

薬剤の立木注入に関する研究 (第3報)

薬剤の樹木内分布より見たる二、三の生理学的考察

成田恒美, 山科健二 (森林経理学研究室), 伊達善夫 (化学研究室)

Tsunemi NARITA, Kenji YAMASHINA, Yoshio DATE :

On the Injection of Chemicals into Living Tree (3)

Some physiological notes on the movement of injected chemicals in trees

緒 言

立木に薬剤を注入し、樹液の流動を利用してこれを各部に分配する試みは、樹木生理、及び各種の応用的方面に於て重要な意義を有するものと考えられる。この方面の研究としては先ず TH. Hartig (1853) が樹液上昇の理論を明らかにしようとして錯酸鉄液の注入を試みた事があるが、其の後注入を樹木の内科療法的手段と考えた Mokrzecki (1903)⁽³⁾、工芸的目的をもつて樹木材部を着色しようとした、M. Kleinstuck (1913)⁽⁴⁾の研究等があり、我が国に於ても三村鐘三郎 (1918)⁽⁵⁾による材部の着色、防腐、耐火等を目的とする研究、三浦伊八郎、川村実平 (1918)⁽⁷⁾による樹木枯殺法の研究等がある。更に最近では、ソ連に於てピー・デー・クロトケビイチ⁽⁶⁾ (1953)により新しい薬剤注入法が試みられている。

著者等は先にアカマツ、スギ、ヒノキ、各立木に硫酸亜鉛水溶液を注入し、葉中に分配された亜鉛をポーラログラフ法を用いて定量する事により、樹液流動の機構及び樹木生理に及ぼす微量元素の影響等に関する見解の一部を発表した。⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

本報に於ては更に、(1) 注入前後のスギ葉中に於ける亜鉛含量の時間的変動、(2) Acid Magenta を指標とする側枝除去の樹液流動に及ぼす影響、(3) 同色素吸収量の時間的変化、及びその樹体内分布の各項目について述べる。

I スギ葉中に於ける亜鉛含量の時間的変動

1. 実験方法及び結果

(1) 注入法 ; 成長錐を用いて樹幹に孔をあけ、注入孔の約 30cm 上方に吊した注入液瓶とゴム管をもつて連結したガラス管をこの孔に挿入し、ゴム栓で固定し更に液がもれない様にその周囲を(ラノリン+蜜ロウ)で密封

した。尚後述する実験に於てもこの注入方法を用いた。

(2) 亜鉛定量方法 ; ポーラログラフ法による葉中亜鉛の定量に関しては、主として Walkley⁽¹¹⁾の方法を参考としたが操作の概要を記せば、次の通りである。

(a) 試薬 ; 濃硫酸、濃硝酸、過塩素酸 (比重 1.54) は特級品を使用した。クロロフォルムは再蒸溜し、これに再蒸溜した無水アルコールの 1% 容量を加えた。

5g のジチゾン を 500ml のクロロフォルムにとおして調製したジチゾン-クロロフォルム溶液は 2~5°C の冷蔵庫中に保存した。

(b) クエン酸アンモン緩衝液 ; 20g のクエン酸を 200ml の水及び 800ml の 6N-アンモニア水に溶かし、これを分別漏斗に移し、上記ジチゾン-クロロフォルム溶液の 40ml を加えて強く振りクロロフォルム層をすて、更に 40ml ずつのクロロフォルムで 2 回振りクロロフォルム層をすて、精製せるジチゾン含有緩衝液を得た。

(c) ポーラログラフ用基底溶液 ; 0.1M-塩化アンモン、0.02M-ロダンカリ、0.0002% のメチルレッド。

(d) 標準硫酸亜鉛溶液 ; 2.875g の結晶性硫酸亜鉛を水に溶かし、0.01M-溶液をつくる。磷酸亜鉛アンモニウムとして沈澱させる方法により亜鉛の濃度を確かめ、この溶液から 0.001M- $ZnSO_4$ を作った。

