

# 日本におけるアジサイの開花日に関する気候学的研究

## A climatological study on flowering of *Hydrangea macrophylla* in Japan

華表 正明, 山口 隆子

Masaaki Torii, Takako Yamaguchi

法政大学文学部地理学科

*Hosei University*

(受付 2018年7月27日／受理 2019年3月26日)

日本におけるアジサイの開花日（1987年～2016年）の経年変化と地域差について、近年の春の高温化および暖冬の影響を含め、気候学的観点から検討を行った。開花日の線形回帰分析の結果によれば、30年間の開花日変化率の全国平均（54地点）は、早期化の傾向が見られた。地点別の開花日変化率の分布では、西南太平洋側の地点で晚期化、北日本の地点で早期化という地域差が認められた。1987年～1996年、1997年～2006年の各10年の変化率は若干の晚期化、2007年～2016年は早期化を示した。また、相関分析の結果によれば、30年間の開花日の全国的な早期化は春の高温化と有意な相関が認められた。一方、晚期化した13地点では、1997年～2006年において暖冬の影響よりも、総じて春の気温の影響を受けていた。加えて、日本を5つの地域に分けた地域別の30年間ににおける開花日変化率は、全ての地域で早期化を示したが、その傾向は北海道が最も強く、九州が最も弱かった。

キーワード：アジサイ，開花日，地域差，経年変化

In this paper, flowering dates of the Japanese *Hydrangea macrophylla* were examined to clarify temporal and spatial variations from 1987 to 2016 on climatological approach, including effects of warming from winter to spring in recent years and in winter. By linear regression analysis of the flowering dates against the year, phenological trend from 1987 to 2016 on average at 54 stations was shown to be negative, *i.e.*, advancing flowering. Many stations showed earlier flowering in north-eastern Japan, however, the flowering dates were delayed at 13 stations mainly in south-western Japan, located in warm areas, showing spatial variation. Trends in flowering dates indicated to be slightly delayed in both 1987-1996 and 1997-2006, and to be earlier in 2007-2016. Results of correlation analysis from 1987 to 2016 at 54 stations indicated that there were significant relationships between advancing flowering and spring warming. On the other hand, delayed flowering in phenological trend from 1997 to 2006 at 13 stations was dependent more on spring temperature than warming in winter. With respect to the spatial variations, trend in flowering dates from 1987 to 2016 indicated to be negative, *i.e.*, advancing flowering for all 5 areas in Japan, showing the earliest in Hokkaido area and the least early in Kyushu area.

Key words: *Hydrangea macrophylla*, flowering date, spatial variation, long-term trend.

## 1. はじめに

気象庁は、大気現象の推移に伴う動物・植物の変化を通して、季節の進行や気候の状況などを知ることを目的として生物季節観測を行っている。この生物季節の変化は、気候の長期間の推移・変化を知るための指標とされてきた（例えば、松本と福岡（2002））。

植物季節についての先行研究は、春（ソメイヨシノ）、秋（イチョウ、イロハカエデ）、冬（ウメ）の植物季節が多く、夏の植物季節の研究は少ない。夏の花であるアジサイについては、日本全体における開花日に関する地理学的視点からの研究も少ないため、基礎的な経年変化と地域差の分析を行う必要がある。

近年の植物季節の経年変化については、開花日が早期化していることが報告されており、さらに、開花日の経年変化傾向における地域的な差異についても指摘してきた。例えば、清水と大政（2010）によれば、ウメの開花日の早期化が1961年～2007年の47年間における主要な傾向であった。そして、1980年代半ば以後、九州地方および尾鷲など相対的に温暖な地域で開花日の遅れが見られた。一方で、Nasu *et al.* (2005) によれば、アジサイについて対象88地点のうち、有意水準1%未満で有意であった64地点（対象88地点の73%にあたる）で開花が早期化していた。しかし、地域的な差異については述べられていない。

また、近年の日本全体あるいは都市規模の気温の上昇に呼応して植物の発芽、開花、落葉などの植物季節に変化が見られる。この植物季節の変化と気温変化との強い対応関係は、多く指摘されてきた（例えば、小元と青野（1990）小倉（1942））。加えて、将来のサクラの開花日を温度変換日数法により予測した結果、開花日が遅くなった地域は、冬季の温暖化による休眠打破<sup>1)</sup>の遅れが大きく効いていることが指摘してきた（例えば、丸岡と伊藤（2009）塚原と林（2012））。

アジサイに関する先行研究では、アジサイの開花日と気象要素との関係について、必ずしも明らかではない。Nasu *et al.* (2005) は、1961年～2001年までの期間の12種類の植物季節（開花・開芽）を対象に解析し、植物季節の変化と気温変化との

強い対応関係を指摘した。アジサイについては、開花日前106日間における平年値との気温偏差と有意な相関があることを示した。しかし、開花日が開花日直前の気温変化に大きく影響を受けることを前提としており、暖冬の影響が明確ではない。一方で、青野と小元（1992）によれば、温度変換日数法によりヤマツツジ・フジ・アジサイについて開花日の推定を行ったが、アジサイの推定精度が最も悪かった。

Nasu *et al.* (2005) では、アジサイについて1961年～2001年までの期間を対象に解析しており、2002年以後の生物季節のデータに基づいた研究は、なされていない。従って、Nasu *et al.* (2005) の研究成果を踏まえて、2002年～2016年の間も Nasu *et al.* (2005) と同様の全般的な早期化傾向が最近になっても変わらないか、あるいはそれが顕著になっているか、その原因を含めて確認する必要がある。その間において気候の変動が考えられることから、その影響の解析および暖地と寒地における開花日の地域差の状況を明らかにする必要がある。

そこで、本研究では、日本におけるアジサイの開花日の経年変化および地域差異について、近年の春の高温化および暖冬の影響を含め、気候学的に考察することを目的とした。

## 2. データおよび解析方法

### 2.1. 生物季節観測データ

アジサイの開花日<sup>2)</sup>のデータは、気象官署により観測された各地の生物季節観測データを使用した。具体的には、『生物季節観測値 収録期間：1953年～2011年』CD-ROM版（気象庁編集、一般財団法人 気象業務支援センター発行）および気象庁の生物季節各観測所のデータ（2012年～2016年）を用いた。

対象観測地点は、気象庁が生物季節観測を行っている観測所から選定した。ここでは、1987年から2016年における30年間<sup>3)</sup>の観測データを対象として、欠測率2割以内の観測地点を抽出した結果、54地点<sup>4)</sup>を解析の対象として選んだ。これは相関係数等を算出するうえで客觀性を担保するためである。開花日は月日ではなく、解析

のし易さから DOY(Day of Year)表示（1月1日を1と起算し、平年の12月31日を365とした日数）とした。さらに、30年間を3期間に分割し、期間1を1987～1996年、期間2を1997～2006年、期間3を2007～2016年とした。

地域別の区分は、気象庁がホームページで公表している「地方季節予報の予報区分」(Fig.1)を参考にして、日本全国を北海道、東北、東日本、西日本、九州の5地域に区分した。なお、東日本地域は関東甲信地方、北陸地方、東海地方の3地方、西日本地域は近畿地方、中国地方、四国地方の3地方とした。

## 2.2. 気象データ

気象データは、気象官署データの年平均気温、月平均気温、日平均気温、日最低気温の月平均、月平均相対湿度、月降水量を使用した。気温は、「年平均気温」、1月から5月までの「月平均気温」、「日平均気温」を5月から1か月毎に遡った2か月平均・3か月平均・4か月平均、「日最低気温の月平均値」(前年の11月と12月、1月～5月)を使用した。

地域別の開花日と気温との相関分析において、気温は、「3か月平均気温（3月～5月）」を使用した。加えて、北海道・東北地域では「3か月平均気温（4月～6月）」を使用した。これは、北海道・東北地域では開花日が7月から8月初旬と遅いことから、3か月平均気温の起算月を変化



Fig.1 Regional map for seasonal forecasts (Japan Meteorological Agency).

