

## 霧や雲の人工消散に関する研究の展望〔II〕蒸発法

浅井辰郎\* 西沢利栄\*

霧や雲を消散する方法は2つに分けられる。その1つは前回報告した霧粒や雲粒を多く寄せ集めて重力で落下させる physical removal method (凝集法) と呼ばれるものであり、その2は霧粒や雲粒を蒸発させる evaporation method で、これには空気をあたためて雲霧粒を蒸発させる加熱法と、空気を乾燥させ雲霧粒を消散させる蒸気圧差利用法とが考えられる。今回はこの evaporation method を展望し、十分とはいえないこの文献収集に対し、多くの方々の御指導、御助言を得たい。

### III. Evaporation method

#### 1° 油の燃焼および電熱による空気加熱法

この空気をあたためる方法は、詳細は不明であるが、London fog で有名な英国で、第2次大戦中に“Fido”という大規模な研究がなされ飛行場の霧退治に成功しているという。そのころ、わが国でも北海道、千島周辺の霧退治が取りあげられ各方面から研究されたことは前報で述べた。この中で、高橋<sup>31)</sup>、三宅<sup>32)</sup>、吉田・高野・黒岩<sup>33)</sup>が理論および実験両面からの研究を行っているのでその概略を述べることにする。

この空気をあたためて霧や雲を消す方法では、どれくらい空気をあたためたらよいのであろうか。これにはまず霧粒や雲粒が空気中にどれくらいあるかを知っておく必要がある。雲霧中の含水量は垂直的にも時間的にも変化した視程によっても著しく違うが<sup>32)-36)</sup>、温度  $t_1$  °C の空気が飽和水蒸気量  $w$  g/m<sup>3</sup>、雲霧水量  $m$  g/m<sup>3</sup> を含むならば飽和水蒸気 ( $w+m$ ) g/m<sup>3</sup> に相当する温度  $t_2$  °C まであたためれば  $m$  g/m<sup>3</sup> の雲霧水量は蒸発する。したがって  $\Delta t = t_2 - t_1$  だけ空気をあたためれば良い。そこでかりに含水量が1 m<sup>3</sup> に0.1g あるとして、 $\Delta t$  を求めると第4表のような値を示し、ほんの僅かな温度上昇で雲霧は消えさってしまうことになる。しかし雲霧のあるときの相対湿度は乾性の場合しばしば100%以下であることや、次々と移動する雲霧粒をなるべく早く蒸発させる必要のあることなどから、第4表に示す  $\Delta t$  以上に昇温させることが望ましい。雲霧粒の蒸発に関する研究は、Frössling<sup>37)</sup>、荻原<sup>38)39)</sup>、Kinzer と Gunn<sup>40)</sup> をはじめ

第4表

気 温 (°C)	0	5	10	15	20	25
雲霧中の含水量を蒸発させ飽和にする温度上昇高 (°C)	0.20	0.22	0.17	0.13	0.10	0.08
雲霧中の含水量を蒸発させ相対湿度を90%にする温度上昇高 (°C)	2.33	2.18	2.07	2.01	1.99	1.99

として多くの人々によってなされているが、荻原によれば、気温10°C、相対湿度90%のなかで直径12 $\mu$ 程度の霧粒は約0.9秒で消失することがわかる。いずれにしろ空気をあたためて雲霧粒を蒸発させるためには相対湿度を90%前後になるようにすることがよいであろう。このために昇温さすべき値を求めてみると、第4表に示したように空気の温度によって異なるが、おおよその値は2°C前後である。そして、これだけ空気の温度を上げるに要する熱量  $Q$  は

$$Q = \rho C_p \Delta T + Lm \dots\dots\dots (22)$$

であり、式中  $\Delta T$  は気温の上昇、 $C_p$ 、 $\rho$  はそれぞれ空気の定圧比熱と密度であり、 $m$  は単位体積の空気中の水蒸気の量、 $L$  は水の蒸発熱である。今  $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$ 、 $C_p = 0.24 \text{ cal/g}$ 、 $m = 0.1 \text{ g}$  として  $Q$  を求めれば第5表のようになる。したがって動かない巾100m、高さ100m、長さ

