

第 Ⅱ 編

物 理 部 門

籬形防霧林の研究 (総合報告)

Kyōichi TAKEDA: Study on an Artificially Planted Model Forest.
(General Survey)

武 田 京 一*

§ 1. 緒 言

林業試験場防災部では昭和 23 年以降 4 年間にわたつて籬形防風林の実験を行つてきた。籬形林というのは高さ 1.5m ないし 2m の若木を使用して適当な場所に造つた模型の林のことである。実際の防風林は形が不規則であり、その存在する場所も必ずしも平地にある訳ではないし、また高さも十数米に及ぶものがあるからそれについて実験し、その結果からその機能を判定することは容易なことではない。それで従来は小形の模型の林を使つて風洞内で実験することが行われてきた。しかし風洞内の風と自然の風とは性質が違ふので風洞内の実験結果から実際の防風林の性質を推定することは極めて困難であるため、ここのところに大きなギャツプが残されていた。籬形林の研究はこのギャツプを埋めるためにはじめられたものである。すなわち籬形林は高さが 1.5m ないし 2m であつて任意の場所に任意の形に作る事が出来るからこれに対する実験が容易である。しかも自然風中の実験である。しかして籬形林の高さは実際の林の 1/5~1/10 程度であつて風洞模型林の 1/50~1/100 に比較すれば約 10 倍も大きいから、籬形林の結果から実際の林に対する性質を推定するほうが風洞模型林の結果から推定するよりもまず正確な結果を与えるだろうと考えられたのである。

防霧林の研究の場合も実際の林を使う際に生ずる種々の困難な点(たとえば林の高さが高いこと、林の形および地形が複雑であること等)は防風林の場合と全く同様である。それで防霧林の場合にも籬形林を使つたらどうかということが当然考えられた。籬形防霧林の実験はすでに昭和 25 年 8 月に落石で小規模に行われたことがあるが、これは予備的のもので十分な観測が行われなかつたためにこれから防霧林の効果に対する何らかの結論を導き出すまでには至らなかつた(観測結果は印刷事情の都合によりいまだ発表されていない)。今夏の防霧林の研究に際し、林業試験場防災部では従来の経験もあることとて籬形林の実験をお引受けした訳である。

もちろん籬形林の結果から実際の林に対する性質を推定する方が風洞模型林の結果から推定するよりもまず正確な結果を与えるだろうとはいうものの、実はこれは程度問題に過ぎないのであつて、実際の林に対する性質を推定することの困難性は、籬形林の場合も風洞模型林の場合も同様である。現在のところ学問的にはこの問題は解決されていないのである。それは何故

* 九州大学農学部教授

であるかという自然の風が非常に複雑であつてその性質、たとえば風の有する変動の実態、空気中の浮遊物たとえば霧粒等の運搬の機構等が未だ十分に解明されていないためである。それで最初は、現在の段階ではまだ雛形林の実験をやることは無駄ではないかという意見も出たほどであつた。しかし一方この方面の学問は終戦後きわめて急激な発達を遂げつつあるので、この問題が明らかにされるのもさほど遠い将来ではないであろうということ、並びに実際の防霧林といつてもなにも樹令、樹高等一定のものがある訳ではなく、中には幼令林もあるであろう、そういう林には雛形林の結果がそのまま適用されるだろうということから雛形防霧林の実験を行うことが認容されたのである。

§ 2. 今回の防霧林並びに実験の概要

雛形林に使用した樹木は高さ約 2.5m の主としてトドマツであるがこれに約 30% くらいアカエゾマツが混じている。これは附近の林地から間伐によつて得られたものである。この材料の入手の容易という点からも実験地として落石が選ばれた。各樹木の間隔は 1.5m で、各列間の間隔は 1.3m の千鳥型である。1 列にそれぞれ 28 本植えたものを 11 列作つたから林の長さは約 40.5m、巾は約 13m となつた（榎山・高橋・北村の報告第 2 図参照）。樹木を植えるにはあらかじめ杭で地面に深さ 50 cm の穴を開けておきこれに樹木を差込むのである。この林を卓越風向に対して直角に作る訳であるが準備期間の風向は NE, ENE が多かつたので ENE に直角方向に 1 つ作り、なお風向が直角になつた場合を顧慮してそれに直角に（すなわち SSE に直角方向に）もう 1 つの林を作つた。しかし実際には極めて短時間の場合を除いては SSE の方向から霧がやつてきたことは一度もなく、この第 2 の林については実験は行われなかつた。雛形林の作られた場所は昨年および一昨年に実験の行われた落石防霧林の南東方の平坦な台地上である。

