

【研究報告】

神奈川県におけるクヌギ・コナラのフェノロジー ——海洋研究開発機構横浜研究所と玉川大学キャンパスの比較——

永井 信¹・関川清広²・小林秀樹¹・友常満利²

要 約

海洋研究開発機構横浜研究所（横浜研）と玉川大学キャンパス（玉川大）において、コナラ（*Quercus serrata*）とクヌギ（*Q. acutissima*）を対象に、タイムラプスカメラと目視観察による長期的な植物季節観測を行い、開花日と開葉日の年々変動とその変動要因を調査した。コナラとクヌギの開花日と開葉日は、2018年から2020年は、2015年から2017年と比べて、約2週間早かった。玉川大におけるコナラの開葉日は、横浜研と比べて、約2週間早かった。コナラとクヌギの開花日と開葉日は、3月の各旬の平均気温と負の相関を示す傾向がみられた。

キーワード：開花、開葉、コナラ、クヌギ、フェノロジー観測

はじめに

都市近郊の里山を構成する落葉樹（例えば、コナラやクヌギ）の植生フェノロジー（開花・開葉・紅葉・落葉などの植物季節）の観測データは乏しい。里山林は、現在、人々に対して資源・景観や伝統的生活文化の維持・環境教育／自然体験の場と、多様な生物に対して生息の場を与えている（環境省, 2016）。近年の気候変動は、開花日や開葉日の早期化や、落葉日の晩期化を引き起こしている（e.g., Linderholm, 2006; Penñuelas et al., 2009; Ogawa-Onishi and Berry, 2013）。これらの植生フェノロジーの時空間分布の変化は、光合成や蒸発散を通じた大気と植生の相互作用や、植物と動物のフェノロジー（生物季節）の同調性に対して影響を及ぼしている（e.g., Richardson et al., 2013; 陸ほか, 2016; Xie et al., 2018）。このため、気候変動下における開花日・開葉日・落葉日などの時空間分布の変動を長期的に観測し、その変動要因を明らかにすることは重要な課題となる。

植生フェノロジーを長期的に観測する手法としては、

(1) 対象木の目視観察（e.g., Menzel et al., 2006; Templ et al., 2018; Xie et al., 2018; 鎌田ほか, 2019）・(2) タイムラプスカメラによるインターバル撮影（e.g., Ide and

Oguma, 2010; Nagai et al., 2018a; Xie et al., 2018）・(3) 衛星リモートセンシング（e.g., Garonna et al., 2014; Buitenwerf et al., 2015; Nagai et al., 2015）がある。対象木の目視観察に関して、日本では、気象庁による「生物季節観測の情報」が代表的である（e.g., Doi et al., 2010; Ogawa-Onishi and Berry, 2013; 気象庁, 2020a）。けれども、観測地点は都市内部に位置し、里山林に関連する観測項目は、ソメイヨシノの開花日と満開日・クワの発芽日・イロハモミジの紅葉日と落葉日に限定される（気象庁, 2020a）。タイムラプスカメラによるインターバル撮影に関して、観測地点は山間地域に位置し、対象樹種はミズナラ・ダケカンバ・ウリハダカエド・ブナ・カラマツなどに限定される（Nagai et al., 2018a）。衛星リモートセンシングに関して、モザイク状に分布する都市近郊の里山林のフェノロジー観測に必要である、例えば、高空間分解能（10 m）かつ高頻度（5日ごと）の観測（Sentinel-2衛星による）は、2017年以降、ようやく可能になった（ESA, 2020）。従って、観測データの蓄積は、まだ不十分である。

本研究は、神奈川県横浜市の市街地と同県川崎市の郊外の里山林において、コナラ（*Quercus serrata*）とクヌギ（*Q. acutissima*）を対象に、タイムラプスカメラによ

¹ 国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門 236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25

² 玉川大学農学部環境農学科 194-8610 東京都町田市玉川学園6-1-1

責任著者：永井 信 nagais@jamstec.go.jp

るインターバル撮影と目視観察を長期的に行い、開花日と開葉日の年々変動と気温の対応関係を調査した。本研究の目的は、コナラとクスギの開花日と開葉日の年々変動とその変動要因を明らかにすることである。

