

富山県林業試験場

研 究 報 告

第 12 号

1987. 3

富山県林業試験場

富山県中新川郡立山町吉峰

正 誤 表

ペ ー ジ	誤	正
目次 4・5・2	結果と効果	結果と考察
7 (表-1.4)	樹高倒伏	樹幹倒伏
61 (右 23行)	結果と効果	結果と考察
71 (右 7行)	(13)集約的	(13), 集約的
72 (左 31行)	(76)第二章 6	(76), 第二章 6
73 (左 2行)	鈴木照馬	鈴木輝馬

目 次

緒 言	1
第 一 章 根元曲りの被害と既往の研究	3
1・1 研究の対象とした根元曲り	3
1・2 根元曲り形成によって生じる損失	3
1・3 根元曲りの発生地帯	4
1・4 根元曲りの形成と対策に関する諸説	5
1・4・1 根元曲りの形成機構	5
1・4・2 施業による根元曲りの軽減対策	5
1・4・3 スギ品種を用いた根元曲り軽減対策	6
1・4・4 要 約	6
第 二 章 スギ幼齢期の根元曲り形成機構	7
2・1 実験項目と研究対象地	7
2・2 根元曲りの測定方法	8
2・3 根元曲りの形成過程	10
2・3・1 試験の方法	11
2・3・2 結果と考察	12
2・3・3 要 約	21
2・4 倒伏制御の反応	21
2・4・1 試験の方法	21
2・4・2 結果と考察	22
2・4・3 要 約	23
2・5 林地の傾斜の違いによる根元曲り量の差異	23
2・5・1 試験の方法	24
2・5・2 結果と考察	24
2・5・3 要 約	25
2・6 根の損傷と変形	25
2・6・1 試験の方法	25
2・6・2 結果と考察	25
2・6・3 要 約	28

2・7	倒伏した樹幹の立ち直り反応とあて材形成	28
2・7・1	試験の方法	29
2・7・2	結果と考察	31
2・7・3	要約	35
2・8	根元曲り安定期以降の立ち直り	35
2・8・1	試験の方法	35
2・8・2	結果と考察	36
2・8・3	要約	36
第三章	根元曲りの形成とスギの生長	37
3・1	実験項目と研究対象地	37
3・2	根の損傷がスギの生長に及ぼす影響	37
3・2・1	試験の方法	37
3・2・2	結果と考察	37
3・2・3	要約	39
3・3	あて材形成がスギの生長に及ぼす影響	39
3・3・1	試験の方法	39
3・3・2	結果と考察	39
3・3・3	要約	40
3・4	断根とあて材形成がスギ幼齢木の生長に及ぼす影響	41
3・4・1	試験の方法	41
3・4・2	結果と考察	41
3・4・3	要約	43
第四章	現行の育林技術と根元曲り制御効果	44
4・1	実験項目と研究対象地	44
4・2	斜植え、施肥、雪起こしがスギの形質に及ぼす影響	44
4・2・1	試験の方法	44
4・2・2	結果と考察	47
4・2・3	要約	51
4・3	斜植え、施肥、雪起こし処理効果の経年変化	52
4・3・1	試験の方法	52
4・3・2	結果と考察	53

4・3・3	要約	58
4・4	施肥養分(N, P, K)が倒伏した樹幹の立ち上がりに及ぼす影響	58
4・4・1	試験の方法	58
4・4・2	結果と考察	58
4・4・3	要約	61
4・5	縄の種類と雪起こし効果の違い	61
4・5・1	試験の方法	61
4・5・2	結果と効果	61
4・5・3	要約	62
4・6	品種間に見る雪圧害の違い	62
4・6・1	試験の方法	63
4・6・2	結果と考察	63
4・6・3	要約	66
第五章	総括的考察	67
5・1	試験結果の総合考察	67
5・1・1	スギ幼齢期の根元曲り形成機構	67
5・1・2	根元曲り軽減対策とその制御効果	69
5・2	根元曲り量と根株長からみた積雪地帯区分	70
5・3	積雪地帯区分と有効な根元曲り対策	71
5・3・1	少雪地帯	71
5・3・2	多雪地帯Ⅰ	72
5・3・3	多雪地帯Ⅱ	72
5・3・4	豪雪地帯	72
	謝辞	73
	引用文献	74

スギ根元曲りの形成機構と制御方法に関する研究

平 英 彰

The Study of Mechanism of Sugi Basal Bending and
Its Control Methods

Hideaki TAIRA

要旨：スギの根元曲り形成機構を明らかにし、その制御方法を確立するため、雪による樹幹倒伏量とその立ち直り過程、根の損傷とあて材形成がスギの生長に及ぼす影響、林地の傾斜と根元曲り形成量、根元曲り安定期以降の樹幹の立ち直りなどについて測定した。また、斜植え、施肥、雪起こしなどの根元曲り軽減技術の効果とその発現機構及びスギ品種による根元曲りの違いについて検討した。スギの根元曲りは、倒伏した樹幹の立ち直り過程において生じる樹幹上部と下部の立ち直り率の違いが原因で形成される。樹幹の倒伏と立ち直り過程に生じる断根とあて材形成は共にスギの生長を抑制する。曲がった樹幹の立ち直りは、スギの埋雪期以降も生じている。斜植えによって植栽初期の曲がりは大きくなるが、根系が樹幹倒伏しにくい形態に変形する。施肥によって植栽初期の生長は促進されるが根元曲り軽減効果は少ない。雪起こしは根元曲り軽減効果のみでなく、生長促進効果も大きい。スギの品種によって根元曲りに差が認められるが、根元曲りの少ない品種は豪雪地帯で幹折れの被害が大きい。積雪地帯によって最も有効な根元曲り軽減対策は多少異なる。

緒 言

1700年代に加賀藩（現在の石川県、富山県）において、十村（村役人）の役目として雪折れ、風折れ、根返りなどによって枯死した立木の処分が挙げられており、多くの立木の雪害が加賀藩の多雪地帯で記録されている(48)。また、1880年に福島県で出版された山林沿革史(6)には、江戸時代における福島県の林業について総括的に記述されている。これによるとスギ(*Cryptomeria japonica* D. Don)の根元曲りは、スギが積雪に耐えきれず谷側へ向かって伸びることが原因とされている。福島県では多雪地帯で植栽されたスギを成林させる方法として斜植えが広く実行されていたが、雪起こしについてはふれられておらず、根元曲り軽減対策として雪起こしはまだ実行されていなかったようである。これらのことか

らスギの雪害は、江戸時代からすでに多雪地帯において大きな問題の一つになっていたと考えられる。

佐藤(62)は、1899年2月中旬に三重県下多気郡に発生した冠雪害について調査している。その時の被害の形態には幹曲り、幹折れ、梢端折れ、根返りなどが認められ、林齢12年～13年以下の林分では幹が折れるよりもわん曲するものが多く、傾斜地では倒伏の被害が大きいことを報告している。また、倒伏やわん曲したスギは生長を始める前に縄をかけ、引き起こす必要があることを強調し、その作業工程などについて述べている。1934年、河野(34, 35)は福島県内の豪雪地帯に植栽されたスギの雪害調査から、樹幹の倒伏した個体には根切れや浮根が発生し、根が大きな損傷を受けていることを報告している。そ

して、倒木起こし(雪起こし)は、樹高2m以下のものには不要だがそれ以上の個体では消雪後1か月を経過しても幹が45°以上傾斜しているものについて必要である。その作業は、スギの生長が始まる前に完了することが望ましいとしている。これらのことから、1934年代にはすでに北陸地方の多雪地帯において、雪起こしが実行されていたと考えられる。しかし、この時代における雪起こしは、根元曲り軽減対策というよりは、むしろ災害復旧として位置づけられていた。

戦後、第二次世界大戦時の過伐によって荒廃した森林の復興がいち早く開始された。1950年には造林臨時措置法が施行され、この年一挙に30万haの人工造林が行われた。その後、年々造林は活発になり、1970年まで20年間にわたって毎年35万ha以上の造林が続けられた(12)。このような背景のもとでスギの造林も雪の少ない地域から奥地へと拡大され、積雪地帯に造林されたスギの雪害が大きな問題となってきた。このような状況を背景として林木の雪害に対する最初の組織的な研究は、1947年から国立林業試験場山形分場において始められた(33)。その後、多雪、豪雪地帯に属する県の林業試験場、山形大学農

学部林学科(111)などでも積極的に取り組まれ多くの成果を挙げてきた。研究の内容も、雪の基礎的研究、積雪環境、冠雪害、根元曲りなど多岐にわたっている。この中で、根元曲りの研究については、委多くの報告がされている(37, 42, 53, 54)。しかし、根元曲りの制御方法を確立するために、最も重要である根元曲りの形成機構についての研究は少なく、それについては必ずしも明確になっていない。また斜植え、施肥、雪起こしなどによる根元曲り制御方法についても多くの調査事例(3, 26, 36, 45, 47, 112, 113)はあるが、これまでの研究では各々の処理の根元曲り軽減効果だけが記述されているだけでそれらの処理によってスギの生長や形質にどのような変化が生じ、それが根元曲りの軽減とどのような結びつくのかについては十分に検討されていない。

本研究は、積雪地帯においてスギ幼齢期に形成される根元曲りの制御方法を確立するため根元曲りの形成機構を明らかにし、これに基づいてこれまで根元曲り軽減効果の高いとされていた斜植え、施肥、雪起こしなどについて検討を加え、積雪地帯の育林技術について具体的な提案を行うことを目的としている。

第一章 根元曲りの被害と既往の研究

1・1 研究の対象とした根元曲り

一般に樹木は、根元からまっすぐ上に向かって伸びる。しかし、その生長過程で物理的な力によってまっすぐ上に伸びる性質が歪められ、その結果幹が湾曲する。積雪地帯に植栽されている Hardwood (*Betula lutea*) (2), Loblolly pine (*Pinus taeda*) (56), スギなどは雪圧によって根元曲りを生じる。この外、イギリスの南部海岸地帯に植栽された Lodgepole pine (*Pinus contorta*) や Shore pine (*Pinus pinaster*) は南西の卓越風によって根元曲りが形成される (38, 41)。また、紀州南部地方のスギでは幼齢木が強い風に吹きまわされ、根元の周りに穴ができて苗が傾くことが根元曲りの原因とされている (55)。尾方 (49) は、雪などの気象害や他の物理的被害、地形の影響がほとんどない条件のもとで、メアサが他の品種と比べ著しい根元曲りを生じ、それが品種特性の一つであることを報告している。また北原 (29) は、カラマツ (*Larix leptolepis*) の幼齢期における曲幹は枝条が偏向して着生することによって誘引されることを推量している。わが国 (本州) ではスギ、ヒノキが主要な造林樹種である。しかし、日本海側に面した地域では多雪地帯が多くヒノキは多雪地帯に不適で (40)、この地域では主にスギが造林されている。この地域に造林されているスギには雪によって根元曲りが生じる。

雪が原因でスギに生じる雪害は、その発生機構から雪圧害と冠雪害に分けられる。幼齢期に樹幹が埋雪することが原因で発生するのが雪圧害で、3 齢級～4 齢級以上になってから、樹幹に積もった雪の荷重が原因で発生する被害は冠雪害と呼ばれている。ただし、雪圧害の第一段階は、降雪初期の冠雪により樹幹が傾き、やがて埋雪して雪圧害となることが多い。したがって雪圧害から冠雪害へ移行する林齢においては、被害を明確に区分することが困難な場合もある。

雪圧害はさらにその形態から根元曲り、幹折れ、梢端折れ、幹割れ、根元折れ、根元割れ、枝抜けなどの被害に分類されている (79)。しかし、その主要な被害形態は、樹幹が根元から倒伏することが原因で発生する根元曲りと、幹がその曲げ破壊強度以上

に曲げられることが原因で発生する幹折れなどに分けられる。スギの根元曲りは積雪地帯では必ず発生し、その被害は積雪が多くなるほど増大する。積雪地帯においては、スギが主要な造林樹種であり、雪が原因で生じる根元曲りを克服することが、積雪地帯における林業の安定を図る上で最も重要なことの一つと考えられる。それは根元曲りによって幹材に曲がりを生じ利用率の低下、材価の低下を招くからである。

1・2 根元曲り形成によって生じる損失

スギ材の利用は柱、磨丸太、足場丸太、板材などが主体であるがこれらは通直な材であることが要求されるため、幹に曲がりが生じるとその価格は著しく低下する。また、幹の一部は林地に切り残されたり捨てられたりして利用率が低くなる (96)。

片岡 (27) らは、山形県内の最大積雪深 1.5m～4.0 m、傾斜 0～40° の条件における林齢 28 年～50 年生の 16 林分で、幹の長さが 1 m の場合は矢高 (幹の両端を結んだ直線と幹中央部との隔たり) が 3 cm 以上、長さ 2.0 m の場合は矢高が 9 cm 以上あるものを根元曲り部として、その材積を調査した。その結果、根元曲り部の材積は林分総材積の平均 20% を占め、最大で 40%、最小でも 10% に達することを報告している。また、羽田 (9) は、新潟県内で平均最大積雪 2 m 余り、平均傾斜 20° の林分において、単木当りの材積に占める根元曲り材の割合は 19%～37% で、片岡らとほぼ同じ結果を得ている。したがって、多雪地帯におけるスギ造林地では、林分総材積の 20%～40% に相当する部分において品質の悪い曲がり材が恒常的に作られているといえる。

立木を伐倒して用途に応じた材長に玉切りし、化粧掛けした素材は、材の長短、径級、年輪密度、木口の色あい、曲がり、節、腐れ、損傷の程度によっていくつかの等級に区分される。素材の品質による等級は、JIS 規格に基づいて一等材から四等材まで区分され、それぞれの材の許容される欠点が明記されている。この中で曲がりについてだけ取り上げると、中の素材 (末口径 14 cm 以上～30 cm 未満) で一等材の基準としては曲がり率 (矢高/材長×100) が 10% 以下、二等材で 30% 以下、三等材で 30% 以上と規

定され、大の素材(末口径30cm以上)では一等材で5%以下、二等材で10%以下、三等材で20%以下、四等材で30%以上とされている(43)。これまでの市場調査によれば、曲がり率による材価の差は大きく、20cm未満の素材では、直材の取引価格を100とするとやや曲がりのある材(曲がり率10%以上30%未満)で50~70、大曲がり(曲がり率30%以上)で30程度に低下する。また、30cm以上の素材でも通直材であることは断然有利で、小曲がり、中曲がりでも曲がりの程度に応じて立木価格が低落する(5)。したがって、根元曲りの形成によって、価格の高い一番玉の評価が著しく低下する。そのうえ幹の上部にも曲がり返しが生じることがあるので、その経済的な損失は大きいといえよう。

1・3 根元曲りの発生地帯

根元曲りは雪によって生じることが明らかであるが、積雪とどう関係するかをみておこう。スギの根元曲り量は積雪の多少によって大きく影響を受け、積雪の少ない地帯では根元曲りが少なく、他の雪圧害もさほど大きな問題を生じない。しかし、積雪が多くなるにつれて根元曲りも大きくなり、幹折れなど他の雪圧害の程度も大きくなっていく(18)。

高橋(97)は、雪質や雪の葡行量からみた地域区分を試みている。また、石川(18)は、積雪の深さは林木に対して決定的な影響をもち、沈降圧や移動圧は雪の深さに応じて連続的に増加することを明らかにし、スギの雪害状況から積雪深による地帯区分を試みている。これによると平均年最大積雪深(以下最大積雪深と呼ぶ)が1.0m~2.5mの多雪地帯では、雪害の主な形態は根元曲りであり、根元や幹の折れもみられるが大きな被害はなく、雪起こしなどの技術で経済林を仕立てることは難しくない。最大積雪深が2.5m~4.0mの豪雪地帯では、根元折れや幹折れの被害も多く、雪起こしなど現在の技術では成林させることが難しい地帯である。また、最大積雪深が4.0m以上の地帯では人工造林が不可能であるとしている。

富山県内の少雪地帯から豪雪地帯で、その地域で樹高3.5m~13.0m、林齢8年~25年生スギ30林分(傾斜5°~20°)を選定し、それぞれの林分において30本~50本の根元曲り量と根株長(スギの植栽地点と考えられる部位と樹幹が接地し発根している部位

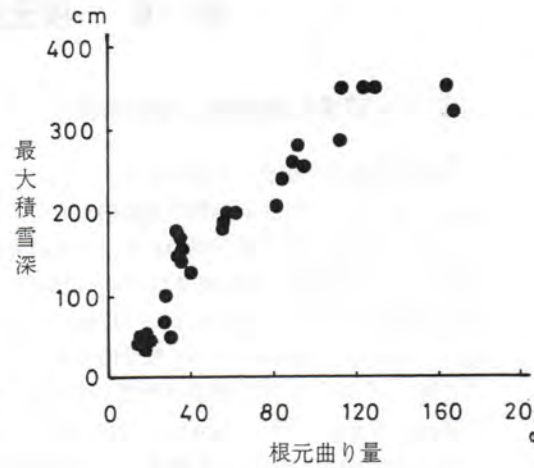


図-1. 積雪深と根元曲り量の関係

までの長さ)を測定した。造林木がこの大きさに達するまで生長すると、一般に根元曲りはこれ以上大きくなり、ほぼ安定すると考えられ(100)、林齢、樹高が違っても根元曲りを相互に比較しうるからである。それぞれの林分の根元曲り平均値及び根株長と、県内各地における気象観測所のデータ(99)から推定した積雪深と林地の最大積雪深の関係求めた(図-1, 59)。この場合、根元曲り量はスギの根元から垂直高1.2mの点と幹の中心点までの水平距離を測ったものである。図-1にみられる通り、根元曲りの度合は最大積雪深に密接に関係しており、積雪深で約3.5mまではほぼ一次直線的に増える。すなわち、積雪1.0m以下の所では根元曲り量が20cm前後と少なく、2.0mを越えると60cm以上となり2.5m以上では根元曲り量が90cm~178cmに達する(図-1)。

松田ら(39)は、新潟県内の海拔100m~600m、傾斜6°~37°、平均年最大積雪深1.6m~2.5m、林齢10年~60年の林分を調べ、積雪量が多くなると根元曲りも増大し、特に積雪が2mを越えると著しく増大することを報告している。また、林地の傾斜度についても、傾斜が大きくなるにつれて根元曲りも増大する傾向を示し、傾斜度が30°を越えると著しく大きくなることを報告している。

全国的にみると、最大積雪深50cm以上の地帯は本州では日本海側のほとんどが含まれ、根元曲り常習地帯はほぼこの地域と一致する(78)。積雪50cm以下の地帯は北海道の太平洋側の一部、本州の太

洋側及び九州、四国の全域が含まれている。これらの地域では、平年の積雪の場合根元曲りの形成はほとんど問題にならないが、積雪条件によっては明らかに根元曲りが形成されることがある(62)。

小島(33)によると、最大積雪深2.0m以上の地帯の占める全森林面積に対する割合は福井県で29%、石川県で15%、富山県で29%、新潟県で43%、秋田県で17%、福島県で11%のほか青森県、岩手県、宮城県、長野県、岐阜県にも広く分布している。さらに3.0m以上の地帯は新潟県で23%、富山県、山形県で17%、福井県、石川県で6%~7%を占めており日本の多雪地帯の多くは北陸地方を中心に分布している。

このように北陸地方を中心とした多雪地帯ではスギに根元曲りが形成される。この根元曲り量は最大積雪深と密接な関係があり、積雪が多くなれば根元曲り量も大きくなっていく。これは、積雪量が多ければスギの倒伏する程度が大きくなることや立ち直りにくい大きい個体までも倒伏するためと考えられる。また、林地の傾斜も根元曲りの形成量に影響しており、傾斜の大きいほど根元曲りが大きくなる傾向があるといわれている。したがって、根元曲りの形成量は、積雪量の多少、林地の傾斜、林齢などによって大きく影響を受けると考えられる。

1・4 根元曲りの形成と対策に関する諸説

本研究では雪によって幼齢期に生じるスギの根元曲りを対象とするが、まずこれに関係した既往の研究をまとめておこう。

1・4・1 根元曲りの形成機構

根元曲りは雪による樹幹の倒伏とその立ち直りの過程で形成されることは明らかである。この根元曲りの形成に大きな影響を及ぼす要因としては樹幹に加わる雪圧などの物理的要因と幹の強度、根の樹体支持力、倒伏した樹幹の立ち直りなどの生物的要因及び傾斜などの地形的要因が挙げられる。根元曲りの形成量はこれらの要因の単独あるいは相互の複合的な作用の下で決定されると考えられる。

四手井(76)は、雪害を被害の部位と形態によって分類している。この中で、曲がりについては根元曲り、幹曲り、梢曲り、枝曲りがあり、根元曲りのような被害は、毎年同じ樹木の同じ箇所を繰り返され、

慢性的な様相を呈することが多いとしている。この雪害の分類は、雪害の中にその形態だけでなくその発生機構が異なるものを含むことを示した。

若林(104)は、樹幹の倒伏時には根系に引っ張り、曲げ、圧縮、せん断などの力が加わり、根が大きな損傷を受けることや傾いた樹幹にその後の背地性上生長(立ち直り)に伴って根元曲りが生じることを論じた。しかし、このことについては実証されていない。

これまでの報告から、根元曲りは雪によって倒伏した樹幹がその後の生長に伴って立ち直る過程の中で形成されるものと推察される。しかし、根元曲りの形成機構を明らかにするには、樹幹各部位の倒伏量及び立ち直り量を正確に把握することのほかに、根元曲りの形成がスギの生長や根の形態などに及ぼす影響についても把握することが重要である。

1・4・2 施業による根元曲り軽減対策

一方、このような根元曲りの軽減対策として様々な方法が試みられてきた。それらの効果を検討することは、単に防止対策をたてるうえに必要であるのみでなく、根元曲りの形成過程についての解明に役立つ。

雪の影響によって形成される根元曲りを軽減する方法として、斜植え(26, 36, 75)、施肥(45, 112)、雪起こし(47, 70, 113)及び裾枝払(71)などの施業や根元曲りの形成されにくい品種(55)を用いる方法が行われてきた。これらの中で樹幹下部の枝の先端から枝長の1/2~1/3除去し、雪の沈降圧によって幹が倒伏するのを防止する裾枝払はほとんどその効果が認められず(71)、一部の地域を除いては最近実行されなくなっている。しかし、斜植え、施肥、雪起こしについては、一般に根元曲りの軽減効果が高いとされ広く実行されているが、一方ではそれらの効果を疑問視する報告(3, 80)も一部なされている。また、根元曲りが小さいさし木品種の造林も行われているが、少雪地帯に限られているようである(84)。

1. 斜植え

苗を谷側へ傾けて植栽する方法を斜植えと呼んでいる。傾ける角度について、一定した基準はないが、垂線に対し45°以上傾けて植栽するのが一般的に行われている。斜植えは、幹が最初から谷側へ傾いているため、植栽初期に発生する幹折れなどの被害が少

なく活着が良い(75)。また、斜植えによって埋幹部(本来幹であった部分が接地あるいは土に埋もれている部位をさす)が長くなるため、接地した樹幹下部から根が発達し、幹の根株化(樹幹倒伏に伴って埋幹部から根が発達し、樹幹が根に変わっていくこと)が進み生長が促進される(81)。斜植えの根元曲りに対する効果について、多雪地帯では植栽初期に根元曲りが大きい、生長に伴って傾幹幅の増加量が少なくなることが報告されている(26)。しかし、斜植えの根元曲り軽減効果に対しては、これらの報告とは逆に生長が劣り、根元曲りが大きくなるという批判的な見解も紹介されており(80)、斜植えについての評価は必ずしも一致していない。

2. 施肥

野表ら(45)は、新潟県内の平均年最大積雪深2.0m~3.0mの地帯で、15年間にわたって施肥試験を行い次のような結果を得ている。

施肥区は幹折れの被害が多く、残存率は無施肥区に比べ少ない。しかし、斜立木、倒伏木が少なく、冬期間も直立している雪上木の割合が多く、施肥区の方が成林する可能性が高い。また、山口ら(112)も、岐阜県の積雪2.5mの地帯で同様な試験を行い、施肥区は根元曲りや他の雪害も少なく、施肥養分の内で特にカリの効果が大きいことを報告している。これらのことから、施肥はスギの生長を促進し、埋雪しなくなる時期を早めることによって根元曲りや致命的な雪圧害を軽減すると考えられている。しかし、施肥が根元曲りに及ぼす影響について必ずしも一定しておらず十分な検討がなされていない。

3. 雪起こし

山本ら(113)は、平均年最大積雪深107cmの地帯で雪起こし効果について調査を行い、18年生の時点において雪起こし木は無処理木に比べて18cm~31cm程度傾幹幅が小さく、胸高直径では2.9cm、樹高では1.6mも生長が良かったことを報告している。そして、雪起こし木ではあて材の形成量が少ないことを明らかにした。また、佐藤(70)も、14年生の時点で雪起こし木は無処理木よりも2年~3年分の樹高生長が良いことを報告しており、雪起こし木は根元曲りの軽減のみでなく、生長促進にも効果のあることを示した。しかし、遠田ら(3)は、雪起こしの根

元曲り軽減効果は少なく、雪起こしによって根が傷を受けるため、かえって樹高生長が悪いことを告している。このように雪起こしの効果について相反する評価がなされている。しかし、同じ雪起こし作業がなぜ全く異なった結論に達するのかについては明らかにされていない。また、雪起こし時期については、消雪後20日以内に実行しなければ効果がないことが報告されている(67)。

1.4.3 スギ品種を用いた根元曲りの軽減対策

根元曲り軽減対策として根元曲り抵抗性品種の用が最も有効な手段の一つとして考えられる。根元曲りの少ない品種はスギの根元から斜面下部へ発する支持根(表層根)が太いとされている。この支持根の発達の程度は品種によって異なり、トチアサキジン、クモトオシ、リユウノヒゲ、ウラセバルなどは支持根の発達が良く根元曲りが少ない。一方、アサ、ヤブクグリ、ボカスギなどは、根系の発達が悪く、根元曲りの大きい品種であることが明らかにされている(55)。このほか原(11)、植木(102)、塚原(101)によっても、多くの根元曲りの少ない品種が報告されている。しかし、このような根元曲り抵抗性のあるさし木品種のほとんどが少雪地帯に造林してきたスギであるため、これらを豪雪地帯へ導入した場合に少雪地帯と同じように根元曲り軽減効果期待できるのか、また、他の雪害などに対して根元曲りに抵抗性があるかどうかについて検討することが必要である。

1.4.4 要約

積雪地帯に造林されているスギには根元曲りが発生し、材の価格や利用率が著しく低下し、経済的損失は大きい。これまで根元曲りについて多くの研究がなされてきたが、その形成機構について十分な検討が行われていない。また、その軽減についても数多くの事例が報告されているが、必ずしも一致した結論が得られていない。本研究では根元曲りの形成機構を明らかにすると共に、根元曲りの形成がスギの根や生長及びあて材の形成に及ぼす影響について検討する。また、これまで行われた斜植え、施肥、雪起こしの根元曲り軽減効果とその交互作用について検討を加え、各処理の根元曲り軽減効果の発現機構を明らかにする。

第二章 スギ幼齢期の根元曲り形成機構

2・1 実験項目と研究対象地

主な研究の項目と期間及び調査の場所については表-1, 図-2に示した。これらの実験のうち第二章では実験項目1~6について検討した。すなわち, 1. 幼齢木の根元曲りの形成過程を明らかにすることにより根元曲りの形成機構について考えることが必要である。このため, 1年生から7年生林木において雪の影響による樹幹の倒伏量とその回復過程について測定した。2. 樹幹の倒伏と立ち直り過程から考えた根元曲りの形成機構が正しいかどうかを確認するため, 降雪前にビニールテープを用いた樹幹の倒伏防止処理を行い, 樹幹の倒伏量と根との曲り増加量について検討した。3. スギの根元曲り量は, 樹幹の倒伏量によって大きく左右される。また, 樹幹の倒伏量は積雪量だけでなく林地の傾斜の大小によっても大きく影響されると考えられる。このことから林地の傾斜の違いによって根元曲りの大小が異なる

かどうかを明らかにするため, スギさし木品種交代検定林においてこれらのことを検討した。4. 樹幹倒伏に伴って根が損傷を受けると考えられるので, 樹幹倒伏によって生じる根の損傷とその影響によって生じる生長量の関係について検討した。5. 倒伏した樹幹はあて材形成を伴う生長と共に立ち直っていく。このあて材形成と立ち直り及び生長との関係について明らかにするため, 角型ポットを用いて樹幹の立ち直り反応とあて材形成及び生長量の関係について検討した。6. 根元曲り安定期に達した林木の曲った樹幹の回復はみかけの生長に伴う回復しか期待できないかどうかについて検討するため, 根元曲り安定期に達した林木の時期別傾幹幅の変化を測定した。実験項目7の断根とあて材形成がスギの生長に及ぼす影響は, 第三章で実験項目8の斜植え, 施肥, 雪起こし処理の根元曲り軽減効果, 9の施肥の違いによる樹幹立ち直り量の差, 10の縄の種類による雪起こし効果の違い, 11の品種間における雪害

表-1. 実験項目と研究対象地

実験項目	年次							場所	内容
	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984		
1. スギ幼齢期の根元曲り形成機構		—	—					立山町栃津	1年生~7年生林木の倒伏と立ち直り過程
2. 降雪初期の冠雪による樹幹倒伏の予防と根元曲りの大小		—						同上	降雪前にビニールテープを用いた樹幹の倒伏防止処理
3. 林地の傾斜の違いによる根元曲り量の差異			—	—				上市町東種	異なる傾斜地に植栽されたさし木品種の根元曲り量の差
4. 樹高倒伏による根系の損傷と生長の停滞			—	—	—			立山町栃津	根元曲りの大小による根系の損傷と生長の違い
5. 樹幹の直立時期の差があて材形成と生長に及ぼす影響						—		立山町吉峰	角型ポットによる樹幹の立ち直り反応, あて材形成と生長量の関係
6. 根元曲り安定期以降の立ち直り						—		同上	埋雪期以降の林木における立ち直り
7. 断根とあて材形成がスギの生長に及ぼす影響							—	同上	断根とあて材形成がスギの生長に及ぼす主効果と交互作用
8. 斜植え, 施肥, 雪起こし処理の根元曲り軽減効果	—	—						立山町栃津	L直交表に基づいた斜植え, 施肥, 雪起こしの主効果と交互作用
9. 施肥の違いによる樹幹立ち直り量の差						—		立山町吉峰	チッソ, リンサン, カリが樹幹の立ち上がり及ぼす影響
10. 縄の種類による雪起こし効果の違い						—		立山町栃津	わら縄とビニール縄の雪起こし効果の違い
11. 品種間における雪害の差	—	—	—					上市町東種	スギ品種交代検定林の測定

の差については第四章でそれぞれ検討した。

これらの試験は図-2に示したように富山県のやや南東に位置する中新川郡立山町栃津の民有林、中新川郡上市町東種(標高500m)の県有林及び中新川郡立山町吉峰にある富山県林業試験場の(標高238m)の圃場及び展示林で行った。立山町栃津の民有林は標高300mの山腹下部の平衡斜面で、斜面の傾斜は $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$ である。土壌は新第三紀の砂岩、礫岩、泥岩を母材とする適潤性黒色土(偏乾亜型)BI_D(d)である。平均年最大積雪深は近くの富山県林業試験場のデータから推定すると170cm前後と考えられる。上市町東種の県有林の地形は山脚部、傾斜約 $5^{\circ}\sim 37^{\circ}$ の西向き斜面である。土壌は中世代、礫岩、砂岩、頁岩を母材とする弱湿性褐色森林土(B_E型)である。試験地より北東約2kmに位置する伊折気象観測所(標高400m)の1974年~1983年の平均年最大積雪深は 232 ± 77 cmで1980/81冬期は426cmの極値を記録し

ており、この地帯は豪雪地帯に属すると考えられ立山町吉峰にある富山県林業試験場の展示林の地は山脚部、傾斜約 $5^{\circ}\sim 20^{\circ}$ の西向き斜面である。土は第三紀泥岩を母材とする適湿性褐色森林土(B_D)である。過去10年間(1975年~1984年)の平均年最大積雪深は 138 ± 54 cmで、この地帯は多雪地帯にする。

2・2 根元曲りの測定方法

本研究では雪によって幼齢期に生じるスギの根元曲りを対象とするが、まず、根元曲りの測定方法関係した既往の研究をまとめておこう。

ここでいうスギの根元曲りとは、樹幹の下部は曲っているが、樹幹の上部にいくにしたがってがしだいに立ち直り垂直になっている状態と規定する。この根元曲りの程度を表わす方法として、これまで多くの方法が採用されてきた。四手井ら(79)



図-2. 富山県の積雪地帯区分と試験地の位置図

図-3のAに示したように傾斜角(α), 矢長(a), 弦長(l)を測定し, 根元曲りの大きさを表わした。しかし, この方法では傾斜角(α)を決める点が明確でないため, 測定者による誤差が大きい。富田ら(98)は, 図-3のBに示したように, 中心軸の地際点を通る水平線から中心軸が垂直になった点までの高さ(h), 中心軸の地際点から垂直になった中心軸からおろされた垂線までの長さ(l), 幹の山際を通る水平線と中心軸の地際点に立てられた垂線及び中心軸との交点の間の長さ(s)で根元曲りの形質と量を表わした。佐藤は(67), スギの植栽地点に垂線を立て, その垂線と幹がわん曲部から垂直部に移行する点との水平距離を根元曲り水平長(l)と称し, これによって根元曲

りの量を表わした(図-3, C)。佐藤の根元曲り水平長と富田が測定した(l)はほぼ似かよった値を示すと考えられる。塚原ら(100)は中心軸の地際点に垂直に立てたポールの高の1.2mの点と幹の中心点までの水平距離を傾幹幅とし, これによって根元曲り量を表わした(図-3, D)。

佐藤の用いた根元曲り水平長は, 根元曲りの程度を示すものとしては妥当な方法と考えられる。しかし, 消雪直後の埋雪した樹幹は斜立しており, この方法では樹幹上部が完全に立ち直る前の根元曲りの大きさを正確に測定することは困難である。塚原らの測定方法は, いずれの時期においても幹の傾きや曲がりの程度を表わすことができる。また, 樹幹が

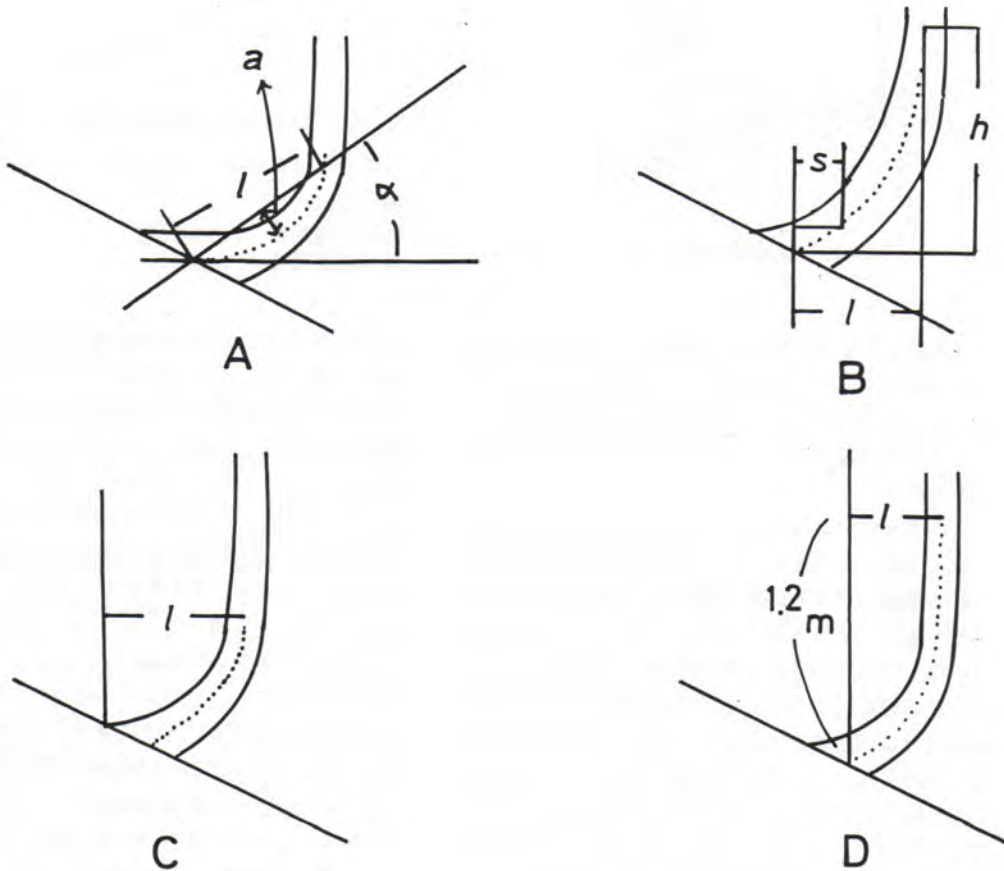


図-3. これまでの根元曲りの測定方法

- | | |
|-----------|----------|
| A 四手井らの方法 | B 富田らの方法 |
| C 佐藤の方法 | D 塚原らの方法 |

表-2. 測定時における調査木の概要

調査林分	調査開始 林齢(年)	測定開始 時期	測定本数 (本)	平均樹高 cm	平均根元径 cm	平均傾幹幅 cm
A	1	1980年11月	20	39±4.9	0.8±0.1	1.6±1.1(30)
	2	1979	20	71±14.5	1.4±0.3	5.8±3.5(40)
	3	1980	20	136±28.9	3.3±0.5	15.5±5.9(80)
B	4	1979	8	245±14.0	5.2±4.7	17.7±5.3(120)
	5	1980	8	280±24.5	8.1±5.0	26.8±17.2(120)
C	6	1979	7	344±47.8	8.1±2.0	21.3±7.6(120)
	7	1980	7	371±61.6	10.8±7.9	40.6±21.7(120)

() 内の数字は測定部位の高さ

れ(42, 53, 54), 雪による樹幹倒伏が根元曲りの大きな要因であることは, 多くの研究者の一致した見解である。しかし, 倒伏した樹幹と根元曲り形成の因果関係については, 十分な一致をみていない(10, 44, 55, 66, 76, 86, 104)。これは第二章2でも述べたように, これまでの研究における根元曲り量の測定方法はそれぞれ異なるため, 測定によって得られる情報も異なり, 根元曲りの形成機構に対する解釈も違って来たためと考えられる。筆者は塚原らの採用した傾幹幅の測定方法を樹幹各部位の変化が正確に把握できるように改良し, 根元曲りの形成と回復過程を2か年にわたって追跡した。

2・3・1 試験の方法

調査は, 富山県中新川郡立山町栃津の民有林で行った。調査地は, 標高300mの山腹下部の平衡斜面で, 良好な樹高生長を示している。調査地より約1km北西に位置する富山県林業試験場(標高238m)では平均気温13.2℃, 年降水量2,740mm, 過去7冬期(1974~1981)の年最大積雪深は, 1978/79年冬期に38cmの低極, 1980/81年冬期に230cmの高極(観測史上最大)を記録したほかは120cm~160cmである。したがって測定期間に含まれる冬期のうち1977/80年冬期は並雪, 1980/81年冬期は多雪であった(図-6)。

