

防 風 林 帯 の 構 成 と 機 能



02000-00131056-2

農 林 省 林 業 試 験 場 防 災 部

昭 和 4 1 年 2 月

防風林帯の構成と機能

正 誤 表

頁	行 目	誤	正
4	上から3	$P = \frac{V}{n}$	$P = \frac{V}{\sqrt{n}}$
7	上から7	帯 温	林 帯
8	上から3	ある。	ある。
11	第 3 表	林帯からの距離	林帯からの距離 (m)
15	第 4 表	測 定 高	測 定 高 (m)
18	下から10	これから	これら
33	上から6	カザンコフ区	カザンコフ地区
75	下から3	防風値も	防風値は
83	下から6	気温の不安な	気温の不安定な
92	下から6	最少から	最少が
94	下から3	等値線は	等値線は
100	下から7	変えて	変えた
121	下から12	値は 少	値は減少

ま え が き

ソビエト連邦における防護林は自然改造計画の一部としてとりあげられ、大規模な林帯網となつて張りめぐらされている。現在、造成過程の段階でもあるため、われわれの目にふれる防護林の文献は多くが造成法に関連したものである。効果的にむすびついたものも時折あるが、林帯の構成・機能について述べたものは稀れである。この本はウクライナ共和国の林業・農林土地改良研究所に在る JA Smaliko が多くの試験地を選定、10年の間調査、研究したもので、とくに現実の林帯を対象とし、その構成と機能を明らかにした点が特徴的である。原書「Vetro-zashitnye osobenosti lesnykh polos raznykh konstrukcij」(1963)では前半 JA. Smaliko が研究にあたって調べた文献を整理し過去にどのような成果があり、どんな問題が残されているかを手ざわよくまとめている。しかし、今回の訳ではこの部分を都合上省略し、著者らが直接研究しまとめた後半部を訳出した。そのため項目、図表の番号が原書と異なるので了解いただきたい。

さきの防災部資料10号「ソ連邦の防護林造成」では防護林の種類、樹種、配置など造成法について紹介した。この本では防護林の構成と効果の点を明らかにしているが、主として防風効果からの見方である。防護林の効果は、保護されるものの性質との関連において検討されなければならないと考えられるので、この点をとくに指摘しておく。小引候へ

の影響の調査資料もまとめてあるので機会を得て紹介したい。防護林と収量の関係もすでに紹介してある（北方林業 193号 1965）。

これらによつてソ連邦の防護林帯についての考え方が把握できる。あとは今年で終る造成計画の成果がどのようなものであるか期待されるところである。

この本が関係研究者の参考となれば幸いである。

訳出にあつて承諾をいただいた著者のJ A. Smaliko氏およびいろいろと指導下さつた樫山徳治研究室長に心から謝意を表しておきたい。

防災第一研究室 松岡 広雄

防風林帯の構成と機能

目 次

I	研究の計画と方法	1
II	林帯の防風性に作用するその構成の特質	7
1	各構成の特質（基本と複合構成）	7
2	横断面型	31
3	疎 度	41
4	高さと幅	65
5	着葉、無着葉林帯の防風性の比較	79
III	林帯の防風性に対する気象因子とその作用	83
1	接地気層の温度成層	83
2	風 速	91
3	林帯と風向角度	95
IV	各構成林帯がもつ防風作用の物理的性質	107
V	塵風時の各構成林帯の防護性	117
VI	結 論	120

I 研究の計画と方法

文献の要約をみて知られたように、最も良い防風性を有する林帯構成は明らかにされていなかった。接地気層2 mまでの風速の研究でも、林帯の防護性について明確な価値づけがされていなかった。

Ju. Bjallovich, B. Dzietvecky, G. Bates, I. Voroncov, N. Woodruff, A. Zingg の研究も、風を弱める林帯の作用は、林帯高の2倍の高さまで広がることを示している。これらの資料は、林帯の防風性を完全に価値づけるのには、その空気力学的陰の大きさを算定する必要性を示していた。

空気力学的陰は林帯に沿う方向（全林帯で）、高さと同方向に広がる。林帯に沿う方向への陰の広がりには林帯の長さに関係しているためその調査の必要を認めなかった。そこで、われわれは風向と高さ方向への広がりの変数によつて定義される大きさ、すなわち林帯横断面における陰の算定を試みた。この横断面積を林帯の防風作用域とわれわれは名づけた。林帯の防護性を表わす上に防風作用域は適切なものと考えている。

研究の実施にあつて次の計画を行つた。

- 1) 多数の風速計を用い、各構成林帯（密、疎、吹きぬけ）、並木型林帯の防風作用域を明確にする。
- 2) 林帯の疎度、横断面型、高さ、幅、接地気層の温度成層、風速とその垂直傾度など気象因子、また林帯に対する風向角度によつて林帯の防風作用域が変えられるのを研究する。
- 3) 得られた資料をもとにし、好条件の気象ではどの構成林帯の防風性をもつともすぐれているかを明らかにする。
- 4) 着葉、無着葉期の各構成林帯の防風性を比較する。
- 5) 発煙筒による試験と実験水路を用いた測定で、各構成林帯がもつ防風作用の物理的特質を明らかにする。

目的は研究課題によつて限定されるものであつた。林帯の空気力学的陰の大きさの算定には、各構成林帯を横断する断面の風の状態を林帯に接する耕地で林帯高2倍以上のところま

で測定する必要があつた。

林帯の防風作用域を明確にする資料を得るために、大規模で、困難な数多くの気象観測作業を行つた。

各林帯の風の測定は1951年から1960年の間に、ニコラエフ、ヘルソン、クルイム、ドニエツ、ルガン、ハリコフ各州のホルホーズ、ソホーズと林業、農林土地改良のウクライナ科学研究所がもつウラヂミール、ニジニエドニエブル、マリウポリ各試験場およびバルチザン農林土地改良試験地で行つた。

小気候の実験観測は調査派遣班が行つた。調査班は10年の間に、1回30～45日の日程で17回現地におもむいた。この期間、各高さ、幅、横断面、疎度の違いをもつ97のそれぞれの構成林帯で風の測定を行つた。調査は各風速、林帯に対する各種風向角度、接地層の各気温界のもとで行われた。

調査には、Ja. Panfilov, Ju. Bjallovich, E. Kucherjavykh, S. Sapozhnikova らの方法をもとにした新しい方法を用いた。その方法は次のとおりである。

それぞれの林帯における風速を調査するために、高さ5mから10mまでの測定用マストを林帯の横断方向に、風上(150, 100, 70, 40, 20, 10m, 林縁), 林帯中央, 風下(林縁, 10, 20, 40, 70, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600m)と無保護区(対照区)の測定地においた。

風速の測定は高さ1, 2, 5, 10, 15mで行つた。測定高は、高さと風速の変化の対数法則により計算してだされた。

風速は携帯用風速計で測定した、これはV. Kedrolivansky, M. Sternzat (1953)の本にみられる原理と型式をもつものであつた。数メートルのひもをもち下から切替えができるもので、器具は調子がよかつた。高さ15mまでの風速測定に利用できるものである。

風速計の欠点は感度が比較的劣り、実際には高さ1m以下のところの風速測定に利用できず、傾きの調整も不安定であつた。器械誤差を少なくするため、われわれは高さによる風速

計の置換えを行つた。観測シリーズごとに器具の状態を点検、照合し、疑わしい器具で得た調査資料は検討された。

風速計の読み合せには同時計算の方法がとられた。このための器具は対照区でも同じ高さ(2m)におかれた。標準として、特に新しい風速計が選ばれ用いられた。風速計は10分間3回測定とした。3回の平均風速は標準風速計のものと比較され、標準より0.2 m/s以上の偏差がある器具は選り分けられた(調査の10年間に取替は4度あつた)。

高さ16mのマストには10, 15mのところ1×1mの特殊な枠を取付け風速計をおいた。これらのマストは小ステーションの測点におかれ観測に用いた。高さ1, 2, 5mの観測には風速計を取付けることのできる携帯用気象マストが用いられた。マストは張り綱で地表に固定され、あげおろしは自由であつた。しかしマストを横たえ風速計が示した値を読み取り、計算しなければならない。5mのマストはつなぎ合わされ高さ10mの風速測定にも用いられた。総指令による風速計の始動、停止はひもを用い同時に行つた。

観測は全測定地、全点同時に行つた、すなわち同期とした。各観測期間に30～120台の風速計が作動した。測定時間は10分で2回くり返してあつた。これを1回の測定として、そのくり返し20～40回は天候に関係し、また求める資料にも関連したものであつた。このようにして比較上、解答し得る必要な資料をあつめた(高さ2mの約6 m/sの風速、林帯に対する風向角、差のない気温層のもの)。

全風速測定断面の測定くり返し必要数の算定には変量統計法を用いた。各観測点から得た風速の数学的資料より、次のような特質を算定し、数学的処理をすることができた。

n: 観測数

M: 各観測点の風速(m/s)の算術平均

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum d^2}{n-1}} : \text{標準偏差}$$

$$v = \frac{\sigma \cdot 100}{M} : \text{変異係数}$$

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sigma}{n}} : \text{算術平均の誤差}$$

$$P = \frac{m \cdot 100}{M} = \frac{v}{\sqrt{n}} \% \quad : \text{試験精度}$$

林帯とそこに接する耕地の測定断面の、どのような点における風速の変化も、変異係数 v で表わされる。 $P = \frac{v}{\sqrt{n}}$ から、変異係数が変わるとき試験精度がくり返し数の平方根に対して逆比例することになる。

各測点（風速の）から n , P を得て、のぞむ精度（ P_1 ）を与えれば、必要なくり返し数（ n_1 ）をとることができる。

$$P\sqrt{n} = P_1\sqrt{n_1}$$

$$n_1 = n \left(\frac{P}{P_1} \right)^2$$

最大変異係数で特徴づけられる必要くり返し数の計算によつて、各測点の風速の算術平均を求め、新しい変異係数と試験精度を算定した。もし、試験精度が5%以下なら測定くり返し数が適当であることになった。

風向はトレチャコフの器具と吹流しによつて測定された、林帯との風向角度はコンパスを用いて測定した。

温度成層の算定には高さ0.2, 0.5, 1.5, 2.6, 5, 10, 15mで気温測定を行い資料を得た。0.2, 0.5, 1.5mの高さの測定は大型のアスマン乾湿計を用い、2.6, 5, 10, 15mの高さではV. KedrOlivansky, M. Sternzat (1953)の本にみられる原理をもつ大型の転倒乾湿計、電気遠隔乾湿計を用いた。

転倒乾湿計は国立水理研究所で用意された。この乾湿計には一般のものと異り、毛細管の反対の端から目盛がつけられている深水層の水理温度計型で、水銀柱がはなれた温度計であつた。乾湿計自体は特別な枠のなかに入っており、観測中の4分間はひもで転倒するようになつている。湿度計はたびたび布をとり、気温測定のくり返しとして用いた。

農業物理研究所によつてつくられた電気遠隔乾湿計の温度送信は半導体抵抗（TC）を応用したもので、0.1°までの精度で測定できる。測定上の高い精度は抵抗TC（1度に対し約3%）の大きな温度係数によつて得られる、しかも、最後の大きな内部抵抗（1000オーム以上）

は施設導線の抵抗を無視し、長い距離を測定するようにしてある。乾湿計の通風は直流電動機によつて保証されていた。

アスマン乾湿計は高さ0.2, 0.5, 1.5mの特別につくられたうけにかけた。

遠隔乾湿計はマスト上部のうけにある滑車にかけられたロープによつて高さを変え（2.6, 5, 10, 15m）持上げられた。このように気温の垂直的变化は不揃いの器械によつて測定された、比較上、観測の前に遠隔乾湿計は高さ1.5mまでおろされ、そこで大型アスマン乾湿計と遠隔乾湿計によつて気温の同時測定が行われた。

乾湿計による測定は、風速測定と同時に林帯間耕地でも、対照区でも行われた。例外的に1台の器械で高さ0.2と1.5mの2点の温度を得たことがあつた。この場合は垂直観測を同時に行うことができなかつたが器械誤差は除かれていた。

地表温度の測定は全ソ・アカデミー農業科学院農業物理研究所で製作した電気器械PTPP (Termopauk) を用いた。器械は地表温度測定（16熱電対）に使われるものであつた。PTPPの利用を以前のものと比べると次のようにすぐれている。

- a) 器械は水銀柱温度計を用いるより実際に大分近い地表気温を測定する。
- b) 器械は地表気温を一点だけでなく、雑多な土壌がもつ偶然性を除いた多くのものの平均気温を直接測定する。
- c) 器械は小さな地形の地表温度を測定することができる。
- d) 器械の送信機は熱伝導性が小さく、土壌と空気との熱交換を乱すような目立つた熱の分散が送信上ほとんどない。
- e) 器械は携帯、移動できるので連続的、あるいは一時的にでも用いられる。

林帯の風速資料を表現するグラフとその分析法はJa. Panfilov, Ju. Bjalloovich, O. Batesの方法を参考にした。これらの方法は研究の過程で、より正確を期すため次のように補つた。

接地気層の温度算定法は次のように結論づけた。全高15mの各高さの気温資料は気温の安定、中立、不安定状態を示していた。そこで接地気層の不変性の度合の算定を行つた。接地気層の安定、中立、不安定などの状態の標準として、高さ2mの風速の自乗にたいする

0.2. 1.5 mの気温の差の比をとつた。

$$\frac{t_{0.2} - t_{1.5}}{u_z^2}$$

これはリチャードソンの数と関連した関係となる。

$$Ri = \frac{q}{t} \cdot \frac{r_a - r}{\left(\frac{du}{dz}\right)^2}$$

L. Shcherbakova (1952) およびわれわれは次のように導いた。

気温の中立的な状態(中立, 等温): $\frac{t_{0.2} - t_{1.5}}{u_z^2} = 0$ あるいは0に近い(偏差は-0.04 ~ +0.05 が許容される)。

気温の安定な状態(逆転, 放熱型): $\frac{t_{0.2} - t_{1.5}}{u_z^2} < -0.05$

気温の不安定な状態(てい減, 受熱型): $\frac{t_{0.2} - t_{1.5}}{u_z^2} > 0.06$

各構成(密な, 疎な, 吹きぬけ)林帯がもつ防護作用の物理的特質を研究するため, G. Matjakin(1937), E. Kucherjavykh(1940), M. Budyko, B. Ljapin(1946)らの考えをもとにし, 発煙筒を用いた方法を利用した。

同じ目的で, 実験水路に各構成林帯の模型を入れ人工的な条件のもとで予備研究を行つた。これらの研究方法と実験水路の記述は後にそれぞれ分けてのべてある。

II 林帯の防風性に作用する構成の特質

1 各構成の特質(基本と複合構成)

林帯による防風作用がおよび領域の大きさ, 形態の算定には基本構成(密な, 疎な, 吹きぬける)林帯と並木型林帯を用い, 林帯と林帯に接する耕地の横断面に沿い多数の測点を設け測定した。

研究上, 選択される範囲は流体力学の観点から林帯の影響が関係する基本構成のみでなく, 林帯の個々の関係, すなわち帯温の高さ, 幅, 横断面型, 疎度(林帯の全縦断面積に対するすかし面積の比)なども対象とした。そこで各林帯の高さを一様(7~9 m)にし, 疎な構成と吹きぬけ構成林帯の幅(1.2~1.3 m), 疎度(30~40%)も同じようにした。

林帯の防風性は天候要因にも関係していることを学んだ。そこで同一風速(高さ2 m, 約6 m/s), 林帯に対する風向(許容度 $\pm 15^\circ$), 等温すなわち接地気層の気温差のない温度成層から得た資料を分析した。

土地の起伏によつて風がゆがまないように, 広い平坦な土地の林帯を選定した。また, 林帯前後が同一条件であるように休耕地, 刈入跡地, 農作物の高さ20 cm以下の耕地などをとつた。

研究対象にはウラヂミール農林土地改良試験場, ニコラエフ州ベレズネガワト地区ジダノフ・ソホーズ, ヴイソコポリ地区キーロフ・コルホーズ, チュルビン地区ラデンスキー・ソホーズ, ヘルソン州ゲニチエス地区スチヤストリフツエヴォ・コルホーズが選ばれた。

ウラヂミール試験場とそこに近いジダノフ・ソホーズ, キーロフ・コルホーズはイシグレットとビスニ川の分水界にあり, 黒海沿いの低地区のニコラエフスク州北東地区に位置している。土壤は南チエルノゼムである。地形は大平原である。

ラデンスキー・ソホーズはカザチエラゲル(北東部), アレシキン(南西部), チャルバツス(南東部)の間の低ドニエプル砂地にあつた。起伏状態は中央が平坦で, 端にゆくと幾分, 波状形となつていた。

スチヤストリフツエヴォ・コルホーズはゲニチエスク市の南18 Kmのアラバト岬にある。

東の方(アゾフ海寄り)にはゆるい傾斜をもった起伏があつた。

研究対象の全林帯はソ連邦ヨーロッパ・テリトリーの南の気象地域の東部のなかの南西部にあつた。調査期間における林帯の特徴は次のとおりである。

密な(吹きぬけない)構成の林帯(ウラチミーロフ試験場林帯 No.8)

林帯高7~8 m, 幅41 m, 樹種構成: ナラー41%, トネリコ52%, ニレー4%, ナシー2%, カエデー1%。密度0.9。下木: ワウロ, シラタミズキ, モモイロヒヨウタンボク, オオムレスズメの混交。列間1.5 m, 樹種間隔0.7 m。土壌は森林の落枝葉におおわれている。林帯はグミとワウロからなる2列を林縁両側にもっている。林縁は閉ざしている。全体の疎度2%以下である。

疎な構成の林帯(キーロフ・コルホーズ8列林帯No.1)

林帯高8~

9 m, 林帯幅12 m, 列間1.5 m, 樹種間隔0.7~0.8 m。密度0.6。樹種構成: ナラー37%, サイカチー40%, アンズ23%。下木: 高さ1.5~2.5 mのモモイロヒヨウタンボクがまばらにある。林縁は切開かれている。林帯縦断面は一様なすかしをもっている。疎度40%。

下木をもった吹きぬけ構成の林帯(キーロフ・コルホーズNo.3区, 10列林帯No.4)

林帯高7 m, 林帯幅15 m, 列間1.5 m, 樹種間隔0.75 m。密度0.8。樹種構成: ナラー45%, サイカチー52%, カエデー3%。下木: オオムレスズメと上木種の萌芽(1.0~1.5 m)。林縁はあいている。林帯縦断面では樹冠と萌芽の間に大きな空間がある。疎度37%, 高さによる疎度: 地表から1.5 mまで35%, 1.5~3.0 m-80%, 3.0~7.0 m-20%。

下木のない吹きぬけ構成林帯(ラデンスキー・ソホーズ6列林帯)

林帯高8.5 m, 林帯幅12 m, 列間2 m, 樹種間0.75 m。密度0.7。樹種構成: ニセアカシヤ50%, ネグンドカエデー20%, サイカチー10%, アンズ20%。全疎度38%。高さによる疎度: 地表から2 mまで85%, 2~7 m-15%, 7~8.5 m-50%。

調査は林帯が着葉している夏期に行われた。第1表に示したような風速測定の現地資料の多くは1951年から1960年までの間に得た。

第1表 各標成林帯の平均風速 (m/s)

測定高	対照区	林帯風上の距離(m)										林帯風下の距離(m)									
		吹きぬけない構成林帯(36回くり返しの平均)					疎な構成林帯(18回の平均)					下木をもった吹きぬけ構成林帯(22回の平均)					下木のない吹きぬけ構成林帯(16回の平均)				
		100	70	35-40	20	10	100	70	35-40	20	10	100	70	35-40	20	10	100	70	35-40	20	10
15	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9
10	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4
5	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7
2	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1
1	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
15	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8
10	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
5	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7
2	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9
1	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3
15	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7
10	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
5	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8
2	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
1	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
15	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
10	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
5	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
1	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5

第2表 吹きぬけない構成林帯における高さ1mの風速の数学的特質

(くり返し数 $n=36$)

林帯からの距離 (m)	風速の算術平均 M (m/s)	平方偏差 σ	変異係数 v	算術平均の誤差 m	試験精度 P	算術平均の最大偏差 d		3σ
						+	-	
対 照 300	5.5	0.378	6.87	0.063	1.14	0.7	0.7	1.134
風 上	100	5.5	0.361	6.56	0.061	1.11	0.8	1.083
	70	5.3	0.332	6.26	0.055	1.04	0.7	0.996
	35-40	4.6	0.285	6.20	0.048	1.03	0.7	0.855
	20	3.8	0.278	7.32	0.046	1.21	0.7	0.834
風 下	10	3.0	0.286	8.53	0.048	1.60	0.6	0.858
	林 縁	2.6	0.273	10.50	0.046	1.77	0.6	0.819
	林帯中央	0.0	-	-	-	0.3	0.0	-
	林 縁	0.0	-	-	-	0.2	0.0	-
風 下	10	0.5	0.197	39.4	0.033	6.60	0.4	0.591
	20	1.3	0.278	21.0	0.046	3.50	0.7	0.819
	35-40	2.1	0.252	12.0	0.042	2.00	0.5	0.756
	70	3.1	0.245	7.9	0.041	1.32	0.4	0.735
	100	3.8	0.322	8.47	0.054	1.42	0.7	0.966
	150	4.4	0.302	6.41	0.050	1.14	0.6	0.906
	200	5.1	0.327	6.41	0.054	1.07	0.7	0.981
	250	5.4	0.318	5.89	0.053	0.98	0.4	0.954
	300	5.6	0.342	0.11	0.057	1.02	0.5	1.026
	350	5.5	0.322	5.85	0.054	0.98	0.6	0.966
	400	5.5	0.379	6.89	0.063	1.14	0.8	1.137
	450	5.5	0.392	7.13	0.065	1.18	0.7	1.176
	500	5.5	0.397	7.22	0.066	1.20	0.8	1.191

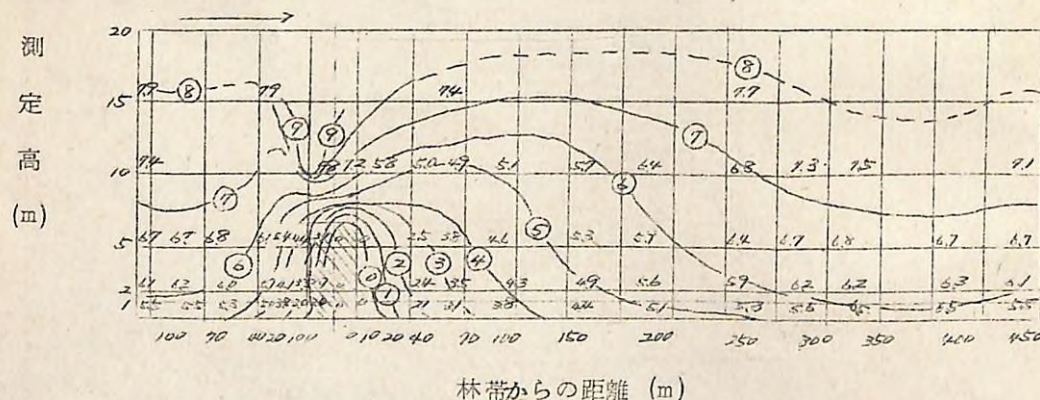
第3表 試験精度と測定くり返し数

林帯からの距離	試験精度と測定くり返し数	2%	3%	4%	5%	10%	15%	20 返 回し く精 り度 %
対 照 300		21.0	14.0	10.5	8.4	4.2	2.8	1.53
風 上	100	20.0	13.3	10.0	8.0	4.0	2.7	1.49
	70	18.7	12.5	9.4	7.5	3.7	2.5	1.39
	35-40	18.5	12.4	9.3	7.4	3.7	2.5	1.38
	20	21.8	14.5	10.9	8.7	4.4	2.9	1.62
風 下	10	28.8	19.2	14.4	11.5	5.8	3.8	2.14
	林 縁	31.9	21.2	15.9	12.7	6.4	4.2	2.37
	林帯中央	-	-	-	-	-	-	-
	林 縁	-	-	-	1-	-	-	-
風 下	10	118.8	79.2	59.4	47.5	23.7	15.8	8.84
	20	63.0	42.0	31.5	25.2	12.6	8.4	4.67
	35-40	36.0	24.0	18.0	14.4	7.2	4.8	2.68
	70	23.8	15.8	11.8	9.5	4.7	3.2	1.77
	100	25.6	17.0	12.8	10.2	5.1	3.4	1.90
	150	21.0	14.0	10.5	8.4	4.2	2.8	1.53
	200	19.0	12.9	9.6	7.7	3.9	2.6	1.43
	250	17.6	11.8	8.8	7.1	3.5	2.4	1.31
	300	18.4	12.2	9.2	7.4	3.7	2.4	1.37
	350	17.6	11.8	8.8	7.1	3.5	2.5	1.31
	400	28.0	14.0	10.5	8.4	4.2	2.8	1.53
	450	27.2	14.2	10.6	7.5	4.2	2.8	1.58
	500	21.6	14.4	10.8	8.6	4.3	2.9	1.61

各測点における風速の算術平均の誤差検討と、試験精度(P)を2~5%におさえる反復量の算出上、風速資料は異なつた統計的方法で処理した。

資料の数学的処理の過程は第2表に示した。これからみると吹きぬけない構成林帯における高さ1mの風速は風下林縁から1.0, 2.0, 3.5mで強く変化している。変異係数のいちじるしい上昇は風上にも同じようにみられる。この風速の大きな変動は、携帯風速計の感度にやつとふれる小さな風でもこれらの点では急激に減少することから説明される。

以上の距離は試験精度(P)の低下する範囲にも一致する。第3表には各試験精度と観測の必要反復回数を示してある。ただ、これら回数は10年間の現地試験中には、天候に影響され完全に行えないことがあつた。しかし、第3表のように反復観測数8~10回でも、少くとも5%の試験精度は保証される。林帯風上、風下に近いところにみられる不十分な試験精度は風速の急激な低下に原因し、防風値、作用距離に影響を与えた、しかし、結論全体には影響するものではない。



第1図 林帯横断面における各高さの風速

(○印内の数字は等風速線の m/s を示す)

風速測定結果(第1表)はすべての面から分析された。まず縦軸に測定高(m)をとり、横軸に樹高倍數で表わした林帯からの風上、風下距離をとつたグラフに風速(m/s)を記入し(第1図)、等速線を書入れた。

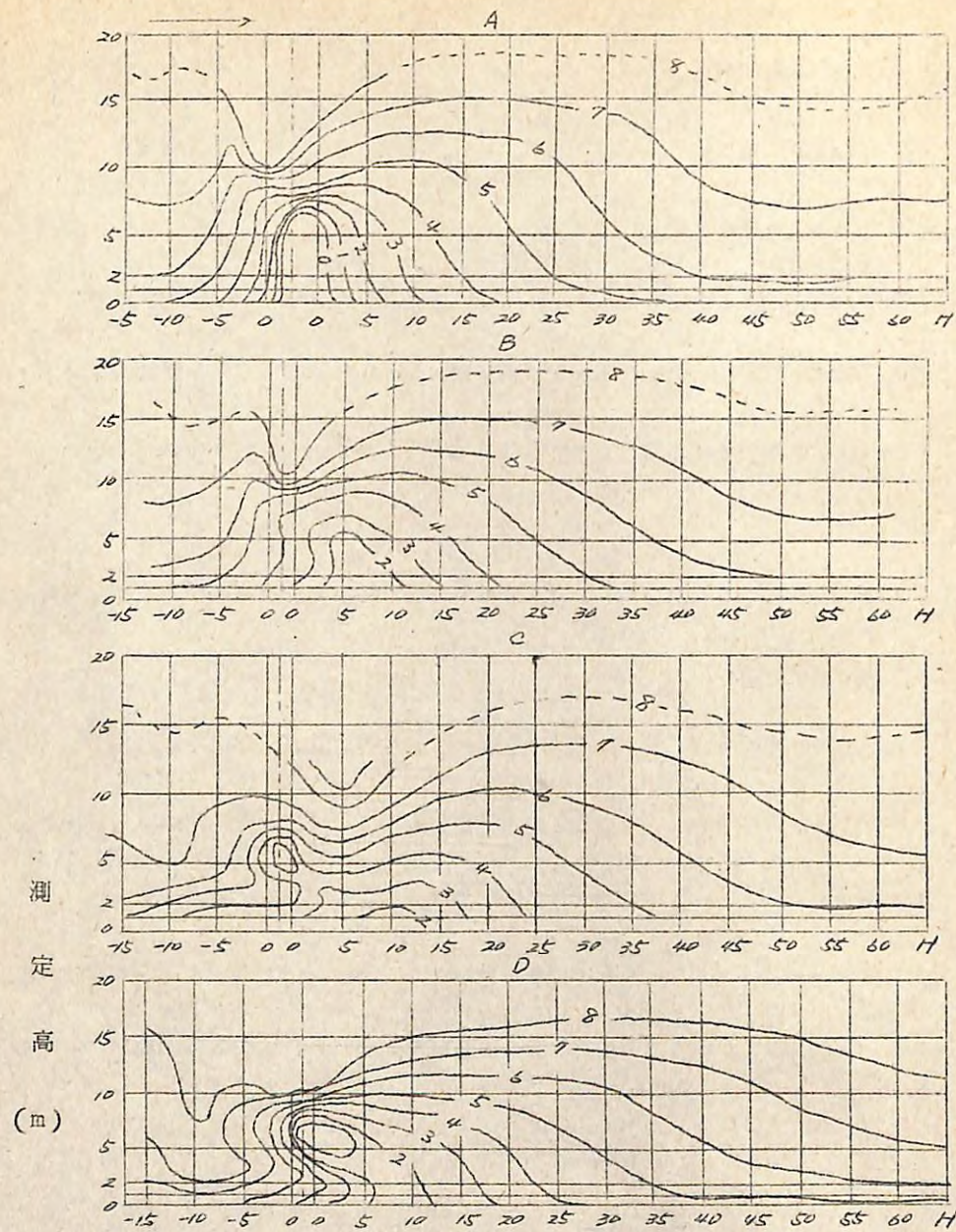
密な、疎な、吹きぬける(下木のあるとき、ないとき)構成林帯を前記の方法で表わしたのが第2図である。この図にある曲線は垂直面における各構成林帯下の耕地の風の変わり方について表わしている。等風速線のあがるのは風速の減少を示し、さがるのは増大を明らかにしたものである。

密な構成林帯での風速の大きな減少は林帯自体の内部と、無風状態のような風下林縁部にある。

疎な構成林帯の風速の最大減少値は $2 m/s$ となつて風下5Hにみられる。

吹きぬけ構成林帯(下木のあるものと、ないもの)では2個所に最低風速をみた、ひとつは密になつているクローネの直後で他のひとつは風下7~10Hにある。

どの構成も、林帯部での風速の増加がみられる。林帯風下10~30Hで風速の減少は林帯高の2倍以上の15mまでみられる。しかし、第2図は林帯の防風作用範囲の限界が明確にされていない。すなわち、風陰の広がり高さについて明らかにされていない。そこで別な方法による分析が用いられた。第1表から各点の風速(m/s)に無保護区(対照区)のものとの比をとり、各観測高(1, 2, 5, 10, 15m)ごとに表わした。



第2図

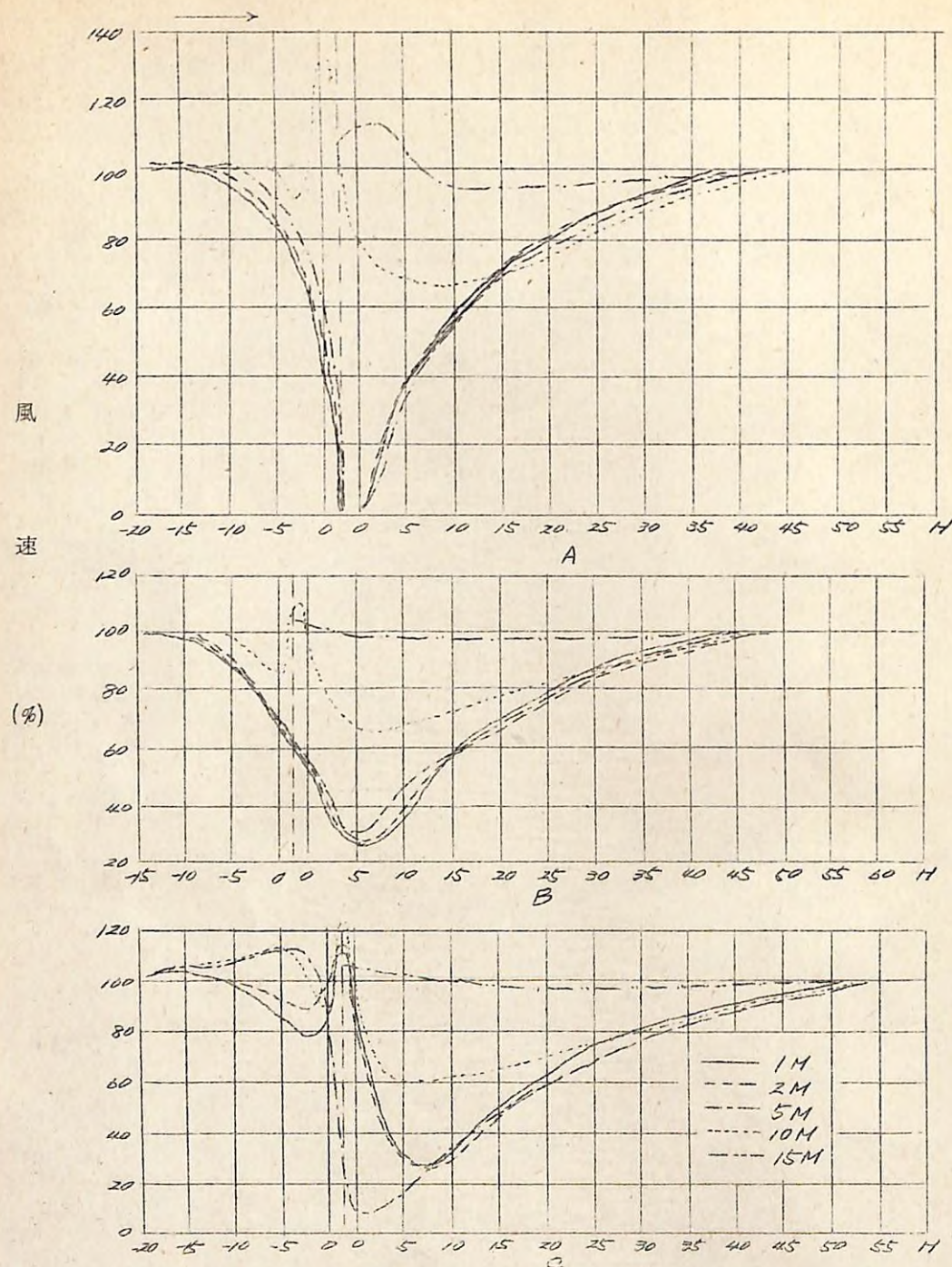
断面の等風速線

- A 密な構成林帯 B 疎な構成林帯
C 吹きぬける構成で下木のある林帯
D 吹きぬける構成で下木のない林帯

Hは樹高を示す

第4表 各構成林帯の平均風速 (m/s)

