

送風実験によるカラマツ風衝樹作成の試み

後藤義明・鈴木 覚・吉武 孝（森林総研）

要旨：風によって樹形が流線形状に曲がった偏形樹は風衝樹と呼ばれ、風衝樹の分布と偏形の大きさから山地における卓越風向や風速の推定が行われてきた。本研究では風衝樹の形成過程を明らかにする目的で、実験により人工的に樹木に強風をあて、カラマツの風衝樹形を再現することを試みた。カラマツの苗木に常時風を当てる実験（固定実験区）と、送風機を回転させて間欠的に風を作用させる実験（回転実験区）を並行して行った。固定実験区ではすべての個体に著しい偏形が生じ、風衝樹形を再現することができた。回転実験区でも送風機に近い列の個体には樹木に偏形がみられた。しかし固定実験区で9 m/s の風を常時当て続ける実験を行った個体でも、有意な成長の低下はみられず、枯死することもなかった。カラマツは樹木を偏形させることで、強風地での生育を可能にしていると考えられた。

キーワード：カラマツ、風衝樹、偏形、送風実験

I はじめに

風が樹木の形態や分布に与える影響が甚大であることは経験的に理解されてきた。たとえば、常風の強い地域で樹木は風下側に大きく偏形し矮小化するし、海岸林では汀線に近いほど樹高が低く偏形が強くなるなど、連続的な偏形の推移が観察される。強風地には風に強い特殊な樹種からなる群落が分布することが知られており（4），風は植物の成長を制御する重要な因子であると考えられている（2）。

風によって樹形が流線形状に曲がった偏形樹は風衝樹と呼ばれ、風衝樹の分布と偏形の大きさから山地における卓越風向や風速が推定されてきた（6，7，8）。ポプラやカラマツ、ダケカンバ、ミズナラ、モミ類、トウヒなどが、樹形から卓越風向を推定しやすい樹種として知られている（1）。風衝樹を山地の風の分布を把握する手段として用いる場合、風衝樹の成因を厳密に検証し、風衝樹が示す風の内容を明確に押さえる必要がある（5）。しかし、これまで樹木に偏形をもたらす風条件や風衝樹が生じる過程を定量的に示した研究例は少なく、風衝樹の成因の検討は不十分なままである。本研究では風衝樹の形成過程を明らかにする目的で、実験により人工的に樹木に強風をあて、風衝樹形を再現することを試みたものである。

本研究は、科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究 課題番号 19658063）により実施した。

II 材料と方法

実験には長野県産のカラマツ苗木（2年生、平均軸長44.0cm）を用いた。苗木に送風機で強風を当て、人工的に風衝地を再現した。苗木は同心円状に4列に配置し、送風機を円の中心に設置して360°回転を続けることにより、複数の樹木を同じ風条件下において（回転実験区、図-1）。送風機のファンの直径は490mmであり、風量は147m³/minである。送風機は7.5秒で1回転するよう調整した。苗木と送風機の間に別の苗木が入らないように、苗木は螺旋状に配置した。苗木の本数は1区につき16本とし、2区の実験区を設けた。送風機からの距離（2m, 3m, 4m, 5m）によって、風速の勾配を作ることができ、多様な風条件を同時に実現することができる。この実験とは別に、送風機を固定して苗木に常時風を当てるという実験も並行して行った（固定実験区）。固定実験区では送風機からの距離を1m, 2m, 3mの3列とし、送風機と苗木を直線上に配置した。したがって固定区では2列目以降の苗木は前列の苗木の陰に入ることになる。送風機は回転実験区と同じものを使用し、苗木の本数は1区につき3本とした。固定実験区は3区設けた。このほか風を作用させない対照区も設置した。対照区の苗木の本数は19本とし、対照区は1区とした。ほぼ1ヶ月おきに苗木の軸長と地際直径を測定するとともに、写真（上および側面からの2方向）を撮影した。軸長および地際直径の相対成長率を以下によって求めた。

Yoshiaki GOTO, Satoru SUZUKI, Takashi YOSHITAKE (For. and Forest Prod. Res. Inst., Ibaraki 305-8687)
An attempt to make wind-shaped larch trees (*Larix kaempferi*) using an electric fan.

