

植物見本園の樹木フェノロジー I .

—開芽・開花時期と月平均気温および積算気温との関係—

中野 好基*・砂坂 元幸*・中村 徹**

Phenology of tree species in the Botanical Garden, University of Tsukuba I.
Relation between temperature and budding and flowering

Koki NAKANO*, Motoyuki SUNASAKA* and Toru NAKAMURA**

1. はじめに	41
2. 調査地および方法	42
3. 調査結果および考察	
(1) 開芽日, 開花日の年次変化	43
(2) 月平均気温と開芽・開花時期との関係	46
(3) 日積算気温と開芽・開花時期との関係	47
引用文献	50
Summary	51

1. はじめに

植物は気象環境に対して総合的に反応するため、植物の諸現象を観測することは環境変化を客観的に評価する方法として有効である。とくに植物季節（フェノロジー）は高価な測定機器なしで比較的容易に観測できるため、各地で調査が行われている（Diershke 1972, Hayashi 1971, 林 1988, 中越 1980, Nakagoshi 1980, 1985, 佐藤・酒井 1980, 渡辺 1979, 1987など）。近年ではフェノロジーの現象記載だけでなく、その要因についても研究され始めている（大野1997 a, b, 大谷ら 1995）。全国演習林協議会では、大学演習林が全国各地に広く点在している利点を活かし、全国统一基準を設けて各地の演習林で一斉にフェノロジー調査を開始した（戸田・東京農工大学演習林フェノロジー観察グループ 1998）。本学農林技術センター植物見本園でもそれに呼応し1995年から定期的かつ継続的な観察による調査を行っている。ここでは1998年までの4年

* 筑波大学農林技術センター

**筑波大学農林学系

間の観測から、気象環境、とくに温度条件と植物季節との関係について検討した結果を報告する。

2. 調査地および方法

フェノロジーの観察は筑波大学農林技術センター植物見本園で行った(図1)。植物見本園は本学構内の北地区に位置し、標高25m、面積2.2haである。比高約5mの築山や池を人工的に造成しており、地形にはゆるやかな起伏がある。調査地の気象条件は図2のとおりである。年平均気温、年降水量はそれぞれ13.5°Cと1,158mmである(1985年~1994年の平均)。暖かさの指数は106.4°C・月で、暖温帯常緑広葉樹林の成立する北限に近い。造成以前の周辺の植生はアカマツ林やクリ畑放棄地などであった。本園の造成は1988年にスタートし、現在までに既存のアカマツ、クリ以外

