

台北地區可降水量之分析

張鏡湖 張領孝 楊之遠

國立台灣大學地理系 中央氣象局

鄭師中 劉明揚 陳建河

中國文化大學氣象系 中央氣象局

摘要

本研究根據台北探空站(板橋)1981—1984年之高空觀測資料,估算大氣中各層可降水量,全年中以七月份之總可降水量最高達54mm,一月份最低僅21.2mm,每月平均露點溫度與可降水量之相關係數(r)高達0.969,但如以春、夏、秋、冬四季來分析每日露點溫度與可降水量之關係,則其相關係數以夏季最低僅0.36,秋季最高亦僅0.795,遠低於美國與加拿大地區,如以水汽壓取代露點溫度以推算其與可降水量之關係,其結果大致相同。

一、前言

組成大氣之氣體成分中,水汽之含量最具地域性與季節性之變化。水汽之主要來源為地面之蒸發散作用(evapotranspiration)。水汽自地面上升後,即懸浮於大氣之中,故愈高則含量愈少。在一單位面積上之大氣柱中,自地面至對流層頂,所有水汽凝聚所得液體之高度,稱為可降水(precipitable water vapor)。

可降水量對於雲層之形成、雨量之強度、輻射之耗竭及電磁波之傳播皆有密切之關係。在一對流胞(convection cell)中,暴雨之強度決定於其下層流入空氣所挾帶之水汽量,因此在估計一地區最大雨量(probable maximum precipitation)之模式中,可降水量為一極重要之參數(WMO 1973)。水汽吸收太陽短波輻射及地面長波輻射,Atwater與Ball(1976)即曾以可降水量計算美國十一個城市晴天逐時之輻射量。估計有效長波輻射(effective long-wave radiation)最常用之Elsasser圖表(1942)以可降水量與地面溫度為參數。毫米及次毫米電磁波(millimeter and submillimeter

electromagnetic wave)傳播時之衰減係數深受大氣中各層水汽分佈之影響(Reber and Swope 1972)。

Tuller(1968)根據散佈全球一百八十二個測站三年之高空資料,繪製世界可降水量全年及各月之分佈圖。其中包括台北測站之資料。但早年所用之探空儀器不夠精確,恐有差誤。本文根據近年使用精密儀器所得之資料,加以分析,其主要目的有二:(一)計算各月平均可降水量,並瞭解不同氣壓層水汽含量之變化。(二)研討利用地面露點(dew point)或水汽壓(vapor pressure)以推算可降水量之可能性與精確度。

二、資料與計算方法

台灣地區之探空站有台北之板橋、桃園、東港、高雄之小港、澎湖之馬公與綠島。其中僅台北站之資料輸入電腦,處理較為方便,故本文之研究僅限於台北,所用之資料自1981年一月至1984年十二月,共四年整。

台北測站之探空觀測每天僅有1200格林平時

(GMT) 一次，無法瞭解夜間之情形。但根據 karalis (1974) 分析希臘雅典之資料 1200 GMT 之可降水量在春、夏二季與 0000 GMT 相比約略相等，冬季略高，秋季略低。台灣地處副熱帶可能與中緯度春、夏之情形，較為接近。

台北站觀測之高度共有六個氣壓面，即 1000, 850, 700, 500, 400 與 300 mb。可降水量 (W) 用下列公式計算之：

$$W = \frac{1}{g} \int_{P_2}^{P_1} q \, dp \quad \text{-----}(1)$$

其中 g 為重力加速度 980 cm/sec²，p 為氣壓自高度 1 至高度 2，q 為比濕 (specific humidity)。

最高之觀測點為 300 mb，因此略為低估可降水之總量。300 mb 以上之水汽含量通常冬季僅佔百分之一左右，夏季可能達百分之二、三。

三、結果與討論

(一) 台北可降水之各月平均量

各月之可降水量最低為一月份之 21.2mm，最高為七月份之 54.0 mm (第一表)，全年平均值為 38.5 mm。本文之結果與 Tuller 之世界圖相比較，自七月至十一月大致相同。自十二月至五月 Tuller 之數值高於本文。例如自十二月至二月 Tuller 圖中台北之可降水量皆超過 25.4 mm，三月份超過 31.8 mm，四月份超過 38.1 mm，五月份超過 50.8 mm，但六月份 Tuller 之數值低於 50.8 mm，小於本文所列之 52.2mm。

