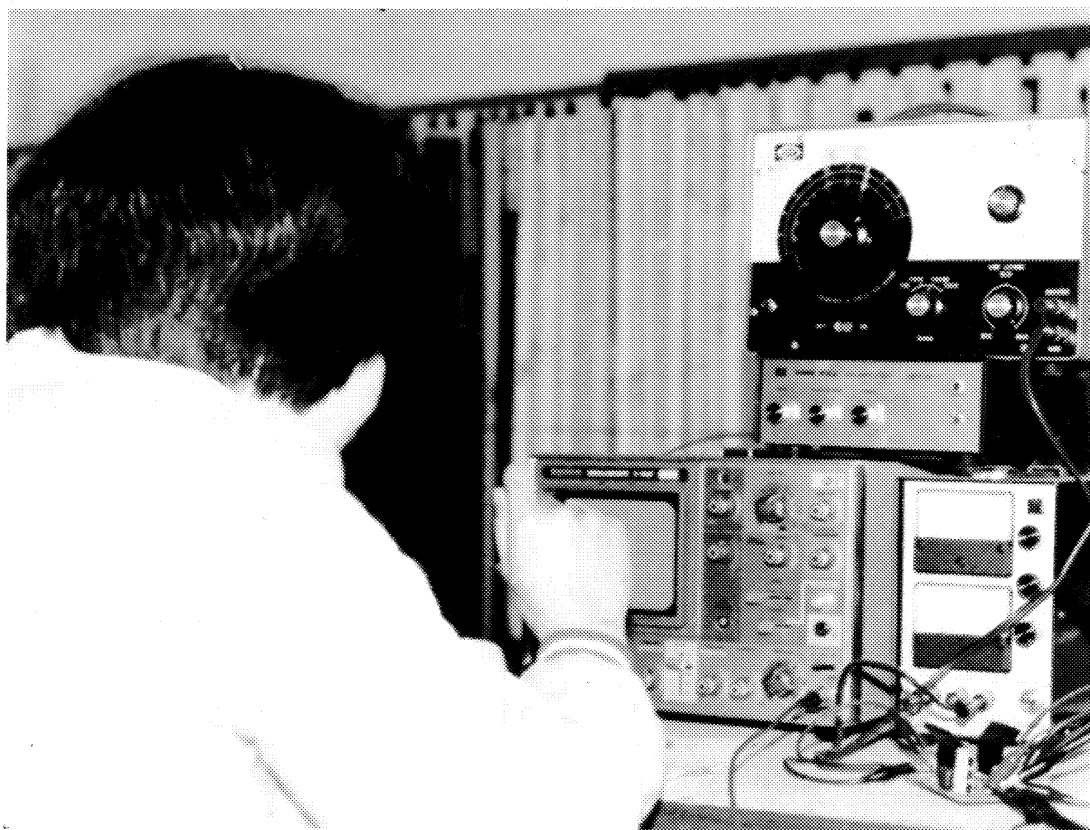


溼度對聲速影響的研究

國中教師組物理科第一名

國立師大附中

作者：羅素真



一、動 機

1. 在物理教學時，對於聲波折射現象的解釋是：〔聲波進行時向速率小的一方偏折，且聲速的大小決定於溫度的高低，傳波介質的種類〕。根據物理文獻記載，空氣中聲速 = $331 + 0.6 t$ ， t ：溫度，在水中速率約 1450 m/sec （約為空氣中聲速的 4 倍），很明顯的，高溼度時，空氣中的水分子應該會影響聲速，但定量的關係呢？
2. 水具有特佳的傳音性，但雷達的電波不能在水中傳遞，因此通常水中探測用聲納，空氣中的探測則用雷達，由此可知當空氣中的溼度過高時，雷達探測的精確性及可測範圍也受相當影響

