

論文

トチノキ個体群における雄花の開花フェノロジー

谷口 真吾

Shingo TANIGUCHI

Flowering phenology in *Aesculus turbinata* population

要旨：谷口真吾：トチノキ個体群における雄花の開花フェノロジー。兵庫県農技総セ研報（森林林業）51号：1～7, 2004 兵庫県北部地域に自生するトチノキの個体群において、雄花落下数の積算値をロジスチック曲線に回帰させる方法で開花フェノロジーを定量的に解析した。館野ら（1999年）が定式化したロジスチック曲線にトラップ法で捕捉した雄花落下数の積算値を回帰させた結果、よく当てはまった。開花フェノロジーは雄花の開花開始日が早い個体ほど開花期間が長い傾向であった。開花中央日（開花の最大日）のばらつきの大きさは開花開始日のそれらと比べて小さく、開花の中央日は個体群全体で同調する傾向があった。また、個体間の相対的な開花の開始時期、終了時期および開花期間のそれぞれの序列は繁殖年が異なってもほぼ個体ごとに決まったものである可能性が示唆された。

キーワード：開花、トチノキ、フェノロジー、雄花数

I はじめに

種子植物にとっての開花期間は、いかに効率よく送粉者を利用して種子生産に結びつけるかという意味で植物生活史の中で極めて重要なステージであるといえる。個体群の中においては、少なくとも1個体以上の他個体と同調（開花期を合わせること）して開花しないと他家受粉が行えないので、同樹種内における開花時期の他個体との同調は他殖を行う上で重要である。樹木の開花過程を明らかにすることは、応用面では林木育種を目的とした花粉の採取、人工交配のための袋掛け、人工交配の適期の検討や花に産卵する種子（球果）害虫の防除などを検討する上でも重要な情報を提供することになる。

ところで、「フェノロジー」の用語は、一般には生物季節学（巖佐ら, 2003）あるいは生物気象学と訳されることが多いが、植物生態学の分野では、「季節の進展に伴う植物の芽、葉、花、果実などの諸器官の発達の可視的な推移」の意味で用いられる。そこで本論文では、「トチノキの時間軸に沿った開花の推移状況」に対し「開花フェノロジー」の用語をあてた。しかしながら、トチノキなどの高木種の開花フェノロジーを直接、定量観察することはとても困難である。

本研究は、トチノキの個体群を研究対象にして、トラップ法で捕捉した雄花数の積算値をもとに開花を定量的に測定し、館野ら（1999）の提案した開花フェノロジーのロジスチック曲線による定式化の手法をあてはめ、開花フェノロジーについて個体群内における変動を規定している要因を検討した。

II 材料および方法

1. 調査地の概要

調査地は兵庫県城崎郡日高町万場に自生するトチノキ個体群である。調査地の標高は720～760m、傾斜は25～35°、平均31°、方位は北東向きの上昇斜面でトチノキ、ミズナラ、ミズメなどが優占する冷温帯の広葉樹林に属している。この個体群の平均胸高直径は87cm、平均樹高は18mで、胸高直径が50cm以上あるトチノキ個体は18個体であった。その内、過去に開花、結実の確認されている個体は15個体である。調査地の気候は日本海型気候であり、冬期の積雪深は約2.5mと推定される。

2. 方法

(1) トラップの設置と雄花落下数の測定

これまでに開花、結実の確認された個体のうちトラップの設置と目視観察のしやすい6個体（表-1）について、各個体の樹冠下に開口面積0.5㎡のトラップ4個を設置した。1997年は5月22日から7月13日の間に、トラップに落下した内容物を2～10日間隔（平均4日間隔）で合計12回収した。また、1999年は5月21日から7月10日の間に、トラップに落下した内容物を2～8日間隔（平均4日間隔）で合計13回収した。

トラップ内に落下した内容物はトラップごとに回収して実験室に持ち帰り、80℃の恒温装置で48時間乾燥させた後、雄花以外の夾雑物を取り除き、重量を計測した。その中から100～300個の雄花を抽出して重量を計測し、その重量割合から雄花の数量を推定した。

