

マツ属の球果の発達

中井 勇・大畠 誠一・藤本 博次

Cone Development of the Genus *Pinus*

Isamu NAKAI・Sei-ichi OOHATA and Hirotsugu FUJIMOTO

要 旨

京都大学農学部附属演習林上賀茂試験地に導入育成された外国産マツ属の生殖器官の発達を調べるため、本報告では20数年経過したマツ属19種類を対象として、それぞれの種類の球果の発達過程について比較検討した。なお、本調査は1951年から1952年にわたって調べられたものである。その結果は次のとおりである。

- 1) 球果の生長開始期は種類の違いに関係なく、3月上旬の日平均気温がほぼ5℃になる頃に一斉に始まった。
- 2) 球果の生長終了期は種類によってそれぞれ異なり、暖かい地域を原産とする種類では球果の生長終了が遅い時期（7月下旬）に、寒い地域を原産とする種類では早い時期（6月上旬）に訪ずれ、種類間では8週間もの差がみとめられた。
- 3) 球果の初期生長速度は暖かい地域を原産とする種類で小さく、寒い地域を原産とする種類で大きい傾向がみられた。また、球果の生長速度の変化の違いによって大きく2つのパターン分けがみとめられた。それらは当試験地よりも暖かい地域に原産地をもつ種類と寒い地域に原産地をもつ種類との違いと対応していた。
- 4) クロマツで調べられた球果の生長終了期と受精期はほぼ同時に起っていて、他の種類でも両者の間に密接な関係があるものと推測された。この結果から、暖かい地域を原産とする種類では受精期が遅れ、逆に寒い地域を原産とする種類では早い時期に受精するものと予測された。

はじめに

京都大学上賀茂試験地に導入され、育成された外国産マツ属はすでに20数年を経過していて、近年になって多くの種類で開花、結実が認められるようになった。これらのマツ属を観察していると、開花期や結実期がマツ属の分類上のグループによってかなり違いのあることが認められた。例えば、*Haploxyylon* に属するマツ属では *Diploxyylon* に属するマツ属に比べて結実時期が早く、真夏に訪ずれる。この違いは、それぞれの種類のもつ遺伝的な性質の違いを示していると思

われるが、それらのマツ属を上賀茂試験地の環境条件下で育てたとき、どのような違いが生ずるものか、興味ある問題である。また、それらの問題点の解明はマツ属の交雑育種、導入育種を進める上で重要である。

マツ属の球果の生長に伴う球果内部の発達機構の直接的な検討はミクロトームにより、うすい切片をつくり組織学的に調べて行く方法がとられるが、技術的に困難な問題も多く、多大の労力を要するため多種類を比較検討することは不可能に近い。

筆者らは交雑育種の基礎的研究を進めるため、数年来、マツ属の開花期、球果の生長過程、生産された種子の充実度の調査を行ってきた。その結果、球果の生長経過を調べることによってマツ属の生殖器官の発達の違いをある程度明らかにすることができるのではないかと思われたので報告したい。

なお、今回の報告では、マツ属各種類の原産地域の温度条件を温量指数によって検討した。この温度に関する豊富な資料は大阪市立大学理学部の吉良竜夫教授の御厚意によって提供を受けたものである。ここに記して深謝したい。また、本調査は当試験地でのマツ属の生育に関する研究の一環であり、本研究の進行、とりまとめにあたり助言をいただいた本学演習林の赤井龍男助教授、真鍋逸平助手および、協力いただいた当試験地の職員各位に感謝したい。

材料および方法

本調査では *Haploxyylon* に属するマツ 4 種類と *Diploxyylon* に属するマツ 15 種類を材料とした。原産地域別では北アメリカ東部地域 7 種類、北アメリカ西部地域 2 種類、ユーラシア北部および東南アジア地域 7 種類、地中海沿岸地域 3 種類であり、これらのマツはすべて京都大学農学部附属演習林上賀茂試験地（北緯 $35^{\circ}04'$ 、東経 $135^{\circ}45'$ 、標高 $100\sim 225\text{m}$ 、平均温量指数 117 ）で育成されている（表—1）。

マツ属の球果や種子が成熟する年令は種間でかなりの差がみられ、球果の大きさは種内でも年令、個体あるいは着生部位の違いなどによって異なる。そのため、本調査では導入育成後20数年を経て成熟球果や成熟種子の得られる種類を選んだ。調査はそれぞれの種類から1個体を選び、樹冠の上部に着生する5~10球果について、それぞれの球果ごとに最大径と最大長をノギスによって計測した。調査期間は1951年の開花後間もない幼球果時から1952年の球果裂開時まで、球果の生長休止期間を除きほぼ15日間隔で行なった。なお、調査期間中を通じて幼球果や球果の落果がみられたため、調査は球果が成熟時まで健全な生育をしつづけたものについて行なった。調査の結果得られた資料から、主として受粉翌年の球果の生長について次の方法によって整理した。

球果の容積の初期の生長は指数関数的に増加するとみてよいので、球果の生長開始期日の推定は生長開始前の大きさと、生長開始後の2測定値を個体ごとに片対数グラフ紙上にとり、それぞれの直線が交差する日をその期日とした（図—1のA）。また、球果の生長終了期日の推定は球果が成熟し裂開するはは1ヶ月前に球果を採取し、計測した結果を最終時の大きさとし、生長後期の測定値2点を結ぶ直線の交点をその期日とした（図—1のB）。

図—1のA、Bは *Pinus thunbergii* Parl. の5球果の例を前記の方法によって調べたものであり、生長開始期日にはほとんど差はなく、生長終了期日もやや個体差がみられるものの、5球果の生長終了期日は7月の上旬であった。こうした傾向は調べたすべての種類においても同様であった。

