

Vaisala RS92 及 Meisei RS06G 探空儀交互比對實驗與相對溼度校正

黃紹欽¹ 劉清煌² 黃惠君³

¹ 中國文化大學地學研究所

² 中國文化大學大氣科學系

³ 中央氣象局第二組

摘 要

臺灣目前共有六個常規探空站，由中央氣象局及空軍負責維護及進行每日兩次之高空觀測，各站使用之探空系統及探空儀型號也有所不同，過去已有許多研究顯示不同探空儀特性亦不相同，有些型號甚至存在顯著之乾偏差，因此，使用資料前宜有適當地溼度校正及品質控管程序。本研究使用 2012 年 7-8 月於中央氣象局永康氣象站進行之探空儀 (Vaisala RS92 與 Meisei RS06G) 交互比對實驗探空資料，結果顯示 Meisei RS06G 在低邊界層及中高對流層之相對溼度有乾偏差 (dry bias) 存在，低邊界層偏差量約為 3-6% 左右，中高對流層則可達到 15% 以上，經過校正後，RS92 及 RS06G 之可降水量分別提升 6% 及 10%，顯示使用原始探空資料前若未先進行溼度場校正，則可能低估大氣中的可降水量，進而影響數值模式之降雨估計。

關鍵詞：VS92，MS06，乾偏差，溼度校正。

一、前言

臺灣於 1949 年起於臺北氣象站開始進行高空觀測，全臺目前共有六個常規探空站，主要由中央氣象局及空軍負責維護及進行每日兩次之高空觀測，分別為板橋 (46692，中央氣象局)、馬公 (46734，空軍)、屏東 (46750，空軍)、綠島 (46780，空軍)、花蓮 (46699，中央氣象局) 及東沙 (46810，中央氣象局)。另外，中央氣象局臺南永康氣象站 (46741) 早期為常規式探空站，但後期已改採不定期觀測，僅有特殊需求時才進行高空觀測。要注意的是，各探空站使用不同之高空觀測系統，同一站在不同時期甚至也

採用不同系統或不同型號之探空儀進行觀測，臺灣所使用之探空儀主要有 Vaisala (芬蘭)、Meisei (日本) 及 GRAW (德國) 三種系統，各系統依風場測量方式又分為全球定位系統 (Global Position System, GPS) 與追蹤式 (Tracking) 並採用不同型號之探空儀。早期中央氣象局以 Meisei 追蹤式 (探空儀型號: RS2-80) 及 GPS 式 (探空儀型號: RS-06G, 後稱 MS06) 為主，但自 2010 年後已陸續將更換為 Vaisala GPS 系統 (探空儀型號: RS92, 後稱 VS92)，GRAW 系統則由陸軍及海軍移動式高空觀測系統使用，臺灣地區現有固定探空站資訊如表 1 所示。

過去已有不少研究 (Wang et al. 2003; Nuret et al. 2008; Wang and Zhang 2008;

Miloshevich et al. 2009) 指出各種不同廠牌與不同型號探空儀之觀測資料有不同之特性，特別是相對溼度場，有些型號之探空儀明顯有乾偏差存在，例如 Vaisala RS80 (Ciesielski et al. 2009; Turner et al. 2003)，因此，使用觀測資料前，宜有適當地品質控管及溼度校正程序。高空觀測資料之溼度校正於國外已有多年之研究經驗 (Loehrer et al. 1996; Wang et al. 2002; Ciesielski et al. 2003; Nakamura et al. 2004)，主要將探空儀與另一獨立觀測儀器同時升空 (Miloshevich et al. 2004; Wang et al. 2013) 以獲得在不同溫度及溼度下之溼度校正表，相關研究在國內仍屬偏少，僅 2008 年西南氣流實驗期間，分別於 4 月、6 月及 10 月分別針對不同探空儀進行交互比對實驗，Ciesielski et al (2010) 提出適用於臺灣暖季 (4-6 月) 時，Meisei 追蹤式 (探空儀型號：RS2-80)、Vaisala GPS (探空儀型號：RS-80) 的溼度校正表。為了釐清 MS06 探空儀之溼度量測是否有乾/溼偏差存在，中央氣象局第二組委託中國文化大學大氣科學系於 2012 年 7-8 月進行 VS92 與 MS06 探空儀之比對實驗，由於 VS92 為目前全球公認資料品質較佳之探空儀，因此，希望藉由此比對實驗來獲得一組適用於 MS06 探空儀溼度校正資料庫。本文結構如下：在第二節中將會介紹比對實驗及研究方法；在第三節中，將分析兩種不同探空儀觀測資料之特性及差異性；第四節為溼度場之校正；第五節為本文所得到的結果與討論。

