

論文

林木の生育環境と材質 (I)

多雪地域のスギ・ヒノキ幼齢木の樹幹内における  
圧縮アテ材量とその分布

古川 郁夫\*

坂尾 正紘\*\*

橋詰 隼人\*

岸本 潤\*\*\*

Environmental Influence on Wood Quality (I)

Distribution and Amount of Compression Wood within the Stems  
of Young Sugi and Hinoki Trees Grown in a Heavy Snowfall District

Ikuo FURUKAWA\*

Masahiro SAKAO\*\*

Hayato HASHIZUME\*

Jun KISHIMOTO\*\*\*

Summary

The purpose of this study is to evaluate the environmental influence on the wood quality of young coniferous trees planted in a mountainous region with heavy snowfall. The distribution of compression wood (CW) within the stems of sugi (*Cryptomeria japonica*) and hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) trees was investigated quantitatively in relation to the amount of annual snowfall and to the degree of slope at the plantation site. By using two species of sugi trees, the inter-species difference was examined. These two species are 'Okinoyama-sugi' which is an

---

\*鳥取大学農学部 農林総合科学科 森林生産学講座

\* Department of Forestry Science, Faculty of Agriculture, Tottori University

\*\* 日本きのこセンター

\*\* Nihon - Kinoko Center, Tottori

\*\*\*鳥取大学農学部 農林総合科学科 生存環境科学講座

\*\*\* Department of Environmental Science, Faculty of Agriculture, Tottori University

anti-snow species grown natively in Tottori prefecture in western Japan, and 'Boka-sugi' which is an ordinary species grown in Toyama prefecture in central Japan. By using hinoki trees, the slope effect on CW formation within the stems was investigated. Furthermore, the relationship between the special tending work called 'Yuki-okoshi' (rising from the snow) and the CW formation was also discussed.

Boka-sugi trees showed large stem-curvature both of the 'basal sweep' and the 'stem sweep' types because of the creep of the piled snow on the slope. These also showed a high content of CW, which was distributed not only in the down-hill side but also in the up-hill side within the stem. By contrast, Okinoyama-sugi showed slight stem-curvature and a smaller amount of CW than that of Boka-sugi.

The stem curvature of hinoki trees showed a distinct difference on the gentle and the steep slope of the plantation site, but the CW content on both slopes was almost the same. This might be due to the Yuki-okoshi intensive care method, which is applied on young hinoki trees planted at the steep-slope site, which cancels the natural formation of CW. Yuki-okoshi seemed to be a very effective way to prevent over-formation of CW and over-curvature of the stem from the creep of the snow.

During the early growth period of the stems, from four to fifteen years old, a positive correlation ( $r=0.45\sim 0.85$ ) existed between the amount of annual CW formation and the annual snowfall.

## I 緒言

我国の多雪地帯である日本海側に造林されたスギやヒノキは、しばしば降雪や積雪によって雪害を受け、これによる経済的損失ならびに造林意欲の低下は無視できない状態にある<sup>1)</sup>。若い造林地では積雪の荷重あるいは圧力によって造林木は倒伏することが多い。そのために「雪起こし」と呼ばれる我国に独特の森林保育作業を余儀なくされている。とくに湿気の高い日本海側の雪による被害は、冠雪による樹幹の折損（冠雪害）を始め、雪圧による樹幹の割裂、変形、倒伏（雪圧害）など林木材質に著しく悪い影響を及ぼしている。しかしながら、雪と幼齡林木の材質との関係について調べた研究は少ない。

そこで本研究では、積雪が幼齡造林木のスギとヒノキの材質に及ぼす影響を調べる目的で、まず雪圧害と関係の深い林地傾斜角および最大積雪深が樹幹形状および樹幹内部の圧縮アテ材（compression wood）の分布とその量に及ぼす影響について検討した。とくに、スギでは耐雪性の異なる2品種間での違いについて、またヒノキでは同一品種による地形（林地傾斜角）の影響について検討した。さらに、雪起こしと圧縮アテ材形成との関連性についても考察した。

## II 材料と方法

### 1. 供試木とその生育環境

供試木は、鳥取大学蒜山演習林第11林班に植栽されていた16年生スギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) および同演習林第20林班の10年生のヒノキ (*Chamaecyparis obtusa* Endl.) を用いた。スギは、雪害に強いとされているオキノヤマスギ (鳥取県産, 実生) と平地性で耐雪性の乏しいボカスギ (富山県産, さし木) の2品種を各3本供試した。ヒノキは、同一品種の造林木 (鳥取県産, 実生) で林地傾斜角が32°~40°の急斜地 (斜面中腹) と8°~12°の緩斜地 (尾根筋) の2ヶ所から各3本を採取し供試した。