今回の調査の目的は種間での違いを検討することにあるので、調査個体の平均値を算出し、こ

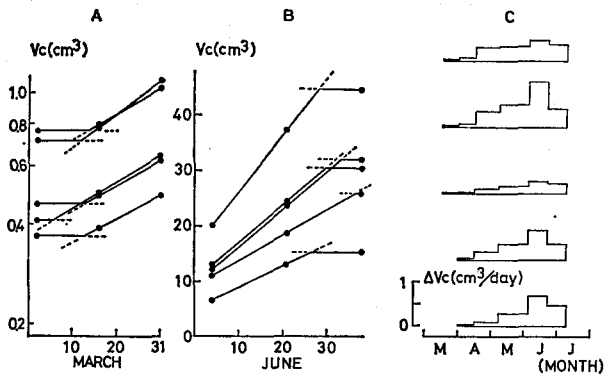


Fig. 1. Determination methods of starting date (A) and completion date (B) in cone growth, and variations of growth rate among cones in *Pinus thunbergii*.

れを種類の代表値としてとりあつかい、それぞれの種類の球果の生長開始、終了期日の多少のバラツキを考慮して月の上, 中, 下旬として表わした(表—1)。

球果の大きさは種内でも生育環境などの違いによって大小様々な変異がみられる。図—1のCは *P. thunbergii* の球果の容積の生長速度を球果ごとに示したものであるが、ほぼ同部位からの球果でもその大きさは異っていて、球果の大きいものでは速度が大きく、小さいものでは

小さい。しかし、生長速度の季節的变化には球果間で大きな違いはみられなかった。したがって、球果の生長量には球果の大小によって多少の差はあるものの5球果の平均値によって生長経

Table 1 Descriptions of native region, age, mean values of monthly cumulative temperature in base on 5°C at native regions (Mean Warmth Index:WI) and growing period of cones in respective pine species.

Section Subsection Group	Species	Age year old	Native region	Mean Warmth Index (WI)	Growing period of cone*** Started Completion date date
HAPLOXYLON CEMBRA STOROBI	<i>Pinus pentaphylla</i> Mayr.*	35	E. and SE. Asia	54.5	E. MAR.~L. JUNE
	<i>Pinus peuce</i> Grise.*	25	Mediterranean	50.6	E. MAR.~L. JUNE
	<i>Pinus excelsa</i> Wall.*	26	E. and SE. Asia	71.0	M. MAR.~L. JUNE
	<i>Pinus strobus</i> Linn.*	37	E. America	62.2	M. MAR.~L. JUNE
DIPLOXYLON PINASTER LARICIONES	<i>Pinus massoniana</i> Lamb.*	20	E. and SE. Asia	113.9	E. MAR.~M. JULY
	<i>Pinus densiflora</i> S. & Z.*	25	E. and SE. Asia	86.4	M. MAR.~L. JUNE
	<i>Pinus sylvestris</i> Linn.*	25	N. Eurasia	33.8	M. MAR.~M. JUNE
	<i>Pinus thunbergii</i> Parl.*	25	E. and SE. Asia	100.9	M. MAR.~E. JULY
	<i>Pinus nigra</i> Arnord.*	24	Mediterranean	81.2	M. MAR.~L. JUNE
	<i>Pinus tabulaeformis</i> Carr.*	21	E. and SE. Asia	66.8	M. MAR.~E. JUNE
AUSTRALIS INSIGNES	<i>Pinus taeda</i> Linn.**	20	E. America	146.9	M. MAR.~L. JULY
	<i>Pinus pinaster</i> Ait.**	26	Mediterranean	111.9	E. MAR.~E. JULY
	<i>Pinus virginiana</i> Mill.**	25	E. America	111.3	M. MAR.~M. JULY
	<i>Pinus clausa</i> Vasey**	24	E. America	195.1	M. MAR.~L. JULY
	<i>Pinus rigida</i> Mill.**	25	E. America	89.7	M. MAR.~E. JULY
	<i>Pinus pungens</i> Lamb.**	25	E. America	99.0	M. MAR.~E. JULY
	<i>Pinus banksiana</i> Lamb.**	24	E. America	37.9	M. MAR.~L. JUNE
	<i>Pinus contorta</i> Dougl.**	23	W. America	29.9	M. MAR.~E. JUNE
<i>Pinus muricata</i> D. Don**	25	W. America	83.1	E. MAR.~E. JUNE	

Classification of pine species by SHAW., * Uni-nodal Type and ** Multi-nodal Type of leader elongation. ,*** E: Early, M.: Middle, L: Late.

過を調べても大差はないであろう。そこで、調査した他の種類でも同様に平均値によって各々の球果の季節変化を調べた。

マツ属は北半球の熱帯から寒帯まで分布しており、すでにそれぞれのマツの地理的分布は CRITCHFIELD & LITTLE²⁾によって詳しく調べられている。しかし、これは水平的な分布の扱いのみである。例えば、メキシコ地域に分布するマツ属では低緯度地域に分布しているが、低地から高地までそれぞれの気候帯にわたって分布しており、単に水平的な分布だけではマツ属の生育地に関する整理は出来ない。とくに、いろいろな環境条件下に適応して分布しているマツ属をわが国に導入して、それぞれの生育上の諸性質を比較する場合には、それぞれのマツが分布している原産地域の気候条件を調べておく必要がある。わが国のマツ属、その他の針葉樹の垂直的な分布に関しては、すでに³⁾林により詳細に記載がなされ、その資料によって⁴⁾吉良は日本の針葉樹の分布を温量指数によって検討している。外国産マツ属の垂直的な分布に関する資料は少なく、不完全ではあるが、⁵⁾MIROVによって記載されているので、極めておおまかではあるが、マツ属それぞれの分布域の温度条件を調べることが出来る。気象資料については吉良竜夫教授から提供を受けた資料と理科年表による気象表とを加えて、それぞれのマツの分布地域の温量指数を算出した。気温の定減率を $0.55^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ と仮定し、マツ属の分布地域の高度が記載されている地域付近の気象資料から100 mごとに温量指数を計算し、それらの値の平均値(WI)によって球果の生長の諸量を比較検討した。得られたWIの値は表一に示した。