相対成長率 = (終値 - 初期値) / 初期値
実験は森林総合研究所の苗畑で 4 月下旬～12 月下旬に行なった。

III 結果

実験に用いた送風機の風速分布を図-2 に示した。回転実験区での風速分布(図-2 a)では、1列目(2 m)で 100 cm の高さで約 8.5 m/s であり、4列目(5 m)では 5 m/s ほどに落ちている。風が強く当たる範囲は、概ね 40～120 cm の範囲で、地面に近いところや 120 cm 以上のところでは風速が落ちていた。固定実験区(図-2 b)では、1列目では 9 m/s 以上の風速になっているが、2列目以降の苗木は前列の陰になるため、3列目(3 m)では 5.3 m/s に低下していた。

送風を止めて側面から撮影した写真から読み取った苗木の主軸と枝の分布の1例(実験開始時と実験開始8ヶ月後)を図-3 に示した。固定実験区では送風直後から主軸が風下側に傾いた(図-3 a)。風上側にあった2年生の枝は風下側に著しく屈曲して伸長し、新枝もすべて風下側に向けて成長した。主軸の傾きよりも枝の屈曲が大きくなる傾向があった。固定試験区のすべての苗木で主軸の傾きや枝の屈曲がみられたが、送風機に近い列の個体ほどその度合いが大きくなっていた。枝に枯れが生じることはほとんどなかった。回転実験区でも送風機に近い1列目の個体は枝や主軸が風下側になびく様子が観察できた。回転実験区の2列目では、主軸には大きな変化がないものの、枝が風下側に屈曲していた(図-3 b)。しかし送風機から遠い3, 4列目の個体や対照区の個体では、主軸の偏形や枝の屈曲はみられなかった(図-3 c, d)。

軸長および地際直径などの実験区の苗木も実験開始から約5ヶ月間は増加を続けた。図-4には実験開始より5ヶ月後の相対成長率を示した。軸長、地際直径ともに固定実験区の1列目で小さい傾向があったが、相対成長率を対照区と比較したところ、回転実験区と固定実験区のどちらにおいても対照区と有意な差は認められなかつた(Dunnett の逐次棄却型検定法)。すなわち、風を当てることでカラマツの苗木の成長に変化が出ることはなかつた。

側面から撮影した苗木の写真から枝葉の投影面積を求め、風下側と風上側に分割して投影面積全体に占める風下側面積を算出した(図-5)。固定実験区(b)では、実験開始後の1～2ヶ月で風下側の占める割合が大きく増加し、1列目では1ヶ月後には対照区と有意な差(Dunnett の逐次棄却型検定法, $p < 0.05$)が認められた。同様に固定実験区の2列目は2ヶ月後、3列目は4

ヶ月後に有意差($p < 0.05$)があつた。これに対し回転実験区(a)では固定実験区に比べて変化が少なく、1列目と2列目で徐々に風下側投影面積が増加したが、3列目、4列目は実験期間を通して投影面積にほとんど変化がみられなかつた。1列目は実験開始の5ヶ月後に、2列目は6ヶ月後に対照区と有意な差($p < 0.05$)がみられた。これらの傾向は上から撮影した写真でも同様に認められた。

IV 考察

風衝樹はその成因により二つのタイプに分類される(5, 9)。Type I は、幹が垂直で風上側の枝が風下側に強く曲げられたもので、成長期間の卓越風の機械的な作用によるとされる。これに対し Type II は、幹が垂直で風上側の枝が枯れ落ちたもので、冬季の雪や凍雨を伴う強い卓越風の作用によるとされている。I の例としてカラマツ、キタゴヨウが、II の例としてオオシラビソ、シラビソ、ウラジロモミ、トウヒ、キタゴヨウ、ツガ、コメツガがあげられている。本研究は4月下旬以降の成長期間に行ったものであり、本実験によりカラマツによる Type I の風衝樹形を実際に再現することができた。