ところで、蒜山演習林は鳥取と岡山両県の県境に位置し、標高は600~870mで、冬期の降雪は12月から翌年3月までの4ヶ月間に集中し、積雪深は例年100cm以上を記録する多雪地域である。雪質は湿気を多く含んだ典型的な日本海性の雪 (ザラメ雪) である。本研究に使用した最深積雪値は同演習林事務所横で観測してきた気象データに依った。

また、雪起こしについては、供試木のスギは植林後2年間雪起こしをただけでその後実施していないのに対し、供試木のヒノキは植栽翌年から毎年実施してきたが、1984年の豪雪後雪起こしをせず、自然状態で放置したものである。

表1に供試木の樹高、胸高直径、傾斜幅 (垂直基準線に沿った地上高1mのところから幹までの水平距離)、樹幹傾角 (地上高1mのところでの樹幹の垂線に対する傾斜角度)、林地傾斜角を示した。

表1 供試木の概要

No.	樹種名	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	傾斜幅 (cm)	樹幹傾角 (度)	傾斜角 (度)	備 考
1	オキノヤマスギ	12.5	9.7	70	2	20	伐倒 S.61.6.6. 演習林11林班,
2	オキノヤマスギ	9.2	8.1	42	8	20	伐倒 S.61.10.2. 16年生,
3	オキノヤマスギ	8.2	7.7	77	11	20	伐倒 S.61.10.2. 東向斜面
4	ボカスギ	11.5	6.9	90	4	15	伐倒 S.61.6.6.
5	ボカスギ	8.6	5.5	58	14	10	伐倒 S.61.10.2.
6	ボカスギ	9.5	5.8	65	8	10	伐倒 S.61.10.2.
7	ヒノキ	7	4.8	100	20	32	伐倒 S.61.6.6. 演習林20林班,
8	ヒノキ	6	4.2	50	7	32	伐倒 S.61.10.2. 10年生,
9	ヒノキ	5	3.7	150	40	40	伐倒 S.61.6.6. 西向斜面
10	ヒノキ	2	3.4	22	1	8	伐倒 S.61.6.6.
11	ヒノキ	4.1	2.9	37	9	12	伐倒 S.61.10.2.
12	ヒノキ	6	3.6	40	5	12	伐倒 S.61.6.6.

## 2. 樹幹析解

各供試木の地際から地上高1.5mまでの間の樹幹形状および樹幹縦断面における圧縮アテ材の垂直分布を調べるために樹幹析解を行った。解析用の円板はアテ材率測定用のもの（次項参照）を用いた。各円板の山側および谷側に付した印しを基準として、山側と谷側の2方向について2年輪毎に年輪幅および圧縮アテ材幅を測定した。樹幹析解図は、樹幹形状の概観を相似的に図示したものと各円板の髓を垂直基準線上市にとり圧縮アテ材分布を図解したものの2種類を作成した。

## 3. アテ材率の測定

各供試木の地際から地上高1.5mまでの間の樹幹内部の圧縮アテ材量を測定した。

まず、各供試木の樹芯（髓）に沿って、これと垂直な面から厚さ2cmの円板を連続して採取した。各供試木より約100枚の円板を採取した。各円板には山側と谷側が区別できるように印しをつけておくとともに、供試木の元口から末口に向かって連続番号を付した。

次に、各円板中の圧縮アテ材部を軟X線を用いて撮影した。各円板をX線フィルム（富士FGソフテックスフィルム）上に置き、木口面に対して垂直上方の60cm高さから100V、10mAで約30秒間軟X線を照射した。軟X線発生装置はソフテックス社製J型を使用した。この方法によって圧縮アテ材部、晩材部、円板の輪郭等を明瞭にフィルム上に記録できた。ただし、X線の入射方向に対して年輪界が傾斜したり湾曲した部分では撮影像が不鮮明だったので、そのような円板の撮影データは解析から除外した。

つづいて、ディジタイザー（ナック社製ソニックディジタイザー）を用いて、X線フィルムに撮影された各円板の木口断面積中に占める圧縮アテ材部分の面積割合を計測し、これを圧縮アテ材率（以下略してアテ材率とする）とした。アテ材率は、各年輪毎に計測したもの（各年アテ材率と称する）と木口総面積に対する圧縮アテ材部総面積の割合（総アテ材率と称する）の両者で示すことにした。

