

平成5年度森林総合研究所

研究成果発表会講演要旨集

日時：平成5年10月6日(水) 13:30~17:00

会場：三会堂ビル9階 「石垣記念ホール」

農林水産省林野庁

森林総合研究所

目 次

開会挨拶 所 長 小林 一三

1. 森をはぐくむ微生物とそのはたらき

森林生物部 森林微生物科 土壤微生物研究室長 岡部 宏秋 …… 1

2. 東北地方におけるスギの凍裂について

東北支所 育林部長 今川 一志 …… 7

3. 樹木の3Dモデル化と成長のシミュレーション

関西支所 育林部 風致林管理研究室 野田 巖 …… 13

4. 大断面素材（丸太・たいこ材・製材）の構造材料としての利用のために

木材利用部 構造利用科 材料性能研究室長 中井 孝 …… 19

5. 熱帯林の質の向上を図る

生産技術部 育林技術科 植生制御研究室 落合 幸仁 …… 25

閉会挨拶 次 長 小沼 順一

1 課題 講演 25分 質疑 5分

森をはぐくむ微生物とそのはたらき

森林生物部 森林微生物科 土壤微生物研究室長 岡部宏秋

はじめに

落葉広葉樹の更新に関わる微生物のはたらきには、直接的関与として外生菌根が宿主の養水分の吸収を助けたり、宿主の受けるさまざまな障害に対し軽減効果のあることが知られている。更新の際、一般に芽生えが生き残る率は低く、一方では共生する外生菌根菌が宿主の立枯れ予防や成長に有効といわれている。ここでは、稚樹の耐乾燥性に注目した。

また間接的関与には、稚樹の消長に関わる問題としてきのこを含めた微生物が森林土壌の養分環境の形成に重要な役割を果たしている点がある。稚樹の成長に関わる土壌養分を評価するためには、これまでの林分や土壌型単位の評価に代わって、根系が発達する地表面のミクロなサイトの解析評価が必要となる。ここでは地表の落葉や土壌のミクロな部位の養分有効化に関わるキノコの役割に着目した。

アカシデ芽生えの生存に関わる微生物

茨城、福島両県境のナラ類、シデ類が多い落葉広葉樹林において、第一成葉が展開し始めたアカシデの芽生えと1年生個体を採取した。感染初期には菌根の分類・同定ができないので、よく根を水洗した後に滅菌土壌に植え、他の菌根菌による感染を防ぎ、またできるだけ土壌の乾燥を保つように管理し菌根を形成させて、6カ月後に菌根の種類組成や出現頻度を調べた(表1-1, 2)。

芽生えでは、両試験地とも約30%の個体が感染していたが、そのほとんどがメラニン由来の黒色の菌根を形成し、6種認められた。なかでも子のう菌の*Cenococcum graniforme*が多く、6種の黒色菌根のうち本菌だけ菌核を多量に形成した。*C. graniforme*の菌根は、成長にそれほど寄与することはないが乾燥耐性があるといわれており、分離し接種、感染させそのはたらきについて引き続き調べている。土壌における分布をみると、乾燥下に多くみられる黒色菌根が実験的にも土壌表層に多く、深くなるにつれ、すなわち土壌含水率が高くなると減少する傾向があった。この時期に黒色以外の菌根は全体の4%にすぎず、菌の種類、量ともに少なく、しかも単一種の菌根から成っていた。1年生になると、全個体に菌根が形成され、

表 1-1 アカシデ稚樹の菌根出現頻度

		菌根の種類													
		No	Cg	C1	C2	C3	C4	C5	M1	M2	M3	M4	M5	M6	計
小川試験地	芽生え	41	13	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	58
	1年生	0	32	1	1	1	1	0	18	6	2	1	4	0	67
勿来試験地	芽生え	13	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	19
	1年生	0	13	0	0	0	0	2	8	1	0	0	3	2	29

C(g, 1-5)は、菌根の色が黒色系、M(1-6)は、非黒色系で一部菌鞘形成

No: 未感染

Cg: *Cenococcum graniforme*

C1: 黒色菌根、菌根から根状菌糸束の発生なし、根間に黒色根状菌糸束あり

C2: 黒色菌根、根状菌糸束なし

C3: Cgより太い黒色菌根、根状菌糸束は分岐しやすい

C4: Cgより太い濃褐色菌根、灰白色の外部菌糸を伴う菌鞘、根間に黒色根状菌糸束あり

C5: Cgに似るが、根状菌糸束は淡色で短い

M1: 長く棒状菌根で外部菌糸は少なく菌鞘不明瞭

M2: 短く棒状菌根で外部菌糸多く菌鞘不明瞭

M3: 短く棒状菌根で白色菌鞘、白色根状菌糸束あり

M4: 淡茶の棒状菌根、外部菌糸は綿状で密、菌鞘不明瞭

M5: 棒状、枝状菌根で菌鞘は白色、根状菌糸束なし、粗な外部菌糸あり

M6: 棒状菌根で菌鞘は白色、外部菌糸は高密

表 1-2 アカシデ稚樹の菌根の種類組成

本数 (%)

勿来試験地				小川試験地			
当年生				当年生			
C5	6(100)			Cg	13(76)	M3	1(6)
				C5	3(18)		
1年生				1年生			
Cg+M1	5(25)	M2	1(5)	Cg+M1	13(30)	Cg+M4+M2	1(2)
Cg	5(25)	C5	1(5)	Cg	12(27)	Cg+C1+M1	1(2)
Cg+M6	2(10)	Cg+C5	1(5)	M1	3(7)	Cg+M5+M2	1(2)
M5	2(10)	Cg+M5	1(5)	M2	2(5)	Cg+M2	1(2)
M1	2(10)			Cg+C1	2(5)	Cg+C4	1(2)
				M5	2(5)	Cg+M3	1(2)
				M3	1(2)	M1+M2	1(2)
				C3	1(2)	C2+M5	1(2)

両地区の黒色系の菌根の出現頻度はそれぞれ53, 51%に増大し、複数種からなる菌根が急激に増えた。なかには白色で厚いマントル（表1のM3）がみられ、組み合わせも複雑になり多様な菌根へと変化した。

芽生え直後の根は、土壌表層にあり、なかには落葉層にとどまる個体もあるので芽生えにとって最も危険な条件に乾燥をあげることができる。黒色菌根は、菌の生存に際し根系の形態をいち早く決めると同時に根を乾燥から守り、また他の菌根菌と比べ迅速に感染する機構を持つグループであると思われ、芽生えの生存に効果があると考えられる。

きのこがつくる特殊な養分サイト

図1にここで扱ったきのこのコロニーの分布様式を模式的に示した。やわらかい子実体をつくる分解性の比較的小型のきのこは、おもにリグニンを分解するために残ったセルロースによって落葉層が白色化し、これを白色腐朽菌という。扱ったワサビカレバタケは、比較的新鮮な落葉を分解しながら移動する。また、外生菌根菌であるヌメリササタケなどフウセンタケ属には、菌根の周辺に菌糸を密生させマットを形成するものがある。これは一般に菌糸網層といわれているもので尾根筋などやや乾燥した場所でしばしばみられ、ときには1アール以上の広さとなることがある。しかし、ハエトリシメジ、チチタケ、アカカバイロタケ、オオツルタケなど多くの菌根はマットを作らず異なった生活様式を持つ。これらのキノコの菌糸や菌根の周辺と、これらを含まない部分の落葉や土壌中の水溶性の養分、pH及び落葉の分解産物である低分子の有機炭素を分析し、比較した。

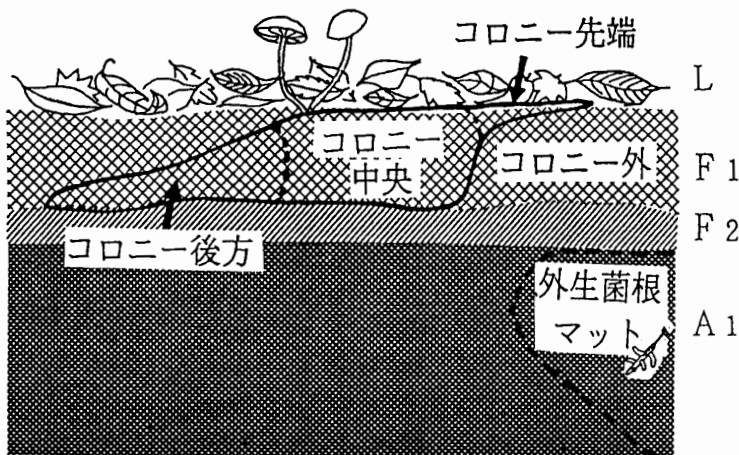


図1 林床におけるきのこの分布（模式図）

白色腐朽菌が形成する養分環境

コロニーの中心部では、Ca, Mg, NH₄, K等の陽イオンが高濃度に集積し、その量や組成は季節変動した(図2, 3)。有機炭素には有機酸が含まれ、pHは強酸性であった(図2)。一方、硝酸、硫酸などの陰イオンは陽イオンに比べると著しく少なかった(図3)。このことは落葉層の土壌溶液では水溶性有機物が無機イオンの代わりに存在していることを意味している(図4)。土壌表層は植物や微生物が競合しながら養分を吸収するため、一般に水溶性養分は少ない。しかし、白色腐朽菌のコロニー中心部に養分が集積することは、その後養分の供給地となりうるとともに、かつ特異な化学的環境を形成し他の生物に対する忌避的な作用(アレロパシー)をもつことも示唆される。また落葉の中の水溶性養分のうち、白色腐朽菌に由来する割合を試算したところ、60~81%となり(図5)、養分の有効化に大きな役割を果たしていた。稚樹の発生や消長とこのような特異的な養分環境については、今後追跡する必要がある。