可降水在垂直方向之分佈，因氣團之性質而異。冬季變性極地大陸氣團之水汽集中在下層，尤其在逆溫之情形下，對流被抑制，水汽難以上升，自十一月至一月，850 mb 以下可降水所佔之百分比皆在四十六以上，而 700 mb 以上之可降水量相對的比夏季減少。

五、六月梅雨季節之特徵為 700 mb 以上之高空，可降水比例為全年之冠，超過百分之二十六。梅雨期間之西南氣流，常為赤道氣團 (equatorial air mass)。涂長望 (Tu 1939) 早已指出赤

道氣團與熱帶海洋氣團 (maritime tropical air mass) 下層之物理性質相似，但高空之濕度前者高於後者。通常在熱帶地區，東風大多沈降 (subsidence)，而深厚之西風有上升之傾向，將水汽傳播至高空。

七、八月份盛夏高溫之際，洋面蒸發旺盛，可降水量達 54mm 左右，數值之高，在全球各地，僅遜於孟加拉灣。

(二) 研究地面濕度與可降水量關係之文獻

高空觀測費用昂貴而且麻煩，因此常有地面濕度與可降水間之關係的研究，期能以前者推算後者。最常用之地面濕度指標為露點溫度與水汽壓。

Reitan (1963) 最初分析美國十五個測站，每月平均露點溫度與可降水之關係。根據 540 組之觀測數據，獲得高達 0.98 之相關係數。Bolsenga (1965) 分析美國新罕布夏 (New-Hampshirs) 州之逐日逐時資料，僅得 0.80 至 0.85 之相關係數。

Smith (1966) 認為露點溫度與可降水之關係，因緯度季節而異，乃加一常數以為修正。Lowry 與 Glahn (1969) 分析美加東部冬天逐日資料，得 0.91 之相關係數。一般而言，冬天多氣旋，大氣混合 (mixing) 較徹底，則露點溫度與可降水之相關性較高。Karalis (1974) 分析希臘雅典之資料亦獲得同樣之結論。Balogun 與 Adedokun (1984) 在西非之研究，發現對流頻繁之地區相關係數較高。Viswanadham (1981) 曾對南半球作一廣泛之研究，發現中高緯度 (25—85° S) 之相關係數高於低緯度 (0—20° S)，且冬天比夏天較好。

露點雖可換算為水汽壓，但其單位為溫度而非水汽含量。例如在計算有效長波輻射之經驗公式中，常用之參數為水汽壓。因此微氣象學家尋求水汽壓與可降水之關係。Monteith (1961) 利用英國探空資料發現水汽壓開方與可降水之對數間有極良好之線性關係。Idso (1969) 分析美國費尼克斯 (phoenix) 城夏天一百九十天之資料，發現水汽壓與可降水之間有高達 0.913 之相關係數。

(三) 台北地區露點溫度與可降水之關係

可降水與露點溫度可以下列公式表示之：

$$\ell_a W = a + b T_d \text{ -----(2)}$$

其中 $\ell_a W$ 爲可降水量之對數，可用 *cm*，*mm* 或 *in* 等不同單位。 a 與 b 爲常數， T_d 爲露點溫度。

本文利用台北 1981-84 四年之探空資料分析每月平均及春、夏、秋、冬四季逐日之關係。第一圖至第五圖爲每月平均及四季逐日之散佈圖 (scattergram)。統計數字包括迴歸線之截距 (a) 與斜率 (b)，相關係數及標準機差 (standard error) 則詳列於第二表中。