この雛形防霧林について次のごとき観測および実験が行われた。

- | | |
|-------------------|-------------------|
| 1) 霧水量（水平および垂直分布） | 6) 地温 |
| 2) 風速（水平および垂直分布） | 7) 霧滴の大きさ |
| 3) 風速変動 | 8) 樹木によつて捕捉された霧水量 |
| 4) 気温（垂直分布） | 9) 樹木に働く力 |
| 5) 気温変動 | |

観測に参加した班員の氏名は下のごとくである。

林業試験場： 武田京一（現在九州大学）、榎山徳治、本木茂、北村嘉一、高橋亀久松

林業試験場札幌支場： 勝見精一

林業試験場上川試験地： 高田岩次

北海道大学低温科学研究所： 黒岩大助、楠宏

北海道学芸大学旭川分校： 大喜多敏一

現地に滞在したのは昭和 27 年 7 月 15 日より同 28 日までの 2 週間である。

§ 3. 実験結果

雛形林が出来上つたのは 7 月 17 日夕刻で 18 日からは一部の観測がはじめられたのであるが、はじめのうちは霧が少なく 19 日、21 日は辛うじて薄い霧がかかつた程度、22 日にはじめて濃霧がやつてきたが、これも 1 日だけですぐ晴天となり一同の気をもませたが、さいわいにして 25 日より 3 日間濃霧が続いたので種々の実験をすることが出来た。各観測並びに結果の細部は各研究者の報告をみていただくこととし、ここには雛形林の総合的見地からみた結果の概要を述べることにしよう。

1) 水平分布

霧水量(地上約 60cm の)は林の直後ではほとんど零となり、以後林からの距離が増すとともに増大している。しかし林後 20h(林の高さの 20 倍の距離)においてもまだ林の影響は明らかに認められ、林の影響のない場所(すなわち林前 10h)の 70% 程度に回復しているに過ぎない(樫山・高橋・北村の報告第 5 図参照のこと)。

一方風速(地上約 70cm の)は林の直後では林前 10h の風速の 20% 程度に低下しているが距離が増すとともに増大し 20h ではほとんど 100% 近く回復している。この結果は従来一般の防風林について知られているところと大体同様である。

ゆえに霧水量の方が風速よりも余計に林の影響を受けていることが分る。しかしさらによく調べると、霧水量の方が風速より余計に林の影響を受けていると思われるのは 26 日の 7 時 10 分から 16 時までに行われた結果においてであり、朝の 6 時 10 分から 7 時 10 分までの結果では霧水量も風速もほぼ同様な傾向を示すこと、さらに 26 日 17 時 30 分から 27 日 5 時 30 分までの結果(樫山・高橋・北村の報告第 6 図)では風速の方は前と同様に林の影響を示すにもかかわらず霧水量は林後すでに 5h においてほとんど影響を示さないことから霧水量に対する林の影響は時刻によつて異なることを知る。時刻によつて異なることは霧水量の分布に気温の影響がきいていることを示すものと思われるが、これについては以下順次に述べることにしよう。

2) 垂直分布

霧水量の地面附近の垂直分布に及ぼす林の影響を調べるには林のない場所における垂直分布をまず知る必要がある。さいわいにして観測用ポールが林の風上側になるとき風向の場合の方が多かつたので、林のない場所における地面附近の垂直分布に関する測定はかなり行うことが出来た。

観測結果によれば霧水量は地面附近においてほとんど零となつている。これは地表面が霧を捕捉していることを示すものであり、それを補うために霧は上位より絶えず補給されている。すなわち上方より下方に向つて霧水量の流れがあるのであることを知る。同様なことは風速についても云えるのであつて、通常上空より風のもつ運動量が下方へ運ばれ地表面に摩擦応力を

及ぼすと考えられている。さて風速の垂直分布は今までによく調べられており、それによれば断熱大気（すなわち上下に温度差のない場合の大気）中では風速の分布が高さの対数で表わされることが理論的並びに実験的に確かめられている。今回の結果（黒岩の報告第6図参照）についてみるも（霧中の場合のこととして温度差は極めて小さいので断熱大気とみられる）風速の垂直分布はほとんど高さの対数になつてることが認められる。