二、探空比對實驗與研究方法

探空比對實驗於 2012 年 7 月 1 日至 8 月 31 日舉行，實施地點位於臺南市中央氣象局永康氣象站，實驗進行期間，僅於每日 0000UTC 施放，為了確定兩種探空儀能獲得相同時間及高度之觀測資料，將兩種不同廠

牌之探空儀綁在架子上，並繫於 800 公克氣球上同時升空，實驗期間，共收集 58 顆比對探空資料，其中晴天 48 顆，雨天 10 顆，此組資料將供交互比對研究使用。

1. 不同探空儀觀測資料比對：

取得高時間解析度 (VS92 為 2 秒，MS06 為 4 秒) 原始探空資料後，先將兩探空儀之資料分別內差至每 5 hPa 氣壓層後，計算其差值，比較兩者所觀測到之氣象資料差異：

$$d(\text{參數}) = \text{MS06} - \text{VS92}$$

由於兩者之風場皆採用全球定位系統，可預期兩者差異性較小，故在本文中不加以說明。

2. 累積分布函數配對法 (Cumulative Distribution Function matching method, CDF)：

CDF 配對法 (Nuret et al., 2008; Ciesielski et al., 2009) 乃是假設兩種不同探空儀施放地點具有相似的環境，代表兩者具有接近均勻的大氣條件存在，才会有類似的統計條件，由於溼度的偏差亦存在於垂直方向，因此，在執行 CDF 配對法時，不同的溫度區間會有不同的溼度校正。本研究選取溫度範圍為 +40°C 至 -80°C，每 20°C 為一區間，溼度範圍 0% 至 100%，每 5% 為一區間，以 MS06 為基準，計算各不同溫度區間內，在相同累積頻率下，VS92 與 MS06 之相對溼度差值，最後便可得到 CDF 校正表，此校正表的橫座標及縱座標分別為 MS06 之相對溼度及溫度，因此，我們可以得到 MS06 探空儀在不同溫度與溼度下的校正量，此方法的應用將可校正 MS06 的溼度場，使資料品質達到 VS92 的水準。

此外，由於日間及夜間 (晴天及雨天) 之大氣環境條件有相當大之不同，故 CDF 校正表必須將不同天氣型態區分出來，然因

本研究僅進行每日 0000UTC 之高空觀測，故本文無法獲得夜間之校正表，僅針對晴天及雨天分別進行 CDF 配對法。

3. 溼度場校正一日間太陽加熱影響：

Vaisala 探空儀之相對溼度在夜間的偏差很小 (甚至沒有)，僅日間有較嚴重的乾偏差 (dry bias)，此乾偏差主要來自於溼度感應器受到太陽加熱影響，易於被校正，Yoneyama et al. (2008)、Cady-Pereira et al. (2008) 及 Vömel et al. (2007) 皆曾提出不同之校正法，本研究採用 Cady-Pereira et al. (2008) 之方法，其藉由比較探空與衛星反演之總可降水量 (Total Precipitable Water, TPW)，針對 Vaisala 不同型號之探空儀發展出一套日間溼度校正法，主要假設在低對流層，平均溼度偏差為太陽天頂角之函數，日間輻射加熱校正係數為：

$$SF = 1.0 + \alpha \exp\left[\frac{-0.2}{\cos(SZA)}\right]$$

SF 為一比例係數 (Scale Factor)； α 為常數，由溼度感應器受太陽加熱影響之程度決定，RS80 探空儀為 0.067，VS92 則為 0.093；SZA 則代表太陽天頂角，為測站經緯度、時間及年份。Ciesielski et al. (2010) 使用此方法針對 2008 年西南氣流實驗 (Southwest Monsoon Experiment/ Terrain-influenced Monsoon Rainfall Experiment, SoWMEX/TiMREX) 之探空資料進行溼度場之校正，結果顯示 Vaisala RS92 探空儀經過校正後可得到更為合理的溼度場。

