

人工霧防冷法に関する研究（第2報）

著者	三原 義秋, 谷 信輝, 泊 功
雑誌名	防災科学技術総合研究報告
号	23
ページ	31-47
発行年	1970-03-14
URL	http://id.nii.ac.jp/1625/00002609/

人工霧防冷法に関する研究

(第2報)

三原義秋・谷 信輝・泊 功

農林省農業技術研究所

Studies on Protection Against Cold by an Artificial Fog (Report II)

By

Y. Mihara, N. Tani and I. Tomari

National Institute of Agricultural Sciences, Tokyo

Abstract

Possibility of forming an artificial fog of water droplets was proposed by one of the present authors, Y. Mihara, in 1964. According to him, the droplets can maintain life even in unsaturated air because their surface is coated with a mono-molecular film of the evaporation-suppressing agent.

The purpose of the present investigation was to verify the effect of the artificial fog on prevention of frost during calm nights by making large-scale fog-layers on the fields.

Aiming at obtaining an apparatus which would spray about 10 liters of the agent per minute by making it into fine-particles, three systems of such apparatus were developed and their study models were tested during a period of two years. The first system was a sprayer using a high-speed rotating disk. The second was equipped with new-type nozzles and a high pressure pump. The amounts of fine-fog particles generated by these two systems were both too small for our purpose. The third one is a system which spouts heated liquid. The liquid, after compressed by the pressure of nearly 10 kg/cm², is heated with burners up to about 180°C and emitted out of small slits as fine-particles. Though the emitted fog in this case contains, in considerable rate, coarse droplets which fall to the ground in a few minutes, the amount of floating fine-droplets is the largest among the three systems. In open-air tests, two or three apparatus of the third system were used, excepting the test at the National Stadium of Tokyo when a pneumatic sprayer was tested. The spray liquid used for these sprayers was a very thin emulsion of 99.7% water and 0.3% OED, an evaporation suppressant developed in 1957 by the National Institute of Agricultural Sciences.

Open-air tests were done at night of twenty five days in all, at four different sites in the three years of 1967 to 1969, but few of the tests were performed under satisfactory conditions where the spraying of a large quantity of produced fog was combined with calm and clearness of the nighttime. The amount of fine-particle fog generated from two or three sprayers was 5 to 10 liters per minute, and winds flowed usually at speeds of 1.0 to 2.0 m/s throughout the nights of test. Consequently, fog layers produced by continuous spraying usually spread over a long and narrow area and the fog densities were rather thin.

In spite of such conditions, the effect of fog covering, namely the decrease of the outgoing nocturnal radiation from the ground, was clearly recorded by the network of radiometers. The maximum value obtained in reduction of net radiation was 40% for a period of 10 minutes and nearly 60% for a few minutes.

The effect of the fog layer on the air temperature of the area covered by the fog was hardly recognized, but the effect on plant leaf temperature was distinctly certified. Temperatures of leaves on the ground, which are generally by 2 to 3°C lower than that of the surrounding air at clear night, could be easily raised by 0.5 to 1.5°C by the fog covering.

Practical effect of frost-damage prevention was clearly shown in the last open-air test which was done in an orchard of blooming pear trees at Fukushima Prefectural Horticultural Experiment Station. In that case the fog spraying at the rate of 10 l/min was started at 1:25 a.m. when light frost appeared on the grass, and continued until 7:00 a.m. Winds blew steadily at about 2 m/s during the period of spraying, and there was formed a narrow band of fog layer on the lee of the three sprayers which were arranged on a line of 20 m.

A few hours after the end of the test, hundreds flowers were picked from the pear trees inside and outside the fog-covered area, respectively, and their frost injury was decided by examining the color of ovaries. The percentage of injured flowers was reduced from 44% for the trees in the area free from fog to 14% for the trees which were standing within the distance of 45 m from the sprayers and covered with the fog for almost the whole time of spraying.

1. はじめに

人工霧防冷法とは、夜間耕地上に微水滴からなる霧を人工的に形成させて、地面の放熱を抑えることで温度の低下を防ごうとするものである。

この方法が冷害軽減に役立つのは、冷害の要因である気温の低下が、主として夜間の地面放射の結果として起こるからである。

冷害発生の気象条件は大別して二つに分けられる。一つは、7, 8月の稲の生育中期、幼穂形成の時期に気温が12, 3度低下して、稲の花器形成が重大な阻害を受ける場合、第二は、不順天候の継続で稲の生育が遅れ、穂が成熟する前に秋冷が訪れ、時に強い降霜を受けて未熟のまま枯死するに至る場合である。両者とも、致命的な温度低下は夜間晴天で静穏のときに起こる。北太平洋に育つ冷涼乾燥の高気圧が北日本を覆うとき、地面からの夜間放射はかなり強く、その結果本来低温の空気は盛夏期にも12, 3°C、初秋には零度近くまで冷却するに至る。

このような状況の夜間、地上に数十mの厚さの

霧層を形成するなら、地面からの放射は大幅に減少する。もし霧層を広大な面積上に、夕刻から翌朝まで継続的に維持することができるなら、夜間の気温低下はほとんど止み、夕刻の気温がほとんどそのまま翌朝まで持続することになる。

夜間の気温低下に対し、上述のような強い抑止力を持つ霧層を人工的に作ることは可能性はすでに確認されたところであつて、本研究では、その方法の実用化を目標として霧発生装置の開発とその実用効果の検討を行った。

三種類の霧発生機の試作の結果は、小規模の野外人工霧防冷試験の実施に対しては事足りるものであったが、広面積の実用化にとっては必ずしも満足できるものとは言えない。しかしながら、作られた人工霧の防冷の力は明らかに検出され、また、作物に対する実際の防霜効果も確認することができた。人工霧法の実用技術化については、霧発生装置になお問題が残っていて完全な結論を得るに至っていないが、三か年に亘る本研究の目的はほぼ達成されたものと信ずる。

2. 従来の研究

1964年、農業技術研究所において、三原はその単分子膜利用蒸発防止の研究から、微水滴の単分子膜被覆法に着目して、人工霧形成の可能性を見出した。その概要は次の通りである。

通常の水を霧粒の大きさ(5~40ミクロン)にして晴夜空中に浮べると数秒ないし十数秒で乾燥消失する。空中湿度が飽和していないからである。従って、人工的に霧層を作るには、不乾性の水滴を多量に作り出す必要がある。この目的で開発されたのが単分子膜形成物質(たとえば水温上昇用に合成されたOED)の稀薄乳化液の噴霧法である。OEDの場合、水に対して0.1%内外の量を加えて乳化し、これを噴霧するとき、霧滴の表面は瞬間的にOEDの単分子膜で被覆されるのである。この被覆水滴の空気中における寿命時間—消失までの—は、水滴の大きさのほかには気温と空中湿度によってかわるが、特に気温の影響が大きい。その理由は、単分子膜の蒸発抑制力が高湿とともに低下するからに外ならない。温度に因づく寿命時間の変化の様子は表1にうかがわれる。すなわち、OED単分子膜の場合、被覆水滴の寿命は零度近い低温時に最大で、気温が15°Cを超すと急速に寿命が低下する。

表1 純水およびOED単分子膜被覆の微水滴の空中での寿命。直径が30 μ から5 μ に減少する時間(純水では秒、被覆滴では時間)

Time for decrease in drop diameter from 30 to 5 μ .		Mean time for 5 droplets	
Ambient air Temperature (°C)	Relative humidity	Pure-water droplet (sec)	Monolayer-coated droplet (h)
25	85	7	0.3
15	90	9	2.5
10	89	11	4.2
7	88	14	8*
5	90	15	12*
5	72	12	10*
3	89	16	13*

* は測定時間を外挿した推定値

Estimated from an intermediate stage of evaporation.