本実験で固定試験区ではすべての個体に著しい偏形が生じた。回転実験区でも1, 2列目の個体には樹体に偏形がみられた。偏形が生じたことは投影面積の解析からも裏付けられている。すなわち回転実験区のように間欠的に風を作用させた場合でも、その影響が現れることが実証された。カラマツは風の影響に鋭敏な樹種であり、平均風速 3 m/s 以上の場所では、偏形や樹幹の偏心が起きるとされている(3)。固定試験区では3列目でも 5 m/s 以上の風速であり、偏形が生じるのに十分な風速だったと考えられる。一方で、固定試験区の1列目のように 9 m/s の風を常時当て続ける実験を行なった場合でも、カラマツの苗木に有意な成長の低下はみられず、枯死する個体もなかつた。このことは、カラマツは樹体を偏形させることで、強風地での生育を可能にしていくと考えることもできる。植物の耐風性に関する知見は経験的なものが多く、実証的な資料は乏しいのが現状である。今後は、実際に風衝樹が成育している場所での詳細な気象観測や、他樹種での同様の実験を通じた比較により確認していく必要があるだろう。

引用文献

- (1) 荒木眞之 (1995) 森林気象. 203pp., 川島書店, 東京.
- (2) 古川昭雄 (1978) 大気と植物. (環境植物学. 田

- 崎忠良編, 271pp., 朝倉書店, 東京). 88~120.
- (3) 井上桂 (1965) カラマツの常風害. 森林立地 6(2) : 10~12.
- (4) 石塚和雄 (1977) 地形と小気候. (群落の分布と環境. 石塚和雄編, 365pp., 朝倉書店, 東京). 196~206.
- (5) 小川肇 (1974) 尾瀬ヶ原南陵における風による偏形樹の成因およびその分布の示す意味について. 地理学評論 47 : 437~461.
- (6) 大和田道雄 (1978) 北海道平野部における夏季の卓越風の分布について. 地理学評論 51 : 283~300.
- (7) 大和田道雄・吉野正敏 (1971) 石狩平野の卓越風の分布について. 地理学評論 44 : 638~652.
- (8) 小沢行雄・吉野正敏 (1965) 小気候調査法. 218pp., 理想社, 東京.
- (9) YOSHINO, M.M. (1973) Wind-shaped trees in the subalpine zone in Japan. Arctic and Alpine Research 5:115~126.