なお、測定にあたっては偽年輪の有無、晩材部と圧縮アテ材部の区別には特に注意を払い、撮影像と被写体円板とを詳細に比較することにより、撮影像解釈の誤りを最小限になるようにした。

## III 結果と考察

### 1. 樹幹形状と圧縮アテ材分布

図1にオキノヤマスギ（No.2 供試木）の、図2にボカスギ（No.4 供試木）の地上高1.5mまでの樹幹形状と樹幹内部の圧縮アテ材分布を示す。ボカスギは全供試木においてオキノヤマ

スギより樹幹の変形 (谷側への湾曲) が大きく, 圧縮アテ材も谷側だけでなく山側にも多く分布していた。しかも圧縮アテ材は地上高1.5mの所でも明瞭に存在していた。

積雪による樹幹の変形 (stem curvatures) には種々の型があることが知られている<sup>1,2)</sup>。その代表的なものとして, 幹脚部 (根元部) だけが谷側へ湾曲し, 上部の幹は直立している「根元曲がり (basal sweep)」, 幹全体が弓なりになって谷側に大きく湾曲した「幹曲がり (stem sweep)」, 根元曲がりもしくは幹曲がりをした幹が急激に起き上がり, ややS字型に変形した「S字型幹曲がり (overcorrection)」の3つの型があり, さらに鉤型に不規則に折れ曲がった「鉤型幹曲がり (crook)」や「屈曲 (knee bent)」などがある。ボカスギの樹幹変形はす

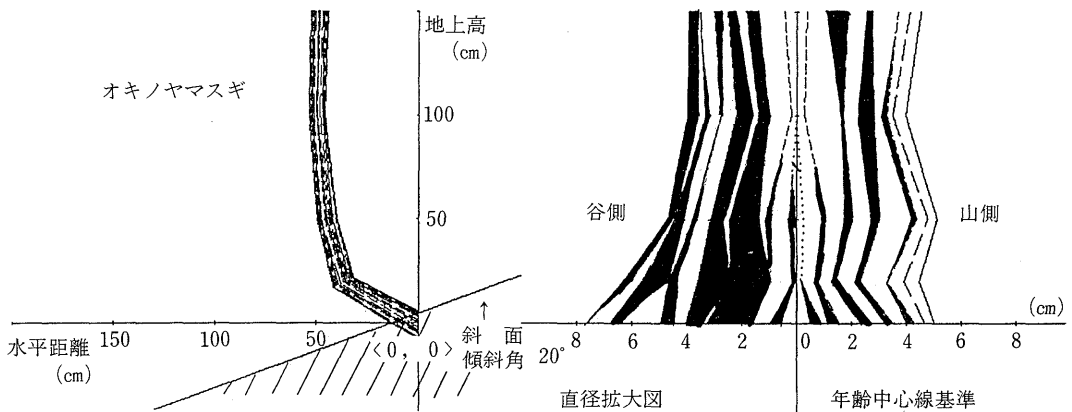


図1 オキノヤマスギの樹幹形状(左)と圧縮アテ材分布(右; 図中黒く塗りつぶしている部分はアテ材を示す)

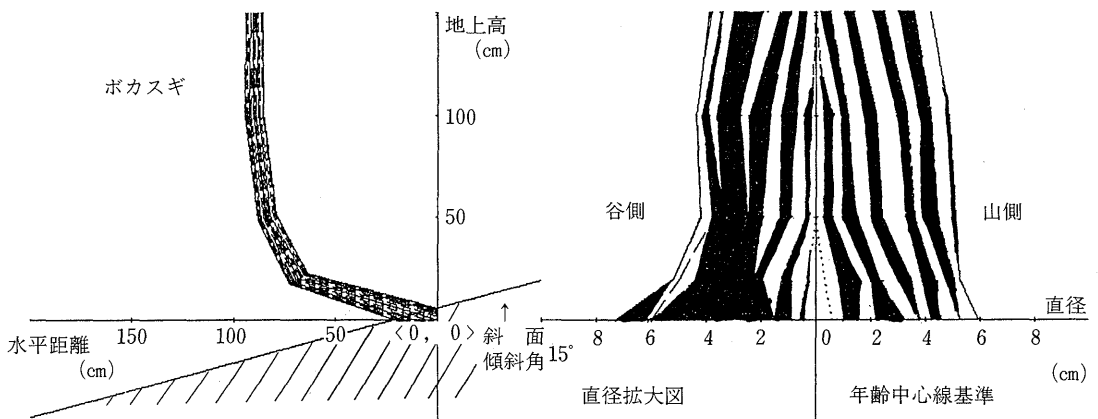


図2 ボカスギの樹幹形状(左)と圧縮アテ材分布(右)