外生菌根菌が形成する養分環境

菌根周辺部には水溶性無機養分が菌根根圏外に比べて多かった(図6)。菌糸密度の高いマットでは、特にその傾向が顕著であり、pHも酸性であった。外生菌根も土壌養分を無機化する能力をもつと思われる。またCa, Mg, Kなどの金属元素が多く窒素やりんが少ないのは、共生により樹体に速やかに移行するためと考えられ、養分の動態に果たす役割として菌根根圏は重要なサイトであると思われた。

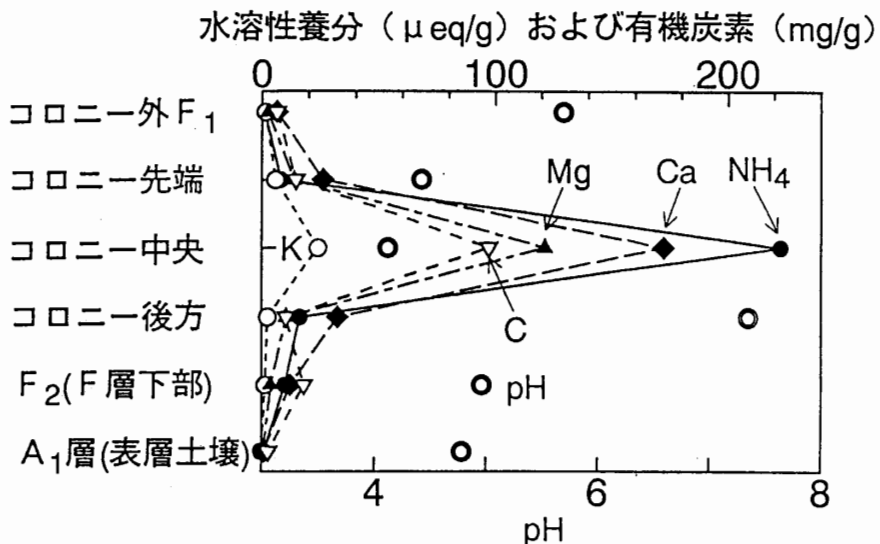


図2 白色腐朽菌コロニー周辺におけるマイクロ部位の養分環境の比較

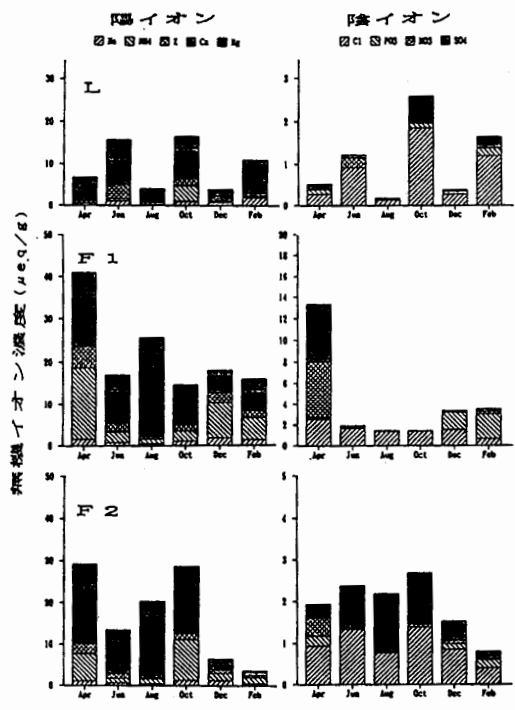


図3 堆積有機物中の部位別の水溶性無機イオン濃度(μeq/g)とpHの季節変動

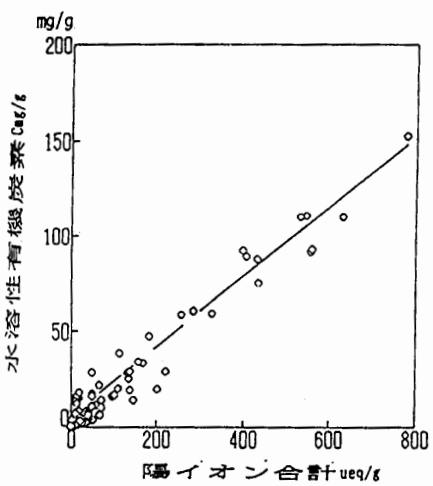
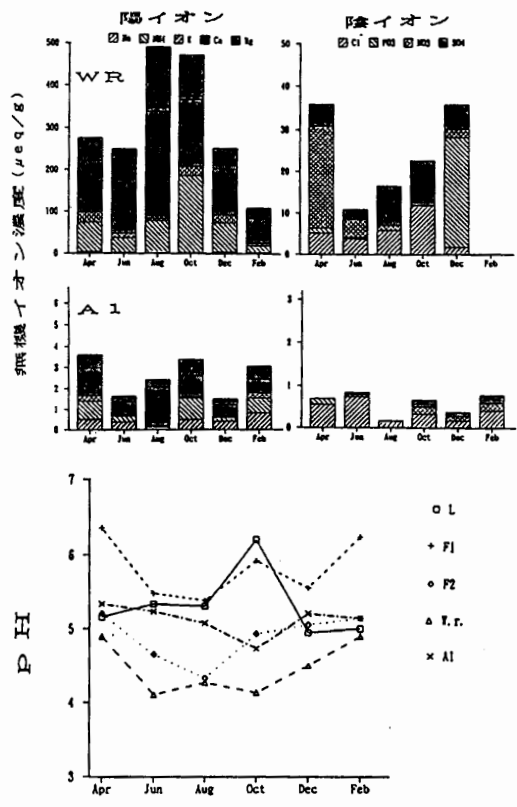


図4 水溶性有機炭素と無機陽イオン合計との関係

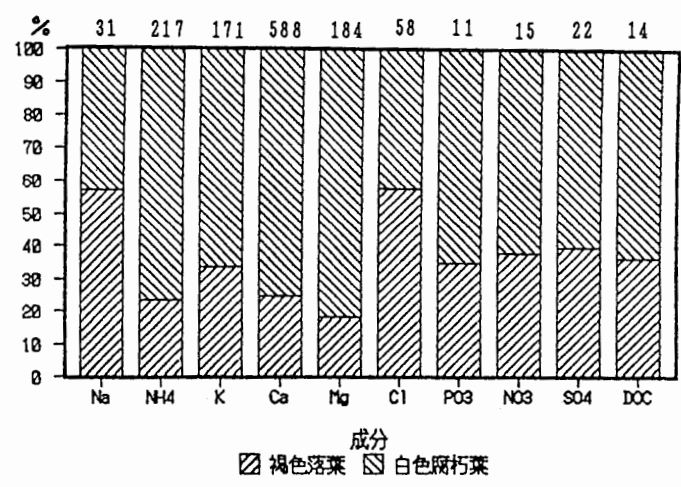
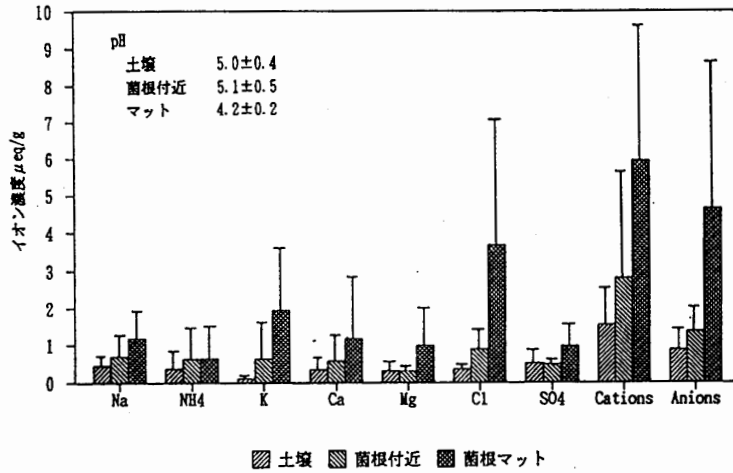


