

## 雛形防風林試験報告 (第2報)

### 防風林の蒸発量に及ぼす影響

H. IZUKA, S. TAMATE, T. TAKAKUWA, T. SATO:

Experiment on Model Windbreak (2nd Report). Effect on Evaporation.

農林技官	飯塚肇
"	玉手三稗壽
"	高桑東作
"	佐藤正

#### 目次

I 緒言	17
II 実験方法の概要	17
III 観測の結果並に考察	19
(1) 林内における蒸発量	20
(2) 風下の蒸発量	20
(3) 蒸発量の垂直的变化	21
(4) 風速と蒸発量との関係	22
IV 摘要	25

#### I 緒言

第2回雛形防風林試験を青森県下北半島横浜海岸で実施した際、防風林の蒸発量に及ぼす影響を見るべく、蒸発量の観測をした。実験は晩秋の季節風を利用して行つたが、観測期間中は殆んど曇天で日射少なく、防風林の蒸発量に及ぼす影響が比較的明らかに現われたので、観測資料は少なかつたが、取り纏めの結果を報告する。

本試験実行に当つては青森営林局及び横浜営林署より多大の御支援を頂いた。記して謝意を表する。

#### II 実験方法の概要

本実験は雛形防風林によつて防風林の蒸発量に及ぼす影響を観測したものである。昭和22年10月28日から11月4日まで冬の季節風の強い青森県横浜村の海岸に雛形防風林を作り、その風上風下及び林内に紙面蒸発計を置いて観測した。雛形防風林の種類及び構造についての

詳細は別に記述することとし、こゝではその概略を記載するに止める。その実験では a, b, c, d の4種の林型を使用した。その構造は次表の通りである。

林 型	樹 高	林帯幅	林 の 構 造
a 型	1.5m	14.79m	林縁木3列は地際まで枝をつけ、その他の林内木は地上 70 cm まで下枝を除去した。
b 型	1.5m	14.79m	a 型防風林の中間に幅 6.09m の林帯の林木を除去して空地帯を作り、その両側に幅 4.35m の林帯を設けたもので、総幅は a 型と同じである。
c 型	1.5m	<del>4.35m</del>	林縁木3列は地際まで枝をつけ、林内木は地上 70 cm まで下枝を除去する。幅は a 型の約 $\frac{1}{2}$ である。
d 型	1.5m	4.35m	全林木地際まで枝をつける。幅は a 型の約 $\frac{1}{3}$ である。

備 考

1. 樹種はクロマツで造林木の梢を取り、地面に垂直に差込む。樹木の間隔は 1 m 正三角形植とした。
2. 防風林の幅は林帯両外側の林木間の距離であらわした。

蒸発の観測は d 型は 10 月 28 日、b 型は同 29 日、a 型は同 30 日及び 11 月 1 日の 2 回、c 型は 11 月 4 日で、当日の天気は大体曇りで東北特有の晩秋の冷湿の天気であつたが、10 月 30 日のみは晴れ勝で幾分暖かかつた。風速は 5~12 m/s の範囲で、風向は防風帯に大体直角であつた。

防風林の風上及び風下における蒸発量を比較するため、測器を同一の高さ 1.0 m に置いたのであるが、10 月 28 日のみは地上 1.1 m であつた。測器の位置は風上側は、林縁から風上の方に防風林の高さの 1 倍及び 3 倍（以下 1 倍は 1 h、3 倍は 3 h の如く記す。）風下側は林縁から 1 h、5 h に置いた。b 型ではなお延長して 10 h、15 h、20 h、25 h、30 h、c 型では 10 h、20 h、d 型では 10 h、15 h、20 h に設置した。又 a 型及び b 型では林内に 3 箇所、d 型では 1 箇所の測点を置き、林内の蒸発量を観測した。又防風林による垂直的影響を観るため、防風林の風上、風下及び林内の各点で高さ 0.2、0.5、1.0 及び 2.0 m に測器を置いて観測した。

観測時間は日中概ね 6 時間としたが、作業の関係で 5 時間及び 4 時間のものが各 1 回あつた。又防風林の気温、湿度に対する影響を観るため、防風林の風上、風下で、アスマン寒暖計