べて根元曲がりか幹曲がりであって、オキノヤマスギよりも曲がりの程度が大きかった。これは積雪による雪圧もしくは積雪の匍行力によって生じたものであって、雪圧による倒伏性と消雪後の回復性(起き上がり力)の違いが幹脚及び樹幹変形の程度を決定しているものと推定された。このように耐雪性の異なる2品種間において、樹幹の変形、圧縮アテ材の垂直分布にはっきりと違いが認められた。

図3および図4に急斜地(No.7供試木)と緩斜地(No.10供試木)に生育していたヒノキの樹幹形状と樹幹内部の圧縮アテ材分布を示す。樹幹の変形は、急斜地のものでは谷側に大きく弓なりに湾曲した幹曲がりを示すのに対し、緩斜地のものでは僅かな根元曲がりしか認められる程度であった。樹幹形状は、このように植栽地形によって著しく異っていた。ところが樹幹内部の圧縮アテ材の分布はほとんど同じであった。すなわち、圧縮アテ材は谷側に偏っ

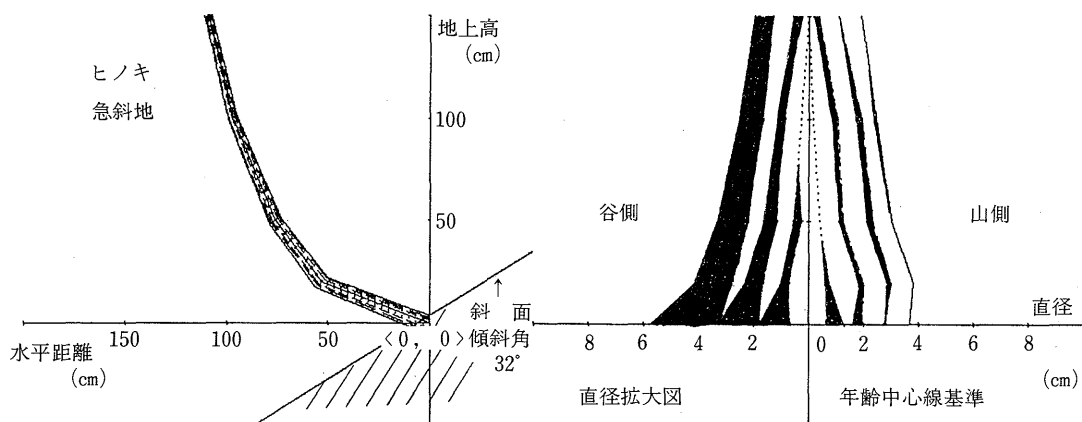


図3 急斜地ヒノキの樹幹形状(左)と圧縮アテ材分布(右)

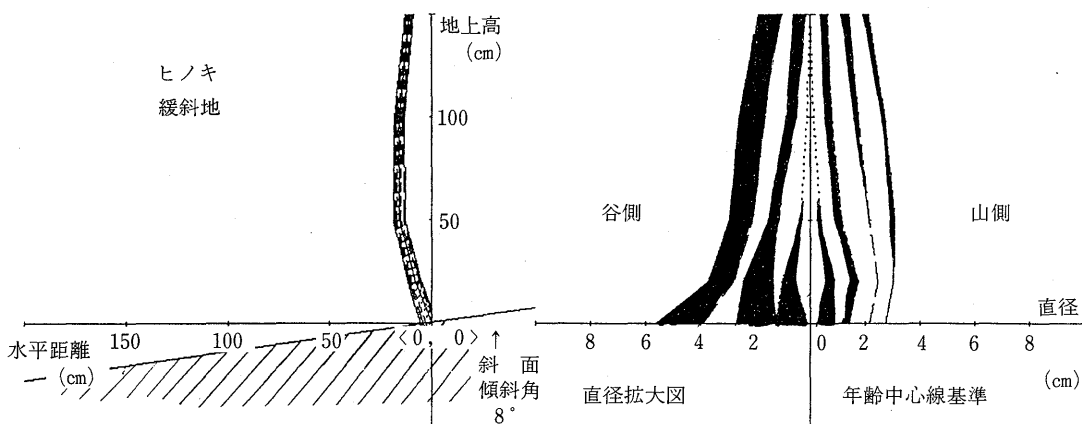


図4 緩斜地ヒノキの樹幹形状(左)と圧縮アテ材分布(右)