これに対して霧水量の分布の方は必ずしも対数になつていない。しかも対数分布からかなりの偏倚がある。しかしよく見ると対数分布から偏つて地面附近の霧水量がほとんど零に近いのは、日中霧の消えかかっている時であることが分る。また霧水量を高さの対数に対して図示した時に曲線のもつ傾斜は日中と夜間で違い、日中は小さく夜間は大きい。その傾斜の風速の曲線のもつ傾斜に対する関係の如何によつて、上方から下方へ霧が風の運動量が運ばれる以上に運ばれているかどうか分る。観測結果をみると日中は霧水量が風の運動量以上に運ばれ、夜間は風の運動量ほどには運ばれていないように見える。これは多分日中は地面附近において気温が少し高いために霧が蒸発し、ついに夜間には空中の水分の凝結することによる影響を示すものであろう。

次に観測用ポールが林の風下になつた場合すなわち垂直分布に及ぼす林の影響の現われた場合について調べてみよう（黒岩の報告第5図および第8図）。林の存在しない場合に地面附近の霧水量の垂直分布が如何になるかということはすでに他の場合の結果から大体分つているから、それを推定して差引けば林の影響を取り出すことができる。すなわちこれから林の存在することによつて消失した霧水量を求めることが出来る。しかしそれを樹木の直接捕捉した霧水量（同時の観測値がないので他の場合の観測値から推定する）と比較すると数倍大きくなつてることが分つた。しかしこれが何によるものかの説明はいろいろの推定を含んでいることとてここでは差控えたい。

同様のことを風についても行うことが出来る。すなわち、その場合には林の存在することによつて失われた風の運動量が求められる。それと霧水量の方とを比較すると、霧水量に対する林の影響は風に対する影響よりもさらに高所にまで及んでいることが分る。

3) 樹木の捕捉する霧水量

樹木の捕捉する霧水量が直接測定出来たのは錐形林なればこそである。観測結果によれば樹高約 2m のトドマツが1本で $400\sim 500\text{ mg/m}^3$ のごとき比較的濃霧の場合に、林前で毎時約 1立の霧水を捕捉していることが分つた。林のなかへ入るとこの量は減少し林の4列目ではそれが $1/3$ 程度になる。従来は林の前後における霧水量の観測から林によつて失われた霧水量を求めていたに過ぎなかつたが、ここに樹木がかくも多量の霧水を実際に捕捉していることが分つたのである。

なお実際に観察して認められたことは霧水が大部分樹幹を伝つて流下し、直接葉または枝か

ら滴下するものはごく少量であつたことである。従来、樹幹流下量は滴下量に比してはなはだ少ないということが云われているが必ずしもそうでない（多分針葉樹だからであろう）ということをおこにつけ加えておきたい。

4) 霧滴の大きさの分布

まず林の影響のない場合に霧滴の大きさがいかなる分布をしているかをみると（大喜多の報告参照）、直径 5~10 μ のものが一番多くそれより大きなものは急激に減少している（直径 5 μ 以下の小滴は実測が不正確になるので除く）。この傾向は高度とともになはだしく、地面附近では小滴の割合がそれほど多くなつていない。このことは地面附近の気温が高く小滴の方が速く蒸発して消失することを意味するものであろう。

次に林の存在する場合についてみると大滴は林内から林後の辺ではなはだしく減少するが林後 10 m において急激に回復する。小滴になるとその関係は一変し、二通りの傾向をもつものがあることが認められる。すなわち、1つ（日中の測定結果に現われる型）は林内ではなはだしく減少するも林後においてなかなか回復しないもので、他の1つ（夜間の測定結果に現われる型）は林内においてもほとんど減少しないものである。

大滴が林後において急激に回復するのは上方からの空気の混合によるものであろう。しかし小滴が日中林後でなかなか回復しないのは上方から補給はされても林後の空気の高温のために絶えず蒸発して了うためであると考えられる。しかし夜間の場合は蒸発がほとんどないから小滴は林内においても減少しない。或いは逆に林内をほとんど飽和に近い空気が動く際に樹木の枝や葉が少しでも低温であれば水分が凝結して小滴の割合を増加せしめるかも知れない。多分これと小滴が大滴よりも樹木によつて捕捉されにくいことのために小滴は夜間林内および林後においてほとんど変化を生じないのであろう。