調査地と調査方法

調査地

本研究の対象は、横浜市金沢区に位置する、国立研究開発法人海洋研究開発機構 (JAMSTEC)・横浜研究所 (以後、横浜研と記載) と、横浜市青葉区・川崎市麻生区・東京都町田市の境界付近に位置する、玉川大学キャンパス (以後、玉川大と記載) である。横浜研は、埋立て地上に位置し、敷地の外周には、コナラ・クスギ・ヤマザクラ (*Cerasus jamasakura*)・オオシマザクラ (*C. speciosa*) など、当地において潜在的に分布する落葉樹が栽植されている。コナラとクスギの樹高は、それぞれ、約12 mと約8~10 mである。玉川大は、多摩丘陵に分布する里山林の一部に位置し、コナラ・クスギ・エゴノキ (*Styrax japonicus*)・ミズキ (*Cornus controversa*) など落葉樹が代償植生として残存する (関川ほか、1986)。コナラの樹高は、約15 mである。

フェノロジー画像

横浜研ではクスギとヤマザクラ (*C. jamasakura*) のフェノロジーを、玉川大ではコナラのシュートと背後にある森林のフェノロジーをそれぞれ、タイムラプスカメラにより毎日撮影した。横浜研では、2015年3月19日から2020年5月11日まで日中1時間または15分ごとに、玉川大では、2018年3月22日から2020年8月5日まで4時間ごとに撮影した。乾電池の消耗に起因した欠測期間を一部含む。横浜研では、自動撮像魚眼カメラシステム: SPC31-CP4500 (早坂理工) に接続したデジタルカメラ: Coolpix-4300またはCoolpix-4500 (ニコン) をノートパソコン上のソフトウェアから自動的に制御し、撮影した画像をノートパソコンに保存した。デジタルカメラ・自動撮像型カメラシステム・ノートパソコンは、研究棟の3階 (地上高約9 m、北緯35°22'49.2"、東経139°37'31.3") に設置し、クスギ1個体とヤマザクラ1個体のキャノピー全体を横向き (南南西方向) に撮影した。玉川大では、乾電池駆動のスタンドアロン型のインターバルカメラ: TLC200 (brinno) を農場棟東側のコナラ林縁 (北緯35°34'16.5"、東経139°28'18.4") の地上高約1.5 mにおいて、コナラ2個体のシュートを横向き (南方向) に設

置した。ホワイトバランスと露出は、オートマティックである。

目視観察

横浜研では、2015年から2020年の3月後半から5月後半にかけて、コナラとクスギの開花と開葉フェノロジーをほぼ毎日、目視観察した。詳細に関して、Table 1に示す。3個体のコナラ (Q. serrata-Y1 to -Y3) と、前述のフェノロジー画像の対象 (Q. acutissima-camera) を含む、3個体のクスギ (Q. acutissima-Y1 to -Y3) を対象とした。同期間には、ソメイヨシノ (Nagai et al., 2018b)・ヤマザクラ・オオシマザクラ・他の落葉樹の開花と開葉フェノロジーの目視観察も併せて行った。また、コナラやクスギの対象個体を含め、開花や開葉フェノロジーの様子を写真撮影した。

Table 1 Summary of dates of visually inspection at Yokohama Institute of JAMSTEC

Year	Start date	End date	Number of dates
2015	27 March	19 April	20
2016	30 March	25 June	47
	2 September	16 September	3
2017	30 March	21 May	28
2018	13 March	31 May	39
	5 June	28 December	23
2019	17 January	8 March	14
	12 March	8 May	28
2020	12 March	7 April	18

気温データ

落葉樹の開花と開葉は、自発休眠解除のための低温要求と、他発休眠解除のための温度要求のプロセスにより生じる (Schwartz, 2003; 杉浦ほか, 2012; Chuine et al., 2016)。そこで、横浜気象台 (北緯35°26'23.6"、東経139°39'10.1") において、2015年から2020年における、前年12月から3月までの旬平均気温データを用いた (気象庁, 2020b)。横浜研と玉川大では、TR-71wfとTR-72wf (共にT&D) を用いた気温の連続的な計測を行った。しかしながら、観測期間は、横浜研では、2013年3月21日から2016年3月30日まで、玉川大では、2018年3月22日から2019年4月12日までと異なる。このため、本

研究では、横浜気象台・横浜研・玉川大の旬平均気温の変動は、相対的に一致すると仮定し、横浜気象台における観測データを用いた。

開花日と開葉日の検出

横浜研では、前述の目視観察データを用いて、コナラとクヌギの開花日と開葉日を検出した。ただし、2015年から2018年に関して、クヌギの開花は、開葉として記録していた。これは当時の知識不足による誤りである。この誤りの訂正と記録データの検証のため、開花日や開葉日前後のフェノロジー画像を目視により確認した。開花の数日後に生じるクヌギの開葉に関しては、開葉と記録があるため、正しいと判断した。また、タイムラプスカメラの対象ではないクヌギやコナラの個体を含め、目視観察時に撮影した写真を用いて、可能な限り目視観察の記録との整合性を確認し、開花日や開葉日を補正した。クヌギの開花日と開葉日の前後における代表的なフェノロジー画像を Fig. 1 に示した。

