気候変動がソメイヨシノの休眠・開花現象に及ぼす影響

～高知市を対象として～

1140424　川島 友李亜
高知工科大学マネジメント学部

1.　概要

本研究では高知市における気候の変化を調査し、その長期変動にみられる特徴について考察した上で、気候変動がソメイヨシノにどのような影響を及ぼしているかを明らかにした。特に、休眠時期及び開花時期の変化と気温上昇との関連性について検討した。その結果、高知市は年平均気温が 100 年単位で+1.46℃、高知市沖の海面水温が 10 年単位で+0.45℃と、ともに上昇している。それに伴いソメイヨシノの開花日は 50 年単位で 5.7 日の割合で早期化する傾向にあり、3 月の平均気温と冬季の低温積算が開花日に影響を与えていた。また、将来的な気温は+2.5℃～+3.5℃上昇すると考えられ、ソメイヨシノの開花日は気温が 1℃上昇するごとに約 3～4 日早まることが明らかとなった。

2.　背景

日本人になじみの深い「サクラ」とは、一般にバラ科サクラ属の落葉広葉樹を指す。中でも日本原産種のエドヒガンとオオシマザクラの交配で生まれたと考えられるソメイヨシノ(*Prunus yedoensis*)は、すべて接木等の栄養繁殖によって全国各地に植栽されている。よって、すべての個体が同一に近い特徴を持ち、その数が非常に多いため「さくら開花予想」に主に使われている。ソメイヨシノをはじめとするサクラの開花は、我々日本人にとって春の象徴、花の代名詞として古来より親しまれ、百円硬貨の刻印、最近では東京オリンピックの招致ロゴなどに用いられるなど、サクラは日本を象徴する植物とされてきた。また、サクラの開花時期の遅速は、春の余暇活動など市民生活の動向を左右し、観光産業、外食産業にも大きく影響を与えている。しかし、近年ソメイヨシノの開花時期は全国的に早期化している。気象庁(2010)によると、1960 年代の 4 月 1 日には、三浦半島から紀伊半島にかけての本州の太平洋沿岸と四国、九州でのみ開花していたが、近年では同じ時期に関東、東海、近畿、中国地方など太平洋地域全体で開花するようになっている。青野･小元(1990)、青野･守屋(2003) 、増田ら(1999)はソメイヨシノの開花時期と気温は密接な関係にあることを示していることから、気候変動に起因する気温上昇がソメイヨシノの開花日に影響を与えていることは容易に想像できる。

近年の気候変動状況を見てみると、気象庁(2013)では日本の平均気温は 1898 年以降では 100 年当たりおよそ+1.15℃の変化率となっている(図 2)。特に 1990 年以降、高温となる年が頻繁に現れている。気象庁(2012)によると、この要因

図 1.　ソメイヨシノ(*Prunus yedoensis*)

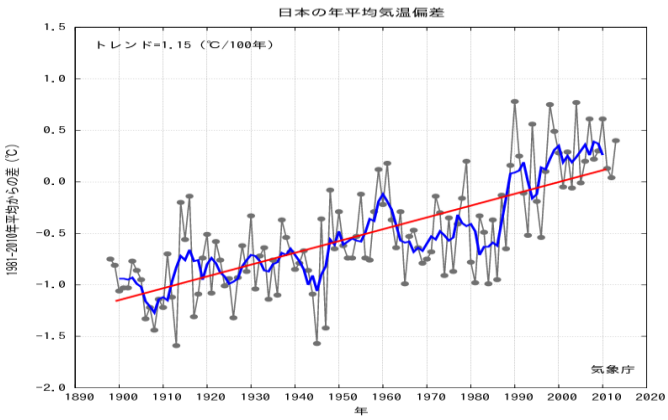

図 2.　日本の年平均気温の平年偏差(1900-2013)
観測点は都市化の影響の少ない 17 地点。平年値は 1981-2010 年の 30 年平年値。細線(黒)は各年の偏差。太線(青)は偏差の 5 年移動平均、直線(赤)は長期線形トレンド。

【資料】気象庁

として二酸化炭素などの温室効果ガスの増加に伴う地球温暖化の影響と、エルニーニョ・ラニーニャ現象や太平洋十年規模振動(PDO)に伴う数十年周期の高温・低温、火山の噴火による一時的な低温といった自然変動が重なったものと報告されている。

また、気象庁(2012)が気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change、IPCC)の第4 次評価報告書(2007)に基づいて作成した「日本の気候変動とその影響」では、日本の平均気温は、21 世紀末には 1980～1999 年の平均と比較して 1.1～6.4℃上昇すると予測している。このように、今後さらに気温上昇が進行すると、ソメイヨシノをはじめとするとする果樹は開花日がより早期化すると考えられる。一方で、冬季の休眠打破に必要な低温遭遇時間が不足し、発芽や開花の不揃い、生育異常現象が多発する可能性が指摘されている(本條、2007；丸岡･伊藤、2009)。本條(2007)によると、その問題は暖地ほど深刻であるとされているが、高知県におけるソメイヨシノの「休眠」、「開花」に関する具体的な研究は現在までに行われていない。果樹にまで範囲を広げると、西本(2009)において気象要因がニホンナシ「新高」の開花、発芽異常やみつ症の発生に及ぼす影響について、長谷川･尾形(2007)が高知におけるカキの萌芽、開花および満開期と気温との関係について調査しているのみである。また永田ら(1981)や朝倉(2009) によって、ソメイヨシノの開花日は休眠が大きく関わっていると報告されており、休眠や開花といった季節現象は、温暖化によるソメイヨシノへの影響を調べる上でも有益な指標である。従って、先述に述べた日本におけるソメイヨシノの社会的重要性の高さも踏まえると、十分に研究する価値を持っていると考えられる。