MS06 經過 CDF 校正後，可得到與 VS92 相似之溼度場，最後仍需進行日間太陽輻射加熱效應之校正，由於 MS06 採用與 VS92 相同之溼度感應器，唯一差異在於 MS06 溼度感應器上方有保護蓋 (與 Vaisala RS80-H 相同)，受太陽加熱影響程度較小，故 MS06

之 α 採用 0.067。

校正步驟如下：取得原始探空資料後，需先將所有不同高度之露點溫度轉換成混合比，再將混合比乘上 SF，最後，用新混合比計算出新的露點溫度。

三、探空比對實驗

兩探空儀不同氣象參數之差異性如圖 1 所示，圖 1a 為不同氣壓高度下，相對溼度之分布，實線為平均值，在 200-800 hPa 間，兩者差異較小，平均差異在 $\pm 5\%$ 內；低層 (800 hPa 以下) 及高層 (200 hPa 以上)，MS06 明顯偏低，特別是在 200 hPa 以上，甚至會比 VS92 低 15% 以上。圖 1b 為不同溫度下之相對溼度分布，高溫 ($> 20^\circ\text{C}$) 及低溫 ($< -50^\circ\text{C}$) 時，Meisei 之相對溼度皆較低，最大差異出現在溫度低於 -70°C 時，這與 1a 結果相似。圖 1c 則為不同相對溼度下之相對溼度差異，兩探空儀僅在高相對溼度環境中，MS06 觀測到之相對溼度較低，特別是在相對溼度 90% 以上時，此外，以比濕 (圖 1d) 來表示環境之水氣含量，結果顯示水氣量較低 (比溼 $< 12 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 時，兩者差異在 $\pm 1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 內，但隨著水氣量增加，MS06 乾偏差越來越明顯。在溫度方面 (圖 1e)，兩探空儀差異較小，平均約為 -0.2°C ，MS06 有輕微之冷偏差 (cold bias)。此外，由於兩種系統採用不同高度計算法，Vaisala 系統是由氣壓值垂直向上積分而得出，而 Meisei 系統則直接採用 GPS 高度，兩者也會有所差異，結果 (圖 1f) 顯示高度差隨氣壓降低而增加，到了 100 hPa 時，MS06 甚至比 VS92 低 30 公尺。

交互比對實驗於西南季風活躍 (7-8 月) 的環境中進行且天秤颱風 (Tembin) 於 8 月 24 日至 28 日在臺灣南部地區有顯著降雨事

件發生，說明臺灣南部地區應有較高之飽和層出現頻率，圖 2 為相對溼度-溫度分布圖，結果顯示在水象過程(溫度 $>0^{\circ}\text{C}$)中，Meisei (圖 2b) 達到飽和之資料筆數明顯低於 Vaisala (圖 2a)，且 Meisei 觀測到之相對溼度多在 90% 以下；而在冰象過程(溫度 $<0^{\circ}\text{C}$)，雖然 Meisei 達到飽和之資料筆數略多，但與 Vaisala 相比下，仍屬偏少。由於 VS92 為目前世界公認品質最佳之相對溼度觀測(日間太陽輻射加熱所導致的乾偏差被校正後)，因此，此結果也表明 MS06 探空儀所量測到之相對溼度略低，有乾偏差(dry bias)存在。