(2) 雄花落下数積算値のロジスチック曲線へのあては

めの方法

雄花落下数積算値のロジスティック曲線による定式化は、館野らの方法（1999）に準じた。すなわち、回収日ごとに落下した雄花数の積算値の時間変化をロジスティック曲線に回帰させた。回帰したロジスティック曲線から求めた全雄花数の10%、50%、90%が落下した日をそれぞれ開花開始日、開花中央日（開花最大日）、開花終了日の相対的な時期の指標として定義した。開花開始日から終了日までの期間を開花期間とした。ちなみに、館野ら（1999）の定式化したロジスティック曲線は次式（式-1）である。

$$Y_t = \frac{N}{1 + e^{-r(t-t_m)}} \quad (\text{式-1})$$

Y_t: 雄花の積算落下数

t: 時間、1月1日からの日数

N: 雄花の落下総数

t_m: 落下数の最大日（中央日）

r: 定数

ところで谷口（1995）は、雄花の開花期間は7~9日であると報告している。さらに、美方町大谷に自生するトチノキ（胸高直径85cm、推定樹齢120年）の雄花の

開花から落下までを雄花ごとに調査したところ、大半が7日間で落下した（谷口、未発表）。本論は、落下した雄花数の積算値をもとに樹上での開花時期を推定するものである。したがって、樹上の開花と落下期に日較差があるため開花時期を補正する必要が生じる。このため、式-1のロジスティック曲線から求めた開花開始日、開花中央日（開花最大日）、開花終了日からそれぞれ7日を引いた値を各ステージ（開花日、中央日、終了日）ごとの開花日と定義した。

(3) 開花状況の目視観察

実際の開花日を把握するため、トラップを設置した個体について、1997年、1999年とも5月20日より双眼鏡を用いて開花の開始日と終了日を目視観察した。

目視観察による開花開始日は、「個体ごとに、2、3個の花序の完全な開花を確認」した段階とした。また、開花終了日は、「個体ごとに、大部分の花序からほとんどの小花が落下」した段階とした。

(4) 調査地の気温の推定

調査地の気温は、調査地の南西方向約6kmにある地域気象観測所「村岡」（標高220m）における観測値に基づき、気温低減率0.6°C/100mを用いて現地の日平均気温を推定した。

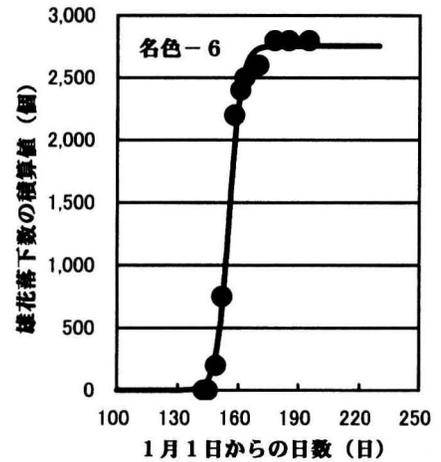
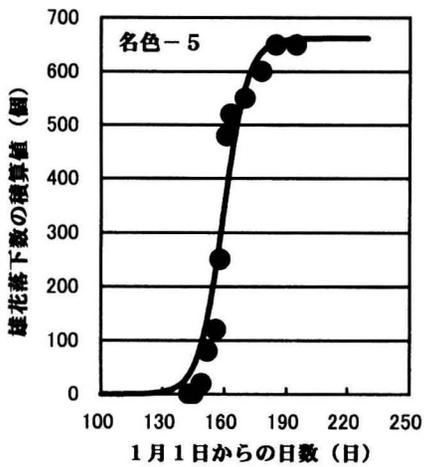
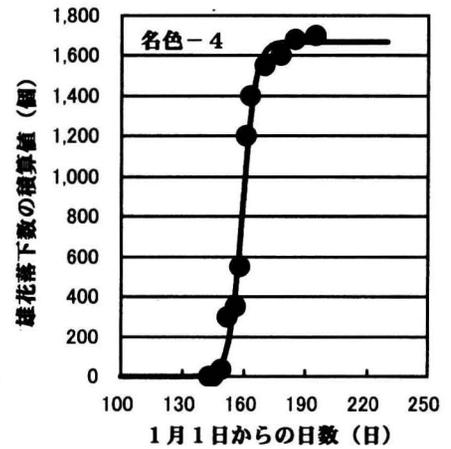
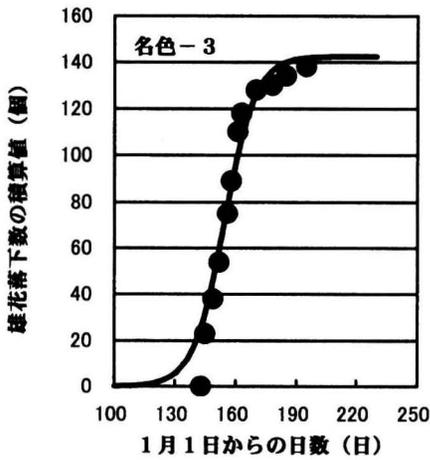
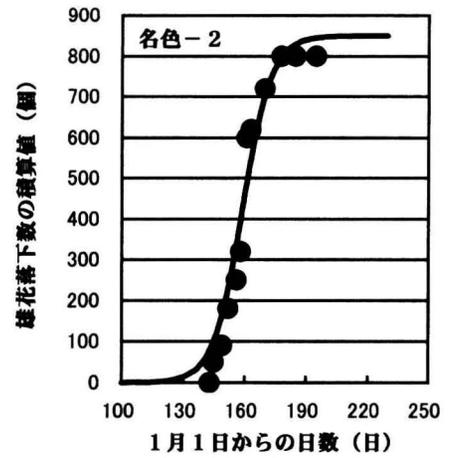
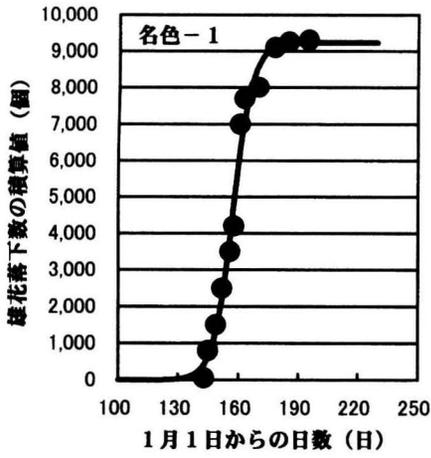
表-1 調査個体の概要

