

スギ造林における凍裂発生の予測
について

スギ造林木における凍裂発生の予測について

I 試験担当者

東北支所育林部長

今川一志

東北支所育林部更新技術研究室

及川伸夫

II 要旨

わが国の主要な造林樹種の一つであるスギに凍裂が発生しているにも関わらず、調査・研究が少ないためか、その発生実態には不明な点が多く残っている。そのため、凍裂回避あるいは防除の有効な方策はいまだ確立されていない。そのような点から、ここではまずスギ凍裂の発生実態を解明し、凍裂発生の予測の可能性を検討するために調査・研究を進めた。

凍裂木の樹幹表面には、凍裂部に沿っていわゆる「へびさがり」と呼ばれる縦に走る山脈状の樹皮隆起部が認められ、凍裂木は比較的容易に識別される。へびさがりは地際部から2~3mまでに達する長さがあった。また、凍裂は1樹幹に1ヶ所発生している場合がほとんどであり、全凍裂木のほぼ90%に達していた。複数の凍裂が発生している場合もあったが、4ヶ所に発生していたのが最高であった。樹幹における発生方位は南、南東、南西面に多く、いずれも日射を受ける側に発生し易い傾向にあることが明らかになった。急傾斜地にある林分では、傾斜の下側（谷側）に多く発生していた。凍裂発生と樹幹径との間には密接な関係は見いだされなかった。

凍裂木の樹体内部には、凍裂そのものによる樹皮から中心部に向かう半径方向の割れ、材中に留まっている半径方向の小さな割れ、さらには年輪に沿った回りなど多くの割れがあり、それらは互いに連結していた。割れを組織学的に調べたところ、材部を構成している仮道管相互間の細胞間層の剥離により材部は割れており、仮道管自体の破壊による割れでないことが明らかになった。凍裂が発生した場合、割れ部付近の年輪は局部的に肥大する。そのため、凍裂木の年輪構造を調べることにより、凍裂の発生時期を確認することができる事が示された。

また、凍裂木内部の水分分布も異常であった。すなわち、健全木の場合にはその心材含水率は辺材に比べ明らかに低いにも関わらず、凍裂木の心材は辺材とほとんど同じか、それ以上の高い含水率であった。この異常な高水分が凍結して、凍裂が発生するものと推定された。凍裂の発生機構を考える場合、この異常水分が最も重要な要因の一つと考えられ

るが、それがどのような原因で発生するのか明らかにすることはできなかった。

通常、凍裂は若い林齢のものには発生しないと言われているものの、いつから発生し始めるのか判然とはしていなかった。しかし、岩手県零石地区における林齢の異なる5林分を調査した結果、40年生半ば頃から発生し始めるものと考えられた。

凍裂の発生が開始された林分において、凍裂はそれ以降少數ではあるが、毎冬新しく発生することが確認されたが、継続期間は不明であった。180年生の林分中にも比較的新しい凍裂が認められ、凍裂の発生は相当長期間にわたって継続するものと考えられた。

新凍裂木の樹幹内部の凍裂による割れは樹皮から心材中にあった目回りまでは到達していたが、それ以上内方へは進んでいなかった。しかもその目回りの方が古いように見られた。また、その心材水分も異常に高かった。以上の点から、凍裂は目回りのような材中の内部欠点での異常水分の凍結による膨圧が引き金になって発生するものと推定された。

多くの場合、凍裂木が林内において局部的に集中して発生してはいなかった。しかし、渓床堆積地には多くの凍裂木が出現しているという事例が認められた。凍裂発生の一つの要因として立地条件を考慮する必要があると考えられた。

種子産地試験地では、表系の産地に由来する林分の方が裏系のものよりも凍裂発生率が高いものが多い傾向にあった。凍裂発生に対する遺伝的な要因についても検討する必要があると考えられた。

東北6県においては、凍裂の発生状況は奥羽山脈沿いに多く、海岸に近づくほど少ないという傾向があった。特に、秋田県北部に多く発生しており、岩手県も全般的に多く発生していた。青森県は全体的に少なく、福島県は比較的に多く発生していた。

凍裂の発生は心材水分の異常が直接原因と推定されたが、その水分が由来する機構を明らかにすることはできなかった。そのため、凍裂被害を回避・防除する有効な方策を確立するには至らなかったが、凍裂木を早期に伐採・利用することが当面の対応策として提示された。

III 試験目的

厳寒時、その寒さに耐えかねたように、樹木の幹が縦に割れることがある。この現象は凍裂、ときには霜割れと呼ばれており、北海道のトドマツに多発することがよく知られている（石田、1986）。ただし、霜割れあるいは霜裂という用語はその現象の実態とはかなりの隔たりがあると考えられるので、ここでは凍裂と呼ぶことにする。なお、酒井（1982）によれば、農林作物の冬季における気象害は寒害と雪害とに大別でき、凍裂は凍害、乾燥害、寒風害などとともに寒害のなかに位置付けられている。

石田（1986）によれば、トドマツの凍裂木の樹幹中には凍裂そのものによる樹幹表面から材中心部へと向かう半径方向の割れ以外にも多数の割れが見られ、水喰い材と呼ば

れる局部的な高含水率部分もある。その上、凍裂は樹幹の胸高部付近を中心とした、いわゆる1番丸太（玉）で発生する。また、凍裂は若い樹齢のものではなく、30～40年生頃から発生し始める。すなわち、長年月かけて育成し、いわゆる壯齢木になったころから凍裂は発生し始め、そのうえ最も経済的に価値の高い部分に出現する。したがって、凍裂木から良質な木材を得ることは非常に困難になり、経済的に大きな損失になる。

今世紀の初め、大西（1907）は越後地方のスギに凍裂が多発することをすでに指摘していた。しかし、その事実は広く知られることはなく、高山ほか（1973）の報告によって初めて一般的に認識されるようになった。トドマツ（佐野ほか、1989）やヤチダモ（今川ほか、1988a；1989d）の場合と同様に、凍裂が発生したスギの経済的な価値は著しく減少することは容易に推測することができ、長伐期化の趨勢にあるスギ林業にとっては重大な問題と言える。

しかしながら、スギの凍裂についての体系的な調査・研究はなく、その発生実態は十分明らかになっているとは言えない。そこで、筆者らは東北地方に限定はされるが、スギ造林木の凍裂の発生実態を明らかにしようとして、一連の調査・研究を進めてきた（今川ほか、1988a, b, c；1989a, b, c, d；1990a, b, c, d；1992a, b；三上ほか、1986；及川ほか、1986a, b；1987；1988a, b；1991；1993）。以下では、これまでに隨時報告してきた成果をも取り入れ、スギ造林木の凍裂の発生実態を明らかにする。

なお、現地調査に多大の援助を賜った元秋田営林局技術開発室長 星 恵陽氏に感謝する。最後に、調査に協力していただいた青森・秋田両営林局、各営林署、各県林業試験場、各民有林所有者の方々には心から深甚なる謝意を表する。

IV 試験の方法と結果

1. 樹幹外部の特徴

1) 方法

各調査林分における調査本数は原則として200本を目指し、胸高直径を毎木調査しながら、凍裂発生の有無を確認していった。凍裂の発生が認められた場合（以下、凍裂木と呼ぶ）には、発生部位の地上高および長さ、発生方位（8方位別）、樹幹当たりの発生数などを調べた。通常、樹幹表面には凍裂に類似した痕跡が多数あるので、凍裂木の確認には注意深い観察が必要な場合もあった。

2) 結果

（1）凍裂木の識別

凍裂が発生した場合、その樹幹表面には縦に走る割れ目が出現する。樹皮にまで達する

割れにより、形成層は傷つき、材部・樹皮部ともに癒合組織が形成される。その結果、樹皮表面には割れに沿った異常な樹皮部が形成され、しだいに幅広くなり、凍裂木であることが容易に識別できるようになる。写真1は典型的なスギ凍裂木で、樹幹中央部を縦に走っている異常な盛り上がり部がいわゆる「へびさがり」である。このへびさがりはまっすぐに走っているが、左右いずれかに傾斜している場合もしばしば観察された。

なお、凍裂の発生後、年月が経っていないものは、異常な樹皮が未発達のためにへびさがりを見つけだすには注意深い観察が必要である。特に、その冬に発生したばかりの凍裂の場合には、異常樹皮はまったく形成されていず、しかもスギ樹皮にある深い亀裂中に埋もれているためよほど注意しなければ検出することは難しい。ただし、時には凍裂部から樹液が流れ出していることがあるので、見つけだすことができることもある。新しい凍裂は厳寒期に確認することが最も確実である。

しかし、年月が経過するにつれ、へびさがりは幅広くなり、へびさがりを見つけだすのは容易になる。通常、凍裂部は成長期の形成層活動により、形成層付近は一時的に癒合する。しかし、樹皮表面まで癒合するには時間を要するので、樹皮表面上には細い亀裂跡が残る。このような内部的な癒合があったとしても、写真1のへびさがりのように、次の冬に再度開口するという経過を繰り返す。再度開口した場合には形成された年輪が引き裂かれ、割れ目には白い材部が見られる（写真2）。しかし、中には何らかの要因により、凍裂の開口がなく、樹皮表面上には亀裂跡がまったく認められなくなってしまう場合もある。ただし、このような癒合は表面的なものであり、材中に発生した割れは決して治癒しない。

樹幹上には凍裂によるへびさがり以外にも様々な傷があり、凍裂と見誤ることがあるので注意を要する。凍裂による異常樹皮には細かな縦縞があるので、その縦縞の有無が一つの判断基準になり得る。しかし、それでも不確実のときは、厳寒期の開口を確認することが必要である。この点は十分な配慮が必要である。



写真1. 凍裂木の樹幹表面



写真2. 凍裂部の開口

(2) 発生部位

写真1に見られるように、へびさがりは樹幹下方部に形成されている。調査林分の中から、凍裂木数が多かった林分を取り上げ、各林分のへびさがりの発生部位（平均値）を表1に示す。対象林分は岩手県、秋田県、福島県の林齢52～180年生の5林分である。表から明らかなように、へびさがりは胸高部分を中心とした、地際部から2～3m上方に出現している。しかも、林齢が増すにつれ、へびさがりは上方へ伸展してゆく傾向にあることがわかる。樹幹上におけるこの部位はいわゆる1番丸太にあたり、最も経済的に価値の高い部分である。凍裂が発生していると、材中には割れが出現することになるわけで、本来なら最も優良な木材が得られるはずの部分が価値を失ってしまうことになる。林業的には非常に大きな損失といわざるを得ない。凍裂の最も深刻な問題点である。

なお、調査したすべてのへびさがりの発生部位の平均値は地上42～222cmであり、その中で最長のものは約5mもあった。

表1. 凍裂の発生部位

調査地	林齢	地上高(cm)	凍裂木数
岩手県零石	52	21～184	22
福島県原町	60	32～220	24
岩手県沢内	70	40～221	78
〃 滝沢	89	34～233	21
秋田県田沢	180	28～300	50
総平均		42～222	847

(3) 発生数

ほとんどの場合、樹幹には凍裂は1ヶ所しか発生していなかった。しかし、中には複数のへびさがりが見られるものもあった。調査した958本の凍裂木について、発生数毎の本数を示すのが表2である。発生が1ヶ所のものが約89%，2ヶ所が約10%，3ヶ所が約2%であり、最大の発生は4ヶ所であったが、それはわずかに2本に過ぎなかった。

2ヶ所に発生していた94本について、互いにどのような位置に発生しているのかを見たのが図1である。一方の発生部位を基準とし、もう一方が樹幹のどの位置（左右45, 90, 135°および反対側）に発生しているかを調べてみた。図から明らかなように、樹幹上で向かいあって発生（反対側に発生）しているものが最も多く、それ以外は左・右

表2. 樹幹あたりの凍裂数

凍裂数	本数	%
1ヶ所	847	88.7
2ヶ所	94	9.8
3ヶ所	15	1.6
4ヶ所	2	0.2
計	958	100.0

両方向ともほぼ同じような頻度で発生していた。

1ヶ所の凍裂発生によって、凍結によって樹幹が割れ、樹幹内部に発生していた膨脹が解消されると考えられるが、複数の凍裂が発生する原因はいまのところ明らかではない。凍裂の発生機構を考える上からも、複数の凍裂発生は貴重な示唆を与えるのではないかと推測されるが、今後の検討に待ちたい。

(4) 発生方位

樹幹において、凍裂が発生する方位については種々の説があり、いまだ確定されていないようである（和口ほか、1991）。しかし、それらの説はそれほど数多くはない凍裂木についての結果であり、少ないための混乱のようにも考えられる。

ここでは全調査地（115林分）の全凍裂木から1ヶ所だけに発生している847本についてとりまとめてみた。それが図2であり、南東～南～南西の方位に多く発生しており、その反対側には少

