

(研 究 資 料)

ス ギ の 長 期 水 耕 試 験

斎 藤 勝 郎⁽¹⁾

Katuro SAITO : A Trial of Long-term Water Culture
of *Cryptomeria japonica* Saplings
(Research note)

要 旨 : この報告は、容量 707 l の大型水耕装置で、長期間スギを水耕培養した結果である。

1969 年 19 本のクモトオシスギ 5 年生木を同上装置に設置し、1975 年まで 7 年間水耕培養した。ただし、これらの供試木の一部は台風その他の被害をうけ、1・2 年目に更新したので、培養期間が 5~6 年となった。

1975 年 11 月、これらの水耕木を伐倒解析し、成長量・根量等を調査した。その結果、対照木として周辺の土地に植栽したものに比較して、成長量はあるていど低かったが、いずれも 5~7 年間の長期にわたりほぼ正常に生育していたことが認められた。最終年 (7 年目) には、蒸散作用による培養液の減量が前年より減少し、枯葉の量が多くなる現象が明らかにみられることから、この容量での正常な生育が期待できる限界に近くなったものと考えられる。

1. ま え が き

この報告は、大型水耕装置で、どの程度の期間、スギを水耕培養できるかを主目的として実施したもので、試験は 7 年間実施したが、水耕液はいずれも同一組成のものをを用いた。果樹⁽²⁾を除き林木を長期間培養した報告例がないので、ここにその成績を報告する次第である。

この試験を遂行するにあたり終始ご指導、ご助言をいただいた林業試験場関西支場細井 守支場長、林業試験場造林部早稲田 収除草剤研究室長 (前関西支場造林研究室長) に厚くお礼申上げる。また、試験遂行に当たりご協力下さった関西支場造林研究室の市川孝義、山本久仁雄、藤森隆郎の諸技官に心から感謝する。

2. 水 耕 装 置

(1) 装 置 の 概 要

林業試験場関西支場構内苗畑に 1968 年に大型水耕装置が完成した。水耕装置の概要は図 1 のとおりである。

(2) 容 器

この試験に用いた水耕容器は図 2 のとおりである。内容積 707 l のポットはコンクリート製で土中に埋設している。容器の内面は漏水・浸水を防ぐため塗装したが、これには塗装剤による根の障害をさけるため特殊な高級ペイントを使用した。蓋は鉄製で雨水の浸入を防止するために、若干の勾配をもたせてお

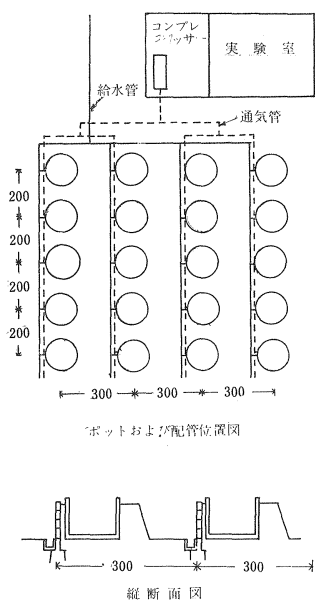


図 1. 水耕装置
(単位 cm)

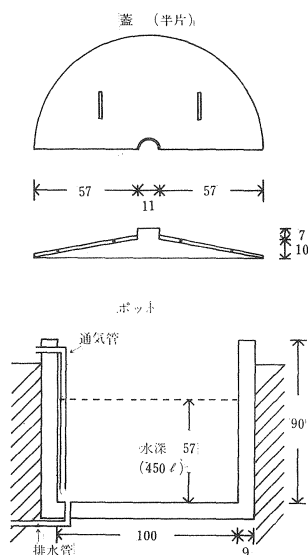


図 2. 水耕容器の大きさ
(単位 cm)