(e) 試薬分解法 ; 100°C で 15 時間乾燥した試料から 3g を精確に秤取し、300ml のケールダール分解フラスコに入れ、濃硝酸 30ml、過塩素酸、濃硫酸の等容混合物の 6ml 及び発泡を防ぐため 1 滴の流動パラフィンを加える。分解フラスコは 300~350W 程度で静かに加熱する。過塩素酸の白煙が現われはじめたら熱板を 500W まで上げて約 10 分間更に加熱をつづける。分解完了後冷却し、これに 30ml の水を加え、沸騰するま

で加熱する。冷却後 35ml のクエン酸アンモン緩衝液を加え溶液の PH を 9.5~10.0 程度とする。これを 200 ml の分別漏斗に移し 30ml の水でフラスコを 3 回濯ぐ、この内容を最初 10ml のクロロフォルムで抽出し、次で更に 5 ml 宛のクロロフォルムを使用して 2 回抽出を繰り返す。抽出液は小型秤量瓶に集め低温度の熱板上で吸引加熱して蒸発乾涸させる。次にジチゾンで分解させるために 4 ml の濃硝酸、1 ml の過塩素酸、3 滴の濃硫酸を加えて再び加熱を行う。最後に 300~350 °C に保ったマツフル炉の中に数分間入れ酸を完全に

追出す。次にこれに 3 ml の基底溶液を加え内容を完全にとかしてポーラグラフにかけた。尚電解溶液の温度は 25±0.1°C に保った。

供試木 No.1 = 本学大角山実験林峰筋に疎立するスギ。

樹高 4.10m, 胸高直径 5.1cm, 注入孔は樹幹南側, 地上よりの高さ 30cm, 孔の深さ 2 cm, 注入薬剤 - 硫酸亜鉛 1 M 溶液。

注入開始後の注入量と葉中亜鉛の含量の時間的変動は表 1 に示した。

表 1

試料採取日時	注入経過	経過時間	注入量 (ml)	亜鉛含有量 (P.P.m)		
				頂上	南枝	北枝
10月29日午後2時30分	注入直前	0時間	0	4.4	4.6	4.9
" " " 3時30分	注入中	1 "	19.5	4.7	5.4	4.1
" " " 4時30分	"	2 "	36.1	4.0	4.9	3.2
10月30日午前9時30分	注入中止	19 "	272.1	17.4	17.0	15.2
12月1日午後1時30分	/	32日4 "	272.1	20.3	42.2	40.1

(註) 頂上 - 主軸頂上 30cm の範囲内に着生している葉
 南枝 - 南側地上 1.54m の位置から出ている枝の先端 30cm の範囲に着生している葉
 北枝 - 北側地上 1.25m の位置から出ている枝の先端 30cm の範囲に着生している葉
 上記試料は何れも 5 回にわたり確率的に採取した。

2. 考 察

注入開始後 2 時間では、表中に示す如き採取位置に於ては葉中亜鉛の含量の間に有意差が認められず、いずれも自然木葉中の亜鉛含量と見做すことが出来る。

注入開始 19 時間後の値をみれば、注入薬液の増加により、亜鉛が樹体内各部に分配され、約一ヶ月後に於て葉中亜鉛の含量が更に増加しているのは、この間樹幹内に保留されていた亜鉛が樹液流動に伴つて葉中へ移行した事を示すものと考えられる。これによりスギでは秋から冬にかけても尚相当の樹液の流動があると思われる。

注入開始後一週間頃よりすべての枝の前年生葉が褐色を帯び初め、約 2 週間後には殆んど生理的機能を失つた。これに対し附近に疎立する略同令のスギの前年生葉は緑色を保持していた。約 1 ヶ月後には注入木の当年生葉に斑点状の褐色部が認められはじめ、この時の亜鉛含量は約 40 P.P.m. であった。

II 樹液流動に対する側枝除去の影響

1. 実験方法及び結果

(実験 1) 独立せる供試木を使用した場合

本学大角山実験林東傾斜面に疎立するヒノキ

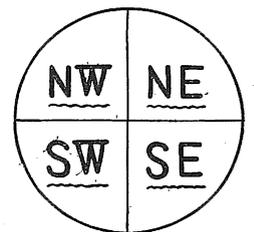
供試木 No.2 = 樹高 4.50m, 胸高直径 4.7cm の無処理木, 枝下高 1.10m,

