無や日長は影響しないと報告している¹⁸⁾.本試験に おいても、処理温度が高いほど開花速度が早まること が認められた.従って、'カワヅザクラ'の開花にお いても、石井(1992)の報告¹⁸⁾と同様に温度の影響が 大きいことが考えられた.

石井(1992)は、コヒガン、、、ミクルマガエシ、、 (ソメイヨシノ、、ヤマザクラ、、カンザン、のサクラ 5 品種の切り枝を 5℃の恒温条件下で処理した結果、 比較的早咲きである、コヒガン、のみが開花したと報 告している¹⁸⁾、本研究での結果をみると、、、カワヅザ クラ、では処理温度 10℃で開花率がピークに達し、 処理温度 5℃でも開花率は52%と高かった.また、処 理温度 0℃では開花はみられなかったものの、花芽の 生長は確認された.この結果は、他のサクラと比較し て、カワヅザクラ、では開花可能な温度が低い可能性 を示唆しているといえる.

一般に生物反応では、ある温度(転換温度)で折れ 曲がる2直線、あるいは2つの転換温度で折れ曲が る 3 直線になる場合等が報告されている ²¹. 落葉樹 における花芽の発育についての温度反応はニホンナ シ⁴⁴と 'ソメイヨシノ'²⁾ で明らかになっている が, いずれも転換点については報告されていない. 今回の試験では 0℃から 25℃の範囲においてはニホ ンナシ等と同様に 'カワヅザクラ'でも発育速度モデ ルの変換点を設定せず, 発育速度 (DVR) と気温 (T) の関係はDVR=0.0042 Tで直線によりモデル化する ことが可能であった.

イネ¹⁶,ダイズ⁴⁵,ニホンナシ⁵¹では、実験的 に明らかにされた発育速度モデルについて露地条件 下において適合性が確かめられ、生育予測に活用され ている.今回の試験で得られた発育速度モデルは0℃ から 25℃の範囲で行った試験結果に基づき作成した が、南伊豆地域では年間を通して日平均気温が0℃以 下になる日はほとんどない.さらに、この発育速度モ デルに 2004 年および 2005 年に実測して得られた日 平均気温を当てはめた結果、両年とも発育指数はほぼ 1.00 となったことから、本試験で得られた発育速度 モデルは南伊豆地域の露地条件下における適合性が 高いと考えられた.

第6章 切り枝での開花および花の品質に及ぼす気温の影響

花木の切り枝生産では促成時の気温が花の品質や 出荷時期を決定する重要な要因となっている²³⁾.し かしながら、'カワヅザクラ'では切り枝の開花に及 ぼす促成時における気温の影響は明らかになってい ない.そこで、本章では自然日長下にある温室におけ る日最低気温が切り枝の開花に及ぼす影響を検討し た.

材料および方法

2004 年 12 月 15 日に河津町田中に植栽してある 23年生の 'カワヅザクラ' 5 樹から花芽が着生した 2 年生枝を1樹につき16本,合計80本を採取した. 採取した枝は、長さを1 m 程度に調整して、枝物用 水揚げ剤(ハイフローラ/BRC,パレス化学製 有効 主成分 50%ブドウ糖) を 50 倍に希釈した水溶液に水 挿しした.この際、枝ごとに花芽と葉芽を数え、枝1 本あたりには花芽と葉芽あわせて40芽から130芽が 着生していることを確認した.水挿しした枝は同日中 に日最高気温を 25℃, 日最低気温を 5℃, 10℃, 15℃ および20℃に設定した環境温室に1処理区につき20 本ずつ搬入した. なお, 日最高気温の制御は側窓を自 動開閉し換気することで行い、光条件は自然日長とし、 温室内の乾燥を防ぐため毎日打ち水を行った.環境温 室に搬入後は数日おきに開花した花芽の数と完全に 展葉した葉芽の数を数え,花芽数と葉芽数の合計に対 する百分率として開花率と展葉率をそれぞれ算出し た. また,開花直後と判断された花について処理温度 ごとに 30 個ずつ花径と花色を調査した. 花色につい ては色彩色差計(CR - 200, MINOLTA 製)を用い て、L値、a値、b値をそれぞれ測定した.



結 果

日最低気温の違いが 'カワヅザクラ' の切り枝の開 花率に及ぼす影響を図 6-1に、展葉率に及ぼす影響 を図 6-2 に示した. 開花率が最大に達したのは、日 最低気温 20℃では温室搬入後 23 日目, 日最低気温 15℃では 28 日目であったのに対して、日最低気温 5℃では温室搬入後 37 日後, 日最低気温 10℃では 34 日目であり,処理温度が高いほど開花率が最大に達す るのに要した日数は短縮された.開花開始日について も処理温度が高いほど早まった.一方,開花率の最大 値は日最低気温 20℃と日最低気温 15℃では 30%前 後,日最低気温 10℃と 5℃では 45%となり,処理温 度が低いほど最終的な開花率は高くなった. 展葉開始 日と展葉率についても開花開始日や開花率とほぼ同 様の傾向を示し,気温が高くなるほど展葉開始日は早 く, 展葉率は低くなった. 日最低気温の違いが切り枝 の花の形質に与える影響を表 6-1 と図 6-3 に示し た. 花径は日最低気温 20°Cでは平均で 2.3 cm であっ たのに対し、日最低気温 5℃では 2.9 cm で、気温が 高くなるほど花径は小さくなる傾向を示した.花色は 日最低気温 20℃ではL値は 88.7, a 値は 9.2, b 値は 0.0 であったのに対し、日最低気温 5℃では L 値は 80.2, a 値は 19.5, b 値は-3.5 で、気温が下がるほ どL値とb値の値は下がり、a値は上昇し、花色は 濃くなる傾向を示した.

考 察

前川・中村(1979)はモモ,ボケ, 'ジュウガツザ クラ'を材料として切り枝を開花させた結果,促成温 度が高くなるにつれて花弁のアントシアニン生成量



表6-1 自然日長下における日最低気温が'カワヅザクラ'の切り枝の花径 および花色に与える影響

口且低声明门	北 汉(am) -	花色*/							
日東仏気温	1111至(CIII) -	L值	a値	b値					
$20^{\circ}\mathrm{C}$	$2.3\pm0.4^{3}a^{4}$	88.7±2.7a	9.2±4.2a	0.0±0.3a					
$15^{\circ}C$	$2.6 \pm 3.4 b$	$82.9 \pm 4.5 b$	$16.9 \pm 6.5 b$	$-3.0\pm2.0b$					
10°C	$2.9\pm5.2c$	80.0±2.8c	21.4±3.1c	$-4.8\pm0.9c$					
5° C	2.9±0.4c	80.2±3.6c	$19.5 \pm 5.0 b$	$-3.5\pm1.5b$					
露地 ⁵⁾	3.4±0.2d	$76.5 \pm 4.0 d$	26.1 ± 5.7 d	$-5.1\pm1.8c$					

1) 気温の上限は25℃

2) MINOLTA 色彩色差計 CR-200による測定値

3) 平均值±標準偏差(n=30)

4) 異なるアルファベット間にはTukey法により5%水準で有意差あり

5) 河津町田中に植栽してある'カワヅザクラ'の樹より採取



図 6-3 自然日長条件下における最低気温が 'カワヅザクラ' の切り枝の花径と花色に及ぼす影響 1) 1) 露地は河津町田中の 'カワヅザクラ' (切り枝ではない)

は減少し,花色が薄くなることを報告している²⁹⁾. 本試験の結果においても,処理温度が高くなるほど,花色が薄くなることが認められた(表 6-1). この ことから,モモ等と同様に,'カワヅザクラ'でも花 のアントシアニン生成は気温の影響を受けることを 示唆していると考えられた.本試験において,開花開 始日は日最低気温 20℃が最も早く,最低気温が下が るに従って遅くなった.しかし,日最低気温 5℃と 10℃では開花率は向上することが明らかとなった. また,花の形質についてみると,日最低気温 5℃と 10℃では,露地条件と比較すると若干花径は小さく なるものの,花色では大きな差は確認されなかった (表 6-1,図 6-3).従って,'カワヅザクラ'の切 り枝生産を想定した場合,最適な促成温度は日最低気 温 10℃程度が適当と考えられた.

第7章 単回帰式,温度変換日数法,自発休眠覚醒期を考慮

に入れた開花予測法の比較検討

サクラを含む多くの木本類において開花予測に関 する研究は報告されている。特に気温と開花期との 関係を解析した報告が多く,主に気温を説明変数と する単回帰式や重回帰式が作成され開花予測に利用 されている^{1, 15, 38)}.

また,金野・杉原(1986)²⁷⁾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,小元・青野 (1989) はサクラ 'ソメイヨシノ'において開花日 を精度良く予測することを示した⁴³⁾.さらに青野・ 小元(1990) は温度変換日数法に休眠解除に必要な 低温要求量(チルユニット)を組み合わせることに より,さらに精度が向上することを明らかにした³⁾. 本章では早咲きの 'カワヅザクラ'において気温を 説明変数とする単回帰式と温度変換日数法により開 花予測を試みた.また, 'カワヅザクラ'と同じ *Prunus* 属であるオウトウ '佐藤錦'では自発休眠覚 醒の発育速度モデルが作成されている⁵²⁾.そこで本 章では,このモデルを利用して自発休眠覚醒期を考 慮に入れた開花予測についてもあわせて検討した.