個体番号	胸高直径 (cm)	成立している場所の地形	トラップに落下した雄花数の合計 (個)	
			1997年	1999年
名色-1	85.6	斜面中部	9,300	7,500
名色-2	115.6	斜面中部	800	1,550
名色-3	78.5	斜面上部	138	280
名色-4	93.5	斜面下部	1,700	1,500
名色-5	105.3	斜面下部	650	550
名色-6	74.1	斜面下部	2,800	3,550

表-2 ロジスティック曲線への回帰による開花フェノロジーの諸量（1997年、1999年）

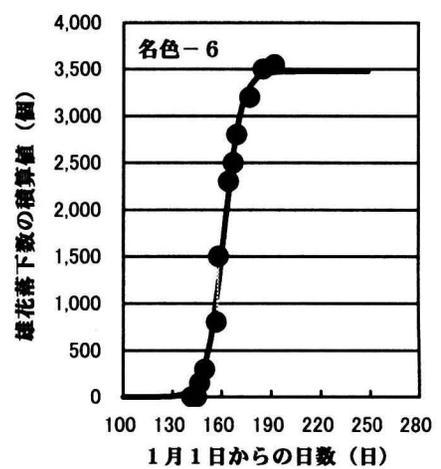
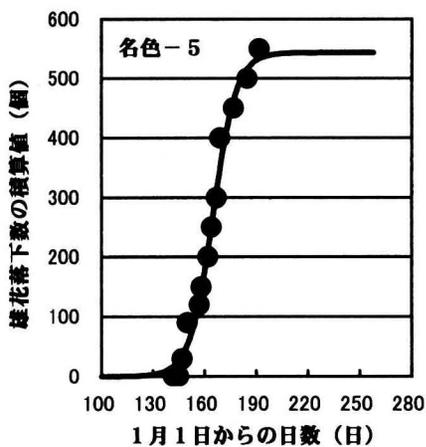
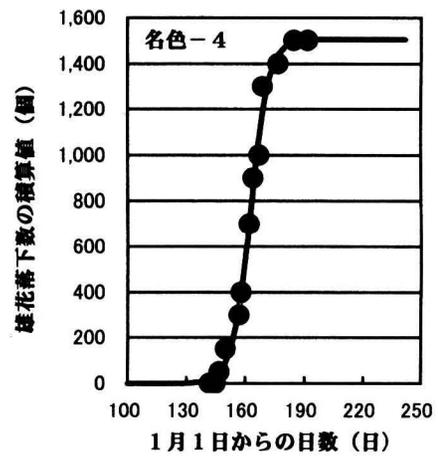
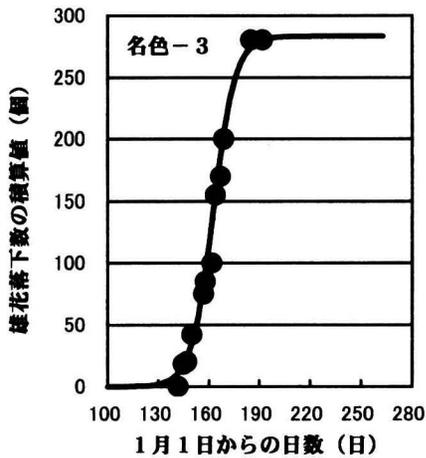
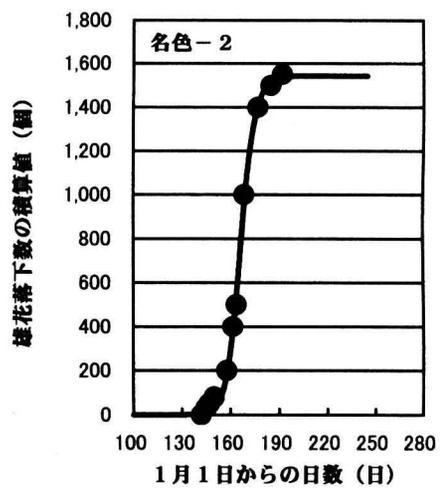
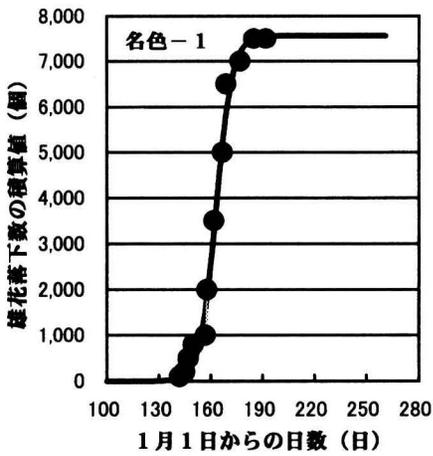
個体番号	回帰の決定係数	開花開始日	開花中央日（最大日）	開花終了日	開花期間（日）
(1997年)					
名色-1	0.983	139.9 (5月18日)	150.4 (5月29日)	160.8 (6月8日)	20.9
名色-2	0.944	136.4 (5月15日)	151.8 (5月30日)	167.1 (6月15日)	30.7
名色-3	0.941	130.6 (5月9日)	147.4 (5月26日)	164.1 (6月12日)	33.5
