

マツ・カラマツ類を中心としたさし木困難 樹種の不定根の形成に関する基礎的研究

そのⅠ. さし木発根の内的条件に関する研究

石 川 広 隆⁽¹⁾

ま え が き

従来、林業や園芸の方面においては葉ざし、枝ざし、根ざしなどのさし木や、つぎ木、取り木を含む無性繁殖法が使用されており、たんに苗木養成の目的ばかりでなく、育種の面から見ても重要な手法であることはよく知られている。これら無性繁殖法のうち大量生産手段としては葉ざしと枝ざしがもっとも適しているが、林木や果樹などのさし木で実用上行なわれているのは枝ざしが多い。

しかるに、一部の樹種には非常にさし木困難なものがあり、クローン養成上さし木繁殖が急がれているのにもかかわらず、いまだに実用の段階に至っていないものもある。

本研究においては、発根困難なものうち、主要針葉樹であるマツ属とカラマツ属を対象として、不定根形成の機構を明らかにするための解析的研究を行ない、さし木発根の内的条件のうちはっきり究明されていない問題を取りあげ、また外的条件と発根とがどのような関連を持っているかを調査した。

さし木繁殖法が、育種の面からみてどの程度に重要なものであるかはすでに周知のことであり、このことについての解説書も数多く見うけられる。したがって、ここにさし木の重要性に関する解説を再度記載する必要はまったくないが、こんご実生集団による育種が大々的に推進されるようになって、さし木は有用であるという点について一言触れたい。

それは選抜木のさし木苗をうることが可能であれば、親の遺伝子型の判定にこのさし木苗を利用できるわけであり、さし木苗がいみじくも自根苗ともいわれているように、自分の根の上立っているだけに、つぎ木苗とくらべて台木による変動がなく、ましてや実生苗よりもはるかにはっきりと遺伝子型を判定でき、それだけに改良効果があがるわけである。

このようなわけで、いつの時代にもさし木繁殖苗の有用性は失われないであろうし、発根困難樹種、または個体のさし木繁殖法という残された問題については、こんごも着実な努力が重ねられなくてはならないと考えられる。

研 究 史 概 要

マツ類のさし木が発根することをみた報文は1891年の BEISSNER³⁾⁴⁾²⁶⁾ や、1908年の KURDIANI²⁴⁾ のものがもっとも古いようである。

その後多くの研究者により、親木の年齢によるさし穂の発根力の違い、季節別の発根の難易などの調査

(1) 造林部造林科生理研究室長

とともに植物ホルモン処理によるさし穂の発根増進法の発見があり、発根しやすい樹種、たとえば *Pinus radiata* や *Pinus strobus* のさし木で、親木が若い場合は実用化の段階にまで達したといえるようになった。実際に FIELD¹⁰⁾は 1934 年に若い *Pinus radiata* の枝を畑さしにより発根させ、この苗で造林した。

近年、日本でも外国に劣らずマツ属のさし木に関する研究が行なわれ、良い結果が得られている。もともと日本のマツ類には発根困難なものも多く、林木として重要であるアカマツ、クロマツでは普通枝のさし木を行なうと発根がみられるのは 5 年生の親木から採集したさし穂までで、それ以上では発根しないのが普通であった。しかし、戸田⁴⁹⁾のハタバザンを改良した“芽出しハタバ”のさし木を行なうか、啓発枝をさしつけるなどの新方法をとるときには、10~15 年生程度の親木から採集した場合に、50% を越える発根率をうることができるようになった。

これらの方法を用いる時は雑種幼齢個体のさし木がやさしくなり、雑種の特性格定が容易になると考えられるが、この見地から林木育種事業に貢献することが考えられる。

これらマツ類の研究史については、すでに戸田⁴⁹⁾、その他⁴⁾により詳しい印刷物が出版されているので、本報告ではあらためてくわしくは述べないこととし、各節に関係のある新しい文献をまぜて文中で手みじかに述べたいと考えている。

つぎにカラマツであるが、この属のさし木試験はマツ属に比べると報告の数も種類もすくないが、すでに一とりの試験はなされている。筆者の調べた範囲内では、カラマツ属のさし木については 1909 年の BEISSNER⁴⁾の著書中にも見られるが、1938 年になされた KOMISSAROV¹⁰⁾の実験が、報告されたものとしては最初のものである。

カラマツでも若い親木から採集したさし穂ほど発根はよく、マツ属と似た結果が得られている。このほか、穂作り、さしつけの適期、光に関する諸問題、床土の諸問題などについて報告が見うけられるが、マツ属と同様に各節のはじめに述べることにしたい。

なお、本研究の実施に当たり、林業試験場長坂口勝美博士から深いご理解と絶えぬご指導、激励をいただいた。また、造林部長加藤善忠技官、元育種科長・現四国支場長岩川盈夫技官をはじめ造林部の皆様からは多大のご配慮と助言をいただいた。とくに、発根の生理学的諸問題の解明に当たっては当场元生理研究室長・現東京都立大学教授長谷川正男博士の、形態学的諸問題については同大学 順博士および当场造林科長草下正夫技官から多大のご指導をうることができた。

このほか、材料の採取にあたって当场浅川実験林、および関東林木育種場原種課、同長野支場経営課の皆様、東京農工大学教授川名 明博士、鳥取県伊沢百伸氏ならびに安東 信技師、当時山形県技師、現山口県林業試験場長伊藤 徹氏をはじめ山形県林務課、および東南置賜地方事務所の皆様から多大のご援助を、またさし木実行に際しては当场実験林の皆様のご助力を仰いだ。

ここに、これらの方々に対し、心からの感謝をささげる次第である。

1. 樹齡と発根力との関係について

1-1. アカマツとクロマツの親木の年齢別さし木と発根力

樹齡と発根力に関するこれまでの研究

Table 1 は母樹齡とさし穂の発根率に関する代表的な報告例をかかげたものである。1 年苗からとったさし穂の発根率はどの種においてもかなり良いが、大体において 3 年生以後は非常に悪くなっている。

Table 1. 親木の樹齢による発根率の違い

親木の年齢 (年)	マツの種類															研究者	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	13	25	50	80	100		
	(%)																
<i>P. sylvestris</i>	77	8	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	GARDNER ¹¹⁾
<i>P. strobus</i>	98	51	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	同上 ¹¹⁾
<i>P. resinosa</i>	62	3	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	同上 ¹¹⁾
<i>P. taeda</i>	46	6	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	同上 ¹¹⁾
<i>P. radiata</i>	45	28	59	-	46	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-	JACOBS ¹⁸⁾
<i>P. sylvestris</i>	65	42	18	5	2	-	-	-	-	0	-	0	0	0	0	0	SEVEROVA ⁴⁰⁾
<i>P. strobus</i>	31	18	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	THIMANN ⁴⁵⁾
<i>P. densiflora</i>	67	23	21	7	15	0	-	0	-	0	-	-	-	-	-	-	小笠原 ³⁰⁾
<i>P. densiflora</i>	35	44	3	3	-	-	10	-	-	-	0	-	-	-	-	-	戸田 ⁴⁸⁾

Table 2. 親木の樹齢による発根率の違い
Rooting ratio of pine cuttings by the ages of ortets

樹種	Species	樹 齢 (年)	Age	発根率 (%)	Rooting percentage
アカマツ	(<i>Pinus densiflora</i>)	33 Years		30.0 ¹⁴⁾	
クロマツ	(<i>Pinus thunbergii</i>)	12		54.0	
アカマツ	(<i>Pinus densiflora</i>)	6		46.7	
アカマツ	(<i>Pinus densiflora</i>)	1		96.6	
クロマツ	(<i>Pinus thunbergii</i>)	1		95.0	

筆者もまたいままでの研究において同様の現象を見ており、ほかの目的で行なった実験のなかから、樹種別に発根の成績をぬき出して見たところ第2表が得られた。

この表でみると、1年苗のころの不定根形成能力はほぼ90%以上であるが、数年たつと約半分に低下し、精英樹を選抜するほどの樹齢ともなると30%程度の発根率しか得られなかった。しかし、いままでに発表された多くの報告のなかでみられることは、実験終了時における未発根生穂、すなわち不定根は出ていないがカルス形成のみられる生穂や、不定根もカルスも形成されていないが、非常に元気の良い穂がととった木からのさし穂に比較的多い。これに対して若い母樹からのさし穂では、発根した穂が多くなり、未発根生穂が非常に少ない。

老齡母樹のさし木における未発根生穂では、(A)今後まったく発根の見込みのない穂であるのか、それとも、(B)若齡木からのさし穂と比較すると発根に長時間を要するため、試験終了時にはまだ発根に至らないのかという2点が問題となる。

多くの研究者はさし木試験のとき、この未発根生穂をふたたびさしつけることをせず、3~8か月で実験を打ち切ってしまうので、上述の(B)の考えを確かめた結果はほとんど見当らなかった。

筆者は本報告においてとくにこの点を重視した。

材料と方法

実験の結果を正確につかむためには、なるべく発根確実な若い母樹齢のものおしの比較が望ましいので、当年生苗と約1年生の苗とを使用した。当年苗は4月に、1年苗は前年の秋にタネマキしたものである。当年苗は子葉の下1cmのところ、1年苗はエピコチルのところで切断し、ともに穂の長さが2cm

になるようにした。穂作りには安全カミソリの刃を使用した。さしつけは 1964 年 7 月 24 日で、ヨシズを 1 枚かけて日おとし、朝 8 時から夕方 5 時まで 15 分ごとに 5 秒間噴霧灌水をした。

さし穂は粒径 28~35 メッシュの川砂をつめた植木鉢に、約 1 cm の深さにさしつけた。7 月 23 日の調べによると、太陽光が午前 11 時に 12 万ルクスのとき、ヨシズの下では 2 万ルクスを示した。さし床の温度は 7 月中は大体日中最高 29°C、夜間午後 10 時には 24°C を示し、8 月にはいっても大体同じであった。

ホルモン処理は、インドール-3-酢酸 (β-インドール酢酸) を使用し、100ppm と 1,000ppm の液を作ってさし穂の切口から 5~10mm のところまで浸漬した。処理時間は 1 時間で、液温は室温 (約 28°C) であった。

さしつけ本数は 1 区 60 本とした。

実験結果

掘りとり調査はさしつけ後 20 日目、40 日目、70 日目と 3 回にわたって行なったが、当年区 (3 か月苗の子葉の下 1 cm で切断してさし穂を作った区) は発根数も多くなり、不定根長も長くなって掘りとり時に根の折損事故がふえたので、結果が不正確になるのをおそれて 40 日で打ち切った。しかし、1 年区 (1 年苗の主軸のエピコチルの部分で切断してさし穂を作った区) はさらに実験を継続して 70 日目に打ち切った。

Fig. 1 で示されたように、さしつけ後 20 日において当年区はホルモン処理でも無処理でもすでに発根率が 50% を越えているが、1 年区は 12% 以下であった (両者の間は χ^2 検定により危険率 1% 以下で有意差があった)。

しかし、40 日目には 1 年区も 63~77% に達し、当年区の 20 日目における発根率に追いついていた (当年区の 20 日目における発根率と 1 年区の 40 日目における発根率との間には有意差なし)。

70 日目には 1 年区は 77~98% に達し、40 日目の当年区の発根率 85~98% に追いつき、ほとんど等発根率を示した (有意差なし)。

発根率 98% といえば、ほとんど全部発根したのに等しい良好な成績であり、試験をこれ以上続行することにはあまり意味がなかったので、40 日目に当年区を試験打ち切りとしたが、あとで大きな差しつがえは生じなかった。

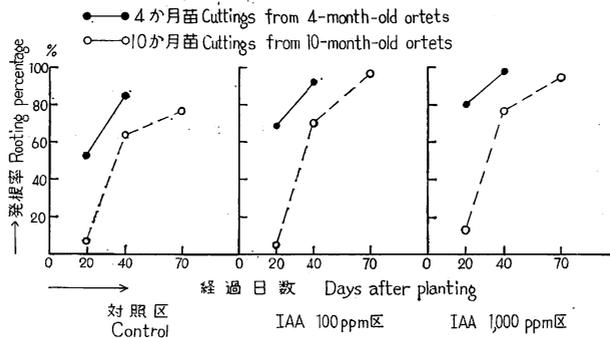


Fig. 1 アカマツさし木の処理別、経過日数別発根率
Rooting ratio of Japanese red pine cuttings
for each treatment and for the periods in
days after planting.