第5表

気 温 (°C)	0	5	10	15	20	25
雲霧中の含水量を蒸発させ飽和にする熱量 (cal/m <sup>3</sup> )	145	123	108	97	88	82
雲霧中の含水量を蒸発させ相対湿度90%にする熱量 (cal/m <sup>3</sup> )	733	689	657	639	634	634

\* 資源科学研究所 (新宿区百人町 4-400)

1000mの空間の霧を1例として、その霧を退治するに必要な最小限の熱量を気温15°Cの場合に霧水量 0.1g/m<sup>3</sup>として求めると  $97 \times 100 \times 100 \times 1000 = 10^9$  cal となる。この熱量は揮発油 1g の発熱量を 10<sup>4</sup>cal として  $10^9/10^4 = 10^5$ g = 100kg の量があればよいことになる。しかしこの値はあくまで霧消散に必要な最小熱量であって実際には 1) 風のために次々と霧が侵入して来ること、2) あたたまった空気塊は上昇して熱は上に運び去られてしまうこと、3) 側面からの霧が侵入すること、4) 大気を一様にあたため得ないことなどによって上述の値以上を必要とすることは当然であろう。例えば、風速 5m/sec のとき高さ 100m、巾 100m の空気を10分間引きつづいて霧を消すためには  $5 \times 100 \times 100 \times 10 \times 60 = 3 \times 10^7$  m<sup>3</sup> の空気塊を適当な温度にあたためることになり熱量としては  $97 \times 3 \times 10^7 = 3 \times 10^9$  cal で揮発油 300kg が入用になる<sup>31)</sup>。吉田・高野・黒岩<sup>32)</sup>は高さ 2m の台の上に木製風洞 (67cm×67cm×540cm) を作り、風洞の口を風の方向に向け、自然風によって霧が通過するようにし、風洞の入口から 130cm のところに、ニクロム線を約 4cm 間隔に張った木枠を 5 枚とりつけ、200V の電源で 8KW の電力を供給して霧消散の実験を行った。この結果でも風速と上昇温度および霧濃度とは密接な関係があり、電気熱源から計算によって求めた温度上昇と実際に観測された温度上昇の間にはかなりの隔りがある。また地面付近であたためられた空気塊が上昇し熱が散逸するか否かは霧や下層雲が出現しているときの大気成層状況に関係し、多くの場合第 6 表やわれわれがヤマセ時の雲について求めた雲頂底の温度等<sup>12)</sup> からわかるように雲霧上層に逆転がみられ、上昇する空気塊はこの逆転層にさえ

第 6 表 霧発生時の下層大気の時温分布例

高 度 (m)	温 度 (°C)	気温減率 (°C/100m)
地上	9.93	-1.1
50	9.40	0.5
100	9.74	0.8
200	10.54	0.9
300	11.48	

ぎられる。次に、あたたまつた空気は上昇とともに断熱膨脹で冷えるから、地上で丁度霧が消えるようにあたためても上空では消え去らないであろう。第 3 表の気温分布を仮定し、気温が 0.1°C 昇れば消える程度の霧水量を含む霧を 100m の高さまで消すには、あたためた後の気温が乾燥断熱で減減するものと考えて、1m<sup>3</sup> 当り約 290 cal 必要となり第 5 表上らんのおよそ 3 倍になる。

高橋<sup>33)</sup>は石油と重油の混合した火焰放射機を用いて霧消散の実験を根室種馬所で行っている。実験にあたっては高さ 30m 程の鉄塔上から 11ℓ の燃料を短時間に放出した。この際火焰の長さはおよそ 10m くらいで、全発熱量は、油 1g の発熱量を約 10<sup>4</sup>cal、密度を 0.7g/cm<sup>3</sup> とみると  $0.77 \times 10^8$  cal となる。したがって 10 分間には約  $3 \times 10^9$  cal の熱量となり、もちろん充分とはいえず霧の消散は望まれない。しかしこの実験から視程に対する煙の逆作用やあたためられた空気の拡散状況を知ることができた。拡散係数  $K$  はそれぞれ