雪の積もり方は1979/80年の場合, 1月初旬から徐々に積もり, 比較的緩やかな積もり方といえる。これに対し, 1980/81年は降雪が例年より早く, また積雪も12月26~28日の3日間で182cmを記録し, 雪害の多発しやすい条件であったといえる(21)。

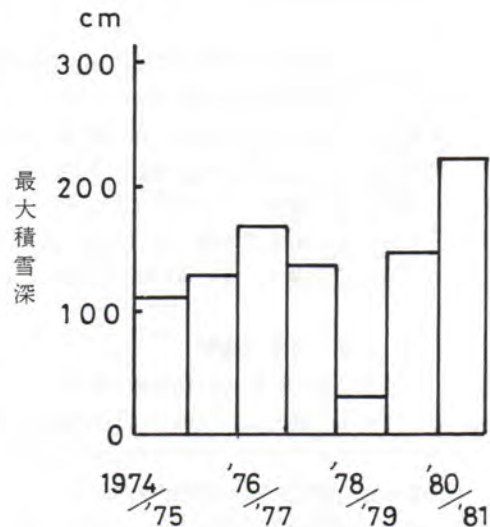


図-6. 富山県林業試験場における過去7年間の平均年最大積雪深

測定木は, タテヤマスギ実生苗を植栽した傾斜18°のA林分(1980年に2年生, 1978年秋植栽), 傾斜25°のB林分(同4年生, 1976年秋植栽), 傾斜28°のC林分(同6年生, 1974年秋植栽)から無作為に選定した(表-2)。測定は同じ供試木において1980年と1981年の2か年にわたって行った。しかし, A林分の場合は1980年に測定した個体を同年11月下旬に伐倒したため, 1981年の測定木として他の個体を用いた。また, 1980年11月下旬に伐採跡地に植栽した1年生個体も1981年の測定木に加えた。本報に用いる林齢は, 植栽した秋から一生長期間を経過した翌

表-3. 測定木の年齢と本数

調査 林分	斜面方位	傾斜	植栽本数 (本)	1979年 11月	1980年 4月 4月~11月	1981年 4月 4月~11月
A	N	18°	2500	1 (20)	2 (20) 0 (20) 2 (20)	1 (20) 3 (20)
B	W	25°	2500	3 (8)	4 (8)	5 (8)
C	NE	28°	2500	5 (7)	6 (7)	7 (7)

() 内の数字は測定本数

年秋までを1年生とし、以下表-3のように変化する。

傾幹幅の測定方法は第二章2で述べた方法と同様である。傾幹幅は降雪前の1979年11月上旬と翌春、消雪後3日~4日を経過した1980年4月8日からおよそ10日ごとに11月上旬まで測定を続け、その翌春消雪後10日を経過した1981年4月23日から再び10日ごとに11月上旬まで測定した。また、測定は降雨中や降雨直後を避け、風のない晴天か曇天の日を選んだ。

2・3・2 結果と考察

1. 時期別、季節別傾幹幅の変化

スギの根元曲りは、樹幹下部がわん曲し、樹幹上部になるにしたがって幹がしだいに立ち直り、ある一定の部位以上ではほぼ垂直になっている。したがって、傾幹幅は下部より上部にいくにしたがって大きくなるが、ある一定の部位以上では傾幹幅がほとんど増加せずほぼ一定になる。根元曲りの大きいものでは樹幹下部が水平または下向きになっている個体もあるが、傾幹幅がほぼ一定になる高さ（以下この部位を立ち直り部位と呼ぶ）は根元曲りの大きい個体ほど上部に移行する。測定結果を表-4に示したように本調査では傾幹幅を地際より5, 10, 20, 30, 40, 50(2年生のみ), 60, 80, 100, 120, 140cm, 先端と細かく測定しているので、おおよその幹形を把握できる。測定木の大きさは1年生林木で平均樹高39cm, 平均根元径0.8cm, 7年生林木で平均樹高371cm, 平均根元径10.8cmと林齢によって個体の大きさが異なる。しかし、根元曲りは、個体の大きさが異なってもほぼ同じ斜面方向へ曲がっており、立ち直り部位以上の傾幹幅はほとんど一定であること

から、根元曲りの大小の比較は測定する部位が立ち直り部位以上とすれば正しく比較できると考えられる。

1) 降雪前(1979年11月及び1980年11月)

まず、降雪前の傾幹幅を比較しよう。1年生林木は樹高39cm, 根元径0.8cmと小さく植栽直後であるために幹に曲がりを生じていない。0.4cm~2.8cmの傾幹幅が測定されているが、これは植栽時に生じた幹の傾きであり曲がりではない(表-4)。2年生林木は、一生長期間を経過し平均樹高71cm, 平均根元径1.4cmに達している。一冬期間埋雪していたため傾幹幅はやや多くなっているが、立ち直り部位は樹幹の30cm部位で傾幹幅は5.5cm~5.8cmと非常に小さく、外見上はほとんど曲がりがない。3年生林木では平均樹高136cm, 平均根元径3.3cmに達している。立ち直り部位はおおよそ80cm, 傾幹幅は15.5cm~18.7cmで根元曲りはさほど大きくなっていない。4年生林木では平均樹高245cm, 平均根元径5.2cmと大きくなっている。しかし、立ち直り部位は100cmでそれ以上の部位の傾幹幅は17.0cm~18.4cmと小さく、3年生林木とほとんど変わっていない。これは前年(1977/79)の最大積雪深が非常に少なかったため、傾幹幅の増加量も少なかったと考えられる。5年生林木では平均樹高280cm, 平均根元径8.1cmに達し、樹高も高く、根元も太くなっている。立ち直り部位は3年生, 4年生林木と同じく100cmであるがそれより上部の傾幹幅は35.3cm~37.8cmとやや大きくなっている。

6年生林木では平均樹高344cm, 平均根元径8.1cmと大きいが立ち上がり部位は60cm, 傾幹幅は21.2cm~22.1cmで5年生林木より少ない。これは4年生林木

表-4. 林齢別, 部位別にみた傾幹幅の一年間の変化 (cm)

測定部位	1年生(1981年)(積雪深230)		2年生(1980年)(積雪深157)		3年生(1981年)(積雪深230)		4年生(1980年)(積雪深157)	
	前年降雪前	一生長期間後	前年降雪前	一生長期間後	前年降雪前	一生長期間後	前年降雪前	一生長期間後
先端	2.8±2.6	9.2±5.4	5.7±4.3	12.8±6.0	17.6±7.4	25.2±12.9	18.4±6.1	37.8±15.6
140							18.3±6.0	37.4±18.5
120					18.7±7.4	27.0±14.4	17.7±5.3	36.8±17.2
100					17.1±6.4	25.7±12.7	17.0±5.0	35.3±14.7
80					15.5±5.9	24.8±11.0	15.8±4.5	31.3±12.4
60				11.8±4.9	13.9±5.6	22.9± 8.6	14.1±3.6	25.9±10.0
50			5.7±4.3	11.2±4.3	12.9±4.8	21.2± 7.5		
40	1.6±1.8	9.3±2.3	5.8±3.5	10.2±3.7	11.6±4.4	18.8± 6.0	11.3±2.5	19.2± 6.3
30	1.6±1.1	7.0±2.1	5.5±3.5	8.7±3.2	9.6±3.9	15.5± 4.6	9.8±1.6	15.0± 4.3
20	1.1±0.8	5.6±1.1	4.5±3.2	6.6±2.7	7.4±3.2	11.4± 3.2	7.0±1.3	9.7± 2.1
10	0.7±0.5	2.2±0.7	2.9±2.0	3.6±1.8	4.2±2.2	6.3± 1.5	2.9±0.6	3.6± 0.7
5	0.4±0.3	0.9±0.7	1.5±1.0	1.6±1.1	1.8±1.3	2.7± 0.8	0.7±0.3	0.9± 0.3

測定部位	5年生(1981年)(積雪深230)		6年生(1980年)(積雪深157)		7年生(1981年)(積雪深230)	
	前年降雪前	一生長期間後	前年降雪前	一生長期間後	前年降雪前	一生長期間後
先端	37.8±15.6	111.4±30.8	21.1±7.8	44.0±26.8	44.1±26.8	120.2±65.6
140	37.4±18.5	94.9±12.6	21.1±7.8	42.2±23.8	42.2±23.8	92.5±25.1
120	36.8±17.2	87.6± 9.6	21.3±7.6	40.6±21.7	40.6±21.7	84.0±21.5
100	35.3±14.7	77.9± 7.4	22.0±7.9	38.6±19.9	38.6±19.9	74.5±18.2
80	31.3±12.4	66.3± 5.2	22.1±8.1	35.6±17.1	35.6±17.1	63.9±14.5
60	25.9±10.0	52.5± 3.6	21.2±8.2	30.8±13.8	30.8±13.8	51.2±10.8
50						
40	19.2± 6.3	37.4± 1.9	17.5±5.2	23.7± 9.8	23.7± 9.8	36.9± 6.8
30	15.0± 4.3	28.6± 1.9	13.7±4.5	18.2± 7.5	18.2± 7.5	28.6± 4.8
20	9.7± 2.1	19.9± 1.3	10.8±3.7	12.0± 4.7	12.0± 4.7	19.4± 3.6
10	3.6± 0.7	9.6± 0.6	4.2±2.5	4.8± 2.5	4.8± 2.5	9.4± 1.8
5	0.9± 0.3	4.8± 0.7	1.1±1.9	1.2± 1.9	1.2± 1.9	4.6± 0.9

木と同じく1978/79年の積雪が少なかったためと考えられる。また、80cm～100cm部位の傾幹幅は、その上部のそれよりも少なくなっている。これは倒伏した樹幹が立ち直る過程で生じる軽度な曲り返しの現象と考えられる。7年生林木では平均樹高が371cm、平均根元径が10.3cmに達しており、立ち直り部位は120cm、傾幹幅は40.6cm～44.1cmとやや大きくなっている。全般に傾幹幅は図-7に示したように年度によるバラツキはあるが経年的に大となる。

2) 4月下旬(1980年及び1981年)

すべての測定木は冬期間完全に埋雪した。積雪から解放されてまもない4月下旬における測定木の傾幹幅は大きく増加していた(表-5)。1981年(最大積雪深230cm)に測定した1年生, 3年生, 5年生, 7年生林木の傾幹幅増加量をそれぞれ比較すると, 1年生林木の5cm部位における傾幹幅増加量は1.6cmで3年生林木の1.4cmと比べるとやや大きい傾向を示すが5年生, 7年生林木より少ない。しかし,

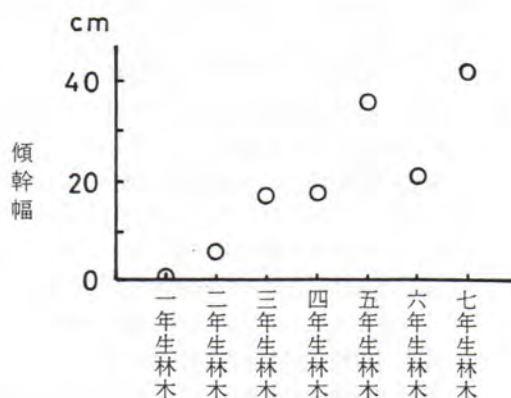


図-7. 平均傾幹幅の経年的変化

表-5. 冬期間(1979/80年及び1980/81年)の傾幹幅増加量(l_2-l_1)

(cm)

測定部位	1年生(1981)	2年生(1980)	3年生(1981)	4年生(1980)	5年生(1981)	6年生(1980)	7年生(1981)
先端	25.2±4.7	33.3±13.8	76.7±25.4	154.9±29.9	206.6±30.8	171.9±81.8	211.2±76.0
140				66.8±27.7	84.1±21.2	44.0±30.7	67.7±23.6
120			65.8±9.6	53.9±23.7	69.7±18.1	36.5±24.8	54.5±20.5
100			49.3± 7.7	40.8±17.1	54.8±14.3	29.4±20.0	44.3±16.6
80			35.6± 7.4	30.5±12.7	41.7±11.9	21.2±16.1	32.8±12.7
60			24.8± 5.0	20.7± 9.0	29.8± 9.2	15.7± 9.3	22.6± 8.2
50		18.6±6.3	19.8± 7.0				
40	29.3±2.0	13.7±3.6	14.9± 3.2	13.6± 5.7	17.8± 5.9	10.5± 6.6	14.3± 6.0
30	19.8±2.7	9.0±2.9	10.4± 2.2	9.7± 4.1	13.8± 3.9	8.0± 4.3	11.0± 4.7
20	11.7±1.4	5.1±1.9	6.5± 1.4	5.8± 3.4	9.9± 2.0	3.9± 1.3	7.7± 2.8
10	4.4±1.4	1.7±1.0	3.0± 1.0	2.1± 1.4	6.4± 0.9	2.1± 1.1	4.7± 2.0
5	1.6±0.8	0.4±0.5	1.4± 0.7	0.2± 0.2	3.9± 0.8	0.4± 0.5	3.6± 2.0

先端部を除く他の部位の傾幹幅増加量はいずれも1年生林木が大きくなっている。また、3年生林木の場合は、30cm以下の部位では5年生、7年生林木より傾幹幅の増加量が少ないが、先端部を除くそれ以上のほとんどの部位では多くなっている。1980年(最大積雪深157cm)に測定した2年生林木でははっきりとした傾向を示さなかったが、4年生林木と6年生林木の場合は樹高が低く根元径の小さい4年生林木は、6年生林木より5cm部位で傾幹幅の増加量が少ないが先端部を除く他の部位では上部にいくにしたがってしだいに大きくなる。消雪直後、測定木の根元を観察すると、斜面の上部に地割れや根返りの現象が1年生、2年生林木では全く認められなかったのに対し、3年生林木では15%、4年生林木では50%、5年生林木では100%、6年生林木では43%、7年生林木では88%の個体にそれが認められた。このような現象は次のように考えられる。

樹高が低く、根元径の小さい1年生、2年生林木の場合、幹が細いため曲げ剛性が小さく、雪圧によって地面に押しつけられても幹が容易に曲がり、根株はあまり動かず幹に歪が生じる。しかし、樹高が大きくなるにしたがって幹が太く、曲げ剛性が大きくなり曲がりにくくなるため、雪圧が樹幹に加わった場合、樹幹下部が永久歪を生じるか、または完全に樹幹が破壊される前に根系と土の変形破壊が生じ幹が根元から傾く(86, 104, 105)。したがって、樹高の小さい林木では幹が軟らかいため根元はさほど傾かないが、幹に形成される歪が大きいと樹幹上部の傾幹幅増加量は大きくなる。これに対し、樹高の大きい個体では、幹に生じる歪は小さいが根元

から幹が傾くため樹幹下部の傾幹幅増加量が多く上部では少なくなる。

なお、年度によっても傾幹幅の増加量は変化するすなわち、積雪深が157cmであった1980年の測定2年生、4年生、6年生林木の各部位における傾幹幅増加量と230cmの積雪であった1981年の測定木1年生、3年生、5年生、7年生林木のそれを比較すると、先端部以外はいずれの部位においても多雪であった1981年に測定した林木の方が傾幹幅増加量大きくなっており、傾幹幅の増加量は積雪の多少によって年度ごとに変わることを示している。

3) 一生長期間後(1980年及び1981年)

1980年4月及び1981年4月から一生長期間を経た11月上旬の傾幹幅は、前年降雪前の傾幹幅に比べると大きくなっている(表-4)。1年生林木で前年全く曲がり認められなかったが5cm部位0.9cm、10cm部位で2.2cm、20cm部位で5.6cm、30cm部位で7.0cmと上部にいくにしたがってしだいに傾幹幅が増加していき、先端部で9.2cmであった。樹の立ち直り部位は40cmで、明らかな根元曲りが1年生林木に形成されたことを示している。

2年生林木でも各部位の傾幹幅は増加しており立ち直り部位も20cmから40cmへと移動し高くなっているが、立ち直り部位より上部の傾幹幅は10.2~12.8cmと比較的少ない。3年生林木では立ち直り部位がおおよそ80cmで、降雪前の立ち直り部位と変わっていない。立ち直り部位以上の傾幹幅は24.8cm、27.0cmで降雪前の傾幹幅よりおおよそ8cm~9cm増加していない。4月下旬に測定した冬期間における傾幹幅増加量は、120cm部位で65.8cmであった。

を考えると、スギの根元曲り増加量は、樹高136cm以下の幼齢木では樹幹倒伏量が大きくてもその後の立ち直りが大きいとさほど大きくならないと考えられる。

4年生以上の林木では積雪157cmの年に測定した4年生、6年生林木、積雪230cmの年に測定した5年生、7年生林木のいずれにおいても傾幹幅が大きく増加している。4年生林木では立ち直り部位が100cmから120cmに移行し、傾幹幅も36.8cm～37.8cmとやや大きくなった。傾幹幅は降雪前のそれよりおよそ19cm程度増加しており、3年生林木の傾幹幅増加量に比較すると著しく大きくなっている。これは、樹高が246cmを越えた4年生以上の林木では、傾幹幅の急増が始まることを示している。5年生林木では、冬期間の積雪深が230cmと多かったことから、樹幹が大きく傾き立ち直り部位が140cmより上部に移行したと考えられる。傾幹幅も120cm部位で87.6cmに達しており、降雪前の傾幹幅よりおよそ50cm程度増加している。6年生林木では立ち直り部位が60cmから120cmへと移行し、傾幹幅は40.6cm～44.0cmに達しており、傾幹幅の増加量はおよそ4年生とほぼ同じく19cm程度であった。7年生林木では5年生林木と同じく樹幹が大きく傾いたため、立ち直り部位は140cmより上部に移行し、傾幹幅も120cm部位で84cmと非常に大きくなった。

2. 倒伏した樹幹の立ち直り

消雪後、倒伏した樹幹は立ち直りを始め、その立ち直りは生長がほぼ休止する11月上旬までに完了し、樹幹上部は直立した状態になる。この過程で根元曲りが形成されていくが、4月下旬に測定した傾幹幅の増加量(表-5)には林齢によってさほど大きな違いは認められない。しかし、11月上旬では3年生以下の林木では根元曲りが小さいのに対し、4年生以上の林木では大きな根元曲りが形成される。これは、倒伏した樹幹の立ち直りが林齢によって異なるためと考えられる。以下この立ち直りについて検討した。

1) 消雪後～6月上旬

早春、埋雪されていた樹幹が融雪に伴って積雪から解放されると倒伏していた樹幹は急速な立ち直りを示す(107)。富山県ではスギの活動が始まるのは3月中旬～下旬ごろからと考えられるが(22)、雪圧から解放されてもまもなくこれらの樹幹の立ち直りは、測定開始時の4月上旬から徐々に始まりスギの針葉

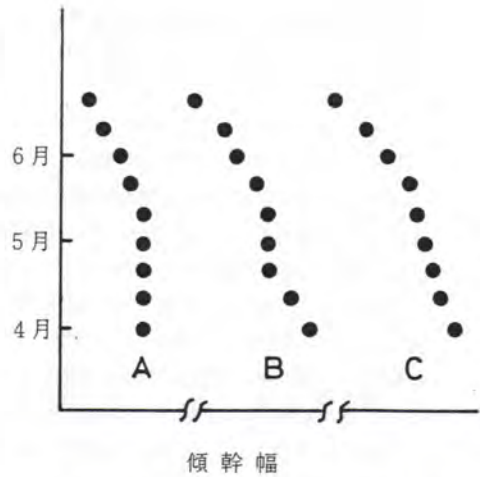


図-8. 樹幹先端部における立ち直り過程

が伸び始める4月下旬から6月中旬にかけて最大に達する。そして、立ち直りはその後しだいに減少し、生長がほぼ休止する11月上旬までにはほぼ休止する。このような立ち直りは主軸先端に最も敏感に現われる。そこで主軸先端の立ち直り過程を、消雪後4月上旬に測定開始し6月下旬までそれぞれの林木で検討すると、A) 測定開始時より傾幹幅が殆ど変化せず針葉が伸び始め米粒大(3mm～4mm)の大きさになった5月上旬から中旬以降に立ち直りが始まる個体。B) 測定開始時より立ち直りが認められるが4月下旬から5月上旬にかけて一度休止する。その後針葉が伸び始め、それが米粒大になる5月上旬から中旬にかけて再び立ち直りが始まる個体。C) 樹幹の立ち直りは測定開始時より始まり、それがそのまま6月中旬まで持続する個体に分けられる(図-8)。

これらの3つの立ち直り過程は1年生、4年生、5年生、6年生、7年生林木のいずれにおいても認められたが、2年生林木ではAの過程が認められず、3年生林木ではB、Cの過程が認められなかった。測定がやや遅れた1年生、3年生林木ではAの立ち直り過程が多くなっており、また、樹高の大きい4年生～7年生林木でも積雪から解放される時期が測定開始より比較的早くなるためAの立ち直り過程が多くなっている。2年生林木では、樹幹が雪圧から解放されてもまもなく測定されたためB、Cの立ち直り過程が多くなっている。これらのことから、4月

下旬から5月上旬以降の立ち直りは生長に伴う立ち直りであるがB、Cの過程に認められるそれ以前の立ち直りは、弾性余効歪の減少に伴う立ち直りと考えられる。

2) 6月中旬～11月上旬

図-9は1年生から7年生林木における傾幹幅(1年生林木では30cm, 2年生林木では50cm, 3年生以上の林木では120cm部位)が一生長期間最小に達した時期を林齢別にまとめたものである。1年生と2年生林木では6月下旬から7月下旬に傾幹幅が最小に達する個体が多い。これに対し、3年生以上の林木では傾幹幅が最小になる時期はすべて9月以降で、多くの個体は生長がほぼ休止する10月中旬以降である。すなわち、倒伏した樹幹の立ち直りの速度は林齢と共にしだいに遅くなっていくことを示している。これは、1年生、2年生のような若い林木では幹が細く軟らかいため立ち直りが容易であるのに対し、3年生以上になるとしだいに幹が太く固くなるため立ち直りにくくなるためと考えられる。

各林木の立ち直り過程を詳しく検討すると1年生林木の場合7月上旬から中旬、2年生林木の場合6月上旬から下旬までに立ち直りがほぼ完了し、それ以降の立ち直りがほとんど認められずそのまま安定する個体と6月上旬から傾幹幅が再び増加する個体が認められる(図-10, 11)。1年生林木では地上

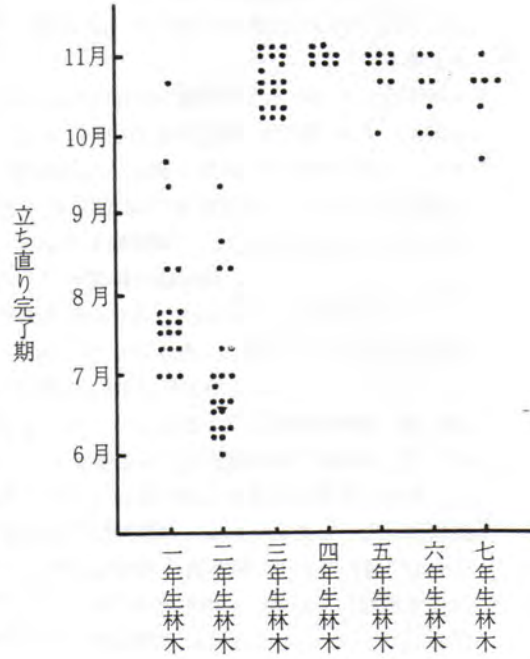


図-9. 立ち直り完了期と林齢

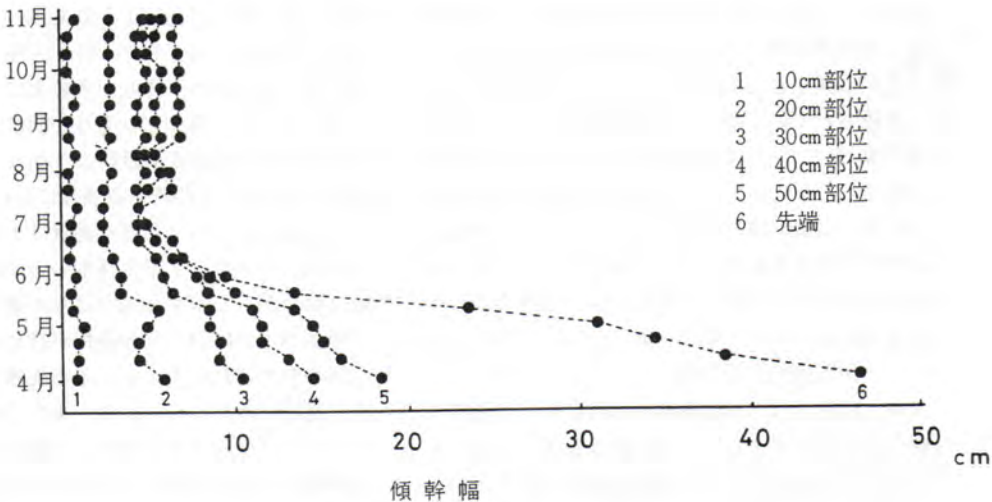


図-10. 2年生林木における樹幹の立ち直り過程

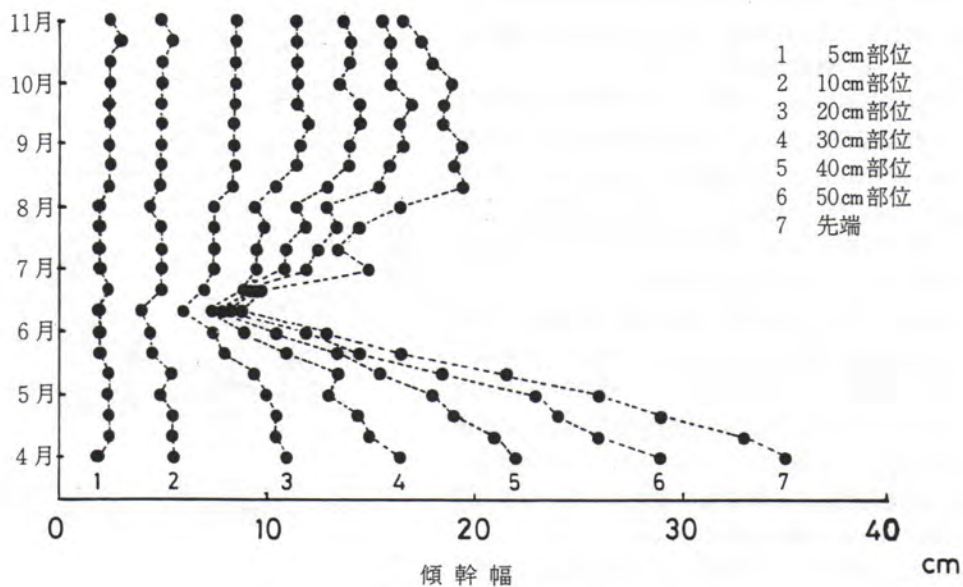


図-11. 2年生林木における立ち直り過程

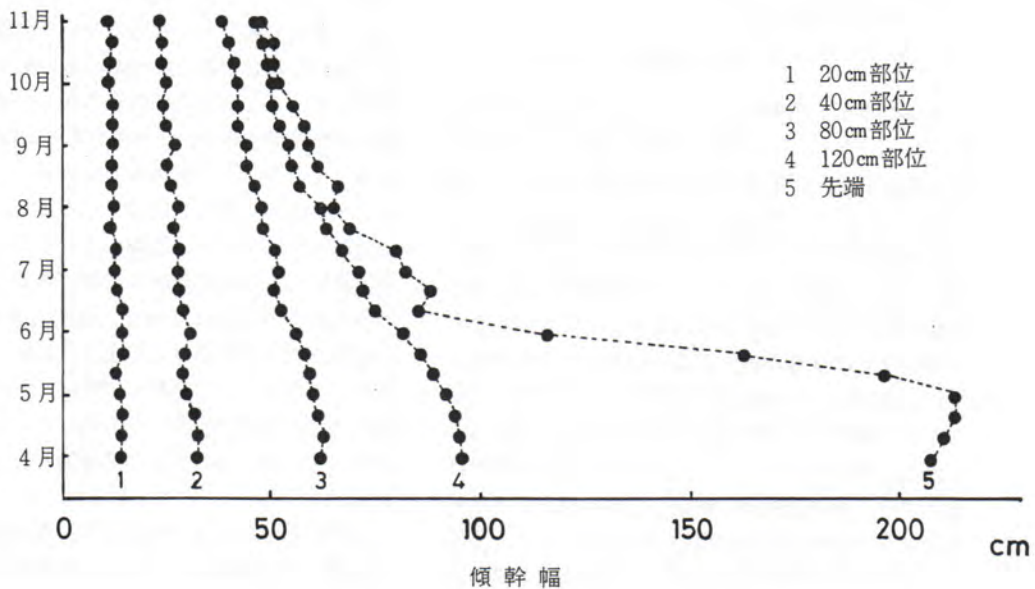


図-12. 樹幹の立ち直りの進行過程(3年生以上)

30cmの部位で5mm以上傾幹幅が再増加した個体は22%であった。2年生林木では地上50cmの部位で1cm以上増加した個体は70%，2cm以上が45%に達し，最大は7cmの傾幹幅再増加を示した。

傾幹幅の再増加は，雪圧によって樹幹が倒伏することが原因で生じるのと異なり根元はほとんど動かず，地上20cm以上の部位からしだいに傾いていく(図-11)。これは生長に伴って増加する自重に，すでに若干曲幹し偏心している樹幹が耐えられずに曲がっていくように考えられる(89)。

石井(17)は，鳥根県内の積雪地帯で2年生林木の立ち直り過程を観測している。その中で，大多数の測定木の傾幹幅は6月10日より7月28日の方が小さくなっているが，逆に10cmも傾幹幅が大きくなる個体があることを報告している。このことから樹体上部の重量増加による傾幹幅の増大は，他の積雪地帯でも認められる現象と考えられる。

一方，3年生以上の林木では，立ち直りは4月下旬から5月上旬にかけて始まり生長がほぼ休止する10月下旬から11月上旬まで続き1年生，2年生林木のように傾幹幅が再増加する個体は認められない(図-12)。樹幹の部位別に立ち直り過程を検討すると；樹幹上部の立ち直りは生長がほぼ休止する11月上旬まで続くが樹幹下部になるほど立ち直りは早く終了する傾向が認められる。

3) 立ち直り率 $((l_2 - l_3)/(l_2 - l_1) \times 100)$

生長に伴う4月下旬から11月上旬までの立ち直り率 $((l_2 - l_3)/(l_2 - l_1) \times 100)$ を検討すると，すべての林木において樹幹下部ほど立ち直り率が低く，上部にいくにしたがって高くなっており，立ち直りの上下差が根元曲りを形成することを示している(図-13)。また，林齢別にみると，いずれの測定年度でも林齢の若いほど立ち直り率が高く，1年生から3年生林木までは積雪の多少によってあまり影響を受けない。これは，3年生以下の林木では幹が細くて軟らかく，樹幹の立ち直りが良いためと考えられる。しかし，林齢が高くなるにしたがって立ち直り率は低下する。特に豪雪年に測定した5年生，7年生林木のように林齢の高い個体の立ち直り率は著しく低く，20cm以下の部位では5%以下でほとんど立ち直らない。これは，樹齢が高くなるにしたがって樹幹下部が太く固くなるためと考えられる。

前にも述べたように，立ち直りの進行は林齢によ

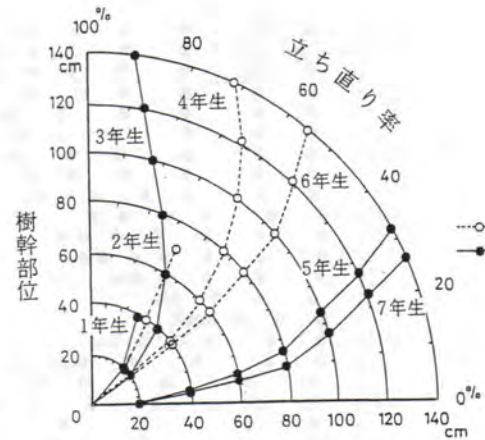


図-13. 樹幹の倒伏量 $(l_2 - l_1)$ と一生長期間における立ち直り率 $((l_2 - l_3)/(l_2 - l_1) \times 100)$ の

って違い，3年生以下では早い。4月下旬から5月上旬までの立ち直り率と7月中旬から11月上旬の立ち直り率を比較すると，1年生，2年生林木は7月上旬までにその立ち直りが完全に終了し，月中旬以後の立ち直りはほとんど認められない(14)。一方，3年生以上の林木では，7月上旬に立ち直りの完了するものではなく，7月中旬以降立ち直りの割合が多くなっている。全体の立ち直り量に対する7月上旬までの立ち直りの割合を100%の部位で検討すると，3年生林木では72%，4年生林木では47%，5年生林木では51%，6年生林木では35%，7年生林木では49%になっており3年生以上の林木では7月中旬以降の立ち直りが大きな割合を占めている。3年生林木においては7月上旬の立ち直りの割合は72%と比較的大きく，また，幹全体の立ち直り率は4年生以上の林木より良いことから，3年生林木の幹は1年生，2年生木のように柔軟性をもったものから4年生以上木のように固くなっていく過度期として位置づけられる。

11月から翌年4月下旬までに，雪圧の影響によって増加した傾幹幅 $(l_2 - l_1)$ と4月下旬から一生長期間を経過した11月上旬までの樹幹の立ち直り率 $((l_2 - l_3)/(l_2 - l_1) \times 100)$ の相関係数 R を求めると分的に1年生林木では5%の水準でプラスの，

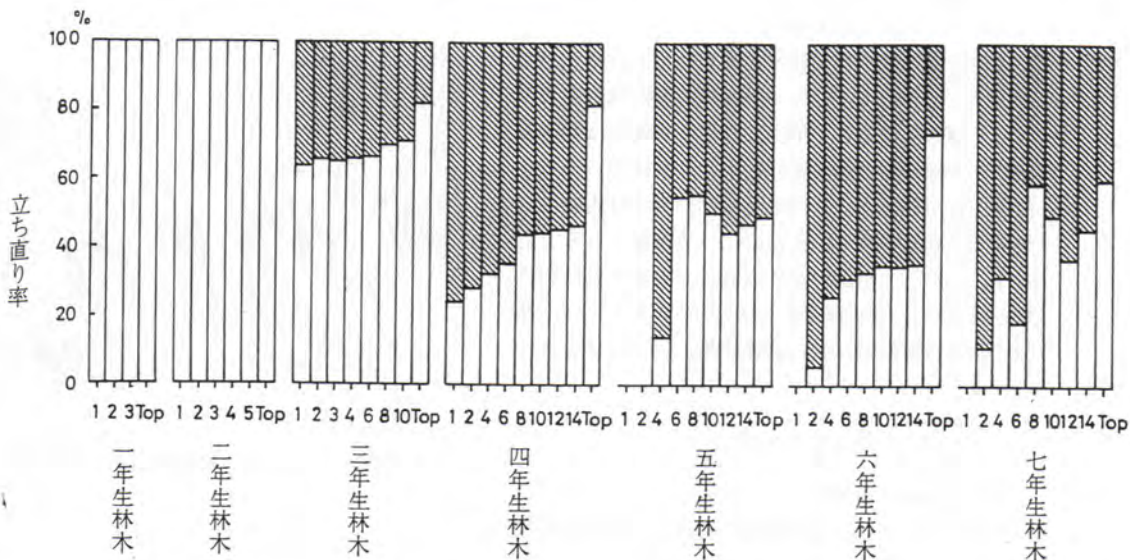


図-14. 部位別平均立ち直り率の季節別の割合

- 4月上旬～7月上旬
- ▨ 7月中旬～11月上旬
- 1 10cm部位
- 2 20cm部位
- 3 30cm部位
- 4 40cm部位
- 5 50cm部位
- 6 60cm部位
- 8 80cm部位
- 10 100cm部位
- 12 120cm部位
- 14 140cm部位
- Top 先端部

表-6. 樹幹の倒伏量(l_2-l_1)と立ち直り率($(l_2-l_3)/(l_2-l_1) \times 100$)の相関係数

林齢(年) 樹幹部位	1	2	3	4	5	6	7	4~7
先端	+0.15	+0.56*	-0.55*	-0.55	-0.79*	-0.87*	-0.76*	-0.72**
140cm	-	-	-	-0.73*	-0.74*	-0.78*	-0.84*	-0.60**
120	-	-	-0.72**	-0.76*	-0.45	-0.80*	-0.85*	-0.61**
100	-	-	-0.70**	-0.81*	-0.50	-0.79*	-0.76*	-0.60**
80	-	-	-0.47**	-0.80*	-0.23	-0.82*	-0.40	-0.59**
60	-	-	-0.68**	-0.74*	-0.36	-0.78*	-0.16	-0.69**
40	-	-0.17	-0.50*	-0.76*	-0.47	-0.91**	-0.60	-0.64**
30	+0.57**	-0.46*	-0.54*	-0.83*	-0.19	-0.86*	-0.20	-0.61**
20	+0.60**	-0.51**	-0.46*	-0.61	-0.16	-0.40	-0.26	-0.54**
10	+0.42	+0.11	-0.69**	-0.25	-0.30	-0.28	-0.48	-0.42*

* 5%水準で有意 ** 1%水準で有意

生林木ではプラスとマイナスの相関が認められた。しかし、3年生以上の林木に認められた相関はすべてマイナスであった(表-6)。このような現象は次のように考えられる。雪によって樹幹が倒伏した場合1年生、2年生林木では幹が軟らかいため柔軟に曲がり幹に歪を生ずるが根系の損傷は少ない。このような条件の下で、生長に伴う立ち直りが大きいことや、6月以降傾幹幅が増加する個体が多いこ

となどのため、雪の影響による傾幹幅の増加量とその立ち直り率の間には、部位によって全く逆の相関が認められるなど一定の傾向を示さなかったであろう。それに対し3年生以上の林木では幹が太く固くなっているため、雪による樹幹倒伏によって幹は根系の損傷を伴い根元から傾く。このような条件の下で樹幹の立ち直りは、他の条件が同じであれば、傾幹幅の増加量と立ち直り率との間にマイナスの相

関が認められるのであろう。

4年生以上の林木をひとまとめにして計算した場合には、1%の水準でマイナスの相関がほとんどの部位で認められる。1年生、2年生林木では幹が柔軟で立ち直り率は倒伏量の大小との関係が少なく、佐藤(64)が述べたように根元曲りの大小は樹幹の倒伏量よりも立ち直りの良否によって支配されるであろう。しかし、樹齢が高くなると立ち直り率は倒伏量と関係しており傾幹幅の大小、いかえれば冬期間における樹幹倒伏量の影響を受けるようになっていよう。

4) 倒伏—立ち直りの過程

雪による樹幹の倒伏とその立ち直り過程は次のように考えられる。降雪初期の冠雪により樹幹上部は大きく谷側へ傾き、その後続く降雪によって埋雪する(4, 23)(写真1~3)。埋雪した樹幹には上に積もった雪の重みと沈降圧などによって徐々に力が加わる。木材は粘弾性的に挙動し、弾性変形と流動が同時に起きる(24)。したがって、埋雪期間中、樹幹には瞬間弾性歪(除荷による瞬間弾性回復)、弾性余効歪(除荷後の徐々なクリープ回復)及び永久歪(負荷—除荷サイクルの終わりに残る歪)が形成される。このとき幹の強度と根系の支持力が大きければ、樹幹下部は直立した状態で埋雪する。しかし、幼齢期では、根系が十分発達していない場合が多いので、樹幹には上記の歪のほかに傾根などの変位が加わり、幹が根元から傾く。積雪が少ない場合は、樹高の小さい個体のみこのような過程をたどるが、樹高の大きい個体は埋雪せず根元曲りの原因となる樹幹倒伏は生じない。積雪が多くなると幹の太くなった大きな個体も地面に押し付けられるため、根返りなどを伴い幹が根元から傾くことがおこる。根系の発達が良く樹幹の支持力の大きい場合は、樹幹が雪圧に耐えられず根元折れや幹折れが発生することになる。