，因此這時我們仍可以聲速測量距離，那麼就須要有聲速與溼度的定量關係或圖表。

二、實驗目的

當空氣的溫度，壓力不變時，找出絕對溼度與聲速的關係。

三、原理

1. 聲速的測定

若聲波前進 d 的距離，須時間 t ，則聲速 $V = d/t$ 。

∴ 利用米尺測 d ，示波器測 t ，求聲速。

2. 溼度的控制

(1) 利用吹風機驅除水蒸氣分子，降低溼度。

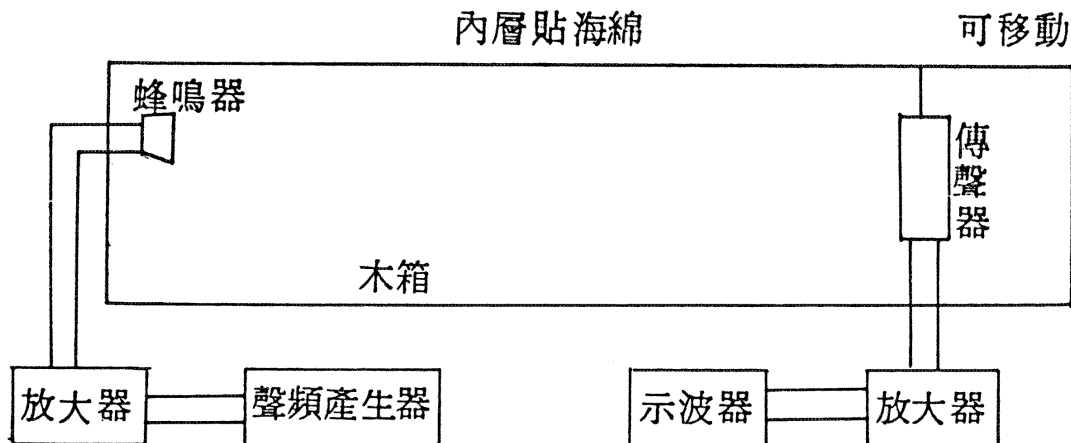
(2) 燃燒水，充進水蒸氣分子，提高溼度。

(3) 自製露點溼度計，找出露點，以求出絕對溼度。

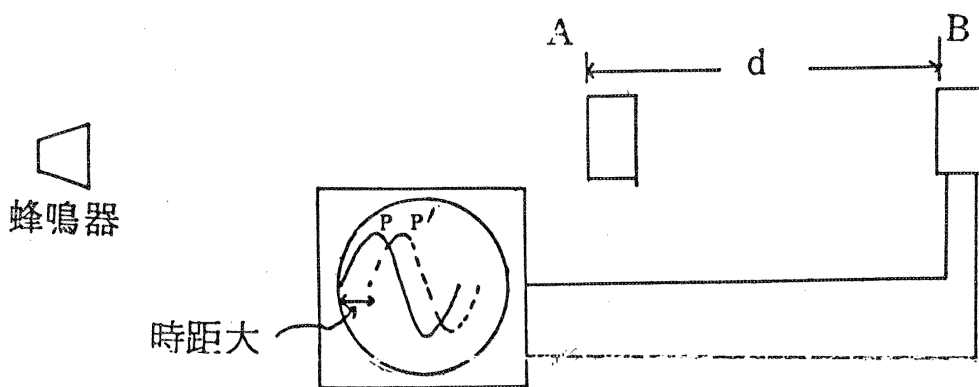
四、儀器及裝製說明

1. 儀器：木製長方形箱子（ $15\text{ cm} \times 20\text{ cm} \times 100\text{ cm}$ ）一個，海棉6塊（ $30\text{ cm} \times 45\text{ cm}$ ），蜂鳴器一個，放大器二個，直流電源供應二個，聲頻產生器一個，傳聲器一個，示波器一個，電源插座二個，電線十條，露點溼度計一個，溫度計二個，冰塊（約100克），吹風機一個，酒精燈一個，錐形瓶一個。

2. 裝置：



3. 聲速測定說明：



當傳聲器在 A 處，接收聲波時，示波器上 sin 波很穩定的在 P 處，當傳聲器移至 B 處時，示波器上 sin 波同時移至 P'，這時 PP' 上的時間差距 t 代表聲波前進 d 的距離， \therefore 聲速 $v = \frac{d}{t}$ 。

五、實驗步驟

1. 木箱內層貼一層海綿，且用電線將各儀器連接如裝置圖。
2. 將傳聲器、放大器、聲頻產生器，示波器接上電源插座後，調整示波器至有穩定波形為止（這時蜂鳴器應有聲音）記錄 swip time 的位置 t_0 (sec/cm)。
3. 用吹風機驅走水汽分子後，箱內放露點溼度計，蓋好木箱蓋子。
4. 請一學生協助，將傳聲器由 A 處移至 B 處（40 公分），同時注意示波器上波移動距離 $\Delta \ell_1$ ，並記錄之。
5. 將傳聲器由 B 處移回 A 處，同時注意示波器上波移動距離 $\Delta \ell_2$ ，並記錄之。
6. 重覆 4.，5. 步驟共六次後，記錄木箱內溫度 T' 。
7. 觀察露點溼度計，當有白霧時，記錄溫度，為露點 T ，同時記錄木箱內溫度 T' 。
8. 將 4. 至 6. 共六次的 $\Delta \ell$ 平均，則聲波前進 40 cm 距離，所須時間 $t = t_0 \Delta \ell$ ，求出聲速 $v = 0.40 / t$ (m/sec)
9. 當溫度逐漸下降時，重覆 4. 至 7. 步驟。

10. 當溫度回至室溫時，重覆3.)至9.)的步驟兩次。

11. 錐形瓶內裝水，用酒精燈加熱使水開後，讓水汽進入木箱內約 15 公分，以增加溼度，重覆4.)至10.)的步驟共四次。

六、記錄及結果

傳聲器移動距離 $d = 40 \text{ cm}$ ，示波器 shift time

$t_0 = 0.5 \times 10^{-4} \text{ sec}$ ， Δl = 示波器上波移動距離。

t ：聲波前進時間 ($= \Delta l \cdot t_0$)

T' ：木箱內溫度 V ：聲波速度 ($= \frac{0.40}{t}$)

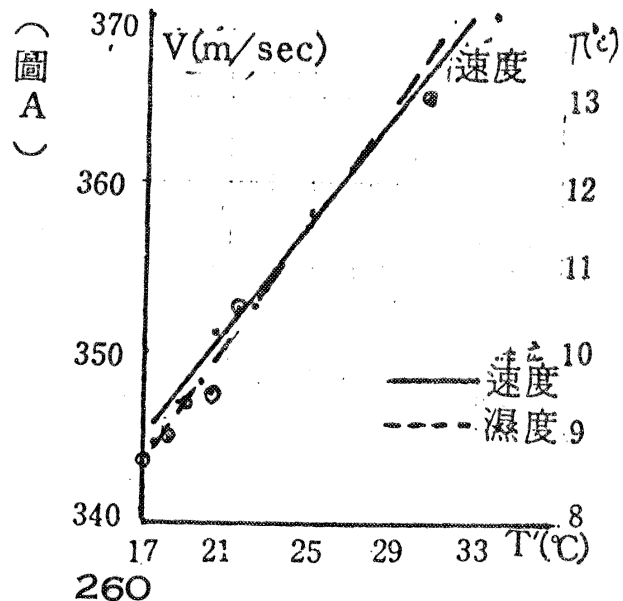
T ：露點

1. 驅散水汽 30 分 (第一次)