図5 単位面積当たりの水溶性無機塩類(mg/m²)と有機炭素量(g/m²)およびそれらの白色腐朽による割合

図6 外生菌根菌周辺の水溶性イオン濃度



まとめ

アカシデ芽生えは、極めて早い時点で共生菌の感染を受けていた。病原菌や根圏に誘導される微生物に先立つほどの迅速な感染系をもち、芽生えの生存に重要な役割を果たしていると考えられる。特にメラニンを形成し乾燥に強い黒色菌根の仲間が独占していた。この優位な形態は1年後も続いたが、根系が発達するとともに菌根の組成は多様化した。

落葉分解性のきのこがつくるコロニーは、養分濃度が極めて高く特異的で、かつ強酸性であり、このサイト自体は稚樹の定着を拒む。しかし、コロニー崩壊後には養分循環経路としてまた養分の供給地として重要な役割を担うと考えられた。

外生菌根の周辺では、水溶性養分が多く金属元素の蓄積が高かった。これに対し窒素やりんが少ないのは、共生により樹体に速やかに移行するためと考えられた。微生物の豊富な根圏は養分の動態に深く関わるとともに直接、間接的に稚樹の消長に強く関わっていた。

東北地方におけるスギの凍裂について

東北支所 育林部長 今川一志

はじめに

厳寒期に樹木の幹が縦方向に裂けることがある。この現象は凍裂と呼ばれており、北海道のトドマツに多く発生することがよく知られている。近年になり、スギにも凍裂が発生することが指摘されるようになったものの、その全容についてはまだ不明な点が多数残されている。凍裂が発生した樹幹の経済的な価値は著しく減少することは明らかであり、林業的には見過ごしにはできない問題である。そのような点から、東北地方におけるスギの凍裂について調査・研究を進めてきた。ここでは、これまでに得られた成果を報告する。

凍裂木の樹幹

凍裂が発生すると、その樹幹表面では縦方向に走り、樹幹内部では中心に向かう割れが出現する。その結果、形成層は傷つき、癒合組織が形成され、割れを塞ぐ。しかし、その癒合部は1年輪分の厚さしかないため、次の厳寒期に凍裂が再発生することが多い。この繰り返しにより、樹幹表面には割れに沿って山脈状の盛り上がりが見られるようになり、霜腫れ、あるいは「へびさがり」と呼ばれる(写真1)。

表1は樹幹表面に出現したへびさがりの平均地上高を示す。いずれも、地際部付近から上方2～3mまでの間にへびさがりが出現している。そのため、凍裂が発生した場合には、もっとも経済的に価値のある1番丸太に割れが入ることになり、凍裂問題の深刻さがよく分かる。なお、樹幹あたりの発生数は1カ所のものが大部分(86%以上)であるが、複数カ所で発生しているものもあった。

調査した全凍裂木樹幹における凍裂の発生方位別の頻度(%)を図1に示すが、南東から南西にかけて発生しているものが多かった。また、平坦地だけに限っても同様に、南方側に多く発生していた。一方、急傾斜地の林分についてみると、方位とは関係なく、傾斜下側(谷側)に多く発生していた(図2)。

凍裂木の材部には、凍裂による直接的な割れ以外にも、目回りや小さな放射方向の割れなど多数の割れがある(写真2)。そのような割れは凍裂の中央部に最も多く発生していた。なお、写真の樹幹には凍裂が2カ所発生しているが、一方は割れ

と癒合を繰り返しており、他方はすでに癒合している。

図3は凍裂木の含水率分布を示す。地上0.2mから3.0mまでの心材部はほぼ200%の高い含水率を示し、辺材と同じくらいに高い。通常、健全な心材含水率は50%前後なので、凍裂木の心材含水率はきわめて異常であることが分かる。なお、しばしば問題となる黒心材も同様に高含水率である。両者の関連性を検討することも必要である。



写真1 凍裂木の樹幹表面

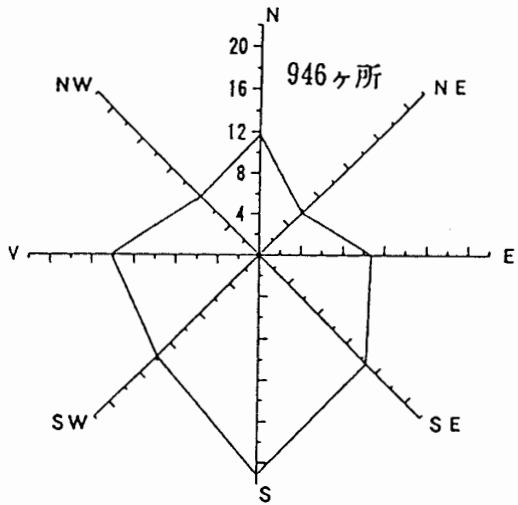


図1 凍裂の方位別発生率(%)

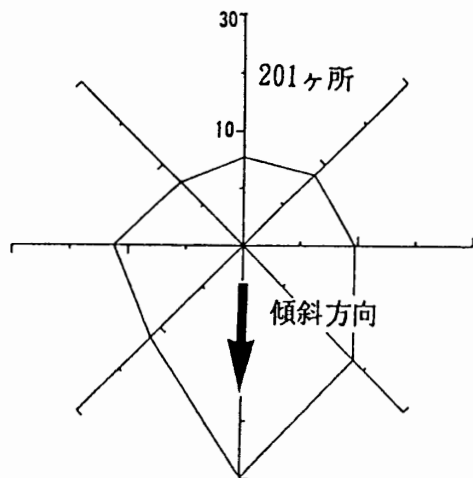


図2 傾斜地の発生方向(%)

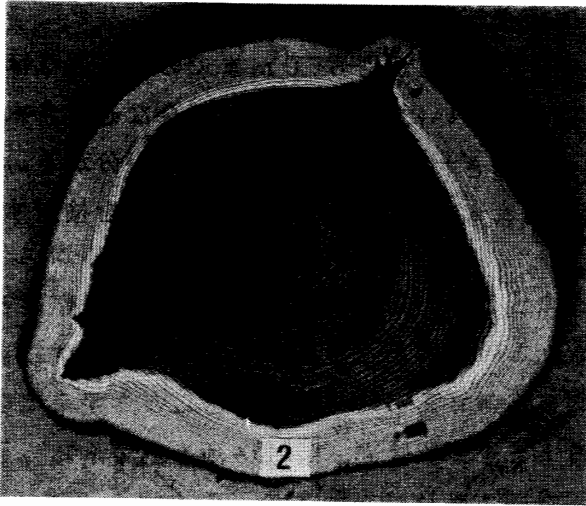


写真2 凍裂木の樹幹内部

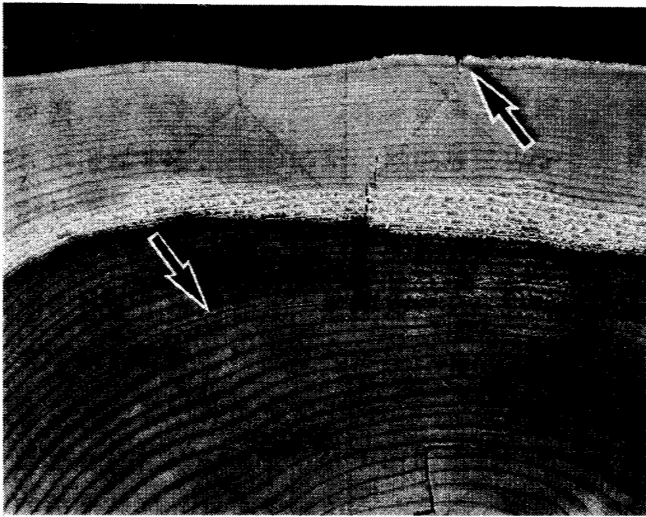


写真3 新凍裂の割れ

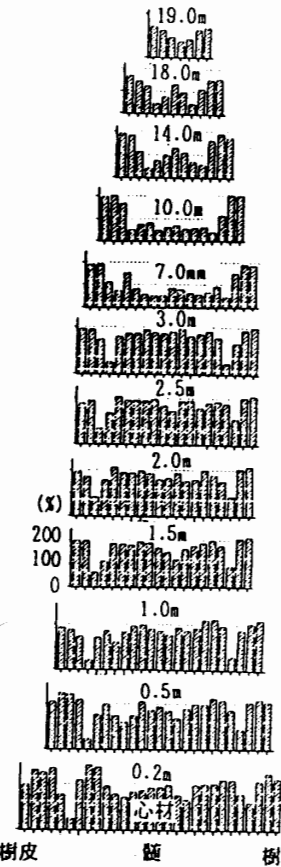


図3 凍裂木の含水率分布

表 1 凍裂の発生部位

調査地	林齢	地上高(cm)	凍裂木数
岩手県雫石	52	21~184	22
福島県相馬	60	32~220	24
岩手県前郷	70	40~221	78
" 滝沢	89	34~233	21
秋田県田沢	180	28~300	50