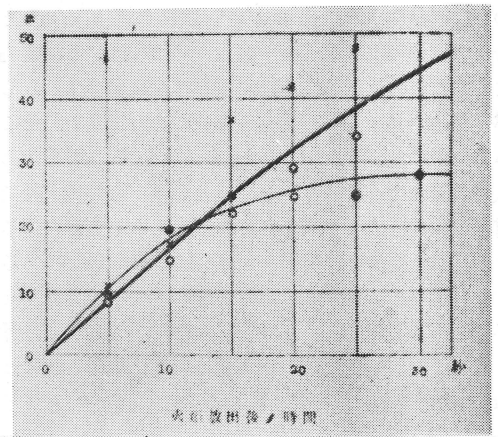
- $5 \times 10^4$  cm<sup>2</sup>/sec 水平方向、風向に平行
- $1 \times 10^4$  cm<sup>2</sup>/sec 水平方向、風向に直角
- $2 \times 10^3$  cm<sup>2</sup>/sec 鉛直方向

となった。また煙の輪郭の巾  $w$  は

$$w^2 = 48 Kt \dots\dots\dots (23)$$

となる。ただし、 $t$  は煙放出後の時間。

さらに大切なことは鉛直方向の拡散が小さいことである。これは低い所に気温の逆転があり、あたためられた空気の上昇がそこで阻止されているためである。火焰から出た熱泡は相当に温度が高いから十分浮力があり上昇して行く。その中心の高さと火焰放出後の時間との関係を見ると第 12 図のようになり図中太線は 15 秒間火焰を放出したものであり、細線は 8 秒ずつ 20 秒おきに分けて出した場合のもので、放出熱量が多いと高いところまで昇る傾向がある。それゆえ上昇速度を小さくするためには熱泡の大きさを小さくし、あまり温度をあげないようにすることが大切であろう。またこのように上昇して行く熱泡の温度変化を調べ、熱泡のもつ全熱量を求めてみると、油の発熱量の 40% 程度であることがわかった。これは熱泡が高温のため輻射による熱損失が大きいためであ



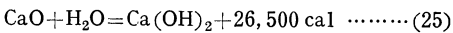
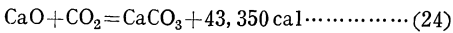
第 12 図

ろう。

加熱による霧消散は実は日出後1~2時間で霧が急に後退しはじめることでも常に経験することであって、堀<sup>41)</sup>、守田・大川・佐々木<sup>42)</sup>の詳細な研究があるが、今回は省く。

**2° 化学反応熱法** 油の燃焼や電熱を利用する直接加熱法は地上近くの霧には適用されようが、上空の雲には不適當である。

Houghton と Radford<sup>3)</sup>はこのためには CaO 粉末を雲霧中に散布し次のような反応熱を利用し得ることを示している。すなわち



の反応が生起すると考えられ、2つの反応のうち(24)の方が優先する。そうしてまた CaO の散布量に対し CO<sub>2</sub> が不十分のときには(25)の反応が生じるであろう。大気中における CO<sub>2</sub> の量は体積比率が 0.03% とすると約 1 m<sup>3</sup> 中に 0.553g 含まれることになる。それ故 CO<sub>2</sub> のこの量と反応する CaO は約 0.704g であって反応熱は約 546 cal 生じることになる。これは第 5 表からもわかるようになりかなり希望のもてる熱量であり、さらに CaO の散布量によっては(25)式による反応熱も利用できる。ただしこの方法で十分考慮せねばならないことは、CaCO<sub>3</sub> と Ca(OH)<sub>2</sub> は反応後どうなるかということと CaO をいかにして雲霧中に均一に散布するかということであろう。

