

風場變形對地面降水觀測 造成偏差之個案探討

林博雄¹ 徐仲毅¹ 簡振和²

¹國立台灣大學大氣科學系

²國立台灣大學水工試驗所

(中華民國九十年十一月十二日收稿；中華民國九十一年四月十五日定稿)

摘 要

過去文獻有關地面降水觀測系統性誤差之探討，都是假定雨量計在儀器顯露良好情況下，風場通過雨量計所形成的微尺度擾動氣流，造成降水短少之現象。然而，在地面降水觀測實務上，都市與山區雨量計的儀器顯露不良，雨量計周遭環境對風場變形的程度應不容忽略。本文分解風場修正因子 K 為儀器因子 (K_i) 與環境遮蔽因子 (K_e)，設計一種雨量計儀器顯露度之定量化方法，並分別於桃園新屋農業改良場(2000年6~9月)以及台北盆地南側之台灣大學大氣科學系氣象觀測坪(2001年1~4月)，進行雨量計之「集雨口高度」以及「儀器顯露度」兩種戶外觀測實驗，來探討不同風速及降水強度之降水事件下，儀器與環境遮蔽引發的風場變形所造成地面降水偏差。

在「集雨口高度」實驗的資料分析發現，0.5mm 傾斗解析度無法突顯兩套傾斗式雨量計集雨口高度相差 1.8m 時之雨量觀測偏差，因此雨量監測與研究需要更高的雨量計傾斗容積解析度。在「儀器顯露度」實驗的資料分析發現，雨量計顯露度大於 14° 時會造成顯著的雨量蒐集短少偏差，其偏差值隨著環境風速增大、降水強度減小而增加；日降水量超過 5mm 以上時，偏差值介於 0%~12% 之間，並且降水觀測偏差並不會隨著儀器顯露度增大而線性增大。比較這兩類觀測實驗的結果，我們認為儀器顯露度小於 5° 以下時，可忽略環境遮蔽物對雨量蒐集的影響。對於 0.5mm 解析度的傾斗式雨量計而言，升高集雨口高度所造成雨量蒐集短少的情形並不明顯，反而有助於降低儀器顯露度而增加收集之雨量。我們也發現風擋可以改善台北冬季降水期間雨量計儀器結構引發風場變形，有效降低雨量蒐集偏差約 2%。

關鍵詞：風場變形、地面降水、儀器顯露度

一、前 言

地面降水(precipitation)觀測不僅是全球氣象界的觀測要項之一，也是其他學科領域所共同關心的焦點。比如大尺度降水之空間及時間分佈的資料，是驗證全球環流模式的一項重要資訊；區域性降水資料是分析診斷該區域氣候系統變異的基本資訊之一。Global Precipitation Climate Project (GPCP, Arkin, 1994) 與 Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM, Oki et al., 1998) 衛星計畫都試圖結合衛星遙測觀測平台與地面的降水觀測網，來組合出最佳的全球降水資料庫。此外，雷達回波推估對流系統降水特徵涉及各地雨滴譜特徵不同，也必須利用當地地面降水資料驗證來獲得最佳之經驗參數。台灣自 1986 年到 1997 年期間由中央氣象局建置自動雨量及氣象遙測系統(Automatic Rainfall and Meteorological Telemetry System, 以下簡稱 ARMTS)，完成 220 個傾斗式遙測雨量站以及 81 個氣象站(中央氣象局，1998; Hsu, 1998)。ARMTS 的雨量即時資料是目前國內大氣科學學術研究以及颱風期間降水防災資訊之主要來源，其所構成的高時空密度之雨量觀測網，對於劇烈天氣之災害防治(鄭，2000)、水資源規畫(經濟部水資源局，1997)，以及台灣地區日夜與季節降水特徵探討(Chen et al., 1999)等學術研究與民生應用，提供了將近十年時間長度的雨量資料。

然而 ARMTS 系統之雨量資料偏差(deviation)程度未曾被探討過，經濟部水資源局曾指出台灣地區不同事權單位(氣象局、水利處、台灣電力公司)的降水資料品管都有待加強(經濟部水資源局，1997)。由於世界氣

象組織(World Meteorological Organization, WMO)並未對地面降水量測儀器提供一套量測計量之標準，因此雨量研究僅能用偏差值(deviation)而非誤差值(error)，因為後者涉及了儀器精確度的確定。中央氣象局委託民營氣象儀器公司每隔半年對 ARMTS 排除筒內漏斗異物以及檢修電力與訊號傳輸設備，但是不同的環境風速與降水強度下，其儀器結構和設置地點週遭環境遮蔽對雨量蒐集產生何種程度的系統性偏差，並沒有定量數據可供引用。ARMTS 的集雨口口徑採用 30cm，筒身的長度在台灣東部地區為 4m，在台灣西部地區則為 3m，我們整理出全球主要國家不同雨量筒之口徑與筒身特徵(表一)，發現全球各個地區的降水觀測儀器彼此間之歧異度很大。圖 1 是 ARMTS 雨量站在海濱與山林的實景照片，各站址周遭環境對雨量計的遮蔽程度也有顯著差異。本文研究動機在於探討 ARMTS 傾斗式雨量計之儀器本身特性以及環境遮蔽之風場變形對降水觀測偏差之程度，做為日後其他研究引用 ARMTS 雨量資料，以及修正降水監測實務工作之參考。第二節

表一 全球主要國家之雨量計口徑。
(摘自 Strangeways, 2000)

使用國家	口徑	材質
中國	20cm	鍍鋅鐵材
巴西	22.57cm	不鏽鋼
印度	15.69cm	玻璃纖維
法國	22.57cm	鍍鋅鐵材或不鏽鋼
俄羅斯	15.69cm	鍍鋅鐵材
美國	20.32cm	銅
英國	12.7cm	銅
德國	15.69cm	鍍鋅鐵材
澳大利亞	20.32cm	鍍鋅鐵材
台灣	20 與 30cm	不鏽鋼



圖 1 中央氣象局 ARMTS(見內文)北部濱海公路 CIU58 北關站(左圖)以及東部山區 CIT90 西林站(右圖)。

將進行文獻回顧以及說明本文的戶外觀測實驗設計，第三節則具體說明觀測實驗過程與資料之分析結果，第四節是總結與討論。

二、文獻回顧與實驗設計

Sevruk (1982) 曾用公式(1)來說明地面降水觀測之系統性短少偏差：

$$P_k = KP_c = K(P_g + \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 \pm \Delta P_4) \pm \Delta P_r \quad (1)$$

其中， P_k ：修正過後的降水量

K ：風場變形修正因子 (2~10%)

P_c ：落入雨量計之雨量

P_g ：雨量計所量得之降水量

ΔP_1 ：雨量計集雨口上方風場變 (wind

deformation) 誤差修正量 (2~10%)

ΔP_2 ：雨量計內壁淋濕 (wetting) 差修正量 (1~2%)

ΔP_3 ：蒸發 (evaporation) 誤差修正量 (0~4%)

ΔP_4 ：雨滴濺入濺出 (splashing of the drops) 誤差修正量 (1~2%)

ΔP_r = 隨機觀測誤差

換言之，落入雨量計的雨量(P_c)和雨量計最後所測得的雨量(P_g)之間的偏差，受到 ΔP_1 到 ΔP_4 系統性誤差現象的影響； K 值則是綜合性的修正因子，但是因為風場引變形引發的偏差效果最大(ΔP_1 的百分比率值為最大 2~10%)，因此 Sevruk 仍然將其取名為風場變形修正因子。其後的文獻 (Folland, 1988；