さらにこれらの結果からみて、当年区は7月ざしではほぼ40日前後で発根が完了し、1年区は70日前後で発根が完了するものと考えられた。

また、最初発根率の劣った1年区も、70日目には完全に当年区の発根率に追いつくことができたので、当年区に比べて発根が時間的におくれたものであるといえる。つまり、年をとった木からのさし穂は、若い木からのさし穂より発根に時間を要するものと解釈できる。

なお、Fig. 2では1区あたりの不定根総数の増加のさまを示した。

この図でも、また Fig. 3の平均不定根数(発根したさし穂1本あたりの不定根数)によっても、1年区が発根が当年区に追いつくことがわかった。

考 察

この試験では、当年区に関しては40日で実験を打ち切り、1年区は70日目まで行なった。

その理由ははじめにも述べたとおりであるが、実際には当年区は40日目ではほぼ発根を完了してしまったので、40日で打ち切ってもこの試験結果の比較に大きな困難は生じなかった。しかし、できるならば掘りとりをていねいに行なうことを前提条件として、当年区も70日まで試験を継続した方が良かったかと考えられる。

なおホルモン処理の効果については、項をあらためて述べるためここでは触れないこととした。

1-2. カラマツ親木の年齢別さし木と発根力

樹齡と発根力に関するこれまでの研究

カラマツにおける樹齡と発根力との関係について調べた報告は、マツ類のように多くはない。KOMISAROV¹⁹⁾が1938年に *Larix sibirica* で3年生の発根率が20%、10年生は10%と高樹齡のものが低下することをみている。*L. sibirica* では1940年にも PRAVDIN と SEVEROVA⁴⁰⁾が調査し、25年生で発根率0%、SEVEROVA⁴⁰⁾は10年生でも0%であったという。

日本のカラマツ *L. leptolepis* の場合では、百瀬²⁹⁾は3年生からの穂で50~53%、山手⁵¹⁾は7年生と43

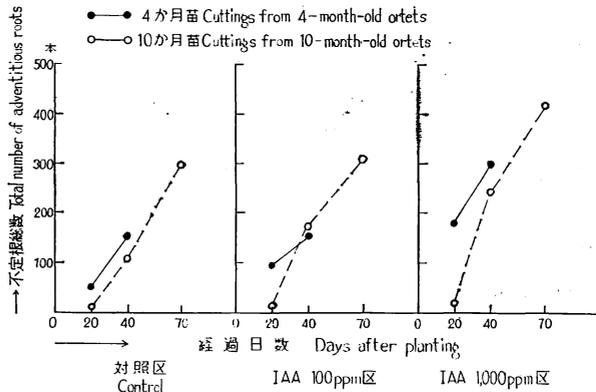


Fig. 2 アカマツさし木の処理別、経過日数別不定根総数
Total number of adventitious roots of Japanese red pine cuttings for each treatment and for the periods in days after planting.

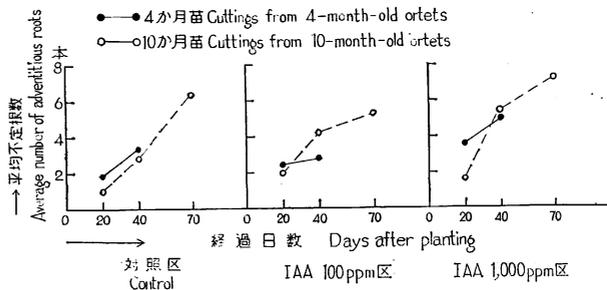


Fig. 3 アカマツさし木の処理別、経過日数別平均不定根数
Average number of adventitious roots of Japanese red pine cuttings for each treatment and for the periods in days after planting.

年生が 20% の発根率を示したという。塩田⁴¹⁾は 4 年生で 57.8% の成績を収めている。

浅田²⁾は当年生 55.4%, 1 年生 73%, 2 年生 87.5%, 8~9 年生 3.5% の成績を得ている。柳沢⁵²⁾によれば 10 年生からで 25%, 25 年生からで 15% となる。いずれも 8 年生を過ぎると、非常に発根がわるくなることをはっきり知ることができる。

このように老齡樹が発根困難であることは多くの人に認められており、とりたてて追試を行なう必要もないほど明白な事実とされているが、筆者が行なったカラマツに関する諸試験のなかから樹齡別に発根率を抜き出してつぎに示した。

材料および方法

1) 6 年生カラマツの当年枝の最先端部 3 cm をさし穂として使用し、赤土にさしつけた。

さしつけは 9 月 6 日でホルモン処理はしなかった。掘りとりは同年 12 月下旬であった。

2) 33 年生カラマツ (東京都下八王子) を 4 月 17 日に採穂し、4 月 18 日にさしつけた。また、約 70 年生カラマツ (長野県小諸) から採穂し、4 月 27 日にさしつけた。

ともにさし穂の長さは 5 cm, 床土には赤土を使った。掘りとりは 9 月 14 日であった。

3) また別の年に 35 年生 (東京都下八王子) カラマツを 3 月 30 日に採穂し、4 月 1 日に穂の長さを 5 cm につくって赤土にさしつけた。掘りとりは 8 月 17 日であった。

実験結果

成績は Table 3 で示した。

Table 3. カラマツの母樹齡別発根率
Rooting ratio of larch cuttings by the ages of ortets

母 樹 齡 (年) Age of ortets	さしつけ穂数 (本) Number of cuttings	発根穂数 (本) Number of rooted cuttings	発 根 率 (%) Rooting percentage
6	40	37	92.5
33	20	6	30.0
35	10	1	10.0
70	40	0	0

この表からみても母樹齡がふえるにしたがって、発根率が低下する傾向にあることを推定することができる。

考 察

これらの試験はさしつけた時期の差があり、さし穂の長さにも多少の差があるので、正確に比較されたものとはいわれないかもしれないが、一応は親木の樹齡とさし穂の発根能力との間の関係を知ることができる。

2. さし穂の長さとう発根力との関係について

2-1. アカマツとクロマツのさし穂の長さとう発根力

さし穂の長さとう発根力に関するこれまでの研究

さし穂の長さについては、どのくらいが良いというはっきりした答が出ていない。THIMANN と DELI-SLE⁴⁵⁾ はストローブマツの1年枝の全部をそのまま使い、FARRAR と GRACE⁹⁾ は5~10cm、オウシュウアカマツでは KOMISSAROV²⁰⁾ が7~9cm、谷口はニシキマツで2~3cmに切りそろえている。JACOBS¹⁸⁾ は *P. radiata* (インシグニスマツ) を用いて約17cm とし、良い結果を得ているが、切り捨てられた枝の元の方の部分も、さしつければ発根し、芽をふいて苗に仕立てることもできたという。しかし、これは発根能力の高い *P. radiata* のもつ特殊性であろうと考えられ、ほかのマツではこのような実験例は見られていない。

日本では高原⁴⁹⁾ が10cm (アカマツ)、小笠原⁸⁰⁾ はアカマツもクロマツも5~6cmでさし木し、沖村⁸⁶⁾ の場合は3~4cmである。しかし、どのくらいの長さが良いのか、まだはっきりしたことはわかっていない。

以上でいままでの研究の大要を紹介したが、およそ3~17cmの範囲で試験が行なわれ、その結果が議論されている。それにもかかわらず、はっきりした結論が得られていないのは、この問題を解決するに足るまでには十分に調べられていないからであろう。

沖村たち⁸⁵⁾ によってなされたさし木試験では、3月15日のさしつけで1.5か月後には、短いさし穂にカルスが形成されやすいことが報告されている。すなわち、さし穂の長さが1~2cmではカルス形成率73%、4~6cmでは51%、10cmでは28%、20cmでは12%であった。

マツ類ではカルス形成のおこらないさし穂は発根に至らず、やがてほとんど枯死するのが普通であるから、カルス形成率とう発根率との間には相関関係があることが考えられ、さし穂の最良の長さは1~2cmであると考えられる。しかし沖村たち⁸⁵⁾ は、養分およびさしつけ後の耐乾性の見地から、極端に短いさし穂は好ましくないと考え、4~6cmで各種試験を行なっている。

筆者は、土壌ならびに空中に湿度の多いときには、短いさし穂がもともと発根しやすいものであろうと考えて、短いさし穂を用いてさし木を再検討した。

[実 験 1]

材料および方法

33年生大山アカマツ (精英樹番号鳥取大山1号) の当年枝を使用し、切口から葉の基部までの長さを0.5cmと5cmの2種類に分け、IBA含有率1%のタルク粉末で切口をまぶし*て後、京道上賀茂産赤色土を満した径約22cmの植木鉢にさしつけた。穂作りには鋭利な切り出しナイフを使用した。さしつけは4月8日で毎日1回かなり多量の水道水をジョロで灌水した。鉢に日おいはせず、日のよく当たる場所に置いた。掘りとりは7月1日で、さしつけ後84日目であった。

実験結果

長い方の穂はさしつけ20本のうち6本の発根を示し、発根率は30%であったが、短い方の穂は掘りと

* 以後タルク粉衣と呼ぶことにする。

る前に枯死してしまい、まったく発根がみられなかった(χ^2 検定の結果 2%以下の危険率で有意差があった)。

この実験¹⁴⁾では 0.5cm 穂の使用結果はおもわしくなかったが、短い穂でも灌水を多くすると決して枯死しない実例もあった。それはパーミキュライトおよび石英砂を床土とし、同じ大山アカマツ 1 号木をさし穂とした場合、4~6 月は 1 日 1 回、7~8 月に 1 日 2 回の灌水をしたところ、0.5cm の穂でも枯死するものがほとんどなくなった。さらに 8 月 21 日に掘りとったところ、この短い穂でも発根¹⁴⁾がおこることがわかった。

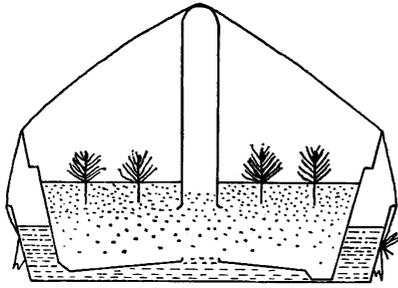


Fig. 4 人工気象室内でのさしつけ方 (水を満たしたパットのなかに鉢を入れ、上からビニールをかぶせた。このまま人工気象室に運び込んだ。)

The method of planting in the artificial growth cabinet. (The pot with medium was placed in a tray filled with water, which was then covered with a vinyl sheet. The whole set was carried into the growth cabinet.)

したがって、土壌水分さえ不足しなければ短い穂でも十分良い結果が得られるであろうと考え、つぎの実験 2、3 を計画した。

〔実験 2〕

材料および方法

アカマツの 8 か月苗の主軸を材料とした。(A) は子葉の下 1 cm のところ、(B) は 2 cm のところ、ヒポコチルの部分で切断し、Fig. 4 のようにさしつけた。さしつけの深さはともに子葉のところまで土が達するようにした。

さしつけは 10 月 23 日で、実験は室温 $26^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ の人工気象室内で終始行なわれた。昼間 12 時間は 10,000 ルクス照射し、夜間 12 時間は全暗黒とした。空中湿度は図のように、ビニールをかぶせたので 95~100% であった。なおパットの中の水が鉢の底の穴から常時床土へ補給されるように設定したので、土中湿度は床土として使用した赤色土の最大容水量 (36%) を保持することができた。さしつ

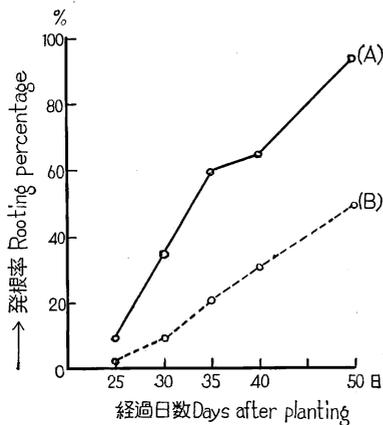


Fig. 5 短いさし穂 (A) と長いさし穂 (B) の発根率のちがい

Difference in rooting ratio between shorter (A) and longer (B) cuttings.