供試木 No.3 = 樹高 3.91m, 胸高直径 5.4m, 枝下高 0.95m の木のクローネ頂部 1/4 を残し夫より下の枝を除去した。注入孔は両供試木共樹幹北側, 地上よりの高さ 30cm の個所に設け、注入孔の深さは両供試木共約 2 cm とした。

注入薬剤として、Acid Magenta の 1% 水溶液を使用した。各断面高 (地上よりの高さ) に於ける薬剤の樹体内分布を示したのが表 2 である。薬液注入時間及び注入量は、供試木 No.2 では 21 時間、約 115ml, 供試木 No.3 では 21 時間、約 105ml であった。

各方向に於ける着色部位の表示は表 1 図の如く定めた。

表 1 図



オ 2 表

断面高(m)	0.20		0.33		0.85		1.00		1.98	
供試木	No.2	No.3								
直径(cm)	5.5	6.5	5.0	6.1	4.1	5.2	4.0	5.1	3.6	4.5
NE(%)	2.1	10.1	10.2	11.8	11.3	12.3	9.6	3.4	2.3	0
NW "	4.3	17.5	8.5	16.5	7.2	8.7	4.7	1.5	1.8	0
SE "	0	0	0	3.7	0	1.9	0	0	0	0
SW "	0	3.5	0	3.2	0	0	0	0	0	0

(註) 供試木No.2一痕跡は地上高2.11m(注入孔より上1.81m),注入孔より下0.19m
 供試木No.3一痕跡は地上高1.03m(注入孔より上0.73m),注入孔より下0.40m(根も着色)
 表中の数字は着色面積の全断面積(皮を除く)に対する百分率
 注入日時:自10月29日午後3時40分~至10月30日午後12時40分

(実験2) 同一樹幹より二つに分岐せる供試木を使用した場合

大角山実験林東傾斜面のヒノキ
 根ぎわの直径11.8cm,高さ46cmの位置に於てフタマタに分岐しているもの。

供試木No.4 = フタマタに分岐した西側の木,樹高4.96m,枝下高1.96m

供試木No.5 = フタマタに分岐した東側の木,樹高4.77m,枝下高1.81mの木のクローネ頂部1/5を残しそれより下の枝を除去したもの

両供試木共分岐点より50cm上方の位置(地上高96cm)の北側に注入孔を設け,その深さは約2.4cmとした。

注入薬剤はAcid Magenta. 0.25%の水溶液を使用した。薬液注入時間及び注入量は,供試木No.4では45時間,約405ml,供試木No.5では45時間,

約390mlであつた。

各断面高に於ける薬剤の樹体内分布をオの表に示した。

オ 3 表

断面高(m)	0.69		0.93		1.96		2.16		2.96		3.61	3.96	4.26
供試木	No.4	No.5	No.4	No.4	No.4								
直径(cm)	6.0	6.0	5.5	4.9	4.7	4.3	4.2	4.0	3.7	3.3	2.7	2.1	1.6
NE(%)	4.1	8.2	10.5	13.2	7.9	8.6	7.1	3.1	6.2	0	11.3	5.9	7.0
NW "	1.3	12.4	8.3	18.7	4.2	1.7	2.9	1.5	0	0	1.6	1.4	6.8
SE "	0	0	0	2.2	0	0	0	0	0	0	6.1	5.4	6.9
SW "	0	2.4	0	3.4	0	0	0	0	0	0	5.9	5.2	6.3

(註) 供試木No.4一痕跡は地上高4.81m(注入孔より上3.85m)注入孔より下0.31m
 供試木No.5一痕跡は地上高2.27m(注入孔より上1.31m)注入孔より下0.49m
 注入日時:自11月1日午前10時0分~至11月3日午前7時0分