この人工霧滴の蒸発速度測定は、断面径0.3 μ 以下の極微のタモ糸に噴霧滴を吊し、これをThermo-module 利用の小型恒温恒湿槽に入れ、その外面から顕微鏡撮影によって行われた。湿度の

調節は、恒温槽の下方に置かれた調湿用液槽から静かに空気を循環させる方法で行われた。したがって、霧滴は毎秒数回の気流に洗われていたのであつて、絶対静止の空気中にあつたものではない。

表1に示される傾向は、この方式による人工霧が、霜害が起こるような低温時に最もその滞空時間が長くて有効に働くであろうことを示している。

人工霧を噴射するための水と、それに加える物質についても、すでに1965年にはおよその結論を得ている。すなわち、人工霧用の水は、通常の河川水や湧水なら十分に利用できるし、その溶解成分も一つの例外を除いて通常のもは何等の支障はない。唯一つの支障は、洗剤等の界面活性剤である。これが多量に溶解しているときは、水滴外面に単分子膜の形成が行われないうという致命的障害が起る。界面活性剤は、表面単分子膜を容易に水中に溶解させる働きを持つからである。

このような障害物質がない水の場合、微水滴の表面を完全に被覆するのに必要な単分子膜物質の量は、水滴量に較べて極めて微量である。今OEDの単分子膜の被覆を例にとれば、水滴の直径とその被覆物質の量の比は理論上では図1の通りで、直径20 μ 滴では1/1000、40 μ 滴で1/2200にすぎない。したがって、水にOED分子が完全に分散しているなら、OEDの所要量はこの理論値で足りることになる。

微水滴とその表面単分子膜との比率

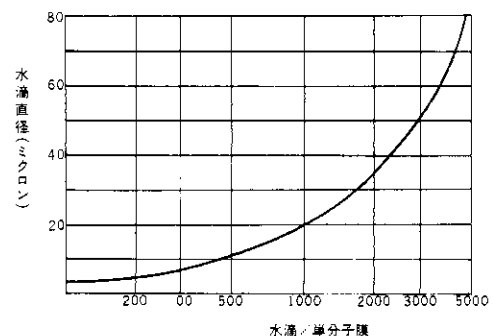


Fig.1. Volume rate of water droplet against monolayer on the droplet surface.

しかしながら、実際には、OEDは水中全量が完全に分散(すなわち溶解)するのではなく、ある大きさの固体となつて懸濁化しているものが多い。したがって、理論値量では、水滴によっては

OED分子の不足が免がれ難い。そこで、実際噴霧においては、OEDの添加量は、乳化の良否に応じて $1/300 \sim 1/500$ とする必要がある。

人工霧形成の基本となる単分子膜物質のOEDは、三原が鈴木正臣氏等の協力によって、水温上昇を目的として1957年に開発した蒸発防止剤である。その内容は $C_{22}H_{44}O(C_2H_4O)_nH$ (oxyethylene docosanol, その略名OED) と $C_{18}H_{36}O(C_2H_4O)_nH$ (oxyethylene Octadecanol) の二化合物の混合物である。

OEDは常温固形で水に不溶であるが、加熱溶解したもの温水に加えて攪拌するときは、極めて安定な乳化液となる。この乳化液は常温の水に対してもかなりよく分散する特長があるので、上記のような稀釈液として噴霧することができるのである。

単分子膜物質としては、OED以外にも二三検討されたが、前者に勝る機能を持つものは求められなかった。

地面からの夜間放射を減少させるに必要な霧量(または霧水量)については齊藤隆幸氏の計算がある。⁽¹⁾ 次表はその結果の要約で、霧がないときの夜間放射を、たとえば20%に減少させるためには、上空に 8 g/m^3 の水量の霧が存在することが必要である。この霧水量は、霧の濃度を 1.0 g/m^3 とすれば8mの厚さの霧層で満たされる。この霧水量は、耕地面積10アール上に換算すると80ℓとなる。

また、夜間放射を半減させるには10アール上28ℓの霧水量で足りることも示されている。

表2 霧層の厚さと夜間放射の減少の関係
Relation between the depth of fog layer and the transmissivity of nocturnal radiation.

R_n'/R_n	fog amount(g) over m^2	fog layer depth(m)		
		d=0.5	1.0	1.5
0.8	0.8	1.6	0.8	0.53
0.5	2.8	5.6	2.8	1.86
0.2	8.0	16.0	8.0	5.3

R_n : nocturnal radiation without fog,
 R_n' : nocturnal radiation under fog,
d: fog density (g/m^3).

上の値は、地面と霧との温度が等しい場合を仮定してあるが、この仮定が常に成立つかは疑問がある。霜夜には常に気温は逆転しているので、より高温な上空に浮遊する不乾水滴は、地温よりも高い温度を持ち得る。しかし、また、霧粒自体が上下に向って放射するので気温より低くなることも当然予想される。霧層が十分に厚い場合は、霧層下面は放射冷却が少ないので、霧滴の温度は地面温度よりも高いことも起るであろう。しかし、霧滴の温度の二・三度の違いは放射強度にあまり大きくは利かないから表2の値は、人工霧の必要霧層量としては利用可能の指標であろう。

人工霧発生装置についても多少の検討は既になされている。三原、泊等は農薬噴霧機の数種について、噴霧口の改善や噴出圧力の増大などによって、空中滞留の可能な微細水滴(直径 40μ 以下)化を試みたが不成功に終わった。わが国の農薬噴霧は例外なく稀薄液の多量散布方式を採っているもので、噴霧滴の大きさは約 80μ を中心とする粗大なもので、噴霧口の口径を縮小する程度では到底人工霧用の細滴を得ることはほとんど不可能のようである。

農薬噴霧機よりやゝ勝るものとして見出されているのが、自動車等の洗浄用に作られているスチームクリーナーである。本来のスチームクリーナーは、水を加圧ポンプで螺旋パイプに送り、これをパーナーで加熱して、圧力 $6 \sim 10 \text{ kg/cm}^2$ 、温度約 180°C の熱湯としたのち、洗滌管の先端から噴出させる。その際、一部蒸気化したものが急膨張するために噴出液は霧状になる。洗滌管の代りに、適当の間に細隙を持つパイプを付けるとき、噴出液の約30%は滞留性の微細滴になることが確かめられた。圧力の増大と、細隙の改良によって、微細化は更に進められる可能性も予想されている。

上記加熱式噴霧装置を使用して、小規模野外実験もすでに実施されている。1965年3月、6夜にわたって、底面約20アールの小窪地で人工霧の噴射と、霧層による放射減少の測定が行われた。噴霧量は毎分5ℓの割合で行われたが、滞留性微細滴量は1.5ℓに過ぎなかった。しかし、完全な窪地であったために最高15mに達する霧層が形成された。この霧層に覆われた窪地内の放射

(1) 北海道冷害気象に関する研究: 防災科学技術総合研究報告第6号, 1966。

は、霧層形成前の放射の80～60%に低下することが認められた。この結果は、噴霧量の増大によって、霧層と濃度の向上が計られるなら、放射を半分以下に減少させ、その結果として地物の冷却をかなり防ぎ得る可能性を十分に示唆するものであった。

3. 本研究の計画と経過

〔冷害気象の局地的発現機構ならびに人工霧による局地気象改良に関する〕この研究は昭和41年～43年に亘る総合研究であった。その一環としての人工霧防冷法に関する本研究の当初における年次計画は次の通りであった。

41年度：霧発生実験機の製作と予備試験

42年度：(1)室内実験

(2)合同現地実験(晩秋の初霜害と冬の寒害を対象とする)

43年度：合同現地実験(初夏の晩霜害と秋の水稲霜害を対象とする)

3.1 研究の実施経過

研究実施の経過は、ほぼ当初計画に従ったが、第二年度に、霧発生装置の改良製作を重ねて行ったことが主な違いである。三ヶ年内の経過をやや詳細に表示すると次の通りである。

年次	研究事項名	内 容
第一年次 (昭和41年)	霧発生実験機の製作	(1) 高速回転盤による破砕式噴霧装置一基 (2) 加熱噴射方式噴霧装置二基
	合同屋外試験	国立競技場において製作、噴霧装置の試験(41.12)
第二年次 (昭和42年)	霧実験機の改良製作	(1) 加熱噴射式噴霧装置の実用化の改良製作一基 (2) 渦巻ノズル式高圧噴霧機の製作一基
	合同現地実験	(1) 姉ヶ崎防霜実験(43.3) (2) 長篠防霜実験(43.3)
第三年次 (昭和43年)	合同現地実験	(1) 上川水稲防霜実験(43.9) (2) 飯坂果樹防霜

実験(44.3.4)