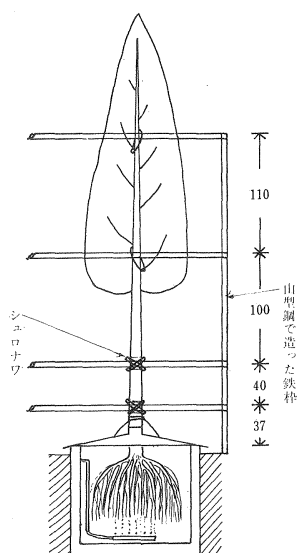


図 3. 樹体支持装置および
樹体支持方法 (単位 cm)

り、内面はサビ止めに上記と同じペイントを塗装した。

(3) 通気装置

エアーコンプレッサーよりポットまで配管し、管の先端に当初はグラスフィルター (3 G の濾板直径 90 mm) を 1 個用いたが、水深 57 cm では水圧と通気圧とのバランスがとれず、通気量を多くするとグラスフィルターの破損することがあったため、2 年目以降は通気し易い熱帯魚の飼育などに使われている大型のエアーストンを 3 個接続し使用した。

エアーコンプレッサーの性能は 10 馬力、排気量 1,272 l/min で、さらに内容積 0.8 m³ の補助タンク 1 個を設置し、通気とエアーコンプレッサーの効率的な稼動を計った。

(4) 樹体支持装置

樹体の支持には、山型鋼を使って、高さ 2.7 m、長さ 9.5 m、幅 9 m の鉄枠を組み、これに固定した (図 3 参照)。

3. 水耕試験方法

(1) 供試材料

供試したスギの品種はクモトオシスギである。挿木苗を支場苗畑に植え付け、5 年経過したものを、2 月に掘取り、根部に付着した土砂を洗い去り、水耕培養に供した。始めの 1 週間は水道水で水耕し、1 週間後より下記の処方の水耕液培養を始めた。

また同じ供試木を水耕装置の外周の畑土壌のところに植栽し対照木とした。

樹体の支持には図 3 に示すとおり、まず合成ゴムパッキングを樹体に巻き、その上からしゅうろなわで鉄枠に結束した。また林木の成長にともない、樹体の安定をはかるため鉄枠上部よりつり上げる方法を併用

表 1. 培養液の養分要素濃度ならびに使用塩類

使用塩類	mg/L	要素量 ppm
NH ₄ NO ₃	114.304	N 40
KH ₂ PO ₄	38.346	(K ₂ O 13.3 P ₂ O ₅ 20)
K ₂ SO ₄	49.454	K ₂ O 26.7
CaCl ₂ ·2 H ₂ O	52.435	CaO 20
MgSO ₄ ·7 H ₂ O	61.158	MgO 10
MgCl ₂ ·6 H ₂ O	50.447	MgO 10
FeCl ₃ ·6 H ₂ O	16.925	Fe ₂ O ₃ 5

表 2. 培養液の組成比較

要素	試験液	塘氏液	芝本氏液	春日井氏液 (畑作物)	森氏液 (果樹)
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
N	40	40	60	40	100
P ₂ O ₅	20	25	20	20	(Pとして 5~20)
K ₂ O	40	30	40	40	(Kとして 100)
CaO	20	20	60	40	(Mgとして 20~30)
MgO	20	10	60	40	(Caとして 100)
Fe ₂ O ₃	5	2	5		

した。さらにポット内に雨水が浸入するのを防ぐため、樹体基部をビニール布でおおった。

(2) 培養液の組成および更新

本試験で使用した培養液は、塘氏液¹⁾、芝本氏液²⁾、春日井氏液³⁾、森氏液⁴⁾らを参考とし、表1で示した塩類を用いて表2のような組成割合に調整した。水は水道水を使用した。

培養液の pH は、HCl をもってできるだけ 4.0 に近く維持されるように調製した。塘¹⁾は、スギの生育には pH 4~5 が最適とのべているが、ここでは根の腐敗をなくするため pH 4 を採用した。