測定高	対照区 m/s	林帯風上の距離 (m)										林帯風下の距離 (m)									
		100	70	40	20	10	林縁	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
		100	70	40	20	10	林縁	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
15	7.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
10	7.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	6.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	6.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1	5.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
15	7.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
10	7.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	6.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	5.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1	5.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
15	7.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
10	7.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	6.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	6.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1	5.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
15	8.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
10	7.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	6.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	6.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1	5.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100



第3図 密な構成(A), 疎な構成(B), 下木のない吹きぬけ構成(C),
林帯の作用による風速の減少度

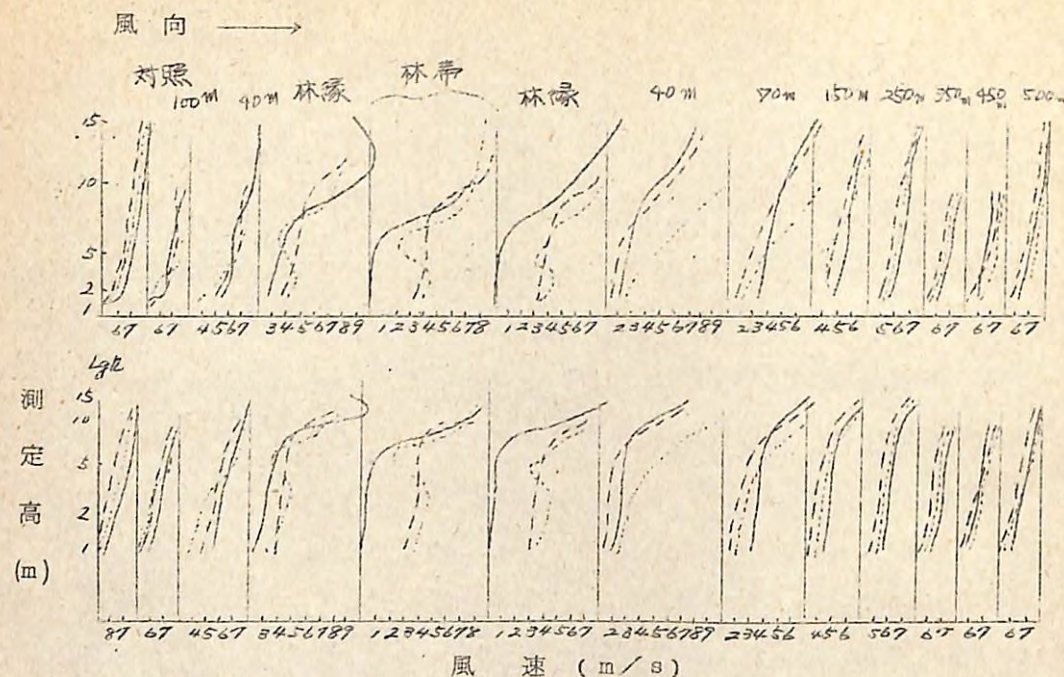
これによつて計算したのが第4表である。この表をもとにして各高さの風速減少曲線をかいた(第3図)。

グラフ(第3図A)からみられるように、吹きぬけない構成の林帯部では高さ1, 2, 5mの風速が無風状態までに減少し、風下にゆくに従い次第に回復している。10, 15mの高さでは風速が林帯部から増大し、その後、わずかに減少する、10H付近ではもつとも小さなものとなる。防風作用の最大距離は高さ10mで46H, 15mで45Hまでである。高さが減少すると林帯の防風作用距離も短くなり、高さ5mで42H, 2mで40H, 1mで39Hとなる。疎な構成林帯(第3図B)の風上直前と林帯自体での高さ1, 2, 5mの風速は減少している。風下の最少風速は5Hにあり無保護区(対照区)の風速の平均23~27%である。林帯部の風速は高さ10~15mで増大するが、風下10~15Hで減少し、さらに離れるにしたがい次第にもとにもどってくる。

下木のない吹きぬけ構成林帯(第3図C)の前では、高さ5mの風速は強くなり、林帯部で急に減少し、風下林縁では最少値になる(7~8%)。林帯から遠ざかると風速はゆつくりと回復する。林帯前の高さ1, 2mの風速は若干減少する、林帯部で115~118%までになり、続いてふたたび減少し、風下7H付近に最少値(23~25%)がある。10, 15mの高さの風速は林帯部で増大する。林帯風下では減少度が余り大きくない。林帯の防風作用距離は高さ5, 10mがもつとも大きく、57Hとなつている、最少値は高さ15mにある。

資料の分析法では各レベルの風の変化を研究するようにした。この結果、各高さごとの防風作用距離が明らかにされ、距離による各高さの風速減少度が示された。

風速測定資料から各構成による垂直面の風の変化を、林帯からの距離ごとに調べた。第1表の風速資料より垂直面内の風を示すよう第4図をかいた、上図は縦軸に測定高(m)を示したもので、下図はそれを対数になおしたものである。どちらも、横軸には風速(m/s)をとつてある。図にみられるように、対照区に対する風の垂直面型は対数形を表わしている。林帯に近づく風上100mから40mまでのところの風のプロフィールは変形し、林縁と林帯中央で大きくゆがんでいる。林帯風下では垂直面の風の変形状態は林帯から遠ざかるに従い次第に少なくなり、風の対数形は45~58Hに相当する450~500mのところでもとにもどる。



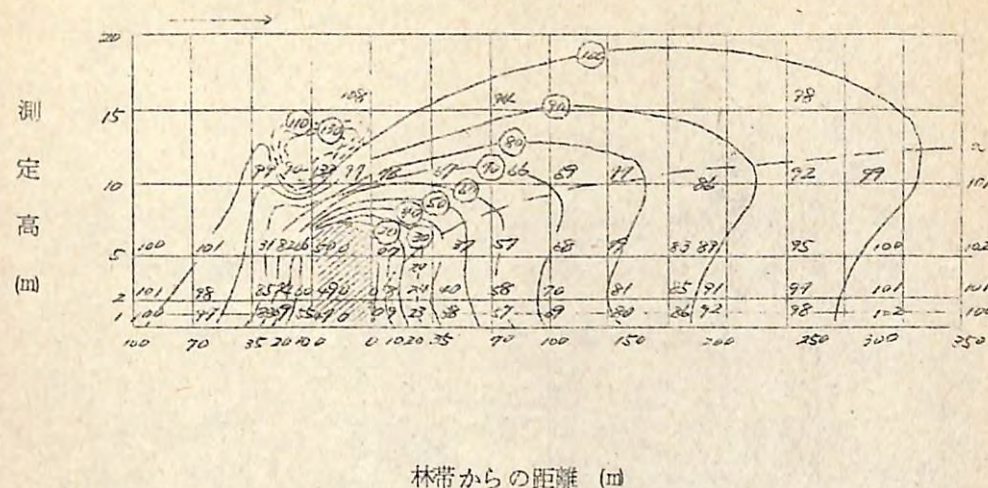
第4図 各構成林帯と各距離における風の垂直図

— 密な, --- 疎な, 下木のある吹ぬけ

このように、各構成林帯の風の対数形は空気力学的陰の範囲で完全に回復する。

これからの風速測定資料の分析からは、水平、垂直両面について林帯の風の変化の表現が与えられている。ただ、これでは各構成林帯の影響によつてつくられる風の陰の大きさ、形についての完全な表現は得られていない。そこで、われわれは第4表にある相対風速の資料の分析による方法を用いた、これはO. Bates が林帯の空気力学的研究にはじめて利用したものである。

この方法の特徴は次の点にある。相対風速の資料から、縦軸に測定高をとり横軸には林帯高倍数 (H) かメートルで林帯からの距離を示したグラフをつくる。そして10%単位の相対風速の等値線を書入れる。100%の線は林帯の防風域を限定したもので、風を弱める林帯作用範囲であることは言うまでもない。ここでは、しばしば100%以上の風速がみられる。100%以上の等値線、たとえば110、120%などは高い風速域を限定したものである。林帯の空



第5図 林帯構成による空気力学的(風の)陰の広がりをもとにするグラフ

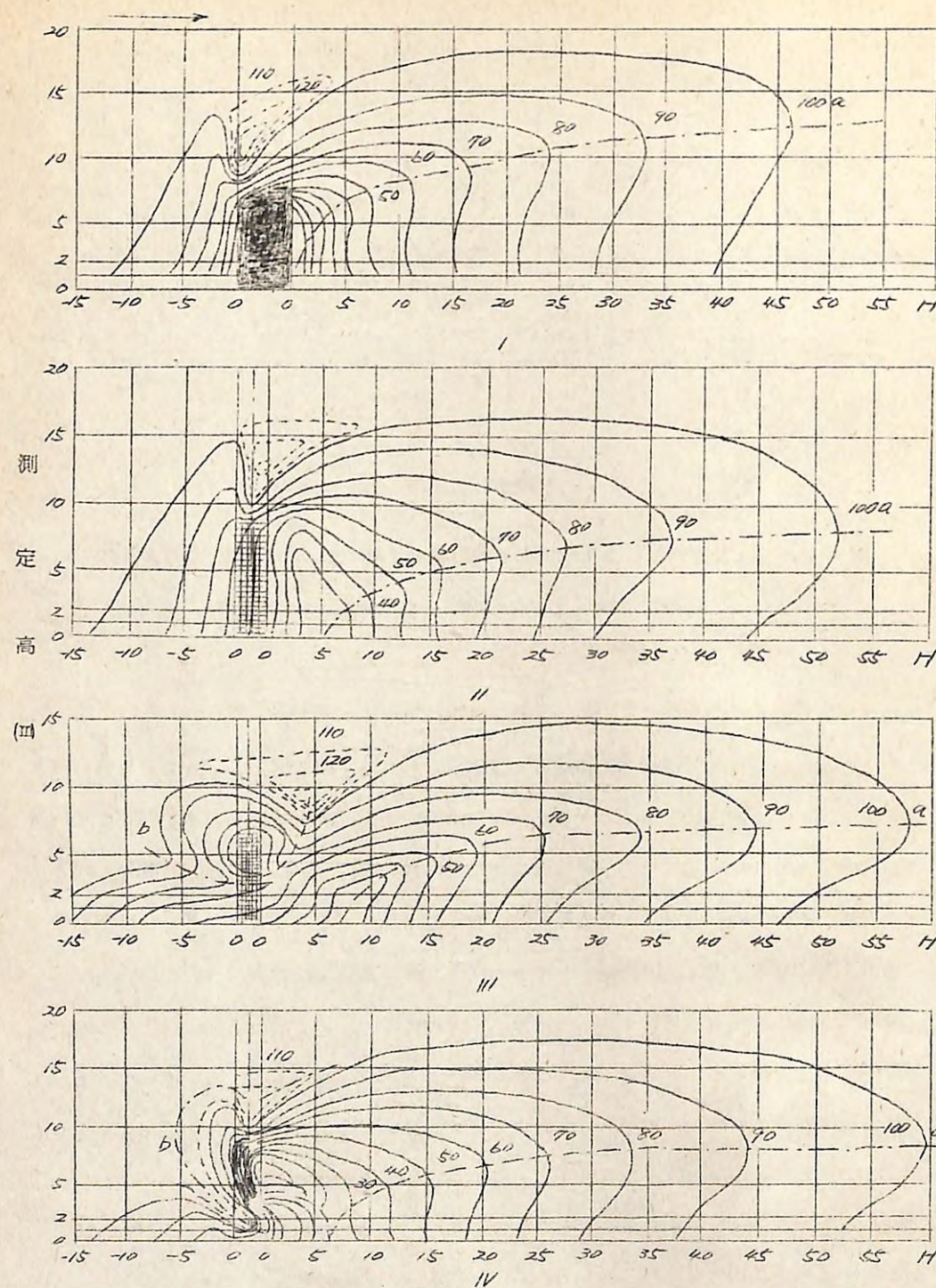
(○印内の数字は相対風速の%を示す)

気力学的陰の大きさ、形態の算定上のグラフ分析は第5図に示した。

この方法によつて各構成林帯の防風域の図がつけられる(第6図)。吹きぬけない構成林帯(第6図I)は無風状態までの大きな減少が林帯部と風下林縁にみられる。林帯の防風域の最大の広がりとは地表部でなく、高さ12mの47Hにある。高さ2mの防風作用は40Hまでである。垂直方向には林帯作用で風が弱くなるのは高さ18mまでで、8mの林帯高では2倍以上高くなる。風上林縁に近いところの高さ9~15mには最大風速域がある。

第6図IIでは疎な構成林帯の防風作用域が示されている。ここでは風速の最大減少は林帯部でも、風下林縁でもなく、風下5Hのところであり、その点が前のものと違っている。この林帯の水平方向への防風作用は高さ8mで52H、2mで46H、垂直方向は16mまで広がっている。林帯中央の高さ10~16mは高い風速域となつている。

吹きぬけ構成林帯で下木をもっている林帯(第6図III)の防風作用域はふたつの風速最大減少区をもっている、ひとつは林帯内の密になつたところで、他は風下林縁5~8Hの地表である。防風域の広がりとは高さ7.5mで58Hまでであり、2mでは50Hである。垂直方向



第6図 各構成林帯による防風作用域 I 密な, II 疎な, III 下木のある吹きぬけ
IV 下木のない吹きぬけ (a 強い風速減少, b 弱い風速減少)

の林帯作用は高さ15mまでである。前のふたつの図との違いは風速の高いところが林帯部と林帯風下すぐにみられたことである。

下木のない吹きぬけ構成林帯の防風作用域の図(第6図IV)は第6図IIIと幾分違っている。防風域の水平方向の広がり高さ8mで60Hであるが、高さ2mでは53Hである。垂直方向の林帯作用は高さ17mまでである。風速の大きいところは林帯部と林帯の吹きぬけ個所に入る風上直前にある。

どの構成でも風上における林帯の影響は10Hから15Hまでである。防護作用の最大距離をもつのは下木のない吹きぬけ構成林帯で、次は下木のある吹きぬけで、それより少ないのは疎な構成、もつとも少ないのは吹きぬけない構成林帯である。

垂直面内では林帯から風下へ遠ざかると風速の最大減少値は地表面近くでなく、若干高さをもつたところにみられ、遠ざかるに従い次第に高くなる。L. Shcherbakova(1952), E. Romanova(1954), A. Konstantinov(1950) は別な研究方法でこの高さを表現し、それを「変換レベル」と名づけた。林帯からの各距離のこのレベルを結びつけ、われわれは風速最少減少軸<a>を得たが、これは林帯の防風作用域をふたつに分けている。この線より低いところは風速の垂直傾度が小さく、上は無保護地と比べて傾度が大きくなっている。軸は風速の最大減少域からはじまる。林帯から遠ざかると次第に地表面から起きあがり、そして隆起した型をとる。相対風速の100, 90, 80等の線はこの軸を囲むようにし、地表に接近する時はもとの方に曲っている。

林帯の防風作用域の水平的広がりの最大は地表に近く、林帯と同じ高さ、すなわち風速の最大減少軸が通る高さにある。

吹きぬけ構成林帯では大きな減少軸のほか、風速の増大部からでた弱い減少軸をふたつみる(第6図III, IVの軸)。そのひとつは林帯風上から、林帯のもつともよく吹きぬける部分をとおり、他のひとつは最大減少域の上をとおつて林帯風下でおちる。林帯の防風域にある風速の強い減少、弱い減少軸の存在は以下にみられるように林帯の防風作用のメカニズムの物理的特質を明らかにするものである。

農地、菜園、ブドウ園、道路の保護のため並木型の林帯をつくるようすすめられている。

第5表 ポプラ1列並木型林帯の平均風速 (%)

測定高 m	対照区		林帯風上の距離 (m)					林帯中央	林帯風下の距離 (m)											
	m/s	%	100	75	40	20	10		10	20	40	70	100	150	200	250	300	350	400	450
15	7.9	100	—	—	—	—	—	108	—	—	—	99	—	—	—	95	—	—	—	—
10	7.4	100	—	—	99	—	70	65	—	—	86	72	—	69	—	86	—	100	—	—
5	6.7	100	102	105	100	87	91	51	46	60	45	45	57	71	78	89	97	101	100	100
2	6.1	100	101	102	94	79	70	81	72	68	53	46	60	72	84	95	101	105	101	100
1	5.5	100	100	99	90	76	67	72	73	66	5	47	62	77	88	96	102	101	100	100

防風性の価値づけ上、われわれはヘルソン州ゲニチエス区のスチャストリフツエヴォ・コロホーズの並木林帯を調査した。

調査時、林帯はポプラの1列植えであつた。林帯高7~8m。樹間2m。全体の疎度38%。高さによる疎度：地表から2mまで—85%、2~6m—15%、6~8m—60%。

1954年から1955年に行つた風速測定結果は第5表に示してある、これは12回くり返し測定の平均風速である。この表からつくつたグラフによると、1列並木林帯の防風作用距離は平均35Hであつた。防風域内では、風速の減少は並木林帯でも同じ状態にある。

われわれが表わした林帯の基本構成別の作用域を点検するため、別な分析法による追加測定が行われた。その調査で得た密な、疎な、吹きぬけの各構成林帯の防風作用域は、われわれが得たその型を確認したことになつた。しかし、若干の違いは認められた。基本的には次のようなことが言えた。

- 吹きぬけない構成林帯の防風域の広がりには少なく、35Hであつた。
- 風速の増加するところは林帯の真上で、ときどき風下に近くなつたが、これは吹きぬける構成林帯だけでなく、他の林帯でもなつた。
- 下木のある吹きぬけ構成林帯では、ときどき風下に風速の弱い減少軸をみる。

われわれが得た各構成林帯の防風作用域図から、規則性をみいだすために他の研究者が発

表している林帯の防風性の資料も分析してみた。G. Bates (疎な林帯), N. Woodruff, A. Zingg (吹きぬけ林帯), Ju. Bjallovich (吹きぬけない林帯), E. Kucherjavych (並木林帯)らの資料である。これら資料の分析結果は、基本的にわれわれが得た各構成林帯の防風作用図の正しさを証明している。

そこから、各構成林帯の風の陰の位置はどの場合も、防風作用域の図に表わされるように特別な形態をもつてゐるという結論がでてくる。陰によつて空気力学的に林帯を知るのみでなく、その構成を明らかにすることができる。換言すると、林帯の構成は気流の空気力学的運動の特質を限定するものである。当然この運動は林帯の疎度に関係してくる。

防風作用域の図は林帯がもつ防風性の完全な特質を表わし、次のことを示している。

- 1) 林帯風上、風下の各高さにおける風速への林帯の影響とその距離範囲
- 2) 林帯作用により弱まる風の高さを示す
- 3) 風速の最大減少区
- 4) 風速の増大区
- 5) 全防風区域における風速の垂直傾度の変化

防風作用の最大距離は測定資料から得た表でも知られるように吹きぬけ構成林帯にみられ、もつとも急激に、強く風速が減少するのは吹きぬけない林帯である。

基本構成のどれにもあてはまらない難しい林帯にしばしば出会うことがある。それらは同時に二、三の型の構成を示している。これを複合構成といふことができ、次のようなものがそれである。

- 1) 高さの半分が密で、上は疎な林帯
- 2) 下部が疎、中間が密、上が再び疎な林帯
- 3) 下部が密、中間と上部が疎な林帯
- 4) 下部が吹きぬ、中間と上部が疎な林帯
- 5) 下部が密、中間が吹きぬけでその上が密、最上部は疎になつてゐる林帯

複合構成林帯の防風性の研究のため、われわれはヘルソン州ツェルピン地区フルンゼ・ソホーズ、ラデンスキー・ソホーズ、ニコラエフ州ベレズネエゴワト地区ジダノフ・コルホーズ、ヘルソン州ヴィソコポリ地区キーロフ・コルホーズの林帯を対象とした。これらの林帯は次のとおりである。

1. フルンゼ・ソホーズの林帯は菜園保護を目的として1937年に造成された。林帯は5列で、うち2列はポプラの樹高13m、2列はニセアカシヤ6~7m、1列は林縁のグミである。全疎度32.3%。高さによる疎度：地表から6mまで—0、6~13m—60%。
2. ラデンスキー・ソホーズのは6列林帯で1938年につくられた。平均樹高9.2m。列間1.5m、樹種間0.8m。構成樹種：ニセアカシヤ30%、ネグンドカエデ30%、アンズ20%、サイカチ20%。若干の灌木。全疎度26.6%。高さによる疎度：地表から2mまで—50%、2~7m—5%、7~9.2m—55%。
3. ジダノフ・コルホーズの12列林帯は喬・灌木法で1933年に造成された。植付配置は1.2×0.7m。林帯高9m。構成樹種：上層—ナラ、サイカチ、下層—オオムレスズメ、カエデ、モモイロヒヨウタンボクの1.5m~2m。全疎度30.6%。高さによる疎度：地表から1mまで完全に密、1~2m—10%、2~5m—35%、5~7m—20%、7~9m—60%。

1954年10月、この林帯の一部に伐採を行つた、灌木には萌芽が発生し、調査期間中

0.5mになつてゐた。この部分の全疎度37.2%。高さによる疎度：地表から0.5m—密、0.5~1.7m—90%、1.7~6.5m—30%、6.5~8.0m—15%、8.0~9.0m—60%。

4. キーロフ・コルホーズの12列林帯は1933年に造成された。配置は1.5×0.8m。平均林帯高7m。構成樹種：ナラ—40%、サイカチ—50%、トネリコ—10%。下木にはオオムレスズメ、ワウロ、モモイロヒヨウタンボクと上木種の萌芽。全疎度37.5%。高さによる疎度：地表から1.5m—密、1.5~2.5m—60%、2.5~4m—5%、4~7m—65%。

これら林帯の風速測定調査は1952年から1957年の夏期に行つた。比較のため同一条件で得られる風速資料を求めた。すなわち林帯に対する風向（許容偏差±15°）、対照区における高さ2mの風速5~7m/sに対する比、接地気層に温度差のない層などを条件としたものである。林帯の高さ、幅、全疎度も同じようにしたが林帯前後の地表物に若干の差があつた。

測定結果（10~18回くり返し）は第6表に示した、それをもとにグラフ（第7図）をかいた。

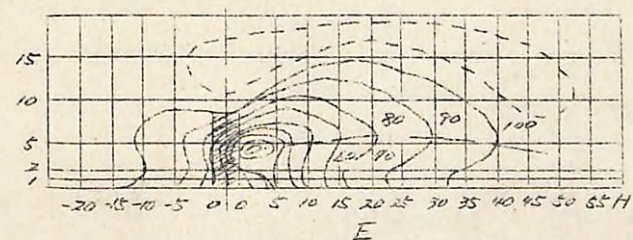
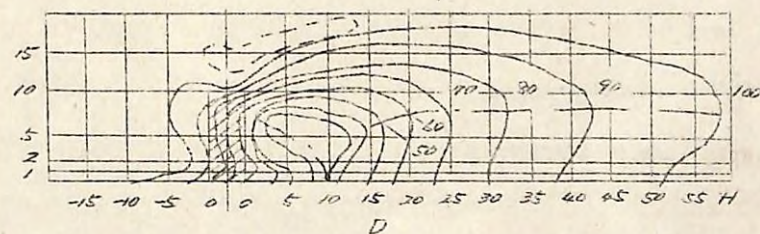
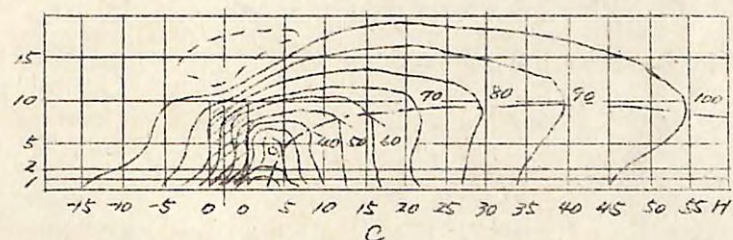
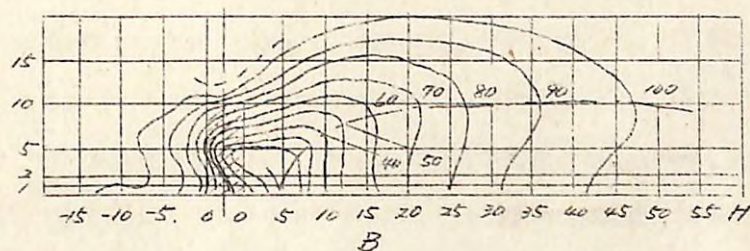
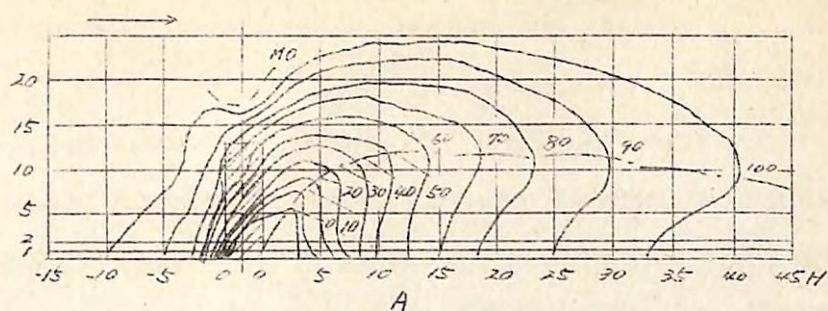
第7図Aから、下半分が密で上部が疎な断面の林帯の防風作用域は、高さ2mの水平方向をみると3.4Hまで広がっている。同じような構成林帯をもつスチャストリフツェヴォ・コルホーズ、砂丘開発のニージェ・ドニエプル試験場ポリシエ・カパンスでも似たような結果がでた。これらの調査で、同じような林帯は多少でも所期の効果をもつことが明らかである。I. Golitsberg はこの林帯が南ソビエト・ヨーロッパ地域に適合するものとみなしている。われわれの調査ではそのような結論とはならない。

第7図Bは下が疎で、中間が密、上部が疎な林帯の防風作用域を表わしている。グラフからみられるように、この林帯の防風作用域の広がりには水平方向で高さ2mのとき4.2Hまでとなつてゐる。したがつて林帯の防風性からみると、この構成は風下4.0Hまでの防風作用域をもつ密な構成林帯より幾分すぐれている。ハリコフ州クラスノグラード地区ウクライナ・コルホーズ林帯№3、バルチザン試験地林帯№5の同じような構成から得た資料と同一で

第6表 複合樽成林帯の平均風速 (%)

構 成	測 定 高 (m)	林 帯 風 上 の 距 離 (m)				林 帯 中 央	林 帯 風 下 の 距 離 (m)											
		100	70	40	20		林縁	20	40	70	100	150	200	250	300	400	500	600
下 半 部 密	15	—	—	103	—	94	—	60	—	—	—	69	—	—	—	—	103	—
上 部 疎	10	106	—	102	91	66	50	28	—	36	—	63	—	79	91	99	106	—
(フルンゼ	5	103	—	93	82	30	10	9	—	37	—	68	—	83	94	101	102	—
ソホーズ)	2	98	—	89	77	0	0	9	—	36	—	70	—	86	95	108	107	—
下 部 疎	1	97	—	87	75	0	0	7	—	36	—	71	—	87	96	110	105	—
中 間 密	15	—	—	—	—	115	—	—	92	—	—	85	—	—	101	—	—	—
上 部 疎	10	105	106	—	98	95	—	—	60	56	63	71	—	87	97	107	—	—
(ラヂンスキー	5	104	99	89	76	20	—	20	29	43	61	72	—	88	98	110	—	—
ソホーズ)	2	107	103	94	85	50	—	15	30	45	62	74	—	90	101	112	—	—
下 部 密	1	105	101	95	90	65	—	16	31	46	61	74	—	92	103	108	—	—
中 間・上 部	15	—	—	—	—	112	—	—	92	—	88	—	—	95	—	—	—	—
疎	10	103	105	101	—	94	85	64	60	—	66	—	—	84	93	101	—	—
(ジュダノフ	5	105	102	95	89	65	40	19	38	49	63	73	—	87	95	103	—	—
コルホーズ)	2	100	95	92	87	60	42	20	36	49	62	74	—	89	98	103	—	—
下部吹きぬけ	1	98	93	89	82	0	20	18	35	48	61	73	—	90	99	100	—	—
中 間・上 部	15	—	—	—	—	110	—	—	95	—	86	—	—	93	—	—	—	—
疎	10	106	108	101	—	90	81	58	52	55	60	69	—	81	91	97	—	—
(ジュダノフ	5	105	107	101	95	70	55	25	23	28	50	66	—	82	92	98	—	—
コルホーズ)	2	103	105	107	100	72	70	51	34	32	53	68	—	84	93	101	—	—
下 部 密	1	102	101	99	98	90	86	56	40	39	55	69	—	84	94	103	—	—
中間吹きぬけ	15	—	—	—	—	110	—	—	108	—	103	—	—	102	—	—	—	—
上 部 密	10	—	103	—	102	105	—	—	78	—	90	—	108	115	103	—	—	—
上 部 は 鋭	5	102	98	91	85	56	30	35	49	74	85	93	98	106	102	—	—	—
(キーローフ	2	105	100	94	91	65	40	48	65	83	93	98	104	107	101	—	—	—
コルホーズ)	1	103	98	91	84	0	0	45	68	81	91	100	100	102	100	—	—	—

測
定
高
(m)



第7図 複合構成林帯による防風作用域

A 上疎, 下密 B 上疎, 中密, 下疎
C 上中疎, 下密 D 上中疎, 下吹きぬけ E 上鋭密, 中吹きぬけ, 下密

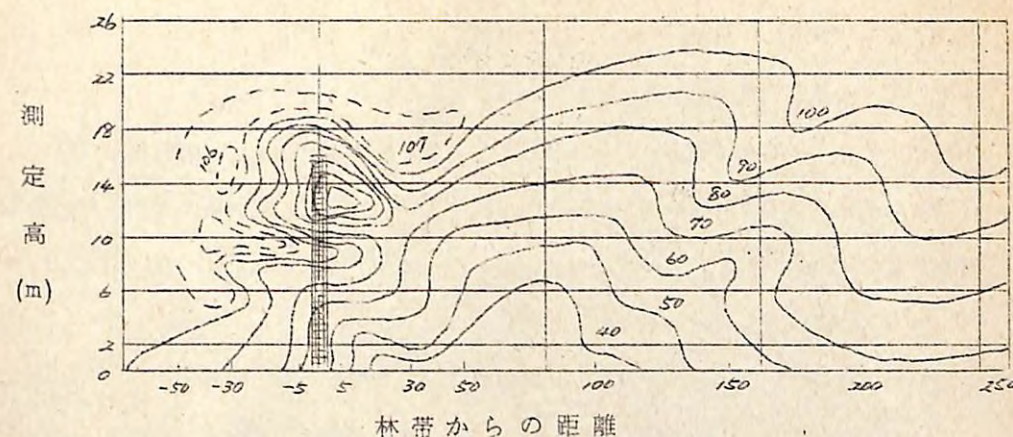
あつた。これら資料から、密な林帯で下部に小さな疎度をもつとき、防護作用効果はあがらないことが明らかにされている。

第7図Cは下部が密で中間と上部が疎な林帯断面のもつ防風作用域を示している。グラフから林帯の防風作用域は水平方向、高さ2mをみると47Hまで広がっている。それ故、この林帯の作用距離は疎な構成林帯と同じである。この型の林帯は下木に密な灌木をもつた疎な構成林帯のすべてに関連している。

第7図Dは下が吹きぬけ、中間と上部が疎になっている林帯の防風作用域を示している。この林帯の高さ2mの防風作用距離は全複合構成のうち最大の52Hである。わが国の二、三の提唱者、機関が、また外国でも、この林帯をもつとも効果あるものとしてすすめている。イギリスの農業、漁業省の報告(1955年/615)をみると、防護林帯は地表近くに行けるだけ大きい透過性、上部はより少ない透過性が必要であるとかかれている。われわれの資料でもこれら推奨の根拠が正しいことを証明している。

第7図Eは下が密で、中間が吹きぬけ、上部が密になり、梢が不均等でまだらな林帯の防風作用域を表わしている。グラフから高さ2mで水平方向へこの距離をみると3.3Hまで広がっているのがわかる。このように、ほかの林帯と比較してみても防護作用距離がもつとも小さい。似たような構成林帯の風の状態についての資料は E. Kucherjavykh(1940)のものをあげることができる。高さ16mのアメリカヤマナシの1列林帯で下が密、中間が吹きぬけ、上部が弱い疎の断面となっていた。この資料から二三の近似値を用い第8図に林帯の防風作用図をかいた。林帯付近の風速の増した部分は林帯風上から林帯の吹きぬけ部に広がり、高さ5~10mのところにある。これはわれわれの結論でもみられるものである。

このように、われわれが示した複合構成林帯で最大防風作用距離をもつのは下部吹きぬけ、中間・上部が弱い疎度の林帯である。



第8図 上部が弱い疎、中間吹きぬけ、下部密な1列林帯の防風作用域 (E. Kucherjavykhによる)

2. 横断面型

わが国の文献には防護作用効果を最大に発揮させるのに、各構成林帯がどのような横断面型をもつべきか示したものがなかつた。ただ例外として、B. Logginov, M. Kobezsky, Ju. Bjalloovich の協力を得て1947年、ウクライナ共和国農業省からだした「ウクライナ共和国ソホーズ、コルホーズの防護林帯、エロージョン防止林造成の指示」があつた。指示書では長方形に近い横断面型をとるようにしてある。同じような意見は V. Bodrov(1952) にもあつた。

外国の研究によると N. Woodruff, A. Zingg(1953) は三角形に近い横断面を提唱している。この林帯はもつとも高い部分が風下林縁近くにあり、風上部は風下側よりゆるい傾斜をもっている。