3. 目的

本研究では、1961 年以降の高知市における気候の変化を明らかにするとともに、近年の気候変動が高知市のソメイヨシノの休眠・開花にどのような影響を及ぼしているかを明らかにする。特に、1961 年以降の休眠時期及び開花時期の変化と気温上昇との関連性について着目し検討する。また、気象庁の今後の気温予測データを基に高知市の今後の気温変化傾向と、ソメイヨシノの休眠・開花・満開時期に与える影響についても検討する。

4. 研究方法

本研究は、はじめに高知市の気候変動の長期傾向について年単位と季節単位で検証し、温暖化の実態について整理する。また、高知市の都市化の検証と高知市沖の海面水温の長期傾向についても分析を行う。次に高知市のソメイヨシノの開花現象について開花日の長期傾向、気温との関係性について検証する。更に、休眠期間中の低温遭遇時間の長期傾向を推定し、経年変化や低温遭遇時間が及ぼす開花日への影響を分析する。最後に高知市のソメイヨシノ開花・休眠現象の今後の動態について明らかにする。将来的に想定される気温変化が今後の開花時期に及ぼす影響について検証する。

5.結果

5.1 高知市の気候変動の長期傾向

(1)高知県の地理・気候特性

高知県は、北は四国山地に囲まれ、南は太平洋には面した東西に長い扇状の地形である。このため、高知県は山地が海岸に迫る部分が多く、低地部が少ないという特徴を有する。気候は典型的な温暖湿潤気候(Cfa)に属し、季節風が四国山地に遮られるのに加え、黒潮の影響も受けて年中温暖かつ多照な気候であり、暖かい夏の季節には黒潮上を渡る南寄りの湿った季節風が四国山地に吹きつけるため多雨である。冬は晴天が続き、降雪はまれである。地形の影響で高気圧に覆われ穏やかな晴天の日には、放射冷却が強くなる為に朝晩の冷え込みが厳しいが、よく晴れる為に日中は暖かくなる。夏は梅雨や台風、太平洋高気圧の季節風などの影響で雨が多い。

(2)高知市の年平均気温の経年変化

そこで、高知市の気温の長期的な変化傾向を調査した。図3 に高知市の年平均気温の経年変化を示す。

高知市の年平均気温は 1886 年～2013 年までに 100 年あたり+1.46℃の割合で上昇している。100 年の上昇幅+1.46℃は、気温の平年値で比較すると、高知（平年値 17.00℃）と

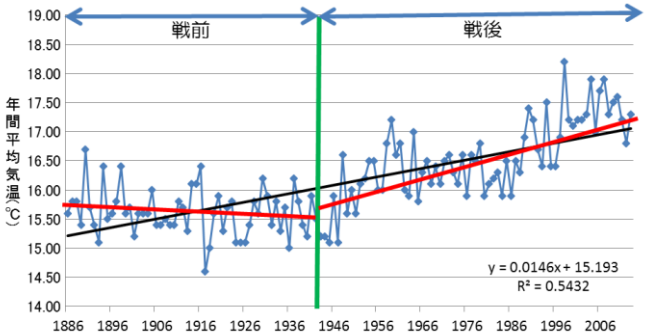

図 3. 高知市の年平均気温の経年変化(1886-2013)

鹿児島（平年値 18.60℃）の差にほぼ相当する(四国地方の気候変動、2013)。また、これは気象庁が公表している日本の年平均気温の上昇率である 100 年あたり+1.14℃の割合よりも大きいことから、高知市はより大きく温暖化が進んでいると考えられる。しかしその要因は地球温暖化だけでないと考えられる。はじめに気象庁が日本の年平均気温を求める際には都市化の影響が比較的少ない 15 地点(網走、根室、寿都、山形、石巻、伏木、飯田、銚子、境、浜田、彦根、宮崎、多度津、名瀬、石垣島)の平均を用いていることが挙げられる。2 つ目に、高知市の戦前(1886～1944 年)の気温上昇率は 10 年単位で-0.04℃であるのに対し、戦後(1945 年～2013 年)の気温上昇率は 10 年単位で+0.23℃であり、戦後の気温の上昇が顕著であったことが挙げられる。戦前の高知測候所(現地方気象台)があった土佐郡下知村稲荷新地（現高知市若松町）は田畑が広がる田園地帯であったが、1938 年に高知市南比島町（現高知市比島町）に移転し、戦後高度経済成長期に伴う都市化とともに、周囲は住宅密集地域となった。以上の 2 点から、高知市の温度変化は地球温暖化だけでなく人工的な都市化による影響も含まれると考えられる。都市化の検証については(4)で行う。

