

アカマツ・クロマツの球果における 有効鱗片の位置とタネの生産

斎藤 幹夫⁽¹⁾・山本 千秋⁽²⁾

Mikio SAITO and Chiaki YAMAMOTO: Effective and Ineffective
Cone Scales of *Pinus densiflora* SIEB. et ZUCC. and
P. thunbergii PARL. for Viable Seed Production

要 旨：アカマツ、クロマツの球果軸上に着生する鱗片（包鱗と種鱗が一对になったもの）のうち、タネはどの位置に着生する鱗片で、どの程度生産されるか、また、タネを生産しない無効鱗片上での胚珠形成の有無やその発達程度などを知るために、開花時の雌球花、幼球果および成熟球果のそれぞれを調査した。その結果はつぎのようであった。アカマツ、クロマツの成熟球果の鱗片総数は82個、91個であった。そして、開花時に胚珠を持っていない鱗片、あるいは珠孔が形態上、不完全で花粉の受容能力を持たない胚珠を着けた鱗片などがタネを生産しない無効鱗片となることがわかった。無効鱗片は果軸上の先端の一部と基部の大半に着生し、その割合は両種とも鱗片総数の半分を越す56%であった。また、これらの着生範囲を除いた球果のほぼ中央部から先端近くまでには、花粉の受容能力のある正常に発達した胚珠を持った有効鱗片が着生しており、アカマツ、クロマツの成熟球果における有効鱗片数は36個、40個であった。したがって、タネの生産可能数（有効鱗片数×2）はアカマツ72個、クロマツ80個である。しかし、タネの生産可能な胚珠の一部では、受粉期以後、胚珠の崩壊により小形シイナやシイナを形成し、充実粒の生産は両種ともほぼ34%減じた。結局、アカマツ、クロマツの球果あたりの充実粒数は47個、53個であった。すなわち、生産された充実粒数は両種ともタネの生産可能数の66%であり、鱗片総数×2についてみるとその29%にすぎなかったことになる。

I は じ め に

林木育種事業を進めるための採種園では、素質、品質ともに優れたタネが、連年、量産されることが望まれる。タネの量産を考えた場合、多量の球果を着生させること、また、球果あたりのタネの量をふやすことの2つが考えられる。後者はとくに限られた交配袋内の球果からの量産とも関連し、重要である。

針葉樹でのこれらに関連した基礎調査として、球果軸上のどの位置に着生する鱗片でタネが生産されるか、また、着生位置によってタネの品質はどう変るかなどについては、トドマツ²⁰⁾²¹⁾、エゾマツ²⁰⁾²¹⁾、アカエゾマツ²¹⁾、ヨーロッパトウヒ¹⁾²⁾、アカマツ^{12)~14)22)}、クロマツ¹³⁾²²⁾、*Pinus resinosa*¹¹⁾、スギ³⁾⁶⁾、ヒノキ⁸⁾などで記載がある。さらに球果あたりのタネの生産可能数については、鱗片総数×2、有効鱗片数×2などの報告がある。しかし、これらはおもに、タネの発達完了時にあたる成熟球果での観察であり、開花時における胚珠の形態の比較などから、タネを生産しない無効鱗片、タネを生産する有効鱗片を区別したり、成熟球果との関連を検討した例は *P. resinosa* のほかにはみあたらない。したがって、雌球花の無効鱗片（基部鱗片など）上の胚珠は花粉を受け入れる能力を持っていないのか、あるいは受容能力はあるが物理的に鱗片が開かないために受粉せず、タネがつきにくいのかなどについては不明である。これを

解明することは球果あたりのタネの量産に関連し重要であり、さらに人工交配、人工媒助における受粉対象鱗片、球果からタネヌキする場合の対象鱗片などが明らかになり、作業の能率化、正確さを高めることにも関連し重要である。

そのため、受粉時の雌球花の鱗片をとりはずし、花軸上における鱗片の位置と胚珠・珠孔の発達状態との関連を調査し、さらに幼球果（第2年目の春）および成熟球果については、その鱗片と胚珠の発達状態、タネの生産などについても調査を行った。その結果、タネの生産に関与する有効鱗片、残余の無効鱗片の果（花）軸上における位置、鱗片総数に対するそれぞれの割合、それぞれの鱗片における胚珠の形成、発達の経過などについていくつかの知見が得られたので報告する。

II 材 料 と 方 法

この試験に使った雌球花、幼球果、成熟球果は関東林木育種場交配園および樹木園植栽のアカマツ、クロマツつぎき木の自然受粉をしたものであり、採取はいずれも任意に行った。

供試木、植栽場所、樹齢、各供試木から採取した雌球花、幼・成熟球果数などは Table 1 に示す。

雌球花は 1969 年の 5 月にアカマツ、クロマツのそれぞれ 1 クローンから、開花最盛期のものを採取し

Table 1. 供 試 材 料 の 明 細
Materials used in the experiment

樹 種 Species	ク ロ ー ン Clones	雌 球 花 Female strobili (個)	幼 球 果 Conelets (個)	成 熟 球 果 Mature cones (個)	場 所 Location	樹 齢 (1969) Age (1969)
<i>P. densiflora</i>	TR-7	15	12	5	交 配 園 Seed orchard	8 年 生 8-year-old
	TR-9		12	5		"
	YS-10		12	5		"
	SM-5		12	5		"
	KZ-2		8	5		"
	KW-2		12	5		"
	NK-22		12	5		"
	KG-103		11	5		"
	AGK		12	5		"
<i>P. thunbergii</i>	MZ-7	15	21	6	交 配 園 Seed orchard	8 年 生 8-year-old
	KS-1		11	5		"
	NM-1		12	5		"
	KM-2		8	5		"
	TG-2		8	5		"
	HM-103		12	5		"
	KJ-5		13	4		"
	KT-8		12	5		"
	TH-3		13	5		"
	YK-4		25*		樹 木 園 Arboretum	13 年 生 13-year-old
	TK-6		15*			"

*: これらの幼球果は鱗片総数および有効鱗片数、有効鱗片の割合と球果の長さとの相関々係をしらべることにのみ使用した。

These conelets were only used to find the correlation coefficient between total number of cone scales or percentage and number of effective cone scales and conelet length.