このように倒伏した樹幹の立ち直り過程は、林木が雪圧から解放された時期や林木の埋雪条件、樹幹の大きさなどによって変わってくると考えられる。しかし、基本的には、埋雪された樹幹は早春雪圧から解放されると直ちに瞬間弾性歪が消失し、大きく立ち直る。その後、弾性余効歪の消失が続き樹幹は緩やかな回復を示す。弾性余効歪の消失は4月から5月にかけて終止するが、その後、5月上旬から中旬に始まるあて材の形成に伴う立ち直りが始まり



写真1. スギの埋雪過程(1月10日)



写真2. スギの埋雪過程(1月12日)



写真3. スギの埋雪過程(1月20日)

(109), 3年生以上の林木では生長がほぼ休止する11月上旬まで続く。1年生, 2年生林木では6月下旬から7月上旬にかけて立ち直りが最大に達し, それ以降傾幹幅がそのまま安定するものと生長に伴う樹体上部の重量増加によって再び傾幹幅が増大する個体がある。

2・3・3 要 約

埋雪した樹幹には上に積もった雪の重みと沈降圧などによって徐々に力が加わり樹幹には瞬間弾性歪, 弾性余効歪及び永久歪が形成されるが3年生以上の林木では根系の損傷を伴って根元から幹が傾く個体が多くなる。消雪後, 雪圧から解放された樹幹から直ちに瞬間弾性歪が消失しその後弾性余効歪の減少が続く。弾性余効歪の減少は4月下旬から5月上旬まではほぼ完了し, それ以降は生長に伴う立ち直りが始まる。1年生, 2年生林木では倒伏した樹幹の立ち直りは7月上旬まではほぼ完了するが3年生以上の林木では, 7月上旬までの立ち直り量は11月上旬までの立ち直り量の35%~72%にしか達せず, 7月中旬以降の立ち直りが大きな役割を占める。倒伏した樹幹の立ち直りは樹齢が高くなるにつれて悪くなり, また, 樹幹上部に比べ下部ほど立ち直り率が悪く, これが根元曲りの原因となる。

根元曲り量の変化を経年的にみると, 根元曲りは1年生時からスギが埋雪しなくなる林齢まで徐々に増加していく。多雪地帯では樹幹の倒伏量が多くなることや林齢が高く立ち直りが悪くなった林木でも樹幹が倒伏するため少雪地帯よりも根元曲り量が多くなる。3年生以下の林木では, 幹が細く柔軟で根元曲り量は幹の倒伏量の多少による影響をさほど受けないが, 3年生以上では倒伏量が根元曲りと大きな関係をもつ傾向がある。倒伏量は積雪量によって決まり積雪量は年変動が大きいので, 根元曲り量は必ずしも林齢と共に増加するとは限らない。

根元曲りの形成量は, 樹幹倒伏の多少によって大きく左右されるので, 冬期間における樹幹の倒伏量をコントロールすることが根元曲り軽減につながると考えられる。

2・4 倒伏制御の反応

前節では根元曲りは樹幹の倒伏とその立ち直り過程において生じることを明らかにした。樹幹倒伏の主因は, 樹幹に付着する冠雪であり降雪初期の冠雪

が初因となって樹幹が傾きしだいに埋雪していくと考えられる。降雪初期の樹幹の傾きの大小によって樹幹の倒伏量が異なり, 根元曲りの形成量が影響を受けるかどうかについて検討するため降雪前にテープを用いて幹の倒伏防止処理を行いその効果を測定した。

2・4・1 試験の方法

調査は, 富山県中新川郡立山町栃津の民有林(標高300m, 山腹下部の平衡斜面)に設けた傾斜30°のD林分と傾斜15°のE林分で行った。調査地より1km北西に位置する富山県林業試験場(標高238m)では平均気温13.2℃, 年降水量2,740mm, 過去10か年(1971~1980)の平均年最大積雪深110±52cmである。1979/80年冬期の最大積雪深は157cm, 根雪の初日は1月6日, 終日は3月31日で根雪期間は84日であった。最近4冬期間の年最大積雪深は, 1978/79年に38cmと非常に少なかったほかはいずれも120cm以上を記録している。

倒伏防止処理の調査林分として1979年10月下旬, 平均樹高318cmの6年生林分(D区)と246cmの4年生林分(E区)を選んだ。D区では12m×20mの区画を設け, 列状に6回, 処理と無処理を繰り返し, それぞれ35本づつ計70本を調査した。E区では, 16m×16mの区画を設け, その中で無作為に30本処理木を選定した。残ったものの中から30本無処理木として選定し, 計60本を調査した。

倒伏防止処理には, セキスイタフープ(幅50mm, 厚さ0.01mm, 静荷重約23kgで切断)を用いた。強度の比較的弱いテープを用いた理由は, この試験の目的が冠雪による樹幹の倒伏時期を遅らせることにあり, テープが強ければ完全に埋雪した場合かえって結末部で折れなどの被害が予想されるためである。処理方法は, 初めに直径20cm程度の輪を作り, それを樹高約1/3の高さで幹の谷側へ回す。そして冠雪で樹幹が傾き, 力が加わったときに応力が2点に分散するようにして幹にかけ, その輪に雪起こしと同じ要領でテープを縛りつけた(図-15)。なお, 冠雪で樹幹が山側へ倒れるのを防ぐため, テープはやや緩めた状態にして樹幹が冠雪で谷側へ傾いたときに初めて張力が加わるようにした。

林木の埋雪状態の調査は, 1980年1月25日, 2月17日, 3月17日に行った。傾幹幅は地面から1.3m上部の幹にペンキで印を付けこの印と植栽位置に水

表-7. 倒伏防止処理の傾幹幅と生長量に及ぼす影響

調査 林分	処理方法	調査 本数 (本)	樹高(cm) 1979年	胸高直径 1979年(mm)	傾幹幅(cm) 1979年	当年伸長量 (cm)	胸高直径 増加量(mm)	傾幹幅増加量(cm)	
								冬期間	一生長期間
D	テープ処理	35	320±35.8	32.6±7.0	36.2±15.4	40.0±19.7	17.6±5.5**	38.2±25.2**	8.1±10.0
	無処理	35	315±50.3	32.8±8.0	38.1± 7.8	31.8±17.6	12.1±3.5	61.6±23.0	13.4±11.0
E	テープ処理	30	248±39.3	19.3±5.8	26.3± 7.2	59.4±18.8*	19.6±4.5	42.6±22.9**	6.7± 8.0
	無処理	30	245±30.8	17.8±3.5	28.1± 8.2	46.4±21.5	17.9±3.6	63.1±19.0	11.8±11.0

* 5%水準で有意

** 1%水準で有意

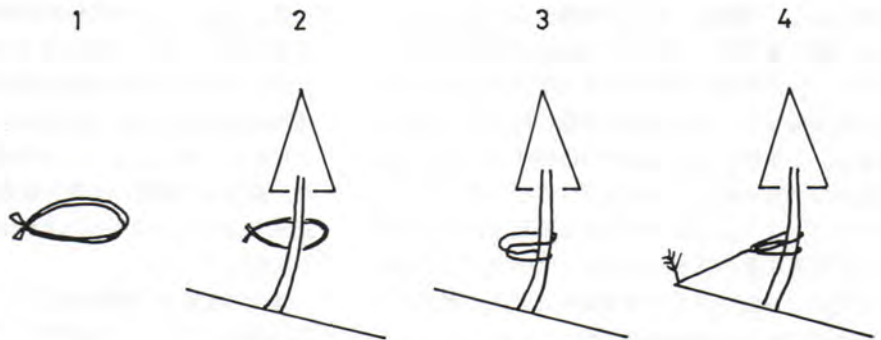


図-15. 樹幹の倒伏防止処理方法

準器を付けたポールとの水平距離である。根元曲り量の計測日は、降雪前の1979年10月11日、消雪直後の1980年4月8日及び一生長期間を経過した1980年11月2日である。1980年秋の樹高は、1979年秋に測定した値に当年伸長量を加えた。また、胸高直径生長はノギスを用い、地面から1.3m上部のペンキで印を付けた部位を同じ方向から測定した。

2・4・2 結果と考察

1. 倒伏防止処理の効果

1) 埋雪木の積雪からの出現

調査木は、1月初旬からの降雪によって完全に埋雪し、積雪の上に認められる個体（以下雪上木と呼ぶ）は1月25日、どの区にも認められなかった。その後融雪が進むにつれて雪上木はしだいに多くなる。D区の無処理木では、2月17日までの雪上木が10本、3月17日までは32本であった。これに対し、E区の無処理木では2月17日までの雪上木が5本、3月17日までの雪上木が14本であった。平均樹高はD区の方が大きく(表-7)、そこで雪上木本数が多くなっている。これは、個体の大きい方が埋雪時の樹幹倒

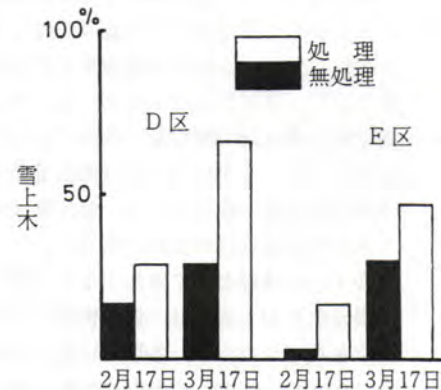


図-16. 処理による積雪からの立ち上がり状況の変化

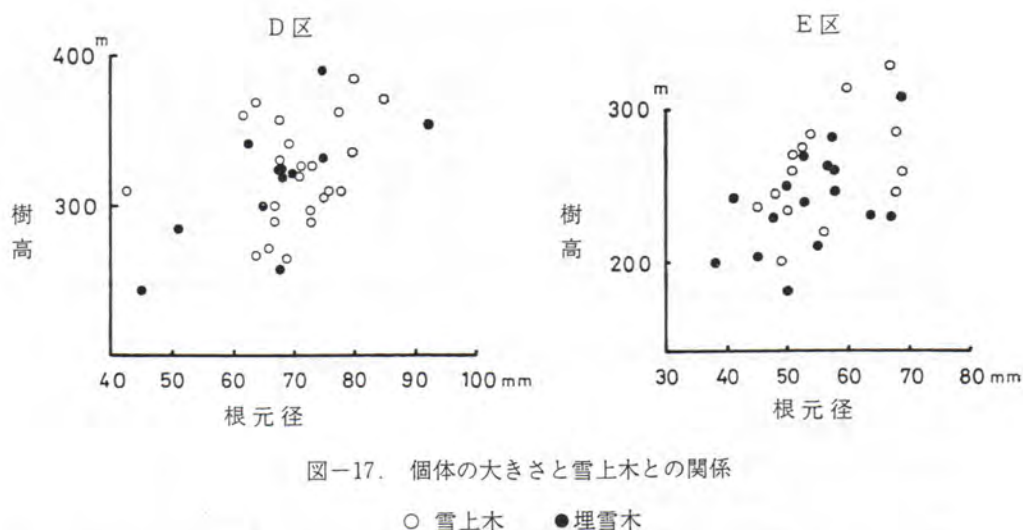


図-17. 個体の大きさと雪上木との関係

○ 雪上木 ● 埋雪木

伏量が少なく、融雪が始まるといち早く雪上に姿を現わすためと考えられる(89)。

一方処理木では、2月17日、3月17日のいずれにおいてもD区、E区とも雪面からの雪上木本数が多く(図-16)、根元直径や樹高の大きさに関係なく出現している(図-17)。倒伏防止処理に用いたテープは、D区で2本、E区で5本の林木を除きすべて切断されていた。テープが切断されなかった個体の中で、D区の1本、E区の2本は山側へ倒伏し、その他の個体は等高線方向へ倒伏した。

2) 根元曲り、当年伸長量、胸高直径生長量に及ぼす倒伏制御の効果

1979年10月下旬から1980年11月上旬までの傾幹幅増加量は、倒伏防止処理を行った個体では無処理木よりもD区で平均5.3cm、E区で平均5.1cm小さかった。また、消雪直後の4月8日に測定した処理木の冬期間の傾幹幅増加量は無処理木よりD区で平均23.4cm、E区で平均20.5cm小さかった。なお、無処理木は樹幹下部から倒伏したものが多く、処理木は降雪初期の冠雪による樹幹の傾きが少なく、その後しだいに埋雪していくが、樹幹下部は直立の状態で埋雪したものが多かった。このことは石川ら(21)の結果と同様である。これらの増加量についてt検定すると、冬期間の傾幹幅の増加量は1%の水準でD区、E区ともそれぞれ有意な差が認められた。したがって、降雪初期の樹幹の傾きが少なければ、

冬期間の樹幹の倒伏量も少なくなり根元曲り量が少なくなると考えられる(表-7)。

当年伸長量は、処理木が無処理木よりもD区で8.2cm、E区で13.0cm優れており、直径生長ではD区で5.5mm、E区で1.7mm処理木がよかった。これらの増加量は、E区の当年伸長量に5%の水準で、D区の胸高直径生長量に5%の水準でそれぞれ有意な差が認められた。このことは、樹幹倒伏の増大と根元曲りの形成によって樹高生長や胸高直径生長が抑制されることを示している。

2・4・3 要 約

根元曲りの大小は、降雪初期の樹幹の倒伏程度の違いによって大きな影響を受ける。すなわち、降雪初期の樹幹の傾きが少なければ冬期間における樹幹の倒伏量が少なく、根元曲りの形成量も少ない。また、樹幹倒伏量の軽減によって樹高生長や胸高直径生長が促進される。

2・5 林地の傾斜の違いによる根元曲り量の差異

スギの根元曲り量は、個体の大きさが同じであれば冬期間における樹幹の倒伏程度によって左右され、樹幹の倒伏量が大きければ根元曲りも大きくなる。樹幹の倒伏量は、積雪量や雪の降り方によっても大きく異なる(21)が、林地の傾斜によっても違うと考えられる。ここでは緩傾斜地と急傾斜地に植栽され

表-8. 調査林木の樹高と傾幹幅の平均

品 種	傾 斜 5°			傾 斜 37°		
	本数(本)	樹 高(cm)	傾幹幅(cm)	本数(本)	樹 高(cm)	傾幹幅(cm)
タテヤマスギ実生	41	233.5±43.7	41.4±14.7	9	268.4±41.3	93.0±20.0
ボカスギ	53	173.5±19.9	37.4±13.1	9	195.6±49.9	74.6±18.0
カワイダニスギ	13	202.1±26.8	20.9± 9.9	10	265.5±14.5	57.1±14.1
上市2号	29	144.8±23.6	19.8± 7.9	10	171.9±35.5	48.8±13.4
ミオスギ	9	155.2±15.2	15.9± 5.5	9	222.2±27.7	48.6±12.7
石動2号	10	136.3±21.9	13.6± 3.1	5	176.0±21.3	38.0±21.3

たスギさし木品種を用いて根元曲り量の違いを測定した。

2・5・1 試験の方法

試験地は1975年10月中新川郡上市町東種県有林(標高500m)のスギ伐採跡地に設定された。土壌は中世代礫岩、砂岩、頁岩を母材とする弱湿性褐色森林土(B_E型)である。試験地より北東約2kmに位置する伊折気象観測所(標高400m)の年降水量は3,522mm,年平均気温11.6℃,過去7年間(1975~1981)の平均年最大積雪深2.5m±1.5mで1980/81年冬期は3.6mの極値を記録している(図-18)。

傾斜37°の南向き斜面の試験地にタテヤマスギ実生,上市2号(タテヤマスギ),ボカスギ,石動2号(リヨウウスギ),ミオスギ,カワイダニスギの6品種をそれぞれ10本づつ植栽間隔2m×2mで無作為に混植した。また,隣接する傾斜5°の西向き斜面の試験地では,同じくタテヤマスギ実生,上市2号,石動2号(リヨウウスギ),ボカスギ,ミオスギ,カワイダニスギの6品種を植えた。このほかタテヤマスギ精英樹(上市3号,城端1号,大山1号,立山1号)も同時に植栽されている。各品種の植栽間隔は2m×2mで1プロット5×6=30本植えとし,12プロットを1ブロックとして3ブロックを試験地内に配置した。植栽時の苗齢はタテヤマスギ実生で3年生,ボカスギは1年生,他のさし木は2年生苗を用いた。測定は1981年の秋に行ったが1980/81年の豪雪による被害が大きかったので幹折れなどの被害の生じていない正常な個体についてのみ樹高,傾幹幅について測定した。傾幹幅については,植栽位置に水準器を付けたポールを垂直に立て,樹幹の胸高部位(1.2m)とポールとの水平距離を用いた。なお,いずれの林分においても雪起こしは実行されていない。

2・5・2 結果と考察

1. 樹高生長量と傾幹幅の違い

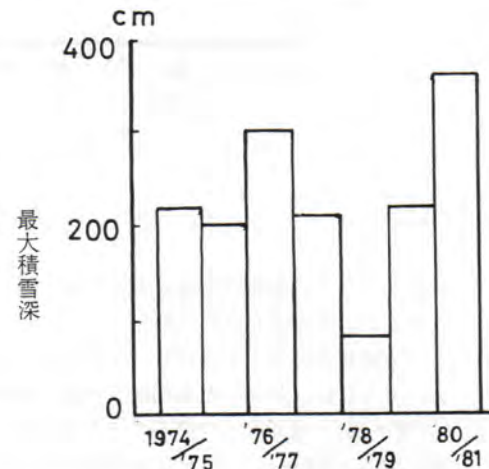


図-18. 伊折気象観測所における過去7年間の平均年最大積雪深

6年生時における樹高は斜面の傾斜が5°の試験地では136cm~234cm,傾斜37°の試験地では176cm~234cmに達しており,いずれの品種も急傾斜地においてやや樹高生長が優れていた(表-8)。品種別にみるとタテヤマスギ実生が最も良く,次いでカワイダニスギ,ボカスギ,ミオスギ,リヨウウスギ,上市2号の順になっているが緩傾斜地ではリヨウウスギ,上市2号の順位が入れ替わっていた。これらの品種の樹高とこの地帯の積雪深から考えると,いずれの品種も冬期間は完全に埋雪し,傾幹幅はまだ毎年加しつとあると推測される。

緩傾斜地におけるスギの傾幹幅は13.6cm~41.4cm,急傾斜地のそれは38.0cm~93.0cmに達しており,傾斜地では著しく傾幹幅が大きい(表-8)。これらによつて樹幹が谷側へ倒伏させられたとき,傾斜地の強い林地ほど樹幹の倒伏量が大きくなるためと推測される。傾幹幅は品種によって差が認められるが,いずれの試験地においてもタテヤマスギ実生,

表-9. 樹幹解析に供した個体の根元曲り量

調査 林分	曲がりの 度合	本数 (本)	樹高(cm)		平均傾幹幅(cm)	
			1979年10月	1979年10月	1980年4月	1980年11月
A	大	3	76	11	30	15
	小	3	88	6	22	6
B	大	3	286	40	109	71
	小	3	273	22	92	29
C	大	3	359	44	104	73
	小	4	360	21	36	22

スギ、カワダニスギ、ミオスギ、上市2号、リヨウワスギの順であり、根元曲りに対する抵抗性は品種によって異なることを示している。

2・5・3 要 約

スギの根元曲りは、個体の大きさや積雪量だけでなく植栽された林地の傾斜によっても大きな影響を受ける。急傾斜地の方が緩傾斜地よりも樹幹の倒伏量も大きくなるため根元曲りは大きくなる。したがって、スギの根元曲りは埋雪される個体の大きさと積雪量の関係に加え、林地の傾斜によっても左右されると考えられる。

2・6 根の損傷と変形

積雪によってスギの樹幹は根元から倒伏する。樹幹が倒伏する時に根は損傷を受ける。根の損傷は樹幹の倒伏量と関係を持つと予想される。

石川(19)は、25年生林分の樹幹解析から、豪雪の年は根元直径生長が悪く、その原因の一つとして冬期の樹幹倒伏に伴う根切れを挙げている。このほかにも樹幹倒伏に伴って根抜け(79, 83)、浮根(34)、根の切断(104)という現象が報告されている。また、須藤ら(81)は、倒伏し地面に接地した樹幹下部から発根が促進され幹が根株化することを報告している。雪による樹幹倒伏によって幼齢期のスギの根がどのような影響を受けるのかについて検討した。

2・6・1 試験の方法

第二章3の実験を行ったA林分(2年生)、B林分(4年生)、C林分(6年生)から1979年～1980年にかけて根元曲り量が急増した個体をそれぞれ3本と根元曲り量が小さく、その増加量も少なかった個体を2年生、4年生林分からそれぞれ3本、6年生林分から4本、計19本を抽出した(表-9)。傾幹幅は地上

より1.2m上部の幹にペイントで印を付け、この印と植栽位置に立てた水準器を付けたポールとの水平距離とした。冬期間の埋雪状況の調査は1980年1月25日、2月17日、3月17日に行った。抽出された個体は、1980年11月下旬に根を丁寧に掘り起こして山側、谷側、等高線方向に損傷の有無または程度について観察すると共に、樹幹解析を行い幹、枝、新葉、旧葉、根に分けて絶幹重(105℃)を測定した。なお、当年生枝は葉とし、緑軸は枝として取り扱った。また、第二章2で根元曲り量を測定した4年生林木8本、6年生林木7本の根株長を1980年11月上旬と1984年11月上旬にそれぞれ測定し、4冬期間の根株長増加量を求めた。根株長は、スギの植栽地点と考えられる部位と樹幹が接地し発根している部位までの長さとした。

2・6・2 結果と考察

1. 根の損傷と変形

測定木は、冬期間いづれも埋雪した。1980年秋に根元曲りの大きなものはいずれの林木においても前年すでにやや大きな根元曲りが形成されており(表-9)、根元曲りは毎年累積されてきたと考えられる(65)。

2年生林木と4年生、6年生林木で根元曲りが小さかった個体の根系は四方によく発達し根の損傷が全く認められなかった(写真-4)。しかし、4年生、6年生林木で根元曲りが大きかった個体には、白根が出ておらず、0.9mm～1.6mmの太さでしおれて枯死している細根が多数確認され、特に6年生林木の方が多数見うけられた。根の損傷は、根元を中心において見ると特に山側に多く(写真-5)、等高線方向ではほとんど損傷を受けた形跡はなく良く発達しているものが多かった。谷側では、樹幹が倒伏したと

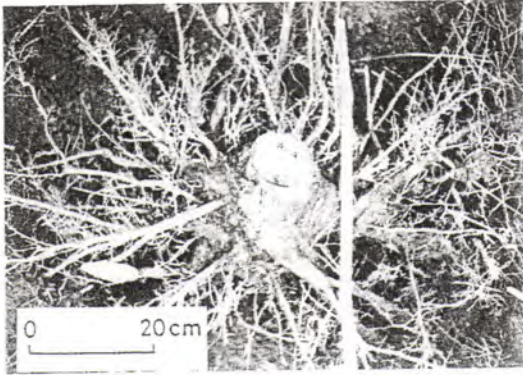


写真-4. 損傷のない根

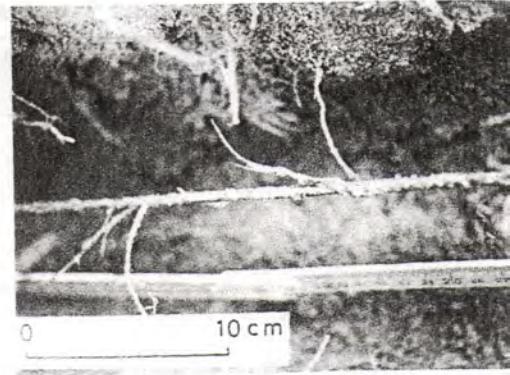


写真-5. 山側の根の損傷

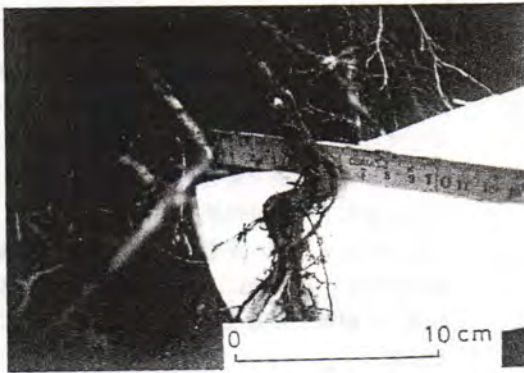


写真-6. 倒伏した時に生じた根の変形

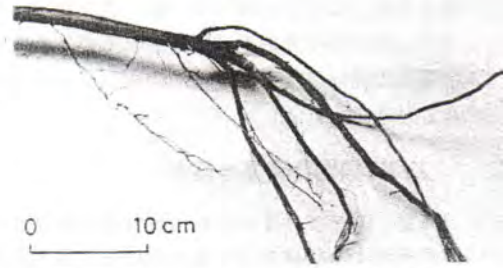


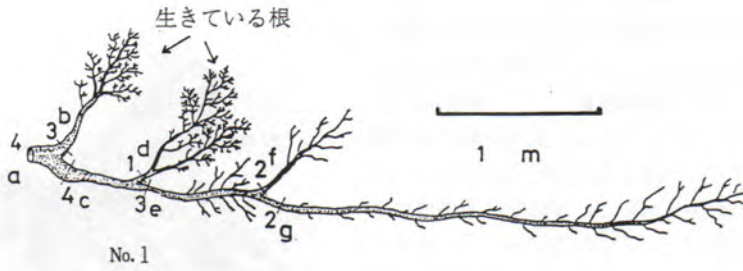
写真-7. 損傷によって生じた根の変形

きにめり込んだと考えられるL字形に変形した根や(写真-6), 損傷が原因と考えられる放射状に分岐した根が認められた(写真-7)。図-19の1は, B区の根元曲りの大きかった個体の山側から掘り上げた根である。その全長は230cmで, 生きていた部分はbとdの根でe以下はすべて枯死しており, eで損傷を受けた痕跡が認められた。各部位の年輪はa, cで4年, f, gで2年, dで1年であった。この根は1979/80年の雪による樹幹の倒伏で損傷を受けe以下の根がすべて枯死し, dの根が分岐発達したことを示している。

図-19の2は, 6年生林木で根元曲りが大きかった個体の山側の根で, 年輪は5年を数えるが分岐根

の発達しない棒状の根になっている。根株から1m以内で枯死していた細根が51本に対し, 生きていたものは6本で, 毎年根が引っ張られ細根が枯死するため発達できないことを示していた。このように根元曲りの増加が著しい個体では斜面上部, 下部に分布している根に大きな損傷が生じている。このような損傷を生じた根の発達は著しく悪くなると考えられる。

斜面の各方位における根の発達状況を把握するため, 根株を中心として傾斜方向と45度に交わる2本の直線を引き, 左右, 上下に区分しそれぞれの方位の根の重さを測定した(図-20)。6年生林木では各斜面方位の根重は上記の根の損傷の程度とほぼ



a	c	e		1977		
1	1	1				
a	b ²	c	e	f ²	1978	
3	3	3		g ²	1979	
a	b ³	c	d ¹	e	f	1980
4	4	4			g	

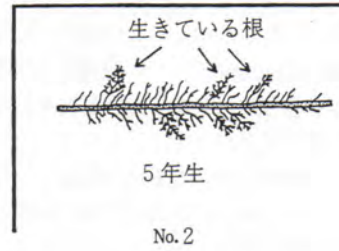


図-19. 根元曲りの大きい個体における山側の根の損傷状況
左下はNo.1の生長・分岐・損傷の過程と各部位の年輪数

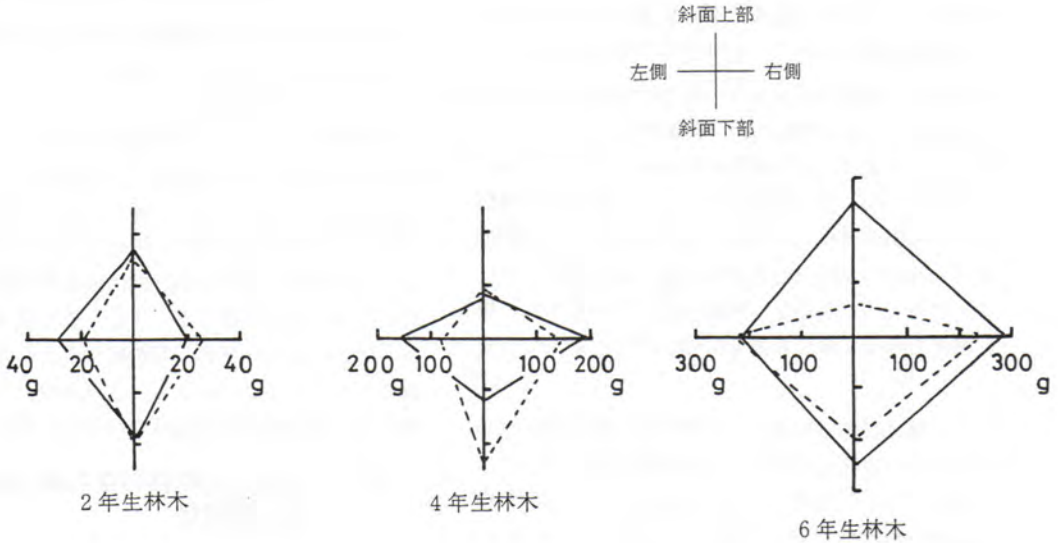


図-20. 根元曲りの大小と根の分布(平均根重)
—— 曲がり小
----- 曲がり大

じ傾向を示した。根元曲りの大きかった個体では斜面上部にみられる根重は他の方位の根重よりも著しく少なく、 t 検定を行うと1%の水準で有意な差が認められた。斜面下部の根重は、左右に分布する根重とはほぼ同じであったことから、根の圧縮による変形は斜面上部ほどの影響を与えないものと考えられる。根元曲りの増加量の少ない個体では、方位による根重の偏りが少なく、どの方位においてもほぼ均等に分布している。4年生林木では、根元曲りの急増した個体もしなかった個体も斜面上部に分布している根重は他の方位の根重よりやや小さいが、6年生林木で認められたような傾向を示さなかった。2年生林木では、根元曲りが急増した個体もしなかった個体も各方位に分布している根重はほとんど変わらず、根の損傷がほとんど生じていないことを示している。積雪下でおこる根の損傷は特に斜面上部にはげしくおこるが、それは樹齢と関係があり、年齢の増加と共に大きくなるようにみえる。

若林(103, 104)が報告しているように、雪による樹幹倒伏によって地下部の根には引っ張り、曲げ、圧縮、せん断、ねじれなどの力が加わる。等高線方向に伸びた根に加わるねじれは、大きな損傷を与えないため根は最もよく発達する。斜面下部に加わる圧縮の力は、根の一部を変形させるが、損傷は比較的少ない。しかし、斜面上部の根は引っ張られ動くため損傷が最も大きく、根はあまり発達しない。したがって、根元曲りの大きい個体は横根の張った特有な形態になる(写真-8)。樹高の低い個体では、第二章2で述べたように幹が軟らかいため幹の曲がりだけで対応し根の損傷は少ない。一般に樹幹倒伏によって根が受ける損傷は、個体の大きさ、積雪量、雪質、傾斜、土壌の土性と緊密度、根の位置などによって異なるとしても、斜面上部つづいて下部の根に損傷を与えて根の発達を抑制し根系を変えてしまう。

根の損傷に伴い倒伏した樹幹下部の接地部から発根して幹の根株化が生じる。1980年11月において、5年生であったB林分、7年生であったC林分の根株長はそれぞれ4.0cm、4.6cmと非常に小さかった。しかし、4冬期を経過した1984年11月の根株長はB林分で16.9cm、C林分で19.9cmと12cm~15cm増加した。これは、1980/81年の最大積雪深は230cmと多雪であり、その後も80cm~190cmの積雪が続いた



写真-8. 根元曲りの大きい個体の根系

ため幹が根元から倒伏し、接地した部位から発根促進され根株化したと考えられる。須藤ら(81)は形県内の最大積雪深が3mの地帯で11年生林木の根発生部位の変化を三冬期間測定し、その移動量0~44cmで平均20.4cmであったことを報告している。このように積雪地帯では、雪により毎年樹幹が倒れ幹が埋もれ、根株化する現象が一般に認められる。このような現象は、雪の多い地帯では幹の一部がなくなり根系全体が樹幹倒伏の生じにくい形態に変化していくことを示している。

2.6.3 要約

樹幹倒伏によって、根は損傷を受ける。山側に分布する根は引っ張られ根抜けなどを生じるため損傷が最も大きく根はあまり発達しない。谷側に分布する根は、圧縮を受け根の一部が変形を受けるが損傷は比較的少ない。等高線方向に分布する根は損傷最も少なくよく発達する。また、根元曲りが大きくなっていく過程で樹幹下部の接地部から発根し幹根株化が生じる。このようにスギの根元曲りが形変されていく過程で根系は特有な形態に変形してい

2.7 倒伏した樹幹の立ち直り反応とあて材形成

根元曲りの大小は、樹幹の倒伏量と倒伏した樹幹の立ち直りによって左右される。立ち直りは材に形成されるあて材によるものとみられるから、立ち直りとあて材の形成についても把握する必要がある

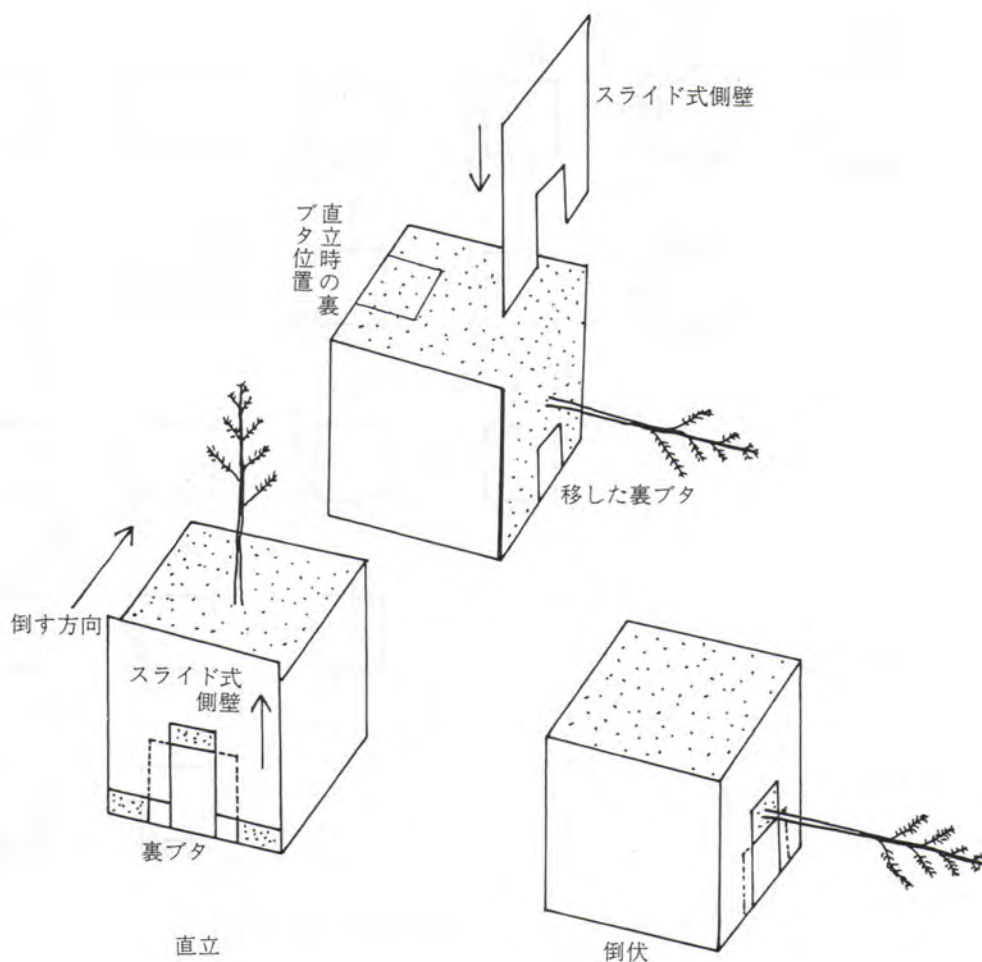


図-21. 角型ポット

このような目的で90°倒伏できる角型ポットに植えたスギ苗を用い、根に対する損傷が全く生じない状態で倒伏したポットを早春より10日おきに直立させ、樹幹の立ち直り反応とあて材形成について検討した。

2・7・1 試験の方法

厚さ4mmの塩化ビニール板で、縦、横、深さ33cmの角型ポットを作り、側面は90°倒伏させても取り外し、スギの植えてある面にさし込めるようスライド式とした(図-21)。1981年5月下旬に富山県林業試験場構内で75個のポットに2年生さし木苗を植栽し、直立した状態で翌年の3月まで生育させた。なお、

ポットは冬期間室内に移動した。消雪直後の1982年3月8日にポットを野外に移し、水平に設置した。1982年3月11日に75個のポットの内3個は直立したままにし、残りはすべて90°倒伏させた。その後、4月6日よりおよそ10日おきに3個ずつ11月2日までポットを直立させ、3個は倒伏したままにした(図-22)。ポットに用いた用土は畑から掘り上げた深土を用いた。植栽時に1ポット当たり尿素4g、過燐酸石灰3g、塩化カリ4gを土に混入し、翌年5月同量の肥料を施肥した。