凍裂の発生実態

東北6県において、これまでに94林分を調査することができた。その結果をとりまとめて図4に示す。凍裂木の出現率は0～30%と幅広く変動していたが、東北全域を概括してみると、凍裂木は北に行くほど、奥羽山脈沿いほど多く出現する傾向にあることが分かる。なお、福島県では少々異なり、県内陸部や阿武隈山地にも比較的多く出現していた。林分が単純に平坦地あるいは傾斜地だけからなる場合には、凍裂木が出現する位置に特別の傾向は認められなかった。しかし、平坦ではあるが大小の石がある溪床堆積地とそれに続く傾斜地とからなる林地では、溪床堆積部に凍裂木が多く出現する例がしばしば見られた。

凍裂は壮齢木に発生すると言われている。そこで、林齢の異なる5林分について、凍裂木の有無を調査した(表2)。その結果によれば、44年生のものから凍裂木が出現していた。従って、大まかには40年生なかばから発生し始めると考えられる。また、固定試験地を設定し、毎冬新しい凍裂の発生を5冬にわたって継続調査したところ、凍裂は少数ではあるが、毎冬新たに発生していた。

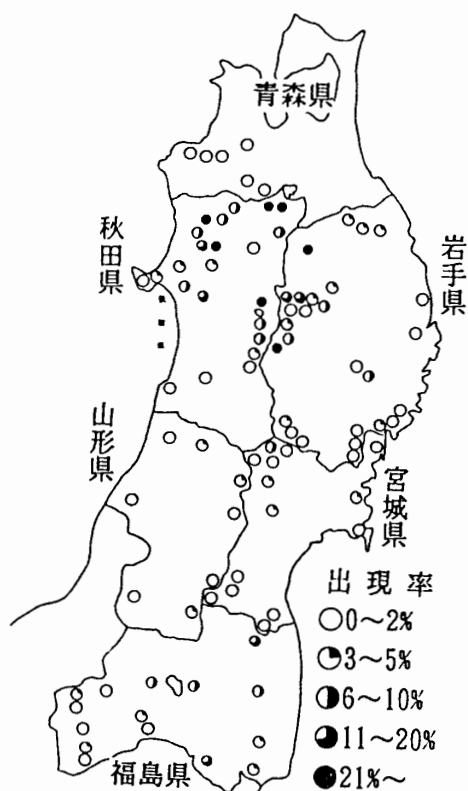


図4 凍裂木の出現状況

表2 林齢別出現率

林齢	凍裂木数	出現率	調査本数
20	0	0	140
32	0	0	216
44	2	1.3	151
47	15	9.3	161
60	43	11.9	361

調査地：岩手県雫石

凍裂の発生

新たに発生したばかりの凍裂木の樹幹内部を調査した。既存のものと同様にその心材は高含水率であったが、凍裂の割れは樹皮から心材外方部にあった目回りまでは達していたが、それよりも内部へは進んでいなかった（写真3）。しかも、目回りの周辺部は変色しており、この凍裂よりも先行していたように推定される。従って、この場合は高含水率状態の心材中にあった目回り部における水分の凍結・膨圧が凍裂発生の引き金になったものと考えられる。

また、全国から種子を集めたスギ種子産地試験地での調査によれば、表系の方が裏系のものよりも凍裂が多く発生していた。品種あるいは遺伝的な要因との関係についても検討する必要があるだろう。

問題点

凍裂が発生する根本的な原因は、低温下で心材中の水分が凍結した結果発生する膨圧によるものと考えられる。しかし、そのような異常な水分が心材中に集中するメカニズムは不明である。従って、そのメカニズムの解明、さらには高含水率下で凍裂を発生させる要因の究明が必要である。ただし、上述したように、目回りが凍裂発生のための引き金の一つとなりうることは考えられる。

現在のところ、凍裂回避のための有効な解決策を提示することはできない。そのため、凍裂が発生した場合には、樹幹のそれ以上の材質低下を防ぐために、その樹幹をできるだけ速やかに有効利用することが望まれる。

— MEMO —

樹木の3Dモデル化と成長の シミュレーション

関西支所 育林部 風致林管理研究室 野田 巖

はじめに

樹冠は枝の様々な張り出しにより3次元空間内に多様な輪郭形状を形成する。樹冠形を3次元座標で表現することは、樹木の成長に関する研究や森林景観シミュレーションなどで重要である。従来、樹冠形状を近似するモデルには放物線、楕円などの関数による回転体があるが、隣接木との競合のほか立地環境、気象要因などにより、樹冠形状が複雑になる広葉樹では、関数モデルで近似できるほど形状は単純でない。ここでは広葉樹に関する樹冠形成の時系列的な動きを明らかにするための基礎技術の一つとして、現実の林分樹冠構造を3次元空間内で近似、再現する研究を行った。なお、本課題は農林水産省の大型別枠研究「農林水産系生態秩序の解明と最適制御に関する総合研究」(バイオコスモス)の一環として行ったものである。

「数値樹冠モデル」の作成

立木樹冠の隔測により「数値樹冠モデル」(野田,1990)を作成し、コンピュータで3次元表示する全く新しい手法を開発した。それには、1)光波測距機とロータリー・エンコーダーを組み合わせた総合測樹装置を使用し複数の地点から樹冠輪郭を計測する。2)得られた計測データをコンピュータで処理する。その結果、次のことが分かった。1)広葉樹林の樹冠形は人工針葉樹林のそれに比べ、きわめて複雑な形をしている。2)従来の樹冠モデルは、関数が使用された簡単なもので、広葉樹の代表的な樹冠モデル(Koop,1989)と比べても、数値樹冠モデルでは樹冠の細かな枝条の張り出し等の特徴が再現される(図1)。

樹冠形状分析

いくつかの広葉樹の樹種毎の樹冠形の違いを明らかにするために立地環境の異なる氷ノ山、比良山でブナ *Fagus crenata*, ミズナラ *Quercus mongolica* の樹冠デ



図1 プナの数値樹冠モデルと関数樹冠モデルの例 (氷ノ山のブナ *Fagus crenata*, 左: 数値樹冠モデル, 右: Koop(1989)の方式による関数モデル)

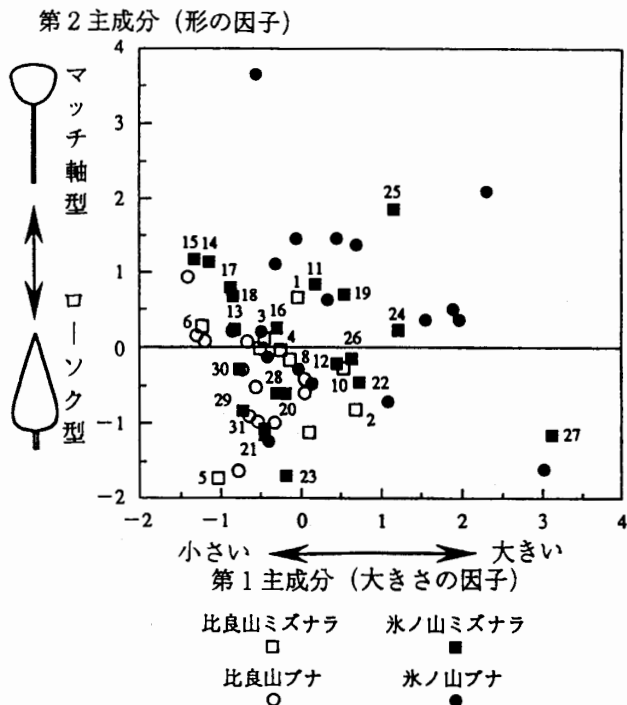


図2 樹冠形状分析結果 (主成分スコア散布図)

注) 图中数字は, ミズナラについてのサンプル番号。

一タの収集を行い、数値樹冠モデルから樹冠形状の樹種特性を明らかにするための解析を行った。樹木毎の数値樹冠モデルから得られる樹冠断面積の垂直分布などを変数にした主成分分析をもとに樹冠の大きさを表す因子と形の因子（マッチ棒型～ローソク型）で樹冠形状を類型化した（図2）。その結果、氷ノ山のブナは比良山のものに比べ樹冠形状のばらつきが大きい、全体に樹冠が大きく枝下高の高いほっそりした型が多かった。ミズナラはそれぞれ氷ノ山、比良山のブナと同じような形状を示したが、比良山のミズナラはブナよりも樹冠が大きく、氷ノ山のミズナラはブナより樹冠形状の多様性は少なかった。すなわち、樹冠形状分析の結果、ブナ、ミズナラについて氷ノ山と比良山では樹冠形状の違いを認めることができた。ブナとミズナラの違いについては大きな差は認められなかった。