台北每月平均露點溫度與可降水量間之相關係數高達 0.969，僅略遜於 Reitan 所得北美十五個測站之 0.98。因此利用月平均露點溫度推算可降水量以解答氣候學及微氣候學上之問題，應無重大之差誤。

台北每日露點溫度與可降水量之關係，分春、夏、秋、冬四季分析之。相關係數以夏季最低僅 0.316，秋季最高，亦僅 0.795，遠低於美國與加拿大之每日相關係數。一般而言，熱帶之相關不及中高緯度，夏天不及冬天，台北資料符合此一原則。

用水汽壓取代露點溫度以推算可降水量，其相關係數大致相同，分析之結果可參閱第二表及第六至第十圖。

四 露點溫度與降水量關係優劣之解釋

高空水汽分佈之剖面愈近常態或變異愈少，則露點溫度與可降水量之關係愈好。當大部分大氣近於飽和假絕熱直減率時，即可用 1000 mb 或其他高度之露點推算可降水量。在廣大熱帶地區貿易風逆溫層之高度自海洋之東部向西部逐漸增加，因此露點與可降水之關係亦漸改變。但在一固定地點若逆溫層極穩定，則兩者之相關必定良好。

台灣位於副熱帶海洋之西邊，逆溫層不及副熱帶海洋東部之顯著而穩定，因此大氣中水汽含量之變化亦較大。侵襲台灣各種氣團受洋面之影響不同。Drozdor 及 Gregoreva (1965) 根據蘇俄研究之結果，認爲可降水量與絕對濕度之比例可以表示地面水汽在垂直方向之運動。當此一比例超過 2.17 時，氣團中之水汽因蒸發作用而增加。當比例低於

2.17 時水汽自氣團下流至地面。台北之比例如第三表所示，除冬季十二月與一月外全年皆高於 2.17。尤以六月份比例最高，表示在梅雨期有大量水汽自海面蒸發傳達至上空。蒸發視海水溫度與風速而異，當風速超過 6.5 m/sec，即所謂愷爾文臨界數值 (Kelvin critical value) 時，海水蒸發量突然增加，可降水量與地面露點溫度之關係亦有改變。當大氣中有低層噴射氣流 (low-level jet) 時，可降水量大量增加，地面露點溫度變化較少，亦爲兩者關係不良原因之一。

參考文獻：

1. Atwater, M.A., and J.T. Ball, 1976. Comparison of radiation computations using observed and estimated precipitable water. *Journal of Applied Meteorology*, 15: 1319-1320.
2. Balogun, E.E. and J.A. Adedokun, 1986. On the variations in precipitable water over some West African stations during the special observation period of WAMEX. *Monthly Weather Review*, 114: 772-776.
3. Bolsenga, S. J., 1965. The relationship between total atmospheric water vapor and surface dew point on a mean daily and hourly basis. *Journal of Applied Meteorology*, 4: 430-432.
4. Dorzdov O.A., and A.S. Grigoreva, 1965. *The Hydrological Cycle in the Atmosphere*. Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem.
5. Elsasser, W.M., 1942. Heat transfer by infrared radiation in the atmosphere. *Harvard Meteorological Studies*, No.6.
6. Idso, B.S., 1969. Atmospheric attenuation of solar radiation. *Journal of Atmospheric Sciences*, 26: 1088-1095.
7. Karalis, J.D., 1974. Precipitable water and its relationship to surface dew point and vapor pressure in Athens. *Journal of Applied Meteorology*, 13: 760-766.
8. Lowry, D.A. and H.R. Glahn, 1969. Relationship between integrated atmospheric moisture and surface weather. *Journal of Applied Meteorology*, 8: 762-768.
9. Monteith, J.L., 1961. An empirical method for estimating long-wave radiation exchanges in the British Isles. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, 87: 171-179.
10. Reber, E.E., and J.R. Swope, 1972. On the correlation of the total precipitable water in a vertical column and absolute humidity at the surface. *Journal of Applied Meteorology*, 11: 1322-1325.
11. Reitan, C.H., 1963. Surface dew point and water vapor aloft. *Journal of Applied Meteorology*, 2: 776-779.
12. Roller, W.L., and R.F. Goldman. 1967. Estimation of solar radiation environment. *International Journal of Biometeorology*, 11: 329-336.
13. Smith, W.L., 1966. Note on the relationship between total precipitable water and surface dew point. *Journal of Applied Meteorology*, 5: 726-727.
14. Tu chang-wang, 1939. Chinese air mass properties. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, 65: 33-51.
15. Tuller, S.E., 1968. World distribution of mean monthly and annual precipitable water. *Monthly Weather Review*, 96: 785-797.
16. Viswanadham, Y. 1981. The relationship between total precipitable water and surface dew point. *Journal of Applied Meteorology*, 20: 3-8.
17. World Meteorological Organization, 1973. *Manual for estimation of probable maximum precipitation*. WMO-No.332. Operational Hydrology Report No.1, pp. 1-179.