3.2 現地実験における共同研究者と協力機関

合同現地実験は、本総合研究の協同研究班である国立防災科学技術研究センター異常気候防災研究室、気象研究所および資源技術試験所の三機関の合力の下で行われたのであるが、その外に下記の現地研究機関研究者の参加による共同研究として実施された。なおここに現地実験への協力機関名を併記する。

現地実験名	共同研究機関	研究者名	協力機関
姉ヶ崎実験			千葉県農業試験場 市原市農業改良普及所
長篠実験			東海近畿農試栽培第二部 愛知県材業試験場 本城農業改良普及所 愛知県鳳来町
上川実験	北海道農業試験場農業気象研究室	羽生寿郎	上川農業試験場 上川町
飯坂実験	福島県園芸試験場	原田良平	

4. 研究の成果

本研究は人工霧発生装置の開発とそれによる現地効果実験に二大別されるので、それらの成果を年次の経過にとらわれることなく要約しよう。

4.1 人工霧発生装置の開発

4.1.1 破砕式噴霧装置

最初に試作されたのが、特許309537 他二件の発明に基づく高速回転板応用の破砕式装置であった。

本方式は、一万回前後で回転する円板の外周を鋸歯状にして、水滴を破砕する方式である。回転板と同軸の送風機で微細滴は毎秒約20mの速度で空中に噴射されるが、粗大滴は、遠心力のために外筒の内面に付着するので、送風翼下の負圧を利用して回収し、再度破砕にかけるという自動選別の方法を採用している。本方式による霧発生機の試作は本年度2回行なわれた。第一次は1.5HPの小型エンジン駆動のものを、第二次は2HPの電動機に増速器を組合せたものが作られた。

1.5HPエンジンを直結したものは回転板の直径が120mmで回転数は約7,000回であった。低

回転数のため、噴霧量を毎分1ℓ以上にするときは、急激に粗粒が増えて、滞留性の細滴は減少した。加えて本試作機は激しい騒音を出す欠点があった。

第二次の試作機は、破碎円板の直径は同じく120mm、回転数は最高11,400rpmであった。噴出量の85～90%を滞留性細滴(直径40μ以下)とするためには、噴出量を毎分2ℓ以下にしなければならなかった。目標とした毎分10ℓに対し約 $\frac{1}{5}$ に過ぎない結果となった。本方式で目標量の噴霧を達成することは、理論的には容易であるが、回転数と回転板の直径を現在以上にすると

には技術的困難があって、実際的には大きな障壁が存在するようである。本試作機においても、高速回転に伴う激しい振動のために、部材の損傷がいくつか発生したほどであった。従って実用機としての可能性は薄いものと判断して、その後の改良は中止したのであったが、後述の加熱噴霧方式や高压渦巻ノズル方式に較べて、噴霧の効率即ち一定量の細霧発生に必要な動力数は最高である点は注目すべきである。

第二次試作機の噴口とその動力部の構造の概略は、図2に示される。

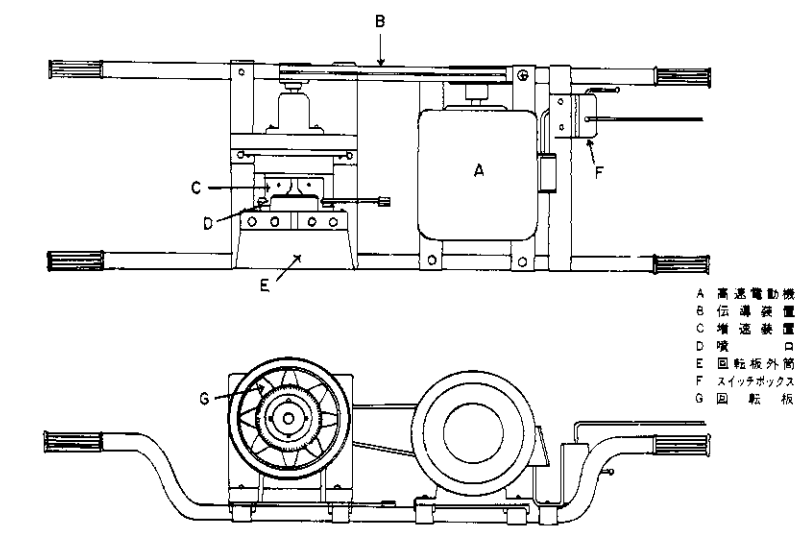


Fig.2. Fog sprayer using a high-speed rotating disk.

4.1.2 加熱噴射式噴霧装置

本方式は、41年度に中型を、さらに42年度に大型のものが製作された。

本装置の原型は、機械洗滌用のスチームクリーナーである。昭和39年度においては、毎分5ℓの噴出量のスチームクリーナーを使用、その噴口を改造して噴霧装置としたが、滞留性細霧は3割前後に過ぎなかった。

第一次中型噴霧機：41年度においては、噴出量を最大8.3ℓとしたほか、噴霧口に二つの改良を加えた。その一つは、噴出直前の加熱液に気泡を吹き込みその膨張力によって微粒化を促すものであった。小コンプレッサーによって圧縮した空

気を噴液温度に等しい温度まで加熱し、これを多孔質の焼結金属板を通して噴液中に送り込む構造とした。第二の改良は、噴出管の構造についてである。初期のものは1本の直管に7個の細隙が15cmごとに配置されていたので、噴出微滴の衝突肥大の機会が多かった。噴出管の長さや角度、管径、材質、噴口の構造等について多くの試験が行われた結果、外径15mmのステンレス管2m2本をV字型に立て、各々に3個の細隙を外方に向かって切ったものが最良の結果を与えた。細隙は、間隙0.5mm、長さ15mmで、管軸に対して45°の角度で切込まれている。

本方式試作機の配置略図は図3に示されるとお

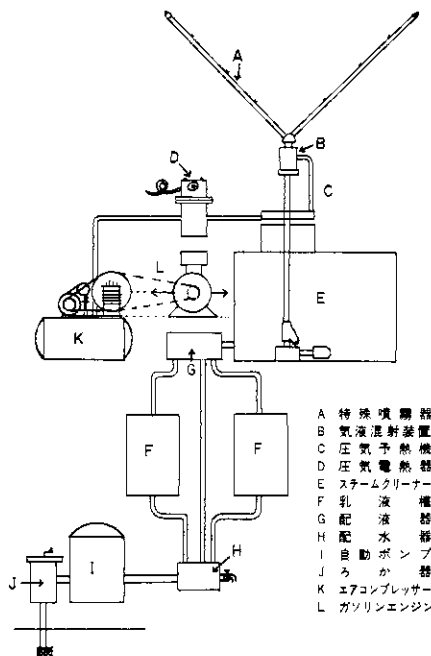


Fig.3. Fog sprayer emitting heated liquid.

りである。本装置主要部の諸元は後記第二次試作機の部に併記する。

本試作機の噴出量は毎分8ℓであつたが、そのうちで滞留性の細霧の割合は噴霧管に付けられた細隙の構造と数によつてかなり大幅に変化した。なお、改造点の一つである熱気混和装置はむしろ細霧化を妨げる傾向が明らかとなつたのでこれは除去された。その状態で細霧の比率を数回にわたつて測定した結果は平均38%であつた。このように細霧の比率が少ないのは、噴霧量に較べて噴霧圧(6~8 kg/cm²)が低いことによるものと思われた。

第二次試作機

第二年次においては、前年度の中型機の欠点である圧力不足を改めることと、固形OEDの自動乳化装置を附加することの二点を主眼として大型化が計られた。圧力増大のために、パーナは中型機の一基に対して二基としたほか、噴出量加減装置を加へ、噴出量を毎分8~16ℓ、噴出圧力を10~20 kg/cm²とした。また、中型機では、予め調整された乳化液をタンクに貯えてこれを吸入させたのであつた。これに対して、大型機では内蔵された融解槽に固形OEDを投入し、電熱融解したものを小型ポンプを使つて噴出直前の熱湯