培養液の更新は、成長期の 4 月~11 月には 15 日ごとに、成長休止期の 12 月~3 月は 1 か月ごとに行った。培養液量は 450 l で容器内の水深は 57 cm となり、水面上は上蓋まで 33 cm の空間をもたせて、根系の上部を空气中に露出して、根系への空気（酸素）の供給をはかった。

(3) 培養期間

1969 年 2 月に全ポット 19 個に樹体を固定し水耕培養を始めたが、8 月には、台風 7 号の被害による水耕木の折損、また樹体支持棒との摩擦による支障木が生じた。翌年 1970 年 8 月の台風 9・10 号により再び同じ被害を受けた。このため試験開始後 2 回にわたり水耕木の補充を行ったので全水耕木の培養期間を揃えることができなかった。

すなわち下記のとおり、水耕木により培養期間が 3 種に分けられる。

1969 年 2 月 ~ 1975 年 11 月 7 年 間 6 本

1970 年 2 月 ~ 1975 年 11 月 6 年 間 4 本

1971 年 4 月 ~ 1975 年 11 月 5 年 間 9 本

(4) 通気方法

エアーコンプレッサーより空気圧 0.2 kg/cm² にて送気した。各ポットの気泡の出具合はコックの加減により調整し、通気量を 1 ポット当たり 20 l/min とし連続通気を行った。

エアーストンの気泡は、グラスフィルターに比較して非常に大きく、通気量を増大させることができた。気泡の出口のエアーストンは通気量を一定にするため、年 1 回新しいものと交換した。

溶存酸素の測定はベックマン溶存酸素測定器 777 型によった。溶存酸素は水温、樹体の大きさにより異なるが、培養期間を通じ最低 5~6 ppm を維持できた。

また、樹体の成長とともに森⁴⁾らが行ったように、樹体をひきあげ根群の露出部を増加させ、新根の発生を促して根系の拡大をはかった。

4. 調 査 方 法

1975 年 11 月中旬に全体を概観したところ、水耕培養されたものは土壤に植栽された対照木に比べ枯葉の割合が多くなっている傾向がみられたことから、これ以上正常な生育が期待できないと判断して、水耕培養を打ち切り、調査した。

調査木としては水耕培養期間が 7・6・5 年のものをそれぞれ 5・1・4 本計 10 本、さらに水耕培養装置の外周に植栽した対照木から 1 本と、合計 11 本を調査した。

調査項目は、地上部・地下部の形態的特徴、成長量、総重量、材の含有水分量、培養液の季節的減量、および気温、水温などである。

(1) 地 上 部

調査木は幹・枝・葉について調査し、その他形態的特徴をしらべ、成長量は樹幹解析により算出した。

(2) 根

根の調査は、培養液よりつり上げ 50 分後に測定した。水耕木 No. 1~No. 5 計 5 本について根株と側根に分離し、側根の大きさ（直径）ごとの重量および長さを調査した。

根の太さ 0.5 cm 以下の長さの測定は生重量 3 kg の抽出資料を採取し実測したうえ、これから太さ別の長さを推定した。

地上部・根の重量は各部分から含水率測定用の試料を採取し乾重率を求めた。

(3) 心材・辺材の含有水分率

心材・辺材の含有水分率は、樹幹解析法と同じように 50 cm ごとに円板をとり、材の中心部分（心材）と周辺部分（辺材）から、大きさはほぼ $2.5 \times 2.5 \times 2.0$ cm の資料を 2~1 個とり測定した。ただし、水耕木の 4.5 m 以上と対照木の 6.0 m 以上の部分については心材と辺材の区別はしなかった。