表一 1981 年至 1984 年台北各氣壓層可降水量 (mm) 及其所佔總量之百分比

Table 1. The amount of precipitable water (mm) in different pressure layer and its percentage contribution to the total atmospheric column.

氣壓層 \ 月 份		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
500-300 mb	可降水	0.45	0.46	0.68	1.06	1.88	2.56	2.28	2.20	1.88	1.35	1.00	0.33
	百分比	2.1	1.9	2.2	3.0	4.5	4.9	4.2	4.1	3.7	3.2	3.1	1.5
700-500 mb	可降水	4.41	5.47	6.44	7.86	9.26	11.32	10.76	10.88	10.37	8.63	6.54	4.22
	百分比	20.8	21.9	21.2	22.6	21.9	21.7	19.9	20.3	20.7	20.5	20.5	19.2
850-700 mb	可降水	6.42	7.91	9.69	10.55	12.55	15.45	15.94	15.99	15.03	12.78	9.52	6.69
	百分比	30.2	31.6	31.9	30.3	29.7	29.6	29.5	29.8	29.9	30.5	30.0	30.5
1000-850 mb	可降水	9.95	11.16	13.59	15.37	18.52	22.91	25.04	24.56	22.91	19.21	14.79	10.72
	百分比	46.9	44.6	44.7	44.1	43.9	43.9	46.4	45.8	45.7	45.8	46.4	48.8
1000-300 mb	可降水總量	21.23	25.01	30.40	34.84	42.21	52.24	54.03	53.63	50.19	41.98	31.86	21.96

表二 台北露點溫度或水汽壓開方與可降水量對數統計資料摘要

N：觀測次數 a：迴歸綫截距 b：迴歸綫斜率

r：相關係數 s：標準機差

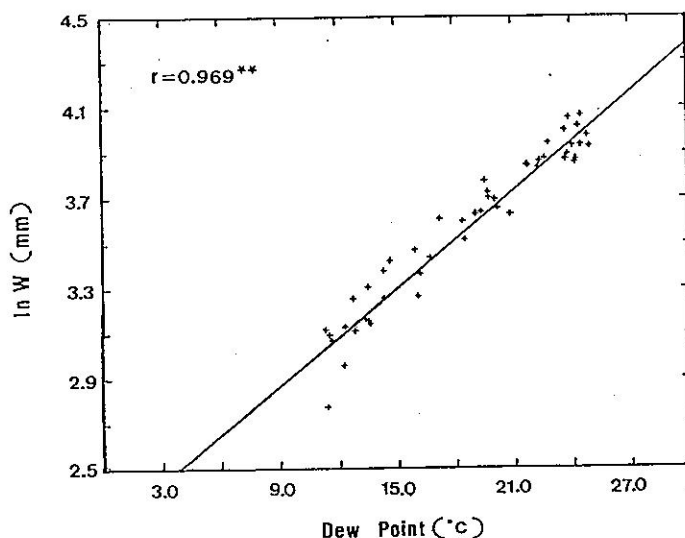
Table 2. Summary of statistical data relative dew point or vapor pressure to precipitable water.