$T' (^{\circ}\text{C})$	$\Delta l (\text{cm})$	$t (\times 10^{-4}) (\text{sec})$	$V (\text{m/sec})$
33.4	21.62	10.800	370.079
25.0	22.29	11.145	358.905
22.2	22.62	11.310	353.669
20.0	22.7	11.378	351.551
19.1	22.93	11.465	348.888
18.4	23.05	11.525	347.072
17.0	23.23	11.613	344.456

(表二)

$T' (^{\circ}\text{C})$	$T (^{\circ}\text{C})$
30.5	13.0
21.5	10.6
20.0	9.5
19.0	9.4
18.0	9.0
17.0	8.7



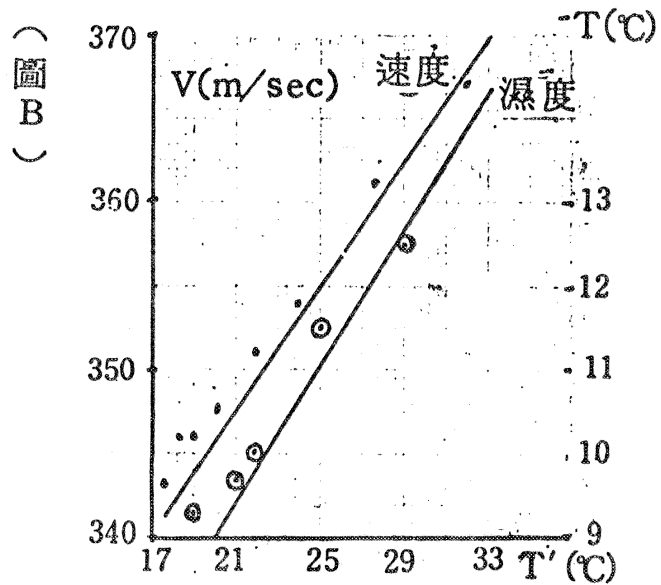
2.第2次驅散水蒸氣約30分

(表三)

$T'(^{\circ}\text{C})$	$\Delta l(\text{cm})$	$t(\times 10^{-4})(\text{sec})$	$V(\text{m/sec})$
31.9	21.750	10.875	367.816
27.5	22.150	11.075	361.174
23.9	22.569	11.285	354.469
22.3	22.780	11.390	351.185
20.3	22.930	11.465	348.888
19.0	23.075	11.538	346.696
18.4	23.100	11.550	346.320
16.8	23.267	11.634	343.835

(表四)

$T'(^{\circ}\text{C})$	$T(^{\circ}\text{C})$
29.0	12.5
25.0	11.5
22.5	10.0
21.0	9.7
19.0	9.3



3.第3次驅散水蒸氣約30分

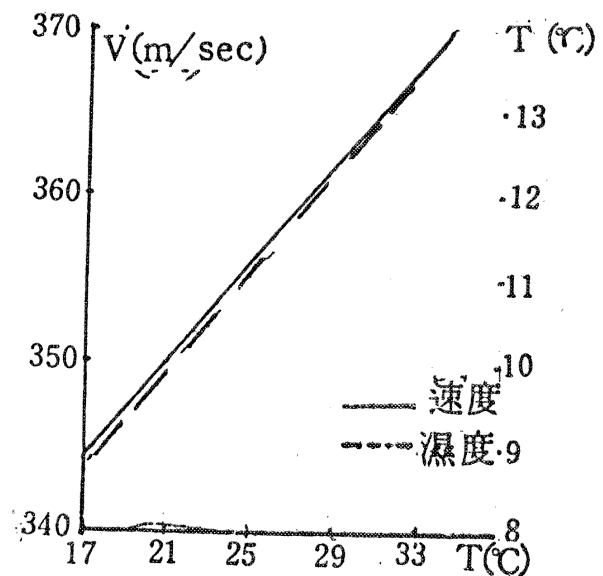
(表五)

$T'(^{\circ}\text{C})$	Δl (cm)	$t (\times 10^{-4})$ (sec)	v (m/sec)
33.2	21.78	10.890	367.309
31.6	21.98	10.990	363.967
27.0	22.162	11.081	360.980
23.5	22.630	11.315	353.513
20.9	22.767	11.383	351.374
20.2	22.930	11.465	348.888
19.0	23.020	11.510	347.524
18.2	23.080	11.540	346.500
16.8	23.238	11.619	344.264

(表六)

$T'(^{\circ}\text{C})$	$T(^{\circ}\text{C})$
31.0	12.6
26.3	11.7
23.2	10.5
20.9	9.5
19.0	9.4
18.2	9.2
16.8	8.5

(圖C)