(4) 培養液の減少量（樹木の蒸散量の推定）

培養液を更新するごとに、培養液面の低下量を測定し、培養液の減少量とした。

表 3. 水 耕 木 の 測 定 結 果

水耕木	培養 期間	樹 高	枝下高	胸 高 直 径	幹 重	枝 重	葉 重	地上部重	根 重	全 重	形状商
	年	m	m	cm	kg	kg	kg	kg	kg	kg	
No. 1	7	5.90	2.40	7.6	6.516	2.941	7.674	17.131	4.127	21.258	0.8552
No. 2	7	5.53	2.50	6.7	5.031	1.733	5.375	12.139	3.885	16.024	0.8806
No. 3	7	5.50	2.25	6.6	4.509	2.442	5.958	2.909	3.289	16.198	0.8712
No. 4	7	5.40	2.55	6.2	4.410	1.690	4.519	10.619	3.339	13.958	0.8871
No. 5	7	5.17	1.58	5.6	3.492	1.811	5.221	10.524	3.355	13.879	0.9107
No. 6	6	5.20	2.11	6.2	3.839	1.836	5.568	11.243	3.279	14.522	0.8226
No. 7	5	6.48	2.20	6.6	4.576	2.289	6.585	13.450	3.020	16.470	0.9697
No. 8	5	6.30	2.10	7.3	6.423	2.715	8.183	17.321	3.849	21.170	0.9315
No. 9	5	5.05	2.00	6.1	3.292	1.220	2.916	7.428	2.862	10.290	0.7869
No. 10	5	6.10	2.05	6.4	5.140	2.455	6.447	14.042	2.679	16.721	0.9375
No. 11 (対照木)	7	7.50	2.60	11.8	14.924	3.474	10.023	28.426			0.5975

注) 重量は乾重で示す。

形状商 = $\frac{\text{樹高の } 1/2 \text{ の直径}}{\text{胸高直径}}$

培養液面よりの蒸発量と根の容積の変化量は考えに入れなかった。この理由は、試験終了時に水耕木 No. 5 の根を液面よりひきあげ、液面の低下量を調べたところ、培養液中の根の容積割合は培養液量の 2.8% 程度にすぎず、このことから根の容積を無視しても蒸散量を知るために大きな誤りはないと判断した。