Hall et al., 1993; Sevruk et al., 1989, 1991, 1994; Tammelin, 1982) 都僅針對雨量計集雨口上方風場變形所造成的降水蒐集短少加以討論。

大體而言，影響 K 值的來源可區分為兩大類：

- (1) 儀器結構因子 (如雨量計的形狀、雨量計集雨口面積、雨量計本身的長度)
- (2) 天氣因子 (如風速、降水型態)

儀器結構因子方面，雨量計的形狀越是流線，雨量計集雨口面積越小，雨量計本身長度與集雨口直徑之比率越小，則降水觀測偏差也將越小。本文改以 K_i 表示影響 K 值的儀器結構因子，下標 i 代表 instrument。天氣因子方面，Sevruk (1996) 發現風速越大以及降水強度越小，雨量觀測的短少偏差也越大(圖 2)。如果地面雨量觀測在一個有遮蔽物影響之下的場地進行，則風場變形的修正轉換因子 K 值則同時受到儀器結構及環境遮蔽

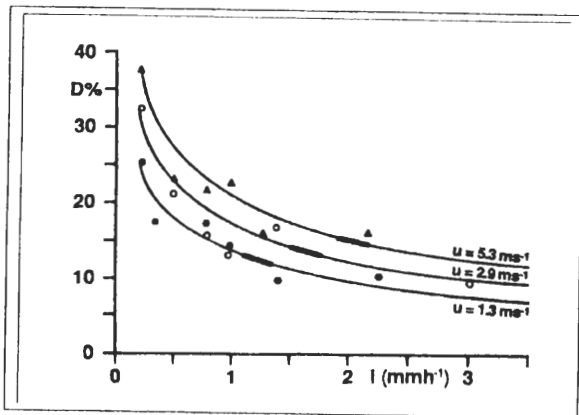


圖 2 降雨觀測偏差(縱軸)與三種風速條件及降雨強度(mm/h, 橫軸)等天氣因子之關係 (摘自 Sevruk, 1996)。

物的影響，我們將其表示成 $K_{e,i}$ ，下標 e 是指 environment 的意思。綜合言之，地面雨量觀測的風場變形修正因子 $K_{e,i}$ ，應受到(1)天氣因子、(2)儀器結構因子、以及(3)環境遮蔽物的影響所主宰。其中第一項天氣因子依各地氣候條件有所不同，以人工模擬降水強度以及風速大小等天氣條件的困難度較高，第二項與第三項的因子經由人為實驗控制加以探討則為可行。

雨量計結構因子方面，Sevruk et al. (1994) 依據風洞實驗、流體動力數值計算及雨量計量測之交互比對的結果，將影響雨量觀測的雨量計結構因子歸納成下列三種結構參數：(1)雨量計本身的高度和集雨口口徑的比率，(2)雨量計集雨口的口徑以及其邊框的厚度，及(3)雨量計的形狀。Hall et al. (1993) 利用風洞實驗得知當雨量計本身的高度和集雨口口徑的比值在 0.5 以下時，雨量計集雨口中心上方的風速有隨著比值增大而快速增加的現象出現；但當雨量計本身的高度和集雨口口徑的比值超過 0.5 以後，則雨量計集雨口中心上方的風速的增加並不明顯，而集雨口中心上方風速的最大增加率為 25%。Kalma et al. (1969) 利用實際觀測交互比對的方式，發現集雨口面積較小的雨量計(70cm² 以下)觀測所得的雨量較多。但是，根據 Sevruk et al. (1994) 的風洞實驗則發現對一般形式的雨量計(集雨口面積為 200~500 cm²)而言，集雨口口徑的不同對其上方的風速增加量並無明顯的影響，反而是集雨口邊框厚度較厚的雨量計所引發的風速增加量較大。Strangeways (2000) 認為集雨口口徑大於 10cm 時(集雨口面積為 62.8cm²)，集雨口口徑大

小對於雨量觀測偏差影響不顯著。Hall et al. (1993) 的風洞實驗也認為當雨量計本身的長度和集雨口口徑的比率大於 0.5，則集雨口上方之風速增加量差異不大。綜合以上文獻的看法，雨量計結構因子對雨量觀測偏差的爭議性仍然存在，並無共同結論出現。

環境遮蔽物的影響方面，世界氣象組織(WMO)對雨量計設置的儀器顯露度(instrument exposure)做了分級規範，儀器顯露度定義為集雨口與環境遮蔽物上緣之仰角角度，再取八方位的數據平均後得之。儀器顯露度小於 5° 者為首要(exposed site)，其次為 $6\sim 12^\circ$ (mainly exposed site)。Strangeways (2000) 指出雨量計距離障礙物的距離必須至少要大於障礙物高度的 4 倍以上，也就是集雨口到障礙物的仰角必須小於 14° 。本文採用 14° 的儀器顯露度數值為雨量觀測環境遮蔽的最低下限。

ARMTS 為了滿足雨量計在空間分布上的代表性，以及預防設備被人為破壞，將雨量計的設置於樹木繁盛的山林地區或是都市與村落的公務單位建築體之角落位置，放大集雨口口徑到 30cm，並加高其筒身長度到 3m (台灣西部)與 4m (台灣東部)，因此 ARMTS 雨量偏差之風場修正因子 $K_{e,i}$ 更形複雜。

本文的戶外觀測實驗共分兩類，一是僅考慮儀器結構所引發的風場變形(簡稱 K_i , type) 的降水觀測偏差，另一是利用風擋(wind shield)濾除儀器之風場變形，將 $K_{e,i}$ 簡約成 K_e ，來探討遮蔽物所引發的風場變形(簡稱 K_e , type) 降水觀測偏差。觀測實驗步驟分成三個階段進行，第一階段是進行觀測實驗用之台禹 MW210S 0.5mm 傾斗式雨量筒與美國

RM Young- 05103L 風速風向計之儀器器差檢定(陳等, 1988)，以確定實驗用之儀器器差數據。第二階段「 K_i , type 集雨口設置高度實驗」於 2000 年 6 月至 10 月間，假桃園新屋鄉農業改良場場區之一公頃平坦開闊旱田進行，以確立無遮蔽物的影響下，不同之集雨口高度所引發之偏差。第三階段「 K_e , type 集雨口顯露度實驗」於 2001 年 1 月至 4 月間，假台灣大學大氣科學系觀測坪進行，並再細分成(1)雨量計架設高度以及(2)遮蔽物遠近所造成的儀器顯露度差異，來探討 K_e 風場變形因子對雨量觀測所造成的影響。實驗期間以太陽能光電板供應美國 Campbell Scientific Inc. CR-10 記錄器儲存 5 分鐘解析度氣象資料，每週一至二次到觀測實驗現場下載資料，並對儀器進行清潔保養、電力檢查以及雨量計水平校準之工作，以確保觀測之品質。同時為了定量求得觀測位置的儀器顯露度，我們設計一套影像數位分析流程來加以計量：

利用 Nikon Coolpix-880 數位相機與 Nikon FC-E8 魚眼鏡頭拍攝雨量筒口上方之全天空彩色影像，轉換成「天空為白色，遮蔽物為黑色」之黑白圖樣，利用黑色內緣(遮蔽物上緣)與影像中心點之距離 R ，來求取遮蔽物上緣相對於集雨口之仰角 θ 。然而，透過魚眼鏡頭所攝得的影像會有影像中央放大、四周縮小的扭曲現象，因此 θ 與 R 之間的轉換並不是單純的線性關係；我們利用經緯儀先在台灣大學大氣科學系前庭廣場，以環場四周建築物各層窗戶做為參考點度量其光學仰角 θ ，之後再於同一地點同一腳架高度架設數位相機與魚眼鏡頭拍攝環場空間畫面，然後利用 PhotoImpact 軟體將彩色影像轉