名色-4	0.984	145.2 (5月24日)	152.1 (5月31日)	159.0 (6月7日)	13.8
名色-5	0.927	139.6 (5月18日)	152.3 (5月31日)	165.0 (6月13日)	25.4
名色-6	0.991	141.7 (5月20日)	148.2 (5月29日)	154.8 (6月2日)	13.1
(1999年)					
名色-1	0.989	145.8 (5月24日)	156.1 (6月4日)	166.5 (6月14日)	20.7
名色-2	0.998	150.0 (5月29日)	159.7 (6月7日)	169.4 (6月17日)	19.4
名色-3	0.991	141.2 (5月20日)	155.5 (6月3日)	169.9 (6月17日)	28.7
名色-4	0.994	143.5 (5月22日)	155.6 (6月3日)	165.9 (6月13日)	22.4
名色-5	0.986	143.0 (5月22日)	157.9 (6月5日)	172.7 (6月20日)	29.7
名色-6	0.988	142.7 (5月21日)	154.1 (6月2日)	165.5 (6月13日)	22.8

開花開始日、開花中央日（最大日）、開花終了日の数値は、1月1日からの日数を示す。（ ）は月日。



(図中の黒丸は雄花落下数の積算値)

図-1 雄花落下数の積算値に対する
ロジスチック曲線の回帰 (1997年)



(図中の黒丸は雄花落下数の積算値)

図-2 雄花落下数の積算値に対する
ロジスティック曲線の回帰 (1999年)