4. 第1次充進水蒸氣約15分

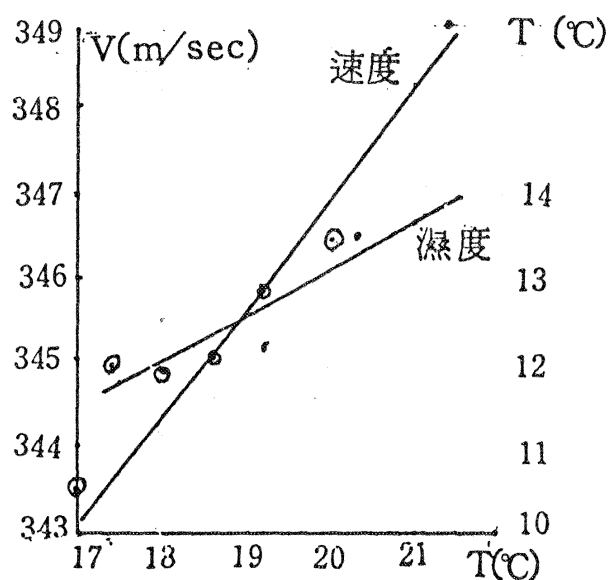
(表七)

$T'(^{\circ}\text{C})$	$\Delta l(\text{cm})$	$t(\times 10^{-4})(\text{sec})$	$v(\text{m/sec})$
21.4	22.869	11.435	349.819
20.3	23.080	11.540	346.500
19.2	23.210	11.605	345.200
18.0	23.154	11.577	345.500
17.4	23.330	11.665	342.906
17.2	23.640	11.820	338.409
17.0	23.288	11.664	343.525

(表八)

$T'(^{\circ}\text{C})$	$T(^{\circ}\text{C})$
21.5	13.7
20.0	13.5
19.2	12.9
18.6	12.1
18.0	11.9
17.4	12.0
17.0	10.5

(圖 D)



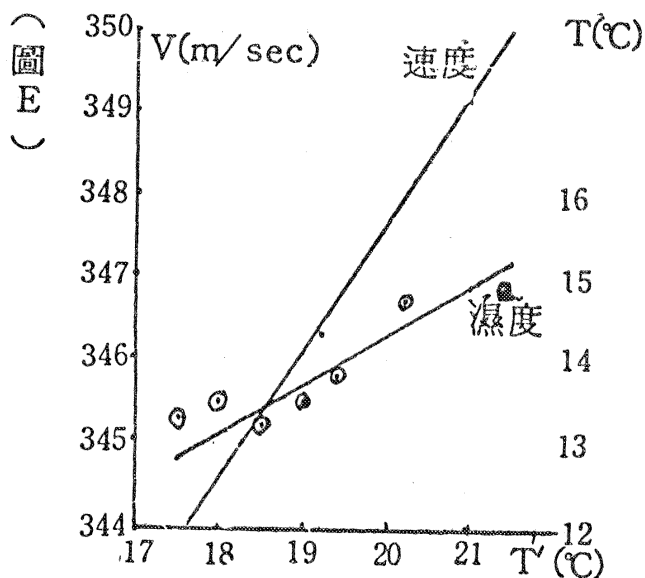
5.第2次充進水蒸氣約15分

(表九)

$T'(^{\circ}\text{C})$	$\Delta l(\text{cm})$	$t(\times 10^{-4})(\text{sec})$	$v(\text{m/sec})$
21.9	22.79	11.395	351.031
20.3	23.019	11.510	347.539
19.2	23.100	11.550	346.320
18.6	23.190	11.595	344.976
17.5	23.249	11.624	344.100

(表十)

$T' (^{\circ}\text{C})$	$T (^{\circ}\text{C})$
21.4	14.8
20.2	14.7
19.4	13.8
19.0	13.5
18.5	13.2
18.0	13.5
17.5	13.3



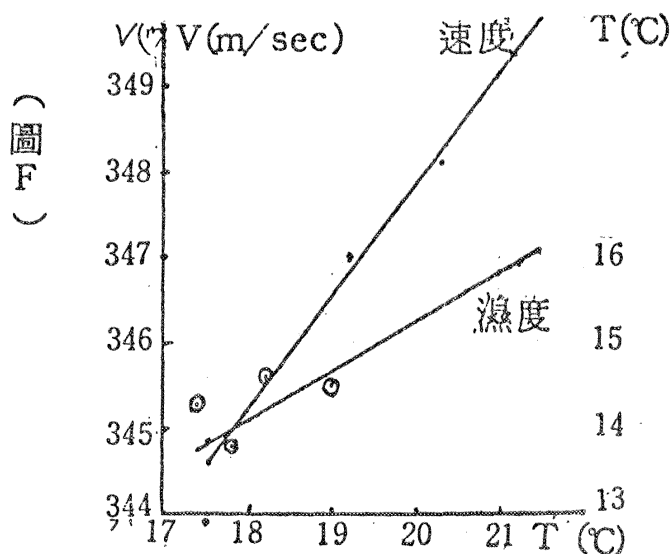
6. 第 3 次充進水蒸氣約 15 分

(表十一)

$T' (^{\circ}\text{C})$	$\Delta l (\text{cm})$	$t (\times 10^{-4}) (\text{sec})$	$v (\text{m/sec})$
21.5	22.930	11.465	348.888
20.3	22.980	11.490	348.129
19.2	23.055	11.527	347.000
18.2	23.116	11.558	346.066
17.5	23.267	11.634	343.835

(表十二)