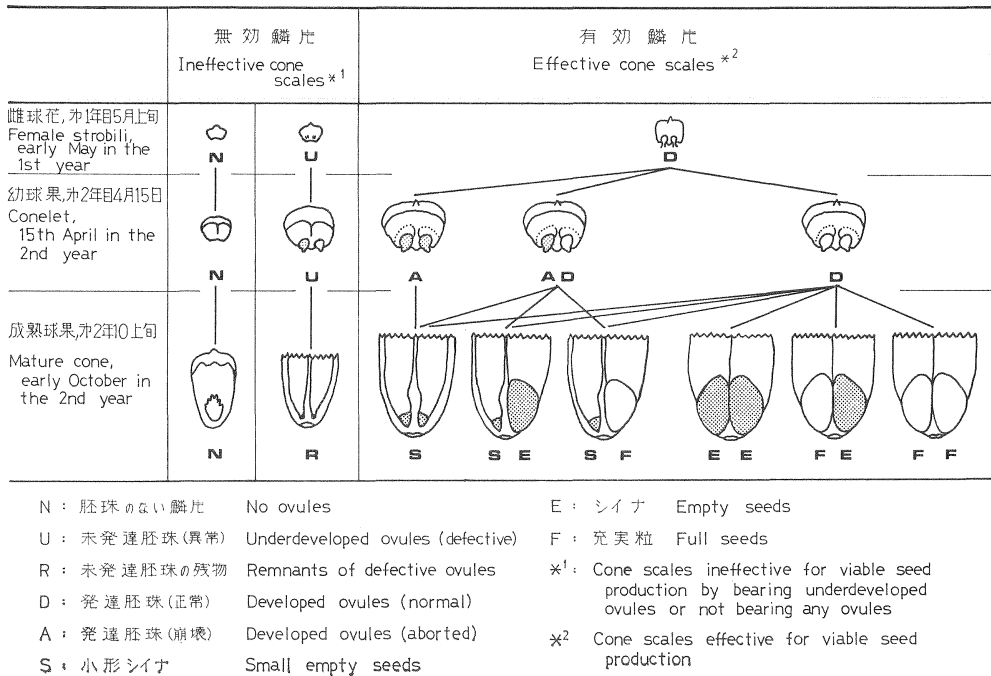


Fig. 1 各発達段階における鱗片および胚珠の分類と大きさの比較
Classification of cone scales and ovules based on their size and soundness in several stages of cone development.

た。幼球果(第2年目の春;受精前)は1970年, 3月15日に1部(*印), その他は4月15日にそれぞれ採取した。また, 成熟球果は1971年10月に採取した。

アカマツ, クロマツの雌球花(球果)は苞鱗と種鱗が一對となった鱗片が花(果)軸上に8列のラセン状に配置している。また, 雌球花・球果(幼・成熟)の各鱗片の胚珠・タネの発達状態は Fig. 1 のように級分けすることができた。

雌球花では花軸より各鱗片をとりはずし, 着生位置による胚珠・珠孔の発達状態を実体顕微鏡下で観察した。

幼球果はその大きさを測定した後, 鱗片の着生位置を確認し, 各鱗片をとりはずし, その鱗片の胚珠が Fig. 1 の4つの型(N, U, A, D)のいずれに属するかをたしかめ, その属する型に分類, 記載した。

成熟球果では予備調査の結果, 各ラセン列の下部から6段目ごろまでの鱗片にはタネ(充実粒(F)+シイナ(E))の形成が少ないことが明らかになったが, 見落しを避けるために, 各球果の各ラセン列とも, 確実に無効鱗片であることが確認できる部位(下部から3~4段目)から, 逐次上部鱗片にタネの有無の調査をすすめた。球果下部から上部へラセン列にそって調査をすすめて, 鱗片上にタネが認められれば, そのラセン列の有効鱗片の最下段とし, 上部では最後にタネのついていた段を有効鱗片の最上段とした。そして, この間の各段の鱗片を有効鱗片とした。各ラセン列の有効鱗片数の合計値をもって1球果の有効鱗片数とした。

ぬきとったタネは切断によってシイナか充実粒かをたしかめた。有効鱗片中, シイナ, 充実粒以外のタネは正常に発達しておらず小形の三角形状を呈しており, これらは一括して小形シイナ(Fig. 1, 成熟球

果, S) とした。

なお、有効鱗片の決定にあたって、各ラセン列を通じて、最下段の有効鱗片と水平的に同じ段の鱗片はすべて有効鱗片とすべきであるかどうかについては大変迷ったが、幼球果でも各ラセン列の有効鱗片の最下段は一部そろわないことから、有効鱗片の最下段をそろえることはしなかった。

成熟球果でのこれらの調査は、アカマツ、クロマツとも 9 クロウンをとり、1 クロウンおよそ 5 個の球果について行った。その平均値を表 (Table 3) に示す。現実にはタネが生産される場は有効鱗片であり、鱗片 1 個あたり 2 粒のタネができるので、有効鱗片数 $\times$ 2 をタネの生産可能数として表した。

III 調 査 結 果

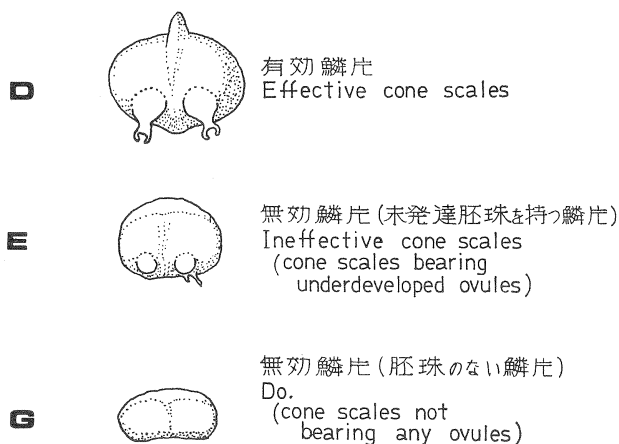
雌球花：アカマツ、クロマツの開花最盛期の雌球花を肉眼で観察すると、ほぼ中央部から上部の鱗片の間隔は十分に開いているが、基部鱗片の間隔は小さく、その間隙を花粉が通過することができないようにも見えるが、実体顕微鏡下での観察や Plate 1, A (開花最盛期の雌球花の接写) によれば、基部鱗片間にも、数個の花粉が同時に通過できる十分な間隔が認められた。

