

樹勢回復に関する研究 (I)

根系を破壊したアカマツへの
栄養液の樹幹注入効果

Studies on Recovery of Tree Vigorousness (I)

千村俊夫・在原登志男・佐藤豊八

The effect of injection into the trunk of *P. densiflora* artificially weakened having main roots only.

Tosio Chimura, Toshio Arihara, and Toyohachi Sato

Summary : Four kinds of solution, namely H₂O, nutrient solution containing Fe⁺⁺, Tsutsumi's solution for water culture, and Fe⁺⁺ plus Tsutsumi's solution, were injected into the trunk of 14-year-old Japanese red pine, *Pinus densiflora* Sieb. et Zucc. Before injecting solution, soils within 1 m in diameter around pine trees were dugged out at 35 cm depth, and all of the exposed lateral roots were cut at their basal parts. Treated pine trees were supported with the ropes from three directions to avoid wind damage. Injection was carried at every 3 year from 1973 to 1975. Growth of the treated trees were observed for 4 years from 1973 to 1976. Development of the root systems under the ground lower than 35 cm was examined after 4 years.

A largest amount of injection, that was absorbed into pine trees, was recorded in spring, especially in April at every year. Growth increment of the uninjected trees, which were cut off their lateral roots, were 20% in height and 8% in volume in comparison with those of the sound control trees without any treatment. On the other hand, the trees injected with the nutrient solution containing Fe⁺⁺ and Tsutsumi's solution were recorded best growth except the control trees without any treatment. Their growth increments were 85% in height and 83% in volume against the control trees. New root system developed well under the ground lower than 35 cm in these trees, whereas the uninjected trees did not developed their new root system.

From these experiments, it was concluded that the injection of the nutrient solution containing Fe⁺⁺ and the Tsutsumi's solution into the trunk of pine trees, once a year in spring, was most effective to maintain their vigorousness and to develop a new root system instead of the old one.

要 旨

根系の異常に基因する樹木の樹勢回復を目的として、側根の80%以上を切除した14年生のアカマツを対象に水、水耕液、二価鉄イオン水、二価鉄イオン水+水耕液の4種類を注入液として樹幹注入を行ないその効果をしらべた。

処理4年後の結果では、根系切除を行なわない正常木に比べ、樹高生長は無注入木で20%、純水注入木44%、水耕液注入木57%、二価鉄イオン水注入木65%、二価鉄イオン水+水耕液注入木が85%になった。一方、材積生長では無注入木は8%に過ぎなかったが、純水注入木は21%、水耕液注入木32%、二価鉄イオン水注入木67%、二価鉄イオン水+水耕液注入木は83%となり、注入効果と同時に注入液による差が認められた。

I は じ め に

近年、自然保護や環境緑化に対する関心の高まりにつれて、樹勢が衰えた天然記念物等の名木・貴重木・庭公園木・さらに街路樹に至るまで個々の樹木に対し治療を望む声が強くなってきている。

しかし、樹木の治療技術は人畜医学に比較すれば甚だしく立ちおくれ、要請に十分応えるだけの組織だった研究がほとんどなされていないのが現況である。

また、樹木の衰弱は土壌、気象、病虫害、公害、保育管理の不適當など種々の原因が直接、間接的に相関連しておこるものであり、単一の原因による場合はきわめてすくない。

したがって、樹勢回復を図るには、まず、その衰弱の根本的な原因をきわめた上で総合的な対策をたてなければならないであろう。

一般に、樹木の地上部全体に一様にあらわれる異常現象、たとえば、葉の変色、落葉などは地下部である根の異常に基因する場合がすくなくない。しかも、根の機能減退は幹、枝葉のそれよりも樹木を死に至らしめる確率はきわめて高い。これというのも樹体の水分ストレスが致死への最重要因子となるためであろう。

根の機能減退をもたらす要因としては、土壌の理化学性の悪化、土壌病害等土壌自体に基因する場合と工事などによる根の切断、移植等人為による場合が主なものとしてあげられよう。

この対策としては、従来まで土壌改良、灌水、施肥、蒸散抑制、土壌消毒などの方法がとられてきた。しかし、衰弱した根が回復するには相当の期間を要し、この間に萎凋現象をおこして枯死する事例をしばしばみうける。とくに、根の生長期間が短いマツ類は処理適期を逸すればこの恐れが増大する。なお、土壌灌水や施肥による養水分の補給行為はその吸収器官である根に異常がある以上その効果は限定される。よって、根系に衰弱要因をもつ樹木の樹勢回復効果を高めるには、まず、根が回復するまで根を経由せず養水分を補給できる方途を講じる必要がある。

そこで、筆者等はこの1方法として樹幹注入に着目し、この器具の改善に努め点滴樹幹注入方式²⁾を完成した。

この報告は、アカマツの樹勢回復を目的として1973年～1976年の4年間に実施した本方式による試験の結果をとりまとめたものである。

II 材 料 と 方 法

試験林は福島県林業試験場構内の実験林に設定した。南西にやや傾斜し、凝灰岩、泥岩の互層を母岩とする丘陵の、稜線上の浅土地に生立するアカマツ林である。地形は比較的単純で樹令、形態がほぼ均一な林分を選んだ。

1. 供試木の処理方法

1) 予 備 調 査

人為的に根系の機能減退をおこし試験目的に適した処理方法を検討するため、あらかじめ地上部が正常で形状も平均的な標本木3本を選んだ。(Table 1.)