林分3次元モデルと日照、成長シミュレーション

嵐山試験地NO.1A（498㎡、図3）を対象に、数値樹冠モデルを使って林分の樹冠構造を単木樹冠の集合として3次元空間内でシミュレーションする技術の研究開発を行った。1990年2月にヤマザクラ Prunus Jamasakura 植栽のため林冠上層木の伐採後、ギャップができた。伐採前の樹種はウワミズザクラ Prunus Grayana、カエデ Acer palmatum、イヌガヤ Cephalotaxus Harringtonia である。その結果、任意の視点からの様子を視覚化可能になったほか、太陽軌道を組み込むことで任意の月日における日照がシミュレーション可能になった（図4、5）。得られた林地の平面正射投影図（縮尺：1/332.14）からプランメータで試験地面積を計測したところ4回計測平均誤差0.24%であった。これから、上で得られる平面正射投影図は樹冠占有面積等の面積算出に利用できることが分かった。

成長をシミュレーションするために試験地林分の成長様式を相対照度と樹高成長の関係から陽樹(A)、陰樹(C)、両者の中間(B)の3区分について簡単なモデルで表現した（図6）。ヤマザクラの相対照度と樹高成長の関係は針広混交林誘導試験（関西支所造林研）の成果を参考にした。他の樹種は、研究成果がなく仮説的に決定した。試験地が北斜面で太陽光の直接的な影響が少ないため、相対照度は、直射光を考慮せずギャップに基づく散光相対照度（浅野,1983）で求めた。相対照度計算は試験地斜面上部のギャップから行い、光透過率を表す α 値は主要樹種が樹冠の光透過率の高いカエデであるため0.1とした。図7に試験地の立木位置と相対照度を示す。樹木の伸長に伴い樹木が受容する相対照度は異なるが、

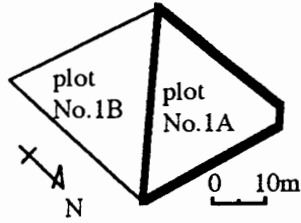


図 3 嵐山試験地No.1の平面図

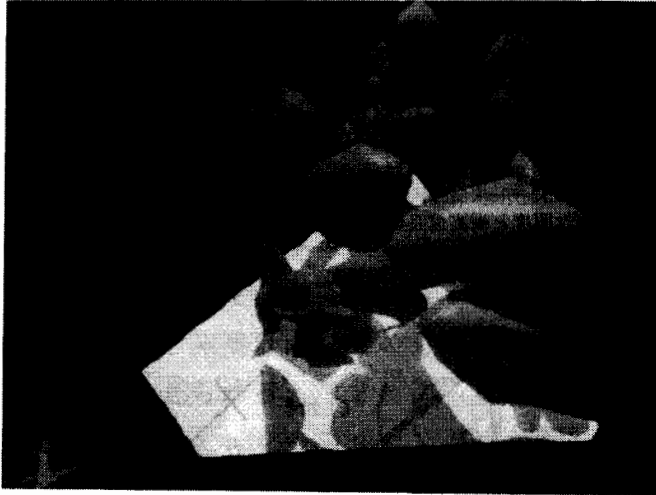


図 4 嵐山試験地No.1Aの林分樹冠シミュレーション（北方向からの鳥瞰の様子、日照は夏至12時、樹冠の色区分は赤:カエデ、ピンク:ヤマザクラ、茶:ケヤキ、緑:その他）

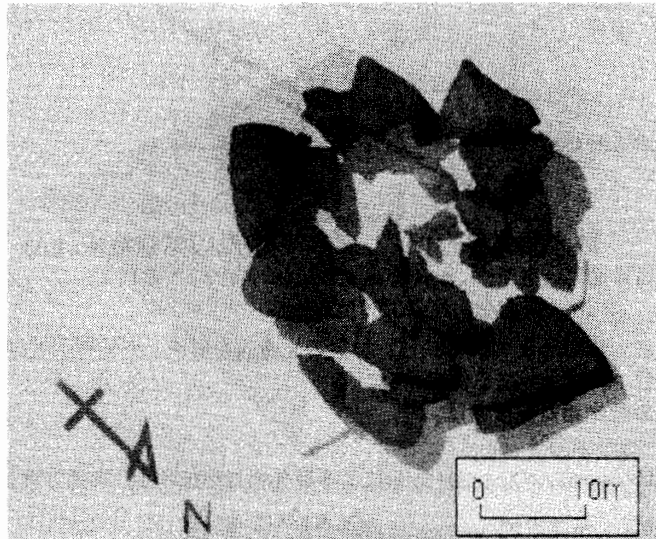


図 5 嵐山試験地No.1Aの林分樹冠シミュレーション（平面正射投影図、日照は夏至12時、樹冠の色区分は 図 4 と同じ）

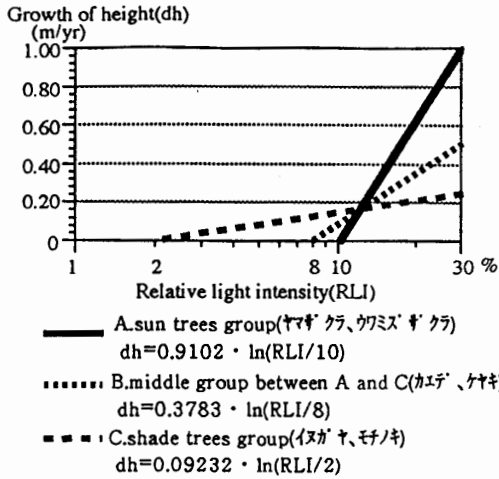


図6 散光相対照度と樹高成長の関係モデル

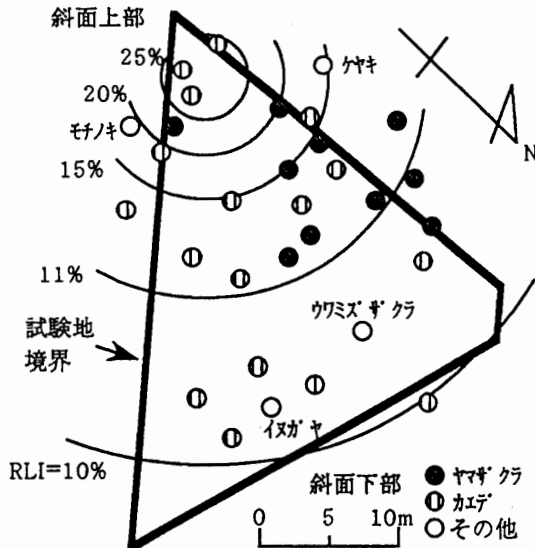


図7 散光相対照度RLIと立木位置(嵐山試験地No.1A)
 (注)算定データ:H=10m,R=5m, $\alpha=0.1$ (モデル式:浅野1983)
 試験地斜面平均傾斜36.2度。

(参考) 散光相対照度の計算式は、林冠の光透過を考慮した浅野の式(浅野:ブナ林の再生過程,80-82,1983)を使用した。

浅野による散光相対照度 U' は、

$$U'=(1-\alpha)U+\alpha$$

但し、 U =Monsi & Oshima(1955)による散光相対照度 U は、次式で求まる。

$$U = \frac{1}{2} \left| 1 - \frac{(H/R)^2 + (D/R)^2 - 1}{\sqrt{\{(H/R)^2 + (D/R)^2 + 1\}^2 - 4(D/R)^2}} \right|$$

R =ギャップ半径。

H, D =測定点から林冠までの高さ、ギャップの中心までの距離。

α =葉の透過率、微小ギャップの面積、周辺の林冠構造などで決る定数。

ここでは樹冠の成長動態を図6の成長モデルから求めた年成長率 r ($r=(dh+H)/H$, dh ; 樹高年成長量, H ; 現在の樹高) で垂直、水平方向の成長に適用した。樹冠の成長率はシミュレーション期間中一定とした。その結果、ギャップに近い樹冠ほどよく成長し、8年後ではほぼギャップが閉鎖した(図8)。

おわりに

残された問題点; 今回行った成長シミュレーションモデルは、暫定的なものであり、本来、樹冠相互の成長に応じて変化する光環境を組み込み、成長動態を相互の競合関係が考慮されたものにする必要がある。

期待される応用面; 1) 数値樹冠モデルから得られる樹冠形状を表すデータによって、天然林の成長に関する事象分析への応用が考えられる。2) 陽樹を下層に植栽する際の適地の選定、光条件の好ましい適地がないときはどの上層木を伐採すればよいか、など施業計画立案の意志決定に有効な事前評価、将来の森林景観予測への応用が考えられる。3) 適当な成長モデルを与えることで、天然林の時系列的な動態をシミュレーションできるため、林内照度の変化、気象害や伐採などの攪乱因子により天然林生態系が受けるインパクトの事前評価も可能となる。