雌球花のラセン上部から 3 段目付近の鱗片をとりはずし、種鱗側、苞鱗側から撮影したのが、Plate 1, B, C である。種鱗上、向軸面の基部近くには 2 個の倒生する胚珠が発達する。珠孔の側壁の一部は、さらに伸長し、細長い 2 本の腕を形成するが、その腕は十分に発達している。

Plate 2, A~G には、ラセン列のいくつかの段に位置する鱗片の種鱗、苞鱗側からの写真を示す。

なお、実体顕微鏡下では鮮明な種鱗上の胚珠も写真では鮮明でない。そのため、Plate 2 の D, E, G のそれぞれについて種鱗上の胚珠を描画した。これを Fig. 2 に示す。

Plate 2 および Fig. 2 から明らかなように基部からおよそ 3~4 段目までの小形鱗片 (Plate 2, G, F, Fig. 2, G) には胚珠が形成されていない。さらに 5~6 段目までのやや小形の鱗片 (Plate 2, E, Fig. 2, E) には小さな胚珠が認められるが、珠孔先端部のかたちも不完全で、未発達胚珠というべきものである。要するに、これら雌球花の基部鱗片 (基部から 5~6 段まで) 上には花粉の受容能力のある胚珠は形成されない。



図中のそれぞれは Plate 2 の同記号の写真に該当する
Each picture in Fig. 2 correspond to the photographs with same symbols in Plate 2.

Fig. 2 クロマツ雌球花の有効鱗片と無効鱗片
Effective and ineffective cone scales in *P. thunbergii* female strobili.

これから上部、雌球花の先端近くまでの鱗片 (Plate 2, B, C, D, Fig. 2, D) には花粉の受容能力のある発達した胚珠が認められた。さらに先端近くでは、基部鱗片でみられたと同様、胚珠を持たない鱗片や未発達の胚珠を持った鱗片 (Plate 2, A) が数個みられた。

雌球花の基部からはば中央部、直径のもっとも大きい部位までの鱗片はきちんと8列のラセン状配置をする。そして、この中央部の円周を8個の鱗片が占有し、その大きさも最大である。この部位より下方では下位になるにしたがって、球花の直径は小さく、鱗片も逐次小さくなっている。中央部から上方では上位になるほど球花の直径が小さくなるが、8列のラセン状配列をしている鱗片の列数が少なくなることによって直径が小さくなるだけで鱗片の大きさは下位ほど極端に小さくはならない (Plate 2 参照)。

幼球果：雌球花は開花した後、種鱗が肥大することによって、その鱗片間の間隙を埋める。そして閉じる。幼球果（第2年目の春まで）では鱗片が接するためにラセン列はより明確になる。また、この時期には果軸から鱗片をとりはずすのも比較的容易である。

球果（花）上部では、ラセン列数が減少していることは前項でのべた。そのため、1球果内のラセン段数（鱗片数）は一定にならない。また、ラセン列も乱れており、各ラセンの段数はみかたによって、多少の変動を生ずる場合もある。各クローン別の球果について、それぞれの1ラセンあたりの最多段数（鱗片

Table 2. アカマツ・クロマツ、幼球果鱗片の1ラセンあたり最多段数の頻度分布
Frequency in a maximum number of stairs per spiral line in
P. densiflora and *P. thunbergii* conelet scales

1 ラセンあたり最多段数 A maximum number of stairs per spiral line		8	9	10	11	12	13	14	15	16
樹 種 Species	クローン Clones									
<i>P. densiflora</i>	NK-22		3	6	2	1				
	TR-7			1	7	3	1			
	YS-10				3	3	2	4		
	TR-9				2	4	5	1		
	KG-103				2	5	3	1		
	AGK				4	3	2	2	1	
	SM-5					3	4	2	3	
	KZ-2				1	1	1	3		2
	KW-2				1	1	4	3	1	2
	Total		3	7	22	24	22	16	5	4
<i>P. thunbergii</i>	KM-2		1	1	5	1				
	KS-1	1	1		4	3	2			
	KT-8			3	3	4	2			
	HM-103				5	2	5			
	NM-1				2	5	1	4		
	TG-2				1	2	1	4		
	TH-3			1	4	2	4	1	1	
	MZ-7					10	6	4	1	
	KJ-5				3	1	3	3	2	1
	Total	1	2	5	27	30	24	16	4	1

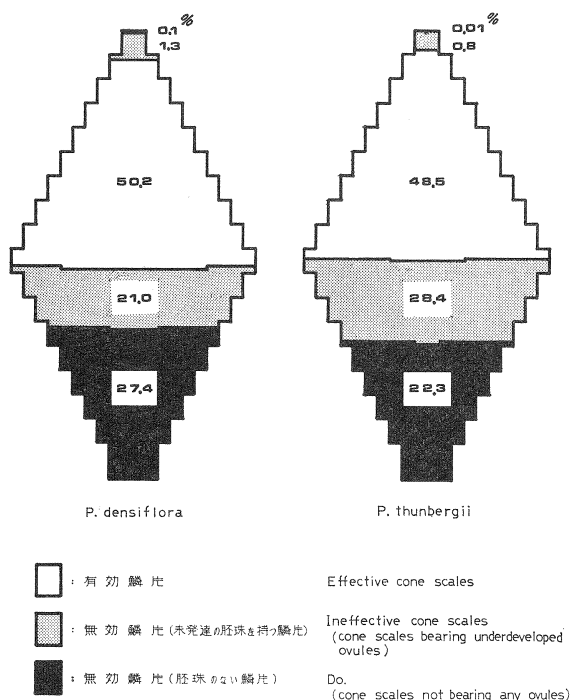


Fig. 3 アカマツ、クロマツの幼球果における無効、有効鱗片の位置とその割合

The region of effective cone scales in *P. densiflora* and *P. thunbergii* conelets.