て存在し、山側では僅かに認められる程度であった。これは、急斜地では毎年丁寧に雪起こしが行われてきたため、アテ材の形成に斜面傾斜度の影響がでなかったものと思われる。また、ヒノキにおいても、圧縮アテ材は地上高1.5mのところまで明瞭に認められた。

## 2. 総アテ材率の垂直変動

図5にオキノヤマスギとボカスギの山側・谷側別アテ材率および総アテ材率の垂直方向の変化(垂直変動)を示す。図中の各プロットは各供試木3本の平均値を示す。ボカスギでは、地際部から地上高1.5mまでの間、総アテ材率は約50%と高い値を維持していた。オキノヤマスギでは、地上高0.6mまでは約40%、それより上部では地上高とともに減少する傾向がみられ、地上高1.5mのところでは28%であった。このようにボカスギにおいて総アテ材率が高かったのは、谷側でのアテ材率が約30%と高く、さらに山側でのアテ材率が約20%とオキノヤマスギのそれに比べて2~3倍も高いことに依る。この原因としては、傾斜地造林木に通常みられる圧縮アテ材形成の外に、雪圧に対する樹幹の倒伏性(幼齡樹幹の柔剛性)および消雪後に幹が起き上るときの回復性の違い<sup>3)</sup>が挙げられる。とくに、ボカスギに見られる山側での圧縮アテ材は早材部で著しいことから、倒伏した幹が急激に回復するときの overcorrection が一因と考えられる。これに対して、オキノヤマスギでは、雪圧に対する抵抗性が高く、樹幹の変形も小さく、融雪後の起き上りも比較的小さいため overcorrection も発生しなかったものと推定される。しかし、雪圧によって倒伏した造林木の起き上り方については更に詳細な観察が必要である。

図6に急斜地および緩斜地で生育したヒノキの総アテ材率および山側・谷側別アテ材率の垂直変動を示す。図中の各プロットは各供試木3本の平均値を示す。いずれの斜面においても、総アテ材率は地上高0.6m以下の幹脚部で約40%と高かった。緩斜地のものでは地上高が高くなる程総アテ材率は減少する傾向が認められたが、急斜地のものでは地上高1.8mまでは減少するが、それより上部では再び増加する傾向が認められた。このように急斜地ヒノキが地上高1.0~1.5mのところアテ材率が増加したのは、谷側でのアテ材率の増加に加え、山側でのアテ材率の上昇のためである。これは、急斜地での雪起こしが強すぎたことによる人為的なアテ材形成によるものであろう。

以上のことから、多雪地域のスギやヒノキの幼齡林木中での圧縮アテ材形成には、傾斜地造林木に通常みられる圧縮アテ材形成の外に、雪圧による樹幹の変形(根元曲がりや幹曲がり)に伴う谷側でのアテ材形成、品種特性に起因する倒伏した幹の立ち直り方の違いによって発生する山側でのアテ材形成、さらに雪起こしによる人為的な樹幹の変形による山側でのアテ材形成などが主な要因として挙げられる。とくに雪起こしについては、実施のタイミングを見計らったうえで、自然の回復(起き上り)を補助する程度にとどめ、強くしすぎないことが肝要である。