させたものである。

地点別の開花日と気温との相関分析において、気温は、「3か月平均気温（3月～5月）」と「日最低気温の月平均値(前年の11月)」を使用した。

## 2.3. 解析方法

本研究では、各観測地点におけるアジサイの開花日の経年変化傾向を調べるために、開花日と観測年次との線形回帰分析を行った。この回帰係数は1年毎の開花日の変化傾向を示す。対象データの年次に結果は左右されるため、期間1～3の各期間の変化傾向を確かめた。

また、経年変化や地域差は気象要素（気温、月平均相対湿度、月降水量）によると考え、近年の春の高温化および暖冬の影響を含め、気象要素と開花日との相関分析を行った。さらに、早期化した地点と晚期化した地点、早期化した期間と晚期化した期間に区分して気温変化率および気温と開花日との相関係数を算出した。

地域的な差異の傾向を把握するため、平均開花日の等値線図を作成した。また、気候要素に影響を与える気候因子である緯度、経度、標高から平均開花日の重回帰式を求め、平均開花日の遅速の地域性を解析した。同様に、期間別の平均開花日に関する重回帰分析を行った。

加えて、地域差を考察するため、地域別の経年変化の分析および、地域別に気温と開花日との相関分析を行った。また、地点別の気温変化率および地点別の開花日と気温との相関係数に基づいて、暖地と寒地における秋・冬の気温の開花日への影響を考察した。一部の地点では、春と秋の気温と開花日との重回帰分析を行った。

なお、期間1～3の各期間の開花日を $F_1, F_2, F_3$ 、各期間の平均開花日を $F_{M1}, F_{M2}, F_{M3}$ 、各期間の気温を $T_1, T_2, T_3$ とする( $F_i$ は開花日、 $T_i$ は気温、 $i$ は期間を表す数字(1～3)、 $F_M$ は30年間の平均開花日)。各期間のトレンドについて開花日の場合は $T_{F1}, T_{F2}, T_{F3}$ 、気温の場合は $T_{T1}, T_{T2}, T_{T3}$ とする。地域別のトレンドについて開花日の場合は $T_{Fa}$ 、気温の場合は $T_{Ta}$ とする。

Table 1. Mean flowering dates for 30 years ( $F_M$ ), trends of flowering dates for 30 years ( $T_F$ ,  $p < 0.05$ ) and three periods ( $T_{F1}$ ,  $T_{F2}$ ,  $T_{F3}$ ,  $p < 0.05$ ), mean differences between  $F_{M3}$  and subintervals ( $F_{M1}$  and  $F_{M2}$ ,  $p < 0.05$ ).

Weather Station	$F_M$ (DOY)	$T_F$ (d y <sup>-1</sup> )	$T_{F1}$ (d y <sup>-1</sup> )	$T_{F2}$ (d y <sup>-1</sup> )	$T_{F3}$ (d y <sup>-1</sup> )	Mean differences between $F_{M3}$ &						
						$F_{M1}$	$F_{M2}$					
Wakkanai	225	-0.42	-0.08	<i>p</i>	-0.20	<i>p</i>	-0.26	<i>p</i>	-3.90	-3.20		
Asahikawa	202	0.00	<i>p</i>	0.10	-0.07	0.31	-0.40		0.30			
Abashiri	219	-0.47	-0.16	<i>p</i>	-0.12	<i>p</i>	-0.39		-7.37	-2.42		
Sapporo	198	-0.23	<i>p</i>	-0.13	0.24		-0.14		-5.19	<i>p</i>	-1.30	
Murooran	219	-0.32	0.05	<i>p</i>	-0.04	<i>p</i>	-0.18		-7.00	<i>p</i>	-7.00	<i>p</i>
Hakodate	200	-0.34	-0.09	<i>p</i>	0.31		0.03		-8.70	<i>p</i>	-3.44	
Aomori	196	-0.32	0.17	<i>p</i>	-0.38		-0.11		-7.40		-7.27	<i>p</i>
Akita	184	-0.50	-0.32		0.19		-0.16		-10.10	<i>p</i>	-3.30	
Morioka	188	-0.07	<i>p</i>	-0.07	0.66		-0.54		-0.90		1.80	
Yamagata	184	0.04	<i>p</i>	-0.04	-0.01		-0.02		2.30		5.80	
Sendai	181	0.01	<i>p</i>	-0.03	0.22	<i>p</i>	-0.26		-0.20		0.10	
Fukushima	178	-0.08	<i>p</i>	0.16	0.10		-0.21	<i>p</i>	-1.30		3.40	
Wajima	179	-0.14	<i>p</i>	0.55	-0.20		0.37		-1.70		3.50	
Niigata	175	-0.20	<i>p</i>	0.19	0.30		-0.30		-5.10		0.50	
Kanazawa	167	-0.17	<i>p</i>	-0.28	0.26		-0.36		-3.60		2.50	
Toyama	170	-0.21	<i>p</i>	-0.03	0.22		-0.48		-3.80		-2.60	
Nagano	183	-0.55		-0.14	-0.53		-0.26		-11.50	<i>p</i>	-0.07	
Utshunomiya	173	-0.22		0.23	<i>p</i>	0.01	<i>p</i>	-0.32	-5.70		-0.70	
Fukui	167	-0.16	<i>p</i>	-0.03	0.25		-0.71		-3.40		2.70	
Maebashi	168	-0.33	<i>p</i>	-0.04	0.12		-0.37		-6.78	<i>p</i>	0.58	
Kumagaya	168	0.05	<i>p</i>	-0.11	-0.09		-0.21	<i>p</i>	2.00		4.56	
Mito	172	-0.37	<i>p</i>	0.12	0.29		-0.35		-7.80	<i>p</i>	-2.30	
Gifu	161	-0.15	<i>p</i>	0.23	0.28		-0.42		-4.20		-0.10	
Nagoya	161	0.23	<i>p</i>	-0.10	0.03		-0.06		4.98	<i>p</i>	9.40	<i>p</i>
Kofu	174	0.16		0.13	0.08	<i>p</i>	-0.02	<i>p</i>	2.67		2.00	
Choshi	165	0.35		0.23	0.30	<i>p</i>	-0.13		5.30	<i>p</i>	4.30	
Tsu	160	-0.17	<i>p</i>	0.20	0.15		0.02		-4.60	<i>p</i>	-2.30	
Shizuoka	164	-0.04	<i>p</i>	0.10	0.29		-0.40		-1.60		2.70	
Tokyo	156	-0.43		0.38	-0.28		-0.19	<i>p</i>	-8.50	<i>p</i>	-3.50	
Yokohama	163	0.10	<i>p</i>	0.40	-0.05		0.32		1.20		2.90	
Matsue	171	0.09	<i>p</i>	0.32	0.34		-0.14		1.60		3.90	<i>p</i>
Tottori	168	-0.09	<i>p</i>	0.46	0.22		-0.42		-3.00		4.10	
Maizuru	173	-0.23	<i>p</i>	-0.16	-0.12		-0.38		-3.30	<i>p</i>	0.40	
Kyoto	165	-0.21	<i>p</i>	0.50	0.11		0.08		-4.75	<i>p</i>	1.10	
Hikone	171	-0.05	<i>p</i>	0.07	0.21		0.01		-1.90		-0.40	
Shimonoseki	164	-0.16	<i>p</i>	0.20	0.13	<i>p</i>	0.16		-4.90	<i>p</i>	0.20	
Hiroshima	162	-0.14	<i>p</i>	0.11	0.10		-0.55		-3.00		0.10	
Okayama	163	0.14	<i>p</i>	0.31	0.02		0.06	<i>p</i>	2.92		7.32	<i>p</i>
Kobe	161	-0.17		-0.17	<i>p</i>	0.16	<i>p</i>	0.41	-4.20		2.20	
Osaka	159	-0.04	<i>p</i>	-0.29	0.02	<i>p</i>	-0.31		-0.40		1.10	
Wakayama	159	0.10	<i>p</i>	0.17	0.13	<i>p</i>	-0.10		1.75	<i>p</i>	2.80	
Nara	165	-0.08	<i>p</i>	0.32	0.17	<i>p</i>	-0.44		-2.53		1.30	
Fukuoka	157	-0.19	<i>p</i>	0.10	0.07		-0.53		-4.30		0.10	
Saga	157	-0.33		-0.17	0.16	<i>p</i>	-0.82		-6.70	<i>p</i>	5.30	
Oita	160	-0.26	<i>p</i>	0.63	-0.14		-0.28		-5.90	<i>p</i>	0.30	
Nagasaki	157	-0.12	<i>p</i>	0.44	-0.13		-0.01		-2.80		-2.20	
Kumamoto	154	-0.35		-0.12	-0.10		0.26		-7.59	<i>p</i>	4.11	
Kagoshima	151	0.40	<i>p</i>	0.46	0.18		0.17		7.20	<i>p</i>	9.40	<i>p</i>
Miyazaki	151	0.47		0.37	0.23	<i>p</i>	0.18		7.30	<i>p</i>	6.50	
Matsuyama	161	-0.32		-0.10	-0.10	<i>p</i>	-0.21	<i>p</i>	-5.10		-4.70	<i>p</i>
Takamatsu	161	-0.24	<i>p</i>	-0.01	0.03		-0.55		-5.00	<i>p</i>	0.40	
Kochi	155	0.07	<i>p</i>	0.13	0.37		0.04		1.10		6.00	<i>p</i>
Tokushima	163	-0.05	<i>p</i>	-0.49	0.21		-1.04		-0.70		5.10	<i>p</i>
Naze	149	-0.08		0.27	<i>p</i>	-0.02	<i>p</i>	0.08	<i>p</i>	-4.10		-3.31
Average	171	-0.13		0.09	0.08		-0.19		-2.79		1.09	
SD	17.35	0.22		0.24	0.21		0.30		4.21		3.66	