(3)高知市の季節別平均気温の経年変化

次に 1886 年～2013 年までの高知市の各季節の平均気温の変化傾向を調べた(表 1)。その結果、すべての季節で長期的に有意な上昇傾向を示し、特に夏と秋の気温上昇傾向が大きい。100 年単位の上昇率は、春は+1.39℃、夏は+1.60℃、秋は+1.65℃、冬は+1.20℃であった。また、四国地方の気候変動(2013)によると真夏日(日最高気温 30℃以上の日)の年間日数は 10 年単位で+2.7 日と有意な上昇傾向が、冬日(日最低気温 0℃未満の日)は 10 年単位で-4.3 日と有意な減少傾向が、熱帯夜(日最低気温 25.00℃以上の日)は有意な上昇傾向が見られた。真夏日は 1931～1940 年の平均 50 日から 2003 年～2012 年の平均では 71 日に増加し、冬日は 1931～1940 年の平均 42 日から 2003～2012 年の平均では 17 日に減少し、熱帯夜は 1931～1940 年の平均 2 日から 2003～2012 年の平均では 28 日に増加している。これらの結果から、高知市は 1 年を通して温暖化が進んでおり、将来的に季節の変化があまり感じられなくなる可能性も考えられる。

表 1. 各季節の平均気温変化(1887-2013)

	春	夏	秋	冬
1887-1906	14.28	14.28	24.33	6.42
1907-1926	13.90	13.90	24.29	6.16
1927-1946	13.91	13.91	20.50	6.04
1947-1966	14.71	14.71	25.00	6.75
1967-1986	14.92	14.92	25.26	6.52
1987-2006	15.40	15.40	25.79	7.66
2007-2013	15.53	15.49	26.21	7.91
100年単位の上昇率	1.39	1.60	1.65	1.20

(4)高知市の都市化による温暖化の影響

高知市が都市化による温暖化の影響を受けているか検証した。高知市から南東に 77km の室戸市と、西に 80km の檮原町と 1921 年以降の年平均気温について比較した(表 2)。

1921 年には高知市の方が室戸市より-0.50℃低温であった。しかし、1961 年にはその差は-0.10℃となった。さらに 1981 年には室戸市より+0.50℃、檮原町より+3.70℃高温となった。その後 2011 年には室戸市より+0.60℃、檮原町より+4.20℃高温となった。以上のことから、高知市は周辺と比べると都市化の影響でより温暖化が進んでいることがわかる。

表 2. 高知市と室戸市、檮原町との気温差(1921-2011)

年	高知市	室戸市		檮原町	
	年平均気温	年平均気温	高知市との気温差	年平均気温	高知市との気温差
1921	15.30	15.80	−0.50		
1941	15.90	16.50	−0.60		
1961	16.80	16.90	−0.10		
1981	16.10	15.60	0.50	12.40	3.70
1991	17.20	16.90	0.30	13.70	3.50
2001	17.20	16.70	0.50	13.30	3.90
2011	17.20	16.60	0.60	13.00	4.20

(5)高知沖の海面水温の長期変化傾向

高知県・水産振興部・水産試験場の調査船「土佐海洋丸」は 1975 年から、足摺岬から室戸岬沖合までの土佐湾沿岸海洋の 51 定点で月一回の頻度で海洋観測を継続して実施している。本論で使用した観測データは多層式塩分・水温計（水深 1000 m まで、水温・塩分を連続して測定）で計測されているものである。

気象庁（2005）によると海面水温の分布は短い時間スケールでは大気の影響を強く受けるが、長い時間スケールでは大気の流れに大きく影響を与える。このため、海面水温は気候変化の重要な要素である。高知県は円弧状の海岸線を持ち、暖流である黒潮海流を受けているため高知市の気温上昇の背

景には土佐湾沖の海水温度の変化が大きく影響している可能性がある。そこで、1976 年から 2012 年の高知沖の表面水温変動の観測記録より年平均海面水温と高知市の年平均気温の推移を比較し(図 4)、冬季を代表して 1 月、夏季を代表して 8 月の平均表水面温度経年変化を調査した(図 5)。その結果、海面水温の長期変動は陸域における地上気温とおおまかには同じパターンをとっていることが明らかとなった。また、海面水温の長期変化傾向）は 10 年単位で+0.44℃の上昇率で、陸域における地上気温の上昇率（10 年単位で+0.41℃）とほぼ同じである。季節ごとに見ると夏季の上昇率(10 年単位で+0.14℃)よりも冬季の上昇率(10 年単位で+0.57℃)が顕著に見られる。8 月は長期変化傾向を除くと、1992 年から 1994 年までの低温が顕著である。特に 1993 年は日本列島全域で記録的冷夏に見舞われている。これは 20 世紀最大規模の噴火といわれた 1991 年 6 月のピナトゥボ火山（フィリピン）噴火とブロッキング現象の異常が要因と考えられる。IPCC(2007)の報告によると、大規模な火山噴火が発生すると、成層圏内のエーロゾルの濃度が大きく上がるため、一回の噴