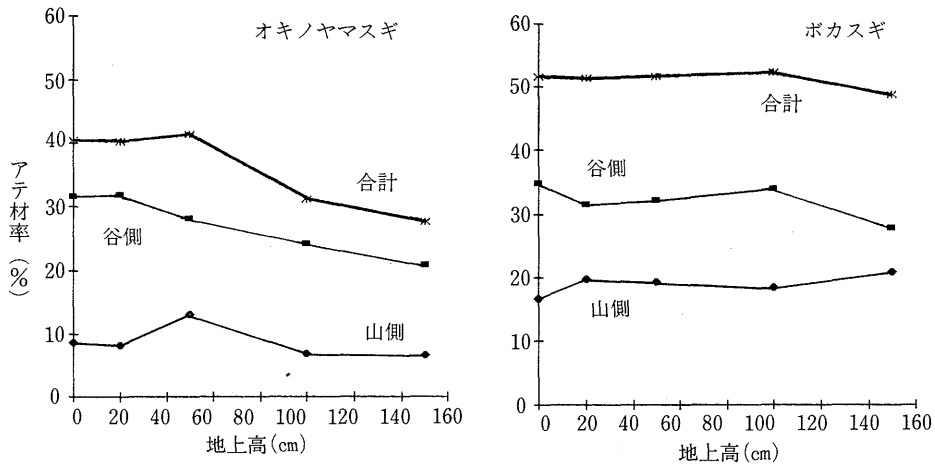


図5 オキノヤマスギとボカスギの総アテ材率および谷側・山側アテ材率の垂直変動

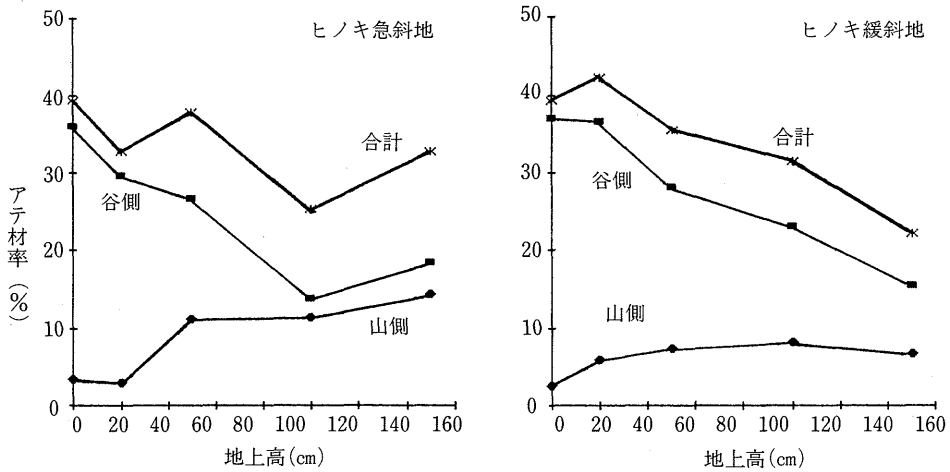


図6 急斜地ヒノキと緩斜地ヒノキの総アテ材率及び谷側・山側アテ材率の垂直変動

### 3. 各年アテ材率の経年変動と最大積雪深との関係

図7と図8に各年アテ材率（各年輪毎の山側と谷側のアテ材率の和）の地上高別経年変動と、各年輪が形成された前年の12月から当年の3月までの最大積雪深を示す。図7にはオキ



ノヤマスギとボカスギについて、図8には急斜地と緩斜地で生育したヒノキについて示す。各年アテ材率の各プロットは全供試木の当該年輪部の平均値を示す。

オキノヤマスギとボカスギの各年アテ材率の経年変動パターンは、ボカスギが高いアテ材率を示したことを除けば、地上高に関係なくよく似た傾向を示した。すなわち、髓から第4年輪目までは積雪量に関係なくアテ材率が一様に増加し、それにつづく約10年間はアテ材率と積雪量の間には正の相関関係 ( $r=0.56\sim 0.84$ ) が認められた。これは発芽後4年間の幼苗期の幹あるいは梢端部における材形成後4年目までの若い幹では、始めのうちは幹の可撓性が大きく、冠雪や雪圧の影響を受けにくい、加齢とともに次第にこれらの影響を受け易くなるためであろう。これに続く約10年間(幼齡期)は、樹幹の直径成長の割に樹冠の発達が著しく、しかも幹の材質は不安定な未成熟材であるなど、林木が冠雪や雪圧に耐えられる程十分に発達しておらず、最も雪害を受けやすい時期であると云えよう。本実験の結果は、このように生育環境が幼齡造林木中の圧縮アテ材形成にその発達段階に応じた影響を及ぼすことを、明瞭に示している。ただし、材形成後15年以上経つと、幹の材質も成熟化し、雪圧によるアテ材形成も減少するものと思われる。この点に関して、小野寺は、スギの場合、根元直径が20cmになると雪圧によるアテ材形成はなくなると報告している<sup>4)</sup>。

さらに、材形成4年目以降では、積雪量が同じであれば若い時の方が積雪の影響を強く受ける(アテ材率が高くなる)傾向が認められた。例えば、図7において、1975年(地際部で髓から第5年輪)と1981年(地際部で髓から第11年輪)はいずれも最大積雪深は180cmであったが、オキノヤマスギの場合、地際部でのアテ材率が1975年には70%であったが、1981年には30%程度であった。ボカスギにおいても同様の傾向が認められた。