結果と検討

1) 球果の生長開始期と終了期

マツ属のほとんどの種類では一般に受粉してから種子が成熟するまでに2生育期間を必要とする。しかし、例外として1生育期間内で成熟する *P. nelsonii*, 3生育期間を要する *P. pinea*, *P. leiophylla* などがあるとされている。上賀茂試験地に育成されている *P. leiophylla* はまだ若令で開花せず、*P. pinea* は開花するものの幼球果の段階ですべて落果している。

今回調べられた種類は受粉してから種子の成熟期までに2生育期間を要するマツ属であり、上賀茂試験地におけるこれらのマツ属の生殖器官の発達過程を図化すると図一2のとおりである。マツ属の新梢は開花期の約2ヶ月前の3月初旬の日平均気温が 5°C 前後になるとほぼ一斉に生長を開始する(1)。開花期

(花粉飛散最盛期; 2) は一般に新梢の伸長が最盛期を過ぎた頃に始まる。しかし、*P. taeda* 型の新梢伸長をする種類での開花は第一節がほぼ伸長完了した時期に相当する。それぞれの種

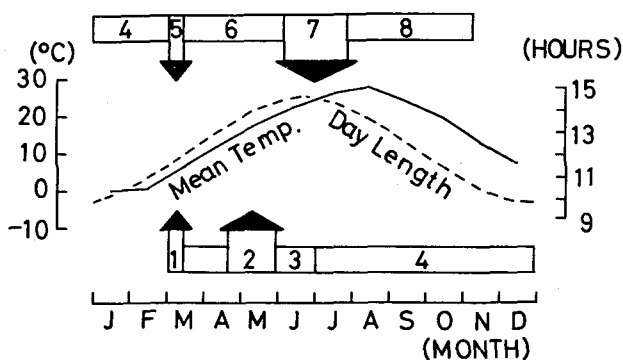


Fig. 2. Interpretation of process of sexual organ in pines investigated and climatic conditions at Kamigamo Experimental Forest Station.

- 1) leader elongation period, 2) flowering period,
- 3) growing period of conelet, 4) dormant phase,
- 5) starting period of 2nd-year cones, 6) growing period of cones
- 7) completion period of cones, 8) ripening period of seeds.

類の開花期は比較的個体差が小さく、開花最盛期の前後3日間あまりで完了する。しかし、種類による違いはかなりずれた開花期をもち、*Diploxylon* に属するマツ属ではやや早く、4月の中旬から5月上旬までに開花し、*Haploxylon* に属するマツ属では5月中、下旬に開花する。このため、図一2の2に示された開花期は巾の広い期間となっている。受粉した雌花は幼球果としてわずかに生長し(3)、その後翌年3月まで生長休止期(4)に入る。この生長休止期間内での胚珠の発達^{7,8)}は徐々に進行しているようである。翌春になり新梢が生長を開始するのとほぼ同時に、生長を休止していた幼球果は再び一斉に生長を開始する(5)。4、5、6月に急速に生長した球果(6)は、6月の下旬から7月の下旬まで、種類によってそれぞれ異なる期日に終了する(7)。生長終了が早い種類と遅い種類とでは約8週間の違いとなった。その後、*Haploxylon* に属するマツ属では8月の下旬に種子が成熟し、*Diploxylon* に属するマツ属では10月中、下旬に成熟する(8)。

球果の生長開始(5)は受粉翌年の3月の日平均気温が5°C前後になった時点で、新梢の伸長開始とはほぼ同調して始まり、種類の違いに関係なくほぼ一斉に始まる。この季節は冬に停止していた花粉管が伸長し始め、胚珠の組織が活動を始める時点に相当する。マツ属の原産地がそれぞれ異なるにもかかわらず、上賀茂試験地で育成した場合に球果の生長が一斉に始まる現象は生長開始に関与する要因がそれぞれの種類に一樣に働くことを示唆している。

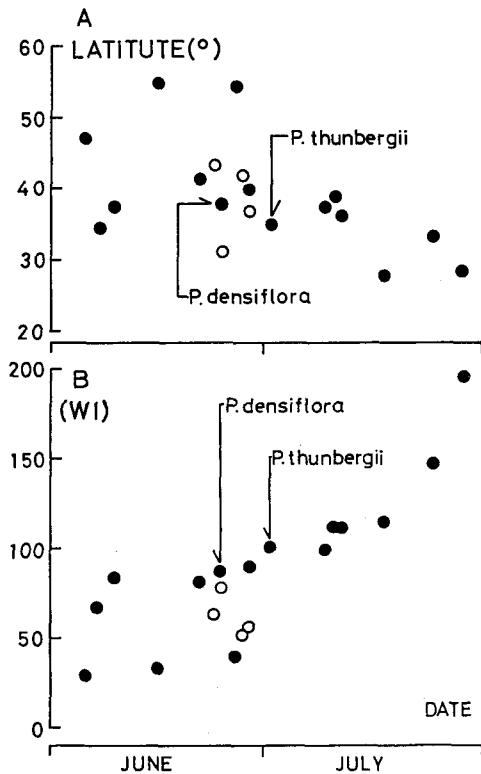


Fig. 3. Relation between completion date of cones and mean latitude of native region in each pine species (A), and relation between completion date and values of WI (B).