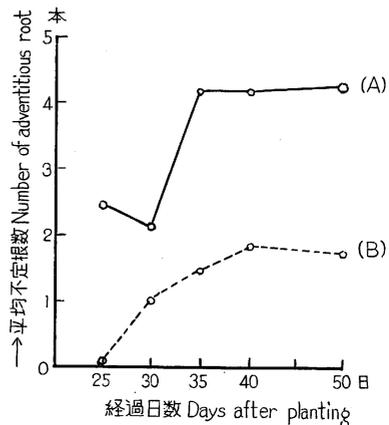


Fig. 6 短い穂 (A) と長い穂 (B) の不定根数のちがい

Difference in number of adventitious roots between shorter (A) and longer (B) cuttings.

け本数は 1 区 20 本であった。ホルモン処理などの薬品処理は行なわなかった。短い方のさし穂は約 50 日で発根し尽したので、試験は 50 日で打ち切った。

実験結果

さしつけ後 25, 30, 35, 40, 50 日目の発根調査結果を Fig. 5 および Fig. 6 で示した。

さしつけ後 50 日で短い穂は発根率 95%, 平均不定根数 4.2 本に達したが、長い穂は発根率 50% で平均不定根数も 1.6 本とすくなかった (発根したさし穂の数は χ^2 検定により危険率 1% 以下で有意差があり、また不定根数も t 検定により危険率 1% 以下で有意差が認められた。ともに短いさし穂の方が成績が良好であった)。

〔実験 3〕

材料および方法

6 年生アカマツの樹冠の中部から当年枝を剪定跡で採集して持ち帰り、安全カミソリの刃で切り口を作り、穂の長さを (A) 0.5cm, (B) 5cm の 2 種類とした。

さしつけの深さは A 区を芽のもとまで、B 区を 2.5cm までとした。

さし床は赤色土を入れて幅 0.8m, 長さ 4m に作り、中央部に幅 10cm, 深さ 5cm の溝を常時水道水がわずかに流れるようにした。そのうえに 1~2 日に 1 回、ジョロを使用してさし床全面に対しての灌水を行なった。

オーキシシン処理などの薬品処理は行なわなかった。

さしつけ後ただちにヨシズで日おいをしたが、このヨシズの日光透過率は 17% であった。さし床面で測定したところ、夏季日中の最大で約 2 万ルクスであった。

さしつけは 7 月 10 日で、掘りとりは同年 12 月 26 日に行なった。

実験結果

A 区の発根率は 47%, B 区は発根がみられなかった。また B 区の穂はさしつけの深さが 2.5cm であったから、穂の長さ 5cm に対しその半分を土中に埋めたわけであるが、それでもこの深さでは切口が腐敗していた。これは床土が赤色土のため、通気が十分に行なわれなかったからであろうと考えられるが、もし A 区と同様に葉のもとまでさしつけた場合には、深さが 5cm となり、ますます通気が不足することになり、B 区の結果がわるくなつたであろうと考えられる。

〔実験 1, 2, 3 のまとめ〕

最初の実験からは、灌水の量がすくないときには長い穂の一部は発根するが、短い穂は枯死することがわかった。

実験の 2, 3 からは灌水が多いと原則的には短いさし穂の発根が良く、長い穂は発根が非常にわるいことがわかった。通気の不足からと思われるが、切口が腐敗することもある。

しかし、長い穂が発根不良であった場合の原因は、過湿の問題ばかりではないようにも考えられる。それは、実験 2 でさし穂の土中に埋められた部分は 1cm と 2cm であったが、この程度の深さでは土中湿度もほとんど同じで、さし穂の長さ以外には条件の差はないと考えられた。

しかるに、この実験 2 においてもはっきりした発根差があらわれたのであるから、灌水に注意すれば、さし穂が短いことは非常に有利であると考えられる。

2-2. カラマツのさし穂の長さとお発根力

さし穂の長さとお発根力に関するこれまでの研究

カラマツのさし木試験においては、通常 10~20cm の長さのさし穂が使用されてきたが、マツ類の場合ほどの克明な試験成績は見あたらぬ。しかし、カラマツもマツ類やその他の植物の場合と同じように、さし木にもっとも適したさし穂の作りかたがあるはずであり、さし穂の内的条件から考えられる適正な長さと、床土の水はけや灌水度、灌水量、さしつけの深さなどあらゆる外的条件との関連を考えた上での適切な長さとおが存在するはずで、実際は非常に複雑な問題となってくるおが考えられる。その上におさしつけ時期により穂の成熟度もちがっているわけであるから、季節にお応じての穂長の変更をも考慮しなくてはならないであろう。

また、さし穂の Ageing の問題も穂の長さの決定にからんでくるが、ここではお発根力の高い当年生枝だけを問題とおすることにした。季節別では春¹⁵⁾とお夏¹⁷⁾の 2 期をえらび、枝の成熟がお完成している時期とお成熟途中の時期とおに分けて試験した。

〔実験 1〕

材料とお方法

樹齡 35 年のカラマツ (*Larix leptolepis*) の樹冠の中・上部から採穂し、15cm ほどの小枝にお切りそろえて胴朶にお納め持ち帰った。採取日は 1960 年 3 月 30 日午後で、同日夕方から 4 月 1 日まで約 40 時間は +2°C の冷蔵庫へ保存した。

採穂場所は東京都八王子市内林業試験場浅川実験林である。さしつけ日は 4 月 1 日でお穂の長さは頂芽から 5cm と 10cm との 2 種類を作った。切り口は安全カミソリの刃をを使ってダエン切りとし、切り返しは行なわなかった。切口におホルモンの処理を施したのち、案内棒でおあけた 2.5cm の深さの穴のなかにさしこんだ。床土は深さ 10cm の植木鉢にお入れた赤色土、パーミキュライト、石英砂の 3 種を比較した。赤色土は京都上賀茂産の瘠悪な砂質壤土もしくは砂土、パーミキュライトは上質の粒の細かいもの (20~80メッシュ)、石英砂は 20~24 メッシュのものを使用した。灌水は雨天以外 1 日に 1 回ジョロで行なった。日おいは使用しなかった。1 鉢にお 5cm 穂 10 本、10cm 穂 10 本計 20 本をさしつけた。ホルモンの処理はさし穂の切口にお対して行ない、対照区をも含めて下記のような 8 種類の処理区を設定した。

- 1) タルク粉衣 (略号を T-C とする)
- 2) NAA の 0.1% を含むタルク粉衣 (略号 NA-T)
- 3) IBA の 0.1% を含むタルク粉衣 (略号 IB-T)
- 4) IAA の 0.1% を含むタルク粉衣 (略号 IA-T)
- 5) 水道水にお短時間浸漬 (略号 W-C)
- 6) IAA 1% 水溶液にお 2~3 秒間浸漬し、すぐ水にもどして切口を洗う (略号 IA-W)
- 7) 50% エチルアルコール液にお 2~3 秒間浸漬し、すぐ水にもどして切口を洗う (略号 Al-C)
- 8) IAA の 1% を含む 50% アルコール液にお 2~3 秒間浸漬し、すぐ水にもどして切口を洗う (略号 IA-Al)

実験結果

さし穂の掘り取りは 8 月 17 日に行なったが、このときの発根率は Table 4 に示されたように、5cm 穂とお 10cm 穂との間に著しい差があり、どの床土区におおいても、また、どのホルモンの処理区、対照区にお

Table 4. カラマツさし穂の長さ別発根率

穂の長さ (cm)	ホルモン処理区	発根率		
		赤色土	パーミキュライト	石英砂
5	T-C	0	0	0
	NA-T	30	50	10
	IB-T	20	30	40
	IA-T	60	20	20
	W-C	10	0	0
	IA-W	80	10	0
	AI-C	30	0	0
	IA-AI	80	10	10
10	T-C	0	0	0
	NA-T	0	0	0
	IB-T	0	10	0
	IA-T	30	0	0
	W-C	0	0	0
	IA-W	10	0	0
	AI-C	0	0	0
	IA-AI	40	10	10

いても5cm穂の方に良好な発根がみられた。また10cm穂は穂先から枯れはじめてさし穂全体に及んだ。

考 察

当年枝の成熟度をもっとも高まっていたと考えられる、3月下旬における採取穂の発根においても、マツ類の場合と同様に、短いさし穂の方に発根良好の結果が得られた。対照区、すなわちホルモン無処理区ばかりでなく、ホルモン処理区においても短い穂の発根がすぐれていたことは、さし穂の樹体養分料だけが、発根力を左右する因子ではないということを証明したものであると考えられる。短く作った穂は、長く作った穂よりも樹体養分料がすくないからである。以上の結果を参考として、長い穂と短い穂との発根力の異なる原因には、つぎの2つが考えられる。

1) さしつけの深さはすべて2.5cmであったから、さし穂基部付近の水分条件は長短いずれの穂においても、均等であったと考えられるが、異なっている点は床土面より上の部分、すなわち空中に露出された部分が長い穂は7.5cmであったのに対して、短い穂は2.5cmであった。ここにひとつの原因があると考えられる。

2) また、10cm穂と5cm穂とくらべてみると、10cm穂は前年枝に近いところから切りとっていることになり、それだけ木化の度合が高く、切口付近に若い細胞がすくなかったことが考えられる。

このふたつの考えを実験により確かめるため、つぎの実験2、実験3を計画実行した。

〔実験 2〕

はじめに

この試験は、実験1で得られた成績を考察した結果に基づいて計画されたものであるが、前実験における観察で、10cm穂が先端から順次に枯れていく原因を考えた末に、この実験ではさし床の空中湿度¹⁶⁾を高くした。

材料と方法

1961年4月17日採穂，4月18日にさしつけた。母樹は林業試験場浅川実験林内の33年生カラマツであった。さし穂は全部 IAA の 1% 水溶液中に 2~3 秒間浸漬処理をしたのち，切口を水で洗った。

床は深底の尺鉢に 8 分目ほど赤色土を入れて，10cm 穂と 5cm 穂とを 10 本あてさしつけた。さしつけの深さはすべて 2.5cm とした。この鉢の上からビニールシートをすっぽりとかぶせ，Fig. 7 に示すようにした。上方に直径 1cm の換気孔を 4 個つくり，また下方に灌水用の穴を 1 個設けた。

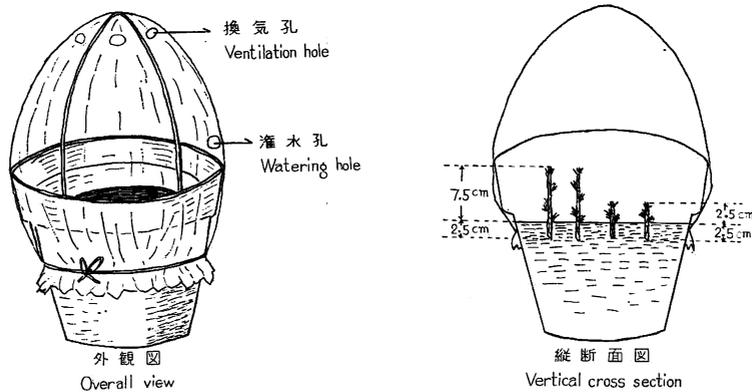


Fig. 7 カラマツさし木とビニールカバー
Larch cuttings and vinyl cover.