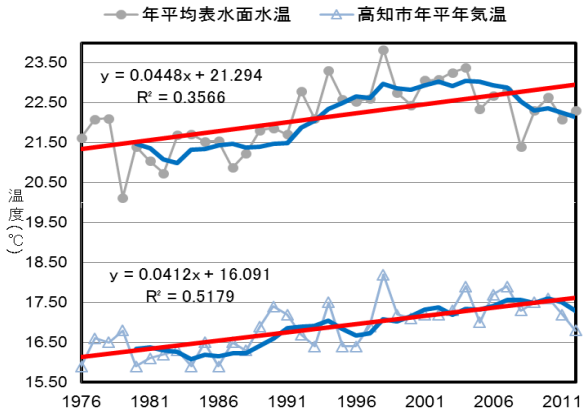

図 4. 高知沖年平均表水面水温と高知市の年平均気温の推移(1976-2012)

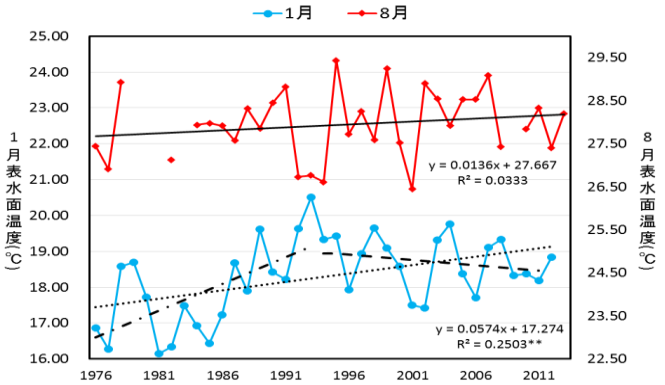

図 5. 1 月と 8 月の高知沖表水面温度の年推移(1976-2012)

の終わり頃から、対流圏の全球平均気温は下降し、翌年の火で世界の平均気温が数年間低下する事もありえる。1991 年 1992 年は平年よりも低い状態が続いた。気象庁(2011)が発表した日本の平均大気混濁係数は 1991～93 年に極大が見られピナトゥボ火山噴火によって硫酸塩エーロゾルの生成につながる二酸化硫黄が成層圏に大量に排出され、成層圏が長期間にわたって混濁したと考えられる。

(2)～(4)の検証の結果、高知市は主に温暖化と都市化の影響で気温、表水面温度ともに上昇していることが判明した。

5.2 高知市のソメイヨシノの開花現象について

高知市のソメイヨシノの開花日、開花から満開日までの所要日数と気温との関係性について検証した。

(1)ソメイヨシノの開花プロセス

ソメイヨシノは前年の夏にできた花芽の成長が、その後一旦止まり「休眠」という状態になる。休眠した花芽は、秋から冬にかけて 5.0℃前後の低温に一定期間さらされると眠りから覚め、再び生長を進める。これを「休眠打破」という。そして、春先の気温上昇に伴って花芽は生長する。気温が高くなるスピードにあわせて、花芽の生成も加速する。生成のピークを迎えると開花する。このように、ソメイヨシノをはじめとするサクラの花芽の休眠・休眠打破・生成・開花は、秋から冬にかけての気温と春先の気温に大きく関係している。つまり、サクラは四季のある日本の国で進化した植物といえる。また、小倉(1942)、坂井・河原(1952)により、サクラの場合開花と密接な関係にある気象要素は気温であって、その他の気象要素とは密接な関係がないことが明らかになっている。

(2)開花日の長期変化傾向

気象庁では全国各地のサクラ開花の統一的なデータを 1953 年より記録しており、ソメイヨシノの開花発表は、気象台で標本木として指定している木を観測して行う。高知県では、高知地方気象台で観測している。開花日とは 5、6 輪以上の花が咲いた最初の日を指す。気象庁生物季節観測累計年値より、1954 年～2013 年の高知市のソメイヨシノの開花日の推移を調査した(図 6)。ソメイヨシノの開花日は変動しながらも年度の推移と有意な負の相関関係にあった。解析に用いた期間内では最早値が 2010 年の 3 月 10 日、最晩値は 1957 年の 4 月 2 日、平均は 3 月 22 日、長期的に見ると 50

年当たり 5.7 日の割合で早期化しており、全国平均(4.2 日)よりも早いスピードで早期化している。また、1954 年～1989 年までと 1990 年～2013 年に分けて分析すると 1954～1989 年は 1 年当たり 0.07 日、1990 年～2013 年は 1 年当たり 0.28 日早期化しており、近年開花日がより早期化していることがわかる。

