

Reprint 1101

透過校準數值預報模式提升短期定量降雨預報的表現

李健綱^{*}、陳家樂[#]、胡宏俊 & 鄭子路

第二十八屆粵港澳氣象科技研討會

香港，2014 年 1 月 13-15 日

^{*} 香港中文大學

[#] 英國薩里大學

透過校準數值預報模式提升短期定量降雨預報的表現

李健綱* 陳家樂† 胡宏俊 鄭子路

香港天文台

*香港中文大學

†英國薩里大學

摘要

數值天氣預報模式為世界各地氣象機構提供重要的預測指引，香港天文台亦使用模式的各類輸出，編制包括短期定量降雨預報在內的天氣預測。經驗顯示，歐洲中期預報中心和日本氣象廳的全球數值預報模式的定量降水預報往往低估大雨發生的頻率，很少能夠提供達暴雨級別的降雨預報。而天文台自行運作的非流體靜力模式亦在較少程度上有類似的偏差。本文討論採用日本氣象廳的頻率偏差修正法，嘗試改善數值預報模式在短期定量降雨預報方面的表現，並試驗自適應方案，應對模式的未來變更。初步結果顯示，校準方法有效減少系統性偏差，並能提供達暴雨級別的定量降雨預測。

1 引言

華南地區在夏季和秋季常受暴雨影響，暴雨除為外出帶來不便外，亦可能造成交通事故、水浸、山泥傾瀉等災害，帶來生命和財產的損失，準確的雨量預測因而尤其重要。現時數值天氣預報模式是其中一項最重要的降雨預報工具，廣為世界各地的氣象機構所採用。香港天文台（以下簡稱「天文台」）亦使用模式的各類輸出，編制包括短期定量降雨預報在內的各類天氣預測。

圖一顯示天文台的短期定量降雨預報系統的顯示介面，除讓預報員每六小時輸入定量降雨預報作技術評估外，亦提供未來三十小時每六小時不同工具的降雨預報指引予預報員參考。這些預報指引包括：

- i. 歐洲中期預報中心（ECMWF）的全球模式；
- ii. 日本氣象廳（JMA）的全球模式；
- iii. 利用 ECMWF 全球模式作邊界條件的天文台 10 公里分辨率中尺度非流體靜力模式（MesoNHM(ECMWF)）[1-2]；
- iv. 利用 JMA 全球模式作邊界條件的天文台 10 公里分辨率中尺度非流體靜力模式（MesoNHM(JMA)）[1-2]；
- v. 天文台《小渦旋臨近預報系統》（SWIRLS）[3-7]；
- vi. 天文台《激流暴雨預報系統》（RAPIDS）[8-10]；
- vii. 主要用於支援 RAPIDS 的天文台 2 公里分辨率非流體靜力模式（RAPIDS-NHM）[1-2]；以及
- viii. 按上述各降雨預報平均得出的集合預報。

其中 ECMWF 和 JMA 為全球模式，Meso-NHM 和 RAPIDS-NHM 分別為區域模式和本地模式，SWIRLS 是以追蹤和外推雷達回波為基礎的臨近預報系統，RAPIDS 則為融合 SWIRLS 和 RAPIDS-NHM 的暴雨預報系統。就短期降雨預報而言，ECMWF、JMA、Meso-NHM(ECMWF)和 Meso-NHM(JMA) 均提供 30 小時預報，RAPIDS-NHM 提供 12 小時預報，SWIRLS 和 RAPIDS 則提供 6 小時預報。

從預報經驗可知，數值預報模式特別是全球模式往往低估大雨發生的機會，鮮能預測達暴雨級別的雨量，圖二顯示 ECMWF 和 JMA 的經驗累積分佈函數（Empirical Cumulative Distribution Function，ECDF），可見在高閾值（大雨）的情況下預報頻率較實際出現的頻率為低。

本文探討通過頻率偏差修正法改善各預報模式的表現，並透過客觀預報驗證審視修正法的功效。

2 頻率偏差修正法

日本氣象廳除向氣象機構提供直接模式輸出（Direct Model Output，DMO）外，亦針對模式於業務預測應用而對模式數據作後處理以減少誤差，方法包括卡爾曼濾波、頻率偏差修正法、人工神經網絡等等[11]。本文集中探討頻率偏差修正法對改善預報的作用。