1, 幼球果, N, Plate 2, L) や未発達胚珠 (Fig. 1, 幼球果, U, Plate 2, K) を持つ鱗片の割合はアカマツ 50%, クロマツ 51% であり, アカマツ, クロマツとも鱗片総数のほぼ半数の鱗片が無効鱗片であった。なお, この無効鱗片は, 球果先端ではアカマツ 1.4%, クロマツ 0.8% とごくわずかで, 大部分は球果の基部に位置している。

発達した胚珠 (Fig. 1, 幼球果, A, D, Plate 2, H, I, J) を持つ有効鱗片は球果のほぼ中央部から先端近くまでを占め, その鱗片の割合はアカマツ 50%, クロマツ 49% であった。また, 球果あたりの鱗片総数, 無効・有効鱗片数などは Table 3 に示す。

有効鱗片上の胚珠には丸味を帯び, 鮮やかな乳白色を示す正常な胚珠 (Fig. 1, 幼球果, D, Plate 2, H, I (左)) と胚珠の大きさはほぼ変りないが, 表面が平たく, あるいは凹み, そして, 委縮し, 淡褐色に変色した崩壊胚珠 (Fig. 1, 幼球果, A, Plate 2, I (右), J) とがみられた。この崩壊胚珠は 1 鱗片上, 2 個の胚珠のうち, 1 個 (Plate 2, I) の場合, あるいは 2 個 (Plate 2, J) の場合などもみられた。また, 崩壊胚珠は有効鱗片の位置する範囲のなかで, かたよることなく点在していた。タネの生産可能数に対するその割合はアカマツの平均で 0.1%, クロマツの平均で 0.4% をそれぞれ示した (Table 3)。崩壊胚珠の割合はクローンによって差がみられ, とくにクロマツでその差が大きかった。

なお, 詳細な調査は行っていないが, 未発達胚珠にも崩壊したものがみられ, 1 鱗片上, 1 個の場合 (Fig. 1, 幼球果, U), 2 個の場合などが観察された。

幼球果の大きさ (長さ) と鱗片総数および有効鱗片数, 有効鱗片の割合などとの関連を知るために, 調

数) の頻度を示すと Table 2 のとおりである。1 ラセンあたり最多段数の最大値はアカマツ, クロマツとも 16 段, 最少値はアカマツ, 9 段, クロマツ, 8 段であって, かなりの幅がみられる。頻度の多い段数はアカマツ, クロマツとも 12 段で, 大多数の球果は 11~14 段であった。なお, 同一クローン内の球果でも段数は一定せずアカマツ, クロマツを通じて, 少ないもので 3 段, 多いものでは 6 段もの差があった。

雌球果の項でのべたように胚珠の有無や発達の程度に応じて分類したこれらの鱗片が幼球果では鱗片総数のそれぞれの程度の割合を示すか, アカマツ, クロマツの各平均値を用いて模式図で示すと Fig. 3 のとおりである。

タネを生産する能力を持たない無効鱗片, すなわち, 胚珠のない鱗片 (Fig.

Table 3. アカマツ、クロマツの幼・成熟球果での調査結果
Capacity of seed production in conelets and mature cones of *P. densiflora* and *P. thunbergii*

樹 種 Species	クロー ン数 Number of clones	調査個数 Number of cones	1 球 果 あ た り Per cone															D A × 2 × 100	D C + D × 100						
			鱗片 総数 Total num- ber of cone scales (A)	有効鱗片数 Number of effective cone scales (B)		無 効 鱗 片 数 Number of ineffective cone scales						タネの生 産可能数 Capac- ity of seed produc- tion (B×2)	崩壊胚 珠数 Number of aborted ovules		正常胚 珠数 Number of normal ovules		小形シ イナ数 Number of small empty seeds			シイナ数 Number of empty seeds (C)		充実粒数 Number of full seeds (D)			
						基 部 Bottom			先端部 Top															計 Total	
						N	U	N	U																
P. densiflora	9	幼 球 果 Conelet 103	90.8	45.6	50.2	24.9	19.0	0.1	1.2	45.2	49.8	91.2	0.1	0.1	91.1	99.9									
		成熟球果 Mature cone 45	81.8	35.9	43.9	44.7		1.2	45.9	56.1	71.8					12.2	17.0	12.6	17.5	47.0	65.5	28.7	78.9		
P. thunbergii	9	幼 球 果 Conelet 110	93.1	45.2	48.5	20.8	26.4	0.01	0.7	47.9	51.5	90.4	0.4	0.4	90.0	99.6									
		成熟球果 Mature cone 45	90.8	40.1	44.2	48.7		2.0	50.7	55.8	80.2					12.3	15.3	14.9	18.6	53.0	66.1	29.2	78.1		

注：N；胚珠のない鱗片，U；未発達胚珠を持つ鱗片

Note：N；Cone scale not bearing any ovules, U；Cone scale with underdeveloped ovules.

Table 4. 鱗片総数および有効鱗片数, 有効鱗片の割合と幼球果の長さとの
相関係数の有意性の検定Correlation coefficient between total number of cone scales or percentage
and number of effective cone scales and conelet length

形 質 Characters	クローン Clones	MZ-7	YK-4	TK-6
鱗片総数と幼球果の長さ Total number of cone scales and conelet length		0.587**	0.703**	0.455
有効鱗片数と幼球果の長さ Number of effective cone scales and conelet length		0.593**	0.673**	0.604*
有効鱗片の割合と幼球果の長さ Percentage of effective cone scales and conelet length		0.286	0.081	0.002

* : 5%の危険率で有意
Significant at 5% level.** : 1%の危険率で有意
Significant at 1% level.

査個数の多いクロマツの3クローン (MZ-7, YK-4, TK-6) を選び, 各クローンについてそれぞれの相関の有意性を調べた。その結果は Table 4 に示す。

これによると, 有効鱗片数と球果の大きさとの相関は3クローンとも有意であった。また, 鱗片総数と球果の大きさとの相関は2クローンで有意であった。なお, 有効鱗片の割合と球果の大きさとの相関は3クローンとも有意でなかった。すなわち, 球果が大きくなると有効鱗片数, 鱗片総数 (クローンによる) は増加するが, 有効鱗片の割合が増加する傾向はなかった (有効鱗片, 無効鱗片がともに増加する)。

成熟球果: 調査結果は Table 3 に示す。鱗片総数中の有効鱗片の比率はアカマツ, クロマツとも44%であった。また, タネの生産可能数はアカマツ, 72個, クロマツ, 80個である。

有効鱗片上の胚珠からは充実粒, シイナおよび小形シイナが形成される。1鱗片上2個の胚珠におけるこれらの組み合わせの全例は Fig. 1 (成熟球果, 有効鱗片) に示したとおりである。生産された充実粒はアカマツ, 47個, クロマツ, 53個であって, この値のタネの生産可能数に対する割合はアカマツ, クロマツともに66%であった。充実粒は有効鱗片の1鱗片上で1個, または, 2個生産された。有効鱗片のうち, 充実粒の生産に関与した鱗片数の割合はアカマツ, 85%, クロマツ, 82%であった。また, 鱗片総数に対するその割合はアカマツ, 37%, クロマツ, 36%である。