Table 1. 標 本 木 の 概 要
Trees examined on root system

樹 令 Age (年)	樹 高 Height (m)	胸高直径 D. B. H (cm)	枝 下 高 Height of the lowest branch (m)
1	14	5.1	8.4
2	14	4.8	7.2
3	14	5.0	8.0

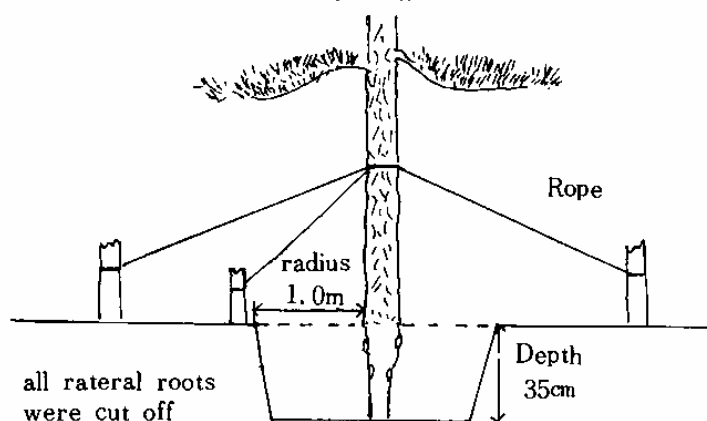
この標本木の根株から50cm離れたところに長さ2m、巾1m、深さは根が現われなくなるまでの深さにトレンチを設定し土壌断面を調査するとともに、このトレンチの両断面に10cm²の小コドラートをつくり、このコドラート毎にドライバーで0.5~1.0cmの厚さに土壌を落しながら直径0.2cm以上の太さの根（以下太根という）とそれ以下の太さの根（以下細根という）の多さを測定した。太根の多さは本数で調べたが細根の多さは直接本数とか重さで表わすことがむづかしいので、刈住の方法により10cm²のコンドラートを対象にした指数であらわすことにした。さらに、トレンチの根株から50cmの断面から根株の真下までの土壌をドライバーとスコップを用いて根を切らないように注意して落し、露出した半面の根系の形態等を調べた。

2) 供試木の処理

(1)の結果と後述するIV-2の理由から供試木の処理は、根株から半径1m、深さ35cmの間の土を掘り取り露出した側根を根ぎわからすべて切断することにした。なお、掘り取った土壌は復元しないで切断部を露出したまま放置した。また、倒伏防止のため樹幹を三方からなわで周囲の立木に固定した。(Fig. 1)

Fig. 1 供試木の処理方法

The measure of treatment for tested trees



(3) 注入液の種類及びその処理方法

注入液は、水・二価鉄イオン水・水耕液の3種である。試験区は水・二価鉄イオン水・水耕液・二価鉄イオン水+水耕液区の4区と無注入区を設定し、各区共2本ずつを供試木とした。なお、対照区として根を切除しない無処理の健全木2本を設けた。供試木の形状等はTable 2.のとおりである。

Table 2. 供試木の形状と処理区分

Treatment for tested trees

供試木 Trees tested No.	樹高 Height	胸高直径 D. B. H	切除した側根数 Number of cut lateral roots	処理区分 Treatments
1 2	6.3 5.1 m	8.0 8.4 m	17 14	純水注入 Injection with H ₂ O
3 4	5.3 5.1	8.2 9.8	12 13	Fe ⁺⁺ 注入 Injection with Fe ⁺⁺
5 6	4.7 4.8	7.2 7.2	13 16	水耕液注入 Injection with water culture
7 8	4.8 4.6	8.4 7.5	16 14	Fe ⁺⁺ + 水耕液注入 Injection with Fe ⁺⁺ water culture
9 10	5.5 4.1	8.8 5.3	16 14	無注入 Non-injection
11 12	5.3 4.9	8.8 7.2	— —	正常木 Normal tree

ここで水は純水製造装置で作られた純水、二価鉄イオン水はメネデール、水耕液は塘氏水耕液⁴⁾を使用することにした。

注入液の濃度は、初年度が二価鉄イオン水1 ppm、水耕液は塘氏水耕液をそのまま使用した。次年度以降は二価鉄イオン水2 ppm、水耕液は塘氏水耕液の10倍の濃度に改めた。

注入方法は点滴樹幹注入方式により実施した。

但し、注入時のアルコール処理は初年度は行わず2年日以降から実施した。なお、注入開始後1週間日までは連日、それ以降は隔日毎に注入量を調べてその都度注入液を補充した。また、二価鉄イオン水+水

耕液区は注入当初に二価鉄イオン水を約4ℓ注入し、それ以降は水耕液を注入することにした。

注入期間は、1973年が4月9日～12月21日までの8ヶ月間、1974年は3月22日～5月10日までの1.5ヶ月間、1975年は4月2日～5月2日までの1ヶ月間実施し、1976年は注入を行なわなかった。

Ⅲ 調 査 内 容

根系切除と葉液等の注入が樹勢に及ぼす影響は葉量、上長、肥大生長、根系の発達の多少等により知ることができる。そこでまず葉量については、試験期間中は伐倒処理ができないので最も顕著な結果としてあらわれるであろう初年度の落葉量をもって推定することにした。

落葉量の測定は、受口が1×1m²の正方形で深さが30cmの木枠に寒冷紗を張ったリーフトラップを供試木の樹冠下にほぼ全面にカバーできるよう設置し、毎月この中に落ちた葉を採集し測定した。この測定期間は1973年4月～11月までの間である。また、初年度には注入期間中1ヶ月毎に葉分析を実施した。この葉分析は窒素、リン酸、加里について行ない、分析方法は窒素はケルダール法、リン酸はHCl₄HNO₃分解の湿式灰化液をモリブデン酸-青法で定量し、加里はHCl₄HNO₃で湿式灰化後干渉抑制剤にSrを1,000 ppmとなるよう加えて原子吸光法で定量した。葉分析の資料採集位置は原則として樹冠最下層部とした。また資料は4月～6月の間は旧葉、7月以降は新葉を対象にクロロシスのない針葉を選んで採取した。

