

針葉樹芽生さしの発根起原 (II)

文部教官 佐藤清左衛門

Seizaemon SATOO :

Origin and development of adventitious roots
in seedling cuttings of conifers (II)

まえがき

前報⁽³⁾に続いてイチイ、カヤ、マツ類、カラマツで観察した結果を報告する。

この実験で御指導下された中村教授、佐藤助教授、林業試験場戸田技官、並びに造林学教室の各位に対し厚く御礼を申し上げる。

材料および方法

大部分は前報⁽³⁾と同じ要領で行つたが、アカマツはサシツケ後26日目まで10本ずつ、ストロブマツは41日目まで10本ずつ、46日目には20本、それ以後は両樹種とも50本ずつのサシホをぬきとつた。両種ともぬきとり日は4~5日おきに行つた。これ以外の樹種は2~5日おきに4~15本ずつのサシホをぬきとつた。固定液はアレン液のみ用いた。

観 察

前報⁽³⁾と同じ要領で観察した結果を記す。ただし Table 1 の「掘り起したときまでのサシツケ後の日数」の欄は新しくつけ加えたものであり、「発根・未発根本数」は掘り起したときの数字で、これに「枯死」の欄を加えた。

イチイ・カヤ (*Taxus cuspidata* SIEB. et ZUCC., *Torreya nucifera* SIEB. et ZUCC.)

〔キリクチ附近の構造〕

両種とも葉のついているところから下に向つて茎の面がふくれているので横断面 (Fig. 1, 6) では周囲にデコボコが見られる。一層の表皮はかなり厚いクチクラ層をともなつている。皮層細胞は大小不揃いでイチイでは約3~6層、カヤでは約10層見られる。樹脂溝はイチイの場合は

Table 1.

樹種 (Species)	種子の産地 (Seed source)	苗木 (Age of seedlings)	サシドコ (Propagation medium)	サシツケ日 (Date of planting)	はじめて“根のもと”をみとめたるサシツケ後の日数 (Number of days from planting to first observation of root primordia)	はじめて発根をみとめたるサシツケ後の日数 (Number of days from planting to first observation of roots)	掘り起したときまでのサシツケ後の日数 (Number of days from planting to removing of rest cuttings)	掘り起したときの発根・枯死本数 (Number of rooted, non-rooted and dead cuttings when rest cuttings were removed)	発根 (rooted)	未発根 (non-rooted)	枯死 (dead)
イチイ (<i>Taxus cuspidata</i> SIEB. et ZUCC.)	北海道 (Hokkaido)	播種後約18ヶ月 (About 18 months after sowing)	鹿沼土 (Kanumatu)	'51年6月13日 ('51 June 13)	40日	65日	65日	24	76	0	
カヤ (<i>Torreya micifera</i> SIEB. et ZUCC.)	埼玉県 (Saitama)	" 約19ヶ月 (" 19 ms. "	"	'51年6月13日 ('51 June 13)	65	65	65	2	27	134	
アカマツ (<i>Pinus densiflora</i> SIEB. et ZUCC.)	岩手県 (Iwate)	" 約12ヶ月 (" 12 ms. "	"	'53年3月28日 ('53 March 28)	42	52	73	69	70	1	
クロマツ (<i>P. thunbergii</i> PARL.)	千葉県 (Tiba)	" 約2ヶ月 (" 2 ms. "	"	'51年8月13日 ('51 Aug. 13)	29	35	35	4	54	111	
ヨーロッパマツ (<i>P. silvestris</i> L.)	北海道 (Hokkaido)	" 約11ヶ月 (" 11 ms. "	"	'51年5月12日 ('51 May 12)	52	69	69	24	134	5	
フランスカイガサシヨウ (<i>P. pinaster</i> AIR.)	(1)	" 約4ヶ月 (" 4 ms. "	"	'49年8月13日 ('49 Aug. 13)	27	27	27	3	16	0	
ストロブマツ (<i>P. strobus</i> L.)	北海道 (Hokkaido)	" 約12ヶ月 (" 12 ms. "	"	'53年3月24日 ('53 March 24)	41	51	56	16	26	0	
カラマツ (<i>Larix kaempferi</i> SARG.)	長野県 (Nagano)	" 約4ヶ月 (" 4 ms. "	"	'49年8月9日 ('49 Aug. 9)	31	38	38	4	25	9	

(1) 記録紛失 (Data were lost)

見られないがカヤではふくれている部分の皮層中に中心柱に接して1コずつ見られる。中心柱は葉跡の部分を除いて完全に輪状になつており、両種ともそれぞれ約10層の木部およびシ部細胞からなつている。

〔サツケ後の変化〕

イチイは大部分、カヤはすべてのサシホがキリクチにカルスを形成し、そこから発根した (Fig. 2, 3, 7, 8)。それらの“根のもと”は前報⁽³⁾のカルスから発根する樹種 (スギの1部分, ヒバ, ニオイヒバの大部分, トドマツ, ヨーロッパトウヒの1部分, ヌマスギの全部) と全く同様で、カルス木部に接して1団のカルス細胞から発達した (Fig. 3, 8)。しかし分裂状態になる範囲がカヤの場合はイチイにくらべて広いようであつた (Fig. 8)。イチイの1部分の根は前報⁽³⁾のモミ・トドマツ・ヨーロッパトウヒの様にキリクチ附近の新しい木部に接してまだ分化しない柔組織から発達した (Fig. 4, 5) (“根のもと”の全観察数イチイ 381コ, カヤ 20コ)。

アカマツ (*Pinus densiflora* SIEB. et Zucc.)