Open circle : *Haploxylon* pines.
 Solid circle : *Diploxylon* pines.

アカマツ、クロマツの球果の生長開始期に關して、低温処理と日長処理の効果を調べた勝田¹⁰⁾の報告によれば、球果の生長には冬の低温が必要であり、低温を受けない球果は発達せず、また、球果の生長休止状態は冬の低温によって打破され、低温後の日長条件の影響を受けない。この実験結果はそのまま今回認められた現象にあてはまるものと思われる。すなわち、マツ属の球果がほぼ一斉に生長開始した現象はそれぞれのマツに対する当該試験地の冬の低温条件が休眠打破に対して十分満たされていたと理解してよいであろう。ただし、冬の低温は結果として満たされていたもので、当然それぞれの種類によって休眠打破に必要な低温期間は異なるであろう。

生長を開始した球果はその後急速に生長し、6~7月に終了するが、生長終了時点は種類によってそれぞれ決まった時点をもつ。調べられたマツ属の球果の生長終了時点⁹⁾を原産地の緯度との関係で整理すると図一3のAとなる。

図で認められるように、マツ属の原産地が低緯度にある種類ほど球果の生長終了期が遅れる傾向にあった。ただし、*Haploxylon* に属する4種類のマツはほぼ同期の6月下旬に終了した。マツ属の分布は海拔高の低い海岸から4000mに

も達する高山まで分布しているので、緯度による表示では原産地域の温度条件が明らかではない。そこで、それぞれの種類の原産地域のWIと球果の生長終了時点の関係を図にまとめると図一3のBとなる。マツの原産地域のWIが大きくなるほど球果の生長終了時点が遅れる傾向は一層明らかとなる。*Haploxyton* に属する4種類のマツが分布している原産地域の緯度が異なるにもかかわらず、球果の生長終了期がほぼ同期であったことは、WIが比較的近い値をもっていた理由によるものであろう。

2) 球果の生長経過

それぞれの種類の生長経過は図一4の通りであった。

球果の生長経過を調べるために、受粉翌年の球果がまだ生長していない2月15日、急速な生長のみられた5月16日および球果の生長が終了した8月2日の3時点で測定した球果の最大径(D)と最大長(L)とから $D^2 \times L$ を計算し、その値と容積との関係について検討した(図一5)。図は細長の形の球果をもつ *Haploxyton* (*P. strobus*) と卵形に近い球果をもつ *Diploxyton* (*P. thunbergii*) および両種類の間接的な形をもつ *P. taeda* の3種類について比較したものであるが、 $D^2 \cdot L \sim V_c$ 関係はほぼ比例関係で示され、それぞれの種類の違いに無関係に比例定数はほぼ一定であった。この結果から球果のD、Lを定期的に測定し、 $D^2 \cdot L$ の値から球果容積を推定して生長経過を検討しても大きな誤まりはないであろう。

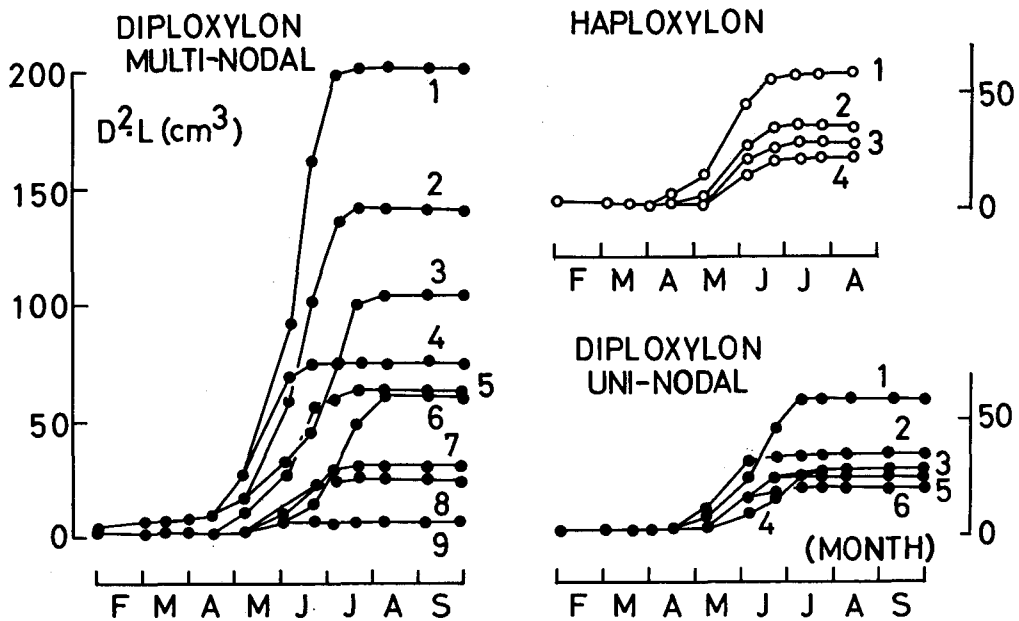


Fig. 4. Process of volume growth measured by values of $D^2 \cdot L$ in 2nd-year cones of respective pine species. D: diameter of cones, L: length of cones.

DIPLOXYLON - Multi-nodal Type; 1 : *P. pungens*, 2 : *P. pinaster*, 3 : *P. taeda*, 4 : *P. mulicata*, 5 : *P. rigida*, 6 : *P. clausa*, 7 : *P. virginiana*, 8 : *P. banksiana*, 9 : *P. contorta*.