### 3. 結果と考察

#### 3.1. 開花日の経年変化

##### 3.1.1. 開花日の変化率

Table 1 に、1987 年～2016 年における地点別の平均開花日( $F_M$ )および開花日変化率( $T_F$ )を示す。開花日と観測年の 30 年間の線形回帰分析の結果によれば、開花日の 54 観測地点のうち、統計的に有意 ( $F$ -test,  $p < 0.05$ ) であった地点は 37 地点であり、全観測地点の 68.5% であった。54 地点における変化率の平均値と標準偏差は  $-0.13 \text{ d y}^{-1}$ ,  $\pm 0.22 \text{ d y}^{-1}$  であり、1987 年～2016 年までの 30 年間において開花が約 3.8 日早くなつた。しかし正の変化率を示す観測地点が複数存在するため、標準偏差の値も大きかつた。

Fig. 2 に、1987 年～2016 年における開花日変化率の分布図を示す。負の値の変化率を示す観測地点は 40 地点が該当した。このうち統計的に有意な結果を示す地点は 26 地点であり、全観測地点の 48.1% であった。正の値の変化率を示す地点は 14 地点（変化率 0.00 の旭川を含む。）であるが、統計的に有意な値を示す地点は 11 地点あり、全観測地点の 20.4% であった。これらの観測地点は宮崎、鹿児島、高知、岡山、和歌山、名古屋、甲府、横浜、銚子などであった。正の変化率の地点は、九州南部地方と東海地方の西南太平洋側に多く分布していた。開花日の変化率の最大値は宮

崎の  $0.47 \text{ d y}^{-1}$ 、最小値は長野の  $-0.55 \text{ d y}^{-1}$  であった。条件を不变とすれば、宮崎と長野は今世紀半ばに同時に開花することになる。

Fig. 3 に、稚内と宮崎の開花日の経年変化を示す。開花日の経年変化の変化率（回帰係数）は、南九州の開花の晚期化（宮崎： $0.47 \text{ d y}^{-1}$ ），北海道の早期化（稚内： $-0.42 \text{ d y}^{-1}$ ）という「南北差」を示した。条件を不变とすれば、宮崎と稚内は今世紀末に同時に開花することになる。しかし、これらはあくまでも線形回帰を前提とした単純な比較であり、実際を予測するものではない。

##### 3.1.2. 開花日の期間別の比較

Fig. 4 に、期間 1～3 の開花日変化率の分布図を示す。また、Table 1（前出）に、地点別および期間別の開花日変化率を示す。30 年間の変化率( $T_F$ )の全国平均 ( $-0.13 \text{ d y}^{-1}$ ) は開花の早期化の傾向が見られた。 $F_1$  と  $F_2$  の変化率( $T_{F1}, T_{F2}$ )は若干の晚期化（各々  $0.09 \text{ d y}^{-1}, 0.08 \text{ d y}^{-1}$ ）， $F_3$  の変化率( $T_{F3}$ )は一転して早期化 ( $-0.19 \text{ d y}^{-1}$ ) を示した。開花日の早まりが 30 年間の主要な傾向であり、これは特に  $F_3$  の開花日の状況がその傾向に寄与していると考えられる。

なお、 $F_{M3}$  を  $F_{M1}$  および  $F_{M2}$  と比較すると、室蘭は  $F_{M1}$  と  $F_{M2}$  において開花日が早くなり、名古屋と鹿児島は両期間において開花日が遅くなつており、特徴的な開花日の変化が見られた。

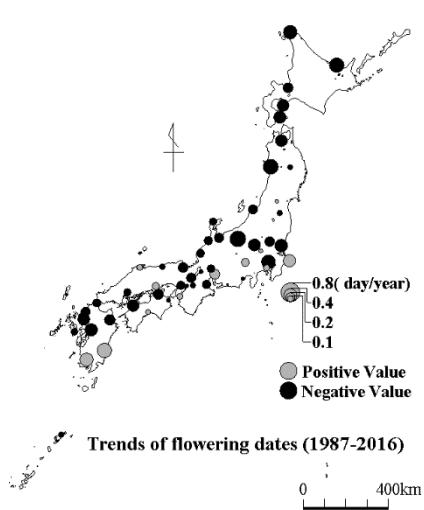


Fig. 2. Geographical distribution of trends of flowering dates from 1987 to 2016.

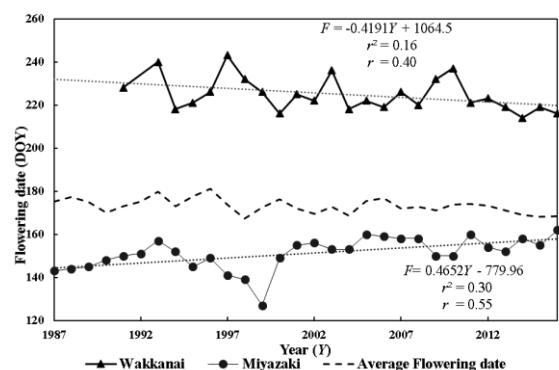


Fig. 3. Yearly variation of flowering date at Wakkai and Miyazaki and of average flowering date at 54 stations.

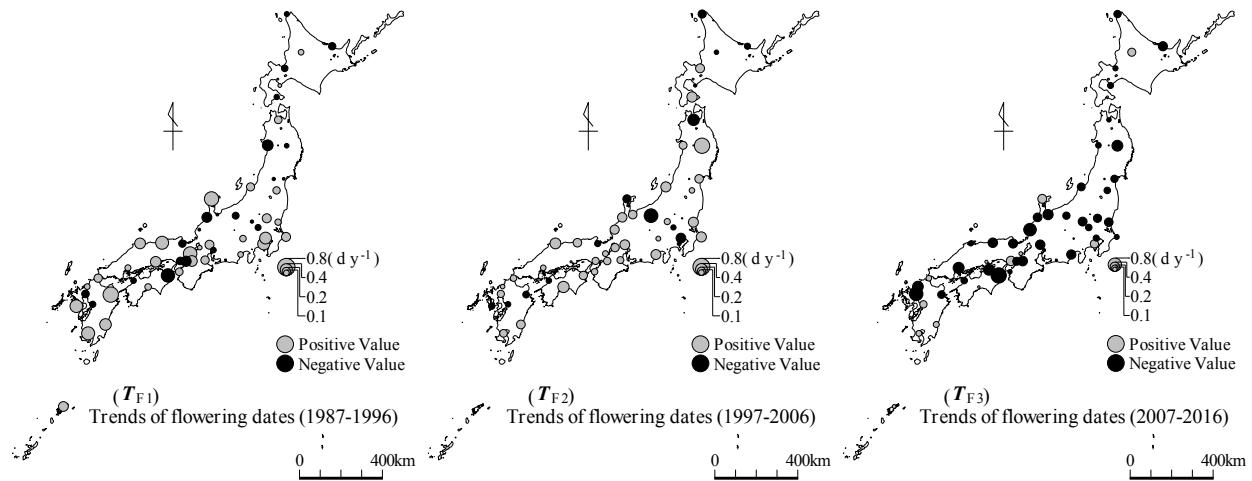


Fig. 4. Geographical distribution of trends of flowering dates for the three periods ( $T_{F1}$ : 1987-1996,  $T_{F2}$ : 1997-2006,  $T_{F3}$ : 2007-2016).