5. 調査結果

調査時には樹齢 12 年であった水耕木の各部の大きさ、重量などは表 3 のとおりであり、対照木を含めた樹高、胸高直径の関係は図 4 のようである。

（1）成長量

調査木のうち全水耕木のほぼ平均の大きさである No. 2 と対照木 No. 11 の樹高と胸高直径の総成長量および連年成長量を図 5・6 に示す。

a. 樹 高

水耕木 No. 2：水耕培養開始にあたり、掘り取

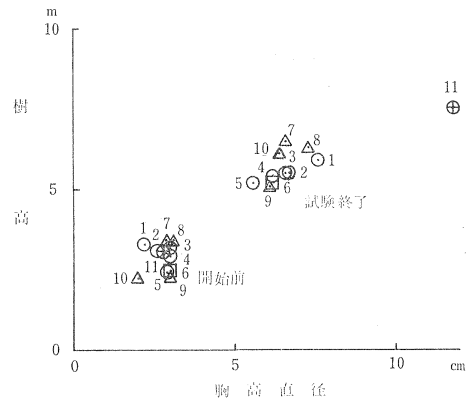


図 4. 供試木の培養開始前と終了後の大きさ
注) ○ 培養期間 7 年, □ 培養期間 6 年,
△ 培養期間 5 年, ⊕ 土じょうに植栽した対照木。

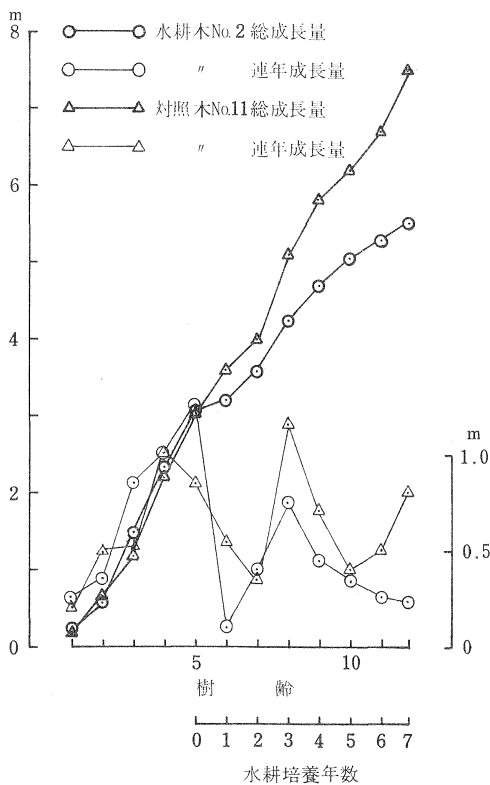


図 5. 樹高成長量曲線

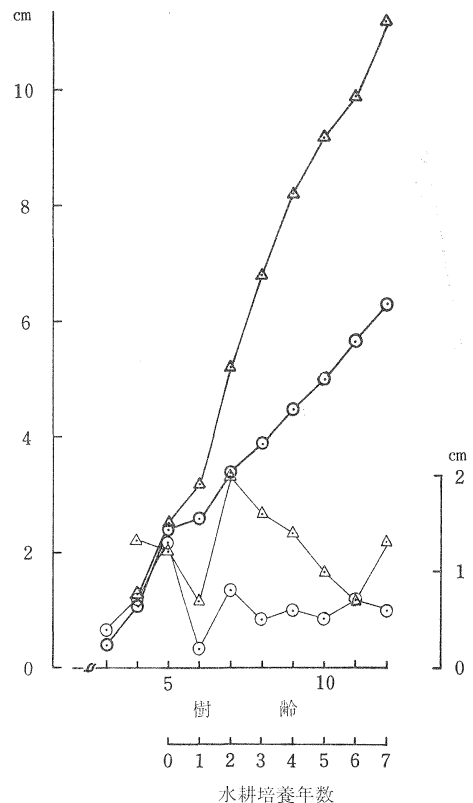


図 6. 胸高直径成長量曲線（凡例は図 5 と同じ）

りおよび据えつけ時にうけた根部の傷害、水耕培養による環境の変化などの悪条件が重なったためか、1年目の樹高成長は著しく少なかった。その後2～3年は40～75 cmと成長し、培養期間中の最高値を示したが、4年以降は次第に低下した。

対照木 No. 11：植栽後1～2年は樹高成長が減少したが、3年目は115 cmの成長がみられた。その後再び低下する傾向がみられた。前者と対比すると、成長経過には多少の相違があり、この試験の範囲では、平均して水耕木の方が成長量の少ないことが認められた。

b. 胸高直径

水耕木 No. 2：樹高成長と同じく1年目の肥大成長は少なく、2年目以降は0.5～0.7 cmの成長を示した。

対照木 No. 11：植栽当年は水耕木と同じく肥大成長は低下したが、2年目には最も増大し、以後年による多少の増減がみられたが、水耕木より明らかに大きな成長を示した。

(2) 幹・枝・葉の量

各部分の実測値は表3のとおりである。水耕木の幹・枝・葉の重量比率はそれぞれ33.2～44.3；14.3～18.9；39.3～49.6%であったのに対して、対照木は同じく52.5；12.2；35.3%であり、水耕木は幹の割合が小さい。

また、水耕の最終年度には、水耕木は対照木に比較して、着葉の枯れる割合が多くなった。すなわち下枝を採取し測定した結果を表4に示しているが、枯葉の比率が水耕木20.3%に対して対照木9.1%と違いがみられた。この原因は不明であるが、各種の養分欠乏症状はみられず、栄養障害とは考えられない。

