

防風林の構造から防風効果を予測する

鳥田宏行

防風林の構造と防風効果の関係は？

防風林の最も基本的な機能は、風を弱めることにあります。風を弱めることによって、農作物の物理的な損傷を防ぎ気温や地温を高める昇温効果を発揮して、作物の収量を増加させたり、吹雪粒子を林帯や林帯周辺に捕捉したり、畑の表土が風に飛ばされるのを防ぐなど重要な働きをします。このように防風林には、風を弱めることによって発揮される効果が様々あるわけですが、残念なことに林帯の構造と防風効果の関係は明確になっていません。したがって、「まあ、この防風林なら、%ぐらいの減風率だろう」と言った予測が出来ないのが現状です。防風柵や防風網の場合は、密閉率(光をあてたときに影になる割合で、間隙率とは逆の意味合い：間隙率 = 1 - 密閉率)によって、減風率や防風範囲などが大よそ判断できますが、防風林の場合には密閉率による防風効果の予測は不十分です。それは、防風林は3次元の複雑な立体構造をなしているため、密閉率では正確に林帯幅(奥行き)を表現できないことが、原因の一つとして考えられます。そこで、今回は防風林の防風特性(最小風速、最小風速の林帯からの距離、防風範囲)を予測できるような密閉度以外の指標について風洞実験を行いましたので、紹介したいと思います。

風洞実験および模型林帯の概要

風洞は、断面0.5×0.5m、実効長8mのゲッチンゲン回流型風洞(北海道大学低温科学研究所)を使用しています。風速の測定(熱線風速計使用)は、水平成分のみを測定しました。測定領域は、垂直方向には、風洞床面から1, 3, 5, 12cmの高さで、水平方向には林帯を基点に風上に8h(h:模型の高さ)離れた地点から風下20hまでの範囲で測定を行っています。実験に用いた風洞の代表風速(高度1cm)は3m/sです。大体、風洞の代表風速3m/sは、例えば、樹高5~15mぐらいの防風林を想定すると、野外では風速10~16m/sぐらいの値に匹敵します。この値は、十分妥当性があると考えて実験を行いました。

林帯の模型については今回の風洞実験では、主に林帯幅(樹列数)と疎密度に着目して、幅と疎密度にバリエーションを設けています。林帯の模型には、市販の針葉樹模型(高さ10.5cm, 幅4.5cm, 枝下高1.5cm)を用いています。この模型は樹冠層部分がブラシ状になっているため通風性があり、1本平均の葉面積は、約135cm²です。この模型から樹冠層全体にわたって平均的に模型の葉を切り取り、1本平均の葉面積が96cm², 70cm²の模型を作製し、葉面積の異なる計3種類の模型を用意しました(図1)。模型林帯は、これら3種類の模型を別々に用いて、それぞれ列状に1列および3列(列間・苗間とも4.5cmとし、

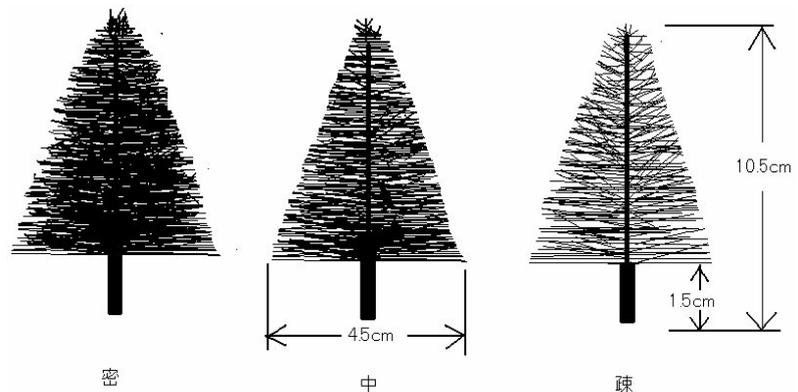


図 - 1 針葉樹模型のイメージ

隣接する模型木の樹冠は接している状態)に並べて風洞内に設置して風速分布の測定を行っています。また、今回の実験では、林帯そのものの疎密度は葉面積密度 (m^2/m^3) によって表現しました。葉面積密度は、単位空間当たりの葉面積を平均的に表現した値で、模型一本当たりの葉面積をもとに計算して求めています(表 1)。