〔キリクチ附近の構造〕

キリクチ附近の構造を横断面で示すと Fig. 9 の通りである。こまかい説明ははぶいて予報⁽⁵⁾で用いた材料 (播種後4~5ヶ月苗) とくらべて、著しく違つている点を中心に述べることにする。まず中心柱の発達が進んでおり、第2次木部が約30~40層になつている。第1次のシ部は外側に圧迫されて全然みとめられない。木部中には樹脂溝が発達している。次に皮層の外側には数層のコルク層が発達し、表皮にはところどころキレツができています。コルク層と皮層の柔組織の部分との境には黒く染つて見える半径方向に細長い細胞層が1~2層見られる。またサシホのなかにはキリクチ附近の葉腋に“芽のもと”の見られるものがあつた。

〔サツケ後の変化〕

サツケ後15日目にはじめて肉眼的にカルスをみとめた (サシホ10本のうち9本)。カルスの発達のしかたは予報⁽⁵⁾の場合と同様であつた (Fig. 10)。“根のもと”のできはじめの状態 (Fig. 11), その発達のしかたは今まで観察した芽生ざしのカルスからの発根と全く同様であつた (Fig. 12, 13) (観察数 570コ)。しかしすべての“根のもと”はニオイヒバ, ヌマスギ⁽³⁾などの1部の“根のもと”のようにコルク化した部分を除いたカルスの表面近くから発達し、スギ, ヒバの枝ざし⁽²⁾⁽⁴⁾で見られたような完全にカルス組織の内部から発達したものは見られなかつた。

なお、実験期間中に根および“根のもと”のふえていつたありさまを Table 2 に示す。

クロマツ・ヨーロッパアカマツ・フランスカイガンショウ・ストロブマツ

(*Pinus Thunbergii* PARL., *P. silvestris* L., *P. pinaster* AIT., *P. strobus* L.)

〔キリクチ附近の構造〕

クロマツのみはサツケたときの材料をなくしたので、サツケ後4日目の材料についてのべ

る。クロマツとくにヨーロッパアカマツは中心柱の発達が進んでいない状態のもので (Fig. 14, 17), 第2次維管束がほとんどみとめられないものがある。両種とも表皮下にコルク層の形成は見られない。フランスカイガンショウ, ストローブマツは第2次木部が約10~20層に発達し, 中心柱は葉跡部を除いて輪状になっている (Fig. 19, 21)。両種とも表皮下にコルク層が形成されている。なおクロマツ, ストローブマツではキリクチ附近の葉腋に“芽のもと”が見られた (Fig. 22)。

〔サシツケ後の変化〕

クロマツ, ヨーロッパアカマツ, フランスカイガンショウの大部分のサシホはキリクチがくさつて, 前報⁽³⁾のスキ, ヒバ, ニオイヒバで示したようなカルスがキリクチの中に形成されて, そこから発根した (Fig. 15, 16, 20) (観察数クロマツ112コ, ヨーロッパアカマツ202コ, フランスカイガンショウ8コ)。しかし1部の根はキリクチの外にできたカルスから発達した (Fig. 18)。ストローブマツは大部分の根がキリクチの外にできたカルスから発達した (Fig. 23) (観察数126コ) が, 1部の根 (観察数20コ) はキリクチ附近の芽のところから発達した (Fig. 24, 25)。芽のところからでる根は芽の維管束だけからつくられる (Fig. 24) か芽の維管束とカルス組織の両方からつくられた (Fig. 25)。そしていずれの場合も“根のもと”の近くにはカルス木部と同じ様な仮導管が発達していた。なおストローブマツの実験期間中に根および“根のもと”のふえていつたありさまを Table 2 に示す。

Table 2. アカマツ, ストローブマツの根および“根のもと”のふえていつたありさま
(Number of roots and root primordia increased in *P. densiflora* and *P. strobus* cuttings)

樹 種 (Species)		アカマツ (<i>P. densiflora</i>)										ストローブマツ (<i>P. strobus</i>)				
サシツケ後の日数 (Days after planting)		31	37	42	47	52	58	63	68	73	35	41	46	51	56	62
肉眼的にみたサシホ数 (Number of cuttings observed by naked eye)		50	50	50	50	50	50	50	50	140	10	10	20	50	50	42
根 (Roots)	サシホ数 (Number of cuttings)	0	0	0	0	3	6	11	17	69	0	0	0	2	6	16
	根の平均数 (Average number of roots per cutting)	0	0	0	0	1	2.1	1.9	3.2	2.8	0	0	1	1	1	1.1
切つてみたサシホ数 (Number of cuttings observed by microscope)		48	49	48	49	50	46	46	46	(1) 70	10	10	20	47	50	39
“根の もと” (Root primor- dia)	サシホ数 (Number of cuttings)	0	0	2	12	26	27	37	35	33	0	1	6	29	28	22
	“根のもと”の平均数 (Average number of root primordia per cutting)	0	0	2	1.8	3.4	3.9	3.4	3.4	3.4	0	1	1.6	2	1.8	1.4

(1) 根がでないでカルスだけのサシホ (Non-rooted but callused cuttings)

カラマツ (*Larix Kaempferi* SARG.)