玉川大では、コナラの開葉日前後のフェノロジー画像を目視し、開葉日を検出した。コナラの開葉日前後における典型的なフェノロジー画像を Fig. 2 に示した。一方、コナラの開花をフェノロジー画像から判断することは困難であった。開花日や開葉日は、任意の対象範囲における、フェノロジー画像から抽出した赤・緑・青の輝度値の時系列を解析することにより、定量的に検出が可能である (e.g., Ide and Oguma, 2010; Xie et al., 2018)。横浜研のフェノロジー画像には、クヌギの背後にある建物が、

玉川大のフェノロジー画像には、コナラのシュートの背後にある森林がそれぞれ写り込んだ。このような撮影条件下ではコナラやクヌギを関心領域とした赤・緑・青の輝度値の時系列を正確に抽出できないと考え、本研究では、目視観察により開花日と開葉日を検出した。

開花日や開葉日と気温の対応関係

前年12月から3月までの旬平均気温とコナラやクヌギの開花日や開葉日の対応関係について、標本数（観測年数）が少ないため、スピアマンの順位相関係数 ρ と p 値をそれぞれ求めた。解析は、Rstudio 1.2 (<https://rstudio.com>) 上において、統計解析用のフリーソフトウェア: R 3.6.2 (<https://www.r-project.org>) を用いて行なった。

結果

開花日や開葉日

横浜研では、最初にクヌギの開花日: DOY 74~95 (1月1日からの通算日, Fig. 3a)、続いて、コナラの開葉日: DOY 78~104 (Fig. 3b)、最後に、クヌギの開葉日: DOY 86~98とコナラの開花日: DOY 89~106の順番で生じた (Fig. 3a, b)。玉川大におけるコナラの開葉日は、横浜研と比べて約2週間遅かった (Fig. 3b)。横浜研におけるクヌギとコナラの開花日や開葉日は、2018年から2020年は、2015年から2017年と比べて、約2週間早い傾向が見られた (Fig. 3a, b)。



Fig. 1 Typical phenology images of (a) before 5 days of the first date of flowering, (b) first date of flowering, (c) first date of leaf-flush, and (d) after 5 days of the first date of leaf-flush of *Q. acutissima* at Yokohama Institute of JAMSTEC.

Phenology images were taken on day of year (DOY) 71 (11 March 2020), DOY 76 (16 March 2020), DOY 90 (30 March 2020), and DOY 95 (4 April 2020), respectively. The left and right tree individuals are *Q. acutissima* and *C. jamasakura*, respectively.