シイナおよび小形シイナの数にはアカマツ, 13個, 12個, クロマツ, 15個, 12個であって, この値のタネの生産可能数に対する割合はアカマツ, 18%, 17%, クロマツ, 19%, 15%であり, アカマツ, クロマツともその割合に大きな差がなかった。なお, 有効鱗片のなかで, シイナや小形シイナを1鱗片で, 1個または, 2個を持った鱗片の割合はアカマツ, 54%, クロマツ, 51%であって, それぞれ有効鱗片のほぼ半数でみられた。

タネ数 (充実粒+シイナ) に対する充実粒の割合で示した充実率はアカマツ, 79%, クロマツ, 78%でともにタネ数のほぼ80%が充実粒であった。

アカマツとクロマツの間では, 有効鱗片, シイナおよび小形シイナなどの割合に大きな差がなかった。

雌球花の胚珠と成熟球果のタネとの関連: 雌球花, 幼球果の無効鱗片 (Fig. 1, 雌球花, 幼球果, N, U) のうち, 胚珠のない鱗片 (N) には成熟球果 (Fig. 1, 成熟球果, N) の時点になると1枚のはね状

のものができる。また、雌球花の未発達胚珠（Fig. 1, 雌球花, U）が幼球果（Fig. 1, 幼球果, U）の時点になると、小形の胚珠にまで発達する。しかし、胚珠が小さいことによって、有効鱗片上の胚珠（Fig. 1, 幼球果, A, D）とははっきり区別することができる。さらに成熟球果（Fig. 1, 成熟球果, R）の時点になると、2枚の細長いはねができるが、タネのつくべき位置には未発達胚珠の残物をとどめるにすぎない。

これら無効鱗片の鱗片総数に占める比率を、幼球果と成熟球果で比較してみると（Table 3）、アカマツ、クロマツともわずかであるが、成熟球果で高くなっている。これを実際の観察結果とあわせて考えると、幼球果時点で無効鱗片と判定されたものは、最後までタネの生産に関与していなかったことを示しているといえる。

一方、幼球果の有効鱗片上の崩壊胚珠は成熟球果の時点になると、タネになるべき部分が小さく、三角形状の小形シイナになる。もちろん、小形シイナといっても大きさが一定しているわけではなく、やや大きいものから小さいものまで変異があった。幼球果時点における有効鱗片上の崩壊胚珠と成熟球果時点における小形シイナの、それぞれの時点におけるタネの生産可能数に対する比率をみると（Table 3）、幼球果での崩壊胚珠はアカマツ、0.1%、クロマツ、0.4%であるが、成熟球果での小形シイナはアカマツ、17%、クロマツ、15%とかなり増加している。このことは、小形シイナが、幼球果段階にみられた崩壊胚珠に由来するものだけではなく、それよりもむしろ、幼球果時点（第2年目、4月15日）で正常に発達しているとみなされた胚珠が、その後の成熟過程で崩壊し、小形シイナになるものが多いことを示している。

IV 考 察

マツ類ではクローネ上・中部の活力旺盛な第1次枝に着生する球果がもっとも大形であることが知られている⁴⁾¹¹⁾¹³⁾¹⁴⁾。

また、アカマツやクロマツの母樹内における球果の大きさと他の形質との相関をしらべた既往の結果によると、一般に大きい（長い）球果は重く¹⁷⁾、そして、これらの球果は鱗片数やタネ数も多く¹⁷⁾、さらにタネは重く⁸⁾¹⁷⁾¹⁹⁾、充実粒も多い⁸⁾¹⁴⁾ことが知られている。

筆者らの結果では幼球果で早くもこの関係がみられた。すなわち、クローン内での大きい球果は鱗片総数、有効鱗片ともその数が多かった。したがって、アカマツ、クロマツ母樹内での大きい球果はタネの生産可能数も多く、多くの充実粒が得られる可能性が高いといえそうである。そのため、球果あたりのタネの量産をはかるためには大きい球果をつくることに着目することが必要であろう。

マツ属を除く針葉樹の球果軸上における鱗片の着生位置とタネの品質についてはトドマツ²⁰⁾²¹⁾、エゾマツ²⁰⁾²¹⁾、アカエゾマツ²¹⁾、ヨーロッパトウヒ¹⁾²⁾、スギ³⁾⁵⁾⁶⁾、ヒノキ³⁾²⁴⁾などでしらべられている。そして、球果中央部のタネは大きく、重く、また、充実粒も多く、発芽率も良いこと、さらに、ヒノキでは中央部の鱗片に胚珠数が多いことなどが知られている。また、トドマツ、エゾマツ、ヨーロッパトウヒなどでは、球果の上・下両端の鱗片にははねを持っているが、タネがないもの、タネを持っているが、小形でタネの形をなさないものなどがあることも知られている。

アカマツやクロマツでは中央部から上部にかけて良質のタネが生産されることが知られている^{12)~14)22)}。さらに果軸上でラセン状（6列）に着生する鱗片を無効・有効鱗片に分け、無効鱗片は基部に有効鱗片は上部に位置していることや充実歩合（有効鱗片×2に対するタネの割合）などについてもしらべられてい

る²²⁾。また、*P. resinosa* では幼球果（第 1 年目、8 月上旬）から成熟球果になるまでの間に何回かの調査を行い、無効鱗片は球果先端の一部と基部の大半に位置し、タネの生産に関与しないこと、そして、有効鱗片は中央部から上部にかけて位置していることなどが明らかにされている¹⁴⁾。筆者らの結果ではアカマツ、クロマツともラセン列は 8 列であり、戸田らの 6 列とは異なる。また、無効鱗片の位置について、戸田らは球果先端部に存在しないとみなしているが、Table 3 に示すとおり、すでに幼球果の時点からわずかではあるが、先端部にも無効鱗片が観察され（多いもので 2～3 個）るので、*P. resinosa* でもいわれているとおり、先端部の無効鱗片は無視できないであろう。

なお、先に述べたように筆者らの成熟球果では幼球果よりもアカマツ、クロマツとも鱗片総数中の無効鱗片の比率がわずかではあるが大きい。これは、先に述べた成熟球果における本調査の方法では小形シイナを 2 個持った鱗片が有効鱗片から除かれてしまったことによるものと思われる。