鉢は建物のかげになる日あたりの悪い場所においた。灌水は 1 日 1 回か 2 回行ない床土表面の乾きぐあいを見て適度に加減した。ビニールでおおわれた内側の空中湿度は外気にくらべて非常に高く，Table 5 に示したように昼間は 27~53% 外気より高く，春と秋における測定結果からみて昼間の平均湿度は約 80% であった。夜間はさらに上昇して 90% 以上となった。そのうえ，このビニールは昼間は乾いた風が直接さし穂に吹きつけることをも防いだ。

Table 5. ビニール被覆による内部空中湿度の上昇

測定時刻	外気空中湿度 %	被覆内部空中湿度 %	湿度差 %
8時 : 30分	49	91	42
9 : 30	41	84	43
10 : 30	30	83	53
11 : 30	40	76	36
12 : 30	37	70	33
13 : 30	38	67	29
14 : 30	42	69	27
15 : 30	43	72	29
16 : 30	47	75	28
17 : 30	50	78	28
平均	42	77	35

注：4月下旬快晴の日を選んで測定した。

実験結果

このような高湿度条件にもかかわらず、9月14日に掘り取り調査した結果では、10cm穂には発根したものがなく、一方5cm穂は前の試験のときと同様になりに良い発根率を示した。調査結果は Table 6 および Plate 1: A, B, C で示した。

Table 6. カラマツのさし穂の長さと言根力
The length of larch cuttings and their rooting ratio

穂 長 (cm) Length of cuttings	さしつけの深さ (cm) Depth of insertion in soil	さしつけ穂数(本) Number of cuttings	発根率 (%) Rooting percentage	不定根総数 (本) Number of adventitious roots	不定根平均数(本) Average number of adventitious roots
10	2.5	10	0	0	0
5	2.5	10	60	67	11.2

考 察

Table 5 に示されたようにビニール内側空間の湿度はかなり高く、さし木のためには十分な湿度であると考えられるが、それにもかかわらず10cm穂は発根不良であった。したがって、長い穂の発根不良の要因は他にあると考えられ、空中湿度を上昇させるだけでは解決できないことであると考えられた。

〔実験 3〕

すでに実験1と2において、春ざしでは5cmの穂が10cmの穂よりも発根力においてすぐれていることを見た。その際、夏ざしにおいても同様な結果が得られる可能性があると考えられたため、実験によって確かめる必要が生じ、この試験を計画した。

材料と方法

林業試験場浅川実験林内の5年生カラマツの伸長成長中の当年枝(緑枝)を採集した。採集日は7月30日で夏季のため運搬にはとくに留意し、あら穂のまま氷の間にはさみ、ビニール袋に入れて持ち運んだ。運搬時間は約2時間であった。そのあとは冷蔵庫に入れて約15時間保存した。翌朝3cm穂と9cm穂を作ったが、ともに当年枝の頂端から3cmと9cmのところをさし穂の基部にあたるように穂作りした。

さし床は京都産赤色土の畑で、中央に幅約5cm、深さ約3cmの溝を掘り、土がよく湿るように1日1回水道水をゆるく流した。また、時にはさし穂の頂端部に水がよくかかるように、ジョロで灌水した。さしつけの深さは3cmの穂は1.5cmに、9cmの穂は3~4cmにした。さし床はヨシズ1枚で日おいした。ホルモン処理は行なわなかった。さしつけ本数は1区60本であった。

実験結果

同年11月13日(さしつけ後約3.5か月)に掘り取った結果では Table 7 のようになった。

表でも明らかなように9cm穂の発根は著しくわるく、穂の先端から枯れはじめて、さしつけ後2か月以内で枯死してしまった。

考 察

春ざしにおいても夏ざしにおいても、カラマツはかなり短い穂¹⁾の方が発根は良好であると結論できるような結果が得られた。このことから、長い穂の基部と短い穂の基部との木化の度合の差が発根力の差となってあらわれているとも考えられる。したがって、たんに穂の長さを比べてみるばかりでなく、今後の

Table 7. 夏さしによる 5 年生カラマツのさし穂の長さ別発根力
Rooting ratio of 5-year-old larch cuttings in summer, prepared in two lengths

穂 長 (cm) Length of cuttings	発 根 率 (%) Rooting percentage	不定根総数 (本) Number of adventitious roots	不定根平均数 (本) Average number of adventitious roots
9	0	0	0
3	32	95	5.0

試験では、穂の長さは同一であっても、穂の基部の木化の程度と発根との関係がどのようになるかを調査することが、今までの疑問を解決するための一方法であろうと考えられたが、この方法による試験結果については 3-2 において報告することとした。

3. 発根力の高いさし穂をうるための 2, 3 の試みとその効果

3-1. クロマツにおけるハタバザシの改良法

はじめに

発根困難なマツ類では、さしつけ後のさし穂の管理に十分に注意を払っても、発根が起りやすいような内的条件のととのったさし穂を使用しないことには発根率は向上しない。とくにアカマツより一段と発根困難なクロマツのさし木³³⁾においては、このことを重視しなければならない。

いっぽう、クロマツが非常に発根困難なところから、発根阻害物質が存在することを想定した研究者³³⁾らは、クロマツ当年枝の成分中に“アベナ伸長テスト”により何種類かの成長阻害物質が存在することを報告しているが、物質名も判明していないし、その除去法も完成されていない。また、この成長阻害物質がはたしてクロマツの発根阻害物質であるかどうかともわかっていない。したがって、発根阻害物質を除去してさし穂の内的条件を改良する方法を期待することは、現在ではまだ無理であろう。

しかるに、古くから実行され一部の地方では、非常な成功を収めているスギのさし木では、枝を切りつめて沢山の不定枝³⁷⁾を出させ、この不定枝をさし木することによりすぐれた成績を収めている。スギ老齢樹の場合でも、普通枝と比べて不定枝の方の発根率が高くなったという報告の方が多い。このことから、普通枝よりも不定枝の方がさし穂としては内的条件が良くなっていると考えられる。

マツ類では枝を切りつめると、ハタバ (Leaf-bundle, needle-bundle) の短枝上から潜伏芽³¹⁾³⁴⁾が伸長しはじめ、成長をつづけて普通枝と同様になるから、スギと同様に剪定によって啓発された不定枝をさし穂として利用することが可能である。

もともと、ハタバのさし木は可能であった。日本では戸田⁴⁸⁾⁴⁹⁾によって始められたが、このときには啓発されていないハタバを使用したため、発根後でも芽の伸び出すものが少なく、親木の年齢が 3 年以上の場合にはこれらのハタバはまったく芽を伸ばさなかった。したがって、ハタバザシは苗をうることがきわめて困難であると考えられたのである。

P. radiata と *P. strobus* でもハタバの発根が報告されているが、JACOBS¹⁸⁾ は長枝のさし木がうまくいくからハタバザシについて研究する必要はないと述べ、THIMANN と DELISLE⁴⁶⁾ は発根しても芽が伸びなかったので、実際の役に立たないと述べている。

後年、同じところに類似の試験が計画実行され、石川ら¹⁸⁾、REINES ら³⁸⁾、MERGEN ら²⁵⁾、RUDOLPH ら³⁹⁾、HOFFMANN DE C. ら¹²⁾および KUMMEROW²¹⁾²²⁾²³⁾によりハタバからの成苗が得られている。

筆者は普通枝を使っては発根皆無であった12年生のクロマツを親木として“芽出しハタバ”^{*1}を作り、これをさし木することにより約半数の発根個体^{*2}を得たが、この成績から“芽出しハタバ”は普通枝よりも発根力が高いと考えられた。

このようにして実行されたさし木で Plate 2 : C のような苗が得られたので、ハタバザシにも実用の可能性が認められた。

材料と方法

啓発芽のあまりに長いものは、クロマツの場合は発根がみられなかった。適度の長さをもつ啓発芽を多くするためには長枝を夏のおわりに剪定する方法を用いた。剪定鋏で頂芽を切りおとすと、前年度に伸長したハタバの短枝上の潜伏芽が啓発されて、1本の長枝から10~50本程度の“芽出しハタバ”をとることができた。さし穂として使用するのに適したものは、啓発芽が翌春3月に1~2cmに伸びたものであった。

穂作りの方法は、この“芽出しハタバ”を短枝の下部で切り取り (Plate 2 : A)、切口を水で湿らせ、ただちに IBA タルク粉衣を行なった。この処理薬剤は IBA 10mg に対してタルク粉 1g を乳鉢ですって混合したものである。

対照区としては、切口にタルク粉をつけたものを設けた。

さしつけには京都上賀茂産の赤色土の鉢と鹿沼土を入れた鉢を用いた。さしつけ日は3月4日で、試験はガラス室内で行ない、雨天以外は1日1回ジョロで灌水した。日おいはせず、透明ガラスを通過した日光が良く当たる場所を選んで鉢を置いた。

実験結果

発根調査は8月4日、さしつけ後5か月目に行なった。調査結果は Table 8 で示したように、IBA タ

Table 8. IBA タルク処理による12年生クロマツの“芽出しハタバ”の発根
Rooting of pre-developed leaf-bundles of 12-year-old *Pinus thunbergii*
treated with IBA-talc

床 土 Soil for media	処 理 Treatment	さしつけ 穂数 (本) Number of cuttings	発根穂数 (本) Number of rooted cuttings	発 根 率 (%) Rooting percentage	不定根総数 (本) Number of adventitious roots	不定根平均数 (本) Average number of adventitious roots
赤 色 土 Red soil	IBA タルク IBA-talc	13	7	54	15	2.1
	対 照 Talc control	13	0	0	0	0
鹿 沼 土 Kanuma soil	IBA タルク IBA-talc	13	1	8	2	2.0
	対 照 Talc control	13	0	0	0	0

*1 Plate 2 : A 参照。2本の針葉の間に啓発芽を持っている。

*2 同上 B 参照。

ルク粉衣の区が対照区よりも発根が良好であった。また、床土としては赤色土の方が鹿沼土よりも良かった。

掘り取られたさし穂は Plate 2 : B に見られるような発根状況であった。発根した穂は全部関東ロームの黒色表層土に移植したが、活着良好であった。また、その後の成長も順調であった。

考 察

発根困難な 12 年生のクロマツも、“芽出しハタバ”を使用することにより発根率が普通枝よりも高くなるようである。また、1本の親木から多量のさし穂をうるためには、枝数のすくないマツ類では、普通さしよりもハタバザシの方が目的にかなうことははっきりしているし、いままでのハタバザシの欠点を“芽出しハタバ”で補えば、苗木の得られなかった問題は解決できるであろう。なお、アカマツの“芽出しハタバ”のさし木は、クロマツよりも良好な発根を示したがここでは述べない。

3-2. カラマツ当年枝の成熟度*と発根力との関係を利用する方法

はじめに

2-2 において、カラマツのさし木は 3~5 cm 程度の短いさし穂の方が発根しやすいことを報告した。さし穂が短いと、長いさし穂より、基部切口の木化の度がすくなかった。このことが短いさし穂の、発根しやすい原因と考えて良いのかどうかを調べるために実験 1, 2, 3, 4 を計画し実行した。

当年枝は組織分化が進行するにつれて木化の度が進んでいくわけであるが、この時期は夏であり、夏の終わりころから秋にかけては完了してしまうので、実験の適期は夏の終わりころである。しかし、カラマツの若い木で東京地方に植えられているものは、8月下旬から9月上旬にかけて一部の枝は伸長成長を行っており、伸長中の枝と伸長停止枝とを同時に同一木から採取することができる。この時期の当年枝はどの枝も上部はまだ緑色であるが、下部は木化してかなり固くなっており、1本の当年枝についてみても、最先端部と下部とでは成熟の程度に大きな差がみられ、このようなことから枝の成熟度と発根力との関係を調べるためにはつごうの良い材料でもあり、先端から下部まで完全に木化している春さきの枝を使用するよりは、研究目的にかなっていると考えられた。

〔実 験 1〕

材料と方法

林業試験場目黒苗畑にあった 6 年生カラマツ (母樹多数) の樹冠の各部から、30cm ± 5 cm 程度の長さの当年枝を選び出して材料とした。

切り取った枝をバケツの水の中に浸漬して運び、部屋の中へ持ち込んで安全カミソリの刃で穂作りをした

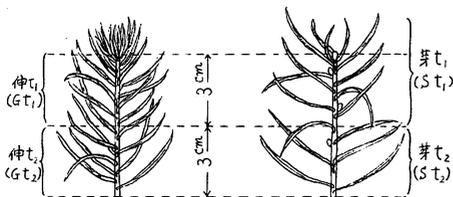


Fig. 8. カラマツさし穂の記号

Preparation of green twig cuttings of larch and their denotations.

が、さし穂に対する薬品処理は全く行なわなかった。さし終わった植木鉢を 20°C, 7,500ルクス, 昼間湿度40%, 夜間湿度48%の人工気象室へ入れ、鉢の下方から床土へ常時吸水できるように、水を満たしたホウロウ引きバットの中へこの鉢を浸漬した。

この実験では Fig. 8 のように、伸長しつつある枝と、すでに頂芽形成の終わった枝とに分けて、頂端から 3 cm までを伸 t₁ または芽 t₁ と名付け、それ

* 成熟という語は、ここでは枝の組織分化が進行すると同時に木化して固まっていくことに使用した。

Table 9. 成熟度の違った2種類のカラマツ当年枝をさし木したときの発根力の差
 Rooting ratio of four kinds of larch cuttings, hard (St₁・St₂)
 and green (Gt₁・Gt₂) (See Fig. 8)

さし穂の種類 Kind of cuttings	さし穂の伸長度(倍) Rate of height growth of cuttings (times)	発根率 (%) Rooting percentage	不定根総数 (本) Number of adventitious roots	不定根平均数 (本) Average number of adventitious roots
伸 t ₁ (Gt ₁)	2.1	50	99	5.0
伸 t ₂ (Gt ₂)	1.0	58	53	2.3
芽 t ₁ (St ₁)	1.0	30	40	3.3
芽 t ₂ (St ₂)	1.0	0	0	0

さし床：パーミキュライト

Medium : Vermiculite

さしつけ：8月23日 1区：40本

Date of planting : August, 23. Number of cuttings per plot : 40

掘りとり日：12月23日

Date of pulling out for examination : December, 23.