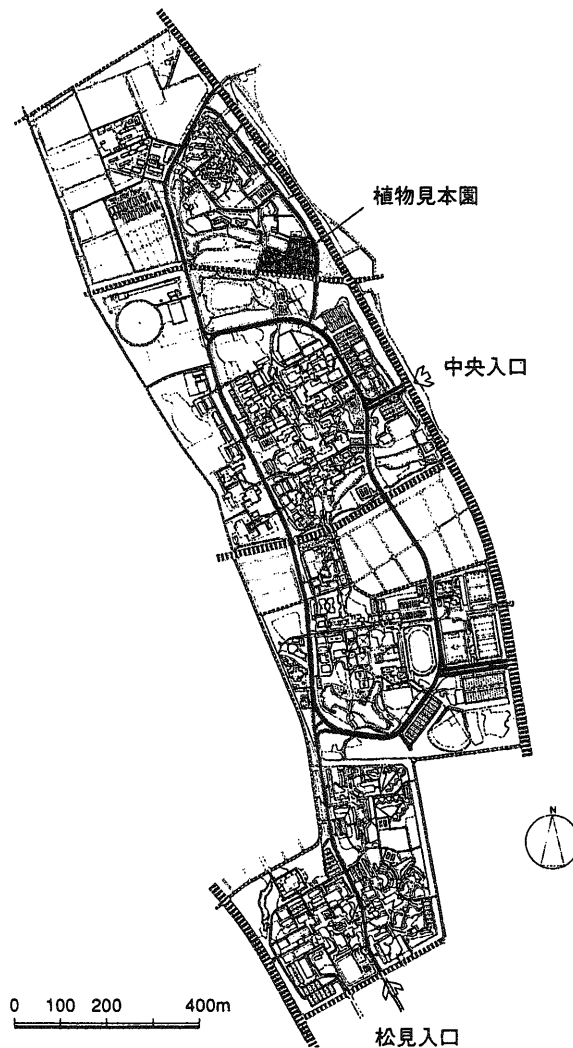


図1 植物見本園位置図

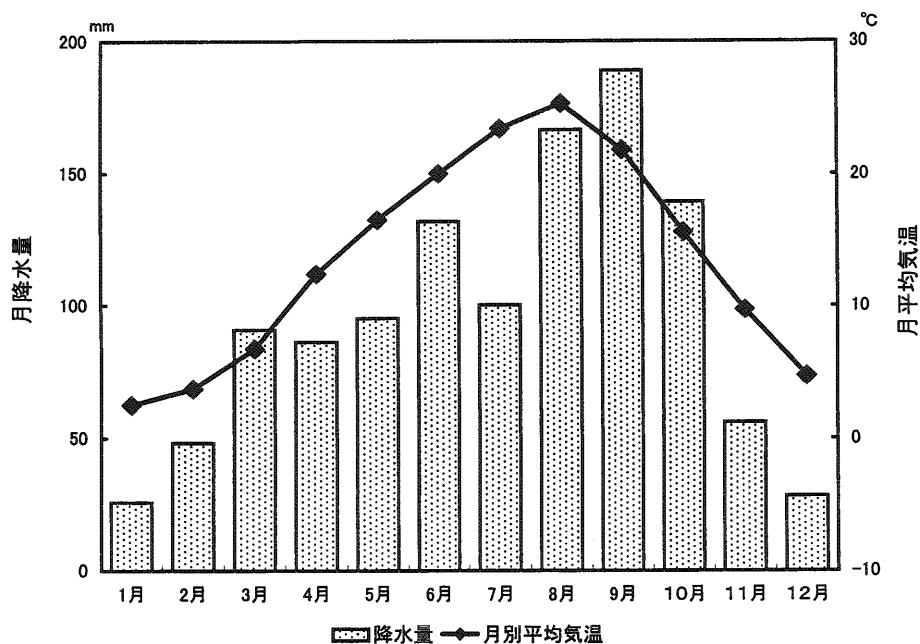


図2 筑波大学農林技術センター筑波苗畑における1995～1998年の月別平均気温・降水量

に樹木218種、草本26種、タケ・ササ類64種が導入、育成されている。

全国大学演習林協議会による全国統一のフェノロジー評価基準（戸田・東京農工大学演習林フェノロジー観察グループ 1998）により開芽および開花の日を記録した。ここで開芽とは「葉は群状をなしている。芽は完全に開いているが、芽鱗は存在する」状態が芽総数の20%に達した状態をいう。また、開花は「花芽および花序が開き、花粉を散布している状態」と定義した。調査は調査期間中毎日行った。調査対象の樹種は、1995～1998年の4年間を通して観察・記録した樹木を取り上げ、開芽、開花ともそれぞれ異なる58種であった。フェノロジーと気象の関係を解析する際に用いた気温のデータは、筑波苗畑の観測値（井波 1997-2000）を用いた。ただし、1995年1～5月の気温データについては欠測のため、南に約8 km離れた館野高層気象台のデータを用いた。

3. 調査結果および考察

(1) 開芽日、開花日の年次変化

1995年～1998年のフェノロジー観測結果は表1、2に示すとおりである。調査対象の各58樹種の各年の開芽日および開花日について4年間の平均日（以下、平均日という）との違い（平均より早いか遅いか）を図3で示した。ただし開芽・開花の早まりや遅れが平均日から2日以内に収まるものは変移がないものとした。

表1 筑波大学農林技術センター植物見本園
における58樹種の開芽日(月・日)