$T' (^{\circ}\text{C})$	$T (^{\circ}\text{C})$
21.2	15.6
19.0	14.5
18.2	14.6
17.8	13.8
17.4	14.3



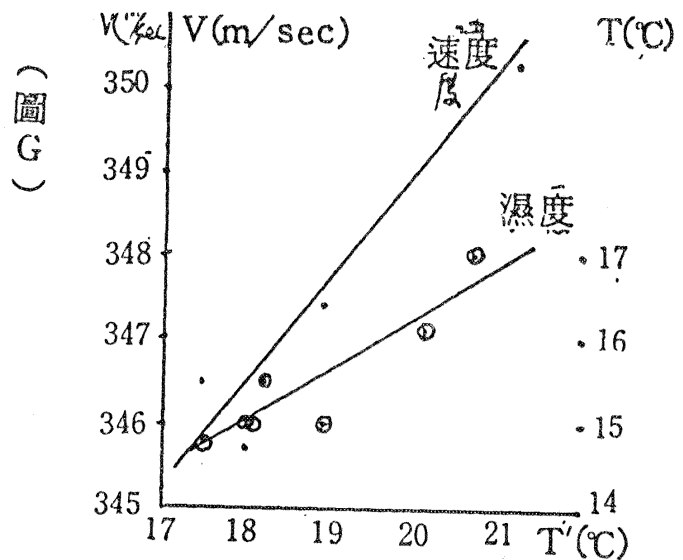
7. 第 4 次充進水蒸氣約 15 分

(表十三)

$T'(^{\circ}\text{C})$	Δl (cm)	$t (\times 10^{-4})$ (sec)	v (m/sec)
21.2	22.840	11.420	350.263
19.9	22.890	11.450	349.345
18.9	23.025	11.513	347.448
18.0	23.140	11.570	345.772
17.5	23.088	11.544	346.500

(表十四)

$T'(^{\circ}\text{C})$	$T(^{\circ}\text{C})$
20.7	17.0
20.1	16.1
18.9	15.0
18.2	15.5
18.1	15.0
18.0	15.0
17.5	14.8



七、分析及結論

1. 分析

(1) 由圖A，圖B，圖C curve，在驅除水蒸氣的情況下找出下列各溫度時V及露點T，並查表找出水蒸氣壓P，(見表十五，圖H)

(表十五)

T' (°C)	T (°C)	P (mm) Hg	V (m/sec)
25.0	11.10	9.950	356.1
	11.25	10.025	356.7
	11.60	10.200	358.0
27.0	11.70	10.250	359.0
	12.00	10.400	360.0
	12.30	10.600	361.2
29.0	12.30	10.600	361.9
	12.80	10.950	363.4
	13.00	11.100	364.5
30.0	12.60	10.800	363.4
	13.15	11.200	365.0
	13.35	11.350	366.1
31.0	12.90	11.025	364.9
	13.50	11.500	366.6
	13.70	11.650	367.7

(2)由圖A，圖B，圖C curve，在驅除水蒸氣的情況下，找出下列各溫度時V及露點T，並查表找出水蒸氣壓P，(見表十六，圖I)

(表十六)