また、図8のヒノキにおいてもスギの場合と同様に、材形成後4年目(髓から第4年輪)までは積雪量に関係なくアテ材率が増加し、その後に形成された年輪ではアテ材率と積雪量の間にはほぼ正の相関関係 ( $r=0.45\sim 0.66$ ) が認められた。

また、急斜地のヒノキは1984年まで丁寧に雪起こしをしたため、地上高0.5m以上の幹部でのアテ材率が非常に低い。ところが、1984年の豪雪以降は雪起こしをしていないため、急激にアテ材率が増加している。このように雪起こしは、地際より少し上部の樹幹部でのアテ材形成を抑制する効果のあることが認められた。

したがって、地上高別各年アテ材率と最大積雪深の関係を調べることは、多雪地域でのスギやヒノキなどの幼齡造林木に対する雪起こし作業の必要年限を判定できるだけでなく、加工・利用上の欠点材である圧縮アテ材形成を最少限に食い止めるような育林技術の開発にも有益であると思われる。

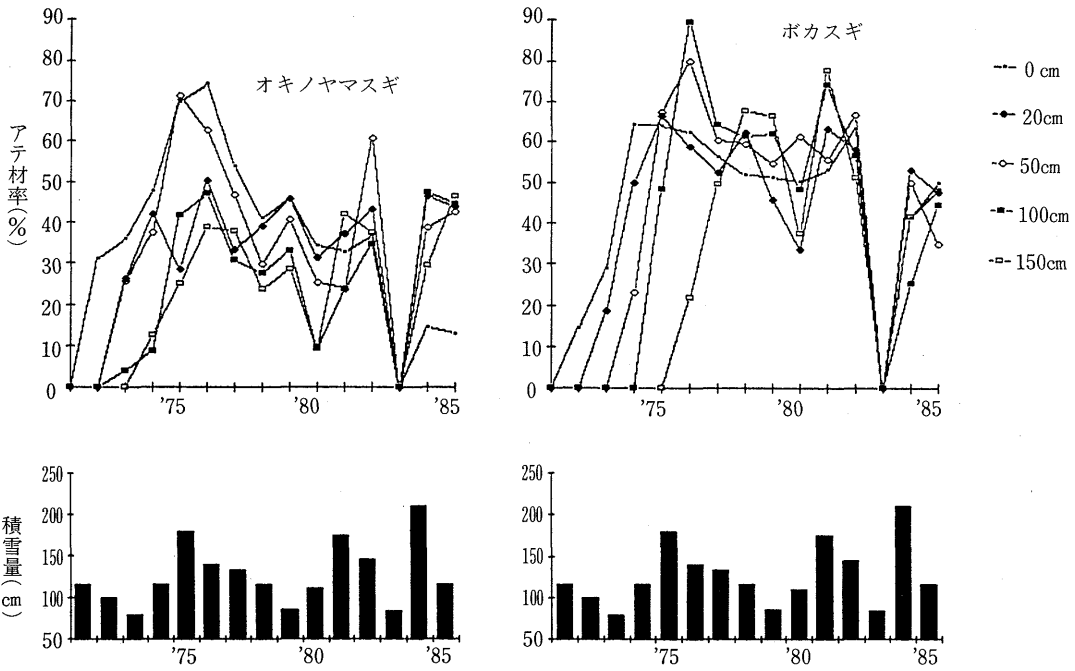


図7 オキノヤマスギ(左)とボカスギ(右)の地上高別各年アテ材率と最大積雪量

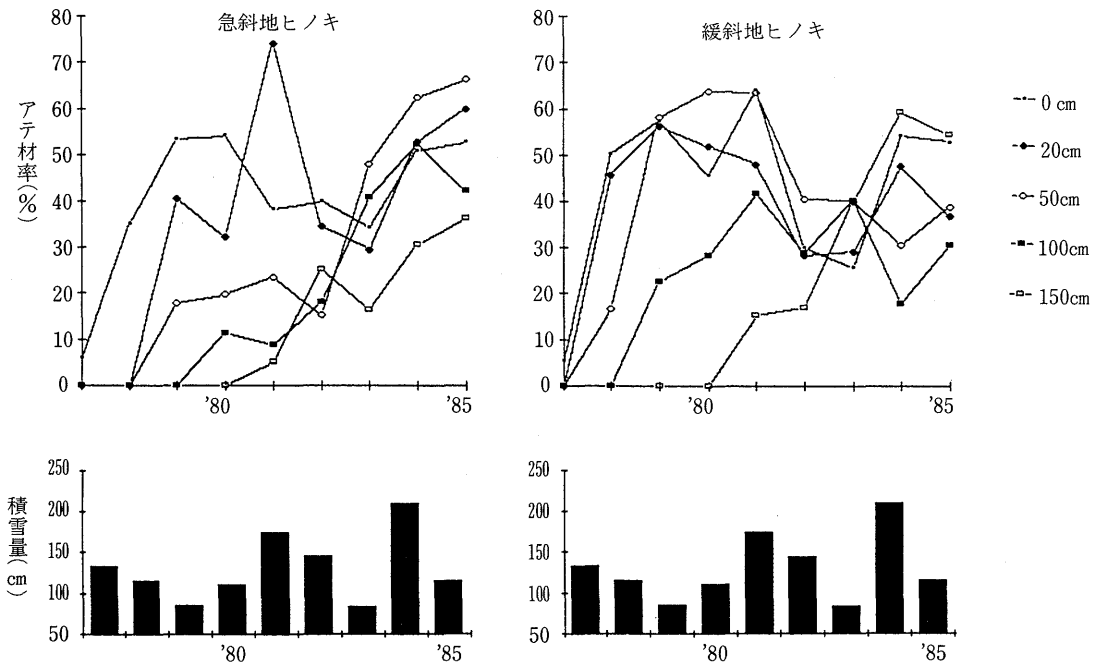


図8 急斜地ヒノキ(左)と緩斜地ヒノキ(右)の地上高別各年アテ材率と最大積雪量

## IV 結 論

多雪地域である鳥取大学蒜山演習林内に人工造林された耐雪性の異なる2品種のスギ（オキノヤマスギとボカスギ）および同一品種で地形条件が異なる（急斜面と緩斜面）ヒノキの幼齢木の樹幹形成および樹幹内部での圧縮アテ材量とその分布に及ぼす積雪の影響と雪起こしの効果について検討した結果、以下の結論を得た。

(1) 耐雪性の異なるスギの2品種間において、圧縮アテ材形成量とその分布に著しい相違が認められた。すなわち、耐雪性の乏しいボカスギは、雪圧による樹幹の変形（根元曲がりと幹曲がり）が大きく、圧縮アテ材は谷側だけでなく山側にも多く存在し、地際部から地上高1.5mまでの間で高いアテ材率（約50%）を示した。これに対し、耐雪性品種であるオキノヤマスギでは、樹幹の変形も少なく、山側でのアテ材形成も僅かであり、アテ材率も幹脚部（地上高0.5mまで）で約40%を示したものの、それより上部では地上高が増加するにつれて減少した。