**3° 赤外線吸収法** 先にも述べたように霧を透過した日射が地面に達し、さらにその 1 部が空気中に移るため日出後 1~2 時間で霧の消失をみるのであるが、このとき消費されている熱量を見積ってみると<sup>31)</sup>、もちろん時刻や霧の濃度が違うが、霧を通過する日射量を平均 0.5 cal/cm<sup>2</sup>・min とし反射や地面をあたためるに用いられる日射量を 50% とすると 0.5 × 0.5 = 0.25 cal/cm<sup>2</sup>・min の熱量を地面から与えられながら海岸等から上陸した霧は内陸に数 km 入った所で消失することになる。いま風速を 5 m/sec、霧の厚さ 200m とすると霧はおよそ 15 分間くらい地面からあたためられて消失するのであるから、そのときの 1 m<sup>3</sup> 当りの熱量は 15 × 0.25 × 1/3 × 10<sup>2</sup> × 10<sup>-4</sup> = 170 cal/cm<sup>3</sup> となる。これは丁度前記した値と同じ術である。そこで雲霧中適当な高度に日射を強く吸収する層を作ってやることも 1 つの方法として考うる<sup>3)</sup>。そしてこの方法を用いるには Hewson<sup>43)</sup>、Haurwitz<sup>44)</sup>、Neiburger<sup>45)</sup>、Fritz と MacDonal<sup>46)</sup> や菊地・山崎・大川・守田<sup>47)</sup>によって研究されている雲霧による日射吸

収とその厚さとの関係、さらに雲霧中の含水量分布や雲霧粒の粒径分布に関する研究は非常に大切な基礎資料になるであろう。

**4° 多孔質物質および吸湿性物質散布法** 多孔質物質や吸湿性物質は大気中の水蒸気をその表面に吸着しやすく、急速に水滴を成長させて降雨をひきおこすことは Ludlam や Woodcock によって提唱されたところである。木下<sup>48)</sup>は乾燥した食塩粒子(約 1.1 × 1.1 μg)を固体の状態から急に水蒸気で飽和された空間においたとき、凝結開始後 1 分 30 秒で固体部分が消え去り、食塩水滴となることを明らかにしている。このようにしてできた吸湿性物質の溶液滴はその表面における飽和蒸気圧が純水滴より低く、早く成長する。蒸気圧降下が濃度に比例するとすると比例定数は NaCl が 0.926、MgCl<sub>2</sub> が 1.24、CaCl<sub>2</sub> が 1.55 をそれぞれ示す。この性質を利用した実験については前報告でもふれたことがある。

三宅<sup>9)</sup>は酸性白土とベントナイト粉末を用いて霧消散の風洞実験を行っている。この実験に用いた粉末の大きさは第 7 表に示したもので白土の方が小さい。これら各粉末を相対湿度 100% の容器内に半日くらい放置し、粉末 100g に対する吸湿量を調べてみると第 8 表に示したように白土の方が吸湿量が多くなっている。次によく乾燥した粉末を 1 回に約 200g ぐらいつつ手動送風器によって一様に撒き、自然風によって風洞内を通過せしめ、

第 7 表 酸性白土及びベントナイト粉末の粒径頻度

大きさ (μ)	<5	5~10	10~15	15~20	>20
酸性白土	56%	30%	9%	4%	1%

	<10μ	10~30μ	30~50μ	>50μ
北海道産ベントナイト	19%	73%	5%	3%
関東産ベントナイト	17	80	3	0
信州産ベントナイト	21	57	9	13

第 8 表

	乾燥白土 100g に対する吸湿量 (g)
原試料	15.4
115メッシュで篩つたもの	16.2
115メッシュを通らぬもの	14.5

	乾燥ベントナイト 100g に対する吸湿量 (g)
北海道産ベントナイト	11.1
関東産ベントナイト	12.3
信州産ベントナイト	9.1

粉末が通過し終った直後にスライドガラスを曝露して霧粒を採取したところ第9表のような値を示した。これによるとベントナイトの霧消散効果は酸性白土に比べると極めて小さく、これはベントナイトが白土に比して飛散しにくい性質を持っているためであろう。さらに三宅は塩化カルシウム飽和溶液を噴霧器で散布したが、あまり良い結果はえられなかった。このような否定的結果に加えて塩化カルシウム飽和溶液は金属に対してもけって