中に送り込み、そこで乳化を計る装置を附加した。

この自動乳化装置は、乳液貯留タンクを不要とし、噴霧中に乳液調合の作業を省く点で極めて重宝なものと思われたが、予期せざる重大な欠陥を生むことにもなつた。それは、OED液の混和装置が熱湯の流れに対して大きな抵抗となり、それを通過した直後に圧力が急降下するために管内において気化が始まるのであつた。管中の気化は、噴霧口から出る霧を著しく微粒化する外観を与えるが、この微粒は水蒸気の再凝結滴であつてOEDの単分子膜を持たないものであつた。この重大な欠陥が明らかになったのは実に第三年次の最終実験の直前で、それまでこの大型機の噴霧状況の不調原因不明のためにその調整に莫大な時間の空費を強いられたのであつた。自動乳化装置を除いたのは、中型機と同様に、予め調製された乳化液を使用した。その結果、毎分12ℓの液を圧力13 kg/cm²で噴出する場合、細霧の割合は80~90%に向上するに至つた。

なお、大型機に使用する噴霧口として、超高速タービン型噴口と、四枚羽根の竹トンボ型噴霧管も試作されたが、結果的には、前年度と同様なY字型噴霧管を改良した円型噴霧管が最良であつた。

写真1は中型試作機で、上図は熱気混和方式附加のために噴口の半分は噴気状態となっているもの、下段は熱気混和装置を除いた中型機の噴霧状態、写真2は大型機で二本の円型噴霧管を使用中の状況。

加熱噴射式噴霧装置二種の諸元は次の通りである。

	中型機	大型機
主機：	ニッサルコスチームク リーナーM 900全改装	全
燃料タンク(ℓ)	80	120
作動圧力(kg/cm ²)	6~10	7~20
燃料消費量(ℓ/hr)	13	25
動力	100 V単相400 W反発 起動モーター	3相誘導モーター
点火	5000 V高圧変圧器	全左
附屬：	攪拌器付タンク 二槽 エアーコンプレッサー 圧気電熱器 気液混射装置	OED融解装置 全上混合乳化器 発電機一式 (ガソリンエンジン+発電機) 3相200V 5A×1 単相100V 10A×2

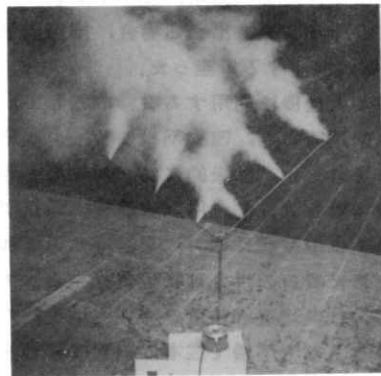


写真1 加熱噴射式噴霧機(中型)
上. 熱気混合装置附加のため噴射している。
下. 同装置を除いた噴霧状態



写真2 加熱噴射式大型機(飯坂実験中)
円形噴霧管二本を使用

4.1.3 高圧渦巻ノズル噴霧装置

東北大学小林氏の考案による特殊渦巻ノズルを用いる噴霧装置も42年度に試作された。同氏の既往の実験ではノズル口径は最小0.5 mmであったが、その結果を外挿するとき、約100個のノズルで滞留性細霧を毎分10ℓの割合で発生できることが推定された。その場合の噴口径は0.25 mm、噴霧圧力は70 kg/cm²と計算された。実験室内での予備実験においてこの計算の正しさはほぼ確かめられたのち、試作機の製作が行われた。

本機は、水量30 ℓ/min、吐出圧力70 kg/cm²のプランジャー型ポンプを三相7.5 KWの電動機で駆動させ、この高圧液を長さ4 mの10本のパイプに導き、パイプに取付けられた合計100個のノズルから噴霧させる方式とした。10本のパイプは5×4 mの平面に等間隔に配置されたのち、ポンプ液槽とともに車輪付台車の上に配置された。(写真3)

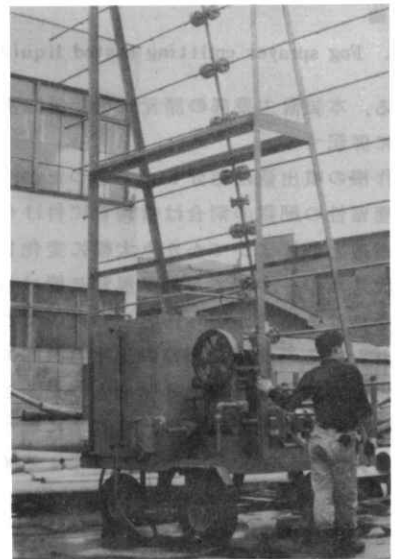


写真3 渦巻ノズル噴霧装置

計算上約10 ℓ/分の細霧発生が期待された本装置であったが、実際運転の結果は極めて不満足なものであった。その原因は、要するに渦巻ノズルの加工が設計通りに行われなかったことである。噴霧口の直径は0.25 mmで、前縁は約80度の開度を持つことが要求されたのであったが、正確な加工がなされて細霧を予期のとおり噴出するものは、100個中わずかに18個で、残り82個のノズルは円錐状の噴霧を行わずしてほとんど棒状

に噴出する構造となり、したがって噴霧滴は粗大で大半は噴霧直後に落下するものとなった。要するに、ノズル加工技術の限界を超えた設計計算がなされたということが指摘されるのである。本装置製作者では、その後ノズル加工について再検討を行っているが、本研究の期限までには確かな見通しに達していない。

4.1.4 圧縮空気噴霧装置

上記三種の噴霧機の試作の過程において、従来からよく知られている圧縮空気を用いて細霧を作る方式も検討された。共立農機KKの好意によって75HPおよび150HP二種のエアーコンプレッサーを使用し、いわゆるpneumatic sprayの実験を数回に亘って行った。その結果は、液量に対する空気量の比を或一定値以上にするときは、噴霧のほぼ全量が滞留性の細霧となることが確かめられた。その限りにおいては、人工霧用として最も信頼すべき方式であるが、問題は動力と装置の巨大化であった。上記限界値を実用的に述べると、乳液1ℓを完全に細霧にするには、約12HPのコンプレッサーを要するのであって、150HPの大型コンプレッサーを用いて、ようやく1ℓ～12ℓ/minの細霧発生が行われるのである。空気圧縮機自体がすでに効率の低いものであることから、この方式を以て人工霧発生の実用機とすることはまず望み難いように思われる。

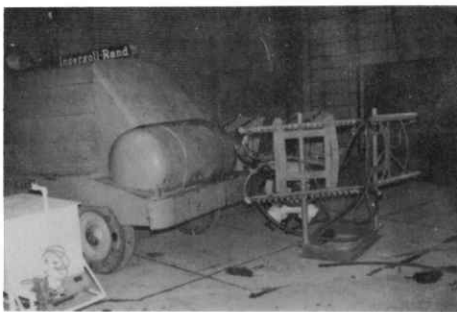


写真4 Pneumatic spray

4.1.5 霧発生装置の残された問題点

以上の三種の開発、装置ならびに圧縮空気噴霧装置は実用的観点からは今なお検討の余地を残すものであった。しかし、その改善に時間を費す余裕がなかったため、その後の現地実験では、機動性と、細霧量の大きさの二つの点から専ら加熱噴出式の装置(中型2台、大型1台)が使用された。この三台がともに好調に作動した時間は極めて短かく、何れかに何等かの理由の噴霧不調があつて、全体の細霧発生量は最高時で12ℓ/minを越えることがなかったのは極めて残念なことであつた。

4.2 現地実験の結果

人工霧発生装置の試験を目的とする屋外実験一回と、現地防霜実験の四回が三ヶ年の間に行われた。

屋外実験は東京国立競技場において、中型加熱噴出型二台と、圧縮空気噴霧機一台がそれぞれ運転され、霧粒測定(気象研究所による)と霧層による夜間放射抑止力の観測が行われた。同競技場は、完全に囲まれた長楕円の窪地として、霧の長時間滞留が期待されたのであつた。しかしながら偶々観測期間が冬型気圧配置の天候下に入ったため、上空に2m程度の風が卓越し、これが競技場内部に水平と垂直の渦を絶えず誘発して霧層の滞留を妨げた。そのために、霧粒測定は一応の成果を挙げたが、霧層の場内からの逸散が早く放射測定が十分に行われなかった。

現地実験四回のうち、第一の姉崎実験は、細長い帯状の谷地形として選ばれた。しかし、その観測期間5日も風雪に終始して何等の成果を挙げることはできなかった。

第二実験の愛知県長篠地区は、山間の深い溪谷地として選ばれた。ここでは前後三回の静夜に恵まれ、加熱噴出式の中型2台、大型一台を運転する実験が行われた。しかしながら、期待の大型機は、先述したような噴気状態となり、満足な噴霧が行われたのは中型一台だけで、霧層としては極めて薄いものであつた。それにもかかわらず、幅約200m、長さ700mの谷全般に霧層が拡がった場合の気象変化が求められた。