なお、1977年3月に伐倒し樹幹解析を行ない生長量等を調べた。

Ⅳ 結 果 と 考 察

1. 土壌と根系分布

試験地の土壌の理化学的性質及び標本木の根系調査結果は、Table 3. 4., Fig. 2 に示すとおりである。土壌のA層は淡色で層厚は薄く、B層はやや黄色、C層は灰色を呈している。またB層下部からC層にかけて斑鉄が認められ深さ0.9～1.0m前後になると灰白色のグライ層となり、土壌分類上からみればYB_D(d)かPsGのどちらかに属すると思われるが明白に区分しにくい。いずれにしる層全体がカベ状構造で良質な土壌とはいえない。

Table 3. 土壌の理化学的性質

The physical and chemical property of soil where tested trees stand

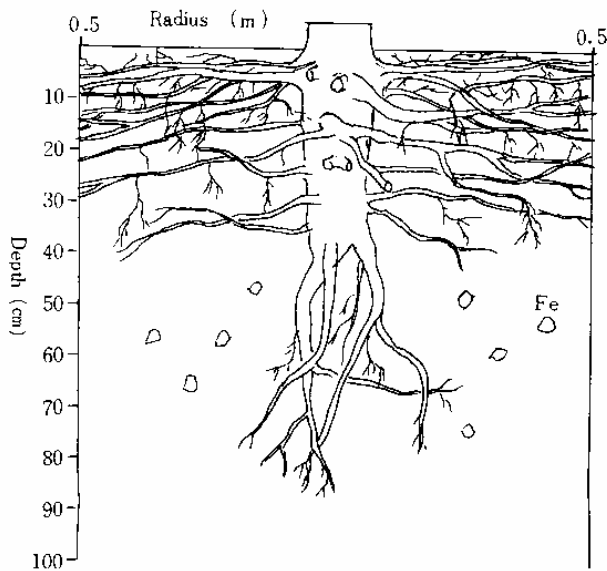
層 位 Horizon	深 さ Depth from surface	P H		置 換 酸 度 Exch. acidity (y ₁)	置 換 性 石 灰 Exch. Ca (m.c./100g)	全 炭 素 Total carbon (%)	透 水 性 Water Perco- lation rate (cc./min)	孔 隙 量 Porosity (%)	量 大 容 水 量 Water holding Capacity (%)
		H ₂ O	KCl						
A - B	0 ~ 20	4.9	4.1	25.0	0.18	2.19	70	63	49
B	20 ~ 75	5.3	4.3	15.5	0.26	1.45	9	54	46
C	75+	5.5	4.5	24.0	0.10	0.40	2	40	43

Table 4. 深さ別太根、細根分布表
The distribution of roots in soil

	深さ Depth from sur- face (cm)	10	20	30	40	50	60	70 ~	計 Total
太根 Big root	本数 Number of roots	21	16	14	6	2	1		60
細根 Fine root	細根の多さの指数 Index of fine root	10	8	6	2	1			27

Fig. 2 標本木の根系

Root system of sample tree (No.1)



土色 Soil colour	土性 Tex- tree	構造 Strac- ture	堅密度 Consi- stency	水温 Wet- ness
10YR 4 / 4	CL	カ ベ 状 Massive	硬度計 hardne- ss tester 20(mm)	潤 Moist
10YR 6 / 6	CL C		25 30	
10YR 7 / 1.5	C		20	
10YR 8 / 1.5				

したがって、根系分布も深さ40~45cm前後までは根株とほぼ同径の太い垂下根が発達しているが、それ以上の深さになると急速に細まるか分岐し、80cm前後でほぼ发育を停止している。また、太根は深さ0~10cmが最大の分布層で全体の35%を占め、そして0~30cmの間に85%が分布している。細根もその最大分布は0~10cmであり、0~30cmの間に全体の89%を占めている。

2. 根系の処理と发育

根系の異常により生じた樹木の樹勢回復を図るには、まずその原因を究明し出来る限りその障害要因を除去しなければならない。しかし、この場合多かれ少なかれ発生するであろう根に対する人為的な損傷が懸念される。たとえば、従来土壌の理化学性改善のための耕運、客土や土壤病原菌の消毒、老朽根の整理等の行為は、その行為自体の根に及ぼす影響を恐れて思い切った方法がとられない嫌いがあったと思う。そこで今かりに根系の過半を除去しても樹幹注人の実施により枯死する恐れがなく、しかも樹勢回復が促進できるとすれば、上記の行為は大胆に実施することが可能となる。そして根系の切除量が、現実に発生が予想される限度以上であればある程その安全性は高まるであろう。

以上の点とIV-1の結果を考慮して、今回の試験の根系の処理は、深さ35cmまでの垂下根から分岐する

側根をすべて除去することにした。但し、垂下根については、その物理的障害は移植行為を除いてはほとんどないこととそれ自体積極的な養水分の吸収能力はすくなく⁶⁾、しかも深さ35cm以上では垂下根から分岐する側根や細根量はきわめてすくないこと、さらに試験期間中の風等による倒木の危険性を考慮して残すことにした。また、側根の切除部を露出したまま残したことは、切除行為により再生能力が高まるであろう部位に条件のよい地表部の土壌を埋戻すよりも、そのまま、放置した方が根の再生率、ひいては自力による養水分の吸収能力を当初の一定期間低下させることができ、それだけ根系切除の影響は大きくなり、且つ、樹幹注入の効果も確認しやすくなること、加えて、上部の側根を切除した場合、下部の根系がどのように変化するであろうかも興味をもたれたからである。

1977年3月の最終調査時における注入木と無注入木の根系の状態の一部をFig. 3、4に示したが注入木についてはいずれも残存根の発育、新根の再生が水を除き、顕著に認められた。反面、無注入木は発育をほぼ停止し、細根量もすくなく変化がみられない。なかでも Fe^{++} の注入木は水耕液との混合を含めて根系の発育はきわめて旺盛であり、グライ土壌中にも伸展し深さ1～1.2m前後まで発育がみられた。

Fig. 3 注入木 (No.8) の根系

The roots of the tree injected with Fe^{++} solution and the liquid for water culture (No. 8)