植 物 名	1995年	1996年	1997年	1998年	平均開芽日
アオダモ	4. 7	4.15	4. 8	4. 5	4. 9
アカシデ	4. 7	4.12	4. 3	4. 3	4. 6
アカナラ	4.30	4.29	4.21	4.21	4.25
アカメヤナギ	4.18	4.25	4.21	4.20	4.21
イイギリ	4.19	4.23	4. 9	4.12	4.16
イボタノキ	3.22	3.23	3.10	3.20	3.19
イロハモミジ	4.10	4.12	4. 3	4. 7	4. 8
ウグイスカグラ	4. 7	4. 3	3.12	3.16	3.26
ウダイカンバ	4.12	4.17	4.11	4.10	4.13
ウラジロノキ	4.11	4.15	4. 7	4. 6	4.10
エゴノキ	4. 5	4. 1	3.26	3.29	3.31
エンコウカエデ	4.17	4.22	4.11	4.13	4.16
オオバメガ	3.27	3.25	3.14	3.16	3.21
オノエヤナギ	3.15	3.13	3. 4	3.10	3.11
カツラ	4. 7	4. 9	3.25	4. 3	3.31
ガマズミ	3.27	3.27	3.14	3.20	3.22
カマツカ	4.11	4.18	4. 7	4. 7	4.11
カラマツ	3.28	4. 2	3.14	3.24	3.25
カンボク	4. 7	4. 9	3.25	3.31	4. 3
キハダ	4.19	4.25	4.13	4.16	4.18
クサギ	4.19	4.27	4.16	4.16	4.20
クスギ	4.21	4.17	4. 9	4. 9	4.14
クマノミズキ	4. 7	4. 9	3.31	4. 9	4. 4
クリ	4.18	4.19	4. 9	4. 6	4.13
ケケンボナシ	4.13	4.17	4. 7	4.11	4.12
コバノヤマハノキ	4. 6	4. 1	3.21	3.23	3.29
ゴンズイ	4.11	4.10	3.28	3.31	4. 5
サワフタギ	4.19	4.23	4.11	4.17	4.18
シウリザクラ	4. 7	4.11	4. 7	3.31	4. 4
シオジ	4.11	4.17	4. 6	4. 9	4.11
シモツケ	3.23	3.28	3.19	3.13	3.21
シラカンバ	4. 2	4. 1	3.29	3.29	3.31
タイワンフウ	4. 7	4.24	4. 8	4. 8	4.12
チドリノキ	4.27	4.27	4.17	4.18	4.22
トチノキ	4.19	4.24	4. 9	4.15	4.17
ナツハゼ	4.11	4.17	4. 7	4. 7	4.11
ナナカマド	4. 1	3.28	3.14	3.29	3.28
ネジキ	4.14	4.17	4. 1	4. 8	4.10
ハウチワカエデ	4. 6	4. 9	3.30	4. 8	4. 8
ハクウンボク	4.11	4.17	4. 2	4. 3	4. 8
ハコネウツギ	3.28	3.28	3.19	3.23	3.25
ハナノキ	4.25	5. 2	4.21	4.17	4.24
ハルニレ	4.10	4.22	4.13	4.20	4.16
ハンノキ	4.10	4. 8	3.21	3.23	3.31
ブナ	4.18	4.23	4.10	4.13	4.16
ホオノキ	4.24	4.29	4.21	4.20	4.24
マユミ	3.27	4. 3	3.21	3.27	3.27
ミズナラ	4.24	4.30	4.23	4.20	4.24
ミネザクラ	4.20	4.25	4.16	4.18	4.20
ミヤマザクラ	4.14	4.10	4. 1	3.31	4. 4
ムクノキ	4.18	4.25	4.10	3.19	4.11
ヤマウコギ	4.11	4.17	4. 6	4. 7	4.10
ヤマザクラ	4. 5	3.30	3.29	3.29	4. 2
ヤマナシ	4.14	4.21	4. 9	4.12	4.14
ヤマナラシ	4.20	4.24	4.14	4.16	4.19
ヤマボウシ	4.11	4.18	4. 8	4. 5	4.11
ラクウショウ	4.19	4.24	4. 9	4. 9	4.15
リョウブ	4. 5	4. 2	3.28	3.29	4. 1

表2 筑波大学農林技術センター植物見本園
における58樹種の開花日(月・日)