### 3.2. 開花日と気象要素との関係

#### 3.2.1. 開花日の早期化と気温との相関

開花日の早期化と気温との関係を検証する目的で、30年間における54地点の気温と開花日の相関分析を行った。

Table 2 に、30年間における気温の変化率( $T_T$ )、気温と開花日との相関係数( $r$ )を示す(数値は地点別の値の平均値である)。その結果、「日平均気温の3か月(3月～5月)平均値」(以下、3か月平均気温と呼ぶ)と開花日との相関が最も強かった( $r: -0.59$ )。また、3か月平均気温の変化率( $T_T: +0.27^{\circ}\text{C decade}^{-1}$ <sup>5)</sup>)は高温化を示した。これは春の高温化と開花日の早期化との強い負の相関を意味する。加えて、Table 2 に、気温と開花日との相関の検定において有意な相関( $p < 0.05$ )を示した観測地点数( $N_S$ )を示す。その結果、3か月平均気温が最も多くの地点数を得た。有意な相関を示す観測地点は、54地点のうち50地点であった。このことは、Nasu *et al.* (2005) が報告した、開花日前106日間における平年値との気温偏差と有意な相関があるという結果と同じ傾向にあると考えられる。

なお、「日最低気温の月平均値」(前年の11月と12月、1月と2月)と開花日との相関は弱く、暖冬の影響は認められなかった。日最低気温の月

平均値(前年の11月と12月、1月と2月)において、有意な相関を示す地点が多かったのは、2月(26地点)と前年11月(22地点)であった。

#### 3.2.2. 開花日の晚期化と気温との相関

前項では、開花日と日最低気温との明確な相関が認められなかった。そこで、開花日の晚期化の理由を探るため、30年間の開花日が正の変化率を示す13地点(正の変化率の地点は14地点あるが、旭川は0.00のため以下の分析では除外した。)と負の値を示す40地点および、期間2と期間3について、解析を続けた。なお、期間2では開花日変化率の54地点の平均は晚期化しており、期間3では54地点の平均は早期化していた。

Table 2(前出)に、13地点と40地点、期間2と期間3の気温変化率および気温と開花日の相関係数( $r$ )を示す(数値は地点別の値の平均値である)。その結果、期間3における40地点の相関係数の平均では「3か月平均気温(3月～5月)」との強い負の相関( $r: -0.57$ )が認められた。加えて、期間3の13地点の平均でも「3か月平均気温」との相関( $r: -0.38$ )が認められた。なお、期間3の13地点の平均では「3か月平均気温(3月～5月)」との相関と比較して、「1月の日最低気温の月平均値」とのやや強い負の相関( $r: -0.44$ )

を示しており、特徴的な傾向が見られた。

また、期間2において13地点の相関係数の平均と40地点の相関係数の平均とともに「3か月平均気温(3月～5月)」との強い負の相関( $r$ は各々-0.64, -0.61)が認められた。これは、「3か月平均気温(3月～5月)」が低下するほど、開花日は晩期化することを示す( $T_{T2}$ は各々 $-1.24^{\circ}\text{C decade}^{-1}$ ,  $-0.99^{\circ}\text{C decade}^{-1}$ ,  $T_{F2}$ は各々 $0.14\text{ dy}^{-1}$ ,  $0.07\text{ dy}^{-1}$ )。開花日の晩期化は、冬の気温の影響よりも、総じて春の気温の低下の影響から発生したものと考えられる。つまり、開花の早期化と晩期化に、「3か月平均気温(3月～5月)」の変化が影響を与えていていることを意味する。このことから、花芽を形成する11月から開花日までの生長期間において、総じて開花日の直前3か月の気温変化が、開花日の経年変化に影響を及ぼすことが示唆される。

さらに、開花日と気温以外の気象要素との関係を考察するため、開花日と月平均相対湿度、月降水量との相関係数を算出したが、相関は認められなかつた。

### 3.3. 開花日の地域差

#### 3.3.1. 開花日と緯度・経度・標高の重回帰分析

Fig. 5に、1987年～2016年における平均開花日の等値線図を示す。開花は、5月の終わりから

6月初めに九州地方南部で始まる。そこから北上して、7月には東北から北海道にかけて北上し、8月中旬には北海道北部に達する。このような開花日の地域的な差異の要因として推測されるのが、気候要素に影響を与える気候因子(緯度・経度・標高)である。そこで、緯度・経度・標高と平均開花日との重回帰分析を行った。その結果、全国的傾向として、次の重回帰式が得られた。

$$F_M = 5.82\varphi - 0.97\lambda + 0.025H + 91.52$$

( $F_M$ は平均開花日,  $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $H$ はそれぞれ緯度( $^{\circ}$ ), 経度( $^{\circ}$ ), 標高(m)を示す。)

平均開花日は緯度 $1^{\circ}$ 北上すると5.8日遅くなり、東に経度 $1^{\circ}$ で0.97日早くなり、海拔高度1mで0.025日遅くなっていた。また検定の結果は、決定係数0.92、有意水準5%未満で有意であった。特に緯度と経度は有意水準1%未満で有意であつた。

Fig. 6に、平均開花日と緯度の散布図を示す。平均開花日と緯度との単回帰分析の結果によれば、開花前線の緯度 $1^{\circ}$ あたりの北上速度は約5.0日であった(決定係数は0.90)。増田ほか(1999)によれば、開花日は、緯度との相関が強く、緯度 $1^{\circ}$ 北上すると約5.4日遅くなった(決定係数は0.843)。また緯度と年平均気温との単相関は、緯

Table 2. Mean trends of temperature ( $T_T$ : 1987-2016 at 54 stations,  $T_{T2}$ : 1997-2006 at 13 stations and 40 stations,  $T_{T3}$ :

2007-2016 at 13 stations and 40 stations), mean of the correlation coefficients between flowering dates and temperature ( $r$ : 1987-2016 at 54 stations, 1997-2006 at 13 stations and 40 stations, 2007-2016 at 13 stations and 40 stations), number of the stations ( $N_s$ ) that showed statistical significance ( $p < 0.05$ ,  $t$ -test for the correlation analysis). Note: 13 stations and 40 stations were the stations showing delayed flowering and early flowering respectively from 1987 to 2016.