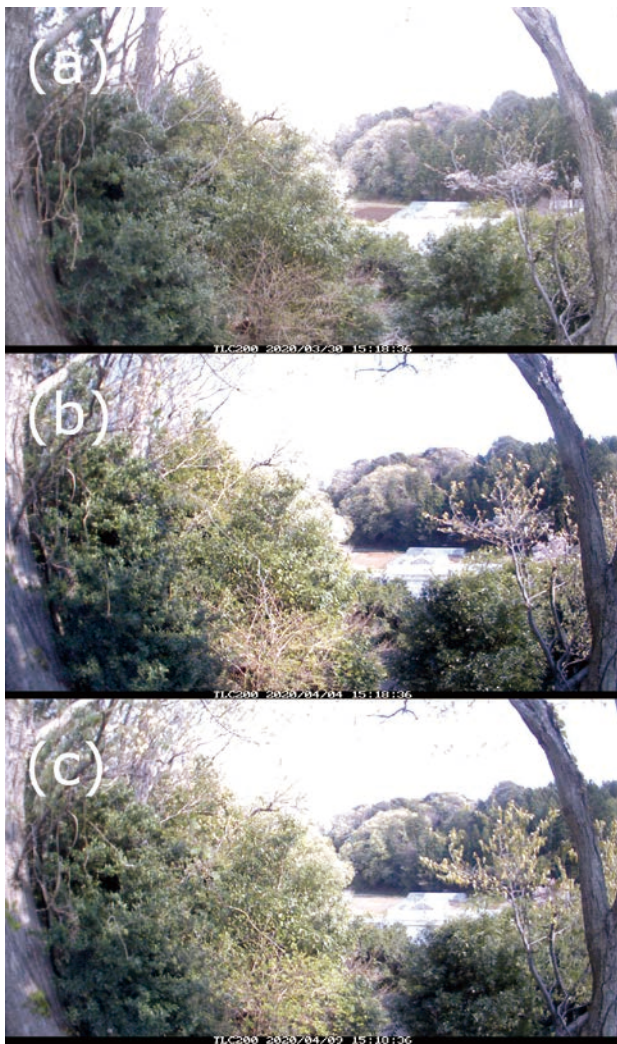


Fig. 2 Typical phenology images of (a) before 5 days of the first date of leaf-flush, (b) first date of leaf-flush, and (c) after 5 days of the first date of leaf-flush of *Q. acutissima* at Tamagawa University.

Phenology images were taken on DOY 90 (30 March 2020), DOY 95 (4 April 2020), and DOY 100 (9 April 2020), respectively.

気温

横浜気象台と横浜研における日平均気温の差に関して、観測期間における最大・最小・平均・標準偏差は、それぞれ -1.9°C （横浜研が横浜気象台と比べて低い） $1.10^{\circ}\text{C} \cdot 0.04^{\circ}\text{C} \cdot 0.37^{\circ}\text{C}$ であった。横浜気象台と玉川大における日平均気温の差に関して、観測期間における最大・最小・平均・標準偏差は、それぞれ -2.6°C （玉川大が横浜気象台と比べて低い） $0.90^{\circ}\text{C} \cdot -0.99^{\circ}\text{C} \cdot 0.56^{\circ}\text{C}$ であった。

2015年から2020年の前年12月上旬から3月下旬における各旬の平均気温の平年値（1981年から2010年の平

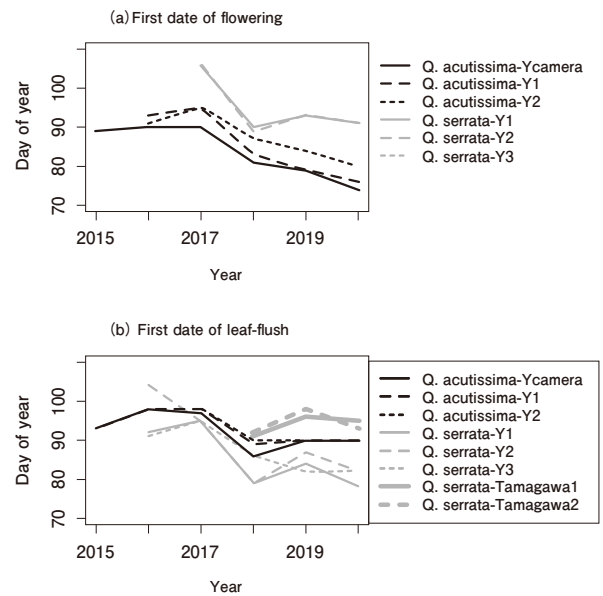


Fig. 3 (a) First date of flowering and (b) leaf-flush of *Q. acutissima* (Y1 to Y3) and *Q. serrata* at Yokohama Institute of JAMSTEC (Ycamera, and Y1 to Y3) and Tamagawa University (Tamagawa1 and Tamagawa 2).

There was overlap between *Q. serrata*-Y1 and *Q. serrata*-Y3.

均値) に対する偏差を Fig. 4 に示した。2015 年は、平年と比べて12月と2月上旬・中旬が低温、2月下旬以降は高温であった (Fig. 4a)。2016年・2019年・2020年は、平年と比べて全般的に高温であった (Fig. 4b, e, f)。2017年は、平年と比べて3月中旬までは高温、3月下旬は低温であった (Fig. 4c)。2018年は、平年と比べて12月・1月下旬・2月上旬が低温、それ以外の旬は高温であった (Fig. 4d)。

開花日や開葉日と気温の対応関係

コナラやクスギの開花日や開葉日と前年12月上旬から3月下旬までの各旬の平均気温の対応関係について、スピアマンの順位相関係数 ρ と p 値を Table 2 に示した。標本数（観測年数）は、3~6と少ないため、統計的な有意性の評価は困難である。しかしながら、コナラやクスギの開花日や開葉日は、3月の各旬に負の相関を示す傾向がみられた。