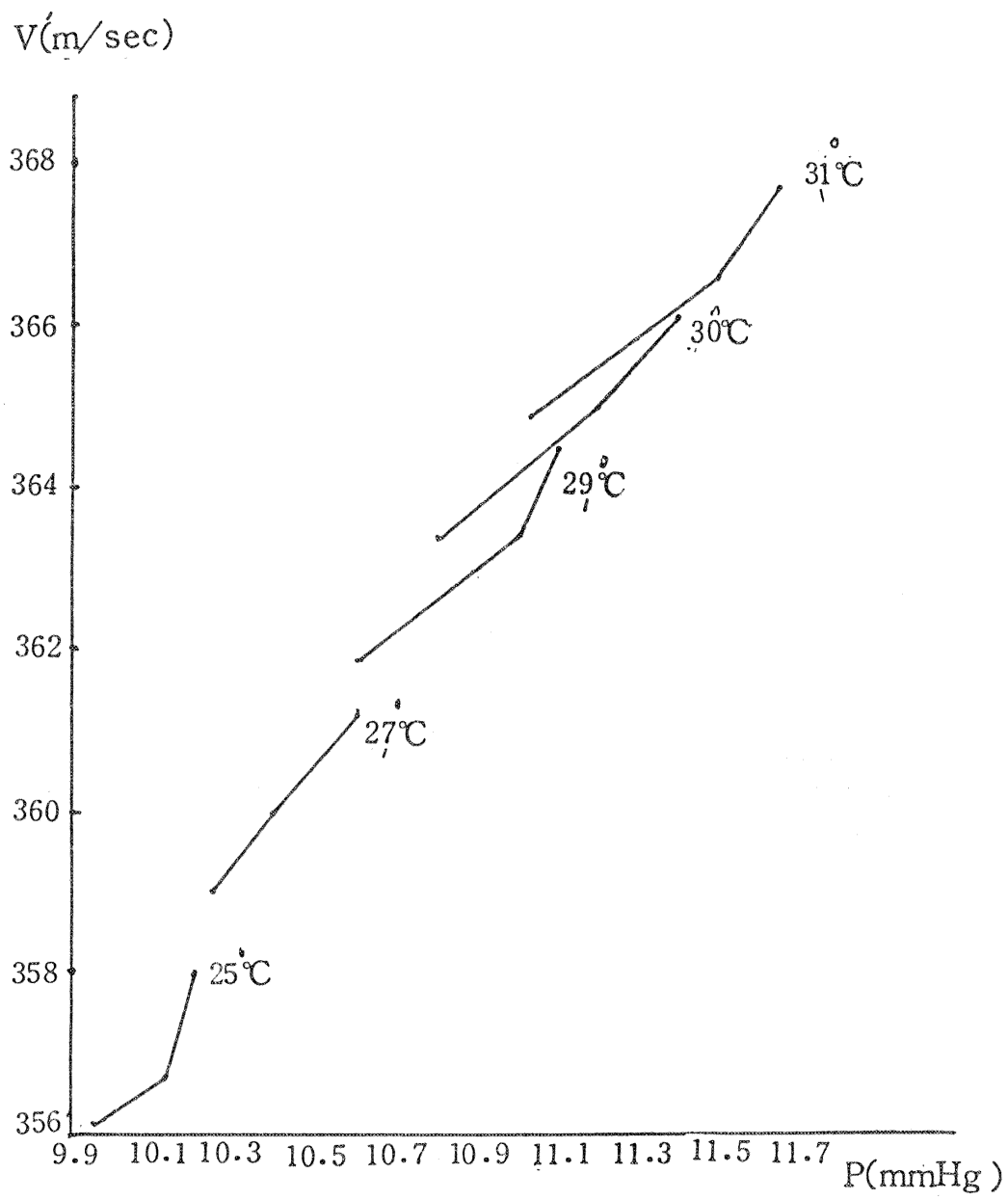
$T'(^{\circ}\text{C})$	$T(^{\circ}\text{C})$	$P(\text{mm})\text{Hg}$	$V(\text{m}/\text{sec})$
17.5 $^{\circ}\text{C}$	8.50	8.250	344.3
	8.85	8.425	345.4
	8.90	8.450	345.8
18.0 $^{\circ}\text{C}$	8.65	8.325	345.2
	9.00	8.500	346.1
	9.20	8.625	346.6
19.0 $^{\circ}\text{C}$	9.00	8.500	346.8
	9.28	8.675	347.5
	9.40	8.750	348.3
20.0 $^{\circ}\text{C}$	9.40	8.750	348.5
	9.60	8.875	349.0
	9.80	9.050	349.9
21.0 $^{\circ}\text{C}$	9.98	8.875	350.1
	9.90	9.050	350.4
	10.20	9.250	351.5

(3)由圖D，圖E，圖F，圖G curve，在充滿水蒸氣的情況下找出下列各溫度時V及露點T，並查表找出水蒸氣壓，（見表十七，圖J）

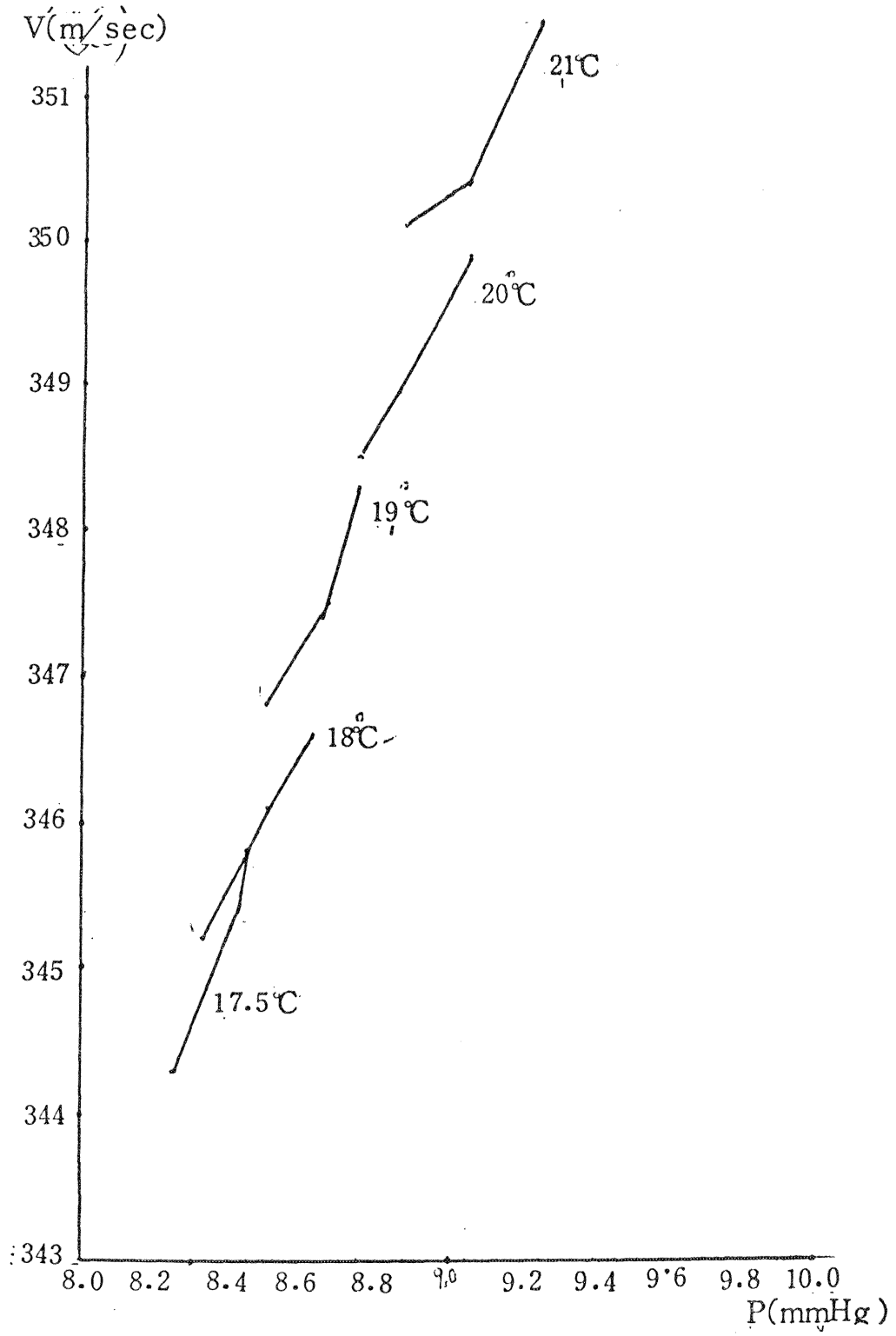
(表十七)