表3の形状商からも、水耕木の幹は対照木に比較すると比較的完満度が大きく、枝打または密植した場合の状態に近くなっていた。

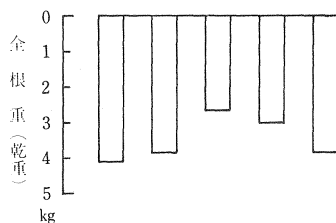
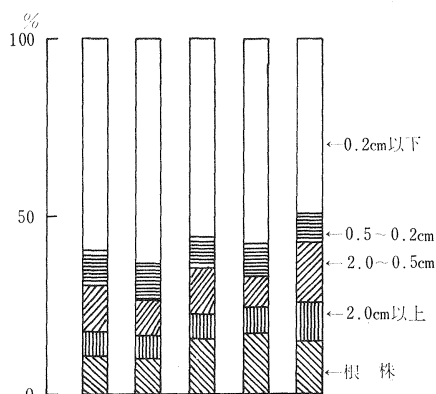
表 4. 生葉と枯葉量の重量比率

	枝	葉	枯 葉	合 計
	%	%	%	
水 耕 木	25.0	54.7	20.3	100
対 照 木	24.3	66.6	9.1	100

注) 無作為に下枝を2本採取して調査した。
いずれも乾燥重量比率である。

表 5. 根系の太さ別長さ

水耕木	2 cm 以上	2.0～ 0.5cm	0.5～ 0.2cm	0.2 cm 以下	合 計
	m	m	m	m	m
No. 1	0.77	30.31	223.12	15247.98	15502.18
No. 2	1.07	28.36	250.71	17132.94	17413.08
No. 7	0.80	12.81	199.89	13656.06	13869.56
No. 8	0.81	29.53	287.29	19631.70	19949.33
No. 10	1.02	21.40	178.35	12188.88	12389.65



水耕培養年数 7 7 5 5 5
水 耕 木 No. 1 2 7 8 10

図 7. 根系の太さ別重量比率

（３） 根 量

根系の太さ別重量比率を図 7 に、また太さ別長さは表 5 に示している。水耕木は太さ 0.2 cm 以下の根が 50% 以上を占め、長さでは 98% を占めており細根が多い。また根毛の少ないいわゆる水耕培養にみられる白根が多数発生した。

木化した部分の通導組織はきわめてよく発達し、長期間水耕されたリングゴ⁴⁾と同様の傾向がみられた。

（４） 心材・辺材の含有水分

水耕木 No. 3 と対照木 No. 11 についての測定結果は表 6 のとおりである。立地条件・伐採時期・幹の位置などにより異なることがいわれているが、この試験の水耕木と対照木を比較した場合、両者間の心材部・辺材部の含水率にはほとんど差はなく、ともに辺材の方が多少高くなる傾向が認められた。

（５） 培養液の減少量

培養液の減少量は図 8 に示した。水面蒸発量と、さきにのべたように培養液の全容積に対する液中の根量の変化は大きくないので、この培養液の減少はほぼ林木の蒸散量に近いものと考えられる。

1971～1975 年 10 月までの 1 本当たりの 1 か月の量で示してあるが、時期別の変化は各供試木ともにほとんど同じ傾向を示した。成長休止期は最も量が少なく、3 月以降は次第に増加して 8 月には最高に達す

表 6. 心 材 ・ 辺 材 の 含 有 水 分 率 (%)

高 さ m	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
水耕木	心材	52.5	55.1	52.4	49.3	55.0	58.3	55.7	58.1	61.3	64.0	64.7		
	辺材	71.5	71.5	69.2	63.9	64.4	65.9	60.5	62.0	60.0				
対照木	心材	57.2	55.8	53.3	50.4	51.8	53.2	62.1	62.2	56.8	56.7	56.9	62.1	65.3
	辺材	66.9	70.4	68.7	66.5	62.5	68.6	68.0	67.4	67.4	68.2	68.2	69.3	