第9表 粉末散布による霧粒数の変化

実験	酸性白土		ベントナイト	
	処理前	処理後	処理前	処理後
第1回	1.00	0.55	1.00	0.85
第2回	1.00	0.52	1.00	0.96
第3回	1.00	0.56		
第4回	1.00	0.53		

よいものではなく、またそれ自体の取り扱いも容易でないことからあまり重要視していない。

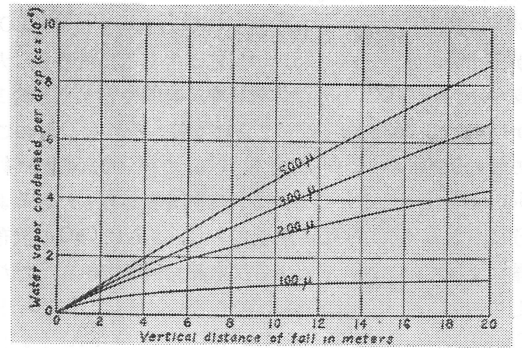
これに対し Houghton と Radford は塩化カルシウムは極めて吸湿性が大きく、比較的安く、また無毒であることなどから、最も適当な物であるとして理論的考察および実験研究を行っている<sup>49)50)</sup>。この種の方法で霧の消散を行う場合は、勿論基本的には散布された溶液粒が雲霧中に一様に分布し、なるべく早く雲霧粒子を蒸発させて溶液粒上に凝結させ、溶液粒自身は浮遊せずに落下するような条件が必要である。そしてこの落下に費す時間、すなわち水蒸気の凝結を受ける時間は風速や消散を行う空間の広さによるであろう。そこで1例として高さ10m、巾40m、この面に直角に毎秒5mの風が霧をもたらずとして、この風が100m吹きゆくに要する20秒ぐらいで蒸発しうることが望ましいという。なお霧粒中50μより大きいものは完全には蒸発しえないであろうが、この程度の粒径をもつ水滴数は少いので、視程にはそれ程の影響はない。つぎに50μの粒径を持つ水滴が20秒以内に蒸発しうるには空気の相対湿度をどれくらいにしたらよいかを、定常状態の水滴について求めてみると、気温20℃で87.5%、10℃では84%である。しかし霧粒の直径が小さくなる程蒸発もはやいので相対湿度を90%くらいにすることで充分であろう。ではこの程度の相対湿度を得るためにはどれくらいの溶液を散布したらよいであろうか。溶液粒子上に凝結するために放出される潜熱は空気をあたためるのでこれによる消散効果もある筈である。凝結の潜熱の95%が空気をあたためるに使われると考えると凝結後の気温  $T$  は

$$T = T_0 + \frac{556w}{C_p M} \dots\dots\dots (26)$$

で、そのときの相対湿度 R. H. は

$$R. H. = \frac{W_0 - w}{W_T} \dots\dots\dots (27)$$

であり、式中  $T_0$  は最初の気温、 $w$  は凝結した水蒸気量 ( $g/m^3$ )、 $M$  は空気の質量、 $W_T$ 、 $W_0$  はそれぞれ気温  $T$ 、 $T_0$  のときの飽和水蒸気圧である。そこで、 $T_0 = 20.5^\circ C$ 、 $R. H. = 87.5\%$  と、 $T_0 = 10.5^\circ C$ 、 $R. H. = 84\%$  のときの凝結すべき量  $w$  を求めると  $0.78g/m^3$  と  $0.77g/m^3$  がえられ、空気の温度は  $1.5^\circ C$  上る。一方散布された水滴の粒径、その落下距離、凝結量との関係 (第13図) および spray nozzle によって作り出される溶液滴の粒径分布とから溶液1ccを散布した場合の全凝結量が求められる。第10表は第14図に示すような hollow cone