整層大氣之可降水量(Precipitable Water, PW)亦可藉由探空剖面計算得出，此為數值模式降兩預報中較重要的參數之一，VS92 經日間太陽輻射加熱校正後之 PW 已與 GPS 衛星反演出之結果非常接近(Wang et al. 2008; Ciesielski et al., 2010)，圖 3 為可降水量差異散布圖，MS06 會低估大氣中的可降水量，在越潮溼的大氣環境條件下越明顯，這也再一次表示 MS06 探空儀有輕微之乾偏差存在，在使用未經校正之觀測資料時需謹慎小心。

四、溼度場校正

取得探空原始資料後，先將 VS92 與 MS06 進行 CDF 配對，以得到適用於暖季(5-9 月)時，MS06 日間相對溼度校正表(圖 4)，橫坐標及縱座標分別為 MS06 之相對溼度及溫度，此校正表將先用來校正 MS06 之相對溼度。接著，VS92 及 MS06 分別進行日間太陽輻射加熱校正，由於探空儀在雨天時較不會受到太陽直接加熱影響，因此，僅晴天施放之探空資料需進行此溼度校正，於實驗期間，共有 58 筆可供交互比對之探空資料，晴天 48 顆，雨天 10 顆。

晴天環境下(圖 4a)，溫度大於 0°C 時，中/高相對溼度(大於 55%)有約 3-6%之乾偏差，峰值位於溫度 30°C 及相對溼度 75-80% 間，而低相對溼度時兩者差異較小，MS06 甚至有輕微之濕偏差(0-3%)。若溫度小於 0°C ，MS06 乾偏差更為明顯，且隨溫度降低而增加，峰值出現於溫度 -70°C 及相對溼度 40% 處，乾偏差超過 15%。

在雨天環境中(圖 4b)，溫度大於 0°C 時，VS92 及 MS06 差異較小，僅在相對溼度介於 55-95% 時，MS06 有約 3% 之乾偏差。溫度小於 0°C 時，MS06 在乾燥環境下(相對溼度小於 50%)有濕偏差存在，偏差量隨高度增加而增加，兩個最大中心分別位於 -30°C 與及相對溼度 50% 以及 -70°C 與相對溼度 20% 處；在潮濕環境下則有乾偏差，特別是在相對溼度大於 80% 時，皆有 3-6% 之乾偏差存在。此結果也表示 MS06 在暖季時，若邊界層為較潮溼之大氣環境，MS06 有明顯之乾偏差，因此，使用探空原始資料前實有必要先進行相對溼度場之校正。

圖 5 為大氣中之可降水量時間序列，結果顯示校正前(三角形)，MS06 乾偏差較為明顯，平均可降水量約為 51.9mm，VS92 則為 54.9mm，MS06 約比 VS92 低 5%。雖然 VS92 相對溼度之品質較佳，但仍存在已知之乾偏差，此偏差量易於被校正，經日間太陽輻射校正後，VS92 之可降水量提升至 58.1mm，與校正前相比，亦有約 6% 的提升。MS06 之溼度校正包含 CDF 配對法及太陽輻射校正，校正後，平均可降水量提升至 57.8mm，比校正前高 5.9mm。此結果也表明，若直接使用未經校正之 MS06 探空資料，將會低估大氣中之可降水量，進而影響數值模式之降雨估計。

五、結論與討論

臺灣曾在 2008 年 SoWMEX/TIMREX 期間進行探空儀比對實驗，當時主要針對 Vaisala RS92-RS80 及 Meisei RS2-80 探空儀進行交互比對，Ciesielski et al. (2010) 利用此資料庫已建立 Vaisala RS80 及 Meisei RS2-80 探空儀之相對溼度校正表並進行資料品質控管及溼度校正，結果顯示經過校正後之探空資料能夠真實的掌握大氣中的水氣含量。本研究則建立 Meisei GPS 探空儀 (MS06) 於暖季時之相對溼度校正資料庫，可用來校正臺灣 Meisei GPS 探空儀 (MS06) 之相對溼度觀測資料，使其更接近真實之大氣環境條件，結果顯示在晴天時，MS06 在低邊界層(溫度大於 20°C)及中高對流層(溫度小於 -40°C)時所觀測到之相對溼度有乾偏差存在，低邊界層約為 3-6%，中高對流層則為 6-18%；在雨天時，MS06 於潮濕環境下仍有 3-6% 之乾偏差，而在乾燥環境中則為濕偏差，濕偏差隨溫度降低而增加。因此，使用探空資料前若未先進行相對溼度場校正，則可能低估大氣中的可降水量。探空資料目前被廣泛地應用在數值模式或是個案分析研究上，特別是對定量降水預報來說，若直接使用具有乾偏差探空儀之觀測資料，有可能使數值模式中之降雨量低估。