植栽木の幹には、地際と地際から幹に沿って10cm

1981年5月29日 1982年3月11日 1982年4月6日 1982年4月16日 1982年6月16日 1982年11月19日

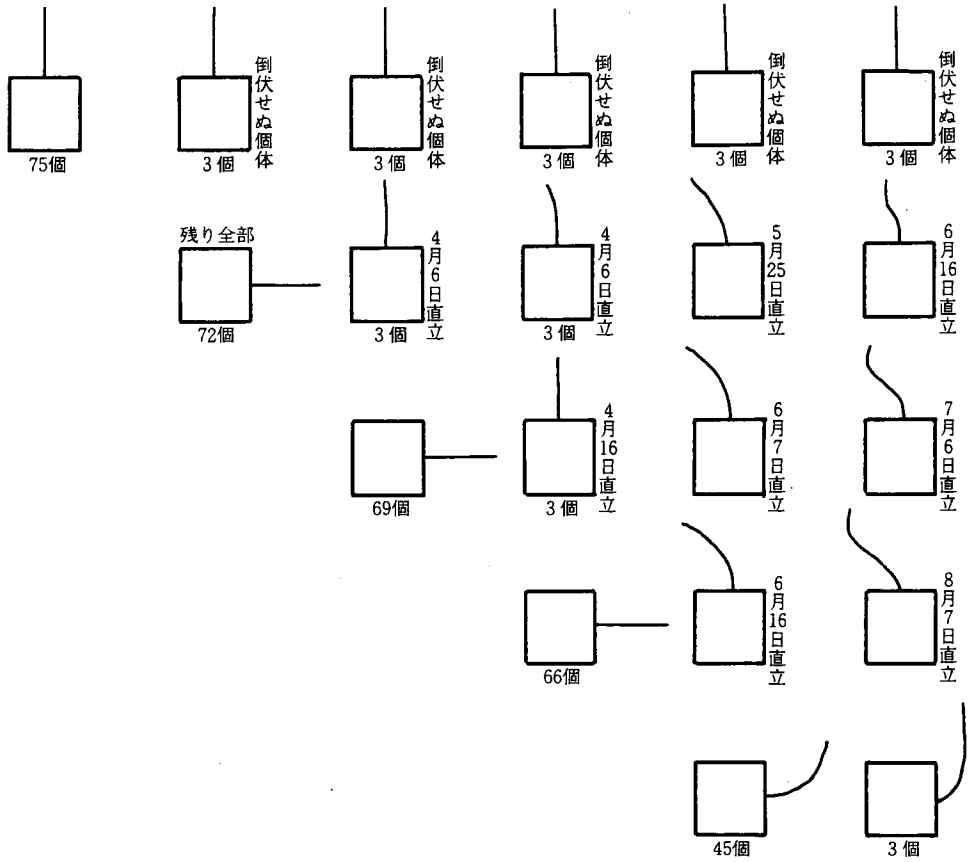


図-22. ポットの直立時期と樹幹形の変化

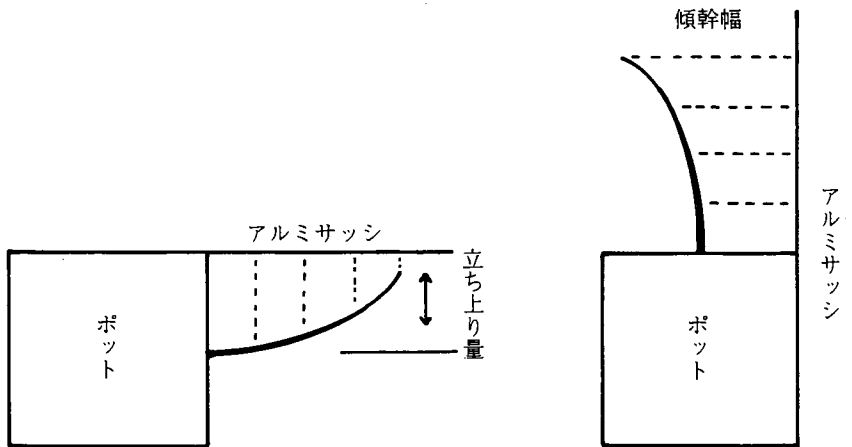


図-23. ポットにおける立ち上がり量と傾幹幅の測定方法

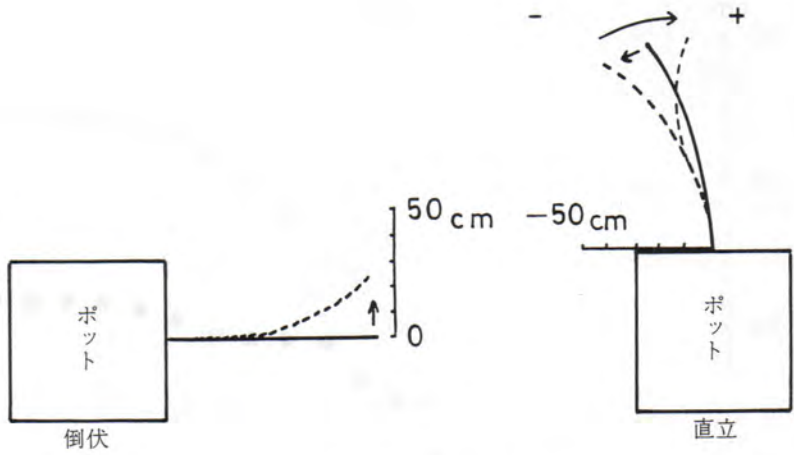


図-25. ポット倒伏時と直立後における樹幹の動き

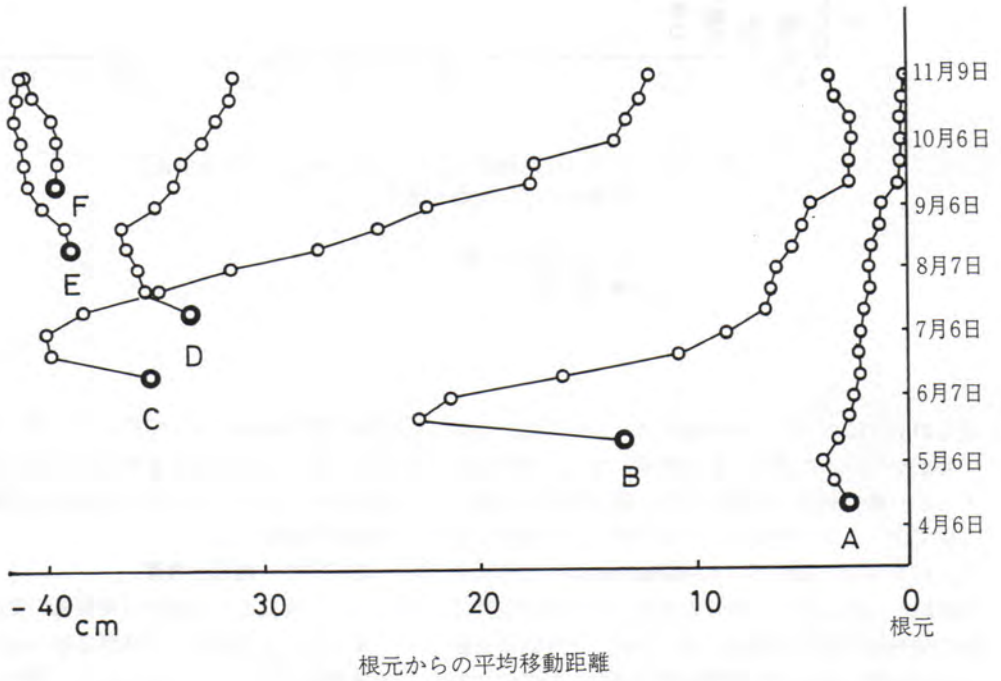


図-26. ポット直立後の樹幹先端の移動

- ポット直立時の先端部位置
- A 4月16日直立 D 7月16日直立
- B 5月17日直立 E 8月17日直立
- C 6月16日直立 F 9月16日直立

直立させたポットでスギの樹幹は、図-25に示したように倒伏時における曲がりのため鉛直方向よりも傾いた状態にある。そして時間の経過とともに初めは直ちに幹が鉛直方向(以下プラス方向と呼ぶ)へ直立せず、逆に曲がりが大きくなる方向(以下マイナス方向と呼ぶ)へ移動する。このような傾幹幅の変化を幹の先端部でみると、最初から倒伏しなかった個体及び、4月6日に直立させた個体では、プラス方向またはマイナス方向への移動はほとんど認められない。しかし、4月16日以降に直立させた個体は、直立後すべてマイナス方向へ移動する。これは立ち上がりが始まっている個体を直立させても、直ちに樹幹が通直になるプラス方向へ移動するのではなく、すでに形成されているあて材などの働きによって樹幹がマイナス方向(倒伏時の立ち直り方向)へ移動するためと考えられる。直立させてから次の測定日までの10日間の傾幹幅の増加は、樹高生長が最も旺盛になる4月下旬～7月上旬にかけて大きくなり、最大で11cm近くに達する(図-26)。また、ポットを直立させてからマイナス方向へ幹が移動する期間は、生長が最も旺盛な5月6日、17日、25日では10日(一測定期間)、4月16日、6月6日～7月5日では20日(二測定期間)、7月15日以降は40日(四測定期間)である(図-26)。そして、その後プラス方向へ幹は移動し、幹の曲がり矯正されていく。

由本ら(116)は10年生で樹高約2mに達したグラウカトーヒ(*Picea glauca*)を45°に傾け0, 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25日後に当年生から3年生節間を採取し、あて材の形成度合を調査している。グラウカトーヒの場合、7月に傾斜した個体は10日後にあて材の形成が認められたが、8月に傾斜した個体のあて材形成の進行は7月のそれより約半分の速度であったことを報告している。傾斜した幹におけるあて材の形成と幹の曲がり反応は幹を傾斜した時期によって違う。前述したように、直立させた時期によって樹幹がマイナス方向へ移動する期間が異なるのは、直立時期が遅れるにしたがって倒伏期間中のあて材形成が進行するのに対し、直立後における新しいあて材の形成反応が次第に遅くなるためと考えられる。このことは、一旦樹幹に大きな曲がり形成されるとその回復は非常に困難であることを示している。

時期別に直立させたスギ樹幹の通直性の基準として、根元の位置から先端部の隔たりを水平距離で示した(図-27)。これによると、4月中旬に直立させ

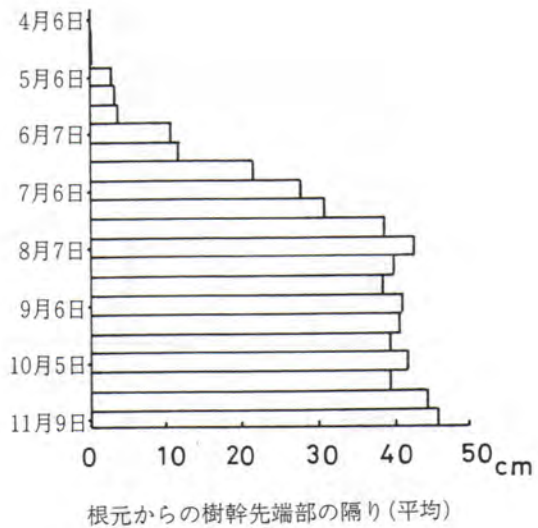
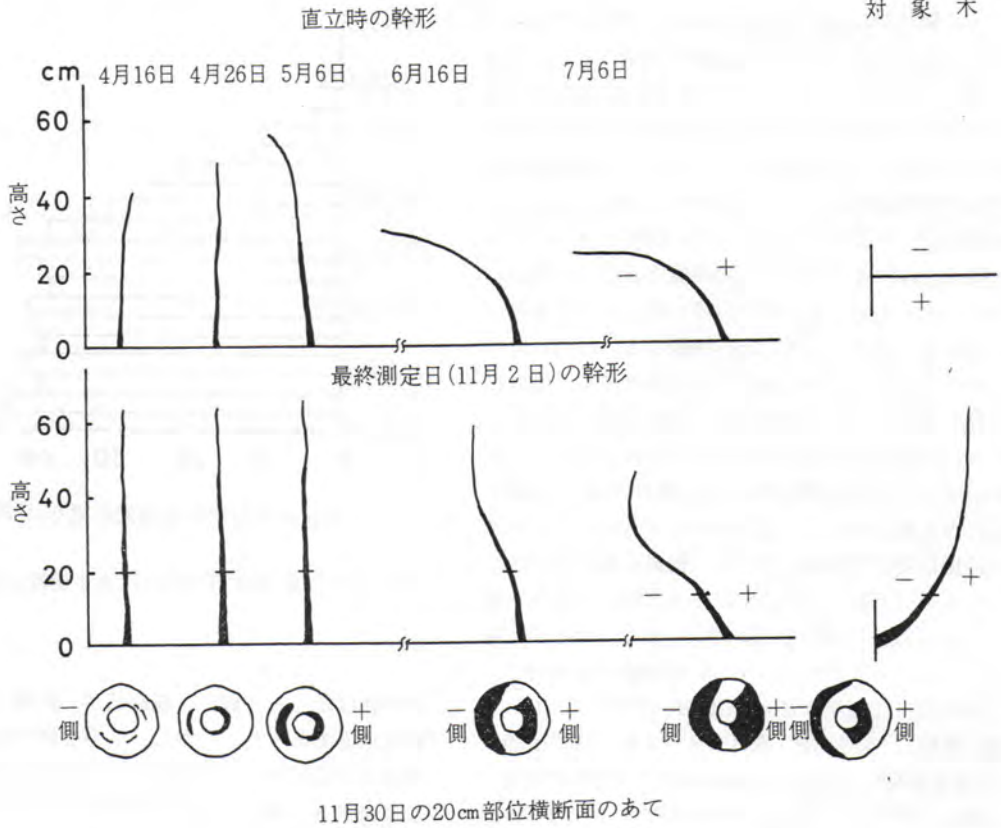


図-27. 直立時期の違いによる樹幹の通直性

た個体はほとんど根元と先端部が一直線上にあり、幹は通直であった。しかし、5月6日では3.0cm、5月16日では3.4cm、5月26日では4.0cmとしだいに隔たりが大きくなり6月7日では10.5cmとなった。これはポットを直立させる時期が遅くなるほど樹幹の立ち直りに伴って大きな曲がり形成されることを示している(図-28)。

2. ポットの直立時期とあて材形成

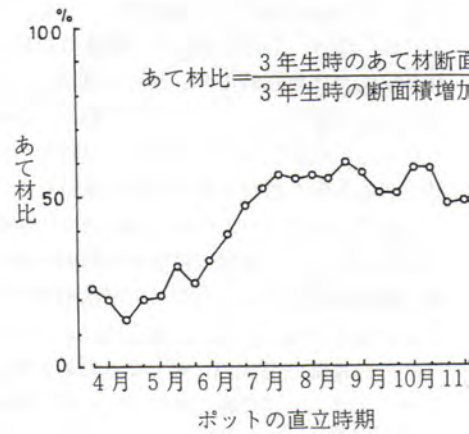
地上20cm部位の樹幹断面におけるあて材比(3年生時のあて材面積/3年生時の断面積増加量)は、ポットの直立時期の違いによって大きく異なっている(図-29)。倒伏させなかった個体や、スギの生長が始まる直前(4月6日)及び直後(4月16日)に直立させた個体は、あて材の形成量が少ない。しかし、4月26日以降に直立させた個体は、直立時期が遅れるにしたがってあて材の形成量が多くなり、7月上旬から8月中旬にかけほぼ最大に達し、その後しだいに減少していく傾向がある(図-29)。地上20cm部位におけるあて材の現われ方をみると、倒伏しなかった個体及び4月16日までに直立させた個体ではあて材の形成量は少なく、出現する部位に一定の傾向は認められず(図-28)、これらの個体には処理によるあて材が形成されなかったとよい。上長生長が開始された4月26日以降に直立させた個体は、樹



図一28. 直立時期の違いによる幹形とあて材形成の変化

幹断面の下側(プラス側)にあて材が出現し始める。そして、プラス側のあて材が形成されなくなるころから断面の上側(マイナス側)に明確なあて材が形成され始める。この現象は、マイナス方向へ曲がりすぎた樹幹を直立化させるため、マイナス側にもあて材が形成されるためと考えられる。

5月以降に直立させた個体では、断面のプラス側とマイナス側に作られるあて材の面積はしだいに大きくなる。あて材の発達の仕方を見ると、プラス側のアテ材は内側から外側に向かってしだいに増加していき、7月6日に直立させた個体では外縁まで達する。しかし、7月6日以降に直立させた個体においてプラス側のあて材は、外側からしだいに内側に向かって減少していき、直立させなかった個体ではかなり少なくなる。一方、マイナス側のあて材は、内側から外側へ向って増加していき、6月16日には外縁



図一29. ポットの直立時期と平均あて材形成率の変化

まで達する。その後、しだいに内側から外側に向かって減少していく(図-28)。ポットを直立させなかった個体の場合は、プラス側のあて材形成が途中で停止し、その反対側(マイナス)の外縁にあて材が形成される。この現象から考えると、あて材形成に伴う樹幹の立ち上がりは、それが丁度垂直になった段階で停止せず、逆方向へ曲がりすぎてしまう。そして、それを修正するためにマイナス側にあて材が形成されることを示している。マイナス側のあて材は6月16日まで内側から外側へ向って増加していくのは、直立時期が遅くなるほど大きな曲がり材が作られているので、その回復のために多量のあて材が形成されたためと考えられる。しかし、6月16日以降においてあて材が内側から減少していくのは、ポットを直立させるまでに地上20cm部位においてはすでに立ち上がりが完了し、マイナス側のあて材が形成され始める時期がしだいに遅くなることやスギの生長がしだいに緩やかになっていることなどがその理由として挙げられる。

7月上旬以降プラス側のあて材が外側から減少していくのは、生長がしだいに衰えはじめたため、形成されるマイナス側のあて材の量も少なくなり、その影響でプラス側のあて材形成量も少なくなると考えられる。

プラス側におけるあて材の形成量は、7月上旬にそれが最大に達し、最後まで直立させなかった個体よりも大きくなる。これは、ポットの直立時期が遅くなるほど直立させた時の樹幹がマイナス側に大きく曲がっており、それを通直にするためにマイナス側に大量のあて材が形成され、その影響によって幹がプラス側に傾きすぎると反対側のプラス側にもあて材が大量に形成されることになる。樹幹の曲がりが多いとき、しばしばS字型幹曲りがみられるが、このときにあて材はマイナス側とプラス側に形成されることになるといえる(103)。

2・7・3 要 約

倒伏した樹幹を4月上旬までに直立させた個体では、樹幹倒伏時の影響による直立後の樹幹の移動はほとんど認められない。しかし、それ以降に直立させた個体では当初樹幹の曲がり材が大きくなる方向へ移動し曲がり材が大きくなる。そして、その後再び曲がり材が小さくなる方向へ移動し曲がり材が矯正されていく。5月中旬までに直立させた個体では樹幹の通直性は良いがそれ以降では悪くなる。90°倒伏した樹

幹をスギの生長が始まる前に直立させると樹幹にあて材はほとんど形成されない。しかし、直立させる時期が遅れるほど形成されるあて材の量は多くなり、7月～8月に最大に達する。そして、その後あて材の形成量はわずかに減少する。

2・8 根元曲り安定期以降の立ち直り

スギの根元曲りは樹齢と共にしだいに増加していくが、スギの樹高が最大積雪深の2倍～2.5倍以上になると、スギは埋雪しなくなる。そして、このころ根元曲りは最大に達している(100)。積雪を抜出したスギは、樹幹倒伏が生じないため根元曲りはほとんど増加しなくなると考えられる(94, 95)。井沼(15)は、直径生長に伴って根元曲りが小さくなることを明らかにし、これは谷側に支持根が発達するため、樹幹下部において谷側への肥大生長が著しく促進され、みかけの回復が生じることが原因であることを示した。北村ら(32)は根元曲り木の偏心生長によるみかけの回復について測定し、偏心生長によるみかけの回復は谷側への肥大生長だけではなく、山側への肥大生長によっても生じていることを示した。しかし、塚原ら(100)のデータからみると、根元曲りの最大期に達した14年生～15年生林分の傾幹幅は110cm～120cmであるが、みかけの回復がほぼ終了して根元曲りが安定し始める50年生～60年生林木の傾幹幅は、70cm～80cmである。この場合およそ40cmの傾幹幅の回復量を示している。測定木の胸高直径は14年生～15年生林分で7cm～8cm、63年生林分で37cmであることを考えると、たとえ曲がりの大きい劣勢木が淘汰されたとしても、このような大きな傾幹幅の回復は幹の偏心生長に伴うみかけの回復だけでは説明がしにくく、根元曲り安定期以降にも曲がった樹幹の立ち直りが続くのではないかと考えられる。このことから筆者は、埋雪期を過ぎたスギ林木に立ち直りが生じているかどうかについて検討を加えた。

2・8・1 試験の方法

富山県林業試験場構内では、埋雪期間を過ぎた23年生、15年生林分の中から、一定の直径に偏らないように調査木をそれぞれ8本選定した。傾幹幅は、斜面の側方からみて地上2.0mの部位と地際の幹の中央点にそれぞれ釘を打ち、重錘を付けた糸を地上2.0mの釘を打った部位から垂らし、釘を打った地際と糸との水平距離として示した(図-30)。測定は1983

表-10. 測定林分の概況と傾幹幅の回復量

測定林分	測定本数(本)	林齢(年)	平均樹高(m) (1983年12月)	平均胸直(cm) (1983年12月)	平均傾幹幅(cm) (1983年12月)	傾幹幅の増減 (cm)			傾幹幅減少のなかった個体(本)	林地の傾斜
						1983年12月~1984年5月	1984年5月~11月	1983年12月~1984年11月		
A	8	23	9.2±1.2	13.5±1.6	21.4±11.7	0.7	-1.2	-0.5	3	20°
B	8	15	7.3±0.7	14.7±1.7	25.7±13.5	0.1	-0.8	-0.7	1	5°

年12月8日と翌年消雪後およそ10日を経過した5月10日及び11月5日に行った。

2・8・2 結果と考察

林業試験場における1983/84年の最大積雪深は190cmを記録し、56豪雪に次ぐ大雪であった。測定木は積雪によって埋雪することはなかったが冠雪によって樹幹が多少たわんだ個体もあった。

5月10日に測定した傾幹幅は、前年12月8日に測定したそれよりも23年生、15年生林木でいずれも増加しているが、その場合はそれぞれ0.1cm~0.7cmと小さかった(表-10)。この傾幹幅増加量は、第二章2で調査した1年生から7年生林木の傾幹幅増加量と比較すると非常に少ない。今回測定した林木では平均樹高が7.3m~9.2mに達しているため、樹幹が完全に埋雪せず傾幹幅の増加は主に幹のたわみによって生じたと考えられる(52)。

5月上旬から11月上旬の一生長期間における傾幹幅の回復は、いずれの林分でも認められ、23年生林木では平均1.2cm、15年生では0.8cmであった。これらの測定木の内、立ち直りを全く示さなかった個体は23年生で3本、15年生で1本で林齢の高い方が多くなっている。1983年12月から翌年11月までの傾幹幅は最終的に23年生、15年生林木ではいずれも0.5cm~0.7cm減少した。このことは、埋雪期を過ぎてまもない林木においては、生長に伴って立ち直りが生じ、傾幹幅が少しづつ減少していくことを示している。

埋雪期を過ぎた林木において、曲がった樹幹の立ち直りが、何年生頃まで持続するか、また、長期間にわたった場合どれだけの量になるかは明らかではない。佐藤(68)は、幼齢期に曲がりの大きいスギでも60年生ぐらいになるとかなり通直になることを報

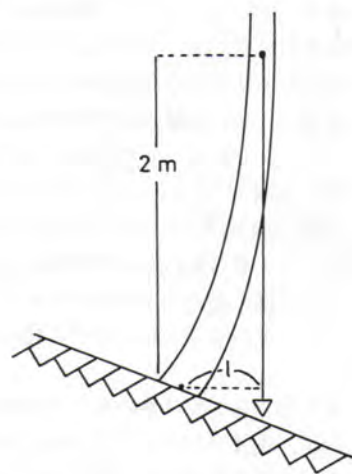


図-30. 傾幹幅の測定方法

告しており、埋雪期に形成されたスギ樹幹下部の曲がりの回復は、スギが埋雪しなくなった以降でも、生長に伴う立ち直りのほかにみかけの回復(15)もみられるため、長い年月のうちにはかなり少なくなる。したがって、多雪地帯におけるスギの樹幹は伐期が長くなるほど通直性が高まると考えられる。

2・8・3 要約

埋雪期を過ぎ、根元曲りが形成されなくなった樹幹には、生長に伴うみかけの回復以外にも立ち直りが生じている。埋雪期を過ぎた林分においては、積雪による幹のたわみによって傾幹幅がわずかに増えることもあるが15年生、23年生林木においては0.5cm~0.7cmの減少が認められた。したがって、雪地帯におけるスギの樹幹は、伐期が長くなるほどその通直性を増すことが期待される。

第三章 根元曲りの形成とスギの生長

スギの根元曲りは雪によって樹幹が倒伏し、それが立ち直っていく過程で形成される。一方、根元曲りの形成によってスギの生長が抑制されることが報告されている(86, 113)。これは、樹幹倒伏時に生じる根の損傷と立ち直り過程におけるあて材形成が原因ではないかと考えられる。そこで、スギの生長とこれらの要因との関係について検討した。

3・1 実験項目と研究対象地

本章で行った主な実験の項目と調査期間及び場所は第二章2の表-1, 図-1に示した。すなわち、1. 第二章6では樹幹倒伏に伴う根の損傷を検討したが、ここでは根の損傷がスギの生長に及ぼす影響について取り上げた(実験項目4)。2. 第二章7で角型ポットを用いて樹幹の立ち直り反応とあて材形成について検討したが、ここではあて材形成がスギの生長に及ぼす影響について取り上げた(実験項目5)。3. 樹幹倒伏時に根が損傷を受ける。また、倒伏した樹幹が立ち直る過程であて材が形成される。樹幹の倒伏と立ち直り過程に生じるこれらの現象がスギの生長に及ぼす影響を明らかにするため、角型ポットを用いて断根とあて材形成がスギの伸長生長、肥大生長に及ぼす影響を調査した(実験項目7)。

3・2 根の損傷がスギの生長に及ぼす影響

第二章6で明らかにしたように、樹幹の倒伏によってスギの根は損傷を受ける。根の損傷は斜面上部で最も大きく、斜面下部では根の一部に変形を生じるが根はさほど大きな影響を受けない。斜面の等高

線方向では根の損傷は最も少ない。このような根の損傷とスギの生長との関係について検討した。

3・2・1 試験の方法

第二章2の実験を行った2年生林分(A林分)、4年生林分(B林分)、6年生林分(C林分)から1979年～1980年にかけて、根元曲りが特に大きくなった個体をそれぞれ3本と根元曲りが小さく、その増加量も少なかった個体を2年生、4年生林分からそれぞれ3本、6年生林分から4本、計19本を抽出した(表-9)。1980年11月下旬に根を丁寧に掘り起こして山側、谷側、等高線方向に損傷の有無または程度について観察したのち、樹幹解析を行い幹、枝、新葉、旧葉、根に分けて絶幹重(105℃)を測定した。

3・2・2 結果と考察

1. 当年伸長量と新葉比

第二章2の調査結果をみると4年生、6年生林木では根元曲りの増加した個体の根に損傷が認められる。しかし、2年生林木ではその傾向は認められなかった。4年生、6年生林木の根元曲りが増加し、根に損傷を生じた個体と根元曲りが小さく、根に損傷がほとんど生じなかった個体の樹幹解析の結果より、1年生時から現在までの樹高と当年伸長量を推定し比較すると、いずれの林木においても根元曲りの小さかった個体の当年伸長量は、根元曲りが増加したものに比較して大きい(表-11)。根の損傷の影響による当年伸長量の大小は、積雪量と倒伏時の樹高(前年秋)によって影響を受けると考えられる。当年伸長量を年度ごとに検討すると、有意差は認められなかったが、6年生林木の根元曲りが急増した個体で1978年、平均樹高が203cmに達した翌年にその

表-11. 根元曲りの大小と個体の生長との関係

調査林分	林齢(年)	曲がりの程度	本数(本)	1975年11月 積雪深115cm (74/75)		1976年11月 積雪深130cm (75/76)		1977年11月 積雪深172cm (76/77)		1978年11月 積雪深129cm (77/78)		1979年11月 積雪深38cm (78/79)		1980年11月 積雪深157cm (79/80)		新葉比(%)
				樹高(cm)	伸長量(cm)	樹高(cm)	伸長量(cm)	樹高(cm)	伸長量(cm)	樹高(cm)	伸長量(cm)	樹高(cm)	伸長量(cm)	樹高(cm)	伸長量(cm)	
A	2	大	3								76	57	189	110	4.71*	
		小	3								88	54	174	86	4.03	
B	4	大	3					66	44	167	101	286	119	309	23*	0.67*
		小	3					63	44	153	90	273	120	336	63	0.93
C	6	大	3	52	24	152	73	203	78	298	65	359	91	374	15*	0.53*
		小	4	41	22	90	49	171	81	252	81	360	108	411	51	0.67

* 5%水準で有意

新葉比: 新葉/旧葉

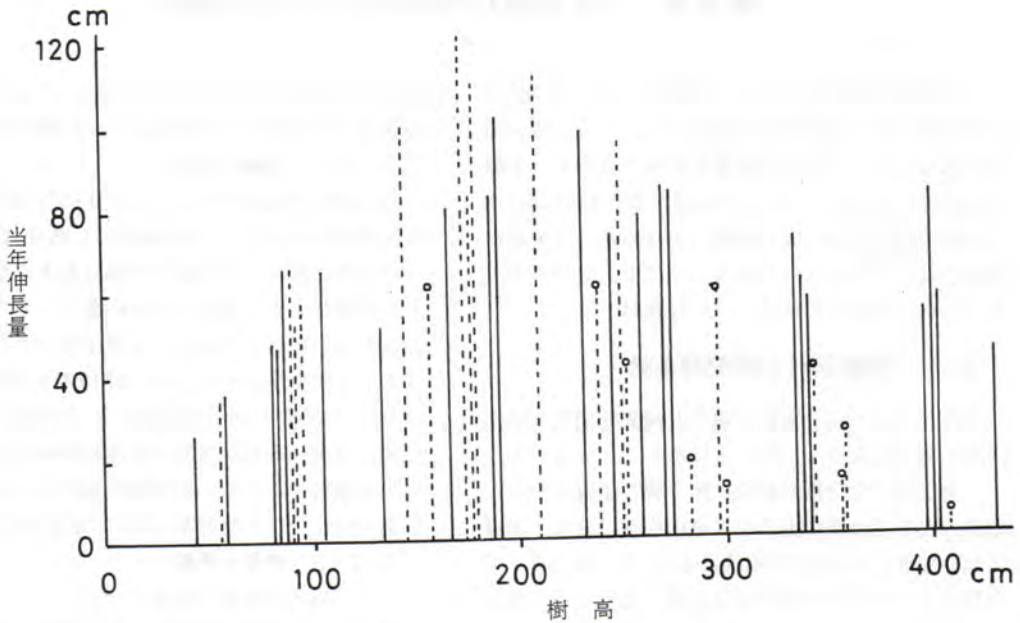


図-31. 埋雪時の樹高と当年伸長量

- 根元曲り大
- 根元曲り小
- 根の損傷が生じたと考えられる個体

減少傾向が認められる。しかし、1979年にそれが認められないのは少雪のため樹幹が倒伏せず、根が損傷を受けなかったためと考えられる。4年生林木でも1979年には当年伸長量の減少傾向は認められない。これは、樹高がまだ小さいためなのかそれとも少雪のためなのか明確でない。4年生林木で平均樹高が273cm、6年生林木で平均樹高が356cmに達した翌年にあたる1980年では、いずれの林分でも根元曲りの急増した個体は当年伸長量が悪く5%の水準で有意な差が認められる。これは、1979/80年の積雪量が157cmと多雪であったため根元曲りの大きい個体は樹幹の倒伏量も大きく、第二章6でも明らかにしたように根の損傷が大きかったことが原因と考えられる。

図-31は、4年生、6年生林木を樹幹解析し、多雪年であった1976年、1977年、1978年、1980年の当年伸長量と前年の樹高(埋雪時の樹高)との関係を図化したものである。当年伸長量は樹高が大きくなるにしたがい大きくなっていき、樹高がおおよそ200cm前後で最大に達し、その後、やや小さくな

った。根元曲りの小さい個体の当年伸長量は、樹高が200cmに達した以降もさほど小さくならなかった。これに対し、根元曲りの大きな個体では、樹高100cmに達したところから当年伸長量が少なくなり始め、樹高が250cm以上になると明らかに小さいといえる。

平均樹高370cmの林分で、雪面からの出現の時期が早い個体ほど当年伸長量大きいことが報告されている(30, 82)。この林分では、雪面からの出現の早い個体ほど根元曲りが小さく(31)根元曲りの増大も少なかったと推定され、前述の現象と同じ結果を示しているものと理解される。

1980年の新葉比(新葉/旧葉)を検討すると、4年生、6年生のものでは根元曲りの大きい個体は、小さい個体より小さい(表-11)。この林分において、(115)が報告しているような脱葉現象は冬期間られていないことから、これは根の損傷によるものと考えられる。

2年生林木では、根元曲りの大きい個体の新葉比が有意に高かった。この2年生林木では、根元

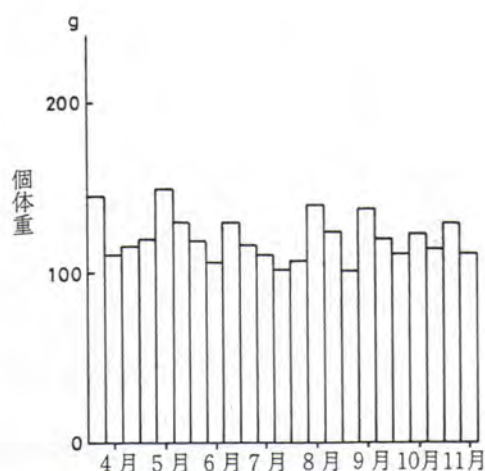


図-32. ポットの直立時期と平均個体重

の大きい個体は4年生、6年生林木と異なり、根の損傷もなく、当年伸長量も大きい傾向を示している。このことから、樹高1.0m以下の幼齢木では根元曲りの増加によって生長はさほど影響を受けないと考えられる。

3・2・3 要 約

雪によって冬期間樹幹が根元から倒伏する。樹幹が倒伏するとき地下部の根が損傷を受ける。この根の損傷によってスギの樹高生長及び新葉の生産が抑制される。このような現象は2年生以下の幼齢木では認められないが、スギが3年生以上になり樹高が1.5mを越えた前後から顕著になり始め、樹高が2.5m以上ではその傾向が大きくなる。

3・3 あて材形成がスギの生長に及ぼす影響

積雪下のスギは、積雪から解放されると直ちに瞬間弾性歪、弾性余効歪が消失し、その後あて材の形成を伴ったスギの生長と共に立ち直りが生じる。この過程におけるスギの生長抑制は(86, 92), 立ち直り過程で生じるあて材の形成も関係があると考えられる。これらのことを明らかにするために90°倒伏できる角型ポットに植えたスギを用い、根に対する損傷が全く生じない状態で倒伏したポットを早春より10日おきに直立させ、あて材形成とスギの生長について検討した。

3・3・1 試験の方法

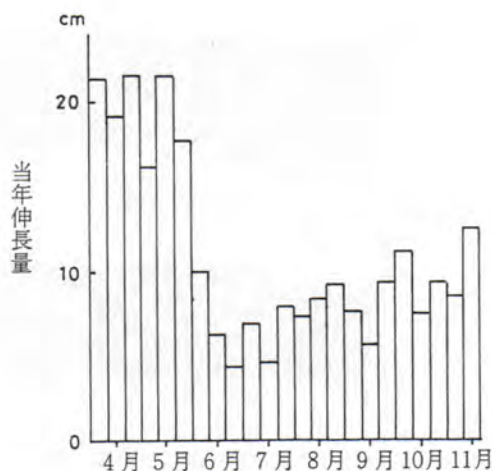


図-33. ポットの直立時期と幹の平均当年伸長量

第二章4では角型ポットに植栽したスギを10日おきに直立させ樹幹の立ち直り反応について測定したが、測定が終った11月30日にすべての個体をポットから取り出し、地際より20cm部位の樹幹断面においてあて材の占める面積、当年伸長量及び幹、枝、新葉、根の絶幹重(105℃)をそれぞれ測定した。あて材の測定方法は既述したとおりである。

3・3・2 結果と考察

1. あて材形成とスギの生長

スギの直立時期と測定終了後の平均個体重の関係を見ると、直立時期の違いによる平均個体重にはほとんど差が認められない(図-32)。このことは、直立時期の遅早によってスギの物質生産量はほとんど影響を受けないことを示している。しかし、直立時期別に平均当年伸長量を検討すると、5月17日までに直立させた個体の当年伸長量は、16cm~22cmと大きいのに対し、それ以降に直立させた個体は急速に少なくなり6月16日では4.4cmで最低であった(図-33)。その後、しだいに伸長量は回復していくが、5月17日以前に直立させた個体のレベルまでには回復しない。ポットの直立時期別に幹、枝、新葉、旧葉重の個体重に対する割合を調べると枝、旧葉の割合については直立時期の違いによって顕著な差は認められない(図-34)。しかし、新葉割合は5月17日までに直立させた個体に多く、それ以降はしだいに減少する。そして、7月26日には最少値に達し、それ以降は再びわずかに増加する傾向を示す。これ

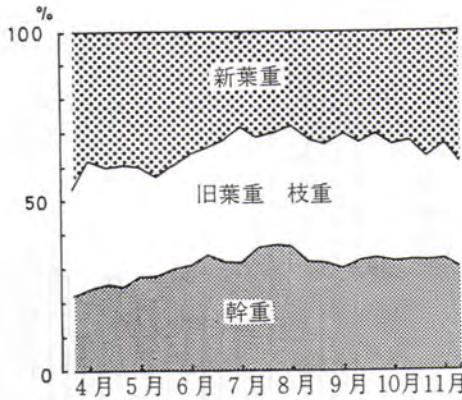


図-34. ポット直立時期と新葉、旧葉・枝、幹重の割合

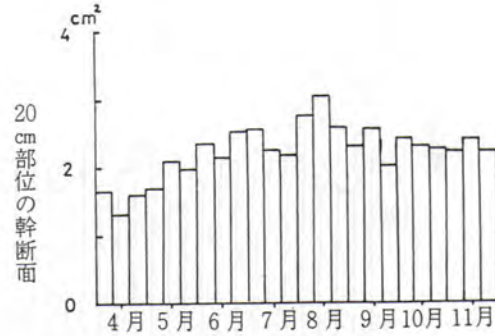


図-35. 直立時期の違いによる平均幹断面面積増加量(20cm部位)

表-12. 各形質の相関係数行列

形質	当年伸長量	アテ材比	新葉重	旧葉重	枝重	幹重
当年伸長量	1.0000					
アテ材比	-0.5583**	1.0000				
新葉重	0.5154**	-0.5390**	1.0000			
旧葉重	-0.2428	0.1577	-0.6987**	1.0000		
枝重	0.1096	0.1156	-0.1312	0.0293	1.0000	
幹重	-0.5204**	0.5496**	-0.6632**	-0.0019	-0.2220	1.0000

** 1%水準で有意

は当年伸長量とほぼ類似した過程を示したといえよう。これを新葉比(新葉/旧葉)で見ると、倒伏させなかった個体では1.60と大きいのにに対し7月6日で0.87、倒伏したままの個体では1.45になっており、7月6日が最も新葉比が小さくなっている。一方、幹重の割合についてみると、倒伏させなかった個体は22.8%と少ないが直立時期が遅れるにしたがって増加し始め、6月中旬から8月上旬にかけて最大に達し、その後だいに減少していく。20cm部位における樹幹の断面積増加量は、5月上旬以降だいに増加し、あて材の増加量とほぼ同じパターンを示す(図-29, 35)。圧縮あては、同じ樹種の同じ年輪密度の正常材に比べて引っ張り強度やヤング係数が小さく、力学的な弱点はあるが、密度が15%~40%高いとされている(50, 74, 106)。したがって、幹重の割合が7月から8月にかけて最大に達するのは、あて材形成によって幹の比重が高くなったことと、幹そのものの材積が増加したためと考えられる。

当年伸長量、あて材比、新葉重、旧葉重、枝重、幹重の相関係数行列を求めると、当年伸長量と新葉重及びあて材比と幹重の間には、それぞれ1%の水準で有意なプラスの相関が、また、当年伸長量とあて材比及び幹重との間にそれぞれ有意なマイナス相関が認められた(表-12)。

雪によって樹幹が倒伏した場合、樹高生長量及び新葉生産量が減少するのは、根の損傷のみでなく、樹幹の立ち直りに伴う幹材積の増加やあて材の形成によって、多くの生産物質が幹に配分されることによるその原因と考えられる。

3・3・3 要約

90°倒伏した樹幹をスギの生長が始まる前に直立させると樹幹にあて材はほとんど形成されない。しかし、直立させる時期が遅れるほど形成されるあて材の量は多くなり、7月~8月に最大に達する。その後あての材形成量はわずかに減少する。幹倒伏によってスギの物質総生産量は大きな影響を受ける。