表 - 1 実験のパターン

	葉面積密度 (m^2/m^3)	林帯幅 (cm)	列数
密 3 列	74.4	13.5	3
密 1 列	74.4	4.5	1
中 3 列	52.2	13.5	3
中 1 列	52.2	4.5	1
疎 3 列	37.8	13.5	3
疎 1 列	37.8	4.5	1

林帯幅および疎密度と風速分布の関係は？

防風林の防風効果の特徴を示す相対最小風速、相対最小風速の林帯からの距離、防風範囲(相対風速 80%以下の風下における林帯からの距離)に注目して(図 2)、高度 1cm(枝下)と高度 5cm(樹冠層高)における風速の測定結果を述べます。

防風林の幅と相対最小風速の関係は、幅が広がると相対最小風速は全体的に小さくなる傾向がみられ、同じ幅でも葉面積密度によって相対最小風速に違いがあります。葉面積密度と相対最小風速の関係は、葉面積密度が高くなると相対最小風速は全体的に小さくなる傾向がみられますが、同じ葉面積密度でも幅が広いほうが相対最小風速は小さい値となりました(図 3a)。全体的に相対最小風速は、幅が広く葉面積密度が高いものほど小さくなる傾向がある事がわかります。

相対最小風速の林帯からの距離は、本実験では測定高 1cm(枝下)では 3.5~8h の範囲で差異がみられ、幅が広がると大きくなる傾向があります。しかし、相対最小風速の林帯からの距離は同じ幅でも葉面積密度によって異なる傾向を示しました。葉面積密度と相対最小風速の林帯からの距離の関係は、葉面積密度が中の時に全体的に大きくなる傾向がみられました。測定高 5cm では、相対最小風速の林帯からの距離は 0~1.5h の範囲内の差異に止まり、ほぼ一定の値となりました(図 - 3b)。