考察

コナラとクスギの開花日と開葉日は、3月における旬平均気温と関連性の高い年々変動を示した (Table 2)。3

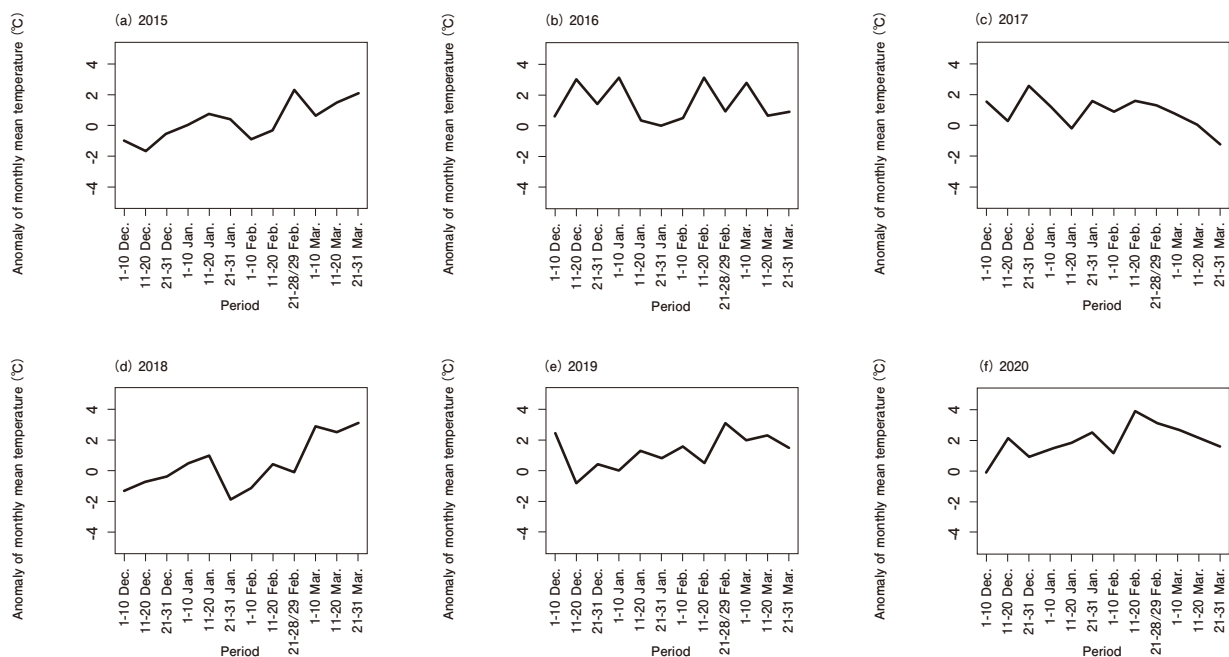


Fig. 4 Anomalies from the normal value of mean temperature during previous December and March from (a) 2015 to (f) 2020 at Yokohama weather station.

月の各旬の平均気温が平年と比べて 1.5°C 以上高温であった2018年から2020年は、開花日や開葉日が早かった (Fig. 3)。これは、他発休眠の解除に必要な温度要求量が早く満たされたためと考えられる。事実、人工気象室を用いたコナラの生育実験では、設定温度を高くするに従って開葉時期が早期化したことが報告されている (奥田ほか, 2003)。一方、12月から3月に高温が継続した2020年は、自発休眠解除が遅れた可能性も考えられる。しかしながら、開花日や開葉日は早かった (Fig. 3)。この事実は、2020年のような暖冬の条件下であっても (前年12月上旬から2月の偏差は、 $-0.1\sim 3.9^{\circ}\text{C}$)、自発休眠の解除に必要な低温要求は十分に満たされ、その結果、自発休眠解除が遅れが生じなかった、あるいは、遅れが生じたとしてもその後的高温により開花や開葉が早まった可能性を示唆する。全国的に暖冬であった2020年のソメイヨシノの開花日は、平年 (1981年から2010年の平均値) とは大きく異なり、全国の気象台の中で東京が最も早く (3/14)、鹿児島は仙台と比べて4日遅く (4/1; 気象庁, 2020a)、東京から西と北へそれぞれ開花前線が進むという特異的な時空間分布を示した。この要因として、Nagai et al. (2020) は、東京などと比べて年平均気温が高い地域 (例えば、鹿児島) では、暖冬により自発休眠の解除が遅れ、その結果、開花が遅れた可能性を指摘した。2020年の冬期以上に高温な条件下では、