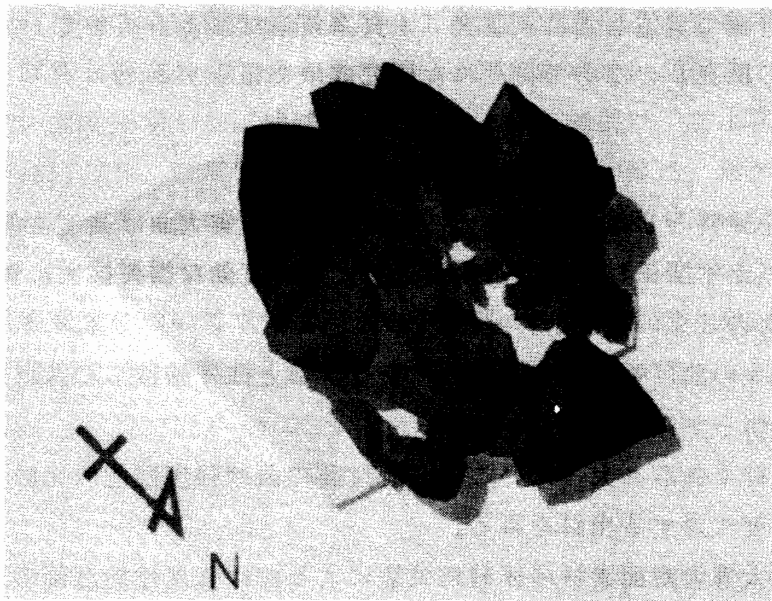


図8 嵐山試験地No.1Aの林分成長シミュレーション(8年後、平面正射投影図、日照は夏至12時、樹冠の色区分は図4と同じ)

大断面素材（丸太・たいこ材・製材）

の構造材料としての利用のために

木材利用部 構造利用科 材料性能研究室長 中井 孝

はじめに

木材は軽い割に強い構造用材として使われてきている。木材需要の大宗は建築用材である。近年になって、二階建て小住宅の規模にとどまらず、三階建て共同住宅や大規模木構造の建築が実現するようになってきた。主として経験と実績によって安全性が確かめられている小住宅と異なり、構造計算を要するこれらの大規模木構造の一層の推進には、木材供給者側で、材料の強度性能を保証することが極めて重要になっている。

かつては、無欠点の小試験体による基準強度が重要視されていたが、実大材の製材品の強度試験結果に基づいて許容応力度を定めるように考え方が変わってきた。丸太やたいこ材は製材品より強度性能が高いのではないかとの視点から、平成2年度より3ヶ年計画で実施した特別研究「木質系新素材による高強度・高耐久環境調和型架構技術の開発」のなかで得られた研究成果を報告する。

研究の目的

スギ中目材を原料とした平角や丸太、たいこ材等の実大曲げ強度性能を把握し、建築・非建築（土木関係）分野での構造部材として有効な需要拡大に資することを目的として、次の3点の検討を行った。

- (1)平角や丸太の曲げ強度性能（曲げヤング係数と曲げ強度）に及ぼす含水率の影響を明らかにする。
- (2)大断面素材である丸太・たいこ材・製材品の曲げ強度性能の比較を行い、許容応力度に対する指針を得る。
- (3)平角や丸太等大断面素材の非破壊試験による曲げ強度性能評価の可能性を探る。

供試材料

供試材料としては、約50～60年生のスギの2～4番玉から、末口径が約22 cmで長さ4 mの丸太を204体入手した。まず平角（12×24×400 cm）の曲げ強度性能に及ぼす含水率の影響をみるために、生材の試験体と、乾燥材の試験体とをそれぞれ50体ずつ選んだ。

丸太・たいこ材の場合も同様に、生材、乾燥材の丸太2グループ、乾燥材のたいこ材グループ、合計3グループに仕分けた。1グループあたりの試験体数は34体であった。

平角、丸太の曲げ強度性能に及ぼす含水率の影響

平角の生材と乾燥材の曲げヤング係数（ MOE (tf/cm^2))、曲げ強度（ MOR (kgf/cm^2))の結果を図1、図2に示した。両図の横軸は、値の小さいものから順に並べ、最も高い値を100パーセント値となるように配置したものである。図1で明らかのように、曲げヤング係数は生材と乾燥材との間でほぼ一様に上昇する関係が得られた。同様に平角の曲げ強度を生材と乾燥材との間で比較すると、図2に示したように試験体の半数（50パーセント値）までは、差が認められず、残りの半数で曲げ強度が上昇していることが分かる。このことは、製材品の品質によって、生材から乾燥材になるのに伴う曲げ強度の上昇程度が異なることを示唆している。繊維飽和点を28%と仮定して、含水率の変化に伴う曲げヤング係数、及び曲げ強度の変化を図3、図4に示した。曲げヤング係数、曲げ強度は、含水率1%の変化に対してそれぞれ1.06%、0.77%の変化を示した。これらの値は、無欠点小試験体によって求められた結果（曲げヤング係数では2%、曲げ強度では4%）より著しく低い。

同様の関係を丸太について求めた結果を表1に示した。このとき、含水率1%の変化に対して曲げヤング係数は0.78%、曲げ強度は0.71%の変化を示した。

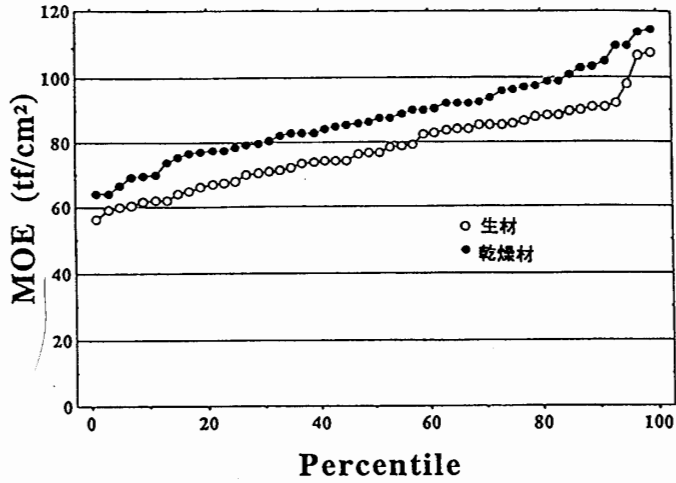


図1 スギ平角の生材と乾燥材の曲げヤング係数 (MOE) を正規化した分布

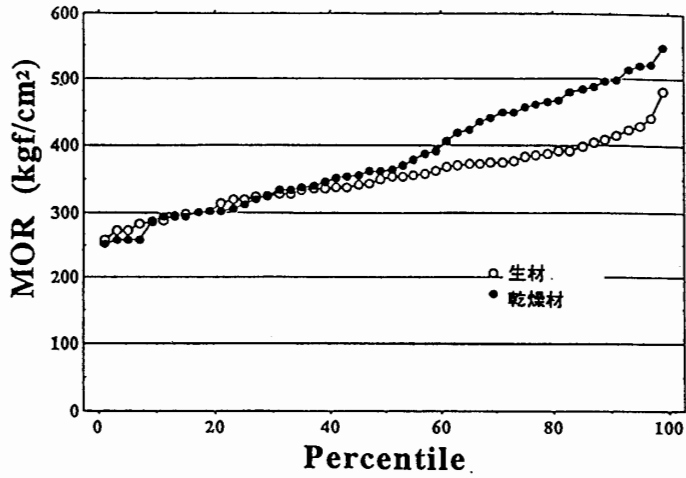


図2 スギ平角の生材と乾燥材の曲げ強度 (MOR) を正規化した分布

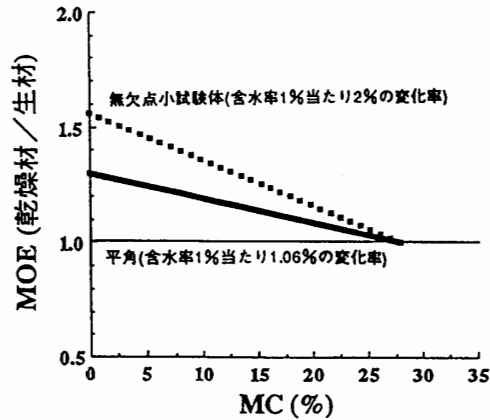


図3 含水率 (MC) の変化に伴うスギ平角と無欠点小試験体の曲げヤング係数 (MOE) の変化

丸太・たいこ材・製材品の曲げ強度の比較

前項で得られた結果を用いて、含水率を15%（気乾材）時の値に換算した、丸太・たいこ材・製材品の曲げヤング係数と曲げ強度の相対的關係を表2に示した。たいこ材の幅は12cmで、丸身の残った狭い面、鋸断された広い面に負荷した場合をそれぞれたいこ材edge、たいこ材flatと称している。