T' (°C)	T (°C)	P (mmHg)	V (m/sec)
17.5	11.80	10.300	343.7
	12.80	10.950	343.5
	13.85	11.750	344.6
	14.85	12.500	345.9
18.0	12.10	10.475	344.4
	13.20	11.250	343.3
	14.13	12.000	345.2
	15.15	12.800	346.5
19.0	12.60	10.800	345.6
	13.70	11.650	345.9
	14.65	12.400	346.5
	15.75	13.300	347.8
20.0	13.20	11.175	347.0
	14.30	12.125	347.6
	15.20	12.875	347.8
	16.35	13.800	349.0
21.0	13.70	11.650	348.3
	14.90	12.625	349.1
	15.75	13.300	349.1
	16.90	14.300	350.3

(圖 H)



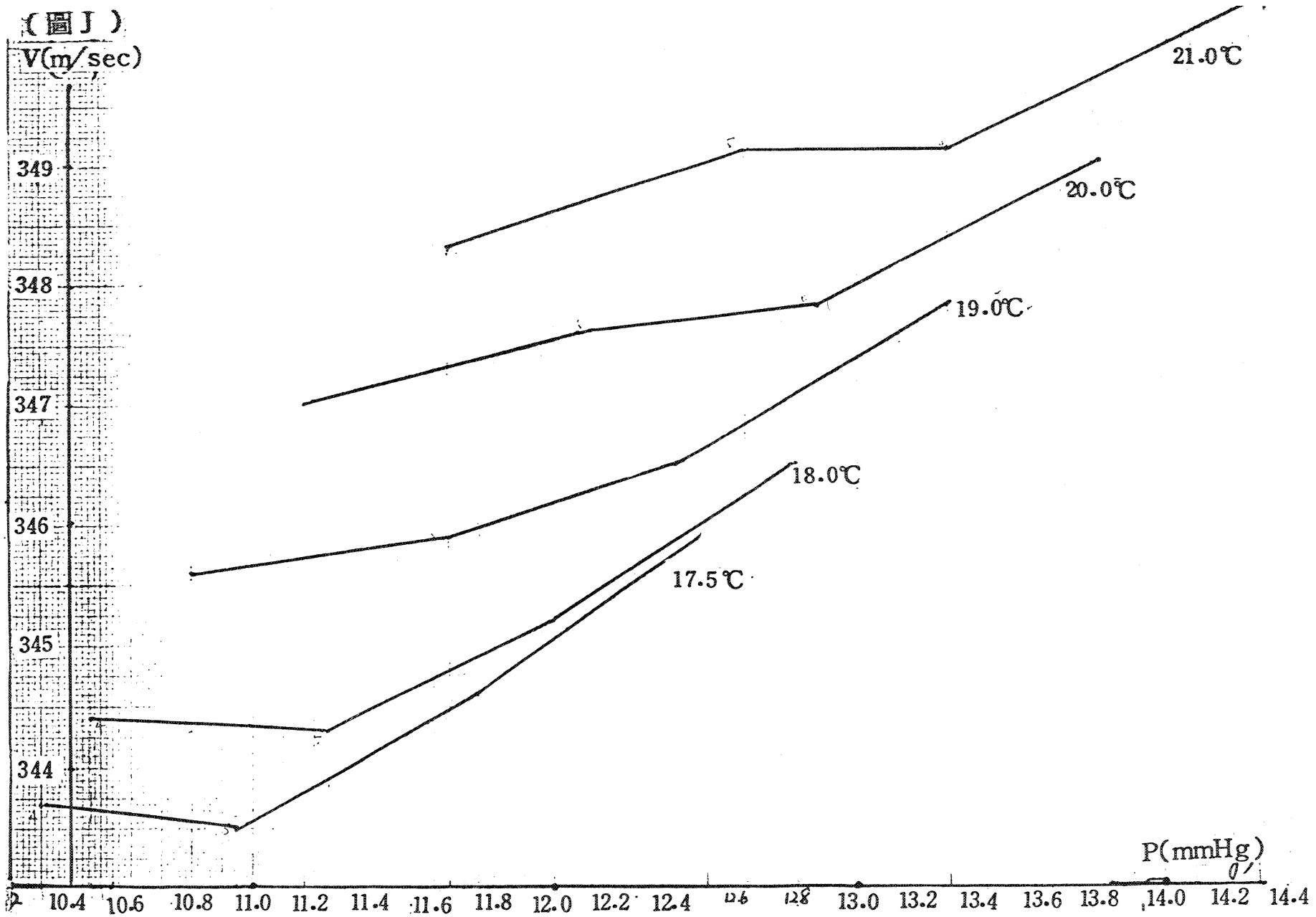
(圖 I)