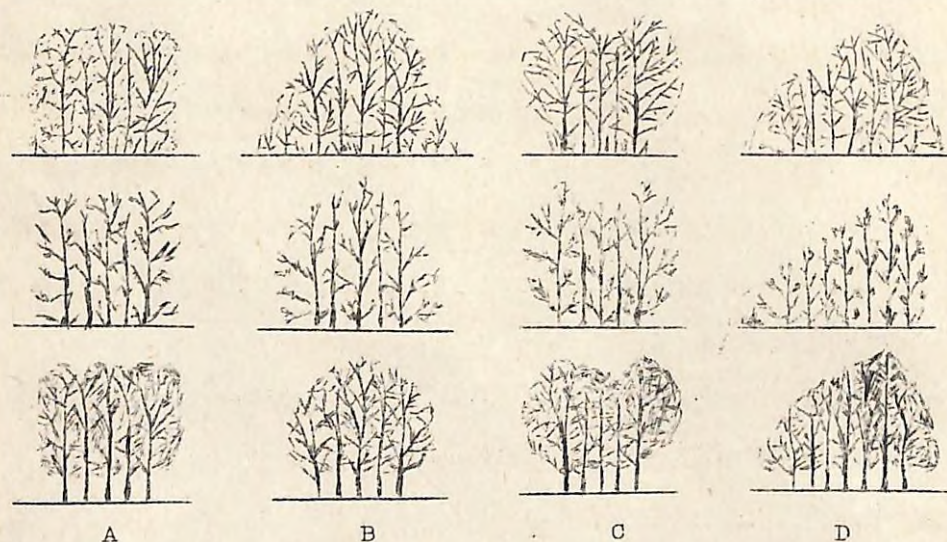
イギリスでは林帯中央に高木、両端に低木、灌木を配置するよう三角形の横断面林帯をすすめている(W. Staple, J. Lehan 1957)。B. Logginov と V. Bodrov によるものは吹きぬけ構成林帯で、N. Woodruff, A. Zingg は吹きぬけない林帯に関連した結論である。

各構成林帯にとって、もつともよい横断面型を明確にする目的でいろいろな断面型をもつ密な、疎な、吹きぬける構成林帯の空気力学的陰の領域、広がり、高さなどを調査することにし、多くの風速測定を行つた。

そこではもつとも多くみられる横断面型をとりあげた(第9図)。A—長方形に近い型。B—三角形に近い型(林帯中央が高い)。C—林帯中央がへこんでいる(両端に高い樹種、中央が低く林縁は卵形)。D—風上が風下よりゆるい傾斜をもつ三角形に近い型(これはN. Woodruff, A. Zingg のものと似ている)。

横断面にいろいろな型をもつ林帯の防風性の研究には次の林帯を用いた。

1. ニコラエフ州ベズネゴワト地区ジダノフ・ソホーズの12列林帯は横断面型Aであつた。林帯高8 m, 構成樹種: 上部—ナラ, サイカチ, 下部—ニセアカシヤ, モモイロヒヨウタンボク。林帯はすそが閉さし構成は密となつてゐる。1954年に一部を伐採, その部分は疎(疎度35%)と吹きぬけ(疎度30%)となつてゐる。



第9図 林帯の横断面型図

上列 吹きぬけない密な構成林帯
中列 疎な構成林帯
下列 吹きぬけ構成林帯

2. 横断面型Bの林帯

a) ウラヂミール農林土地改良試験場№6の密な構成林帯。林帯高8 m。構成樹種: 上木—ナラ, トネリコ, 下木—オオムレスズメ, モモイロヒヨウタンボク, ワウロ, 林縁グミ。全疎度1~2%。

b) マリウボーリ農林土地改良試験場№16のナラの3列林帯。

c) ニコラエフ州カザンコフ区レーニンスクラ・コルホーズの6列林帯。林帯高7 m。構成樹種: ニセアカシヤ, ネグンドカエデ。疎な部分(疎度40%)と吹きぬけ(疎度36%)の部分からなつてゐる。

3. ヘルソン州ヴィソコポリ地区キーロフ・コルホーズ12列林帯は横断面型Cである。林帯高8 m。構成樹種: 上部—サイカチ, トネリコ, 下部—サクラ, アンズ, 下木—オオムレスズメ, モモイロヒヨウタンボク。林帯は密な構成で閉さしてゐる。1953年に伐採があり, 疎な部分(疎度38%)と吹きぬけ部分(疎度33%)からなつてゐる。

4. 横断面型Dの林帯

a) ウラヂミール農林土地改良試験場№8の吹きぬけない8列林帯(南地区)。林帯高8 m, 幅41 m。祖国戦争のとき林帯の東端の幅半分を伐つた。調査時までには, 萌芽更新したが, 西の部分には成長が追いつかなかつた。この外, 東の林縁でニレの萌芽があつた。結果的に東林縁(風上)は西より大きなすそをもつてゐた。

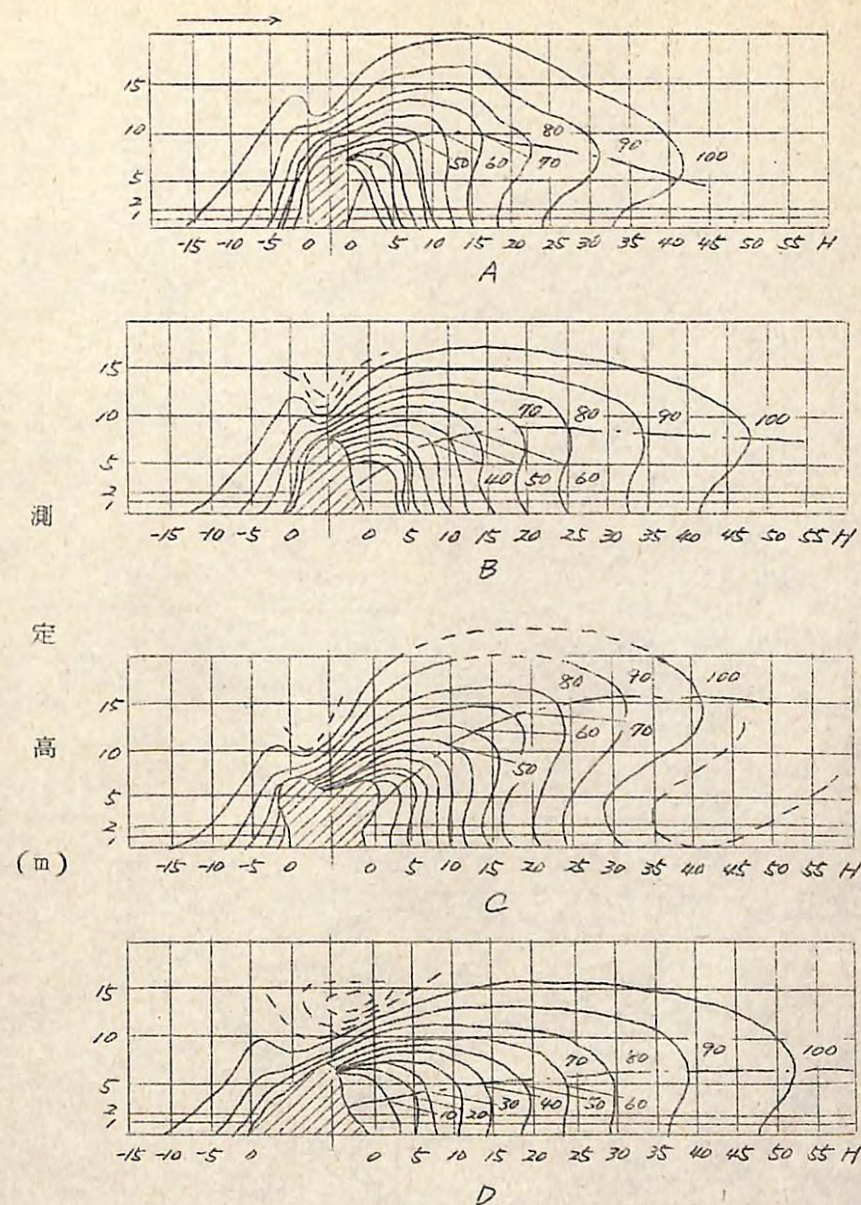
b) ヘルソン州ツウルピン地区ラデンスキー・ソホーズの5列林帯。林帯高7 m。構成樹種: ニセアカシヤ, ネグンドカエデ, アンズ。伐採によつて全疎度32%になるようなすかしをつくつた。この林帯の南東林縁は調査のときにアンズの低い1列林縁をもつてゐたが, 北西部よりすそが大きかつた。

これらの林帯の風速測定は1953~1959年の各着葉期に行われた。調査全点, 同時測定を行つた。調査結果は林帯に対する風向(許容偏差 $\pm 15^\circ$), 高さ2 mで6~8 m/sの対照区の風速, 接地層に気温差のない層などの場合について表わされた。どの林帯も同じような高さ(7~8 m)と疎度(30~40%)をもつてゐた。

各断面型をもつ密な構成林帯の風速測定資料は第7表に示した。この資料をもとに林帯の

第7表 各横断面をもつ密な構成林帯の相対平均風速 (%)
(12~18回くり返し平均)

横断面型	測定高(m)	林帯風上距離(m)					林帯中央	林帯風下距離 (m)												
		100	70	40	20	林縁		林縁	20	40	70	100	150	200	250	300	350	400	450	
		15	10	5	2	1	15	10	5	2	1	15	10	5	2	1	15	10	5	2
A	15	108	103	99	94	91	122	80	50	20	10	79	74	85	91	101	96	103	104	102
	10	103	99	94	91	88	121	80	50	20	10	79	74	85	91	101	96	103	104	102
	5	103	99	94	91	88	121	80	50	20	10	79	74	85	91	101	96	103	104	102
	2	99	94	91	88	85	121	80	50	20	10	79	74	85	91	101	96	103	104	102
	1	97	91	81	68	43	121	80	50	20	10	79	74	85	91	101	96	103	104	102
B	15	103	100	98	92	81	121	80	50	20	10	79	74	85	91	101	96	103	104	102
	10	103	100	98	92	81	121	80	50	20	10	79	74	85	91	101	96	103	104	102
	5	102	104	98	92	83	15	80	0	0	0	55	70	79	86	92	98	103	105	101
	2	103	99	92	83	70	0	70	0	0	0	53	70	81	87	93	101	105	101	101
	1	101	97	90	81	65	0	65	0	0	0	38	69	81	88	95	102	106	102	102
C	15	106	102	94	83	79	110	81	44	0	0	70	69	76	88	92	102	111	112	101
	10	106	102	94	83	79	110	81	44	0	0	70	69	76	88	92	102	111	112	101
	5	104	102	94	83	79	12	50	0	0	0	55	76	92	102	102	118	113	107	107
	2	103	94	83	79	79	0	42	3	3	20	41	57	78	93	103	104	115	108	103
	1	99	91	79	65	40	0	40	5	5	21	40	55	77	92	101	102	111	105	101
D	15	102	103	102	99	88	121	79	8	0	0	100	74	81	86	99	89	94	98	103
	10	102	103	102	99	88	121	79	8	0	0	100	74	81	86	99	89	94	98	103
	5	101	103	102	99	88	121	79	8	0	0	100	74	81	86	99	89	94	98	103
	2	102	101	95	88	74	0	74	14	9	20	35	61	73	82	90	96	101	104	104
	1	102	99	93	85	68	0	68	0	8	19	34	61	73	82	91	97	102	102	102

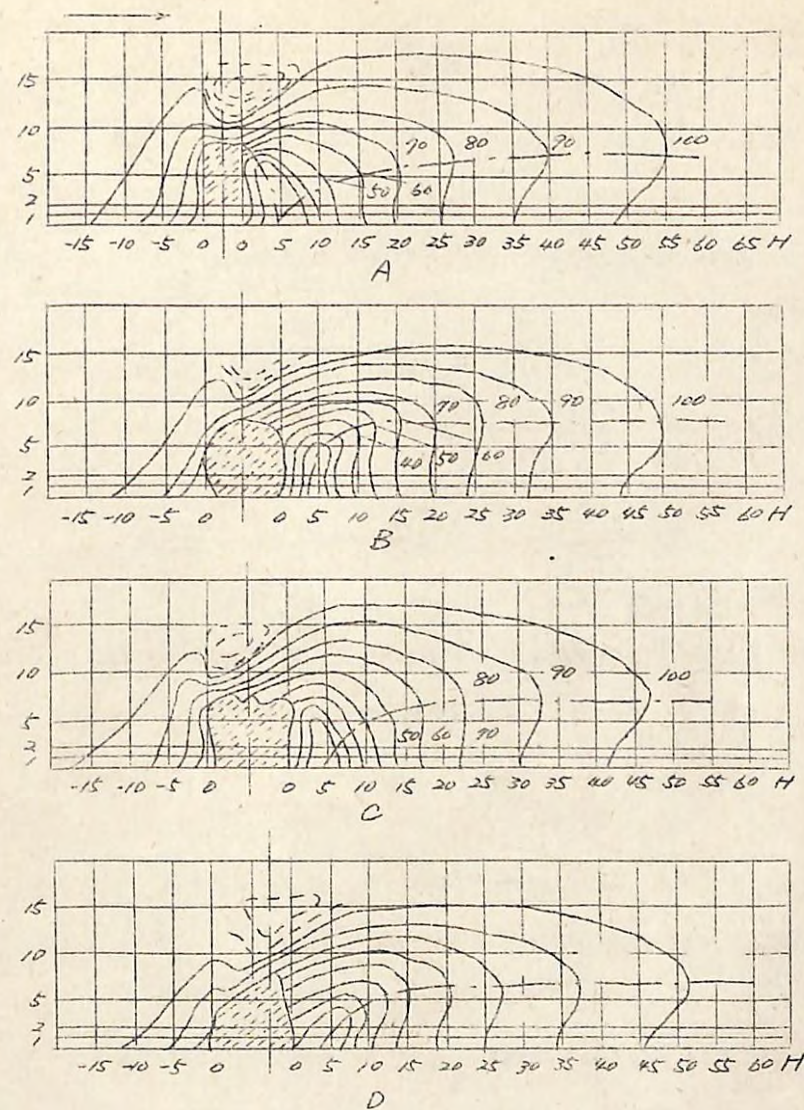


第10図 横断面型A.B.C.Dの密な構成林帯の防風作用域

第8表 各横断面をもつ疎な構成林帯の相対平均風速 (%)

横断面型	測定高 (m)	林帯風上距離 (m)					林帯中央	林帯風下距離 (m)																
		林縁						20	40	70	100	150	200	250	300	350	400	450	500					
		100	70	40	20	林縁																		
A	15	—	—	—	—	—	118	—	—	101	—	—	—	—	98	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	10	—	103	—	20	—	105	—	81	68	—	76	—	87	—	94	—	102	—	—	—	—	—	
	5	102	98	92	84	69	60	50	23	47	55	66	76	83	89	93	97	102	103	103	103	103	103	
	2	100	95	89	80	68	59	51	29	36	51	67	78	85	91	94	100	103	103	103	103	103	103	
	1	98	94	88	78	67	58	52	30	36	50	69	79	86	92	95	102	105	102	102	102	102	102	
B	15	—	—	—	—	—	116	—	—	101	—	—	—	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	10	—	103	—	—	—	108	—	70	62	—	74	—	89	—	98	—	102	—	—	—	—	—	
	5	101	103	100	94	82	58	45	23	40	53	68	79	87	92	96	102	101	100	100	100	100	100	
	2	102	100	93	86	72	45	43	20	42	55	69	82	89	94	98	103	103	101	101	101	101	101	
	1	101	99	91	83	70	45	43	19	42	56	70	83	90	95	100	105	101	102	102	102	102	102	
C	15	—	—	—	—	—	—	—	—	89	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	10	105	—	—	—	—	90	—	63	65	—	78	85	—	95	99	103	102	100	100	100	100	100	
	5	102	97	91	80	68	52	38	18	46	56	72	82	88	94	98	103	102	100	100	100	100	100	
	2	98	93	87	78	62	45	39	20	40	56	73	83	91	96	101	104	103	101	101	101	101	101	
	1	97	93	86	76	63	45	28	19	40	57	73	84	93	97	102	103	102	100	100	100	100	100	
D	15	—	—	—	—	—	123	—	—	104	—	—	—	101	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	10	—	105	—	—	—	112	90	—	70	—	76	—	88	—	—	100	—	100	—	—	—	—	
	5	102	103	101	95	87	70	54	45	38	50	67	76	84	91	95	99	103	100	100	100	100	100	
	2	103	99	94	88	76	59	40	30	40	54	69	78	86	92	98	103	104	101	101	101	101	101	
	1	102	97	92	86	75	56	38	28	43	56	70	80	87	93	99	105	103	103	102	102	102	102	

(四) 測定高さ



第11図 横断面型A,B,C,Dの疎な構成林帯による防風作用域

防風作用域をかいた(第10図)。図からみられるように、防風作用域は密な構成林帯の横断面型Dが最大の水平方向への広がりをもっている、高さ2mで4.8H、次が横断面型Bであつた(4.2H)。防風作用距離が少ないのは横断面型Aで3.5H、さらに少なかったのは横断面型Cであつた(3.0H)。林帯の防護作用がおよぶ高さはCが最大(2.5m)次がA(2.0m)、B(1.8m)で最少はD(1.6m)である。

このように、密な構成林帯の各横断面型は防風作用距離に対してはつきりと影響があるのを物語っている。

各横断面型をもつ疎な構成林帯の風速測定結果は第8表に示し、その防風作用域は第11図に表わした。この図からみて、防風作用域の最大の広がりをもつのは横断面型Aの疎な構成林帯で高さ2mにおいて5.0Hまでとなつてゐる。横断面型Dは4.7H、Bは4.5H、Cで4.2Hとなつてゐる。これは疎な構成林帯の横断面型が密な構成林帯の場合より防風性が大きいことを証明するものである。

吹きぬけ構成林帯の風速測定結果を第9表に示した。各横断面型による林帯の防風作用域は第12図に表わした。この図から風下の防風域の最大の広がり、高さ2mにおいて吹きぬけ構成林帯横断面型Bで6.0Hとなつてゐる。横断面型Dの林帯は防風域が5.6Hで、Aの林帯は5.5H、Cの林帯は5.0Hである。

このように、吹きぬける構成林帯の横断面型は密な構成林帯よりは、その防護性が大きく、疎な構成林帯よりも幾分大きいことを示している。

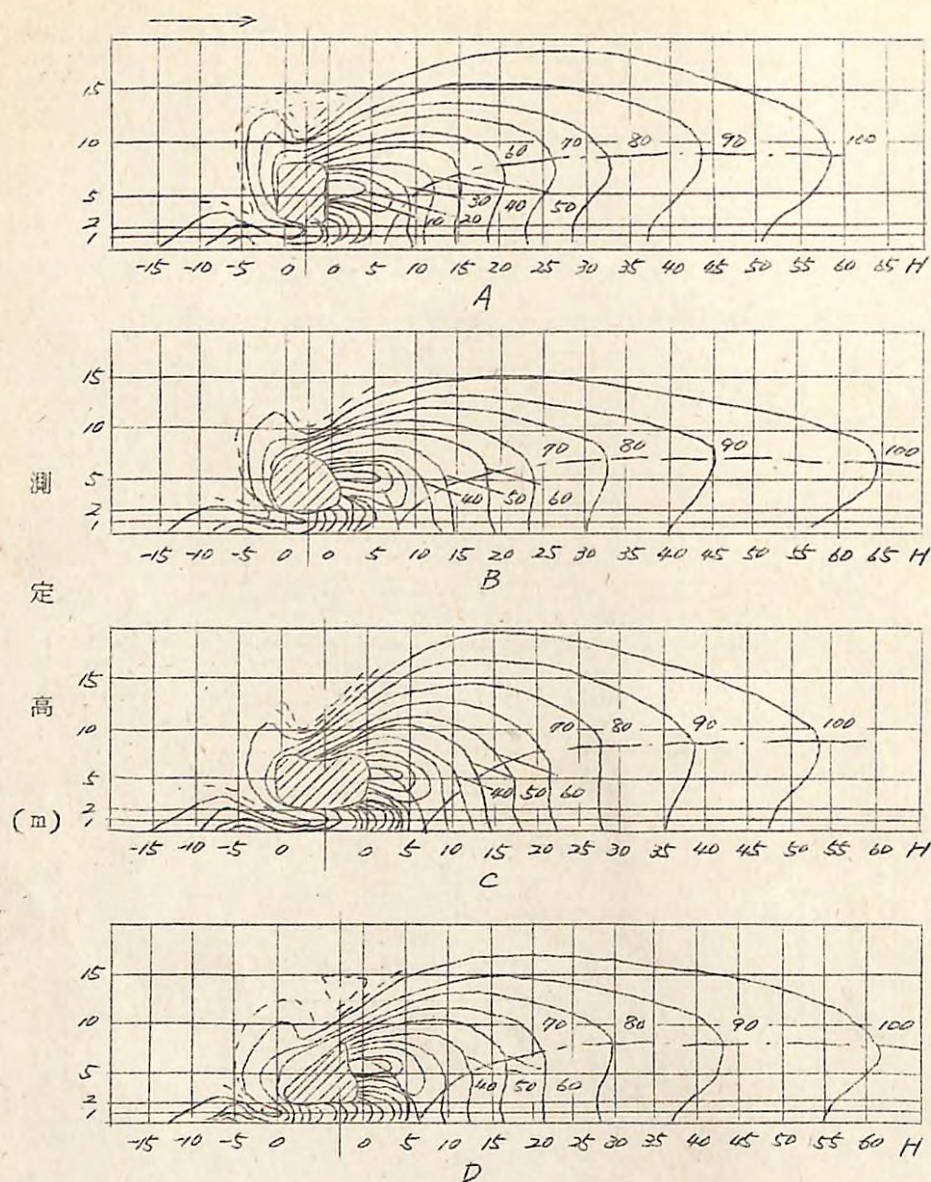
調査資料からもつともよい横断面型がどれであるか明らかである。

- a) 密な構成林帯には風上がゆるい傾斜をもち、風下が急な三角形(D型)
- b) 疎な構成林帯には長方形(A型)
- c) 吹きぬけ構成林帯には三角形で、下が卵型をしているもの(B型)

これらの研究結果、適合する横断面型をもつ吹きぬけ構成林帯は疎な構成林帯より、また密な構成林帯より大きな防風作用距離をもっている。

第9表 各横断面をもつ吹きぬける構成林帯の相対風速 (第9)

横断面型	測定高(m)	林帯風上距離(m)				林帯中央	林帯風下距離(m)										
		100	70	40	20	林縁	林縁	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
A	15	109	106	106	106	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
	10	108	106	106	106	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
	5	108	106	106	106	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
	2	103	111	113	113	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
	1	101	108	113	113	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
B	15	112	112	112	112	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
	10	112	112	112	112	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
	5	108	116	110	110	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
	2	102	116	112	112	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
	1	100	116	112	112	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
C	15	105	113	113	113	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
	10	105	113	113	113	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
	5	106	110	111	111	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2	102	110	111	111	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	1	100	106	110	111	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
D	15	106	112	112	112	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117
	10	106	112	112	112	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117
	5	103	109	114	114	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
	2	102	109	114	114	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
	1	101	109	114	114	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99



第 12 図 横断面型 A, B, C, D の吹きぬけ構成林帯による
防風作用域

3. 疎 度

今日では気流の浸透を妨げるものより、これをより早く透過する林帯に効果があるものとされている。ただ、風の浸透性は林帯の全縦断面積に対する林帯のすかし面積の百分率で表わされる疎度に関係してくる。

二、三の人は吹きぬけ構成林帯に対して「吹きぬけ度」の用語を用いている。これは林帯風上の風速に対する風下の風速の関係を示すもので正しいものとはいえなかつた (V. Bodrov 1952, V. Smolar 1955)。

農林土地改良事業のためには、林帯の防護作用がどのような疎度のときもつとも効果をもつかはきわめて重要である。文献にはこの問題があまりみあたらない。疎度と林帯の防風作用の関係をとりあげているのは Ju. Bjallovich (1939), A. Konstantinov (1950), E. Romanova (1954), M. Jensen (1957) などである。

V. Smolar は防護林帯にもつとも適した吹きぬけ度を得る目的で、風洞を使い林帯の模型実験を行つた。これで林帯風下に逆気流が生じなくなるのは林帯の吹きぬけ係数が 0.07 以上、林帯の疎度係数は 0.27 以上であることが明らかになつた。密な林帯が疎度を増して 0.4 までになると防風作用は少し低下する、疎度がそれ以上増大すると林帯の効果は急に減少する。

E. Romanova は林帯を越え、または透過する流れの相関を知るため A. Kajgorodov (1916) の式を用いた。

$$u = u_0 e^{-dx}$$

u = 林帯からでるときの風速

u_0 = 対照区の風速

x = 林帯幅

d = 林帯で消滅する風速の係数

これによつて風速に比例した、林帯をとる気流を得た。計算では林帯縦断面の吹きぬけ度が適合度に近い場合に透過する気流は平均 30 % であることを示した。

堆雪から鉄道を保護する研究でも柵のすかし面積が全面積の 30 ~ 35 % 以上とし、40

～50%を概、垣の標準すかし面積としている(A. Pove tjev, A. Djunin, V. Savynykh 1954)。これらの人たちは林帯の防護作用の効果とすかしの関係を研究したが、林帯の構成別にまで分けず、単に疎度だけで林帯の防護性が変化するものとみていた。この考え方には同意できない。M. Judinが示したように疎な構成林帯は一樣に大小のすかしがある空気力学的柵と似たような作用をする。われわれの研究からは、吹きぬけ構成林帯でも(「Ⅳ各構成林帯がもつ防風作用の物理的特質」の項参照)空気力学的調節をする散気装置に似た作用をしている。

この調節の目的は風の研究の基本として、吹きぬけ構成、疎な構成の林帯、並木型林帯にもつとも適したすかし面積(疎度)を明らかにすることである。林帯の防護性の指標は防風作用距離と風陰区域における風の平均減少百分率にある。

そこで、1951年から1958年にわれわれはニコラエフ、ヘルソン、ルガン、ハリコフ各州のコルホーズ、ソホーズの林帯、ウラヂミールフ、マリウポリ試験場の林帯、ウクライナ林業、農林土地改良科学研究所のバルチザン試験地の林帯で研究を行つた。この期間に疎度の違う10個所の吹きぬけ構成林帯、11個所の疎な構成林帯、6個所の狭い並木型林帯の防風性を調べた。研究段階で林帯の防護性は構成やすかしだけでなく高さ、幅、林帯の横断面型、風速、風向、接地気層に温度差のない層、地表の粗度などにも関係があることを学んだ。

研究上、これら林帯は同じ高さ(9 m)と幅(林帯は5～12列、並木1～4列)で林帯上部が一樣、横断面は等しく長方形であるように選んだ。

林帯の疎度はJu. Bjallovichの方法を若干改良したものをを用い算定した。要点は次のとおりである。林帯から100 mのところ方形な枠をつけた脚をおく。照準は平板の下を林帯縦断面下部に一致させ、上を林帯の平均的な高さに合せる。そして枠内の方眼に合せすかし面積(%)を算定する。疎度は各層、各林帯高によつてはかる。

疎度は写真(13×18 cm)によつても算定される。グラニメーターにより垂直面への樹木の投影面積と林帯のすかし面積をはかる。これから林帯の疎度を算定する。

各疎度をもつ10個の吹きぬけ構成林帯の特徴を第10表に簡単に示した。自然条件下で、

第10表 調査時の各疎度をもつ吹きぬけ構成林帯の特徴

林帯	疎度 %	林帯高 m	列数	構成樹種	高さによる疎度	
					高さ	疎度 %
ラデンスキーンソホーズ№31林帯 (ヘルソン州ツユルビン地区)	15	9.2	5	ニセアカシヤ, ナラ	0-1 1-8 8-9.2	80 3 40
同上 №4林帯	20	9.1	7	ニセアカシヤ, ネグンドカエデ サイカチ, アズナギ	0-1.5 1.5-8 8-9.1	85 2 45
同上 №5林帯	25	8.8	7	ニセアカシヤ, ネグンドカエデ サイカチ	0-1.5 1.5-8 8-8.8	90 5 50
同上 №23林帯	30	9.3	7	ニセアカシヤ, ネグンドカエデ	0-2.5 2.5-8.5 8.5-9.3	90 2 60
同上 №7林帯	35	9.2	6	ニセアカシヤ, ネグンドカエデ サイカチ	0-2 2-8 8-9.2	90 10 60
キーロフコルホーズ№4林帯 (ヘルソン州ザイソコボリ地区)	40	8.6	12	ナラ, カエデ (灌木の萌芽)	0-2 2-7 7-8.6	90 8 70
ウクラインカ コルホーズ№4林帯 (ハリコフ州クラスノグラート地区)	45	9.0	5	ニレ, ネグンドカエデ ナラ, トネリコ	0-3 3-7 7-9	75 20 50
ジューダノフソホーズ№3林帯 (ニコラエフ州アレクサンドロフ地区)	50	8.8	12	ナラ, ネグンドカエデ モモイロヒヨウタンボク オオムレスズメ	0-3.5 3.5-8 8-8.8	85 20 60
同上 №7林帯	60	8.9	9	サイカチ, ニレ, コブカエデ カエデ (灌木なし)	0-3 3-6 6-8 8-8.9	85 60 15 75
同上 №13林帯	70	9.2	9	ニセアカシヤ, ネグンドカエデ ナラ (灌木なし)	0-3.5 3.5-6.5 6.5-8.5 8.5-9.2	90 75 25 80

(1 2 ~ 1 6 回 ぐ り 返 し 測 定 平 均)

疎 度 (%)	測 定 高 (m)	対 照 区 の 風 速 (m/s)	林 帯 風 上 距 離 (m)					林 帯 風 下 距 離 (m)															
			林 帯 中					林 縁	20	40	70	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550		
			150	100	70	40	20															林 縁	
15	15	7.8	—	—	—	—	—	—	121	—	—	97	—	—	—	92	—	—	—	—	—	—	
	10	7.3	105	107	—	112	—	87	115	110	65	—	70	—	—	83	—	94	—	102	—	105	
	5	6.8	102	103	108	113	100	66	5	0	37	50	66	78	85	91	96	101	103	103	101		
	2	6.1	102	95	88	88	102	103	65	35	26	13	48	69	81	88	95	100	102	103	103	101	
	1	5.4	101	93	84	89	90	108	78	50	33	12	30	49	70	82	90	96	101	103	105	104	102
20	15	8.1	—	—	—	—	—	—	128	—	—	93	—	—	—	93	—	—	—	—	—	—	
	10	7.5	103	108	—	112	—	90	98	80	58	—	67	—	—	81	—	93	—	102	—	103	
	5	6.9	102	104	109	114	105	75	21	10	9	31	43	60	73	82	89	94	98	103	103	102	
	2	6.3	102	98	92	87	98	112	93	70	36	15	21	40	64	77	86	91	97	102	105	104	102
	1	5.5	101	95	86	81	84	99	97	73	35	13	22	42	66	79	67	92	99	103	107	105	103
25	15	7.5	—	—	—	—	—	—	122	—	—	94	—	—	—	90	—	—	—	—	—	—	
	10	6.9	102	107	—	110	—	93	102	100	53	—	63	—	—	77	—	89	—	98	—	104	
	5	6.4	104	105	115	113	103	81	31	0	7	25	37	56	68	79	86	91	97	101	103	102	
	2	6.1	103	100	95	90	102	108	85	71	40	20	18	39	60	74	82	89	95	100	103	105	102
	1	5.4	102	97	91	84	85	100	102	70	41	22	19	40	62	76	83	91	96	102	105	105	103
30	15	8.0	—	—	—	—	—	—	123	—	—	98	—	—	—	94	—	—	—	—	—	—	
	10	7.4	105	109	—	110	—	94	107	88	63	—	68	—	—	79	—	89	—	98	—	102	
	5	6.8	103	105	107	115	109	76	45	25	13	18	36	42	56	68	77	84	93	98	101	103	102
	2	6.2	102	100	95	89	90	103	111	69	38	27	28	37	57	71	80	87	92	96	99	104	105
	1	5.5	101	98	92	85	87	90	102	70	39	29	26	35	59	72	81	88	93	97	101	106	107
35	15	7.7	—	—	—	—	—	—	106	—	—	100	—	—	—	95	—	—	—	—	—	—	
	10	7.2	105	107	—	112	—	89	123	92	61	62	—	67	—	78	—	88	—	97	—	101	
	5	6.8	104	106	109	112	109	80	30	7	10	16	30	42	52	64	73	81	87	91	96	99	101
	2	6.1	103	100	97	90	89	100	112	81	49	31	26	36	53	68	78	83	90	93	98	102	104
	1	5.3	103	99	94	84	78	86	115	80	50	32	26	37	55	69	79	85	91	94	99	104	106
40	15	7.8	—	—	—	—	—	—	109	—	—	99	—	—	—	95	—	—	—	—	—	—	
	10	7.3	106	110	—	115	—	85	118	96	66	—	72	—	—	80	—	91	—	99	—	105	
	5	6.8	103	105	109	118	110	75	26	20	19	18	39	51	59	70	99	85	91	95	98	103	102
	2	6.1	102	101	98	91	88	98	110	92	58	38	35	43	60	73	81	88	93	98	102	105	103
	1	5.4	101	100	96	89	82	86	75	80	56	42	37	45	62	74	83	90	94	99	103	107	105
45	15	8.0	—	—	—	—	—	—	115	—	—	105	—	—	—	96	—	—	—	—	—	—	
	10	7.5	100	109	—	112	—	—	122	100	74	72	—	75	—	82	—	92	—	99	—	103	
	5	6.9	102	105	108	110	113	72	30	32	30	44	55	63	72	80	86	91	96	100	103	102	
	2	6.3	103	102	98	92	90	90	108	96	71	50	42	50	66	77	83	90	94	99	103	105	103
	1	5.5	101	100	96	90	86	88	97	85	73	52	41	52	68	78	85	92	96	100	105	108	104
50	15	7.9	—	—	—	—	—	—	118	—	—	107	—	—	—	99	—	—	—	—	—	—	
	10	7.4	103	107	—	113	—	93	109	98	83	80	—	81	—	88	—	96	—	102	—	102	
	5	6.8	102	105	110	112	112	95	60	51	49	42	50	60	69	79	86	91	95	99	103	104	103
	2	6.3	101	103	99	93	88	96	106	100	75	59	52	57	71	81	88	93	97	102	103	103	103
	1	5.4	100	101	97	90	85	89	105	93	71	60	51	59	71	83	89	94	99	103	105	103	102
60	15	8.0	—	—	—	—	—	—	105	—	—	106	—	—	—	103	—	—	—	—	—	—	
	10	7.5	102	106	—	111	—	98	106	111	91	88	—	86	—	91	—	99	—	102	—	—	
	5	7.0	103	106	112	115	110	87	60	61	52	49	60	69	77	83	90	95	100	103	102	101	100
	2	6.3	100	103	100	95	90	95	107	103	83	69	63	66	77	85	92	97	102	104	103	101	100
	1	5.5	100	102	99	92	89	88	102	103	81	70	62	68	78	87	94	98	104	105	103	102	101
70	15	8.1	—	—	—	—	—	—	104	—	—	105	—	—	—	103	—	—	—	—	—	—	
	10	7.5	105	109	—	110	—	101	112	100	85	84	—	91	—	97	—	102	—	100	—	100	
	5	6.9	103	107	112	113	112	101	73	71	80	65	58	72	82	89	95	100	102	101	100	100	101
	2	6.1	101	105	101	97	94	93	104	102	91	73	71	74	82	91	97	103	103	102	101	100	101
	1	5.3	100	103	100	95	90	86	96	101	89	75	71	76	84	93	98	106	105	103	102	101	102