頻率偏差修正法的基本概念是將模式預測的數值 y 乘以修正函數 $F(y)$ ，得出修正數值 y_b ，即：

函數 $F(y)$ 與工具的過往表現相關，計算時先將歷史觀察和預測數值排序，然後人工選定觀察實況閾值 t_i ，再按排序結果得出對應於相同序列位置的預測數值 f_i ，通過重覆這個程序可求得對應表。如圖三所示的 ECMWF 對應表，圖中可見模式高估 5 毫米以下雨量發生的次數，同時低估 5 毫米以上雨量發生的次數。

有了對應表後，即可利用線性插值方法計算 $F(y)$ ，即：

其中 $f_i < y < f_{i+1}$

如 $y = 0$ ，則 $F(y) = 0$ 。如預測數值為零，修正後的預報仍為零。

舉例，設 ECMWF 的降雨預測值 y 為 10 毫米，從對應表可得 f_i 為 8.312、 f_{i+1} 為 11.615、 l_i 為 10 為 15。代入上述公式可得出修正後的預測值 y_b 為 12.5 毫米。

對各預報工具應用上述修正法，可得出圖四所示的對應圖。圖中顯示，在超過二十毫米的情況下 ECMWF、JMA、MesoNHM(ECMWF)和 MesoNHM(JMA)的 f_i 值普遍低於閾值 l_i ，顯示模式低估大雨出現的頻率，修正時需將預報降雨量調高。而 SWIRLS、RAPIDS 和 RAPIDS-NHM 則普遍高估大雨出現頻率，需將預報降雨量調低。

3 自適應方案

數值模式會不時更新以提升表現。而每次模式更新均有可能改變模式的特性，影響其偏差 (Bias)。因此有需要令頻率偏差修正法能適應模式的轉變，方能使其適合業務運作。

其中一個可行的方案是隨每次觀察值 y_o 檢視對應的模式預測值：

其中 α 是一個經驗參數，它的大小決定了模式適應的速度。

我們進行了一項實驗，設想我們利用 ECMWF 於 2011 年的短期降雨預報求得對應列表，然後從 2012 年 1 月起對 ECMWF 的短期降雨預報採用自適應方案，並一直運作至 2013 年 9 月。

為決定 α 值的理想量級，我們試驗了 10%、1%和 0.1%三個數值。圖五顯示在這個實驗中利用不同 α 值後 f_i 值的變化。圖中可見，10%的 α 值會令對應表異常波動，不利業務應用，而 0.1%的 α 值則令適應速度太慢，無法有效達致自適應的效果。

我們進一步檢視 1%和 0.1%兩個 α 值對預報準確度的影響，圖六顯示， $\alpha = 1\%$ 在預報大雨時的偏差，比 $\alpha = 0.1\%$ 時接近 1.0，圖七顯示 2012 年 ECMWF 預測與實況值的經驗累積分佈函數，結果亦顯示以自適應方案 $\alpha = 1\%$ 更為接近實際大雨發生的頻率，由此可知， $\alpha = 1\%$ 能提供恰當的自適應速度。

4 預報驗證

天文台的短期降雨預報驗證利用香港境內七個雨量計數據的平均，作為全港普遍降雨量的情況。圖八顯示七個雨量計的位置。

驗證中的預測數據由依照第三段所述的實驗以 $\alpha = 1\%$ 自適應修正方案（以下簡稱「方案」）產生，時間為未來三十小時每六小時的累積降雨量，待驗證的降雨預報工具包括 ECMWF、JMA、Meso-NHM(ECMWF)、Meso-NHM(JMA)、SWIRLS、RAPIDS 和 RAPIDS-NHM。

我們按臨界成功指標（Critical Success Index CSI，又稱 Threat Score TS）和偏差來看看降雨預報工具的表現，CSI 和偏差愈接近 1.0 表示降雨預報工具的表現愈好。

圖九 a 至 c 顯示閾值為 1 毫米/六小時（小雨）、10 毫米/六小時（中雨）、30 毫米/六小時（大雨）的驗證結果。在小雨的情況下，方案有效減低各預報工具的偏差，然而對 CSI 無顯著效果。在中雨和大雨下，方案不單能降低各預報工具的偏差，亦能提升全球預報模式（ECMWF 和 JMA）和區域模式（Meso-NHM(ECMWF)和 Meso-NHM(JMA)）的 CSI，其中尤以全球預報模式的大雨預測最為顯著。