DIPLOXYLON - Uni-nodal Type; 1 : *P. thunbergii*, 2 : *P. tabulaeformis*, 3 : *P. nigra*, 4 : *P. massoniana*, 5 : *P. densiflora*, 6 : *P. sylvestris*.

HAPLOXYLON; 1 : *P. excelsa*, 2 : *P. strobus*, 3 : *P. peuce*, 4 : *P. pentaphylla*.

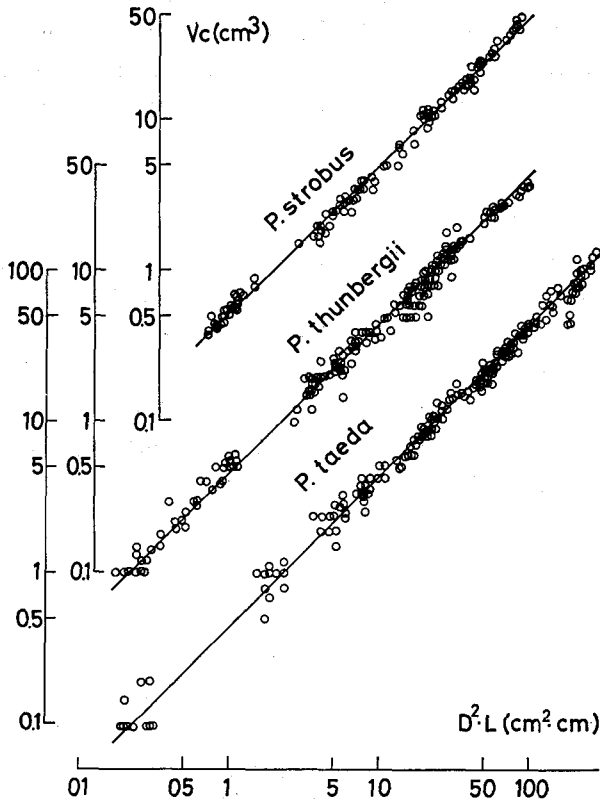


Fig. 5. Relation between cone volume and $D^2 \cdot L$.
D: diameter of cones, L: length of cones.

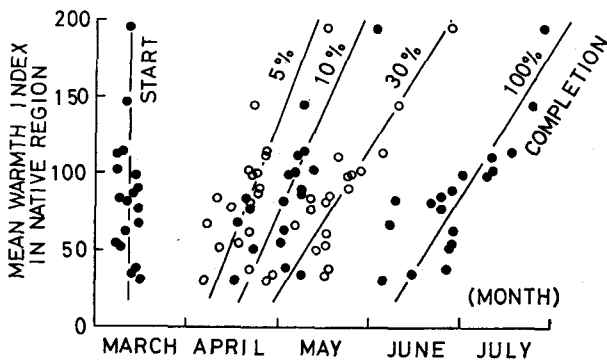


Fig. 6. Values of WI in native region of pines and growth stage of cone in respective volume (%) against completion stage.

球果の生長開始時から終了時までの経過をマツ属の原産地域のWIとの関係で示すと図一6のとおりとなる。図は球果の生長が終了した時点での容積100に対して、それぞれ5%、10%、30%までの大きさになった時点を推定し示してある。暖かい地域を原産とするマツ属の球果は5%までの生長に長い日数を要し、寒い地域を原産とするマツ属では比較的にすみやかに生長する様子が明らかである。球果の生長が30%と100%の線はほぼ平行となり、30%まで大きくなった球果が100%にまで生長する日数がそれぞれの種類ではほぼ等しいことは興味深い現象である。しかし、生長期間がほぼ同じであっても、それぞれの期日はずれているために日々の温度の値は異なる。そこで、球果が生長を開始してから終了するまでの上賀茂試験地の積算温度（日平均温度-5℃の積算）の値を計算し、原産地域のWIとの関係について調べると、両者の間には正の相関関係（ $r=0.846$ ）が見出され、 $P<0.001$ で高い有意性を示した（図一7）。

当試験地で育成したマツ属から得られた球果の長さの平均値と原産地域で調べられた球果の長さを比較すると図一8となる。この比較結果によると、*Diploxylon* に属するマツ属ではほぼ同じ大きさに達しているが、*Haploxylon* に属する種類では原産地より小さい傾向がみられた。

測定されたマツ属の1日当たり

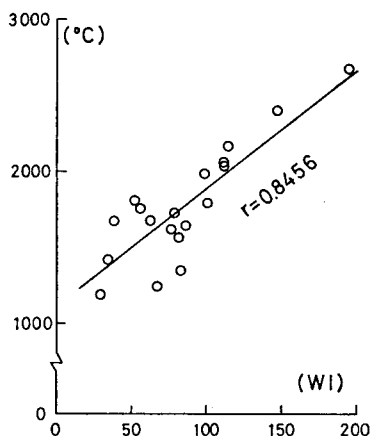


Fig. 7. Relation between values of WI in native region of pines and daily cumulative temperature in base on 5°C during growing period of cones.