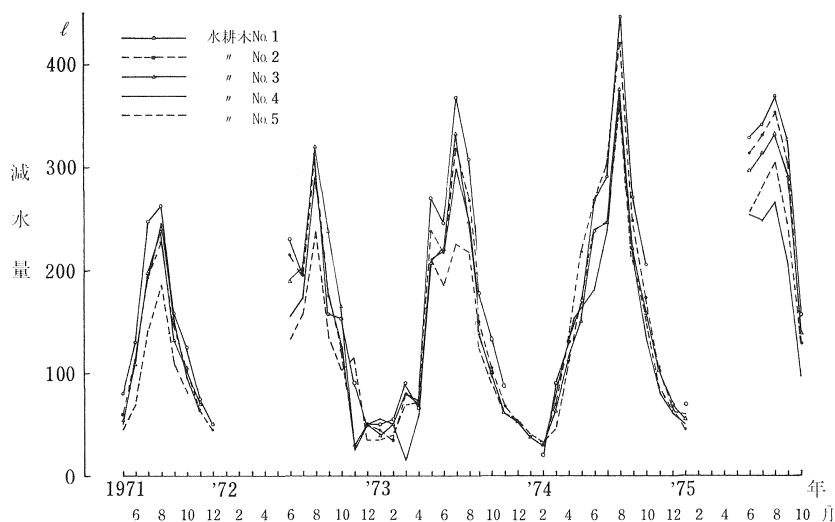


図 8. 1971～1975 年の各月の減水量

注) 1972・1975 年一部欠測。

表7. 葉量1kgあたり1日の減水量

水耕木	l/葉量 kg/日			
	1974年		1975年	
	2月	8月	2月	8月
No. 1	0.09	1.86	0.23	1.55
No. 2	0.19	2.51	0.21	2.12
No. 3	0.18	2.03	0.26	1.80
No. 4	0.25	2.59	0.32	2.59
No. 5	0.19	2.24	0.35	2.24
平均	0.18	2.24	0.27	2.06

注) 最終調査(1975年)における葉量(乾重)をもとに計算した。

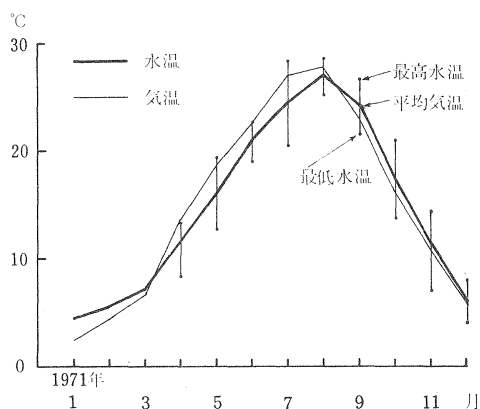


図9. 月別平均気温ならびに水温 (a. m. 9.00)

る。1974年8月において最も減少量の大きかった供試木 No. 1 では 444 l, 少なかった供試木 No. 5 でも 362 l を記録した。9月以降は次第に減少した。この間梅雨期の6・7月に一時的に減少する傾向がみられた。

培養年数の経過すなわち樹木の成長とともに培養液の減量の増加することが認められたが、水耕培養最終年の1975年には各供試木とも減少した。このことは前述した成長量の低下と関連するものと考えられる。

供試木 No. 1～No. 5 の1974年および1975年2月・8月の葉量1kg当たり1か月の減少量を示したものが表7のとおりである。

冬季の2月は年間を通じて最も減少量の少ない時期にあたり、水耕木により多少の差がみられるが、1974・1975年における葉量1kg当たりの減少量平均 0.18・0.27 l である。

夏期の8月には同じく平均 2.25・2.06 l の減少量を示した。

2月の減少量は8月の減少量に比較して 8.0%・13.3% である。

(6) 気温ならびに水温

1971年の月別の平均気温および水温 (a. m. 9.00) の変化と、水温の月の最高・最低の極を図9に示した。4～8月の水温は気温より 0.7～2.7°C 低く他の月は水温がやや高い。夏期の8月の最高水温は 28.6°C (p. m. 2.00～4.00) であった。1日の水温の較差は森⁵⁾らと同様少なく 1.0°C の範囲内に認められた。ポットの大型化ならびに地中に埋設されたため気温に左右されず水温の変化が少なかったものと考えられる。