第三実験は、北海道農業試験場との共同下に42年9月末、水稻成熟前の霜害危険期に北海道上川町の水田で行われた。噴霧機は加熱噴出式の三台であつたが、このときもなお大型機が不調のまま運転された。試験地が二つの溪流の合流地点であ

ったために、異った温湿度の気団が交互に流れて、人工霧被覆効果の判定を難かしくしたのであったが、人工霧と併行して実施された現地農家の燻煙防霜、ならびに自衛隊燻煙防霜の二法との比較測定が実施できて有益な知見を得ることができた。本実験では、上記の外に広大な面積を持つ上川盆地の中央部にも場所を移して二回の観測の実験を行った。

第四実験は、福島県園芸試験場との共同研究として、開花期の梨園を対象とする防霜実験であった。この梨は、霜害を確実に受けるように、通常よりも約二週間開花が促進された園場構内のものであった。待望の大陸高気圧の本土上移動で強い降霜を見たのであったが、移動速度が大きく、かつその中心が北に偏ったために、夜間の風速も1~2 mとやや強く、風向も変化した。この時、始めて大型噴霧機は完全に機能したのであったが、風に流れてあまり濃密な霧層とならなかった。それにもかかわらず、霧に覆われた梨樹の花の凍害は、霧のない場所に比べて半減するという霧層の被覆効果が明確に認められたのであった。

4.2.1 人工霧の夜間放射の阻止効果

わが国の冬から春にかけての夜間快晴下では、地上の純放射強度は通常 0.1 ly/min 前後である。この強さで地面ならびに地表の植物体は大空に向かって放熱をつゞけ自ら冷却する。地面や植物体に比べて射出率が極めて小さい空気層は、自らの冷却は甚だ少なく、夜間においては、より冷却した地物に触れることによって降温してゆくのが常態である。したがって、静かな晴れた夜は、気温は

地上数十あるいは数百 m の高さまで上温下冷の逆転を呈する。

人工霧は、地面附近より高温な上層に射出率の高い水滴を漂わせるのであるから、第二章で触れたように、極めて少量の霧といえどもその存在は、地面上の純放射を減少させる。現地実験では、斉藤氏の計算値にもとづいて、地面 1 m^2 上に 2.5 g 以上の霧滴を浮遊させ、純放射半減を最低の目標としたのであった。しかしながら、細霧発生量の少なさと、予期以上の風速および風向変動のために、発生源から霧は帯状に流れがちで、上空全面を被覆することが極めて稀であったことと、稀に全空を覆った場合には、霧の密度が小さいという事態のもとで、放射半減の時間は数分程度という結果に終わった。しかしながら人工霧は薄層といえども、地上の純放射を確実に低下させることは確実である。次にその数例を掲げよう。

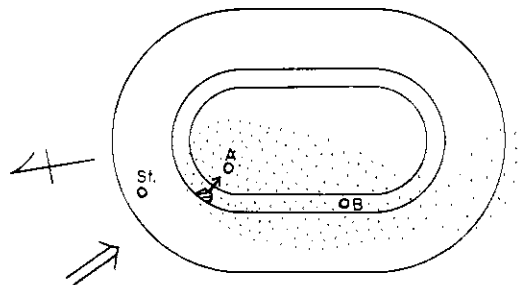


Fig.4-A. Plan of the Tokyo National Stadium. Net radiometers were placed at st.(fog free), A and B. Black spots show the fog layer.

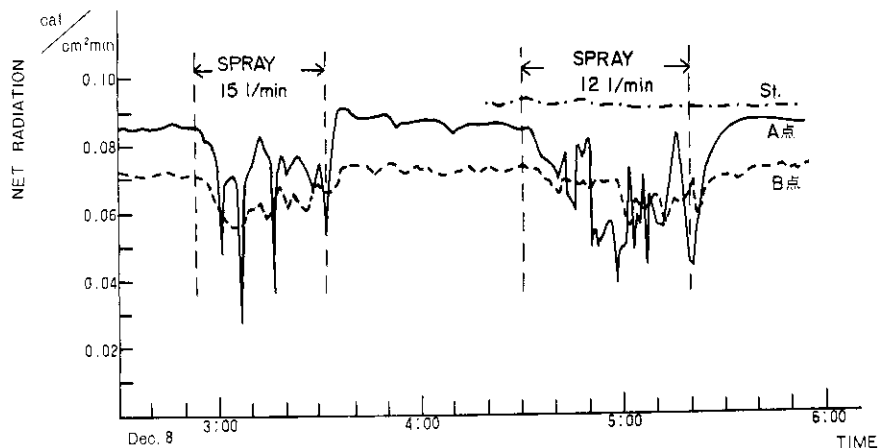


Fig.4-B. Changes of net radiation by fog covering.

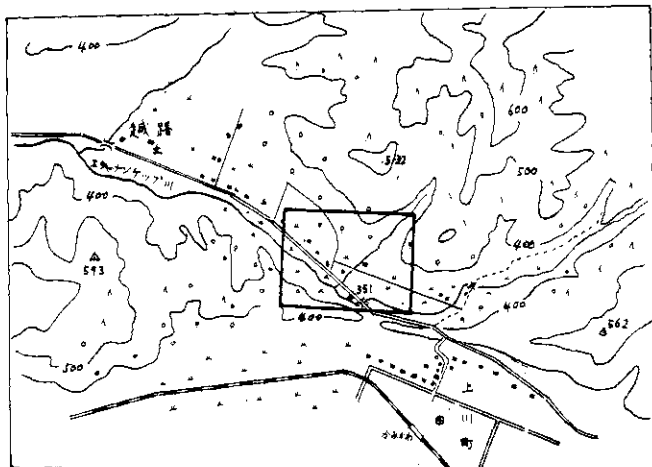


Fig.5. Site of fog tests at Kamikawa, Hokkaido.

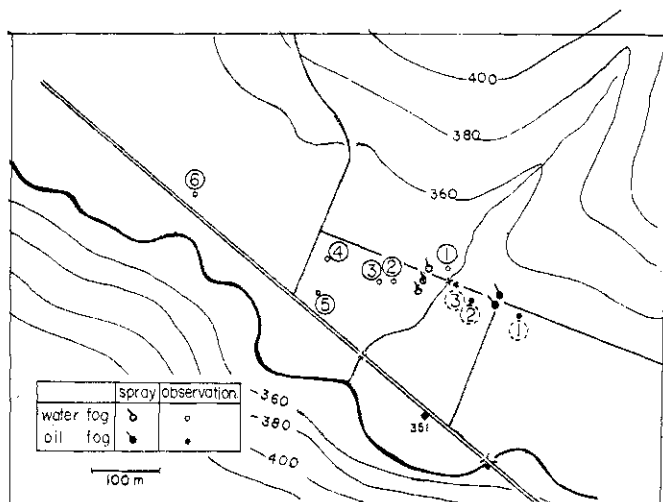


Fig.6. Sprayers and measurement points.