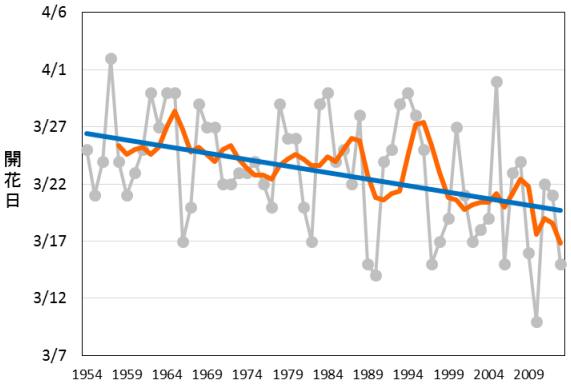

図 6.　高知市のソメイヨシノの開花日の推移

(3)開花日と月平均気温との関係

1954年～2013年にかけて休眠期や開花期に最も影響を与えるであろう1月から3月の各月の平均気温とソメイヨシノ開花日との相関および回帰分析を行い、有意性の有無を検定した(図7)。その結果、ソメイヨシノの開花日と3月平均気温との間に強い負の相関が認められた。相関係数は0.65、1%水準で有意であった。次いで2月の平均気温と相関が見られた。相関係数0.58、1%水準で有意であった。ソメイヨシノの開花日は3月の月平均気温と最も相関が高かったことから、開花の約1～2週間前の気温に最も影響を受けているということが考えられる。

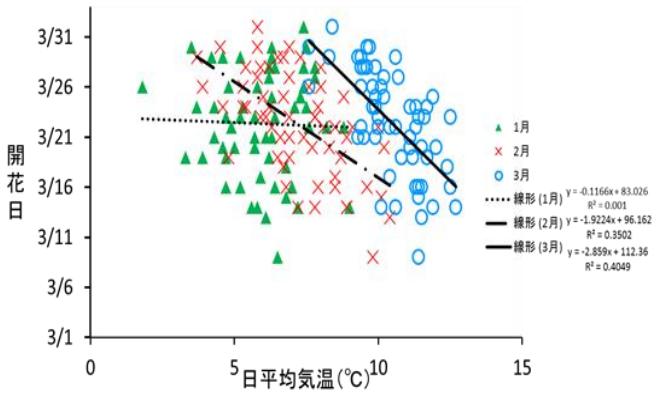

図 7.　開花日と月平均気温との相関関係(1 月、2 月、3 月)

(4)開花日と積算温度の関係

サクラの開花予想の方法の一つとして「積算気温追跡法」がある(桜前線研究所,2007)。これは一般に休眠打破が完了されているとされる 2 月 1 日から開花日までの日平均気温を積算し、合計がその地域のある一定の積算温度に達すると開花すると予測するものである。この手法を用い、高知市のソメイヨシノが開花に必要な積算温度について調査した。図 8 に 1961 年～2013 年のソメイヨシノの 2 月 1 日から開花日までの積算日平均気温をヒストグラム化したものを示す。高知市のソメイヨシノは平均が積算温度 427.50℃、最小値が 1977 年の 342.50℃、最大値が 2007 年の 508.90℃で、426.00℃～450.00℃に達すると開花に至るパターンが最も多かった。

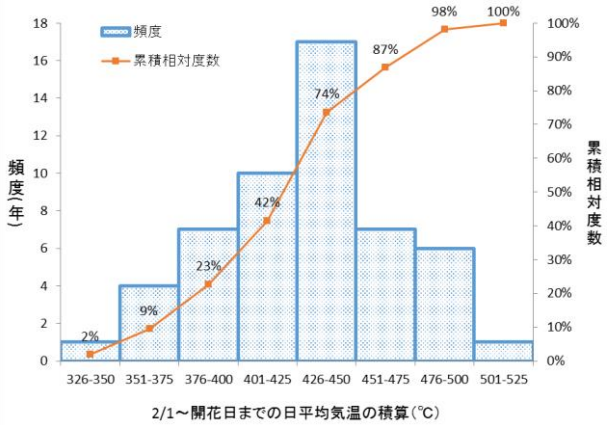

図 8.　2/1～開花日までの日平均気温の積算(1961-2013)

(5)開花から満開までの所要日数と同期間の気温との関係

満開日とは標本木で約 80%以上の蕾が開いた状態となった最初の日を指す。図 9 は 1981 年～2013 年の開花日から満開日までの所要日数についての経年変化を示したグラフである。その結果、開花日から満開日までの所要日数は平均値が 8.27 日、最早値は 1984 年と 2008 年の 4 日、最晩値は 1998 年の 14 日であった。また、年ごとのばらつきは大きいものの、経年的な変化は見られなかった。次に、開花日がともに 3 月 17 日だった 1982 年と 1998 年の開花から満開までの日最高気温の推移をグラフ化した(図 10)。その結果、開花してから日最高気温が高かった 1982 年は、満開まで 8 日しか経過しなかった。一方、開花後なかなか気温が上昇しなかった 1998 年は、満開までに 15 日も要している。同じ比

較を開花日がともに 3 月 22 日だった 1987 年と 2011 年でも行ったが、先程と同様開花後気温が早期に上昇した 2011 年は満開まで 10 日だったが、気温が上昇しなかった 1987 年は 13 日要した。これらの結果から、日最高気温が高い年は満開までの日数が短く、日最高気温が低い年は満開までの日数が長くなる傾向があることが示された。