〔キリクチ附近の構造〕

周囲はヨウジヨクの組織でとりかこまれているが、コルク形成層の分化はまだみとめられない (Fig. 26)。木部は 10~20 層から成り中心柱は完全に輪状になっている。キリクチ附近の葉腋には“芽のもと”が見られる。

〔サシツケ後の変化〕

観察した大部分の根は芽の維管束から発達し (Fig. 27, 28) (観察数 6 コ)、1 部のものは葉跡に関連して発達した (Fig. 29) (観察数 7 コ)。

考 察

この実験で観察した 8 種の根はすべてカルスおよびこれに似た柔組織から発達し、ズイセンから発達するものは全然見られなかつた。ストローブマツ、カラマツで見られた芽のところからの発根については *Abies* 属、*Picea* 属の伏条^①で報告されているだけのようである。そしてこの現象は同じように“芽のもと”はあつてもアカマツ、クロマツの場合は見られず、ストローブマツだけに限られた点同じマツ属だけに興味深く感ぜられる。次にアカマツの根のでかたについて予報^⑤の場合と今回の実験結果とをくらべて見ると“根のもと”になる分裂組織がカルスの表面近くから発達する点では同じであるが、前の場合にはカルス木部の分化が近くに見えなかつたので、“根のもと”は仮導管の分化に先行して表面から発達するものと考え、外生的なでかたをするものようであると判断した。しかし今回の実験ではすべて“根のもと”に密接してカルス木部の分化が行われていた。この違いは発生的に見て本質的な問題だけに実験材料、条件を同様にした厳密な比較検討を要するが、今のところ次の 2 つの理由から予報で述べた考え方は改めなければならないと考える。

1) 予報のときの切片は手切であつたためかなり厚く (約 50 μ)、しかも同一切片でも厚さがまちまちで、カルス木部の分化しているの見失つた可能性のあること。

2) 今まで観察した樹種のカルスからの発根には予報のような例が全然見られなかつたこと。

最後に Table 2 からこの実験条件の下でアカマツ、ストローブマツの根および“根のもと”のふえていつた状態を見ると、両樹種とも“根のもと”はサシツケ後 41~42 日目にはじめてみとめられ、51~52 日目には約 50~60 % のサシホが“根のもと”をもち、このときはじめて発根が見られた。61~62 日目にはアカマツでは約 80 % のサシホが“根のもと”をもち、約 20 % のサシホが発根した。ストローブマツでは約 55 % が“根のもと”をもち、約 38 % が発根した。それ以後はアカマツのみで 73 日目には約 50 % 発根し、カルスだけのサシホもその約 50 % は“根のもと”をもつていた。この両樹種の間で見られた著しい違いはサシホ 1 本当たりの“根のもと”の平均数でアカマツでは 52 日目から約 3.4~3.9 本であつたのに対し、ストローブマツ

では約 1.5~2 本であつた。しかしこの違いが何によるかはよくわからない。さらにこの資料をスギ、ヒバの枝ざし⁽²⁾⁽⁴⁾のカルスからの発根にくらべて見ると、サシツケてから“根のもと”のときは始めるまでの日数はみな違つているが、はじめて“根のもと”が見られてからはじめて発根を見るまでの日数は 10 日前後である点と、いずれもはじめて発根をみとめたときにはサシホの約 50% が根あるいは“根のもと”をもっている点が共通しているので今まで行つたような実験条件の下ではこの 10 日前後の期間が“根のもと”のふえる 1 つの大きな山になつていたものと考えられる。

摘 要

(1) イチイ、カヤ、アカマツ、クロマツ、ヨーロッパアカマツ、フランスカイガンショウ、ストロブマツ、カラマツの芽生ざしで不定根の起りと発達のしかたを観察した。

(2) 各樹種ごとに不定根の発達した組織を示すと次のようである。

イチイ……………カルスおよびキリクチ附近の未分化のシ部 (Fig. 2, 3, 4, 5)。

カヤ……………カルス (Fig. 7, 8)。

アカマツ……………カルス (Fig. 11, 12, 13)。

クロマツ……………カルス (Fig. 15, 16)。

ヨーロッパアカマツ……………カルス (Fig. 18)。

フランスカイガンショウ……………カルス (Fig. 20)。

ストロブマツ……………カルスおよび芽のところ (Fig. 23, 24, 25)。

カラマツ……………芽のところおよび葉跡 (Fig. 27, 28, 29)。

(3) カルスからの根は前報⁽³⁾の場合と同様でカルス木部に密接してかなり広範囲のカルス細胞群から発達した。芽のところからの根は芽の維管束だけからか芽の維管束とカルス組織とが一緒になつて発達した。