換成黑白影像，對照影像中各個參考點 θ 值與 R 值，求得：

$$R = 423.7 * (\cot(\theta) + 1.9) \quad (2)$$

其中 423.7 以及 1.9 為最小平方求出的常數。空間黑白影像 R 值取 1° 解析度並經上

述公式轉換出 360 個 θ 值，取得的 θ 平均值即為儀器之顯露度，顯露度數值越大(小)代表環境的遮蔽影響程度越大(小)。圖 3 為台灣大學大氣科學系觀測坪中央點離地 60cm 高度的環場照片與影像處理之樣本，該圖顯示該處的儀器顯露度為 15° 。

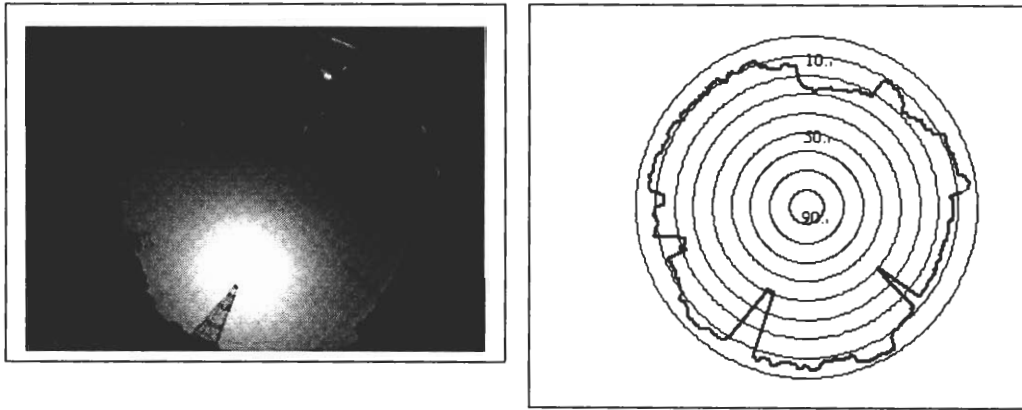


圖 3 儀器顯露度(環境遮蔽)的影像處理。地點在台灣大學大氣科學系觀測坪中央點，左圖為離地 60cm 高度的環場魚眼數位照片，右圖為內文公式(2)換算出來的各方位角顯露度數值，同心圓由外而內之數值為 0 度到 80 度；本圖的儀器顯露度平均值為 15° 。

三、戶外觀測實驗之進行與資料分析

K_i type 集雨口設置高度實驗之實驗時間為 2000 年 6 月 1 日至 9 月 16 日，降水日數計有 35 天； K_e type 集雨口顯露度實驗之實驗時間為 2001 年 1 月 22 日至 4 月 6 日，降水日數計有 38 天，舉凡某一雨量計日雨量超過 0.5mm 當日即定義為降水日，表二與表三分別整理了這二次戶外觀測期間的降水事件日總量； K_i type 集雨口設置高度實驗期間，6 月 15 日到 19 日降水是由滯留鋒面系統引發，8 月 21 日到 23 日以及 8 月 27 日到 30 日期間則是當年的第 10 號(碧利斯)颱風以及第 12 號(巴比侖)颱風環流的雨帶引發，其

餘降水事件則是由傍晚以及清晨的短時對流性系統所造成。 K_e type 集雨口顯露度實驗期間，前 10 次連續性降水是由東北季風之雲系所造成，雨勢在 2001 年 2 月 15 日到 2 月 25 日之間有連續 11 天停歇，之後的降水現象約以 3~5 天間距出現或停歇。

第二節中曾論述降水強度是決定 K_{en} 的重要天氣因子之一，而降水強度是指某一時間內的降水累積量。由於傾斗式雨量計儀器特性無法立即反應出降水開始以及結束之即時時間，需要雨水裝滿傾斗才能有訊號記載，因此本文在進行觀測資料分析前，必須先明確定義降水強度(以下簡稱雨強)。本文參考 Sevruc (1996) 作法，以 1 小時為單位，將 24

表二 2000 年新屋農業改良場 K_i type 集雨口高度實驗降雨事件一覽，日期標註*符號為颱風侵襲之天氣狀況。日雨量超過 5.0mm 時以灰色陰影突顯之。

日期	累積雨量(mm)	降雨強度(mm/hr)
6/15	4.50	2.25
6/16	18.50	2.64
6/17	7.00	0.41
6/19	11.00	5.50
7/04	2.50	2.50
7/09	43.00	2.53
7/16	10.50	1.31
7/18	18.00	3.60
7/19	0.50	0.17
8/05	2.50	2.50
8/11	7.50	2.50
8/13	2.50	0.42
8/14	4.00	1.00
8/22	7.00	0.78
8/23	12.50	0.78
8/24	19.00	3.17
8/26	26.00	6.50
8/28	21.00	1.50
8/29	26.00	2.36
8/30	1.50	0.19
9/01	2.00	0.50

小時內首先發生降水事件之時間至最後發生降水事件之時間視為「降水時距」，降水日之「日平均雨強」則定義為降水日之總降水量除以降水時距。此外，為了消除儀器故障、人為或動物的破壞和訊號干擾等隨機觀測誤差影響資料分析診斷，以下三項條件任何之一成立時，當日資料即被剔除不予分析：

- (1) 任一雨量計雨量不足 0.5mm，無法判定是否有降水現象；
- (2) 任一雨量計雨量不足 5.0mm，雖有降水但是日總量偏少；
- (3) 兩雨量計相互比較之降水量差距超過 60

表三 2001 年台灣大學 K_e type 集雨口顯露度實驗降雨事件一覽。日雨量超過 5.0mm 時以灰色陰影突顯之。

日期	累積雨量(mm)	降雨強度(mm/hr)
1/24	11.50	2.88
1/25	52.50	2.39
1/26	54.50	2.87
1/27	13.50	1.13
1/28	40.00	1.90
1/29	6.50	1.08
1/30	0.50	0.13
2/1	1.00	0.50
2/2	8.00	0.47
2/3	3.00	0.38
2/7	0.50	0.17
2/8	1.50	0.21
2/12	1.00	0.08
2/14	4.50	0.56
2/26	9.50	1.36
2/28	2.50	0.28
3/1	2.50	0.23
3/3	1.50	0.12
3/7	15.50	1.55
3/8	16.50	1.27
3/10	2.00	0.33
3/11	9.00	0.38
3/12	2.00	0.50
3/16	1.00	0.50
3/19	0.50	0.50
3/20	4.50	0.38
3/21	15.50	1.72
3/25	31.00	3.88
3/26	18.50	0.80
3/27	54.50	2.48
3/28	12.00	0.52
3/29	0.50	0.50
4/3	41.50	1.89
4/4	19.00	0.79
4/5	3.50	0.39

%，應有某一雨量計機械或訊號記錄故障 (Sevruk, 1996)。

第二項條件設定的理由，是因為 Sevruk (1982) 以及 Groisman(1994)都估計由儀器結構所引

發之風場變形所造成的降水觀測偏差約在 2%~10% 之間，因此當一天的降水累積量小於 5mm 以下時，本文引用的台禹傾斗式雨量筒 0.5mm 的儀器解析度所可能造成的誤差將大於 10%，將會誤導我們分析資料的推論。日後類似研究如果能採用更小的傾斗容積(如 0.1mm)時，這一條件則應適度調整或刪除。