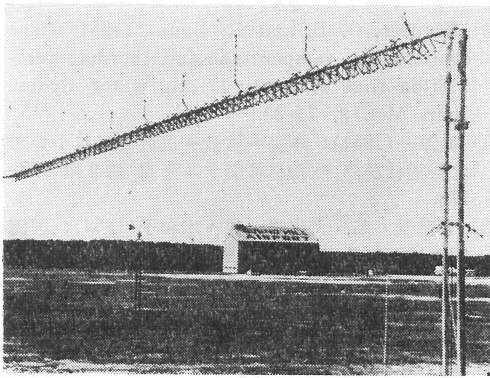


第13図

第10表

水滴直径 (μ)	溶液1ccを散布したときの水滴数	
	hollow cone型 散布器	改良型散布器
50	43000	107000
100	22200	84000
150	16800	43500
200	10300	28600
250	6500	18900
300	4500	9900
350	2300	4250
400	2000	2700
450	1900	1400
500	1600	1100
550	900	550
600	800	370
650	600	180
700	400	90
800	300	—
900	150	—

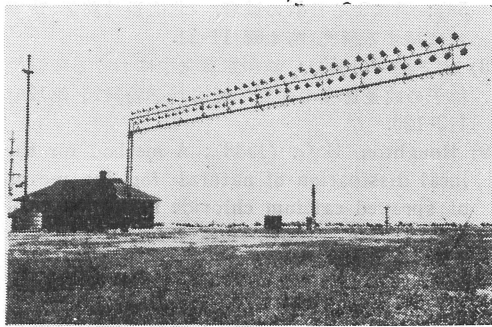
spray nozzleとこれを改良した前報第1図および第15図に示す spray nozzle によって作り出された粒径分布であり、第11表は第10表に示すような粒径分布をする溶液



第14図

第11表

落下距離	気温	1 ccの散布量当りの水蒸気凝結量	
		hollow cone型 散布器	改良型散布器
10m	10.5°C	0.126cc	0.303cc
	20.5	0.187	0.405
20	10.5	0.213	0.480
	20.5	0.282	0.616



第15図

滴 1 cc によって凝結される水蒸気量を示す。

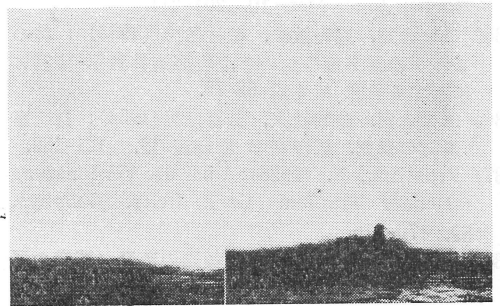
そこで前述した凝結水蒸気量  $w=0.78\text{g}/\text{m}^3$  と  $0.77\text{g}/\text{m}^3$  を得るために散布すべき溶液量を求めると落下距離 10m として hollow cone 型では気温  $10.5^\circ\text{C}$  で  $6.11\text{cc}/\text{m}^3$ ,  $20.5^\circ\text{C}$  で  $4.17\text{cc}/\text{m}^3$ , 改良型ではそれぞれ同じ気温に対し  $2.54\text{cc}/\text{m}^3$  と  $1.92\text{cc}/\text{m}^3$  になる。それゆえ、毎秒  $2000\text{m}^3$  の霧を消散させるためには hollow cone 型で  $12.2\text{ l}/\text{sec}$  から  $8.3\text{ l}/\text{sec}$ , 改良型では  $5.1\text{ l}/\text{sec}$  から  $3.8\text{ l}/\text{sec}$  必要になる。この実用化を Houghton と Radford は 1934 年の春、Round Hill の飛行場に full-scale の散布器を設置して実験した。設置するに当たってはもちろんその地域の霧発生時の卓越風向に直角な線上に適当な規模のものを設けた。この散布器から撒かれる