(2) 多雪地域のスギおよびヒノキの人工造林木では、髓より4年輪から約15年輪までの幼齢期において圧縮アテ材量（各年アテ材率）と最大積雪深の間に比較的明瞭な正の相関関係（ $r=0.45\sim 0.84$ ）が認められた。

この間のアテ材形成には、斜地造林木で通常発生するアテ材の外に、雪圧による根元曲がりや幹曲がり、消雪後の起き上り方の違いや雪起こしによる人為的なアテ材形成などが強く関与していると推定された。

(3) 雪起こしは4年生から15年生位までの幼齢木において必要であり、実施にあたっては融雪後（5月中）に幹の自然回復を補助する程度とし、強くしすぎないことが肝要である。

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたり、軟X線撮影装置は鳥取県工業試験場のものを使わせていただいた。またディジタイザーは鳥取大学農学部広葉樹生態情報総合解析設備画像解析装置のものを使わせていただいた。ここに記して謝意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 豪雪地帯林業技術開発協議会編：雪に強い森林の育て方，日本林業調査会（1984）
- 2) たとえば，T. E. TIMELL：Compressin Wood in Gymnosperms, vol.3, pp.1386~1425, Springer-verlag, (1986)
- 3) 平 英彰：スギ幼齢木の根元曲り形成過程，日林誌，**67**(1)，pp.11~19 (1985)
- 4) 小野寺弘道，大原偉樹：スギの雪圧によるアテ材形成と直径成長について，第96回日林論，pp.439~440 (1985)