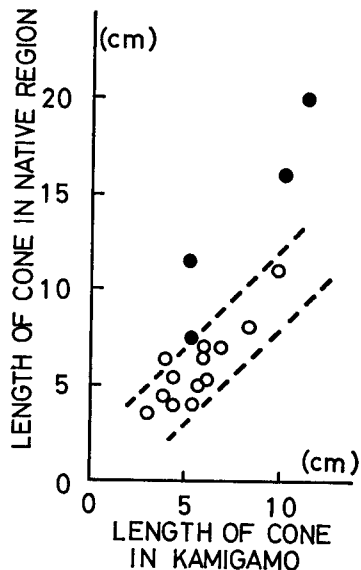
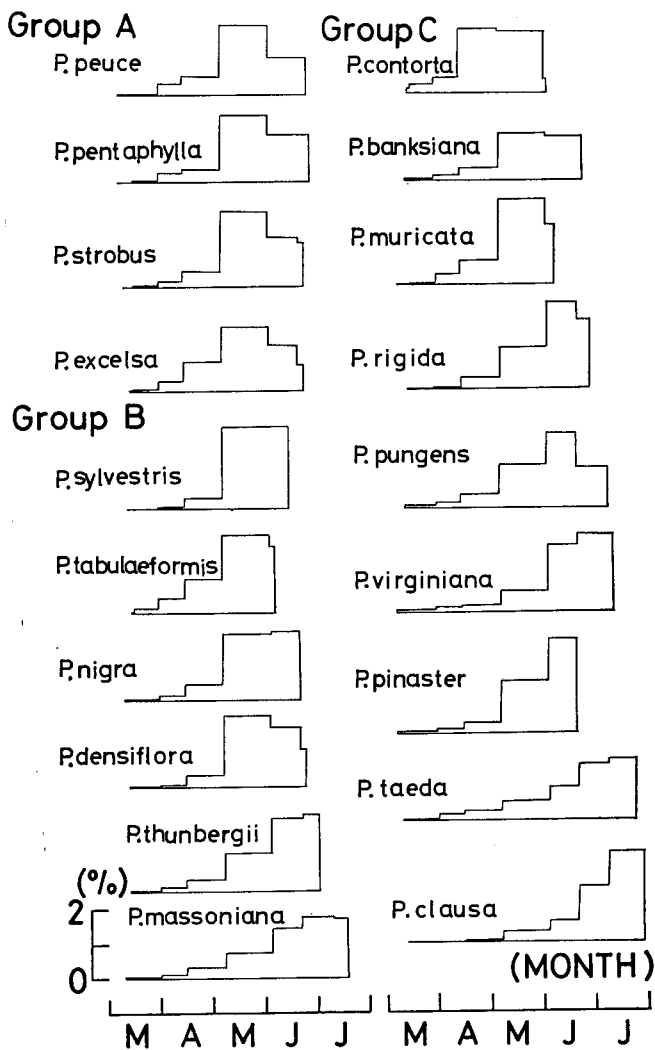


Fig. 8. Relation between mean length of cones in native region and mean length of cones in Kamigamo Station. Open circle: *Diploxylon* pines. Solid circle: *Haploxylon* pines.

Fig. 9. Comparison of growth rates of each pine cones. Growth rates were shown by percent of completion volume of cones. Order from top to bottom in respective groups means larger values of WI. A : *Uni-nodal* Type of leader elongation in *Haploxylon* pines, B : *Uni-nodal* Type of *Diploxylon* pines, C : *Multi-nodal* Type of *Diploxylon* pines.

の生長速度を種間での比較が容易なように、比率 ($100 \times \Delta V_c / V_c$) におきかえてヒストムグラムによって示した (図-9)。図はマツ属の分類に従って、グループAには *Haploxyton* 属するマツ属、グループBには *Diploxyton* に属し単節型の新梢伸長をする種類、グループCには *Diploxyton* に属し、多節型の新梢伸長をする種類に分けて示し、各グループ内では原産地域のWI値の小さい種類から順次大きい種類に並べた。

グループAに分けられた4種類のマツ属の球果は3月に生長を開始し、5月の中旬まで比較的ゆっくり生長し、5月中、下旬に最大の生長速度となり、それ以後低下して6月の下旬には生長を完了した。

グループBのマツ属では *P. sylvestris*, *P. tabulaeformis*, *P. nigra*, *P. densiflora* の種類と *P. thunbergii*, *P. massoniana* の種類では生長経過がやや異なるように思われる。*P. thunbergii*, *P. massoniana* では初期の生長がゆるやかで、6月の下旬から7月の中旬にかけて最大の生長速度を示した後、明確な速度の低下が認められないまま生長を終了した。他の種類は5月の中旬に急速に生長した後、6月には生長を終了した。

グループCのマツ属でも、生長経過の違いによって *P. contorta*, *P. banksiana*, *P. muricata*, *P. rigida*, *P. pungens* の5種類と *P. virginiana*, *P. pinaster*, *P. taeda*, *P. clausa* の4種類の組に分けられるようである。前記の5種類は *Haploxyton* の4種類、またはグループBの *P. sylvestris* 他3種類に近い生長経過を示し、後記4種類はグループBの *P. thunbergii*, *P. massoniana* に近い生長速度の季節変化を示した。

グループAの4種類のマツの原産地域のWIは *P. peuce* 50.6, *P. strobus* 62.2, *P. pentaphylla* 54.8, *P. excelsa* 71.0であり、当試験地のWI 117の値に比べると4種類ともに寒冷な地域から暖かい地域に導入、移入育成した場合の球果の生長速度を調べたことになる。グループBのマツ属のWIは *P. sylvestris* 33.8, *P. tabulaeformis* 66.8, *P. nigra* 81.2, *P. densiflora* 86.4, *P. thunbergii* 100.9, *P. massoniana* 113.9であり、*P. thunbergii*, *P. massoniana* は当試験地のWIにはほぼ近く、他の4種類では原産地域のWIが低いことになる。