露 點 溫 度 (Td)					
季 節	N	a	b	r	s
全 年	48	2.222	0.072	0.969	0.083
春 季	346	2.565	0.053	0.655	0.247
夏 季	326	2.719	0.050	0.316	0.233
秋 季	357	2.214	0.071	0.795	0.200
冬 季	358	2.194	0.068	0.635	0.269
水 汽 壓 開 方 ($\sqrt{e}$)					
全 年	48	1.197	0.503	0.967	0.087
春 季	346	1.783	0.379	0.655	0.247
夏 季	326	2.265	0.300	0.306	0.234
秋 季	357	1.295	0.483	0.790	0.202
冬 季	358	0.976	0.541	0.630	0.270

表三 台北 1981-1984 年各月可降水量 (mm) 與絕對濕度 (gm/m³) 之比例

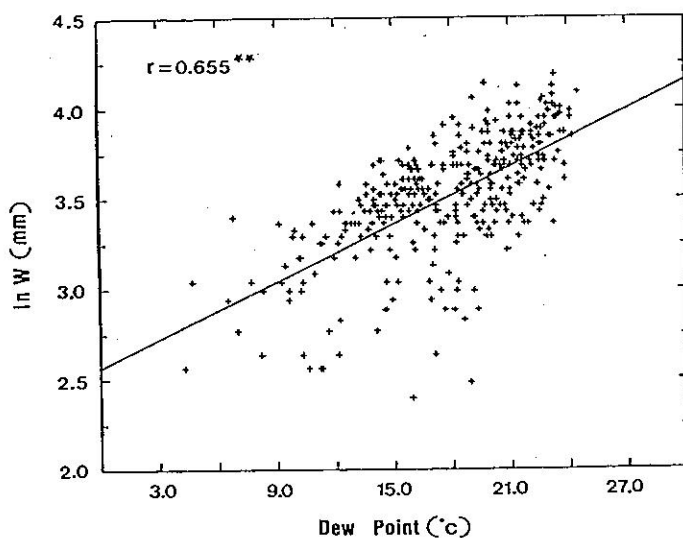
Table 3. The ratio between monthly precipitable water (mm) and absolute humidity (gm/m³)

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
可 降 水 (mm)	21.23	25.01	30.40	34.84	42.21	52.24	54.03	53.63	50.19	41.98	31.86	21.96
絕 對 濕 度 (gm/m ³)	10.77	11.43	13.14	15.39	17.79	20.99	22.51	22.02	21.48	17.77	14.42	11.37
可降水與絕 對濕度比例	1.97	2.19	2.31	2.26	2.37	2.49	2.40	2.43	2.34	2.36	2.20	1.93



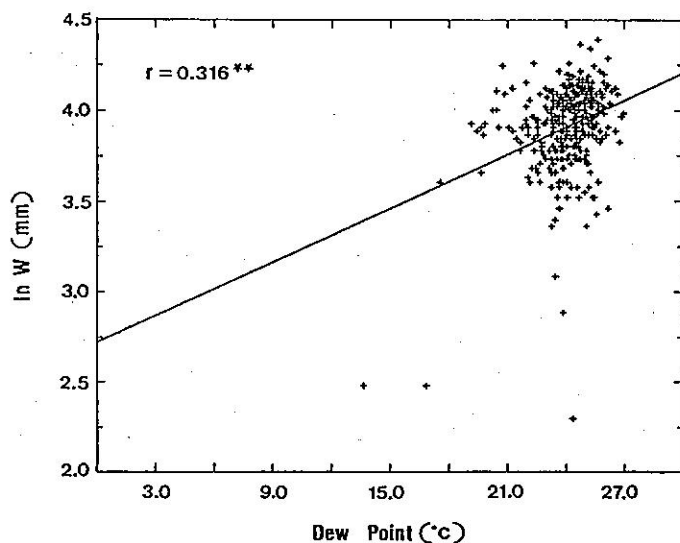
圖一、台北每月平均露點溫度與可降水量對數散佈圖及迴歸線

• Fig.1 Scattergram showing relationship between mean monthly surface dew point and precipitable water.