Temperature	$T_T(\text{ }^{\circ}\text{C decade}^{-1})$	$r$	$N_s$	$T_{T2}(\text{ }^{\circ}\text{C decade}^{-1})$	$r$	$T_{T2}(\text{ }^{\circ}\text{C decade}^{-1})$	$r$	$T_{T3}(\text{ }^{\circ}\text{C decade}^{-1})$	$r$	$T_{T3}(\text{ }^{\circ}\text{C decade}^{-1})$	$r$
				(13 stations)		(40 stations)		(13 stations)		(40 stations)	
Yearly mean temp.	0.22	-0.50	49	-0.36	-0.45	-0.18	-0.42	0.20	-0.36	0.20	-0.31
Mean temp. (May)	0.45	-0.47	44	-1.13	-0.45	-0.82	-0.41	1.53	-0.39	1.68	-0.56
Mean temp. (April)	0.10	-0.50	47	-0.94	-0.58	-0.94	-0.57	1.46	-0.29	1.37	-0.48
Mean temp. (March)	0.25	-0.38	44	-1.63	-0.41	-1.19	-0.38	0.59	-0.25	0.65	-0.44
Mean temp. (February)	0.07	-0.29	30	0.31	-0.46	0.23	-0.51	-1.02	-0.26	-0.93	-0.08
Mean temp. (January)	-0.24	0.05	7	-0.72	0.11	-0.58	0.06	-0.50	-0.40	-0.52	-0.20
Mean temp. (April - May)	0.28	-0.57	48	-1.04	-0.61	-0.88	-0.60	1.49	-0.36	1.53	-0.55
Mean temp. (March - May)	0.27	-0.59	50	-1.24	-0.64	-0.99	-0.61	1.19	-0.38	1.24	-0.57
Mean temp. (February - May)	0.06	-0.31	37	-0.27	-0.41	-0.26	-0.45	-0.26	-0.31	-0.31	-0.22
Min. temp. (May)	0.41	-0.46	45	-0.79	-0.41	-0.54	-0.42	1.09	-0.36	1.19	-0.45
Min. temp. (April)	0.15	-0.48	47	-1.43	-0.54	-1.28	-0.48	1.54	-0.29	1.40	-0.44
Min. temp. (March)	0.15	-0.30	30	-1.60	-0.39	-0.92	-0.35	0.68	-0.28	0.57	-0.39
Min. temp. (February)	0.09	-0.27	26	0.59	-0.36	0.48	-0.47	-0.65	-0.26	-0.40	-0.10
Min. temp. (January)	-0.18	0.02	7	-0.54	0.10	-0.45	0.02	-0.68	-0.44	-0.53	-0.20
Min. temp. (December)	0.04	-0.12	9	-0.54	-0.25	-0.84	-0.22	-1.18	-0.13	-0.90	0.01
Min. temp. (November)	0.49	-0.22	22	-0.54	-0.02	0.56	-0.08	0.78	-0.24	0.98	-0.11

度 $1^{\circ}$ 北上すると約 $1^{\circ}\text{C}$ 年平均気温が下がるため、植物季節と気温との関係が深く、種によって反応速度は異なることを指摘した。本研究の結果は、増田ほか(1999)と比較して、前線の北上速度が0.4日早まった。この開花前線の速度の早まりは、近年の温暖化の傾向を示すものと考えられる。また本研究では経度、標高とも有意な相関を示した点で増田ほか(1999)と相異する。

Table 3に期間別の平均開花日( $F_{M1}$ ,  $F_{M2}$ ,  $F_{M3}$ )を目的変数とし、緯度・経度・標高を説明変数として算出した重回帰式の偏回帰係数を示す。緯度と経度に関する偏回帰係数の絶対値は、 $F_{M1}$ に比べ $F_{M2}$ ,  $F_{M3}$ の方が小さくなっていた。例えば、緯度に関する偏回帰係数は、 $F_{M1}$ では6.11,  $F_{M2}$ では5.98,  $F_{M3}$ では5.44と小さくなっていた。これは経年変化とともに開花前線の速度が加速したこと意味する。

### 3.3.2. 開花日の地域差

Fig. 7に、地域別の開花日と3か月平均気温(3月～5月)の経年変化を示す。北海道、東北、九州の開花日と平均気温の経年変化は、明確に地域差を示した一方、東日本と西日本の開花日と平均気温の経年変化は類似していた。これは同地域が同じ緯度帯に属するためと推測される。

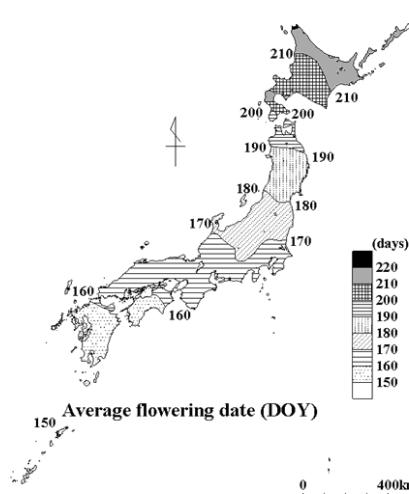


Fig. 5. Average flowering date of *H. macrophylla* from 1987 to 2016.

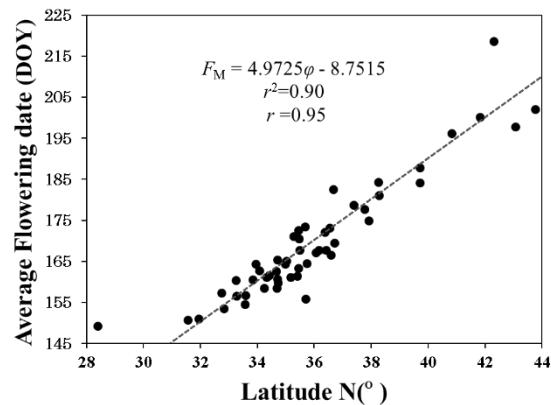


Fig. 6. Relationships between average flowering date ( $F_M$ ) and latitudes ( $\varphi$ ).

Table 4に、地域別の30年間における開花日変化率( $T_{Fa}$ )、気温変化率( $T_{Ta}$ )および気温と開花日との相関係数( $r$ )を示す(数値は地点別の値の平均値である)。気温は、「3か月平均気温(3月～5月)」を使用した。その結果、開花日変化率( $T_{Fa}$ )は、全ての地域で早期化を示したが、その傾向は、北海道(-0.30 d y<sup>-1</sup>)で強く、九州(-0.07 d y<sup>-1</sup>)で弱かった。一方、3か月平均気温の変化率( $T_{Ta}$ )は、西日本(0.31 °C decade<sup>-1</sup>)で高い値を示した。さらに、3か月平均気温と開花日との負の相関( $r$ )は東日本と西日本で強く、全国平均(-0.59)の絶対値を上回った(東日本 -0.65 西日本 -0.64)。

加えて、北海道・東北地域では、「3か月平均気温(4月～6月)」を使用して相関係数を求めた。その結果、3か月平均気温(3月～5月)と比較して北海道と東北の相関係数の絶対値は上昇(北海道 -0.54、東北 -0.62)した。これは、開花日が開花日直前の気温変化に影響を受けることを意

Table 3. Partial regression coefficients ( $p < 0.05$ ) related to latitude ( $\varphi$ ), longitude ( $\lambda$ ), altitude ( $H$ ) using average flowering date ( $F_{M1}$ ,  $F_{M2}$ ,  $F_{M3}$ ) as objective variable under multiple regression analysis.

Explanatory variable	Partial regression coefficients					
	( $F_{M1}$ )	( $F_{M2}$ )	( $F_{M3}$ )			
$\varphi$	6.11	$p$	5.98	$p$	5.44	$p$
$\lambda$	-1.17	$p$	-0.90	$p$	-0.82	$p$
$H$	0.03	$p$	0.02		0.02	$p$

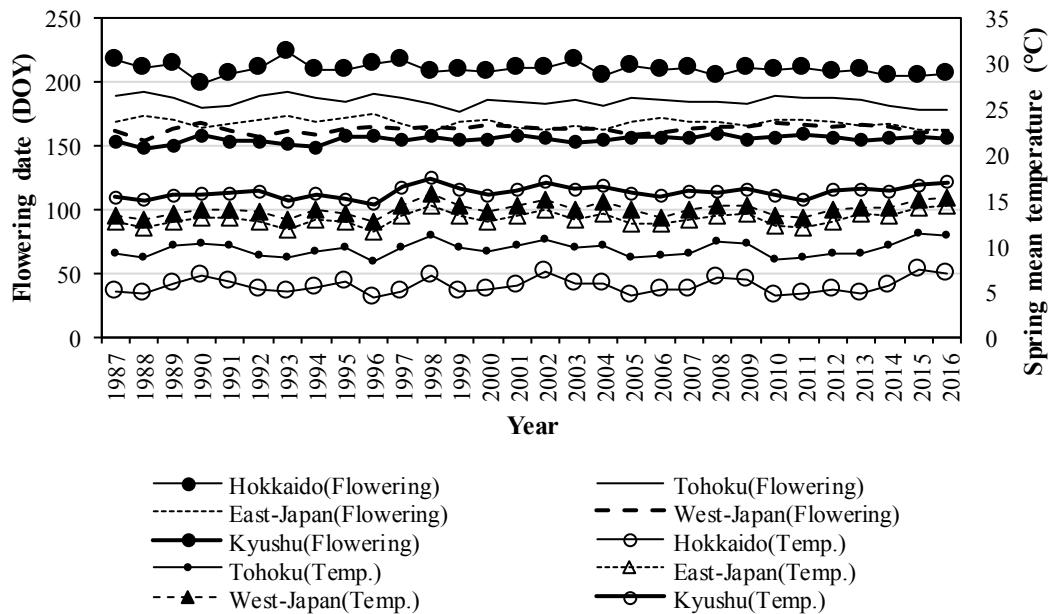


Fig. 7. Yearly variation of flowering date and spring mean temperature (March - May) in five areas of Japan.