日中林前と林後の滴の大きさの分布状況を比較してみると大差が認められなかつた。これは林内を空気が流動する際大滴は樹木によつて機械的に捕捉されて減少するが、一方小滴もまた蒸発によつて消失してしまうからであろう。林内における温度、風速、湿度等が分ると蒸発によつて消失する部分を計算より求めることが出来る。これを林前、林後における分布の差から差引くことによつて機械的に樹木によつて捕捉されるものの分布が求められる。あるいは林前、林後における地上 1m 高度における霧滴数をそれぞれ N_0 , N とするならば

$$N = \varphi_e \varphi_c N_0$$

と書くことが出来る。ここに

φ_e : 蒸発による減少率

φ_c : 樹木の捕捉による減少率

である。 N/N_0 を測定し、 φ_e を計算から求めると φ_c が分る。計算結果の一例を示すと

第 1 表

粒 径	N/N_0	φ_e	φ_c	$\varphi_c \text{ obs.}$
5~10 μ	0.39	0.44	0.89	0.80
10~20 μ	0.49	0.78	0.63	0.59
20~30 μ	0.44	0.90	0.49	0.41
>30 μ	0.46	0.97	0.47	0.39

第 1 表の如くである。

$\varphi_{obs.}$ は蒸発の影響の少なかつたと思われる場合の N/N_0 の実測値であるが φ_0 とよく一致している。したがつて大滴は小滴の倍以上も余計に樹木によつて捕捉されていることになる。

5) 地 温 分 布

防霧林の実質的効果の 1 つとして防風林としての地温上昇効果が考えられる。すなわち防霧林の後方に風の弱い空間を生ずる結果、その区域内では地熱が空气中へ奪われる割合が少なく、ために他に比して地温が上昇し農作物の収量を増大させるものである。防霧林の後方における地温上昇効果はもちろん霧の日よりも晴天の日の方が顕著である。

今回の試験においては防霧林を鍵の手に作つたので、その内側が林によつて保護される区域となる訳である。しかし実際には地温上昇効果の著しく発生する筈の晴天には風向があまり一定でなかつたり、風向の一定だつた時には霧がきて日射が弱く地温上昇効果が著しくなかつたり、さらに風向自身も防風林に対して裏側より吹いてきたことが多かつたりして地温上昇効果はあまりよく認められなかつたが、ただ 7 月 20 日の場合（武田・本木の報告参照）には天気もよく、しかも風向もかなり適当だつたので林によつて保護された区域内的の地温が 1°C 程度高くなつていたことが明瞭に認められた。一方理論からも林の後方で日中の地温上昇が 1°C 程度存在してもよいことが推定されるのでこれはます確かなものと考えられる。

6) 樹木に働く力

樹木に働く力が簡単に測定出来たのも雛形林なればこそである。実験の結果によれば樹高約 2m のトドマツの若木に働く力は次のごとき大きさのものであることが分つた。

第 2 表

\bar{v} (m/sec)	\bar{f}_1 (kg.wt)	\bar{f}_2 (kg.wt)
1.9	0.13	0.04
2.1	0.15	0.03
5.0	0.46	0.14

ここに \bar{v} は林外地上、2 m の高度における 10 秒間の平均風速、また \bar{f}_1 は樹木が林の前方に独立木として存在する場合に働く力の 10 秒間の平均値、また \bar{f}_2 は樹木が林の中（4 列目）において受ける力の平均値を示す。これから林の内部の樹木は林の前面の樹木の

1/3 程度の力しか受けていないことが分る。

なお樹木に働く力と樹木の捕捉する霧水量との関係について理論的考察が行われた。

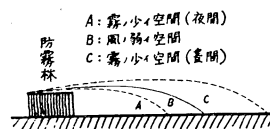
§ 4. 今回の実験結果より予想されること

さて今回の実験結果より防霧林の機能その他について予想されることは次のごとくである。

1) 霧の除去に対する林の効果

林の附近における霧水量および風速の水平分布、垂直分布および霧滴の大きさの観測結果より気温の影響のない場合（時刻的には日の出、日没時）には林の後方霧の少ない空間の大きさは風の弱い空間の大きさ（すなわち従来知られているごとく林の高さの 10~20 倍）と大体一致する。しかし日中（地表面の温度が気温よりも高い場合）では林の後方における霧の少ない

空間は風の弱い空間よりも大きくなる。これに反して夜間（地表面の温度が気温よりも低い場合）では林の後方における霧の少ない空間は風の弱い空間より小さくなる。この関係を図示すれば右のごとくなるであろう。



2) 地温上昇に対する林の効果

今回の実験によれば林によつて保護された区域内の地温が日中他よりも 1°C 程度高くなっていることが認められたが、もし風向が比較的一定したごとき場所に林が作られるならば毎日の効果が累積されるから林の後方の地温上昇はもつと大きなものとなるであろう。またもし晴天日の卓越風向と霧の日の卓越風向とが異なるような土地では、林をむしろ晴天日の卓越風向に直角になるように作つた方が地温上昇の面からみてより効果的であるとも考えられる。