材料および方法

供試データ

第2章において,2001年度から2004年度の4年間,南伊豆地域8地点を対象に,10月から翌年の3 月までの気温と'カワゾザクラ'の開花日(2分咲き) について調査した.本章ではそこで得られた8地点4 年分(うち3組は欠測)29組の気温と開花日を用いた.

試験 1 気温を説明変数とする単回帰式による (カワヅザクラ)の開花予測

開花前一定期間における日平均気温の平均と開花 日との相関を求めた.そこで最も相関の高かった期 間における日平均気温の平均をX,開花日(1月1日 からの通日)をYとして回帰分析を行い,予測式を 求めた.推定誤差は推定開花日と実際の開花日との 差を二乗した平均値の平方根(RMSE)で表した.

試験2 温度変換日数法による 'カワヅザクラ' の開花予測

温度変換日数は既報によると以下の式で表される²⁷⁾.

 $DTS_{h_i,i_j} = exp \{ Ea \cdot (T_{h_i,i_j} - Te) / R \cdot T_{h_j,i_j} \cdot Te \}$

DTS_{*h*, *i*, *j*; *j*年*i*日*h*時の温度変換日数}

Ea; 見かけの活性化エネルギー (J/mol)

T_{*b, i, j*; *j*年*i*日*b*時の気温(K)}

Te;標準温度(本研究では298K:25℃)

R; 気体定数(8.314J/mol)

試験2では杉浦ら(1991)の方法⁵³⁾に従い,温度 変換日数(DTS)を他発休眠期における発育速度 DVR₂にパラメータ変換した.

 DVR_{2h} *i j*=A·exp (B/T_h *i j*)

A, B; 他発休眠期における発育速度モデルのパラメ ータ

B=Ea $\cdot R^{\cdot 1}$

各調査年と場所について、それぞれ任意の B と起 算日を用いて開花日までの 1 時間ごとの発育速度の 積算値 Σ DVR₂を求め、その平均値 Σ DVR₂を算出し た. この $\overline{\Sigma}$ DVR₂が到達する日を見出し、推定開花日 とした.本研究では、3,000 から 25,000 まで 1,000 間隔の B と 11 月 10 日から翌年の 1 月 10 日まで 1 日間隔の起算日を用い、全ての組み合わせについて 推定開花日を算出した.誤差は試験 1 と同様に推定 開花日と実際の開花日との差を二乗した平均値の平 方根 (RMSE) で表した.最も RMSE の平均値が小 さくなった B と起算日を見出し、'カワヅザクラ'の 開花予測に適した条件とした.

試験3 自発休眠覚醒期を考慮に入れた 'カワ ヅザクラ'の開花予測

Sugiura *et al.* (1998) が明らかにしたオウトウの 自発休眠覚醒の発育速度モデル ⁵²⁾ に基づき, 'カワ ヅザクラ'の自発休眠覚醒期の予測を試みた.

オウトウの自発休眠覚醒の 1 時間あたりの発育速 度 DVR₁は以下の式で表される. DVR₁=0 (T≦-6, 15<T)

DVR₁=152 · 10⁻⁶ · T+909 · 10⁻⁶ (-6<T \leq 0) DVR₁=909 · 10⁻⁶ (0<T \leq 6)



表7-2 単回帰式を用いて算出した推定開花日と実際の開花日との誤差(RMSE 7.36)

锢木担正	2002年		2003年			2004年			2005年			
<u></u> 前直场月	実際の開花日	推定開花日	誤差 ¹⁾	実際の開花日	推定開花日	誤差	実際の開花日	推定開花日	誤差	実際の開花日	推定開花日	誤差
河津町田中	1月26日	2月6日	-11	2月6日	2月11日	-5	2月9日	2月8日	+1	2月2日	1月30日	+3
河津町浜	2月1日	2月5日	-4	2月17日	2月10日	+7	2月19日	2月9日	+10	2月3日	1月31日	+3
河津町佐ヶ野	2月17日	2月15日	+2	2月24日	2月19日	+5	2月23日	2月17日	+6	2月18日	2月9日	+9
河津町七滝ループ橋下	1月29日	2月11日	-13	2月9日	2月17日	-8	2月9日	2月14日	-5	2月1日	2月8日	-7
河津町梨本登尾	2月24日	—		3月14日	—		3月2日	2月24日	+7	2月20日	2月17日	+3
南伊豆町青野川堤防	2月2日	2月7日	-5	2月8日	2月11日	-3	2月13日	2月9日	$^{+4}$	1月27日	2月1日	-5
南伊豆町石廊崎	1月28日	2月2日	-5	1月23日	2月7日	-15	2月4日	2月5日	-1	1月27日	1月31日	-4
南伊豆町伊浜	2月12日			2月6日	2月3日	+3	2月13日	2月2日	+11	2月15日	1月29日	+17

1) 実際の開花日-推定開花日

$$\begin{split} DVR_1 &= -363 \cdot 10^{-7} \cdot T + 112 \cdot 10^{-5} \quad (6 < T \leq 9) \\ DVR_1 &= -646 \cdot 10^{-7} \cdot T + 138 \cdot 10^{-5} \quad (9 < T \leq 12) \\ DVR_1 &= 202 \cdot 10^{-6} \cdot T + 303 \cdot 10^5 \quad (12 < T \leq 15) \\ T ; 気温 (℃) \end{split}$$

オウトウ'佐藤錦'の自発休眠覚醒までの発育速度 モデルでは Σ DVR₁が 1.00 に達した時, 自発休眠が 覚醒したとしている. 早咲きである 'カワヅザクラ' はオウトウ'佐藤錦'よりも自発休眠が浅いことが 予想されるため,本研究では0.05から1.00まで0.05 間隔のΣDVR1について設定し、その中から 'カワヅ ザクラ'に適した条件を見出した.他発休眠期にお ける発育速度 DVR2 は試験 2 と同様に算出した. そ れぞれのΣDVR1 が到達した日から開花日までの1 時間ごとの ΣDVR_2 を求め、その平均値 $\overline{\Sigma DVR_2}$ を算 出した. 推定開花日は、それぞれのΣDVR1に到達し た日から積算を開始し、 $\overline{\Sigma DVR_2}$ に達した日を推定開 花日とした.本研究では 0.05 から 1.00 まで 0.05 間 隔のΣDVR1と3,000から25,000まで1,000間隔の B について全ての組み合わせにおいて推定開花日を 算出した. 誤差は試験1,2と同様に推定開花日と実 際の開花日との差を二乗した平方根(RMSE)とし て算出し、最も誤差が小さくなる B と Σ DVR₁の組 み合わせを見出し、'カワヅザクラ'の開花予測に適 した条件とした.

結 果 試験 1 気温を説明変数とする単回帰式による (カワヅザクラ)の開花予測

表7-1に 'カワヅザクラ'の開花日と開花前の一 定期間の気温との相関について示す. 最も高い相関 が認められたのは,12月20日から2月10日までの 期間で-0.654 であった. そこで、12月20日から2 月 10 日までの気温の平均を X とし、 Y を開花日(1 月1日からの通日)とした回帰分析を行った.その 結果, Y=-5.5X+75.3の一次式が得られた(図7-1). この一次式を用いて算出した推定開花日と実際 の開花日を表 7-2 に示す. 推定開花日と開花日との 誤差は RMSE で 7.36 であり、また場所により差が みられた. 誤差は河津町田中と南伊豆町青野川堤防 では比較的小さく、河津町七滝ループ橋下と南伊豆 町石廊崎では大きくなる傾向を示した. B が 3,000 のときと 11,000 のときの 0℃から 25℃までの DVR2 の推移を図 7-2 に示す. DVR2に対する気温の影響 は B が大きくなるほど大きくなった. それぞれ任意 のBと起算日の組み合わせによって得られた RMSE の分布を図 7-3 に示す. 最も RMSE の値が小さく なった起算日とBの組み合わせは、起算日が1月2 日, Bが11,000の組み合わせで, そのときのRMSE は7.94 であった. この組み合わせで算出した推定開



図 7-2 0°Cから 25°Cまでの DVR₂の推移(左図:B 値 3,000 右図:B 値 11,000)





表7-3 温度変換日数法により算出した推定開花日と実際の開花日との差(B 11,000 起算日1月2日 RMSE 7.94)

调大地占	2002年		2003年			2004年			2005年			
前"白口"。	実際の開花日	推定開花日	誤差 ¹⁾	実際の開花日	推定開花日	誤差	実際の開花日	推定開花日	誤差	実際の開花日	推定開花日	誤差
河津町田中	1/26	2/3	-8	2/6	2/2	+4	2/9	2/11	-2	2/2	2/7	-5
河津町浜	2/1	2/3	-2	2/17	2/1	+16	2/19	2/12	+7	2/3	2/8	-5
河津町佐ヶ野	2/17	2/11	+6	2/24	2/9	+15	2/23	2/18	+5	2/18	2/17	+1
河津町七滝ループ橋下	1/29	2/8	-10	2/9	2/7	+2	2/9	2/17	-8	2/1	2/15	-14
河津町梨本登尾	2/24	-	_	3/14	-	_	3/2	2/22	+9	2/20	2/24	-4
南伊豆町青野川堤防	2/2	2/5	-3	2/8	2/1	+7	2/13	2/11	$^{+2}$	1/27	2/9	-13
南伊豆町石廊崎	1/28	2/2	-5	1/23	1/30	-7	2/4	-	_	1/27	2/7	-11
南伊豆町伊浜	2/12	_	_	2/6	2/5	+1	2/13	2/5	+8	2/15	2/6	+9

1) 実際の開花日 - 推定開花日

花日と実際の開花日を表 7-3 に示した. 誤差は河津 町田中と南伊豆町青野川堤防では比較的小さく,河 津町七滝ループ橋下と南伊豆町石廊崎では大きくな る傾向を示した.