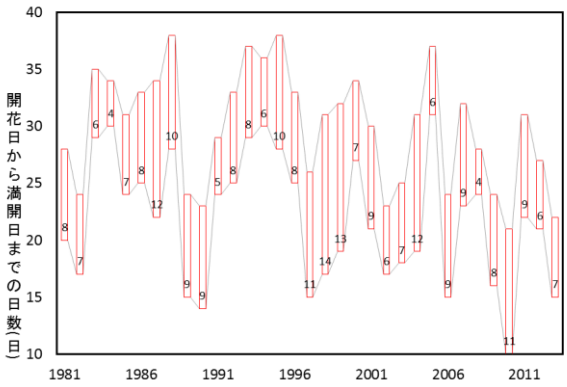

図 9. 開花日～満開日までの日数の経年変化(1981-2013)

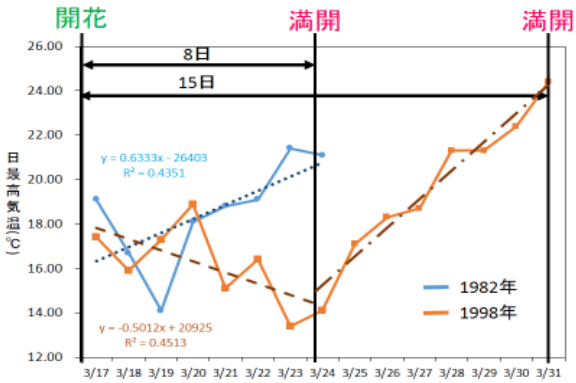

図 10. 開花日～満開日の日最高気温の変化(1982 年･1998 年)

5.3 高知市のソメイヨシノの休眠現象について

開花日に影響を与えるとされる休眠期間が気温変化の影響を受けているかを検証した。

(1) 休眠期間中の低温遭遇時間の推定

第 4 章においてソメイヨシノの開花には春先の高温が必要であると明らかにした。しかし、2006 年と 2007 年を事例に挙げると、2006 年は 3 月の月平均気温が 10.10℃、開花日は 3 月 15 日であった。一方、2007 年は 3 月の月平均気温が 11.34℃と 2006 年の 3 月と比較しても 1.00℃以上高温であったにもかかわらず開花日は 3 月 23 日であった。また、2002 年高知では 3 月の月平均気温が 12.54℃で高知市の観測史上最も高温だったにもかかわらず、開花日は 3 月 17 日と高知県の開花日観測史上最も早い年(2010 年)と比べると 7 日も遅かった。このような現象は比較的温暖な地方で頻繁に発生しており、ソメイヨシノの花芽が生長をはじめるのに必要な冬季の寒さが不十分だったために、3 月の月平均気温が高かったにもかかわらず開花が早まらなかったものと考えられる。果樹の開花や花芽は、一定量の低温に遭遇し休眠が打破された後、気温が高い条件で早まる。また、休眠期間中に必要な低温遭遇時間は、落葉果樹では一般に 7.2℃以下の積算時間で表される場合が多い(本條,2007、西元ら,1998)。ただ、一律ではなく樹種や品種によって大きく異なっている。例えば、ナシ「幸水」で 900 時間、モモ「あかつき」で 1000 時間などである。ソメイヨシノの場合、諸説あるが、2.0~8.0℃位で 800-1000 時間程度とも言われている。

(2) 開花日と低温遭遇時間との関係

低温遭遇時間を算出するには 1 時間毎の温度から 7.2℃以下の温度を積算する。ここでは高知気象台において 1 時間毎の気温の観測を開始した 1991 年から 2013 年までの 11 月 1 日から 2 月末までの 1 時間毎の温度から 7.2℃以下の温度を積算し、低温遭遇時間を算出した(図 11)。その結果、2 月末時点の低温遭遇時間の平均は 1060 時間で、最大値は 1996 年(開花日；3 月 25 日)の 1380 時間、最小値は 2007 年(開花日；3 月 23 日)の 688 時間となった。また、開花日が最も早かった 2010 年(開花日；3 月 10 日)は 891 時間であった。1996 年が冬季に低温遭遇時間を十分に取れていたにもかかわらず開花が早期でなかったのには 3 月の平均気温が関係している。1996 年の 3 月の月平均気温は 9.90℃であり、3 月の月平均気温の平年値 10.80℃よりも 1.00℃以上低温であったのである。そのため、早期に休眠を終了させたものの花芽

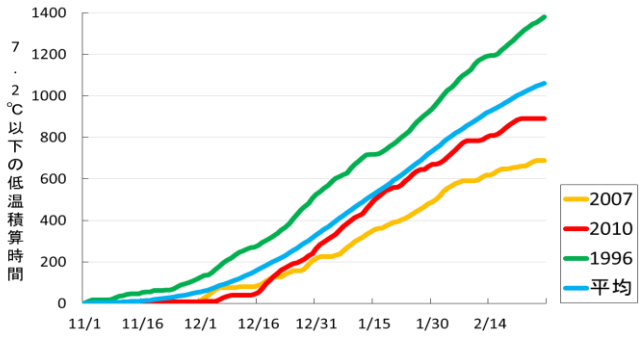

図 11. 7.2℃以下の低温遭遇時間の推移

の生長が遅れたため、開花日は早まらなかったと考えられる。一方、2007 年は全国的に記録的な暖冬を観測した年である。そのため、低温遭遇時間の不足が開花を遅延させたと考えられる。以上のことから、開花日を決定している要素は休眠中の低温と休眠後の気温であると考えられる。