3) 防霧林の幅

防霧林の幅をどのくらいにしたらいかがということは実際問題として重要なことである。今回の試験においては雛形林の幅を $1/2$ にして測定をやつてみたが、僅か半日の実験に過ぎなかつたのでこれから何らかの推定を下すことは大胆過ぎることかも知れないが、一応の考察を試みよう。

従来防風林については林の幅がある大きさ厚さに達するとそれ以上はいくら幅を増しても効果範囲の大きさが変わらないことが知られている。これは林によつてもち上げられた空気の流線の高さが林の幅が一定の大きさ以上になると変らなくなるからである。この大きさは今回の雛形林の実験によると、大体林の幅の半分くらい（すなわち約 5m 、林列にして6列）であろうと考えられる。

さて防霧林の後方における霧の少ない空間は日中は風の弱い空間より大きくなり、夜間は逆に小さくなることが上に示された。しかし防霧林の影響範囲は防風林の場合と同様林の幅が一定の大きさに達するとそれ以上はいくら幅を増しても変らないように思われる（勿論日中と夜間とは違うにしても）。この大きさも大体のところやはり防風林の場合と同様と考えてよいのではなからうか。

ちよつと附加えておきたいことはここに考えた防霧林の幅は物理的にみた最小限の幅ともいうべきものであるから、実際の防霧林の幅がこの程度でよいということではないということである。実際の防霧林の場合には枯損木のことも考えなければならぬだろうし、また将来の間伐のことも考えなければならぬから防霧林の幅は勿論もつと大きくなる。さらに更新を顧慮すればそういう防霧林を少なくとも三段くらいに仕立てなければなるまい。ゆえに実際の防霧林の幅をいかにすべきかは物理的の根拠に基いて林業の面から最善のものが決定されるべきものと思う。

4) 防霧林の高さと影響範囲

最近の研究によれば防風林の影響範囲は気温の影響のない場合（すなわち断熱大気）には林の高さに比例する以上に増大する（林の高さを h とすれば大体 $h^{\frac{8}{7}}$ に比例する）ことが示されている。すなわち林の高さが 10 倍になれば影響範囲は約 14 倍になる。しかして温度の影響のない場合には霧が風によつて運ばれる現象は風の運動量の運ばれる現象と同様に考えることが出来るから防霧林の影響範囲は防風林の場合と同様 $h^{\frac{8}{7}}$ に比例して大きくなることが分る。

しかし実際には温度の影響の存在する場合の方が多い。すなわち気温も上下で異なるし、林の温度も気温と異なるかも知れないし、また上述のごとく、霧も温度の高低にしたがつて蒸発したり発生したりする。そういう場合に防霧林の高さと影響範囲との関係がどうなるかは現在のところまだ分っていない。

§ 5. 将来何を行うべきか

今まで今回の実験結果から、なるべく防霧林として普遍性のあるごとき性質を取出して説明するよう努めてきた。述べてきた種々の性質が短時日の実験から得られたにかかわらずいずれも眞実であり、防霧林として普遍性を有するものであることに関しては自信をもつとはいへ、それでもなお今後機会があつたならば水平分布、垂直分布等今回と同様な実験を繰り返して確認したく思う。その他になお今回は単なる推定に止まつた林の内外、風下方向における温度の分布並びに今回は全然顧慮しなかつた塩分の分布は是非とも測定しなければならない。また違う林型のものについても調べたい。

実験に當つて痛切に感じさせられたことはいかにも実験期間の短いことであつた。2 週間の現地滞在は決して短くはないようにみえるかも知れないが、機械の点検等ですぐ 4, 5 日はたつてしまう。残る 10 日間のうち 6 日間霧がきたとしてもそのいずれもが欲するような濃霧とは限らないし、また全然予期しない方向、または時刻にくるので十分な測定の出来ぬこともある。もちろん経費の面で大きな掣肘を受けるとはいへ、こういう研究は少なくとも現地に 1 カ月は滞在して観測をする必要があると思われた。

終りに臨み北海道庁をはじめ低温科学研究所、帯広営林局、札幌管区气象台、根室営林署、根室支庁、根室測候所の方々に厚い感謝の意を表する。

Résumé

A model forest was established at Ochishi, a sea village on the Pacific coast of the eastern part of the Hokkaido Island, by thrusting into the ground hundreds of rootless needle-leaved trees about two meters high. Many kinds of observations were made on this model forest in relation to its fog- and wind-preventing actions.