試験 3 自発休眠覚醒期を考慮に入れた 'カワ ヅザクラ'の開花予測

それぞれ任意の B と Σ DVR₁ の組み合わせによっ て得られた RMSE の分布を図 7-4 に示す.最も RMSE の値が小さくなった B と Σ DVR₁の組み合わ せは Σ DVR₁ が 1.00, B が 13,000 のときで,そのと きの RMSE は 12.22 であった. Σ DVR₁ が 1.00 に到 達した日を表 7-4 に,この組み合わせで算出した推 定開花日と実際の開花日との誤差を表 7-5 に示す. 推定した自発休眠覚醒期(ΣDVR₁=1.00に到達した 日)をみると、いずれの年、場所においても概ね12 月下旬から1月中旬であり、差がみられた(表7-4). 誤差は河津町田中と南伊豆町青野川堤防では比較的 小さく、河津町七滝ループ橋下と南伊豆町石廊崎で は大きくなる傾向を示した.

考察

本研究では、8地点4年分の合計29組の気温と開 花日のデータを用いて単回帰式による方法、温度変 換日数法、自発休眠覚醒期を考慮に入れた方法の3 つの方法を用いて'カワヅザクラ'の開花日の推定 を試みた.推定開花日は気温の実測値を用いてそれ ぞれの方法で算出し、実際の開花日との差を二乗し 表7-4 自発休眠覚醒期を考慮に入れた開花予測における推定した自発休眠覚醒期

(ΣDVR₁が1.00に到達した日) 調査場所 2004年 2003年 2002河津町田中 1/412/311/161/16河津町浜 1/41/21/161/16河津町佐ヶ野 12/2712/221/81/5河津町七滝ループ橋下 12/281/61/912/24河津町梨本登尾 12/261/2南伊可町青野川堤防 1/212/301/151/13南伊豆町石廊崎 1/71/41/21



図 7-4 自発休眠覚醒期を考慮に入れた方法による 'カワヅザクラ'の 開花予測における ΣDVR₁と B 値の各組み合わせによる誤差 (RMSE)の変化

調本地占	2002年			2003年			2004年			2005年		
	実際の開花日	推定開花日	誤差 ¹⁾	実際の開花日	推定開花日	誤差	実際の開花日	推定開花日	誤差	実際の開花日	推定開花日	誤差
河津町田中	1/26	1/30	-4	2/6	1/31	+6	2/9	2/19	-10	2/2	2/19	-17
河津町浜	2/1	1/29	+3	2/17	1/30	+18	2/19	2/20	-1	2/3	2/19	-16
河津町佐ヶ野	2/17	2/3	14	2/24	2/1	+23	2/23	2/21	+2	2/18	2/23	-5
河津町七滝ループ橋下	1/29	2/1	-3	2/9	1/31	+9	2/9	2/20	-11	2/1	2/23	-22
河津町梨本登尾	2/24	_	_	3/14	-	—	3/2	2/20	+11	2/20	2/27	-7
南伊豆町青野川堤防	2/2	1/30	+3	2/8	1/29	+10	2/13	2/19	-6	1/27	2/16	-20
南伊豆町石廊崎	1/28	2/2	-5	1/23	1/30	-7	2/4	_	_	1/27	2/23	-27
南伊豆町伊浜	2/12	-	-	2/6	2/7	-1	2/13	2/21	-8	2/15	2/26	-11

1) 実際の開花日一推定開花日

た平均値の平方根 (RMSE) を計算した. その結果, 単回帰式による方法が 7.36,温度変換日数法では 7.94,自発休眠覚醒期を考慮に入れた方法では 12.22 という結果となり,開花予測の手法により異なる結 果となった.単回帰式は気温のみを説明変数として おり,開花予測モデルとしては最も単純なモデルで ある.しかしながら,堀江・中川 (1990)¹⁶⁾は開花 予測のモデルについてパラメータの数が多いモデル の方が必ずしも精度がよいとは限らないことを報告 しており,本研究の結果はそのことを裏付ける結果 となった.

開花予測では起算日をいつに設定するかは精度に 関わる重要な問題である.イネやダイズ等の発育予 測では,起算日を出芽期³⁷⁾や播種期⁴⁵⁾としている. しかし,樹木の開花予測においては,起算日をいつ にするかは明確ではない.第2章では'カワヅザク

ラ'の開花日と気温との相関について、11月下旬か ら12月上旬以降との相関が高いことを報告している. また、第4章では切り枝によって、 'カワヅザクラ' の自発休眠覚醒期を調査したが、これによると10月 下旬から徐々に覚醒し、12月の上旬にはほぼ自発休 眠は覚醒する.本試験の結果を見ると、試験1では 12月20日から2月10日までの気温と開花日との相 関が大きく(表 7-1),試験2では1月2日を起算 日とした場合最も誤差が小さかった(図7-2). 試験 3 ではΣDVR1 が 1.00 に到達した場合に最も誤差が 小さく (図 7-3), またその時期は 12 月下旬から1 月上中旬であった(表7-5).本研究で最も誤差の小 さくなった起算日と比較すると約1か月の差がみら れ、このことが誤差を生じた一因と考えられた. 第3 章では'カワヅザクラ'の花芽の生育について調査 しており, 鱗片葉が割れて緑色が見え始める状態か

ら開花に至るまで1か月以上を要し,緩慢な生育を することを報告している.このため,起算日につい てはこうした'カワヅザクラ'の生育特性を考慮に 入れて,今後も検討する必要がある.

場所による差をみると,試験 1, 2, 3 いずれも河 津町田中と南伊豆町青野川堤防では誤差が小さく, 河津町七滝ループ橋下と南伊豆町石廊崎では特に大 きくなる傾向を示した.河津町七滝ループ橋下と南 伊豆町石廊崎は地勢的に風の影響を受けやすい場所 であり,年によっては他の場所に比べて落葉が早い ことが見られる. 'ジュウガツザクラ'では,摘葉時 期や摘葉量によって開花期が影響されることが報告 されている^{30,31)}. 'カワヅザクラ'についても同様 に早期の落葉が開花に影響を与えている可能性があ る.落葉が開花にどのような影響を与えるかについ ては今後検討する必要がある.

温度変換日数(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 27). 本研究では温度変換日数をさ らに他発休眠期における発育速度 DVR2 に変換した が、温度変換日数とこの DVR2 はほぼ同義であり、 パラメータ B は感温特性値 Ea に相当する.本研究 では試験2,試験3でそれぞれ南伊豆地域の 'カワヅ ザクラ'に最適な B をそれぞれ決定し、その結果、 試験2ではB=13,000, 試験3ではB=11,000とな った.小元・青野(1989)は温度変換日数における 感温特性値 Ea について, 起算日と同様に予測を行う 地点と場所により最適な値があることを示した 42). 感温特性値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 53). また、杉浦ら(1991) は発 育速度 DVR₂ が発育ステージにより変動する可能性 を示唆している 53). このため、今後、'カワヅザクラ' の他発休眠期における温度反応については検討する 必要がある.

試験3では、Sugiura et al. (1998) ⁵²⁾の作成した '佐藤錦'における自発休眠覚醒の発育速度モデルを用いて、自発休眠覚醒期を考慮に入れて開花日の推定を試みた.その結果、試験2の通常の温度変換日数法で予測した場合では RMSE が 7.94 であっ

たのに比べ、誤差はさらに大きくなって RMSE は 12.22 となった. 推定した 'カワヅザクラ' の自発休 眠覚醒期(Σ DVR₁=1.00 に到達した日)をみると, いずれの年、場所においても概ね12月下旬から1月 中旬であり(表7-4),第4章で明らかにした自発休 眠覚醒期とはいずれも差があった.従って、本研究 では自発休眠覚醒期が正しく推定できなかったとい える. この原因として、 'カワヅザクラ' と '佐藤錦' とでは自発休眠覚醒における温度反応に大きな違い があることが考えられる. すなわち, 'カワヅザクラ' は主として寒冷地で栽培される'佐藤錦'とは異な り、高い気温でも休眠解除が進み、早く自発休眠が 覚醒する可能性がある、本研究の結果より、 'カワヅ ザクラ'の自発休眠覚醒期を'佐藤錦'の自発休眠 覚醒の発育速度モデルを用いて推定することは困難 であることが明らかとなった.また、青野・小元 (1990) は 'ソメイヨシノ' において休眠解除を考 慮することにより, 全般的に通常の温度変換日数法 よりも精度が向上するが、暖地については逆に精度 が低下することもあると報告している³⁾. このことは, 南伊豆地域のような温暖な場所において、サクラの

自発休眠覚醒期の推定は非常に難しいことを示して いる. 本試験では、気温を説明変数とする単回帰式によ る方法、温度変換日数法および自発休眠覚醒期を考 慮にいれた方法の3つの方法でそれぞれ推定開花日 を算出し、その精度を比較した.その結果、単回帰 式による方法が最も精度が良かった.この方法の長 所は、単純で簡単に開花日の予測が行えるため、観 光協会や地元の自治体等でも比較的容易に活用する ことが可能である.誤差はRMSEで7.36、平均で7 日程度誤差があるものの、「河津桜まつり」の主会場 である河津町田中で約5日、「みなみの桜と菜の花ま つり」の主会場である青野川堤防では4日であり、 他の地域に比べて比較的誤差は小さかった.このた め、'カワヅザクラ'の開花期間は約2週間で比較的 長いことを考慮にみれると 細光室が集中する十曜

長いことを考慮に入れると、観光客が集中する土曜 日、日曜日にあわせて開花予測情報を提供すること は十分に可能である.しかしながら、誤差は大きい ので、開花予測法については引き続き検討すること が必要と考えられた.

