

短報

スギ水気耕栽培苗の成長および材質調査

岩田 若奈・中山 茂生・山中 啓介*

A Study on the Growth and the Wood Properties of Sugi Seedlings Nursed by Water and Air Cultivation Method

IWATA Wakana , NAKAYAMA Shigeo and YAMANAKA Keisuke*

要 旨

水気耕栽培による樹木の育苗は細根の発生を促進するため、植栽後の成長が良好になると考えられているが、これを実証した研究は少ない。本研究では水気耕栽培されたスギ苗木が植栽された林地において、初期成長および植栽後 15~16 年の成長を調査した。その結果、地際直径、胸高直径、樹高とも水気耕苗は普通苗と同程度の成長であった。また、植栽後 16 年の試験地において、応力波伝播速度測定法でスギ立木のヤング係数を算出した。その結果、水気耕苗は普通苗と比較してヤング係数は同程度かやや低かった。したがって今回の調査では、水気耕苗の成長と材質は普通苗と比較し同程度と判断した。

キーワード：スギ、水気耕栽培、初期成長、材質、ヤング係数

I はじめに

近年、日本の森林資源は成熟し、本格的な利用が可能な段階に入っており(林野庁, 2013)、これらの資源を持続的に利用するため「森林・林業再生プラン」が策定された(林野庁, 2009)。この流れを受け、島根県でも将来を見据えた森林・林業政策の方向性を示すため、2008 年に「森林と木材の長期見通し~森林を活かし、ともに暮らすために~」を取りまとめ、伐って、使って、再生する循環型林業への転換を目指している。

循環型林業を実施するうえで伐採後の再生が重要であるものの、再生に掛るコストが大きな支障になっている。このため、森林再生のための低コスト造林技術が各地で研究されている(石塚, 2012)。

本県において、これまでに試みられた低コスト造林技術の 1 つに水気耕栽培された苗木(以下、「水気耕苗」と記す)の利用があげられる。水気耕栽培は土壌を使わず、液肥と空気の供給で苗木を育てる方法である(美濃地, 1994)。この方法で育苗した苗木は細根の発生が促進され

るため、植栽後の成長が良好になると考えられている(美濃地, 1995)。本県では、1995~1997 年に「スギ水気耕栽培苗実証事業」により水気耕苗の植栽試験地が設けられ、これまで保育管理されている。

本研究では、この試験地における水気耕苗の初期成長と 15~16 年目の成長について調査した。また、初期成長が良いとされる水気耕苗による造林では木材の強度性能が低下すると考えられているため、植栽してから 16 年経過した立木のヤング係数を調査した。そして、これらの調査結果から水気耕苗による造林の有効性について検討した。

II 試験方法

1. 試験地概要

植栽試験地は 1995~1997 年に島根県安来市、出雲市、邑南町、浜田市および津和野町の 5 か所に設定された(図 1, 表 1, 2)。各試験地とも水気耕苗と対照の普通苗が植栽され、それぞれ実生と挿木が使用された。水気耕苗は

*島根県東部農林振興センター出雲事務所



図1 水気耕苗の植栽試験地

島根県内の森林組合が栽培したもののうち、本県の苗木規格に適合した2～3年生の苗木が選抜され、水気耕苗とほぼ同じ大きさの普通苗とともに植栽された。

2. 成長調査

1) 初期成長

各試験地とも県林業普及員によって植栽後の地際直径

と樹高が調査されており、このデータを基に3または5成長期の成長を比較した。つづいて、Mann-WhitneyのU検定によって成長の優劣を解析した。

2) 植栽後15～16年の成長

植栽から15～16年目にあたる2012年8～10月に、出雲試験地と浜田試験地で胸高直径と樹高を調査した。また、平均値の比較にはt検定($p < 0.05$)を用いた。なお、いずれの調査地においても間伐は実施されておらず、本数の減少は誤伐や枯死などによるものであった。安来、邑南、津和野の3試験地は、雪害などの気象害を受けたため解析から除外した。

3. 材質調査

植栽から16年目にあたる2012年11月、出雲試験地において枯死木や折損木、極端な被圧木を除いて全ての立木を測定した。調査本数は、水気耕苗の造林木が実生57本、挿木57本、普通苗の造林木が実生39本、挿木60本であった。

材質評価項目には年輪幅や密度、含水率、材色、繊維長などがあるが、今回は構造用製材として重要な指標であるヤング係数を評価項目とした。これには、伐採する

表1 各試験地における植栽概況

試験地	植栽年月	植栽密度 (本/ha)	実生(本)		挿木(本)		植栽合計 (本)
			水気耕苗	普通苗	水気耕苗	普通苗	
安来市	1995年9～12月	1000	47	50	54	50	201
出雲市	1996年11月	3000	75	75	75	75	300
邑南町	1996年10月	3000	50	50	50	50	200
浜田市	1997年12月	—	50	50	50	50	200
津和野町	1997年12月	3000	50	50	50	50	200