(4) アカマツ、ストロブマツの根および“根のもと”のふえかたを見ると (Table 2)、両方ともサシツケ後 41~42 日目にはじめて“根のもと”が見られ、それから 10 日後の 51~52 日目には“根のもと”をもつサシホが約 50~60% にふえこのときはじめて発根が見られた。61~62 日後にはアカマツでは約 80% のサシホが“根のもと”をもち、約 20% のサシホが発根した。ストロブマツでは約 55% が“根のもと”をもち、約 38% が発根した。73 日後はアカマツだけで約 50% が発根し、カルスだけのサシホも約 50% は“根のもと”をもつていた。

引 用 文 献

- 1) BANNAN, M. W. : Notes on the origin of adventitious roots in the native Ontario conifers. Amer. Jour. Bot 29: 593-598. 1942.
- 2) 佐藤 (清) : スギ挿木根の起原 II. カルスからの根. 東京大学演習林報告 37: 43~47. 1949.

- 3) 佐藤 (清) : 針葉樹芽生さしの発根起原 (1). 東京大学演習林報告 43 : 59~81. 1952.
- 4) 佐藤 (清) : ヒバさし木の根の起りおよびその発達. 日本林学会誌 35 : 220~225. 1953.
- 5) TODA, R. and S. SATOO : The development of roots arising from callus tissues in young seedling cuttings of pine-A preliminary report. 日本林学会誌 30 : 20~25, 1948.

Summary

Origin and development of adventitious roots were studied in cuttings of young seedlings of *Taxus*, *Torreya*, *Larix* and 5 species of *Pinus*. Every 2-5 days after planting, 4-50 cuttings were removed from rooting media at random and the majority of the basal portions of them were fixed in ALLEN's fluid. Increase in the number of root primordia and roots after planting in *Pinus densiflora* and *P. strobus* are shown in Table 2. Other points of material and method in this experiment were the same as in the report 1⁽³⁾.

In *Taxus cuspidata* and *Torreya nucifera* most of adventitious roots arose from callus tissues in the same manner as in *Cryptomeria*, *Thujaopsis*, *Thuja* etc⁽³⁾(Fig. 2, 3, 7, 8), but some of roots in *Taxus* developed from the irregularly arranged parenchymatous phloem layers near the cut base as in *Abies* and *Picea*⁽³⁾(Fig. 4, 5).

All of roots in *Pinus densiflora*, *P. Thunbergii*, *P. silvestris*, *P. pinaster*, and about 6/7 of roots in *P. strobus* arose from callus (Fig. 11, 12, 13, 15, 16, 18, 20, 23) in the same manner as callus-roots observed until now, but about 1/7 of roots in *P. strobus* arose in connection with bud-primordia (Fig. 24, 25). Exogenous origin of callus-roots in *Pinus densiflora* cuttings reported preliminary⁽⁵⁾ should be corrected by the results of this observation, because callus-xylem connected with developing root meristem.

In *Larix Kaempferi* cuttings the roots arose in connection with bud-primordia and leaf-traces (Fig. 27, 28, 29).