受けないが倒伏させた個体では樹高生長量が著しく減滞し、新葉の割合が減少する。しかし、幹重の割合は増加する。あて材の形成は樹高伸長量及び新葉生産量を抑制し、幹重の割合を多くする傾向を持つと考えられる。

3・4 断根とあて材形成がスギ幼齢木の生長に及ぼす影響

根元曲り形成過程では樹幹の倒伏に伴う断根とその後形成されるあて材の影響が同時に作用している(93)。これらの要因の単効果及び交互作用について実際の林地において正確に把握することは、林地の局所的な土壤条件、積雪量、斜面の傾斜、個体の大きさ及び林分の密度による積雪量(7)が異なるため非常に困難と考えられる。そこで、条件をより正確にコントロールできる角型ポットを用いて、スギの樹幹倒伏と断根が生長に及ぼす影響を検討した。

3・4・1 試験の方法

第二章4と同じように厚さ4mmの塩化ビニール板で縦、横、深さ33cmの角型ポットを作り、側壁の一部をスライド式とし、ポットを90°倒伏しても上部の側壁を取り外し、それをスギの植えてある側面にさし込み、ポットの上部から雨水が取り入れられるように工夫した。

1983年5月上旬に富山県林業試験場構内で35個の角型ポットにスギさし木2年生苗を植栽し、直立させた状態で翌春まで生育させ十分に根を張らせた。ポットに用いた用土は畑から掘り上げた深土を用いた。1983年6月15日に1ポット当り森林肥料(18.8.8)27gを、1984年4月23日に(NH₄)₂SO₄を5g、P₂O₅を2.3g、K₂Oを2.3g施肥した。ポットは冬期間室内に移動し、1984年4月21日に屋外へ出して倒伏と断根の2因子をL₃直交表の割り付けにしたがって直立、断根直立、倒伏、断根倒伏処理をそれぞれ7ポットづつ処理した。また、これらの組み合わせ以外にもポットを45°倒伏させた個体7個を設定した。

断根処理の方法は、ポットの側壁を取り外し、スギの根株を中心としてポットを四等分し、その3/4の用土を縦に下まで取り除く(ポットを倒伏した時に下側及び右上側になる部分)と同時に、根株から出ている根を切断した。その後、同じ用土を詰め込んだ。

一生長期間を経過した11月上旬に測定木を伐倒し樹高伸長量、根元から20cm部位における樹幹断面積

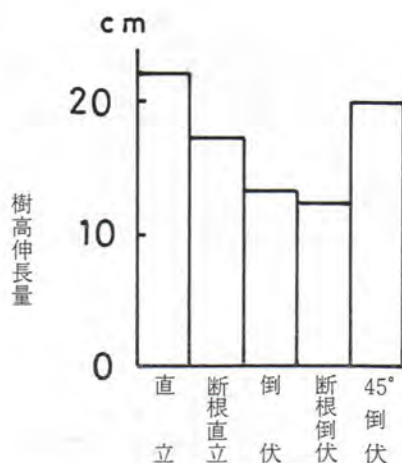


図-36. 処理別平均樹高伸長量

増加量及びあて材比(3年生時のあて材面積/3年生の年輪面積)を測定した。また、測定木を幹、新葉、旧葉、枝、根に分けそれぞれの絶幹重(105℃)を測定した。

3・4・2 結果と考察

1984年4月における断根、倒伏処理前のスギの樹高は53.5±6.8cm、根元径は1.0±0.1cmでそれぞれの処理に供した個体間には有意な差は認められなかった。

一生長期間を経過した各処理木の平均樹高伸長量は、直立したポットが一番大きく、45°倒伏、断根直立、倒伏、断根倒伏処理の順であった(図-36)。このことは断根、樹幹倒伏のいずれによっても樹高生長量が抑制されることを示しているが、倒伏処理の方がより抑制効果が大きいように考えられる。平均個体重は断根処理木で小さい傾向を示すが倒伏処理木では直立木に比べさほど減少していないことから、第二章6の試験結果でも明らかなように、樹幹倒伏によってスギの物質生産量はさほど大きな影響を受けないと考えられる(図-37)(93)。

倒伏処理木及び45°倒伏処理木ではいずれも、生長が休止する11月上旬までには立ち直りが完了しており、45°倒伏処理木では軽度の曲がりがあり、また、倒伏処理木では大きな曲がり樹幹下部に形成された。20cm部位の樹幹断面における各処理木のあて材比は直立処理木で少なく、倒伏処理木では50%近くに達し多量のあて材が形成されている。45°倒伏した個体

表-13. スギの生長に及ぼす各処理の主効果と交互作用

要因	樹高伸長量 (cm)	幹重 (g)	根重 (g)	枝重 (g)	新葉重 (g)	旧葉重 (g)	あて材比 (%)	断面積増加量 (cm ²)
倒伏	-7.43*	3.00	-7.42	0.30	-7.42	-1.18	0.44**	0.22
断根	-2.76	-4.10	-16.22*	-0.06	-16.22*	0.54	-0.04	-0.38
交互作用	-1.76	-2.64	-3.96	0.20	-3.96	-0.90	-0.02	-0.52

* 5%水準で有意

** 1%水準で有意

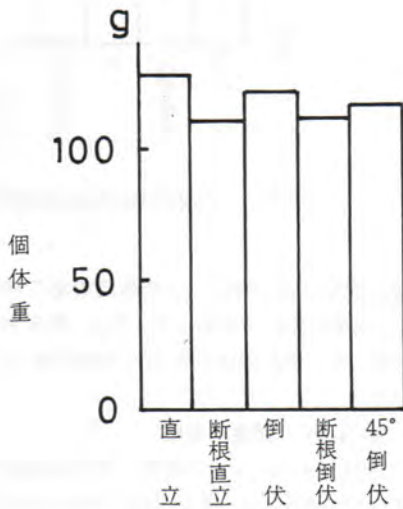


図-37. 処理別平均個体重

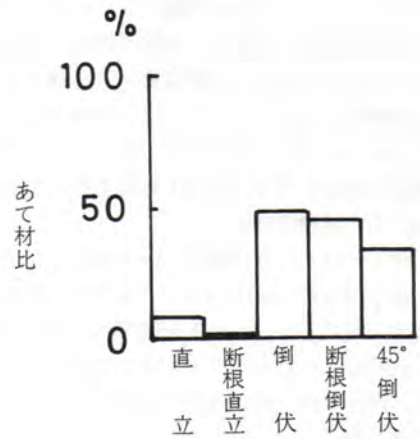


図-38. 処理別平均あて材比(20cm部位)

は比較的あて材比が少なくなっていることからあて材の形成量は、樹幹の倒伏量に大きく影響されることを示している(図-38)。

図-39に示した20cm部位における樹幹断面積増加量は、45°倒伏処理が最も大きくなっている。また、平均個体重がほぼ同じ断根直立と断根倒伏処理を比較すると、倒伏処理において断面積増加量が著しく大きいことから、倒伏処理は幹の断面積増加に大きな影響を及ぼしていると考えられる。

スギの生長に及ぼす各処理の平均効果と交互作用を検討すると、樹高生長量とあて材比において倒伏処理に5%と1%の水準で有意なマイナスとプラスの平均効果がそれぞれ認められ、樹幹倒伏によってあて材が形成され樹高生長が著しく抑制されることを示した(表-13)。しかし、幹の断面積は増加する傾向を示し、樹幹倒伏によって根元の肥大生長が促進されると考えられる。また、根重と新葉重におい

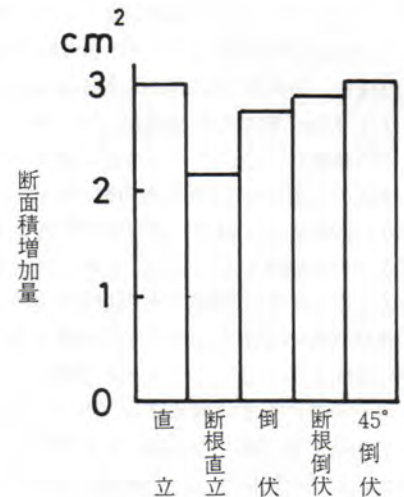


図-39. 処理別平均幹断面積増加量(20cm部位)

て断根処理に5%の水準で有意なマイナスの平均効果が認められ、断根によって新葉生産が著しく抑制されることを示した。しかし、断根は倒伏処理とは異なり処理年度においては樹高生長に対する抑制効果は比較的少ない。倒伏と断根処理の交互作用はいずれの測定項目にも認められなかった。

3・4・3 要 約

スギの根元曲り形成過程において樹幹の倒伏時に

根が損傷を受ける。また、倒伏した樹幹が立ち直る過程で樹幹にあて材が形成される。これらの根元曲りが形成される過程において生じる根の損傷とあて材の形成はいずれもスギの生長を抑制するが、断根は主に新葉生産量の抑制効果が大きく、あて材形成は樹高生長の抑制効果が大きい。断根と倒伏の交互作用はさほど認められない。

第四章 現行の育林技術と根元曲り制御効果

これまでに明らかにした根元曲りの形成機構から考えると、その軽減のための方策としては倒伏を少なくする、立ち直りを促進する、根の損傷を少なくする、生長を促進するなどのことが挙げられる。これを実際の育林作業の中で実現させるのは、植栽木の密度や下刈などの保育管理によって、根元が太く雪圧に対して抵抗力の大きい樹幹形を造り、早く積雪を抜け出させること、また、斜植え、施肥、雪起こし作業及び根元曲り抵抗性品種の利用などが考えられる。この章では、これらの根元曲り軽減技術の効果とその機構について検討した。

4・1 実験項目と研究対象地

主な実験の項目と期間及び調査場所については、第二章2の表-1、図-2に示した。すなわち、1. 根元曲り軽減対策として最も有効と考えられる斜植え、施肥、雪起こしの効果を明らかにするため、試験林を設け各処理がスギの形質に及ぼす影響とその平均効果及び交互作用について検討した(実験項目8)。2. 施肥の根元曲り軽減効果を詳しく検討するため、角型ポットを用いてチツソ、リンサン、カリが樹幹の立ち上がり及ぼす影響について検討した(実験項目9)。3. わら縄とビニール縄による雪起こし効果の違いとわら縄、ビニール縄の強度と腐食の進行程度を検討した(実験項目10)。4. スギ品種の雪圧害の違いを明らかにするため、スギ品種交代検定林で各品種の生長と雪圧害について測定した(実験項目11)。

4・2 斜植え、施肥、雪起こしがスギの形質に及ぼす影響

積雪の影響によるスギの根元曲りを軽減するため、これまで多くの方法が試みられてきた。それらの中で植栽時に苗を谷側へ傾けて植える斜植え、幼齢期の施肥、消雪後倒伏した樹幹を縄で引き起こす雪起こしなどは顕著な効果があることが報告されている(26, 36, 45, 47, 70, 75, 112, 113)。しかし、これらの報告ではいずれも一つの処理方法の根元曲り軽減効果についてのみ検討されており、それらの処理を組み合わせた場合の効果やなぜその処理によって根元曲りが軽減されるのかについてはほとんど明らか

にされていない。スギ幼齢期に形成される根元曲りを軽減し、より合理的な施業を行うには斜植え、肥、雪起こし処理の有効性を結果として知るだけでなく、各処理及び各処理間の交互作用によって生じる形質の変化についても把握する必要がある。そのことによって与えられた条件下での最も有効方法や方法の組み合わせを選択する手懸かりが得られると思うからである。

このような目的で筆者は斜植え、施肥、雪起こしがスギの傾幹幅増減、各部位の重量、あて材の形生長促進に及ぼす平均効果と交互作用及び根系の態に及ぼす影響について調査し、それらの変化が元曲りの軽減にどのような役割を果たすのかについて検討を加えた。

4・2・1 試験の方法

富山県中新川郡立山町栃津地内の海拔300mの腹中部北向き斜面に試験地を設定した。斜面の傾は約20°である。土壌は新第三紀の砂岩、礫石、泥を母材とする適潤性黒色土(偏乾亜型)BI_d(d)である。表層土の厚さは比較的均一であるがA層は薄細土容積重が大きく、緊密であり、しかも酸性が強く、C/N比が高く、置換性塩基の乏しい土壌である。調査地より約1km北西に位置する富山県林業試験場の過去10年間(1975年～1984年)の平均年最大積雪深は138±54cmである(図-40)。1978/79年の最

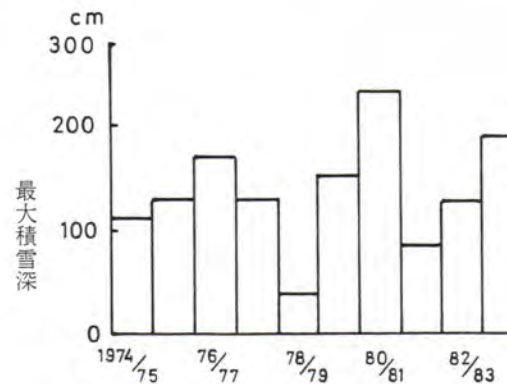


図-40. 富山県林業試験場における過去10年間平均年最大積雪深

積雪深は38cm, 1979/80年の最大積雪深は157cmであった。

斜植えと直立植え, 施肥の有無, 雪起こしの有無の3因子2水準をL₈直交表に割付け, これに基づいて合計8プロット(1プロット56本植え, 計448本)を1978年秋に設定した(図-41)。各プロットは斜植え, 施肥については場所上の偏りのないように配置されたが, 雪起こし区については斜面の起伏に違いが認められなかったので, 作業の都合上, 片(右)側プロットに配置された。植栽間隔は2m×2mでha当り2,500本植えとし, 植え穴の大きさは40cm×40cm, 深さ30cmとした。施肥区には植栽時植え穴に有機質肥料(6:6:7)を一本当り200g入れ, その後1980年4月中旬に, 化成肥料(14:18:16)を一本当り200gスギの樹冠下(半径約30cm)に散布し, 鍬で軽く地面にすきこんだ。斜植えの方法として, 植栽地点に立てた垂線よりおよそ60°谷側に傾けてスギを植栽した。雪起こしの方法は, ビニールテープを樹幹長の約1/3の高さにかける, まっすぐになるまで幹を引き起こした。雪起こし実施の期間は, 2年生時の1980年4月19日から6月19日までの2か月間とし, 下刈りは毎年6月中旬と8月中旬の2回刈りとした(図-42)。

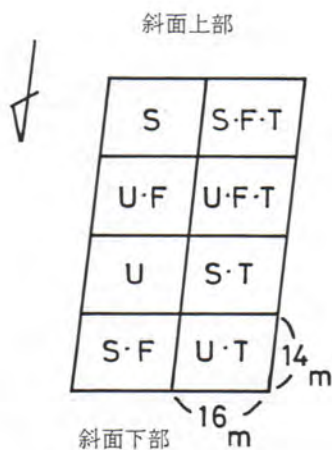


図-41. プロットの配置図

F:施肥 S:斜植え
T:雪起こし U:直立植え

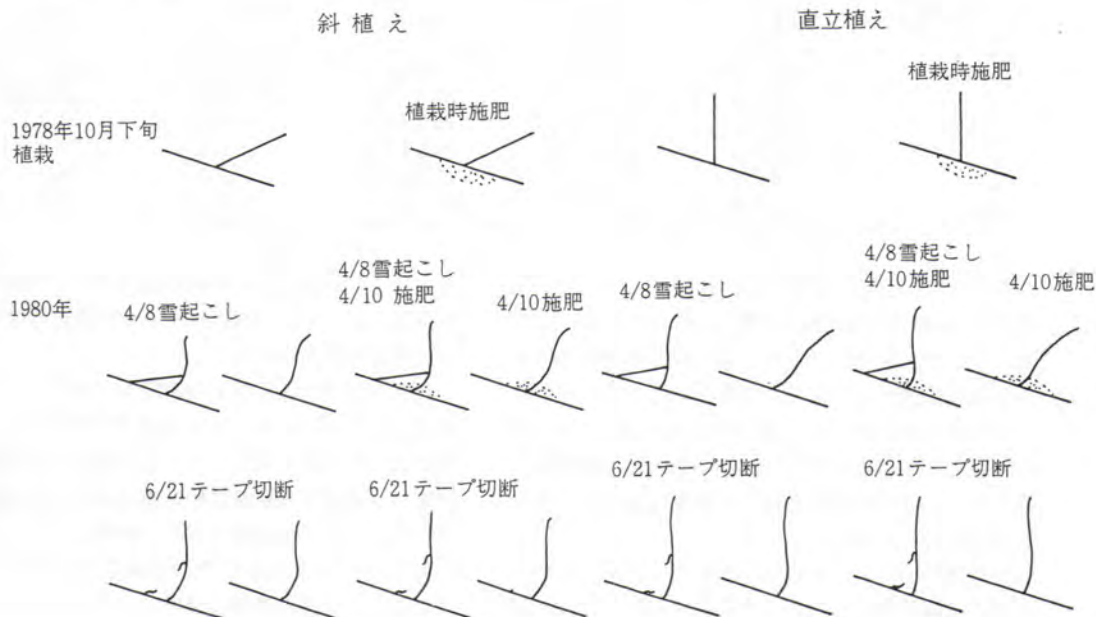


図-42. 斜植え, 施肥, 雪起こしの方法

表-14. 各部位における

10cm 部位 (cm)					
	54年10月11日	55年 4月 8日	55年 4月19日	55年 6月25日	55年11月 2日
T+F+S	5.0±1.3	6.5±1.1	4.4±1.8	5.1±1.1	4.3±1.4
T+F	1.2±0.8	4.3±1.3	1.3±0.3	1.4±0.4	1.8±0.3
T+S	4.6±1.7	6.2±1.3	4.4±1.4	4.0±1.2	4.8±1.5
T	2.1±0.8	5.0±1.4	2.1±1.4	1.8±1.2	1.9±0.8
F+S	4.7±0.8	6.3±0.8	5.9±0.8	5.2±1.4	4.6±1.1
F	1.2±0.9	3.2±1.1	2.8±1.4	1.9±0.8	1.9±0.7
S	4.3±0.9	5.7±0.6	5.5±0.4	5.3±0.8	5.4±0.6
cont	0.6±0.7	3.5±0.7	3.2±0.5	1.7±0.5	1.8±0.8
20cm 部位 (cm)					
	54年10月11日	55年 4月 8日	55年 4月19日	55年 6月25日	55年11月 2日
T+F+S	6.2±2.4	11.2±2.0	5.4±3.3	6.4±2.1	6.2±2.7
T+F	3.8±0.8	9.7±2.6	2.5±1.8	3.3±1.0	4.1±1.8
T+S	7.0±2.5	11.2±1.6	6.5±2.6	5.9±1.9	7.2±2.8
T	5.8±1.0	12.4±1.7	5.2±1.8	4.5±2.2	5.4±2.3
F+S	7.0±2.0	12.0±1.3	11.7±1.3	8.1±2.7	7.8±2.7
F	3.7±1.1	8.5±1.8	7.5±1.9	5.2±1.8	5.0±1.3
S	6.2±2.1	10.9±1.1	10.2±1.0	8.4±1.9	9.1±1.6
cont	2.2±1.4	7.7±1.3	7.1±1.2	3.3±0.9	4.0±1.4
30cm 部位 (cm)					
	54年10月11日	55年 4月 8日	55年 4月19日	55年 6月25日	55年11月 2日
T+F+S	6.2±2.2	15.7±2.2	6.3±3.4	7.5±1.8	7.8±2.5
T+F	5.1±1.0	14.4±4.3	3.1±2.3	4.0±1.2	5.4±2.8
T+S	8.1±3.4	15.4±2.3	7.8±3.2	6.5±2.0	9.1±3.7
T	9.0±1.3	18.5±2.6	6.7±2.0	5.4±2.3	6.9±2.9
F+S	7.5±2.6	14.8±2.3	14.4±2.5	9.4±3.7	9.2±2.8
F	6.2±1.9	14.8±2.9	13.5±2.8	7.9±2.3	7.8±2.4
S	6.8±2.8	15.9±1.7	15.0±1.5	10.7±2.5	12.0±2.0
cont	2.3±2.4	12.5±1.4	11.7±1.3	5.1±1.3	5.8±1.2

樹幹には、地際と樹幹に沿い地際から5, 10, 30, 40, 50cmの距離の各部位に側方からみて中央点にペイントで印を付けた。また、山側の地際に印を付け、この地際に向かって上方より重りの付いたナイロンテグスを垂直におろし、その垂線と幹に付けた印(幹の頂点をも測点に加えた)との水平距離(最短距離)を測定し、各測定値から地際での測定値を引いた値を傾幹幅とした(89)。

傾幹幅の測定のため各プロットから5本、計40本を立木位置に偏りのないよう抽出した。1979年10月11日の場合は、樹高を測定し、1980年11月2日は樹幹長を測定した。傾幹幅の測定は降雪前の1979年10月11日と1980年、消雪後およそ3日を経過した4

月8日から10日おきに1980年11月2日まで続け、月以降については、地際から60cmの樹幹部位における傾幹幅も測定した。

1980年11月10日、40本の測定木を伐倒し、樹幹析を行うと同時に地上10cm部位の断面における材の占める面積を測定した。あて材は材色の濃淡判定し、各部位の重量は絶幹重(105℃)を測定し、伐倒後、丁寧に根を掘り取り、根株を中心として斜方向と45°に交わる2本の直線を引き左右、上に区分し、土壌の表層に分布する最も太い3本の分布する方位と根株の長さ及び根株から出ていく根の本数を調べた。

時期別平均傾幹幅の変化

40 cm 部位 (cm)					
	54年10月11日	55年 4 月 8 日	55年 4 月19日	55年 6 月25日	55年11月 2 日
T+F+S	6.2±2.0	20.6±2.0	7.9±4.8	8.1±1.3	9.3±2.7
T+F	5.5±1.5	20.5±4.7	4.0±2.7	4.7±2.1	6.7±3.6
T+S	8.5±3.9	19.7±3.5	9.0±3.9	6.6±2.0	9.9±3.9
T	7.4±4.1	24.1±3.4	7.6±2.4	6.4±2.0	7.9±3.5
F+S	7.2±3.5	18.8±2.3	18.3±2.8	10.3±3.7	9.6±3.6
F	6.9±1.8	20.7±4.3	18.6±3.8	9.8±3.4	9.3±3.2
S	6.9±2.6	21.2±1.2	19.8±1.3	12.1±3.3	14.2±2.6
cont	3.4±2.2	17.8±1.6	16.9±2.3	6.3±1.6	7.1±1.6

50 cm 部位 (cm)					
	54年10月11日	55年 4 月 8 日	55年 4 月19日	55年 6 月25日	55年11月 2 日
T+F+S	6.2±2.0	26.9±2.3	11.3±5.2	8.4±1.2	10.3±3.6
T+F	5.6±1.7	26.4±5.4	5.0±2.9	5.0±1.9	7.9±3.8
T+S	8.7±4.3	23.8±4.6	10.1±4.3	6.5±2.2	11.2±4.5
T	10.1±1.6	29.8±4.3	8.6±3.1	6.3±3.0	9.0±4.1
F+S	7.0±3.7	22.6±2.7	20.8±2.8	10.5±3.3	9.7±3.6
F	8.4±2.4	26.5±5.8	24.1±5.4	10.3±3.6	10.4±4.0
S	6.9±2.6	27.1±1.6	25.0±1.2	12.9±3.8	15.9±3.1
cont	4.1±2.4	23.2±2.6	21.9±3.3	6.7±2.2	7.8±1.7

先 端 部 (cm)					
	54年10月11日	55年 4 月 8 日	55年 4 月19日	55年 6 月25日	55年11月 2 日
T+F+S	7.1±2.2	41.7± 7.2	18.1± 8.3	7.6±3.1	13.4±4.3
T+F	6.0±2.0	49.9± 8.6	9.8± 4.3	7.1±3.4	11.7±7.0
T+S	9.5±4.4	33.9± 5.5	14.8± 4.8	5.8±1.9	14.7±6.7
T	10.7±1.7	47.8± 9.4	15.1± 8.6	7.0±2.9	8.6±4.8
F+S	7.9±3.7	37.2±12.8	33.8±12.2	10.3±3.4	9.3±3.8
F	9.3±2.4	55.3± 9.6	49.3±11.0	13.2±4.3	13.8±5.8
S	7.6±2.6	32.0± 2.6	29.9± 2.5	13.4±4.1	18.5±4.7
cont	3.9±2.6	38.5± 8.4	34.2± 7.3	4.7±2.1	7.8±2.6

S: 斜植え F: 施肥 T: 雪起こし cont: コントロール

4・2・2 結果と考察

1. 傾 幹 幅

降雪前の1979年10月11日から消雪による樹幹の立ち直り(1980年4月8日), 雪起こし(4月19日), 生長に伴う立ち直り最大期(6月25日)を経て, 測定が終了する11月2日までの一生長期間における地際より10cm部位, 20cm部位, 30cm部位, 40cm部位, 50cm部位及び先端部の傾幹幅の変化を表-14に示した。前年の降雪前(10月11日)の傾幹幅は全体に小さいが, 20cmより下部の傾幹幅は斜植え単用区及び斜植えと他の処理併用区で多くなっており, 樹幹下部は斜植え処理によって大きく曲がっていることを示してい

る。消雪直後(4月8日)は20cm以下の樹幹下部において斜植え単用区及び斜植えと他の処理併用区の傾幹幅が大きい先端部位においては, 逆に傾幹幅が小さくなっている。4月19日の雪起こし直後においては, 雪起こし単用区及び雪起こしと他の処理併用区で著しく傾幹幅が少なくなっている。これは, 雪起こしという作業の性質上当然といえよう。しかし, 6月25日においては, 雪起こし処理をしていない区の傾幹幅も少なくなっており, 2年生林木では生長に伴う立ち直りが大きいことを示している。測定終了時の傾幹幅は, 雪起こし処理区と雪起こし処理をしていない区の差はほとんど認められなくなる。斜

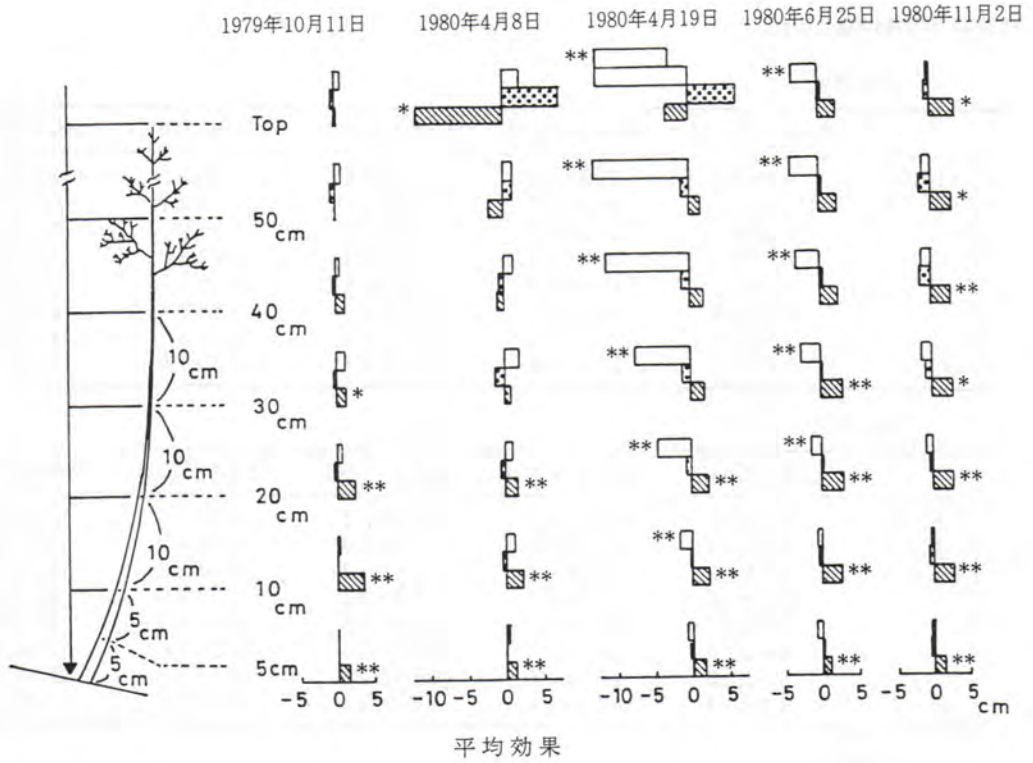


図-43. 各測定部位の傾幹幅に及ぼす斜植え、施肥、雪起こしの時期別平均効果

斜植え
 施肥
 雪起こし
 * 5%水準で有意 ** 1%水準で有意

植え単用区及び斜植えと他の処理併用区では樹幹下部から先端部まで傾幹幅が大きく、斜植えによって傾幹幅が大きくなることを示している。

傾幹幅について前年の降雪前(10月11日)、消雪直後(4月8日)、雪起こし直後(4月19日)、立ち直り最大期(6月25日)、測定完了時(11月2日)における各処理の平均効果を検討した。1979年10月では前年秋、地上より30cm以下の傾幹幅に斜植えによる5%又は1%の水準で有意なプラス(傾幹幅大)の平均効果が認められる。これは、斜植え単用区及び斜植えと他の処理併用区の傾幹幅の平均値は、他の処理区の平均値よりも平均効果の分だけ大きく、斜植えにおいてはすでに樹幹下部に大きな曲がり形成されていたことを示している(図-43)。樹幹上部特に先端部の傾幹幅は、消雪直後、いったんは斜植えによって軽減される。これは、雪で樹幹が倒伏した時、斜植えでは樹幹下部の倒伏幅が直立植えに比べ小さ

いから、根株に加わる力(89, 104)が小さく、樹幹下部に生じる幹の歪が少なかったためと推定される。その後、樹幹上部の傾幹幅は、斜植えによって増え、生長が休止した11月2日においては上部から下部まで5%の水準で有意なプラスの平均効果が認められた。これは、生長が休止した11月上旬までにすべての植栽木が立ち直り、樹幹上部が通直になったのに対し、斜植えされた個体では下部に曲がりが増え、樹幹全体の傾幹幅が大きくなったことによるものと考えられる。

施肥による傾幹幅軽減効果はいずれの時期においても認められない。これは、施肥によって生長が促進されても倒伏した樹幹の立ち直りに差が生じないこと(91)や、施肥木と無施肥木の樹高差が大きくなったことがその理由として挙げられる。

雪起こし処理の場合は、雪起こしを完了した4月19日において傾幹幅は明らかに小さくなるが、そ

表-15. いろいろな高さの傾幹幅に及ぼす斜植え, 施肥, 雪起こしの交互作用 (cm)

処理	樹 幹 部 位							
	5 cm	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm	60cm	Top
S×F	-0.3	-0.3	-0.5	-1.3	-1.6	-2.2	-2.9*	-2.9*
S×T	-0.1	-0.2	-1.0	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7
F×T	0.1	0.0	-0.5	-0.5	0.2	0.4	0.8	0.8
S×F×T	0.1	0.1	0.7	1.4	1.9	2.3	3.0*	3.0*

* 5%水準で有意

S:斜植え

F:施肥

T:雪起こし

表-16. 各処理区の樹高, 部分重, 根株長及び根の本数の平均

	樹高 (cm)	乾 重 (g)				
		幹 重	新葉重	旧葉重	根 重	枝 重
T+F+S	154.6±25.6	160.2±45.3	248.4± 66.8	38.6±11.4	118.0±32.8	55.8±23.5
T+F	164.0±26.9	162.0±34.1	222.0± 31.2	42.2± 8.6	103.8±24.6	58.6±13.3
T+S	136.4±20.7	124.4±22.7	207.4±104.8	42.2±24.6	101.6±17.7	38.8±16.8
T	152.4±12.3	149.2±14.9	208.0± 28.2	44.0± 9.1	99.4±14.9	43.2±10.6
F+S	167.4±12.7	224.8±35.6	263.2± 34.6	74.2±17.9	148.8±21.8	67.6±17.1
F	168.2±19.8	220.2±59.0	252.6± 67.9	60.2±13.3	140.6±35.3	66.8±19.6
S	112.8±15.3	74.0± 9.1	125.8± 9.9	24.2± 3.2	60.8±15.2	21.8± 5.0
cont	136.6±22.9	129.8±52.3	163.8± 62.6	33.4±12.7	79.4±23.9	29.8±12.1

	新葉		あて材比 (%)		根株長 (cm)	根 の 本 数	
	旧葉		1年生	2年生		地際より10cm以内	全本数
T+F+S	6.5±0.9		41.2±28.1	1.0± 2.2	22.2±1.1	15.2± 6.3	42.2±12.8
T+F	5.4±1.2		21.4±17.2	11.4±14.2	17.2±2.8	13.8± 7.7	31.4± 9.2
T+S	5.3±2.3		24.0±14.7	6.7± 9.3	21.4±2.1	9.4± 5.4	31.6± 8.8
T	4.8±0.5		9.2± 8.6	7.0±15.7	17.2±2.6	10.0± 6.8	28.8±18.4
F+S	3.7±0.9		24.0±21.2	31.6±12.6	21.8±3.0	20.8±12.2	48.4±16.8
F	4.2±0.6		13.6± 7.8	42.1±17.0	14.1±2.1	35.0± 8.3	61.0±20.3
S	5.2±0.7		41.6±21.9	18.8± 5.7	21.2±3.1	12.2± 7.6	28.4± 9.0
cont	4.8±0.7		21.0± 9.0	35.9± 9.6	16.2±2.2	11.2± 5.2	25.8± 7.6

S:斜植え

F:施肥

T:雪起こし

cont:コントロール

以降は他の区と差が少なくなり, 11月2日では雪起こしの効果は全くみられなかった。これは第2章2で明らかにしたように, 2年生時においては倒伏した樹幹の立ち直りが著しく良かったことや, 雪起こし木では6月25日以降に傾幹幅が再増加(89)した個体が多かったことがその理由として挙げられる。11月2日において, 地際から60cm以上の幹の先端部の傾幹幅に斜植えと施肥による有意なマイナス(傾幹幅軽減)の2因子交互作用及び斜植え, 施肥, 雪起こしによるプラスの3因子交互作用が認められた(表-15)。斜植えと施肥併用処理によって傾幹幅が減少したのは, 後述する根系の形態や幹重の増加と密接な関係があると考えられる。また, 斜植え, 施肥, 雪起こしの3因子交互作用が5%の水準で有意なプラ

スの効果が認められたことは, 3処理の併用は必ずしも傾幹幅の軽減に最も有効な方法ではないことを示した。

2. 根の形態とその発達

根重は施肥単用区及び施肥と他の処理併用区で多くなっている。また, 根株部(埋幹部)の長さは斜植え単用区及び斜植えと他の処理併用区で大きくなっており, 斜植えの影響が表われたものと考えられる。幹の地際より10cm未満の深さの部位から出ている根の本数は施肥単用区と斜植えと施肥併用区で多く, 雪起こし単用区, 雪起こしと他の処理併用区で少ない傾向を示す。しかし, 根の全本数ではその傾向が顕著ではなかった(表-16)。

各処理の平均効果をみると, 根株の長さは斜植え

表-17. 樹高、部分重、根の形質及びあて材の形成に及ぼす各処理の平均効果と交互作用

処理	樹高 (cm)	乾 重 (g)					新葉			あて材比(%)		根の本数	
		幹	新葉	旧葉	根	枝	旧葉	1年生	2年生	根株長 (cm)	地際より 10cm以内	全体数	
S	-12.5	-19.5	-0.4	-0.2	1.5	-3.6	0.3	16.4**	9.6*	5.5**	3.1	0.9	
F	29.0**	72.5**	70.3**	17.9**	42.3**	28.8**	0.1	-1.1	4.4	-0.2	10.5**	17.1**	
T	5.6	-13.3	20.1	-6.3	-1.7	2.6	1.0**	1.1	-26.6*	1.2	-7.7**	7.4	
S×F	7.4	20.9*	18.6	5.4	9.7	2.6	-0.1	-1.3	-0.8	0.9	-3.3	-1.8	
S×T	-0.2	6.2	13.3	-2.6	6.7	0.0	-0.4	0.9	4.2	-0.9	3.5	5.9	
F×T	-14.1*	-48.2**	-42.8*	-20.6*	-32.1**	-12.6*	1.0**	13.6**	-5.1	0.6	-5.7*	10.5*	
S×F×T	-4.1	9.4	-5.4	-6.3	-3.7	-1.8	0.3	3.8	-4.2	-0.5	4.3	5.8	

* 5%水準で有意

** 1%水準で有意

S:斜植え

F:施肥

T:雪起こし

に5.5cmの平均効果が認められ斜植えによって根株が長くなることを示した。地際より10cm以内の深さから出ている根の本数は、施肥に1%の水準で有意なプラスの、雪起こしに1%の水準で有意なマイナスの平均効果がそれぞれ認められた(表-17)。これは、施肥によって地際からの発根が促進されるが雪起こし木では、スギの活動が始まるころ、雪起こしによって根株が動かされることや接地している根株が地面から引き離されるため、地際近くの根株から発根が抑制されたからだと考えられる。施肥と雪起こしの交互作用は5%の水準でマイナスの効果が認められる。前述した施肥と雪起こしの交互作用が生長においてマイナスの効果を示したのは、このことが原因と考えられる。

根の形態は斜植えと直立植え、施肥の有無、雪起こしの有無によって大きな違いが認められた。斜植えと直立植えによる根重の差は認められなかったが斜植え木は根株部(埋幹部)が斜めになっているため、根株の下側にあたる斜面下部や左右の等高線方向に太い根が良く発達していた。一方、直立植えされた個体の根は、三本の太い表層根の分布から推定すると斜面の方位に関係なく四方に良く発達していたといえる(図-44)。第二章6で明らかにしたように雪圧によって樹幹が倒伏する場合、根も共に傾き大きな損傷を受ける。損傷の程度は山側に最も大きく、圧縮を受ける谷側では大きくない。また、等高線方向の根には損傷はほとんど生じない(86)。したがって、大きな根元曲りが形成されている個体では山側の根が発達せず、左右の等高線方向に分布する根や斜面下部に分布する根が著しく発達し、根系は特有な形態を示す。斜植えされた個体の根が、損傷の最も大きい斜面上部において少なく、量も損傷の少な

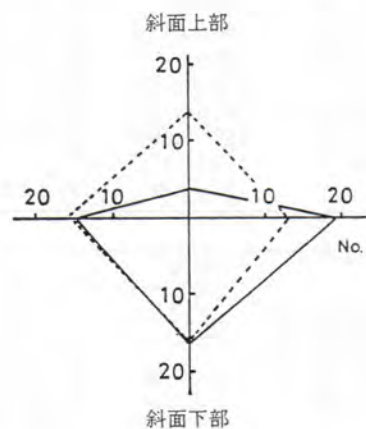


図-44. 2年生時における斜植えと直立植え木の三大表層根の水平的分布

—— 斜植え - - - - 直立植え

い等高線方向においてよく発達し、根株部が長くなることは、斜直えが植栽初期において根全体の損傷を軽減する効果を持った植栽方法であることを示している。

樹幹倒伏による根の損傷は1年生、2年生の幼齢木では少ないが3年生以上になり樹高が大きく、幹が太くなるにしたがって大きくなっていく。幼齢時に斜植えの根系が樹幹倒伏によって損傷を受けにくい形態に変化することは、スギが大きくなってから樹幹が倒伏しにくく、倒伏しても根の損傷が少な生長が抑制されにくくなることを予想させる。片(26)は積雪深2.5mの地帯において斜植えされたスギは直立植えされたスギよりも植栽初期に傾幹幅が大きく樹高生長がやや劣る傾向があるが、スギが