5 總結與討論

本文提出以頻率偏差修正法修正短期降雨預報工具的預測值，並試驗能自行適應模式轉變的方案，通過實驗推導出 1% 為最適合業務運作的 α 值量級。驗證結果表明，有關方案有效降低預報工具的偏差，並在大雨時顯著提升預報模式特別是全球模式的表現。

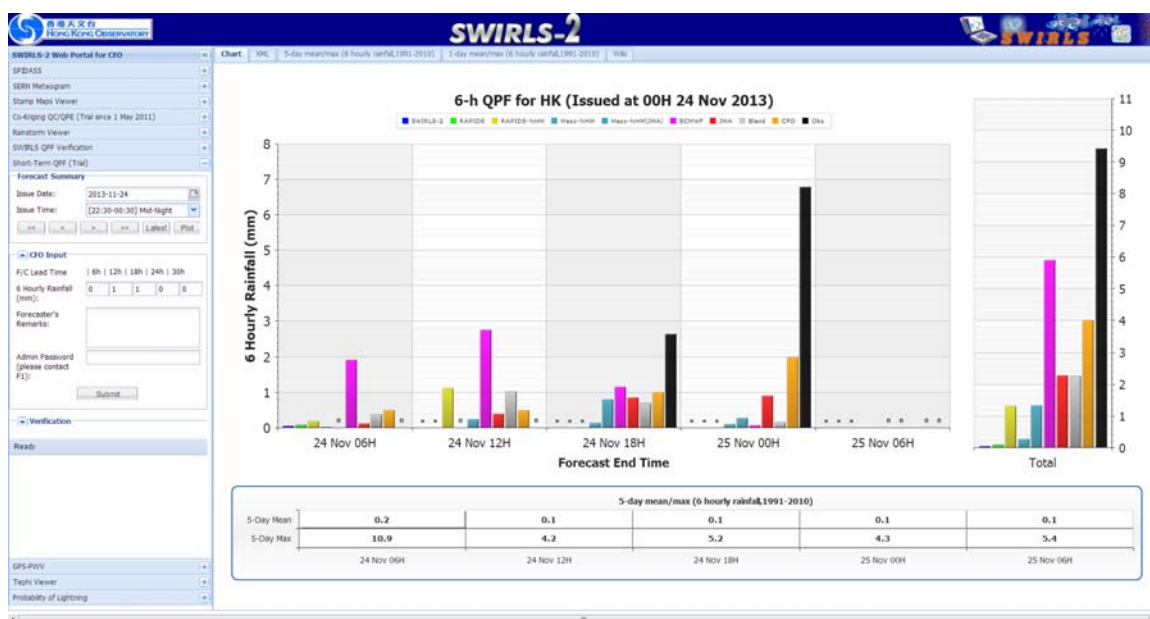
有見於相關方案能提升預報表現，天文台已於 2013 年 12 月開始在業務運作中對全球和區域模式預報大於 10 毫米/六小時雨量時採用。