注) 浜田試験地では植栽木の密度について、部分的に疎密があったため植栽密度は記載しなかった

表2 植栽時の地際直径と苗高の平均値

試験地	地際直径(mm)				苗高(cm)			
	実生		挿木		実生		挿木	
	水気耕苗	普通苗	水気耕苗	普通苗	水気耕苗	普通苗	水気耕苗	普通苗
安来市	8.4	7.6	7.7	7.4	55.4	39.6	52.6	38.0
出雲市	9.0	7.6	6.8	8.3	53.6	42.0	35.5	48.3
邑南町	8.5	8.0	6.9	5.9	53.1	47.2	33.9	33.3
浜田市	—	—	—	—	51.2	45.5	55.2	42.5
津和野町	8.3	7.9	9.4	6.5	50.3	36.5	59.6	33.9

注) — : 欠測

ことなく立木の状態で非破壊的に調査することができる応力波伝播速度測定法を用いた（林木育種協会，2001）。応力波伝播速度は，応力波速度測定機ファコップ(FAKOPP Enterprise 製：写真1)で測定した。なお，測定位置は山側地際20cm-220cm(2m)間とした。応力波伝播速度から，下式によりヤング係数を算出した。

$$E_s = (V_p)^2 \times \rho / g / 10^6 \times 0.0980665$$

ここで， E_s ：ヤング係数 (kN/mm²)

V_p ：応力波伝播速度 (m/sec)

ρ ：密度 (g/cm³)

g ：重力加速度 (980cm/sec²)



写真1 応力波伝播速度測定機ファコップ

III 結果と考察

1. 成長調査

1) 初期成長

3および5成長期の地際直径と樹高を表3に示す。水気耕苗の成長状況には次の3タイプがみられた。タイプIは，3および5成長期のどちらも水気耕苗の値が大きかった場合で，安来試験地のすべての調査区，出雲試験地における実生の地際直径などでみられた。タイプIIは，3成長期において水気耕苗の値が小さかったが，5成長期は水気耕苗の値が大きかった場合で，出雲試験地における実生の樹高，津和野試験地における実生の地際直径と樹高でみられた。タイプIIIは，3および5成長期のどちらも水気耕苗の値が小さかった場合で，出雲試験地における挿木の地際直径と樹高，邑南試験地における実生の

地際直径と樹高などでみられた。

つぎに，3および5成長期における水気耕苗と普通苗の成長を統計的に評価した（表4）。安来試験地においては，いずれの調査区とも水気耕苗の成長が良好と認められた。一方，出雲試験地における地際直径については，3成長期では水気耕苗の成長が良いと認められたが，5成長期には有意差はみられなくなった。また，同試験地の挿木のように3，5成長期の両方で，普通苗の地際直径と樹高の成長が良いと認められた調査区もあった。

当初，水気耕苗は普通苗に比べて初期成長量が大きいと期待されていたが，本調査結果からその傾向は示されなかった。

2) 植栽後15~16年の成長

胸高直径の測定結果を図2に示した。実生は出雲試験地と浜田試験地のどちらも水気耕苗と普通苗に有意な差は認められなかった。挿木は浜田試験地の水気耕苗が12.2

表3 3および5成長期における水気耕苗と普通苗の地際直径と樹高

試験地	種別	地際直径(mm)				樹高(cm)			
		実生		挿木		実生		挿木	
		3成長期	5成長期	3成長期	5成長期	3成長期	5成長期	3成長期	5成長期
安来市	水気耕苗	45.7	82.7	33.5	57.3	287.7	442.2	173.1	285.6
	普通苗	34.5	63.9	24.9	46.9	223.5	384.9	143.4	252.6
出雲市	水気耕苗	50.6	95.1	25.5	47.3	237.0	444.9	148.4	273.9
	普通苗	45.1	90.7	39.2	72.9	244.0	436.5	203.1	378.1
邑南町	水気耕苗	38.3	84.9	24.2	50.7	221.3	399.5	131.4	263.9
	普通苗	42.0	100.9	21.9	47.6	256.1	512.7	126.5	248.4
浜田市	水気耕苗	43.1	65.3	33.3	50.0	290.2	338.1	216.5	253.0
	普通苗	42.6	61.1	33.9	50.8	275.6	327.4	212.2	245.3
津和野町	水気耕苗	34.7	69.6	38.8	66.7	166.0	386.6	186.8	355.7
	普通苗	35.1	67.6	20.5	39.3	177.5	367.0	120.2	235.7