長するにつれて逆に傾幹幅が小さく樹高生長が大きくなることを報告している。なお、斜植えの根元曲りの軽減や生長促進に対する効果が根系の変化によるものとすれば、その効果は多雪地帯において大きい樹高の大きい個体の樹幹倒伏が生じにくい少雪地帯ではあまり大きくないと考えられる。

3. 生長量

各処理区の樹高、各部位の重量、新葉/旧葉、あて材比は表一16に示した。各処理区の樹高は斜植え単用区が112.8cmで最も小さく、施肥単用区が168.2cmで最も良い生長を示した。施肥は他の処理との併用区でも良い生長を示しており、施肥の効果が大きかったと考えられる。これに対し、斜植え処理と雪起こし処理は単用区及びそれぞれの併用区でもさほど大きな生長をしていなかった。ただし、斜植えと施肥併用区は施肥単用区に次いで良い生長を示しており、斜植えと施肥に交互作用があることが推察される。

スギの各部位重についてみると、幹重は施肥単用区で200.2g、斜植えと施肥併用区で224.8gと多いが、斜植え、施肥、雪起こしの併用区で160.2g、施肥雪起こし併用区で162.0gとかなり少なくなっており、施肥と雪起こしにマイナスの交互作用のあることが推定される。新葉重は雪起こし及び施肥単用区またはこれらと他の処理との併用区で多くなっており、施肥と雪起こし処理は新葉生産量の促進効果があると考えられる。旧葉重は、斜植え単用区及びコントロール区で少なく、斜植えと施肥併用区及び施肥単用区で大きい傾向を示す。新葉比(新葉重/旧葉重)は、全般に雪起こし単用区及び雪起こしと他の処理併用区で多くなっている。特に斜植え、施肥、雪起こしの併用区及び施肥と雪起こしの併用区で多くなっており、新葉比は施肥と雪起こしにプラスの交互作用があることを示唆している。根重、枝重は施肥単用区及び施肥と他処理との併用区で多くなっており、施肥の効果が大きいことを示している。

あて材比は、1年生時と2年生時において異なっている。すなわち、1年生時には斜植え単用区及び斜植えと他の処理併用区に多くなっているが、2年生時には雪起こしをしない区で著しく多くなっており、1年生時には植栽方法の違いが、また、2年生時には雪起こしの効果が顕著に現われたと考えられる。

各処理の平均効果をみると施肥は樹高、幹重、枝

重、新葉重、旧葉重、根重のすべてがプラスで1%の水準で有意な差が認められた(表一17)。これは、施肥単用区及び施肥と他の処理併用区の樹高、幹重、枝重、新葉重、旧葉重、根重の平均値は他の処理区の平均値よりも平均効果の分だけ大きかったことを示している。しかし、斜植え及び雪起こし処理の平均効果はこれらに対し有意な差は認められなかった。また、施肥と雪起こしの2因子交互作用は、樹高生長及び各部分重の生長または増加量に1%の水準で有意なマイナスの平均効果があった。これは施肥、雪起こし処理の併用が生長を抑制することを示しており、前述したように施肥と雪起こしの交互作用によって地際からの発根数が少なくなったことが原因と考えられる(表一17)。

幹重において、斜植えと施肥の2因子交互作用に5%の水準で有意なプラスの平均効果が認められる。施肥の効果として、幹の割合が他の器官に比べて多くなること(25)や根元の肥大生長が促進され、梢殺樹幹形になることが報告されている(108)。幹重が斜植えと施肥の2因子交互作用によって増加したのは幹の割合を増加させるという施肥の効果が斜植えによる根株長の増加などの影響によってさらに増大されたものと考えられる。新葉/旧葉において、雪起こしによる5%の水準で有意なプラスの平均効果及び施肥と雪起こしによる5%の水準で有意なプラスの交互作用が認められた。これは、2年生時のあて材比における雪起こしの平均効果がマイナスで1%の水準で有意であったことから考えると第3章2で明らかにしたように、雪起こしによってあて材の形成が抑制され新葉の生産量が増加したためと推定される。1年生時のあて材比は斜植え処理の平均効果がプラスで1%の水準で有意になっている。これは、1年生時には雪起こしを実行していないため斜植えの影響が大きく現われたと考えられる。しかし、2年生時のあて材比は斜植え処理において5%の水準でマイナスの平均効果が認められる。これは斜植えによって樹幹の倒伏量が少なくなったことを示唆している。

4・2・3 要 約

測定木はまだ2年生生であって斜植え、施肥、雪起こし処理による傾幹幅軽減効果は認められていない。しかし、斜植えと施肥の併用処理においては、傾幹幅軽減効果が認められる。斜植えでは根系が樹幹倒伏時に損傷を受けにくい形態に変形する。施肥処理

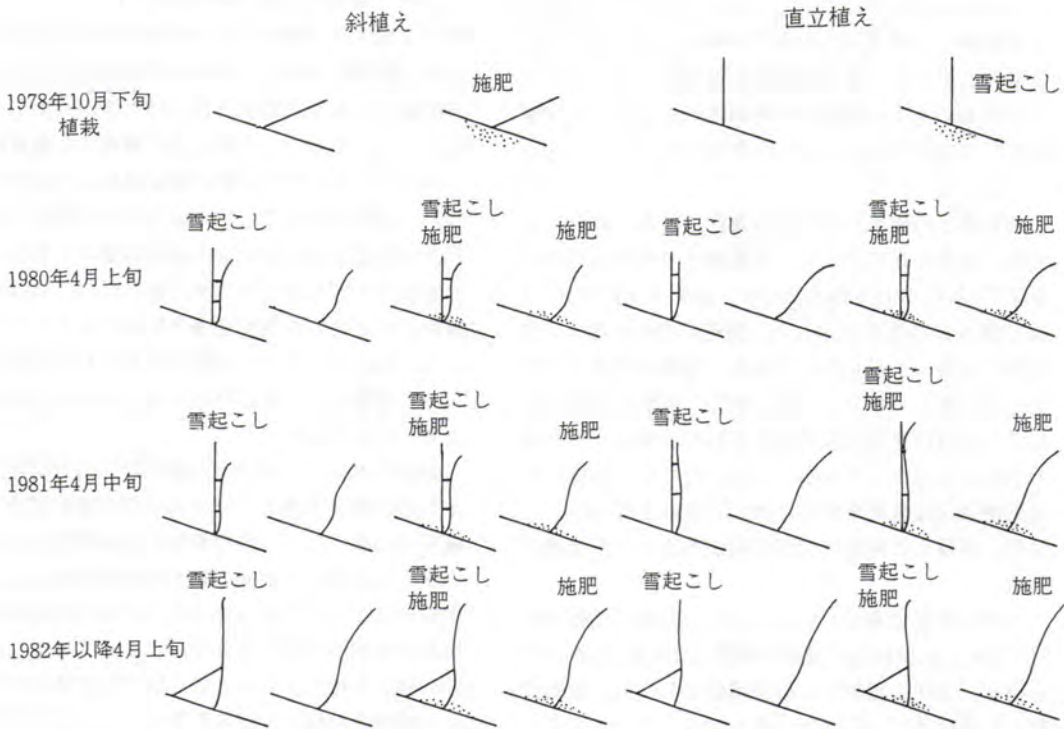


図-45. 斜植え, 施肥, 雪起こしの方法

によって表層根が増加しスギの生長が促進されると共に、斜植えとの併用処理によって幹重の増大効果が期待される。雪起こしはあて材の形成を抑制し、新葉の増加を促進する。しかし、施肥との併用においてはマイナスの効果が認められる。

4・3 斜植え, 施肥, 雪起こし 処理効果の経年変化

第四章1で斜植え, 施肥, 雪起こし処理がスギの生長やあて材の形成及び根系に及ぼす影響などについて明らかにした。しかし、調査林木は2年生であって、各処理の傾幹幅軽減に対する効果はまだ顕著ではなかった。その後、林木の生育に伴って、これらの処理がスギの傾幹幅や生長にどのような影響を及ぼすのかについて検討した。

4・3・1 試験の方法

試験地は第三章1の試験地と同一林分であり、試験地の設定方法は同じである。調査本数は当初448

本であったが、その後、調査のため伐倒した個体雪折木、キマダラコーモリによる被害木などを毎調査から除いたので、最終調査年である6年生時調査本数は368本になった。

雪起こしは、2年生時の1980年4月19日よりビールテープを地上より樹幹長の1/3の高さにか幹がまっすぐになるまで引き起こした。6月19日刈り時にテープを切断後、ただちに竹の支柱を立縄で幹を固定し、縄は11月上旬に切断した。3年生時である1981年は4月23日より支柱に幹を11月上まで固定した。4年生以降は雪起こしにビニールテープを用い、地上より樹幹長の1/3の高さにか幹がまっすぐになるまで引き起こした。ビニールテープは冬期間取り外さずそのままの状態にし、年再び雪起こしを同様に実行した(図-45)。

3年生以降の施肥については、化成肥料(14:1:16)を5年生時まで1本当たり200gを樹幹下に散布した。また、下刈りは毎年6月中旬と8月中旬の2

表-18. 6年生時の各処理区の樹高、
胸高直径及び傾幹幅の平均 (cm)

処理区	樹高	胸高直径	傾幹幅
T+F+S	482±73.2	8.9±1.6	36.7± 9.1
T+F	501±65.8	9.0±1.4	36.1± 8.4
T+S	469±75.8	7.4±1.4	23.9± 5.9
T	473±87.2	7.5±1.7	22.0± 9.8
F+S	451±80.1	8.2±1.7	64.0±17.5
F	418±72.6	7.6±1.4	77.0±18.9
S	350±68.5	5.7±1.6	64.0±14.1
cont	422±62.0	7.4±1.2	61.4±17.3

S:斜植え F:施肥 T:雪起こし
cont:コントロール

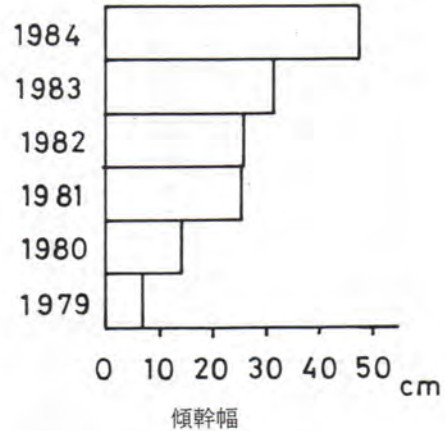


図-46. 平均傾幹幅の経年変化

刈りとした。傾幹幅は、地際に水準器を付けたポールを垂直に立て、樹幹長1.2mの部位とポールとの水平距離とした。傾幹幅の測定は毎年生長がほぼ休止した11月上旬に行った。また、樹高には樹幹長を用いた。

4・3・2 結果と考察

1. 6年生時における樹高と傾幹幅

6年生時の各処理区の樹高、胸高直径及び傾幹幅を表-18に示した。6年を経過した時点で各区の平均樹高を検討すると、施肥と雪起こし併用区が501cmで比較的良好な生長を示し、次いで斜植え、施肥、雪起こし併用区、雪起こし単用区、斜植えと雪起こし併用区と続いている。雪起こし単用区及び雪起こしと他の処理併用区は、どの雪起こしを行わない区よりも大きくなっており、雪起こしの樹高促進効果が大きいことを示している。また、施肥処理の場合も樹高は全般に大きい、特に雪起こしとの併用処理区が大きくなっている。斜植えは、他の処理との併用区では樹高生長が良いが、単用区では、樹高が350cmで最も生長が劣っている。

傾幹幅については、雪起こし単用区が22.0cmで最も小さく、次いで斜植えと雪起こし併用区、施肥と雪起こし併用区、斜植え、施肥、雪起こし併用区の順になっている。雪起こしを實行していない区では傾幹幅が61.4cm~77.0cmと大きく、雪起こしの傾幹幅軽減効果が大きいことを示している(表-18)。また、施肥単用区及び施肥と他の処理併用区では無施肥区に比べて傾幹幅が大きくなっており、施肥によって傾幹幅が増大されている。傾幹幅の形成初期で

は、樹高の大きい個体は傾幹幅の増加が早く始まる事が知られている(100)。そこで、傾幹幅と樹高との共分散分析を行うと、1%の水準で有意な差が認められた。このことは、樹高の差を考慮しても、傾幹幅の大きさには各処理間に差が認められることを示している。このような処理による傾幹幅の違いは、植栽後6年間の経年変化の累積と1年生、2年生時に幹を柱に固定するという雪起こし方法の効果が顕著に現われたためと考えられる。

2. 処理効果の経年変化

第三章1で行った2年生林木の実験結果と今回の2年生時における結果を比較すると、各処理の平均効果及び交互作用は全く同じ傾向を示した。しかし傾幹幅について雪起こし処理、斜植え処理の平均効果が有意になっており、また樹高についても、斜植えと施肥及び斜植え、施肥、雪起こしの交互作用もそれぞれ有意な差が認められ、各処理の平均効果及び交互作用が顕著になっている。次に2年生以降の経年的な変化について検討してみよう。

1) 傾幹幅

試験地の近くにある富山県林業試験場の積雪深をみると、1978/79年は38cm、1981/82年は85cmと比較的少雪であった。しかし、他の年は128cm以上で雪が多く特に1980/81、1983/84年は2mを越えている(図-40)。

調査林分の平均傾幹幅の経年変化をみると、2年生時にあたる1979年では6.6cmと小さいが、その後林齢と共に傾幹幅はしだいに増加し、6年生時にあたる1984年では48.2cmに達した(図-46)。各処理の

表-19. 各処理の平均効果と交互作用及びそれらの経年変化 (cm)

処理区	1978(植栽時)			1979(1年生)		1980(2年生)		1981(3年生)	
	樹高	樹高	傾幹幅	樹高	傾幹幅	樹高	傾幹幅	樹高	傾幹幅
S	-6.10**	-3.15**	0.18	-4.23*	1.09*	-16.43**	1.26		
F	1.46**	12.09**	-0.09	23.66**	1.87**	32.77**	9.08**		
T	-1.40**	0.31	-0.08	5.73**	-3.05**	12.22**	-6.90**		
S×F	-0.94*	3.71**	0.57	14.03**	-0.12	30.06**	0.91		
S×T	0.58	0.54	0.02	-3.54	0.48	-14.02**	2.24*		
F×T	0.04	-1.85	-0.31	-9.63**	0.75	-9.81*	0.65		
S×F×T	-0.01	-0.68	-0.48	-4.19*	0.67	4.19	0.36		

処理区	1982(4年生)		1983(5年生)		1984(6年生)	
	樹高	傾幹幅	樹高	傾幹幅	樹高	傾幹幅
S	-11.80**	-0.60	-11.84	-1.94	-15.40	-1.76
F	42.36**	7.56**	40.03**	9.91**	34.62**	11.02**
T	21.55**	-11.88**	41.09**	-18.78**	71.18**	-32.20**
S×F	31.05**	-1.50	33.22**	-2.82**	22.32**	-4.02**
S×T	-6.79	2.79*	-7.59	4.25**	4.14	3.16*
F×T	-11.63**	1.10	-10.57	1.38	-14.10	2.66
S×F×T	-15.86**	2.71**	-23.31**	4.00**	-29.78**	3.20**

* 5%水準で有意 ** 1%水準で有意 S:斜植え F:施肥 T:雪起こし

傾幹幅に対する平均効果の変化を年次別にみると、斜植えにおいては植栽初期の傾幹幅にプラスの平均効果が認められ、2年生時では5%の水準で有意である(表-19)。しかし、4年生時から斜植えの平均効果がプラスからマイナスに変化し、傾幹幅の増加量が減少している。植栽初期において斜植え木の傾幹幅が大きいのは、植栽方法の影響によると考えられる。その後、しだいに傾幹幅増加量が相対的に小さくなっていくのは、斜植えによって埋幹部が長くなり、根系の形態が根元曲り木と同じ形態に変化し、樹幹がしだいに倒伏しにくくなるためと考えられる。

このような結果から斜植えの効果を検討すると、平均最大積雪深が1.0m以上の多雪地帯においては、斜植え木の根株が長く、冬期間樹幹が倒伏しにくい形に根が変形しているため傾幹幅の増加量は小さくなり、斜植えの効果が大きいと考えられる。一方、平均最大積雪深が1.0m以下の少雪地帯(19)においては樹幹が倒伏することが少なく、斜植えの効果はほとんど表われないと考えられる。

5年生時から、斜植えと施肥の2因子交互作用がマイナスで、5%あるいは1%の水準で有意であった。これは、すでに予測されたように(92)、斜植えは埋幹部の増大をもたらす施肥によって根系が発達すると、積雪によって生じる樹幹の倒伏に対する抵

抗力が大きくなり、傾幹幅の増加が少なくなったと考えられる。また、斜植えと雪起こしの2因子交互作用は、3年生時よりプラスで5%あるいは1%の水準で有意である。この原因として、斜植え木は最初から埋幹部が長く樹幹下部が曲がっているため、雪起こし時に直立植え木のように根元からまっすぐになるよう幹を引き起こすことができなかったことが原因である。斜植え、施肥、雪起こしの3因子交互作用は、4年生時から樹高においてはマイナス、傾幹幅ではプラスにそれぞれなっており、1%の水準で有意な差が認められる。これは、3処理の併用が根元曲りの軽減に特別な効果をもたらすものでないことを意味する。

施肥の傾幹幅に対する平均効果は、2年生時より1%の水準で有意なプラスの効果が認められ、施肥によって傾幹幅の増大が早く始まることを示している。施肥による傾幹幅増大効果は1年生時においては認められず2年生時から増大し始め、施肥木の平均樹高が180cmに達した翌年の1981年(3年生)から著しく増加している。これは、施肥によって生長が促進されるため、施肥木が無施肥木よりも早く根元曲りが増加すると考えられる。

施肥の効果を総合的に考えると、植栽初期においては樹高生長に及ぼす施肥の効果は大きい(61)。か

肥と雪起こしを併用した場合、雪起こしを併用しない個体よりも生長が劣った。しかし、この現象は個体が大きくなり根元が安定する4年生ごろまでみられ、その後、施肥と雪起こしを併用した個体は雪起こし単処理木や施肥単処理木よりも樹高が大きくなり、施肥と雪起こしの樹高生長に対する有意なマイナスの交互作用は認められなくなる。また、施肥によって傾幹幅は増大する。したがって、施肥を行う場合第四章1で明らかにしたように、植栽初期に雪起こしとの交互作用によって多少生長が抑制されるとしても、雪起こしを行わないと根元曲りが大きくなってしまふといえる。

雪起こしの傾幹幅に対する効果は、雪起こしを実行した2年生時から認められその効果はしだいに大きくなっていく(表-19)。ビニールテープを用いた雪起こし方法では2年生時にその効果が認められなかった(92)。今回このような効果が認められたのは、支柱を用いて樹幹を固定することによって、生長に伴う地上部重量の増加による傾幹幅の再増加が防止されたためと考えられる。雪起こしによる傾幹幅軽減効果は毎年の傾幹幅軽減効果の累積である。2年生時の雪起こしによる傾幹幅軽減効果は2.97cm、3年生時は3.85cm、4年生時は4.98cm、5年生時は6.90cm、6年生時は13.42cmとなっており、最終的に6年生時では雪起こしをしない林木よりも32.20cm傾幹幅が少なくなっている(表-19)。それぞれの林齢における傾幹幅の軽減効果は林齢が高くなるにしたがい大きくなっていくが、特に6年生時(1984年)では、13.42cmと著しく大きくなっていく。これは1983/84年の最大積雪深が203cmに達し、樹高が4mを越した個体も埋雪したため雪起こしをしなかった個体の立ち直りが悪かったためであろう。1980/81年の積雪深は230cmで1983/84年の積雪深よりも多かった。しかし、3年生時の雪起こしによる傾幹幅軽減効果は3.85cmと小さかった。また、1979/80年の積雪深は38cmと非常に少ないが、2年生時の雪起こしによる傾幹幅軽減効果は2.97cmで積雪が多かった3年生時の傾幹幅軽減効果とさほど変わらない。前にも述べたように、幼齢期においては立ち直りが早くその度合は積雪の多少にかかわらない。この時点では雪起こしの効果は小さいと考えられる。

このようなことから、雪起こしが傾幹幅の軽減に及ぼす効果を検討すると、少雪地帯では雪起こしをしない個体でも傾幹幅の増大が少なく、雪起こし木

と大きな差を生じない。一方、多雪地帯においては、幼齢期に雪起こしの効果はさほど大きくないが樹高が大きくなるにしたがってその効果は大きくなっていくといえる。特に多雪年では傾幹幅の増加が大きいため、雪起こしの効果は著しく高くなる。

2) 傾幹幅の増加期

雪によって樹幹が倒伏しなくなるまでの間、傾幹幅は毎年増加していく。しかし、その増加量は、毎年の積雪の多少と倒伏させられる個体の大きさによって変化するといえる。第二章3では林齢の異なる3林分(1~3年生林分、4~5年生林分、6~7年生林分)において根元曲りの形成機構について検討した。その結果、根元曲りの大きな増加は多雪年に3年生以上の林分で生じることを明らかにした。ここでは雪起こしをしていない斜植え単用区、斜植えと施肥併用区、施肥単用区、直立植え区(コントロール)において、1年生時から6年生時までの樹高とその翌年の傾幹幅増加量を測定し、各処理区の傾幹幅増加期について検討した(図-47)。

最大積雪深は植栽年の1978/79年で38cm、樹高が157cm~213cmに達した4年生時の1981/82年で85cmと少雪であったが、それ以外の年では128cm~230cmと多雪であった。1年生、2年生林木では、積雪の多少にかかわりなく傾幹幅の増加量はほぼ10cm以下で根元曲りはさほど増加しない。これは第二章3で明らかにしたように樹高が小さいため倒伏した樹幹の立ち直りが良いためであろう。3年生林木では、施肥単用区が平均樹高130cmに達した翌年に18.4cm、斜植えと施肥併用区では平均樹高154cmに達した翌年に16.7cmそれぞれ傾幹幅が増加している。しかし、樹高103cmの斜植え単用区、121cmの直立植え単用区では傾幹幅の増加量は小さく、ほぼ10cm以下である。4年生林木では前年秋の樹高は157cm~213cmに達しているがいずれの処理区においても傾幹幅の増加量は5cm以下であった。この年の最大積雪深は85cmと少なかったため樹幹が完全に埋雪しない個体が多く、埋雪しても大きな雪圧が樹幹に加わらず倒伏の程度が小さかったと推定される。

5年生林木では、樹高が250cm~352cmに達している。このうち樹高312cmの施肥単用区では傾幹幅の増加量が15cmであったが、他の処理区では10cm以下であった。6年生林木では埋雪時の樹高が350cm~451cmであったが、いずれの処理においても傾幹幅の増分は20cm以上であった。これは、積雪深が203cmと

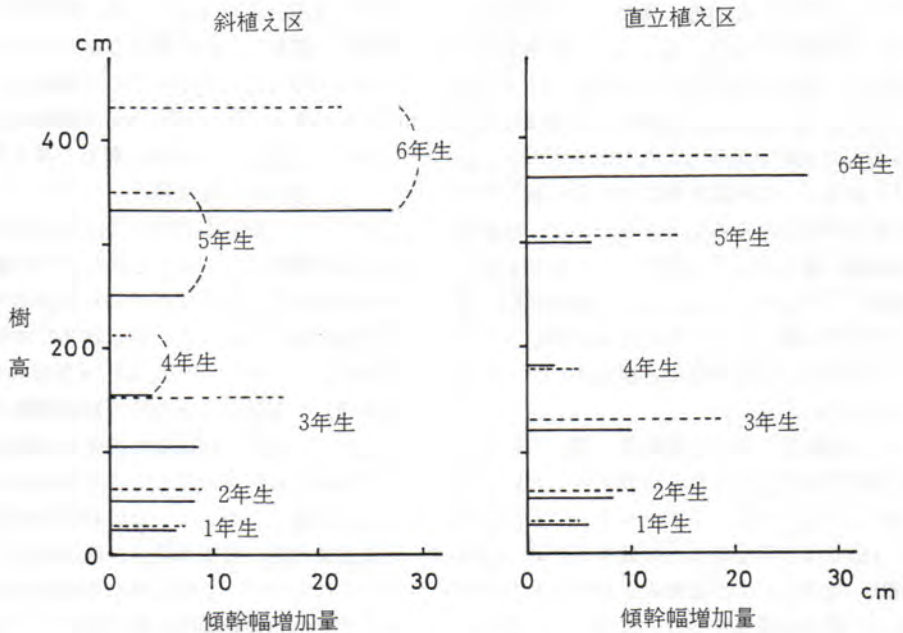


図-47. 雪起こしを実行していない各処理区の平均樹高と平均傾幹幅増加量

----- 施肥区
 ———— 無施肥区

多かったため、平年の積雪(150cm)ではほぼ埋雪しなくなった個体も倒伏したことになると考えられる。

これらのことから傾幹幅は毎年少しずつ増加していくといえるが1年生、2年生の幼齢木においては傾幹幅の増大は積雪深の多少によってあまり影響を受けない。しかし、樹高が大きくなるにつれて傾幹幅の増大は積雪深の多少によって大きな影響を受け、特に樹高が大きくなってから多雪によって樹幹が倒伏すると大きな根元曲りが形成される。積雪によって、根元曲りが大きくなり始める時期は、3年生以上の林木で、樹高がおよそ130cm以降になってからと推定される。佐藤(67)も積雪深1.5mの地帯で1年生から14年生までの林分において毎年根元曲り増加量を調査し、樹高が138cm以上の林木から根元曲りが大きく増加し始める個体があることを報告している。斜植え単用区、斜植えと施肥併用区、直立植え単用区とも平均樹高が150cm以下であった場合、その翌年の傾幹幅増加量は10cm以下で根元曲りの増加量は大きくない。しかし、施肥単用区では平均樹高130cmに達した翌年に傾幹幅が18.4cm増加している。また、斜植えと施肥併用区では、樹高が154cmに達

した翌年傾幹幅が16.7cm増加している。これは、樹高がほぼ同じでも施肥木では無施肥木よりも傾幹幅の増加が早く始まることを示している。

第二章3で測定した林木では、樹高136cm以下の幼齢木は樹幹倒伏量が大きくてもその後の立ち直りが大きいため傾幹幅はさほど大きくならない。しかし、樹高が256cm以上の林木では傾幹幅が大きくなった。また、第二章6で樹幹解析した根元曲りの大きい個体では、樹高が150cmに達したころより根元曲りの増加に伴って生じると考えられる樹高伸長量の減退が認められた。したがって、雪によって根元曲りが大きく増加し始める時期はおよそ樹高が1.1m~2.0m以上とみられ、その後の多雪年に根元曲りが大きくなると考えても良いであろう。

3) 樹高生長

調査林分の平均樹高の経年変化を図-48に示した。植栽時にあたる1978年の樹高は28.3cmであったが1年生時にあたる1984年には445.8cmに達した。

各処理がスギの樹高生長に及ぼす平均効果を年別にみると、斜植えの平均効果は、植栽初期から1年生時までマイナスであった(表-19)。そして4年

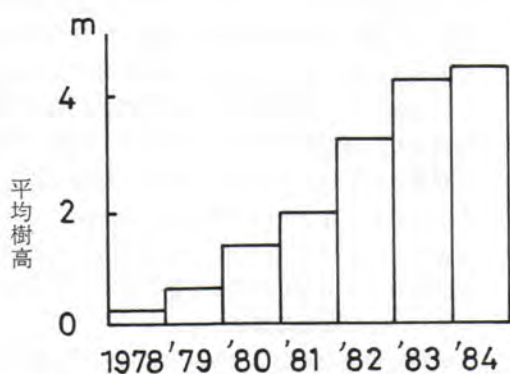


図-48. 平均樹高の経年変化

生時までは5%あるいは1%の水準で有意な差が認められた。これは、斜植えによって埋幹部が長くなり初期に根元曲りが大きくなったことなどが原因と考えられる。しかし、5年生以降はその平均効果にマイナスの有意な差は認められていない。したがって、斜植えによって植栽初期の樹高生長は抑制されるが、樹齢が進むにつれてその影響はしだいに小さくなる傾向を示す。

施肥については、植栽初期から6年生時までその平均効果がプラスで1%の水準で有意な差が認められ、施肥の生長促進効果が大きかったことを示している。施肥の樹高促進効果は、特に植栽初期において著しく大きく4年生時に最大に達しているが、その後しだいに減少している。これは、樹高が大きくなるにしたがって樹幹倒伏時の根の損傷や立ち直りに伴うあて材の形成量が多くなることと、施肥効果そのものの経年的減少などがその理由として挙げられる。

雪起こしの樹高生長に対する平均効果は、雪起こしを開始した2年生時から認められる。雪起こしによる樹高生長促進効果はしだいに大きくなっていき、5年生時以降には施肥の平均効果を上まわる。特に6年生時ではその平均効果が著しく大きくなっている。これは、第三章3で明らかにしたように、雪起こしの樹高促進効果が高いのは、雪起こしによってあて材の形成が抑制されることが原因と考えられる。

幼齢期においては樹幹が細く立ち直りやすいため、雪起こしをしなくてもあて材の形成量が少なく樹高生長が抑制されないが、樹齢が高くなるにつれ、雪起こしをしなかった個体は曲がりの形成によって樹

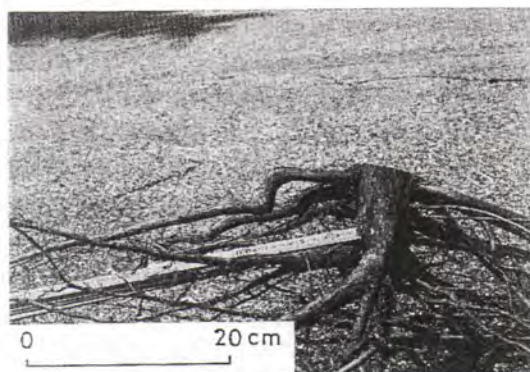


写真-9. 雪起こし時に生じた山側の根の変形

幹下部の肥大生長が優先され、多量のあて材が形成され、樹高生長が抑制されるようになる。樹齢が高くなるにしたがって雪起こしの効果が高くなるというよい。

遠田ら(3),は雪起こし木の樹高生長は無処理木のそれと比べてさほど大きな違いはみられず、逆に小さくなる例もあることを報告している。その理由として倒れた樹幹を起すときの根の切断が生育を停滞させることを挙げている。消雪後10日以内に雪起こしをした樹高2.5mのスギの根を秋に掘り出しその形態を観察すると、山側へ伸びている根に圧縮の結果とみられる屈曲が根元に認められる(写真-9)。これは、雪によって樹幹が倒伏したときに山側の根が引っ張られ根抜けを生じたものが、雪起こしによって幹が元の状態に戻ったため逆に圧縮を受け屈曲したと考えられる。また、斜面下部の根は樹幹倒伏時に圧縮を受けL字形に変形しているが(86)、雪起こしによって樹幹が立ち直ると引っ張られて正常形態に戻るとみられる。すなわち、雪起こしによって斜面上部の根が損傷を受けることがあると推定される。特に根が活動を始め、吸収根が出始めたあとに雪起こしを実行した場合、その損傷は大きく生長に影響すると考えられる。

吉川(114)は、樹高1mのスギ林で雪起こしをしなかった個体は雪が消えてから30日後、50日後に雪起こしをした個体よりも樹高生長が良かったことを報告している。これは、遠田ら(3)の報告と同じ現象と考えられる。しかし、第三章3で明らかにしたように全根重の3/4を除去しても、断根の樹高生長に対する抑制効果は比較的少ない。また、第二章7、

第三章2で明らかにしたように、倒伏した樹幹の引き起こす時期が遅れた場合、大量のあて材が形成されるためその影響で樹高生長が抑圧される。これらのことから、雪起こしによる樹高生長の抑制は、雪起こし時期が遅れた場合に根の損傷に加え大量のあて材が形成されるため大きく表われると考えられる。

斜植えと施肥の2因子交互作用は2年生時からプラスで1%の水準で有意な差が認められる。これは、第四章1で行った根の掘り取り調査でも明らかにしたように、斜植えによって増大した埋幹部から多数の根が発達したため施肥の効果が顕著に現われたのであろう。施肥と雪起こしの2因子交互作用は、マイナスで雪起こしを開始した2年生時から4年生時まで有意な効果が認められた。これは、第四章1で述べたように施肥と雪起こしの交互作用によって地際からの発根数が少なくなったことが原因と考えられる。しかし、5年生以降は有意な差が認められなくなった。これは、個体が大きくなって根の全体量が増加し、地際からの根も太くなり、雪起こしによって生じる根への影響も少なくなったためと考えられる。したがって、施肥と雪起こしの樹高生長に対するマイナスの交互作用は、植栽初期から根元が安定してくるまでの短い期間に限られた一時的な現象であろう。

4.3.3 要約

斜植えは植栽初期の生長がやや悪く曲がりも大きい。しかし、斜植え木の根系は樹幹が倒伏しにくい形態に変形していくため、多雪地帯では樹高が大きくなるにつれて傾幹幅の増加量が小さくなりその効果が表われ始める。施肥によって植栽初期の生長は促進されるが、傾幹幅は無施肥木よりも早く増加し始める。雪起こしは傾幹幅の軽減のみでなく樹高生長促進効果も大きい。雪起こしの効果は植栽初期から表われるが、特に樹高が1.5m~2.0m以上では顕著になる。また、斜植えと施肥の交互作用によって樹高生長、傾幹幅軽減の効果が期待できる。根元曲りは、樹高が1.5m~2.0m以上に達した以降の多雪年に著しく増加する。

4.4 施肥養分(N, P, K)が倒伏した樹幹の立ち上がり及ぼす影響

第4章2の試験結果から、施肥は植栽初期においてスギの生長を促進させるが根元曲りは無施肥木よりも早くから始まる傾向がみられた。これは、第二

章2でも明らかにしたように、樹幹の倒伏量が同場合、樹高が大きいものは立ち直りがおくれ根元曲りが大きくなるということと同じ現象である。しかし、施肥によって根元曲りや幹折れなどの雪圧害軽減された例も報告されており(112)、施肥の根元曲り軽減効果に対してはさらに詳しい検討が必要である。このようなことから角型ポットを用いてチツリンサン、カリの単一処理とその組み合わせが倒伏した樹幹の立ち上がり及ぼす影響について検討し

4.4.1 試験の方法

試験に用いた角型ポットは第二章4の実験で用いたものと同一である。実験はチツソ、リンサン、カリの施肥と無施肥の3因子2水準をL₂直交表に割つけ、これに基づいて8種類の処理を行い、各処ごとに3回の繰返しを設け計24個のポットを実に供した。試験に用いた苗は2年生さし木苗で1981年5月下旬にポットに植栽した。植栽後、翌3月まで直立した状態で生育させ、冬期間はポットを室内に移動した。3月19日にポットを屋外に出倒伏した。ポットの用土には畑から掘り上げた深を用い、チツソ(NH₄)₂SO₄を5.6g、リンサンP₂O₅を3g、カリK₂O₅を4gそれぞれL₂直交表の割り付け従って植栽時に用土に均等に混入し、翌年4月下旬に同量の施肥を行った(図-49)。倒伏させた樹幹立ち上がり量は、水平に設置したポットの上にアミ棒を当て、それと根元から幹に沿って10cmおきペイントで印をした幹の中央部との垂直距離とし(図-23)。先端部の立ち直りは地際から測定部位までの距離によって異なる。その違いを除去するために立ち直り比(立ち上がり量/地際から測定部位までの距離×100)を用いた。測定は、4月6日よりおそ10日おきに11月29日まで行った。なお、先端部測定開始時に先端であった部位とした。測定後、すべての個体をポットから取り出し幹、枝、新葉、葉、根に分けて絶幹重(105℃)を測定した。

4.4.2 結果と考察

1. チツソ、リンサン、カリの生長促進効果
処理別の樹幹長、幹重、枝重、新葉重、旧葉重みると、チツソ処理木がすべての測定項目において著しく大きくなっており、チツソ処理木はチツソ処理木の2倍以上の生育を示している(表-20)。生長に対するチツソ、リンサン、カリの平均効果を見ると、チツソがすべての測定項目においてプラス1%の水準で有意であった。しかし、リンサン、

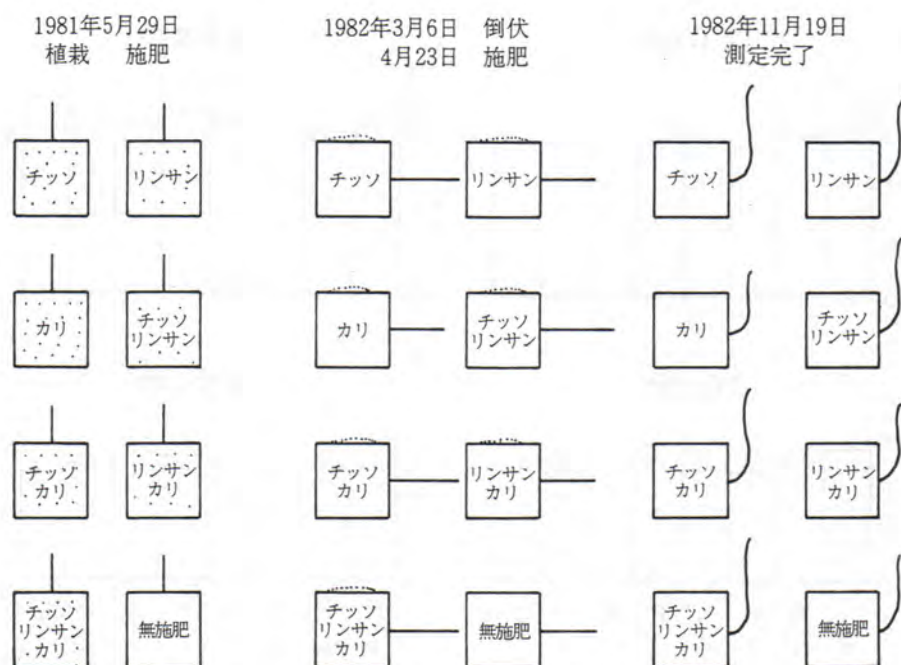


図-49. 養分の処理と倒伏時期

表-20. 各処理木の平均樹幹長, 平均各部分重

処理	樹幹長(cm)	幹重(g)	枝重(g)	旧葉重(g)	新葉重(g)	根重(g)
NPK	71.2±6.5	39.1±7.2	6.6±0.0	27.2±10.1	36.7±3.8	43.4±7.8
NP	71.8±2.5	36.1±6.5	4.8±1.5	26.2± 3.3	41.8±6.1	35.7±8.9
NK	74.5±7.0	33.9±8.3	4.9±1.6	27.6± 5.7	30.8±7.7	33.9±7.9
N	72.7±4.3	35.2±4.1	5.9±1.0	26.3± 3.4	28.7±7.9	37.4±3.8
P	48.3±3.1	10.6±1.7	0.5±0.0	8.9± 3.4	2.6±0.6	17.0±4.4
K	54.2±2.0	16.1±1.5	0.8±0.3	13.0± 1.9	7.6±5.7	21.9±3.8
PK	57.5±4.4	17.2±7.1	1.6±0.8	17.4± 5.1	10.8±0.7	23.9±5.6
cont	50.7±5.1	17.3±3.7	2.1±0.8	16.6± 1.4	6.8±4.0	23.1±4.3