2. 考 察

以上の実験により樹液上昇能力は無処理木の方が明らかに側枝除去木より強い事が判つた。この事実はヒノキ枝打に当つて考慮されねばならぬことである。

側枝除去木に於てもある程度の薬液上昇が見られるのは,残存せるクローネの葉面の蒸散作用によりその滲透価が絶えず高められること,枝打断面や樹皮の割目の各細胞間隙からの蒸散による樹体内水圧の減少,細胞間の滲透圧等によつて説明出来る。

処理木に於て,注入孔よりの薬液下降距離が無処理木に比較して長く(約1.5~2倍)且つ薬液滲透面積がより広範囲に亘るのは,無処理木より樹液上昇能力が小さいため重力方向に対する滲透力が相対的に強力になることによると考えられる。

実験(1),(2)に於て,処理木と無処理木との薬液注入量の差は少いが,その原因については,次の諸事項が考えられる。

(1) 処理木に薬液を注入する場合,無処理木に比し樹液

上昇力が少いため、注入孔より下部への滲透が大で注入孔下部の皮の割目を通じて薬液がしみ出る事。無処理木ではこの様な現象は認められなかつた。

- (2) 二、三の実験により、同一樹種及び略同大の樹木間でも単位時間当りの注入量に個体差がある事。
- (3) 薬液注入時間が短い事。

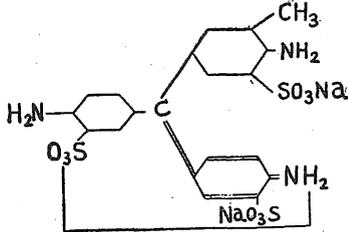
III 薬剤の樹体内分布、並びに薬液吸収量の時間的變化について

1. 実験方法及び結果

大角山実験林谷筋に生育せるスギ、ヒノキを使用した。

供試木No.6 = スギ、樹高8.07m、胸高直径10cm、
供試木No.7 = ヒノキ、樹高6.67m、胸高直径9.3cm、

Acid Magenta の構造式



才 4 表

断面高(m)	0.27	0.33	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3
直径(cm)	12.5	12.3	10.5	9.5	9.0	7.0	6.1	4.6	2.0
方向									
NE (%)	7.6	6.9	3.1	1.2	1.3	2.3	0.9	3.7	6.1
NW "	5.3	4.6	6.3	5.1	4.2	2.2	0.4	1.6	5.6
SE "	0	0	0	1.1	1.9	2.5	1.8	5.9	10.1
SW "	0	0	1.9	1.9	1.7	3.1	2.1	0.9	3.3

(註) 供試木スギ注入時間172時間、注入量2630ml
注入日時；自11月5日午前11時0分～至11月12日午後3時0分

才 5 表

断面高(m)	0.27	0.33	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3
直径(cm)	11.4	11.3	9.5	8.0	6.7	4.7	2.6	1.7
方向								
NE (%)	19.1	9.6	6.3	6.2	7.6	9.2	4.7	2.3
NW "	8.2	4.9	2.8	1.6	0.5	0.6	0.2	0.8
SE "	0	0	0.7	0.8	0.9	5.6	9.5	3.5
SW "	0	0	0	0	0	0	0.7	1.1

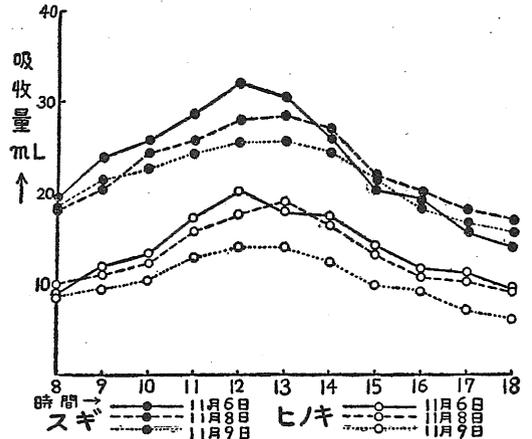
(註) 供試木ヒノキ注入時間194時間、注入量1525ml
注入日時；自11月4日午前11時45分～至11月12日午後1時45分