下部に少しのすかし、中間と上部が密な吹きぬけ構成林帯を選定するのはむずかしかった。そこで、われわれは一、二断面の中間、上部が疎になつてゐる吹きぬけ構成林帯もとりにあげた。これら林帯の風速資料は第11表に表わした。

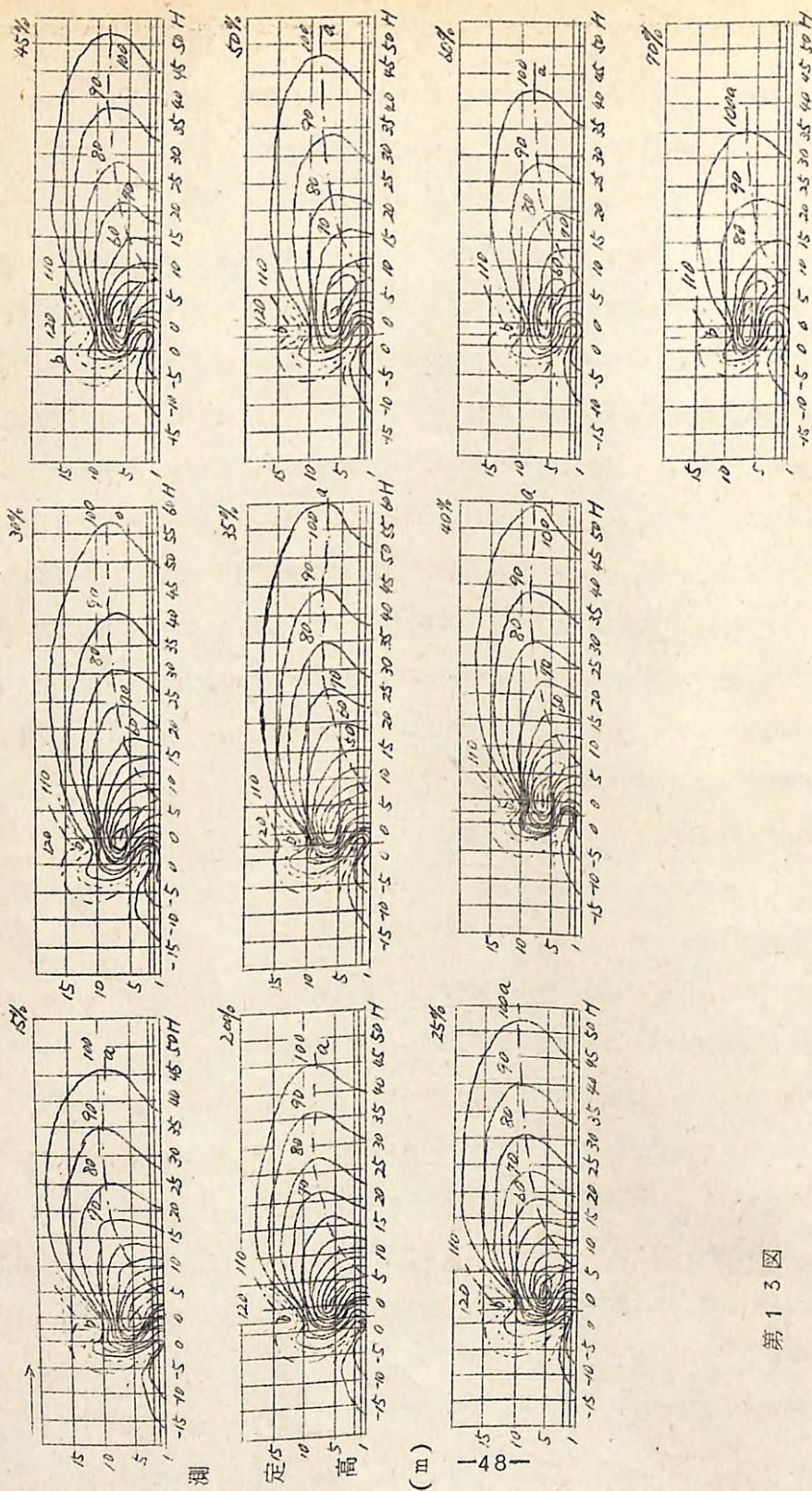
第10、11表から疎度15~70%の吹きぬけ構成林帯の防風作用域をかいた(第13図)。

図から林帯によつて風が弱まる影響は林帯高2倍の高さまで広がっているのがわかる。風上水平方向への作用をみると高さ2mで、最大疎度をもつ林帯のとき7H、弱い疎度で15Hとなつてゐる。林帯風下への作用は高さ1~2mで疎度70%のとき30H、35%は52Hである。林帯と同じ高さではこの作用がそれぞれ35~60Hのところまで広がっている。高さ方向への影響は吹きぬけ構成林帯の疎度が15%から35%と増大すると低下してゆくが、水平方向(風下)への作用距離はひびく。林帯の疎度がさらに増大してゆくと防護作用距離は短縮する。林帯上部と林帯の吹きぬけ部で風速は110~130%と強くなつてゐる。風速の最大減少値はクローネ上部の密な部分の背後、高さ5~6mのところにもみられる。高さ1~2mでの最大減少は林帯風下5~9Hにある。最大減少値は弱い疎度の林帯にある。疎度15%の場合の風速は対照区の12%にあたる。風速の減少は疎度が大きくなると次第に弱くなり、疎度70%で対照区の風速の71%となる。

各疎度(15~70%)をもつ疎な構成林帯の防風性の変化は次のようである。これら林帯の簡単な特徴は第12表に示した。

第13表に示したこれら林帯の風速測定結果をもとにし防風作用域を表わした(第14図)。

図から疎な構成林帯の防風作用域は垂直方向で林帯高の2倍までいつてゐる。疎な構成林帯の防護作用距離はすかし面積が増大すると、高さ2mで林帯風上へは15Hから5Hまで短縮する。林帯風下ではすかしが15%から40%と増大すると作用距離も大きくなる。さらにすかしが大きくなると林帯の防護作用距離は逆に減少してゆく。風速の最大減少値は風下3~5Hにみられる。第14図からみると、疎度15%で風速はやつと対照区の10%にあたる。このときの最少値は直接林縁にある。林帯のすかし面積が大きくなると最少風速減少領域は3~5Hまで広がり、最低値は林縁からはなれる。すかしが70%まで増加すると最少風速は対照区の風速の63%となる。疎な構成林帯の防護作用の最大距離35~40%の



第 1 3 図

疎度 1 5 % から 7 0 % までの吹きぬけ構成林帯による

防風作用域

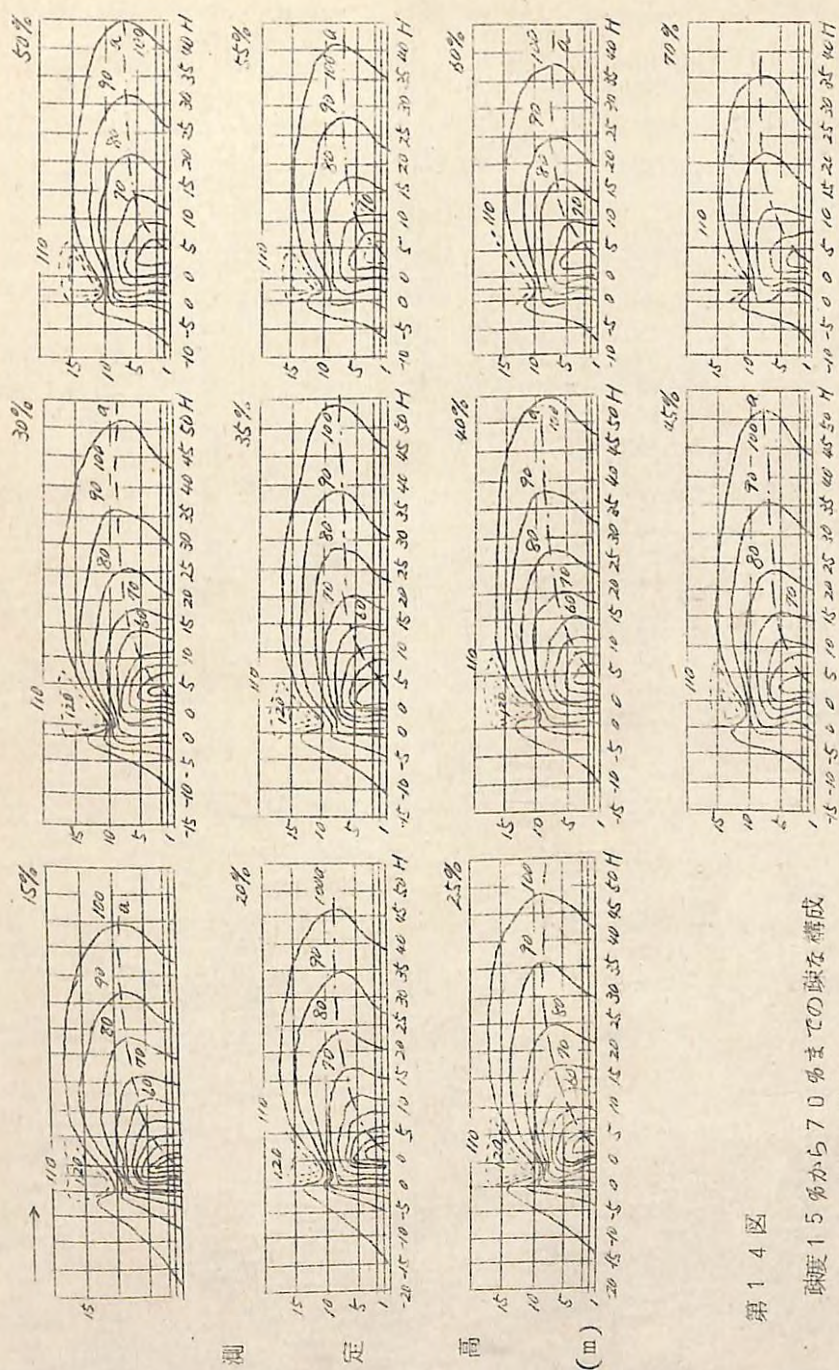
第12表 調査時の各疎度をもつ疎な構成林帯の特徴

林帯	疎度 (%)	林帯高 (m)	列数	構成樹種	高さによる疎度	
					高さ (m)	疎度 (%)
レニンスカヤ イスクラコルホーズ №3林帯 (ニコラエフ州 カザンコフ地区)	15	9.1	9	サイカチ, ナラ, アンズ, ニレ, オオムレスズメ	0-2.5 2.5-7.5 7.5-9.1	15 10 30
レニン コルホーズ№2林帯 (ヘルソン州ヴィソコポリ地区)	20	9.3	12	ナラ, サイカチ, ヨーロッパカエデ エンジュ, オオムレスズメ, ワウロ ムラサキハシドイ	0-2 2-4.5 4.5-8 8-9.3	0 30 15 55
ウクラインカ コルホーズ№2林帯 (ハリコフ州クラスノグラト地区)	25	8.7	6	ニセアカシヤ, ナラ, ネグンドカエデ トネリコ, サクラ, クロバナネンジュ	0-2.5 2.5-7.5 7.5-8.7	25 20 80
同上 №3林帯	30	8.8	5	ニレ, ニセアカシヤ, ネグンドカエデ ナラ, ナシ, クロバナネンジュ	0-7 7-8.8	25 60
ジュダノフソホーズの林帯 (ニコラエフ州ベズネコフ地区)	35	9.2	12	ナラ, サイカチ, カエデ, モモイロヒヨウタンボク オオムレスズメ	0-1.5 1.5-6 6-8 8-9.2	0 45 15 75
キーロフコルホーズ№1林帯 (ヘルソン州ヴィソコポリ地区)	40	9.1	9	ナラ, サイカチ, アンズ ヒヨウタンボク	0-1.5 1.5-5 5-8 8-9.1	20 50 30 65
ウクラインカ コルホーズ№5林帯 (ハリコフ州クラスノグラト地区)	45	8.7	5	ニレ, トネリコ, ネグンドカエデ サクラ, オオムレスズメ	0-3 3-6 6-8.7	40 35 60
ウラヂミール農林土地改良試験場 №12林帯	50	8.6	5	ナラ, サイカチ, オオムレスズメ ワウロ, ムラサキハシドイ	0-2.5 2.5-6.5 6.5-8.6	35 50 65
同上 №9林帯	55	8.6	6	ナラ, トネリコ, カエデ オオムレスズメ	0-2 2-7 7-8.6	65 45 75
同上 №126林帯	60	8.8	5	サイカチ	0-3 3-7 7-8.8	60 55 75
レニンスカヤ イスクラコルホーズ №2林帯 (ニコラエフ州カザンコフ地区)	70	8.7	9	ニセアカシヤ, ネグンドカエデ オオムレスズメ, クロバナネンジュ グミ	0-2 2-6 6-8.7	55 70 70

第 13 表 各疎度をもつた疎な構成林帯の相対風速 (%)

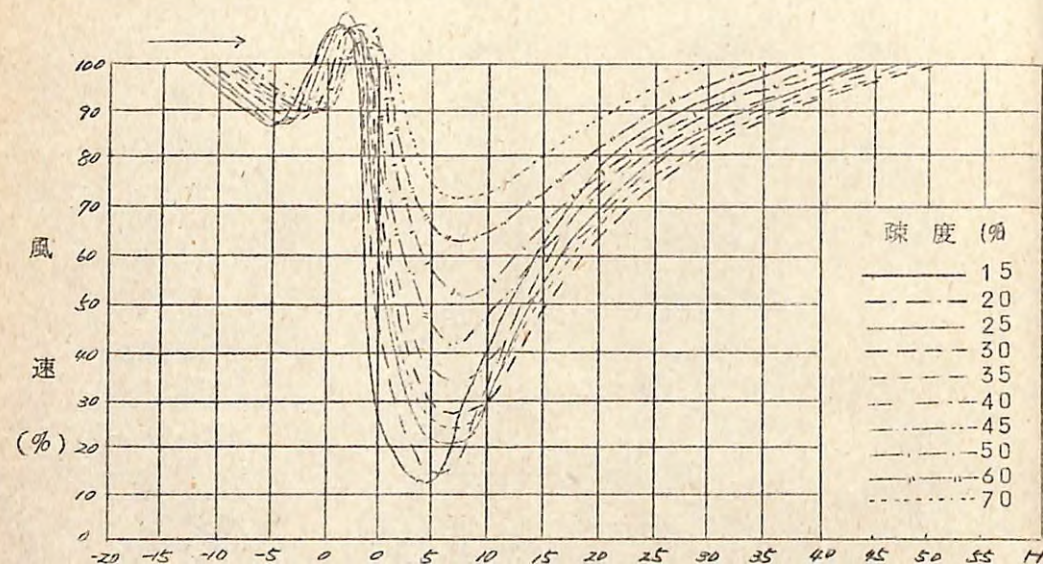
(12 ~ 16 回くり返し測定平均)

疎度 (%)	測定高 (m)	対照区風速 (m/s)	林帯風上距離 (m)					林 帯 中	林 帯 風 下 距 離 (m)													
			林 帯 風 上 距 離 (m)						林縁	20	40	70	100	150	200	250	300	350	400	450	500	
			150	100	70	40	20															
15	15	8.0	—	—	—	—	—	112	—	—	—	93	—	—	—	96	—	—	—	—	—	—
	10	7.4	107	—	103	—	—	100	—	79	—	72	—	—	78	—	—	97	—	—	—	—
	5	6.9	102	100	97	90	81	33	60	31	39	48	59	69	81	87	93	98	103	108	100	
	2	6.2	101	97	93	86	79	35	62	10	35	50	60	72	82	91	96	101	105	103	101	
	1	5.4	100	95	92	84	77	36	61	9	37	52	61	74	83	92	98	102	107	105	102	
20	15	7.3	—	—	—	—	—	109	—	—	—	95	—	—	—	95	—	—	—	—	—	
	10	7.3	105	—	107	—	—	103	—	80	—	74	—	—	76	—	—	97	—	—	—	
	5	6.8	106	105	99	94	88	54	72	31	41	49	56	68	77	83	90	96	101	102	102	
	2	6.3	104	100	96	91	85	55	71	18	29	47	58	71	82	87	92	98	103	105	103	
	1	5.5	102	98	94	90	81	52	70	16	30	49	60	73	84	89	94	100	105	108	105	
25	15	8.1	—	—	—	—	—	118	—	—	—	100	—	—	—	97	—	—	—	—	—	
	10	7.5	101	—	108	—	—	115	—	81	—	70	—	—	77	—	—	96	—	—	—	
	5	6.9	105	109	99	95	89	55	73	28	35	47	54	68	78	84	90	95	99	105	100	
	2	6.1	103	101	97	97	88	58	75	26	24	41	56	70	81	87	93	98	105	108	108	
	1	5.3	100	99	96	92	86	56	74	25	25	43	55	71	82	89	95	99	106	100	108	
30	15	8.0	—	—	—	—	—	115	—	—	—	101	—	—	—	99	—	—	—	—	—	
	10	7.5	100	—	107	—	—	121	—	75	—	69	—	—	75	—	—	95	—	—	—	
	5	7.0	102	103	105	98	90	60	76	30	31	42	49	66	75	83	89	93	97	100	104	
	2	6.3	100	105	100	95	90	65	79	35	27	30	50	68	78	85	92	95	100	106	102	
	1	5.5	101	103	97	93	88	65	78	36	26	32	52	70	80	87	94	97	103	109	105	
35	15	7.9	—	—	—	—	—	121	—	—	—	97	—	—	—	96	—	—	—	—	—	
	10	7.3	105	—	109	—	—	102	—	75	—	70	—	—	73	—	—	92	—	—	—	
	5	6.8	103	106	102	96	89	75	85	30	36	45	—	—	64	73	87	91	96	98	103	
	2	6.2	100	103	98	93	86	75	84	27	28	38	49	67	77	82	91	93	98	103	106	
	1	5.4	100	101	97	91	84	50	76	26	26	36	50	69	78	84	92	95	100	105	107	
40	15	8.0	—	—	—	—	—	116	—	—	—	95	—	—	—	97	—	—	—	—	—	
	10	7.5	103	—	108	—	—	111	—	76	—	66	—	—	72	—	—	93	—	—	—	
	5	6.9	105	112	105	99	96	85	96	40	39	43	50	62	72	81	87	92	96	98	103	
	2	6.3	103	104	102	96	92	84	84	38	27	33	48	63	75	83	89	92	97	101	105	
	1	5.5	101	102	100	95	91	83	83	39	28	34	51	65	77	84	91	94	99	105	108	
45	15	7.8	—	—	—	—	—	116	—	—	—	109	—	—	—	101	—	—	—	—	—	
	10	7.3	105	—	110	—	—	107	—	79	—	74	—	—	81	—	—	96	—	—	—	
	5	6.8	105	109	112	100	91	81	81	98	42	54	60	71	79	85	89	93	96	100	106	
	2	6.1	102	105	102	98	93	86	86	38	37	49	61	72	82	86	91	95	98	103	108	
	1	5.4	101	103	100	96	92	83	83	38	36	49	62	74	83	88	92	95	101	106	105	
50	15	7.7	—	—	—	—	—	122	—	—	—	102	—	—	—	105	—	—	—	—	—	
	10	7.2	105	—	115	—	—	103	—	82	—	78	—	—	84	—	—	99	—	—	—	
	5	6.8	103	110	113	102	95	87	87	50	51	57	66	75	80	88	92	96	101	112	110	
	2	6.1	100	105	103	99	94	88	88	50	45	54	65	78	83	90	94	98	103	110	107	
	1	5.3	100	101	102	97	92	86	86	49	44	55	67	80	85	91	96	100	105	118	104	
55	15	8.0	—	—	—	—	—	117	—	—	—	101	—	—	—	108	—	—	—	—	—	
	10	7.4	106	—	113	—	—	110	—	88	—	83	—	—	86	—	—	—	—	—	—	
	5	6.8	103	107	112	102	96	88	88	57	59	63	69	78	84	90	95	98	112	108	103	
	2	6.2	101	105	107	99	94	90	90	55	53	60	69	80	86	92	97	104	110	105	100	
	1	5.5	101	103	105	97	93	88	88	56	54	61	70	82	89	94	98	107	109	103	100	
60	15	7.5	—	—	—	—	—	109	—	—	—	103	—	—	—	104	—	—	—	—	—	
	10	6.9	104	—	103	—	—	105	—	86	—	84	—	—	88	—	—	—	—	—	—	
	5	6.4	101	103	107	105	98	90	90	58	62	69	72	80	88	93	97	102	105	101	102	
	2	6.1	100	102	105	100	96	91	91	57	57	65	73	82	91	96	100	105	105	100	100	
	1	5.4	100	101	103	98	95	91	91	58	56	66	75	85	93	98	102	105	101	100	101	
70	15	8.1	—	—	—	—	—	108	—	—	—	105	—	—	—	103	—	—	—	—	—	
	10	7.5	102	—	105	—	—	112	—	90	—	86	—	—	89	—	—	—	—	—	—	
	5	6.9	101	104	105	103	99	92	92	67	69	74	77	86	91	95	99	105	102	101	100	
	2	6.3	100	101	103	99	98	93	93	64	63	71	80	88	93	99	103	102	102	100	101	
	1	5.5	100	101	102	98	96	92	92	65	64	70	82	90	95	101	105	103	101	100	100	



とき高さ2mにおいて4.8Hとなり、林帯の高さでは5.5Hとなつてゐる。

第11、13表の資料から、高さ2mにおける吹きぬけ、疎な構成林帯の防護作用をみる
ことができる。各すかし面積(15~70%)をもつ吹きぬけ構成林帯(下木なし)の高さ2
mにおける風の状態を調査した結果は第15図に示した。はつきりとみられるように、林帯

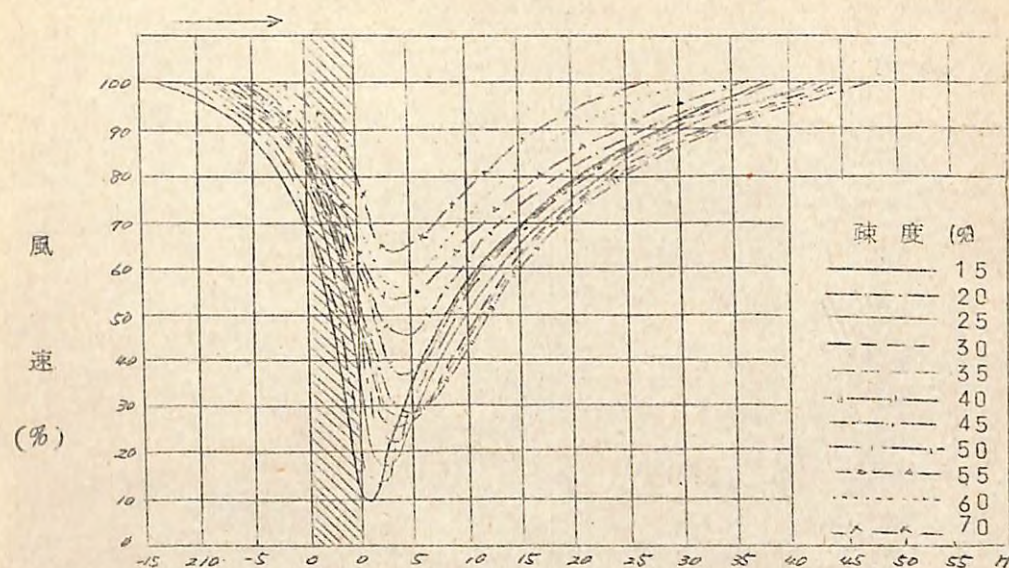


第15図 疎度15%から70%までの吹きぬけ構成林帯(下木なし)による風速の変化 (高さ2m)

のすかし面積を変えると、風の状態はその影響で常に根本的に変化している。これは風速の減少が強いと林帯の防風作用距離も大きくなることを示すものと思われる。

すかし面積の少ない(15%)林帯の風上の風速減少は1.3Hからはじまるが、すかし面積の大きい(70%)林帯では7Hからやつとはじまる。吹きぬけ構成の林帯部では風速が105~110%まで増大している。

林帯風下の風速は減少し、3~8Hで最少に達する。林帯の疎度が増大してゆくと風速の減少度は弱まり、最少の位置は林帯から少し動くだけである。疎度15%では風速が対照区の12%で、疎度70%のときは72%である。林帯から遠ざかると風速の減少割合は弱くなる。疎度との関連では、林帯の防護作用距離にも大きな差があるのがみられた。たとえば、



第16図 疎度15%から70%までの疎な構成林帯による風速の変化 (高さ2m)

疎度70%における防護作用距離は30Hになるが、疎度35%では5.2Hとなる。

すかし面積を15%から70%までもつ疎な構成林帯の風速測定結果は第16図に示してある。疎度の変化によつて疎な構成林帯の防風性は大きく変る。すかし面積が小さいと風上の風速減少は1.4Hからはじまり、すかし面積が増してゆくと、この距離は低下し、疎度70%でやつと3Hとなる。吹きぬけ林帯との違いは、風速がここでは林帯部でも減少してくる点である。林帯風下で風速がもつとも減少するのは林縁から5Hまでのところにみられる。すかし面積15%の疎な構成林帯は風下林縁に直接風速の最大影響をみることができる。すかし面積が大きくなると風速の減少は弱まり、その最少は林帯から離れて5Hに移動する。さらに林帯から離れると風速の減少は次第に少なくなる。

疎な構成林帯のすかし面積が変化すると林帯の防風作用距離も変る。もし疎度が70%あると林帯による作用距離は2.8Hで、疎度40%のときは4.9Hである。

第15、16図に表わした曲線は、吹きぬけ、疎な構成林帯による風の変化の違いを明らかにしたものである。これらの違いは次のようにまとめられる。1) 吹きぬけ構成では林帯部で風速が増大する、しかし、疎な構成林帯の場合は減少する。2) 疎な構成林帯の風下では風速の減少は吹きぬけ構成林帯より大きい、しかし、防風作用距離は疎な構成林帯より吹きぬけ構成林帯のものが大きい。

並木型林帯の防風性をみると、型によつて吹きぬけ林帯と疎な林帯に分けられる。調査後われわれは並木型林帯を吹きぬけ型の作用をもつもの(第14表に簡単な特徴を表わした)8、疎な型の作用をもつもの(第15表)9に分けた。大部分の並木型林帯の風速測定は高さ2mから5mまでを基本とした。吹きぬけ型の作用をする並木型林帯で高さ2mにおける平均風速は第16表に示し、疎な型の作用をする林帯のは第17表に表わした。

第16、17表に示した高さ2mの相対風速の資料は並木型林帯の防風性と疎度の関連を明らかにするもので、これからグラフもつくられた。第17図をみると、吹きぬけ作用をする並木型林帯のすかし面積が増大すると、風上ではその防護作用距離が1.2Hから6Hに短縮する、しかし、林帯部では風速は増大する。風速の最少は風下4Hから8Hまでにみられる。風速の最大減少は疎度20%の林帯にあり、それは対照区の風速の22%に相当する。林帯の疎度が増大すると風速の減少は少なくなる。

防風作用の最大距離は疎度25%の林帯にあり、5.0Hまでのびている。並木型林帯のすかし面積が70%と大きいと防風作用距離は2.8Hやつとである。

疎な作用をする並木型林帯の防風作用の変化とすかし面積の関係は第16図に示した。グラフからみると、この林帯の疎度が増大すると風上でその防護作用距離は1.4Hから5Hまで短縮する。最大減少は疎度20%の林帯で、最少は疎度70%の林帯にある。林帯の最大防護作用距離は疎度30%で4.8Hに達している。疎度が増大すると林帯の防護作用距離は短縮する。疎度70%で2.5Hとなる。

林帯の防護作用効果を表わすもののひとつに林帯の防風作用距離があるのはいうまでもない。われわれの調査は疎度に関連した全林帯の防風作用距離の変化の算定も行つた。第19図にみられるように、吹きぬけ構成林帯のすかし面積が15%から35%と増加すると防風

第 1 4 表 吹きぬけ形成の作用をし、各疎度をもち並木型林帯の特徴

林 帯	疎 度 (%)	林 帯 高 (m)	列 数	樹 成 樹 種	高さによる疎度	
					高 さ (m)	疎 度 (%)
ウクラインカ コルホーズの薬園保護林 帯(ハリコフ州ク拉斯ノクラト地区)	20	9.6	2	ポプラ	0-2	80
					2-9	3
					9-9.6	20
モヤストリプシエド コルホーズ薬園保護 林帯(ヘルソン州ゲニチ地区)	25	9.2	2	ポプラ	0-2	85
					2-8	5
					8-9.2	25
エレノフゼルノ ソホーズの耕地保護林 (ドニエツ州古オリギン地区)	30	9.5	3	ヒロハハコヤナギ	0-2.5	90
					2.5-7.5	15
					7.5-9.5	20
ドウジバナロード コルホーズの薬園保護 林帯(タルイム州ク拉斯ノダバルジニイ 地区)	35	9.3	2	ポプラ	0-2.5	90
					2.5-9.3	15
同 上	40	9.5	2	ポプラ	0-3	90
					3-9	12
					9-9.5	60
ヘルソン市近辺のかんがい路沿いの保 護林帯	50	9.0	2	ポプラ	0-3	90
					3-8	25
					8-9	60
同上第一支水路沿いの保護林帯	60	9.4	2	ヤナギ	0-2.5	90
					2.5-8.5	35
					8.5-9.4	70
バリジェコンミヌイ ソホーズ薬園保 護林帯	70	9.5	3	ナラ, トネリコ	0-3	95
					3-8	60
					8-9.5	65

第 15 表 一帯な構成林帯の作用をし、各疎度をもつた並木型林帯の特徴

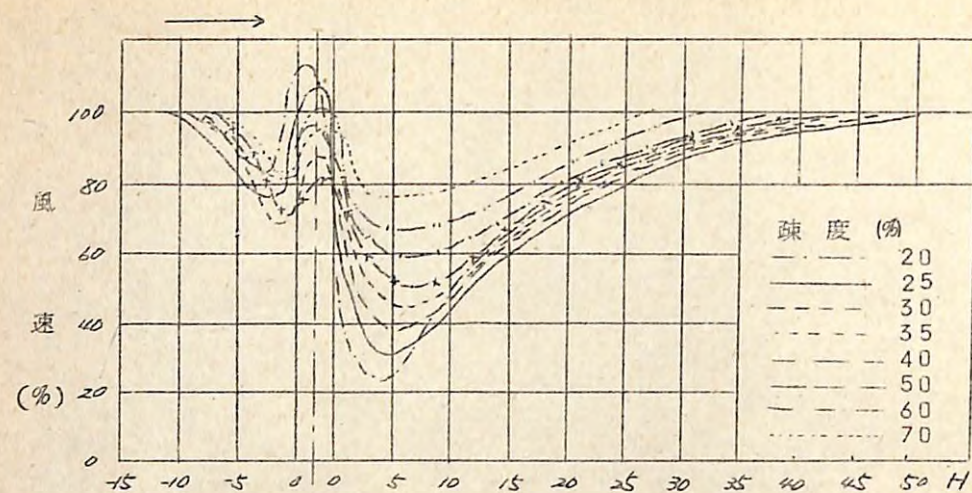
林 帯	疎 度 (%)	林 帯 高 (m)	列 数	構 成 樹 種	高さによる疎度	
					高 さ (m)	疎 度 (%)
ニジエドニエブル試験場のペー・コバン スキー区の菜園保護林帯	20	8.9	2	ポプラ	0-7	15
					7-8.9	35
エレノフ ゼルソソホーズの耕地保護林	25	9.3	4	ヒロハハコヤナギ、落木	0-1.5	0
					1.5-8.5	25
同 上	30	9.5	3	ヒロハハコヤナギ、落木	8.5-9.3	70
					0-1	0
同 上	35	9.1	2	ヒロハハコヤナギ、落木	1-9	30
					9-9.5	60
ザラトエ・ボーレ ソホーズの菜園保 護林 (クルミ州キーローフ地区)	40	8.7	3	ポプラ、落木萌芽	0-1	0
					1-7	35
スチヤストフツエボ コルホーズ菜園保 護林帯 (ヘルソソ州ゲニチエ地区)	45	9.3	2	ポプラ	7-9.1	55
					0-0.5	0
ウラヂミール農林土地改良試験場道路保 護林	50	8.6	2	ポプラ	0.5-3	50
					3-7	35
フルンゼ ソホーズ 菜園保護林帯 (ヘルソソ州ツェルビン地区)	60	9.4	2	ポプラ、グミ	7-8.7	45
					0-1.5	30
同 上	70	9.5	1	ポプラ、グミ	1.5-8.5	45
					8.5-9.3	70
同 上	75	9.5	1	ポプラ、グミ	0-8.6	50
					0-3	45
同 上	80	9.5	1	ポプラ、グミ	3-8	65
					8-9.4	75
同 上	85	9.5	1	ポプラ、グミ	0-3.5	60
					3.5-8.5	75
同 上	90	9.5	1	ポプラ、グミ	8.5-9.5	90

第16表 吹きぬけ構成の作用をする2, 3列の並木型林帯の平均風速 (例)