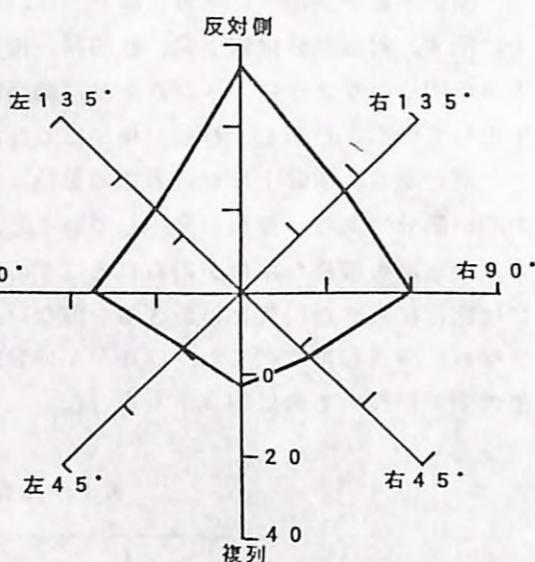


図1. 発生部位の位置関係

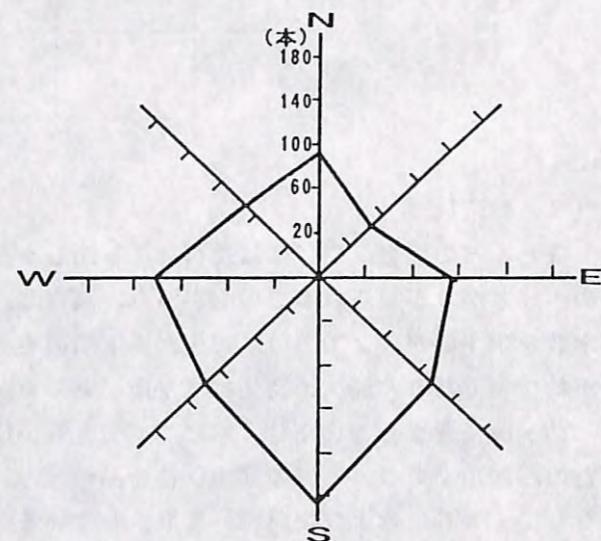
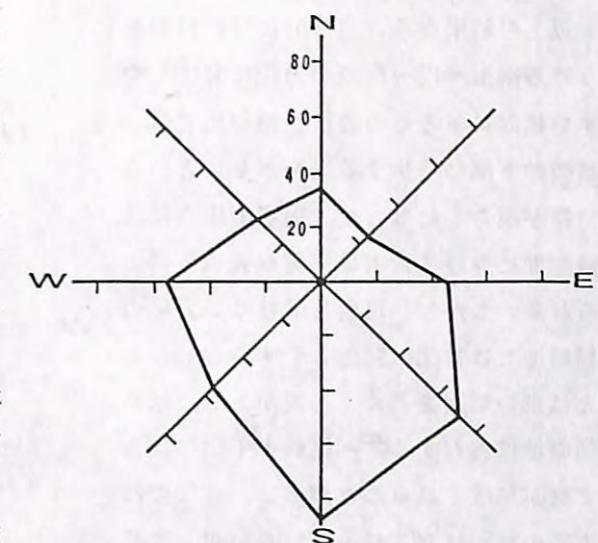


図2. 全凍裂木の発生方位

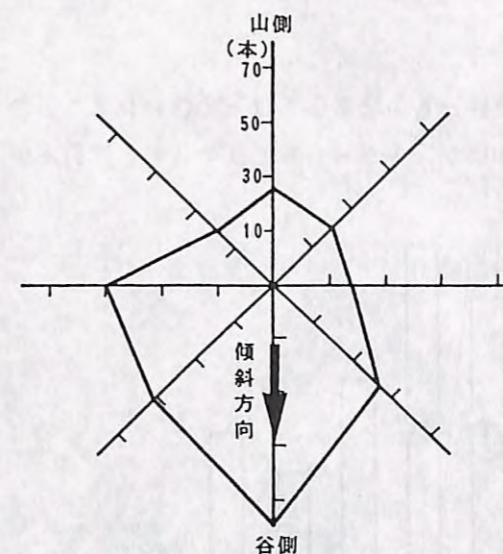
ないことがわかる。すなわち、日射を受ける側に発生しやすい傾向にあることが示されている。ただし、この中には林地が平坦なものも、傾斜しているものも両方含まれている。そこで、平坦地にある林分の凍裂木だけに限って方位の影響を調べてみた。それが図3であり、同様に日射を受ける側に多発している。

次に、平坦地や緩傾斜地にある林分は除き、急傾斜地にある林分だけについてまとめてみたのが図4である。ただし、方位別ではなく、林地の傾斜方向別にまとめてみた。図から明らかなように、林地の傾斜方向（谷側）に向かって発生しているものが多い。しかし、スギを植栽するのは南向きの斜面であることが多い。



全調査木数：8,262本 全凍裂木数：409本

図3. 平坦地における発生方位



全調査木数：8,231本 全凍裂木数：310本

図4. 急傾斜地における発生方向

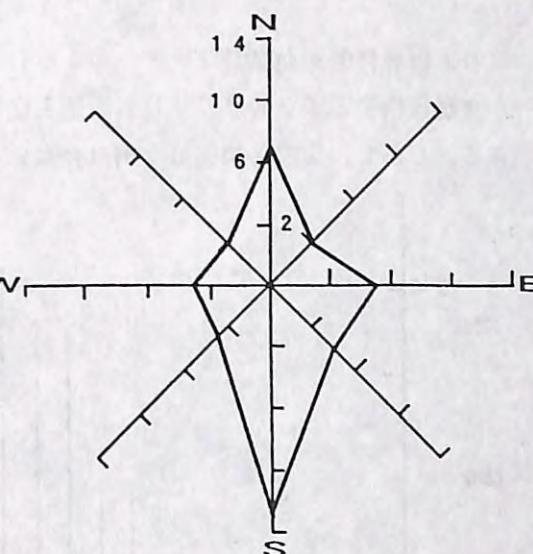


図5. 林地の方位別頻度

事実、これらの急傾斜地は図5に示されるように、南向きの斜面が多い。そのため、日射を受ける林分が多く、傾斜の影響だけとはいえない。そこで、北西～北～北東向きの急傾斜地にある林分だけをとりだし、発生方位をまとめてみた。それが図6である。凍裂の発生は日射を受けない方位に多く、林地の谷側に多くみられる。

以上の結果から、全体的には、日射をうける南東～南～南西の方位に発生しやすい傾向にあるものの、急傾斜地では、傾斜の下側に発生する場合が多いという特徴が明らかになった。前者の場合には、厳寒期における日射の影響が強いと考えられる。しかし、日射を受けない方位の傾斜地では谷側に発生しやすいということは別の要因を考える必要がある。通常、傾斜地に生育するスギ樹幹の下側にはあて材が形成されることが多い。ここでは実際の調査はおこなっていないが、異常組織であるあて材が凍裂発生になんらかの影響を与えていると推測することは可能であろう。あて材と凍裂との関係については詳細な調査が必要である。

(5) 樹幹径との関係

凍裂は樹幹が太いもの、すなわち肥大成長が良好なものに多いとはよく言われることである。しかし、実際に調査した例は少ない(及川ほか, 1986b)。そこで、凍裂木の

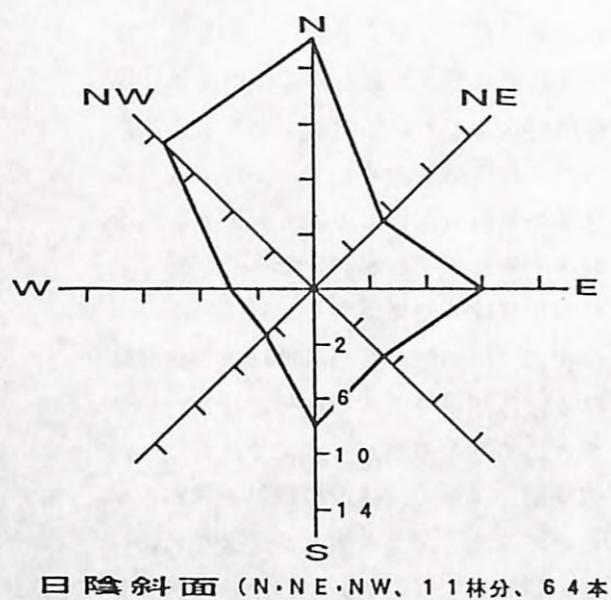


図6. 日陰斜面における発生方位

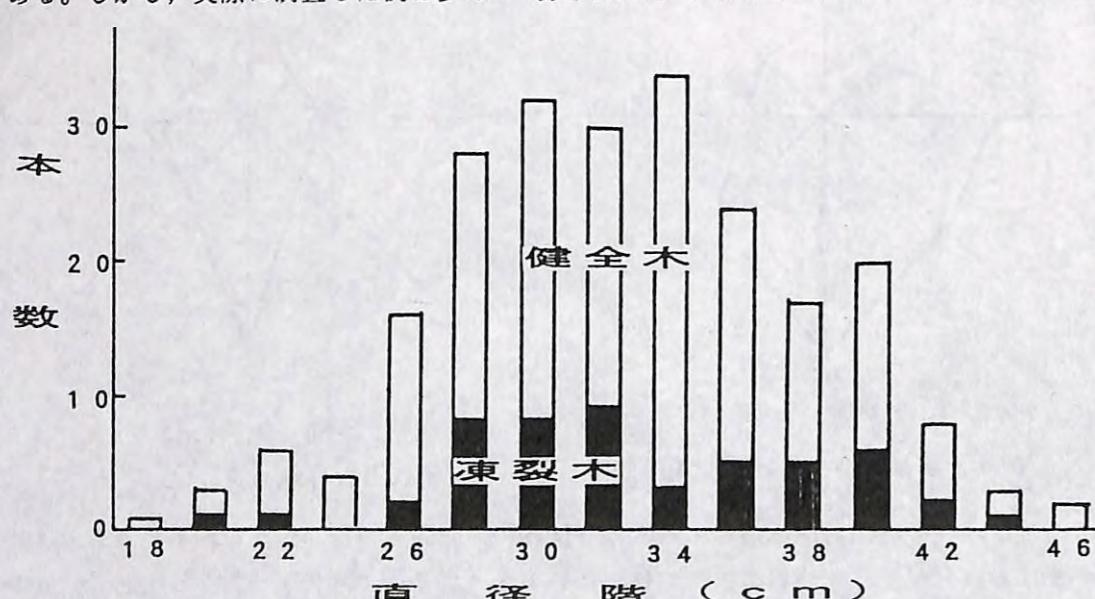
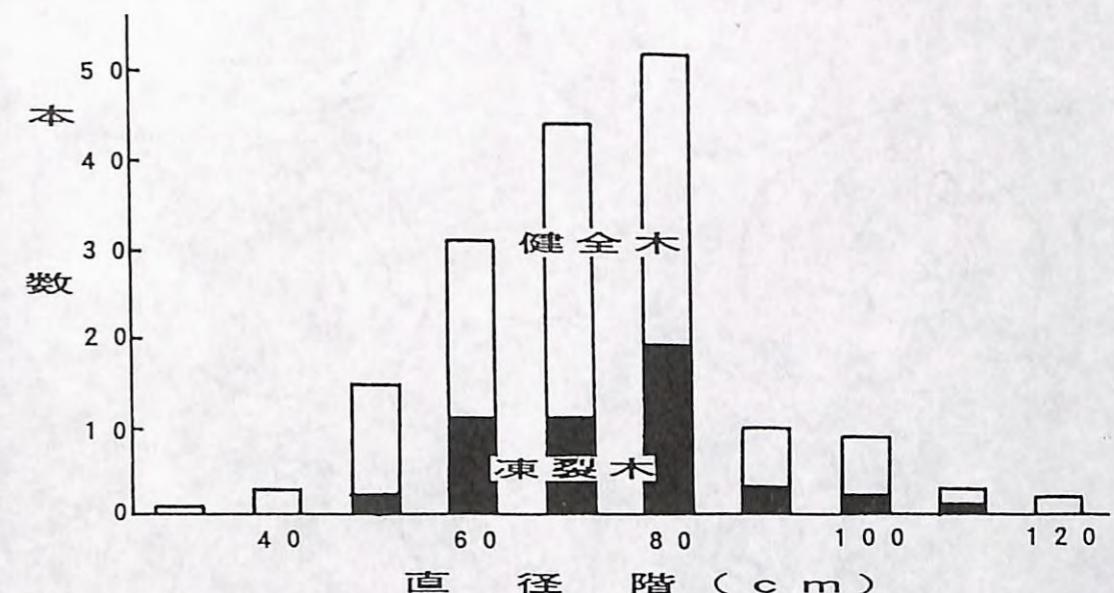


図7. 直径階別出現頻度(十和田)