III 結果と考察

1. 雄花落下数の積算値のロジスチック曲線への回帰

雄花落下数の積算値をロジスチック曲線に回帰させて求めた開花フェノロジーの諸量を表-2に示す。さらに、雄花落下数の積算値にロジスチック曲線をあてはめたものを図-1(1997年)と図-2(1999年)に示す。

雄花落下数の積算値をロジスチック曲線に回帰させた決定係数(r^2)は、1997年は0.927から0.991の範囲であり、1999年は0.986から0.998の範囲であった。両年とも6個体の雄花落下数の積算値はロジスチック曲線によく当てはまった。

2. 開花フェノロジーの個体間のばらつき

雄花落下数の積算値のロジスチック曲線への回帰ならびに目視観察によって求めた開花開始日と開花期間の関係を図-3に示す。

なお、両年とも、ロジスチック曲線の回帰あるいは目視観察の双方とも近似線の傾き傾向に差のないことから、雄花の積算落下数から間接的に開花時期を推定する本法は、樹上の開花を直接目視観察する方法とほぼ一致するものと考えられ、ロジスチック曲線の回帰による開花時期の推定は可能であると思われる。

1997年においてはロジスチック曲線の回帰あるいは目視観察の双方とも、開花開始日が早い個体ほど開花期間が長くなる傾向であった。1999年は回帰係数に有意性は認められなかったが1997年と同様の傾向であった。

3. 開花開始日と開花開始日から開花中央日までの期間

ロジスチック曲線の回帰によって求めた1997年、1999年の開花開始日と開花開始日から開花中央日までの期間を図-4に示す。

開花開始日が最も早い個体と遅い個体の日較差は1997年では14.6日(標準偏差5.0日)、1999年では8.8日(標準偏差3.1日)であったのに対し、開花中央日の早い個体と遅い個体の日較差は1997年では4.9日(標準偏差2.1日)、1999年では5.6日(標準偏差2.0日)であった。この結果、開花開始日の日較差のばらつきに比べて、開花中央日のばらつきが小さかった。このように、開花開始日の早い個体ほど、開花中央日までの期間が長くなることと、開花開始日のばらつきに比べて開花中央日のばらつきは小さく、開花の最大日(開花中央日)は個体間で同調する傾向であった。

4. 開花開始日と開花終了日の年次比較

年次別に雄花落下数の積算値をロジスチック曲線の回

帰によって求めた開花開始日、開花終了日ならびに目視観察した開花開始日、開花終了日の関係を図-5に示す。

雄花の落下パターンは、目視観察によって求めた開花の序列が実際の開花の序列をよく反映しており、開花開始日から開花終了日までの序列は繁殖年が異なってもほぼ決まったものであることが示唆された。しかし、雄花落下数の積算値をロジスチック曲線にあてはめて求めた1997年と1999年の開花開始日は、回帰係数に有意性は認められず、この原因を明らかにすることはできなかった。いずれにしても雄花落下数を調査した個体数が両年とも各6個体とサンプル数の少ないことが問題であり、今後さらに個体数を増やして再検討する必要がある。