表4 3および5成長期における水気耕苗と普通苗の成長に関するU検定結果

試験地	地際直径				樹高			
	実生		挿木		実生		挿木	
	3成長期	5成長期	3成長期	5成長期	3成長期	5成長期	3成長期	5成長期
安来市	水気耕苗***	水気耕苗**	水気耕苗***	水気耕苗*	水気耕苗***	水気耕苗*	水気耕苗**	水気耕苗*
出雲市	水気耕苗*	—	普通苗***	普通苗***	—	—	普通苗***	普通苗***
邑南町	—	普通苗**	—	—	普通苗*	普通苗***	—	—
浜田市	—	—	—	—	—	—	—	—
津和野町	—	—	水気耕苗**	水気耕苗***	—	—	水気耕苗**	水気耕苗*

注：水気耕苗：有意差が認められたもののうち水気耕苗の成長が良い，普通苗：有意差が認められたもののうち普通苗の成長が良い
*： $p<0.05$ ，**： $p<0.01$ ，***： $p<0.001$ ，—：有意差なし

cm，普通苗が11.5cmで有意な差が認められた。これに対し，出雲試験地では胸高直径の平均に有意な差は認められなかった。

樹高の測定結果を図3に示した。実生は出雲試験地と浜田試験地のどちらも水気耕苗と普通苗に有意な差は認

められなかった。挿木は出雲試験地の水気耕苗が10.8m，普通苗が12.8mであり，有意な差が認められた。これに対し，浜田試験地では樹高の平均に有意な差は認められなかった。