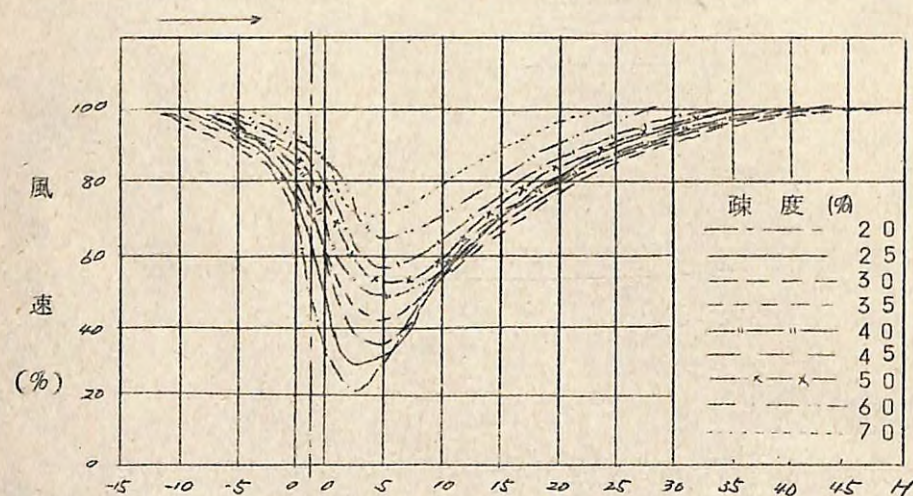
No.	疎度 (%)	林帶風上距離 (m)					林中 帶央	林帶風下距離 (m)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
		150						100					70					40					20					10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
		150	100	70	40	20		150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70

第17表 疎な構成の作用をする2, 3列の並木型林帯の平均風速 (m)

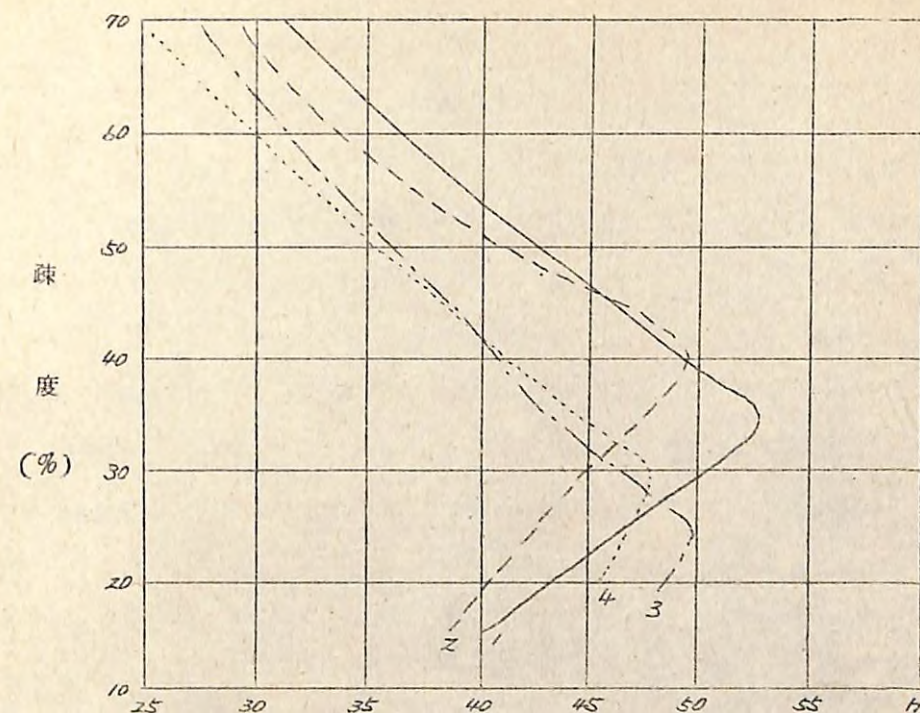
疎 % 1	林 帶 風 上 距 離 (m)					林 中 帶 央	林 帶 風 下 距 離 (m)														
	林 帶 風 上 距 離 (m)						林 帶 風 下 距 離 (m)														
	150	100	70	40	20		10	20	40	70	100	150	200	250	300	350	400	450	500		
1	20	100	99	97	92	86	80	53	23	20	29	52	66	83	92	97	99	100	101	102	101
2	25	103	105	98	94	88	83	64	34	29	32	48	63	77	87	94	97	99	100	101	102
3	30	100	104	102	95	90	86	72	45	38	37	48	61	76	86	93	96	98	100	101	102
4	35	102	100	96	90	84	81	70	51	44	41	50	64	79	89	95	98	100	102	103	100
5	40	105	103	101	96	92	88	78	60	52	46	53	65	81	91	96	99	101	102	100	101
6	45	102	103	100	95	91	90	83	65	57	52	56	68	83	92	97	100	102	101	100	100
7	50	100	105	102	97	94	92	86	71	63	56	61	72	85	94	99	101	100	101	100	100
8	60	101	103	101	99	96	93	90	80	70	64	68	77	90	97	101	102	100	101	100	102
9	70	102	103	101	100	97	95	90	75	70	70	75	83	96	100	103	102	101	100	101	100



第17図 吹きぬけ作用をする並木型林帯の疎度
による風速の変化 (高さ2 m)



第18図 疎な作用をする並木型林帯の疎度によ
る風速の変化 (高さ2 m)



第19図 防風作用距離に対する疎度の影響 (高さ2 m)

1. 吹きぬけ 2. 疎な 3. 吹きぬけ作用をする
並木型林帯 4. 疎な作用をする並木型林帯

作用距離は40~52 Hに増大する。さらに疎度が大きくなると林帯の防風作用距離は低下し、疎度70%で31 Hになる。このように吹きぬけ構成林帯にとつて適合した疎度は全疎度35%にある。

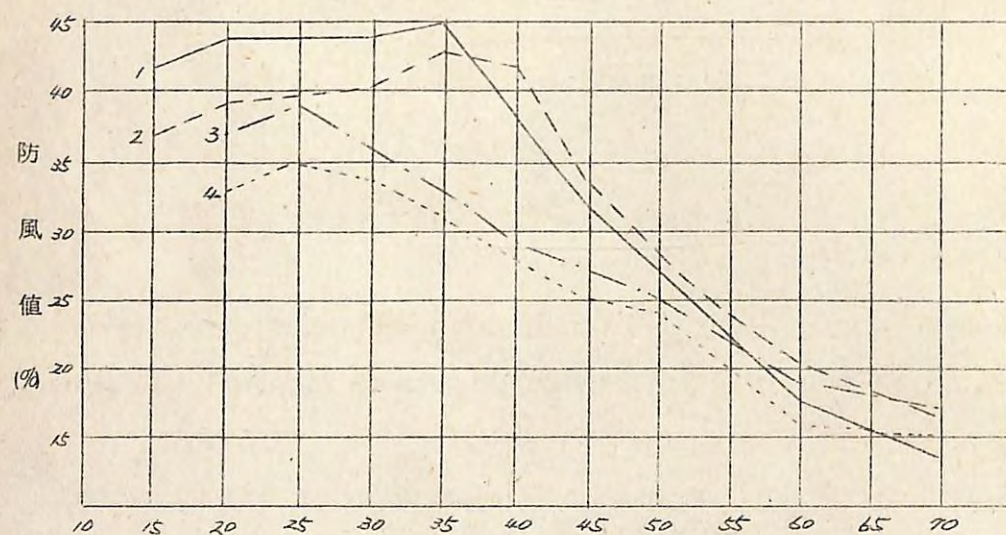
疎な構成林帯はいくぶん短い防護作用距離をもち、適合疎度は40%である(ここでは防護作用距離は49 Hに達している)。林帯の適合疎度からはずれるとその防風作用距離は短縮される。

あまり大きくないすかし面積をもつ並木型林帯の防風作用距離は、吹きぬけや疎な構成林帯よりわずかにすぐれている。吹きぬけ型の作用をする並木型林帯は適合疎度25%をもつ

と防護作用距離は林帯風下50Hあたりまでのびる。疎な型の作用をする並木型林帯は疎度30%の適合度で、その作用距離を48Hまで広げる。並木型林帯のすかし面積を増してゆくと防護作用距離は吹きぬけ、疎な構成林帯より極度に短縮する。

林帯に保護される区域の風速減少の平均百分率は防護作用の指標となる。二、三人(M. Jensen など)は林帯の全防護作用距離に対する風速の平均減少率を算定した、またJu. Bjalloovich (1939) も林縁から30Hまでの区域の林帯の平均風速減少率を計算した、これは防風値といわれているものである。

調査対象の全防風値の計算は高さ2mの風速についての資料で行った。第20図には、林帯の疎度に関連した防風値の変化を示した(Ju. Bjalloovichの方法によつて)。グラフから、疎度が15%から35%と増加すると吹きぬけ構成林帯の防風値は42~45%に計算されることがわかった。林帯のすかし面積がさらに増してゆくと防風値は14%までおちる。疎な構成林帯ですかし面積が15%から40%へと大きくなると、防風値は37~42



第20図 林帯疎度と防風値(Σ0-30H)の変化(高さ2m)

1. 吹きぬけ 2. 疎な 3. 吹きぬけ作用をする並木型林帯
4. 疎な作用をする並木型林帯

%となる。疎度がさらに大きくなるにしたがい防風値は17%までおちる。

並木型の狭い林帯の防風値は疎度25%で最大となり、35~39%となる。すかし面積がさらに大きくなると防風値は同じようにおちる。吹きぬけ型の作用をする並木林帯は疎な型の作用をする並木型林帯より防風値は大きい。

調査の細部にわたる資料から次の結論がでてくる。

1. 吹きぬけ構成林帯の適合疎度は35%, 疎な構成林帯には40%, 並木型林帯は25~30%である。
2. 林帯の最大防風作用距離は適合した疎度の場合にみられる。吹きぬけ構成林帯で高さ2mの6m/sの風速時にそれは52H, 疎な構成林帯で49H, 並木型林帯で48~50Hである。
3. 適合するまですかし面積を増してゆくと林帯の防風値は増大してゆく。疎度がより大きくなると林帯の防風値は急におちる。
4. 防風作用距離と防風値にもつともよい特性は疎度35%をもつ吹きぬけ構成林帯にある。

このように疎度30~35%の吹きぬけ構成の5~7列林帯, 疎度20~30%の成長の早い樹種の並木型1~4列林帯をもつとも防風効果があるものとして造成をすすめることができる。

4. 高さ と 幅

前の調査で、林帯の防護作用効果は林帯の高さに直接関係する(林帯が高いほどその作用が広がる)ことがわかった。実際の林帯の防風作用距離は、その高さに直接比例するものとみられている。そこで林帯の作用により風が弱まる距離はメートルではなく、林帯高(H)で表わされる。

ある人は林帯の高さと防風作用の関係が非常に複雑なものであるとみている(S. Pjaternicky 1932, B. Dzetovecky 1939 他)。

この関係をさらによく示すため、われわれは各高さの吹きぬけ、密な構成林帯を用い風速測定を行つた。調査の対象には林帯高2, 4, 7, 16mのものをつた。

高さ2 mの吹きぬけ構成林帯の風速測定はヘルソン市北方6 Kmのところにあるサクラ、スモモの2列、4列林帯とパルチザン農林土地改良試験地のニセアカシヤの1列林帯で行った。

高さ4 mの風速測定はパルチザン試験地(林帯65)とヘルソン市に近いところの2、4列林帯でアンズ、リンゴからなる林帯で行った。

吹きぬけ構成林帯を用いた高さ7 mの風速測定はヘルソン州ヴィソコポリ地区キーロフ・コルホーズとハリコフ州クラスノグラード地区ウクライナ・コルホーズで行った。

16 m林帯の風速測定は2本の支線水路に沿ったポプラの4列並木型林帯で行った(ヘルソン市北方6 Km)。

調査にとりあげた各林帯の組成、配置、幅にはいくぶん差があつた。ただ、その構成はすべて下部が吹きぬけ、残りの部分が弱い疎になつていた。かんがい地ではどの林帯も灌木がなく、水路の土手が密で吹きぬけない下木の役割を果たしていた。

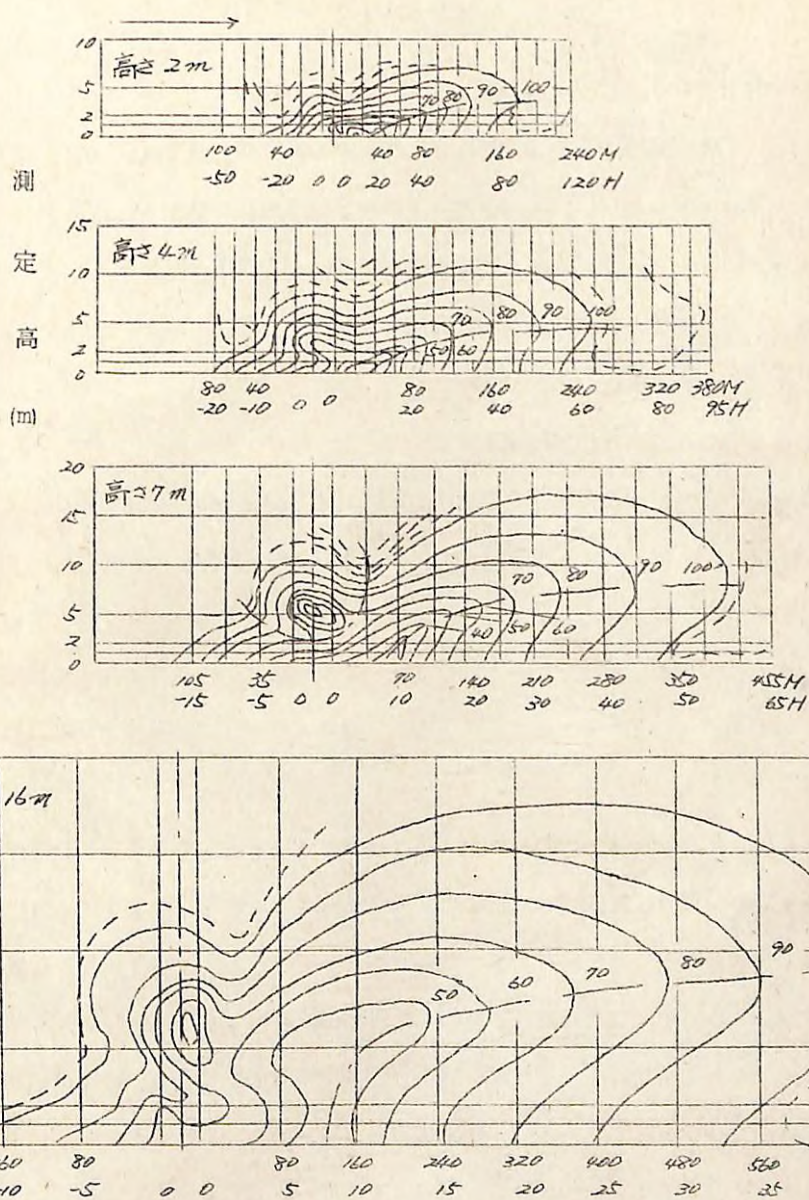
風速の測定は林帯とそこに接する耕地を切る断面について行つた。測定時の風速は5~7 m/sであつた。林帯前と林帯後の地表には相違があつた(休耕、刈入れ跡、うり畑、菜園)。

各高さの吹きぬけ構成林帯の平均風速(8~18回くり返し測定から)の資料は第18表に示した。この資料をもとに林帯の防風作用域をかいだ(第21図)。図からみられるように、林帯高が大きくなると防風作用の水平方向への広がり(メートル)で大きくなるが、樹高倍数(H)では減少している。高さ2 mの林帯はその影響が風下で160 m、80 Hである、高さ4 mの林帯で240 m(60 H)、高さ7 m林帯は350 m(50 H)、高さ16 m林帯で560 m(35 H)である。このように、吹きぬけ構成林帯の防風作用の水平方向への広がり(メートル)は林帯高が大きくなると、厳密ではないが林帯高に比例して大きくなる、しかし、その割合は小さい。

ほかの文献の分析結果からも、われわれの出した結論はうらづけできた。たとえば、K. Sobenevsky (1901)の資料ではカーメン・ステップにある林帯高2 mのものの調査から林帯の防風作用距離が160 m(80 H)まであつたのがわかる。A. Komarov (1954)の資料では高さ2 mと5 mの鉄道林帯を用い風と雪の拡散試験を行い、Hで表わされる防護

第18表 吹きぬけ構成林帯の高さ別平均風速 (%)

林 帯	測 定 高 (m)	対 照 区 風 速 (m/s)	林 帯 風 上 距 離 (m)								林 帯 中 央	林 帯 風 下 距 離 (m)																	
			160	100	80	70	60	40	20	林縁		林縁	20	40	70	80	100	120	150	160	200	240	300	320	350	400	480	560	640
林帯高2 m	5	5.7	—	—	—	—	110	108	102	101	101	—	112	100	—	92	—	93	—	98	105	—	—	—	—	—	—	—	—
(ヘルソン市北6 Kmに あるバルチザン試験 地)	2	4.9	—	—	—	—	105	103	99	65	62	58	67	60	—	65	—	84	—	96	106	—	—	—	—	—	—	—	—
	1	4.1	—	—	—	—	100	101	91	58	51	35	40	52	—	66	—	89	—	101	112	—	—	—	—	—	—	—	—
林帯高4 m	10	6.7	—	—	—	—	102	—	105	107	109	113	116	112	—	103	—	98	—	97	100	103	101	100	100	—	—	—	—
(同上地)	5	5.8	—	—	—	—	106	—	94	83	71	73	87	78	—	70	—	71	—	79	88	96	104	106	101	—	—	—	—
	2	5.0	—	—	—	—	101	—	92	58	27	51	53	45	—	53	—	70	—	80	91	98	110	114	100	—	—	—	—
	1	4.2	—	—	—	—	95	—	78	72	64	59	41	26	—	56	—	72	—	81	92	100	112	115	100	—	—	—	—
林帯高7 m	10	6.2	—	102	—	—	—	—	—	—	100	—	—	130	99	—	5	—	82	—	—	87	—	—	97	—	—	—	—
(キーロフ・コルホ ーズ)	5	5.7	—	101	—	103	—	95	82	45	26	50	76	70	53	—	50	—	53	—	74	82	89	—	95	101	—	—	—
	2	4.8	—	100	—	86	—	77	75	71	70	68	57	44	28	—	49	—	67	—	80	88	94	—	100	102	—	—	—
	1	4.0	—	91	—	79	—	68	66	62	61	60	49	40	31	—	52	—	70	—	82	90	96	—	102	103	—	—	—
林帯高16 m	20	8.9	105	—	—	—	—	88	—	—	83	—	—	108	—	—	—	—	—	70	—	—	—	—	—	—	84	—	—
(2, 4mと同地)	10	7.6	110	—	102	—	—	80	—	60	49	55	—	60	—	50	—	—	—	46	—	54	—	66	—	78	87	93	100
	4	6.3	108	—	97	—	—	86	—	73	80	79	—	68	—	58	—	—	—	50	—	65	—	76	—	86	93	99	108
	2	5.2	100	—	91	—	—	82	—	68	69	70	—	66	—	57	—	—	—	51	—	68	—	80	—	89	95	102	114



第21図 高さ2.4.7.16mの吹きぬけ構成林帯の防風作用域

作用距離は高さ2 mの林帯が非常に大きかったことを明らかにしている。W. Staple, J. Lehane (1957) の資料でもHで表わす防風作用距離が高さ6 m林帯より2.1 m林帯が大きいのがわかる。

密な構成林帯の作用を測定するのに、高さ2, 4, 7 m林帯をとつた。

高さ7 mの密な構成林帯の風速測定はウラヂミール農林土地改良試験場(林帯№6, №7, №8)で、高さ4 m林帯はパルチザン農林土地改良試験地(林帯№3, №4), 高さ2 m林帯はウラヂミール農林土地改良試験場(南地区林帯№7, 伐採後萌芽により高さ2 mとなっている)とパルチザン農林土地改良試験地で行つた。これら林帯は密な構成で、横断面型は長方形に近く全面疎度は2%までであつた。

高さ7 m林帯の風速測定結果は第4表ですでに示したが、高さ2, 4 m林帯の資料は第19表に示した。この資料をもとに各高さ別の密な構成林帯の防風作用域図をかいた(第22図)。

グラフからみられるように、最大防風作用距離を絶対値(m)と相対値(H)で表わしてあるが、高さ7 m林帯の高さ12 mにおいては4.7 H、高さ2 mでは4.0 Hまでである。最少の防風作用距離は高さ2 m林帯にあり、ここでは空気力学的陰の水平方向への広がり風下へ、高さ2 mで3.6 H、0.5 mで3.0 Hとなる。垂直方向では7 m林帯で林帯高の2倍、2 m林帯で4倍の高さを越える。

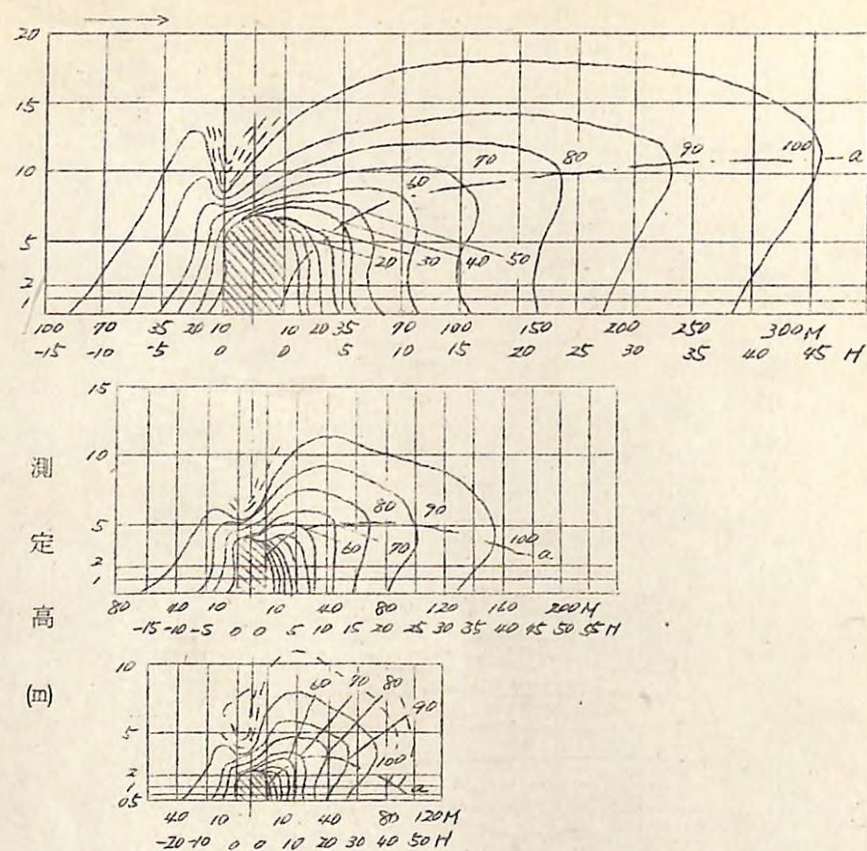
このように、密な構成林帯の防護作用距離は林帯高が低くなると林帯高に比例せず短縮する、しかし、その割合は比較的小さく、吹きぬけ構成林帯と対照的な関係にある。この説明は接地層における風速の垂直分布を調べることによつてできる。風速は地表に接近するとより急激に減少する。そこで接地層に防護作用をもつ低い林帯があるとその効果も減少することになる。したがつて小さな風速域での林帯の影響や垂直的な最大範囲は密な構成と吹きぬけ構成の林帯では相違がでてくる。風速減少の垂直域が増大すると、密な構成林帯の風陰の水平的広がり短くなるが、吹きぬけ構成林帯では増大してくる。

接地層に気温差のない層での資料はすでに示した。気温層の安定しているとき、また不安定なときの林帯の防護作用距離は大きな変化をうける、このことはあとでべる。

このように林帯が高いほどその防護作用距離は大きくなる。ただ、この関係は林帯構成、

第19表 密な構成林帯の平均風速 (%)
(パルチザン試験地)

規定高(m)	林帯風上距離(m)					林帯中央					林帯風下距離(m)				
	60	40	20	10	林縁		10	20	40	60	80	100	120	140	160
10	—	—	—	—	—	—	109	—	—	—	—	—	—	—	—
5	—	105	108	115	120	—	84	82	89	97	109	105	—	—	—
2	—	104	97	89	70	—	41	61	82	94	105	106	—	—	—
1	—	102	95	87	66	—	38	61	86	98	110	105	—	—	—
0.5	—	101	93	85	65	—	35	63	88	101	108	102	—	—	—
10	—	103	—	108	—	—	105	—	96	—	100	—	104	—	102
5	104	102	98	90	98	—	61	59	68	77	84	89	94	98	103
2	102	100	92	83	69	—	24	43	65	78	86	92	96	99	103
1	101	98	90	81	68	—	20	21	64	79	88	93	98	102	105



第2.2図 高さ7, 4, 2, mの密な構成林帯の防風作用域

風速の垂直分布, 接地気層の温度成層などが条件となつて, 直接同じようになつて表われることはない。

各林帯幅による防風性の比較値はA. Djjachenko (1947), B. Logginov (1949), M. Judin (1950), A. Bodrov (1952) らが行つたものがある。

B. Logginov は幅広い林帯, 狭い林帯でも農業技術的意義には余り変りなく, 狭い林帯は幅広い林帯に比し造成上肥沃な耕地をあまり必要としない利点があるとしている。

A. Djjachenko は狭い林帯が幅広い林帯よりすぐれた防風性を有するとのべている。しかし, 防風性を比較するのに構成の異なつた林帯を用いているので結論は信頼性を欠いて

いる。

そこで林帯の防風作用効果に対するその幅の影響を明らかにするため, われわれはさまざまな幅をもつ密な構成と吹きぬけ構成林帯を選定した。調査の対象とした密で吹きぬけない構成林帯は次のとおりであつた。

- 1) ウラヂミール農林土地改良試験場の41~49m幅の林帯。
- 2) ヘルソン州ヴィソコポーリ地区レーニン・コルホーズ, キーロフ・コルホーズの18~24m幅林帯。
- 3) ニコラエフ州ベズネゴワト地区ジダノフ・ソホーズの14~18m幅林帯。
- 4) ハリコフ州クラスノグラート地区ウクラインカ・コルホーズ, ヘルソン州チユルピン地区ラデンスキー・ソホーズの8~12m幅林帯。

これら林帯の構成は着葉期に全面疎度が密になつていた。林帯高は7~9mで横断面は長方形に近かつた。風速測定資料の大部分は林帯に対する風向角度が許容限界内, 対照区の風速(高さ2m)は5~7m/s, 接地気層の気温が一定なところであつた。林帯前と林帯後の地表の状態はよく似ていた。

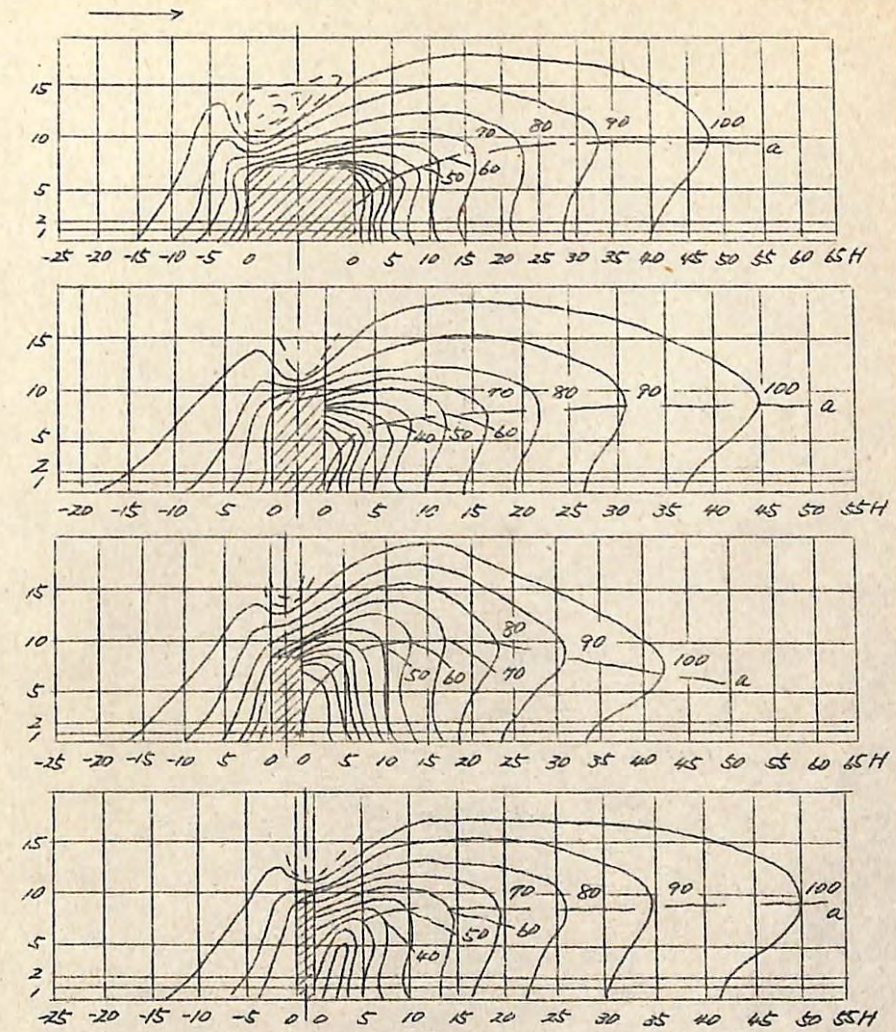
この林帯と耕地を横断する面の平均風速の資料は調査の結果得られた。林帯幅48mの平均風速は第4表に, 幅14mの林帯は第7表(横断面Aの図), 幅24mと8mの林帯のは第20表に示した。この表をもとに各幅をもつ密な構成林帯の防風作用域をかいた(第23図)。図からみると林帯の幅が48mから14mへ小さくなると防風作用の水平方向への広がり, 林帯の高さと同じところで47Hから43Hまで短縮し, 高さ2mで40Hから35Hへと減る。林帯幅がさらに8mと小さくなると防風作用距離は増大する。このことは, 密な狭い林帯は着葉期でも完全に吹きぬけない状態にはならないということから説明がつく。これは風速の最低が林帯内部になく, 風下2Hにあることで明らかである。

高さ2mの風速の資料から各幅の林帯の防風値が算定された。第21表は林帯幅が小さくなると防風値は29%から41%まで大きくなつていく。防風性が疎な林帯によく似ている8m林帯をのぞくと, 密な林帯は幅が48mから14mに減少すると防風値は29%から34%へと大きくなる。このように密な林帯の幅が減少すると防風作用距離も減少するが,

第20表 幅24, 8mの密な構成林帯の平均風速 (例)

林 帯 幅	測 定 高 (m)	林 帯 風 上 距 離 (m)						林 帯 中 央	林 帯 風 下 距 離 (m)											
		150	100	70	40	20	10		10	20	40	70	100	150	200	250	300	350	400	450
24m幅 (ヘルソン州 グイソコボリ 地区 キーロフ コルホー ズ)	15	—	—	—	—	—	—	118	—	—	—	73	—	—	—	96	—	—	—	—
	10	108	—	102	—	93	—	100	—	79	—	62	—	75	—	88	—	98	—	106
	5	103	100	95	90	80	60	23	0	9	20	46	58	69	80	88	93	98	102	108
	2	102	98	93	86	79	62	25	0	15	39	50	60	73	82	90	96	101	105	103
	1	100	96	92	84	77	60	26	0	16	32	52	61	74	83	92	98	102	108	105
8 m幅 (ハリコフ州ク ラスノグラート 地区ウ クラインカ コルホー ズ)	15	—	—	—	—	—	—	116	—	—	—	—	—	—	—	96	—	—	—	—
	10	103	—	—	100	—	98	98	82	—	—	59	—	69	—	83	—	93	—	—
	5	105	103	100	94	83	77	50	80	10	25	41	53	66	76	83	90	95	99	102
	2	103	101	96	89	79	73	45	81	11	28	42	55	69	78	85	91	97	102	103
	1	102	99	94	87	78	70	40	6	14	30	43	56	70	79	87	92	98	102	105

測 定 高 (m)



第23図 林帯幅48, 24, 14, 8mの密な構成林帯の防風作用域

防風値も大きくなる。

防風作用効果に対する吹きぬけ林帯の幅の影響をみることにしよう。疎度と関連した林帯の防風作用は調査したが、狭い林帯(並木型)で小さい疎度の場合、幅広い林帯より大きな

第 2 1 表 林帯幅と吹きぬけない構成林帯の防風値 (%)

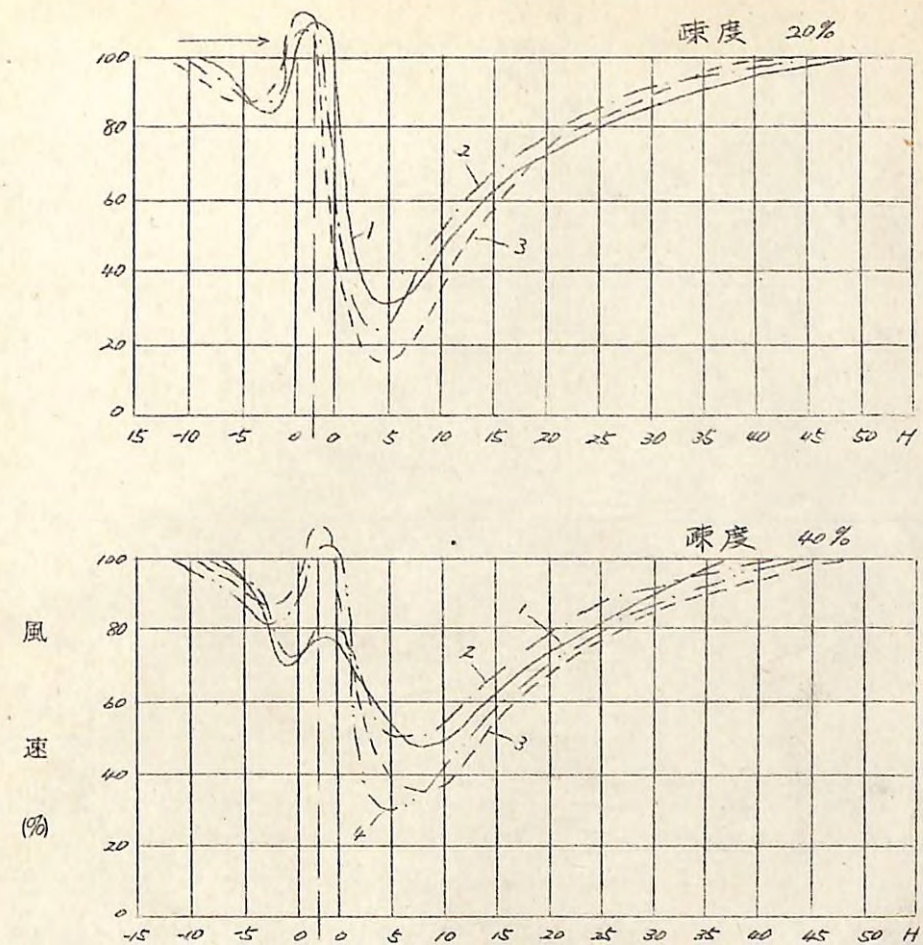
林帯幅 (m)	林 帯 か ら の 距 離 (H)						Σ_{0-30H}
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	
48	30	51	36	26	18	12	29
24	33	54	35	24	17	10	29
14	42	68	40	30	20	7	34
8	77	60	42	31	22	15	41