(一) K_1 type 集雨口設置高度實驗

本節的實驗地點選擇桃園新屋農業改良場場內 1 公畝正方形面積的旱田中心，該處的儀器顯露度依據第二節公式(2)的全天空數位影像分析計算為 4.97° ，合乎 WMO 儀器顯露度小於 5° 的「exposed site」等級規範。實驗由 2000 年 6 月 1 日開始到當年的 9 月 6 日結束，每週到實驗現場下載雨量與風場資料，割除觀測場地四周雜草，清除儀器周遭

蟲蟻巢穴，並對儀器進行清潔保養、電力檢查以及雨量計水平校準之工作，以確保觀測資料之品質，減少實驗之隨機誤差。設置的四具雨量筒全部為台禹 0.5mm 解析度、口徑 20cm 傾斗式雨量筒，其集雨口設置高度分別為 240cm (以下簡稱 RG240)、92cm (以下簡稱 RG92)、62cm (以下簡稱 RG62)，第四具雨量筒高度也是 62cm 但再搭配 Alter 風擋(以下簡稱 RG62+A)；RM Young 風向風速計架設高度選取 240cm 和 62cm (圖 4)。本實驗是以 RG62 之觀測值為基準，做為其他高度雨量計的偏差計算參考值。Alter 風擋為美國境內自 1940 年代後大量採用的風擋類型 (Grisman and Legate, 1994)，由於 ARMTS 以及氣象局各測候站都並未給予雨量筒加置風擋，因此 Alter 風擋在這次實驗中為功能測試性質，而不以 RG62+A 做為其他高度雨量

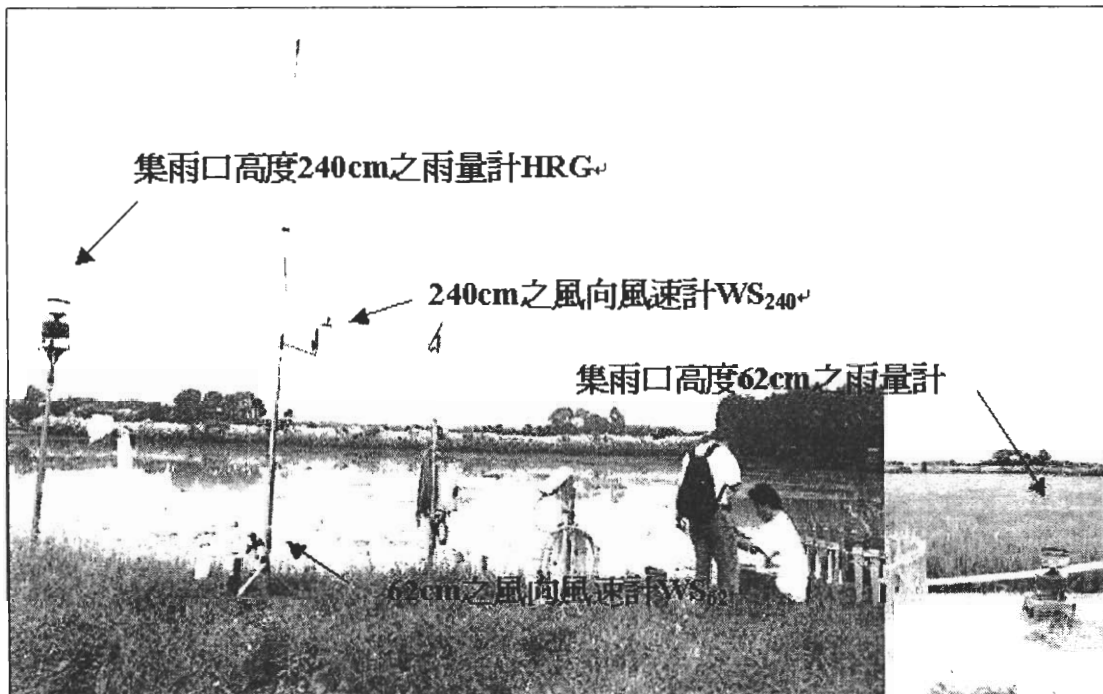


圖 4 K_1 type 集雨口設置高度實驗之實驗設置現場 (地點：桃園縣新屋農業改良場)。

計的偏差參考值。我們在下一小節的 K_c type 集雨口顯露度實驗中另外訂製一具 Tretyakov 式風擋，兩者差異將留待第四節討論。

降水資料經過整理篩選後有效降水日數由 35 天遞減為 21 天，我們依循 Sevruc (1996) 的分析方法(圖 2)來討論 RG62 與 RG240 之日累積雨量差值百分比(D 值)，以及其與風速和降雨強度之間的關係(圖 5)；從該圖中可以發現 D 值並沒有顯著呈現隨著風速增加而增加，以及隨著日平均雨強減小而增大的現象，RG62 與 RG92 之日累積雨量 D 值與風速的關係(圖未示)也類似圖 5，顯示在儀器顯露度條件良好的情況下，0.5mm 解析度之傾斗雨

量計筒口高度因素不會造成顯著的雨量蒐集短少。周(1976)在台灣大學觀測坪比較 180cm 高度虹吸式雨量計與地面人工記錄式雨量計的雨量蒐集差別，認為雨量筒高度定性上會造成雨量蒐集短少。由於周(1976)採用浮筒虹吸式雨量計可以連續記錄雨量，而本文使用的雨量計為解析度 0.5mm 之傾斗式雨量計，時間連續性不甚理想。然而新屋觀測實驗地點的儀器顯露確實是十分平坦空曠，不比 25 年前台灣大學觀測坪的空曠程度遜色，因此我們推論 K_i 的影響應小於 0.5mm 傾斗容積解析度粗糙的影響，也有可能有效降水日數樣本太少而無法突顯 K_i 效應。

(二) K_c type 集雨口顯露度實驗

為了探討環境遮蔽物造成風場紊流變形而對雨量觀測所造成之影響， K_i type 實驗結束後我們將所有儀器設備轉移到台灣大學大氣科學系 50*60 平方公尺觀測坪，進行 K_c type 集雨口顯露度實驗，雨量計之布置如圖 6 所示，這一階段實驗由 2001 年 1 月 22 日開始到當年的 4 月 6 日結束，風向頻率以東風為最高。該場地東側是台灣大學農學院實驗田與精密溫室，西側是食品科學研究所 4 樓建築，南側是園藝研究所 2 樓建築、樹叢以及一組 35 公尺高度之氣象鐵塔，北側是大氣科學系 3 樓建築，是典型的市區人工建築圈谷地貌型態。第一具 MW210S 雨量計架設於觀測坪場地中央位置，集雨口離地高度為 3m，儀器顯露度為 12° (以下簡稱 SRG_{12})，做為本實驗不同雨量計之間偏差比較的基準值，理由是其儀器顯露度小於 14° 臨界值。在 SRG_{12} 附近設置第二具集雨口高度 0.6m 顯露度 15° 之 MW210S 雨量筒(簡稱 SRG_{15})，