出現率が高かった秋田県の十和田と田沢地区の2林分について直径に注目してみた。それが図7と8である。調査林分における胸高直径階毎の頻度と各階における凍裂木数が示されている。いずれの場合も、直径階はほぼ正規分布を示している。一方、凍裂木数は同様の分布を示しており、特別の関係を見いだすことはできない。樹幹径の太いものほど凍裂が発生しやすいという傾向はないものと考えられる。



2. 樹幹内部形態

1) 方法

調査林分から凍裂木を適宜伐採し、凍裂木樹幹内部を調査した。樹幹中の割れの存在状態を調査するために、凍裂部を中心にして連続的に円板を採取し、その表面を自動カンナで仕上げ、透明なプラスチクシートをかぶせ、肉眼で識別できるすべての割れをシート上に写し取った。また、その円板から小材片を切りとり、割れ部の顕微鏡観察も行った。

2) 結果

(1) 材部の状態

図9は秋田県仁別地区の76年生の林分から採取した凍裂木(DBH: 36 cm, H: 23 m)の樹幹内部の状況を示す。なお、この樹幹表面には、2木のへびさがりが山脈状の盛り上がりとして出現していたが、東側のものは開閉を繰り返しており、その反対側のものはすでに癒合していた。このような樹幹から地上20, 40 cm, それ以上は50

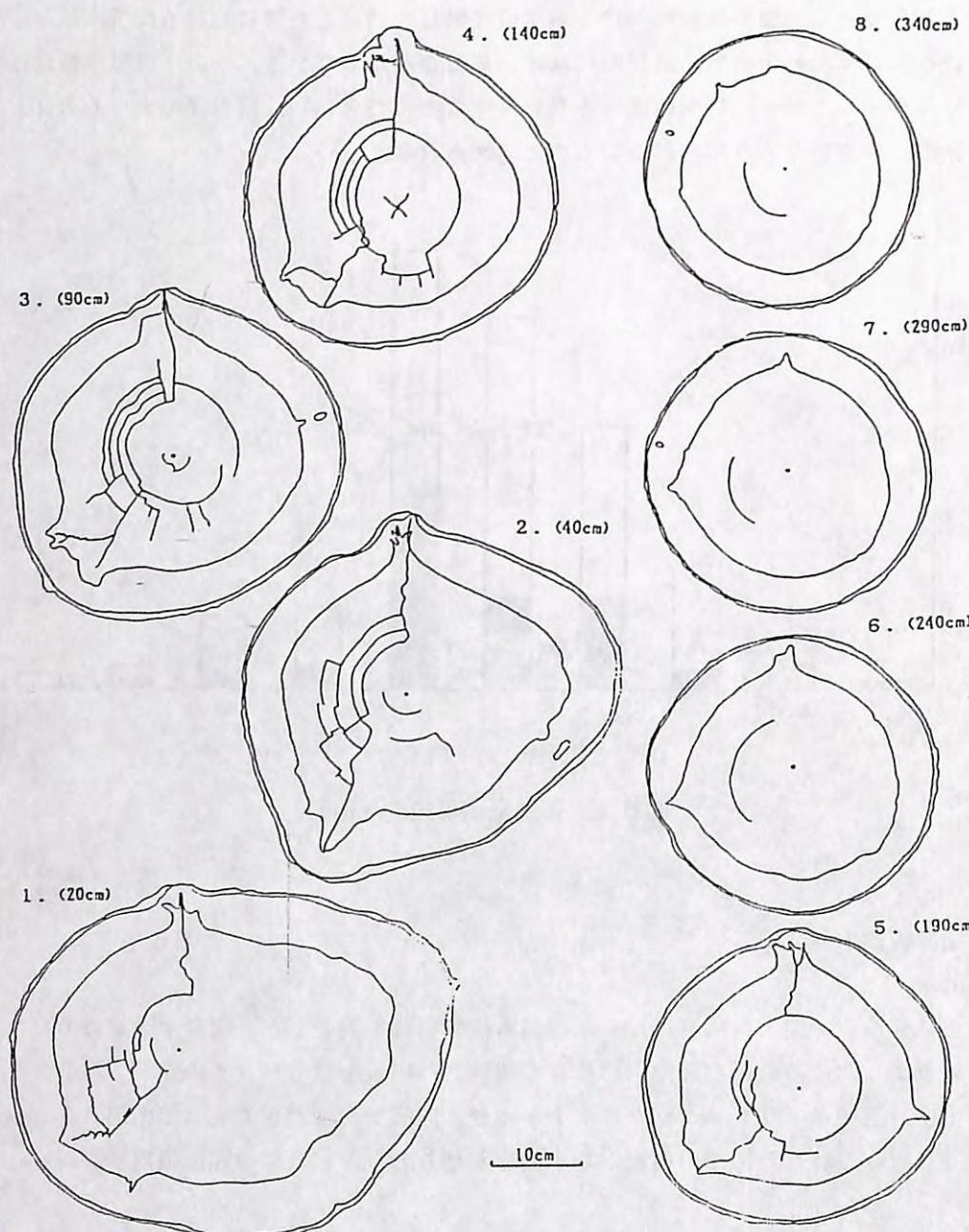


図9. 樹幹内部の割れ

cm間隔に円板を連続的に採取し、円板表面の割れを写し取ったものである。

図中には、樹皮、辺心の境界、割れが示されている。円板上には、凍裂による割れが2本見られる。ただし、一方（円板上の上方）は樹幹表面にまで達しているが、他方は材中に留まっている。前者は開閉を繰り返している凍裂に、後者は應合したものに由来する割れである。また、これら以外にも、小さな放射状の割れや目回りなどが多い数あり、これらは複雑につながっているのがよくわかる。これらの割れは地際付近から上方へかけて次第に数を増し、胸高部付近で最も多数の割れが見られ、それよりもさらに上方へゆくにつれて次第に減少している。240cm以上では、半径方向の割れはなくなり、目回りだけが存在し、さらに上方では見られなくなる。

このように、材中の割れは胸高部付近で最も顕著に出現し、その上・下方では次第に少なくなるという傾向はいずれの凍裂木でも同じであった。凍裂木の樹幹中には多かれ少なかれこのような割れが胸高部付近に出現するため、最も貴重な一番丸太から良質な木材を得ることはほとんど不可能になる。凍裂の発生が林業的にみて深刻な問題であることがよく分かる。

（2）年輪構造の特徴

写真3は図9に示された地上40cm部の円板写真である。辺・心材、その間にある白色の移行帯が明瞭に見られる。ただし、心材色は健全材のそれとはほど遠く、黒っぽい状態である。2ヶ所の凍裂、目回り、放射方向の割れなどが認められる。

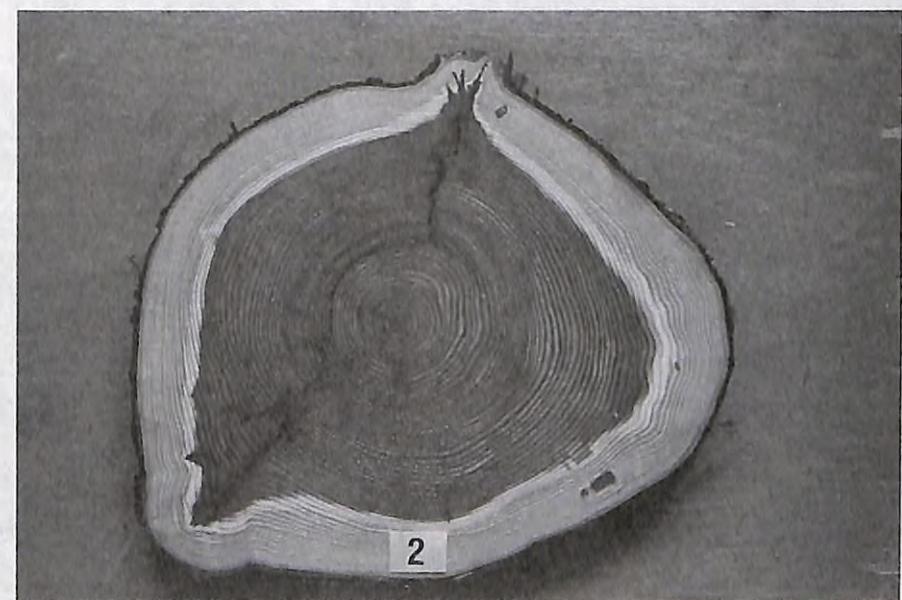


写真3. 地上40cmの樹幹内部

さらに、部分的に拡大してみたのが写真4、5であり、それぞれ地上90cm部の円板上の開閉を繰り返している凍裂部と、地上140cm部の円板上の癒合してしまった凍裂部である。

写真4において、樹皮側から凍裂に沿って年輪をたどって行くと、10番目以降の年輪から局部的に異常に肥大していることがわかる。一方、11番目以前の年輪は同心円状であり、異常は認められない。すなわち、この年輪が形成された成長期の前の冬に凍裂が発生し、形成層が傷つき、局部的に肥大した結果である。したがって、円板を採取し、その年輪を注意深く観察すれば、凍裂の発生年を容易に知ることができる。

写真5の場合も同様にすれば、この凍裂は9年前に発生し、その後開閉を繰り返していたが、4年前には癒合してしまったことがわかる。なお、凍裂の割れは一直線ではなく、10番目あたりから、左方向へも割れが延び、3番目の年輪に局部的な肥大が認められるので、その割れは3年前に樹皮までたっし、形成層を傷付けたこともわかる。

なお、いずれの割れの場合にも、割れに沿った部分は変色している。



写真4. 開閉している凍裂部

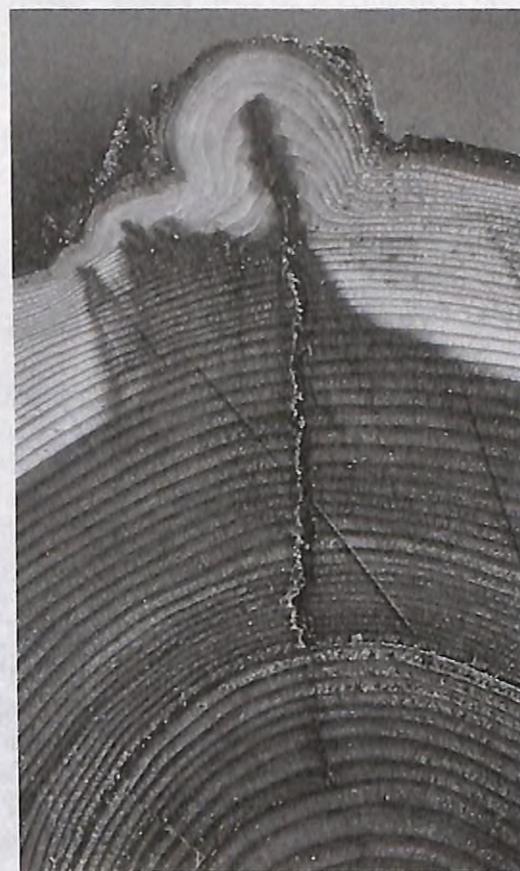


写真5. 癒合した凍裂部

写真6は凍裂によって割れた部分の横断面顕微鏡写真である。割れは詳細に見ると、単純な直線状に割れているだけでなく、年輪界に沿って割れの方向を変えている。スギの材部は仮道管がそのほとんどを占めている。凍裂によって割れた場合、写真に見られるように、その割れは仮道管自体の破壊によってもたらされるものではなく、仮道管相互間にある細胞間層部での剥離の結果であることが明らかである。したがって、仮道管の樹軸方向への配列と走向の状態（木理という）によって、樹幹表面に現れるへびさがりはまっすぐになったり、左右へ傾斜したりするものと考えられる。また、仮道管群中を放射方向に走っている放射組織の場合も同様に、放射組織とそれに接する仮道管との間の細胞間層部の剥離によって割れている（写真7）。