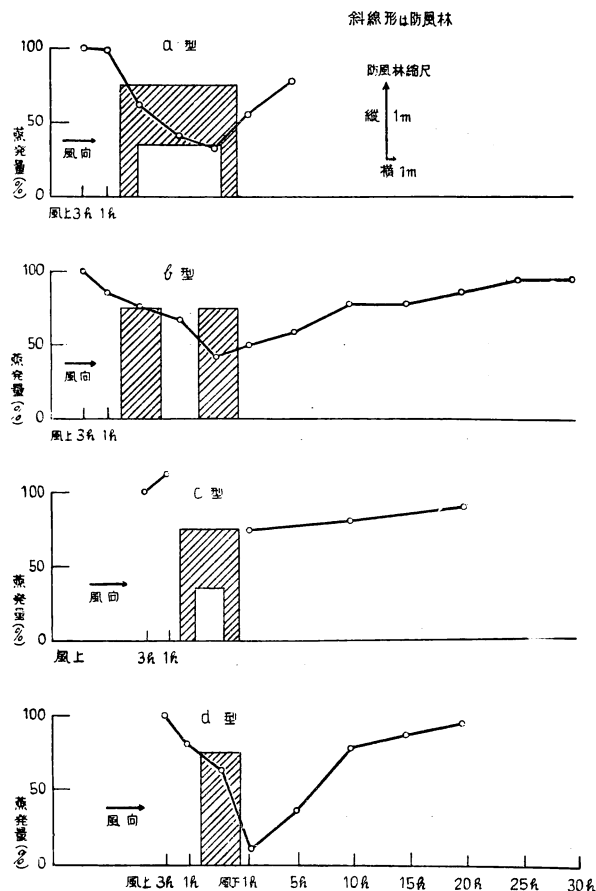
で気温及び湿度を観測したが、観測資料が少なかつたので、検討も困難であつたが、当時の天候は、日射がほとんどなく、陰湿な条件であつたので、観測の結果は防風林の影響がほとんど現われなかつた。然しながら蒸発量の観測結果は、風速と蒸発量の関係を検討するには適当な資料と思われたので資料は少なかつたが取り纏めたものである。

本観測は錐形防風林効果試験の一部として行つたものであるが、風速の観測のかたわら行つたもので、観測資料が少く、したがつて結論も粗雑な感があるのは遺憾であるが、その補正は今後の観測研究に俟ちたい。

### Ⅲ 観測の結果並に考案

観測結果によつて各林型の林内及び風上、風下各所地上 1 m における単位時間の蒸発量(以下単に蒸発量と記す)は第 1 図に、蒸発量の垂直分布は第 3 図で示される。地上 1 m に

第 1 図 防風林附近に於ける蒸発量の水平的分布



おける蒸発量は第 3 図でわかるように、防風林の高さの各点の平均蒸発量に比べれば、林内の分は小である。(但し a 型、林前の分は少しく大である。(各林型共))

(1) 林内における蒸発量

a型、b型及びd型防風林の林内における蒸発量を、風上3hにおける同高の蒸発量を100とした%で示すと次表のようになる。

防 風 林 内 の 蒸 発 量

位置	a型	b型	d型	備 考
A	63	77	—	a型は2回観測の平均、其他は1回観測。a型のA点は風上林縁より林内へ2.2m、B点は同じく7.8m(林帯中央)、C点は同じく12.6m(風下林縁より林内へ2.2m)。b型のA点は風上林帯の風上林縁より2.2m、B点は両林帯間の空地の中央、C点は風下林帯の風下林縁から2.2m。d型のB点は林帯の中央である。
B	41	67	65	
C	33	42	—	

前表でわかるように、林内の蒸発量は風上林分よりも著しく減少し、又林内では風下に進むにしたがつて漸次減少することが明らかにわかる。b型のB点は林帯間の空地であるが、両林帯の影響を受けてあたかも林内であるかのように蒸発量が減少しており、風下林帯では更に減ずる。a型とb型の相対応する位置の蒸発量を比較して見ると、a型の方は各点共にb型より蒸発量が少い。これは林の密度がa型の方が大きいと思われる。d型は林帯の幅は狭いが、蒸発量に相当大きな影響を及ぼしていることがわかる。d型の幅はa型の約 $\frac{1}{3}$ であるが、林木は全部下枝つきのものであつて、枝葉の密度が大きいためであると思われる。a, b, c, d, e 各型の葉量を比較すると次表のようである。

林 型	葉量/m <sup>3</sup> gr	a型との比率 %	平均延長1mに対する防風林幅に対応する葉量 gr	a型との比率 %
a	1,539.3	100	15,008.2	100
b	1,250.8	81	12,195.3	81
c	1,540.0	100	7,007.0	47
d	2,345.0	152	6,097.0	41
e	147.9	10	384.5	3