植 物 名	1995年	1996年	1997年	1998年	平均開花日
アカヤシオツツジ	3.27	4. 2	3.18	3.24	3.28
アズマシャクナゲ	4.10	4.19	4. 6	4. 9	4.11
イイギリ	5.24	6. 3	5.19	5.14	5.27
イタヤカエデ	4.12	4.23	4.14	4. 5	4.14
イヌツゲ	6. 2	6.10	5.25	5.20	5.30
イボタノキ	5.25	5.29	5.16	5.16	5.22
イロハモミジ	4.24	4.27	4.14	4.16	4.20
ウグイスカグラ	3.28	3.26	3. 4	1.26	3.19
ウラジロノキ	5. 2	5. 7	4.30	4.26	5. 1
ウリカエデ	4.17	4.12	4. 2	4. 5	4. 9
ウリハダカエデ	4. 6	4. 8	4. 7	3.31	4. 4
ウンゼンツツジ(赤)	4.22	4.27	4.16	4.20	4.21
エゴノキ	5.17	5.27	5. 7	4.10	5.15
カザンジマツツジ	5.14	6. 3	5.19	5.11	5.24
カマツカ	5. 2	5.10	4.29	4.27	5. 2
カワサツキ	6.21	6.22	6. 6	5.12	6.16
キシツツジ	4.22	4.30	4.16	4.19	4.22
クサギ	8.23	8. 5	7.25	7.27	8. 4
クスノキ	5.24	6. 3	5.12	5.13	5.25
クリ	6.15	6.13	6. 1	5.26	6. 3
クルメツツジ(今舞々)	4.18	4.30	4.14	4.13	4.19
クロモジ	3.27	4. 1	3.31	3.27	3.30
ゲンカイツツジ	4. 1	3.26	3.17	3.25	3.28
コバノガマズミ	4.30	5. 2	4.21	4.10	4.26
コバノミツバツツジ(白)	4.22	4.27	4.15	4.14	4.20
サワフタギ	5.11	5.13	5. 6	4.30	5.15
サンシュユ	3.22	3.10	2.27	2.22	3. 5
シダレザクラ	4.10	4.13	4. 5	4. 7	4. 9
シナノキ	6.12	7. 1	6.22	6.15	6.24
ジングウツツジ	5.14	5.21	5. 9	5. 6	5.13
ソヨゴ	5.25	6. 7	5.22	5.20	5.30
タカクマミツバツツジ	4.18	4.19	4. 7	4.11	4.14
チョウセンヤマツツジ	4.20	4.27	4.17	4.16	4.20
ドウダンツツジ	4.13	4.19	4. 4	4. 9	4.11
トベラ	5.24	5.30	5.13	5.13	5.20
ナカハラツツジ	6. 2	6.10	5.22	5.11	5.27
ナツツギ	4.17	4.18	4. 8	3.24	4.10
ナツハゼ	5. 7	5.24	5.13	5.12	5.14
ナナカマド	4.30	5.10	4.28	4.28	5. 4
ネジキ	5.24	6. 3	5.19	5.16	5.23
ネムノキ	7.16	7. 3	6.30	6.30	7. 5
ハウチワカエデ	4.10	4.19	4. 7	4. 9	4.11
ハクウンボク	5. 8	5.22	5. 4	4.30	5. 6
ハコネウツギ	5.18	3.31	5. 8	5. 6	5.11
ハナズオウ	4.17	4.22	4. 9	4.11	5.15
ハマナス(白)	5. 8	5.13	5. 1	4.28	4.15
ヒトツバカエデ	5. 9	5.22	5. 6	5. 5	5.11
ヒラドツツジ(御代の栄)	5. 5	5.13	4.29	4.26	5. 4
マルバサツキ	5.31	6. 8	5.21	5.20	5.24
ミツマク	3.22	3.18	3. 4	3. 2	3.12
ミヤマキリシマ	4.26	4.29	4.17	4.22	4.24
メンツツジ	4.13	4.21	4. 1	4.11	4.12
モチツツジ(白)	5. 7	5. 8	5. 1	4.29	5. 1
モッコク	7.15	7. 3	7. 9	7. 1	7. 7
ヤマザクラ	4. 5	3.30	3.31	3.30	4. 2
リュウキュウツツジ	4.30	5. 8	4.23	4.28	5. 3
リョウブ	7. 1	7.11	6.25	6.26	7. 1
レンゲツツジ	4.30	5. 7	4.30	4.24	5. 3