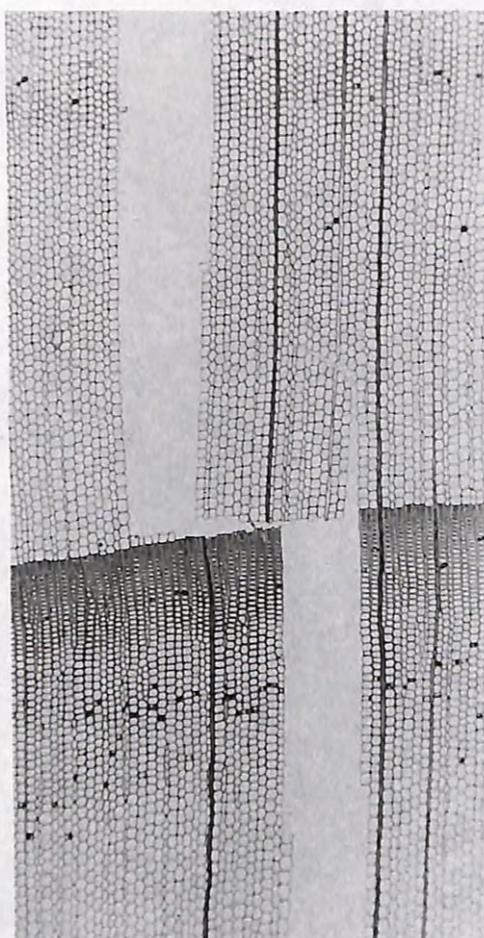


写真6. 仮道管での剥離

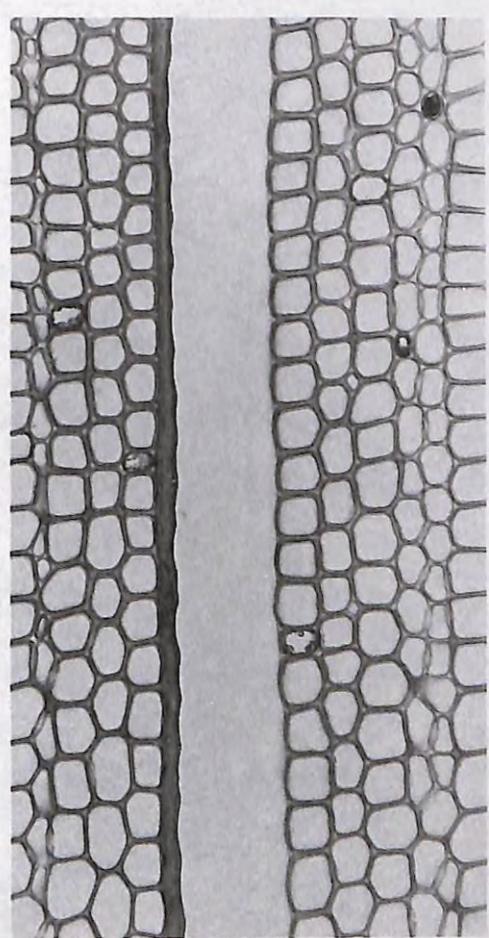


写真7. 放射組織での剥離

(3) 発達経過

材中の割れの発達経過を調査するために、90年生の林分中から、凍裂が4ヶ所発生しているもの(BHD: 53 cm, H: 29 m)を伐採し、地際部から50 cmごとに11枚の円板を採取し、各円板での割れの状態を追跡した。なお、凍裂は北西(地上0~330 cm), 南西(60~190 cm), 東(30~220 cm), 北北西(0~110 cm)の方位に発生していた。その結果が図10であり、図では北西のものをA, 南西をB, 東をC, 北北西をDとした。上述したように、年輪の局部的な肥大部から凍裂発生年を知ることができるので、各凍裂の各円板上での発生年を調査した。

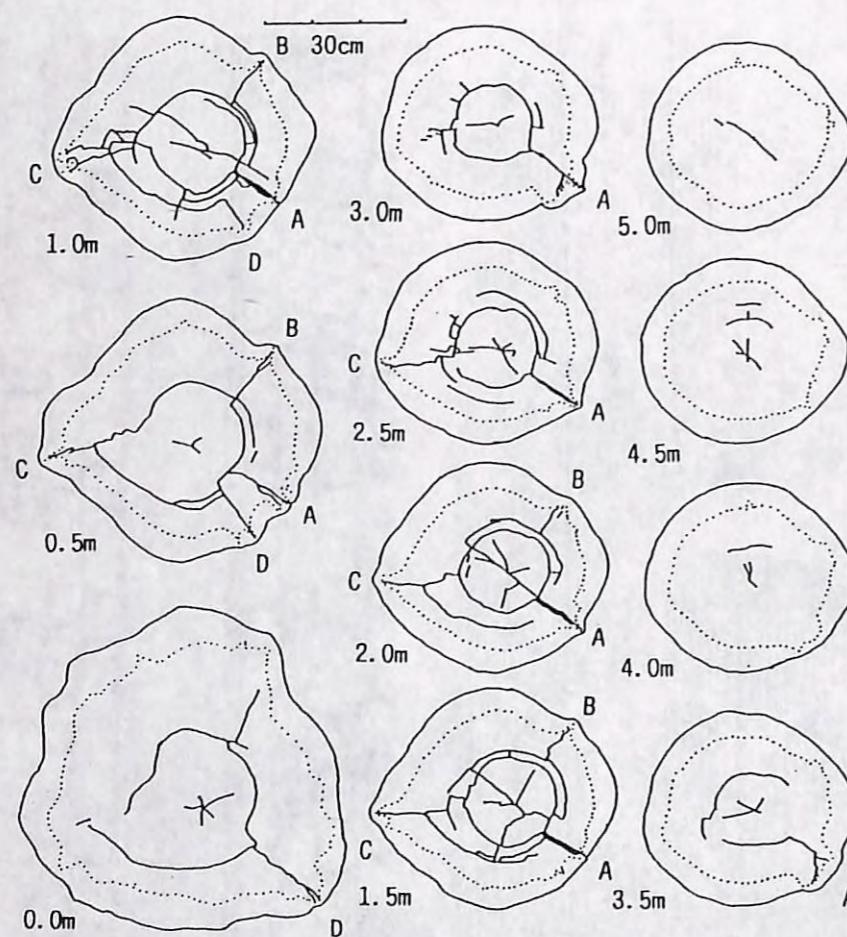


図10. 樹幹内部の割れ

凍裂Aの場合、27年前に地上1.0, 1.5, 2.0 m部に、26年前に2.5 m部に、25年前に3.0 m部に、23年前に0.5 m部に、18年前に3.5 m部に年輪の局部的肥大が認められた。すなわち、27年前の冬に地上1~2 m部で初めて凍裂が発生し、その後割れはしだいに上方へ、ついで下方へと発達していったことが分かる。その経過を示すのが図11であり、凍裂Aによる材中の割れの発達経過がよく理解できる。また、樹幹表面に認められたへびさがりよりも材中ではさらに上方へ割れていることは注目しなければならない。このように、へびさがりよりも材中の割れのほうが長いことはスギ凍裂の場合には一般的な現象であった。

他の凍裂も同様であり、凍裂Bは地上0.5, 1.0 m部では18年前に、1.5 m部では16年前に発生したが、0.0, 2.0 m部では局部的な肥大は認められなかった。凍裂Cは地上0.5~1.5 m部では11年前に、2.0, 2.5 m部では9年前に発生していた。凍裂Dは地上0.5 m部では28年前に発生したが、0.0, 1.0 m部では形成層まで達しない内部割れの状態にとどまっていた。

以上の結果、凍裂による割れは開閉を繰り返すことにより、材中でさらに上下方向に発達してゆくものであることが明らかになった。したがって、凍裂が発生した場合には、その割れは年々伸展するので、材質はますます低下してゆく。しかも、材中の割れは決して治癒することはないので、凍裂木をそのまま放置することなく、できるだけ速やかに伐採、利用することが損失を最小限にするための方策であろう。

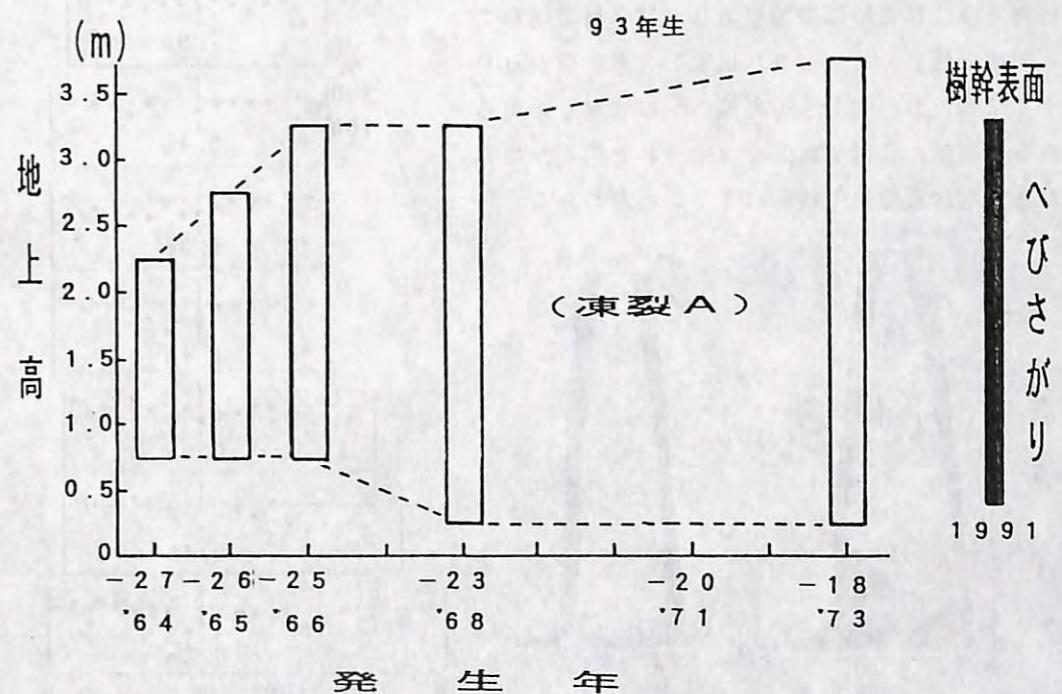


図11. 樹幹内部割れの発達

3. 樹幹内の含水率分布

1) 方法

含水率は円板から直径方向に数cm幅の試料を割り取り、樹皮側から1~2cm厚に細分し、常法に従い乾燥法（全乾重量に対する含有水分重量の%）で求めた。

2) 結果

スギ健全木の場合、心材は辺材よりも低い含水率である。それにもかかわらず、凍裂木の心材含水率は辺材と同じか、ときにはそれよりも高いこともあるほど、その含水率分布は異常である。

図12がその一例であり、図9に示された凍裂木と同じものである。図から明らかなように、地際部から3.4m部までの間の心材含水率は辺材と同程度に高く、200%前後にも達している。それよりも地上高が高くなると、心材含水率は辺材部よりもはっきりと低くなっている。ただし、辺・心材の境界付近で低い含水率を示している部分は移行材と呼ばれる特殊領域であり、健全材の場合でも同様に低い。このような現象をさらに分かりやすく示したのが図13であり、へびさがりの見られる凍裂部の心材部は健全材のそれと明らかに異なる異常な水分集中状態にあることがわかる。

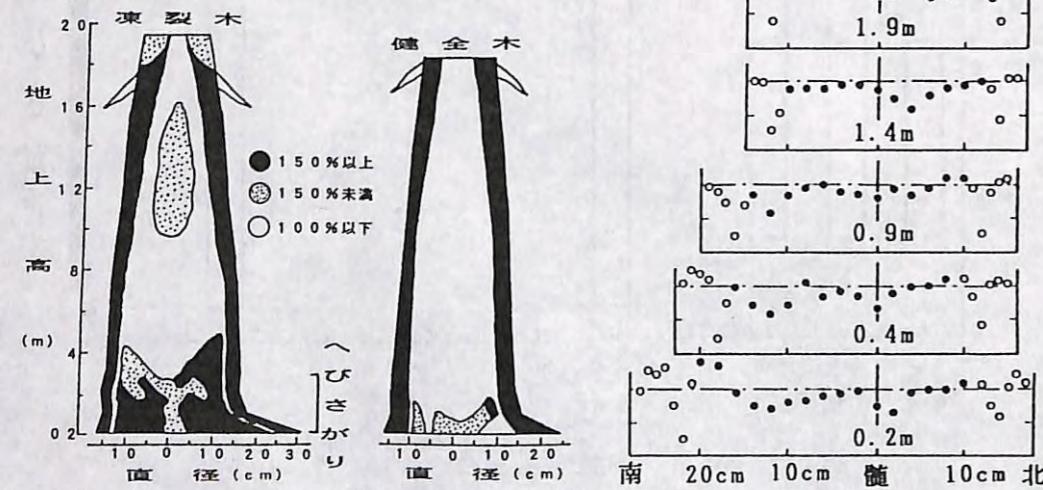


図13. 含水率分布の比較

図12. 凍裂木の含水率分布

このような異常な水分の存在と冬期の低温によって凍裂が発生するものと推定されるが、この異常水分がどのようにして出現するのかは明らかではない。川村・三上（1987）によるスギ心材含水率についての遺伝学的な研究によれば、その含水率変動はクローン特性らしい。したがって、今後は遺伝的な面からも凍裂現象を研究してゆくことが必要であろう。また、スギの黒心材の場合も心材含水率は高く、その上心材色の点からも凍裂木に非常に似ている。むしろ、黒心材と凍裂木との間には密接な関連があるようにも考えられる。凍裂という点からも、黒心材の発生機構の解明が待たれるところである。