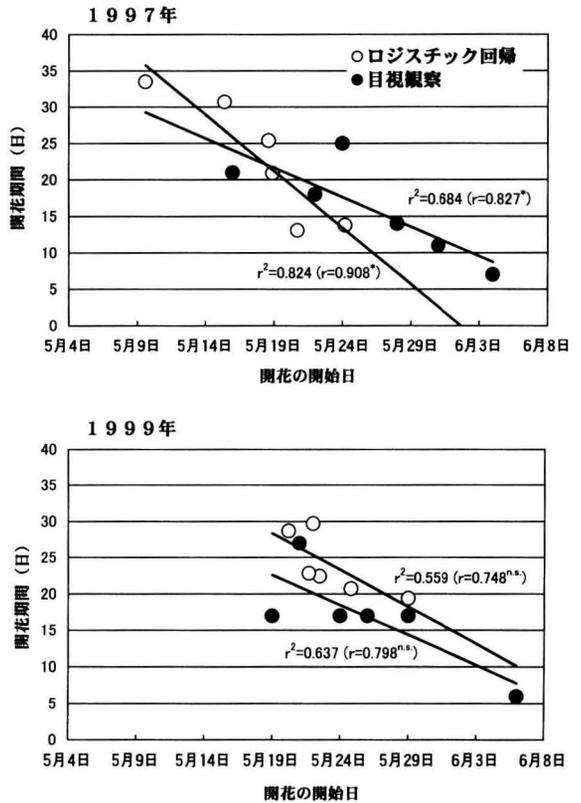


図-3 開花開始日と開花期間の関係

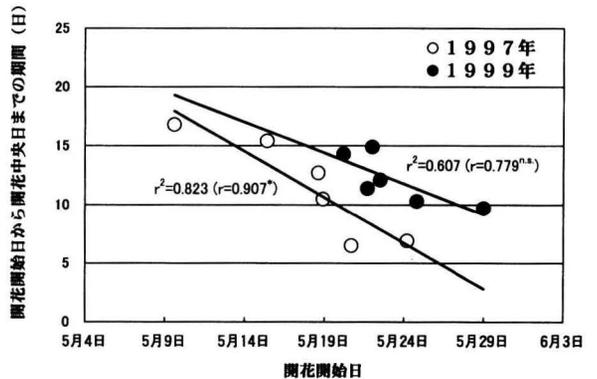


図-4 開花開始日と開花開始日から中央日までの期間との関係

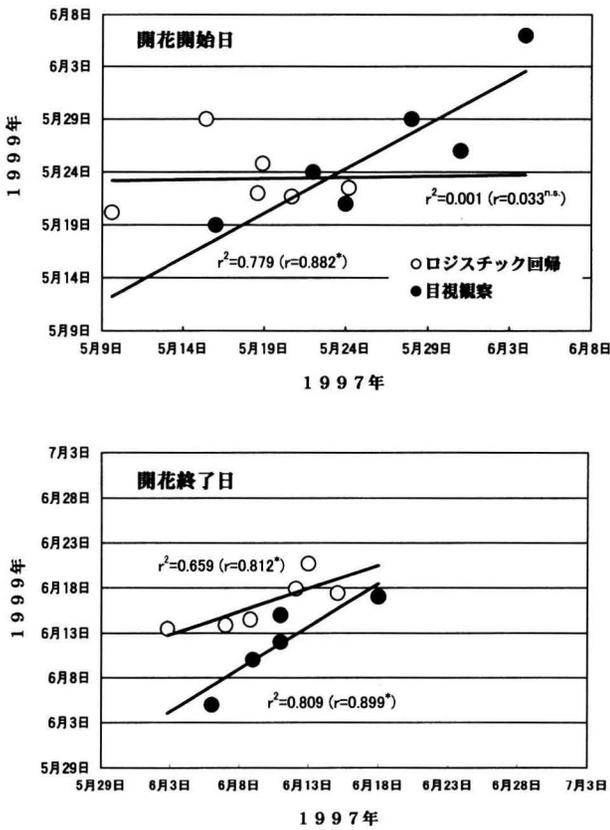


図-5 開花フェノロジーの年次比較

5. 気温と開花の進行

開花開始日、開花中央日、開花終了日の開花過程における積算温度を図-6に示す。

ここでの積算気温の基準温度は0℃とし、0℃より高い日平均気温を積算した。積算の開始日は、地域気象観測所「村岡」における日別平年値の日平均気温が0℃を超えるようになるのは3月上旬以降であることから、3月1日以降において気温低減率で補正した現地の日平均気温が0℃を超えた日から積算を開始した。ちなみに、積算を開始した日は、1997年は3月1日、1999年は3月3日からである。

開花開始日の積算気温は1997年では433~632℃(平均値551±標準偏差68℃)、1999年では574~698℃(平均値616±標準偏差45℃)、開花中央日の積算気温は1997年では651~718℃(平均値689±標準偏差28℃)、1999年では758~844℃(平均値792±標準偏差31℃)、開花終了日の積算気温は1997年では752~955℃(平均値868±標準偏差75℃)、1999年では941~1,057℃(平均値987±標準偏差47℃)であった。

両年をあわせると、トチノキの開花は、積算温度が

440~700℃の範囲で始まり、開花中央日(開花の最大日)は650~850℃、開花の終了日は750~1,100℃の範囲であった。両年とも、開花中央日の積算温度のばらつきが小さかった。すなわち、開花の最盛期は個体間で同調する傾向が認められた。開花過程の進行程度と積算温度の関係については、たとえば、積算温度を計測することによって開花の最盛期の花粉飛散時期などの情報が得られることになる。このように、トチノキの開花過程を予測するメリットは、トチノキの交配実験などにおいて、交配適時期の推定にも役立つものと考えられる。