針葉樹類の球果軸上に着生する鱗片総数、有効・無効鱗片数、鱗片総数中の有効・無効鱗片の比率、タネの生産可能数、タネ数、充実粒数、タネの生産可能数に対するタネの割合および充実率などについての既往の調査値は Table 5 に示す。

これらの結果と筆者らの結果との厳密な比較は難しいが、既往の数値に比較すると、筆者らの球果あたりの鱗片総数は両種とも、それらのほぼ中位に位置した。なお、アカマツやクロマツの球果あたりの鱗片総数は、1 鱗片上に多くの胚珠を着生するスギやヒノキの鱗片総数に比較すると多いが、1 鱗片に 2 個の胚珠を着生する種のなかでは、カラマツよりも多く、トドマツ、エゾマツなどよりは少なかった。

マツ類の球果あたりの有効・無効鱗片数、鱗片総数中の有効・無効鱗片の比率などについての既往の調査値（Table 5）と筆者らの結果とを比較するとその値はほぼ一致した。

また、球果あたりのタネの生産可能数、タネ数、充実粒数、タネの生産可能数に対するタネの割合および充実率などについては多くの報告（Table 5）がみられる。これら、既往の数値と筆者らの数値とを比較すると、タネの生産可能数は両種ともほぼ一致し、タネ数や充実粒数は両種とも既往の数値の上位に位置した。なお、タネの生産可能数に対するタネの割合は戸田らの数値に比べると、アカマツ、クロマツとも約 2 倍という高い割合を示しているが、このちがいは戸田らの球果あたりのタネ数が既往の数値のなかでも下位に位置しているのに対して、筆者らの数値が逆に上位に位置していることによるものである。また、充実率についての記載例は少ないが、筆者らの数値はアカマツでやや低く、クロマツではやや高かった。

マツ類では、開花時、有効鱗片上に正常に形成された胚珠の一部が受粉時以後に崩壊し、小形シイナやシイナを形成することが知られている¹¹⁾。そして、胚珠の崩壊が第 2 年目、7 月の受精に近い時点で生ずるとシイナが、また、これよりかなり前に崩壊すると未発達のタネ（小形シイナ）になると考えられている⁹⁾。*P. resinosa* での胚珠の崩壊は大部分が第 1 年目の夏の初期に生じたことが解剖観察により認められている。そして、第 1 年目の崩壊胚珠のタネの生産可能数に対する割合は母樹により異なるがおよそ 30～40% であることが知られている。また、成熟球果では小形シイナとシイナの占める割合は 40～55%（うち、シイナ、10～12%）であるという¹¹⁾。したがって、小形シイナになる原因は第 1 年目に生じたことになる。筆者らの成熟球果では、小形シイナ（約 16%）とシイナ（約 18%）の占める割合はアカマツ、クロマツの平均で、タネの生産可能数の約 34% であった。そして、幼球果における第 1 年目の崩壊胚珠はアカマツ、0.1%、クロマツ、0.4% とごく少なく、そのほとんどが第 2 年目の春以降、シイナが形成さ

Table 5. 各形質についての既往の調査値
Estimates of the characters on cone and seed production in coniferous trees

形 質 Characters		樹 種 Species	文 献 Reference
鱗 片 総 数 Total number of cone scales	76	<i>Pinus densiflora</i>	中井 勇 ¹⁵⁾
	81	" "	戸田良吉 ²²⁾
	88	" "	久保利夫 ⁷⁾
	71~105	" "	RIM, Y. D. et al. ¹⁷⁾
	79	" <i>thunbergii</i>	中井 勇 ¹⁵⁾
	82	" "	戸田良吉 ²²⁾
	91	" "	久保利夫 ⁷⁾
	62~107	" "	RIM, Y. D. et al. ¹⁷⁾
	26	<i>Cryptomeria japonica</i>	萩行治義 ⁶⁾
	7~11	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	横山周一 ²⁴⁾
	56	<i>Larix leptolepis</i>	金子富吉 ¹⁰⁾
	170	<i>Abies sachalinensis</i>	鳥羽次郎 ²⁰⁾
	106	<i>Picea jezoensis</i>	"
有効鱗片数 Number of effective cone scales	34*	<i>Pinus densiflora</i>	戸田良吉 ²²⁾
	36*	" <i>thunbergii</i>	"
無効鱗片数 Number of ineffective cone scales	47	<i>Pinus densiflora</i>	戸田良吉 ²²⁾
	46	" <i>thunbergii</i>	"
鱗片総数中の有効鱗片の比率 Percentage of effective cone scales to totals	42*	<i>Pinus densiflora</i>	戸田良吉 ²²⁾
	44*	" <i>thunbergii</i>	"
	45	" <i>resinosa</i>	LYONS, L. A. ¹¹⁾
鱗片総数中の無効鱗片の比率 Percentage of ineffective cone scales to totals	58*	<i>Pinus densiflora</i>	戸田良吉 ²²⁾
	57*	" <i>thunbergii</i>	"
	55*	" <i>resinosa</i>	LYONS, L. A. ¹¹⁾
タネの生産可能数 Capacity of seed production	68	<i>Pinus densiflora</i>	戸田良吉 ²²⁾
	72	" <i>thunbergii</i>	"
	79	" <i>resinosa</i>	LYONS, L. A. ¹¹⁾
タネ数（充実粒＋シイナ） Number of total seeds (full seeds plus empty seeds)	27	<i>Pinus densiflora</i>	戸田良吉 ²²⁾
	29	" "	渡辺 操 ²³⁾
	40~50	" "	RIM, Y. D. et al. ¹⁷⁾
	0.5~65	" "	杉村 ¹⁸⁾
	33	" <i>thunbergii</i>	戸田良吉 ²²⁾
	38	" "	渡辺 操 ²³⁾
	3~55	" "	杉村 ¹⁸⁾
	56	" "	中井 勇 ¹⁵⁾
充 実 粒 数 Number of full seeds	60~70	" "	RIM, Y. D. et al. ¹⁷⁾
	24	<i>Pinus densiflora</i>	渡辺 操 ²³⁾
	25	" "	野口常介 ¹⁶⁾
	27	" "	"
	28	" "	"
	33	" "	"
	22	" "	三宅 登 ¹⁴⁾
	34	" "	"
	41	" "	"
	58	" "	"
	33	" <i>thunbergii</i>	渡辺 操 ²³⁾
	36	" "	中井 勇 ¹⁵⁾
タネの生産可能数に対するタネの割合 Efficiency of seeds production	40	<i>Pinus densiflora</i>	戸田良吉 ²²⁾
	45	" <i>thunbergii</i>	"
充 実 率 Percentage of full seeds to totals	93	<i>Pinus densiflora</i>	野口常介 ¹⁶⁾
	94	" "	"
	64	" <i>thunbergii</i>	中井 勇 ¹⁵⁾

*：報告資料より算出した。

Calculated from the data in each reference.