なお、凍裂と関係した異常な水分については、トドマツの水食い材がよく知られている（石田、1986）。しかし、水食い材は材中に局部的に出現する異常部分であり、スギの心材におけるほぼ均一な水分分布とは少々異なっている。また、ヤチダモ凍裂木の心材の水分分布はスギのそれと類似している（今川ほか、1988b; 1989d）。いずれにしても、凍裂木における異常な水分分布は非常に興味深い点であり、さらに研究を進めなければならない最も重要な問題点の一つである。

4. 樹幹の温度変化

1) 方法

岩手県滝沢村にある岩手大学滝沢演習林内の8年生林分から、典型的な凍裂木（DBH: 43cm, H: 26m）を選定した。なお、安藤（1992）によれば、この林分の凍裂木の出現率は8.8%である。

樹幹表面から2cmの深さのところで辺材の、15cm深さのところで心材の温度をサーミスターを挿入して測定し、記録した（図14）。測定期間は1988.10~1989.4の間で、1.5時間間隔で測定した。

なお、樹幹温度の変化と凍裂部の開閉との関係を調べるために、凍裂部の中央部に釘を2本打ち、その間隔をノギスで定期的に測定した。

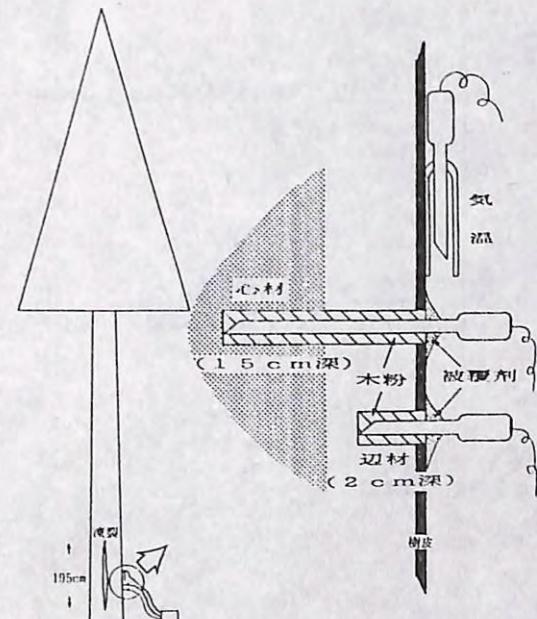


図14. 樹幹温度の測定法

2) 結果

図15は気温、凍裂木の心・辺材の温度変化および凍裂部の開閉経過を示す。それぞれは1月から2月頃に最も低い値を示しながら、全体的にはほぼ類似した経過をとっている。しかし、気温変動の急激さに比べ、辺材はかなり緩やかに、心材ではさらに緩慢に同調している。また、辺材は気温の変化に対して素早く対応しているものの、気温の変動幅に比べるとその幅は小さい。心材は気温の変化にかなり遅れて動いており、ときには10時間以上も遅れて対応することがしばしばあり、さらには全く影響が認められない時期もある。このような経過からみると、樹幹表面に近い部分は気温の影響を強く受けるが、樹幹内部へ行くにつれその影響は弱くなっていることがわかる。すなわち、樹皮を含めた樹幹中への温度の伝わり方はかなりゆっくりしたものであることを示している。そのため、外気温が急激に低下したとしても、それが樹幹内部へ直ちに伝わるとは考えにくい。

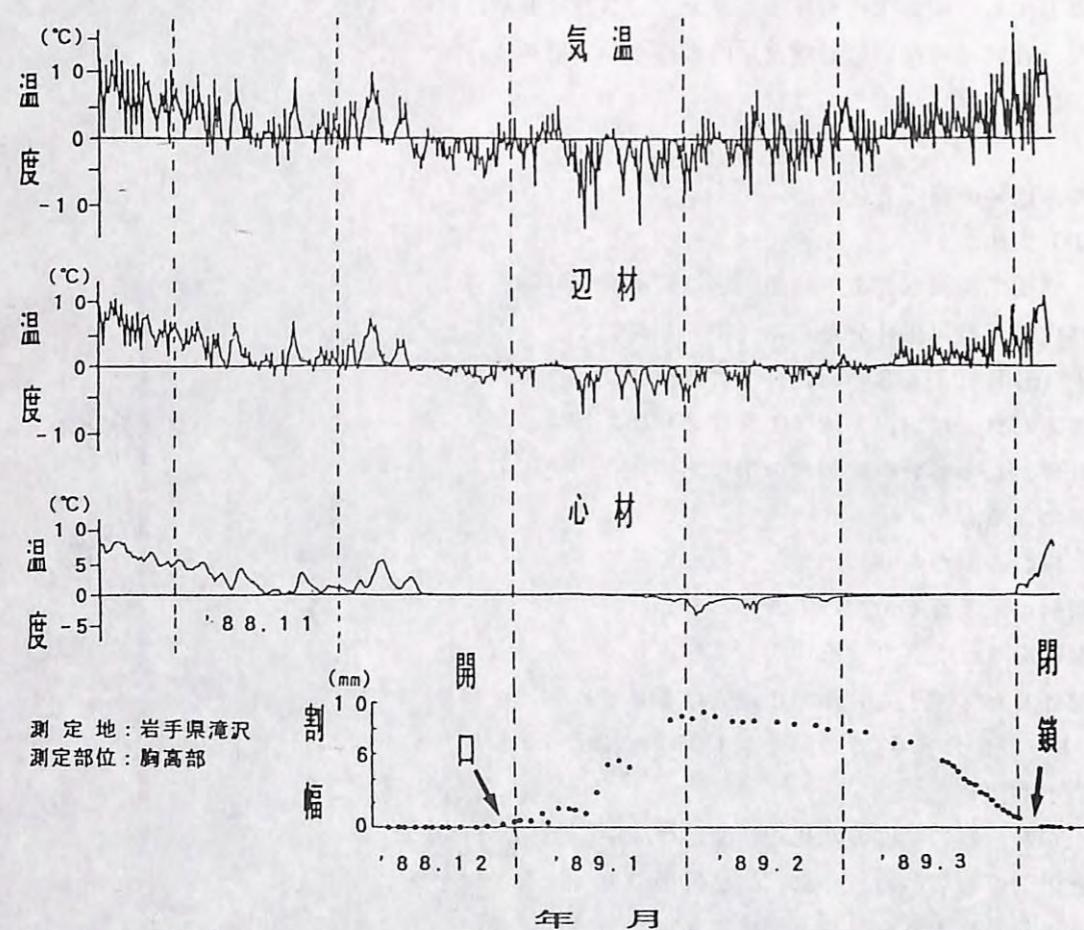


図15. 樹幹温度と開閉の関係

また、心材の温度変化は非常に特徴的である。12月中旬までは、気温の動きに遅れてはいるものの、大きくは同じような経過を示しながら低下している。しかし、それ以降は長い間0°C付近(マイナス域)にとどまり、1月下旬頃になってさらに低下している。この停滞期が心材中の異常水分が凍結しつつある期間と考えられ、再び低下し始める1月下旬前には心材の凍結はほぼ完了したものと推定される。また、2月末頃から再び0°C付近に停滞しているが、これは心材部が融解している期間と考えられる。

一方、凍裂部の開口が始まったのは12月30日であった。それ以降、開口幅はしだいに増加してゆき、1月下旬頃にはその最大幅(約10mm)に達した。なお、この時期は心材の凍結完了時とよく対応している。2月下旬頃までは、ほぼ最大幅のままであるが、それ以降は徐々に減少し始め、4月初めには再び閉鎖してしまった。

ただし、以上の結果は、すでに凍裂が発生してしまっている場合の経過であり、新たな凍裂発生時における温度経過ではない。したがって、新たな凍裂発生時における樹幹温度の変化を示すものではない。凍裂発生時の温度変化を推定するための示唆を与えるものの、前もって凍裂発生を予測する手段がなければ、凍裂発生に対する気温の影響を十分に検討することはできないと考えられる。

5. 発生開始樹齢

1) 方法

スギの凍裂は幼齢木にはほとんど発生せず、いわゆる壮・老齢木に多いことは経験的に知られている。しかし、いつから開始されるのかは実証的には明らかになっていない。そこで、岩手県零石地区内で、生育環境がほぼ同じと思われる林齢の異なる(20, 32, 44, 47, 60年生)林分中にそれぞれ調査地を設定し、凍裂木の出現状況を調査し、凍裂の発生開始林齢を知ろうとした。

2) 結果

調査結果を表3に示す。表から明らかなように、20年生と32年生のものには凍裂木は全く認められず、44年生のものに初めて凍裂木が確認され、それ以上の林齢のものは凍裂木の出現数は次第に増加していた。この調査結果だけからみれば、零石地区では、凍裂の発生は40年半ばからと推定することができる。20年生の林分には除間伐は全く行われていなかったので、この林分中では凍裂はまだ発生していないことは明らかである。一方、32年生の林分では、調査時には凍裂木は出現してはいなかったものの、何年か前にいくらかの除間伐が行われていた。その際に、凍裂木がその対象になったのかどうかを明らかにすることはできなかったが、残された伐根には凍裂が発生した痕跡を見いだすことはできなかった。このような問題点はあるが、凍裂の発生が開始される林齢としては、

零石地区では40年半ば頃が一つの目安になるのではないかと考えられる。

発生開始については、いくつかの報告があるが、それらは互いにかなり異なっており、本調査の結果もまた同じではない（和口ほか、1991）。開始林齢をさらに明らかにするためには、異なる生育環境にある多くの林分で同様の調査を進める必要があるものと思われる。

表3. 林齢別の凍裂木数

林齢	凍裂木数	調査本数
20	0	140
32	0	216
44	2	151
47	15	161
60	43	361

なお、ここで行ったような調査法以外にも、実際に凍裂木を伐採し、前述したような凍裂発生にともなう年輪構造の変化から開始時を求める方法、植栽時から同一林分を継続して調査する方法などが考えられる。しかし、前者は試料木の入手の点から限界のあることが多く、後者は非常に時間を要することが難点になる。また、ここで用いた方法は、比較的調査しやすいものの、上述したように林分の過去の除間伐などについて不明なことが多い。今後は、これらの方法を適宜組み合わせて発生開始林齢の調査を進めなければならないと考えられる。

6. 発生の継続

1) 方法

ある林分において凍裂が発生し始めた場合、凍裂木はどのような経過をとって増加していくのか、あるいはいつまで発生し続けるのか、終了することがあるのか非常に重要である。そのため、以下の3林分に固定調査地を設定し、5年間にわたって凍裂の発生状況を調査した。

①秋田県小坂地区

十和田営林署砂子沢国有林25林班よ小班内、70年生（1986年時）

平坦部と傾斜部に40m×50mの試験地を1ヶ所づつ設定

調査対象木数：平坦部で119本、傾斜部で108本、計227本

②岩手県零石-A地区

民有林（平坦地）、60年生（1988年時）

2ヶ所（各50m×50m）の試験地を設定

調査対象木数：a部で161本、b部で200本、計361本

③岩手県零石-B地区

民有林（平坦地）、48年生（1989年時）

調査対象木：161本

試験地内のすべての樹幹に番号を付け、5年間にわたって毎年の1月下旬から2月上旬の厳寒期に新凍裂木の出現の有無を調査した。新凍裂の場合、へびさがりは発達していないので、開口している厳寒期に確認する必要がある。なぜなら、成長期には凍裂は閉鎖してしまい、スギ樹皮に見られる深い亀裂に埋もれてしまい見つけだすのは非常に難しいからである。なお、小坂地区の固定調査地では1989年11月～1990年2月にかけてデータロガーを用いて林内温度を測定し、気温と凍裂発生との関連性についても検討した。

2) 結果

図16は秋田県小坂地区に設定した固定試験地での調査結果である。凍裂木（斜線部）、健全木（ブロック部）、新凍裂木（白抜き部）の本数が示されている。図から明らかなように、新凍裂木は毎冬、少数ではあるが発生し続けていることがわかる。ただし、1987年の設定時に新凍裂木が6本と多いのは、その冬に発生したばかりのものばかりではなく、それ以前に発生した比較的新しいものも加わっているためと推定される。発生して年月が経っていない場合には、へびさがりの発達が不十分であり、発生直後のものと区別することは非常に難しい。そのため、そのような比較的新しい凍裂木を数えたものと考えられる。いずれにしても、毎冬1～3本の割合で新凍裂木が出現している。このような傾向が継続すると