開花開始期、その期間、開花最盛期の発現は、気温に密接に関係していることが多くの樹種で知られている(Matthews, 1963)。また、倉橋ら(1966)は花粉飛散期と気温との関係を検討し、ある一定の積算温度に達しなければ花粉の飛散が起こらないことを見いだしている。このように、個体群において、個体が一時期を中心として揃って開花すれば、訪花昆虫などの多くの送粉者を一時期、集中的に集めるのに有利であると考えられる。今回、調査した年次が異なっているにもかかわらず、開花中央日(最大日)は個体間で同調する傾向であった。これは、トチノキの繁殖戦略のひとつと考えられる。

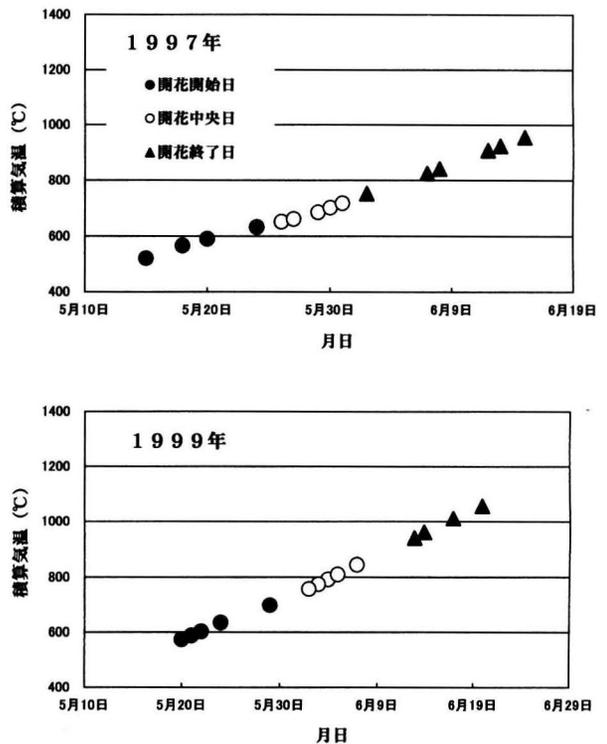


図-6 開花過程における積算気温

IV 摘要

兵庫県北部地域に自生するトチノキの個体群において、トラップ法による雄花落下数の測定と開花状況の直接観察を併用することにより、開花フェノロジーを定量的に解析した。得られた結果は以下のとおりである。

- (1) トラップで捕捉した雄花落下数の積算値を館野ら(1999年)が定式化したロジスチック曲線に回帰させた結果、雄花落下数の積算値はロジスチック曲線によく当てはまった。
- (2) 1997年、1999年の両年とも、開花の開始日が早い個体ほど開花期間が長くなる傾向であった。
- (3) 開花の中央日(最大日)のばらつきの大きさは開花開始日のそれらと比べて小さく、開花の最大日は個体間で同調する傾向であった。
- (4) 個体間の相対的な開花の開始時期、終了時期および開花期間のそれぞれの序列は、繁殖年が異なってもほぼ決まったものである可能性が示唆された。
- (5) 開花過程と両年の積算温度の関係では、トチノキの開花は、積算温度が440~700°Cの範囲で始まり、開花

中央日(開花の最大日)は650~850°C、開花の終了日は750~1,100°Cの範囲であった。両年とも、開花中央日の積算温度のばらつきが小さかった。すなわち、開花の最大日は個体間で同調する傾向であった。

引用文献

- 倉橋昭夫・佐々木忠兵衛・浜谷稔夫(1966)開花期と積算温度. 北海道の林木育種 35 : 12-15
- Matthews, J.D. (1963) Factors affecting the production of seed by forest trees. For. Abst. 24 : 1-13.
- 谷口真吾(1995)トチノキの育種に関する研究(I)
—人工受粉による結実および果実の発育経過—. 日林関西支論 4 : 75-78.
- 館野隆之輔・名波哲・廣部宗・南恵津・杉崎早千恵・飛田博順(1999)トチノキ繁殖個体のフェノロジー. 第46回日本生態学会大会講演要旨集 : 199.
- 巖佐 庸・松本忠夫・菊沢喜八郎(2003)生態学事典. 682pp, 共立出版, 東京.