両供試木共幹の幹北側の地上より高さ30cmに位置の注入孔を設け、注入孔の深さは約5cmとした。

注入薬液としてAcid Magentaの0.25%水溶液を使用した。その構造式は下記の通りである。

注入薬剤の樹体内分布については才4、才5表に、又昼間の薬液吸収量を時間毎に測定した結果については才2図に示した。

才 2 図



2. 考 察

注入孔の上下各3cmに於ける断面の着色面積百分率は、上面で少く下面で多い。これは注入孔の上部に移動する色素が、樹液上昇によつて速かに運搬されるのに対し、重力により下方に移動する色素は、樹液上昇によつて運搬を妨げられる結果、横断面の方向により多く滲透するためであると考えられる。

注入孔の下方に対する薬剤の到達距離が上方のそれに比して極めて小さい事実も上記理由によつて説明出来る。

注入孔の上方1m附近まではNE、NW方向のみ着色が認められるが、約2~3m上方のクローネ下部に至ると、滲透は漸次SE方向にまで拡がる。クローネ中央部位に至ると薬剤は力枝の方向に引きつけられる傾向があるが、更に上部に上るにしたが

つて、すべての方向に略均等に分配されるのを認めた。

葉液の入った枝の横断面をみると、仮導管排列に従い着色は同心円状を呈していた。クローネ上部に於ける樹体内葉液の水平方向への移動は Pit を通じ行われている。以上の諸事実によりクローネ内に於ける葉液の移動は主としてクローネ葉部の蒸散に基くと考える事が出来る。

前年生枝に普ねく分配された **Acid Magenta** がその先方に伸長している当年生枝に至ると稀薄となる。この現象が両生枝の境界面に於ける組織構造の相違に基くものか、当年生枝中に存在すると考えられる特殊高分子物質による色素の吸着に基くものか、或は他の未知の原因に基くものか詳かでない。唯参考までに記すれば、最近伊達⁽¹⁾ (1955) により、2ヶ以上のスルホン基を有するアゾ色素が生体を構成する或種の高分化合物と極めて高い親和性を有する事が認められ、**Acid Magenta** が3ヶのスルホン基を有する事、及び亜鉛には両生枝に於ける斯様な差異、高分子化合物との親和性等が一般的に **Acid Magenta** よりも少い事を考慮すれば、当年生枝中に特殊の高分子化合物の存在を推定して差支ないと思う。

一方樹液上昇経路及び同化物質の下降経路に関しては、各種の実験が行われてをり、Münch⁽²⁾ (1930) は圧流説により、ある程度合理的な説明をしているが、これに対しても近年異説が出ている。

この事に関しては、植物の種類、使用薬剤の種類、同化物質の種類、吸収時期等によつて樹液の通過経路が異なるのではないかと思はれる。

Ⅲ及びⅣの実験に於て、スギ、ヒノキ共、注入孔より上方では **Acid Magenta** が辺材部の仮導管及びその隣接周囲の組織のみを通過しているのに対し、下方では辺材部の仮導管以外に心材部、及び篩部をも通過している。この現象は樹液流動に関する上記の説に照し一応注目すべきであると思う。

オ2図は昼間に於ける葉液吸収量の時間的変動をスギ、ヒノキについて捉えた結果である。両供試木共、朝及び夕方方に於ける単位時間当りの吸収量が12時頃のそれに比し約30~40%減少していた。