グループCに分けられたマツ属のWIは *P. contorta* 29.9, *P. banksiana* 37.9, *P. muricata* 83.1, *P. rigida* 89.7, *P. pungens* 99.0, *P. virginiana* 111.3, *P. pinaster* 111.9, *P. taeda* 146.9, *P. clausa* 195.1であり、*P. virginiana*, *P. pinaster* の2種類はほぼ当試験地のWI値に近く、*P. taeda*, *P. clausa* では大きく、他の種類では小さい値となっている。

それぞれの種類の原産地域でのWIと上賀茂試験地での球果の生長速度の季節的な変化の形を比較すると、当試験地よりWI値が小さい地域を原産とするほとんどのマツ属では、球果の生長開始後、かなり急速に生長し、最大値に達した後生長速度に低下が認められ、終了する。この傾向はとくに *Haploxyton* に属するグループAの4種類に明らかに表われている。一方、WI値が当試験地とほぼ同じか、またはそれ以上の値をもつ種類では球果の生長速度はゆるやかに増大し、最大値となった時点で生長を終了している。

このように、球果の生長経過がマツ属の原産地域のWI値によってほぼ2つの型に分けられた現象は興味あることである。当試験地のWI値より大きい地域から導入育成した種類、例えば、*P. taeda*, *P. clausa* などの球果の初期生長速度は当試験地の春の低い気温によって制御されてゆっくりとした生長を示し、適温の季節を迎えるに従って速度が大きくなり、生長終了時を迎えるのではないかと考えられる。生長速度の最大期は種類によって異なり、暖かい地域を原産とする種類ほど遅れてあらわれた。この現象は球果の生長する適温域が種類によって異なり、暖かい地域を原産とする種類ほど適温域が高い性質を示しているのものであろう。

種類によって異なる球果の初期生長速度の違いを調べるために、球果の初期生長が指数関数的

に生長すると仮定して

$$V_c = V_0 \exp. (a \cdot T)$$

から a を求め (V_c : 球果の容積, V_0 : 生長前の球果容積, T : 時間, a : 定数), a の値を比較検討した。それぞれの球果が生長を始めてから5月初旬頃までの期間内に推定された a の値とそれぞれの種類の原産地域のWI値の関係を図—10に示した。図によってもわかるように, 大きなバラツキをとまなうものの, a の値とWIの値間には負の相関 (-0.723) が認められ, 両者間にはたかい有意性が認められた。この結果から, 高緯度地域あるいは高海拔地域を原産とするマツ属ほど球果の初期生長が速いと判断される。

3) 球果の生長と胚珠の発達

球果容積の増大にともなって, 球果組織内の胚珠は急速に発達するが, 筆者らが調べた

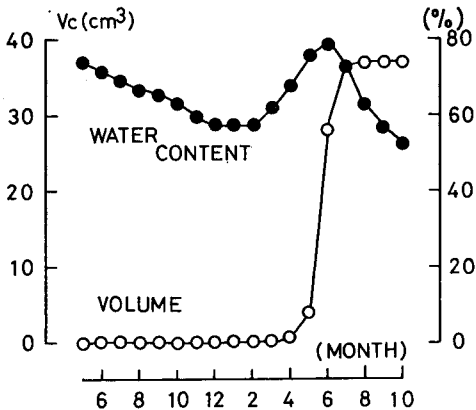


Fig. 11 Seasonal changes of cone volume (V_c) and water content(%) in *Pinus thunbergii*.

によって調べられ, *P. resinosa* の球果の無機物質の含有率の変化は DICKMAN, KOZLOWSKI によって調べられた。これらの報告によれば, 受精前には樹体内に貯蔵された養分は球果組織内に移動して球果の発達と共に鱗片内に一時的な養分の蓄積を促し, 受精後は球果の鱗片から種子へ養分の移動があると指摘されている。クロマツの受精期は球果が最大となる時点, いいかえれば球果の生長が終了した時点に相当し, それ以後は種子の発達が引きつづき行なわれるものと思われる。他のマツ属の球果でも同様の対応があるものとするれば, 球果の外部形態を示す容積生長の終了期は球果の内部で起る受精期を知るよいめやすとなろう。仮に, 球果の生長終了期が受精時期と一致するものとするれば, 当試験地に育成されているマツ属は暖かい地域を原産地とする種類ほど受精時期が遅くなることになる。また, 図—3のBに示された原産地域のWI値と球果の生長終了期の関係は, そのままWI値と受精時期の関係を示したことになる。

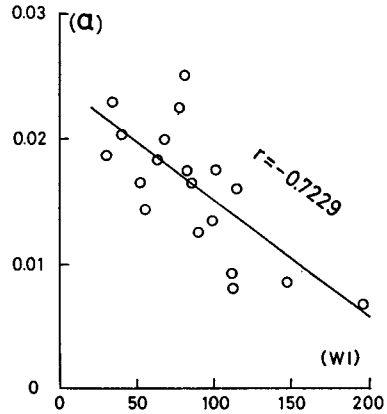


Fig. 10 Relation between values of WI of each pine and constant values(a) calculated from early stage of cone growth under assumption of exponential growth.