Plate IV

Fig. 1

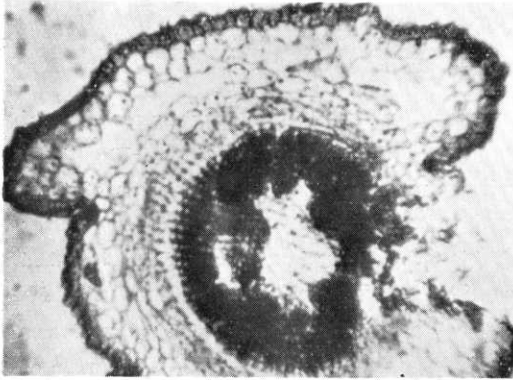


Fig. 2

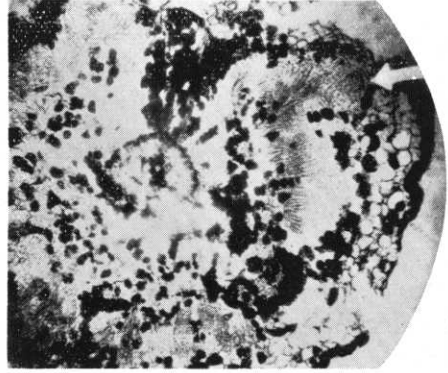


Fig. 3

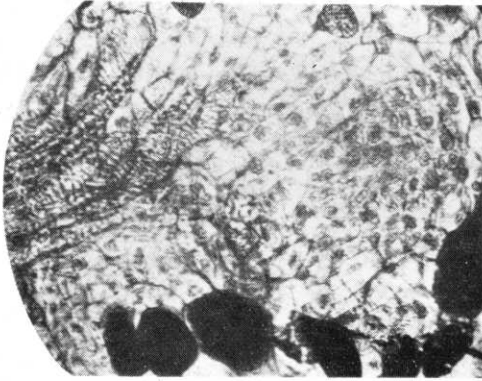


Fig. 4

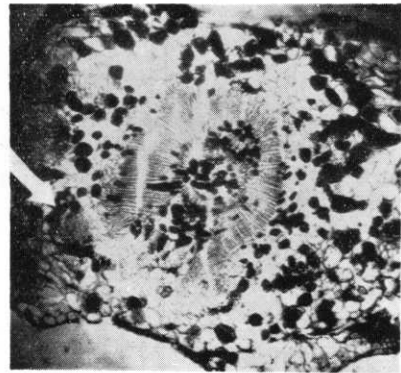


Fig. 1; イチイ, キリクチ附近の横断面 (Cross section of epicotyl shoot of *Taxus* near the cut base) ($\times 88$).

Fig. 2; イチイ, カルスからの“根のもと” (矢印) (Root primordium developed from calus tissues, *Taxus*) (pointed with arrow) ($\times 32$).

Fig. 3; イチイ, Fig. 2 の“根のもと”の拡大 (Enlargement of root primordium in Fig. 2, *Taxus*) ($\times 217$).

Fig. 4; イチイ, キリクチ附近の未分化のシ部からの“根のもと” (矢印) (Root primordium developed from irregularly arranged parenchymatous phloem layers near the cut base, *Taxus*) (pointed with arrow) ($\times 32$).

Plate V

Fig. 5



Fig. 6

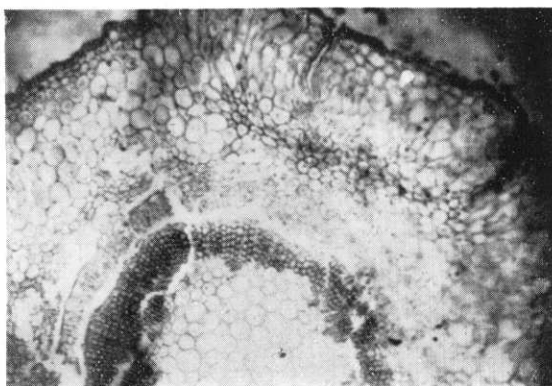


Fig. 7

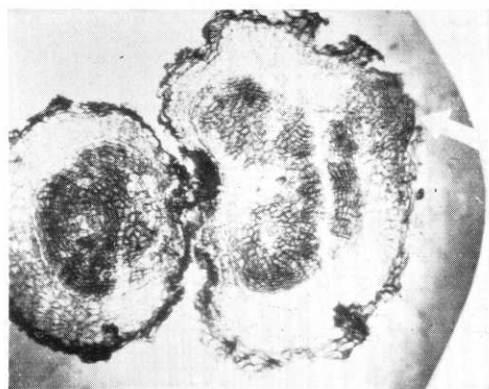


Fig. 8

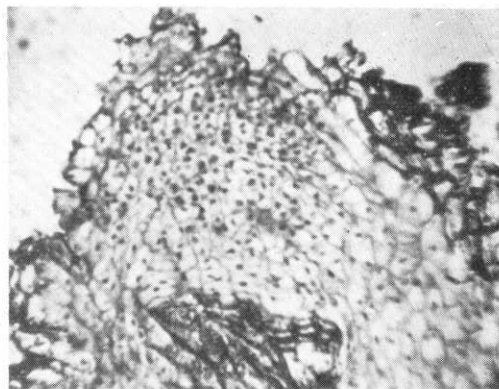


Fig. 5; イチイ, Fig. 4 の“根のもと”の拡大 (Enlargement of root primordium in Fig. 4, *Taxus*) ($\times 217$).

Fig. 6; カヤ, キリクチ附近の横断面の一部 (A part of cross section of epicotyl shoot of *Torreya nucifera* near the cut base) ($\times 44$).

Fig. 7; カヤ, カルスからの“根のもと”(矢印) (Root primordium developed from callus tissues, *Torreya*) (pointed with arrow) ($\times 32$).

Fig. 8; カヤ, カルスからの“根のもと”(Root primordium developed from callus tissues, *Torreya*) ($\times 200$).