味する。

### 3.3.3. 暖地と寒地における開花日の地域差

Table 5 に地点別、期間別の 3か月平均気温（3月～5月）の変化率、気温と開花日との相関係数を示す。期間別の気温変化率の比較では、 $T_{T1}$  と  $T_{T2}$  は、ほとんどの地点が負の値を示したが、 $T_{T3}$  は全ての地点で正の値を示した。 $T_{T3}$ において高温暖化の傾向が強いことは注目に値する（54 地点の平均変化率  $T_{T3}$  :  $1.22^{\circ}\text{C decade}^{-1}$ ）。また、 $T_{T3}$  では暖地における変化率と比較して、寒地における高い変化率（例えば、福島  $T_{T3}$  :  $2.05^{\circ}\text{C decade}^{-1}$ ）が認められた。

寒地の稚内、網走、室蘭では、30年間における開花日と3か月平均気温（3月～5月）との相関と比較して、11月の「日最低気温の月平均値」との強い負の相関が認められた。例えば、室蘭では、3か月平均気温（3月～5月）との相関係数-0.42に対して、11月の「日最低気温の月平均値」との強い負の相関（ $r$  : -0.63,  $T_T$  :  $0.38^{\circ}\text{C decade}^{-1}$ ）を示した。寒地における開花日の早期化に冬の気温の上昇が影響を及ぼすことが推測されるため、より詳細な検討が必要である。

地点別の30年間における開花日と3か月平均

気温（3月～5月）との相関係数の比較では、九州の大分において、最も強い負の相関（ $r$  : -0.85）が認められた。相関係数の絶対値が 0.80 以上の地点は、他の地域でも数地点見られた。一方、九州の鹿児島と宮崎では、他の九州の地点と比較して、弱い負の相関（鹿児島  $-0.29$ , 宮崎  $-0.24$ ）を示した。

また、鹿児島では、11月の「日最低気温の月平均値」との正の相関（ $r$  : 0.24,  $T_F$  :  $0.40 \text{ d y}^{-1}$ ,  $T_T$  :  $0.77^{\circ}\text{C decade}^{-1}$ ）が認められた。そこで、開花日を目的変数、3か月平均気温（3月～5月）と 11

Table 4. Mean trends of flowering dates ( $T_{Fa}$ ) and of spring mean temperature from March to May ( $T_{Ta}$ ) for 5 areas, mean of the correlation coefficients ( $r$ ) between flowering dates and spring mean temperature (March -May, April - June) for 5 areas.

Area	$T_{Fa}$ ( $\text{d y}^{-1}$ )	$T_{Ta}$ ( $^{\circ}\text{C decade}^{-1}$ )	$r$ (March - May)	$r$ (April - June)
Hokkaido	-0.30	0.15	-0.41	-0.54
Tohoku	-0.15	0.22	-0.57	-0.62
Higash-Nihon	-0.13	0.28	-0.65	-
Nishi-Nihon	-0.08	0.31	-0.64	-
Kyushu	-0.07	0.29	-0.52	-

Table 5. Trends of spring mean temperature (March – May) for 30 years ( $T_T, p < 0.05$ ) and three periods ( $T_{T1}, T_{T2}, T_{T3}$ ,  $p < 0.05$ ), trends of mean daily minimum temperature in November for 30 years ( $T_{TN}, p < 0.05$ ), the correlation coefficients between flowering dates and temperature for 30 years ( $r, p < 0.05$ : spring mean temperature (March – May) and mean of the daily minimum temperature in November).