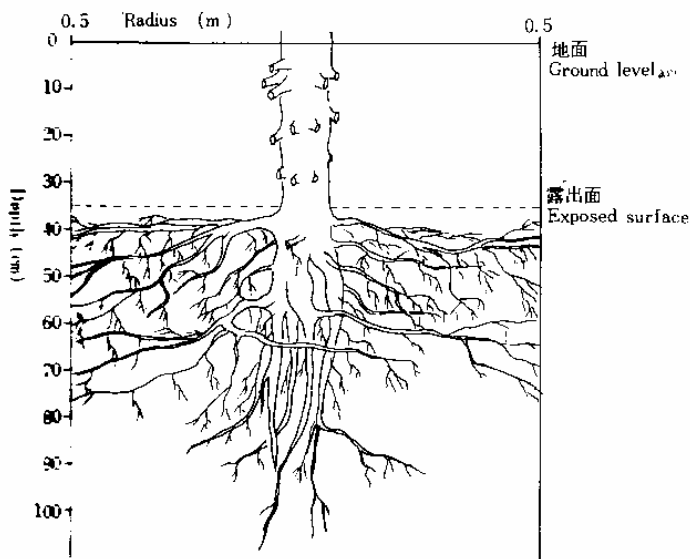
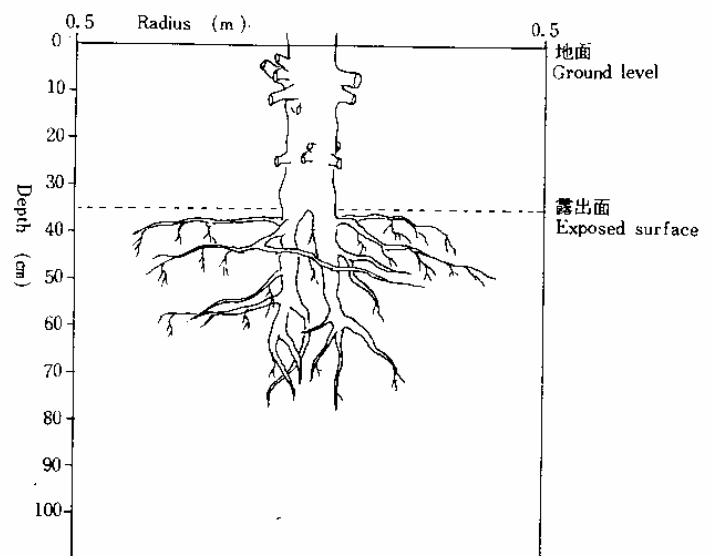


Fig. 4 無注入木 (No.9) の根系

The roots of the tree without injection (No. 9)



3. 注 入 量

1973年と1974年の2ヶ年間に於ける注入量と $\log D_2H$ との関係をFig. 5に示した。今回の供試木は形状が類似し、大小の差がすくないためか両者間には相関関係が認められない。

次に注入量の時期別変化についてみると、Fig. 6のとおり注入開始直後である4月に最大値を示し、5月以降は季節により若干増減がみられるものの急速に減少し、ほぼ平衡状態で推移している。しかも、5月以降の注入量は年間注入量の43%に過ぎなかった。これから春期の注入だけにとどめても効果が期待できるとすれば、実用面からも好ましいと考え、1974年以降においては注入開始後に、その注入速度がほぼ $0.1cc/min$ になった時点で打ち切り、以後の注入は行なわないことにした。

しかし、1本当りの年間平均注入量は1973年が $6.65l$ であったのに対し、1974年は $5.28l$ 、1976年は

6.45ℓ となりほぼ近似した値となった。これは1974年以降の注入は、注入時点で樹指逆流防止を目的とするアルコール処理を併用したため、これが初期注入の促進に効果的に作用したのではないかとと思われる。だが、注入液別の注入量の連年変化 (Fig. 7) をみると水を除いてはほぼ平衡乃至増加現象がみられることから注入液との関連も無視できない。すなわち、水を注入液とした場合の注入量の減少は代謝機能の減退を示唆するのでないかと考えられる。何故ならば、アカマツの生理的特性について、佐藤は⁸⁾土壤が乾燥するとスギ、ヒノキにくらべて葉の気孔を閉じる調節能力が大きく、蒸散量を急激に減少して水分の消失してゆくのを防止する機能をもっと指摘していることから、水の場合は根系の切除後の新根の再生が円滑に行なわれず、その結果慢性的な水ストレスを生じて春期の生育期になっても、土壤乾燥の場合とほぼ同様な蒸散抑制の状態を維持しているためでないかと推察されるからである。

Fig. 5 1本当りの注入量とlog D²Hの関係
The relation between log D²H and the quantity of injectin

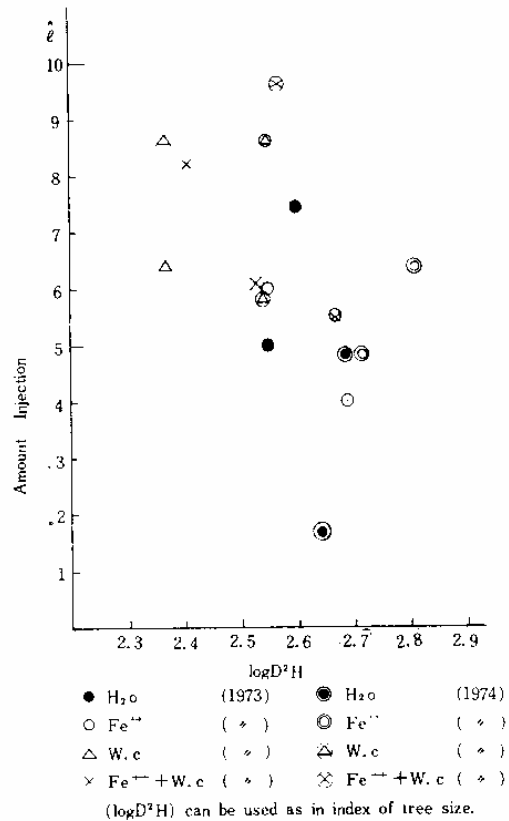


Fig. 6 注入量の時期別変化 (1973年、1本当りℓ)