自発休眠の解除が遅れ、その結果、コナラやクヌギの開花や開葉が遅れが生じるかもしれない。

自発休眠の開始時期・自発休眠の解除に必要な低温要求量・他発休眠の解除に必要な温度要求量などの生理パラメータは樹種ごとに異なることが報告されている (e.g., Cesaraccio et al., 2004; 藤本, 2008; Wang et al., 2020)。コナラとクヌギの開花や開葉のプロセスを説明する生理パラメータの理解は、サクラと比べて未だに不十分である (e.g., 永田と万木, 1982; 青野と小元, 1990; 朝倉ほか, 2010)。藤本 (2008) は、年平均気温が 13.6°C である静岡県の観測地点を対象に、コナラとクヌギの開葉日について他発休眠解除に必要な温度要求量とその積算開始日を目視観察データと気温の対応関係の統計的な解析により推定した。しかしながら、その結果得られた開葉プロセスを説明する生理パラメータの普遍性 (他の地点への適用の尤もらしさ) の検証は、不十分である。一方、自発休眠の解除に必要な低温要求量と他発休眠の解除に必要な温度要求量と併せて、日長が開花や開葉の引き金となっている可能性も考えられる (Basler, 2006; Tang et al., 2016; Wang et al., 2020)。コナラとクヌギの開花や開葉のフェノロジーの理解を深めるために、(1) 多地点を対象とした長期連続的なフェノロジー観測と、(2) 各地において過去に観測されたデータの検索とアーカイブ (e.g., 鎌田ほか, 2019; 国立科学博物館, 2020) は、重要

Table 2 Relationship between mean temperature and (a) first date of flowering and (b) leaf-flush at Yokohama Institute of JAMSTEC. Qa: *Q. acutissima*. Qs: *Q. serrata*. ρ : Spearman's rank correlation. p : p -value.

(a) First date of flowering

Month	Period	Qa_Ycamera		Qa_Y1		Qa_Y2		Qs_Y1		Qs_Y2		Qs_Y3	
		ρ	p	ρ	p	ρ	p	ρ	p	ρ	p	ρ	p
December	1-10	0.12	0.83	0.20	0.78	0.20	0.78	0.80	0.33	0.80	0.33	0.80	0.33
	11-20	0.20	0.70	0.20	0.78	0.20	0.78	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
	21-31	0.41	0.43	0.60	0.35	0.60	0.35	0.80	0.33	0.80	0.33	0.80	0.33
January	1-10	0.27	0.61	0.20	0.78	0.20	0.78	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
	11-20	-0.99	0.00	-1.00	0.02	-1.00	0.02	-0.40	0.75	-0.40	0.75	-0.40	0.75
	21-31	-0.35	0.50	-0.30	0.68	-0.30	0.68	0.40	0.75	0.40	0.75	0.40	0.75
February	1-10	-0.41	0.43	-0.50	0.45	-0.50	0.45	0.40	0.75	0.40	0.75	0.40	0.75
	11-20	-0.12	0.83	-0.20	0.78	-0.20	0.78	0.40	0.75	0.40	0.75	0.40	0.75
	21-28/29	-0.62	0.19	-0.56	0.32	-0.56	0.32	0.32	0.68	0.32	0.68	0.32	0.68
March	1-10	-0.17	0.74	-0.20	0.78	-0.20	0.78	-1.00	0.08	-1.00	0.08	-1.00	0.08
	11-20	-0.75	0.08	-0.60	0.35	-0.60	0.35	-0.80	0.33	-0.80	0.33	-0.80	0.33
	21-31	-0.52	0.29	-0.70	0.23	-0.70	0.23	-1.00	0.08	-1.00	0.08	-1.00	0.08

(b) First date of leaf-flush

Month	Period	Qa_Ycamera		Qa_Y1		Qa_Y2		Qs_Y1		Qs_Y2		Qs_Y3	
		ρ	p	ρ	p	ρ	p	ρ	p	ρ	p	ρ	p
December	1-10	0.41	0.43	0.53	0.36	0.26	0.74	0.60	0.35	0.60	0.35	0.05	0.94
	11-20	0.41	0.43	0.58	0.31	0.26	0.74	0.10	0.95	0.50	0.45	0.36	0.55
	21-31	0.58	0.23	0.95	0.01	0.78	0.23	0.70	0.23	0.80	0.13	0.67	0.22
January	1-10	0.46	0.36	0.58	0.31	0.26	0.74	0.10	0.95	0.50	0.45	0.36	0.55
	11-20	-0.75	0.08	-0.63	0.25	-0.78	0.23	-0.90	0.08	-0.60	0.35	-0.98	0.01
	21-31	0.09	0.87	0.32	0.60	0.26	0.74	-0.10	0.95	0.10	0.95	-0.21	0.74
February	1-10	0.06	0.91	0.11	0.87	-0.26	0.74	-0.10	0.95	0.10	0.95	-0.56	0.32
	11-20	0.29	0.58	0.53	0.36	0.26	0.74	-0.10	0.95	0.40	0.52	-0.05	0.94
	21-28/29	-0.12	0.82	0.11	0.86	-0.27	0.73	-0.21	0.74	0.05	0.94	-0.58	0.31
March	1-10	-0.35	0.50	-0.53	0.36	-0.78	0.23	-0.50	0.45	-0.40	0.52	-0.15	0.81
	11-20	-0.93	0.01	-0.95	0.01	-0.78	0.23	-0.70	0.23	-0.80	0.13	-0.67	0.22
	21-31	-0.75	0.08	-0.95	0.01	-0.78	0.23	-0.90	0.08	-0.90	0.08	-0.67	0.22