致謝

本研究在國家科學委員會計畫 NSC 101-2625-M-034 -002 與 NSC 102-2625-M-034-002 及中央氣象局委託計畫 MOTC-CWB-101-M-09、MOTC-CWB-101-M-16 與 MOTC-CWB-102-M-12 經費支持下完成，研究中所使用之電腦設備由中國文化大學大氣科學系提供，在此一併致謝，亦特別感謝中

央氣象局的協助，使實驗計畫可順利進行。

六、參考文獻

- Cady-Pereira, K. E., M. W. Shepherd, D. D. Turner, E. J. Mlayer, S. A. Clough, T. J. Wagner, 2008: Improved daytime column-integrated precipitable water vapor from Vaisala radiosonde humidity sensors. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **25**, 873-883.
- Ciesielski, P. E., R. H. Johnson, P. T. Haertel, and J. Wang, 2003: Corrected TOGA COARE sounding humidity data: Impact on diagnosed properties of convection and climate over the warm pool. *J. Climate*, **16**, 2370-2384.
- , Richard H. Johnson, and Junhong Wang, 2009: Correction of Humidity Biases in Vaisala RS80-H Sondes during NAME. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **26**, 1763-1780.
- , and Coauthors, 2010: Quality-Controlled Upper-Air Sounding Dataset for TIMREX/SoWMEX: Development and Corrections. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **27**, 1802-1821.
- Loehrer, S. M., T. A. Edmands, and J. A. Moore, 1996: TOGA COARE upper-air sounding data archive: development and quality control procedures. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 2651-2671.
- Miloshevich, L. M., A. Paukkunen, H. Vomel, and S. J. Oltmans, 2004: Development and validation of a time-lag correction for Vaisala radiosonde humidity measurements. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **21**, 1305-1327
- , Holger Vömel, David N. Whiteman, and

Thierry Leblanc, 2009: Accuracy assessment and correction of Vaisala RS92 radiosonde water vapor measurements. *J. Geophys. Res.*, 114, D11305.

Nakamura, H., H. Seko, and Y. Shoji, 2004: Dry biases of humidity measurements from the Vaisala RS80-A and Meisei RS2-91 radiosondes and from ground-based GPS. *J. Meteor. Soc. Japan*, 82, 277–299.

Nuret, M. I.-P. Lafore, O. Bock, F. Guichard, A. Augusti-Panareda, J.-B. N’Gamini, and J.-L. Redelsperger, 2008: Correction of humidity bias for Vaisala RS80-A sondes during AMMA 2006 observing period. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 25, 2152–2158.

Turner, D. D., B. M. Lesht, S. A. Clough, H. E. Revercomb, and D. C. Tobin, 2003: Dry bias and variability in Vaisala RS80-H radiosondes: The ARM experience. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 20, 117–132.

Vömel, H., H. Selkirk, L. Miloshevich, J. Valverde-Canossa, J. Valdés, E. Kyrö, R. Kivi, W. Stolz, G. Peng, and J. A. Diaz, 2007: Radiation dry bias of the Vaisala RS92 humidity sensor. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 24, 953–963.

Wang, Junhong, H. L. Colclough, D. J. Carlson, E. R. Miller, K. Beierle, A. Paukkunen, and T. K. Laine, 2002: Corrections of humidity measurement errors from the Vaisala RS80 radiosonde - Application to TOGACOARE data. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 19, 981–1002.