以上の結果から露地植栽木に比較して成長が劣るとはいえ、この装置で少なくともスギについては6～7年ていどの長期間の水耕培養が可能であることが判明した。

ただ夏期の培養液の減少(ほぼ蒸散量とみなされる)が、'75年は'74年に比べ低下していること、枯葉の着生が目立ってきたことから、この容器の大きさではほぼ正常な生育を期待できる限界に近くなったものと判断される。

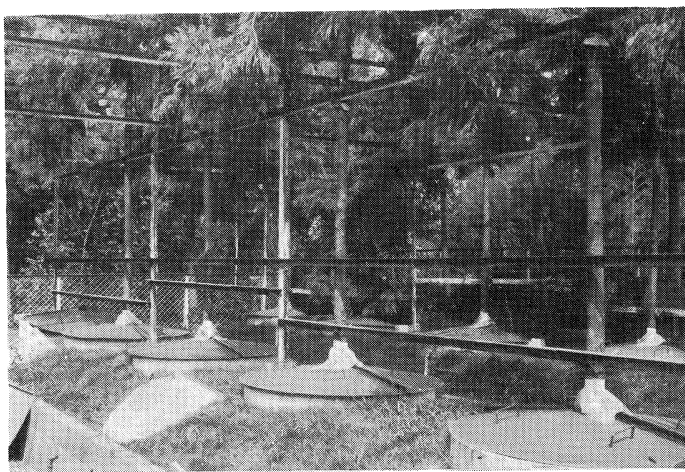
6. お わ り に

今回の長期水耕試験では、水耕木は対照の土耕木よりも樹高で約 25%、直径で約 45% まで成長量が小さかったが、少なくとも 5～7 年間はほぼ正常な状態で水耕培養が可能であることが判明した。

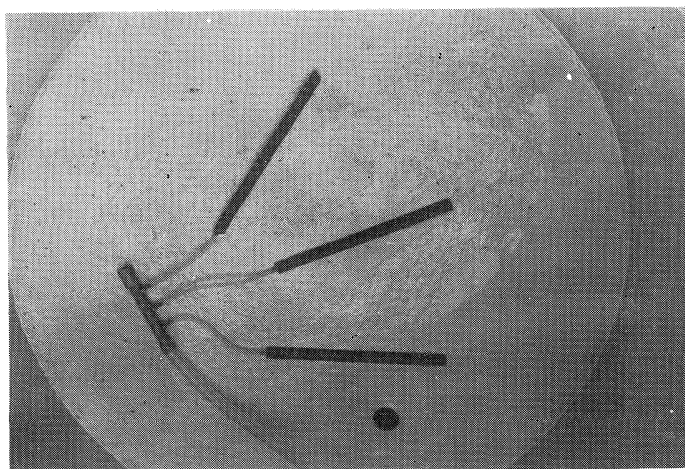
今後、土耕木とほぼ同等の成長を期待できる培養法の改良が課題となろう。ただし水耕期間については容器の大きさによって規定されるであろうから、容器の大きさによりおのずから限界があるであろう。

文 献

- 1) 塘 隆男：わが国主要造林樹種の栄養および施肥に関する研究，林試研報，137，1～158，(1962)
- 2) 芝本武夫：スギ・ヒノキ・アカマツの栄養並に森林土壌の肥沃度に関する研究，林野庁，47～122，(1952)
- 3) 春日井新一郎：水耕法に関する研究，土肥誌，13，11，1～822，(1939)
- 4) 森 英男：果樹の水耕法，農林技術会議事務局，研究成果，4，1～44，(1961)
- 5) ———・山崎利彦：水耕法によるりんご樹の養分吸収に関する研究（第 1 報），園学雑，23，4，205～213，(1955)



1
水耕試驗狀況



2
通氣裝置



3
根系 (供試木 No. 2)