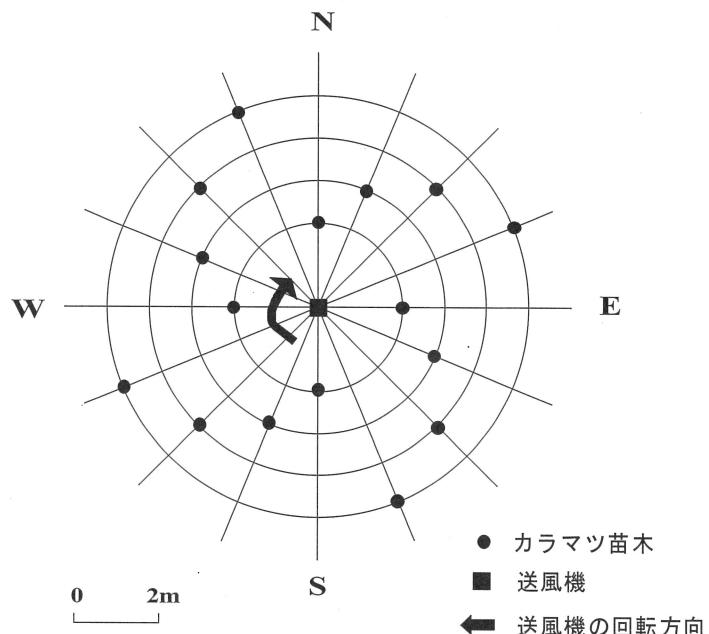
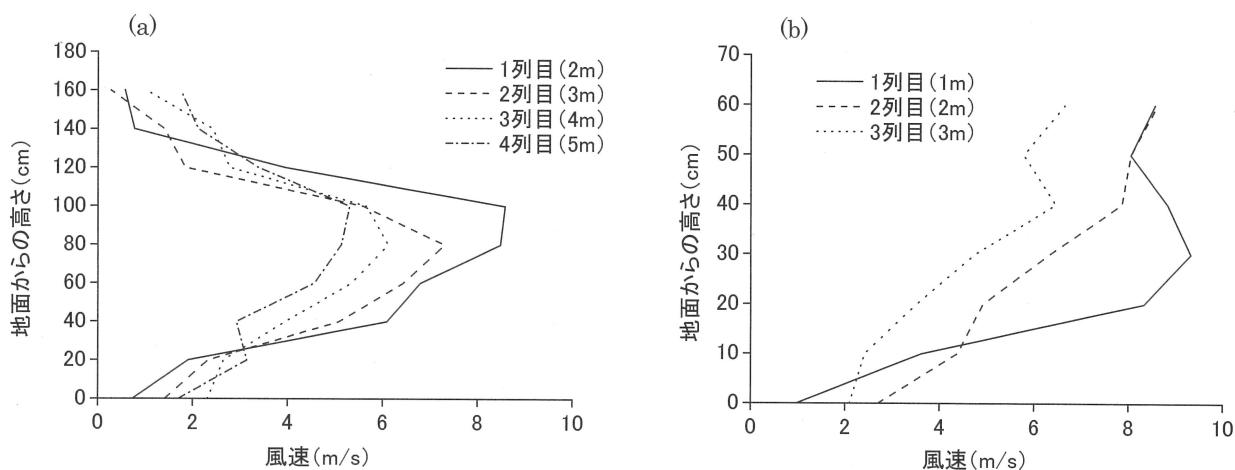