らの下部3cmを伸 t₂ または芽 t₂ と名付けた。したがって、t₂ の穂の下端の切口は枝の最先端から6cm下にあたる。8月下旬に伸長中の枝について調べたところでは、同時期の頂芽形成枝と比べて木化がおくれており、伸 t₁ も伸 t₂ も全く緑色であった。

さしつけの深さは、1.5cmとした。なお、さしつけ日は8月23日であった。

実験結果

Table 9 に示したように伸長中の穂、伸 t₁ はさし木実行中も伸びつづけ、12月下旬の掘り取り時には平均6.3cmとなり、伸長度はさしつけ時の2.1倍に達した。伸 t₂、芽 t₁、芽 t₂ はまったく伸長しなかった。

発根率では伸 t₂、伸 t₁、芽 t₁、芽 t₂ の順に良好であったが、伸 t₂ と伸 t₁ との間の差は小さく発根率はほぼ同じであった。これに比べて枝の成熟が早く、木質化がすすんでいた芽 t₂ や芽 t₁ は発根率が小さく、とくに芽 t₂ では発根したものがなかった (χ^2 検定の結果、伸 t₂ の発根率は芽 t₁ の発根率よりもあきらかに良好であったといえる……危険率2%)。このことから、比較的発根しやすいとされている若い母樹の枝の先端部といえども、木化がすすんでしまうと木化していない枝より発根力において劣るということができよう。

不定根数を比較してみると、伸 t₁ は伸 t₂ よりも多かった (t 検定により危険率1%で有意)。また芽 t₁ も芽 t₂ より発根数が多く、伸 t₂ は芽 t₂ より発根数が多かった (t 検定により危険率0.1%で有意)。これらは、早く木化した部分の発根能力が低くなっていることを示している。なお発根の状況は Plate 3 : A, B, C で示した。

[実験 2]

材料と方法

実験1より少しあとに、同一条件下にある人工気象室内で、同一の材料を使い実験2を行なった。

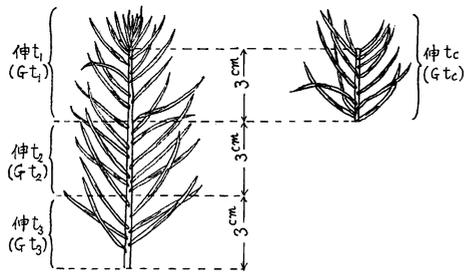


Fig. 9 カラマツさし穂の記号

Preparation of green twig cuttings of larch and their denotations.

前の実験と異なる点は、伸 t_1 ・伸 t_2 のほかに伸 t_3 をさし木した点である。伸 t_3 は Fig. 9 で示されたように伸 t_2 の下 3 cm の部分である。

また、この実験では伸 t_c と名付けた穂もさしつけた。これも Fig. 9 で見られるように伸長中の緑枝の頂部を成長点もろともに約 3 mm ほどつまみ取って捨て、残った最先端部の 3 cm をさし穂に仕立てたものである。さしつけは 9 月 6 日であった。

実験結果

Table 10 に示したように、伸 t_1 部の伸びは 12 月下旬の掘り取り日までに 1.9 倍となったが、伸 t_2 、伸 t_3 、伸 t_c はまったく伸長しなかった。

発根率のもっとも高かったのは伸 t_1 で $t_c > t_2 > t_3$ の順に低くなっていった (χ^2 検定の結果危険率 1% で有意)。木質化が進んでいる部分では発根率が低下する傾向がみられた。また、伸 t_c のように芽を摘みとることは悪い結果をもたらした。しかし、伸 t_c の成績は伸 t_2 よりはるかに良好であったから、成長点の有無にかかわらず枝の最先端部は発根率が高いといえる。

不定根数についてみても、Table 10 のように伸 $t_1 > 伸 t_c > 伸 t_2 > 伸 t_3$ の順に根数が減少することがわかった (t 検定の結果危険率 1% で有意)。

なお伸 t_c の発根状況は Plate 3: D で示した。

Table 10. 成熟度の異なったカラマツ当年枝のさし木と発根
Rooting ratio of four kinds of cuttings (See Fig. 9)

さし穂の種類 Kind of cuttings	さし穂の伸長度(倍) Rate of height growth of cuttings (times)	発根率 (%) Rooting percentage	不定根総数 (本) Number of adventitious roots	不定根平均数 (本) Average number of adventitious roots
伸 t_1 (Gt ₁)	1.9	93	455	12.3
伸 t_2 (Gt ₂)	1.0	55	60	2.7
伸 t_3 (Gt ₃)	1.0	5	3	1.5
伸 t_c (Gt _c)	1.0	83	143	4.3

[実験 3]

材料と方法

この実験は野外で行なったものである。

植木鉢に京都産赤色土を入れ、林業試験場目黒苗畑のカラマツ 3 年苗の伸 t_1 ・伸 t_2 ・伸 t_c (各 3 cm) を 9 月 7 日採穂し、同日中に各区 40 本あてさしつけた。灌水は 1 ~ 2 日に 1 回で日おいはしなかった。

実験結果

翌年 5 月 13 日の掘り取り結果を Table 11 で示した。

発根率については伸 t_1 は伸 t_2 より非常に高く (χ^2 検定の結果危険率 0.1% で有意)、また、伸 t_c も伸 t_2 より高かった (χ^2 検定の結果危険率 2% で有意)。

Table 11. 成熟度の異なったカラマツ当年枝のさし木発根
Rooting ratio of three kinds of larch cuttings

さし穂の種類 Kind of cuttings	発根率 (%) Rooting percentage	不定根総数 (本) Number of adventitious roots	不定根平均数 (本) Average number of adventitious roots
伸 t ₁ (Gt ₁)	83	345	10.5
伸 t ₂ (Gt ₂)	8	18	6.0
伸 t _c (Gt _c)	30	77	6.4

不定根の数を比べてみると伸 t₁ > 伸 t_c > 伸 t₂ の順にすくなくなった (t 検定の結果伸 t₁ と伸 t₂ との間は危険率 0.1% で、伸 t₁ と伸 t_c の間は危険率 5% で、伸 t_c と伸 t₂ との間は危険率 2% で有意であった)。

つまり枝の最先端部の方が非常に発根が良く、木化している下部は発根がわるかった。

〔実験 4〕

この実験の目的

いままでの実験で、頂芽がまだ形成されていない伸長中の枝の最先端部を使用するときは、カラマツ夏ざしの発根は非常に良好であった。伸長中の当年枝は下部から木質化が進行してくるが、最先端部は柔軟で緑色をしており、外部からの観察では木化しているようには思われぬ。したがって、不定根の発生能力は外見上木質化の程度のすくない枝の方が高いように見うけられた。しかし、正確にその関係を知るためには、組織化学的に木化の進行状態を調査することや、形態学的に維管束の発達を観察することが必要である。そこでこの実験では、フロログルシン・塩酸法による呈色反応により維管束や表皮の木化の程度を調べ、その反応位置の頂芽からの距離と、その位置における維管束の発達の程度とについて調査した。

材料と方法

林業試験場目黒苗畑で成長した 3 年生カラマツから、30cm ± 5 cm 程度の長さで伸長成長中の当年枝を選んで実験材料とした。実験は 8 月 4 日で、頂端から 1 cm ごとに横断徒手切片を作り、フロログルシン・塩酸法により木化細胞の呈色反応を見た。5% のフロログルシンアルコール溶液を切片上に滴下したのち濃塩酸を滴下し、約 10 分間以上たつと桃赤色の反応を呈した。切片は頂端から何 cm の距離のものかを記録し、同時に各切片の顕微鏡写真を撮影した。

実験結果

Table 12 に示したように、約 30cm の長さの当年枝では内部組織の木化は頂端から 2 ~ 5 cm (平均 3.6cm) の位置から始まり、表皮の木化はそれよりややおくれていることがわかった。

この実験で観察された呈色反応は枝の下部では赤紫色であったが、枝の上部ではまだリグニンの細胞膜への沈着がすくないためか、ごく淡く桃赤色を呈した。

維管束の発達の程度は、実験 1, 2, 3 において使用されたような伸長中の緑枝の先端から 1 cm, 3 cm, 6 cm, 9 cm における横断面の写真と、実験 1 で使用されたさし穂「芽 t₁」の先端から 1 cm, 3 cm における横断面の写真ではっきりと示した。

まず伸長中の緑枝について見ると、Plate 4: A (1 cm) では維管束の発達が十分でなく、孤立してい

Table 12. 8月4日東京における3年生カラマツ当年枝の木質化の調査

当年枝の長さ (cm)	維管束の呈色反応距離 (頂端から測定) (cm)	表皮の呈色反応距離 (頂端から測定) (cm)	
25.5	5	5	
26.0	3	4	
26.1	3	3	
27.0	4	5	
28.0	5	5	
28.5	4	5	
30.0	4	5	
30.5	4	5	
31.2	3	7	
32.9	2	4	
33.0	3	5	
33.5	5	5	
35.0	2	4	
35.0	4	6	
平均	30.2	3.6	4.9
範囲	25.5~35	2~5	3~7

るさまがはっきりとあらわれている。

つぎの Photo. B (3 cm) では、かなり発達していることがわかる。しかし、まだつながってはいない。Photo. C (6 cm) では維管束は非常に発達して、その占有する面積もかなりひろがっている。Photo. D (9 cm) ではいっそう発達して完全に維管束が連続している。この切断面はさし穂伸 t_3 の基部切口にあたる位置である。

つぎに伸長停止枝つまり頂芽形成枝から作ったさし穂芽 t_1 についてみると、Photo. E でははっきりと示されているように、先端から 1 cm の位置でも、緑枝の方の先端から 3 cm の位置と同程度にまで維管束が発達していた。芽 t_1 の 3 cm の位置では Photo. F でみられるように、該当する木化の度合は緑枝の 6 cm (Photo. C) 程度であった。

実験 1, 2, 3, 4 の総合考察

カラマツの夏さしにおいては、環境条件の調節された人工気象室内での結果でも、野外での結果でも、同じ傾向が認められた。すなわち、さしつけ時におけるさし穂の木化の程度がすくなくて未熟のものほど発根が良好であった。つまり、伸長成長中の枝を使用しても、下部よりは最先端部の方が結果が良好であったといえる。これらの事実から推定すると従来の経験的手法である 10~20cm 穂のさし木では、穂の基部付近の木化が進んでしまっているわけであるから、発根不良におわるのも当然であったと思われる。

頂芽の形成をおわってしまった成熟枝の場合は、最先端部といってもかなり木化が進行しており、実験 4 において示されたように、頂端から 3 cm のところにあるさし穂“芽 t_1 ”の基部付近の維管束の発達程度は、さし穂“伸 t_2 ”の基部付近と同程度であった。したがって木化の度合からいえば、伸長中の緑枝の頂端から 6 cm の位置が頂芽形成枝の 3 cm の位置と相等しかった。また、Table 9 にも示したように、この 2 種類のさし穂の不定根平均数を調べて見ても大差なく、良く似た結果を示していた。

これらの結果を総合して見ると、さし穂の基部が木化しておらず、切口面の細胞が若くて再生能力に富

んでいると考えられるような場合は、不定根の形成も比較的容易であるといえるのではなからうか。

4. 時期別によるさし木の成績

ひとくちに時期別のさし木と呼ぶ場合でも自然条件下の採穂後

- イ) 自然条件下でのさしつけ
- ロ) 穂の貯蔵などによる、時期をずらしたさしつけ
- ハ) 人工条件下でのさしつけ

を行なう場合と、人工条件で育成した親木から採穂して、

- ニ) 自然条件下でのさしつけ
- ホ) 人工条件下でのさしつけ

にもっていく場合が考えられる。

筆者はいままで、主としてイ、ハ、ホについて行なってきた。その結果、ハの方法は穂自身が高い発根能力を保持している時期を判別するためには、都合のよい方法であると思われた。