(2) 風下の蒸発量

風上3hの蒸発量を100として、風下各所の蒸発量の割合を示すと次表のようになる。

風 下 の 蒸 発 量

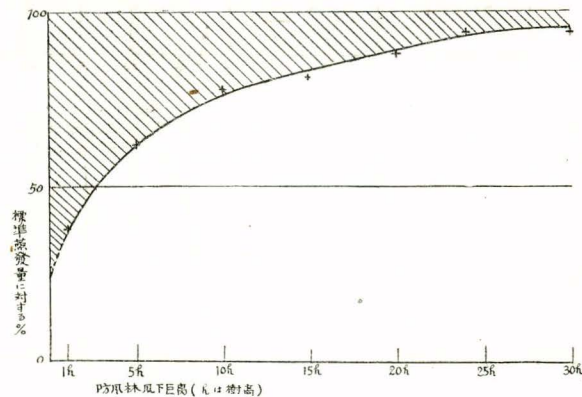
風下林縁からの距離	1 h	5 h	10 h	15 h	20 h	25 h	30 h
a 型	55	79	—	—	—	—	—
b 型	50	58	77	77	85	94	94
c 型	—	74	80	—	91	—	—
d 型	10	35	77	84	87	—	—
平 均	38	62	78	81	88	94	94

防風林が蒸発量に及ぼす影響は、従来の試験結果によれば、防風林の林型並に粗密によつて異なり、又同一防風林で風速の強弱によつて差異があり、風の弱い場合には影響が少く、強い場



合は影響が大きく現われる。本実験では観測資料が少ないので、林型による相違あるいは風の強弱による影響は検討することが出来ないで、たゞ概括的に防風林の風下における影響を観ることとして、前表のように各林型の風下同位置のものを平均してみた。これを図示すると第3図のようである。これを見れば、防風林の風下1h附近では標準蒸発量の約40% (60%

第2図 防風林の風下に於ける蒸発量

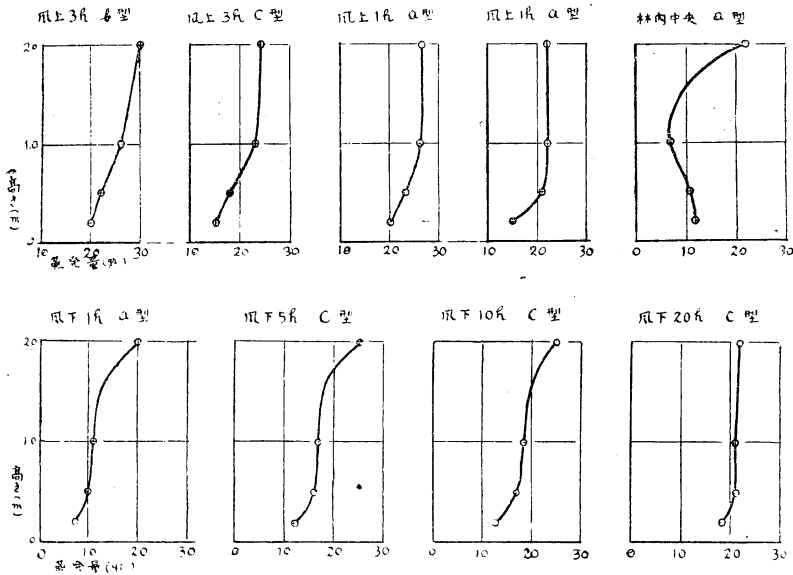


減), 5h附近は約60%, 10h附近は約80%, 20~25hでは約90%になる。防風林の風下における蒸発量に対する影響は、林縁では著しく大きく、風下1hの蒸発量は標準量の40%で、ほとんど林内の蒸発量に等しい。防風林を過ぎかるにつれて影響は急激に減じて、10h附近では80%の蒸発量を示し、これより風下では漸次その割合は増大するが、その変化は緩やかである。そして防風林の風下の影響は、大体25h附近までと見ることが出来るが、影響顕著な区間としては、10h附近までとすることが至当と思われる。同図において蒸発量曲線と100%の横線の間の斜線をほどした面積は、防風林によつて防風林風下区域において蒸発量が減少する量に相当する。これは大風防風林の無い場合の蒸発量の約30%に当る。