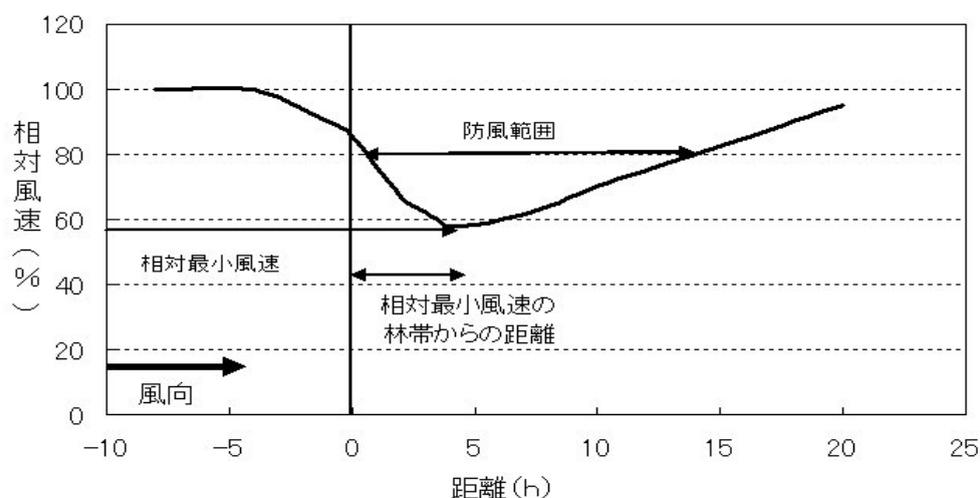


図 - 2 防風効果の特徴を示す概念図
h : 模型林の樹高

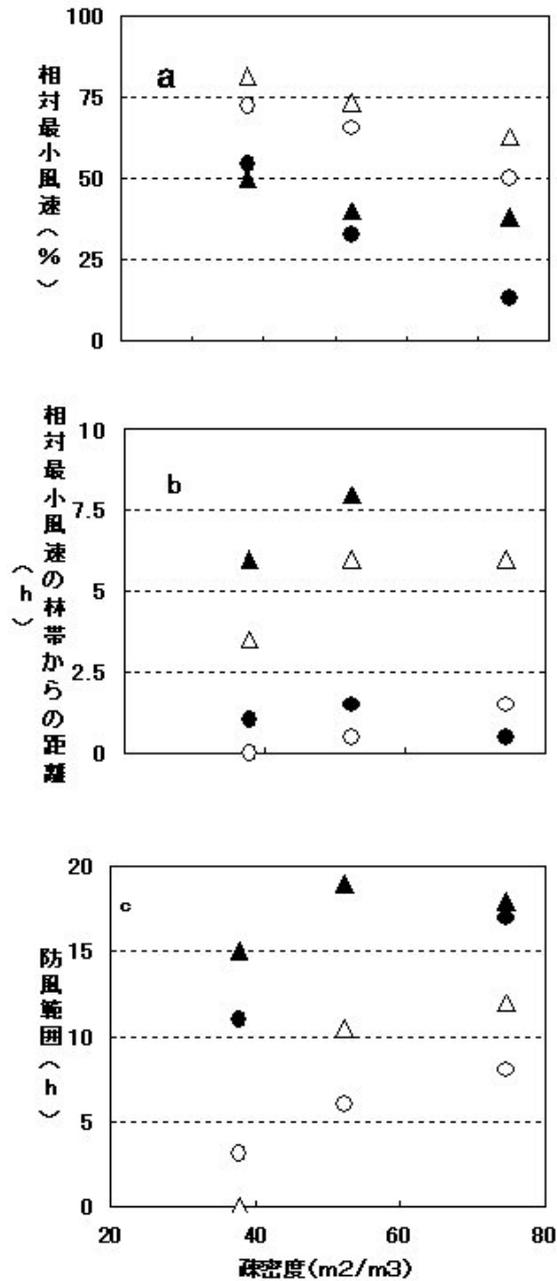


図 - 3 防風特性と疎密度の関係
 高度 1 cm 高度 5 cm
 幅 4.5cm 幅 4.5cm
 幅 13.5cm 幅 13.5cm

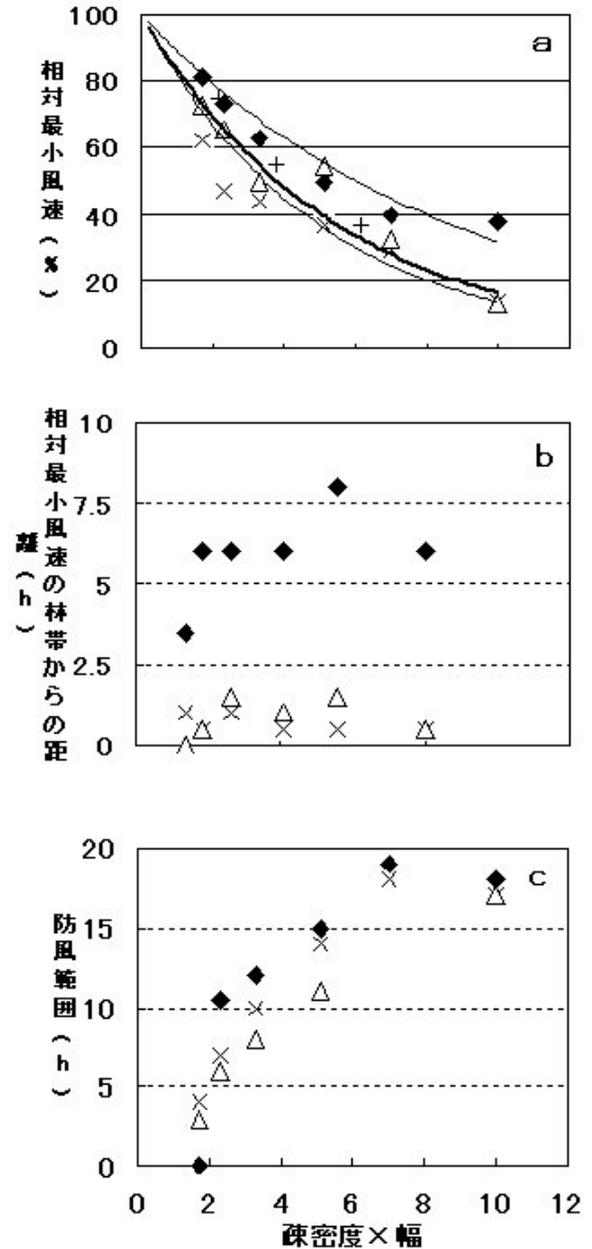


図 - 4 防風特性と疎密度 × 幅の関係
 高度 1 cm × 高度 3cm 高度 5 cm
 ——— 高度 1 cm ——— 高度 3 cm
 ——— 高度 5 cm