——, D. J. Carlson, D. B. Parsons, T. F. Hock, D. Lauritsen, H. L. Cole, K. Beierle, and N. Chamberlain, 2003: Performance of operational radiosonde humidity sensors in direct comparison with a chilled mirror

dew-point hygrometer and its climate implications. *Geophys. Res. Lett.*, 30, 1860.

——, Liangying Zhang, 2008: Systematic Errors in Global Radiosonde Precipitable Water Data from Comparisons with Ground-Based GPS Measurements. *J. Climate*, 21, 2218–2238.

——, Liangying Zhang, Aiguo Dai, Franz Immmler, Michael Sommer, Holger Vömel, 2013: Radiation Dry Bias Correction of Vaisala RS92 Humidity Data and Its Impacts on Historical Radiosonde Data. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 30, 197–214.

Yoneyama, K., M. Fujita, N. Sato, M. Fujiwara, Y. Inai, and F. Hasebe, 2008: Correction for radiation dry bias found in RS92 radiosonde data during the MISMO field experiment. *SOLA*, 4, doi: 10.2151/sola.2008-04.

表 1. 臺灣現有地基高空觀測站資訊。

站碼	站名	負責單位	探空儀廠牌及型號		風場測量方式	使用期間
46692	板橋	中央氣象局	Meisei	RS2-80	追蹤式	1973-2010/08
			Vaisala	RS-92	GPS	2010/08 至今
46699	花蓮	中央氣象局	Vaisala	RS-80	追蹤式	1987 至今
46734	馬公	空軍	Vaisala	RS-80	追蹤式	1952 至今
46741	永康	中央氣象局	Meisei	RS2-80	追蹤式	—
			Meisei	RS06G	GPS	—
46750	屏東	空軍	Vaisala	RS-80	追蹤式	1999
46780	綠島	空軍	Vaisala	RS-80	追蹤式	1985
46810	東沙	中央氣象局	Meisei	RS2-80	追蹤式	2009/06 前
			Vaisala	RS-92	GPS	2009/06 至今

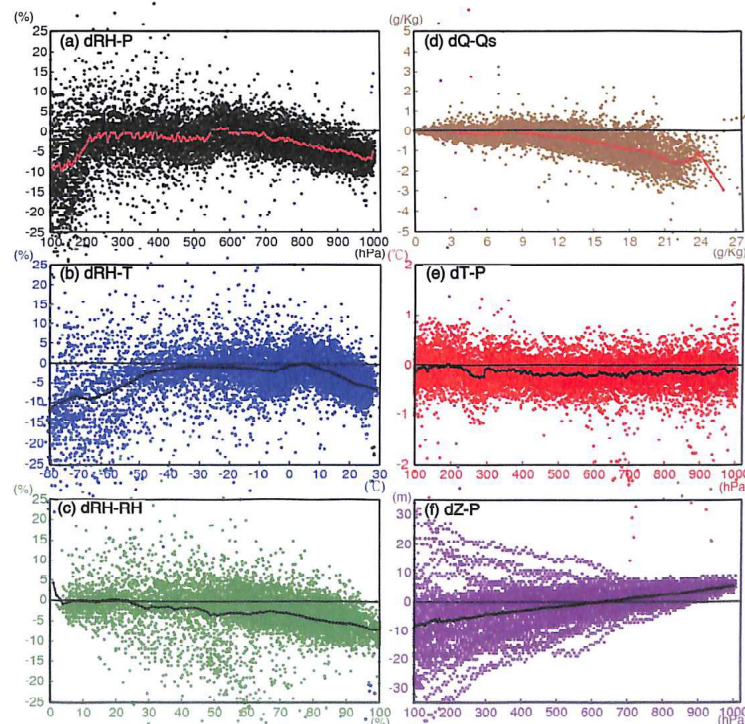


圖 1. 2012 年 7-8 月比對探空各氣象參數之差值散布圖。橫坐標為 Vaisala RS-92 之參數，縱座標為不同氣象參數之差值，(a) 氣壓-相對溼度差、(b) 溫度-相對溼度差、(c) 相對溼度-相對溼度差、(d) 飽和比濕-比濕差、(e) 氣壓-溫度差、(f) 氣壓-高度差。