(圖J)

V(m/sec)

271



P(mmHg)

2. 結論：

- (1)由圖 H , I , 在定溫時 (例 30°C) , 溼度漸高, 聲速漸大, 大約成直線關係。
- (2)由圖 H , I , J , 看出當溼度相同時, 溫度越高, 聲速越大。
- (3)根據聲波傳遞的理論 $v = \sqrt{K/\rho}$, ρ : 介質密度 (註 1) , K : 容積彈性係數 (註 2) , 因此
 - ①當溫度較高時, $\therefore \rho$ 較大, 且 K 較大, \therefore 聲速 v 較大 (註 3) 。
 - ②含定量水蒸氣的空氣比乾燥空氣的密度小, 且 K 較大, \therefore 溼度高的空氣中, 聲速較大。 (註 4)
- (4)由圖 J 可看出, 在溼度很高時, 定溫下, 聲速仍隨溼度的變大而變大, 但沒有圖 I (低溼度) 時來的顯著, 是因為當空氣裡水蒸氣的含量已超過一定的限度時, 粗大的水滴起了散射, 反射的作用, 大大影響聲波的傳遞。

八、討 論

- 1.本實驗原來想控制溫度不變, 直接改變溼度, 測聲速, 但因溫度不易控制, 所以才先做 $V-T'$ 圖及 $P-T'$ 圖, 再找出定溫下 $V-P$ 關係, (P : 水蒸氣壓)

2.根據聲速原理 $v = v_0 / \sqrt{1 - \frac{P}{H} \left(\frac{r_w}{r_a} - 0.622 \right)}$

$$v_0 = (331.45 + 0.60 t) \times 10^2 \text{ (cm/sec)}$$

v_0 : 乾燥空氣中聲速 H : 氣壓

P : 水蒸氣壓 t : 氣溫 ($^{\circ}\text{C}$)

r_a : 乾燥空氣的定壓比熱與定容比熱的比。

r_w : 水蒸氣的定壓比熱與定容比熱的比。

上式是在極空曠處的聲速, 但在箱內做實驗時, 測出的聲速比上式算出的值稍高。

- 3.本實驗因為要控制溼度, 不得不在箱內測聲速, 但這時聲波的反射常使示波器上波形很亂不易觀測, 因此內層才貼一層海綿

，這時的波形，振幅穩定不少。

4. 因為蜂鳴器的發音範圍在 4000 赫茲左右時，示波器上的波形最穩定，所以本實驗採取 4000 Hz，但當初在摸索很長的一段時間內在高頻率時，若時間很長時，露點的測定有偏高的趨勢，這是超音波的強振盪使水蒸氣凝結之故，因此這方面的研究對“人造雨”是否有貢獻，也許要投注更多的精神與時間做深入的探討才能知曉。

[註 1]

由連續方程式

$$\rho v A = (\rho + d\rho)(v + dv)A \quad \begin{array}{l} \text{速度} \rightarrow \\ v \quad v + dv \end{array}$$

$$\therefore \rho dv + v d\rho = 0 \dots\dots\dots(1)$$

由動量方程式

$$pA - (p + dp)A = \rho v A (v + dv - v) \quad \begin{array}{l} \text{壓力: } p \quad p + dp \\ \text{橫截面積: } A \quad A \end{array}$$

$$\therefore v = \sqrt{dp / d\rho} \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{定義 } K = - \frac{dp}{dv/v} \dots\dots\dots(3) \quad \begin{array}{l} \text{密度: } \rho \quad \rho + d\rho \end{array}$$

$$(1), (3) \text{ 代入 } (2) \text{ 則 } v = \sqrt{K / \rho}$$

[註 2] 體積彈性係數，K 的定義是壓力的變量 dp 與應變 $\frac{dv}{v}$

(v : 體積) 之比

$$\text{對流體 } \frac{dv}{v} = \frac{Adv}{Av} = \frac{dv}{v}$$

$$\therefore K = - \frac{dp}{dv/v} = - \frac{dp}{dv/v}$$

[註 3]

$$\text{由註 1 中之(1), (3)得 } K = \rho \frac{dp}{d\rho} \dots\dots\dots(A)$$

氣體中之波動通常是一項絕熱過程，狀態方程式

$$pv^r = \text{常數}$$

$$\text{又 } \rho \text{ 正比 } 1/v$$

$\therefore p = c\rho^r$ 代入(A)式

得 $K = rp$ r : 氣體定壓比熱與定容比熱之比

溫度變高時，氣體膨脹，密度 ρ 變大

而且壓力 p 變大 $\therefore K (= rp)$ 也變大

[註 4] 常溫 (25°C)，常壓 (760 mmHg) 時，空氣密度

$\rho = 1.18 \text{ g}/\ell$ 水蒸氣密度 $\rho = 0.073 \text{ g}/\ell$

評語：作者對其問題本身及實驗過程都有相當完整的瞭解和掌握，因此在研究方法及數據之處理上均中規中矩，而且考慮相當完整可以說是一相當標準的研究過程。

作者對於以後接續之研究方向也有清楚的觀念。