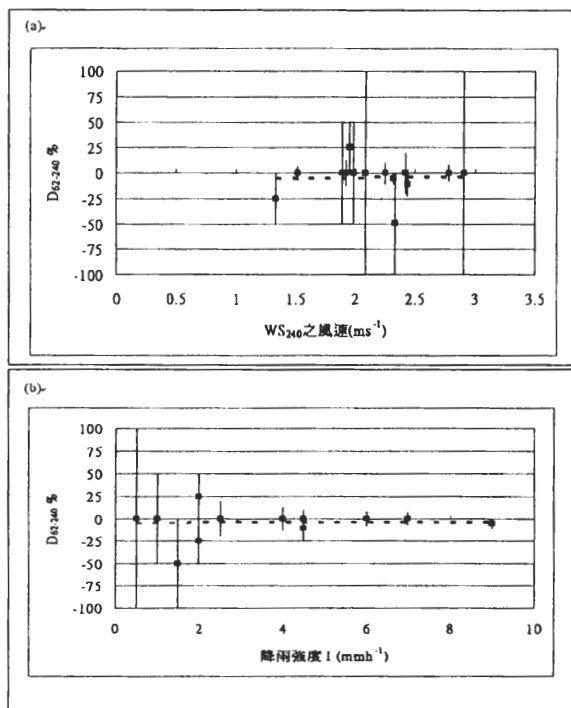


圖 5 (a) WS_{240} 風速與降水差值百分 D_{62-240} 關係圖 (b) 降水強度 I 與降水差值百分比 D_{62-240} 關係圖。圖中各點標示 0.5mm 儀器解析度之誤差範圍，虛線則為最小平方方法所求得之趨勢線。

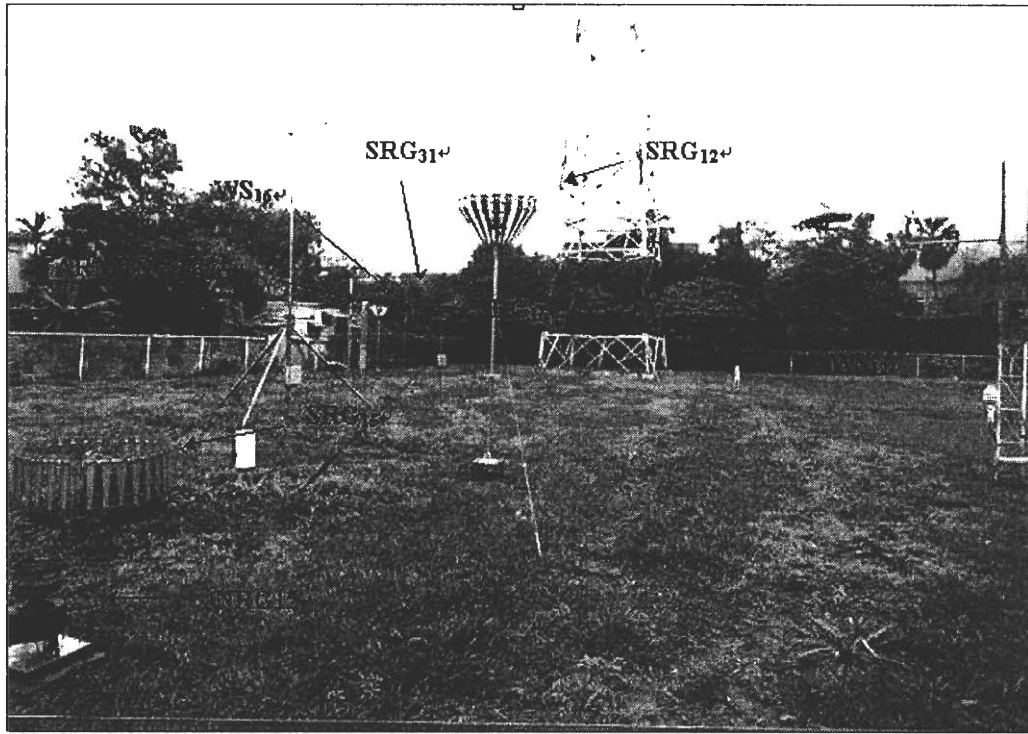


圖 6 K_c type 集雨口顯露度實驗現場 (台灣大學大氣科學系觀測場)。

觀測坪東側圍籬邊界有一具 ARMTS 雨量站 (編號 C1A73 公館站)，第三具 MW210S 雨量計架設在其一旁，集雨口高度同為 3m 以及儀器顯露度為 16° (簡稱 SRG_{16})，兩雨量計都受其東側 3 公尺外的農場工作室屋頂遮蔽。 SRG_{16} 並在 3 月 5 日至 4 月 6 日移至觀測坪南側圍籬邊界儀器顯露度高達 31.2° 的地點 (簡稱 SRG_{31})。這些實驗安排目的有二：

- (1) 遮蔽物顯著影響雨量計的環境之下重覆 K_c type 實驗，亦即集雨口不同高度(造成不同儀器顯露度不同)對雨量蒐集偏差之影響，可由 SRG_{12} 、 SRG_{15} 等雨量筒群組之比較來進行。
- (2) 遮蔽物水平距離對雨量蒐集偏差之影響，可由 SRG_{12} 、 SRG_{16} 、 SRG_{31} 等雨量筒群組

之比較來進行。

風向風速計設置於 SRG_{12} 及 SRG_{16} 一旁並與集雨口等高，稱之為 WS_{12} 與 WS_{16} 。這一階段實驗雨量計集雨口的風場變形(K)理應是遮蔽物造成的風場變形和儀器結構造成的風場變形的加乘結果(K_{ei})；為了孤立出 K_c 因子對風場變形的效果，我們假設風擋可以濾除儀器結構引發之風場變形(K_i)，訂做二套 Tretyakov 風擋附加在 SRG_{12} 與 SRG_{16} (後來的 SRG_{31})集雨口周圍， SRG_{15} 則附加上 Alter 風擋。最後，本階段實驗的第四具 MW210S 雨量計架設在 SRG_{15} 之旁但無設置風擋(簡稱 NRG_{15})，來探討雨量計有無風擋情形下的雨量蒐集差異。

資料分析發現，日降水量 5mm 以上的

SRG₁₂ 與 SRG₁₅ 偏差值(D₁₂₋₁₅)隨著 WS₁₂ 的風速增大而增加、隨著降水強度越小偏差值越大的趨勢(圖 7), 偏差值介於 0%-12%之間, 平均值約 5%。這兩雨量計的差別在於集雨口高度的不同, 但是因為環境遮蔽因素存在而使得雨量計高度越高儀器顯露度越小, 雨量蒐集則越多。這一結果也能延伸新屋農改場 K₁ 實驗結果的推論, 即當環境空曠平坦條件下, 若能消除風場變形儀器因子(比如附加風擋), 則雨量計設置高度將不會產生降水觀測偏差現象。

然是否越靠近環境遮蔽物(較大之儀器顯露度), 雨量蒐集短少數量是否會線性越

多? 答案是否定的; SRG₁₂ 與 SRG₁₆ 偏差值(D₁₂₋₁₆) 在 0~8%之間, 並存在隨著 WS₁₂ 的風速增大而增加、隨著降水強度越小偏差值越大的趨勢(圖 8)。SRG₃₁ 相對於 SRG₁₂ 之降水偏差百分比(D₁₂₋₃₁)則介於 0~7%之間(圖 9), 類似於圖 8 之結果, 顯然其降水觀測偏差並未隨著儀器顯露度顯著變大而增大。這結果暗示環境遮蔽物引發的紊流效應對於雨量計蒐集偏差之影響是多變的, 需要更多的控制因子以及更長實驗時間來進行觀測調查。比如風向就是一項重要的控制因子, 惟這階段觀測實驗因人力與物力之限制而只在台灣大學氣象觀測坪場地進行 43 天, 並且當地冬季降雨事件之風向幾乎全為東風分量。

