露 の 研 究*

— (2) 煤紙による露の自記々録 —

荒 井 哲 男

(中央氣象臺研修所)

Studies on the dew. (2) The dew traces on sooted papers.

T. ARAI

(Training School of Meteorological Observers)

1. はし が き

煤紙による雨滴については伊藤・高橋兩博士の研究があるが¹⁾ 露の記録については N. CRITICOS²⁾ が 1929 年初めて露の研究方法として煤紙に露の跡が着く事を發表し、其後 KYRIAZOPOULOS³⁾ が色々の型の痕跡を發表し其痕跡により雨霜露の有無を知り其の區別が出来る事を示している。兩者共一種類の紙についての實驗であり發生の機構についても一般の固體の面の上の露と同じものと考へている。

筆者は之を色々の用紙について實驗した結果を取纏めて報告する。用紙によつては 1 時間以内に直徑 3 mm の滴が出来たり數時間で直徑 1 cm にも及ぶ滴が出来る事もある。露滴の生成については W. FINDEISEN⁴⁾ R. VIERHAUT⁵⁾ 等の雨滴の生成の理論がそのまゝ適用出来る譯で、之によれば直徑 3 mm の滴が生成せられるには數時間を、1 cm に成長するには十數日を要する事になるから紙、木、枯草等に出来る露の水滴には特別の發生機構を考へなければならぬ。之を毛管説で説明しこの考で自然界の露を考察して見た。

2. 痕 跡 の 形

此の方法は煤紙の縁を枠で固定して測るべき所に水平に設置し、記録後乾燥してメスで固定するもので重要なのは紙の選擇である。今用紙を露の痕跡の大きさの順序に列べて見ると

濾紙—印刷紙—模造紙—アート紙—ガラス—金属板と光澤の順序になつてゐる。模造紙印刷紙では良質のものか薄いものでないと滴は出来ない。濾紙・金属板には痕跡は出来ない。又ガラス面の痕跡は不定形の割目である。アート紙でも表面の光澤多く硬質のもの程痕跡は小さい。KYRIAZOPOULOS³⁾ は同一の用紙で様々な型の痕

* 昭和 26 年 7 月 7 日夏季例會において發表。

跡を示しているが筆者の 1 年間の記録では同一の用紙では同じ型の痕跡ばかりである。

露は煤を持ち上げて四方へ押し出しながら割目を作り乾燥して痕跡を残すもので、煤が紙面に密着しないもの程滴の中心から外圍へ順次濃くなつて外周が最も多くの煤を堆積している。要するに露の痕跡の様々な形は割目であらうと思われる。

表面が滑かなもの程煤は膜の様になつて密着しているから、光澤紙では割目の様な痕跡となり、ガラスでは割目は連つて不定形の大きな割目となるのであらう。金属板では煤の上にのみ露が出来る。又露滴が順次成長して隣接の滴と相接すると結合した形の跡を残す。次々に結合すると蜂の巣の様に連續した痕となる。

雨の小滴は内部に煤を残さず大滴は煤の一部を残すが一見して雨の滴痕は判斷出来る。霧は煤を分散させて特有の痕跡となる。霜は不定形の痕跡であるが樹枝状の場合もある。

3. 實 驗 結 果

紙面の餘裕がないから細い説明はぬきにして今迄に得た結果を箇條書きにして示す (*印は CRITICOS²⁾ の示したもの)。

(1) 一般に紙が充分吸濕して後露の滴が出来初める。

* (2) 少くとも現象の初めには滴は個々別々に現はれて来る。

* (3) 露の痕跡の間には或間隔があり大きな痕跡程間隔が廣い。

* (4) 單位面積當の滴の數が多い程直徑は小さい。

* (5) 單位面積當の數と大きさは冷却の速さにより、冷却が急な程數が多く直徑は小さい。

(6) 滴が出揃うと其後數は増加しない。

(7) 紙面の粗いもの程滴は大きく間隔も廣い。

- (8) 滴の出現はガラス等の表面よりも紙の面では遅れるが紙の中でも紙面の粗いもの程遅い。
- (9) 同一の紙質では紙の厚さが薄いもの程出現が速い。
- (10) 薄い紙では裏面にも滴が出来る、上下同一位置ではない。
- (11) 薄い紙及び表面の非常に滑らかなものでは垂直に設置しても滴が出来る。
- (12) 同一の用紙では単位面積當の滴の大きさと数の積は大體ガラス面等の露量に比例する。但し地震計記象紙の如き例外もある。
- (13) 痕跡の形は紙質によつて變る。
- (14) 鹽化ナトリウム等吸濕性の細粉を紙の表面に散らしておくとその細粉の各々の上に露滴が出来る。
- (15) 紙面に煤をつけたものも着けないものも同じ様に滴が出来る。
- (16) 紙質の粗いもの程乾燥が速い。同じ紙質では煤をつけたものは着けないものよりも乾燥が速い。
- (17) 滴が一旦蒸發して又露を結ぶと殆んど前の滴の痕跡の各々の中に次の滴が出来る。然し之は同心圓ばかりではない。
- (18) 紙の面に特別な塗料(例へばゼラチン)を塗れば痕跡の形と大きさが變つて来る。
- (19) 一般に他の物體の上に記録紙を置くと滴は出来ない。紙の表面が光澤大で硬いもの(例へば印畫紙)では金屬板等の上に置いても滴が出来る。
- (20) 霜は煤を持ち上げない。