防風作用距離をもっていることが明らかになった。大きな疎度 (35~40%以上) をもつ狭い林帯の防護作用距離は大きな幅の林帯より少ない。これは、吹きぬけと疎な構成林帯の幅による作用距離の調査でも、林帯疎度と合わせて明らかにしなければならないことを示している。

吹きぬけ構成林帯の幅による影響を研究するために、疎度 20, 40% の 1, 2, 5, 7, 12 列林帯を選んだ。林帯についての記述と林帯の風速資料は前に示した、それから高さ 2 m の風速をみることができる。

第 2 4 図の上には疎度 20%, 下には疎度 40% の吹きぬけ構成林帯の風速の変化を示した。このグラフから、疎度 20% 林帯の防風作用の最大距離は 1 列林帯 (50 H) にあり、2 列林帯は若干少なく (47 H)、7 列林帯が最少 (41 H) であつたことがみられる。疎度 40% 林帯の防護作用距離は 1 列林帯が 36 H、2 列林帯は 41 H、5 列林帯 44 H、12 列林帯 48 H であつた。このように吹きぬけ構成林帯の疎度が小さく、林帯幅が増大すると防風作用距離は短くなる。しかし、疎度が大きいときは増大する。

疎度 20% の吹きぬけ構成林帯の防風値は第 2 2 表に示した。表からみて、列数が少なくなると防風値は 43% から 35% へ減少する。吹きぬけ構成林帯の疎度が 20% で列数 (林帯幅ともなる) が減ると林帯の防風作用距離は増すが、一方防風値は減少することになる。



第 2 4 図 吹きぬけ構成林帯の疎度と幅による風速への影響

1. 1 列 2. 2 列 3. 5~7 列 4. 12 列

疎度 40% の吹きぬけ構成林帯の防風値は第 2 3 表に示した、表から林帯の幅が広がるほど防風値が大きくなることがわかつた (1 列と 2 列林帯を比べると、この規則性は適合しないが、この場合、1 列林帯のクローネ幅が 2 列林帯幅より大きかつたことで説明される)。疎な構成林帯の防風作用効果におよぼす幅の影響は、吹きぬけ構成林帯の疎度による関係とよく似ている。

第22表 疎度20%の吹きぬけ構成林帯の防風値(%)

列数	林帯からの距離(H)						Σ_{0-30H}
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	
7	6.3	7.5	5.3	3.3	2.1	1.4	4.3
2	5.8	6.3	4.2	2.8	1.9	1.2	3.7
1	3.7	6.2	4.7	3.2	2.3	1.5	3.5

第23表 疎度40%の吹きぬけ構成林帯の防風値(%)

列数	林帯からの距離(H)						Σ_{0-30H}
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	
12	3.3	6.3	4.9	3.5	2.4	1.6	3.7
5	2.6	6.2	5.3	3.8	2.7	1.8	3.7
2	3.3	4.7	3.9	2.6	1.7	1.0	2.9
1	3.4	4.8	4.4	3.2	2.1	1.2	3.2

以上のことから、密な林帯の幅が小さくなると防風作用距離は減少し、防風値は増大した。また林帯幅が増すと防護作用距離は大きくなり、反対に防風値は減少した。

幅と関連する吹きぬけと疎な構成林帯の防風性は次のように変化する。疎度が小さい(20~25%)林帯の幅が増すと防護作用距離は短縮し、疎度が大きくなる(35~40%)と作用距離は増大する。防風値は吹きぬけと疎な林帯の幅が大きくなるとともに増大する。

このように、疎な構成林帯と吹きぬけ構成林帯が高い防風性を保つためには幅広い林帯である場合、疎度をも増し幅狭い林帯のときは疎度を小さくするとよい。

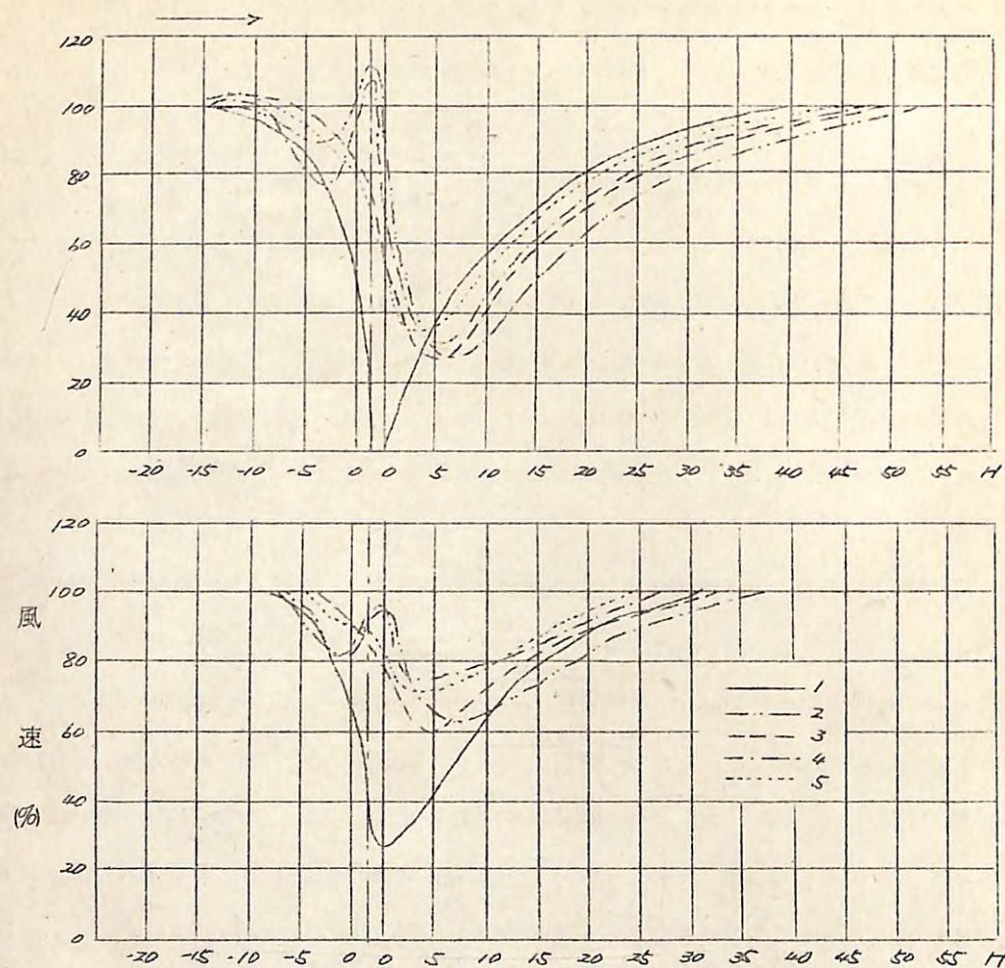
5. 着葉、無着葉林帯の防風性の比較

無着葉期の各構成林帯の防風性についての資料・文献は満足すべきものがなかった。この問題については L.Golubeva (1940), A.D.Jachenko (1940), I.Golijeborg (1954) などによつて明らかにされた点があつた。しかし、これらは基本的な構成林帯を対象としていなかった、それ故、今日まで無着葉期の林帯の防護作用距離と防風値は明確でなかった。着葉、無着葉期の基本構成林帯の防風作用効果の比較も行われていなかった。

そこで、われわれは適合疎度をもつ各構成林帯で高さ2mの風速測定資料を、密な林帯—第4表、疎度35%の吹きぬけ林帯—第11表、疎度40%の疎な林帯—第13表、吹きぬけ作用をする並木型林帯で疎度25%—第16表、疎な作用をする並木型林帯で疎度30%—第15表から求め比較した。これらの資料から第25図をかいた。このグラフからみると着葉期の最大防風作用距離は吹きぬけ構成林帯にあり(52H)、次は吹きぬけ作用の並木型林帯(50H)であつた。疎な構成林帯(49H)と疎な作用の並木型林帯(48H)はいくぶん小さかつた。防風作用距離のもつとも小さいのは密な構成林帯(40H)にある。

着葉期の各構成林帯の防風性を完全に特徴づけるため、林帯から30Hまでの各区分の平均減少率(%)か、これら林帯の防風値(Σ_{0-30H})をみてみよう。第24表からもつとも大きい防風値は吹きぬけ構成林帯がもち(45%)、最少値は疎な作用をする並木型林帯にあることがわかつた(34%)。

無着葉期の林帯の防風性を研究するのに前述の林帯を用い冬期と早春に風速測定を行つた。測定は高さ5mまで行い、2回目は15mまで行つた。このため無着葉期の各構成林帯の防風作用域はかけなかつた。比較上高さ2mの風速測定資料を用いた。これをもとに第25・下図をかいた。このグラフから無着葉期の最大防風作用距離は吹きぬけ構成林帯に(37H)、最少は疎な作用をもつた並木型林帯にある(25H)のがみられる。



第 25 図 着葉(上)、無着葉(下)期の各構成林帯(適合疎度)による風速の変化

1. 密な 2. 吹きぬけ 3. 疎な 4. 吹きぬけ作用の
並木型林帯 5. 疎な作用の並木型林帯

高さ 2 m の風速についての資料から、無着葉期のこれら林帯の防風値も同様に算定できた。第 25 表から、無着葉期の最大防風値は密な林帯にあり (28%)、最少は並木型林帯にある (13%)。

このように、季節による防風性の変化はまた林帯の葉が落ちた時のことで、その防護作用

第 24 表 着葉時の適合疎度をもつ各構成林帯の防風値

林 帯	適 合 疎 度 (%)	防 風 値 (%)
吹きぬけ構成.....	35	45
疎な 構成.....	40	42
吹きぬけ作用をする並木型.....	25	39
密な 構成(吹きぬけない).....	0	36
疎な作用をする並木型.....	30	34

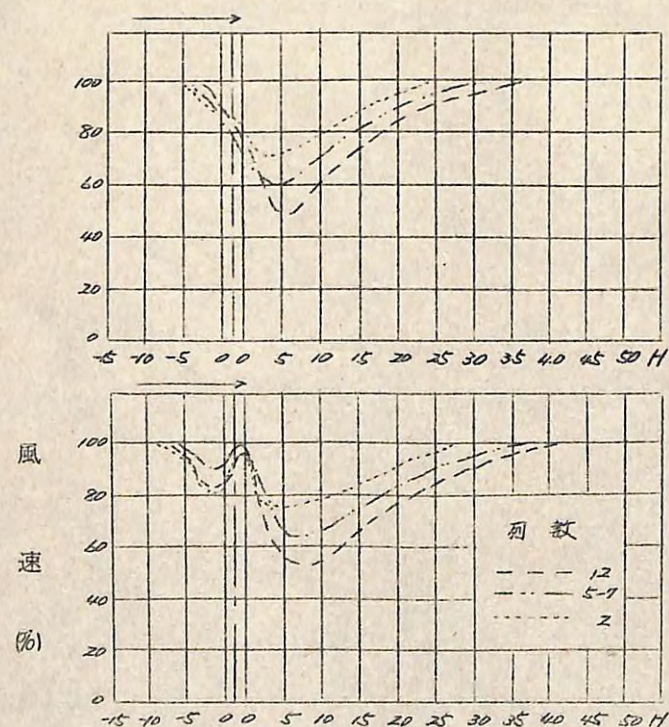
第 25 表 無着葉時の各構成林帯の防風値 (%)

林 帯	林 帯 か ら の 距 離 (m)						
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	$\Sigma 0-30H$
密 な 構 成	66	47	29	16	9	3	28
吹きぬけ構成	20	36	30	21	13	8	21
疎 な 構 成	30	34	23	14	9	5	19
吹きぬけ作用 の並木型	17	23	19	13	6	1	13
疎 な 作 用 の 並 木 型	25	26	18	9	2	0	13

距離は着葉期が無着葉期の1.3～1.8倍、防風値は1.2～2.8倍となつている。林帯の防風性の季節変化は第一に林帯が狭くなるほど大きくなつてゆくその疎度に関係している。そこで、葉が落ちた幅広い林帯は狭い林帯より防風性の低下が少ない。

第26図は無着葉期における疎な構成(上図)と吹きぬけ構成林帯(下図)の各列数(2, 5～7, 12列)による高さ2mの風速変化を示した。上図から無着葉の疎な構成林帯1, 2列では38Hまで防風作用域が広がっているが、その防風値は26%で、2列林帯は25H, 13%であつた。このような規則性はまた吹きぬけ構成林帯にもみられる(下図)。

以上のことから、無着葉期の非常に幅広い林帯は狭い林帯より防風性がよく保たれている。ただ、これら林帯による雪の堆積の研究では吹きぬけ構成の2～7列林帯が幅広い林帯よりよく雪を一様に広げていた(くわしくは後述)。それ故、防風性でも吹きぬけ構成の狭い林帯が夏期、また冬期にも耕地をよく保護することを保証している。



第26図 林帯列数と無着葉期の風速変化(高さ2m)
上・疎な構成 下・吹きぬけ構成

III 林帯の防風性に対する気象因子とその作用

1. 接地気層の温度成層

各構成林帯の防風作用の高さと距離に対する接地気層の温度による影響は今日まで明らかにされておらず、V. Bodrov, G. Matjakin, P. Voroncov らが林帯の防護性と気温層の間に関連があるのに言及していただけであつた。

われわれの研究課題は接地気層の温度層と関連して各構成林帯の空気力学的陰、その広がり、高さがどう変化するかを知ることにあつた。調査対象として、密、疎、吹きぬけ構成林帯を選んだ。

林帯と接している耕地を横切る断面の風速測定は昼夜とおして3日間行つた。計測は2時間ごとに行つた。得た林帯の風速資料は気温層ごとにまとめた。

接地気層に温度差のない層(中立, 等温型)における林帯の風速測定結果は前にかいた。今、接地気層に不安定な温度成層(てい減, 受熱型), 安定した気温成層(逆転, 放熱型)があるときの各構成林帯の風速測定資料を分析し、くわしく表わすことができた。

接地気層に不安定な温度成層があるときの密な構成林帯で12～18回くり返し行つた平均風速測定資料は第26表に示した。この資料をもとに、その林帯の防風作用域図をかいた(第27図)。高さ15mまでの図は直接風速資料からかいたが、15m以上は発煙法の資料を補足してかいた。

図から、接地気層の不安定な温度成層での防風作用域は水平方向で、高さ1mにおいては18Hまで、高さ20mで30Hまで短縮する。林帯による垂直方向への影響範囲は25～30mの高さまで広がっている。このように、気温の不安定な層における密な構成林帯の防風作用距離は減少するが、高さでは増大する。風速減少域の風下25～30Hに風速がたかくなるところがある。

接地気層の安定した温度成層の密な構成林帯で測定した18～22回の平均風速資料は第27表で示した。この資料をもとに、この林帯の防風作用域の図をかいた(第28図)。

この図から気温が安定した層での林帯の防風作用域は高さ1mで水平方向55Hまであつ

第 2 6 表 接地気層の不安定な温度成層における密な構成林帯の平均風速 (%)

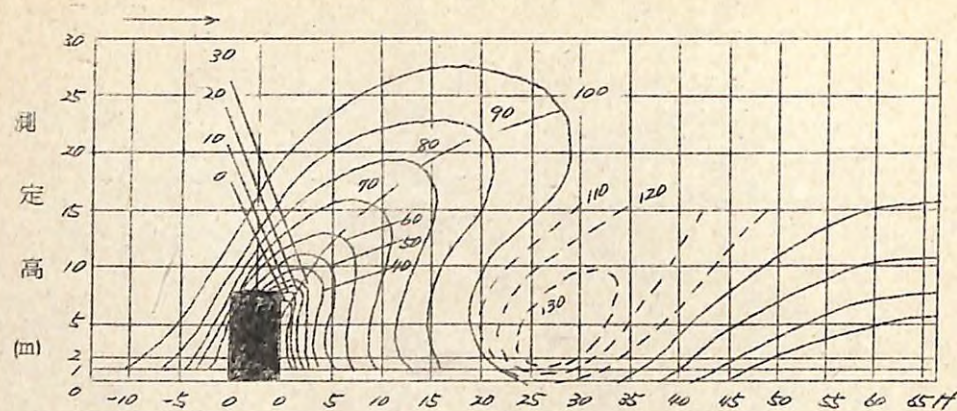
林 帯	測 定 高 (m)	対 照 区 の 風 速 (m/s)	林 帯 風 上 距 離 (m)						林 帯 中 央	林 帯 風 下 距 離 (m)											
			100	70	40	20	10	林縁		10	20	40	70	100	150	170	200	250	300	315	350
ウラヂミール農林	15	4.7	—	—	—	—	—	—	103	—	—	—	—	67	—	—	—	—	—	—	—
土地改良試験場	10	4.5	—	—	—	—	—	—	84	63	—	—	—	64	—	—	—	—	—	—	—
№7 林帯	5	4.1	100	100	100	92	81	70	0	0	14	36	68	90	101	122	115	107	101	97	—
	2	3.7	—	—	—	—	—	—	0	0	20	40	74	93	102	116	112	103	96	88	—
	1	3.3	—	—	—	—	—	—	0	0	18	38	72	91	101	110	105	101	92	84	—
ヘルソン州ヴァイソコ	15	4.9	—	—	—	—	—	—	101	—	—	—	—	65	—	—	—	—	—	—	—
ボーリ区キーコフコ	10	4.7	—	—	—	—	—	—	75	58	—	—	—	54	—	—	—	—	—	—	—
ルホーズス林	5	4.4	100	101	90	81	72	65	5	0	3	35	66	80	100	—	115	116	117	—	—
帯	2	3.8	100	96	78	71	65	61	0	0	11	40	69	84	101	—	113	115	108	—	—
	1	3.4	99	92	75	70	64	60	0	0	10	41	68	83	100	—	112	110	106	—	—

— 84 —

第 2 7 表 接地気層の安定した温度成層における密な構成林帯の平均風速 (%)

林 帯	測 定 高 (m)	対照区風速 (m/s)	林帯風上距離 (m)					林 帯 中 央	林 帯 風 下 距 離 (m)													
			林帯風上距離 (m)						林縁	20	40	70	100	150	200	250	300	350	400	450	500	
			100	70	40	20	林縁															
ウラデミール農林土地改良試験場№8林帯	15	6.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	106	—	—	—	102	—	—	—	—	—	—
	10	5.6	—	—	—	—	—	94	—	—	—	65	66	—	68	—	76	—	88	—	98	—
	5	3.6	101	100	91	78	58	0	0	0	0	0	0	17	41	57	70	79	86	91	96	101
	2	1.8	100	91	81	70	57	0	0	0	0	0	0	19	43	59	72	81	88	93	99	102
	1	0.8	98	90	79	69	55	0	0	0	0	0	0	18	42	58	73	82	89	94	101	101
ヘルソン州ヴァイソコボリ区 キーコフコルホーズ №4 林帯	15	5.1	—	—	—	—	—	—	102	—	—	—	—	—	—	—	102	—	—	—	—	—
	10	4.1	—	—	—	—	—	113	—	—	—	—	70	64	—	81	—	92	—	101	—	—
	5	3.0	100	101	89	81	56	0	0	0	0	0	5	28	48	66	76	84	92	96	102	—
	2	2.1	101	93	80	70	51	0	0	0	0	0	2	23	47	68	79	87	97	100	101	—
	1	0.4	98	90	77	68	48	0	0	0	0	0	0	18	46	70	80	88	95	100	100	—

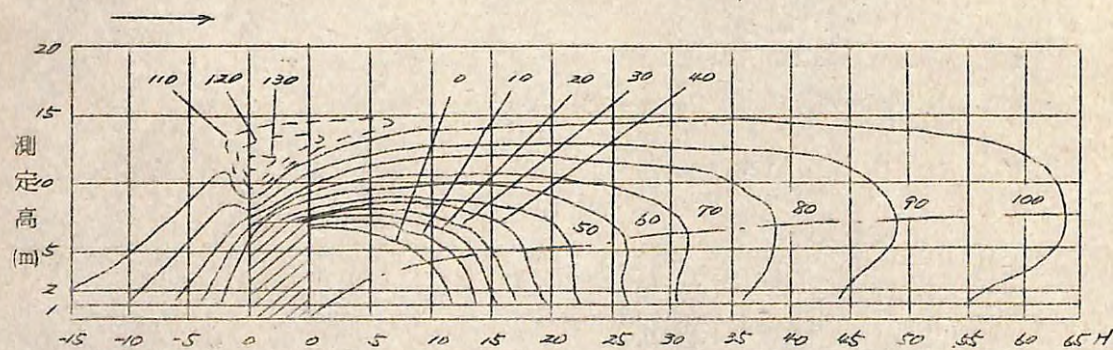
— 85 —



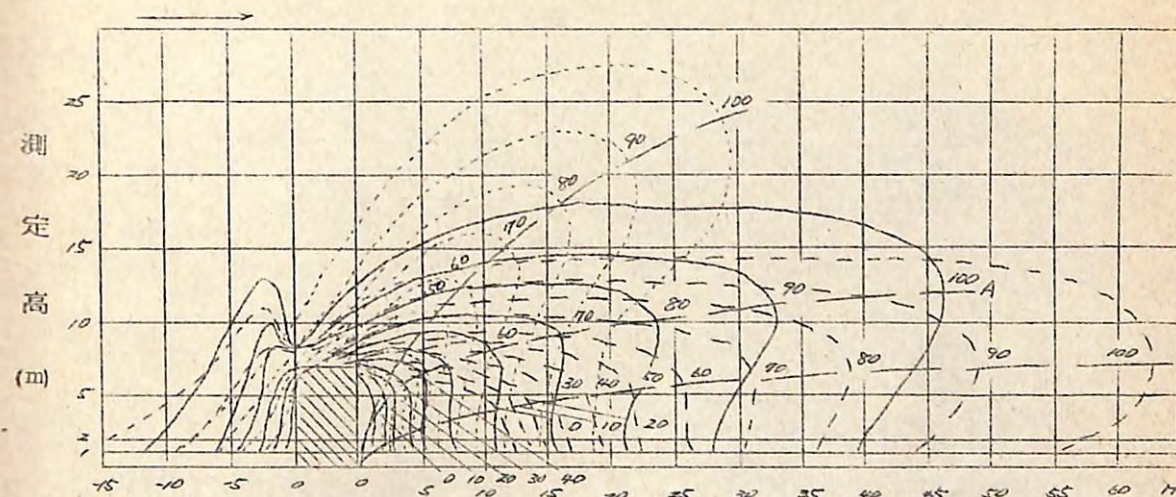
第 27 図 接地気層の不安定な温度成層における密な構成
林帯の防風作用域

たが、高さ7～8 mでは63 Hである。垂直方向は林帯の影響によつて風が弱まる範囲が14 mの高さまでである。このように気温の安定した層での密な構成林帯の防風作用距離は増大する、しかし、林帯の影響で風が弱まる高さは減少する。

接地気層の温度成層と関連した密な構成林帯の空気力学的陰の配置、形の変化について表わすため中立(第6図・I)、不安定(第27図)、安定(第28図)の温度成層で得た防風作用域を順次かいた。これを第29図に示してみた。ここで接地気層の温度成層の変化は



第 28 図 接地気層の安定した温度成層における密な構成林帯の防風作用域



第 29 図 接地気層の各温度成層における密な構成林帯の防風作用域

—— 中立, - - - 安定, 不安定

空気力学的陰の広がり、高さ、輪かくだけでなく風速の最大減少軸の傾斜角度をも変える、すなわち、気温の安定した状態においてはこの軸はさがり、不安定な状態では上にはなれることが知られた(Ja. Smaliko, 1954)。

天候が一日中放熱型であるときには、林帯の防風作用域がたえず垂直方向、水平方向で変形する。正午における不安定な温度成層での密な構成林帯の防風作用距離はこの林帯の根本的欠点を表わし急に短縮している。

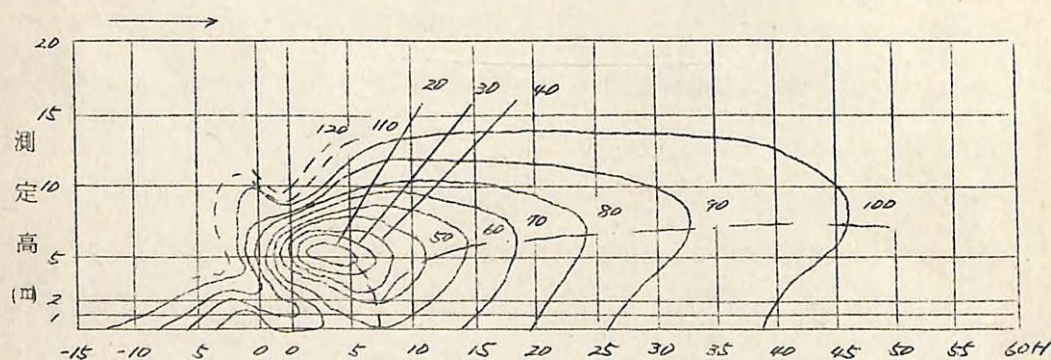
接地気層の不安定な温度成層での疎な構成林帯の防風性は、われわれが測定したように風速がたかくなる領域は風下で地表におちず、林帯の疎な部分を通過した気流により速さけられるものと思われる。結局、疎な構成林帯直後の高さ2～5 mでは風速がたかくなる領域がみられない。この点、密な構成林帯に比して疎な構成林帯はすぐれている。

接地気層の不安定な温度成層における吹きぬけ構成林帯の空気力学的陰は変化している。吹きぬけ構成の高さ8 mの並木型林帯における風速測定(高さ10 mまで)の4回くり返し平均資料は第28表に示した。これをもとに接地気層の不安定な温度成層での吹きぬけ構成

第 28 表 接地気層の気温の不安定なときの吹きぬけ構成ポプラ並木
型林帯の平均風速 (%)

測定高 (m)	林帯風上距離 (m)				林帯中央	林帯風下距離 (m)							
	100	50	20	林縁		林縁	20	70	100	150	250	350	450
10	—	105	100	101	116	110	85	72	—	78	90	98	103
5	103	104	106	85	62	46	15	35	50	68	87	96	102
2	102	98	72	78	89	78	55	50	59	73	90	99	101
1	101	94	70	69	78	82	65	50	61	75	93	101	102

林帯の防風作用域をかいた (第 30 図)。グラフからこの区域は大きな水平的広がりがある一方高さ方向は比較的少ないのがわかる。風速減少のもととも大きな領域は林帯風下の樹冠の密なところであり、地表にはおちない。防風作用域の風速が地表近くでもつとも強くなる



第 30 図 接地気層の不安定な温度成層における吹きぬけ作用の
並木型林帯の防風作用域

第29表 風速6m/s のときの各疎度をもち吹きぬけ構成林帯の風速 (%)

疎度 (%)	林帯風上距離(m)					林帯中央	林帯風下距離(m)															
	林縁						林縁	20	40	70	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	
	150	100	70	40	20																	
15	102	95	88	88	102	103	65	35	26	13	32	48	69	81	88	95	100	102	103	103	101	100
20	102	98	92	87	98	112	93	70	36	15	21	40	64	77	86	91	97	102	105	104	102	100
25	103	100	95	90	102	108	85	71	40	20	18	39	60	74	82	89	95	100	103	105	102	102
30	102	100	95	89	90	103	111	69	38	27	28	37	57	71	80	87	92	96	99	104	105	103
35	103	100	97	90	89	100	112	81	49	31	26	36	53	68	78	83	90	93	98	102	104	103
40	102	101	98	91	88	98	110	92	58	38	35	43	60	73	81	88	93	98	102	105	103	102
45	103	102	98	92	90	96	108	96	71	50	42	50	66	77	83	90	94	99	103	105	103	100
50	101	103	99	93	88	96	106	100	75	59	52	57	71	81	88	93	97	102	103	103	103	102
60	100	103	100	95	90	95	107	103	83	69	63	66	77	85	92	97	102	104	103	101	100	100
70	101	105	101	97	94	93	104	102	91	73	71	74	82	91	97	103	103	102	101	100	101	101

第30表 風速4m/s のときの各疎度をもち吹きぬけ構成林帯の風速 (%)

疎度 (%)	林帶風上距離(m)						林帶中央			林帶風下距離(m)												
	150	100	70	40	20	林縁	林縁	20	40	70	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	
15	99	94	87	77	78	96	90	35	5	8	26	44	70	83	91	97	101	103	102	100	100	100
20	99	96	88	80	81	100	98	81	14	7	14	32	64	79	89	95	99	102	103	101	100	100
25	100	97	88	78	86	103	100	67	15	9	15	29	57	76	85	93	97	100	102	100	100	100
30	100	95	86	79	83	99	106	58	24	16	22	31	53	72	76	89	94	98	102	102	101	100
35	100	97	93	83	82	98	100	86	30	15	19	29	49	65	76	86	92	96	101	103	101	100
40	100	98	95	89	82	110	117	104	39	26	29	40	57	69	80	83	89	94	99	103	101	100
45	100	99	98	90	85	100	116	113	55	36	39	46	63	74	85	87	92	96	101	102	100	100
50	100	101	97	89	85	103	114	105	61	44	45	54	67	78	85	90	95	99	102	103	100	100
60	100	102	98	90	86	107	112	106	73	58	55	60	72	82	89	96	100	103	101	100	100	100
70	100	102	97	93	89	100	110	105	75	62	65	70	79	88	95	100	103	102	101	100	100	100

第31表 風速8m/s のときの各疎度をもち吹きぬけ構成林帯の風速 (%)

疎度 (%)	林帯風上距離(m)					林帯風下距離(m)											林 帶 中 央																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	林縁					林縁																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150		100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40	20	150	100	70	40

ことはない。接地気層の不安定な温度成層において吹きぬけ構成林帯は防風作用距離の急激な短縮をもたなかつたが、密な構成林帯にはこれがあつたことを示している。これは密な構成、疎な構成林帯に比べ、吹きぬけ構成林帯が基本的にすぐれていることを示すものである。夏期、接地気層の不安定な温度成層をもつ気象条件が非常に数多く反復しているソ連邦ヨーロッパ地区南、南東地域で防風作用効果を増すためには、吹きぬけ構成林帯の造成が適當である。

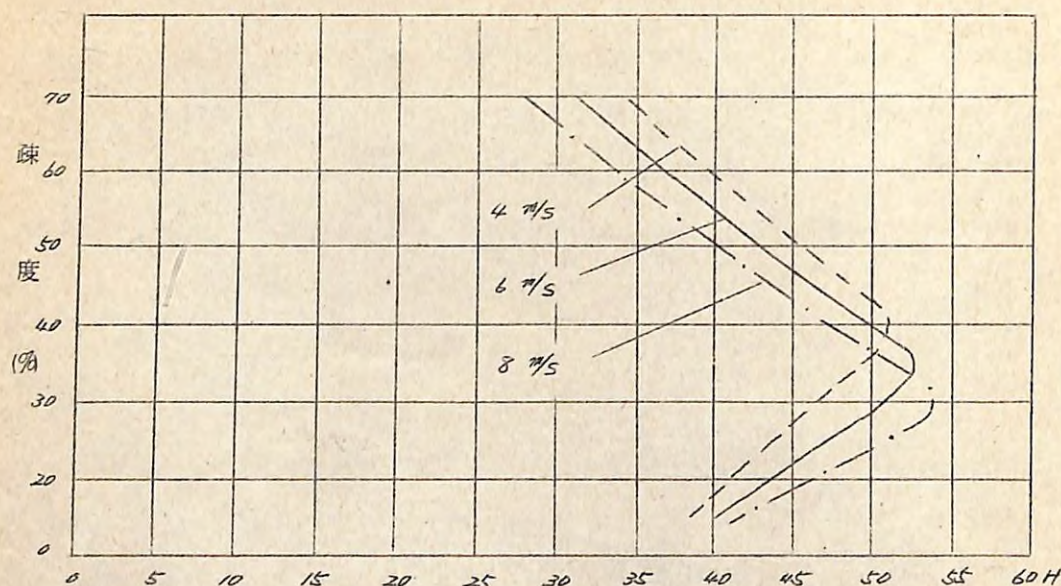
2. 風 速

風速の変化と林帯の防護性の関係が明確にされていないのが文献から知られる。ある人は風速が大きくなると林帯の防護作用距離も増大するとみている (A. Baicev, V. Bodorov)。また一部では風速が大きくなると林帯作用による効果範囲が減少すると結論づけていた (E. Kucherjavkh, D. Denuy)。あるグループの人たちは風速が増すとその減少の絶対値 (m/s) は大きくなるが、相対値 (%) は変りないとみている (G. Mat-jakin, Ja. Panfilov, B. Dzotvecky)。

風速と林帯による作用効果の変化の間に規則性が存在するか否かを明らかにすることで、われわれは林帯構成の特性と気象因子 (風速) を考慮して研究してみた。吹きぬけ構成林帯のこの測定資料は第 2 9. 30, 31 表に示した。これを用い風速 4, 6, 8 m/s におけるこの林帯の防護作用距離を算定した。第 31 図をみると風速が 6 m/s から 4 m/s に減少すると最少適合疎度 (35 %以下) の防護作用距離は短くなるが、適合疎度以上の林帯では増大する。風速が 6 m/s から 8 m/s に大きくなると反対の現象がみられる、すなわち、適合疎度以下の林帯の防護作用距離は増大するが、適合疎度以上では減少する。

このように風速が減少すると大きな疎度をもつ林帯は最適となるが、風速が増大すると疎度の小さい林帯がよいものとなる。たとえば、風速 6 m/s では疎度 35 % の林帯が最適で、4 m/s では疎度 40 %、8 m/s では疎度 30 % である。この規則性は吹きぬけ構成林帯ばかりでなく、疎な構成や並木型林帯にも結びつくものである。

密な構成林帯では風速と林帯の防護作用効果の間にある関係はいくぶん異なっていた。風



林帯の防風作用距離

第31図 吹きぬけ構成林帯における風速と疎度による防風作用距離

速が9 m/s まで増大すると林帯の防護作用距離も増す点である。風速がさらに大きくなると防風作用域の水平的広がり短縮されるが、高さ方向へは増してゆく。

風速の関係する各構成林帯の防風作用距離の変化の規則性は、このようなものである。

風速と関連した吹きぬけ構成林帯の防風値はどのように変るかみてみよう。第29、30表に示した資料から各風速による林帯作用距離だけでなく防風値(第32表)を算出し、これで第32図のグラフをかいた。この図から、林帯の最大防風値が風速4 m/s に、最少から風速8 m/s にあるのがみられた。例外として、疎度15~25%の林帯では、防風値の最少が4 m/s に、最大が6 m/s にあつた。