な課題である。

謝辞

横浜研究所における植物季節観測では、竹内弥加氏と池田教子氏にお世話になった。編集者と匿名の査読者2名より建設的なコメントをいただいた。科学研究費助成事業「基盤研究(C)」:17k00542(2017年度~2020年度、代表:永井信)の支援を受けた。感謝の意を表す。

引用文献

青野靖之, 小元敬男 (1990) 温度変換日数を用いたサクラの

開花日の簡便推定法. 農業気象46(3):147-151.
 朝倉利員, 杉浦裕義, 阪本大輔, 杉浦俊彦, 弦間 洋 (2010) サクラの満開を広域で予測するモデル. 農業気象66(4):269-277.
 Basler D. (2016) Evaluating phenological models for the prediction of leaf-out dates in six temperate tree species across central Europe. Agricultural and Forest Meteorology 217: 10-21.
 Buitenwerf R., Rose L., Higgins S.I. (2015) Three decades of multi-dimensional change in global leaf phenology. Nature Climate Change 5: 364-368.
 Cesaraccio C., Spano D., Snyder R.L., Duce P. (2004) Chilling and forcing model to predict bud-burst of crop and forest

- species. *Agricultural and Forest Meteorology* 126: 1–13.
- Chuine I., Bonhomme M., Legave J.-M., García de Cortázar-Atauri I., Charrier G., Lacoïnte A., Améglio T. (2016) Can phenological models predict tree phenology accurately in the future? The unrevealed hurdle of endodormancy break. *Global Change Biology* 22: 3444–3460.
- Doi H., Takahashi M., Katano I. (2010) Genetic diversity increases regional variation in phenological dates in response to climate change. *Global Change Biology* 16: 373–379.
- ESA (2020) Sentinel-2 (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>).
- 藤本征司 (2008) 気温変動が暖温帯域の樹木の葉フェノロジーに与える影響の予測. *保全生態学研究* 13(1): 75–87.
- Garonna I., De Jong R., De Wit AJW., Mùcher C.A., Schmid B., Schaeppman M.E. (2014) Strong contribution of autumn phenology to changes in satellite-derived growing season length estimates across Europe (1982–2011). *Global Change Biology* (<https://doi.org/10.1111/gcb.12625>).
- Ide R., Oguma H. (2010) Use of digital cameras for phenological observations. *Ecological Informatics* 5: 339–347.
- 鎌田直人, 木村徳志, 井口和信, 福岡 哲, 小川 瞳, 笠原久臣, 芝野伸策, 高橋康夫, 犬飼雅子, 佐々木忠兵衛, 功力六郎, 佐々木与八 (2019) 東京大学北海道演習林における1930～2010年の長期樹木フェノロジーデータ. *演習林(東大)* 61: 45–63.
- 環境省 (2016) 里地里山の生物多様性の経済的価値の評価(CVM)の結果について(お知らせ) (<https://www.env.go.jp/press/102332.html>).
- 気象庁 (2020a) 生物季節観測の情報 (<https://www.data.jma.go.jp/sakura/data/index.html>).
- 気象庁 (2020b) 過去の気象データ・ダウンロード (<https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>).
- 気象庁 (2020c) 生物季節観測の情報 (<https://www.data.jma.go.jp/sakura/data/index.html>).
- 国立科学博物館 (2020) 附属自然教育園見ごろ情報 (<http://www.ins.kahaku.go.jp>).
- Linderholm H.W. (2006) Growing season changes in the last century. *Agricultural and Forest Meteorology* 137: 1–14.
- Menzel A., Sparks T.H., Estrella N., Koch E., Aasa A., Ahas R., et al. (2006) European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology* 12(10): 1969–1976.
- Nagai S., Saitoh T.M., Nasahara K.N., Suzuki R. (2015) Spatio-temporal distribution of the timing of start and end of growing season along vertical and horizontal gradients in Japan. *International Journal of Biometeorology* 59: 47–54.
- Nagai S., Akitsu T., Saitoh T.M., et al. (2018a) 8 million phenological and sky images from 29 ecosystems from the Arctic to the tropics: the Phenological Eyes Network. *Ecological Research* 33: 1091–1092, doi: 10.1007/s11284-018-1633-x.
- Nagai S., Ikeda K., Kobayashi H. (2018b) Simple method to detect year-to-year variability of blooming phenology of *Cerasus × yedoensis* by digital camera. *International Journal of Biometeorology* 62: 2183–2188.