Plate VI

Fig. 9

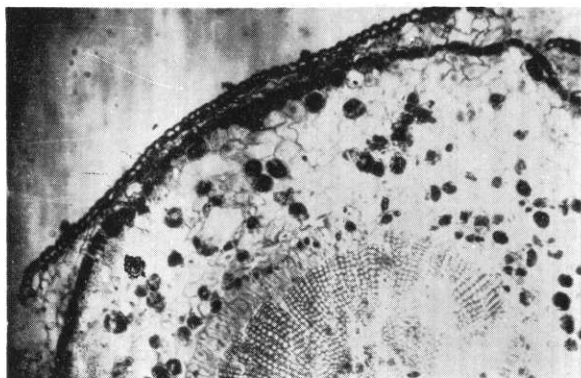


Fig. 10



Fig. 11

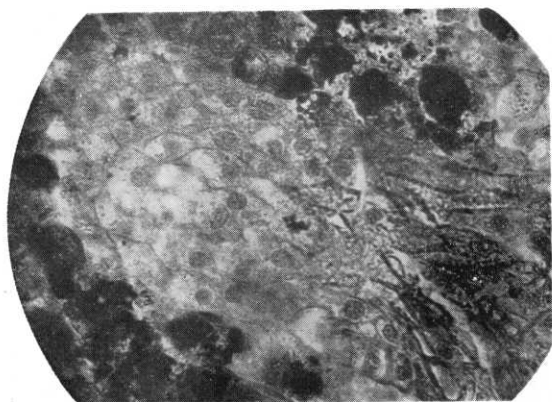


Fig. 12

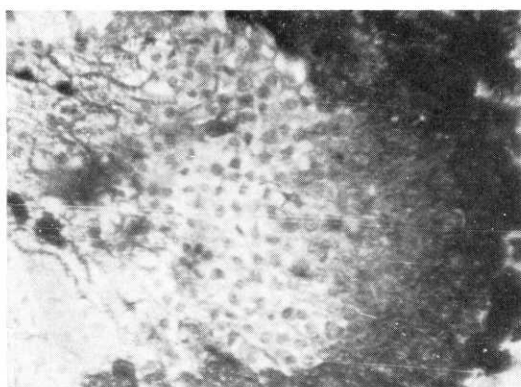


Fig. 9; アカマツ, キリクチ附近の横断面の一部 (A part of cross section of epicotyl shoot of *Pinus densiflora* near the cut base) ($\times 63$).

Fig. 10; アカマツ, カルスのできはじめる状態 (Early stage of callus tissues, *P. densiflora*) ($\times 32$).

Fig. 11; アカマツ, 初期の“根のもと” (Early stage of root primordium, *P. densiflora*) ($\times 200$).

Fig. 12; アカマツ, 発達した“根のもと” (Later stage of root primordium, *P. densiflora*) ($\times 200$).

Plate VII

Fig. 13

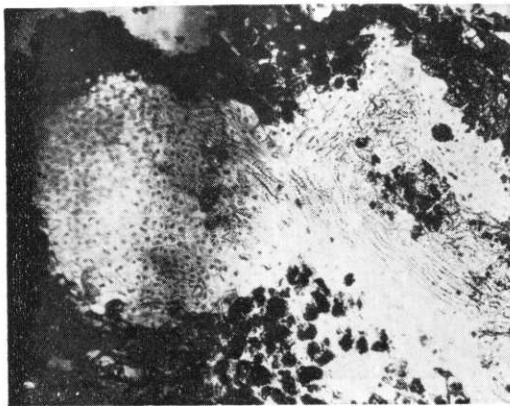


Fig. 14

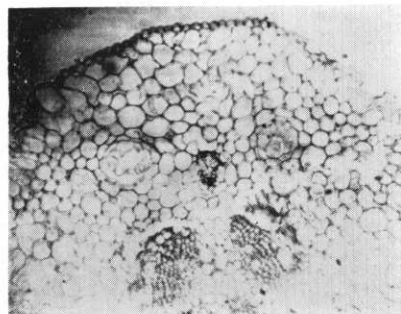


Fig. 15

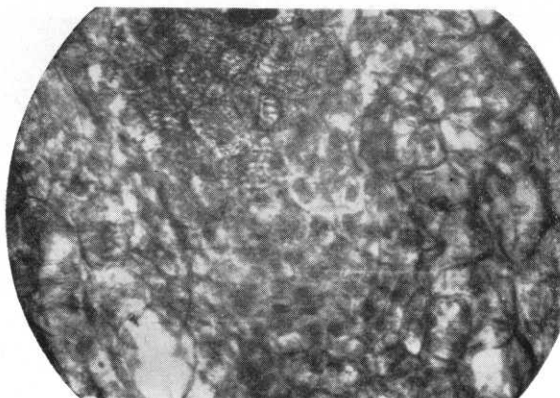
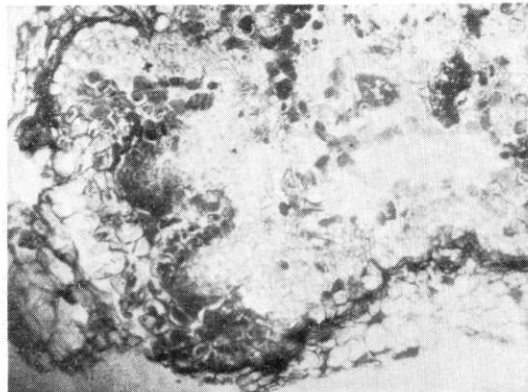


Fig. 16



- Fig. 13; アカマツ, 発達した“根のもと” (Later stage of root primordium, *P. densiflora*) ($\times 67$).
 Fig. 14; クロマツ, サシツケ 4 日後のキリクチ附近の横断面 (Cross section of epicotyl shoot of *Pinus thunbergii* near the cut base 4 days after planting) ($\times 60$).
 Fig. 15; クロマツ, 初期の“根のもと” (Early stage of root primordium, *P. thunbergii*) ($\times 225$).
 Fig. 16; クロマツ, キリクチの中にできたカルスからの“根のもと” (Root primordia developed from callus tissues formed in the the decayed portion near the cut base, *P. thunbergii*) ($\times 68$).