他発休眠期での発育速度モデルを利用した開花予測 第8章

発育速度モデルを利用した生育期予測法として,イ ネ¹⁶⁾ やダイズ⁴⁵⁾ では、気温・日長と発育速度との 関係から開花期を推定している. 落葉樹のニホンナシ では,自発休眠の覚醒過程と他発休眠期における発育 についてそれぞれ気温との関係をモデル化すること で開花期の予測が実証されている 53).

落葉樹における開花予測においては、気温または発 育速度をいつから起算するかが精度に関わる重要な 問題であるといわれている 51). 第3章では 'カワヅ ザクラ'の花芽の発育について検討し、花芽形成後、 鱗片葉が割れて緑色が見え始める状態から落弁に至 るまで8 つの発育ステージに分類し、それぞれの発 育ステージが開花予測を行う際の起算日となりうる 可能性を示唆した.

そこで、本章では第5章で明らかにした他発休眠 期における発育速度モデルをもとに, 花芽のそれぞれ の発育ステージから開花と落弁までの発育指数を算 出し、それを基に新しい開花予測モデルについて検討 した.

材料および方法

解析したデータ

2004年, 2005年および 2006年の1月から3月に かけて数日におきに南伊豆町青野川堤防で 21 年生 (2004 年時点)の 'カワヅザクラ' を対象に花芽の 観察調査を行った(第3章参照).花芽の発育ステー ジを1. 鱗片葉が割れて緑色が見え始める状態から8. 落弁までの8段階に分類し、観察日の花芽の状態を それぞれの発育ステージに当てはめた.花芽の調査は 2004年,2005年は30個,2006年は40個,3か年 で延べ100個について行った.調査期間中の気温は、 自記温度記録計(サーモレコーダーミニRT30S エ

スペックミック社製)を設置し、1時間ごとに測定し た.この測定値から日平均気温を算出した.気温の予 測値については、平年値を「メッシュ気候値 2000」 と「気象平年値 1971~2000 年」(ともに編集:気象 庁,発行:(財)気象業務センター)から算出し、そ れに長期予報の結果を加味することとした.

試験1 花芽の各発育ステージから開花と落弁 までの発育指数の算出

第5章で明らかにした他発休眠期における発育速 度モデル DVR=0.0042T (T≥0), DVR=0 (T<0) (DVR:発育速度,T:気温(℃))のTに日平均気 温を代入し,発育速度を算出した. 2004 年から 2006 年までに行った花芽の観察結果と気温の結果から,各 発育ステージ(1:鱗片葉が割れて緑色が見え始める 状態から6: 萼筒が現れる) から開花までと落弁まで に要する発育指数を算出した.

試験 2 他発休眠期における発育速度モデルを 活用した開花予測モデルの作成

開花予測モデルは、それぞれの花芽の発育ステージ を観察により1. 鱗片葉が割れて緑色が見え始める状 態から6. 萼筒が現れるに当てはめ、それぞれの花芽 の状態を確認した日を起算日とした.起算日以降、気 温の予測値から算出した発育速度を積算していき,試 験1で算出した各発育ステージ(1. 鱗片葉が割れて 緑色が見え始める状態から6. 萼筒が現れる) から開 花までと落弁までに要する発育指数に到達した日を それぞれ推定開花日,推定落弁日とした.試験2で は Microsoft Excel を用いて、観察日と長期予報に基 づく平年気温との差を入力することにより,自動的に 推定開花日と推定落弁日を算出できるモデルを作成 した.

作成した開花予測モデルの誤差は、2004 年から 20

表8-1 花芽の各状態から開花までと落弁までに要する発育指数

	花荘の発査過程		開才	花まで		落弁まで					
	化才》元有迥性	2004年 ¹⁾	2005年 ¹⁾	2006年 ¹⁾	3か年の平均	2004年 ¹⁾	2005年 ¹⁾	2006年 ¹⁾	3か年の平均		
1.	鱗片葉が割れて緑色が見え始める	$1.05 \!\pm\! 0.12$	$0.98 \!\pm\! 0.15$	1.14 ± 0.13	1.08 ± 0.12	1.49 ± 0.12	1.42 ± 0.18	1.64 ± 0.15	1.55 ± 0.15		
2.	緑色部分が半分以上になる	$0.85 \!\pm\! 0.12$	$0.79 \!\pm\! 0.11$	0.91 ± 0.11	0.87 ± 0.11	1.31 ± 0.11	1.23 ± 0.15	1.41 ± 0.13	1.35 ± 0.14		
3.	頭部が割れ始める	0.73 ± 0.11	$0.67 \!\pm\! 0.11$	0.74 ± 0.09	0.72 ± 0.10	1.20 ± 0.10	1.10 ± 0.15	1.24 ± 0.12	1.20 ± 0.13		
4.	頭部が完全に割れる	$0.57 \!\pm\! 0.09$	$0.51 \!\pm\! 0.09$	0.54 ± 0.04	0.55 ± 0.07	1.04 ± 0.08	$0.97\!\pm\!0.15$	1.03 ± 0.08	1.02 ± 0.10		
5.	花色が見え始める	$0.44 \!\pm\! 0.09$	$0.44 \!\pm\! 0.10$	$0.45\!\pm\!0.05$	0.45 ± 0.08	0.91 ± 0.09	$0.89\!\pm\!0.16$	0.94 ± 0.10	0.93 ± 0.11		
6.	萼筒が現れる	$0.31 \!\pm\! 0.09$	$0.28 \!\pm\! 0.09$	0.34 ± 0.06	0.32 ± 0.08	0.78 ± 0.10	0.73 ± 0.15	$0.85 \!\pm\! 0.09$	0.80 ± 0.11		
7.	開花	—	—	_	_	0.50 ± 0.12	$0.50\!\pm\!0.12$	$0.55\!\pm\!0.08$	0.52 ± 0.10		
1)	- 2004年 2005年け30個の花荘に~	DUT 2006	5年に140個の	り花茸につ	いてそれぞれ舞	目宏した結里	「から管理」	1-			



図 8-1 本章で作成した 'カワヅザクラ' の開花予測モデル (Microsoft Excel)

表8-2 本章で作成した開花予測ソフトを用いて開花日と落弁日を予測した際の誤差のRMSE

子測味の世芽の変充温和		開	花日		落弁日				
了例时仍化才仍先有迴栓	2004年	2005年	2006年	平均	2004年	2005年	2006年	平均	
1. 鱗片葉が割れて緑色が見え始める	4.58	5.20	2.84	4.19	6.17	7.32	3.63	5.67	
2. 緑色部分が半分以上になる	4.44	4.54	2.04	3.68	5.66	7.26	2.91	5.30	
3. 頭部が割れ始める	4.33	4.06	3.73	3.98	4.60	6.58	3.51	4.90	
4. 頭部が完全に割れる	2.55	3.52	2.10	2.76	3.74	5.57	2.43	4.00	
5. 花色が見え始める	3.40	2.90	2.01	2.77	4.42	5.33	2.25	4.11	
6. 萼筒が現れる	3.01	3.92	2.06	3.00	4.52	6.51	2.18	4.55	
7. 開花	—	_	_	-	4.28	4.39	2.30	3.68	

06 年に青野川堤防で調査した花芽の観察結果と気温 の実測データを用いて推定開花日と推定落弁日を算 出し,実際の開花日と落弁日と比較して誤差を算出し た. 誤差は RMSE (平均二乗誤差の平方根) として 算出した.

結 果

試験1 花芽の各発育ステージから開花と落弁 までの発育指数の算出

花芽の各発育ステージから開花までと落弁までに 要する発育指数を表 8-1 に示す.開花までに要する 発育指数についてみると,1. 鱗片葉が割れて緑色が 見え始める状態からだと 1.08,3.花芽の頭部が割れ 始める状態からで 0.72,5.花色が見え始める状態か らで 0.45 であり,花芽の発育ステージが進むにつれ て,連続的に発育指数は減少していった. 落弁まで に要する発育指数についても同様に、1. 鱗片葉が割れて緑色が見え始める状態からだと1.55、3. 花芽の 頭部が割れ始める状態からで1.20、5. 花色が見え始める状態からで0.93 であり、発育指数は減少していった.

試験 2 他発休眠期における発育速度モデルを 活用した開花予測モデルの作成

他発休眠期における発育速度モデルを利用して作 成した開花予測モデルは図8-1のとおりである.本 モデルは花芽の観察日と長期予報に基づく平年気温 との差を入力することで,開花日と落弁日を予測する モデルとした.このモデルで開花日を予測した場合, 1. 鱗片葉が割れて緑色が見え始める状態から開花日 を予測して,3日から5日の誤差で、落弁日を予測し た場合は4日から7日の誤差であった(表8-2).5.