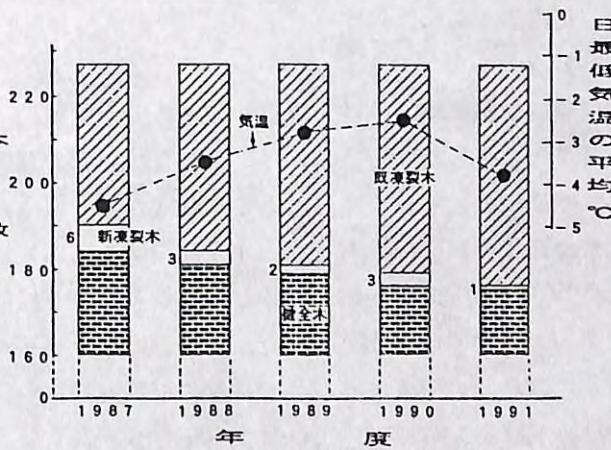


図16. 凍裂発生の経年経過（小坂）

したら、長年月かかるとしても、いずれはすべてが凍裂木という結果になってしまうことになる。しかし、後述するように、そのような林分は見られなかった。したがって、凍裂の発生はいずれは終了すると考えられるが、それが何時なのか非常に感心のもたれるところである。このような調査はさらに長期間にわたって継続する必要があるものと考えられる。

調査地の日最低気温の11～2月にかけての平均値を求めてみた。その結果が図中に示されているが、平均値の高低と発生数との間には密接な関係があるよう見られなかった。

他の2調査地の結果の詳細は省略するが、両調査地とも同様の経過であり、毎冬少しづながら新凍裂の発生は継続していた(図17, 18)。

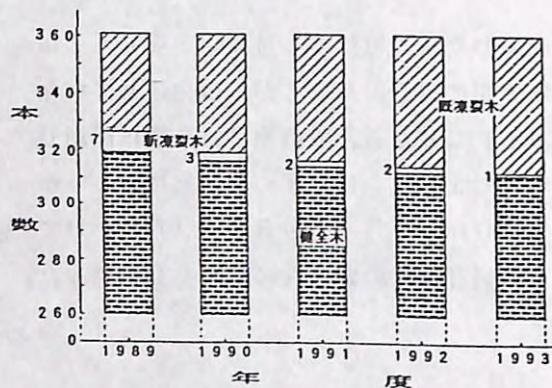


図17. 凍裂発生の経年経過(零石A)

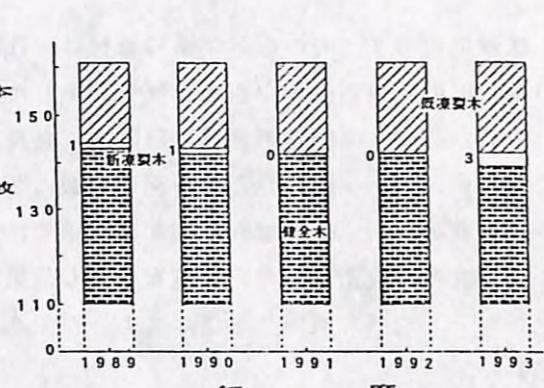


図18. 凍裂発生の経年経過(零石B)

7. 新凍裂木の樹幹内部

1) 方法

前述の秋田県小坂地区に設定してある固定試験地(平坦地, 50×40m)を1989年1月下旬調査した際に、新たに発生した凍裂木(DBH: 30cm, H: 22m)を伐採して、供試木とした。凍裂による割れ(西側)は樹皮上では地上60～220cmに認められた。伐採後、地上高30, 40(凍裂下端部)、85, 130(凍裂中央部)、175, 225(凍裂上端部)、250cm部から円板を採取し、凍結した状態のまま円板表面を電動カンナで仕上げ、円板表面の写真撮影、プラスチックシート上に割れを写し取った。また、これらの円板に連続して6枚の円板を採取し、凍裂部に直角に、髓を通る3cm幅のストリップを割り取り、辺材(1cm毎)、移行材、心材(2cm毎)に分割して含水率(対絶乾重量%)を求めた。

2) 結果

(1) 新凍裂の確認

新凍裂の場合には、へびさがりは形成されていないので、樹幹表面に出現した割れ目しかその発生を知る方法がない。写真8に矢印で示されているように、新凍裂による割れ目は非常に狭いので、その検出には注意深い観察が必要である。

真の新凍裂であるかどうかを確認するには、割れ部の年輪の状態を検討しなければならない。すなわち、凍裂発生後に一成長期以上経過した場合には、形成層に受けた傷による癒合組織の形成により、割れ部付近の年輪幅は局部的に肥大する。そのため、その冬に発生したばかりの新凍裂部の年輪にはそのような局部的な肥大は認められないはずである。

写真9は凍裂の中央部から採取した円板に出現した凍裂の割れ目部であり、そのうちの最外部の年輪である。写真にみられるように、最外年輪には局部的な肥大はまったくなく、正常な年輪が放射方向に割れている状態が観察される。また、写真10は凍裂の上端部の円板表面を接写したものであり、凍裂の割れは材表面にも達していない、前年と当年の年輪界に放射方向の紡錘状の割れが見られるに過ぎない。

これらの結果からこの凍裂はこの冬に発生したばかりの新凍裂であることが確認された。

(2) 割れの状態

供試木は新しい凍裂木であることが確認されたので、樹幹中における割れの発達状態の観察を進めた。なお、供試木は凍結したままの状態であったので、その割れ目中には氷が詰まっていた。写真11は目回り中を充填していた氷に斜めから照明をあてて撮影したものであり、反射して白く見える部分が氷である(矢印)。

写真12, 13は凍裂のほぼ中央部にあたる地上85cmと地上40cm部の円板全体を示し、写真



写真8. 新凍裂の樹幹表面

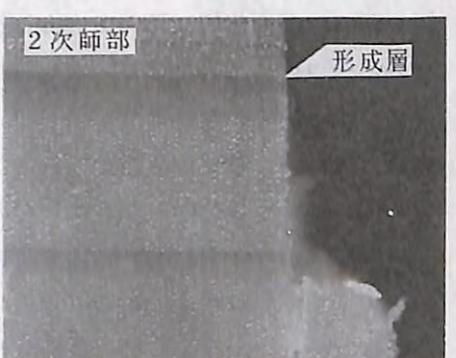


写真9. 凍裂部の最外年輪

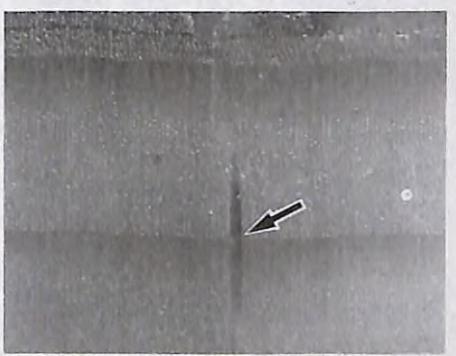


写真10. 材中の割れ



写真11. 目回り中の氷

14, 15はそれぞれの一部を接写拡大したものである。いずれも辺材、移行材、心材は明瞭に識別される。85cm部の円板では、凍裂による割れ目や目回りが明瞭に認められる(矢印)。凍裂による割れ目中には引き裂かれた材片がいくつか観察され、その割れは樹幹表面から、心材外方にある目回りまで達しているが、それよりも髓側へ伸びていない(写真14)。40cm部の円板では、全体的な割れの状態は写真12とほぼ同じであるが、凍裂による割れの状態は明らかに異なっている。放射方向の短い割れ目が全体的には斜め方向に連なった状態であり、一つの割れ目にはなっていない。

また、その発生後かなり時間が経過した凍裂木の場合、辺材部における凍裂の割れを縁取るように心材と同じような着色部が見られるのが通常であった。しかし、写真で示されているように、そのような着色部は全く見られない。この点は他の部位の円板でも同様であった。凍裂の割れに沿った着色部は凍裂が発生した後に生じる二次的な現象であり、いわゆる人工心材に類似の現象と考えられる。したがって、本供試木の凍裂は非常に新しく、発生後の時間経過がほとんどなかったことを再度確認するものと考えられる。

さらに、写真15に顕著なように、新凍裂の割れと連続している心材中の割れ部(二重矢印)の周辺は濃色に着色している。すなわち、この部分の割れは、この新凍裂が発生する以前に存在していた放射方向の割れであり、時間経過とともに着色したものと推定される。しかも、新凍裂はこの古い割れと連続しており、あたかもそこを出発点としているように見える。そのうえ、この古い割れは心材外方の目回りから派生しているように考えられる。

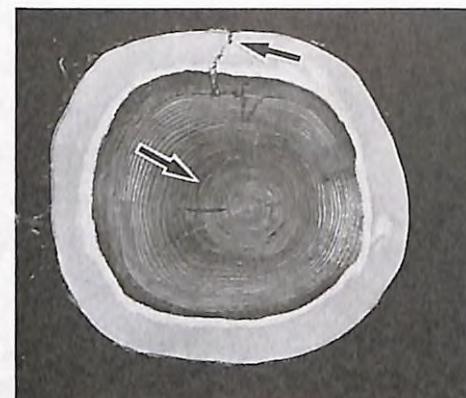


写真12. 地上85cm部の樹幹内部

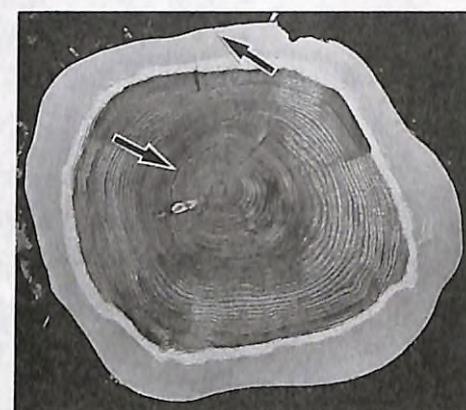


写真13. 地上40cm部の樹幹内部

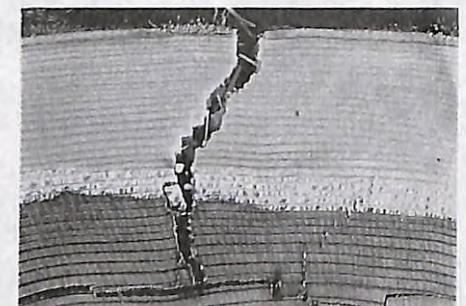


写真14. 写真12の凍裂部

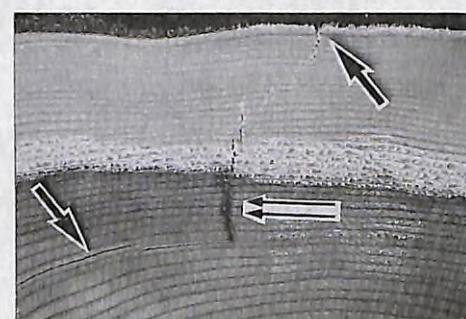


写真15. 写真13の凍裂部

次に、樹幹全体における割れの分布状態を図19に示す。図には、樹皮、辺材、心材(点線)の境界が示されている。樹幹中には、凍裂による割れ以外にも多くの割れが発生している。髓近くの目回り、心材外方部の目回り、それから伸びている放射方向の割れ、目回りとは連続していない放射方向の割れ、点状に出現している割れなどさまざまな割れが認められる。これらはいずれも材中に限定されており、それらの存在を樹幹表面から知ることはできない。これら多様な割れは、凍裂の中央部である130cm部で最も顕著に出現しており、上下方向へ向かうにつれて次第に減退している。そのような減退傾向は上方への方が著しい。

凍裂による割れの場合も同様で、凍裂の中央部付近で顕著であり、上下方向へ向かうにつれて減退している。すなわち、凍裂の割れは85, 130, 175cm部で樹皮表面からも認めることができるが、40cm部では樹皮部を引き裂くまでにはいたっていない。また、30, 225cm部では、割れは心材と辺材との境界付近にとどまっている。また、225cm部では心材外方に目回りがあるだけである。しかし、いずれの部位でも凍裂による割れは髓付近までは達していない、心材外方の目回りで止まっている。

以上に示した割れの状態からみると、この新凍裂は心材外方の目回りを起点として発生したと推定できる。

また、これまでの調査によれば、凍裂木には常に目回りが見いだされた。そのため、スギの凍裂は、その発生原因は不明であるが、材中にあった目回りの中で水分が凍結・膨張して発生するのではないかと考えられる。

(3) 含水率分布

図20は、地上高別含水率分布であるが、辺材、移行材、心材とでは試料の大きさが異なるので、横軸は正確な意味での直径(距離)ではない。全体的にみた場合、心材の含水率は200%前後でかなり高く、これまでに調査した凍裂木に似かよった傾向を示している。しかし、