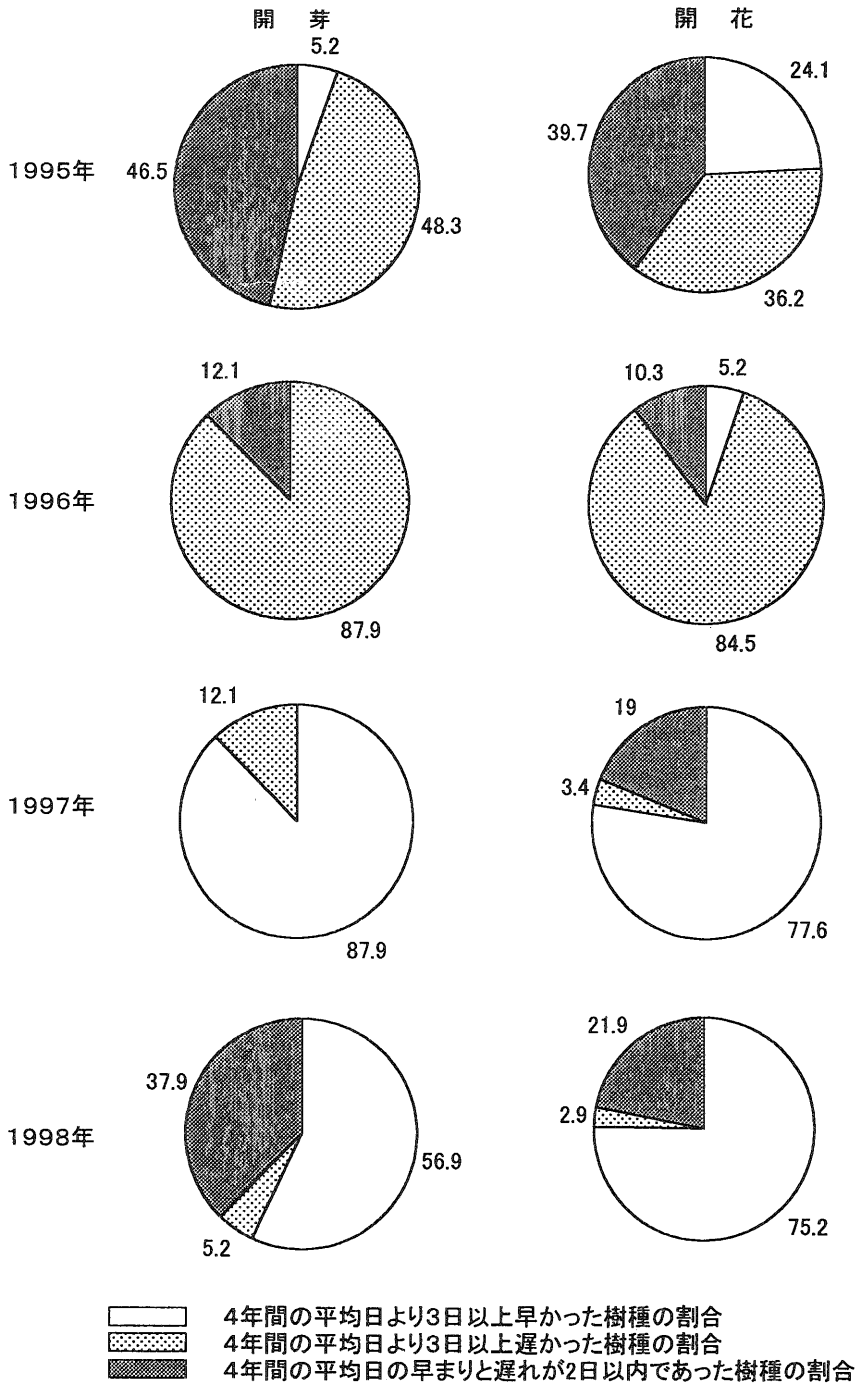


図3 1995～1998年の4年間の平均開芽日と平均開花日の変移数字は全樹種数(58種)に対するパーセントである。

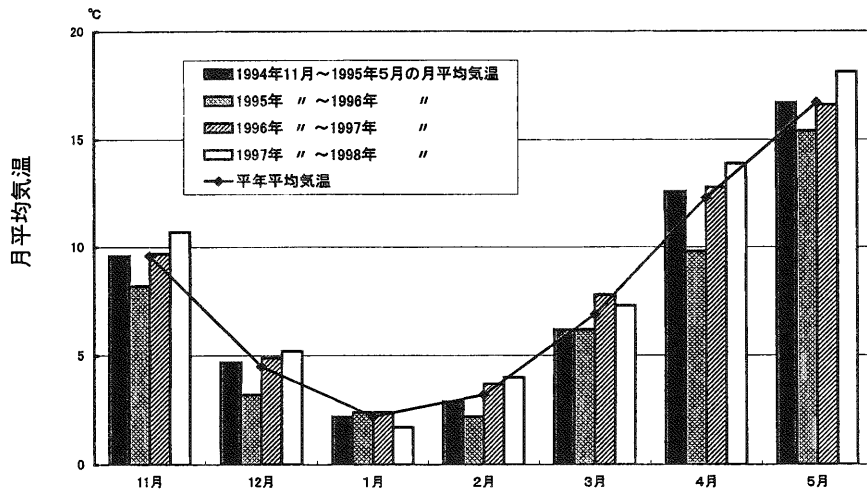


図4 筑波大学農林技術センター植物見本園における年ごとの月平均気温の推移

開芽を年次別に見ると1995年には48.3%の樹種で平均日より遅れたが46.5%の樹種で変移がなかった。1996年には87.9%の樹種で遅れ、1997年には87.9%の樹種で早く、1998年には56.9%の樹種で平均日より早かった。

一方開花をみると、1995年には平均日より早かったのが全樹種の24.1%、遅かったのが36.2%、変移のなかった樹種は39.7%の種であった。また1996年には84.5%の樹種で平均日より遅く、1997年には77.6%の樹種で平均日より早く、1998年には75.2%で平均日より早かった。

以上のように開芽日と開花日の年次変移を平均日と比較して見ると、1995年には94.8%の樹種において開芽日が遅いか変移なしだったにもかかわらず、開花日は平均より早い樹種、遅い樹種、変わらない樹種がほぼ三分した。1996年には開芽、開花とも平均日より遅い樹種が多かった。1997年には1996年とは逆に開芽、開花とも多くの樹種で平均日より早くなった。1998年も同様に開芽、開花とも早い傾向にあり、平均日より早い樹種と、変わらない樹種の合計が9割以上を占めた。

(2) 月平均気温と開芽・開花時期との関係

多くの植物では休眠解除後、開芽、開花とも外的要因に影響される。そこで気温と開芽・開花時期との関係について検討した。

11月から翌年5月までの月平均気温の年次変化を見たのが図4である。4年間の11月から5月の月平均気温の平均(以下、年平均気温という)と比較すると、1994年～1995年、1996年～1997年にはほぼ年平均気温に近い月平均気温であったが、1995年～1996年の月平均気温は年平均気温より低く、特に4月には2.5°Cも低かった。1997年～1998年には1月を除き、月平均気温が年平均気温より高かった。