4. 發生の機構

TAMMAN と BOEHM⁽⁷⁾⁽⁸⁾ は磨いたニツケル板上の露の寫眞を撮り之を乾燥させて再び結露させたものを撮つて二つの寫眞を重ね合せて500の像が全て合致した事を報告している。之は前節(18)に関連して前述の紙の系列が金屬の表面迄擴張され得るものとも考へられる。恐らく紙の面でも之と同程度の密度と大きさの滴が最初に出来るのであらうが紙が、空氣中の水蒸氣を吸収すると共に表面に出来る之等の微小滴も次々に吸収するのであらう。今露滴の出来初める直前の重量を秤量したものと100%の恒濕槽の中で1時間で吸収した水分を表示す。

露の出来る直前迄の時間は氣象狀件によるが1時間よりは短い露出であるから此の重量の相違は露出した方は

水蒸氣を吸収すると共に滴を吸収している事を示す。

第1表

	最初の重量 (mg/cm ²)	湿度100%中の重量 (⁹)	露滴の出来る 直前重量(⁹)
模造紙	11.3	11.8	17.2
アート紙	13.8	14.1	18.9

下圖はトーションバランス式露量計⁽⁸⁾による露量を自記したもので標準的な夜間冷却の場合の曲線である。

第1圖 露の生長曲線

曲線 I は煤紙、I' は同質の紙で煤を着けないもの、II はガラス板の露量の増加である。

I, I' は薄明の頃まで殆んど一致している之は熱線に對しては殆んど黒體に近いと考へられるからであらう。唯煤紙は薄明の頃より乾燥し初めているに對し I' が遅れているのは短い波長に對しては兩者の輻射能が異なる事を示している。

紙が前述の様に順次水分を吸収すると吸水速度は遅くなり紙の面の露の生長速度と釣合う様になると無數の微小滴の中條件の良いものは水滴として成長し初める。紙が殆んど吸水しなくなつても其滴と附近の或範圍とは毛管で連通されていると考へられるから、W. TOMSON の理論により小滴は大滴より表面張力が大であるから小滴は紙に吸収され、其の量だけ大滴は紙から水を供給される。故に毛管壓の及ぼしている範圍内には他の滴は成長し得ない。而して紙の粗いもの程吸濕量は多くて平衡に達するのが遅くなり(前節8)毛管壓の及ぼしている範圍は大きいから大滴となる(前節7)前節の結論について一々説明する餘裕はないがこう考へると矛盾がない。

紙の表面に蠟を淡く塗つて毛管をふさぐと痕跡は出来ない。今滴の痕跡の半径を r とし痕跡間の間隔を半径の比に區分した範圍即ち毛管壓の及ぼした範圍の半径を R とすると前述の考へより次の式が成立つ。

$$\frac{dM}{dt} = \phi n \pi (R^2 - r^2) + \phi(r) \dots\dots\dots (1)$$

M は滴の重量で滴は大體半球形であるから

$$M = \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{3} \pi r^3,$$

ϕ は微小滴の増加函数で FINLISEN⁵⁾ の水滴の成長速度より約 3.3×10^{-12} g/sec. n は微小滴の数で TAMMAN⁷⁾ のツセル板上の滴の数 0.01 mm に付き 120 ± 20 とする。

ρ は水滴の増加函数で Findisen の計算値の平均をとつて 6.0×10^{-11} g/sec. 孤立した水滴では $r=1$ mm 位迄は $\frac{d(r^2)}{dt} = K$ としてよい¹⁰⁾が此の場合は孤立した水滴の場合よりも境界層が厚いから半径 5 mm 位迄 r^2 は t に比例するとして大差はないとして (1) 式を積分すると (計算略) 1 時間以内に 3 mm, 數時間で 1 cm の直径の滴が出来る事になる。

霜は吸濕した紙が凍結して紙の面に煤が固着し其上に出来るから、煤を持ち上げず一般の固體の面の同じ様に着くので成長の初めか溶解の際に煤を動かして不定形の跡を残すのである。又樹枝狀の痕跡は用紙の表面温度が途中で一旦氷點以上になつて表面に薄い水の膜が出来るので中或は周圍に出来る結晶を核として樹枝狀に延びるのであらうと思はれる。故に煤紙の上面の一小部を遮蔽しておくとして紙面の不定形の霜の痕跡から遮蔽した面上へ樹枝狀の痕跡がのびて來ている。