Weather Station	$T_T$ (°C decade $^{-1}$ )	$T_{T1}$ (°C decade $^{-1}$ )	$T_{T2}$ (°C decade $^{-1}$ )	$T_{T3}$ (°C decade $^{-1}$ )	$T_{TN}$ (°C decade $^{-1}$ )	$r$ (Spring mean temp.)	$r$ (Min.temp.(Nov.))							
Wakkanai	0.08	<i>p</i>	0.01	<i>p</i>	0.13	<i>p</i>	1.31	<i>p</i>	0.48	<i>p</i>	-0.18	-0.32	<i>p</i>	
Asahikawa	0.09	<i>p</i>	-0.24	<i>p</i>	-0.66	<i>p</i>	1.08	<i>p</i>	0.18	<i>p</i>	-0.43	<i>p</i>	-0.23	
Abashiri	0.18	<i>p</i>	-0.98	<i>p</i>	-0.04	<i>p</i>	1.52	<i>p</i>	0.56	<i>p</i>	-0.06	-0.47	<i>p</i>	
Sapporo	0.22	<i>p</i>	-0.21	<i>p</i>	-0.55	<i>p</i>	1.06	<i>p</i>	0.46	<i>p</i>	-0.72	<i>p</i>	-0.10	
Muroran	0.13	<i>p</i>	-0.46	<i>p</i>	-0.58	<i>p</i>	1.15	<i>p</i>	0.38	<i>p</i>	-0.42	<i>p</i>	-0.63	<i>p</i>
Hakodate	0.19	<i>p</i>	-0.53	<i>p</i>	-0.45	<i>p</i>	1.20	<i>p</i>	0.52	<i>p</i>	-0.63	<i>p</i>	-0.41	<i>p</i>
Aomori	0.08	<i>p</i>	-0.23	<i>p</i>	-1.29	<i>p</i>	1.28	<i>p</i>	0.50	<i>p</i>	-0.42	<i>p</i>	-0.18	
Akita	0.27	<i>p</i>	-0.38	<i>p</i>	-1.05	<i>p</i>	1.19	<i>p</i>	0.48	<i>p</i>	-0.68	<i>p</i>	-0.39	<i>p</i>
Morioka	0.22	<i>p</i>	-0.71	<i>p</i>	-1.31	<i>p</i>	1.83	<i>p</i>	0.42	<i>p</i>	-0.66	<i>p</i>	-0.31	<i>p</i>
Yamagata	0.18	<i>p</i>	-0.62	<i>p</i>	-1.43	<i>p</i>	1.68	<i>p</i>	0.49	<i>p</i>	-0.32	<i>p</i>	-0.08	
Sendai	0.29	<i>p</i>	-0.42	<i>p</i>	-1.37	<i>p</i>	1.75	<i>p</i>	0.48	<i>p</i>	-0.51	<i>p</i>	-0.14	
Fukushima	0.28	<i>p</i>	-0.49	<i>p</i>	-1.24	<i>p</i>	2.05	<i>p</i>	0.44	<i>p</i>	-0.80	<i>p</i>	-0.16	
Wajima	0.18	<i>p</i>	-0.31	<i>p</i>	-1.25	<i>p</i>	0.92	<i>p</i>	0.54	<i>p</i>	-0.69	<i>p</i>	-0.20	
Niigata	0.16	<i>p</i>	-0.33	<i>p</i>	-1.23	<i>p</i>	0.85	<i>p</i>	0.36	<i>p</i>	-0.74	<i>p</i>	-0.18	
Kanazawa	0.24	<i>p</i>	-0.43	<i>p</i>	-0.93	<i>p</i>	1.51	<i>p</i>	0.50	<i>p</i>	-0.82	<i>p</i>	-0.23	
Toyama	0.39	<i>p</i>	-0.24	<i>p</i>	-0.90	<i>p</i>	1.20	<i>p</i>	0.64	<i>p</i>	-0.66	<i>p</i>	-0.28	<i>p</i>
Nagano	0.28	<i>p</i>	-0.45	<i>p</i>	-1.24	<i>p</i>	1.80	<i>p</i>	0.40	<i>p</i>	-0.59	<i>p</i>	-0.33	<i>p</i>
Utshunomiya	0.41	<i>p</i>	-0.50	<i>p</i>	-1.06	<i>p</i>	1.42	<i>p</i>	0.78	<i>p</i>	-0.73	<i>p</i>	-0.40	<i>p</i>
Fukui	0.24	<i>p</i>	-0.27	<i>p</i>	-1.18	<i>p</i>	1.58	<i>p</i>	0.56	<i>p</i>	-0.81	<i>p</i>	-0.21	
Maebashi	0.32	<i>p</i>	-0.49	<i>p</i>	-1.32	<i>p</i>	1.66	<i>p</i>	0.50	<i>p</i>	-0.68	<i>p</i>	-0.45	<i>p</i>
Kumagaya	0.39	<i>p</i>	-0.32	<i>p</i>	-1.02	<i>p</i>	1.29	<i>p</i>	0.51	<i>p</i>	-0.43	<i>p</i>	-0.41	<i>p</i>
Mito	0.29	<i>p</i>	-0.65	<i>p</i>	-1.32	<i>p</i>	1.46	<i>p</i>	0.59	<i>p</i>	-0.77	<i>p</i>	-0.48	<i>p</i>
Gifu	0.28	<i>p</i>	-0.44	<i>p</i>	-1.29	<i>p</i>	1.27	<i>p</i>	0.49	<i>p</i>	-0.78	<i>p</i>	-0.34	<i>p</i>
Nagoya	0.31	<i>p</i>	-0.59	<i>p</i>	-1.37	<i>p</i>	1.10	<i>p</i>	0.47	<i>p</i>	-0.46	<i>p</i>	-0.08	
Kofu	0.32	<i>p</i>	-0.22	<i>p</i>	-0.94	<i>p</i>	1.51	<i>p</i>	0.36	<i>p</i>	-0.50	<i>p</i>	-0.17	
Choshi	0.14	<i>p</i>	-0.95	<i>p</i>	-1.98	<i>p</i>	0.90	<i>p</i>	0.33	<i>p</i>	-0.48	<i>p</i>	0.03	
Tsu	0.27	<i>p</i>	-0.57	<i>p</i>	-1.34	<i>p</i>	1.04	<i>p</i>	0.51	<i>p</i>	-0.61	<i>p</i>	-0.37	<i>p</i>
Shizuoka	0.28	<i>p</i>	-0.59	<i>p</i>	-0.94	<i>p</i>	0.84	<i>p</i>	0.43	<i>p</i>	-0.78	<i>p</i>	-0.28	<i>p</i>
Tokyo	0.26	<i>p</i>	-0.45	<i>p</i>	-1.16	<i>p</i>	0.97	<i>p</i>	0.38	<i>p</i>	-0.65	<i>p</i>	0.00	
Yokohama	0.36	<i>p</i>	-0.42	<i>p</i>	-0.94	<i>p</i>	1.35	<i>p</i>	0.53	<i>p</i>	-0.41	<i>p</i>	0.13	
Matsue	0.29	<i>p</i>	-0.05	<i>p</i>	-1.09	<i>p</i>	1.20	<i>p</i>	0.53	<i>p</i>	-0.52	<i>p</i>	-0.11	
Tottori	0.26	<i>p</i>	-0.16	<i>p</i>	-1.01	<i>p</i>	1.53	<i>p</i>	0.49	<i>p</i>	-0.77	<i>p</i>	-0.27	<i>p</i>
Maizuru	0.33	<i>p</i>	-0.41	<i>p</i>	-0.81	<i>p</i>	1.12	<i>p</i>	0.51	<i>p</i>	-0.65	<i>p</i>	-0.09	
Kyoto	0.26	<i>p</i>	-0.31	<i>p</i>	-1.48	<i>p</i>	1.80	<i>p</i>	0.55	<i>p</i>	-0.82	<i>p</i>	-0.41	<i>p</i>
Hikone	0.25	<i>p</i>	-0.43	<i>p</i>	-1.22	<i>p</i>	1.24	<i>p</i>	0.62	<i>p</i>	-0.60	<i>p</i>	-0.12	
Shimonoseki	0.36	<i>p</i>	-0.15	<i>p</i>	-0.72	<i>p</i>	0.71	<i>p</i>	0.30	<i>p</i>	-0.45	<i>p</i>	-0.18	
Hiroshima	0.25	<i>p</i>	0.23	<i>p</i>	-1.53	<i>p</i>	1.22	<i>p</i>	0.43	<i>p</i>	-0.67	<i>p</i>	-0.23	
Okayama	0.27	<i>p</i>	-0.25	<i>p</i>	-1.00	<i>p</i>	0.51	<i>p</i>	0.49	<i>p</i>	-0.50	<i>p</i>	-0.13	
Kobe	0.54	<i>p</i>	-0.07	<i>p</i>	-0.49	<i>p</i>	1.23	<i>p</i>	1.02	<i>p</i>	-0.58	<i>p</i>	-0.07	
Osaka	0.22	<i>p</i>	0.01	<i>p</i>	-1.04	<i>p</i>	1.12	<i>p</i>	0.48	<i>p</i>	-0.59	<i>p</i>	-0.36	<i>p</i>
Wakayama	0.28	<i>p</i>	-0.10	<i>p</i>	-1.38	<i>p</i>	1.29	<i>p</i>	0.44	<i>p</i>	-0.71	<i>p</i>	-0.35	<i>p</i>
Nara	0.24	<i>p</i>	-0.30	<i>p</i>	-1.40	<i>p</i>	1.67	<i>p</i>	0.43	<i>p</i>	-0.65	<i>p</i>	-0.20	
Fukuoka	0.41	<i>p</i>	-0.22	<i>p</i>	-0.80	<i>p</i>	1.16	<i>p</i>	0.53	<i>p</i>	-0.77	<i>p</i>	-0.20	
Saga	0.35	<i>p</i>	-0.40	<i>p</i>	-1.03	<i>p</i>	1.57	<i>p</i>	0.46	<i>p</i>	-0.69	<i>p</i>	-0.04	
Oita	0.45	<i>p</i>	-0.18	<i>p</i>	-0.44	<i>p</i>	0.69	<i>p</i>	0.63	<i>p</i>	-0.85	<i>p</i>	-0.29	<i>p</i>
Nagasaki	0.25	<i>p</i>	-0.47	<i>p</i>	-1.11	<i>p</i>	0.81	<i>p</i>	0.17	<i>p</i>	-0.51	<i>p</i>	-0.34	<i>p</i>
Kumamoto	0.34	<i>p</i>	-0.41	<i>p</i>	-0.70	<i>p</i>	0.87	<i>p</i>	0.67	<i>p</i>	-0.78	<i>p</i>	-0.12	
Kagoshima	0.32	<i>p</i>	-0.59	<i>p</i>	-1.11	<i>p</i>	0.86	<i>p</i>	0.77	<i>p</i>	-0.29	<i>p</i>	0.24	
Miyazaki	0.11	<i>p</i>	-0.28	<i>p</i>	-1.64	<i>p</i>	1.12	<i>p</i>	0.45	<i>p</i>	-0.24	<i>p</i>	0.06	
Matsuyama	0.35	<i>p</i>	-0.13	<i>p</i>	-1.07	<i>p</i>	0.89	<i>p</i>	0.39	<i>p</i>	-0.48	<i>p</i>	-0.24	
Takamatsu	0.41	<i>p</i>	0.34	<i>p</i>	-1.08	<i>p</i>	0.91	<i>p</i>	0.78	<i>p</i>	-0.82	<i>p</i>	-0.51	<i>p</i>
Kochi	0.36	<i>p</i>	-0.21	<i>p</i>	-0.89	<i>p</i>	0.88	<i>p</i>	0.69	<i>p</i>	-0.45	<i>p</i>	-0.26	
Tokushima	0.26	<i>p</i>	0.23	<i>p</i>	-1.05	<i>p</i>	0.74	<i>p</i>	0.34	<i>p</i>	-0.70	<i>p</i>	-0.08	
Naze	0.01	<i>p</i>	-1.24	<i>p</i>	-0.96	<i>p</i>	1.02	<i>p</i>	0.26	<i>p</i>	-0.07	<i>p</i>	0.05	
Average	0.27		-0.35		-1.04		1.22		0.49		-0.59		-0.22	
SD	0.10		0.28		0.37		0.34		0.14		0.19		0.17	