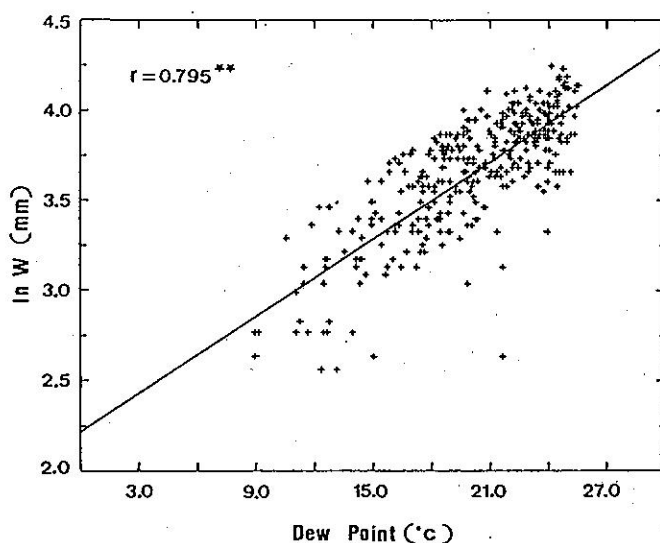
圖二、台北春季（三月、四月、五月）每日露點溫度與可降水量對數散佈圖及迴歸線

• Fig.2 Scattergram showing relationship between daily surface dew point and precipitable water in spring (Mar., Apr., May)



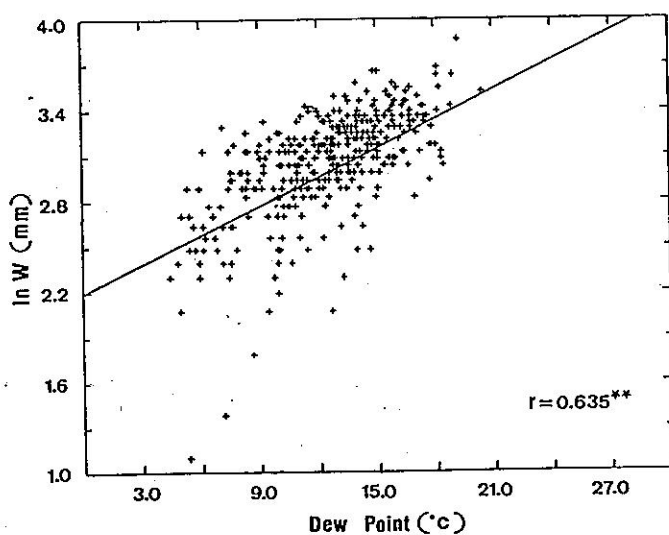
圖三 台北夏季（六月、七月、八月）每日露點溫度與可降水量對數散佈圖及迴歸線

• Fig.3 Scattergram showing relationship between daily surface dew point and precipitable water in summer (Jun., Jul., Aug.)