防風範囲は、中 3 列（幅：13.5cm・葉面積密度：52.2）の場合に各測定高度とも最大になり、その値は高度が低い順に 19h, 20h 以上(風速の回復が遅く、風下 20h の測定領域内では、依然として相対風速は 80%以下でした。)となりました。防風範囲の最小値は、各高度とも疎 1 列（幅：4.5cm・葉面積密度：37.7）の場合に見られ、その値は高度 1 cm では相対最小風速が 80%以下にならなかったため 0 で、高度 5 cm では 3h です（図 - 3c）。防風範囲は、各測定高度とも幅が広くなると大きくなる傾向にありますが、同じ幅でも葉面積密度によって異なるため、明確な関係が見出せません。

以上の結果を総合すると、防風林の幅や葉面積密度は、防風効果に影響を及ぼす因子であると言えますが、どちらがどの程度防風効果に影響しているのかは明確には言えない結果となりました。

葉面積密度×幅と風速分布の関係は？

次に、幅と葉面積密度を掛け算した葉面積密度×幅と風速分布との関係を述べます。まず、相対最小風速と葉面積密度×幅の関係ですが、両者の間には高い相関が見られ（下に凸の曲線）、相対最小風速は葉面積密度×幅の増分に対して一定の割合で減少せず、葉面積密度×幅の値が高くなると相対最小風速の減少率も小さくなる傾向を得ました（図 - 4a）。これはある程度以上、葉面積密度×幅が大きくなると、幅を広くしてもあるいは植栽密度を高くしても、それほど減風率（100 - 相対最小風速%）が大きくなることを意味しています。また、結果からは林帯の幅が半分になっても、葉面積密度が2倍になれば同程度の減風率が期待できると推測されます。

葉面積密度×幅と最小風速の林帯からの距離との関係ですが、枝下高以下に一致する測定高度1cmを除いて、最小風速の林帯からの距離は、葉面積密度×幅にかかわらずほぼ一定の値を示しました。測定高度1cmにおける最小風速の林帯からの距離は、測定高度5cmに比べて全体的に高い値をとり、この高さにおいては、葉面積密度×幅が1.7のとき最小風速の位置は最小値3hを示し、葉面積密度×幅が2.3以上では最小風速の位置は6~7.7hの範囲で、ほぼ横ばいの値を示しました（図 - 4b）。

防風範囲と葉面積密度×幅の間には、相関関係が見られました（図 - 4c）。防風範囲は、葉面積密度×幅の増加とともに大きくなり、葉面積密度×幅が7の時に最大になって、その後減少傾向を示しました。防風範囲のメカニズムについては、いろいろ議論の余地がありますが、渦領域の規模によって説明すると、密な林帯では渦領域は疎な林帯よりも狭く、防風範囲も狭くなるとされています。これは、密な林帯では風が林帯を通過せず、ほとんどの気流が林帯をのり越え、その一部が下降して林帯直後に渦動を生じさせるのに対し、疎な林帯では林帯を通過した気流が、林帯をのり越えた気流が林帯直後に生じさせる渦を崩すため、渦動はより風下に生じ、渦領域が密な林帯よりも大きくなるためです。今回の実験結果でも、葉面積密度×幅が7を越えると多くの風は林帯をのり越え、一部の風が林帯直後に下降して渦動を生じさせた結果、渦領域が狭くなって防風範囲は減少したものとされます。

おわりに

林帯の構造因子である林帯幅や疎密度は、防風林の防風特性に影響しますが、それぞれの構造因子を別個に用いたのでは、定量的に防風効果を把握するのは難しい事が今回の実験では示されました。そこで、この二つの因子を掛け合わせた指標、葉面積密度×幅を用いて、最小風速や防風範囲との関係を調べてみると、これらの間には相関関係があることがわかりました。したがって、2次元構造の防風柵や防風網の防風特性が密閉率を用いて大よその見当がつくように、3次元構造の防風林の場合には、葉面積密度×幅が防風特性を示す有効な指標になると思われます。

今回の風洞実験を行うに際しては、実際の現象と実験の現象の対応関係を示す相似則について検討を行っており、実験における現象が実際の現象と相似性を持っていると考えておりますが、今後、防風林の防風特性を示す指標として、葉面積密度×幅が有効である事を確かめるため、野外で実際の現象を観測する必要があるでしょう。また、これらの実験結果を施業に活かすには、葉面積密度は現場の技術者にとって、扱い難く馴染みのない語であると思いますので、通常的林分調査で用いられている因子（例えば、立木密度、胸高、材積など）に置き換える工夫が必要だと思えます。

（道東支場）