### (3) 蒸発量の垂直的变化

さて前節では防風林の風上、風下における蒸発量に対する影響を見るために地上1mの蒸発量を比較してみたが、これが地上各高さの平均蒸発量とどんな関係にあるか、又蒸発量の垂直的分布を風上、風下及び林内のものについて比較するため、高さ0.2, 0.5, 1.0, 2.0mの蒸発量を観測した。観測資料は少なかつたが、その結果を図示したのが第3図である。これによつて見ると、先ず風上1h及び3hでは、地上0.2mの蒸発量が最も少く、0.5, 1.0mと急に増加し1.0mより2.0mの増加は僅少である。各高さの平均蒸発量は地表蒸発量の観測がないのでわからないが、仮りに垂直分布曲線を地表まで延長して考えて見ると0.5m附近の蒸発量が平均値に相当し、1mの蒸発量は平均より過大であると考えられる。林内蒸発量の垂直的分布は風上、風下のものと異り、地上0.2m附近が大きく、0.5m, 1.0mと高さと共に減じて、1.0m附近が最小値を示し、樹冠層を出て2.0mになると急に増加する。地表

第3図 蒸発量の垂直変化



における観測はないがおそらく 0.2 m よりも小であると思われるので、林内の蒸発量は地表より少し上つた樹幹層で第1次の最大を現わし、それより上つて樹冠層に入つて減じて樹冠層の中央附近で第2次の最小となり、樹冠層を出ると急に蒸発量の増加を見るもので、ちょうど風速の垂直分布と同様である。平均蒸発量に相当する高さは推断することは出来ないが、1 m の蒸発量は大体最小の蒸発量であつて、平均蒸発量より過小であることは明らかである。風下における垂直変化は地表において最も小で、地上 50 cm 附近までは急に増加し、それより防風林の高さまでは僅に増加し、防風林の高さを越すと急に増加する。風下では各地点共に同様の変化を示し、風下 10h 附近まではこの傾向を明らかに見るが、20 h 附近になるとこの傾向はみられず、防風林の影響が略々無くなることを示している。これは c 林型の成績であるが、水平的の蒸発量の比較で見ると風下 20 h は大体 90% となつて僅か影響のあることを示し、大体結果は合致するものと認めることが出来る。

#### (4) 風速と蒸発量との関係

蒸発量は空気の温度、湿度、風速に関係するものとして一般に次の Trabert の式が用いられる。

$$V = k(1 + 0.00367 t)(F - f)\sqrt{v}$$

V: 蒸 発 量

k: 常 数

t: 気 温

F: 蒸発面の温度に対する最大水蒸気張力

$f$ : 観測当時の水蒸気張力

$v$ : 風速

本実験においては、蒸発計として特殊な紙面蒸発計を用いたし、又特に風との関係を検討するので、 $\sqrt{v}$  を  $v^n$  と書き換え  $n$  を検出した。なお蒸発量には日照も関係するのであるが、幸い観測期間中の天気は概ね曇天陰湿で、僅か一日だけ日照があつた程度で、日照を考慮しなくともよいと思われた。それで上式を