図4は、国立競技場において、150HPのコンプレッサー台を使用するPneumatic sprayを二回行ったときの霧層下二点の純放射の変化である。噴出量は15l/minと12l/minの二様であったが、前者では粗滴が多く、細霧の量としてはむしろ後者が勝るように観察された。噴霧点は競技場スタンド下のトラック北隅でA、B二点に放射計がおかれた。かなり濃密な細霧が噴射されたのであるが、上空を流れる主風が誘起する渦風のために、霧は西側スタンド上に巻き上げられて場

外に逸散し、水平視程50m(懐中電燈の光源の見えなくなる距離)の濃霧が立込めた時間は数分間しかつづかなかった。図上のA点の放射記録に起る深い谷がその濃霧時に該当する。霧層のないとき、0.085ly/minをほぼ定常的に示していた純放射が0.03~0.04と半分に以下に短時間ながら低下している。しかし、噴霧時間中の平均値としては0.065~0.07で放射の低下率は約20%であった。噴霧点から80m離れたB点ではA点ほどの濃霧がなかったために、放射は10~20%の範囲でやや連続した低下が起っている。それらの低下が確実に霧層のためであるのは同上スタンド上におかれた基準点の放射記録に照らしても明らかであろう。(第一回 sprayでは、基準点を西側スタンド上に採ったために霧層に被覆され基準とならなかった)。

この噴霧の前後、6個のバイメタル温度自記計が競技場の内外に配置されて気温が記録されたが、温度計精度以上の変化は霧層の下でも認められなかった。

次に、上川実験における人工霧内外の放射記録を比較しよう。上川実験は越路地区と上川盆地中央地区の二つに分れる。

図5は越路地区の位置と地形を、図6は実験地内の噴霧点測点を示したものである。越路地区は、東西に走る二つの山脈に挟まれた幅約400mの細長い谷で、この谷の夜間の主風は、谷を東から西に流れるエチャナンケップ川の流れに沿う山風である。噴霧点附近では、そこを南下する小渓流の沢からのカタバチック風も弱いながら主風に断

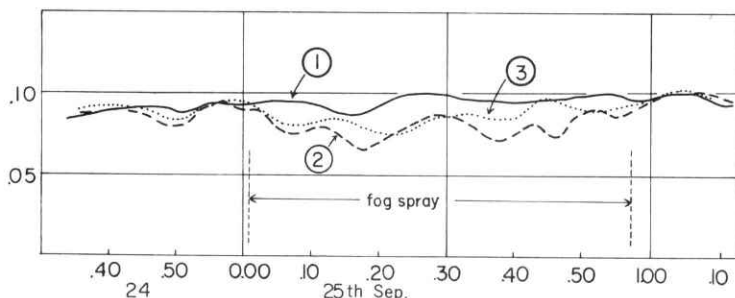


Fig.7. Reduction of net radiation owing to artificial fog covering.

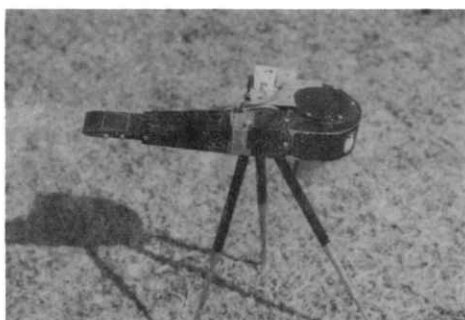


写真5 Net radiometer

人工霧の噴霧は加熱噴出式三台で行われた。大型中型各一台の噴霧状況が不調のため全体の細霧量はおよそ7.8ℓ/min程度に過ぎなかった。これに加えて、風向の変動のために、霧の流れは蛇行しがちで、谷全体に拡がった時間は極めて少かった。

図7は、噴霧点(3台を30mの直線上に配置)の風下40mと60mの測点2・3の放射の変化を基準点1のそれと比較したものである。基準点は風上30mの位置におかれた。NEの山風0.5

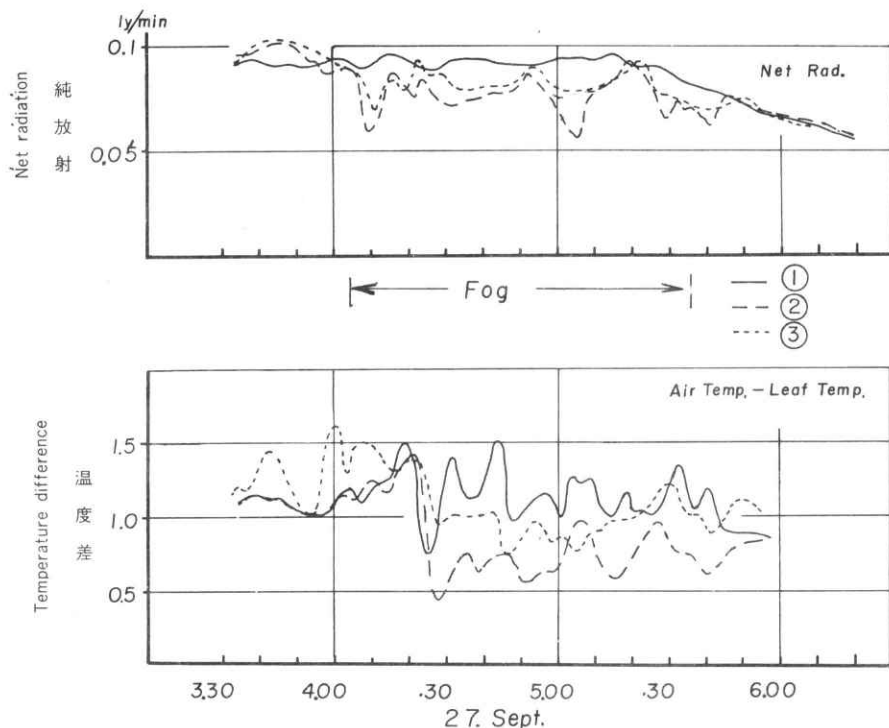


Fig.8. Reduction of net radiation and difference of temperatures between air and leaf owing to fog layer covering.

～1.5 m/s, 快晴で全く雲を認めなかった。噴霧開始直後から、測点2, 3の上空に霧が流れたが、全天を覆うことは少なく、雲量の表示法に従って表わせば大半の時間は、雲量3～8程度で経過した。その結果放射減退は最高時で約20%を示し、噴霧時間中の平均では測点2が約12%, 測定3では10%にすぎなかった。ただし、この数字は過少に示されていて実際はもっと大きな減退が起ったと見てよい。その理由は、噴霧点より数十mの距離では、放射計受感部は噴霧中の粗滴を受けて濡れるために、上面が冷却し、そのため外見上放射増大を示すことになるからである。落下滴は、蒸発防止剤に包まれているのであるが、通風型放射計の受感部を洗う約5 m/sの風を受けるときは、徐々に蒸発するに至る。そのため、粗滴を受ける受感部上面だけが冷却するのである。

放射の測定に用いた放射計は、写真5に示される小型通風乾湿計である。

図7とはほぼ同様の放射減退は、図8にも示される。噴霧時間中に強い、放射減退のあと再び放射が急昇しているのは、殆ど例外なく受感部の濡れによるもので、実際の放射強度は、記録よりもっと下ったものと見るべきであろう。

以上のほか噴霧実験では常に放射の測定がなされたが、例外なく風速が1 m以上もあり、かつ噴霧は点源で、霧量も大きくなかったので、図7, 8以上の強い放射減退の実例を得ることはできなかった。

4.2.2 燻煙法の放射阻止

上川実験の期間は、水稻の成熟期に当たった。現地農家は、未熟稲の霜害を軽減するために共同の燻煙を一夜実施した。この燻煙防霜には自衛隊の煙幕用発煙機の応援も加わった。この防霜燻煙とは別に、自衛隊発煙機二基の出動を依頼して、発煙法の放射阻止効果を調べる特別実験も実施することができた。以下に二種の燻煙の効果について述べる。

4.2.2.1 農家燻煙の効果

42年9月25日未明、快晴で降霜が予想されるに至って、越路部落の共同燻煙が開始された。開始時刻は3時10分、人工霧実験地のの上流約2 kmの間に約30の火点が設置されて、5時頃まで続けられた。その間、実験地より1.5 kmの上流では自衛隊発煙機が約30分間発煙した。

農家の燻煙の材料は、予め堆積された枯草、ワラ、青草ソダ等で、古タイヤが加えられたのは極めて少数であった。

このような燻煙も、開始から30分間は2 m前後の山風に流されて谷を覆うことはなかったが、4.00, 4.20, 4.32, 5.05の各時刻を中心とする5～10分間は風が止み、測点1, 2, 3の周辺に濃密な煙が立込めた。それに対する放射の変化は図9に示される。同回には測点6の放射ならびに煙濃度目視結果も併せて記されている。