曲げヤング係数は一辺が12cmの正角の製材品の値を基準にとると、丸太・たいこ材edgeで13~20%高い値を示した。曲げ強度では、許容応力度の誘導に使われる5thパーセンタイル値で比較すると、製材品：たいこ材flat：たいこ材edge：丸太で1.0：1.1：1.2：1.3の相対的關係が得られた。このことは、丸太・たいこ材の許容応力度は、製材品のそれよりも高くとれることを意味している。

大断面素材の非破壊試験による曲げ強度性能評価の可能性

平角や丸太等の大断面素材の密度、及びハンマーによる打撃音の基本振動周波数を求め、動的縦弾性係数（ $E_{fr}(tf/cm^2)$ ）を算出し、この値を曲げ強度予測のパラメータとした結果を図5、図6に示した。これらの結果は、 E_{fr} を実測すれば曲げ強度の予測が実用的に十分可能であることを示している。

おわりに

以上の結果より、

- (1)含水率が大断面素材の曲げ強度性能に与える影響は無欠点試験体で得られた結果よりも低いこと、平角の曲げ強度は製材品の品質によってその影響の程度が異なること
- (2)丸太やたいこ材の許容応力度を製材品のそれよりも高く設定できる可能性があること
- (3)動的縦弾性係数をパラメータとして大断面素材の曲げ強度性能評価が可能であること

が明らかになった。今後さらに類似の基礎的データを他の樹種や、例えば縦圧縮強度性能等について蓄積していく必要がある。

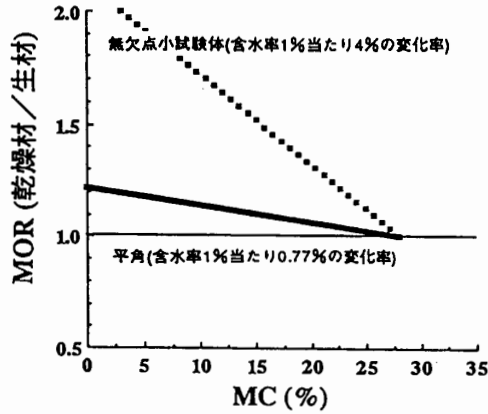


図4 含水率（MC）の変化に伴うスギ平角と無欠点小試験体の曲げ強度（MOR）の変化

		平均値	変動係数(%)
含水率	生材	134.5	18.6
MC (%)	乾燥材	20.1	24.5
動的ヤング係数	生材	92.1	12.2
Efr (tf/cm ²)	乾燥材	99.9	13.2
曲げヤング係数	生材	84.4	15.2
MOE (tf/cm ²)	乾燥材	89.6	18.6
MC1%当たりの変化率		0.78	
曲げ強度	生材	497	12.3
MOR (kgf/cm ²)	乾燥材	525	16.9
MC1%当たりの変化率		0.71	

表1 スギ丸太の生材と乾燥材の曲げ強度性能

		丸太	たいこ材edge	たいこ材flat	製材品
曲げヤング係数	平均値	99.9	106.2	90.8	88.4
(tf/cm ²)	比	1.13	1.20	1.03	1.00
曲げ強度	平均値	543	562	517	478
(kgf/cm ²)	5th%ile値	429	396	367	326
	5th%ile値/3	143	132	122	109
	比	1.31	1.21	1.12	1.00

表2 スギ丸太・たいこ材・製材品の曲げ強度性能の相対的関係

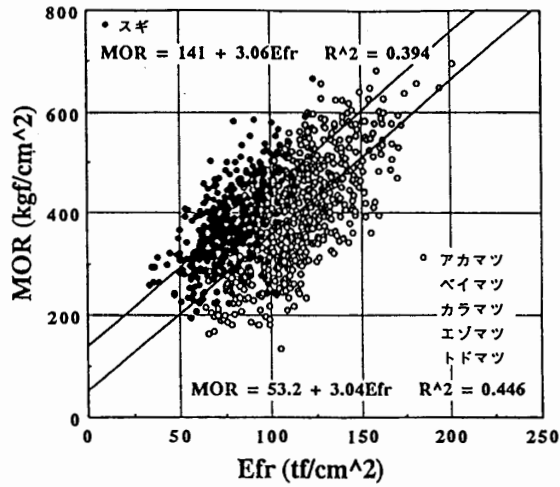


図5 平角（スギ，及びその他の樹種）の動的縦弾性係数（ Efr ）と曲げ強度（ MOR ）との関係

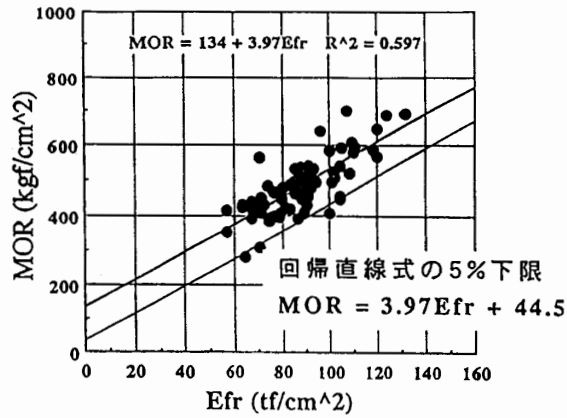


図6 スギ丸太（乾燥材）の動的縦弾性係数（ Efr ）と曲げ強度（ MOR ）との関係

熱帯林の質の向上を図る

生産技術部 育林技術科 植生制御研究室 落合 幸仁

はじめに

ブルネイは東南アジアの島嶼部に浮かぶボルネオ島の北西部に位置する面積が千葉県程度の小国である(図1)。この国の経済は石油と液化天然ガスに大きく依存し、木材に依存する割合は少ない。そのため、比較的多くの森林が保存されている。しかし、国の発展にともない、木材利用や宅地化などの開発のために伐採され質的に劣化した森林も増加している。このような森林の質的向上のためにこの地域の優占樹種であるフタバガキ科リュウノウジュ属(*Dryobalanops*)樹木2樹種を用いた造林試験を行った結果を報告する。本試験は国際協力事業団とブルネイ森林局の協力のもとに行われた。

ブルネイのリュウノウジュ属樹木

フタバガキ科樹木は全世界に17属570種あまりあるといわれている。このうちブルネイには170種ほど分布している。リュウノウジュ属樹木は、スマトラ等、半島マレーシア、ボルネオ島などに7樹種分布するといわれブルネイには4樹種分布している。それぞれの現地名を、カプール プリンギ(*D. aromatica*)、カプール パジ(*D. lanceolata*)、カプール ブキット(*D. beccarii*)及びカプール パヤ(*D. rappa*)という。前3者は低地混交フタバガキ林に分布し、残り1種は清流湿地林に分布する。本報告は前2者を対象として行った。

リュウノウジュ属2樹種の棲み分け

リュウノウジュ属樹木の葉の形態は非常に似ているため、種子と一緒になければ、同定は困難である。そこで、ブルネイ全土でリュウノウジュ属樹木の開花が起こった1992年5月から7月にかけて、ブルネイ東部の飛び地であるテンブロン地区のブキットパトイ(Bukit Patoi)、ブキットプラダヤン(Bukit Peradayan)及びクアラブラロン(Kuala Belalong)にて登山道沿いのリュウノウジュ属樹木の同定を行った。同時に、胸高直径(DBH)、標高、斜面の角度などを測定した。

その結果から、*D. aromatica*と*D. lanceolata*が標高によってきれいに分布域が分

かれていることが分かった(図2)。すなわち、ブキットパティにおいては標高約180mより上にカプールプリング、下にカプールパジが現れる。また、ここでは両樹種の境界付近に両樹種の特徴を持つ個体が現れる。ブキットプラダヤンは150m前後がその境界と思われる。また、クアラブラロンではカプールプリングが発見されなかったが、カプールパジが120m以下に分布している。ちなみに、*D. beccarii*は*D. lanceolata*と同じ標高に分布しているが、開花時期が前2樹種より1週間程度遅れるようであった。これらの調査地、特に、ブキットパティとブキットプラダヤンでは、標高によって地形も異なり、両樹種の分布の違いは地形の分布に対応していると思われた。つまり、*D. aromatica*が分布するのは広く、平坦な尾根上であり、*D. lanceolata*が分布するのは斜面上である。両樹種の各個体から斜面上部と下部への角度はこの分布する地形の違いを反映して、*D. aromatica*のほうが小さい角度が多く、*D. lanceolata*のほうが大きい角度の斜面上に分布する個体が多い。つまり、前者はより平坦な斜面上に、後者はより急斜面上に分布している(図3)。前者は後者に比較してより乾燥しやすい土壌に分布しているといえる。