N: チッソ P: リンサン K: カリ cont: コントロール

表-21. 樹幹長及び各部分重に及ぼすチッソ, リンサン, カリの平均効果と交互作用

要因	樹幹長(cm)	幹重(g)	枝重(g)	旧葉重(g)	新葉重(g)	根重(g)
N	19.9**	20.8**	4.3**	12.9**	27.6**	16.1**
P	0.8	0.1	0.1	0.1	4.5	0.9
K	3.5	1.8	0.1	1.8	1.5	2.5
NP	1.3	2.9	0.4	0.1	5.0	3.0
NK	2.9	0.9	0.3	0.7	3.0	0.4
PK	0.8	3.0	1.3	3.0	0.1	4.9
NPK	2.0	0.9	0.1	3.1	3.7	0.8

N: チッソ P: リンサン K: カリ ** 1%水準で有意

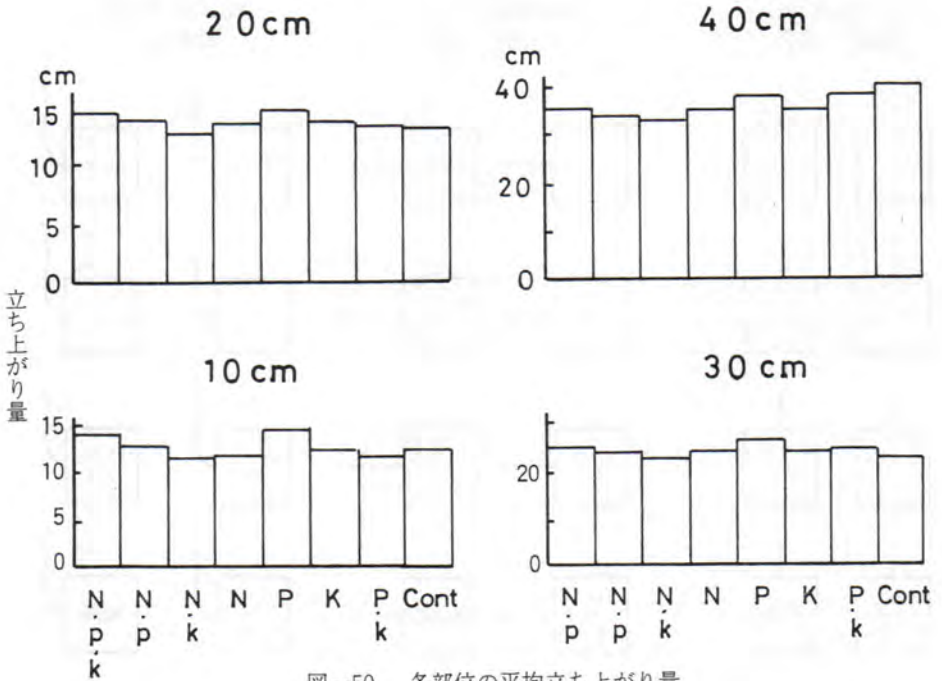


図-50. 各部位の平均立ち上がり量

N: チッソ P: リンサン K: カリ Cont: コントロール

りについてはその平均効果が認められず、各処理間の交互作用も認められなかった。したがって、今回の実験では、チッソが著しくスギの生長促進に効果があったことを示している(表-21)。

2. チッソ、リンサン、カリが樹幹の立ち上がりには及ぼす影響

4月6日から11月29日までに測定した各部位の立ち上がり量はチッソ、リンサン、カリの違いによる差は全くなく、各処理間の交互作用も認められなかった(図-50, 51)。倒伏した樹幹の立ち直り率は、大きい個体ほど小さいことが報告されている(89)。チッソ処理木の平均根元径は、ポットの倒伏時で1.5cm、測定完了時で3.9cm、チッソ無処理木ではポット倒伏時に1.0cm、測定完了時に2.8cmでチッソ処理木がやや太くなっている。しかし、10cm, 20cm, 30cm, 40cm及び先端部における立ち上がり量には、処理の違いによる差がほとんど認められない。これは施肥によって生長が促進されても倒伏した樹幹の立ち上がり量は全く影響を受けず、また、チッソ、リンサン、カリの各養分及びそれらの組合わせなど、肥料の種類が違っても樹幹の立ち直りにはほとんど変化

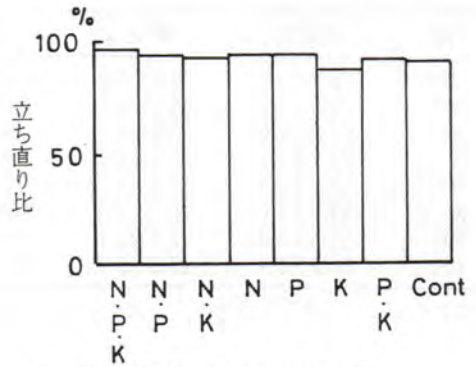


図-51. 先端部の平均立ち直り比 $\left(\frac{\text{先端部の立ち上がり量}}{\text{樹幹長}} \times 100 \right)$

N: チッソ P: リンサン K: カリ Cont: コントロール

がみられないことを示している。したがって、これまで報告されている施肥による根元曲り軽減効果(112)は、施肥の直接的な影響によるものでないと考えられる。第二章3で、樹幹の倒伏量が同じであるとき樹齢の大きい個体の立ち直り率は著しく悪く

り、また、個体の大きさがほぼ同じ場合積雪量が多ければ樹幹の倒伏量も大きく、立ち直り率も悪くなることを明らかにした。積雪量は毎年大きく変わるため施肥による根元曲りの軽減効果は、施肥の影響によって生じる個体の大きさの違いとその年の積雪量の組み合わせによって変化すると考えられる。

4・4・3 要 約

倒伏した樹幹の立ち上がり量は、施肥によってスギの生長が促進されてもほとんど影響を受けず、無施肥木とほぼ同等の立ち上がりしか示さない。また、チッソ、リンサン、カリの三要素も特に立ち上がりに対して顕著な効果を表わさない。施肥の根元曲り軽減効果は積雪量や個体の大きさなどの要因によって変わると考えられる。

4・5 縄の種類と雪起こし効果の違い

これまでの調査によっても明らかにしたように、雪起こしは消雪後直ちに行えば根元曲りを軽減するのに効果的である。この雪起こしに用いられている縄には多くの種類があり、その強度や腐食の進行程度がかなり異なる。第二章6でも明らかにしたように、樹高が3.0m～4.0mを越える個体が倒伏した場合、根の損傷が大きく樹体の支持力が低下しているため、雪起こしに用いる縄の強度や腐食の進み具合によってはその効果も大きく異なると考えられる。そこで、一般に用いられている腐食の進行度の早いと考えられるわら縄と遅いと考えられるビニール縄による雪起こし効果の違い及びそれぞれの縄の強度変化を検討した。

4・5・1 試験の方法

調査は中新川郡立山町栃津地内の民有林で行った。調査は標高300m、傾斜25°山腹下部北向き斜面に設定された。この地帯の平均年最大積雪深は約1.7m前後で、調査を行った1983/84年の最大積雪深は約2mであった。

調査木は6年生林分(平均樹高4.5m)の中から、

1984年4月26日に雪圧によって樹幹が45°以上倒伏している個体を26本選定した。そして、わら縄(直径7mm)とビニール(直径6mm)を地際より樹幹長のおよそ1/3の高さにかけ、それぞれ13本ずつ雪起こしを行った。傾幹幅の測定は雪起こしを行った直後の4月26日、一生長期間を経過した降雪前の11月10日に行った。傾幹幅として、植栽位置に水準器をつけたポールを立て、ポールと胸高部位(1.2m)との水平距離を用いた。同年4月26日、上記の調査林分に隣接する5年生林分において、樹幹の倒伏度合に関係なくわら縄で8本、ビニール縄で10本それぞれ雪起こしを行い、縄に加わっている張力を1か月おきに11月10日まで測定した。縄に加わっている張力としては、ゼンマイ秤のかぎを縄を結んだ幹にかけ、水平に引っ張って縄にややたるみができかけた時の値を用いた。また、1983年4月林業試験場構内において、長さ2mのわら縄とビニール縄をそれぞれ80本ずつ日の当る屋外につり下げ、4月から11月まで1か月おきに10本ずつその切断強度を測定した。測定はロードセル(500kg用)をセットしたチルホールで縄を静かに引っ張り、縄が切れた時の値を記録計で読みとった。

4・5・2 結果と効果

4月26日雪起こしを行った直後の傾幹幅は、わら縄区で60.5cm、ビニール縄区で58.5cmを示し、用いた縄の種類による傾幹幅の差はほとんどない(表-22)。しかし、一生長期間を経過した11月10日の傾幹幅はわら縄が77.4cmで4月の傾幹幅と比較して16.9cm増加していた。一方、ビニール縄の場合は56.5cmで春の傾幹幅よりさらに2cm減少していた。11月10日の傾幹幅測定時には、わら縄はすべて切断していたが、ビニール縄はまだやや張力の加わった状態で残っており、切断したものは1本もなかった。このことは、わら縄の場合途中で縄が腐食し自然に切断してしまうため、幹が再び谷側に傾くことを示している。一方、ビニール縄の場合は縄の張力が最後まで

表-22. 縄の種類と雪起こし効果

縄の種類	本数(本)	平均樹高(cm)	平均傾幹幅(cm)		差(cm)
			4月26日	11月10日	
わら縄	13	428±48.8	60.0±17.0	77.4±18.0	17.4±15.2
ビニール縄	13	447±39.1	58.5±18.0	56.5±17.0	- 2.0± 7.6

表-23. 縄の種類と張力の経時変化

縄の種類	本数(本)	平均樹高 (cm)	縄に加わる張力 (kg)						
			4月26日	5月30日	6月30日	8月4日	9月5日	9月26日	11月10日
わら縄	8	312±41.0	22.3 (0)	12.0 (3)	13.8 (4)	4.0 (7)	— (8)	— (8)	— (8)
ビニール縄	10	341±54.7	16.6 (0)	10.5 (0)	10.5 (0)	9.4 (0)	9.4 (0)	9.7 (3)	9.8 (3)

()内は切断した縄の本数

で保持されており、これは生長に伴う立ち直りも加わって傾幹幅が雪起こしをした時点より小さくなったと考えられる。

わら縄とビニール縄に加わる張力の変化をみるとわら縄、ビニール縄とも雪起こし実行後約1か月で急速にその張力が低下する。その後、わら縄では9月以降全くなくなるのに対し、ビニール縄では降雪前までその張力がほとんど変わらない(表-23)。すなわち、わら縄では5月末で3本、6月で4本、7月で7本、8月ではすべての縄が腐食し、切断されてしまう。一方、ビニール縄では途中で切断した個体は3本であった。

わら縄とビニール縄の月別切断強度の変化をみると、4月の段階ではわら縄の切断強度は平均55kg、ビニール縄では115kgで、ビニール縄はわら縄の2倍以上の切断強度がある。測定開始時の縄の強度を100とすると、わら縄は6月までほとんど変化しないが7月には60%、8月には30%程度に減少する(図-52)。これは、梅雨期にわら縄の腐食が急速に進行し、縄が自然に切断されることを示している。一方ビニール縄の切断強度はその10%程度の減少しか示さず、最後までビニール縄は切断されにくいといえる。

豪雪地帯でなければ、第二章4でも明らかにしたように冬期間ビニール縄をそのままの状態にしても幹折れなどの雪害をまねくことは少なく、かえって翌年の冠雪による倒伏が防止され、根元曲りが軽減される(87)。ただし、ビニール縄などを用いる場合、幹への食い込みが生じる可能性もあるため、縄の結び方を色々検討する必要がある。一方、わら縄の場合は、8月ごろまでに腐食し自然に切断するため樹体の保持力がなくなるが、縄の幹への食い込みについてはほとんど心配がない。わら縄は立ち直りの良い樹高3m以下の小さい個体の雪起こしに適すると考えられる(87, 90)。

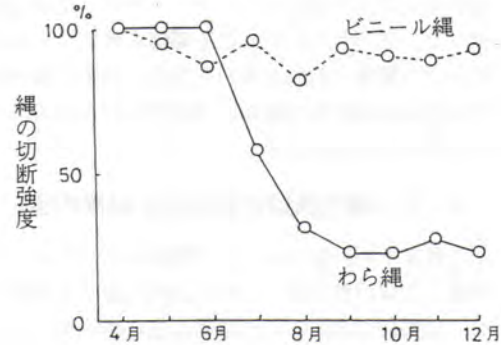


図-52. 縄の月別平均切断強度の変化

4・5・3 要約

雪起こしに用いるわら縄はビニール縄の約半分の引っ張り強度しかなく、しかも腐食の進行が早く、8月までにその強度の30%程度に減少し、自然に切断されてしまう。樹高が3m~4m以上の個体をわら縄で引き起こす場合は、7月~8月までにほとんど縄が切断され雪起こし効果が減少する。したがって、樹高の大きい個体の雪起こしはビニール縄を用いた方が効果が高い。

4・6 品種間みる雪圧害の違い

雪害に対する抵抗性は樹種によっても違いのあることが知られている(8, 110)。スギの場合は品種によって抵抗性が異なり、一般にさし木苗は、根元曲りに対し抵抗力のあることがすでに報告されている。富山県西部の少雪地帯を中心として造林されている多くのさし木品種も、根元曲りが少ない(84, 85)。しかし、これらのさし木品種は、多雪地帯における造林実績がなく、生長や耐雪性についてはまだ明らかにされていない。そこで、これらのさし木品種と精英樹さし木苗の雪圧害抵抗性を把握するため、多雪地帯に次代検定林を設置し、スギさし木品種の

表-24. 植栽品種

地スギ	本数(本)	精 英 樹	本数(本)	実 生	本数(本)
リヨウワスギ	90	城端1号 (タテヤマスギ)	90	タテヤマスギ	90
ボカスギ	90	大山1号 (〃)	90		
ミオスギ	90	上市2号 (〃)	90		
カワイダニスギ	90	上市3号 (〃)	90		
		立山1号 (〃)	90		
		高岡1号 (マシヤマスギ)	90		
		石動2号 (リヨウワスギ)	90		

長と雪圧害を調査した(88)。

4・6・1 試験の方法

試験林は第二章5の傾斜の違いによる根元曲り量の差を測定した試験林と同じである。試験に供したスギさし木品種は在来さし木苗(地スギ)、富山県産精英樹さし木苗(タテヤマスギ、マシヤマスギ、リヨウワスギ)及びタテヤマスギ実生苗で、さし木苗はすべて単一クローンである(表-24)。

試験地の設定は植栽間隔2m×2mで1プロット5×6=30本植えとし、12プロットを1ブロックとし3ブロックを試験地内に配置した。植栽時の苗齢は実生で3年生、ボカスギは1年生、他のさし木は2年生を用いた。

植栽後毎年秋、樹高、根元径について測定し、雪圧害の調査は1977年(植栽後2年目)から行った。なお、1981年の測定には傾幹幅の測定も加えた。

雪圧害には根元曲り、幹折れ、根元折れ、梢端折れ、枝抜けなどの形態が認められた。根元曲りの大小については、植栽位置に水準器を付けたポールを垂直に立て、樹幹の胸高部位とポールとの水平距離を傾幹幅とし、その大きさによって表わした。他の被害については、幹折れなどによって枯死したものや、生きているが成長不可能と考えられる個体を折損木とし、梢端折れ、枝抜けなど軽度のものは無被害木として取り扱った。

4・6・2 結果と考察

1. 樹高生長

植栽後6年を経過した各品種の樹高は、タテヤマスギ実生が234cmで他のさし木クローンに比べ際立って大きな生長を示した。また、さし木でもクローンによって生長が大きく異なった(図-53)。この中でカワイダニ、ボカスギ、城端1号の生長は比較的良いが、高岡1号(マシヤマスギ系)、リヨウワスギ

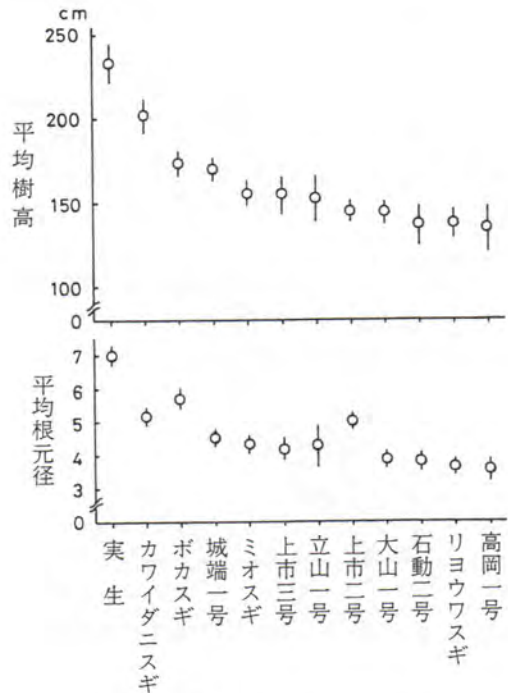


図-53. 植栽6年目における各品種の平均樹高と平均根元径

○は5%信頼限界

などのさし木は生長が劣り、実生苗に比べて1m近く小さい。このような傾向は、根元直径生長においても認められる。

各品種における樹高の生長過程をみると、タテヤマスギ実生は植栽翌年からの生長が大きいのに対し、さし木は初期の生長が停滞し、特にカワイダニスギ、ボカスギ以外のさし木はその傾向が著しい(図-54)。このことは、多雪地帯におけるさし木造林は実生に比べ下刈期間が長く、多くの労力を必要とす

表-25. 品種の折損率の分散分析

要因	自由度	平方和	平均平方	F
ブロック	2	271.40	135.70	3.26
品種	11	6165.87	560.53	13.46**
誤差	22	916.08	41.64	
全体	35			

** 1%水準で有意

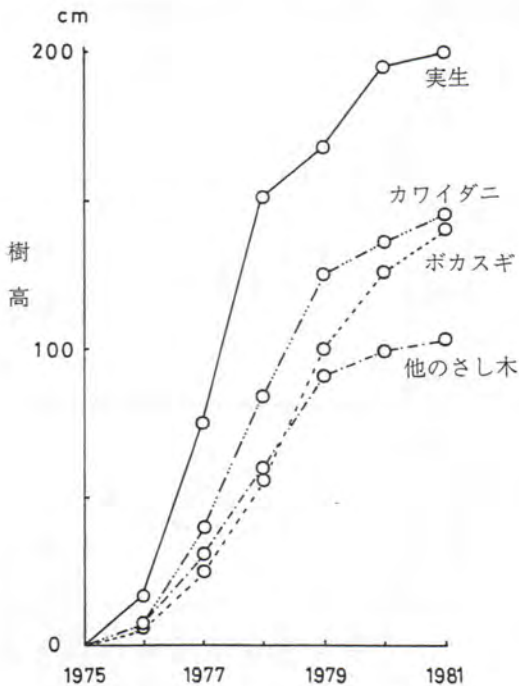


図-54. 各品種の平均樹高の生長過程

ることを示している。

また、積雪地帯において、造林木が積雪を抜け出し生長を始めるのは、樹高が積雪の2倍～2.5倍以上に達してからといわれており(79)、初期生長の遅いこのようなさし木品種では、埋雪する期間が長くなるという点で不利な側面をもつといえる。

2. 雪圧害

1) 折損

これまでの伊折観測所の最大積雪深(図-18)とスギの樹高生長から考えると、植栽後すべての個体は冬期間埋雪していたと推定される。折損率(1981年までの雪損木本数/植栽本数×100)の分散分析結果をみると、品種間に1%の水準で有意な差が認められるが、ブロック間では差が認められない(表-25)。

植栽時から1981年までの折損率は、品種によって大きな違いが認められ、ポカスギは8.9%、実生は21.7%と低いのに対し、他のさし木は非常に高く、高岡1号では79%に達する(図-55)。

植栽後における折損率の推移は、品種によってその経過が大きく異なる(図-56)。ポカスギの折損率は毎年3%以下である。1981年は多雪で他のスギ品種の被害が増大したにもかかわらずポカスギでは被害が少なかった。ポカスギの場合、幼齢期では雪圧害に非常に強く、積雪の多少にほとんど影響されないといえよう。これに対し、他のさし木の場合、並雪であった1980年において折損率が23%と著しく高くなり、多雪であった1981年では45%に達している。実生は多雪年であった1981年に18%の折損率を示しているが、平年の積雪ではさほど大きな被害を受けていない(図-56)。

タテヤマスギ実生は、ポカスギ以外のさし木よりかなり折損率が低くなっている。多雪地帯において、タテヤマスギ実生は、さし木よりも雪害による枯損率が著しく低いという例が報告されている(51)。これらのことから、スギの品種によって雪圧害に対する抵抗性が異なり、ここに用いたさし木品種はポカスギを除いて概して抵抗性が低かった。多雪地帯においては、ポカスギはタテヤマスギ実生と同様他のさし木品種よりも折損が少なく、適応力が高いといえるだろう(16)。

ギでとりわけ大きくミオスギ、高岡1号(マヤマスギ系)、石動2号(リヨウウスギ)は傾幹幅が少ない(図-57)。実生、カワイダニスギは他のクローンよりも樹高が高く2mを越えている。しかし、カワイダニスギは樹高の低いポカスギ、城端1号、大山1号より傾幹幅が小さかった。また、実生、カワイダニスギ以外のクローンの平均樹高の差は最大40cm程度なので、今回測定した傾幹幅の違いは、生長の違いよりは品種の特性による差が大きいものと考えられる。

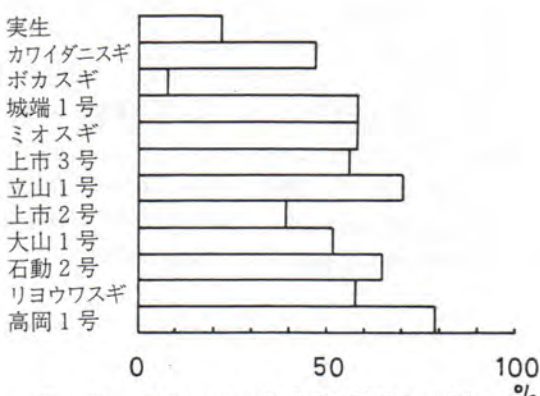


図-55. 雪害による各品種の折損率の累積 (1977年から1981年, 5年間)

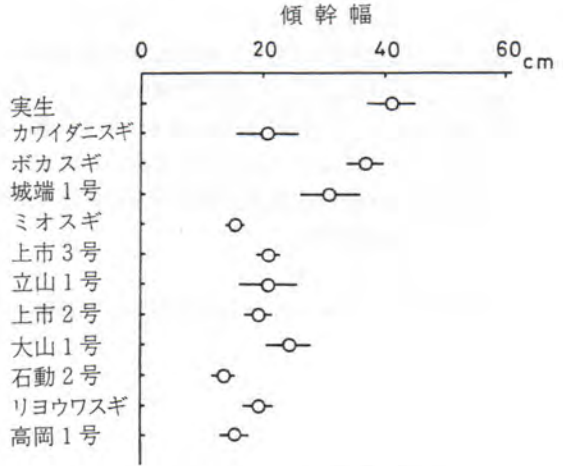


図-57. 品種による根元曲りの違い
○は5%信頼限界

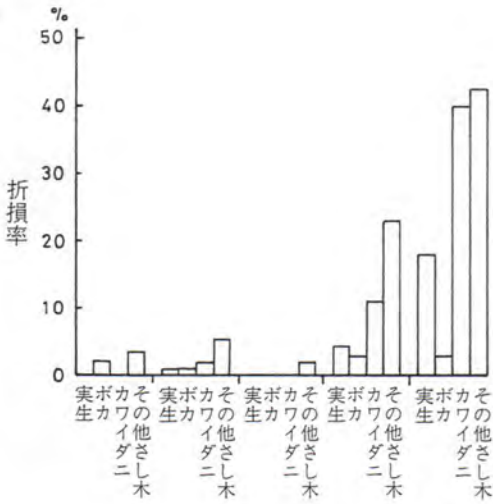


図-56. 品種別折損率の経年変化

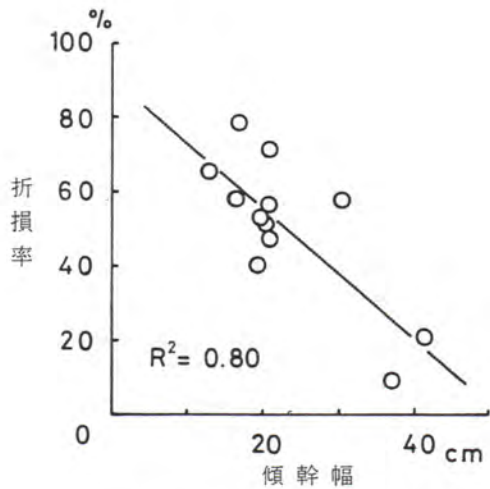


図-58. 折損率と根元曲りとの関係

3. 根元曲りの大きさと折損率の関係

傾幹幅と折損率の関係を検討すると、その間には1%の水準で有意なマイナスの相関が認められ、タテマスギ実生、ボカスギなど傾幹幅の大きいものは折損率が低く石動2号、高岡1号など傾幹幅の少ないクローンは高い傾向を示した(図-58)。このような傾向は、平均最大積雪深270cm地帯に植栽された富山県利賀村次代検定林においても認められた(73)。第2章4で明らかにしたように根元曲りの大きい個体は、降雪初期の冠雪により樹幹が傾き容易に埋雪してしまうが、根元曲りの少ない個体は降雪初期の樹幹の傾きが少なく斜立状態で埋雪する。すなわち、品種による折損率の違いには、冬期にお

る樹幹の埋雪状態の違いが関係しているといえる。根元曲りの大きな個体は、雪の沈降に伴って幹が下方に強く押しつけられ、樹幹が根元から倒伏するため、幹折れなどの致命的な被害の発生は少ない。これに対し、根元曲りの少ない個体は降雪初期の冠雪による樹幹の傾きが少なく、少雪時にはその先端が雪の上に出るか、埋雪しても沈降量が少ないため、さほどの被害を受けない。しかし、雪の多いときには、梢頭部が冠雪によって曲がっても、樹幹下部は直立した状態で埋雪してしまうため(20)、幹に直接大きな雪圧が加わり、折れなどの致命的な被害が発

生しやすいものと考えられる。このことから、同じ雪圧によって発生する被害でも幼齢木の根元曲りと幹折れなどの折損は、その発生機構が異なり、それらの抵抗性は相反する特性と推察される。品種によってそれぞれ特性が違うスギ品種を用いた根元曲り軽減対策は品種の特性と立地条件とを考慮して選定することが必要である。

4・6・3 要 約

根元曲りの大きさはスギの品種によって異なり

タテヤマスギ実生、ボカスギなどは大きくミオスギ高岡1号(マスマスギ系)、石動2号(リヨウワスギ)などは小さい。豪雪地帯においては、根元曲りの小さい品種の樹幹下部は直立状態で埋雪するため幹折れなどの致命的な被害を受けやすい。それに対し根元曲りの大きい品種は、樹幹が倒伏するため幹折れなどの被害は少ない。スギ品種を用いた根元曲り軽減対策は少雪地帯において効果が高い。

第五章 総括的考察

一般の経済林の目標は最少の時間と経費をもってして地力を維持しつつ、最大量のかつ最も価値ある木材を生産することである(63)。林地は地形や土壤条件が多様で、立地に適した樹種を選定しなければならない。雪の少ない地帯ではスギ以外にもヒノキ(*Chamaecyparis obtusa*)、カラマツ、アカマツ(*Pinus densiflora*)などの導入によって多様な立地に対応できる場合が多い。しかし、ヒノキ(40)、カラマツ(1)、アカマツ(77)などは雪害に弱く多雪、豪雪地帯の造林樹種としては適しておらず、スギがこの地帯における唯一の造林樹種であるといえる。したがって、実際に造林されるスギの立地条件も広い範囲にわたらざるを得ない。しかし、多雪、豪雪地帯に造林されたスギには根元曲りなどが生じ、その経済的損失が大きい。これらの地帯において、価格の高い通直材を生産するには雪起こしなどの特種な作業が必要であり、多大の経費が要求される。しかし、多くの労力をかけて実行した雪起こしなどの根元曲り対策も積雪条件が悪かったり、作業の方法が不適当であれば材に曲がりや折れなどが生じその効果もほとんど期待できない。したがって、積雪地帯において価格の高い通直な材を生産するためには、その地域の積雪条件や立地条件を把握し、それらの条件下でも合理的な根元曲り対策を確立する必要がある。

5・1 試験結果の総合考察

第二章、第三章で行った根元曲り形成機構の解明に関する試験結果及び第四章で行った現行の育林技術による根元曲り軽減効果の試験結果をもとに、根元曲りの形成とその回復過程及び斜植え、施肥、雪起こし効果の発現過程について総合的な考察を行った。

5・1・1 スギ幼齢期の根元曲り形成機構

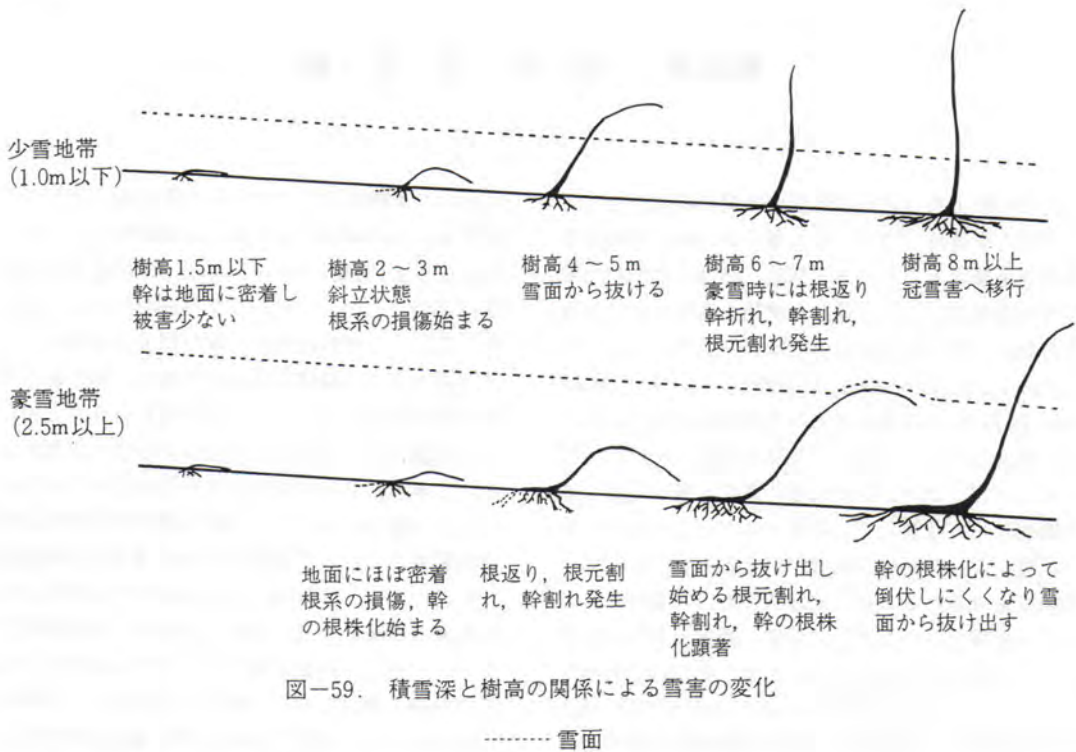
スギの樹幹は降雪初期の冠雪により傾き、その後続く降雪によってしだいに埋雪していく。埋雪した樹幹は、雪の重さや沈降圧などによって強く地面に押しつけられる。このような樹幹には主に瞬間弾性歪、弾性余効歪、永久歪が形成される。植栽初期(1年生、2年生)においては、スギの樹幹が細く柔

らかいため幹が雪圧によって地面に強く押しつけられても、根の損傷をおこすことは少ない。しかし、3年生以上(樹高1.5m~2.0m以上)に達すると幹の曲げ剛性がしだいに大きくなり曲がりにくくなるため、雪による樹幹倒伏時に幹が根元から傾く。

消雪後直ちに瞬間弾性歪が消失し、弾性余効歪の消失が始まる。そして、4月下旬から5月上旬にかけて生長に伴うあて材の形成による立ち直りが始まる。1年生、2年生林木では6月中旬~7月上旬までに立ち直りが完了し、それ以降生長に伴う地上部の重量増加に伴って傾幹幅が再び増加する現象も生じる。1年生、2年生、3年生林木では生長に伴う立ち直りが著しく良いため、根元曲りの形成量は少ない。しかし、樹齢が増すにしたがい倒伏した樹幹の立ち直り率はしだいに悪くなる。また、樹幹の部位別にみると、樹幹下部ほど立ち直り率が悪くなり樹幹下部に曲がり形成される。

スギの根元曲り量は、経年的に増加するがその増加量は基本的にスギの個体の性質と積雪量とによって左右される。すなわち、植栽初期においては、積雪量の多少によって根元曲りはほとんど影響をうけない。しかし、樹高が1.5m以上になると積雪量が多いほど樹幹の倒伏量が大きくなり大きな根元曲りが形成される。根元曲りの形成量はこのような個体の大きさと積雪量の関係に加えて林地の傾斜によっても左右され、傾斜が急なほど樹幹の倒伏量が多くなり、大きな根元曲りが形成される。

根系の形態と発達過程をみると、樹幹倒伏時にスギの根には圧縮、引っ張り、ねじれ、剪断などの力が加わる(104)。しかし、植栽初期の1年生、2年生林木では、スギの樹幹が倒伏しても幹が柔軟なため根の損傷は少ない。3年生以上になると樹幹倒伏時の根の損傷はしだいに大きくなる。根の分布の方位別に損傷の程度をみると、等高線方向に伸びた根に加わるねじれは、大きな損傷を与えないため根は最も良く発達する。斜面下部に加わる圧縮の力は根の一部を変形させるが、損傷は比較的少ない。しかし、斜面上部の根は引っ張られ、引き抜かれるため、損傷が最も大きく、根はあまり発達しない。したがっ



て根元曲りの大きな個体の根系は横根の張った特有の形態に変形していく。積雪深が1.0m以下の少雪地帯であれば、スギの樹高が2.5m以上になるとほとんど樹幹が倒伏しなくなり(76)、樹幹の倒伏量も小さいので、根の損傷はさほど大きくなり根系は正常な形態に発達し変形することは少ない。しかし、多雪地帯、豪雪地帯であればこのような根の損傷と変形と共に根元曲りの増加に伴い幹の埋幹が進み接地した樹幹から根が発達し、幹の根株化が促進される。そして樹幹倒伏によって被害を受けにくい側根(等高線方向の根)及び谷側の根が発達し、埋幹部そのものが大きな太い山側の根に変化し、樹幹の雪圧に対する抵抗力を増大させ、しだいにスギは埋雪しなくなっていく。そして、根元曲り安定後、谷側の表層根(支持根)が著しく発達し谷側への偏心生長を促進させ、みかけの回復が生じる(15)。このように樹幹倒伏によって根元曲りが形成され根系の形態が変化していくことは、スギが雪圧に順応し生存していくための最も合理的な方法であると考えられる。

根元曲りの形成を樹高と積雪深との関係で示すと図-59のようである。積雪1.0m以下の比較的雪の少ない地帯は、平年の積雪条件では冬期間倒伏する

スギの樹高は2.0m~2.5m以下である。倒伏による根の損傷が少なく幹折れ、根元割れなどの致命的な被害も少ないと考えられる。平年以上の積雪があった場合、根の支持力が大きくなった個体が倒伏することがおこり、幹折れ、根元割れの被害が多くなり根抜けや根返りなどが生じることがある。樹高が10m以上になった個体では、根の支持力が大きいため根返りなどの被害は少なくなり主に冠雪害と呼ばれる幹折れなどを中心とした被害形態へと移行する(14)。

一方、豪雪地帯においては、樹幹倒伏が長期にわたって繰り返されるため恒常的な根抜けの被害が生じる(80)。その過程で根株長が長くなり根がしだいに発達し樹幹倒伏に対する抵抗力が大きくなっていく。このようになると、被害の形態は根抜けから根元割れ、幹割れ、幹折れなどを中心とした被害に移行していく(18)。

根元曲りの形成過程においてスギの生長は、樹幹倒伏時に生じる根の損傷と倒伏した樹幹立ち直り過程で生じるあて材の形成によって抑制される。根の損傷とあて材形成の影響は主に新葉生産量と樹高生長量に顕著に表われるが根の損傷は主に新葉生産量

を抑制し、あて材形成は、主に樹高生長を抑制し幹の割合を増大させる。

埋雪期を過ぎたスギには、樹幹の肥大生長に伴うみかけの回復だけではなく樹幹の立ち直りも生じている。曲がりの形成された樹幹は、生長に伴うみかけの回復と立ち直りによって長い年月のうちにはかなり回復すると思われる。

5・1・2 根元曲り軽減対策とその制御効果

現在考えられる最も有効な根元曲り軽減対策としては斜植え、施肥、雪起こしが挙げられる。斜植えは樹幹を斜めにして植栽するため他の植栽方法に比較して植栽初期から根元曲りが大きく、樹高生長がやや劣る傾向を示す。しかし、根株は長くなり、根系が樹幹倒伏時に損傷を受けにくい形態となり、樹幹倒伏に対する抵抗力は他の植栽方法に比べて早く大きくなる。樹齢が進むにつれて樹高生長は他の植栽方法と変わらなくなり、傾幹幅増加量も減少する。したがって、斜植えは積雪1m以下の少雪地帯ではあまりその効果は認められないが積雪1m以上の多雪地帯での造林に適する。また、斜植えと施肥との併用は樹高生長促進、傾幹幅軽減に対し効果が認められる。

施肥は、植栽初期の生長を促進させるが根元曲り急増期が早く現われ無施肥木よりも根元曲り量が大きくなる。したがって、施肥を実行する場合は、植栽初期に多少生長抑制効果が現われても雪起こしを併用しなければならない。施肥の効果が十分大きければ、樹幹が埋雪しなくなる時期（樹高が積雪深の2～2.5倍）が早くなり、雪起こし期間が短くなる。一方、無施肥木は生長量が施肥木より小さく、初期の根元曲り量は小さいが、積雪を抜け出すまでに施肥木よりも長期間を要するため、埋雪回数が多く根元曲り量はそれだけ多くなるであろうと推定される。現実の林分では、土壌条件が均一であったとしても毎年の積雪量の変動は大きい。最大積雪深の変動は積雪の多い地帯ほど少なくなるが、平均年最大積雪深が2.5m～3.0mの豪雪地帯でも変動係数が30%近くもあり、年によって積雪量が平年の二倍近くに達することがある(99)。これまで、豪雪年はおおよそ10年周期といわれており、施肥木が平年の積雪では倒伏しなくなる時期に、このような豪雪年に遭遇すれば大きな被害が発生し、根元曲りは大きくなるであろう。しかし、施肥による生長促進効果が十分大