図8-2 本章で作成した開花予測モデルを用いて鱗片葉が割れて緑色が見え始める状態から 開花日を予測した場合の実際の開花日と推定開花日との違い

花色が見え始める状態から開花日を予測した場合で は2日から3日の誤差で、落弁日を予測した場合で は2日から5日の誤差であり、花芽の発育ステージ が進んだ状態から予測するほど、開花日、落弁日とも に誤差は小さくなっていった(表8-2).1. 鱗片葉 が割れて緑色が見え始める状態から開花日を予測し た際の推定開花日と実際の開花日との差を図8-2に 示した.これをみると、推定開花日は実際の開花日よ りも遅くなる傾向を示し、2004年と2005年は比較 的誤差が大きかった.このことは他の発育ステージか ら予測した場合においても同様の傾向を示した.

考 察

'カワヅザクラ'の他発休眠期における発育速度モ デルは1. 鱗片葉が割れて緑色が見え始める状態から 7. 開花までに要する日数をもとに算出した.このた め、この期間の発育指数が1.00に近いほど、本モデ ルの適合性は高いといえる.本モデルを露地条件下に 当てはめた場合、この期間の積算値は、2004年では 1.05、2005年では0.98、2006年では1.14で3か年 とも比較的1.00に近く(表 8-1)、発育速度モデル は露地条件下においても十分に適合することが明ら かになった.

第7章では 'カワヅザクラ' の開花予測について, 気温を説明変数とする単回帰による方法, 温度変換日 数法, 自発休眠覚醒期を考慮に入れた方法の 3 つの 方法を比較した.その結果, 単回帰による方法が最も 精度が良好であり, 'カワヅザクラ' の自発休眠覚醒 期をオウトウのモデルを用いて推定することは困難 であった.しかしながら,最も精度が良好であった単 回帰による方法においても,気温の実測値で算出した 推定開花日と実際の開花日との間で約7日の誤差が あった.本章で作成した開花予測モデルは,鱗片葉が 割れて緑色が見え始める状態から予測した場合にお いても誤差が約4日であり,単回帰による方法に比 べて約3日誤差を小さくすることができた.従って, 12月下旬以降である鱗片葉が割れ始めて緑色が見え 始める状態以降での開花予測においては、本モデルを 利用することで開花予測の誤差を減少させることが 可能と考えられた.

開花予測を行う上で, 誤差が生じる原因として, 発 育速度の起算日による誤差と他発休眠期の発育速度 による誤差が考えられる. 第7章では、単回帰によ る方法では12月20日,温度変換日数法では1月2 日, 自発休眠覚醒期を考慮に入れた方法では1月上 旬をそれぞれ起算日として設定した.しかし、いずれ も第4章で明らかにした実際の自発休眠覚醒期であ る12月上旬とは異なり、それが誤差の要因の1つと 考えられた. それらと比較すると, 本研究で作成した 開花予測モデルでは,1月上旬の鱗片葉が割れて緑色 が見え始める状態から起算した場合においても誤差 を約3日小さくすることができた.このことから、 起算日を暦日ではなく花芽の発育ステージから決定 したことが誤差を小さくした要因の1 つと考えられ た.他発休眠期の発育速度については、開花日と気温 のデータを統計処理して得た発育速度ではなく,生態 実験により明らかにした発育速度モデルを活用した. このことも誤差を小さくした要因と考えられた.しか しながら、本章で開発したモデルでは、起算日と発育 速度による誤差の影響を小さくしたものの,鱗片葉が 割れて緑色が見え始める状態から予測した場合にお いても約4日の誤差がみられ、また推定開花日は実 際の開花日よりも遅くなる傾向を示した(表 8-2, 図 8-2). 勝木 (1989) は、切り枝のサクラにおい て,同じ気温でも昼温の方が夜温よりも開花を早める ことを報告している²³⁾.また,石井(1992)はサク ラの切り枝について,変温条件は定温条件よりも開花 を促進させることを報告している¹⁸⁾.このように, 本モデルの誤差の要因として,1日の気温の変化も考 えられる.しかしながら,推定開花日が実際の開花日 よりも遅くなる傾向の原因については不明な点が多 く,今後さらなる検討が必要であると考えられた.

第7章で検討した3つの開花予測法はいずれも, あらかじめモデルの形を決定し,実際に調査した開花 日と気温のデータを統計処理することによってその パラメータを決定する「トップダウン型」の予測モデ ルである.これらのモデルは,他発休眠期に入って以 降,比較的早い時期から予測ができる利点はあるもの の,得られたパラメータが植物の生理生態をどの程度 表しているのかは不明である¹⁰⁰.また,実際のデー タから算出したパラメータは,そのデータの範囲を超 える極端な気象条件下では外挿的な予測となるため, いわゆる異常気象の年に遭遇した場合は誤差が大き くなる可能性が大きい⁵⁴⁰.それに比べて本章で検討 した予測モデルは,花芽の発育ステージを起算日とし, さらに生態実験により明らかにした発育速度モデル をもとにしているため、特に異常気象の年次において もある程度正確な予測となることが期待できる.

本章で開発した開花予測モデルは、予測する当日に 花芽の状態を観察し、花芽の観察日と長期予報に基づ いた平年値との差を入力することで、開花日と落弁日 を予測する.このため、開花予測情報を提供する観光 関係者や地方自治体の職員でも容易に取り扱うこと ができると考えられる.また、落弁日についても予測 することができることから、花の見頃の期間について も情報提供することが可能である.今後、実際の観光 関係者による新しい開花予測モデルの実証を進める ことが重要と考えられる.

なお、本モデルを活用して開花予測を行う際には、 起算日が最も早くても花芽の発育ステージは鱗片葉 が割れて緑色が見え始める状態に到達しなければな らない.このため、それ以前から開花予測を行うため には、いわゆる「トップダウン型」の予測手法と組み 合わせることでより実用的な観光利用に結びつくも のと考えられた.

第9章 総合考察

本研究では、伊豆地域の重要な観光資源である'カ ワヅザクラ'について、開花期と気温との関係、花芽 形成とその発達、自発休眠覚醒期および他発休眠期に おける発育速度を調査し、その生態特性を明らかにす るとともに、今後の産業利用を想定して、切り枝とし ての利用法や開花予測手法について検討した.以下に 本研究により明らかになった'カワヅザクラ'の生態 的特性、切り枝利用法ならびに開花予測について考察 した.

1. 開花と気温との関係について

第2章において、南伊豆地域の'カワヅザクラ' の開花の実態について調査した.これによると'カワ ヅザクラ'は、総じて標高が低く気温の高い場所から 開花が始まることが認められた.本調査の結果、南伊 豆地域内における開花日には約1か月の地域間差を 認められ、散り終わりまでを通算すると1月から3 月までの長期間にわたりいずれかの場所で'カワヅザ クラ'の開花が必ず見られることが明らかとなった. また、気温と開花日との関係から、冬季の気温が高い ほど、開花が早まると考えられた.これらのデータは 南伊豆地域内において'カワヅザクラ'がいつ頃、ど の場所で見頃であるかという情報を提供する上での 基礎資料となる.今後、各地域の開花状況をマップ化 し、広く情報提供することにより、観光面での活用が 期待できる.

2. 花芽形成とその発達および自発休眠覚醒期 について

第3章と第4章では、花芽形成とその発達および 自発休眠覚醒期について調査した.その結果をまとめ

ると図 9-1 のようになる. 花芽形成は7月上旬に花 房分化期に達し、その後は9月上中旬にがく片形成 期,10月上旬に花弁形成期,10月中旬に雄ずい形成 期と進む.花弁形成期以降は年次間差と植栽地による 差が顕著になるものの、11月下旬には胚珠形成期に 達する. なお, 落葉についてはデータがないものの観 察によると、8月下旬頃から開始し、12月上旬頃に は完了していた.花芽の自発休眠については、10月 下旬の雄ずい形成期以降から徐々に覚醒し, 胚珠形成 期以降の11月下旬から12月上旬には自発休眠は覚 醒する. 花芽と葉芽の休眠の深さには差があり, 葉芽 の自発休眠の覚醒が完了するのは12月上旬以降であ る. 年が明けて1月の上旬になると、花芽は鱗片葉 が割れて緑色が見え始め、動き始める、その後、緩慢 な生育を経て、約1か月後である2月上旬以降から 開花が始まる.開花期間は1つの花芽でみても落弁 までに約2週間を要し、樹全体では2分咲きから満 開までは平均で18日間と比較的長期にわたり開花し 続け、3月の上旬には散り終わる.

(カワヅザクラ'の生態特性上の特徴として、花芽の休眠覚醒が花芽の形成後間もない 11 月下旬から 12 月上旬には完了し、それに要する低温遭遇時間も少ないこと(第4章 表4-3)が挙げられる.このことは、'カワヅザクラ'の自発休眠が非常に浅いことを裏付けている.第7章においては、オウトウ'佐藤錦'の自発休眠解除モデルを用いて気温により自発休眠覚醒期の推定を試みたところ、極めて誤差が大きくなり予測は困難であった.このことはオウトウ'佐藤錦'と'カワヅザクラ'の休眠特性の違いに起因していると考えられる.花芽形成と自発休眠の覚醒との 関係について調査した報告はほとんどないため、両者



図 9-1 本研究により明らかになった 'カワヅザクラ' の生態特性

の関係については今後も検討する必要があると考え られた.