$$V = k(1 + 0.00367 t)(F' - f)v^n$$

$F'$ : 空気の温度に対する最大水蒸気張力

とあらため、観測の結果から常数  $n$  を求めた。前式を

$$\log V = \log k(1 + 0.00367 t)(F' - f) + n \log v \quad \text{と書き換え}$$

$$y = \log V$$

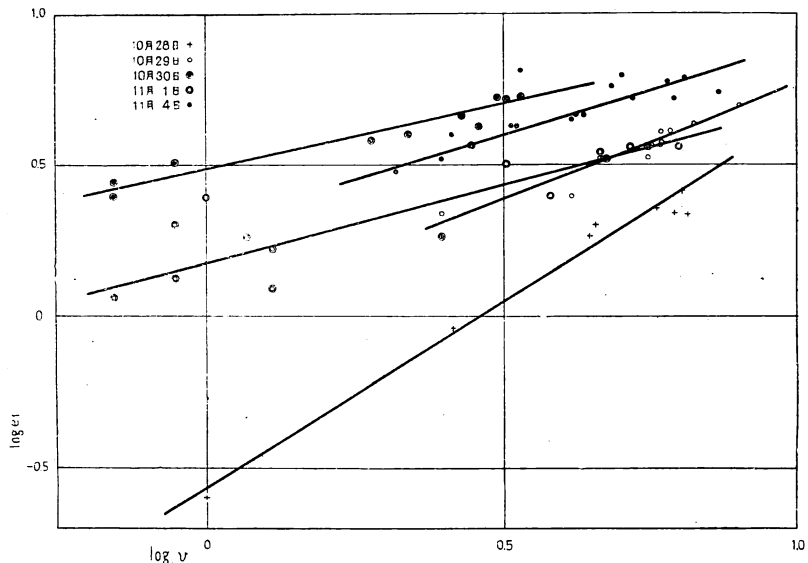
$$a = \log k(1 + 0.00367 t)(F' - f)$$

$$b = n$$

$$x = \log v$$

と置き、前式を  $y = a + bx$  の型として各林型について観測した資料 (d 型 8 回, b 型 12 回, a 型 26 回, c 型 16 回, 計 62 回) によつて、両対数軸の図に図示すると、第 4 図の如くなる。

第 4 図 風速と蒸発量



これを見ると各点の分布は散乱であるが、その中 10 月 28 日の一群を除けば大体の傾向は窺われるようであるが、これを或る 1 つの線上に纏めることは無理である。然し各一日のものについて見ると、各点の配列は割合に纏まつている。これは各日の気象状態、但し日照による差異

は余りないと見てよいが、気温、湿度、風向等による差異から来たものではないかと思われる。各日の各点を一団と見れば、大体直線を以て表わされるので、図上で直線を描き、常数を求めると、各日の式は次のようになる。

$$10月28日 \quad y = -0.560 + 1.22x \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$10月29日 \quad y = 0.002 + 0.78x \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$10月30日 \quad y = 0.486 + 0.44x \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$11月1日 \quad y = 0.175 + 0.51x \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$11月4日 \quad y = 0.303 + 0.61x \quad \dots\dots\dots(5)$$

$n$  はそれぞれ 1.22, 0.78, 0.44, 0.51, 0.61 となる。これらの値はかなり不揃いであるが、その中飛び離れて大きな 1.22 を除いて平均すると、 $n = 0.585 \div \frac{1.8}{3}$  となる。従来湿布のような湿つた面からの蒸発は風速の  $\frac{1}{3}$  乗に比例するといわれている。平田博士は紙面蒸発計の蒸発量を日照率と風速を以て表わしうものとして次の式を示した。

$$k = (0.326 + 0.707 S) (0.395 + 0.712 W^{\frac{1}{3}})$$

$h$ : 紙面蒸発計の蒸発量

$S$ : 日照率

$W$ : 風速

又武田繁後氏は飽差と風速を以て現わし、次の式を示した。

$$V = \{ (0.431 + 0.618 (E' - e)) \} (0.598 + 0.493 W^{\frac{1}{3}})$$

$V$ : 紙面蒸発計の蒸発量

$E' - e$ : 空気の飽差

これらの式は実際ともかなり合致するもので、風速は  $\frac{1}{3}$  乗を採用している。もつとも紙面蒸発計の蒸発量は風速の  $\frac{1}{3}$  乗に決つたものでもなく、今までの実験結果がこれに近いと云うことである。本実験では  $\frac{1.8}{3}$  となつてそれらの結果とかなり差があるが、その実験から導き得た結果として掲記する。

次に 10 月 28 日、29 日及び 30 日の 3 日間は蒸発量を観測した場所でアスマン 寒暖計を用いて気温及び湿度を観測した。観測資料は各日共数回であつたが、これを平均してその日の  $t$ ,  $F'$  及び  $f$  を求め、Jrabert の式に入れて常数を求めて次の諸式を得た。

$$10月28日 \quad V = 0.280(1 + 0.00367t)(F' - f)v^{1.22} \dots\dots\dots(1')$$

$$10月29日 \quad V = 0.303(1 + 0.00367t)(F' - f)v^{1.78} \dots\dots\dots(2')$$

$$10月30日 \quad V = 0.608(1 + 0.00367t)(F' - f)v^{3.44} \dots\dots\dots(3')$$

$k$  は 0.280, 0.303 及び 0.608 となる。10 月 28 日及び 29 日のものは近い値を示したが、10 月 30 日のものは前 2 者とかなり差がある。当日の天気を見ると 28 日及び 29 日は終日曇天



で冷湿、日照全く無く湿度は 66% 及び 67% であつたが、30 日は僅かながら日照があり、湿度 55% で、前兩者とは異つた値が出たのであると思われる。それで日蔭の蒸発量として 30 日の分を除き、前兩日の分を平均すると  $k=0.29$  をうる。その兩日は日照が全く無かつたので、日蔭の紙面蒸発計の蒸発の常数に近いものと見うるであろう。平田博士は百葉箱内における普通蒸発計の観測から(日蔭の蒸発)  $k=0.237$  を得、又武田繁後氏は日曝し紙面蒸発計の観測から  $k=0.209$  を得られた。いずれも測器或は気象条件は異なるのでかような異なる結果を得たのであろう。