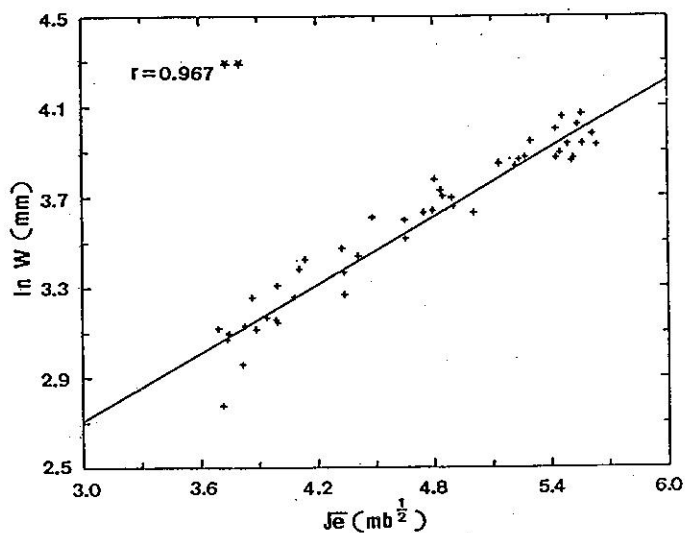
圖四 台北秋季（九月、十月、十一月）每日露點溫度與可降水量對數散佈圖及迴歸線

• Fig.4 Scattergram showing relationship between daily surface dew point and precipitable water in autumn (Sep., Oct., Nov.)



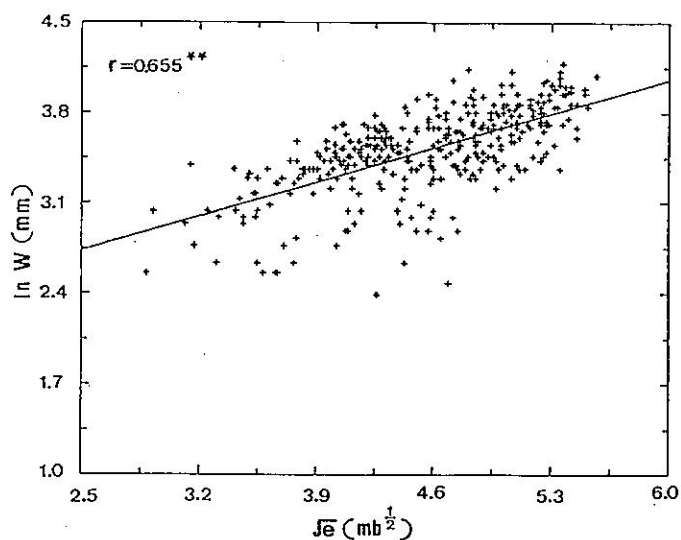
圖五 台北冬季（十二月、一月、二月）每日露點溫度與
可降水量對數散佈圖及迴歸線

Fig.5 Scattergram showing relationship between daily
surface dew point and precipitable water in winter
(Dec., Jan., Feb.)



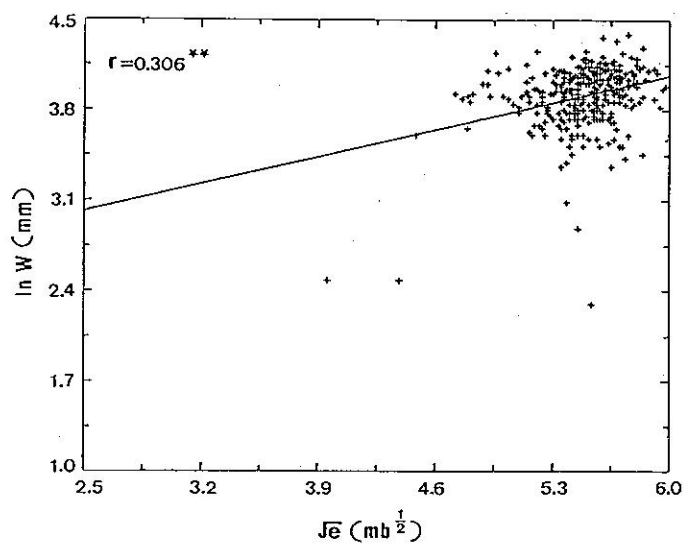
圖六 台北每月平均水汽壓開方與可降水量對數散佈圖及迴歸線

Fig.6 Scattergram showing relationship between mean monthly
surface vapor pressure and precipitable water.