以上のような気温の推移は、そのまま樹木の開芽と開花の時期の変移にほぼ当てはまっている。年平均気温に近い1995年には平均日と変移のない開芽が46.5%、開花が39.7%で、また平均日

より開芽、開花とも遅れた樹種が多い。月平均気温が低かった1996年には一般に開芽、開花とも平均日より遅れた樹種の割合が高い。しかし年平均気温に近かった1997年には、開芽が87.9%の樹種で、開花が77.6%の樹種で平均日より早かった。1998年には月平均気温が年平均気温より高かったが、前年1997年と比較すると平均日より開芽の早い樹種数が31%減少しているのに対し、開花は3%程度の減少にすぎず、開芽と開花にばらつきが出た。

1995年と1997年とで、前年の11月からその年の5月までの月平均気温がほとんど同様でありながら、開芽日および開花日に差があった。これについて検討する。1995年の2、3月の平均気温は1997年に比べて低かった。樹木の開芽、開花に関する内的成長はその1ヶ月前から始まることが知られている(永田 1996)。2、3月の平均気温が低かった1995年に開芽および開花が平均日より遅れたのに対し、1997年には2、3月の平均気温がやや高かったことから葉芽と花芽の内的成長が進み、開芽および開花が平均日より早い樹種が多くなったものと推測される。

1998年には前年の11月から翌年の5月までの月平均気温がもっとも高かったが、平均日からの変移のない樹種が多く、しかも開芽と開花にばらつきが出ていた。平均気温が高かったのは11-12月および4-5月であり、2-3月はほぼ同年並みで1月は年平均気温より低かった。このような平均気温の上下により、葉芽と花芽のそれぞれの内的成長時期の異なる樹種間で差がでたと思われる。

(3) 日積算気温と開芽・開花時期との関係

さらに詳しく検討するため日積算気温 daily cumulative temperature を計算し、これと開芽・開花のタイムコースの関係を見た。積算気温は植物の成長開始時期からの温量を示し、植物の成長に関わりが深いと言われている(鷲谷・佐伯1985)。積算気温としては吉良(1948)の暖かさの指数が有名であるが、ここでは各年1月1日を基準日とし、 0°C を基準温度として一日ごとの平均気温を積算した DCT_0 と、 5°C を基準とする DCT_5 の2種類を用いた。毎日の平均気温のデータが得られた1996年～1998年の3年間の平均気温から算出した DCT_0 、 DCT_5 と、3年間の平均開芽日、平均開花日(ともに累積種数)との関係を図5に示す。

これによると、開芽開花ともに3月上旬から開始し、そのときの積算温度は DCT_0 が約 $200^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ 、 DCT_5 が約 $14^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ であることがわかる。また、開芽は3月20日頃(DCT_0 が約 $300^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ 、 DCT_5 が約 $40^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$) から急激に多くなり、35日後の4月25日頃(DCT_0 が約 $660^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ 、 DCT_5 が約 $240^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$) に終わる。開花は3月27日頃(DCT_0 が約 $340^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ 、 DCT_5 が約 $55^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$) から多くなるがその度合いは開芽ほど急激ではない。6月1日頃(DCT_0 が $1280^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ 、 DCT_5 が $690^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$) 増加が頭打ちになり、その後8月4日までだらだらと続く。

図6は年ごとの開芽、開花のタイムコースを累積種数で示したものである。開芽、開花とも1997年と1998年はきわめて類似のタイムコースをたどり、1996年は開芽、開花ともに1997・8年とはっきりと異なるタイムコースをたどっている。1996年は開芽種類数の急増する日が遅れ、その後も1997・8年から8-10日遅れている。開花についても同様の傾向が見られ、遅れは15-20日に広がる。

つぎに、年ごとの DCT_0 と DCT_5 のタイムコースを図7に示す。これを見ると DCT_0 は1996年と1997年が同様のコースをたどり、とくに3月20日以後、気温上昇の大きい1998年とはっきり区別