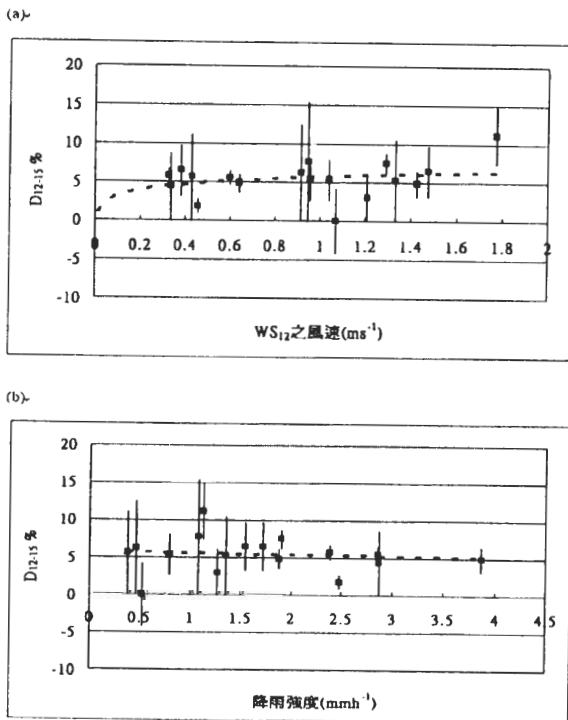


圖 7 日降水量 5mm 以上(a) WS₁₂ 之風速與降水差值百分比 D₁₂₋₁₅ %關係圖 (b)降水強度 I 與降水差值百分比 D₁₂₋₁₅ %關係圖。圖中各點標示 0.5mm 儀器解析度之誤差範圍, 虛線則為最小平方方法所求得之趨勢線。

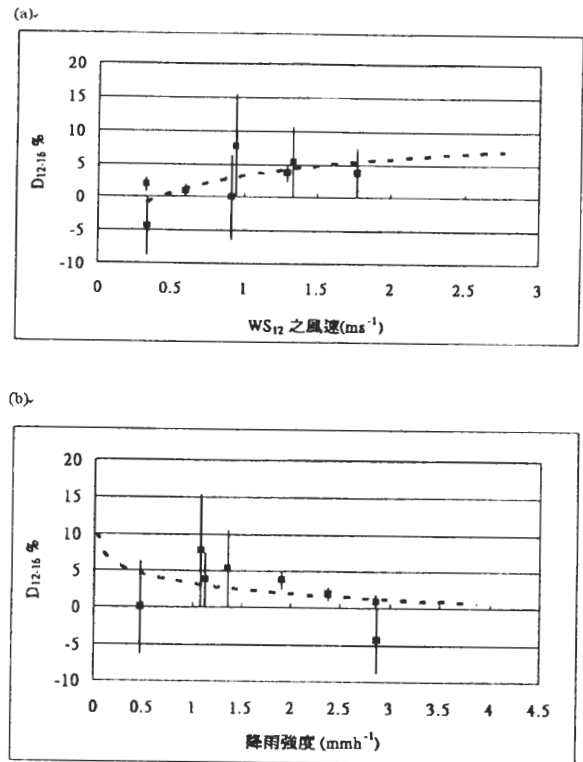


圖 8 同圖 7, 但縱軸為 D₁₂₋₁₆。圖中各點標示 0.5mm 儀器解析度之誤差範圍, 虛線則為最小平方方法所求得之趨勢。

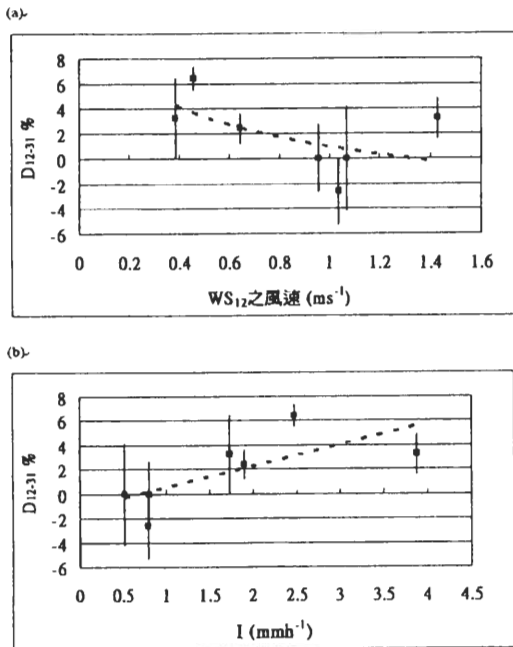


圖 9 同圖 7，但縱軸為 $D_{12.31}$ 。圖中各點標示 0.5mm 儀器解析度之誤差範圍，虛線則為最小平方方法所求得之趨勢線。

我們曾假設風擋可以消除儀器結構所引發之降水觀測偏差 (K_i)，圖 10 為日降水量 5mm 以上時 SRG_{15} 與 NRG_{15} 之降水差值百分比 D 與 WS_{12} 之風速和降水強度的關係圖，其特徵與圖 8 相同，仍有隨風速增大而增加之趨勢，但隨降水強度減小而增加之現象卻不甚明顯，此一結果之可能解釋為：降水強度較小的天氣系統通常也伴隨著較少之日降水量，使得 0.5mm 儀器解析度誤差相對較大，無法突顯出觀測偏差現象。大體而言，缺少風擋裝設的 NRG_{15} 其雨量觀測偏差在 0%~6% 之間，平均值為 2%；這一個案結果顯示，風擋對於台北冬季降水系統改善效果有限，不若高緯度地區風擋能改善冬季降雪量觀測偏差值 20~80% 之多 (Sevruk et al., 1994)。