The seasonal variations of amount of injection
(1973, lit. per one tree)

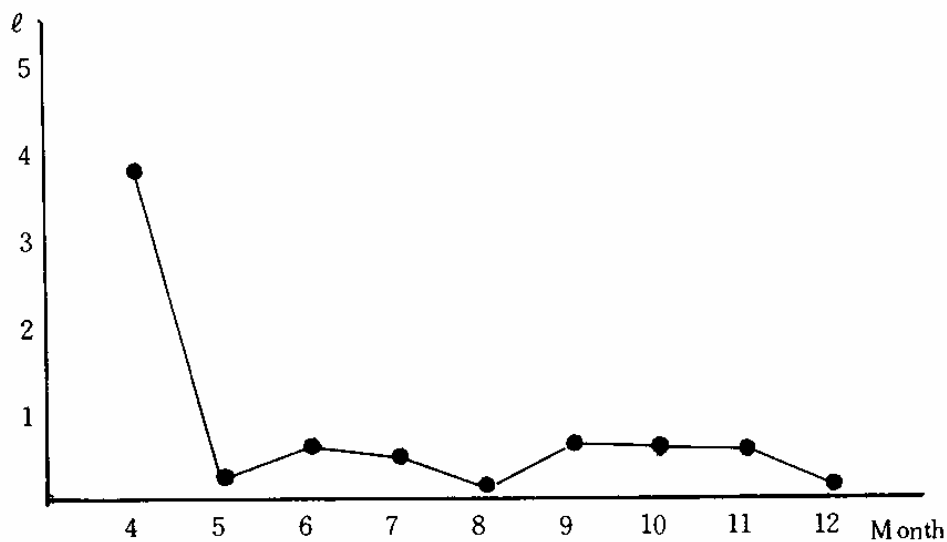
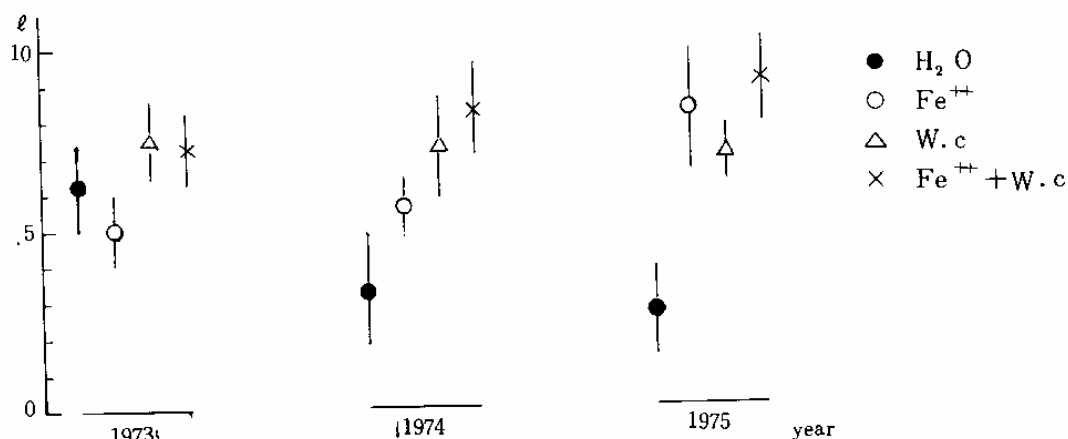


Fig. 7 注入量の年度別変化 (1本当りℓ)

The annual variations of the amount of injection

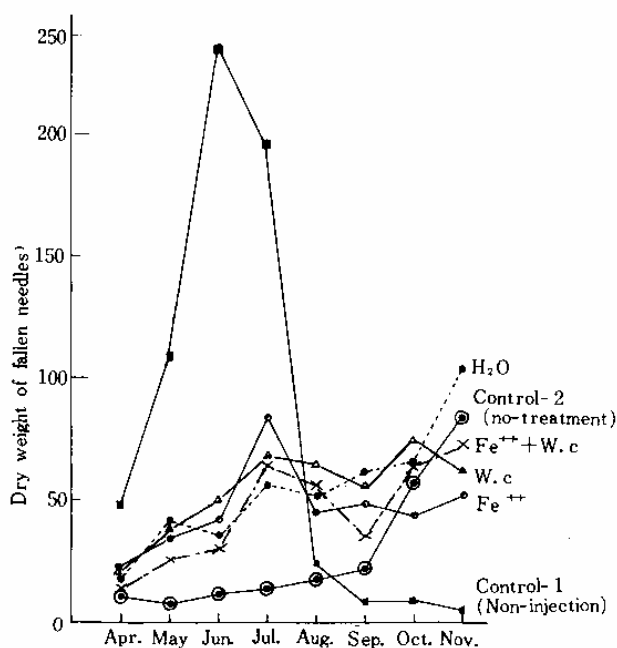


4. 樹勢と注入液との関連

樹勢を判断する場合その指標の1つとなる落葉量についてはFig. 8に示すとおりである。

Fig. 8 落葉量の時期別変化 (1973年、1本当りg)

The seasonal variations of the amount of fallen needles
(1973, g per one tree)



根系を処理した1973年4月時点で、この林分の針葉は当年生葉と1年生葉で構成されており、しかも、当年生葉がその過半を占めていた。正常木の落葉をみると1年生葉は新葉の展開伸長につれて落葉量を増加し、新葉の伸長がほぼ完了したとみられる10月までにはすべて落葉した。当年生葉の落葉については秋から冬にかけてピークがみられた。一方、根系処理木のうち、無注入木は5月～8月にかけて1年生葉のすべてと、樹冠先端部を除く当年生葉の過半が落葉した。とくにNo.9については下層部の新芽はほとんど開葉せず枯死した。さらに、新葉の長さも10月時点で正常木の10～12cmに対し3～3.5cmの伸びにとどまった。反面、注入木については5月から落葉が正常木に比べて増加の傾向がみられたが、針葉長について