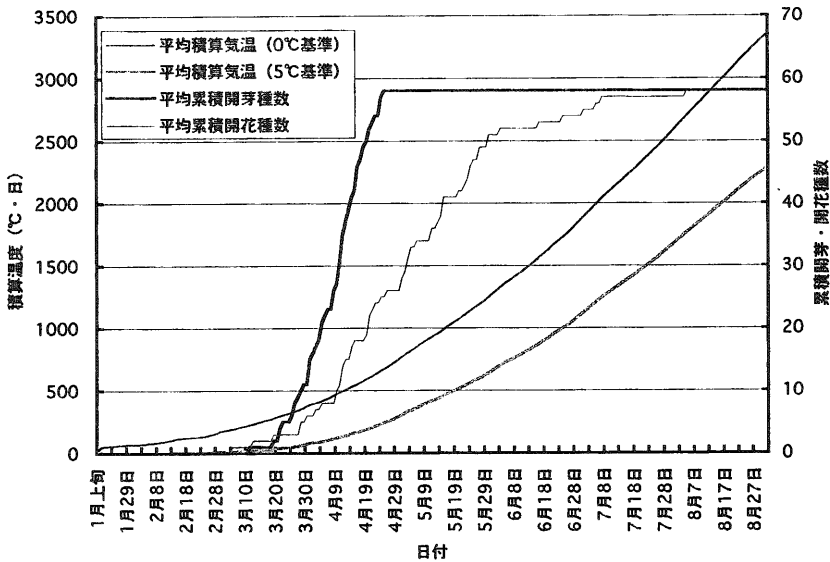


図5 平均積算気温と平均開芽・開花種数

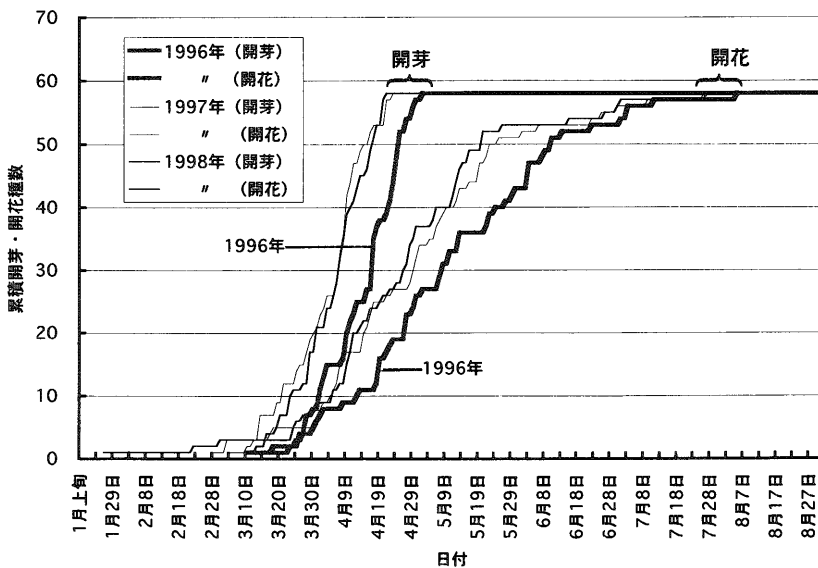


図6 開芽・開花の年変化

することができる。これに対し DCT₅ では、1996年だけが他と異なり季節進行に伴う温度上昇が遅れていることが分かる。すなわち1996年に開芽・開花が遅かったことと一致する。なお、具体的なフェノロジー現象と DCT₅ との対応を表3に示す。

植物見本園の樹木フェノロジー I (中野 他)

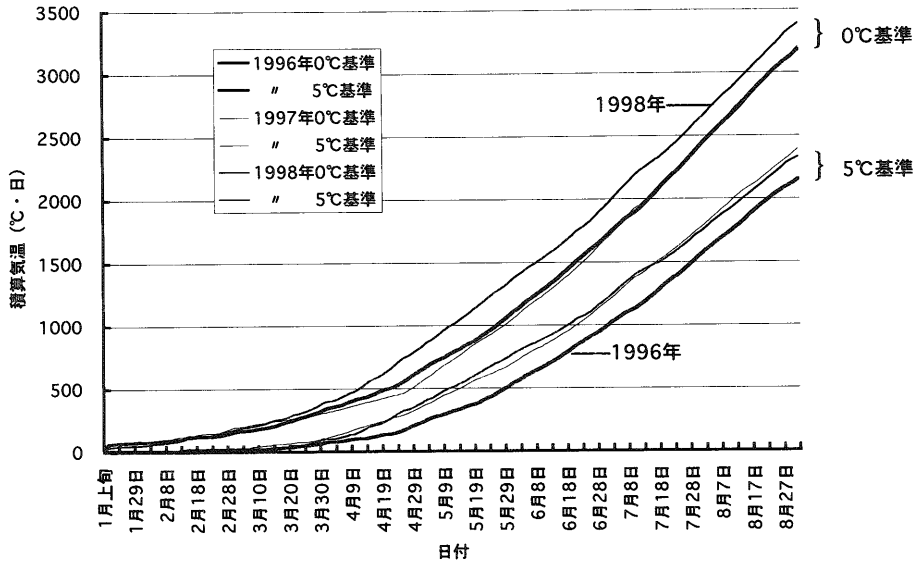


図7 積算気温の年変化

表3 フェノロジー現象と DCT₅ (°C・月)