終りに終始御指導を賜つている鈴木清太郎先生並に文獻閲覧に御面倒を煩した長尾隆氏に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 伊藤疆自: 煤紙上の液滴破裂, 氣象集誌第6巻, p. 284.
- 2) 高橋喜彦: 雨滴の大きさ測定法, 天氣と氣候第1巻第2號, p. 15.
- 3) N. CRITICOS: Über die Struktur des Taues. Ger. Bei. Z. Geo. Bd. XX p. 33 (1929).
- 4) B. KYRIAZOPOULOS: Une methode d'encre Gestrement de La, Rosie blanche et Pluie, La. Meteor. 1938 p. 29.
(地球物理文獻抄 1939 年に抄約がある原著には寫眞が出ている)
- 5) W. FINLISEN: 純粋な水雲中に於ける雨滴生成の問題 地球物理文獻抄 1939. p. 276 Met. Z. S. 56 (1939).
- 6) R. VERHAUT: 雲及霧の中での水滴の生成について 地球物理文獻抄第2輯第2分冊 (1950). Mededeelingen en Verhandlingen. Serie B. No. 12(1949).
- 7) TAMMAN u. BOERM: Ann. Physik Bd. 22 S. 77 (1935).
- 8) 鈴木清太郎: 農業氣象學 p. 110, p. 114.
- 9) 鈴木清太郎: 農業物理學 p. 54
- 10) Y. TAKAHASHI: Experiments of The Evaporation of Water drops and some Application of their Results to the Investigation on Rain-drops. Geo. Mag. X. 1936 p. 321.

Résumé

Dew and frost leave their traces on the sooted paper, when it is exposed to the nightly open air. This method made it possible for the writer to obtain a number of dew images made on various kinds of paper. And to bring about many interesting results.

The writer arranged in grades several sorts of paper according to the degree of qualification of the dew recorder.

The dew drop sometimes grows so large as to have a diameter of 1 cm long during many hours. It is believed that the capillary action of the paper tissue can fully explain not only the formation of this large drop, but also many other features of dew images in the sooted paper.

農業氣象第6巻2, 3・4號正誤表

号	頁	左右の欄	行	誤	正	号	頁	左右の欄	行	誤	正
2	39	左	下 2	p. 試驗區 (無栽植裸地)	p. 試驗區 (無栽植裸地)	3・4	79	脚註	2	分母<0	分母>0
	"	右	9	切交が混合	切交が混合		"	Resume	右 6	occords	accords
	40	左	表下 2	全期間をも通じて	全期間を通じて		80	標題	英文 1	diffusibility	diffusivity
	"	"	表下 11	水地温に依ると	水地温に於ると		"	右	9	對象として	對象とした
	"	右	下 6	最高日 31.0	日最高 31.2		"	左	下 3	$\rho_2 y / (\quad)$	$\rho_2 y / (\quad)$
	"	"	下 7	25.1 20.3 20.6	25.1 20.8 20.6		81	左	下 2	をいた.	をいた.
	"	"	8 月下 旬の欄	22.0	22.8		"	右	7	k_1	k_1
	41	第 4 表	8	as follows.	as follows.		"	"	10	$\Delta(a)$	$\Delta(a^2)$
	"	Resume	8	temperature.	temperature.		"	"	14	$\frac{\partial(a^2)}{\partial x} dx = \frac{\partial(a^2)}{\partial y} dy$	$\frac{\partial(a^2)}{\partial x} dx + \frac{\partial(a^2)}{\partial y} dy$
	"	"	9	又、實際には	又、實際には		"	"	下 6	$(\quad) (\rho_1 x + \rho_2 y + \rho_3 z)$	$(\quad) (\rho_1 x + \rho_2 y + \rho_3 z)$
3・4	78	左	下 6	p は流區が	p は流區が	3・4	82	右	3	$c^2 \rho_1 x$	$c^2 \rho_1 x$
	"	右	本文 1	單位容積	單位容積		"	"	4	$\rho_3 p$	$\rho_3 z$
	"	"	本文 3	土の容	土の容		"	"	13	(10) 式の如く	(10) 式の如く
	79	左	10	$< (\quad) (\rho_1 x + \rho_2 y)$	$< (\quad) (\rho_1 x + \rho_2 y)$		"	Resume	左 5	specific-	specific-
	"	右	12	reasonably	reasonably		"	"	右 3	-conductivity	-conductivity
	"	Resume	左 1	thermal-diffusivity	thermal-diffusivity		"	"	右 1	coegicient	coefficient
	"	"	左 7	date (Table 1)	data-(Table 1)		"	"			
	"	"	左 8				"	"			