はほぼ正常木と同一であった。但し、水については70～80%にとどまった。

春期から秋期にかけての異常落葉は根系切除による養水分の不足を示唆するものであるが、この落葉現象は、先づ樹冠下部から始まり漸次上部に移行し、同一枝でも一年生葉から当年生葉の順に発生することが観察された。

萎凋中の植物の内部状態について、Me III aeB⁹⁾ (1882) は植物の一部分が他の部分から水分を吸引することを指摘しているし、またPringshein¹⁰⁾ (1906) も上部の葉の方が古い下部の葉よりもずっと遅れて萎んで枯落ち、下部の葉は上部の葉の貯水部となっていると述べている。

したがって、注入木は無注入木に比べ異常落葉がすくなかったことは、根系切除から新根再生までの間における水分補給効果があったと解される。一方、無注入木は残存限による水分吸収量の不足をカバーするために、樹幹下部から上部へ、旧葉（1年生葉、当年生葉）から新葉へ水分移動を余儀なくされたものと思われる。

これから、新根再生までの初期注入量と注入液の根系再生促進作用の多少が樹勢回復の重要なポイントであり、前述した春期の注入だけでも効果が期待できる所以もここにあると考える。

また、供試木の栄養状態について目安となる葉分析結果はFig. 9、10、11 に示したが、これによると無注入木は注入木に比較し全般的に養分量は高い傾向が認められる。これは、無注入木は樹冠下部を形成する針葉のほとんどが早期に落葉し、落葉しないものもクロロシスやネクロシスを生じ、このため葉分析の資料採取位置が次第に上部に移行したことから、落葉あるいはクロロシス等をおこした下部葉（1年生葉、当年葉）からの養分転流（N、K、P、Mg等の元素は植物体内における再配分が容易で老葉中の元素は生長のさかんな若い葉にたやすく移動する）¹²⁾ をうけ、且つ、針葉の絶対量の減少から単位当りの養分濃度が高まった結果と考えられる。

塘も¹¹⁾ N、P、Kの欠乏症状は石灰や鉄、マンガンなどの欠乏症と異なり下部葉から始まる。これは、生理的にみれば前者が植物体内を移動しやすい要素であるためであると指摘している。

Fig. 9. 針葉中のチッソ含有量 (1973年)

Amount of nitrogen within the dried needles

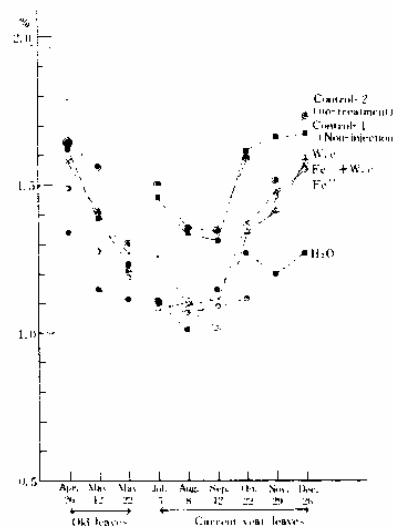


Fig. 10. 針葉中のリン酸含有量 (1973年)

Amount of phosphorous within the dried needles

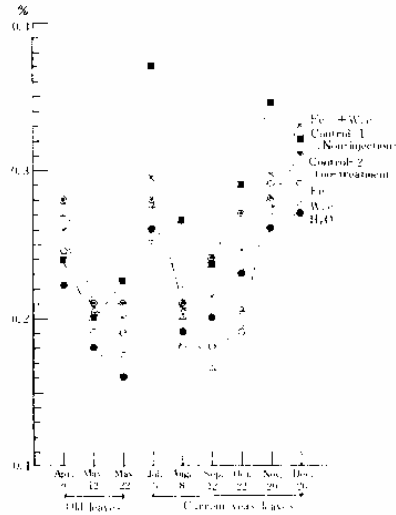
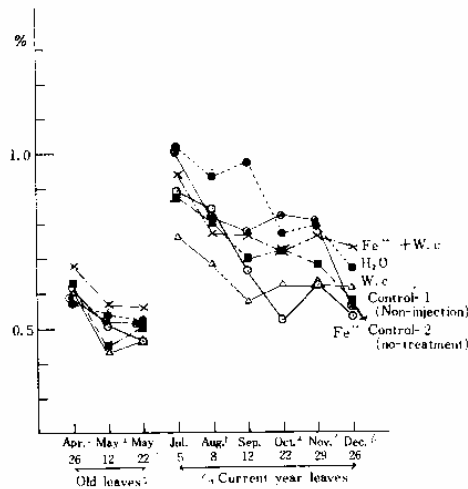


Fig. 11 針葉中のカリ含有量

Amount of potassium within the dried needles



また、塘は材木についての生育時別にみた養分吸収特性について報告¹³⁾しているが、これによると、アカマツは前年度の秋に蓄積された窒素を利用して春に伸長生長行ない（したがってN%は減少する）夏から秋にかけては苗木体を充実させ窒素を蓄積（したがってN%は増加する）して翌春の伸長生長にそなえるため月別変化は凹型を示す。P₂O₅%は春期と秋期に消費の山があり夏期と晩秋以降に蓄積される。K₂O%は逆に春期から夏期にかけて蓄積し、夏から秋にかけて消費されると説明している。

これから、今回の結果でN、Pについては無注入木が注入木に比べ高い値を示したことは、前述した下部葉から上部葉への転流量の差異と共に、注入木は物質代謝がほぼ順調に行なわれN、Pの消費がみられたが、無注入木は物質代謝機能が大巾に減退し生命維持がやっとで樹勢回復の過程まで至らなかったことを示唆するものと考えられる。Kについてはあまり注入木、無注入木に差がみられなかったことは、その消費が夏以降にあるためと思われる。