なお、この燻煙時間の終期には人工霧の噴霧も加えられたが、その噴霧量は少なく、測点, 2, 3

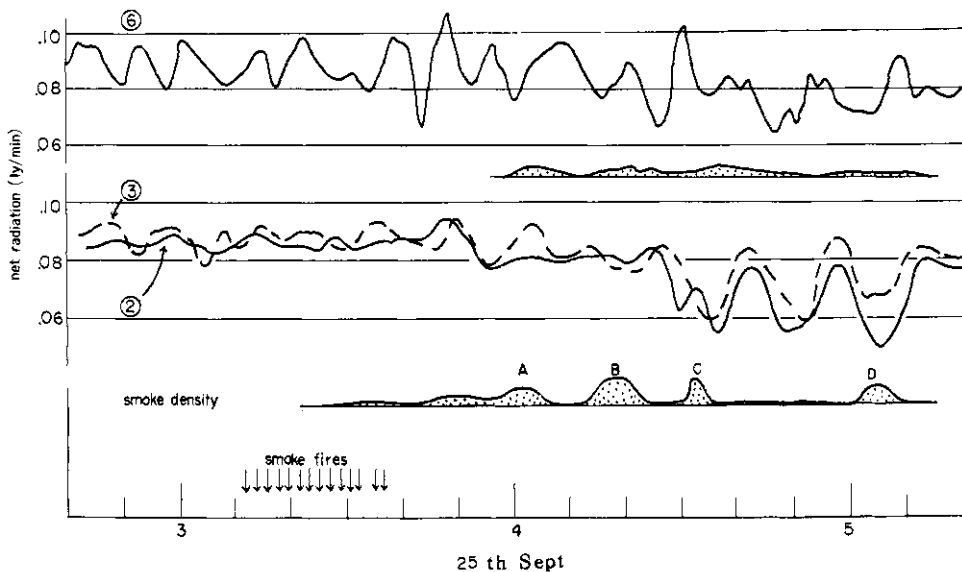


Fig.9. Net radiation under the smoke layer.

上に人工霧が広がった時間はわづかで、そのための放射の変化は極めて少ない。

図9における燻煙の濃度と放射の関係を見るに、濃密煙霧四回のうち、最初の二回には放射はほとんど変化を示していない。後の二回には、一見して、大きな放射の減退が対応しているようであるが、詳細に見ると、煙霧濃密化以前に放射の急降下が始まっている。この二回の濃密化は、通常の山嵐である東風が止み、逆に弱い西風となって、下流に流れていた煙が舞い戻ったものである。二つの大きな放射の谷(C, D)は、この西風を起した上層の気団のもたらしたもので、煙そのものの放射阻止の結果と考えられないのである。その理由は、C, Dともにその急降下が始まる時刻には上空に煙が無く、量が明らかに認められていること、また煙の濃化は、両例とも放射の最低時に現われていることが挙げられる。更に加えられる傍証は、測点6における放射の変化である。ここでは、発煙の前から放射は大きな起伏を示し、燻煙が広がった時間中も、その濃度に無関係に起伏をつづけている。わずかに数百m離れた同じ谷の地点で、波形が著しく違う放射の変化が起る理由は十分には説明できないが、多分に上空を流れる気層の性質の違いによるものと考えられ、測点6では、2・3上からの山風と、越路峠を越えて谷に入る別気流とが周期的に交錯したものと推定される。C, Dの二つの大きな変動は、6点上を流れていた別気流が2・3点上に押出してきたときに起ったものと判断するのが妥当のようである。C, Dの二つの谷の間にある同様な谷に対しては、燻煙も人工霧も対応していないこともその考え方の正しさを示す証拠となる。

以上要するに、農家の燻煙の放射阻止力については、ほとんど零に近いのではないかという結果に終わった。多少の阻止力は理論上否定できないのであるが、放射強度が変化する通常の晴夜の野外では、定量的に測り得ない程度の効果しか期待できないといって過言でないであろう。

4.2.2.2 油性煙霧の効果

自衛隊で使用される重油利用の煙霧の放射阻止力は、欧米諸国ではすでに微弱なものとされ、それを防霜用に使用する所はないようである。

上川実験における測定結果も全くそれを裏書きした。図10は9月27日夜半の一時間にわたる発煙機二基の煙霧実験の結果である。発煙機の構

造詳細は不明であるが、バーナーの外筒の赤熱部に重油を噴霧して反燃焼状の煙として噴出させるもので、数ミクロンの油滴であるが完全に乾性の灰白色煙である。これを二基並べて作動させ、その下流20mと70mの位置に放射計を置き、更に一放射計を上流部において基準とした。

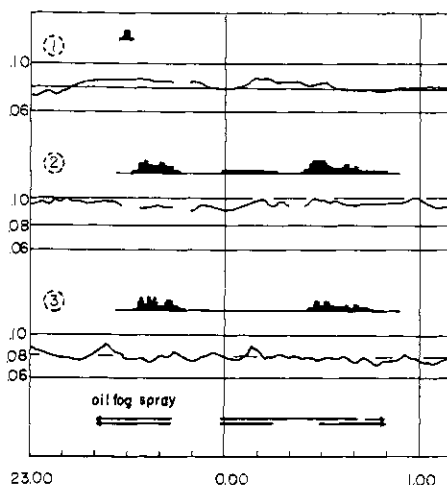


Fig.10. Net radiation under the oil-fog layer.

噴煙の初期に基準点上に煙が広がったが、以後は通例の山風となって南西に流れた。しかし風向変動のため、2・3上の煙の濃度は大きく変動した。測点2は途中で、煙の主流の中心に移り、最も濃密な煙のなかに十余分を経過した。そのなかでは2m離れた携行灯も認められないほどであった。煙の厚さは測点2では約10m、測点3では15m前後であった。

図10の記録を見るに、最も濃密な煙霧の中央においても、放射の値に全く変化が示されないことは驚くばかりであった。特に測点2の場合、濃密な煙は地上に接していて、その煙は多少の温熱を持つようにも感じられたが、それでも放射の減少は全く認められなかった。

なお、この放射記録は、放射計一台を、一個の電子管計器(日立QPD34, 2台および54, 1台)に接続して連続記録させたものである。測点1と2は、途中で放射計を交換して、放射の微変動が計器の特性によるものか地形性のものかの判定資料とした。測点3の記録の変動が大きいのは、同点が、小溪流に近く位置していたので、そ

の沢風の影響を受け、測点1を通る山風と空気の性質が異なるために起った変動である。測点2も多少この沢風の影響を受けている。

結論として、油性煙霧では最大の濃度の下でも、夜間放射の阻止力はまず零と見做して差支えない。農家の燻煙法に関しては、放射の背景に多少の問題があったが、油性煙霧実験では、その点にも何等の問題はなく、上記の結論はまず確実と見てよいであろう。

4.2.3 人工霧の保温効果

すでに、国立競技場における実験において、放射の軽減が2, 3割あっても、気温上昇の効果は認められないことを述べた。この場合、気温計の精度が低かったので、その後の実験では、棒状温度計の目盛を光学的に印画紙に記録する光画記録式温度自記計を製作して使用した。写真6がそれで、写真7はその記録例である。

この計器では、棒状温度計の感部は器体の下面5 cmの位置に露出し、放射は阻止されながら自然の通風は十分に行われた。温度計は $1/10^{\circ}\text{C}$ の精度を持っていて、記録にはほとんど誤差の入る余地がないものである。

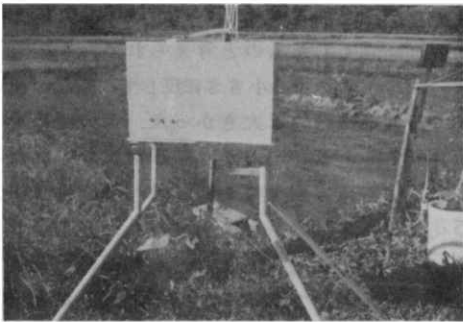


写真6 Optical thermograph.

本計器を使用して、長篠、上川の両実験では、放射計と併行して各測点で気温測定が行われた。しかしながら何れの場合も、人工霧被覆による気温降下阻止は認めることはできなかった。風向の変動に伴う気温の小変動は、ほとんど常に見られたのであったが、それを超える人工霧の影響は、実施された現地実験の規模では現われないようである。このことは、たとえば、500 mの区間にわたって多少の放射低下が起ったとしても、風速が1 m以上あるときは、空気の通過時間は数分間に過ぎないから、その間の冷却度を考えるなら当然のことと言えよう。

この様に気温に対する効果は、小規模被覆ではあまり期待できないのであるが、地物の温度低下には被覆面積の大小に係りなく有効であることが確認された。

本来、晴夜の気温低下は、地面の放射冷却が根本である。夜間の冷気流で霜害が引き起されるといった誤った通念があるが、夜間は、地物に対して気流は常に温風である。すなわち、地面や、地表の草木は、夜間放射の下では常に気温より数度



写真8 Leaf temperature is measured with a fine thermojunction contacted on the leaf.