れるような大きさの胚珠にまで発達する以前に崩壊し、小形シイナになるものが多かった。そして、第 1 年目の崩壊胚珠の割合は *P. resinosa* での結果と比較すると極めて小さい。これは樹種あるいは花粉濃度の差によるちがいのなか、それとも、筆者らの幼球果での観察が実体顕微鏡下での外観観察であるため、胚珠内部では異常の原因がすでに生じていたのを見逃したことによるのかは明らかでない。さらに解剖観察が必要であろう。

胚珠の崩壊は何が原因で生ずるかは明らかでないが、まず胚珠が受粉しなかったことが考えられる。しかし、*P. resinosa* の正常な胚珠では 2 つの大きな造卵器を形成し、そこに花粉管が到達する時期に、崩壊胚珠では造卵器の欠けた雌性配偶体に向って、花粉管が伸長している状態が観察されていること¹¹⁾、また、カラマツでは有効受粉胚珠（胚珠にとりこまれた花粉粒数とその花粉の発芽率から、受精が起こると推定される胚珠）の 22% がシイナになることが知られており²⁵⁾、受粉しても胚珠側の発達障害によって、崩壊胚珠が生ずることがかなり多いと推定できる。

なお、アカマツ、クロマツの崩壊胚珠の割合は 65%、68% という記載¹⁷⁾もある。しかし、この場合、有効鱗片の範囲が筆者らの範囲と一致するかどうかについては明らかでない。

V む す び

アカマツ、クロマツの球果軸上の先端の一部と基部の大半には鱗片総数の約 56% にあたる無効鱗片が着生している。開花時、この無効鱗片は胚珠を持っていないか、あるいは胚珠を持っていても、その胚珠は珠孔の発達が不完全で花粉を受け入れる能力を持っていない。そして、これが原因でタネを生産しない。

タネの生産に関与する、正常に発達した胚珠を持つ有効鱗片は無効鱗片の着生位置を除いた球果のほぼ中央部から先端近くまでに位置している。

従来、タネの生産可能数を鱗片総数×2 で表現している例がみられるが、有効鱗片数×2 で算出した数値のほうが、より実際に合った生産可能数といえるであろう。また、人工交配、人工媒助にあたっての受粉や成熟球果からのタネのぬきとりなどにあたっては、この有効鱗片を対象として行えば良いことになる。

クローン内の球果の大小と有効鱗片との相関では球果が大きくても有効鱗片の割合を増すことはないが、有効鱗片数は増加する傾向がみられる。したがって、球果あたりのタネの増産をはかるためには大きい球果を生産することに注目すべきであろう。

また、アカマツやクロマツでは受光量の多いクローネ上・中部の活力旺盛な第 1 次枝に大きな球果が着生することが知られている。これらの現象についてはアカマツ、クロマツの採種木の管理上も注目すべきことである。

なお、アカマツやクロマツではクローネの着生位置によって球果の大きさが異なることが知られていることから、当然、タネの生産可能数にも差があると考えられる。したがって、交雑稔性を比較するような人工交配では、交配の能率を高めることとあわせて、比較の正確さを期するためにも、クローネ上部の活力旺盛な第 1 次枝に着生した、同一高さの雌球花を用いる配慮をしながら、袋かけ、交配を実行することが重要であろう。

なお、この調査をすすめるにあたり、材料採集のお許しをいただいた元関東林木育種場、百瀬原種課長（現、林試、木曽分場、造林研究室長）に厚くお礼申し上げる。

文 献

- 1) CHIESLAR, A.: Aphorismen aus dem Gebiete der forstlichen Samenkunde. Cbl. ges. Forstwesen, **19**, 145~158, (1893)
- 2) DIECKERT, H.: Untersuchungen zur Bestäubung und Befruchtung von Fichtenzapfen. Allg. Forst u. Jagdztg. **135**, 171~175, (1964)
- 3) 長谷川孝三: 林木種子の自給とその注意, 林試報 (帝林東試), **1**(3), 1~142, (1928)
- 4) 日田営林署: アカマツ球果に関する二, 三の研究, 研修, **116**, 10~13, (1931)
- 5) 肥後 純, 山本潔美, 小谷内三郎: 育苗に関する研究, 杉の球果及び種子に就て (2報), 日林講 (61), 74~76, (1952)
- 6) 萩行治義, 横山周一, 河野耕蔵: スギの球果とタネ, 林木の育種, **60**, 12~16, (1970)
- 7) 久保利夫: 日本産二葉松類の種子についての研究, 育種雑, **3**, 49, (1953)
- 8) 河本典一: 採種園から採取した球果と種子のクローン間差異, 日林関西支講 (17), 13~14, (1967)
- 9) 勝田 柁: クロマツ, アカマツにおける落果と受粉, 演習林 (東大農学部), **65**, 87~106, (1971)
- 10) 金子富吉: カラマツの球果とタネの大きさが稚苗におよぼす影響, 林木の育種, **88**, 4~6, (1974)
- 11) LYONS, L. A.: The seed production capacity and efficiency of red pine cones (*Pinus resinosa* Ait.), Can. Jour. of Bot., **34**, 27~36, (1956)
- 12) 宮下保雄: 球果上着生位置を異にする松種子の品質, 大日本山林会報, **454**, 9~11, (1920)
- 13) 三橋 界: 同一母樹の枝の位置による種子の変異性, 林窓, **5**, 97~125, (1934)
- 14) 三宅 登: 大山アカマツの球果および種子の形質, 日林関西支講 (20), 55~56, (1969)
- 15) 中井 勇, 藤本博次, 稲森幸雄, 伊佐義朗, 佐野宗一: マツ類の交雑育種に関する研究 (1) クロマツの種内交雑ならびに他のマツ類数種との種間交雑の可能性, 京大演報, **39**, 125~143, (1967)
- 16) 野口常介, 渡辺 操: アカマツ精英樹クローンでの自家受粉によるタネのでき方, 日林誌, **54**, 356~359, (1972)
- 17) RIM, Y. D. and SHIDEI, T.: Study on the seed production of Japanese Red and Black Pine (1), Bull. Kyoto Univ. For., **45**, 43~51, (1973)
- 18) 杉村, 岡本, 横山, 伊藤: マツ精英樹の着花性ならびに球果種子の特性に関する調査, 関東林育年報 (1966), 20~41, (1968)
- 19) 柴田 勝: クロマツ, アカマツそしてアイグロマツにおける種子重量と苗高及び球果長の相関, 日林関西支講 (17), 73~84, (1969)
- 20) 鳥羽次郎: 球果着生位置を異にするエゾマツ及トドマツ種子の品質に就て, 北海道林業会報, **20**(4), 6~13, (1922)
- 21) 田添 元, 斎藤雄一: えぞまつ, あかえぞまつ, とどまつの球果及び種子に関する研究, 北大演報, **9**(1), 1~27, (1934)
- 22) 戸田良吉, 明石孝輝: タネはマツカサにどうついているか, 日林誌, **38**, 87~88, (1956)
- 23) 渡辺 操, 岩川盈夫: マツ類の人工受粉技術ならびに種間交雑について, 林試研報, **224**, 125~146, (1969)
- 24) 横山周一, 河野耕蔵, 萩行治義: ヒノキ精英樹球果の諸形質と種子粒数, 林育研究講 (1970), 55~59, (1971)
- 25) 横山敏孝, 金子富吉, 伊藤昌司, 山崎 忍: カラマツの受粉胚珠から充実種子のできる割合, 日林講 (84), 218~220, (1973)