きければ、スギが埋雪して雪害を受ける機会を少なくし、その後に生じるみかけの回復を早め、根元曲りの軽減に貢献すると考えられる。

雪起こしは最も根元曲り軽減効果の高い施業である。しかし、雪起こしによって倒伏した樹幹が引き起こされた時、根が損傷を受ける。また、幼齢期では、接地していた幹の地際が土から引き離されるため地際からの発根数が少なくなることがある。しかし、雪起こしによって生じる根の損傷がスギの生長に及ぼす影響は幼齢期に限られた一時的現象である。一方で、雪起こしによってあて材の形成が抑制され、樹高生長が促進されるという効果がある。植栽初期においては、根元曲り軽減効果及び樹高生長促進効果はさほど大きくないが、樹高が1.5m～2.0m以上に達すると樹幹倒伏によって根の損傷が大きくなり、樹幹の立ち直りも悪くなり、立ち直りに伴って多量のあて材が形成され始める。雪起こしはこのころよりその効果が大きくなるといえよう。

倒伏した樹幹の立ち直りに大きな役割を果たしているあて材は、スギの生育が始まる4月下旬ころから形成され始める。あて材の形成はスギの樹高生長を著しく抑制するため雪起こしの時期は消雪後早いほど良く、スギの生長が始まる前までに完了するのが理想的である。立ち直りの完了する時期の早い1年生、2年生林木では、雪起こしが遅れた場合その効果は少ない。樹高の大きい林木では、立ち直り量が少ないため、雪起こしの適期が多少遅れてもその効果は大きい。しかし、立ち直りが進行している樹幹を垂直に起こしてもそれまでに形成されたあて材の影響で直立させた樹幹はかえって曲がりが大きくなる方向へ移動し曲がり返しが生じる。雪起こしの適期が遅れた場合には曲がり返しを防ぐため、それまでに形成されたあて材による立ち直りを見込んで樹幹を引き起こす程度を加減する必要がある。

雪起こしに用いる縄はその材料によって引っ張り強度や腐食の進行度合が異なる。わら縄は腐食の進行が早く7月～8月にかけて最初の引っ張り強度の30%(約15kg)程度まで減少する。樹高が大きくなった個体や平年の積雪では埋雪しなくなった個体が豪雪のため埋雪し、樹幹が倒伏した場合は、樹体を支持している根の損傷が著しく大きい。このような個体は、わら縄で雪起こしをしても7月中旬ころまでに縄が腐食し切断してしまい、樹幹が再び傾き、雪

起こしの効果が少なくなる。そして、翌年のわずかな降雪によっても樹幹が容易に倒伏し、再び被害を受ける。このような個体は、引っ張り強度が大きく腐食しにくいビニール縄などを用いたほうが雪起こしの効果が大きい。また、少雪地帯では、降雪前に縄を取り外さずそのままの状態にしておくことによって、冠雪による樹幹の倒伏を防ぎ根元曲りを軽減できる。

スギの品種によって根元曲りの大小は大きく異なる。初期生長の良いタテヤマスギ実生、ボカスギなどは根元曲りが大きく、マスマスギ、リヨウワスギなどは根元曲りが少ない。しかし、このような根元曲りの少ない品種は、豪雪地帯では幹折れなどの致命的な被害の発生率が高く、残存率が著しく低くなる。これに対し根元曲りの大きい品種は幹折れなどの致命的な被害は少なく残存率が高い。

少雪年では、根の形態や幹の強度など雪圧による樹幹倒伏に対する抵抗性の違いによって、冬期間の倒伏量に大きな差がでてくるが、豪雪年では、強大な雪圧が加わるため、すべての個体は地面に押しつけられ、個体の樹幹倒伏に対する抵抗性の違いはほとんど現われない。したがって、さし木品種によって根元曲りを軽減できる可能性は限界がある。本調査の結果が示したように、根元曲り抵抗性を持っているさし木品種は多雪地帯、豪雪地帯で幹折れの被害を生じる可能性が高く、少雪地帯の方がよりその特性が生かされるであろう。

富山県では、次代検定林におけるさし木苗の生長や雪害の状況などから、根元曲り抵抗性のあるさし木造林を、最大積雪深が1.0m～1.5m以下の少雪地帯から多雪地帯の下部に限るのが適当であるとしている。多雪地帯では曲がりの少ないさし木品種よりは、多少曲がりが大きくても初期生長が早く折損の少ないタテヤマスギ実生のような性質を持つ品種が適しているといえる。タテヤマスギ実生でも、雪圧害が多発する平均年最大積雪深が2.5mを越える豪雪地帯での造林は避けるのが賢明で、きわめて土壤条件の良い所にものみ限定されるべきであろう。

5・2 根元曲り量と根株長からみた積雪地帯区分

根元曲り及び根株長の大きさはスギが冬期間に被る雪圧害の大きさを表わす一つの指標でもある。第

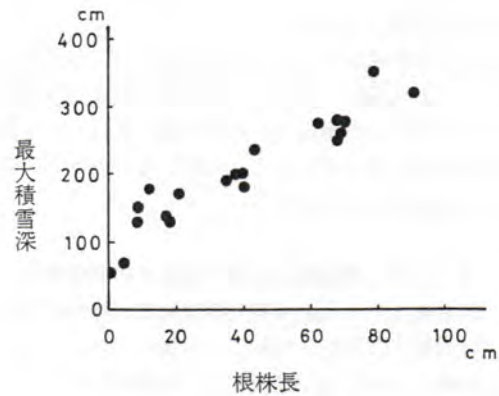


図-60. 平均年最大積雪深と根株長の関係

一章3で測定した根元曲りと根株長の大きさは積雪深によって連続的に増加している(図-1, 60)。これまでの積雪地帯区分に従うと平均最大積雪深1.0m以下は少雪地帯、1.0m以上～2.5m以下は多雪地帯、2.5m以上は豪雪地帯に区分されている(18)。筆者はこれまでの多雪地帯を更に1.0m～1.5mの地帯と1.5m～2.5mの地帯に便宜的に区分した。

平均最大積雪深1.0m以下の地帯では、根元曲り量は30cm以下と非常に小さく、また、根株長は5cm以下でほとんど根株が発達しない。この地帯ではスギの樹高が2.0m～2.5mに達すると樹幹が倒伏しなくなるため、雪起こしの労力が少なく、根元曲りにはほど大きな問題にならない。

1.0m以上～1.5m以下の地帯では、根元曲り量は30cm～40cmとやや増加するが、さほど大きな根元曲りは形成されない。しかし、根株長は10cm～20cmと大きくなっている。

佐藤(69)は、蔵王山系の標高500m～700mの造林地において林齢別、林地傾斜別にスギの埋雪と幹折れ、倒伏などの雪害発生状況を調査している。これによれば、被害の程度は樹高が1.5m以下の林分では軽微で、斜面の勾配や積雪量にほとんど影響されない。しかし、樹高がそれ以上になると積雪深が1.5m以下の時は被害がほとんどないのに対し、積雪が1.9m～2.1mを越えると急激に被害が多くなることを報告しており、雪圧害は積雪深が1.5m～2.0mの間で大きく変化すると考えられる。

積雪深1.5m以上～2.5m以下の地帯では根元曲り量は56cm～98cmに増加する。また、根株長も35cm～

表-26. 積雪の地帯区分と有効な根元曲り対策

区分	最深積雪	施行の制約	主な雪害対策
少雪地帯	1.0m以下	冠雪害多発地帯が多く密度管理重要。	植栽翌年から支柱などを用いた雪起こし。抵抗性さし木品種の導入。
多雪地帯Ⅰ	1.0m以上～1.5m以下	短伐期優良材生産は難しい。根元曲りが多くなる。幹折れの被害少なく抵抗性品種の導入可能。	抵抗性さし木品種の導入。高木はビニール縄による雪起こし。
多雪地帯Ⅱ	1.5m以上～2.5m以下	幹折れなどの被害急増。抵抗性さし木品種導入困難。	雪起こしは樹高1.5m～2.0m以上から。実生苗による造林。施肥・斜植えの導入。
豪雪地帯	2.5m以上	経済林の造成は困難。	

70cmに達し根株長の発達が大きくなることを示している。この地帯では樹高3.5m～6.5mに達したスギでも埋雪してしまうため、幹折れの被害が多くなり始めると共に樹幹倒伏の程度も大きくなり大きな根元曲りが形成され始める。

2.5m以上の地帯になると根元曲り量は大きいもので178cm、根株長は60cm～90cmに達する。このような地帯では、樹高が8m～9mに達する個体でも倒伏するため、雪起こしに多大の労力を要する(72)。図-61は1969年11月に積雪深3.0m地帯に属する魚津市三ヶ(標高740m、平均傾斜20°)の品種展示林にha当り2500本植栽された小原産タテヤマスギ、美女産タテヤマスギ、早月産タテヤマスギ、クマスギ、クワジマスギ、新潟スギの12年生時における残存率である。平均樹高が5.4m、平均胸高直径は9.1cmであるが平均残存率は61%で、最も低い品種では44%にしか達していない。植栽木の枯損は、樹高4m～5mに達してから幹折れや根元折れの被害によるものが多い。このような豪雪地帯では造林したスギを成林させることが非常に困難であることを示している。石川(18)によると積雪2.5m～4.0m地帯に造林されたスギは、現在の技術では成林させることが困難な場合が多いとしており、造林が困難な地帯である。

5.3 積雪地帯区分と有効な根元曲り対策

第四章で明らかにしたように、これまで行われている多くの根元曲り軽減対策の効果は、それぞれの発現機構が異なり冬期間スギが被る雪圧害の大きさによってその効果は左右される。したがって、それぞれの積雪地帯によって最も有効な根元曲り対策は

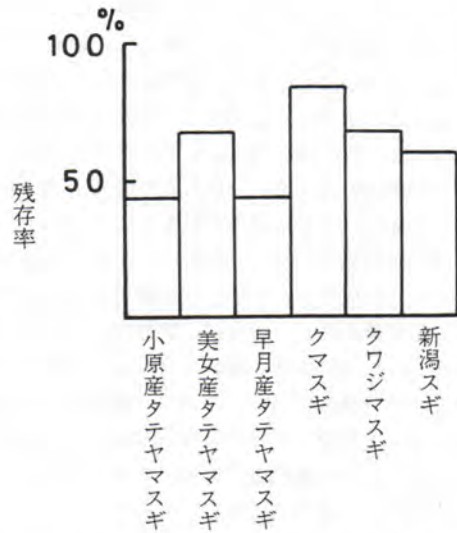


図-61. 魚津市三ヶ検定林における各品種の残存率

多少異なってくると考えられる。ここでは、積雪量を基準として区分した積雪地帯と最も有効と考えられる根元曲り対策について検討した(表-26)。

5.3.1 少雪地帯

1.0m以下の地帯は冠雪害の発生が多く(28, 58), 林分の密度管理に制約を受けるが優良材生産を目標とした施業が可能な地帯であり(13)集約的な施業も可能である。したがって、雪起こしによって、幼齢期から通直に育てなければならぬが、第二章3でも明らかにしたように1年生、2年生林木では、地上部の重量増加によって根元曲りが増大する個体もあるので、支柱による雪起こしが有効であろう。第四章4で明らかにしたように豪雪年には、平年の積雪で倒伏しなくなった個体が倒伏することもある。

この場合はビニール縄などの引っ張り強度が大きく腐食しにくい縄を用いて雪起こしを行い、冬期間も縄を掛けたままの状態しておくことによって冠雪による樹幹の倒伏を防ぎ、大きな効果が得られる。また、第四章5で明らかにしたように、根元曲りの少ない品種の導入も大きな効果が期待される。

5・3・2 多雪地帯 I

1.0m以上～1.5m以下の地帯は、根元曲りが増大し始めると共に根株長も大きくなり始める。第二章2でも明らかにしたように、倒伏した樹幹の立ち直りは樹幹下部では悪くなるので雪起こしは根元からまっすぐになるように起こさなければならない。また、第二章4でも述べたように、雪起こしの適期は消雪後早ければ早いほど良く、遅くとも新葉が伸び始めるころまでに完了することが望ましい。雪起こしが遅れると曲がり返しが生じ、樹幹上部にも曲がりが生じると共に幹の山側にもあて材が形成され、生長が抑制される。特に、立ち直りの完了する時期が早い1年生、2年生林木では雪起こしが遅れた場合はその効果が少ない。雪起こしが遅れた場合はそれまでに形成されたあて材の影響による自然の立ち直りも計算に入れ、多少起こす程度を加減する必要がある。樹高の大きい個体はビニール縄等による雪起こしが効果的である。ただし、縄の幹への食い込みには十分注意しなければならない。この地帯でも根元曲りに対し抵抗性のあるさし木品種を用いることが有効だと考えられる。

5・3・3 多雪地帯 II

積雪深1.5m以上～2.5m以下の地帯では根元曲り及び根株長が増大する地帯である。この地帯では、樹高3.5m～6mに達した個体でも倒伏するため(76)第二章6でも明らかにしたように根の損傷と変形が大きくなる地帯である。したがって、植栽初期から根が損傷を受けにくい形態に変化する斜植えが効果的と考えられる。このような地帯では短伐期で柱材

などの生産は困難であり、第二章8で明らかにしたように根元曲り安定期以降の立ち直りを期待し長伐期にするのがよいと考えられる。また、雪起こしはかなり長期間実行しなければならないため、第四章1、2で明らかにしたように、斜植えと施肥の併用による樹高促進及び根元曲り軽減効果を期待し、効果のさほど大きくない植栽初期の雪起こしを省略することも可能であろう。そして、雪起こしは、根元曲りが増大し始める樹高1.5m～2.0mに達した以降の多雪年に重点をおく必要がある。

5・3・4 豪雪地帯

積雪深2.5m以上の地帯では、根元曲りが90cm～170cmと大きく、また、根株長も60cm～90cmとなる。このような地帯では、樹高6m～10mの個体まで倒伏する(46)。このような個体が倒伏すると、根元曲りが大きくなるだけでなく幹折れや根元折れなどの被害が多発し、スギの成林率が著しく悪くなる。阪上(59)は、富山県の長棟(海拔1,050m, 平均年最大積雪深3.5m)、有峰(海拔1,100m, 平均年積雪最大深3.5m)に植栽されているスギの生長予測から、40年生時の樹高は長棟で14m、有峰で15mにしか達しないことを報告している。このことは、このような豪雪地帯における造林は、経済的にほとんど成り立たないことを示している。また、阪上(60)は、同じ長棟の12年生スギ造林地跡に侵入してきたウダイカンバ、ブナ混合林を調査し林分の幹材積生産量は、ウダイカンバ7.47m³/ha・yr、ブナ0.30m³/ha・yr、スギ1.03m³/ha・yrであることを報告しており、このような高海拔豪雪地帯では、スギを育てるよりは広葉樹による更新が合理的であることを示した。積雪2.5mを越す地帯では、スギの生長が悪く、成林させるのに多大の労力を要するのみならず、広葉樹林の皆伐は根系による土壌の緊縛力を弱め雪食崩壊の原因にもなる可能性もあり(57)、スギ拡大造林は原則として避けるのが妥当であろう。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり調査地を心良く提供いただいた立山町天林の鈴木照馬氏、立山町沢中山の松原栄氏及び富山県林政課、治山課、富山農地林務事務所林務課、高岡農地林務事務所の関係各位に対し厚く御礼申し上げます。また、調査とデータ整理に御協力いただいた青山源二氏、今井道子女史に対し感謝の意を表します。研究を進める中で適切な御批判と協力をいただいた富山県林業試験場の嘉戸昭夫、安田洋、西村正史主任研究員並びに沢田隆司、阪上俊郎(現リサーチ アンド デベロップメント)研究員に対し心より感謝いたします。試験の実行にあ

たり終始、懇切な御指導御鞭達を賜った国立林業試験場防災部長石川政幸博士、同防災第二研究室長新田隆三博士、同遺伝育種第一研究室主任研究官明石孝輝博士に対し哀心より感謝の意を表します。本論文の御校閲と御指導をいただいた京都大学林学科教授堤利夫博士に対し厚く御礼申し上げます。あわせて本研究に着手する契機と発表の機会をお与えいただいた知事公室、水雪対策室の関係各位並びに富山県林業試験場青木茂、伊藤徳治元場長、国分和夫前場長、杉井昭夫場長に対し御礼申し上げます。

引用文献

- (1) 浅田節夫・菅原 聡：信州のからまつ。リンケイ新聞出版局，1～350，1983
- (2) Barton, B.: Snow damage in young northern hardwoods and rapid recovery. *Journal of forestry* 64: 16～18, 1966
- (3) 遠田 武・瀬川幸三：積雪地帯におけるスギ幼齢木の雪起こし初期の成績と今後における2, 3の問題点。林試東北支場だより171: 1～4, 1976
- (4) Ffolliott, P. F. and Thompson, J. R.: Snow damage in Arizona ponderosa pine stand. USDA Reserch Note RM-322: 1～2, 1976
- (5) 藤森隆郎：枝打ち，新版スギのすべて。坂口勝美監修，全国林業改良普及協会：268～285, 1983
- (6) 福島県：山林沿革史。1880
- (7) Howard, L. G. and Charles, A. T.: Snow accumulation and melt under various stand densities in Lodgepole pine in Wyoming and Colorad. USDA Reserch Note RM-417: 1～7, 1982
- (8) Goebel, N. B. and Deitschman, G. H.: Ice storm damage to planted cnifers in Iowa. *Journal of Forestry* 65: 496～497, 1964
- (9) 羽田清五郎：利用材積に関する研究(5)。日林誌42: 127～135, 1960
- (10) ————：多雪地方におけるスギ造林木の根元曲りについて(1)－根元曲り出現の研究－。新潟大学農学部学術報告13: 49～56, 1961
- (11) 原 雅継：雪害とスギ品種の現状から。林木の育種121: 5～11, 1981
- (12) 橋本 智：国産材時代を創る一国产材安定供給基地づくり－。林業改良普及双書87: 10～29, 1984
- (13) 蜂屋欣二・肥垣津 登：枝打ちと林業経営。林業改良普及双書62，全国林業改良普及協会，1～134, 1976
- (14) Gill, D.: Snow damage to boreal mixed wood stands in Nalberta. *The Forestry Chronicle* 50: 7～73, 1974
- (15) 井沼正之：スギ根元曲りの形態的特徴(予報)。林試東北支場研究発表会記録：67～70, 1966
- (16) ————：積雪地帯における育林技術(林業における雪害対策技術研究会議事録)林試東北支場。37pp., 1965
- (17) 石井 弘：埋雪スギ幼齢木の融雪後の立ち直り過程。島根大農学部研報18: 46～52, 1981
- (18) 石川政幸：多雪地帯の造林と雪。北方林業239: 1～3, 1969
- (19) ————：豪雪地帯のスギの直径生長と積雪地帯。林試東北支場だより120: 12～14, 1971
- (20) ————・片岡健次郎：スギのコブ状雪害について。林試東北支場だより82: 1～5, 1968
- (21) ————・小野茂夫・川口利次：スギの雪害と雪の降り方について。林試東北支場年報11: 143～156, 1970
- (22) Itoh, T., Hayashi, S. and Kishima, T.: Cambial activity and radial growth in sugi trees (Japanese cryptomeria). *Wood Research* 45: 23～34, 1968
- (23) James, D. C.: Snow damage in plantations. *Journal of Forestry* 138: 613～620, 1936
- (24) 梶谷 茂編：木材工学。177～194，養賢堂，東京，1961
- (25) 加納 孟・中川伸策：肥培スギの材質。林試研報162: 45～88, 1964
- (26) 片倉正行：多雪地帯におけるスギ斜植えと根元曲りについて。26回日林中支講：7～9, 1978
- (27) 片岡健次郎・佐藤正平：積雪による杉造林の根曲りについて。雪氷21: 111～117, 1959
- (28) 嘉戸昭夫・平 英彰：冠雪害をうけたボカスギ林の解析。93回日林論：259～260, 1982
- (29) 北原宜幸・青木重昌・今泉保次：カラマツの形態に関する研究(1)。90回日林論：343～346, 1979

- (30) 北村昌美・須藤昭二：埋雪スギ幼齡林木の雪面からの出現の遅早について。81回日林講：219～220, 1970
- (31) ———・—————・石橋秀弘：積雪下における幼齡林木の形態について。80回日林講：219～221, 1969
- (32) ———・鈴木紘一・鈴木良悦：スギ根元曲り部分の肥大生長過程の一例。日林東北支講23：184～186, 1972
- (33) 小島忠三郎：多雪地帯の林業問題と試験研究。山林1136：19～26, 1979
- (34) 河野醇一：多雪地方に於ける造林木の雪害並に其の生育状況に就いて。日林誌16：1006～1016, 1934
- (35) ———：多雪地方における造林木の雪害並に其の生育状況に就いて。大阪営林局造林研究会記録5：158～170, 1934
- (36) 栗田稔美：スギの植栽方法が根系におよぼす影響。日林東北支講24：37～40, 1973
- (37) Leaphart, C. D., Hungerford, R. D. and Johnson, H. E. : Stem deformities in young trees caused by snowpack and its movement. USDA Research Note INT-158 : 1～10, 1972
- (38) Lines, R. and Booth, T. C. : Investigation of basal sweep of Lodgepole and Shore pines in Great Britain. Forestry 45 : 59～66, 1973
- (39) 松田氏淑・稲部 茂・加沢貫二：造林地の雪害実態調査について。新潟県林試研報13：51～56, 1968
- (40) 森本勇馬・山口 清・日田卓二：ヒノキ幼齡木の雪害発生機構に関する試験。岐阜寒冷地林試業報：28～33, 1974
- (41) Moss, A. : An investigation of basal sweep of lodgepole and shore pines in Great Britain. Forestry 44 : 44～65, 1971
- (42) 日本雪氷学会編：雪氷の研究展望と文献目録。雪氷の研究(6)：293～314, 1982
- (43) 西村勝美：有利な採材のしかた。林業改良普及双書, 全国林業改良普及協会1～164, 1983
- (44) 野表昌夫：豪雪地帯の造林技術(V)。新潟県林試研報21：31～47, 1978
- (45) ———：越路実験展示林における造林試験(Ⅱ)ースギ15年生林分の施肥と雪害一。新潟県林試研報24：1～8, 1981
- (46) ———：56豪雪によるスギ人工林の被害の特徴。新潟県林試研報25：1～23, 1982
- (47) ———：豪雪地帯の造林技術(Ⅶ)ー雪起こしの作業方法と効果について一。新潟県林試研報26：31～41, 1984
- (48) 農林省：日本林政史資料。金沢藩, 1～23, 1982
- (49) 尾方信男・長友安男：スギ幼齡時代に於ける根元曲り程度の品種間の差異について。日林九支講12：157～158, 1959
- (50) 尾中文彦：アテの研究。木材研究1：1～88, 1945
- (51) 大越良一・糸屋吉彦：スギ造林地における雪害抵抗性のクローン間差。90回日林論：255～256, 1979
- (52) Petty, J. A. and Worrell, R. : Stability of coniferous tree stems in relation to damage by snow. Forestry 54 : 115～128, 1981
- (53) 林業試験場東北支場：積雪地帯の造林技術に関する文献目録。18～51, 1965
- (54) ———：積雪地帯の造林技術に関する文献目録(Ⅱ)。38～72, 1979
- (55) 林野庁：スギの根元曲りに関する調査。1～57, 1969
- (56) Robert, K. : Ice storm damage to loblolly pine in northern Louisiana. Journal of Forestry 73 : 420～423, 1975
- (57) Saeki, M., Nitta-Wakabayashi, R., Watanabe, S., Oozeki, Y. and Niwano, S. : Avalanche developing process after forest cutting on heavy snow area. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, Nr. 144, 187～197, 1982
- (58) 佐伯正夫・杉山利治：林木の冠雪害危険地域。林試研報172：119～137, 1965
- (59) 阪上俊郎：高海拔地に植栽されたタテヤマスギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) の生長と生産力。富山県林試研報10：16～23, 1984
- (60) ———：ブナ林伐採跡地の更新ースギ不成

- 績造林地に成立したウダイカンバ林について
—。32回日林中支講：155~185, 1984
- (61) ———・平 英彰：多雪地帯のスギ幼齢木の根元曲りとその回復が伸長生長パターンに及ぼす影響。日林誌68：87~94, 1986
- (62) 佐藤銀五郎：雪害について。大日本山学会報196：1~12, 1899
- (63) 佐藤敬二：造林・造林技術および造林学。造林学，朝倉書店，1~12, 1965
- (64) 佐藤啓祐：スギ幼齢木の埋雪について(Ⅲ)。日林東北支講21：61~63, 1969a
- (65) ———：スギ幼齢木の埋雪について(Ⅳ)。日林東北支講21：48~49, 1969b
- (66) ———：山形県内の多雪地帯におけるスギ造林木の根元曲りの形成過程。日林東北支講25：77~87, 1974a
- (67) ———：積雪によるスギ造林木の根元曲りの形成に関する研究(1)。山形県林試研報4：67~78, 1974
- (68) ———：「雪起こし」あれこれ。雪と造林1：9~12, 1976
- (69) ———：蔵王山系の多雪地におけるスギ幼齢木の雪害発生時期。日林東北支誌29：57~58, 1978
- (70) ———：造林木の雪害防止の再検討(Ⅱ)ー多雪地帯におけるスギ造林木の雪起こしの効果ー。山形県林試研報11：22~35, 1980
- (71) ———：雪害と保育。林木の育種121：16~19, 1981
- (72) ———・高橋 護：山形県におけるスギの生産管理基準。山形県林試，1~48, 1979
- (73) 沢田隆司：利賀村次代検定林における地スギの生長。未発表
- (74) 島地 謙：あて材の生因を探る一特に針葉樹の圧縮あて材について一。木材研究18：1~11, 1983
- (75) 四手井綱英：斜植えについて。日林東北支講2：7~9, 1951
- (76) ———：雪圧による林木の雪害。林試研報73：1~89, 1954
- (77) ———：アカマツ林の造成ー基礎と実際ー。地球出版，113~116, 1963
- (78) ———・高橋喜平：積雪と森林。林業技術シリーズ23：1~141, 1951
- (79) ———・———・塩田 勇：幼齢木の雪害。林業試験集報56：1~24, 1949
- (80) 須藤昭二・北村昌美・石橋秀弘：斜植えしたスギ幼齢木の側根の発生調査。77回日林講：227~229, 1966
- (81) ———・塚原初男・北村昌美：豪雪急斜地におけるスギ幼齢林木の側根発生部位の变化。82回日林講：195~196, 1971
- (82) ———・———・大谷博彌：幼齡スギ埋雪木の出現の遅早と当年生長量。84回日林講：188~190, 1973
- (83) ———・———・———：積雪急斜地におけるスギ幼齡林の根抜け被害木の形態について。日林東北支講31：99~102, 1979
- (84) 平 英彰：富山県のさし木品種。富山林試研報5：1~66, 1979
- (85) ———：根元曲り抵抗性個体と考えられるスギさし木苗の特徴。29回日林中支講：141~144, 1981
- (86) ———：降雪初期の埋幹の違いがスギ幼齡木の根元曲りと生長に及ぼす影響。日林誌66：453~460, 1982
- (87) ———：正しい雪起こしの方法。吉峰だまり2：1~4, 1948
- (88) ———：多雪地帯におけるスギさし木品種の雪圧害抵抗性について。富山県林試研報11：24~29, 1984
- (89) ———：スギ幼齡木の根元曲り形成機構。日林誌67：11~19, 1985
- (90) ———：ワラ縄とビニール縄による雪起こし効果の違い。雪と造林6：30~32, 1985
- (91) ———・安田 洋・嘉戸昭夫：N・P・Kが倒伏したスギ樹幹の立ち直りに及ぼす影響。95回日林講演要旨集：61pp., 1984
- (92) ———・———：斜植え，施肥，雪起こしがスギの形質に及ぼす影響。日林誌68：333~337, 1986
- (93) ———・嘉戸昭夫・阪上俊郎：樹幹倒伏と断根がスギ幼齡木の生長に及ぼす影響。98回日林論：393~394, 1986
- (94) Taira, H.: The process of bend forming and reerecting of lower stem by snow pressure

- and tree weight increase. XVII IUFRO World Cong. Proc. Div. 1 : 605pp., 1981
- (95) ——— : The role of snow in coniferous stem bend formation. XVIII IUFRO World Cong. Proc. Div. 1 : 796pp., 1986
- (96) 高田和彦 : 雪害による利用率の減少調査報告 3. 新潟県林業経営協議会資料31 : 1~10, 1962
- (97) 高橋喜平 : 豪雪地帯の造林技術について. 富山県林政協議会, 1~14, 1968
- (98) 富田浩二・東方喜之 : 根元曲りの表示法. 20 回日林中部支講 : 87~91, 1971
- (99) 富山県・日本気象協会富山支所 : 富山県降雪積雪及び気温観測調査報告書 IX~XIII : 1973~1982
- (100) 塚原初男・大谷博彌・須藤昭二 : 豪雪急傾斜地における実生スギ造林の根元曲り. 山形農林学会報32 : 21~30, 1975
- (101) ———・——— : 積雪地帯におけるスギの根元曲りと品種. 林木の育種121 : 1~4, 1981
- (102) 植木忠二 : 沖ノ山スギ優良クローンの生長と根元曲り. 林木の育種特別号, 10~11, 1980
- (103) 若林隆三 : 根元から見直した多雪地帯造林(I). 北方林業29(9) : 2~6, 1977
- (104) ——— : 多雪急斜地幼齡林の根切れ・傾根・根元曲り対策の力学的考察. 90回日林論 : 351~352, 1979
- (105) Wakabayashi R. : Deformation and damage to forest plantations by snow forces. Proceedings IUFRO Seminar Forests and Avalanches : 205~208, 1978
- (106) 渡辺治人 : 木材理学総論. 農林出版, 28~29, 1978
- (107) 渡辺成雄 : 埋雪圧倒せる杉幼齡木の立ち直りについて. 雪氷11 : 31~32, 1949
- (108) 渡辺哲夫 : 成木施肥試験(1)—スギ11年, 19年, 23年生の施肥効果について—. 新潟県林試研報12 : 45~57, 1967
- (109) Westing, A. H. : Formation of compression-wood in gymnosperms. Bot. Rev. 31 : 331~479, 1963
- (110) Williston, H. L. : Managing Pinus in the ice-stone belt. Forestry 72 : 580~582, 1974
- (111) 山形大学農学部豪雪地林業実験研究グループ : 山形大学農学部豪雪地実験施設報告1~7号, 1978~1984
- (112) 山口 清・戸田清佐・肥垣津 登・竹下淳一郎・中村 基 : 多雪地帯における林地肥培試験(1)—幼齡木の生長と雪害—. 89回日林論 : 231~233, 1978
- (113) 山本俊明・酒井徹郎・吉村健次郎・和田茂彦 : 芦生演習林スギ造林地における雪起こしの効果について. 京大演報51 : 96~109, 1979
- (114) 吉川 章 : 雪起こし作業を省略した場合の影響について. 雪と造林6 : 36~41, 1985
- (115) 吉武 孝 : 埋雪スギ幼齡木の脱葉現象. 日林誌64 : 242~244, 1982
- (116) Yumoto, M., Ishida, S. and Fukazawa, K. : Studies on the formation and structure of the compression wood cells induced by artificial inclination in young trees of picea glauca. Res. Bull. College Exp. For. Hokkaido Univ. 39 : 137~162, 1979

Summary

The stem of sugi (*Cryptomeria japonica* D, Don) leans with initial snow and is buried by subsequent snow fall. The snow-covered stem is pressed down by the weight of the accumulated snow and subsequent sedimentation of snow, and is subjected to elastic strain, elastic after-strain and permanent deformation.

In younger trees (1-and 2-years old) where stems are soft and thin, the stress is mainly formed on the stem and the stem does not lean from the base when the snow press it on the ground. But for trees more than three-years-old (height : 1.5m-2.0m), the stem leans from the base because of the increase in its bending stiffness.

In early spring, after the release of snow pressure, the stem begins its straightening process with rapid, simple elastic recovery, then elastic after-strain followed. The stem completes its recovery through elastic after-strain until the end of April or early May at which time the stem resumes its recovery with growth and the formation of compression wood.

For one-and two-year old trees, stem straightening is completed until the middle of June or early July; after that, some of the trees increase in weight with tree growth, and this also contributes to basal bend formation.

Since straightening of the stem with growth is great in one-, two- and three-year-old trees, there is less basal bending on these trees. On the other hand, since straightening of the leant stem decreases with age, there is great basal bending in older trees.

The recovery rate observed at each stem positions varies in relation with the stem's distance from the base. The nearer the stem is to the base, the lower is the recovery rate. This difference in recovery rate at various stem positions causes basal bending.

The basal bending of sugi increases every year. Basically increase in basal bending depends on the relationship of snow depth and character of the tree. At the early stage of growth, snow depth has no effect on basal bending of sugi. But, when the tree attained the height of more than 1.5m, increase in snow depth greatly affects stem prostration resulting in greater basal bending. In addition to the two factors mentioned, the slope of the site, also affects basal bending. If snow depth and height of trees are the same in the stand, the amount of stem prostration is affected by the degree of slope. As the slope steepens, the amount of stem prostration increases resulting in greater basal bending.

When the stem is prostrated by snow, the roots suffer damage, pressure, stretch, and twist. The left and right twisting of the roots, however, does not badly injure them so that they can develop well on both side of the slope. Roots on the down slope side are only slightly damaged due to an increase on the compression force, But, roots on the upper slope side are the ones that are severely damaged, they are pulled out resulting in poor root development.

Therefore, mature bent trees have deformed roots and large side roots. In less snow areas, with snow depth less than 1.0m, most of the trees more than 2.5m in height are not easily prostrated and the amount of stem prostration is small. Hence, the damage on roots is not so severe and the roots develop normally. In heavy snow areas, beside root damage and deformation, the lower part of the stem is transformed into roots. When this stem touches the ground due to the weight of snow, roots start to develop from it and the part touching the ground is itself transformed into a main root.

Roots on both the side and lower part of the slope are not easily damaged and hence, can develop

well. The transformation of the lower part of the stem into a main root increases the resistance of tree against prostration by snow. Moreover, the tree is not readily buried in the snow because the upper part of the roots effectively prevents stem prostration.

After basal bending is stabilized, surface roots in down slope develop and diameter of the lower stem increases toward the down slope. Therefore, the curve of the lower part of the stem is corrected by appearance.

In heavy snow region, the best way of adaptation for survival is through basal bending and deformation of roots as the tree ages.

The extent of tree damage varies according to snow depth and tree height. In less snow areas with snow depth of less than 1.0m, only trees less than 2.0m~2.5m in height are prostrated in winter. Root damage is less and stem breakage which is fatal to the tree seldom occurs. As the tree grows over 2.0m~2.5m in height, the stem does not prostrate with average snow depth. In times of heavy snow, the possibility of stem breakage and crack at the bottom stem increase and many trees overturn and the roots are pulled out. Snow damage on trees varies from pulling out of roots to stem breakage (also called snow crown damage). The latter occurs in trees more than 10m in height where the stem becomes stiff (and hence, resist bending) and the roots develop resistance against stem prostration.

In heavy snow region, the young stem repeatedly prostrates and uprooting of trees is common. The underpart of the stem develops new roots due to repeated prostration, and the tree develops resistance against further prostration. Snow damage varies from pulling out of roots to stem breakage depending on the age of the tree.

In basal bend formation, growth of sugi is inhibited by root damage and formation of compression wood which is formed in the process of stem reerection. Root damage and formation of compression wood both influence the production of new leaves and increase in height of tree. Specifically, root damage inhibits the production of new leaves while formation of compression wood prevents the increase in height.

After the trees attained a certain height where they are not readily buried by snow, basal bending is corrected gradually- not only by actual straightening (re-erection of bend stem), but by appearance recovers with growth and increases in the diameter of the lower stem toward the down slope. Hence, bending at the bottom of the stem is straightened through a period of time.

The best methods of reducing basal bending of stem are slant planting, fertilization and pulling up of the leaned stem.

As compared with up-light planting, slant planting encourages basal bending, and slightly inhibits tree growth in early stage because the stem is planted in a leaning position. But the stump grows and the method results in deformed roots system which causes less damage when the stem is prostrated by snow pressure. Since resistance against stem prostration due to snow increases with age in slant planting, growth become almost the same as in up-light planting, but basal bending decreases in heavy snow regions. Therefore, slant planting is recommended in heavy snow areas but not in less snow areas. The combination of slant planting and fertilization increases the height of tree and reduces basal bending in heavy snow areas.

Fertilization enhances tree growth in the early stage of growth but basal bend formation starts early. Therefore, pulling up of the stem is required in fertilization even though growth in the early stage is inhibited by it. In cases where fertilization greatly hastens growth of tree, the fertilized

trees can reach the height of 2 or 2.5 times that of snow depth in a shorter period of time, at which time the tree is not readily buried in snow.

Pulling up of the stem is the best method of preventing basal bending. Although root damage results when the stem is pulled up (specifically in young trees), the damage does not severely affect the growth of the tree.

Tree growth is hastened since there is less formation of compression wood due to pulling up. In the first and second year after planting, pulling up of stem is not a very effective method in preventing basal bending and hastening growth. However, for trees over 1.5~2.0m in height, this method is very effective since re-erection of the leaned stem is small at this stage.

The compression wood which play an important role in re-erecting of leaned stem occurs with the growth of the tree and starts at the end of April.

Since formation of compression wood inhibits tree growth, the earlier the stem is pulled up, the better. The best time for pulling up the stem is just after the snow melts. If pulling up is done at a later time in one- and two-year old trees, the method is not very effective since the trees would have finished their re-erecting at that time.

In older trees, however, the method is still effective even though it is done at a later time.

The ropes used to pull up the stem varies in strength and durability. Those made of straw easily disintegrates and tension of rope is reduced to 30% the original by early August. When a big or unburied tree prostrates in heavy snow, the roots ability to support the stem is greatly hampered. In this case, the use of straw rope to pull up the stem is not recommended since the material does not have durable strength and is broken by the middle of July. The stem leans again and easily prostrates with a minimum of snowfall the following year. Vinyl tape, which does not easily break and has greater strength, is an ideal material for pulling up of the stem. By keeping the rope in the state of pulling until winter. We can prevent prostration and reduce basal bending in less snow areas.

There are many differences in basal bending among the cultivars. Tateyama sugi and Boka sugi which have very good growth at an early stage show great basal bending. Masuyama sugi and Ryowa sugi show less basal bending. However, cultivars with small degree of basal bending show a high rate of broken bole, which lead to fatal damage of trees in heavy snow areas. On the other hand, the cultivars with a large degree of basal bending show a lower rate of broken bole and high rate of survival.

Trees with high resistance against stem prostration by snow are very difficult to grow in heavy snow areas because the stem is easily broken and roots are pulled out every year.

In less snow areas, there are great differences in basal bending among cultivars because their root shape and resistance to stem prostration varies. In heavy snow areas, there is no difference in resistance against prostration among the cultivars because all the stems completely prostrate to the ground due to heavy snow pressure. Therefore, the possibility of reducing basal bending with cultivars is limited. As this study shows, there is greater possibility of stem breakage among cultivars due to their resistance against basal bending. It is, therefore, recommended that sugi which have resistance against basal bending be planted in less snow areas.

昭和62年3月31日印刷

昭和62年3月31日発行

富山県林業試験場研究報告 No. 12

編集・発行 富山県林業試験場
富山県中新川郡立山町吉峰
電話 (0764) 83-1511

印刷所 (株) 吉沢印刷社

ISSN 0389-133X

**BULLETIN OF THE
TOYAMA PREFECTURAL FOREST EXPERIMENT STATION**

No. 12

March 1987

Contents

Hideaki TAIRA : The Study of Mechanism of Sugi Basal Bending
and Its Control Methods

TOYAMA PREFECTURAL FOREST EXPERIMENT STATION

930-13, TATEYAMA, TOYAMA, JAPAN