以下に記した各実験はいずれも上記の分類法の範囲内のものばかりであるが、ジョロによる灌水やスプリンクラーなどによる 1 日数回以内の散水、ヨシズ・クレモナ寒冷紗を用いたヒヨケなどごく簡単な環境の調節は、本来はハ) に属するものではあるが、ここではイ) を、すなわち自然条件下でのさし木として論ずることとした。

しかし、5～30 分ごとに作動するように調整できる噴霧式自動灌水装置*や、冬期に電熱温床^{28) 50)}を使用したような場合は、当然のことではあるが、人為的に環境を調節した条件下でのさしつけであるため、別に項を設けた。

4-1. 自然条件下のさしつけ適期について

さしつけ適期の探索に関するこれまでの研究

マツ類では採穂とさしつけの適期に、まちまちの結果が発表されていて、はっきりしたことはいえないが、その理由はさし床においてさし穂が受ける気象条件が作用して、穂が保持している発根能力が十分に発揮されないうちに乾燥・高温・寒冷などの害作用によって枯死するからであろう。このような理由からさしつけの適期は古来春秋の 2 期であるとされ、採穂の適期も春秋 2 期が良いが、春ざしのための穂を貯蔵しておくという観点からいえば冬が非常に良いともいわれてきた。

いまここに、マツ類の芽の成長からみた季節を考え、1 年を 4 季に分けて文献を整理してみるとつぎのようになった。

- A) 芽の伸び始め～伸長停止期
- B) 伸長停止期～秋
- C) 冬の初め
- D) 冬の後半、芽が動き出すまで

A) 芽が伸び始めてから伸長が停止するまでの成長期間についてみると、DORAN²⁾ の実験したストローマツではいちばん悪いのが 4 月から 7 月 (場所: アメリカのマサチューセッツ) で、MITCHELL^ら²⁷⁾ の行なったカリブマツでは、冬から 15 日おきにさしつけたもののうち 6 月 20 日 (場所: アメリカのフロ

* ミストまたはシリンジ灌水装置とも呼ばれている。

リダ)にさしたものが発根したと報告されている。また、KOMISSAROV²⁰⁾はオウシュウアカマツの新芽がまだ良く固まらない時期の7月5日から12日(場所:ソビエトのレニングラード)にさしたものが発根し、6月20日や7月20日にさしたのはいま一つつかなかったという。日本では小笠原³²⁾がアカマツで伸長成長開始直後の4月上旬ころ(場所:京都)が良いようであると報告している。

B)伸長成長がおわって冬ごもりにはいるまでの時期は日本でいう秋ざしに該当し、大山たち³⁷⁾は京都で毎月1日にアカマツをさしつけ、さし穂の生存率を調べたところ、9月1日と10月1日にさしつけたものが他の月にさしつけたものよりも長く生存したので、発根も9月と10月がもっとも期待できると考えた。

FARRAR と GRACE⁹⁾は、ストロブマツは7月中旬から10月下旬までの間では8月中・下旬が良いと述べている(場所:カナダのオタワ)。おなじストロブマツで、THOMAS と RIKER⁴⁷⁾も7月下旬~9月中旬が良いことをみている(場所:アメリカのウィスコンシン)。SNOW⁴²⁾もストロブマツをアメリカのノーススイースタン林試で試験した結果では、8月のはじめに採穂したものが良かったという。

ニシキマツでは、谷口⁴⁴⁾は秋の10月が春よりも良いらしいといい、アカマツで沖村³⁰⁾が行なった試験では冬の間電熱を通した温床の場合、9月上旬から12月上旬までの間では、10月20日に採穂してただちにさしつけたものが非常に良かったといっている。

C)冬の初めはさし木の時期としてはあまり良くないようである。DEUBER⁵⁾はストロブマツが3月に比べて冬の初めである11~12月の方が悪かったので、エチレンクロロヒドリンやチオウレアなど眠りをさます薬品を使ってみたが効果はなかった(場所:アメリカのコネチカット)。

D)冬の後半分で芽が動き始めるまでは、DEUBER⁶⁾がストロブマツで1~3月が良いことを見ているほか、同じ場所でDORAN⁷⁾もこれと同じ結果を得ている。FIELD¹⁰⁾はニュージーランドの冬の中ごろ7月に、インシグニスマツをさしつけ、オーストラリアでJACOBS¹⁹⁾も同じころから同じマツをさし始めて、ともに良い結果を得ていることからみて、この時期が良いことが推定できる。日本のアカマツでは、高原⁴³⁾が3月22~23日にさしつけて一応の結果を得ている。

以上の報告をまとめてみると、北半球でいえば1~4月の春ざしと、8~10月の秋ざしが良いようであるが、最近のように環境調節をしながらさし木する場合は、これらの古い文献とは異なった結果があらわれることも考えられ、こんごに問題を残している。

4-1-A. マツ類の時期別さし木試験

材料と方法

春ざし(3月)、夏ざし(7月)、秋ざし(9月)の3種を行なった。

春ざしについては、3-1においてすでに述べたとおりである。

夏ざしではアカマツの2年3か月苗の当年枝を使用した。穂の採集、ならびにさしつけは7月5日で、この時期では給水が不十分であると、さし穂が枯死することは確実であるので、水がさし穂の基部に良くいきわたるようにポリエチレン製の洗面器に水を満たし、さし木鉢をそのなかへすっぽりを入れ、鉢の底穴からつねに水が床土に吸水されるようにした。同時に試みた他の方法はオートタイマーと接続させた小型ポンプによって送水し、昼間30~60分間隔で5秒間さし木鉢の上方から大粒の水滴をかけるようにしたものである。

秋ざしでは9月15日に、春ざしと同様な方法でクロマツのハタバザシを行なった。

実験結果

Table 13. マツ類の時期別さし木の成績

採穂月日	さしつけ月日	樹種	さし穂の種類	親木の年齢 (年)	発根率* (%)	掘取り調査日
3月4日	3月4日 (春ざし)	クロマツ	前年生 芽出しハタバ	12	54	8月4日
7月5日	7月5日 (夏ざし)	アカマツ	当年生 通生枝	3	30~40	11月5日
9月15日	9月15日 (秋ざし)	クロマツ	当年生 芽出しハタバ	12	0	12月15日

* 表示された発根率は年内の調査結果によるものであるが、秋ざしの場合は翌年の2月中旬に再調査した。その結果、やはり発根はみられなかった。

春ざしの結果は Table 13 に示されたように、クロマツのハタバザシによって 54% の発根率をうることができた。しかし、秋のハタバザシではすくなくとも年内には発根が認められなかった。夏ざしでは、3 cm の長さの穂を使用し、ホルモン処理をしない場合でも吸水方式で 40%、灌水方式では 30% の発根率であった。

結果は Table 13 で示した。

この表でわかるように春ざしと夏ざしは発根がおこったが、秋期にさしつけると年内にはまったく発根しなかった。

なおこのほかに、夏ざしの 1 例として 7 月 10 日にアカマツ 6 年生の親木から当年生枝を採穂し、当日中にさしつけ約 5 か月後の調査結果で 47% の発根率を得た例もあり、7 月上旬のさしつけは一応可能である。

したがって、さし床の水分条件がみたられば、夏ざしも 7 月上旬以降は可能であるといえよう。採穂の時期として夏はよくないと考えられてきたが、さしつけてからの管理さえよければ多少の発根はみられることがわかった。

4-1-B. カラマツの時期別さし木試験

時期別さし木に関するこれまでの研究

カラマツのさし木試験は、そのほとんどが春ざし¹⁶⁾²⁹⁾⁵¹⁾⁵²⁾であるが、夏ざし¹⁾¹⁷⁾⁴¹⁾も可能である。

筆者の行なったカラマツさし木試験のうち 2-2 [実験 1 および 3]・3-2 [実験 3] を選び出し、その結果を Table 14 にまとめて比較した。

実験結果の比較

春ざしでは最高 80% の発根率が得られたが、夏ざしは最高 32% の発根であった。また、マツ類では良くなかった秋ざし試験で、カラマツは最高 83% の発根を示したことはマツ類とくらべて興味が深い。このことから、カラマツの発根適温はマツ類よりも低いところに存在するように思われる。

これらの結果から、カラマツにおいては 3 月下旬から 9 月上旬に至るまでの、3 とおりの時期別さし木が可能であることがわかった。すなわち、早春における前年生枝のさし木と、夏期における当年生枝のさし木と、秋のはじめ 9 月上旬に行なう秋ざしの 3 とおりである。

しかし、秋ざしでは気温の低下が早くから始まるような気候の年には、発根が非常にわるくなることも考えられる。

Table 14. カラマツの時期別さし木の成績

採 穂 月 日	さしつけ月日	さし穂の種類	親木の年齢 (年)	発 根 率 (%)	調 査 日
3 月 30 日	4 月 1 日 (春ざし)*1	前 年 生 枝	35	80	8 月 17 日
7 月 30 日	7 月 31 日 (夏ざし)*2	当 年 生 枝	5	32	11 月 13 日
9 月 7 日	9 月 7 日 (秋ざし)*3	当 年 生 枝	3	83	翌年** 5 月 13 日

*1 2-2〔実験 1〕参照。

*2 2-2〔実験 2〕参照。

*3 3-2〔実験 3〕参照。

*4 秋ざしで年内に発根し、推定発根率は 80~90% であったが、一部分の掘りとりにとどめ、正確な調査は行なわなかったため、翌年 5 月の正式調査結果をここに記入した。

4-2. 人工条件下のさしつけ適期について

人工条件下のさしつけとは、ここでは人為的に環境の全部、または一部を調節した条件の下において行なったさしつけのことで、どの季節においても発根可能な環境条件を設けてあり、その環境でさしつける時には、さし穂に発根能力さえあればただちに不定根形成活動を始めるわけであるから、さし穂採取の適期を判定する資料が得られるわけである。

このような設備のなかった時代においては、さしつけ後発根が起こらなかった場合、採穂の時期が不適当であったためか、それともさし床の環境条件が不良であったためか判定に苦しむことが多かった。

しかし、上述の各種環境装置が設備されたあとは真夏や真冬に採穂した場合でも、マツ類の発根が可能であることを確かめることができた。この実験結果について記したい。

設備は人工気象室（グロース・キャピネット）および自動灌水装置、電熱温床であった。灌水装置は日中 15 分ごとに 10 秒間自動噴霧灌水をしてさし床の湿度を高く保持すると同時に、夏季においては地温を下げる役目をも果たし、7 月下旬の暑い日でも最高地温 29°C、最低地温 24°C とアカマツの発根適温に近い温度を保持する働きをした。

なお、冬季間野外にふたのない電熱温床を設け、地温だけを調節して毎日昼間に 1 回 30 秒間の自動噴霧灌水をした。

4-2-A. 人工気象室を使用したマツ類のさし木

方法および結果

自然環境条件の下では、さし木の発根には不適とされてきた 6 月中旬と 11 月中旬とについて、人工気象室を使用して調査をすすめた。

埼玉県産アカマツを野外で 4 月 18 日にまきつけ、6 月 14 日にヒポコチルの部分の子葉着生位置から測って 10mm のところで切断し、オーキシソ処理なしで 20~80 メッシュの白色パーミキュライトの床土にさしつけた。

また、9 月 6 日には三重県産アカマツを野外でまきつけ、11 月 15 日に上記と同方法で京都産赤色土にさしつけた。そのほか同方法を使用して、4 月 18 日まきつけの苗のエピコチルの部分の頂端から 2 cm をさし穂とした実験も行なった。

さしつけには Fig. 4 に示したように、植木鉢の上からビニールをかぶせ、すそを縛って外気の流通をほとんど断ち、また鉢の底穴から吸水させる方法を採用した。この方式によるときはビニールに囲まれた内部の空中湿度は 100% となり、つねに一定であった。また、床土も飽水状態となり、各植木鉢間の水分条件の差がなくなった。

照射光はスリムラインと水銀灯との混合光線で 7,000 ルクスであった。照射時間は毎日 12 時間としたので、1 日のうち残りの 12 時間は全暗黒となった。

また、人工気象室内は全実験期間を通して $23^{\circ}\text{C} \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ の範囲で温度を調節することができた。

発根の結果は Table 15 で示した。

Table 15. 人工気象室内におけるアカマツ幼苗主軸のさし木と発根率

親木の年齢	さしつけ日	さし穂の切口部分の名称	さしつけ本数(本)	発根率(%)	平均不定根数(本)
約 2 か月苗	6 月 14 日	ヒポコチル	40	95.0	1.7
約 2 か月苗	11 月 15 日	ヒポコチル	40	97.5	2.1
約 7 か月苗	11 月 15 日	エピコチル	10	90.0	3.7