一方樹体の大きさ及び立地条件が大略同じ場合のスギ、ヒノキの葉液吸収量を比較すれば、時間に関係なく、前者が後者より約30~50%大である事が認められた。

これはスギの葉面より行われる蒸散量が、ヒノキのそれに比してより大であるとする柴田⁽¹²⁾ (1954) の研究結果と一致する。

V. 要 約

- (1) スギ立木に硫酸亜鉛水溶液を注入した場合に、葉中亜鉛含量は19時間後に約4~5倍に、又一ヶ月後には約6~10倍になった。葉が枯れ初めた時の亜鉛含量は約40P.P.mであつた。
- (2) ヒノキの無処理木と側枝除去木とに **Acid Magenta** 水溶液を注入した場合、葉液上昇能力は前者が後者の約2~3倍であり、下降能力は逆に後者が前者の約1.5~2倍であつた。
- (3) ヒノキ、スギ立木に夫々 **Acid Magenta** 水溶液を注入した場合、葉液はクローネ下部までは注入方向にのみ上昇するも、クローネ内に於ては力枝の方向にひきつけられ、更に上方では各方向の枝に入り幹の横断面でも各方面に分配された。
- (4) **Acid Magenta** 水溶液の吸収量の時間的变化は、朝及び夕方方に於ける単位時間当りの吸収量が12時頃のそれに比し約30~40%減少した。

スギ、ヒノキの葉液吸収量を比較すると、時間に関係なく、前者が後者より約30~50%大であつた。

終りに本研究に当り、御指導、御援助を賜つた名古屋大学教授志方益三博士、本学学長竹崎嘉徳博士、京都大学教授岡崎文彬博士に厚く御礼申し上げると共に実験の一部を手伝つていただいた本学学生、前田新八、萩原洋二両君に対し感謝する。

文 献

- (1) 伊達善夫：アゾ色素のポーラログラフ波に及ぼす界面活性剤の影響。日化中、四国支部第15回常会、講演、1955
- (2) Hartig. Th. : Ueber die endomotischen Eigenschaften der Pflanzenhäute. Bot. Zeit Sept. 313 1853
- (3) 原 摂祐：実験樹木病害篇。P.37 1927
- (4) Kleinstuck. M : Ueber Holzfärbung an lebenden Bäumen. Zeitsch. f. angew. chem. Sept. 239. 1913
- (5) クロトケビイチ。ピー。デー：立木基部からの薬剤の新しい注入方法について。〔レスノエ ホエイストボ〕12. P.24 1953
- (6) 三村鐘三郎：樹木材部の着色及び防腐試験。林試報 17 P.105. 1918
- (7) 三浦伊八郎、川村実平：毒薬による樹木の枯殺法と其検出。大日本山林会報 428 P.14 1918
- (8) Münch : Die Stoffbewegungen in der Pflanze. Jena. 1930

- (9) 成田, 山科, 伊達: 薬剤の立木注入に関する研究. (才1報) アカマツ立木に対する硫酸亜鉛の注入, 並びに針葉中亜鉛のボーラグラフ法による定量. 日林誌.36 (12) P.359 1954
- (10) 成田, 山科, 伊達: 薬剤の立木注入に関する研究. (才2報) スギ, ヒノキ各立木に対する硫酸亜鉛の注入並びに葉中亜鉛のボーラグラフ法による定量. 日林関西支部 講演集 4. 1954
- (11) Piper. C. S: Soil and plant analysis. P.354. 1950
- (12) 柴田信男: 土壌と造林樹種. 造林講座 P.6 1954

SUMMARY

- (1) After the injections of Zn its amount in needles changed thus ; 2 hours later, no changes were found ; 19 hours later, the amount of Zn increased 4~5 times that in the normal condition before the injection, and a month later, increased 6~10 times.
- (2) The effect of partial cutting of branches on the movement of injected chemicals (Acid Magenta) was as follows ; —

We prepared 2 sample trees, one being a control tree and the other a tree in which all branches of the lower $\frac{3}{4}$ parts of the crown were cut out.

In both trees, an upward movement of Acid Magenta injected into the trunks was seen in the xylem and a downward in the xylem and the phloem.

The upper limit of the movement in the con-

- trol tree in 1~2 days after the injection, was 2~3 times as high as that of the treated, and the lower limit of the latter was 1.5 times as low as that of the former, measured from the injection point.
- It seemed that the cutting of branches lessened the ascending velocity of sap in the xylem.
- (3) The absorbability of Acid Magenta into the trunk per hour was at its maximum at noon, and lessened 30~40% in the morning or in the evening.
- (4) The Acid Magenta moved upward only along the xylem in the injection side to the level of the lower part of the crown, where, moving on upward, it took its direction into all branches, and at the level of the upper crown it filled the tracheids in all sides of the trunk.