以上の結果から，植栽後15～16年においても水気耕苗

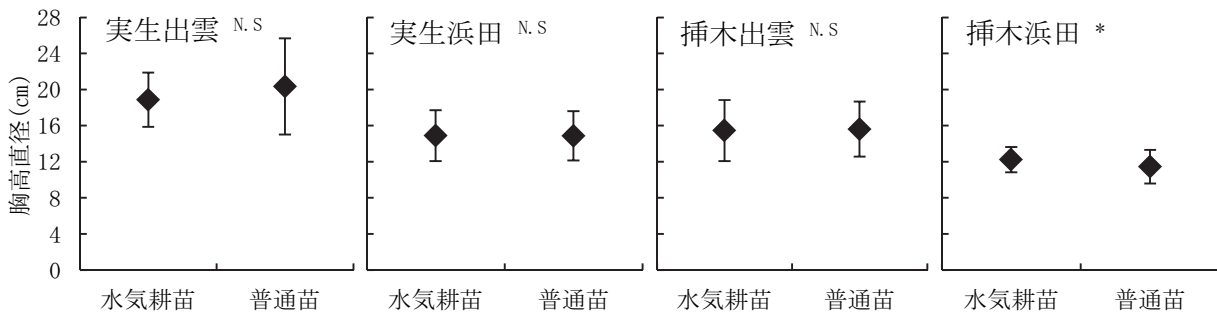


図2 15～16年後の胸高直径

注：調査地横の記号は*： $P<0.05$ で有意差あり，N.S.： $0.05\leq P$ で有意差なし
エラーバーは標準誤差を示す

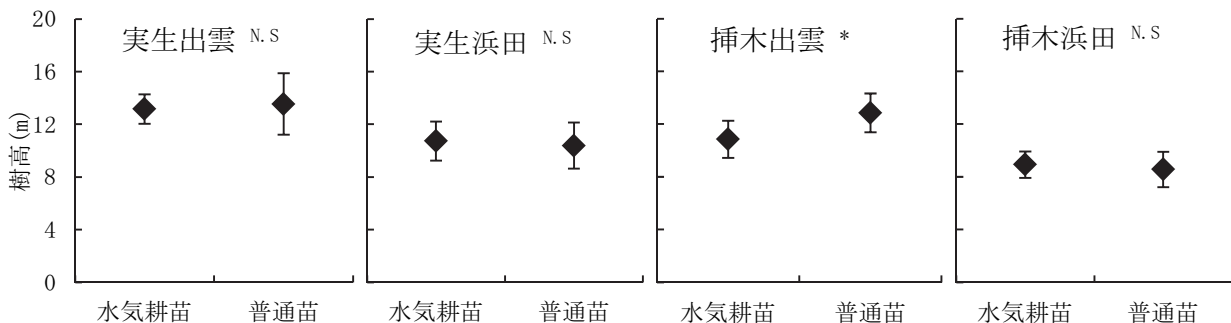


図3 15～16年後の樹高

注：調査地横の記号は*： $P<0.05$ で有意差あり，N.S.： $0.05\leq P$ で有意差なし
エラーバーは標準誤差を示す

の成長が良好であるとはいえなかった。

2. 材質調査

スギ立木のヤング係数算出結果を表5に示した。密度は立木の状態で実測できないことから、いずれの調査木とも、仮定値として生材密度 0.81g/cm^3 を用いた。この生材密度は、県内5地域の林分から採取したスギ丸太300本の平均値である（後藤ら，2008）。ヤング係数をSteel-Dwass法で比較した結果、水気耕苗の挿木と普通苗の挿木の間に危険率1%で有意差が認められ、普通苗の実生と挿木の間に危険率5%で有意差が認められた。しかし、水気耕苗の実生と普通苗の挿木の間には有意差を認めなかった。すなわち、この調査林分における立木のヤング係数は、現時点では普通苗の挿木が有意に高い傾向にあり、水気耕苗の実生はこれと同程度といえる。

後藤ら（2008）によると、県内5地域の間伐、枝打ちなどの施業が行われていない33～35年生のスギ林分から採取した丸太のヤング係数は 7.47kN/mm^2 であり、今回の調査結果は30～39%も低い値となった。これは、今回の調査林分が若齢林であったためと考える。ヤング係数が安定する成熟期が始まる林齢は、スギでは27年以降であり、50年まで増加すると報告されていることから（池田，2002）、材質調査については、今後の検証が必要である。

「製材の日本農林規格」の機械等級区分構造用製材の規格において、最も低い等級E50は曲げヤング係数が 3.9kN/mm^2 以上、 5.9kN/mm^2 未満とされている（農林水産省，2007）。この下限値 3.9kN/mm^2 に満たない立木の本数割合は、水気耕苗の実生、挿木、普通苗の実生、挿木がそれぞれ7%、30%、28%、0%であり、水気耕苗の挿木と普通苗の実生では下限値を満たさない造林木が多かった。しかし、今後の生育に伴うヤング係数の増加により、標準伐期齢までに現在のヤング係数に対して約4割程度の増加が期待できることから（池田，2002）、各林木は等級E50に適合し、平均値においては等級E70を満たすと考えられる。

IV まとめ

本報告は、水気耕苗を植栽した後、3成長期～16年生における成長と材質について調査し、その造林方法に関

表5 スギ立木のヤング係数

	水気耕苗		普通苗	
	実生 (kN/mm^2)	挿木 (kN/mm^2)	実生 (kN/mm^2)	挿木 (kN/mm^2)
調査本数	57	57	39	60
平均	4.92	4.59	4.71	5.21
最大	6.49	6.49	6.29	6.86
最小	3.19	2.91	2.91	4.17
標準偏差	0.66	0.99	0.93	0.56
変動係数(%)	13.5	21.6	19.7	10.8

する2,3の所見を取りまとめた。結果の要約は以下のとおりである。①普通苗を植栽した場合と比較して、初期成長が大きいとは判断されなかった。②植栽後15～16年の成長は、普通苗と同程度と判断された。③植栽後16年目のヤング係数を比較すると、水気耕苗は普通苗と同程度か、やや低かった。

成長量が大きい場合、年輪幅の増大による強度低下が心配されたが、5成長期までの地際直径、16年生の胸高直径から考えて、この懸念は検討を要さない。ただし、今回は非破壊的な手法によって材質評価したものであり、標準伐期齢に達するまでの時点で製材品の材質を詳細に調査すべきと考える。また、今後は齢級ごとの成長と、成長に伴うヤング係数の増加程度について調査を継続したい。

謝辞

本研究を実施するに当たり、県林業普及員の皆様には試験地の設定および調査に多大なご協力を頂いた。ここに深謝致します。

引用文献

- 後藤崇志・中山茂生・池淵 隆・原 勇治・古野 毅(2008) 島根県産スギ造林木の材質及び強度特性に及ぼす枝打ち・間伐の影響(第1報)－丸太の外観特性と動的ヤング係数について－. 木材工業 63(7): 307-312.
- 池田潔彦(2002) 応力波伝播速度による立木材質の評価と適用に関する研究. 静岡林技セ研報 29: 1-63.
- 石塚森吉(2012) 低コスト造林技術の研究開発方向. 現代林業 9: 14-17.
- 美濃地忠敬(1995) 育林機械開発を目指して5水気耕栽培によるポット育苗. 林経協月報 403: 50-60.

美濃地忠敬（1994）水気耕方式ポットによる造林（森林科学講座）．林業新知識 90：10-11．

農林水産省（2007）製材の日本農林規格．平成 19 年 8 月 29 日農林水産省告示第 1083 号．

林木育種協会（2001）ヤング率．（林木の材質検定法とそ

の実際－国産材を活かす林木育種へ向けて－．林木育種協会）：30-31．

林野庁（2009）森林・林業再生プラン．
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/saisei/>

林野庁（2013）森林・林業白書：9．