溶液滴は拡散されながら風下へ流れて行くが、今散布器設置の線の中心から風下へある距離拡散したとき、霧を蒸発させ得る能力の逆数 (concentration of cleared air)  $E$  は

$$E = \int_0^H \int_0^W \frac{2 dh dw}{CC^1D^2} = \frac{2 HW}{CC^1D^2} \dots\dots\dots(28)$$

で表わされる。式中  $H$  と  $W$  はそれぞれ散布器が設置されている高さとその巾であり、 $C$ ,  $C^1$  は風の方向の拡散距離に対する水平および垂直方向の拡散率、 $D$  は風の方向に測った散布器からの距離で、 $W/C$ ,  $2H/C^1$  より大きくなければならない。Houghton と Radford は (28) 式中の  $C$ ,  $C^1$  を煙の拡散状況から Round Hill 飛行場について求めている。この値は勿論天候によっても異なるであろうが、 $C=0.15$ ,  $C^1=0.10$  であった。また  $E$  はその地域の霧水量等によってきまるもので、Round Hill では霧水量が約  $0.2\text{g}/\text{m}^3$  を示すので、いま気温  $20^\circ\text{C}$  で空気  $1\text{m}^3$  あたり  $0.78\text{g}$  の水蒸気を凝結させ、相対湿度が  $87.5\%$  になるように溶液を散布したとすると、凝結熱で気温は  $1.5^\circ\text{C}$  上昇する。ここで相対湿度が  $100\%$  になるまで水滴を蒸発させるとすると尚  $1.12\text{g}/\text{m}^3$  の水蒸気を含ませうことになり、霧水量の約  $1.12/0.2=5.6$  倍で  $E = \frac{1}{5.6} = 0.1786$  となる。

そこで  $H=10\text{m}$  とし散布器から  $500\text{m}$  くらいまでの霧を消散したいときには (28) 式にそれぞれの値を代入し、 $W=33\text{m}$  が得られる。この  $33\text{m}$  に Houghton と Radford は hollow cone 型 100コ、(第14図)、改良型 70コ (第15図) の散布器を取りつけ、種々の条件下で前後 9 回の消散実験を行った。風速が  $4\text{ m}/\text{sec}$  以上であまり変化しないときが最もよい結果が得られ、長さ  $600\text{m}$ , 巾  $30\sim 50\text{m}$ , 高さ  $15\sim 20\text{m}$  ぐらいが消散された。消散に気温はあまり影響しないことも認められた。第16図の写真は実験開始前と終了後の写真であるが、この写真の中にみられる風車小屋はカメラの位置から  $300\text{m}$ , 散布器から  $400$



第16図

m離れた所のもので、実験前後における視程は250mから750mに変化している。

5° 擾乱法 雲霧層の上方からの熱拡散による消散<sup>51)</sup>や地面附近に霧のかからないことから、空気を擾乱するとか<sup>52)</sup>乾燥した空気を霧中に送りこむ<sup>53)</sup>などの方法も考えられるが、この種の方法は要するエネルギーが大きいのであまりよい方法とはいえない。

#### IV. 結 び

雲霧の消散法は意外に種類多く、実験も相当に行われていることがわかる。しかしいまのところ、どの方法もヤマセ雲はおろか、一飛行場に対してでも恒常的実用化は困難のようである。それは雲・風・日射などの状態が大きく変化することのほか、経費や他への悪影響のためと推測される。わたくしどもは諸賢の御指教によって消霧問題が最も切実な飛行場について、内外の資料をさらに集めてみたく思っている。片鱗なりとも御存知の方は御通知賜りたい。

この展望から気付くことは、エネルギーの輸送が最も簡単であり、それだけ空間的制約の少ない電気的方法にまだまだ開拓分野がありそうなこと、これら諸法を組合わせて能率的に使うという次の段階が全く未着手であることである。 (完)