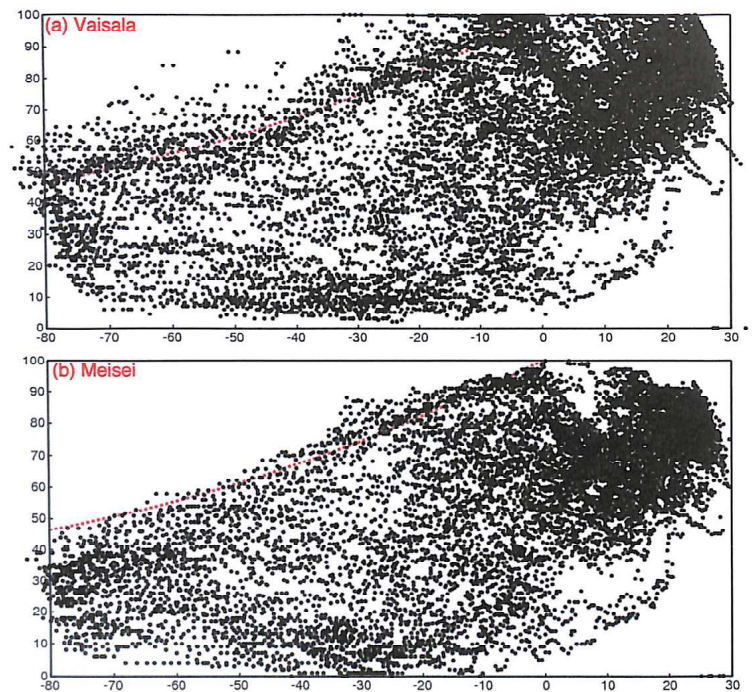


圖 2. 2012 年 7-8 月比對探空之(a) VS92、(b)MS06 相對溼度分布圖，橫坐標為溫度，縱坐標為相對溼度，紅色虛線為冰之飽和線。

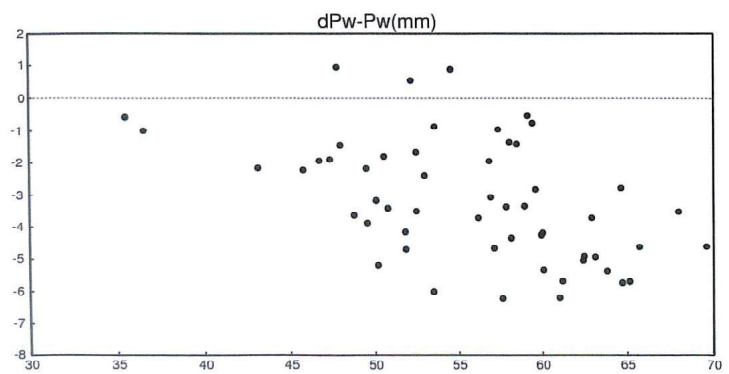


圖 3. 2012 年 7-8 月比對探空之可降水量差值散布圖，橫坐標為 Vaisala RS-92 之可降水量，縱坐標為可降水量差值。

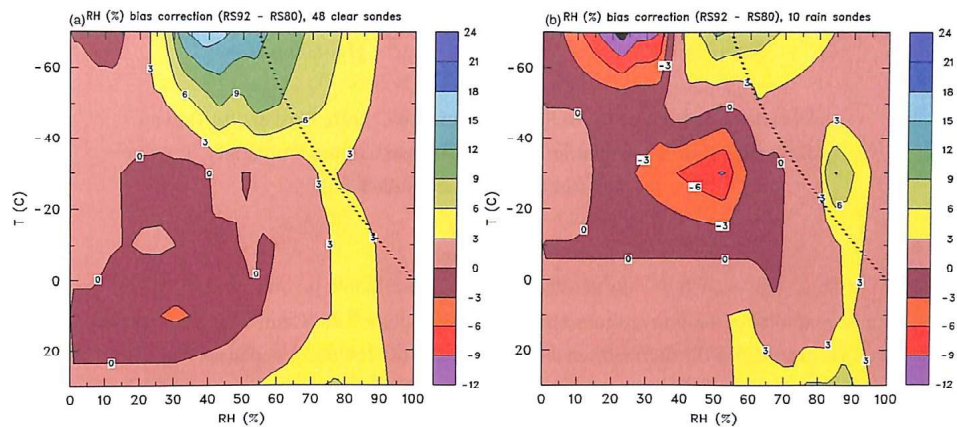


圖 4. (a)晴天及(b)雨天時，利用 CDF 配對法(MS06 與 VS92)，所有溫度及溼度區間下之 MS06 相對溼度偏差校正表，點線代表冰的飽和點，橫坐標與縱坐標分別為 MS06 之相對溼度與溫度。

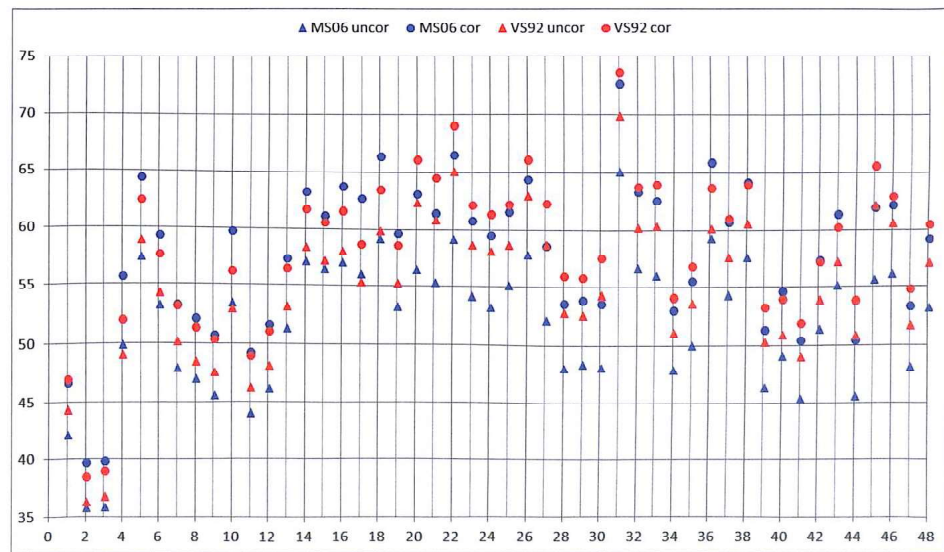


圖 5 可降水量時間序列圖，藍色為 MS06，紅色為 VS92，▲與●分別為校正前跟校正後之可降水量 (mm)。

Inter-comparison and Humidity Correction between Vaisala RS92 and Meisei RS06G Radiosonde

Shao-Chin Huang¹ Ching-Hwang Liu² Hui-Chun Huang³

¹ Graduate School of Earth Science, Chinese Culture University, Taiwan

² Department of Atmospheric Science, Chinese Culture University, Taiwan

³ Central Weather Bureau

Abstract

Taiwan has a total of six conventional radiosonde stations by the Central Weather Bureau and the Air Force is responsible for the maintenance and conduct twice-daily upper air observations. Many studies have shown that the characteristics between different sounding systems/sondes is not the same, some sondes existence significant dry bias, therefore humidity correction and quality control procedure is necessary.

This study uses data that collect by inter-comparison experiment at Central Weather Bureau Yongkang radiosonde station (Vaisala RS92 and Meisei RS06G), results show Meisei RS06G existence dry bias in the low boundary (3-6%) and mid/upper troposphere (more than 15%). After correction procedure, the precipitable water can be improved by 6% (RS92) and 10%(RS06G), respectively. The result indicate that model may underestimate the precipitable water if using humidity field before humidity correction, thereby affecting numerical model precipitation estimates.

keyword: VS92, MS06, dry bias, humidity correction