以上いずれもさしつけてから 40 日目の掘り取りの結果を表わしたものである。

この表からもわかるように発根に適した環境でさし木するときは、採穂適期の範囲が広がることが証明できた。

4-2-B. 人工気象室で育成したマツ類のさし木

方法および結果

前項と同様に人工気象室を使用してなされた試験ではあるが、今回は人工気象室内でタネマキして育成した幼苗の主軸を切り取ってさし穂とした。さしつけも同室内で行なった。室内の温度は 25°C の恒温であった。その他の条件は前項 4-2-A と同じで、得られたクロマツの 3 か月苗、5 か月苗、アカマツの 4、5、6、8 か月苗を使用した。その発根成績は Table 16 に示したとおりであるが、クロマツの方がアカマツよりも多少発根が困難であるようで、しかも 3 か月苗よりも 5 か月苗の方が発根が悪く、さし木における Ageing の影響であるように思われた。

このような例もあったが、全体を通じてみれば、発根率に大きな差はなく、とくにアカマツでは 4 か月から 8 か月までの間に差はないとみてよく、一定の条件下で育てられたアカマツ親木の内的条件のうち、発根という現象については 8 か月目までは差はないものと見うけられた。

Table 16. 人工気象室内で養苗したアカマツ・クロマツの主軸のさし木と発根率

樹種	タネまきの日	さしつけまでの日数	さしつけた日	さしつけ期間	さしつけ本数(本)	発根率(%)
アカマツ	2月17日	約5か月	同年7月11日	76日間	20	95
クロマツ	2月17日	約5か月	同年7月12日	75	20	60
アカマツ	2月17日	約6か月	同年8月21日	50	17	88
アカマツ	2月17日	約8か月	同年10月23日	50	20	95
アカマツ	10月3日	約4か月	翌年1月28日	42	31	97
クロマツ	11月2日	約3か月	翌年1月28日	42	31	81

4-2-C. 噴霧灌水装置ならびに電熱温床を使用したマツ類のさし木

方法および結果

噴霧灌水装置を使用して、さし木の不適期とされていた7月24日、アカマツ10か月苗の主軸をさしつけた。非常に暑い時期であったが、この装置の使用により7月下旬で最高地温29°C、最低地温24°Cにおさえることができた。この結果は、さしつけ後70日目の発根率によると無処理区で77%、IAA 1,000ppm 1時間浸漬処理区で95%であった。

若い苗の主軸のさし木でも、一般にこの時期は非常に発根成績の悪い時期であるが、この灌水装置使用により、さし床の地温の低下、空中、地中湿度の増加とによって、77~95%という良好な発根率をうることができたと考えられる。

いっぽう、ビニール温床線を敷いたさし木箱を使用し、地中湿度調節器の指針を20°Cに合わせ、日中1回の噴霧灌水をしたところ最高31°C最低14°Cとなった。これにより冬期のさし木に成功した。

使用母樹は10年生のアカマツで、さし穂は“芽出しハタバ”を使い、12月20日にさしつけた。約半年後の掘りとり結果では無処理区で48%、IBAの1%タルク粉衣区で68%の発根率を示した。

いままで春期に行なわれたアカマツの芽出しハタバのさし木では、針葉が枯れて不成績におわるのがつねであったし、冬期のさし木では発根の起こらないのがふつうであった。しかし、電熱温床の使用によって地温を発根可能な温度で保持することができたために、このようないままでにみられなかった好成绩が得られたものと考えられる。

4-2-D. 人工気象室を使用したカラマツのさし木

方法および結果

使用した人工気象室は20°C、7,500ルクス、昼間湿度40%、夜間湿度48%に調節し、さしつけはすでにFig. 4に示されたものと同様な方法で行なったが、異なる点はビニールをかぶせなかったことである。したがって、空中湿度は人工気象室内と一致し、昼間40%、夜間48%であった。

さしつけは9月6日で、6年生母樹の伸長成長中の緑枝の最先端部3cmを切りとってさし穂とした。結果はTable 10 (p. 94 参照) のようになった。

木化の進行していないカラマツ緑枝のさし木は、野外の自然条件下では非常に困難であるが、人工気象室内ではきわめて良好な結果が得られた。

要 約

この報告では、さし木の内的条件と発根との関連を調べるため、筆者の可能な範囲内での実験的研究を行なった。

アカマツ、クロマツについて

まず年齢の異なる親木からとったさし穂の発根力について比較した。もともと親木の年齢が増すほど、さし穂の発根が困難になることは多年生の木本については共通の現象と考えられており、実験によっても確かめられていた。しかし、とくに発根困難な樹種でも、若い1~3年生の親木から採穂する場合はいっばんに発根がきわめて良く、5年以上になると成績は悪くなり、10年以上ともなるとほとんど発根がみられないことが通例とされてきた。今回の筆者の実験によっても樹齢の高い木からの場合には、たしかに発根力は劣るが、アカマツ30年生で30%の発根率が得られた。

このほか、90%以上の良好な発根率を示す若い木どうしの比較で、当年苗からの穂は1年苗からの穂よ

りも 20 日から 30 日早く発根した。いいかえれば、年とった方は発根がおそくなることははっきりした。

つぎに、さし穂の長さとお発根力との関係について調査した結果を記述した。筆者の確かめ得たところによると、さし穂はかなり短い方が発根良好であった。このことはさし穂の木化の程度とも関係があるようで、実験の結果では、さし穂の木化の度合に比例して発根が悪くなることが明らかになった。たとえば、当年枝が伸長するにつれて、下方から木化が進行していくことがはっきりしているカラマツの場合では、木化の度合の低い最先端部の方が発根が良好で、木化のすすんでいる基部の方は不良であった。

さらに、発根のための内的条件の整ったさし穂を人工的に作り出すか、または枝の外観から推定して発根力の高いさし穂をうる方法を述べた。最初はマツ属のハタバザシであるが、この方法は 1939 年ころから外国で始められ、1948 年にはいって日本でも実行された。その後も各国で行なわれてきたが成苗をうるまでには至らなかった。しかし、小さな親木から沢山のさし穂を採るためにはハタバのさし木がもっとも適しており、また、ハタバザシは発根も比較的良好であるため、ハタバザシから成苗をうる方法が久しく望まれていた。

筆者は、啓発芽を持ったハタバをさし木した場合には、成苗が得られる可能性があるとの考えを持って、枝先を剪定することによりハタバに啓発芽を作らせ、ハタバザシの要領でさし木を行ない、発根させると同時に成苗をうることに成功した。

カラマツについて

また、同時に行なったカラマツの若枝の最先端部のさし木で、かなり良好な発根率をうることができた。この試験では、さし穂の横断面で、フロログルシン・塩酸法により木化部分の染色反応を調べ、また横断面の顕微鏡観察により維管束の分化の度合をも調べることによって、さし穂の木化の程度を判定したが、木化の進んでいない部分をさし木したときの方が発根が良好であるという結論が得られた。

さし穂採集の適期ならびにさしつけの適期についての調査も報告したが、自然の環境条件下に置かれたさし床では四季のうち春と夏とがさしつけの適期で、このうち夏の方は灌水の回数をかなり多くすれば、発根が可能であるという結果が得られた。しかし、春から夏の初めまでは新芽のさし木はほとんど失敗したので、東京地方では 4 月から 6 月下旬ころまでは新芽 (当年枝) のさし木は実行しても無駄であることがわかった。当年枝のさし木は 7 月上、中旬ころからあとが良いようであった。

いっぽう、人工的に制御された環境条件の下では、外界の気候に関係なく、さし床はつねに発根に適した条件を作り出すことができたので、さし穂が発根能力をもったものの場合には、一般に野外のさし木に比べて試験結果が良好であった。

文 献

- 1) 荒井国幸：林木の挿木試験 (1) カラマツの夏ざしについて、長野林友、昭42, 3, 末尾 pp. 1 ~ 6, (1967)
- 2) 浅田節夫・橋爪洋一：林木のさし木困難樹種に関する研究 (第 10 報), とくにシンシユウカラマツの発根部位について, 第 69 回日林大会講, pp. 281~283, (1959)
- 3) BEISSNER, L.: Handbuch der Nadelholzkunde. Berlin, 765 pp., (1891) (MIROV 1944 による)
- 4) BEISSNER, L.: Handbuch der Nadelholzkunde. Paul Parey, Berlin, 742pp., (1909)
- 5) DEUBER, C.G.: Vegetative propagation of conifers. Connecticut Acad. Arts and Sci., New Haven, 83pp., (1940)
- 6) DEUBER, C.G.: The vegetative propagation of eastern white pine and other five-needled

- pines. J. Arnold Arbor., **23**, 2, pp. 198~215, (1942)
- 7) DORAN, W.L. : Vegetative propagation of white pine. Mass. Agric. Expt. St. Bull., 435, 16 pp., (1946)
 - 8) DORAN, W.L. : Propagation of woody plants by cuttings. Univ. Mass. Coll. Agric. Expt. St. Bull., 491, 99 pp., (1957)
 - 9) FARRAR, J. L. and N. H. GRACE : Vegetative propagation of conifer. XII, Effects of media. time of collection, and indolyacetic acid treatment on the rooting of white pine and white spruce cuttings. Canad. J. Res. Sect. C, 20, pp. 204~211, (1942)
 - 10) FIELD, J.F. : Experimental growing of Insignis pine from slips. New Zealand J. For., **3**, 4, p. 185, (1934)
 - 11) GARDNER, F. E. : The relationship between tree age and the rooting of cuttings. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 26, pp. 101~104, (1930)
 - 12) HOFFMANN DE C., A. and J. KUMMEROW : Anatomische Beobachtungen zur Bewurzelung der Kurztriebe von *Pinus radiata*. Silv. Gen., **15**, 2, pp. 33~60, (1966)
 - 13) ISIKAWA, H. and M. KUSAKA : The Vegetative propagation of cuttings of *Pinus* species. 1. Vegetative propagation of Japanese black pine using leaf-bundles. Bull. Govt. For. Expt. St., 116, pp. 59~65, (1959)
 - 14) ISIKAWA H. and H. OOHASI : The vegetative propagation of cuttings of *Pinus* species. 2. The rooting of Japanese red pine using lateral twigs of an elite tree. Bull. Govt. For. Expt. St., 119, pp. 59~65, (1960)
 - 15) ISIKAWA, H. : The vegetative propagation of *Larix* by cuttings. (1). Bull. Govt. For. Expt. St., 135, pp. 47~52, (1962)
 - 16) 石川広隆 : カラマツ壮齡樹のさし木でみられた 2, 3 の問題点について, 第 72 回日林大会講, pp. 223~226, (1962)
 - 17) 石川広隆 : カラマツ当年枝の成熟度と発根力, 第 75 回日林大会講, pp. 232~234, (1964)
 - 18) JACOBS, M.R. : The vegetative reproduction of forest trees. 1, Experiments with cuttings of *P. radiata* Don. Commonwealth For. Bur. Bull., 25, pp. 28, (1939)
 - 19) KOMISSAROV, D. A. : Applying of growth substances to increase the rooting capacity in cuttings of woody species and shrubs. Compt. Rend. (Doklady) Acad. Sci. URSS, **18**, 1, pp. 63~68, (1938)
 - 20) KOMISSAROV, D.A. : Effect of growth substances upon rooting response of cuttings from pine and other woody species. Compt. Rend. (Doklady) Acad. Sci. URSS, **21**, 9, pp. 453~456, (1938)
 - 21) KUMMEROW, J. and A. HOFFMANN DE C. : Der Einfluss von Kinetin auf die Ruheperiode der Kurztriebe von *Pinus radiata*. Ber. Dtsch. Bot. Ges., **76**, 6, pp. 189~195, (1963)
 - 22) KUMMEROW, J. : Vegetative propagation of *Pinus radiata* by means of needle fascicles. For. Sci., **12**, 4, pp. 391~398, (1966)
 - 23) KUMMEROW, J. : Investigation of the role of photoperiod in the rooting and growth induction of short shoots of pine. Final Rep. Res. Conduct. under Grant Author. by U.S. Publ. Law, 480, 20pp., (1966)
 - 24) KURDIANI, S. Z. : O stravnitel'noi sposobnosti nashikh lesnykh derev'ev k estestvennomu razmnozheniju pri pomoshchi cherenkov. Lesnoi Zhurnal, 38, vyp. 3~5, (1908)
 - 25) MERGEN, F. and B.A. SIMPSON : Asexual propagation of *Pinus* by rooting needle fascicles. Silv. Genet., **13**, 5, pp. 133~139, (1964)
 - 26) MIROV, N.T. : Experiments in rooting pines in California. J. For., **42**, 3, pp. 199~