P. thunbergii を例にとると, 球果が生長を開始する3月頃から含水率が高まり, 生長が最大となる6月に最高値となり, その後次第に低下する(図—11)。この含水率の高まりは球果内部の急速な発達期と無関係ではなく, 含水率が最高となる6月初旬に胚乳体の形成, 造卵器の始源細胞の分化が起り, 6月10日頃には造卵器の形成が認められている。一方, 4月以後徐々に伸長していた花粉管は6月中, 下旬には珠心を貫通し, 6月の下旬から7月上旬にわたって受精する。この受精期を過ぎると球果の含水率が低下し, 種子の発達が開始する。

受精前後のクロマツ, アカマツの球果, 種子のチツソ(N)の含有率, 含有量は勝田¹⁰⁾と佐藤¹¹⁾
^{12,13)}

マツ属の胚珠の発達過程を調べた報告は少ないが、上田ら⁷⁾が調べたマツ属の受精機構の研究から、*P. strobus* の造卵器の形成時期を調べることは上記の仮説を検討する上で都合のよい資料となる。5月下旬に始まる *P. strobus* の造卵器の形成はクロマツの形成期の6月10日前後に比べかなり早い。一方、*P. strobus* の球果の生長終了は6月の下旬であり、クロマツの終了期の7月上旬に比べて早く終了する。すなわち、*P. strobus* では造卵器の形成がクロマツより早かった期間だけ球果の生長終了期も早い時期に終了したと考えられる。この結果は、球果の生長終了期が受精期に相当するとした仮説と矛盾しない。球果の外部に表われる容積の生長終了期は、球果の内部で起っている受精、鱗片から種子への養分の移動などと相互に関連した現象であると考えられるので、当然であるのかも知れない。この現象は実験的にも確かめることも可能であるので証明しておく必要があるだろう。

おわりに

上賀茂試験地で導入育成したマツ属の球果の発達過程についての調査結果から、それぞれの種類の球果の生長の違いが明らかにされ、生殖器官の発達に関するいくつかの情報が得られた。すなわち、寒い地域を原産地とするマツ属では球果の成熟時期が早く、逆に暖かい地域を原産地とするマツ属では遅く、受精時期と球果の生長終了時期が一致すると考えると、暖かい地域に原産地をもつマツ属では受精期がかなり遅れるものと推測された。また、*Haploxyylon* に属する *P. strobus* と *Diploxyylon* に属する *P. thunbergii* の胚珠の発達を比較すると、前者は造卵器形成時期が早く、したがって、受精も早い時期に完了するものと考えられ、こうしたことが早い時期に成熟果に達する一要因であろうことがうかがわれた。しかし、今回検討されたいくつかの現象からだけでは、それぞれのマツ属の生殖器官の発達を論ずるには十分でなく、今後、それぞれのマツ属の受精時期や生産される種子の発芽能力などを調べ、つけ加えることにより、導入育成したマツ属の再生産に関する十分な資料が得られるものと考えられる。

引用文献

- 1) SHAW, R. D.: The genus pinus, Combridge Printed at the Riverside Press, (1914)
- 2) CRITCHFIELD, W. B. and LITTLE, E. L. JR.: Geographic distribution of pines of the world, U. S. Dept. Agr. For. Serv. (1966)
- 3) 林 弥栄: 日本産重要樹種の天然分布, 針葉樹, 第1報, 林試研報, **48**, 1~240, (1951a)
- 4) 吉良竜夫他: 現代生物学講座, 生物と環境, 共立出版社, 231~268, (1965)
- 5) MIROV, N. T.: The genus pinus, The Ronald Press Company, New York, (1967)
- 6) 東京天文台編纂: 理科年表, 丸善株式会社, (1977)
- 7) 上田弘一郎・稲森幸雄・吉川勝好: マツ類の種間交雑における受精について(II), 京大演報, **33**, 137~155, (1961)
- 8) 中井 勇・藤本博次・稲森幸雄: マツ属の交雑育種に関する研究(II), クロマツ×アカマツ他数種類の種間交雑における受精過程について, 京大演報, **48**, 31~45, (1976)
- 9) 中井 勇: クロマツの球果と胚珠の発達について, 日林誌, **57**, 228~230, (1975)
- 10) 勝田 柁: クロマツ, アカマツの球果の発達に関する冷, 日長処理の効果, 東大演報, **67**, 63~104, (1975)
- 11) 勝田 柁・佐藤大七郎: クロマツの球果の発達, 日林誌, **46**, 166~170, (1964)
- 12) DICKMAN, D. I. and KOZLOWSKI, T. T.: Seasonal variations in reserve and structural components of *Pinus resinosa* cones., Amer. J. Bot., **56**, 515~520, (1969)

- 13) DICKMAN, D. I. and KOZLOWSKI, T. T.: Seasonal changes in the macro— and micro—nutrient composition of ovulate strobili and seeds of *Pinus resinosa*., Canadian Journal of Botany, 47, 1547 ~1554, (1969)

Résumé

In order to make clear the developmental process of sexual organ of pines, this paper discusses the cone growth in volume on three Japanese pines and on 16 exotic pine species which were brought up for over 20 years after introduced to Kamigamo Experimental Forest Station of Kyoto University.

The investigations were carried out in the definite intervals of 2-weeks during the growing season in 1971 and 1972.

The results obtained were as follows;

1) When daily mean temperature has reached upward of 5°C at early March, the cone growth of all pine species simultaneously began to start unrelated with species (Table 1 and Fig. 5).

2) The date of completion of cone growth was different in each pine species. In general, the completion of the volume growth in pine species from mild climate region was late (late July), but early in the species from cool climate region (early June). The difference of about 8 weeks has been recognized between the former and the later (Table 1 and Fig. 5).

3) In the early stage of 2nd-year cones, the growth rates of cone were slower in pines from mild climate regions, and were faster in species from cool climate regions. The pattern of seasonal changes of cone growth rate was divided into two groups of species. One is the species introduced from warmer regions than Kamigamo Station, and the other is the species from cooler regions (Fig. 8).

4) The date of completion of cone growth and the date of fertilization in *Pinus thunbergii* seems to happen at same time, and it is supposed that there may be a close relation in both times of the other pine species as well as recognized in *P. thunbergii*. Consequently, the time of fertilization must be late in pine species from mild climate region, and early in pines from cool climate region.