Plate VIII

Fig. 17

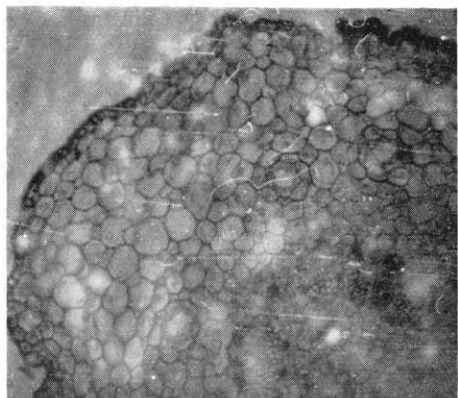


Fig. 18

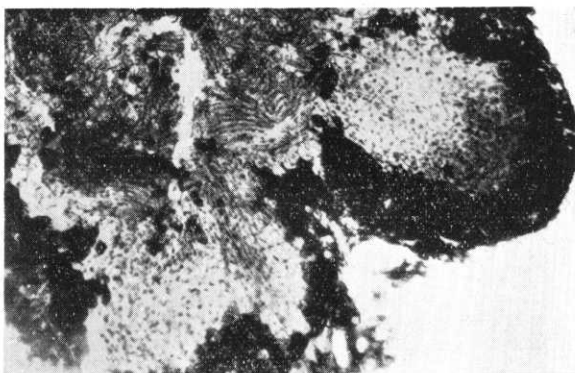


Fig. 19

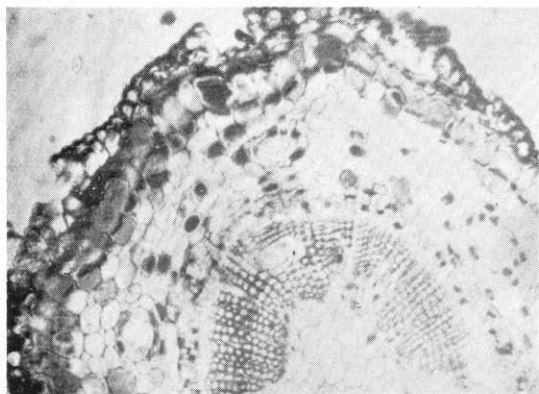


Fig. 20

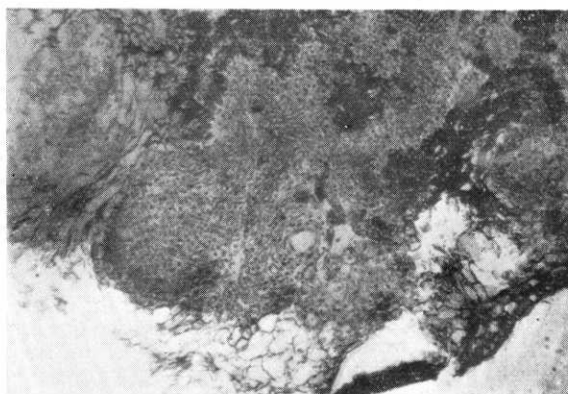


Fig. 17; ヨーロッパアカマツ, キリクチ附近の横断面の1部 (A part of cross section of epicotyl shoot of *Pinus silvestris* near the cut base) ($\times 100$).

Fig. 18; ヨーロッパアカマツ, キリクチの外にできたカルスからの“根のもと” (Root primordium developed from callus tissues formed over the cut surface. *P. silvestris*) ($\times 78$).

Fig. 19; フランスカイガンシヨウ, キリクチ附近の横断面 (Cross section of epicotyl shoot of *Pinus pinaster* near the cut base) ($\times 80$).

Fig. 20; フランスカイガンシヨウ, キリクチの中にできたカルスからの“根のもと” (Root primordium developed from callus tissues formed in the decayed portion near the cut base, *P. pinaster*) ($\times 67$).