- Nagai S., Saitoh T.M., Morimoto H. (2020) Does global warming decrease the correlation between cherry blossom flowering date and latitude in Japan?. *International Journal of Biometeorology* 64: 2205–2210.
- 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. *三重大学農学部学術報告* 64: 11–20.
- Ogawa-Onishi Y., Berry P.M. (2013) Ecological impacts of climate change in Japan: the importance of integrating local and international publications. *Biological Conservation* 157: 361–371.
- 奥田尚孝, 中島敦司, 中尾史郎, 山田宏之, 養父志乃夫 (2003) 温暖条件下で育成したコナラの成長. *環境システム研究論文集* 31: 145–150.
- Penñuelas J., Rutishauser T., Filella I. (2009) Phenology feedbacks on climate change. *Science* 324(5929): 887–888.
- Richardson A.D., Keenan T.F., Migliavacca M., Ryu Y., Sonnentag O., Toomey M. (2013) Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system. *Agricultural and Forest Meteorology* 169: 156–173.
- 陸 斉, 須賀 丈, 浜田 崇, 堀田昌伸, 尾関雅章, 畑中健一郎 (2016) 長野県における気候変動下の生物多様性保全施策に向けて. *地球環境* 21(2): 157–166.
- Schwartz M.D. (ed) (2003) *Phenology: an integrative environmental science*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- 関川清広, 杉本和永, 松香光夫 (1986) 玉川学園キャンパスの植生概況. *玉川大学農学部研究報告* 26: 41–63.
- 杉浦俊彦, 杉浦裕義, 阪本大輔, 朝倉利員 (2012) 果樹の生育変化と異常. *地球環境* 17(1): 75–81.
- Tang J., Körner C., Muraoka H., Piao S., Shen M., Thackeray S.J., Yang X (2016) Emerging opportunities and challenges in phenology: a review. *Ecosphere* 7(8): e01436. (<https://doi.org/10.1002/ecs2.1436>).
- Templ B., Koch E., Bolmgren K., et al. (2018) Pan European Phenological database (PEP725): a single point of access for European data. *International Journal of Biometeorology* 62: 1109–1113.
- Wang H., Wang H., Ge Q., Dai J. (2020) The interactive effects of chilling, photoperiod, and forcing temperature on flowering phenology of temperate woody plants. *Frontiers in Plant Science* 11: 443, doi: 10.3389/fpls.2020.00443.
- Xie Y., Wang X., Wilson A.M., Silander JAJr. (2018) Predicting autumn phenology: how deciduous tree species respond to weather stressors. *Agricultural and Forest Meteorology* 250–251: 127–137.

Phenology of Oak Trees in Kanagawa: Comparison between Yokohama Institute of Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology and Tamagawa University

Shin Nagai¹, Seikoh Sekikawa², Hideki Kobayashi¹, Mitsutoshi Tomotsune²

Abstract

We have conducted long-term phenology observations of *Quercus serrata* and *Q. acutissima* at Yokohama Institute of Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC) and Tamagawa University by visually inspection and time-lapse cameras. We then examined the year-to-year variability of the first date of flowering and leaf-flush and their variable factor. The first date of flowering and leaf-flush of *Q. serrata* and *Q. acutissima* during 2018 and 2020 was about two weeks earlier than that during 2015 and 2017. The first date of leaf-flush of *Q. serrata* at Tamagawa University was about two weeks later than that at Yokohama Institute of JAMSTEC. The first date of flowering and leaf-flush of *Q. serrata* and *Q. acutissima* tended to negatively correlate with mean temperature for 10-day periods in March.

Keywords: flowering, leaf-flush, phenology observation, *Querrcus acutissima*, *Quercus serrat*

¹ Research Institute for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), 3173-25 Showa-machi, Kanazawa-ku, Yokohama 236-0001, Japan

² Department of Agri-Environmental Sciences, College of Agriculture, Tamagawa University, 6-1-1 Tamagawagakuen, Machida, Tokyo 194-8610, Japan