5.4　高知市のソメイヨシノ開花・休眠現象の今後の動態

気象庁が行った将来の日本の気温予測を基に、開花日が今後どのように変化していくかを検証した。

(1)気温の将来予測

気象庁が 2013 年に発行した地球温暖化予測情報 8 巻では IPCC 温室効果ガス排出シナリオ A1B を用いた非静力学地域気候モデルによる日本の気候変化予測を行っている。それによると 21 世紀末と 20 世紀末を比較した場合、日本の年平均気温は温室効果ガスの増加に伴って、全国的に 2.5～3.0℃の上昇が予測される。

また高知県を含む西日本の太平洋側では年平均気温は +2.5℃～+3.0℃程度の上昇が予測されており(図 12)、夏から秋にかけて真夏日、熱帯夜が増加傾向になると考えられる。なお、都市化が進行した地域ではヒートアイランド現象に伴い局地的に気温が高くなるが(気象庁,2012)、この予測結果には都市の将来変化の影響は考慮されていない点からすると、都市での温暖化の影響はより将来より深刻になる。

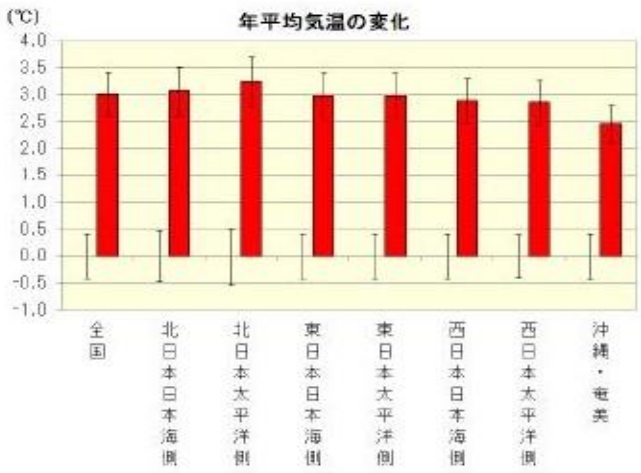

図 12.　地域別年平均気温の変化
(将来気候の現在気候との差)
【資料】気象庁

(2) 将来的な春季の気温上昇が開花時期に及ぼす影響

このような気温上昇に伴ってある一定の温度までは、高知市の開花日は今後もより早期化すると考えられる。そこで 1980 年～2013 年の 2 月から 3 月の日平均気温から平年値を求め、そこから+1.00℃～+3.50℃上昇した場合、5.2(4)で述べた高知市のソメイヨシノの開花に必要な積算気温である 426.00℃に到達する月日がどのように変化するかについて検証した(表 3)。その結果、開花日は気温が 1.00℃上昇するごとにソメイヨシノの開花日は約 3～4 日促進されることが判明した。現在の平均的な開花日は 3 月 22 日だが、1.00℃上昇すると 3 月 18 日、2.00℃上昇すると 3 月 14 日となる。気象庁が報告した気温上昇シナリオの通り 21 世紀末に+2.5℃～+3.5℃気温が上昇すると開花日は 3 月 10 日前後まで早期化する可能性がある。これは現在の開花日の最早値とほぼ同じである。しかし、今回の解析は休眠中の冬季の気温が現在とあまり変わらず、休眠打破後の春先の気温上昇のみを想定した場合である。よって、冬季の低温遭遇時間が遅延した場合また違った結果が予想される。

表 3.　2～3 月の気温が上昇した場合の開花日の変化

	開花日
平均値	3月22日
+0.50	3月20日
+1.00	3月18日
+1.50	3月16日
+2.00	3月14日
+2.50	3月13日
+3.00	3月11日
+3.50	3月10日

(3) 将来的な冬季の気温上昇が低温遭遇時間に及ぼす影響

次に将来的な気温上昇によって低温遭遇時間がどのように変化するかを検証した。1991 年～2013 年の 11 月 1 日～2 月 28 日までの 1 時間ごとの気温の平年値より+0.50℃～+3.50℃気温が上昇した場合 7.2℃以下の積算時間がどのように変化するかを調べた(表４)。その結果、気温が平年値から+0.50℃上昇するだけで 7.2℃以下の低温遭遇時間は 30 時間も削られることが判明した。また+1.00℃上昇した際には 186 時間削減された。11 月は気温が+1.50℃上昇すると低温

遭遇時間が 0 時間となった。+1.50℃を超えると 2 月末での低温遭遇時間は 600 時間を切り、平年値の 66%ほどしか積算できなかった。これらの結果はソメイヨシノが僅かな気温変動でも大きく生育に影響を与える可能性を示唆している。

表 4. 11 月～2 月の気温が上昇した場合の低温遭遇時間

	11月	12月	1月	2月	合計
平均積算時間	9	341	418	62	830
+0.50	5	295	384	56	740
+1.00	0	249	348	47	644
+1.50	0	216	302	42	560
+2.00	0	172	253	37	462
+2.50	0	142	201	36	379
+3.00	0	97	166	32	295
+3.50	0	57	121	27	205