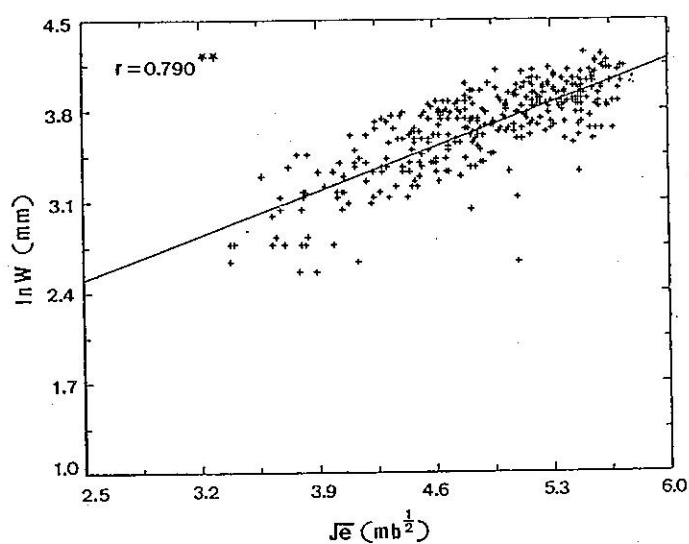
圖七 台北春季（三月、四月、五月）每日水汽壓開方與可降水量對數散佈圖及迴歸線

Fig.7 Scattergram showing relationship between daily vapor pressure and precipitable water in spring (Mar., Apr., May)



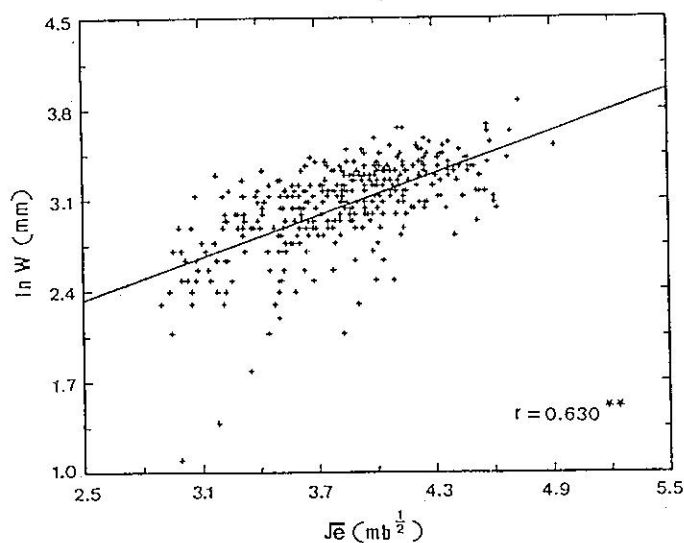
圖八 台北夏季（六月、七月、八月）每日水汽壓開方與可降水量對數散佈圖及迴歸線

Fig.8 Scattergram showing relationship between daily vapor pressure and precipitable water in summer (Jun., Jul., Aug.)



圖九 台北秋季（九月、十月、十一月）每日水汽壓開方與可降水量對數散佈圖及迴歸線

Fig.9 Scattergram showing relationship between daily vapor pressure and precipitable water in autumn (Sep., Oct., Nov.)



圖十 台北冬季（十二月、一月、二月）每日水汽壓開方與可降水量對數散佈圖及迴歸線

Fig.10 Scattergram showing relationship between daily vapor pressure and precipitable water in winter (Dec., Jan., Feb.)

The Analysis of Precipitable Water in Taipei Area.

Jen-Hu Chang
Department of Geography
National Taiwan University

Ling-Hsiao Chang Chea-Yuan Young
Central Weather Bureau

Shin-Chung Cheng
Department of Meteorology
Chinese Culture University

Ming-Yang Liu Jen-Ho Chen
Central Weather Bureau

Abstract

Radiosonde observations in Taipei during the four-year period 1981 through 1984 have been used to calculate precipitable water. Mean monthly values vary from a minimum of 21.2 mm in January to a maximum of 54.0 mm in July. Surface dew point temperature, or vapor pressure, can be used to estimate monthly average precipitable water with a correlation coefficient as high as 0.969. However, correlation coefficients for daily values are very low and vary from 0.36 in summer to 0.795 in autumn. Reasons for the low correlation have been briefly discussed.