為了回應第一節前言中的 ARMTS 降水

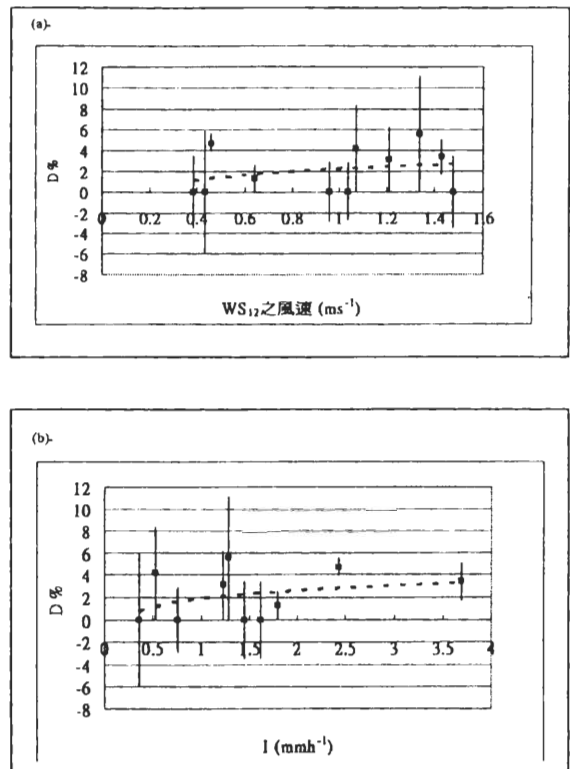


圖 10 同圖 7，但為 SRG_{15} 與 NRG_{15} 比值。圖中各點標示 0.5mm 儀器解析度之誤差範圍，虛線則為最小平方方法所求得之趨勢

資料偏少的問題，我們分析儀器顯露度與 SRG_{16} 相同之 ARMTS 台北公館站 (代號 C1A73) 與 SRG_{12} 基準值的偏差情況 (圖 11)，發現 SRG_{12} 與 C1A73 之降水觀測偏差仍然有隨風速增加而增加之趨勢，觀測偏差介於 4%~16% 之間，平均值是 8%，但偏差值也無顯著隨著降水強度減小而增大的現象，此一結果與風擋實驗結果雷同，可能都是因為較小之降水強度伴隨較少之日降水量，使得 0.5mm 之傾斗解析度誤差過大所致。此外， SRG_{16} 與 C1A73 兩套儀器相鄰並排，唯一差別是 SRG_{16} 較 C1A73 多附加了 Tretyakov 風擋。由於 SRG_{12} 與 SRG_{16} 之不同儀器顯露度所造成之降水觀測偏差介於 0%~8% 之間，明顯小於 SRG_{12} 與 C1A73

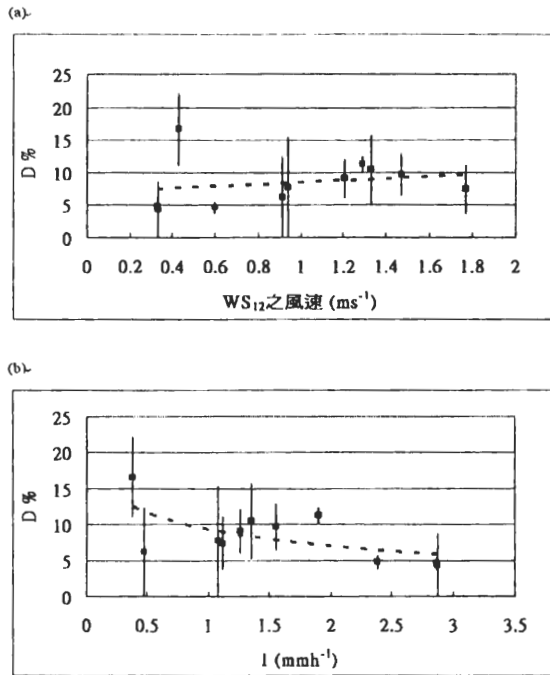


圖 11 同圖 7，但為 SRG_{12} 與 $C1A73$ 比值。圖中各點標示 0.5mm 儀器解析度之誤差範圍，虛線則為最小平方方法所求得之趨勢線。

的偏差值 $4\% \sim 8\%$ ，因此我們間接推論 ARMTS 因缺乏風擋造成儀器結構之風場變形效果，在日降水量 5mm 以上時將會使雨量之蒐集短少約 4% 。

四、總結與討論

中央氣象局 ARMTS 觀測網的建立對於從事水文及氣象研究的工作者來說，是一項空間解析度極高的雨量資料來源，然而任何大氣環境的觀測皆有其不可避免的系統性誤差與隨機誤差；因此瞭解 ARMTS 誤差的來源及其定量數據，不但可以使 ARMTS 之觀測資料能夠更嚴謹更正確地被加以應用，並且對新增雨量觀測站之規畫與建立，也能夠

提供一個思考方向。

我們將公式(1)的風場變形修正因子 K 再區分為 K_i 與 K_e ，透過桃園新屋農業改良場空曠平坦地形以及台灣大學大氣科學系觀測坪都市建築物圈谷進行的雨量觀測，得到以下之結論：

1. 根據周 (1976) 的觀測研究，在不考慮環境遮蔽物之影響的情況下，較高之集雨口設置高度會有雨量蒐集短少之現象；但是在 K_i type 集雨口設置高度實驗期間，集雨口高度相差 1.8m 之傾斗式雨量計 $RG240$ 與 $RG62$ 卻無顯著偏差。我們認為這一結果的解釋是(1) K_i 實驗的樣本數偏少，需要更長時間的觀測資料蒐集，或是(2)傾斗式雨量計 0.5mm 解析度太差，而無法突顯出集雨口高度因子所造成。關於第二點，我們建議日後在雨量觀測例行作業或是相關研究探討時，應採用 0.1mm 傾斗容量之傾斗式雨量計，以增加樣本有效辨識出降水短少之偏差量。
2. 由 K_e type 集雨口顯露度實驗得知， SRG_{15} 與 SRG_{16} 觀測的日降水量較 SRG_{12} 短少於之觀測值，顯示儀器顯露度大於 14° 臨界值的雨量計，會顯著造成雨量蒐集短少，並且其觀測偏差會隨著風速增大、降水強度減小而增加。當日降水量 5mm 以上時，偏差值介於 $0\% \sim 12\%$ 之間，平均值約 5% ，但是降水觀測偏差並未隨著儀器顯露度增大而增大。
3. 對於 0.5mm 解析度的傾斗式雨量計而言，升高集雨口高度 $1 \sim 2\text{m}$ 所造成雨量蒐集短少的情形並不明顯，在儀器顯露度不良的

情況下，反而會藉由儀器顯露度的提升而使得雨量蒐集增加。

4. 比較兩次觀測實驗的結果，我們認為儀器顯露度小於 5° 的環境條件下，將可單純考慮雨量計儀器因子造成的風場變形引發的雨量偏差。日降水量 5mm 以上時 ARMTS 儀器因子的風場變形造成雨量短少約 4%。
5. ARMTS 集雨口高於一般測候站地面雨量筒高度 2~3m 的設置，並不會造成嚴重的降水觀測偏差，過大的儀器顯露度(顯著的环境遮蔽)才是導致 ARMTS 在雨量觀測偏差之最大來源。以 ARMTS 公館站為例，其降水觀測之偏差仍然有隨著風速增大、降水強度減弱而增加的趨勢；在日降水量 5mm 以上時，觀測偏差介於 4%~16% 之間，平均值是 8%。
6. 設立風擋的確有助於改善因雨量計儀器結構引發風場變形造成雨量蒐集短少約 2% 的情況，與周 (1968) 於台北新店安坑農業站的實驗結果十分接近，但是卻與 Sevruck et al. (1994) 在降雪觀測所測得的 20~80% 的偏差相距甚遠，顯示地面雪量觀測受到風場變形而造成的觀測偏差遠大於地面降水觀測。

環境遮蔽物對雨量觀測的影響至為複雜，還必須考量遮蔽物方向性以及當地之盛行風向，在不良的儀器顯露度之下，相近之儀器顯露度，所造成之雨量觀測偏差也不盡相同，也未必有儀器顯露度越差則雨量觀測之偏差越大的情況出現。本文所倡議之 360 度環場儀器顯露度量測方法(公式 2)並非是推估環境遮蔽物對雨量觀測偏差的唯一指標，