Plate IX

Fig. 21

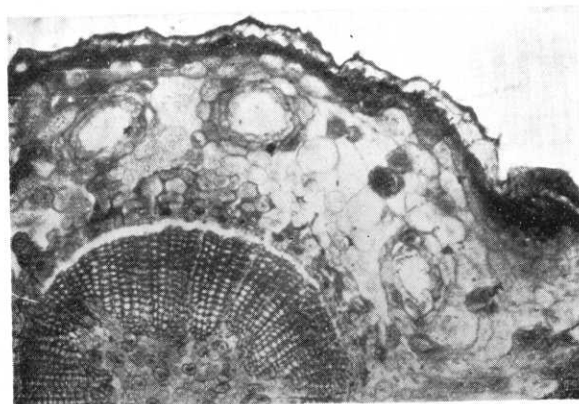


Fig. 22



Fig. 23

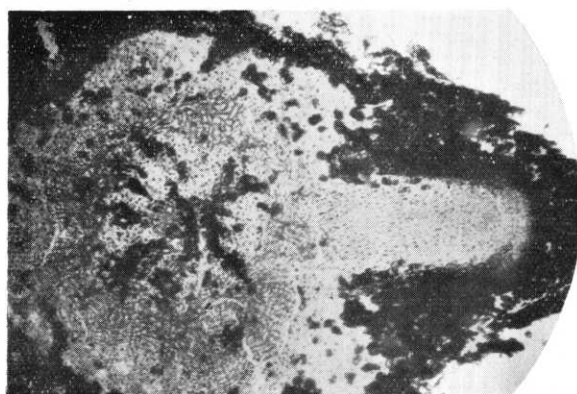


Fig. 24



Fig. 21; ストローブマツ, キリクチ附近の横断面の1部 (A part of cross section of epicotyl shoot of *Pinus strobus* near the cut base) ($\times 80$).

Fig. 22; ストローブマツ, サシツケたときの“芽のもと”, 縦断面 (Bud primordium near the cut base, longitudinal section, *P. strobus*) ($\times 36$).

Fig. 23; ストローブマツ, カルスからの“根のもと” (Root primordium developed from callus tissues, *P. strobus*) ($\times 32$).

Fig. 24; ストローブマツ, 芽のところからの根 (Root developed from bud primordium, *P. strobus*), *b*; “芽のもと” (Bud primordium), *r*; 根 (Root) ($\times 39$).

Plate X

Fig. 25

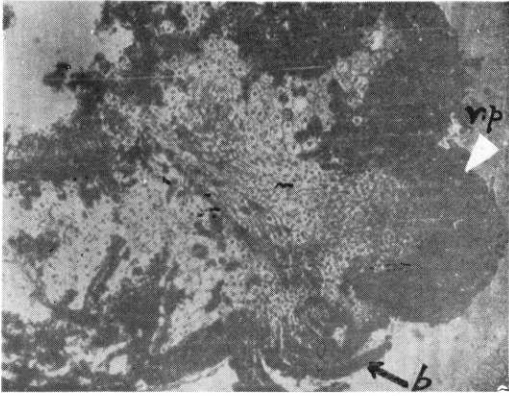


Fig. 26

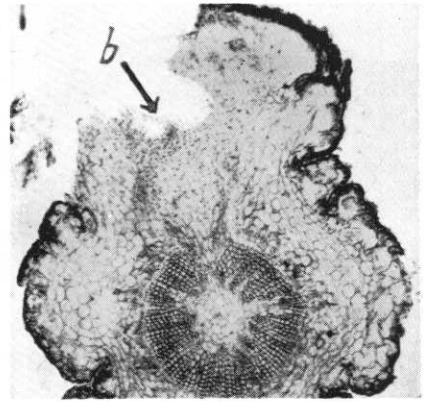


Fig. 27

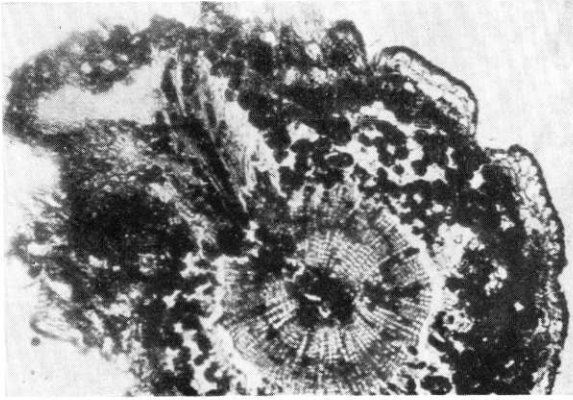
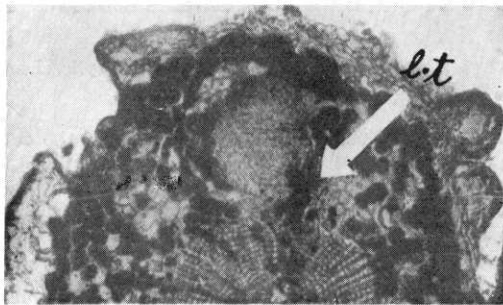


Fig. 28



Fig. 29



- Fig. 25; ストローブマツ, 芽とカルスに同時に関連して発達した“根のもと” (Root primordium arose in connection with bud primordium and callus tissues, *P. strobus*), *b*; “芽のもと” (Bud primordium, *r·p*); “根のもと” (Root primordium) (×50).
- Fig. 26; カラマツ, キリクチ附近の横断面 (Cross section of epicotyl shoot of *Larix Kaempferi* near the cut base), *b*; “芽のもと” (Bud primordium) (×44).
- Fig. 27; カラマツ, 芽のところからの“根のもと” (Root primordium developed from bud trace, *Larix*) (×50).
- Fig. 28; カラマツ, 芽のところからの“根のもと” (Root primordium developed from bud primordium, *Larix*) (×36).
- Fig. 29; カラマツ, 葉跡からの“根のもと” (Root primordium arose in connection with leaf trace, *Larix*), *l·t*; 葉跡 (leaf trace) (×66).