次に樹勢回復の総括的指標となる樹高、材積生長についてはTable 5、6に示すとおりである。

Table 5. 樹高生長の年変化
Height growth of test trees

Kinds of injection liquid	No. of test trees	1973. 4	1974. 3	1975. 3	1976. 3	1977. 3	Total growth	Ratio against control- 2
H ₂ O	1	6.33 ^m	6.77(0.44) ^m	7.12(0.35) ^m	7.51(0.39) ^m	7.67(0.16) ^m	1.34 ^m	4 4
	2	5.08	5.51(0.43)	5.80(0.29)	6.31(0.51)	6.69(0.38)	1.61	
	Mean		(0.44)	(0.32)	(0.45)	(0.27)	1.48	
Fe ⁺⁺	3	5.28	5.88(0.60)	6.29(0.41)	6.92(0.63)	7.68(0.76)	2.40	6 5
	4	5.14	5.56(0.42)	5.87(0.31)	6.44(0.57)	7.10(0.66)	1.96	
	Mean		(0.51)	(0.36)	(0.60)	(0.71)	2.18	
Water culture	5	4.72	5.17(0.45)	5.52(0.35)	5.93(0.41)	6.44(0.51)	1.72	5 7
	6	4.79	5.26(0.47)	5.67(0.41)	6.24(0.57)	6.92(0.68)	2.13	
	Mean		(0.46)	(0.38)	(0.49)	(0.60)	1.93	
Fe ⁺⁺ + Water culture	7	4.79	5.44(0.65)	5.84(0.40)	6.33(0.79)	7.58(0.95)	2.79	8 5
	8	4.57	5.17(0.60)	5.80(0.63)	6.66(0.86)	7.55(0.89)	2.98	
	Mean		(0.68)	(0.72)	(0.88)	(0.92)	2.87	
Control- 1 (non-injection)	9	5.45	5.48(0.03)	5.58(0.10)	5.71(0.13)	5.83(0.12)	0.38	2 0
	10	4.14	4.35(0.21)	4.58(0.23)	4.84(0.26)	5.12(0.28)	0.98	
	Mean		(0.12)	(0.17)	(0.19)	(0.20)	0.68	
Control- 2 (no-treatment)	11	5.32	6.17(0.85)	7.09(0.92)	7.81(0.72)	8.62(0.81)	3.30	1 0 0
	12	4.85	5.50(0.65)	6.40(0.90)	7.34(0.94)	8.26(0.92)	3.41	
	Mean		(0.75)	(0.91)	(0.83)	(0.87)	3.36	

Table 6 材積生長の年変化
Volume increment of test trees

Kinds of injectin liquid	No. of test trees	1973. 4	1974. 3	1975. 3	1976. 3	1977. 3	Total imcrement	Ratio against contul- 2
H ₂ O	1	0.0104 ^{m'}	0.0109(0.0005) ^{m'}	0.0121(0.0012) ^{m'}	0.0139(0.0018) ^{m'}	0.0154(0.0015) ^{m'}	0.0050 ^{m'}	2 1
	2	0.0121	0.0125(0.0004)	0.0133(0.0008)	0.0158(0.0025)	0.0182(0.0024)	0.0061	
	Mean		(0.0005)	(0.0010)	(0.0021)	(0.0020)	0.0056	
Fe ⁺⁺	3	0.0128	0.0151(0.0023)	0.0192(0.0041)	0.0248(0.0056)	0.0312(0.0064)	0.0184	6 7
	4	0.0156	0.0190(0.0034)	0.0218(0.0028)	0.0269(0.0051)	0.0327(0.0058)	0.0171	
	Mean		(0.0028)	(0.0035)	(0.0054)	(0.0061)	0.0178	
Water culture	5	0.0072	0.0076(0.0004)	0.0088(0.0012)	0.0118(0.0030)	0.0146(0.0028)	0.0074	3 2
	6	0.0086	0.0090(0.0004)	0.0104(0.0014)	0.0136(0.0032)	0.0178(0.0042)	0.0092	
	Mean		(0.0004)	(0.0013)	(0.0031)	(0.0036)	0.0084	
Fe ⁺⁺ Water culture	7	0.0132	0.0166(0.0034)	0.0216(0.0050)	0.0284(0.0068)	0.0368(0.0084)	0.0236	8 3
	8	0.0085	0.0118(0.0033)	0.0162(0.0044)	0.0218(0.0056)	0.0285(0.0067)	0.0200	
	Mean		(0.0033)	(0.0047)	(0.0062)	(0.0076)	0.0218	
Control- 1 (non-injection)	9	0.0162	0.0162(0)	0.0166(0.0004)	0.0169(0.0003)	0.0172(0.0003)	0.0010	8
	10	0.0092	0.0093(0.0001)	0.0098(0.0005)	0.0108(0.0010)	0.0121(0.0013)	0.0029	
	Mean		(0)	(0.0005)	(0.0007)	(0.0008)	0.0020	
Control- 2 (no-treatment)	11	0.0156	0.0193(0.0037)	0.0268(0.0075)	0.0342(0.0074)	0.0432(0.0090)	0.0276	1 0 0
	12	0.0084	0.0126(0.0042)	0.0179(0.0053)	0.0241(0.0062)	0.0335(0.0094)	0.0251	
	Mean		(0.0040)	(0.0064)	(0.0068)	(0.0092)	0.0264	