月の「日最低気温の月平均値」を説明変数とした以下の式で表される重回帰分析を行った。

$$F = \alpha + \beta T_S + \gamma T_N$$

( $F$  は開花日,  $T_S$ ,  $T_N$  は、それぞれ「3か月平均気温（3月～5月）」(°C), 11月の「日最低気温の月平均値」(°C),  $\alpha$  は定数,  $\beta$ ,  $\gamma$  は偏回帰係数を示す。)

その結果、修正済み重相関係数 ( $0.40, p < 0.05$ ) は、3か月平均気温（3月～5月）との相関係数 (-0.29) の絶対値を上回った。暖地における開花日の経年変化に秋から冬にかけての気温の上昇が影響を及ぼすことが推測されるため、より詳細な検討が必要である。

#### 4. おわりに

##### 4.1.まとめ

本研究では、日本におけるアジサイの開花日の経年変化と地域差について、近年の春の高温化および暖冬の影響を含め、気候学的視点から検討を行った。その結果、以下の知見を得た。

開花日の線形回帰分析の結果によれば、30年間の開花日変化率の全国平均（54地点）は、早期化の傾向が見られた。地点別の開花日変化率の分布では、西南太平洋側の地点で晚期化、北日本の地点で早期化という地域差が認められた。1987年～1996年、1997年～2006年の各10年の変化率は若干の晚期化、2007年～2016年は早期化を示した。

また、相関分析の結果によれば、30年間の開花日の全国的な早期化は春の高温化と有意な相関を示した。特に、2007年～2016年において春の高温化の傾向が強いことは注目に値する。一方、晚期化した13地点では、1997年～2006年において暖冬の影響よりも、総じて春の気温の影響を受けていた。このことから、開花日の経年変化に開花日直前の気温変化が影響を及ぼすことが示唆される。

加えて、日本を5つの地域に分けた地域別の30年間における開花日変化率は、全ての地域で早期化を示したが、その傾向は北海道が最も強く、九州が最も弱かった。これは、近年の温暖化の傾向を示すものと考えられる。

#### 4.2. 今後の課題

アジサイの開花日と月平均相対湿度、月降水量との相関は、認められなかった。アジサイは低木の植物であることから、大気現象による降水量や平均相対湿度の水分量よりも地表や土壤中の水分量の影響を大きく受けるのではないかと推測される。土壤水分量に関する定量的な研究については今後の課題としたい。

休眠打破の影響について議論すべきだが、本研究では、暖冬の影響についてのみ対象としたため、休眠打破の影響の有無に関する低温条件（暴露時間や積算量）に基づく評価は、今後の課題とする。

清水ほか（2014）によれば、植物季節の経年変化は、花粉を媒介する動物の活動時期と植物の開花時期にずれが生じるなど、植物季節と動物季節の不一致を引き起こす可能性へと繋がる。従って植物季節の経年変化、地域差を今後とも明らかにしていく必要がある。

なお、本研究は、華表正明が2018年に法政大学へ卒業論文として提出し、日本地理教育学会2017年度全国地理学専攻学生卒業論文発表大会にて口頭発表したものに加筆修正したものである。

#### 注

注1)：休眠とは秋季に葉を落とし、翌春まで外見的な生長をしない状態のことであり、動物でいう冬眠に類似する。休眠には、自発休眠期と他発休眠期があり、先に迎える自発休眠期には一定量の低温が必要であり、その量に達すると休眠打破となり、その後の他発休眠期では、一定量の高温が必要になってくる。他発休眠を終えると発芽となる（塚原と林（2012））。

注2)：生物季節観測の方法の細部を規定する生物季節観測指針は、1953年に最初に作成された。アジサイ（学名：*Hydrangea macrophylla*）は、アジサイ科アジサイ属の落葉低木の一種である。当初、アジサイは参考種目と指定されたが、1964年の生物季節観測指針改定で、規定種目として選定された。生物季節観測指針第3版（1985）によれば、開花とは対象とする植物の花が数輪以上開いた状態となったときをいい、開花日とは対象と

- する植物の花が開花した最初の日をいう。気象庁は生物季節観測指針においてアジサイの品種を指定していないため、品種の違いによる開花日への影響が疑われる。しかし、標本木の品種を明確にするために、観測の対象としない品種を定めており影響は比較的少ないと考えられる。また、ソメイヨシノと比較して、アジサイは遺伝的多様性が高いため、開花日の個体差は大きいと考えられる。ソメイヨシノは、接ぎ木で繁殖するため遺伝的多様性が低く、開花日の個体差は小さい。
- 注3) : 解析対象を1987~2016年の直近30年間としたのは、欠測率2割以内の観測地点を全都道府県で確保すること、および相関係数等を算出するうえで客觀性を担保するためである。過去のデータは欠測率が高いため、客觀性を保てないと判断した。なお、欠測の補完は行わず、観測データのみを用いて解析を行った。
- 注4) : 測候所や気象台の無人化に伴い、輪島測候所は2011年より、舞鶴海洋気象台は2012年より、植物季節観測を廃止しており、それ以後、データは欠測となる。しかし、30年間の対象期間の中で、2割以内の欠測の条件を満たしており、分析に影響は無いと判断した。
- 注5) : decadeは、10年間の意味であり、 $^{\circ}\text{C decade}^{-1}$ は、10年当たりの気温変化率の単位として使用している。

## 引用文献

- 青野靖之、小元敬男(1992) : ヤマツツジ・フジ・アジサイの開花日の推定。農業気象、47: 233-240。
- 中央気象台(1953) : 生物季節観測指針(第1版)。気象協会、88p.
- 気象庁(1964) : 生物季節観測指針(改定版)。気象庁、85p.
- 気象庁(1985) : 生物季節観測指針(第3版)。気象庁、81p.
- 気象庁(2012) : 『生物季節観測 1953~2011年』。(財) 気象業務支援センター CD-ROM.
- 気象庁: 地方季節予報の予報区分。  
[https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/kisetsu\\_riyou/di\\_vision/index.html](https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/kisetsu_riyou/di_vision/index.html) (2018/11/22 閲覧)
- 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、65: 283-296.
- 増田 啓子、吉野 正敏、朴 恵淑(1999) : 生物季節による温暖化の影響と検出。地球環境、4: 91-103.
- 松本 太、福岡 義隆(2002) : 熊谷市における都市気候と植物季節の関係(第一報) —イチョウ、イロハカエデの紅(黄)葉日を例として—。日本生気象学会雑誌、39: 3-16.
- Nasu, A., Shimizu Y., and Omasa K. (2005) : Statistical analysis of the relationship between changes in plant phenology and daily mean air temperature in Japan under climate change. Journal of Agricultural Meteorology, 60: 1227-1229.
- 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、10: 1-4.
- 小元敬男、青野靖之(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、46: 123-129.
- 清水 康、大政 謙次(2010) : 1961年~2007年のウメの開花に関する経年変化・地域的傾向の解析。農業気象、66: 279-288.
- 清水 康、梅村 周平、大政 謙次(2014) : イチョウの開芽日・黄葉日の時系列変化と地理的傾向の解析。生物と気象、14: 57-70.
- 塚原 あづみ、林 陽生(2012) : 温暖化がサクラの開花期間に及ぼす影響。地球環境、17: 31-36.

---

Corresponding Author Address: Takako YAMAGUCHI  
 Department of Geography, Hosei University, 2-17-1,Fujimi,  
 Chiyoda-ku, Tokyo,102-8160,Japan  
 E-mail : takako\_yamaguchi@hosei.ac.jp  
 別刷請求先:  
 〒102-8160 東京都千代田区富士見 2-17-1  
 法政大学文学部地理学科  
 山口隆子