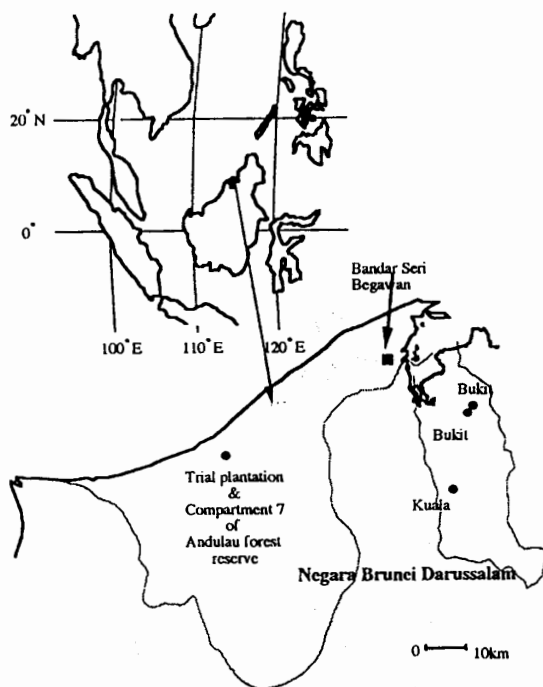
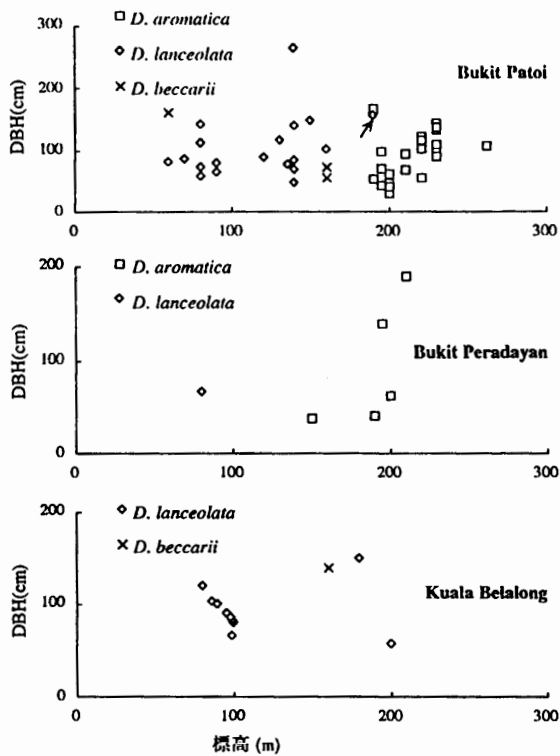


図1 ブルネイの地図



ブキットパトイの図中に現れる矢印で示された個体はカプールブリ
 ングとカプールバジ両者の形態の特徴が見られた。

図2 標高と胸高直径

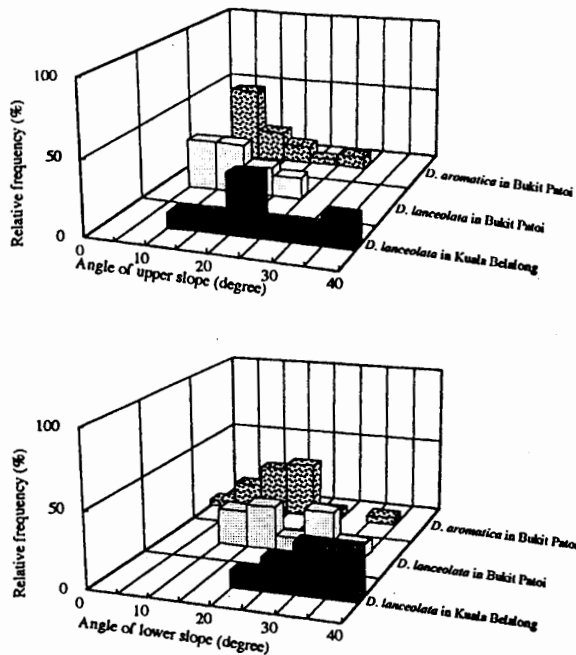


図3 両リュウノウジュ属樹木の斜面上部の角度の
 下部の角度の相対頻度

伐採の影響

天然林内に更新した*D. aromatica*稚樹の空間分布から、伐採の影響を検討したい。アンドウラウ森林保護区7林班の稚樹の空間分布には次の2つの特徴がみられた。

- 1) 尾根状に集中している。
- 2) 母樹の下に集中している。

この二つの特徴のうち、第一の特徴から木材を運ぶトラックのための林道により稚樹が破壊される可能性が示唆される。つまり、メンテナンスが容易なので、林道は尾根上に建設されやすい。このため、尾根近くに多く分布する稚樹が破壊される危険性が高くなる。また、第2の特徴から伐採された母樹を運ぶためのトラクターが母樹の下に多く分布する稚樹を破壊する可能性がある。ブルネイにおける伐採方法はチェーンソーによって、伐採、玉切された後、トラクターがきてワイヤーにつないで運んで行くが、その際に伐採された母樹の下に多く分布する稚樹が破壊される危険性が考えられる。このように、稚樹の空間分布より伐採によって有用樹が少なくなり質的な劣化の起こる可能性が示唆される。

リュウノウジュ属樹木2樹種の植栽適地

前述のように、*D. aromatica*は斜面上部の平坦で広い尾根上に、*D. lanceolata*は斜面中部の急斜面上に分布する。この2樹種を伐採により質的な劣化を起こした二次林に植栽した。前者の天然分布する地形に似た尾根上に、大きさ20m×20mと10m×10mの人工的なギャップを伐開し、両樹種を同時に植栽した。また、後者の天然分布する地形に似た急斜面上に同じく20m×20mと10m×10mの人工的ギャップを伐開し、両樹種を植栽した。この結果から両樹種とも大きいギャップ内での成長がよかった(図4, 5)。斜面上部に分布する前者は斜面上部でも中部でも比較的同じような成長をするが、斜面中部に分布する後者は斜面中部でしか成長しないことが分かった(図4, 5)。このように、成長を促進するためには大きく樹冠を伐開する必要がある。また、樹種によって植栽のための適地があることも分かった。

まとめ

天然林の稚樹の空間分布から伐採により質的な劣化を起こす可能性が示唆された。質的な向上を目指すための植林が成功するためには二次林を大きく伐開し、植栽される樹種の特性を理解したうえで適地に植栽する必要がある。

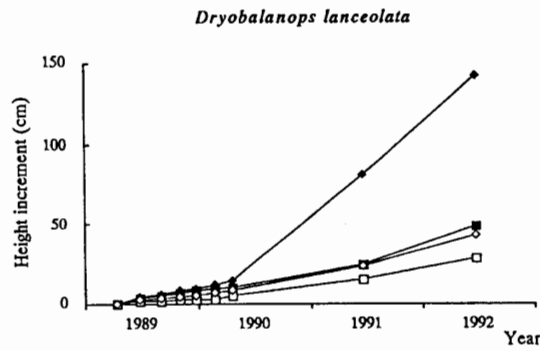
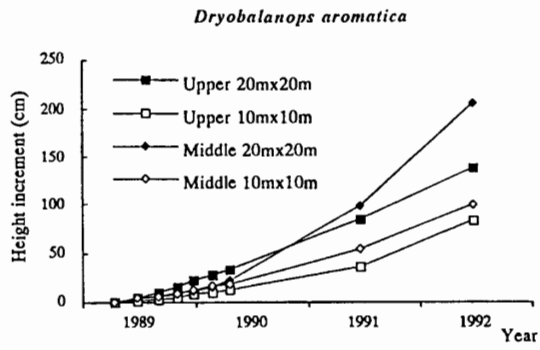


図4 ギャップ内に植栽された両樹種の樹高の増加

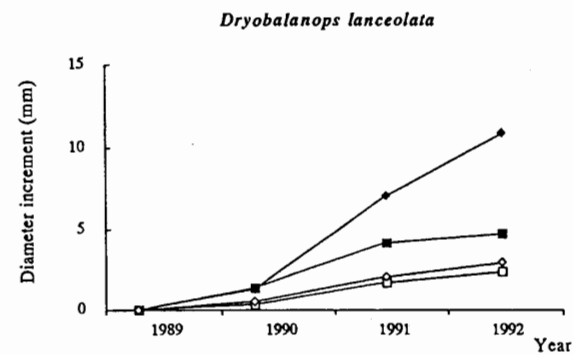
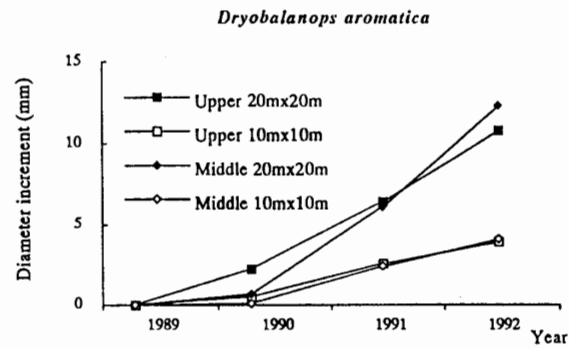


図5 ギャップ内に植栽された両樹種の地際直径の増加