(4) 将来的な開花日変化の予測

5.2(2)の過去の低温遭遇時間の統計データ結果から、低温遭遇時間は休眠がほぼ完了する 2 月 1 日までに最低約 500 時間あれば休眠は完了できるということが判明している。よって+1.50～+2.00℃まではソメイヨシノは開花できるがそれ以上の気温では低温遭遇時間を満たすことができず、休眠打破できない可能性が考えられ開花まで至らない可能性がある。更に、休眠が終了できても、開花不良や生育異常現象が起きる危険性を指摘できる。

6． 考察

高知市において気候変動とソメイヨシノの開花日への影響について考察した。その結果、以下のことが明らかになった。

(1)高知市の年平均気温は 100 年の上昇幅で+1.46℃の割合で上昇しており、また季節ごとの平均気温も四季すべてで長期的に有意な上昇傾向を示し、特に夏(6～8 月)と秋(9～11 月)の上昇傾向が大きい。これは温暖化の影響や、都市化によるヒートアイランドの影響、海水温の上昇の影響であると考えられる。

(2)ソメイヨシノの開花日は 1954 年～2013 年までに 50 年あたり 5.70 日の割合で早くなっている。開花日には 3 月の気温が最も影響しており 2 月 1 日からの積算温度が 426.00℃～450.00℃で開花に至る。また、開花直後の気温が高温であれば早期に満開日を迎えることがわかった。

(3)ソメイヨシノの 7.2℃以下の低温遭遇時間は 2 月 1 日までに最低 500 時間必要である。低温遭遇時間を早期に満たしても早期開花につながるわけではなく、低温遭遇時間と休眠打破後の気温の上昇が早期開花を決定する要素である。

(4)高知を含む西日本の気温は 21 世紀末と 20 世紀末を比較すると温室効果ガスの増加に伴って、+2.50～+3.50℃の上昇が予測される。ソメイヨシノの開花日は気温が 1.00℃上昇するごとにソメイヨシノの開花日は約 3～4 日促進されると考えられる。+1.50℃以上の上昇からは低温遭遇時間が正常に満たされず、ソメイヨシノの開花不良や生育異常現象が起きると予想される。

7. 今後の課題

本研究では、気候変動による高知市のソメイヨシノの開花に与える影響について統計データをもとに明らかにしたが、さらに開花日の変動に対する影響要因を検討し、将来的な予測の精度を上げるには、より多くのデータに基づいて多数の気象条件から見ていく必要がある。今後は解析期間を拡大し、ソメイヨシノの植物生理現象もより考慮し行いたい。

引用文献

[1]気象庁 2012. 『気候変動監視レポート』
[2]青野康之・小元敬男 1990. 都市昇温のサクラの開花に及ぼす影響について 農業気象 vol.46,No3,pp123-129
[3]青野康之・守屋千晶 2003. 休眠解除を考慮したソメイヨシノの開花日推定モデルの一般化
[4]増田啓子ら 1999. 生物季節による温暖化の影響と検出 地球環境 vol.4 No.1&2
[5]気象庁 2013. 『地球温暖化予測情報 8 巻』
[6]気象庁 2012. 『日本の気候変動とその影響』
[7]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 農業・生物系特定産業技術研究機構 果樹研究所編「平成 15 年度 果樹農業生産構造に関する調査報告書 果樹農業に対する気象変動の影響に関する調査」, 中央果実基金調査資料 No.189
[8]丸岡知浩・伊藤久徳 2009. わが国のサクラ(ソメイヨシノ)の開花に対する地球温暖化の影響 農業気象 vol.65,No.3,pp283-296
[9]西本ら 2009. 地球温暖化が園芸作物に与える影響評価「ニホンナシ、カンキツのデータ解析と果樹温暖化データベースの開発」 近畿中国四国農業・果樹
[10]長谷川耕二郎・尾形凡生 2007. 高知における最近 20 年のカキの萌芽, 開花および満開期と気温との関係 植物環境工学 vol.19,No.4,pp175-181
[11]永田ら 1981. 樹木の生物季節学的研究(Ⅰ) サクラの花芽形成と開花 三重大学農学部学術報告 vol.63 pp.205-216
[12]朝倉 2009. 暖地におけるサクラの開花・休眠打破日の推移と開花に必要な冬季の気温条件 日本気象学会 大会講演予講集 pp133
[13]気象庁 2013. 『四国地方の気候変動 2013』 pp45-50
[14]IPCC 2007. 『IPCC 第 4 次評価報告書』
[15]仙台管区気象台･函館海洋気象台 2011. 『東北地方の気候の変化』 pp11-12
[16]気象庁 2011. 『大気･海洋環境観測報告第 11 号』 pp162-194
[17]小倉裕 1942. 東京市内に於ける染井吉野桜の開花予想 産業気象調査報告 No.10,pp127-130
[18]坂井恭正・河原律子 1952. 東京における桜(ソメイヨシノ)の開花予想 産業気象調査報告 No.16,pp65-69
[19]西元ら 1998. 落葉果樹の低温遭遇時間による休眠完了予測 九州農業研究 vol.60 pp.210
[20]気象庁 2008. 『気候変動監視レポート 2007』