なお,南伊豆地域の 'カワヅザクラ'においては, 夏から秋にかけて,台風による早期の落葉が原因と考 えられる早期開花が年によって見られる.このことか らも, 'カワヅザクラ'のような自発休眠の浅いサク ラでは特に落葉が自発休眠の覚醒に大きく影響を与 える可能性が考えられる.このため,落葉が開花や自 発休眠の覚醒に与える影響については今後も検討す る必要がある.

3. 他発休眠期における花芽の発育

第5章では、自発休眠覚醒後から開花までの発育 速度と気温との関係をモデル化した.その結果、0℃ から25℃の範囲において発育速度(DVR)と気温(T) の関係はDVR=0.0042Tで直線によりモデル化する ことが可能であった.また、得られた発育速度モデル は南伊豆地域の露地条件下における適合性が高いこ とが確認された.このモデルは第7章および第8章 において開花予測法を検討する上で重要な基礎デー タとなった.

第6章では、切り枝の促成気温について検討した. その結果、日最低気温 10℃では露地条件と比較する と若干花径は小さくなるものの、花色では大きな差は 確認されなかった.また、開花率の低下もみられなか った.従って、'カワヅザクラ'の切り枝生産を想定 した場合、最適な促成気温は日最低気温 10℃程度が 適当と考えられた.

4. 切り枝の実用化について

本研究では、第4章で自発休眠覚醒期の調査により、切り枝の加温開始時期が明らかになった.また、 第6章で促成気温について検討した結果、最低気温 10℃程度が最適であった.これらが明らかになった ことにより、切り枝の実用化について一定の目処がつ いたといえる.

現在, サクラの切り枝として主に出荷されている 'ケイオウザクラ'では, 環状剥皮処理により花芽の 着生を増進させている.また, 温湯処理やシアナミド 処理等を行うことで, 強制的に自発休眠を解除させ, 早期出荷も行われている. 'カワヅザクラ'において も, 今後これらを検討することにより, 高品質な切り 枝をより長期間出荷できる可能性がある.

第4章で自発休眠覚醒は11月下旬から12月上旬 であることが明らかになった.このため,その時期か ら促成を開始すれば,花の需要が比較的多い年末年始 にあわせて出荷することが可能である.また,「河津 桜まつり」や「みなみの桜と菜の花まつり」等の地域 のイベントにあわせて切り枝を販売すれば,切り枝が 産業の1つとなりうる可能性もある.しかしながら, 'カワヅザクラ'の切り枝利用については,開花枝を 安定的に確保することや枝管理技術の確立等,解決す べき問題もまだ残されている.このため,今後はそれ らについて検討する必要がある.

5. 開花予測について

第7章では、単回帰による方法、温度変換日数法、 自発休眠覚醒期を考慮に入れた方法の3つの手法に ついて、第8章では、他発休眠期における発育速度 モデルを利用した方法について、計4つの手法で地 域から要望の強い開花予測について検討した. 'ソメ イヨシノ'の開花予測については、あらかじめパラメ ータを得て最適な発育速度や起算日等を決定する「ト ップダウン型」の予測モデルが利用されている^{14,26)}.

'カワヅザクラ'においても、これに類似した単回帰 による方法,温度変換日数法,オウトウの自発休眠覚 醒モデルを利用して自発休眠覚醒期を考慮に入れた 方法による開花予測について検討した. 「トップダウ ン型」の予測モデルでは、休眠が解除された時点の視 覚的に芽は動いていない時期から予測できる利点は あるものの,得られたパラメータが植物の生理生態を どの程度表しているのかは不明である 10. また,実 際のデータから算出したパラメータは,そのデータの 範囲を超える極端な気象条件下では外挿的な予測と なるため、いわゆる異常気象の年に遭遇した場合は誤 差が大きくなる可能性が大きくなるという特性があ る. 第7章での結果では、最も単純な手法である単 回帰による方法で,温度変換日数法,自発休眠覚醒期 を考慮に入れた方法に比べて誤差が小さく、約7日 間の誤差が認められたものの, 12 月上旬以降から予 測できるという利点から,観光的により早い広報が必 要な場合には利用できる可能性がある.

一方で,他発休眠期における発育速度モデルを活用 した開花予測モデルは,視覚的に花芽の発育過程をと らえて起算日としており,さらに他発休眠期における 発育速度モデルを利用していることから,この手法が 適応できる期間内の誤差は約4日と,単回帰による 予測法より精度は高くなることが明らかとなった.

現在,旅行会社等からは旅行の予約が始まる年内か ら利用客に花の見頃の時期について情報提供したい という要望がある.また,観光客はインターネット等 で開花情報を見ながら来客することもある.このため, 実用場面ではより長期間の開花予測が必要である.実際の利用場面としては,年内の予測では単回帰による 手法を利用し,花芽の発育ステージが鱗片葉が割れて 緑色が見え始める状態に到達したところで発育速度 モデルを利用した予測手法に切り替えていくことで, より精度の高い開花予測情報を提供することが可能 と考えられた. 近年,「河津桜まつり」や「みなみの桜と菜の花ま つり」に注目が集まるにつれ,南伊豆地域だけではな く,県内外で 'カワヅザクラ'が数多く植栽されてい る.本研究により明らかになった生態特性,切り枝利 用技術ならびに開花予測手法は,今後の 'カワヅザク ラ'の観光利用面において大いに活用できるものと考 えられた.

第10章 摘 要

本研究では、伊豆地域の観光資源として重要である 'カワヅザクラ'について、開花期と気温との関係、 花芽形成とその発達、自発休眠覚醒期および他発休眠 期における発育速度について調査した.また、明らか となった生態特性に基づき、開花予測や切り枝での利 用等、産業的な利用について検討した.

1. 南伊豆地域における開花期と気温との関係

2002 年から 2005 年の 4 年間の開花日(2 分咲き 日)の平均は、気温が高く推移していた地点では早く、 気温が低くする地点では遅くなる傾向を示し、南伊豆 地域内においても約 1 か月の差が確認された.年次 間差では 4 年間の調査で約 2 週間の違いがあった. 開花期間は 2 分咲きから満開までが平均 18 日と比較 的観賞期間は長かった.開花日と気温との相関は、11 月下旬から 12 月上旬にあたる開花前 51 日から 70 日 以降の気温との相関が高かった.河津町田中と南伊豆 町青野川堤防における'カワヅザクラ'の開花状況に は個体差が確認され、地域内で長期間連続して開花を 続ける性質が認められた.

2. 花芽形成とその発達

花芽形成は7月上旬に花房分化期に達していた. その後,9月上中旬にがく片形成期,10月上旬に花 弁形成期,10月中旬に雄ずい形成期と進んでいった. 花芽形成は花弁形成期以降に年次間差と植栽地によ る差がみられたものの,いずれの年次および植栽地に おいても11月下旬には胚珠形成期に達していた.花 芽の発達は,鱗片葉が割れて緑色が見える状態から開 花までに1か月以上を要した.1つの花芽における開 花期間は約2週間と長く,1本の枝においても異なる 発育ステージの花芽の混在が観察された. 'カワヅザ クラ'は生育状態の異なる花芽が連続的に開花し,か っ1 つの花芽の開花期間が長いために長期間開花を 続けると考えられた.

3. 自発休眠覚醒期

2003 年と 2004 年のそれぞれ 10 月 20 日, 11 月 5 日, 11 月 26 日, 12 月 5 日, 12 月 26 日に河津町田 中に植栽されている 'カワヅザクラ'から切り枝し, 最低気温 15℃の温室内に搬入して水挿しした. 花芽 の開花率は 10 月下旬から 12 月上旬まで, 葉芽の展 葉率は、10月下旬から12月下旬まで、温室への搬入 が遅くなるほど上昇した.開花率については11月5 日処理と11月26日処理の間で明らかな差がみられ、 展葉率については11月5日処理と12月5日処理と の間で明らかな差がみられた.このことから、花芽の 自発休眠は12月上旬には既に覚醒しており、葉芽に ついてはそれ以降であることが明らかになった.また、 自発休眠覚醒に影響を及ぼす気温は他のサクラと比 較して高いことが示唆され、これらのことが早咲きの 一因と推察された.

4. 他発休眠期における発育速度

'カワヅザクラ'の切り枝を用いて,他発休眠期に おける発育速度について調査した.0,5,10,15, 20 および 25℃の恒温暗黒条件下で処理した結果,処 理温度が高くなるほど開花は早くなり,発育速度は大 きくなった.また,開花率は10℃で最も高くなった. この結果から,気温(T)と花芽の鱗片葉が開き始め た日から開花日までの発育速度(DVR)に関し,DVR =0.0042T(0<T \leq 25),DVR=0(T \leq 0)とする発 育速度モデルが得られ,露地条件下においても適合性 が確認された.

切り枝での開花および花の品質に及ぼす気 温の影響

日最低気温を5, 10, 15 および 20℃に制御した自 然日長下での温室において切り枝を開花させた結果, 日最低気温が高くなるほど開花開始日は早くなった が開花率は低下し,花径は小さくなり,花色は薄くな った.この結果から,'カワヅザクラ'を切り枝で開 花を促成させるのに最適な日最低気温は 10℃前後と 考えられた.