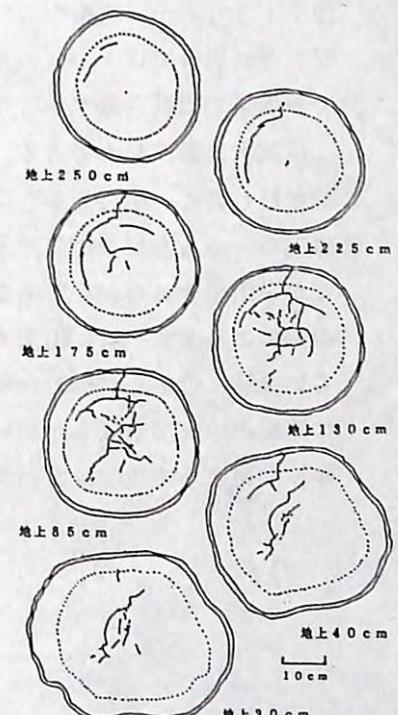


図19. 樹幹内部の割れ

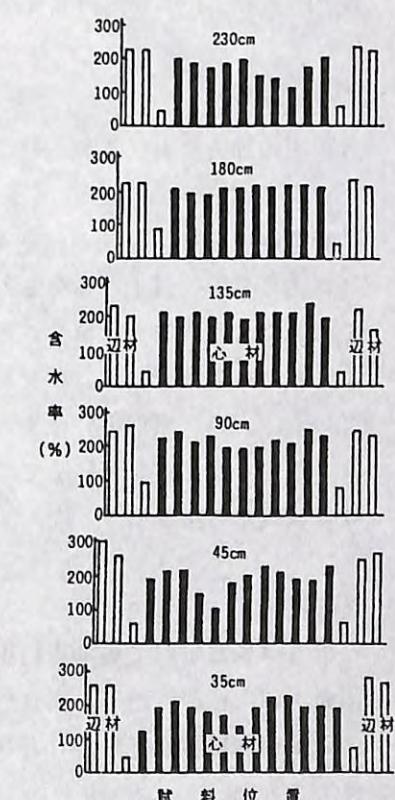


図20. 含水率分布

表4. 東北地方におけるスギ凍裂木の出現状況

管林署名	林齢 (年)	出現率 (%)	F		T		D (cm)	H (m)	高 地形 (m)	秋田県	十和田-1		十和田-2		75	22.6	21	108	33	23	550	傾 平 傾 平					
			(本)	(本)	(本)	(本)					75	26.1	31	119	30	22	500										
青森県	大鰐	55	4.3	106	2473	40	21	280	平	合川-1	94	18.1	13	72	48	35	160	田代沢	180	29.4	50	170	69	46	555		
	天竜町	63	2.2	6	267	46	34	200	傾	田代沢	94	30.0	21	70	49	36	160	合川-2	94	30.0	21	70	49	36	160		
	蟹田-1	83	0	0	219	31	24	130	"	鹿野里	85	26.0	13	50	55	--	100	蟹田-2	76	17.1	55	322	37	--	250		
	"-2	81	0	0	208	42	25	75	"	秋田-1	82	3.1	6	192	35	28	150	增川-1	58	0	0	220	50	55	150		
	增川-2	83	0.5	1	219	26	23	100	平	秋田-2	82	1.0	2	201	33	28	150	増川-3	83	0.5	1	217	30	25	150		
	市浦	56	0	0	211	34	26	80	"	本荘-1	68	0.9	2	214	31	25	100	市浦	56	0	0	211	34	25	100		
	中里-1	70	0.5	1	217	30	25	75	傾	本荘-2	81	0.9	2	216	34	25	150	中里-2	76	0	0	211	38	27	150		
	"-2	76	0	0	211	38	27	40	平	大曲-1	49	0	0	238	31	20	500	金木	80	0.4	1	235	36	25	300		
	金木	54	0	0	264	29	22	270	"	大曲-2	63	0	0	233	36	20	400	鷲ヶ沢-1	54	0	0	264	29	22	270		
	"-2	52	0.9	2	225	36	27	110	"	大曲-3	77	7.8	20	258	36	23	500	"-3	53	0	0	225	32	23	150		
	野辺地駅	90	4.3	9	210	34	18	20	平	鹿角	85	4.5	9	200	36	26	200	横浜-1	66	0	0	158	34	22	500		
	"-2	55	0.5	1	210	35	22	200	平	鹿角	56	5.5	11	200	32	21	600	"-3	72	0.9	2	225	29	22	200		
	むつ-1	50	0.9	2	228	32	24	40	平	早口	82	0.5	1	200	40	27	400	むつ-2	51	2.1	5	241	27	20	150		
	"-2	51	1.9	4	210	41	30	250	"	上小阿仁	60	4.9	10	205	34	25	200	"-3	69	1.9	4	210	41	30	200		
	大畠-1	53	0	0	226	22	24	30	"	合川	68	7.5	15	200	42	32	200	大畠-2	79	1.7	4	240	41	25	200		
	"-2	57	0.4	1	224	35	26	110	平	能代	82	2.7	5	185	52	31	200	"-3	57	0.4	1	224	35	26	200		
	大畠-3	58	0	0	219	32	24	150	"	五城目	83	5.9	12	203	50	32	300	"-2	60	0	0	210	36	27	150		
	"-2	60	0	0	210	32	23	70	傾	角館	64	9.5	19	200	46	26	400	"-3	51	0	0	240	36	27	150		
	脇野沢-1	55	0.5	1	201	29	23	90	緩	山形県	釜淵	77	3.4	7	203	32	22	170	山形県	釜淵	77	3.4	7	203	32	22	170
	"-2	54	0	0	210	36	27	70	傾	酒田	46	0.4	1	250	26	20	200	"-3	51	0	0	210	34	25	200		
	"-3	51	0	0	240	36	27	100	平	鶴岡	54	0.5	1	206	34	25	150	脇野沢-2	55	0.5	1	201	29	23	150		
	山形県	釜淵	51	0	0	240	36	27	100	平	小国	52	0.5	1	211	39	22	250	山形県	釜淵	51	0	0	240	36	27	150
	"-3	51	0	0	240	36	27	100	平	米沢	57	3.8	8	209	39	25	450	山形県	釜淵	55	0.9	2	230	30	23	650	
	山形県	釜淵	56	0.9	2	219	37	20	430	平	村山	56	0.9	2	219	37	20	430	山形県	釜淵	56	0.9	2	219	37	20	430

管林署名	林齢 (年)	出現率 (%)	F		T		D (cm)	H (m)	高 地形 (m)	宮城県	鳴子温泉		鳴子温泉		70	8.7	11	127	51	30	750	傾 平 傾 平			
			(本)	(本)	(本)	(本)					70	2.4	3	125	53	30	700								
岩手県	安代	73	28.0	21	75	28	19	550	傾	白石-1	77	1.4	3	215	29	25	600	安代	65	14.4	52	361	27	21	350
	"-2	52	13.7	22	161	25	23	350	"	白石-2	59	1.4	3	211	27	20	650	"-3	45	2.6	4	151	18	20	350
	"-3	89	7.7	21	272	41	27	200	"	白石-3	53	0	0	213	26	18	650	滝沢	72	5.0	13	260	39	33	500
	盛岡	72	5.0	13	260	39	33	500	緩	白石-4	51	0	0	174	39	25	370	清瀬	70	9.0	22	245	38	25	470
	"-2	60	0.8	1	125	29	23	400	傾	氣仙沼-1	48	2.8	4	145	22	23	30	北上	75	7.1	16	224	31	27	300
	戸隠	60	0.8	1	125	29	23	400	傾	氣仙沼-2	51	0	0	223	34	27	100	戸隠	75	7.1	16	224	31	27	300
	"-2	90	3.8	2	53	41	30	350	"	中新田	50	2.6	6	227	31	27	300	鶴巣	72	1.9	2	108	34	27	300
	鶴巣	72	1.9	2	108	34	28	110	"	古川-1	51	0	0	211	37	30	270	"-2	75	2.3	5	221	37	30	270
	"-2	75	2.3	5	221	38	30	80	平	石巻	79	0	0	148	38	32	350	鶴巣-1	60	1.2	3	256	39		

表4に示した結果に基づき、東北地方における出現状況を図示したのが図21である。出現率を1%未満、2%以下、5%以下、10%以下、11%以上の5段階に分けて示してある。丸の内部に黒い部分の多い方が出現率は高い。なお、実際の出現率は凍裂木が1本も出現していなかったものから30%までの範囲内であった。

東北地方全体では、脊梁山脈である奥羽山脈付近に高く、海岸に近づくほど低い傾向にある。秋田県の北部には出現率の高い林分が多く、県全体の平均値は10.1%であったが、0%の林分も2ヶ所あった。岩手県でもかなり高く、県平均は5.9%，0%の林分は2ヶ所あった。山形県や宮城県では両県とも県平均は1.8%で低かったが、山形県では0%の林分は1ヶ所もなく、宮城県は6ヶ所あった。福島県では比較的高い出現率で、県平均は4.7%，0%の林分はなかった。一方、青森県は北に位置するにも関わらず、かなり低い出現率で、県平均は0.8%と最も低く、0%の林分は13ヶ所もあった。特に、下北・津軽両半島では低い出現率であった。

各調査林分において、凍裂木の出現率に高低があったとしても、凍裂木は林地全体にわたってほぼ均等に分布しており、林地内で局部的に集中して出現しているような例はほとんど見られなかった。ただし、福島県原町営林署管内の林分の出現状態は特異的であった。その林分は、急傾斜地とそれに続く渓床堆積地の部分とからなっていたが、林道が開設されたために、林道がちょうど両者の境界となり、林地の相違が非常に顕著になった林分であった。調査本数は207本(60年生、平均BDH:35cm、平均H:24m)であり、全体の出現率は11.6%であった。しかし、渓床堆積地だけに限ると14.0%，急傾斜地ではその半分の7.0%であり、両地の差は非常に著しかった。同様に、他の調査地の渓床堆積地でも出現率は高い傾向が見られた。渓床堆積地には大きな石が多く、通常の林地よりは立地条件は悪い。また、いわゆる沢状態であり、沢風が吹く。新凍裂のところで述べたように、目回りも凍裂発生のきっかけになる可能性は高い。目回りが形成される原因は判然とはしていないが、樹幹が大きく揺れることも一つの原因と考えることもできる。したがって、推測の域をでないものの、強い沢風により樹幹が大きく揺れることにより、沢状態の立地では凍裂が多発するのかもしれない。

沢地あるいは渓床堆積地にある林分についてさらに詳細な調査が必要である。

なお、林地の標高と出現率との間には特別の関係は見られなかった。

いずれにしても、各県とも、もっと多くの林分での調査が必要であり、そのためには各県の調査協力が不可欠である。

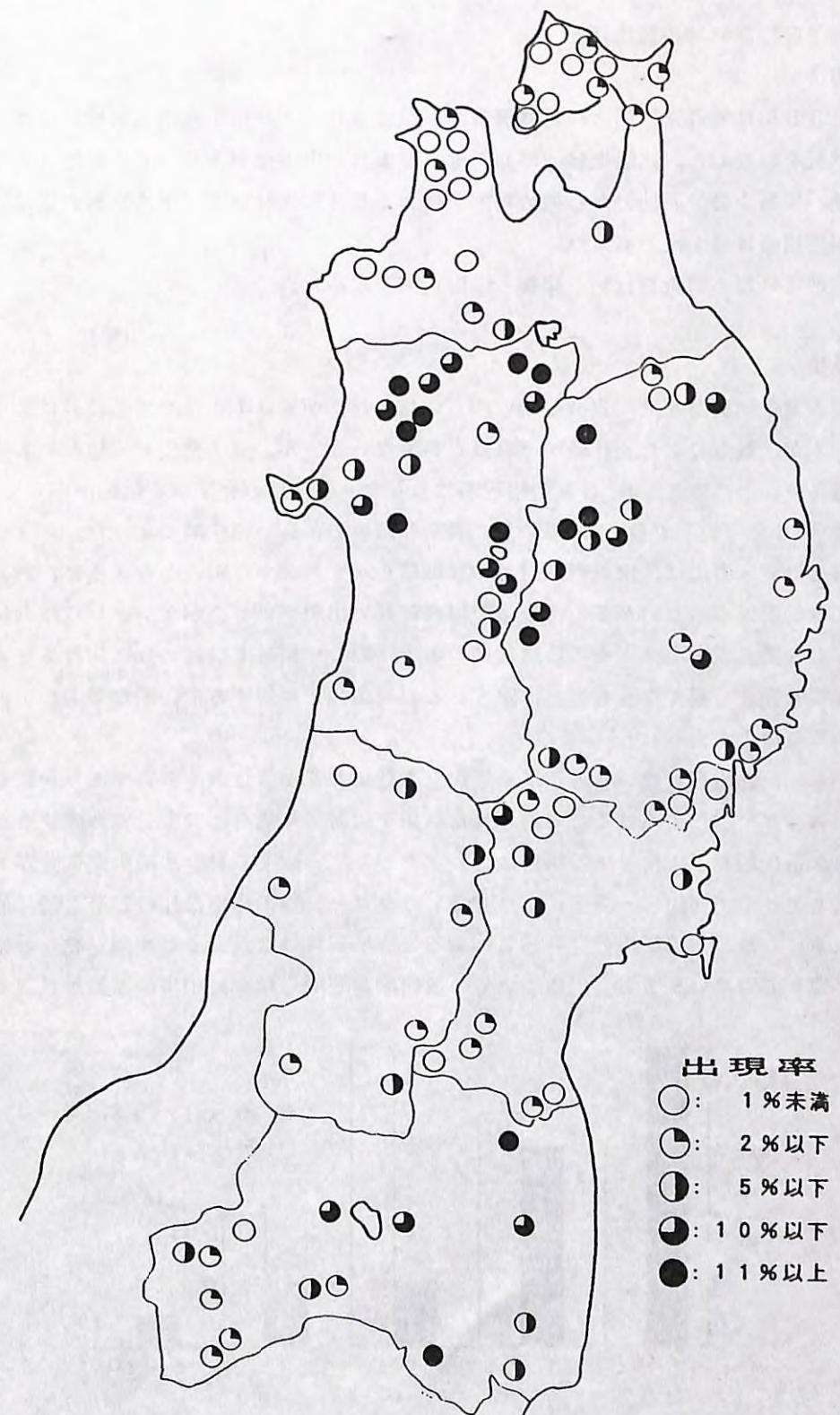


図21. 東北地方のスギ凍裂の発生状況

9. 種子産地試験地の発生状況

1) 方法

1935年に青森営林局大鶴営林署管内に設定されたスギ種子産地試験地における凍裂発生状況を調査した。試験地は一部傾斜地、おおむね平坦地であり、47産地（表系：20産地、裏系：27産地）から集めた種子による55年生林分で、平均胸高直径は40cm、平均樹高は21mであった。