無注入木は樹高、材積生長共にほぼ停止し、根系再生や葉分析結果でもみられたようにかろうじて生命を維持するだけの状態であることが伺われる。

一方、注入木の樹高生長は Fe^{++} + 水耕液を除いては第2年目に最小値を示した。これは樹高生長に最も関与するNが前年度の秋に蓄積されたものを利用するという前記の塘の説からみて、処理当年よりもむしろ、新根再生がすくなくて十分Nが吸収蓄積されない2年目の春期にその影響があらわれるためと考えられる。これに対して、 Fe^{++} + 水耕液注入木がほぼ順調に生長を示したことは Fe^{++} と水耕液の相乗作用により新根の再生が旺盛で処理当年の秋期のNの蓄積もほぼ順調に行なわれたためであろう。水注入木は処理後3年目までは他の注入木と同様に回復傾向を示すが4年目になると樹勢に減退の兆しがみられる。それは水注入だけでは新根の再生等の生理的活動が円滑に進展しないためと思われる。水耕液単独注入木はN等の養分補給があるため樹高生長は水注入木を上廻り、4年目以降でも生長の劣えは認められない。但し、材積生長は水以外の注入木に比べ大巾に劣ることが伺われた。 Fe^{++} の注入木は水耕液のように養分補給がないにもかかわらず、樹高、材積生長共に順調である。これは新根の再生が水耕液単独注入よりも高いことを示唆するものであろう。

以上から、今回供試した注入液では Fe^{++} の樹勢回復効果が強く認められ、とくに Fe^{++} と水耕液の併用が最も有効であることがわかった。

Fe^{++} の生理作用は、葉緑素の生成に密接な関係があることは古くから知られているが、近年では生体内の微量元素のうちでは最も大量に酸素呼吸をつかさどる酵素の体構成に加わって植物体の遊離エネルギー生産に関与していることが認められてきている。香川¹⁰はこの Fe^{++} の遊離エネルギー生産関与について次のように述べている。「生体内では数多くの酸化還元反応がおこっている。その多くは物質 AH_2 からHを移す脱水素反応($AH_2 + B \rightarrow A + BH_2$)であるが、稀には物質Aに O_2 を結合する酸素添加反応($A + O_2 \rightarrow AO_2$)もある。電子伝達系においては、 $NADH_2$ など、そのはじめの部分は脱水素酵素であるが、そのHは $H^+ + e^-$ となり、 $Fe^{+++} + e^- \rightarrow Fe^{++}$ の反応によって電子だけが伝えられてゆく。この Fe^{++} は遊離のものではなく、いずれもタンパク質の中に特異的に結合しているもので、ヘムの中のFe(ヘム鉄)とSと結合した非ヘム鉄に大別される。ヘム鉄を含むタンパク質にはチトクロムa、b、c、 c_1 などがあり、電子は一般にフラビン \rightarrow 非ヘム鉄 \rightarrow CoQ \rightarrow b \rightarrow c_1 \rightarrow c \rightarrow a \rightarrow O_2 と流れてゆく。これら物質の酸化還元電位の差によって、反応に伴ってエネルギーが遊離される。このエネルギー差(ΔG)がATP合成に必要な7 kcal / mole をこえる場所が電子伝達系上に3ヶ所あり、したがって1モルの $NADH_2$ 酸化によって3モルのATPが生じるのである。」

Feは上記のように呼吸に関係のあるチトクロム酸化酵素や酸化酵素である過酸化酵素、カタラーゼなどの多くの重要な酵素の一部をなし、植物体内での物質代謝に不可欠な役割を果している¹⁵。

しかし、Feは土壌、物質体内ではその多くが Fe^{+++} で存在し植物体内を移行しにくい要素の1つとなっている。したがって、根系切除の影響は土壌からの吸収量の減少と同時に、旧葉が落葉しても新葉へのFeの転流量はすくなく、そのため Fe^{++} 注入木以外はその絶対量に不足をきたし、電子伝達系(チトクロム系)は不調となり、ATP生成を阻害して新根再生機能等の低下を招いたものと思われる。この点、樹体内を移行しやすく、且つ、酵素と結合しやすい Fe^{++} の樹幹注入は、この不足をカバーし、とくに水耕液との併

用は養分との相剋効果もあって円滑に物質代謝が促進できるものと推察される。

Fe⁺⁺の生理的作用については、まだ十分に解明されてはいない。しかし、今回の試験結果及び筆者等が今日まで行なってきた樹勢回復の現象面からみて効果的な樹勢回復剤の1つであると考えられる。

なお、Fe⁺⁺と水耕液の濃度については試行的に途中で変更したが、この結果2年目以降においてはこの濃度の差異による影響もあったと思われる。

だが、今回の試験は注入液の種類別効果に主眼をおいたことと、初年度の注入効果が高いウェイトを占めること等を考慮し、濃度別効果の比較については特に検討をしなかった。但し、この濃度別試験については別途実施しているので、稿を改め報告する所存である。

V あ と が き

筆者等は、1969年から名木、古木等の衰弱木の樹勢回復に、土壤改良等の従来工法に樹幹注入を採用し効果を挙げてきた。本報告は、これらの現象面でみられた樹幹注入の効果の再検討とその改善資料を得るため実施したものである。

この研究においてご協力をいただいた林業試験場の各位に厚く謝意を表する次第である。

引 用 文 献

- 1)、6) 刈 住 昇：樹木の根の働きと生長、林業科学技術振興所、1963
- 2)、5)、7) 千 村 俊 夫：点滴樹幹注入方式について。林業技術No.397、1975
- 3) 刈 住 昇：樹木の根の系態と分布。農林省林試研報No.94、1957
- 4)、11) 塘 隆 男：苗畑施肥と林地肥培。地球出版
- 8) 佐 藤 大七郎：スギ、ヒノキ、アカマツのマキツケナエの耐乾性。東大演報No.51、1956
- 9) Me III ae B B. : Unber bie Anpassungen zum Aufrechterhalten der Pflanzen und Wasserversorgung hei der Transpiration. 1882
- 10) Pringsheim E. : Wasserbewegung und Turgorregulation in welkenden Pflanzen. 1906
- 13) 塘 隆 男：わが国主要樹種の栄養および施肥に関する基礎的研究。農林省林試研報No.137、1962
- 14) 香 川 靖 雄：生能エネルギーの源泉。科学VoL. 44、1974
- 12)、15) 田 口 亮 平：植物生理学大要。養賢堂