- 204, (1944)
- 27) MITCHELL, H.L., C.S. SHOPMEYER and K.W. DORMAN : Pedigreed pine for naval stores production. *Science*, 96 (2503), pp. 550~560, (1942)
- 28) 道下数一・仁保和司・喜花朝男・藤原政次・沖野 悟・五反田寿登 (中国電力株式会社編) : 電力利用によるさし木育苗法に関する研究, 農業電化 20 年の歩みと将来の展望, 中国電力株式会社営業部, pp. 129~163, (1966)
- 29) 百瀬行男 : カラマツの挿木試験, 長野林友, 昭 35, 2, 末尾 pp. 10~13, (1960)
- 30) OGASAWARA, K. : Studies on the cuttings of pine. (2) Relationship between tree age and rooting of cuttings of *Pinus densiflora*. *Bull. Kyoto Univ. For.*, 28, pp. 63~72, (1959)
- 31) 小笠原健二 : アカマツの萌芽枝の発根 (予報), 日林関西支講, 9, pp. 77~78, (1959)
- 32) 小笠原健二 : マツ類のサシキについて, 林木の育種, 20, pp. 13~14, (1962)
- 33) OGASAWARA, R. : Fundamental studies on cuttings of *Pinus Thunbergii*. (1) Cause of low rooting ability of cuttings. *J. Jap. For. Soc.*, 44, 10, pp. 276~281, (1962)
- 34) 小倉 謙 : 松の葉と短枝, 理学界, 25, 3, pp. 15~18, (1927)
- 35) OKIMURA, Y. and T. TOYAMA : Studies on cuttings of *Pinus densiflora* (1) *J. Jap. For. Soc.*, 36, 11, pp. 323~326, (1954)
- 36) OKIMURA, Y. : Studies on cuttings of pine. (6) *J. Jap. For. Soc.*, 43, 11, pp. 272~276, (1961)
- 37) OYAMA, N. : Studies on promotion of rooting ability of the cutting from tree species difficult to root. *Bull. Govt. For. Expt. St.*, 145, 141 pp., (1962)
- 38) REINES, M. and R.G. MCALPINE : The morphology of normal, callused, and rooted dwarf shoots of slash pine. *Bot. Gaz.*, 121, 2, pp. 118~124, (1959)
- 39) RUDOLPH, T.D. and H. NIENSTAEDT : Rooting, shoot development, and flowering of jack pine needle fascicles. *Silv. Genet.*, 13, 4, pp. 118~123, (1964)
- 40) SEVEROVA, A.I. : Vegetativenoe razmnozhenie khvoynykh drevesnykh porod. Goslesbumizdat, Moskva, 143 pp., (1958)
- 41) 塩田 勇 : カラマツの挿木, 日林東北誌 (第 4 回大会講), 3, 1~3, pp. 18~20, (1953)
- 42) SNOW, A.G. JR. : Rooting white pine cuttings. U.S.D.A. Northeastern For. Expt. St. Occasional Paper, 11, 6 pp., (1940) (MIROV 1944, DORAN 1946)
- 43) 高原末基 : アカマツの挿木について, 科学, 21, 7, pp. 368~369, (1951)
- 44) 谷口松次郎 : 錦松挿木のコツを語る, 農業世界, 23, 4, pp. 242~245, (1938)
- 45) THIMANN, K.V. and A.L. DELISLE : The vegetative propagation of difficult plants. *J. Arnold Arbor.*, 20, 1, pp. 116~136, (1939)
- 46) THIMANN, K.V. and A.L. DELISLE : Notes on the rooting of some conifers from cuttings. *J. Arnold Arbor.*, 23, 1, pp. 103~109, (1942)
- 47) THOMAS, J. E. and A. J. RIKER : Progress on rooting cuttings of white pine. *J. For.*, 48, 7, pp. 474~480, (1950)
- 48) TODA, R. : Rooting responses of leaf-bundle cuttings of pine. *Bull. Tokyo Univ. For.*, 36, pp. 41~48, (1948)
- 49) TODA, R. : On the cuttings of pines. -A review. *Bull. Govt. For. Expt. St.*, 65, pp. 61~85, (1953)
- 50) 中国電力技研第 2 課編 : 電熱利用による林木さし木育苗法の研究 (第 2 報), 中国電力技研第 2 課, 65 pp., (1961)
- 51) 山手広太 : からまつ挿木について, 長野林友, 昭 36, 4, 末尾 pp. 30~33, (1961)
- 52) 柳沢聡雄 (中村賢太郎監修) : カラマツのさしき, さしきの実際, 全苗連, pp. 69~81, (1958)

図版説明

Explanation of plates

Plate 1

カラマツさし穂の長短と発根状況 (Table 6 参照)。

Length and root development of larch cuttings.

A : 10cm 穂——すべて未発根, 枯死。

Cuttings, 10cm long——100% failure in rooting, no survival.

B : 5 cm 穂——60% が発根した。

Cuttings, 5 cm long——60% rooting ratio.

C : 同上の未発根, 枯死穂。

Cuttings, 5 cm long——non-rooted and dead.

Plate 2

クロマツの芽出しハタバのさし木。

Vegetative propagation using pre-developed leaf-bundles of Japanese black pine.

A : クロマツの啓発芽 (さし木直前)。

A pre-developed leaf-bundle, just before planting.

B : さしつけ後5か月目の発根状況。

Condition of root development, 5 months after planting.

C : さし床から畑に移して1年目の成長状況。

Condition of growth, a year after transplanting from cutting bed to nursery bed.

Plate 3

カラマツの緑枝さし。

Green-twig planting of larch cutting.

A : 緑枝の最先部3cm (Gt_1) をつけた場合, さし穂の伸長成長および発根がきわめて良好である。

A rooted cutting, the 3 cm long top portion (Gt_1) of the green twig. Elongation growth of shoot and root development very vigorous.

B : 同上のすぐ下の部分 (Gt_2) をつけた場合, 発根はあまり良くない。

A rooted cutting, the 3 cm long portion just below the above, Gt_2 . Root development poor.

C : さしつけ時にすでに冬芽が形成され, 木化の進行していた枝の最先部 (St_1)。発根はあまり良くない。

A rooted cutting, the top 3 cm long portion of a twig, St_1 , with buds already formed and lignification advanced. Root development poor.

D : 成長中の緑枝の成長点をつまみとった場合 (Gtc)。発根は写真Aのものより悪い。

A rooted cutting, excised distal portion of green (new) shoot, Gtc . Rooting not so vigorous as in case of A.

Plate 4

カラマツ緑枝の木化度合。

Degree of lignification of green twigs of larch.

A : 頂端より1cm 下部の横断面。

Cross section at 1 cm from the shoot apex.

B : 同3cm 下の横断面。

That at 3 cm from the shoot apex.

C : 同 6 cm 下の横断面。

That at 6 cm from the shoot apex.

D : 同 9 cm 下の横断面。

B, C, D と下方へいくにしたがって維管束の発達が著しく, いいかえれば木化の度合が強くなっている。

That at 9 cm from the shoot apex.

It is shown that the lower the section, the more advanced the development of vascular bundle, meaning that the degree of lignification is also more advanced.

E : 冬芽形成枝の最先端から 1 cm の部分の横断面, 伸長中の枝の相当部分, すなわち写真 A よりも木化の度合がすすんでいる。

Cross section at 1 cm from the top of a twig on which winter buds have already been formed. The degree of lignification is higher than that at the corresponding portion of a green twig as shown in Photo. A.

F : 同上 3 cm の部分の横断面, 写真 B よりも木化がすすんでいることがわかる。

Cross section at 3 cm from the top of the same twig. More advanced lignification than that in Photo. B is shown.

**Basic Studies on the Formation of Adventitious Roots
in the Cuttings of the Species, mainly *Pinus* and *Larix*,
that have Difficulty in Rooting**

**I. Studies on the internal conditions of cuttings
in the formation of adventitious roots**

Hirotaka ISIKAWA

(Résumé)

1. Influence of age of ortets upon rooting

1-1. Influence upon the rooting of the age of pine ortets

Cuttings from 4-month-old seedlings and 10-month-old seedlings were tested (Fig. 1, 2, 3). Rooting of cuttings from the 4-month-old stock occurred much faster than 10-month-old seedlings.

1-2. Influence upon the rooting of the age larch ortets

Rooting of larch cuttings from an older stock was more difficult than those from a younger stock (Table 3).

2. Influence of the size of cuttings upon the rooting

2-1. Rooting capacity by the size of red pine and black pine cuttings

For the rooting of the short-sized cuttings plenty of watering was usually necessary. Poor watering killed the short-sized cuttings. Shorter cuttings were usually more successful in rooting than longer cuttings under suitable humidity (Fig. 5 and 6).

2-2. Rooting capacity by the size of larch cuttings.

Short-sized cuttings, 5 cm long, showed better rooting than 10 cm long cuttings (Table 6, 7 and Plate 1 : A, B, C). It was presumed from this result that advanced lignification made the rooting of cuttings difficult. Experiments on the relation between the degree of lignification and rooting of larch cuttings are described in 3-2.

3. Some new attempts for successful rooting from cuttings

3-1. A new leaf-bundle cutting method in black pine

The propagation methods using leaf-bundle cuttings have been studied by several workers. The rooted leaf-bundles prepared by these workers were transplanted to flower pots or nursery beds for further observation. But unfortunately, rooted leaf-bundles did not develop their latent buds easily, consequently they were unable to produce normal plants from their leaf-bundle cuttings in a high ratio.

In general, only in rare cases did latent buds of rooted leaf-bundles grow up under the natural conditions.

It follows therefore, that it is necessary to discover a new method for bud formation. For this purpose, pre-developed leaf-bundles made by trimming new growth leaders were used for cuttings material, and these rooted leaf-bundles grew into normal plants. Furthermore, treatment with a plant growth hormone had a promoting effect on rooting (Table 8 and Plate 2 : B).

3-2. An improvement in larch propagation with new shoots

Tips of new young shoots, 3 cm long cuttings, shown as Gt_1 in Fig. 8, rooted better than cuttings of the same length St_1 , each with a dormant terminal bud, collected from the same tree on the same day as the former (Fig. 8 and Table 9).

Furthermore, it was found that the upper parts of the shoots, Gt_1 , showed better rooting than the lower parts Gt_2 or Gt_3 (Fig. 9 and Table 10).

Trimming off the growing terminal buds of the new shoots gave rise to a slight lowering in the rooting percentage (Fig. 9 and Table 10, 11).

The cuttings with dormant terminal buds on their tips always showed a higher degree of lignification than the cuttings with growing shoot apex, and cuttings taken from the lower parts of shoots naturally showed more advanced lignification.

As to the root formation, more lignified cuttings showed lower rooting percentage.

Consequently, it is concluded from these results that immature green cuttings of larch have stronger rooting capacity than mature lignified cuttings.

4. Seasonal variation in the natural rooting capacity of cuttings

It is well known that spring and autumn seasons are, in general, the best time for *Pinus* propagation by cuttings.

However, in the case of this experiment, *Pinus* cuttings in March and July showed good rooting, and in September showed no rooting.

In this connection it is presumed that cuttings in winter will show no good result under outdoor conditions.

Cuttings, actually, show their true natural rooting capacity to the highest extent under the most suitable conditions, so the next experiments were carried out in the well-conditioned beds.

In less suitable seasons for rooting, young pine cuttings collected from the nursery bed in June and November showed good rooting percentage in 40 days after planting in the bed in a growth cabinet that was air-conditioned at 23°C, with humidity of 100 percent (Fig. 4) and

illumination at 7,000 lux given for 12 hours each day.

In other experiments conducted in an outdoor bed, it was proved that propagation of pine by cuttings was possible even in late July if the bed was mist-sprayed, and also at the end of December if the bed was heated.

In the case of cuttings propagation of *Larix*, their rooting was found possible when twigs with still unopened and hard buds were used at the beginning of April, and also when new shoots were used at the end of July as well as at the beginning of September in an outdoor bed even under the natural environment.

Under the more favourable conditions provided in a growth cabinet as above-mentioned the rooting of *Larix* proved to be still better.