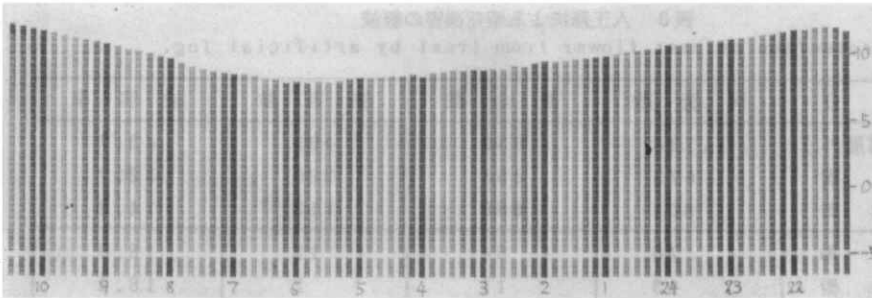


写真7 A record of air temperature by the optical thermal recorder.

低温である。

ここに、人工霧による放射減退の防霜効用が生れるといってよい。放射の減少によって、地物の温度低下は即時に緩和されることは容易に考えられることである。

その実証は、上川と飯坂の両実験で試みられた。上川においては、上川農事試験場によって育てられた南瓜の鉢植幼植物を各測点に配置して、その温度を気温差法で測った。0.1 mm 径の熱電対を写真8に示すように葉面に接着し、基準接点は光面気温計の感温部につけられた。両接点の温度差による起電力は、放射記録と同じ計器で併行して記録された。

その一例は図8の下段に示される。放射の記録と完全に一致しないが、人工霧発生以前に、気温より1.0～1.5°C低かった葉温は、放射の低下と共にその差を0.5～1.0と縮めている。気温は霧によってほとんど影響されないから、この差温の減少は葉温の上昇と見るべきである。風の変動のため気温葉温ともに変動するから、その差温の記録は複雑な変化を示しているが、霧のかからない基準点1の記録と霧下の2、3を比較するとき霧層の葉温への影響は明らかに認められる。

同様の測定は、飯坂実験において、梨の花について行われた。しかしながら、接着対象が繊弱で、接点が容易に離脱するために、あまり明確な結果が得られなかった。

4.3 人工霧による果樹防霜の効果

43年度末に、福島県園芸試験場では、その構内の梨樹(品種長十郎)二本にビニルハウスを掛け、その開花を通常より約二週間早めた。通例の開花期には霜害低温が確実に期待されないために行われたものである。(写真2)

4月11日夜、移動性高気圧の範囲に入って、放射は0.1 ly/min を越え、12日2時に地表では霜を見るに至った。人工霧噴霧は3台の加熱噴出式で1時45分に開始され、日出后1時間の6時30分まで継続された。風速は地上10mでは2～3mが連続し、風向は、夜半の南西から日出

頃の西風に順転し、その間、南、北西の風もあった。この風向変化のため、基準に選ばれた梨樹にも霧がかかることが予想されたので、噴霧開始直前に二本の供試樹から数十種の枝約30本を切取り、これを風上の細に移し、梨棚と同じ高さに並べて基準とした。この操作は、すでに結露が始まっているなかで行われたから、切取りによる乾燥の恐れは全くなかった。

二本の供試樹中№1は、主風向下からはづれたために霧の被覆時間は噴霧5時間中の約 $\frac{1}{5}$ にすぎなかった。№2は、大半の時間は霧層下にあったが、後半主流から少しはづれたために、上空の霧層は薄く、天頂の星が隠れた時間は極めて少なかった。

霧量は全体では約12ℓ/min に達したのであるが、風速が大きかったので、霧の流れの中心においても、霧水量は毎平方m上3～4gと計算された。しかし、三条の霧の流れは幅が狭く、供試樹から見て全天が完全に霧層で覆われることはなかった。

以上のような状況下で、供試樹の傍で測られた放射は、短時間ずつの軽微な減退を示すに止まった。本実験の場合、放射計上に絶えず細滴の微量が落下して、上面を軽く湿らせたことも外見上放射減退を小さくしたものと考えられる。

放射記録への影響の小ささに反して、梨花の凍害に対する効果は意外に大きかった。その値は表3に示されるとおりであるが、基準点におかれた花の43.7%が凍害を受けたのに較べて、供試樹№2の花は14.2%の被害に止まった。霧被覆の少なかった№1樹の花は32.7%と基準花に近い値を示した。蕾について見ると、基準、№1がともに18%台であるのに対して、№2樹は0%と顕著な対比を示した。

表3 人工霧による梨花凍害の軽減
Protection of pear flower from frost by artificial fog.

凍害対策	区 分	調 査 数	健 全 数	被 害 数	被 害 率
花	基準(霧層外)	1,134	639	495	43.7
	№1 樹	673	453	220	32.7
	№2 樹	801	688	113	14.2
蕾	基 準	76	64	12	18.8
	№1 樹	13	11	2	18.2
	№2 樹	54	54	0	0

凍害の判別は、園芸試験場果樹部原田良平氏の永年の凍害研究によって確立した方法に従い、同部の職員の作業で行われた。その方法は、花、蕾ともに、中心を切開し、子房の変色を調べるのである。被害果樹は、凍害後数時間経過すると、子房内部にまづ変色が起こり、健全花と明確に区別できる。

上表被害率の差は、その調査個体数の数から見ても十分に信頼できるものであろう。

本実験の終了時、放射記録の上に明確な抑止効果が認められなかったので、凍害防止の作用もほとんど期待されなかったのであったが、予想を越える防止効果となったことは、人工霧防霜法の将来に対して更に希望を強めさせると同時に、三か年に亘る人工霧研究の終幕を飾るものであった。

5. 今後の問題点

本研究終了に当って二つの大きな問題が残されている。それは人工霧の質と量の問題である。

第一の質に関しては、本研究の過程で得られた霧粒は滞留性の滴でも、なお自然霧の微滴に較べて大きい。同一の霧水量でも、滴が大きいときは、放射阻止力が小さいことが理論的にも考えられるが、野外実験の度により微細化の必要を痛感した。今後の人工霧発生装置においては、霧粒径の中心は10ミクロンを目標にする必要が感じられる。

第二点は、霧発生量あるいは発生密度に関する。これまで、一基の装置の噴霧量を10～20ℓ/minを目標として来たが、これでは、噴霧は散在する点源から行われることになる。この方式によると、夜間の安定の冷気流では側方への拡散が弱いため、霧の流れは帯状となり、無被覆の縞が残る。こ

の欠点は、線源の噴霧によって解決されよう。

人工霧法は本来村落や大面積圃場を対象とするものであるが、それに至るには、先づ小面積の圃場に対する効用が確認される必要がある。この場合、大量の一点噴霧は、風向の変動というさけ難い現象によって、その効果は容易に目的圃場の外に流される。理想的な方式は、圃場の風上側全縁からの幕状噴霧でなくてはならない。この問題点については、本研究の末期に知った衝撃破砕噴霧法が一つの解答として期待できる。それは30 kg/cm²程度の圧力を加えた水を、0.25mm程の細孔から噴出させ、細孔の直前に置かれる円柱断面に衝突させて霧化を計る方法である。極めて最近にその実験が米国で行われた。今後の人工霧研究においては是非試みたい噴霧方式である。

6. 謝 辞

本報告を終るに当って、この研究が、実に多くの人々の援助と協力によって進められたことを思わずにはいられない。総合研究の提案を採択された国立防災科学技術センターと本研究の分担者各位並に現地実験関係機関の他に、特に下記の方々に深い感謝と御礼を申し上げる。

（噴霧機に関して）共立農機KK、昌和工業KK、東北大工学部武山斌郎教授、（現地実験に関して）福島園試山根場長、東海近畿農試加藤一郎博士他、静岡県柑橘試験場小中原実技師、（現地実験特に過酷な夜間噴霧作業に関して）千葉大学相原良安助教授、太巻光彦助手、古在、川名、藤野、山本、山口、緒方、坂井、曾我、山岸、の学生諸君、北海道農試阿部技官、現東大工学部助手増田剛志君。