林帯の防風性は接地気層の各温度成層で風速と関連して変化するが、同じように変化するわけではない。われわれの研究でもこの変化は次のようになつた。

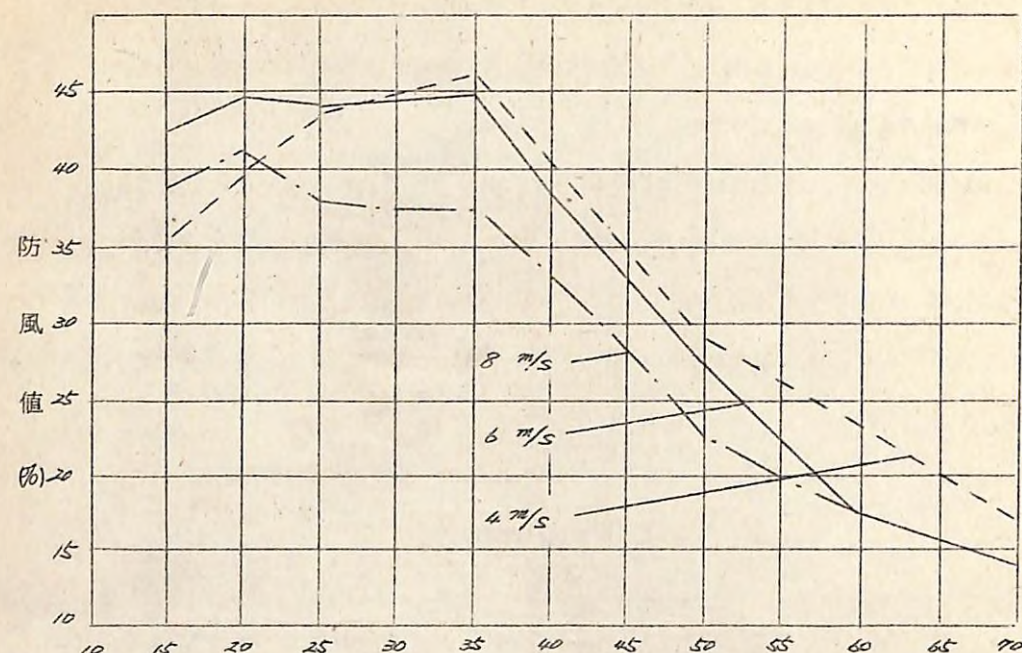
接地気層の不安定な温度成層では林帯の防風作用はあまり大きな広がりを見せない(第

27図)、風速が7 m/s まで大きくなると防風作用は水平方向へ急に増大する。これは接地気層の気温でい減域の縮小と不安定な温度成層の移動により気層が等温状態へ移つてゆくことで説明されるものであつた。

接地気層の安定した温度成層では、防風作用域の水平的広がり大きく(第28図)、風速が5~7 m/s まで増すと水平的広がりも増し、それ以上の風速になると安定した温度成層の破壊の原因となり、防風作用域の水平的広がり短縮する。このとき、接地気層の安定した温度成層は温度差のない状態へ移る。スホベイ(ソ連邦の南部と東南部で吹く乾いた熱

第32表 疎度と風速による吹きぬけ構成林帯の防風作用距離と防風値

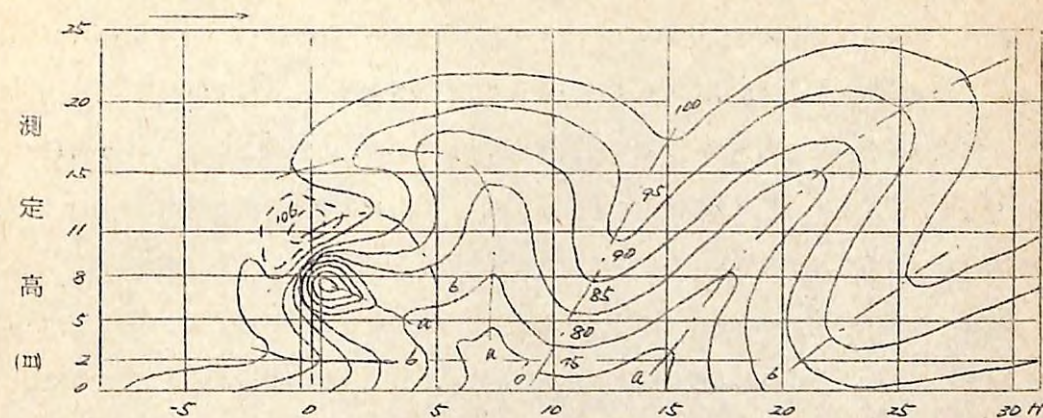
疎度 (%)	風速別の防風作用距離 (H)			風速別の防風値 (%) Σ0-30H		
	4 m/s	6 m/s	8 m/s	4 m/s	6 m/s	8 m/s
15	3.7	4.0	4.2	3.5	4.2	3.9
20	4.1	4.3	4.7	4.0	4.4	4.1
25	4.4	4.7	5.1	4.3	4.4	3.8
30	4.7	5.0	5.3	4.5	4.4	3.7
35	5.0	5.2	5.2	4.6	4.5	3.8
40	5.1	4.9	4.8	4.0	3.8	3.3
45	4.9	4.6	4.4	3.4	3.3	2.8
50	4.6	4.2	4.0	2.9	2.7	2.3
60	3.9	3.6	3.4	2.3	1.7	1.7
70	3.4	3.1	2.8	1.7	1.4	2



第 3 2 図 吹きぬけ構成林帯の疎度と風速による防風値の変化

風)では接地気層の安定した温度成層が夜間輻射による冷却でなく、暖かく乾いた空気の移流によつてでき、比較的大きな風速でも保たれている。これは全構成林帯の防風域の水平的広がりを極度に大きくする原因ともなっている。

接地気層の温度差のない層で、密な構成林帯は風速 12 m/s 以上となると防風域の水平的広がりが短縮される、しかし、高さ方向へは大きくなっている。吹きぬけ構成林帯に大きな風速があると、その防風作用距離は大きくなる、ただこのとき、防風作用域は複雑な形をとる。第 3 3 図には風速 14 m/s までの防風域をかいたが、高さ 15 m までは Ju. Bja-llovich の資料で、それ以上は補足してかいた。特徴的な点は風速の大きな減少軸<a>が弱い減少軸と順次ならび、相対風速の等値線は波形をしていることである。風速が大きいときにも、われわれは測定を行つたが、この図にかかれた規則性が確認され、林帯の防風作用域は 80 H まで広がっていた。



第 3 3 図 吹きぬけ構成林帯における風速 $10\sim14\text{ m/s}$ のときの防風作用域

調査したどの資料も、風速が林帯の防護性に対して本質的な影響をもつことを明らかにしている。防風域の範囲も、その型と同じように変化した。ただ、風速の影響は林帯の疎度と接地気層の温度成層にも関係するため、すべて同一にあらわれることはないのである。

3. 林帯と風向角度

林帯の防風作用距離は林帯に対する風向角度に大きく依存している。林帯に対する風向角度が減少すると防風作用域は短縮される。ただ今日まで、この短縮がどのようにおきるのか、林帯と風向との $\sin$ 角の減少によるか否かはつきりしていない。このように、林帯に対する風向角度と空気力学的陰の広がり、高さの関係の変化もまだ知られていないのである。

この問題を明らかにするため、われわれは特別な風速測定調査を行つた。風向角度の変化と吹きぬけ構成林帯の空気力学的陰の配置、その型の関係を研究する対象にバルチザン農林土地改良試験地の林帯 No. 5 を選んだ(この林帯は Ja. Smalikó により特徴を示されている、1957)。風速測定は1955~1956年の着葉期の林帯で行つた。この結果は第 3 3 表に示した。資料から、風向角度と林帯の防風作用域をかいた(第 3 4 図)。図でみると、林

帯に対する直角な風で、防風作用域は平均して5.2Hまでに広がっている。林帯に対する風向角度が減少してゆくと防風作用域は短くなり、角度 12° では平均1.1Hである。林帯の風上、風下の防風作用域を知るため風速が増してゆく領域を点線で示してある。

そこで林帯の防護作用が短縮するのを明確に表わすため林帯と風向との間の $\sin$ 角($\sin \varphi$)とを関連させたグラフをかいた(第3.5図)。このグラフの原理は次のとおりである、林帯に対し直角な線は直角方向から風に対する林帯の平均防護作用距離(高さ2m)である。これでは5.2Hである。林帯を起点にして直角線上のこの距離を半径として弧をかくと円の $\frac{1}{4}$ ができる(点線内)。中心からの放射線は林帯にたいする風向角度でつくられたものである。この放射線が点線弧と交わる交点から、林帯へ垂直線を引く、林帯から弧の点線までの垂直線の長さは林帯と風向との間の $\sin$ 角の変化に合う作用距離、すなわち、 $A = r \sin \varphi$ によつて算出される防風作用距離を表わすものである。

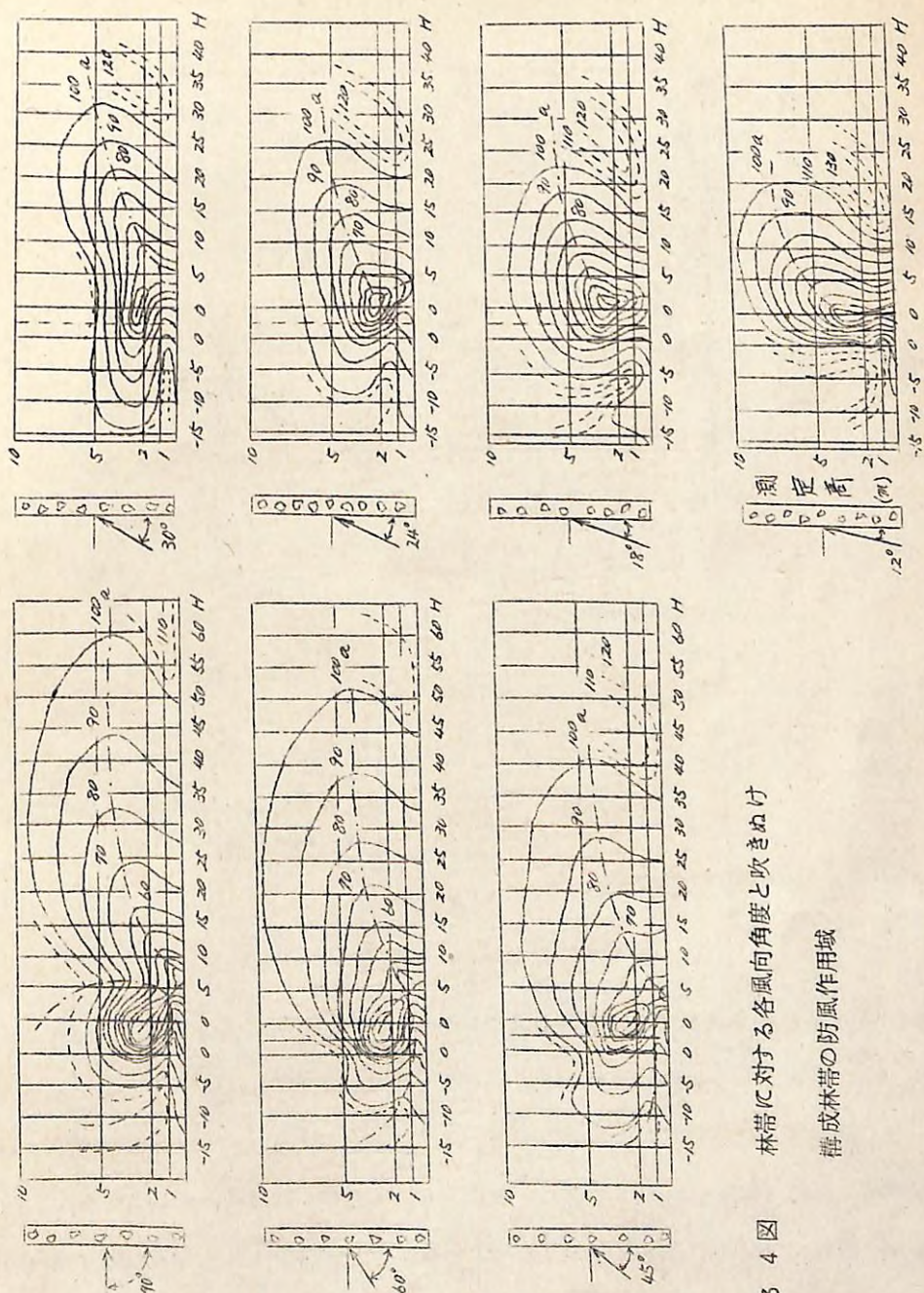
第3.3表と第3.4図に示されている林帯と各風向角度による作用距離の実際とこの算出距離とはかなり一致している。この図へ第3.3表の実際の作用距離を入れ、林帯と風向角度の関係をみ、現実の作用距離の変化を特徴づける線を得た。放射線と実線の交点から林帯への垂線は、林帯の当該風向角度による防風作用距離を表わしている。図からみられるように、実際の林帯の防護作用距離と計算値の間には離合する部分がある、吹きぬけ構成林帯の場合、林帯に対する風向角度が小さくなると大きく離れる。例外としては、風向角度が 18° のときで、林帯の作用距離は急に短縮している。

無着葉期の疎な構成林帯の防風作用域が変化するのをみてみよう(ラデンスキー・ソホーズ)。風速測定は1957年春に行い、林帯に対する2風向 90° 、 45° を調べた。この資料は第3.4表に示した。

これをもとに無着葉期の疎な構成林帯の防風作用域をかいた。この第3.6図から、林帯に対する角度 90° の防風作用域は高さ5mで3.0Hに広がり、高さ2mで2.6Hである、 45° の場合はそれぞれ2.5H、2.1Hまでである。ふたつの場合、垂直方向は高さ1.0mまで広がっている。風速の最大減少部は対照区と比べて70%から60%となる。このように無着葉期の疎な構成林帯は風速の減少度、防風作用域の広がりなどを少なくしている。

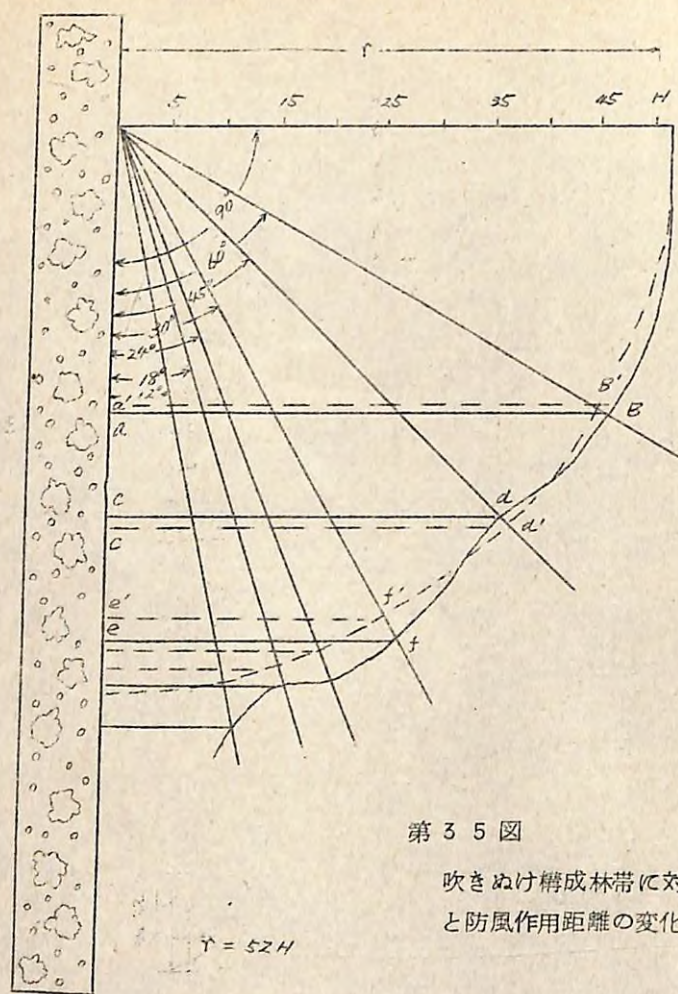
第 3 3 表 各風向角度にたいする吹きぬけない構成林帯の平均風速 (%)

風 向 角 度	測 定 高 度 (m)	林帶風上距離(m)					林 帶 中 央	林帶風下距離(m)													
		林緣						林緣	10	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
		60	40	20	10	林緣															
90°	5	—	115	104	—	92	85	83	91	102	86	75	73	77	80	83	88	91	94	97	102
	2	—	112	106	—	76	30	24	31	44	46	52	64	73	79	84	89	93	96	99	115
	1	—	108	101	96	89	89	71	46	40	32	55	67	75	81	87	92	96	98	110	112
60°	5	110	114	105	108	110	85	70	66	70	72	75	79	82	87	91	97	99	106	109	
	2	108	112	91	81	50	29	25	22	34	40	57	68	78	84	88	92	96	101	111	101
	1	103	109	93	88	74	60	52	40	25	43	62	71	80	86	91	94	99	112	110	103
45°	5	108	98	94	92	91	82	76	74	72	79	83	86	88	91	95	99	108	115	110	105
	2	113	101	90	84	73	32	21	40	53	63	72	81	87	92	96	110	120	112	105	103
	1	110	109	97	90	81	66	50	45	42	61	74	83	89	94	98	116	121	107	103	100
30°	5	102	99	97	—	95	99	105	108	106	78	81	83	89	97	109	115	108	107	104	102
	2	110	90	80	—	69	56	46	38	45	32	68	81	93	108	123	109	106	104	102	101
	1	112	107	98	—	90	80	68	51	38	59	74	87	98	113	117	105	103	101	100	100
24°	5	—	115	98	92	90	87	83	81	79	78	85	90	98	115	120	109	105	103	100	101
	2	—	111	100	91	84	52	31	26	51	71	86	97	117	123	109	107	104	102	101	100
	1	—	105	101	94	89	80	60	49	50	73	89	98	121	118	105	102	101	100	101	100
18°	5	110	116	99	88	80	71	65	62	60	67	83	94	109	117	120	115	—	105	—	103
	2	105	—	107	91	33	54	34	25	50	74	92	110	131	123	109	108	—	103	—	101
	1	102	97	110	95	86	61	45	34	55	80	98	122	125	112	105	103	—	101	—	100
12°	5	112	126	131	117	91	70	53	46	51	73	88	102	123	114	—	108	—	105	—	101
	2	103	118	132	120	93	51	20	35	60	90	110	132	117	109	—	105	—	103	—	100
	1	100	108	113	110	107	80	34	37	65	94	126	120	112	106	—	103	—	101	—	100



第 3 4 図 林帯に対する各風向角度と吹きぬけ

静成林帯の防風作用域



第 3 5 図

吹きぬけ構成林帯に対する風向角度
と防風作用距離の変化

林帯に対する風向角度を変えて着葉，無着葉の各構成林帯における風速測定は高さ 2 m で行つた。この資料から林帯の防風作用域をかくことはできないが，ただ林帯に対する各風向角度とその防風作用距離の変化に規則性をみいだすことができる。第 3 7 図には林帯に対する風向角度を変えた着葉，無着葉期の適合疎度をもち疎，密，吹きぬけ構成の各林帯の防風作用距離の変化を示した。図から，林帯に対する風向角度が減少すると林帯の防風作用距離が短縮されるのがわかる。この状態は各構成林帯とも同じではない。

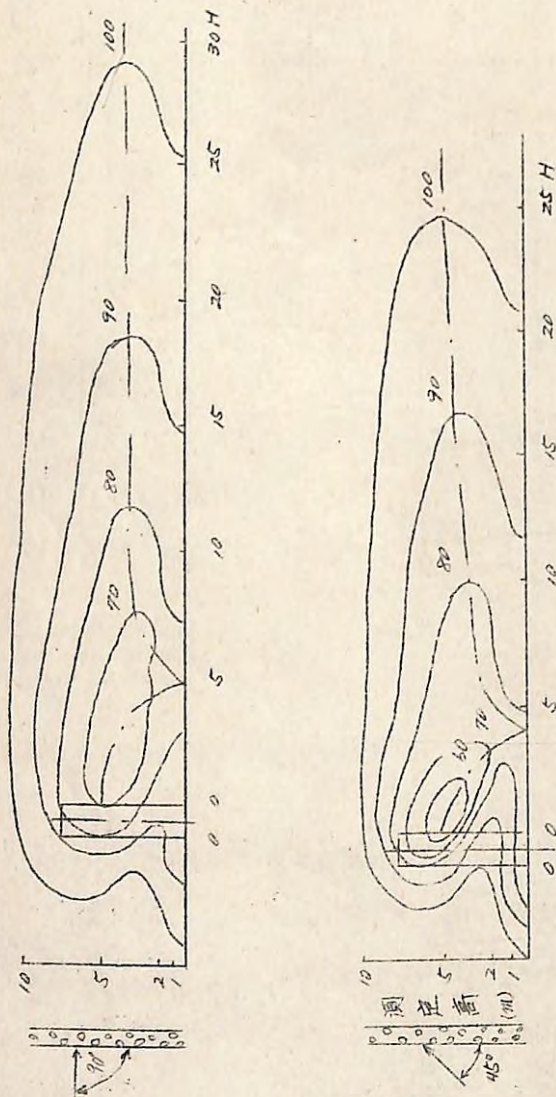
着葉期の密な構成林帯では風向角度が次第に小さくなると林帯の防風作用距離は短縮し，

第 3 4 表 風向角度とラデンスキーソホーズの林帯の風速

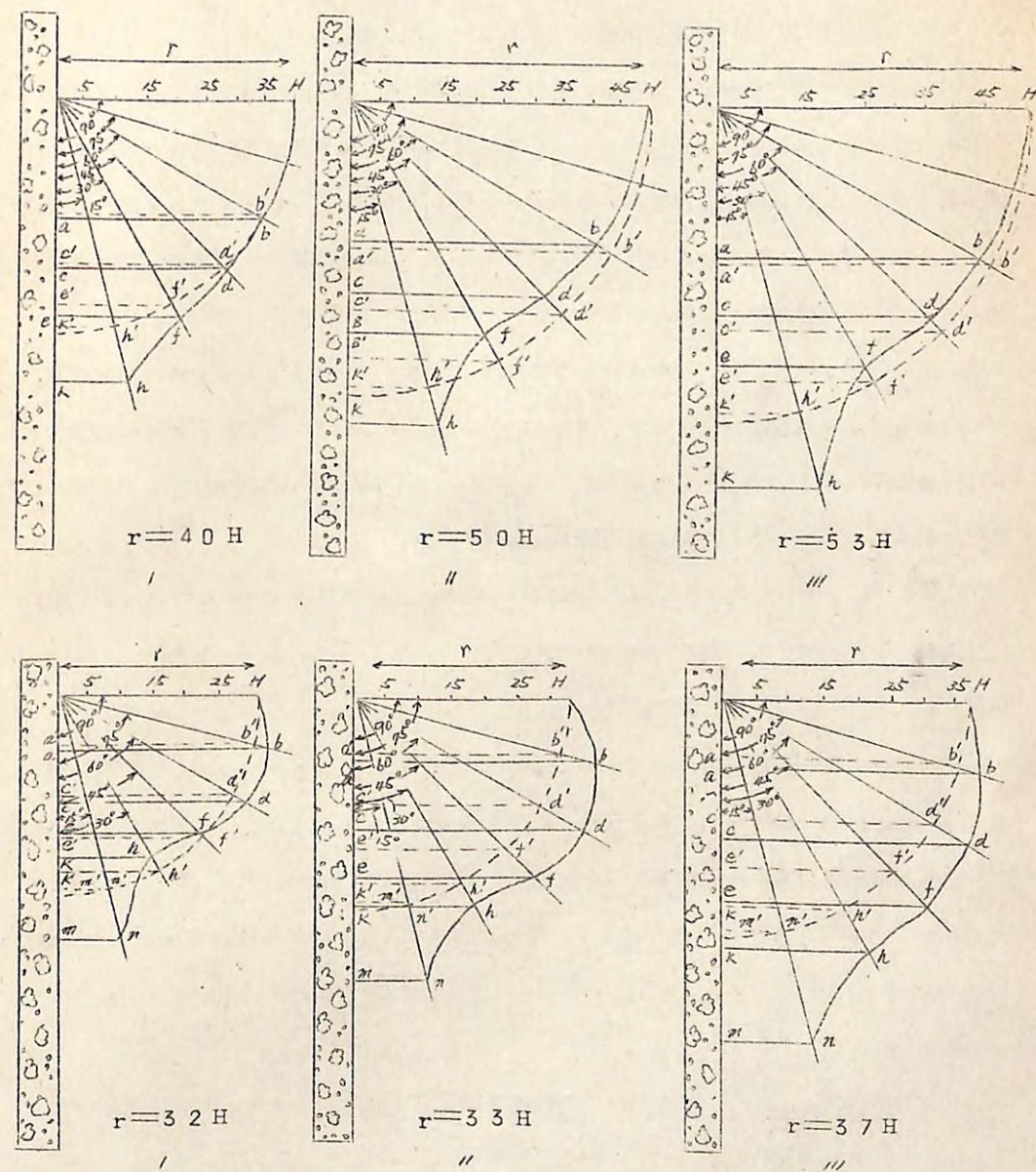
測定高 (m)	風上 10m	林帶中央	林 帶 風 下 距 離 (m)				
			20	40	70	170	210
			$\varphi = 90^\circ$				
10	102	98	96	97	99	103	107
5	96	73	69	79	81	91	98
2	86	88	70	71	74	89	99
1	88	89	77	71	82	94	100
			$\varphi = 45^\circ$				
10	105	100	100	103	105	107	103
5	96	55	69	76	87	94	102
2	103	92	65	76	81	93	105
1	82	86	83	80	82	98	108

計算値と一致するようになるが，さらに風向角度が減少する (30° 以下) と計算値より実際の作用域が大きくなつた。

林帯との風向角度が減少すると着葉期の疎な構成，吹きぬけ構成林帯では防風作用距離が計算値より大きく短縮する。例外は風向角度が $20 \sim 25^\circ$ 以下のときで，吹きぬけと疎な構成林帯の作用距離は計算値より大きい。風向角度が減少するときの疎な構成，吹きぬけ構成林帯の防風作用距離の急な減少・低下は，林帯のすかしが減少するためにおこるとみられた。適合疎度が順次減少してゆくと，林帯の作用距離が短縮するのものとことから知ることができる。B. Dzietovecky は林帯に対する風向角度が小さくやつてゆくと林帯の作用距離はゆつくり減少し，また角度のついた風は林帯によつて直角方向へ矯正されてゆくことを示した。



第 36 図 無着葉期の疎な構成林帯の風向角度と防風作用域



第 37 図 密な (I), 疎な (II), 吹きぬけ (III), 構成林帯の防風作用距離に対する風向角度の影響

上. 着葉期の適合疎度 下. 無着葉期

方向転換は新しい力（林帯風上は高く，風下で低く形成される気圧傾度による）の影響による圧力の低下でおこるものである。われわれの考えでは，この新しい力は林帯との風向角度が小さいとき，その防風作用距離をゆつくりと短縮させる原因とみている。

無着葉期ではどの構成林帯も疎度は適合度をこえている。林帯との風向角度が大きくなると林帯の疎度は減少し適合度に近づく，そして防護作用距離は増大する。さらに風向角度が減少してゆくとこれら林帯の疎度適合度以下となり，防護作用距離は短くなる，この関係がいずれも同じであることは第37図から明らかである。風向角度30°の無着葉の密な構成林帯における防護作用距離は計算値より小さい。林帯との風向角度が15°まで，あるいはより小さくなると，無着葉期の全構成林帯の防護作用距離は計算値よりも，緩慢に短縮する。

このように，無着葉期の疎な構成，吹きぬけ構成林帯では60°まで風向角度が減少する間は防護作用距離は短縮せずに増大する。さらに林帯との風向角度が減少してゆくと林帯の作用距離は小さくなつてゆくが，計算値よりは大きい。

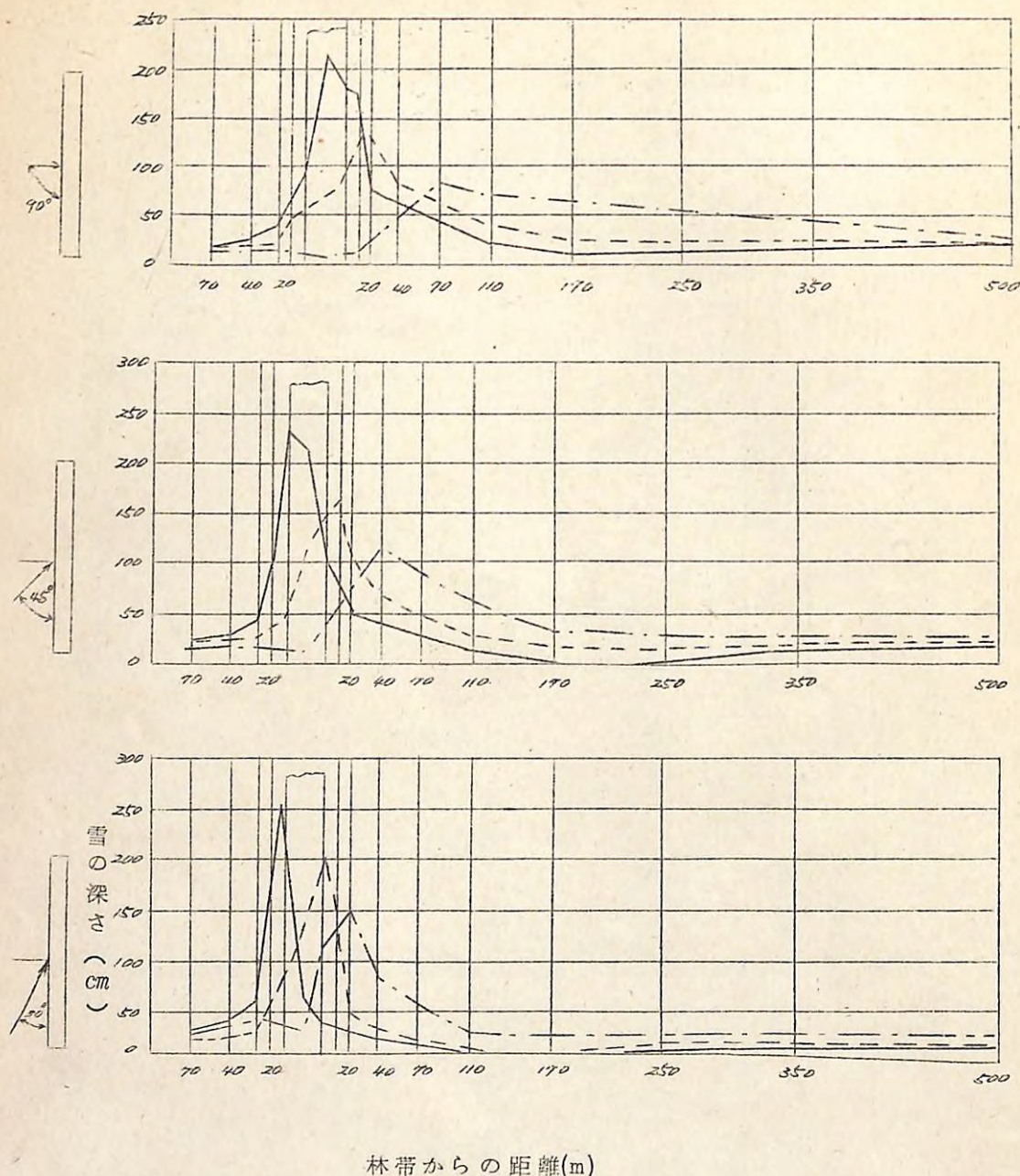
前述のように，全因子のうち，林帯の防護作用効果に対する影響は林帯との風向角度が最も大きいことを示している。各地に林帯を計画，造成する場合，まず主なスホベヤ吹雪風の方位を調べなければならない。

林帯に対する風向角度と各構成林帯による積雪状態との関係を調べたが，この調査からも前記のことが明らかである。第35表とこれをもとにした第38図は，密な構成林帯による積雪が，風向によつて大きな影響をうけるのを示している。風向角度が45°の場合は170 mまで広がっており，30°では85 mまで堆積をつくっている。吹きぬけ構成林帯では積雪がより一様に広がっていたが，30°以下の下木のある吹きぬけ林帯でも堆積区域が他と同じようにみられる。

以上のことから，とくに下木のない吹きぬけ構成林帯は風向角度が変わるとき，疎な構成林帯より，また密な構成林帯よりすぐれた防風性をもつのがわかる。

第35表 風向角度と各構成林帯による積雪 (cm)

風向角度	林帯	林帯風上距離 (m)					林帯風下距離 (m)							
		70	40	20	10	林縁	10	20	40	60	80	100	120	140
90°	密な構成	18	22	38	60	92	217	217	183	176	82	60	45	21
	疎な構成	19	21	24	46	60	68	83	125	132	84	66	48	24
	吹きぬけ構成	18	20	21	18	16	10	12	16	26	48	72	64	51
45°	密な構成	20	26	44	100	236	220	106	74	54	38	24	12	18
	疎な構成	18	22	25	32	44	112	152	160	102	66	44	14	20
	吹きぬけ構成	16	20	18	16	14	16	36	58	76	112	90	32	21
30°	密な構成	30	40	60	180	252	62	34	28	22	14	4	0	14
	疎な構成	18	20	28	50	80	140	208	132	50	26	12	0	18
	吹きぬけ構成	24	32	42	38	34	26	116	138	154	84	52	14	24



第38図 密な(—), 疎な(---), 吹きぬけ(—・—・)構成林帯
による雪の堆積と風向角度の影響

IV 各構成林帯がもつ防風作用の物理的特質

林帯の防護作用の基本的指標として, G. Vysocky (1929), Ja. Panfilov (1932), S. Pjatnicky (1932), Ju. Bjallovich (1939), B. Logginov (1939), N. Sus (1948), G. Matjakin (1952) など多くの人たちは風速の減少度を考えている。

最近では M. Judin (1950), M. Budyko (1950) などが, 林帯による効果の基礎指数として乱流の減衰を示すよう結論づけている。

実際, 風は林帯にあたるとき, 非常に複雑な変化をおこすもので, 現在のところ科学の分野でも概略が知られているにすぎない。そこで, これらふたつの方向が相互に補われつつ同時に検討される必要があつた。