図 版 説 明
Explanation of plates

Plate 1

- A. クロマツの開花最盛期の雌球花。b: 苞鱗, os: 種鱗
Female strobile of *P. thunbergii* in the time of full flowering. b: bract scale, os: ovuliferous scale.
- B. A のラセン列上部より 3 段目の鱗片 (種鱗側: 向軸側)。os: 種鱗, o: 胚珠, p: 花粉粒
Scales of the 3rd stair from the top on a given spiral line (adaxial side). os: ovuliferous scale, o: ovule, p: pollen grain.
- C. A のラセン列上部より 3 段目の鱗片 (苞鱗側: 背軸側)。b: 苞鱗, os: 種鱗, m: 珠孔, ma: 珠孔の腕。
Scales of the 3rd stair from the top on a given spiral line (abaxial side). b: bract scale, os: ovuliferous scale, m: micropyle, ma: micropylar arm.

Plate 2

- クロマツ雌球花 (開花最盛期), ラセン列各位置の鱗片 (A~G)。左: 種鱗側, 右: 苞鱗側。
Scales of *P. thunbergii* female strobili (in the time of full flowering) in several stairs on a given spiral line (A~G). left: adaxial side, right: abaxial side.
- A. 最上段 (基部より 14 段目) の鱗片。
Scales at the top (the 14th stair from the bottom).
- B. 基部より 12 段目 (上部より 3 段目) の鱗片。
Scales at the 12th stair from the bottom (the 3rd stair from the top).
- C. 基部より 10 段目の鱗片。
Scales at the 10th stair from the bottom.
- D. 基部より 8 段目の鱗片。
Scales at the 8th stair from the bottom.
- E. 基部より 6 段目の鱗片。
Scales at the 6th stair from the bottom.
- F. 基部より 4 段目の鱗片。
Scales at the 4th stair from the bottom.
- G. 最下部の鱗片。
Scales at the bottom.
- 注: A~G; 同倍率。——; 1 mm
Note: A~G are the same magnification. —— in plate shows 1 mm.
- クロマツ幼球果 (第 2 年目, 4 月 15 日) の鱗片と胚珠 (H~L)。
Cone scales and ovules of *P. thunbergii* conelets (Apr. 15 in the next year). (H~L).
- H. 正常胚珠を 2 つ持った鱗片。
Cone scale with two normal ovules.
- I. 正常胚珠と崩壊胚珠を持った鱗片。
Cone scale with a normal ovule and an aborted ovule.
- J. 崩壊胚珠を 2 つ持った鱗片。
Cone scale with two aborted ovules.
- K. 未発達胚珠を持った鱗片。
Cone scale with underdeveloped ovules.

L. 胚珠のない鱗片。

Cone scale not bearing any ovules.

注: H~L; 同倍率。——; 1 mm

Note: H~L are the same magnification. —— in plate shows 1 mm.

Effective and Ineffective Cone Scales of *Pinus densiflora*
SIEB. et ZUCC. and *P. thunbergii* PARL. for Viable Seed Production

Mikio SAITO⁽¹⁾ and Chiaki YAMAMOTO⁽²⁾

Summary

Eight-year-old *Pinus densiflora* and *P. thunbergii* clones which were planted in the trial seed orchard of Kanto Forest Tree Breeding Station, Mito, Ibaraki Prefecture were used as seed trees. The female strobili were collected from selected clones at the time of full flowering, while young conelets and mature cones were collected in mid-April in the next year after flowering and in early October, respectively.

In female strobili and cones of *P. densiflora* and *P. thunbergii*, the pairs of bract and ovuliferous scales are arranged in eight spirals along the cone axis, and each scale bears two ovules on its adaxial side.

The capacity of seed production is determined by the number of normally developed ovules at the time of pollination. The scales bearing well developed ovules are situated at the central and distal parts of the strobili, number of which were 36 in *P. densiflora* and 40 in *P. thunbergii* and were less than half (44%) of the total number of scales. Most of other scales (56%), on which the ovules are defective and do not contribute to viable seed production, existed in the proximal parts of the strobili.

Observations showed that sound ovules on the effective scales looked firm, roundish and pale in young conelets. Many of them continued to develop normally (developed ovules), whereas some others collapsed before maturity (aborted ovules). Aborted ovules became brownish and shrunk at the central part of ovules. Consequently, by the abortion of ovules before and after fertilization, the efficiency of viable seed production were usually reduced to 66 per cent of the capacity of seed production.

Received September 14, 1976

(1) (2) Silviculture Division