	1996	1997	1998	平均	標準偏差
開芽開始	20.9	23.3	21.6	21.9	1.2
開芽急増	46.2	44.1	28.9	39.7	9.4
開芽終わり	239.0	275.3	261.8	258.7	18.3
20種開芽	97.5	105.9	99.6	101.0	4.4
29種開芽	123.0	153.7	125.2	134.0	17.1
40種開芽	141.6	174.0	145.0	153.5	17.8
開花開始	20.3	14.5	0.2	11.7	10.3
開花増加	51.3	109.7	54.1	71.7	32.9
開花頭打ち	730.2	795.2	703.7	743.0	47.1
開花終わり	1665.8	1679.2	1669.1	1671.4	7.0
20種開花	185.9	211.6	156.3	184.6	27.7
29種開花	282.6	329.4	327.5	313.2	26.5
40種開花	437.5	451.2	442.8	443.8	6.9

以上のことから、開芽、開花とも5°Cを基準温度とした日積算気温 DCT₅に大きく影響を受けていること、そして0°C基準の日積算温度 DCT₀には左右されないことが明らかとなった。

引用文献

- Dierschke, H. (1972) On the recording and presentation of phenological phenomena in plant communities. Basic problems and methods in phytosociology: 291-311.
- Hayashi, I. (1971) Phenology of grassland species at Sugadaira, central Japan. Japanese Journal of Ecology: 21, 214-221.
- 林 一六 (1988) 冷温帯林構成樹の開葉と落葉. 日本の生物 2(5): 48-52.
- 井波明宏(1997)筑波大学農林技術センター演習林気象報告—筑波苗畑の気象観測データ(1995年)
—. 筑波大学農林技術センター演習林報告, 13: 135-142.
- 井波明宏(1998)筑波大学農林技術センター演習林気象報告—筑波苗畑の気象観測データ(1996年)
—. 筑波大学農林技術センター演習林報告, 14: 131-138.
- 井波明宏(1999)筑波大学農林技術センター演習林気象報告—筑波苗畑の気象観測データ(1997年)
—. 筑波大学農林技術センター演習林報告, 15: 401-408.
- 井波明宏(2000)筑波大学農林技術センター演習林気象報告—筑波苗畑の気象観測データ(1998年)
—. 筑波大学農林技術センター演習林報告, 16: 67-74.
- 吉良竜夫 (1948) 温量指数による垂直的な気候帯のわかち方について. 寒地農学, 2: 143-173.
- 永田 洋 (1996) 樹木の開花, 開葉などに影響を与える気象要因の評価法について. 森林地域における酸性雨等地球環境モニタリング体制の確立(藤原滉一郎ほか). 平成5~7年度文部省科学研究費補助金(試験研究A)研究成果報告書: 17-23.
- 中越信和 (1980) 比婆山における森林植物の植物季節学的研究. ヒコピア: 8, 400-415.
- Nakagoshi, N. (1980) Phenology of forest communities on the Hiba Mountains in southwestern Honshu, Japan. Bull. Biol. Soc. of Hiroshima Univ., 46: 12-18
- Nakagoshi, N. (1985) Phenology of temperate forests, Southwestern Japan. Jpn. J. Biometeor 22(2): 55-65.
- 大野啓一 (1997a) 日本各地における照葉樹林優占種の開花時期. 植生学会誌 14: 1-14.
- 大野啓一 (1997b) *Castanopsis sieboldii* の開花時期と温度要因との関係. 植生学会誌 14: 15-24.
- 大谷義一・森澤 猛・山野井克己・大丸裕武・後藤義明 (1995) 気候変動が雪田植生のフェノロジーに及ぼす影響1. 積雪境界線移動と地温形成のモデリング. 日本生態学会誌45: 225-235.
- 佐藤利行・酒井 昭 (1980) 北海道のシダ植物の葉の生物季節. 日本生態学会誌: 30, 369-375.
- 戸田浩人・東京農工大学演習林フェノロジー観察グループ (1998) 東京農工大学演習林の樹木フェノロジー—1992~1996年の観察記録—. 森林環境資源科学: 36, 67-78.
- 鷲谷いづみ・佐伯敏郎 (1985) アカマツ種子の発芽マイクロサイトの分析. 文部省環境科学研究報告集 B236-R-12-3: 39-58.
- 渡辺隆一 (1979) 志賀高原における木本植物のフェノロジー. 信州大学志賀自然教育研究施設研究業績: 18, 55-60.

渡辺隆一 (1987) 木本植物の開芽過程. 長野県植物研究会誌 30: 82-86.

Summary

Phenology of tree species was surveyed in the Botanical Garden of Agricultural and Forestry Research Center, University of Tsukuba. In order to clarify the relation between temperature and phenology, dates of budding and flowering of 58 tree species were recorded from 1995 to 1998.

Relatively to the average dates of budding and flowering, that was normal in 1995, late in 1996 and early in 1997 and 1998.

The time course of daily cumulative temperature over 5°C in each year can relate to the budding and flowering dates.