しかし, これらふたつの指標だけでは林帯の防護作用のメカニズムの特徴を示すには不充分であつた。第一に風速, 第二に乱れによる交換係数という見方は, 林帯の作用で変形された気流の一部の性質の量的指標を算定する目的で追求されるべきものである。

林帯の作用による気流の変形を示すには, この過程の質的分析を行う必要があつた。そこで多くの研究者 (N. Nesterov 1908, G. Vysocky 1938, Ju. Bjallovich 1939, E. Kucherjavykh 1940, G. Matjakin 1952, V. Bodrov 1952) は発煙筒を用い垂直面内の気流に対する林帯作用のメカニズムを調査しようとした。これらの人々は気流が吹きぬけない構成林帯に近づくとき少し上昇し, そのまま林帯を越えることを明らかにしていた。林帯風下では流れの一部が下に崩れ, 他の部分は上に巻いている。疎な構成林帯では流れの一部が透過し, 他は林帯を越している。

M. Judin (1950) は林帯が気流の一部を空気力学的格子垣のように通過させ, 大きな渦を破壊し, 小さな渦をつくっていると結論づけた。林帯のこの特性が気流を変化させる根本となり, 耕地を保護するものとみていた。しかし, これは林帯を越える気流の一部を過少評価することになる。

D. Armand (1954), は M. Judin の見解を発展させ密な構成, 吹きぬけ構成林帯の防風作用図をつくっている。

B. Dzetovecky (1955) は, 林帯の防護作用距離は渦動区域の大きさによつて限定されるが, これは主に林帯風下に渦をつくる林帯越えの気流の性質に関係するといっている。

このように, M. Judin は林帯を越える一部の気流になんの意義も与えなかつたし, また B. Dzetovecky は林帯を透過する気流の一部の役割について述べる事がなかつた。

問題解決にもつとも近かつたのは E. Romanova (1954) であつた。その資料ではどの林帯でも林帯自体が気流の衝突する障害物として表わされている。この障害物をのり越える状態は次のようである。気流の一部は林帯のすかしを通過するが, 林帯が空気力学的格子垣としての作用をするため流れは根本的に変化する。気流の残りの部分は林帯越えを強制せられるのである。そこで気流の部分的な相互関係, すなわち林帯を透過する部分と越える部分とは林帯の構成によつてそれぞれ違うようになつてくる(ここで E. Romanova はふたつの考え方, すなわち林帯構成と林帯の疎度を同一視してしまつた)。吹きぬけない構成林帯によつての透過は実際はないのに近く, 流れは林帯の上を越えるようになる。

どの林帯でも全体の効果は気流の林帯透過と林帯越えの各部分に関係している。吹きぬけ構成林帯ではある程度まで透過とのり越えが調整される。E. Romanova による結論は不十分であつた, 同一疎度の疎な構成と吹きぬけ構成林帯を越える気流は後述のように, 同意義ではなく, 防護作用の全効果も異なつていのである。

以上のことをもとにした林帯の防風作用のメカニズムの図からは, 各構成林帯がつくる防風作用域の形は説明できないのである。また, これらの図からは接地気層の温度成層の変化によつておきる空気力学的陰(広がり高さ)の変り方も同じ様に説明されないのである。そこでわれわれは, 林帯がもつ防風作用の物理的特質についての知識の範囲を広げる試験を行つた。各構成林帯ごとに発煙筒を用い, 10 シリーズの調査をした。これには G. Mat-jakin (1937), E. Kucherjavykh (1940), M. Budyko, E. Ljapin (1946) らの方法を取り入れた。

このほか, 各構成林帯のモデルをつくり, 実験水路を用い水流と渦の関係を調べることが

できた。

発煙筒を用いた試験は 1953 年から 1958 年の間に行つた。試験では林帯の適合疎度(密な構成林帯をのぞいて)を保つた。発煙筒による方法は次のように行つた。気流の動きを調べるため風上 100m の林前で 4 本の発煙筒(白, 黒)に点火し, 煙りの運動を観測した。

さらにくわしく林帯を越える煙りの動きを調べるため風上林縁に林帯の 2 倍とそれ以上の高さのマストをたてた。マストの上部のうけにロープをつけた滑車をとり付けた。これによつて補助発煙筒を各高さにあげるようにした。これで林帯を越える気流, 透過する気流の特質や林帯における気流の広がり運動を調査できた。

林帯による気流の運動を調べるのに, マストは風下林縁にもおいた。同じように点火した発煙筒を上にあげ, 煙りがなくなつてからゆつくりとおろした。

気流の運動と渦の観測は特殊な照準器と写真撮影によつて行つた。これによつて煙雲の高さ, 渦動の過程, 煙道の動き, 拡散度合などを算定した。発煙筒は接地気層の各温度成層や各風速のもとで使用した。発煙筒使用中の各高さの気温や風速の測定は同時測定であつた。

接地気層の差のない温度成層で用いた発煙筒の結果は, 林帯の上をまわつた気流がふたつの流れに分かれ, ひとつはそのまま, 他は下に崩れた。いかえると, 筒から流れてたものが拡大するのと同じようになり渦がつくられる。全構成林帯がもつ防護作用の基礎と限定因子を示す林帯越えの気団の移動効果がここにみられるのである。

この基本的作用に加えて次のような林帯構成の影響も明らかにすることができる。透過できない障害物のような密な構成林帯を越える気流は強制的に越えさせられるもので, 強力な渦をつくつた。疎な構成林帯では気流の一部が林帯を越え, 他は空気力学的格子垣をとおりように林帯の全垂直面のすかしを透過している。そのため疎な構成林帯は強力な渦動作用と空気力学的格子垣によるような作用を同時にすることになる。

吹きぬけ構成林帯でも同じようにふたつの気流があり, その一部(大部分)は上にゆき林帯を越え, 他(小部分)は林帯下部をとおつた。林帯の吹きぬけ部分に入る風上では気流が圧縮される。この現象はコンフュザーの働きに似ていた。林帯の吹きぬけ部分における流れの速度は直接大きくなつてい。林帯の吹きぬけ部をとおつた気流は林帯風下で広がり, 空

気力学的な拡散の流れに似ている (K. Baulin 1924, G. Gupzhienko 1939, N. Idelchik 1948)。吹きぬけ構成林帯がもつ拡散作用の有利な面は、渦の小さく密になつた流れをつくり、この流れが林縁風下の気団の破壊をおこし消滅させるようになる点である。

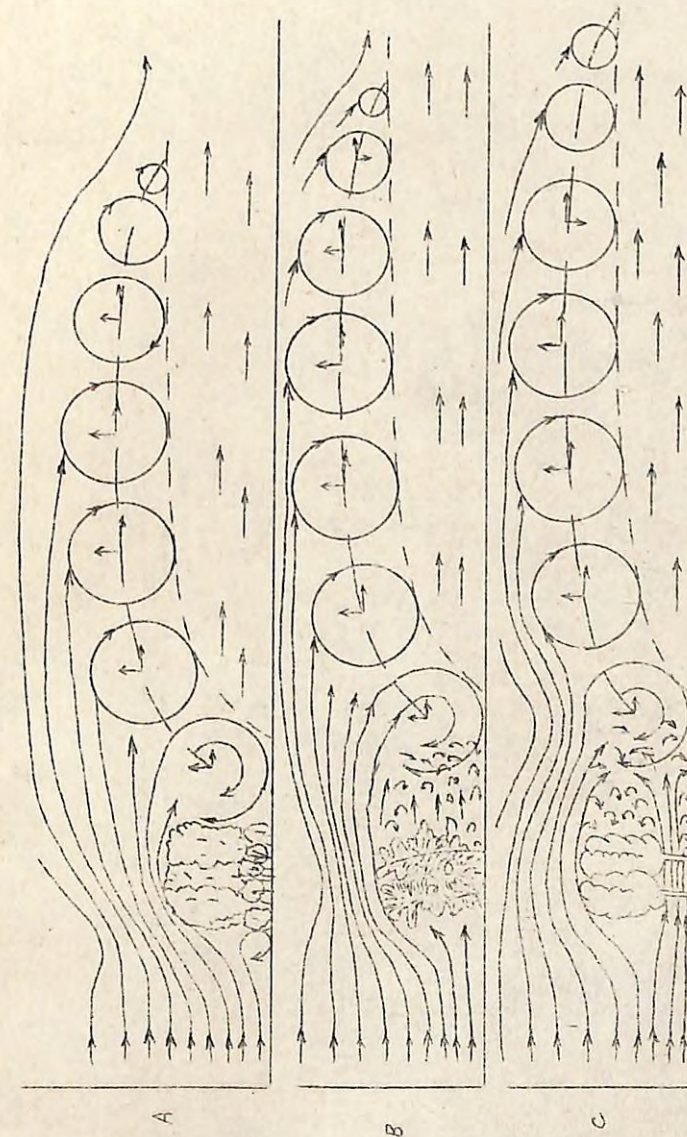
林帯を越えた気流と下を透過した気流は林帯風下で強い渦をつくる原因となる。密な構成林帯風下ではこれらの渦は直接風下林縁にできる。

渦のそれ以上の動きは林帯の横断面型に関係している。もし、この横断面が長方形に近いと渦は林縁風下で停滞する。気流の上部は林帯を越え地表におち、そして林帯の防護作用域は大きく短縮する。林帯のすかし面積が10%以上か、横断面が三角形に近い型だと渦は林帯風下で発生、離れ、角度を得ながら浮きあがり、風の運動方向へ全体の流れが移る (第39・A図)。林帯から渦が速くにゆくにしがたい水平的移動の速度は大きくなる、しかし、垂直方向への動きは減少する、また角速度 (回転) は弱まり渦はより小さくくだけ広がっている。

空気力学の過程で知られているように、気流の経路にたてられる不透過の障害物がもつ横断面型は、空気力学的陰の大きさと形に対して根本的な影響をもっている。S. Bastarmov, P. Molchanov (1938) は横断面が三角形の障害物がよい型であるとしていた。障害物の風下にできた渦はそこを離れ、空気力学的陰が大きく広がる原因となっている。

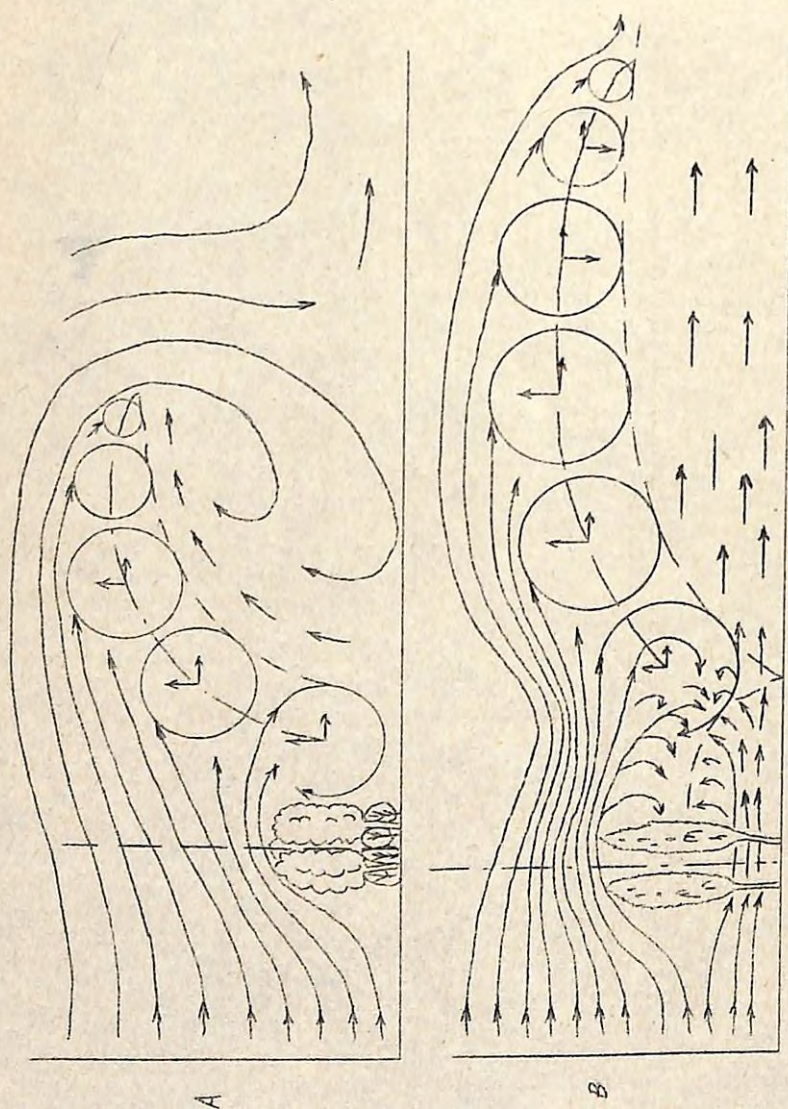
疎な構成林帯風下の気団を破壊してできた強力な渦は林縁風下にはなく、林帯から3~5Hのところへ生じた (第39・B図)。これは林帯を透過した気流が風下林縁で直接できる渦を崩すためである。空気力学的格子垣を透過した気流は小さな渦の集まりに発展してゆく。この小さな渦は垂直的加速を得た大きな渦にとらえられ、そして高くなり、密な構成林帯をとつた気流と似て全体の流れに合流する。結局、疎な構成林帯風下の渦の区域は密な構成林帯より水平的広がりが大きい。

吹きぬけ構成林帯風下 (第39・C図) でも同じように強力な渦ができたが、それらは疎な構成林帯より大きな林帯吹きぬけ部からでた気流によつて、林縁風下から離れる (ここでは流れが大きく収束する)。そこで吹きぬけ構成林帯の渦は平均5~7Hの距離にある。そ



第39図 接地気層の中立的な温度成層における密な (A)、疎な (B)、吹きぬけ (C) 構成

林帯の渦動図



第40図 接地気層の不安定な温度成層における密な(A)、吹きぬけ(B)構成林帯の渦動図

のほかの渦の動きは他の構成林帯のものと同じであつた。吹きぬけ構成林帯の渦動区域は疎な構成林帯より大きな水平的広がりをもっている。

第40図は接地気層の不安定な温度成層における密な構成、吹きぬけ構成林帯の渦の形成を示している。図からみられるように、この場合、気流の垂直方向の組成に対する密な構成林帯の影響は大分高くまであるが、水平方向へは短縮している。不安定な温度成層の林帯下でつくられた渦が上に浮きあがるのは問題である。

空気力学の分野でも同じようにD. La jkhtman (1947) によつて上部と下部の風速差からできる渦が垂直的に加速されることが明らかにされている。接地気層の不安定な温度成層における渦は気温差によつて加速される、そのためにはやくなり密となつた渦は周囲の気流と同じではなくなる。これによつて林帯風下でつくられた渦は上に浮きあがり、水平的の流れとなり破壊の瞬間までその経路をたどる。渦の活動期間はその規模に関係し、渦の規模は林帯の高さに関連する。そこで林帯が高くなるほどその作用距離は大きくなる。

1957年から1958年の間、われわれは実験水路に模型林帯を入れ、各構成林帯の気流の渦動図をよりくわしくすると同時に再検討を目的とし、特別な研究を行つた。

実験水路は幅40cm、高さ25cm、長さ175cm、注入部の長さ50cmであつた。測定部は両側面にガラス板をとりつけ、その部分の流れを一様にするよう小石をしきつめた。水路の内部は研磨し、黒ワニスを塗り、また外側も同様にした。水路の測定部に幅8cmの模型をおけるよう工作した。密な構成林帯の模型は不透過の障害物でつくつた。疎な構成林帯の模型は下部に一樣にすかしをもつ(20~60%)木製の障害物を用いた。吹きぬけ構成林帯の模型も下部にすかしをもつ木製の障害物で、全体で20%から60%までのすかし面積をもたせた。

水路は分水路システムをとつた。注入管から水は模型のおかれている水路の受入部へ入つた。模型の前に滑石がまかれ後部にできる渦の動きを固定するようにした。記録は肉眼とスピードのはやい写真によつた。

実験水路の研究で得た各構成林帯の渦動図は発煙筒による実験結果を証明し、その定義をさらに的確なものとしている。林帯風下でできる大規模な渦は地表部より高いところにでき

ている。この渦は遠くなると範囲が大きくなり、落下していった。それは5 Hから7 Hの間であがりはじめ、主な流れに合流している。

各構成林帯の防風作用域(第6図)とこれら林帯による気流の渦動図(第39図)を比較すると、防風作用域は渦動図の構成の正しさを確認させ、証明している。

これら各構成林帯の渦動図から、それぞれの空気力学的陰をつくる原因を明確にし、その過程の物理的特質を明らかにするよう次のごとく結論づけられる。林帯風下でつくられる渦は、全体の流れの方向にその経路をすすめ、回転運動を行つている。上部における渦の回転運動の方向は気流全体の運動方向と一致する。しかし、その下部の回転運動の方向は全体の流れにさからい、それによつて大きな風速の減少をひきおこす。そこで、渦動経路の放物線は林帯の防風作用全域でみられる風速の最大減少軸(<a>)を表わしている。軸<a>の傾斜角の変化、すなわち接地気層の安定した温度成層におけるその低下と不安定な温度成層での上昇は次のことで説明される。渦は水平運動だけでなく垂直的運動成分をもち、この大きさは力学的、熱学的因子に関連し次式で算定される、

$$\frac{dw}{dt} = q \frac{T' - T}{T} + k\rho a \left(\frac{d\bar{u}}{dz} \right)^2$$

$\frac{dw}{dt}$: 渦が得る垂直的加速度

q : 重力の強さ

T : 渦をとりまく気温

a : 渦の直径

T' : 渦内の温度

k : 係数

ρ : 空気密度

$\frac{d\bar{u}}{dz}$: 渦の上部と下部の風速差

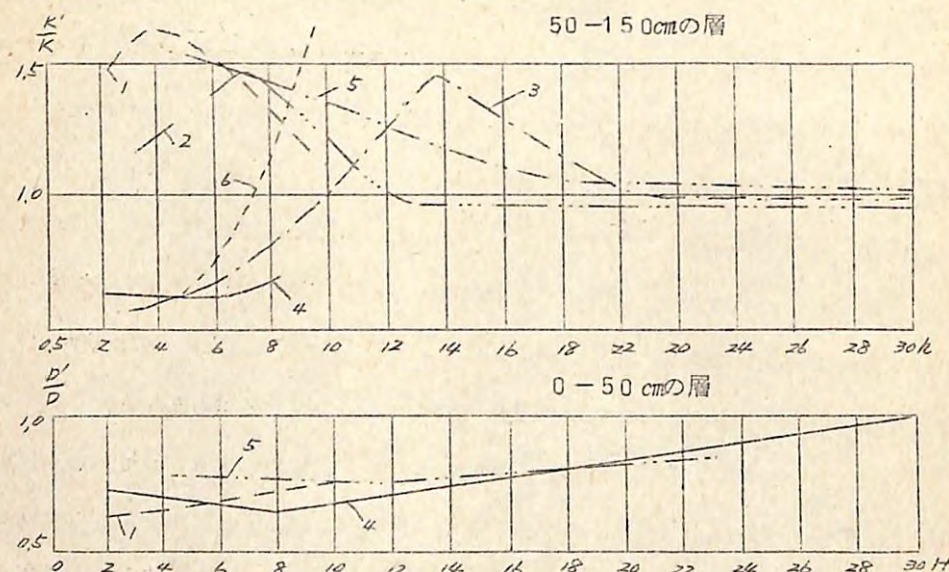
接地気層の差のない温度成層での渦は、垂直的加速度に対しては力学的要因が影響を示し、式の初項は0となり次のようになる。

$$\frac{dw}{dt} = k\rho a \left(\frac{d\bar{u}}{dz} \right)^2$$

接地気層の安定した温度成層では垂直的加速度の熱成分($q \frac{T' - T}{T}$)はマイナス記号をもつが、不安定な温度成層ではプラス記号をもつ。これによつて第29図、第40・A図でみられるように接地気層の安定した温度成層での防風域の風速最大減少軸はさがり、不安定な温度成層ではあがるということが説明される。

前述のように気流に対する各構成林帯がもつ空気力学的作用の性質はそれぞれ異なつていゝる。吹きぬけない構成林帯は渦をつくり、疎な構成林帯では渦をつくりそして空気力学的格子垣の作用をする。また吹きぬけ構成林帯は渦をつくり、空気力学的拡散作用をする。

われわれの研究結果は林帯の防護作用のメカニズムについての見解を補足し、拡大するものである。各構成林帯がもつ乱れによる交換係数の変化の資料(第41図)と渦動図(第39図)との比較から、林帯風下の渦の下降状態を明らかにし、乱れによる交換係数の最大をみることができる。



第41図 各構成林帯の乱れによる交換係数の変化 (E. Romonova)

1. 吹きぬけない (カールメン・ステツプ) 2. 少し吹きぬけ (ナンセン・ソホーズ)
3. 疎な (ナンセン・ソホーズ) 4. 疎な (カールメン・ステツプ)
5. 無着葉, 吹きぬけ (ナンセン・ソホーズ) 6. 下密, 上疎 (カールメン・ステツプ)

K' : 保護区の乱れによる交換係数

K : 対象区の乱れによる交換係数

D' : 保護区の乱れによる拡散係数

D : 対象区の乱れによる拡散係数

V 塵風時の各構成林帯の防護性

わが国の南部, 南東部では地表をはぎとるような強風がしばしば吹いている。そして大量の塵が大気中に入り, 相当の距離を運ばれてゆく。この現象を塵風 (チョールナヤ・ブーリヤ) と称している。

文献 (A. Bychikhin 1892, S. Vorovjev 1929) によるとブリアゾフ地方ではこの風がたびたび人びとに大きな苦難を与える原因となっていた。ウクライナのステツプでは1837, 1848, 1877, 1886, 1892年に大規模な破壊的疾風が吹いた。A. Bychikhin が書いたものからこれがどのようなものであつたか知ることができた。「丘のあたりにあつたと思ううちに農家を吹きとばし, さらにその農地に吹き荒れ, 完全に土地をもちあげた, このような恐ろしさは今でも見えるようだ」。「古い土地には残ることができない, そこでは経済をたてることは困難であるし, 農家は土をもちあげるような力のもとで破壊におびやかされる」と農民は声明をだした, これがもとになり旧ベルヂャン県の村落では移民請願を政府にだすことになった。

今世紀になるとウクライナで強大な塵風が1913, 1923, 1926, 1932, 1933, 1946, 1949, 1951, 1954, 1956, 1960年に発生した。主な発生地はブリアゾフ, ブリチェルノモレ地方であつた。多くの場合, 塵風は雪の少ない冬のあと春早く発生した, 植物は失われ, 乾いた地表層は簡単に風蝕をおこしている。

1960年春, 塵風は南ウラルに3度発生した (第1回: 3月18日~23日, 第2回: 4月3日~10日, 第3回: 4月13日~18日)。もつとも強かつたのは2回目のものであつた。

1960年の塵風についての概略は次のとおりである。ソビエト・ヨーロッパ地区の中央には北北西から侵入してくる北極地方の気団があり, リヤザンでは1.040~1.050mbの高気圧が生成した。同じ頃, ツルツー付近では990~1000mbの旋風があつた。そこでは23~24m/sの突発的な強い東風をおこす原因となつた大きな気圧傾度をつくつた (ザパロジエ州アキモフ地区キリルロフカ, ヘルソン州ノボトロイツク地区アスカニイ・ノワなどで34

～36 m/s の突風をみた)。正午に気温は20℃となり相対湿度は15～17%に低下した。この結果、風は開拓地から大量の土壌をはぎとり、その塵状の土は高さ1500mの大気中に舞いあがった。大きなものはケン粒大のものもあり、地上を吹きすさぶ雪のように地表をころがり農作物の種子を傷つけた。塵風で生じた風蝕は春まき用秋耕地、菜園、ぶどう園に多かった。

大きな被害は他の経済部門にもみられた。塵風によつて視界が減少し、50mまでになると地上、水上、空中の輸送が乱れ、建設的な作業は停止してしまつた。

1960年の塵風の中心はウクライナのザパロジエ州ブリモレ、ブリアゾフ、アキモフ地区、ヘルソン州ゲニエス、シワシエス、ノボトライツ地区であつた、ここでは1886、1892年にもあつた。ロザワトカ(旧デアノフカ)では家の屋根まで砂塵に埋まつた。ブリアゾフ地区のシエフチエンコ・コルホーズでは農業機械まで吹き埋めてしまつた。ノボグリゴフカ——ソコソゴル(ゲニエス地区)の道路沿いの電柱は倒されてしまつた。

あるところでは無保護地(防護林帯なし)の秋まき耕地の作物が吹かれ、砂塵に倒され埋り80%以上が死んだ。秋まきの最大被害は風倒であつた。同じようなとき、防護林区域の耕地の秋まき種は非常によく保護されていた。密な林帯網をもつソホーズ、コルホーズでは秋まき種の被害はみられず、極端なほどの違いがあつた。ヘルソン州チャプリン地区カールマルクス・ソホーズでは林帯面積が耕地の2%であつたが、秋まき種の被害はほとんどなかつた。バルチザン農林土地改良試験地では防護林が200～300mごとにおかれていたが、これも塵風による秋まき種の被害はなかつた。

個々の林帯も同じような役割をはたした。林帯の防護作用効果は林帯の構成(密な、疎な、吹きぬけ)、林帯前の砂塵集積面積の広さ、林帯の状況、秋まき種の成長などに関係していた。灌木をもつ林帯はアキュミレーターのような働きをし、砂塵をとらえ、ゲニエス地区第21回党大会記念コルホーズでは深さ2mもの堆積をつくつた。風下林縁から5～10mの秋まき地にも同じような堆積地があつたが、林帯風下地の種子は根本的には保護されていた。

疎な構成林帯は密な構成林帯より埋没の害は少なかつた。林帯風下には長さ20～30m

の堆積層ができた。林帯沿いの幅20～40mの秋まき耕地はいろいろな状態に埋まつていたが、この部分のうしろの播種区は保護されていた。ゲニエス区キーロフ・コルホーズ林帯№2の実例でみられたのは林帯による堆積が深さ1.2～1.7m、林帯風下の砂塵の堆積は30～50mに広がっていた。

低灌木の萌芽をもつ吹きぬけ構成林帯は疎な構成林帯と同じような効果をもつて秋まき種を保護した。ブリアゾフ地区シエフチエンコ・コルホーズの林帯の実例では堆積は0.7～1.5mあつた。林帯風下の砂塵は幅30～60mにわたり秋まき種を埋めた。

灌木のない吹きぬけ林帯は塵風の被害はなく、林帯部にも砂塵の堆積はなかつた。この林帯風下の砂塵の堆積は少なく、その最大は10～30mで深さ10～20cmであつた。広がり100～150mであつた。この林帯風下の秋まき種は保護されるだけでなく、5～15cmの塵のうすい層で肥育されるようて以後の上長・肥大成長をたすけるものであつた。灌木のない吹きぬけ構成林帯による防護作用の実例は「コムニズムまでの道」コルホーズの林帯、バルチザン農林土地改良試験地の林帯№5、ラデンスキー・ソホーズの林帯にみられる。

すべてこれらは、ウクライナ共和国のステップに林帯網を設けることが、塵風から耕地を保護する最良の方法であることを証明している。同時に、この地区の農作物を保護し、埋没の被害を少なくするためには農林土地改良の処置のほか農耕法の技術を同じ目的方向に完成させる必要がある。

VI 結 論

1. どの構成林帯でも林帯に沿う方向、風向方向、高さ方向に広がる空気力学的（風の）陰をつくる。陰の平均高は林帯をこえるとき林帯高の1.5～2倍であり、風下1 Hから5 Hの間で変化する。その長さは林帯風上で5 Hから15 Hまで、林帯風下で30 Hから60 Hまでである。
2. 空気力学的陰、あるいは防風作用域はふたつの気層からなり、渦動の上層と下層に分かれる。両者の間には境界、すなわち風速の最大減少軸 $\langle a \rangle$ がある。渦動層は地上から僅かの高さを持ち、この高さは林帯から遠ざかると増大してゆく。渦動層は「自由大気」と下層との間の緩衝器としての役割りをもっている。渦動層の乱れによる交換は大きく、下層では弱くなる。下層の乱れによる交換の弱化は空気と土壌との間の湿度と温度の交換に変化をもたらす、そのため林帯で保護される耕地の小気候に変化をおこす原因となっている。
3. 林帯の防護作用効果は渦動区域の規模によつて限定される。第一に水平方向への広がり、これは林帯の構成、造成法によるもので高さ、幅、横断面型、疎度に関連する。
4. 同一林帯の渦動区域の規模は永続的なものとしては残らない。気象条件の変化とともに、たえず水平、垂直方向に変形する。この際、防風保護域の形や規模を変え林帯の防風効果も変える。
5. 吹きぬけ構成林帯による渦動区域はもつとも大きい水平的広がりを持ち、防護林帯の3基本構成のうち最良の防風性を有する。その防護作用距離は平均50 Hから60 Hまでである。疎な構成林帯は吹きぬけ構成林帯より小さな水平的広がりをもつ。その防護作用距離は45 Hから50 Hまでである。密な構成林帯では林帯風下に渦ができ、なかなか離れずそこで回転している。結果的に密な構成林帯下の渦動区域は最少で、防風作用距離は35 Hから40 Hに広がっている。
6. 複合構成林帯のうちで最良の防風性があるのは疎 — 吹きぬけ構成林帯である、すなわち下部は吹きぬけ、中間と上部が疎な構成の林帯である。その防護作用距離は50 H

から55 Hまでである。防風性は吹きぬけ構成林帯より若干劣っている。防風性のもつとも悪いのは高さの半分まで密、それ以上が疎な林帯と下部が下木で密、中間は吹きぬけ、上部が不揃いになつている林帯である。これらの林帯では防風作用距離は30 Hから35 Hまでである。

7. 林帯の防風作用効果はその横断面型に強く関係する。林帯の横断面型は、それによつてできる気流の渦の動きを規制する、そして空気力学的陰の高さと広がりを決定する。各構成林帯にとつてもつとも良い横断面型は次のとおりである。

密な構成林帯：風上のすそが長く、風下に短い三角型

疎な構成林帯：長方形型

吹きぬけ構成林帯：下がまるくなつた三角型で頂部がゆるくなつている林帯

8. 防護作用は林帯の高さによる。林帯が高いと渦の規模も大きく、その消滅もおそい、そこで渦動区域も防風作用距離も大きくなる。

さまざまな構成林帯で、その高さが増してゆくと防護作用効果もそれぞれ大きくなる。

吹きぬけ構成林帯では高さが増すと、絶対値 (m) で表わす防風作用の水平的広がりは大きくなる、しかし、林帯高倍数 (H) で表わした値は減少してゆく。密な構成林帯では高さが増すと防風域の水平的広がりも絶対値、相対値とも大きくなる。

9. 低い密な構成林帯の防風作用は垂直方向に大きく、水平方向に弱々しく広がっている。低い林帯の防護作用距離は急激に減少している。この欠点を補うには狭い、吹きぬけ構成をつくる必要がある。

10. 疎な構成、吹きぬけ構成林帯、並木型の林帯の防風作用効果は林帯の疎度にも関連する。疎度の変化は林帯を透過する気流と林帯を越える気流の相互関係を規整する。疎な構成林帯、吹きぬけ構成林帯のすかし面積を変えることによつてこの相互関係を規整できるし、林帯の防護作用効果をも加減できる。林帯の疎度が増して、適合範囲に入ると防護作用効果は増大し、最大までゆく。林帯の疎度がさらに大きくなるとその防護作用効果は低下する。5～7列林帯の適合疎度は（風速6 m/sで）、吹きぬけ構成林帯で30%から35%、疎な構成林帯で35%から40%、並木型2列林帯で20%から25%である。

11. 風速がより大きいと風は林帯を多く透過する。そこで、強風を対象とした保護にはどの林帯も適合度より少ない疎度を、また弱風を対象とする場合は適合疎度をこえた疎度をもつようにつくることである。
12. 林帯の幅が減少してゆくとき、吹きぬけ構成と疎な構成林帯により防護性をもたせるには疎度を少なくする必要がある。
13. 林帯の防護性は **接地気層の温度成層** に関連する。林帯の防護作用の最大距離は接地気層の安定した温度成層にあり、中立の温度成層では小さく、不安定な温度成層では最少であつた。接地気層の温度成層は低い林帯に対しては大きな影響を、高い林帯にはもつとも少ない影響を及ぼしている。そのため低い林帯は夏に効果が少ない。
14. **風速** が大きいと林帯の防護作用距離は大きい。ただし、林帯の防護作用効果に対する風速の作用は林帯の疎度、接地気層の温度成層に関係する。
- 林帯の疎度が適合度より少ない場合、風速が増大してゆくと林帯の防護作用の効果は増してゆく、疎度が適合度より大きい林帯では減少する。接地気層の不安定な温度成層で風速が大きくなると林帯の防護作用距離は増し、安定した温度成層のときは減少する。
15. 林帯の風を弱める作用は林帯との風向角度が 90° のときに最大な水平的広がりをもっている、林帯に対する **風向角度**が減少すると林帯の防風作用域は短縮する。斜め風るとき、大きな疎度をもつ疎な構成、吹きぬけ構成林帯は疎度の小さな林帯よりよい防風性をもっている。
16. 無着葉の林帯は急激に疎度が大きくなる。下木に灌木をもつ密な構成林帯の縦断面は上部、中間にすかしをもち下部は密となる。この結果、林内、林縁に雪や砂塵の堆積をつくり、林帯間耕地に不均等な積雪をみる原因となる風の速度を減少する。吹きぬけ構成林帯では葉が落ちると疎度は $70 \sim 80\%$ に増大する、そのため、風の速度を順次減少させて林帯間耕地に雪や砂塵を一樣につもらせる。そこで冬期、吹きぬけ構成林帯は最大効果を表わす。
- 防風の点から夏・冬をつうじて耕地を保護する林帯は **吹きぬけ構成林帯がもつともよい**。そして林帯高が大きく、適合疎度 $20 \sim 30\%$ 、比較的せまく（幅 15 m

以下）、下がまるくなつた三角形型の横断面型（第9・B図）がよい。すぐれた防風性は成長の早い樹種の $2 \sim 4$ 列の並木型林帯にもあつた。

防護林の縦林帯は許容偏差 30% まででスホベイ、塵風、吹雪風に並行し配置されなければならない。横林帯の間隔は前の林帯の風陰が次の林帯の風陰に重なるようにする。なお縦林帯は他方位からの風をふせき保護する目的で $1 \sim 1.5\text{ km}$ ごとにおかなければならない。