風向、遮蔽物種類、雨量計與遮蔽物的距離、環境遮蔽物所造成之渦流尺度等，都是未來進一步研究工作所應涵蓋之變數。觀測實驗期間雨量計筒口以及傾斗內部異物與昆蟲，以及訊號傳輸線與電力的失效都是造成雨量蒐集巨大偏差的隨機性誤差來源，其數值遠大於風場變形造成的系統性偏差；我們認為未來新增的遙測雨量站的設立應同時設置兩套 0.1mm 傾斗式雨量計，兩組資料同步蒐集可以讓遠端使用者判斷某一雨量計是否失效，但仍不至於放棄資料或遺漏降水事件的記錄。同時當雨量計傾斗容量提高到 0.1mm 解析度時，公式(1)的蒸發系統性偏差 ΔP_3 則不可忽略；Sevruck (1982)建議公式(1)之中的 ΔP_3 估算是：

$$\Delta P_3 = i_e \times \tau_e \quad (3)$$

其中 i_e 是蒸發速率(mm/hour)， τ_e 是降水時距 (hour)。 i_e 絕對值受到風場、絕對濕度以及氣溫等三種氣象要素的影響，因次約在 0.01~0.1mm/hour，將隨著日降水量減少、氣溫升高、風速增大而增大，具體定量數據需要進一步的特別觀測實驗來求得。Nystuen (1999)曾討論不同天氣型態之下的不同雨量計(聲波雨量計、光學雨量計以及傾斗式雨量計)降水偏差，也是未來台灣地區 ARMTS 雨量偏差議題值得參考的研究方向。

致 謝:

本文在沒有任何計畫經費贊助下仍能勉力完成，作者要感謝台灣大學水工試驗所免費提供氣象器材與記錄器，以及桃園縣農業改良場之場地贊助，同時也要感謝中央氣象的兩

量筒風速計儀器檢校服務以及新屋農業氣象站與 ARMTS 之資料提供。

參考文獻：

- 中央氣象局，1998：交通部中央氣象局簡介。
- 周根泉，1968：正確降水量量測法之研討 國立台灣大學理學院地理學系研究報告，第五期，48-65
- 周根泉，1976：雨量收集之研究分析，國立台灣大學理學院大氣科學系研究報告，第一期，79-104。
- 陳福來，葉瑞元，羅金鑑，陳瑋芬，1988：雨量測器校驗方法之研究。中央氣象局研究報告，14pp。
- 經濟部水資源局，1997：台灣地區水文觀測現代化方案規劃(二)。經濟部水資源局 86EC2A040012. 104pp。
- 鄭明典，2000：建立颱風資料庫。八十八年度防災專案計畫成果研討會論文集，1-13。
- Arkin, P. A., 1994: The global precipitation climatology project. NATO ASI Series, **26**, Global Precipitations and Climate Change, Edited by M. Desbois and F. Desalmand, Verlag Berlin Heidelberg, 1994.
- Chen, T. C., M. C. Yen, J. C. Hsieh and R. W. Arritt, 1999: Diurnal and seasonal variations of the rainfall measured by the automatic rainfall and meteorological telemetry system in Taiwan. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **80**, 2299-2312.
- Folland, C. K., 1988: Numerical models of the raingauge exposure problem, field experiments and an improved collector design. *Q.J. Roy. Meteorol. Soc.*, **114**, 1485-1516.
- Groisman, P. Y. and D. R. Legates, 1994: The accuracy of United States precipitation data. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **75**, 215-227.
- Hall, D. J., J. G. Irwin, B. H. stone and S. L. Upton, 1993: Aerodynamics consideration in precipitation collector design. In. S. Couling(Ed.) *Measurement of airborne pollutants*. 104-148, Butterworth Heinemann, Oxford.
- Hsu, J., 1998: ARMTS up and running in Taiwan. *Vaisala News*, **146**, 24-26.
- Kalma, J. D., J. Lomas, M. Thaller and Y. Shashova, 1969: An accurate small orifice raingauge. *Water Resour. Res.*, **5**, 300-305.
- Nystuen, J.A., 1999: Relative performance of automatic rain gauges under different rainfall conditions. *J. Atmos. Oceanic Technol.* **16**, 1025-1043.
- Oki, R., K. Furukawa, S. Shimizu, Y. Suzuki, S. Satoh, H. Hanado, K. Okamoto, and K. Nakamura, 1998: Preliminary results of TRMM: Part I, A comparison of PR with ground observations. *Marine Technology Society Journal* **32**, 13-23.
- Sevruk, B., 1982: Methods of correction for systematic error in point precipitation measurement for operational use. Operational Hydrology Report No.21, WMO-No.589, Geneva.
- Sevruk, B., J. A. Hertig and R. Spiess., 1989: Wind field deformation above the precipitation gauge orifices. *Internat. Assoc. Hydrol. Scie.*, **179**, 65-70.
- Sevruk, B., J. A. Hertig and R. Spiess., 1991: The effect of a precipitation gauge rim on the wind field deformation as investigated in a wind tunnel. *Atmos. Envir.*, **25A**, 1173-1179.
- Sevruk, B., J. A. Hertig and R. Tettamanti, 1994: The effect of orifice rin thickness on the wind speed above precipitation gauge. *Atmosp, Envir.* **28**, 1939-1944.
- Sevruk, B., 1996: Adjustment of tipping-bucket precipitation gauge measurements. *Atmosp. Res.*, **42**, 237-246.

Strangeways, I., 2000 : Measuring the natural environment. Cambridge university press., pp365.

Tammelin, B., 1982: The wind-induced error of the finnish rain gauge (in Finnsh). Ilamtietteen Laitoksen Tiedonantojy, Helsunki, No.36, pp58.

World Meteorological Organization, 1996 : Guide to meteorological instruments and methods of observation. Sixth edition, WMO-No.8, Geneva.

Case Study on the Deviation of Surface Precipitation Measurement Caused by Wind Deformation

Po-Hsiung Lin¹ Chung-I Hsu¹ Jen-Ho Juang²

¹Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University

²Institute of Hydrological Research, National Taiwan University

(Manuscript received 12 November 2001 ; in final form 15 April 2002)

ABSTRACT

People always assume the exposure of raingage in the field is suitable, and put more discussion on the wind deformation caused by the raingauge body. Precipitation has underestimation tendency due to the flow speed-up above the raingauge. But the loss of precipitation related to wind deformation caused by raingauge surrounding in cities and mountain region is rarely discussed and should be not ignored. In this paper, we decomposed the corrected factor of wind deformation, K , into two components, K_i and K_e , which correspond the wind deformation effects caused by instrumental body and environmental shield. An quantitative algorithm for deciding raingauge exposure was developed in this study first. Then two field experiments for K_i scenarios (raingauge height testing at Tau-Yuan Agricultural Farm from June to September, 2000) and K_e scenarios (raingauge exposure testing in the campus of National Taiwan University at Taipei city from January to April, 2001) were conducted to discuss the quantitative loss of surface precipitation under different wind speed and precipitation intensity.

In the K_i experiment, we found there is no deviation between two raingauges which altitudes has 1.8m height difference. It was explained that the 0.5mm volume resolution of the tipping bucket is too large to identify the deviation. Smaller volume of tipping bucket is recommended in the precipitation monitoring and research. In the K_e experiment, we found that when the exposure of raingauge over 14 degrees, the loss of precipitation can be enhanced with the increment of wind speed and the decrement of precipitation intensity. The range of deviation is from 0% to 12 % and the mean deviation is 5% when the rainfall is more than 5mm/day. Meanwhile, the loss of precipitation has not linear relationship to the exposure degree. We regard that five degrees of instrumental exposure could be the threshold to ignore the wind deformation by environment shield. In the situation of heavy environmental shield, the orifice height lifting can be used to improve the exposure problem and reduce the loss of precipitation. Wind screen was also evaluated in this study and we found it could improve 2 % the loss deviation of precipitation during wintertime of Taipei.

Key words : Wund deformation, Ground precipitation, Instrumental exposure.