4. 単回帰式,温度変換日数法,自発休眠覚醒 期を考慮に入れた開花予測法の比較および 検討

2001 年度から 2004 年度の4年間,南伊豆地域8 か所で調査した開花日(2分咲き日)と気温29組に 基づき,気温を説明変数とする単回帰による方法,温 度変換日数法,オウトウの自発休眠覚醒モデルを利用 した自発休眠覚醒期を考慮に入れた方法により南伊 豆地域の 'カワヅザクラ'の開花予測を試みた. それ ぞれの方法で算出した推定開花日と実際の開花日と の差を二乗した平均値の平方根 (RMSE)を計算し た結果,単回帰による方法では 7.36,温度変換日数 法では 7.94,自発休眠覚醒期を考慮に入れた方法で は 12.22 という結果となり, 'カワヅザクラ'の自発 休眠覚醒期をオウトウの予測式を用いて推定するこ とは困難であった.単回帰による方法では「カワヅザ クラまつり」の主会場である河津町田中では約5日,

「みなみの桜と菜の花まつり」の主会場である南伊豆 町青野川堤防では約4日であった.

7. 他発休眠期での発育速度モデルを利用した 開花予測

他発休眠期における発育速度モデルをもとに,8つ に分類した各花芽の発育ステージから開花までと落 花までに要する発育指数を算出した.算出した発育指 数をもとに開花予測モデルを作成した.作成したモデ ルは花芽の観察日と長期予報に基づく平年気温との 差を入力することで,開花日と落弁日を予測すること ができた.気温の実測値から算出した推定開花日と実 際の開花日との差は,鱗片葉が割れて緑色が見える状 態から予測した場合で約3日であった.より花芽の 発育ステージが進んだ状態から予測するほど,誤差は 小さくなっていった.本研究で作成したモデルは扱い も容易であるので,実用場面で活用されることが期待 できる.

8. 総括

本研究により, 'カワヅザクラ'の生態特性が明ら かになった.また,明らかになった生態特性に基づき 開花予測や切り枝等,その産業利用について検討した. その結果,切り枝については,加温開始時期と最適な 促成気温が明らかになったことにより,実用化の目処 がついた.また,開花予測においては本研究で検討し た手法を幾つか組み合わせることにより,精度の高い 予測情報を提供することが可能と考えられた.

Sumarry

'Kawazu-zakura' (*Prunus lannesiana* Wils.'Kawazu-zakura') is the representative early-flowering cherry in Izu peninsula. The cherry is valuable resources for sightseeing because it is popular. Therefore, it demanded the development the behavior and industrial application of the cherry in the Minamiizu region. In this study, it investigated the relationship flowering time and the temperature, flower bud formation and the development, the period of endodormancy and modeling of developmental rate in ecodormancy of the cherry. And, industrial application such as flowering forecast and cutting flower were examined.

1. Relationship flowering time and the temperature in Minamiizu

The time of flowering was recorded to examine the relationship between flowering time and air temperature in Minamiizu. 'Kawazu-zakura' trees in the Minamiizu region generally bloomed earlier at warmer places. The time of flowering ranged over about one month among various sites. The average flowering time in these regions showed a range of about two weeks. The appreciable flower life defined as the period from two tenths blooming to full bloom was comparatively long at eighteen days. The flowering time showed a high negative correlation to the temperature average for 51 to 70 days before flowering. Maintenance of continuous flowering over a prolonged period was noted at the Aono river embankment (Minamiizu-cho) and at Tanaka (Kawazu-cho) .

2. Flower bud formation and the development

The flower bud formation and development was investigated in Izu peninsula. By beginning of July, floral primordial had been already formed. Afterward, calyx lobe was formed in beginning of September, petal was in beginning of October and stamen was in middle of October. The late of November, ovule was formed. After petal was formed, the difference of floral bud formation was confirmed by the year and the place. After flower bud was completed, the growth of the floral bud was classified into eight stages in externals. The influence by the average temperature was suggested in the floral bud formation. The bud by which green seems to crack requires even full-blooming on 32 days or more. One bud kept flowering for 14 days more. We confirmed the floral buds with different stage existed together in the same observation day. It was thought that the flowering period of 'Kawazu-zakura' was long by the flowering period of one floral bud was long and the floral bud in a different state flowered continuously.

3. Period of endodormancy breaking

Breaking period of dormancy and chilling requirement were investigated. The cutting

branches were gathered in Kawazu-cho Tanaka on Oct.20, Nov.5, Nov.26, Dec.5 and Dec.24 in 2003 and 2004. The branches were carried into the environmental greenhouse that had been set to the lowest temperature 15°C. The result showed the flowering buds rate and germinating leaf buds rate rase as the greenhouse carring day slowed. It was suggested that the dormancy of the flower bud had been broke between the end of November and the beginning of December, and to the leaf bud was after the beginning of December. The depth of dormancy was different the flower bud and the leaf bud. The difference of the breaking dormancy was seen as in 2003 and 2004. It was suggested that the temperature that influenced breaking dormancy was higher than other cherries. For these reasons, 'Kawazu-zakura' was precocious cherry.

4. Modeling of developmental rate in ecodormancy stage

For the purpose of development of flowering forecasting model, short stems in ecodormancy stage were exposed to six contact temperatures (0, 5, 10, 15, 20 and 25° C) in dark condition. The developmental rate (DVR) and the temperature showed a high correlation, DVR and temperature (T) recurred a model, DVR=0.045T ($0 < T \le 25$) DVR=0 ($T \le 0$). It was confirmed that the model was suitable under the outdoor condition in Minamiizu region.

5. Effect of temperature in cutting flower

The cutting branches were carried into the greenhouse that controlled the daily minimum temperature at 5, 10, 15, and 20°C in the natural day length. Higher temperature hastened blooming date but decreased flowering rate, flower size and quality. The adequate temperature in the cutting flower of 'Kawazu-zakura' was thought to be the daily minimum temperature 10°C.

6. Forecasting blooming date in regression line, DTS method and the method that considers the process of rest break

Attempts were made to estimate the blooming date in the Minamiizu region using regression line, DTS (the number of days transformed to standard temperature) method and the method that considers the process of rest break based on the developmental model of 'Satonishiki'. The data used for calculations in this study were 29 pairs of flowering days and temperatures over four years at eight Minamiizu stations. The error was calculated with RMSE. The calculated RMSE error of the regression line was 7.36, that of DTS method was 7.94 and that of the method considering the process of rest break was 12.22. It was difficult to assume the period of breaking endodormancy using the developmental model of 'Satonishiki'. In the regression line method, RMSE between the observed and estimated blooming dates was about 7 days.

7. Forecasting blooming date based on developmental rate of ecodormancy stage

The developmental index (DVI) was calculated based on the developmental rate (DVR) of

endodormancy. We developed the blooming forecasted software based on the calculated DVI. The blooming date and fallen blossom date were able to be forecasted according to the model considering expectation temperature. The RMSE error of blooming dates is about 3 days, the forecasting of flower bud stage is green seems to begin to crack. The error has become small forecasting state advanced by the growth of the floral bud. The treatment of the developed model in this study is easy. Therefore, it expected to be used for sightseeing.

8. Conclusion

In this study, the behavior of 'Kawazu-zakura' was clarified. The flowering forecast and the cutting flower were examined based on the behavior. In cutting flower, it clarified the optimum forcing time and the temperature. In flowering forecast, it expected informing certain flowering time by using plural methods examined in this study.

謝 辞

本論文を取りまとめるにあたり,岐阜大学応用生物 科学部教授福井博一博士には終始懇切なるご指導と ご鞭撻を賜った.岐阜大学応用科学部教授古田喜彦博 士,静岡大学農学部教授大野始博士,信州大学農学部 教授伴野潔博士にはご校閲の労をお執りいただいた. 共同研究者の静岡県農林技術研究所伊豆農業研究セ ンター研究主幹稲葉善太郎博士には,本論文とりまと めについてのご助言をいただいた.ここに深く感謝の 意を表す.

本研究は多くの方々のご協力の下に行われた.独立 行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構果樹研究 所杉浦俊彦博士には数多くの有益なご助言をいただ いた.前任者の末松信彦氏(現静岡県農林技術研究所 伊豆農業研究センター研究主幹)ならびに元上司の中 村新市氏(現静岡県西部農林事務所天竜農林局技監) には試験の設計やとりまとめについてご協力いただ いた.共同研究者である加藤智恵美氏(現静岡県賀茂 農林事務所副主任),石井ちか子氏(現静岡県農林技 術研究所伊豆農業研究センター副主任)には研究への ご協力をいただいた.日常の調査に当たり,静岡県 農林技術研究所伊豆農業研究センター技能長山本宏 道氏, 元静岡県農業試験場南伊豆分場技能長櫻田信義 氏には多大なる労力を提供していただいた. 静岡県産 業部みかん園芸室長石戸安伸氏, 元静岡県農業試験場 南伊豆分場長村田治重氏, 同水戸喜平氏には終始暖か い励ましのお言葉をいただいた. ここに深く感謝申し 上げる.

本研究の遂行にあたり,多くの調査や材料収集を行 った河津町,南伊豆町をはじめ静岡県南伊豆園芸振興 会を組織する市町ならびに観光関係者に多大なるご 支援をいただいた.河津町役場産業振興課土屋弘幸氏

(現税務課)ならびに南伊豆町役場産業観光課長鈴木 博志氏(現総務課長)には実験材料となる 'カワヅザ クラ'を提供していただくとともに現場の情報を提供 していただいた.河津町観光協会増田為雄氏,南伊豆 町観光協会山口絹代氏,同山本照彦氏,元河津町商工 会富田衛氏および河津町梨本土屋光示氏をはじめと する多くの方々から有益な情報をいただいた.ご協力 に深く感謝申し上げる.