#### 参 考 文 献

- 31) 高橋浩一郎 (1945): 加熱による霧の消散に就いて, 千島, 北海道の霧の研究 第1期 67~80.
- 32) Houghton, H.G. and W.H. Radford (1938): On the measurement of drop size and liquid water content in fog and clouds. Pap. Phys. Ocean. Meteor. Mass. Inst. Tech. Woods Hole Ocean. Instn. **6**, No. 4. 1-31.
- 33) Aufn Kampe, H. J. and H. K. Weickmann, (1952): Trabert's formula and the determination of the water content in clouds. Jour. Met. **9**, 167-171.
- 34) Weickmann, H. K. and H. J. aufm Kanye (1953): Physical properties of cumulus clouds. Jour. Met. **10**, 204-211.
- 35) 田畑忠司, 藤岡敏夫, 松村信男 (1953): 林のまわりの霧水量について, 北海道林務部 防霧林に関する研究 第4輯 68-75.
- 36) 田畑忠司, 藤岡敏夫, 松村信男 (1954): 自記霧水量計の研究, 低温科学 物理篇 **12**, 121-139.
- 37) Frössling, N. (1938): Über die Verdunstung fallender Tröpfen. Gerl. Beitr. Geophys. **52**, 170-216.
- 38) 荻原晰二 (1944): 霧及び雲滴の蒸発 (蒸発の研究Ⅱ) 気象集誌, **22**, 134-142.
- 39) 荻原晰二 (1944): 霧及び雲滴の蒸発 (蒸発の研究Ⅲ) 気象集誌, **22**, 142-150.
- 40) Kinnzer, G. D. and R. Gunn. (1951): The evaporation, temperature and thermal relaxation-time of freely falling water drops. Jour. Met. **8**, 71-83.
- 41) 堀淳一 (1951): 降霧一拡散一温度効果について 北海道林務部 防霧林に関する研究 第2輯 167-173.
- 42) 守田康太郎, 大川隆, 佐々木和子 (1954): 移流霧の消散に及ぼす熱効果について, 北海道林務部 防霧林に関する研究 第4輯 30-44.
- 43) Hewson, E.W. (1943): The reflection, absorption, and transmission of solar radiation by fog and cloud. Q.J. R. Meteor. Soc. **69**, 47-62.
- 44) Haurwitz, B. (1948): Insolation in relation to cloud type. Jour. Met. **5**, 110-113.
- 45) Neiburger, M. (1949): Reflection, absorption, and transmission of insolation by stratus cloud. Jour. Met. **6**, 98-104.
- 46) Fritz, S. and T. H. Mac Donald, (1951): Measurement of absorption of solar radiation by clouds. Bull. Amer. Met. Soc. **32**, 205-209.
- 47) 菊地幸雄, 山崎道夫, 大川隆, 守田康太郎 (1954): 霧による日射の減衰, 北海道林務部 防霧林に関する研究 第4輯 11-21.
- 48) 木下誠一 (1954): 飽和水蒸気中における吸湿性粒子の成長速度の測定 低温科学物理篇 第12輯 113-120.
- 49) Houghton, H. G. (1938): A method for the local dissipation of natural fog by means of sprayed calcium chloride solution. Pap. Phys. Ocean. Meteor. Mass. Inst. Tech. Woods Hole Ocean. Instn. **6**, No. 3. 27-39.
- 50) Houghton, H. G. and W.H. Radford (1938): The design and operation of a fog dissipator utilizing sprayed calcium chloride solution. Pap. Phys. Ocean. Meteor. Mass. Inst. Tech. Woods Hole Ocean. Instn. **6**, No. 3. 40-49.
- 51) 串崎利兵衛 (1952): 上層からの熱拡散による霧の消散, 北海道林務部 防霧林に関する研究 第2輯 77-80.
- 52) 高橋浩一郎 (1945): 擾乱による霧の消散に就いて, 千島, 北海道の霧の研究 第1期 60-62.
- 53) Houghton, H.G. and W.H. Radford, (1938): A new type of apparatus for the dissipation of fog by means of fine hygroscopic particles. Pap. Phys. Ocean. Meteor. Mass. Inst. Tech. Woods Hole Ocean. Instn. **6**, No. 3 50-63.