図-1. 回転実験区におけるカラマツ苗木の配置

図-2. 実験に用いた送風機による風速分布. (a) 回転実験区, (b) 固定実験区,
() は送風機からの距離

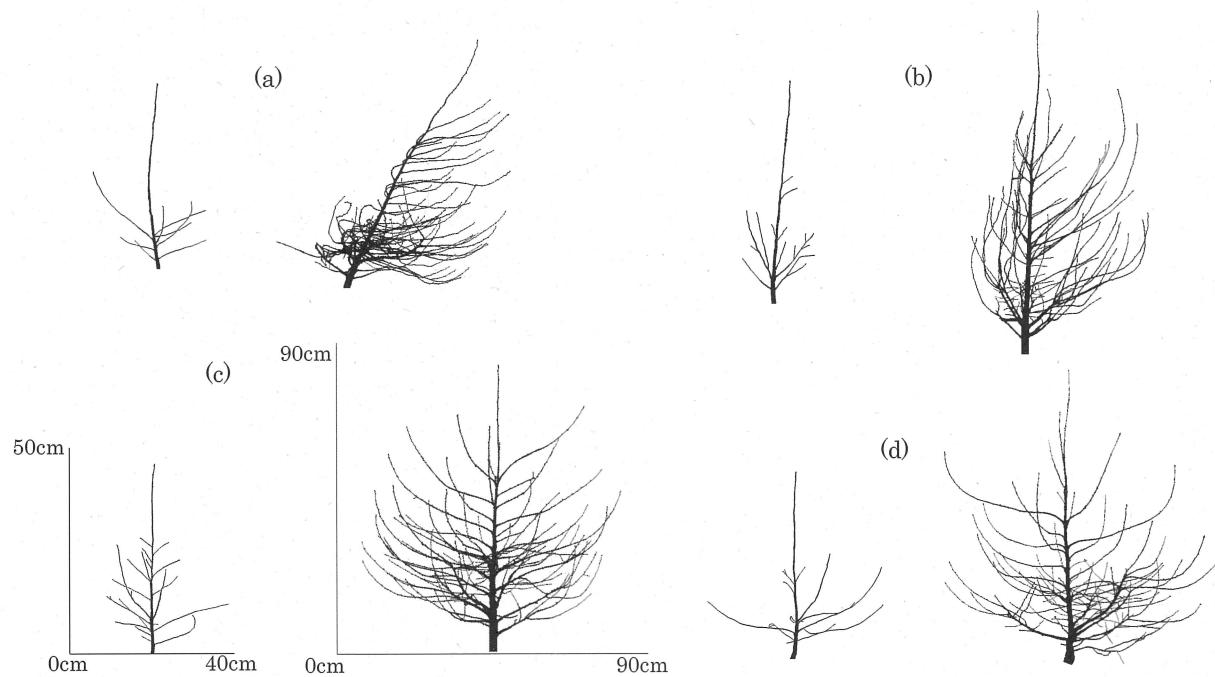


図-3. カラマツ苗木の樹形変化の例. (a)固定実験区2列目, (b)回転実験区2列目, (c)回転実験区4列目, (d)対照区, 左図が実験開始時, 右図が8ヶ月後(12月下旬)の状態. 図の左方が風上側

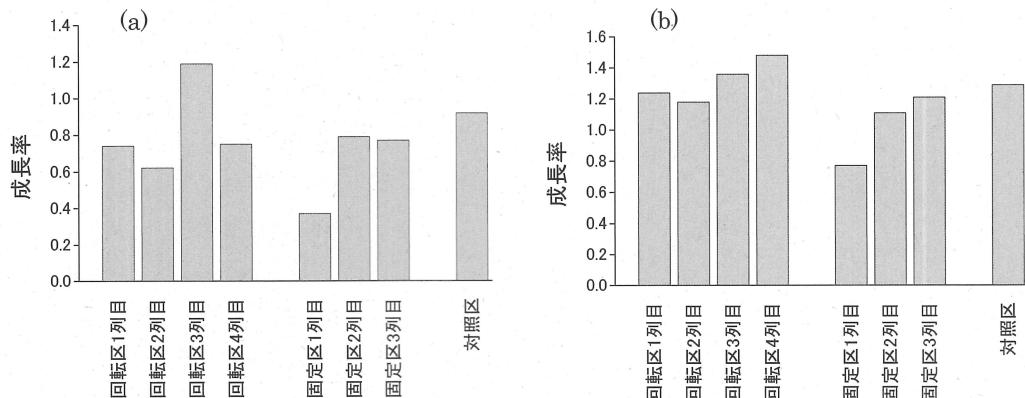


図-4. カラマツ苗木の (a) 軸長と (b) 地際直径の相対成長率, 実験開始5ヶ月後の値

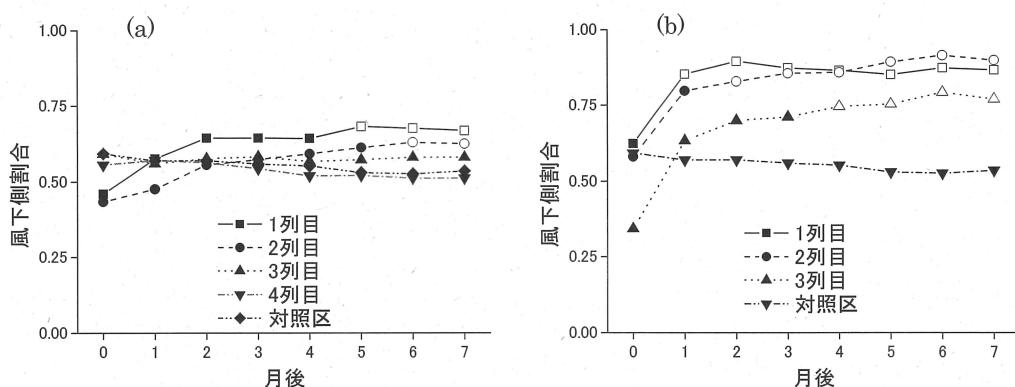


図-5. 側面から撮影した写真より判読した苗木全体の枝葉投影面積に占める風下側面積の割合. 白抜き記号は対照区と有意な差 ($p < 0.05$) があることを示す. (a)回転実験区, (b)固定実験区