引用文献

- 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(1993):温度変換日数法によるソメイ ヨシノの開花に関する気候学的研究.大阪府大紀要 45,155~191.
- 3) 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法によるソメイヨシノの開花日の推定.農業気象 45,243~249.
- 4) 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開花日の推定.農業気象 52,125~134.
- Brown, D. S. (1960): The relation of temperature to the growth of apricot flower bud. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 75, 138~147.
- 6) De Wit, C. T., Brouwer, R., Penning de Vries,
 F. W. T. (1970): The simulation of photosynthetic systems. Proc. of the IBP/PP Technical Meeting,
 PUDOC, Wageningen, 47~60.
- 7) 江幡守衛,石川雅士(1987):植物季節と有効積 算気温-名古屋におけるソメイヨシノの開花につ いてー.日本農業気象学会東海支部誌 45,27~ 29.
- 3) 江口庸雄(1931). 果樹の花芽分化期と開花期との関係に就いて(予報). 園学雑 2, 26~39.
- Felker, F. C., Robitaille, H. A. (1985): Chilling accumulation and rest for sour cherry flower buds. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 110, 227~232.
- 10) Gandar, P. W., Hall, A. J., de Silva, H. N. (1996): Deterministic models for fruit growth. Acta Hort. 416, 103~111.
- 五井正憲(1982):温帯花木の花芽形成ならびに 開花調節に関する研究.香川大農紀要 38,1~120.
- 12) 花岡喜重(1974):花木類の花芽分化に関する研究Iニワウメ(リンショウバイ),ハナカイドウ,ヒュウガミズキ,ハナモモ,ハナウメ,サクラ,ハナズホウの花芽分化.群馬園試報 3,22~39.
- 13) 花岡喜重,茂木孝夫,森昭(1980):標高差に よる花木の生態学的研究IIヒガンザクラ,モモ,ウ メについて.群馬園試報8,1~18.
- 14) 平野貴嗣(1996): 新しくなったサクラの開花予

想. 気象 470, 4~7.

- 15) 広部 誠(1982): ウンシュウミカンの開花期に 及ぼす気象要因の重回帰分析による予測. 神奈川園 試研報 29, 1~8.
- 16) 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.
- 17)石井幸夫(1991):桜の名の由来.(財団法人林 業科学技術振興所編) 桜をたのしむ.pp. 28~
 29.財団法人林業科学技術振興所,東京.
- 18) 石井幸夫(1992): サクラの開花期に及ぼす温度 と光の影響. 櫻の科学 2, 29~36.
- 伊藤大雄 (1991):休眠覚醒を考慮した桑萌芽過 程の反応速度論的モデル.日作紀 60,47~56.
- 20) 岩佐亮二 (1988) : サクラ類の園芸文化史. 園芸 植物大事典 2 キ_ク〜ス_イ. pp. 346〜349. 小学 館, 東京.
- 21) 鍵谷 勤(1970):2章 環境による反応速度の 変化とその解釈法の概論.化学反応の速度論的研究 法~機構論との関連において~上巻.pp. 11~34. 化学同人,京都.
- 22)金関四郎(1985):サクラの開花日と偏西風勢力 との関連. 農業気象 41, 265~268.
- 23)勝木謙蔵(1989):サクラ枝物の早期促成に関する研究.山形園試 特研報 4,22~44.
- 24)川方俊和,岡田益己(1989):発育指数を用いた 水稲の幼穂形成期と出穂期の推定.農業気象 45, 137~142.
- 25)川崎哲也(1993):桜を楽しむために.(解説・ 川崎哲也 写真・奥田 實.木原 浩)日本の桜. pp. 3~8.山と渓谷社,東京.
- 26) 気象庁(1996):新しいサクラの開花予想. 気象 庁解説資料 第24号. pp. 1~51.気象庁, 東京.
- 27)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 1,51~68.
- 28)小杉 清(1951):4章 4花木の種類と花芽の 発育(16)サクラ.花木の開花生理と栽培.pp. 148~149. 博友社,東京.
- 29)前川 進,中村直彦 (1979): 促成花木の花色発 現に関する研究 第1報 モモ,ボケ,サクラ切

花のアントシアン生成に及ぼす温度と光の影響. 神 大農研報 13, 181~184.

- 30)前川 進,寺分元一,中村直彦(1980):サクラの開花調節に関する研究(第2報)摘葉後の開花状況について. 園学要旨昭55秋. 370~371.
- 31)前川 進,寺分元一(1981):十月桜の開花に及 ぼす摘葉量の影響. 園学要旨 昭 56 秋. 278~279.
- 32) 水戸喜平 (2002): 南伊豆地域における自生植物の利活用. 農及園 77, 468~474.
- 33)村田治重(1997):南伊豆の早咲きサクラ.静岡農試研報 42, 67~75.
- 34) 永田 洋, 万木 豊(1982):樹木の生物季節学 的研究(Ⅱ)サクラの開花. 三重大農学報 64, 11~20.
- 35) 永田 洋, 万木 豊 (2003): ソメイヨシノの開
 花日の年変動. 櫻の科学 10, 8~17.
- 36) 永田 洋,万木 豊(2005): サクラはなぜ春に 咲くのか(I) - 生物季節学入門(I). 櫻の科学 12,37~46.
- 37)中川博視,堀江 武(1995):イネの発育過程の モデル化と予測に関する研究 第2報 幼穂の分 化・発育過程の気象的予測モデル.日作紀 64, 33~42.
- 38)中川行夫(1972):果樹の開花成熟期の予想. 園学要旨 昭47春, 130~131.
- 39)野口協一,工藤 信,奥山仁六 (2000):オウトウ '佐藤錦'の花芽形成に及ぼす気温及び日長の影響. 園学雑 69 別 2,313.
- 40)野口協一,工藤 信,佐藤孝宣(2003):オウト ウの花芽形成における年次,地域,作型の影響.山 形園試研報 15, 11~28.
- 41)太田 智,村上 覚,勝木俊雄,西谷千佳子, 山本俊哉,大村三男,稲葉善太郎(2006):サクラ 栽培品種の由来1.分子マーカーによる河津桜など 伊豆地方の品種の解析.育種学研究 8(別1), 268.
- 42)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.
- 43)小元敬男,青野靖之(1990):都市昇温のサクラの開花日に影響する時期.農業気象 46,123~129.
- 44)小野祐幸,金野隆光,奥野 隆,浅野聖子(1988):
 日本なしの催芽・開花までの日数への温度の影響.
 農業気象 44,203~208.
- 45) 鮫島良次, 岩切 敏 (1987): 気象と大豆の生育

動態に関する研究(1)開花までの期間における発 育速度と日長・気温の関係.農業気象 42,375~ 380.

- 46) 篠原久男(1951): 気温がソメイヨシノの開花日に影響する時期. 農業気象 7, 19~20.
- 47) 篠原久男 (1953): 朝鮮の桜開花日に影響する気温. 農業気象 8, 23~24.
- 48)静岡県農業試験場南伊豆分場(2002):資料第
 2018 号 南伊豆分場の種苗等の配布状況(含む有用植物園伊豆振興センター南伊豆農場), pp. 5~18.
- 49)末松信彦,水戸喜平(2003): 'カワヅザクラ'の実生と思われるサクラの特性.静岡農試研報
 48,47~56.
- 50) 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.
- 51) 杉浦俊彦,本篠 均 (1997): ニホンナシの自発 休眠覚醒と温度の解明およびそのモデル化. 農業気 象 53, 285~290.
- 52) Sugiura, T., Ito, D., Kuroda, H., Kitamura, M., Kaminaka, A., Kondou, H., Motonaga, N. (1998) : The effects of temperature on endodormancy completion in 'Satonishiki' cherry (*Prunus avium* L.). J. Japan. Soc. Hort. Sci. 68 (Suppl. 1), 113.
- 53) 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.
- 54)高見晋一(1994):生育モデル.(農業気象学会編) 新しい農業気象・環境の科学. pp. 174~189. 養賢堂,東京.
- 55) 高砂 学(1957): ソメイヨシノザクラの開花期 と落花期に関する小観測(続報). 産気調報 20, 7~12.
- 56)竹中 要(1962):サクラの研究(第一報) ソメイヨシノの起源.植物学雑誌 75,278~287.
- 57) 竹中 要(1965): サクラの研究(第2報) 続 ソメイヨシノの起源. 植物学雑誌 78, 319~331.
- 58) 田村仁一,井山審也 (1989) : カワズザクラ (河 津桜). 遺伝研の桜. pp. 18. 国立遺伝学研究所, 静岡.
- 59) 塚本洋太郎(1984):第1章 花卉園芸の歴史. 花卉園芸大事典. pp. 1~6. 養賢堂, 東京.
- 60) 角田春彦 (1976): 熱海の桜と本県の自生桜. 桜.

pp. 40~60. 静岡県さくらの会, 静岡.

- 61)上里健次(1993):沖縄におけるヒカンザクラの
 開花期に関する調査研究.琉球大農学報 40,1~
 7.
- 62) 上里健次, 比嘉美和子 (1995): ヒカンザクラの

開花期とその地域差に関する調査研究. 琉球大農学 報 42, 1~8.

63) 八坂安守 (1988): サクラと日本文化. 園芸植物 大事典. pp. 349~350. 小学館,東京.