#### IV 摘 要

(1) 防風林内の蒸発量は林前より著しく減ずる。林内においても風下に進むにしたがつて漸次減じており、林内の風速の減少と連関していることが明らかにわかる。

(2) 防風林風下の林縁近くにおける蒸発量は、著しく減じて略々林内のものに等しく、林縁より離れるにしたがつて増加し、防風林の風速に対する影響と酷似している。風下 1 h では、標準蒸発量の約 40%、5 h では約 60%、10 h では約 80% で、影響範囲は風下 20~25 h と認められた。

(3) 防風林の影響の無い所の垂直的变化を見ると、地表附近は著しく小で、地上 1 m、附近までは高さと共に急に増加し、それより上方は極めて緩やかな増加曲線になる。

林内においては地表附近は小で、高さと共に増加し、林幹層中央附近で第 1 次の最大が現われ、それより樹冠層に入ると減じて樹冠層中央附近で第 2 次の最小となり、樹冠層の上面を出ると急に増加して林前と同じになる。

林の風下においては下層最も小で 0.5 m 附近までは高さと共に急に増加し、それから上方樹高の高さまでは徐々に増加し、樹高より高くなると又急に増加する。これは防風林の影響であるが、その影響を防風林を離れるにしたがつて減じ、その影響は 20 h 附近までと見られる。

(4) この観測資料から蒸発量と風速との関係を検出して見るため Trabert の蒸発量の式の蒸発水面温度の代り空気の温度を用い

$$V = k(1 + 0.00367 t)(F' - f)v^n$$

$F$  : 空気の温度に対する最大水蒸気張力

式の常数  $n$  及び  $k$  を求めると  $n = \frac{1.8}{3}$ ,  $k = 0.29$  を得た。

$n$  は従来の実験結果では  $\frac{1}{3}$  に近い値を示されている。その実験とこれとはかなり異つた値を得た。 $k$  の値としてはこれと同じ条件で観測されたものはないが、平田博士は普通蒸発計の日蔭観測で  $k=0.237$  を得、武田繁後氏は紙面蒸発計の日曝観測で  $k=0.209$  の結果を得ている。本実験の  $k=0.29$  は紙面蒸発計の日蔭観測の常数と見るべきものである。

# Résumé

The experiment was made on four model forests of Japanese black pine 1.5m high. The widths of these forests are 4 m, 7 m and 15 m, and another forest 15 m wide with interlying open space 6 m wide. Evaporation was observed at several points on both windward and leeward open field as well as inside the forest. At each point paper evaporimeters were set at each height of 0.2 m, 0.5m, 1.0 m and 2.0 m above ground.

Evaporation was remarkably reduced in the forest as compared to the windward open field. In the forest, evaporation showed decrease from windward to leeward and at the point closely behind the windbreak it was very little, almost equal to that in the forest. In the leeward open field, evaporation increased with the distance from the windbreak. The average result of four sample windbreaks tells that the rates of evaporation decrease on leeward side are about 40%, 60% and 80% at the points respectively h, 5 h and 10 h (h=tree height) away from the windbreak. The influence of the windbreak upon evaporation was seen within the distance of 20 h~25 h. As regards evaporation variation in vertical direction, a minimum was observed near ground surface. It increased with the height showing a maximum at the middle of stem height and then decreased in tree crown. Above tree crown it showed rapid increase again.

In the open field behind the windbreak evaporation was the least near ground surface and then increased rapidly with the height. In the crown level, it showed a slow increase but a rapid increase above the crown level. This tendency was observed definitely near the border of windbreak and became less definite with distance from the windbreak until it disappeared at the distance of about 20 h.

Since the experiment was conducted mostly on cloudy days, we could see the pure effect of wind influenced by windbreak upon evaporation.

From the data obtained in this experiment we determined the empirical constants as

$$k=0.29 \quad n=1.8/3$$

in Trabert's evaporation formula

$$V=k(1+0.00376 t)(F'-f)v^n$$

where

$V$ =Evaporation amount

$t$ =Average temperature

$F'$ =Maximum vapor tension for  $t$

$f$ =Average vapour tension

$v$ =Average wind velocity