各産地毎に毎木調査を行い、凍裂木の出現率を求めた。

2) 結果

凍裂の発生は裏系産地、表系産地の両方に見られ、前者は11産地で、後者は21産地で凍裂木が出現していた。林齢がそれほど高くないせいか、全く発生していないものが15産地あり、最高でも16.3%の出現率であった。各産地の発生率を単純平均してみると、裏系で3.6%、表系で5.4%であり、表系産地の方が高い発生率であった。

図22は表・裏別に、出現率階層毎の産地数を示す。図から明らかなように、裏系産地のものは低出現率のものが多く、表系の場合は高い出現率のものが多いという傾向にあることがわかる。表系のスギをこの試験地のような厳しい裏日本気候の地に生育させると凍裂はかなり発生し易くなるものと推定される。凍裂発生に対する遺伝的な要因の影響が示唆されるものと考えられる。

しかし、現在生育している各産地の平均立木数はわずか50本ぐらいであり、調査本数は非常に少ない。この点はここで得られた結果を検討する場合には十分に考慮する必要がある。遺伝的要因を検討する場合には、クローンによって心材含水率の高低差があるとの報告もある（川村・三上、1987），クローン毎の詳細な比較が最も効果的と考えられる。しかし、精英樹のクローンによる二次検定林はまだ若く、凍裂が発生し始める林齢に達していない。凍裂発生についての遺伝的な解明にはまだ相当の年数が必要であろう。

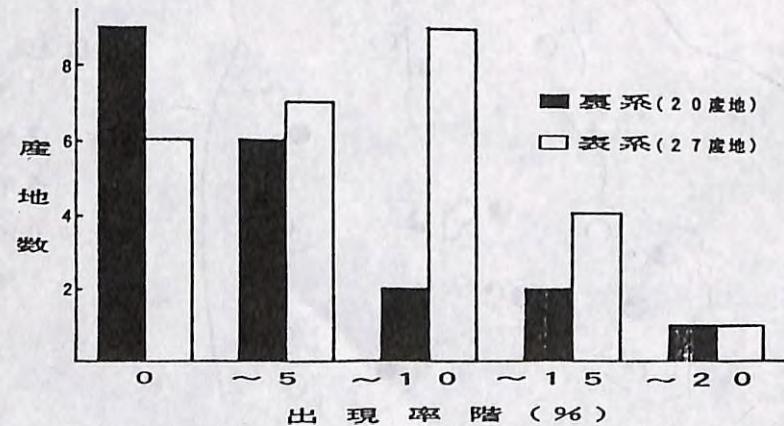


図22. 凍裂木の出現率別産地数

10. 発生機構の考察

これまで、東北地方におけるスギ造林木の凍裂発生実態を述べてきた。以下では、これまでの調査結果を踏まえて、凍裂の発生機構について取りまとめてみる。その結果を模式的に示すのが図23である。調査した凍裂木の心材は、凍裂が発生して時間が経過したものも、発生直後のものも、すべて異常に高い含水率分布を示した。健全木の場合にはその心材含水率は辺材よりもはるかに低いにも関わらず、凍裂木の心材は辺材と同程度あるいはそれ以上の含水率であった。特に、凍裂発生直後の樹幹でもその心材含水率は異常に高いことは注目に値し、凍裂発生以前に高含水率であったと考えるのが妥当であろう。調査した新凍裂木は発生が確認されたその厳寒期に伐採したものであり、樹幹は凍結しており、水分の移動は考えられない。したがって、その心材は凍裂が発生する前にすでに高含水率になっていたと考えられる。

以上のことから、凍裂発生の前段階は心材中に異常な水分が蓄積することであると考えられる。そのような異常水分があり、材中に例えば目回りのような内部欠点中でその異常水分が冬期の低温により凍結し、それによって発生する膨圧が凍裂発生の引き金になるものと推定することができる。また、発生方位の点から、日射の影響あるいは傾斜下側に多いことからあて材の影響も引き金の一つに数えることができよう。

最も重要なのは、心材の異常水分がどのように集中するのかということである。渓床堆積地に凍裂木が多い傾向にあることから、生育環境が影響していると考えることは可能である。また、表系スギに凍裂木の出現率が多い傾向にあったことから、遺伝的な側面をも無視することはできない。

凍裂木の心材含水率が高い点や、心材色が黒っぽい点は、いわゆる黒心材に非常に類似している。両者はかなり密接に関連しているのではないかと考えられる。現在、森林総合研究所を中心にして特別研究「品質管理型林業のためのスギ黒心対策技術の開発」のプロジェクト研究が進行中である。その成果によって、黒心材の生成経過が明らかになれば、凍裂木の異常水分が由来する経過も解明されるものと期待される。

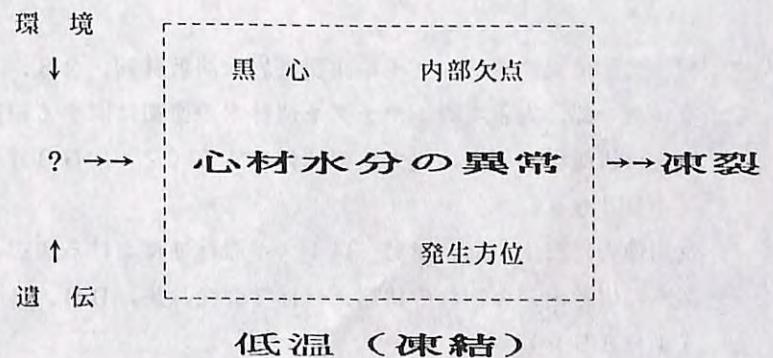


図23. 凍裂発生機構の模式図

V まとめ

東北地方におけるスギ造林木の凍裂発生実態を調査・研究した。その結果、凍裂木の樹幹外部の特徴（へびさがり、発生部位、発生数、発生方位、樹幹径など）や内部の特異な点（割れの状況、心材含水率など）を明らかにすることができた。また、発生が開始される林齢、継続経過なども示すことができた。さらには、凍裂木が出現しやすい立地条件や遺伝的な影響についても貴重な示唆をえることができた。

しかしながら、最も重要な凍裂の発生原因については十分な回答を得ることはできなかった。というのも凍裂の発生機構はある程度解明されたが、根本的な原因と考えられる心材中の異常水分がもたらされる機構は不明のままのためである。

心材中への水分集中が凍裂発生の最初の段階であることは明らかと考えられる。しかし、そのような状況になる経過は明らかではない。

そのため、現段階では凍裂発生を予測したり、あるいはそれを回避または防除するための有効な方策を提示することはできなかった。対処療法的には、凍裂が発生したならば直ちに伐採・利用することが次善の策と考えられる。

凍裂が発生した場合、成長期の癒合と厳寒期の割裂とが繰り返されるのが常であり、その結果として、材中の割れはさらに発達し、腐朽も進行する。したがって、発生直後よりも材質が良くなることは決してなく、放置すれば悪化するだけである。早期の伐採・利用が被害を最小限に止めるための唯一の方策であると考えられる。

凍裂発生直後のものを検出するには、冬期の入念な見回りが必要である。壯齡木まで育成した林木の経済的な損失をできるだけ少なくするには、そのような熱意が是非とも必要である。

引用文献

- 安藤 貴：岩手大学滝沢演習林のスギの凍裂、岩大演習林報、23, 1~8 (1992)
今川一志, 笹賀一郎, 大谷 謙：ヤチダモ造林木の凍裂に関する研究—凍裂の発生状況とその組織学的研究、北大演習林報、45 (2), 599~636 (1988 a)
——, 及川伸夫, 三上 進, 伊勢 良：スギ造林地における凍裂の発生実態 (VI) 凍裂木の樹幹内部の割れの状態、日林学会発論集、99, 303~304 (1988 b)
——, ——, ——：スギの凍裂の発生経過、木材学会北支講集、20, 65~68 (1988 c)

- , ——, ——：スギ造林地における凍裂の発生実態 (VII) 発生開始とその後の経過、日林学会発論集、100, 263~264 (1989 a)
——, ——, ——：同上 (IX) 凍裂木の樹幹温度、日林学会東北支誌、41 76~78 (1989 b)
——, ——, ——, 工藤宏治：同上 (X) 新しい凍裂木の樹幹内部、木材学会北支講集、21, 53~56 (1989 c)
——, ——, 糸屋吉彦：ヤチダモの凍裂、日林学会東北支誌、41, 73~75 (1989 d)
——, ——：スギ造林木の凍裂 (I) 東北地方におけるその発生実態、北方林業 42 (1), 19~23 (1990 a)
——, ——：同上 (II) 東北地方における発生経過、同誌、42 (3), 74~76 (1990 b)
——, ——：同上 (III) 凍裂木の樹幹、同誌、42 (5), 136~140 (1990 c)
——, ——, 三上 進：スギ造林地における凍裂の発生実態 (XI) 比較的新しい凍裂木の樹幹内部、日林学会東北支誌、42, 132~133 (1990 d)
——, ——：スギの凍裂について、森林総合研究所研究成果選集、26~27 (1992 a)
——：寒夜に響く木の悲鳴、続・森林の100不思議、146~147 (1992 b)
石田茂雄：トドマツの凍裂、北方林業会、110 pp (1986)
川村忠志, 三上 進：スギにおける心材含水率のクローラン間変異、日林学会東北支誌、39, 72~73 (1987)
三上 進, 及川伸夫, 伊藤喜悦：スギ造林地における凍裂の発生実態 (I) 岩手県安代地区スギ造林地における凍裂の発生状況、日林学会東北支誌、38, 142~144 (1986)
及川伸夫, 三上 進, 田沢光次, 工藤宏治：同上 (II) 秋田県小坂地区スギ造林地における凍裂の発生状況、日林学会東北支誌、38, 145~147 (1986 a)
——, ——：同上 (III) 凍裂木と健全木における生育期間中の材の含水率、同誌 38, 148~150 (1986 b)
——, ——, 田沢光次, 工藤宏治：同上 (IV) スギ凍裂木樹幹の内部形態、同誌 39, 95~96 (1987)
——, 今川一志, 三上 進, 伊勢 良：同上 (V) 凍裂木の発生と土壤状態、日林学会発論集、99, 301~302 (1988 a)
——, ——, ——, 竹内美次, 伊勢 良：同上 (VII) 凍裂木の経時的温度変化、同誌、99, 305~306 (1988 b)

- , ——, 太田敬之: 同上(XII) 凍裂木の発生と土壤状態, 日林学会東北支誌, 43, 105~107 (1991)
- , ——, ——: 同上(XIII) 津刈沢スギ種子産地試験地の実態, 日林学会発論集, 104, 433~434 (1993)
- 大西 鼎: 霜割れ, 157p, 実用森林利用学, 上巻, 六盟館, (1907)
- 酒井 咲: 寒害, 217p, 植物の耐凍性と寒冷適応, 学会出版センター, (1982)
- 佐野雄三, 今川一志, 大谷 謙, 深沢和三: トドマツ造林木における凍裂発達の観察, 北大演習林報, 46(2), 315~341 (1989)
- 高山雄治, 戸田清佐, 中村 基: スギの凍裂防止に関する研究(I) 凍裂木の分布とマクロな発生環境について, 日林学会中部支講集, 21, 231~235 (1973)
- 和口美明, 柴田叡一, 米田吉宏: 奈良県におけるスギ凍裂害の実態(第1報) 被害の特徴, 奈良県林試報, 21, 8~12 (1991)