展望將來，可進一步研究方案會否適用於第二至九天的中期降雨預報，亦可考慮檢視卡爾曼濾波、人工神經網絡等修正法對提升預報技巧的功效。

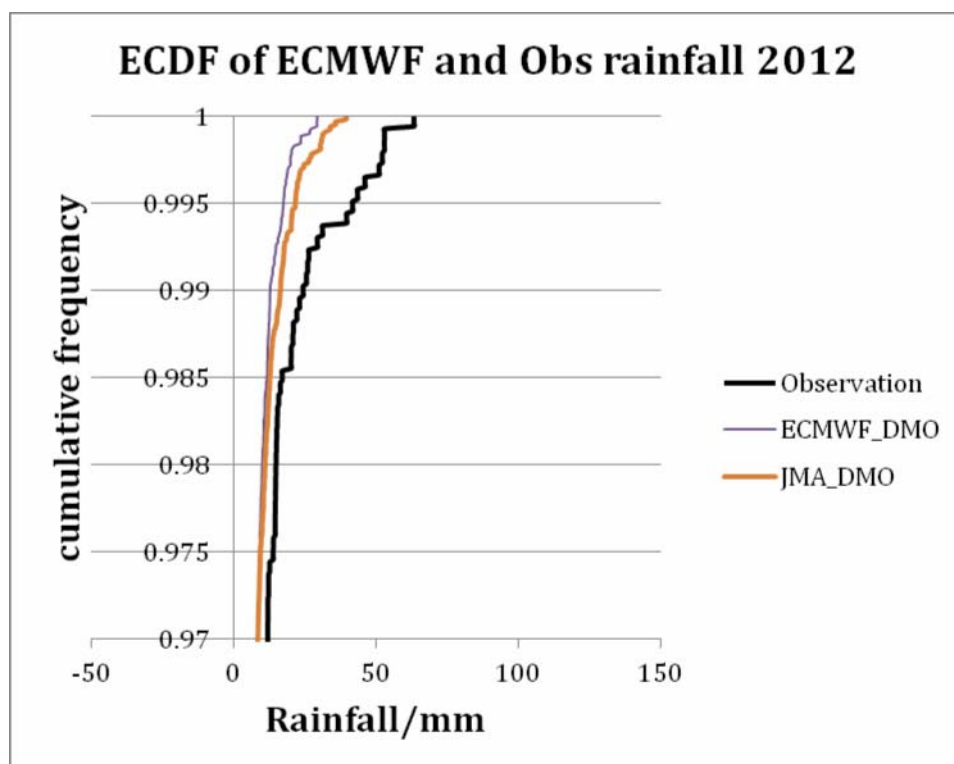
參考文獻

- [1] 黃偉健、周志堅，2010：天文台新一代數值天氣預報系統，第二十四屆粵港澳氣象科技研討會，2010年1月20-22日，中國，深圳。
- [2] 黃偉健，2011：天文台非流體靜力模式系統的航空預報應用，第二十五屆粵港澳氣象科技研討會，2011年1月26-28日，中國，香港。
- [3] Li, P.W., W.K. Wong, K.Y. Chan & Edwin S.T. Lai, 2000: SWIRLS - An Evolving Nowcasting System. Hong Kong Observatory Technical Note No.100.
- [4] Li, P.W. and E.S.T. Lai, 2004: Short-range quantitative precipitation forecasting in Hong Kong, J. Hydrology, 288, 189-209.
- [5] H.Y. Yeung, W.K. Wong, K.Y. Chan and S.T. Lai, 2009: Applications of the Hong Kong Observatory Nowcasting System Swirls-2 in Support of the 2008 Beijing Olympic Games, WMO Symposium on Nowcasting. Whistler, B.C. Canada, 30 Aug - 4 Sep 2009.
- [6] 鄭子路、戴建華、楊漢賢，2011：《小渦旋》臨近預報系統在2010上海世博會的應用，第28屆中國氣象學會年會，2011年11月2-4日，中國，廈門。
- [7] Srivastava, K., S.Y. Lau, H.Y. Yeung, T.L. Cheng, R. Hardwaj, A.M. Kannan, S.K.R. Bhowmik and H. Singh, 2012: Use of SWIRLS nowcasting system for quantitative precipitation forecast using Indian DWR data. MAUSAM Quarterly Journal of Meteorology, Hydrology & Geophysics, Vol.63, No.1, Page 1-16.
- [8] P.W. Li, W.K. Wong & S.T. Lai, 2005: RAPIDS – A New Rainstorm Nowcasting System in Hong Kong, WMO/WWRP International Symposium on Nowcasting and Very-short-range Forecasting, 5-9 September 2005, Toulouse, France.

- [9] 黃偉健、黎守德，2006：「激流」(RAPIDS)暴雨預報系統－「小渦旋」與數值天氣預報模式的融合，第二十屆粵港澳氣象科技研討會，2006年1月18-20日，中國，澳門。
- [10] M.C. Wong, W.K. Wong, & S.T. Lai, 2006: From SWIRLS to RAPIDS: Nowcast Applications Development in Hong Kong, WMO PWS Workshop on Warnings of Real-Time Hazards by Using Nowcasting Technology, 9-13 October 2006, Sydney, Australia.
- [11] The Operational Numerical Weather Prediction at the Japan Meteorological Agency Chapter 4 Application Products of NWP 4.6.2.2 Frequency Bias Correction. [http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/nwp/outline2013-nwp/pdf/outline2013_04.pdf]



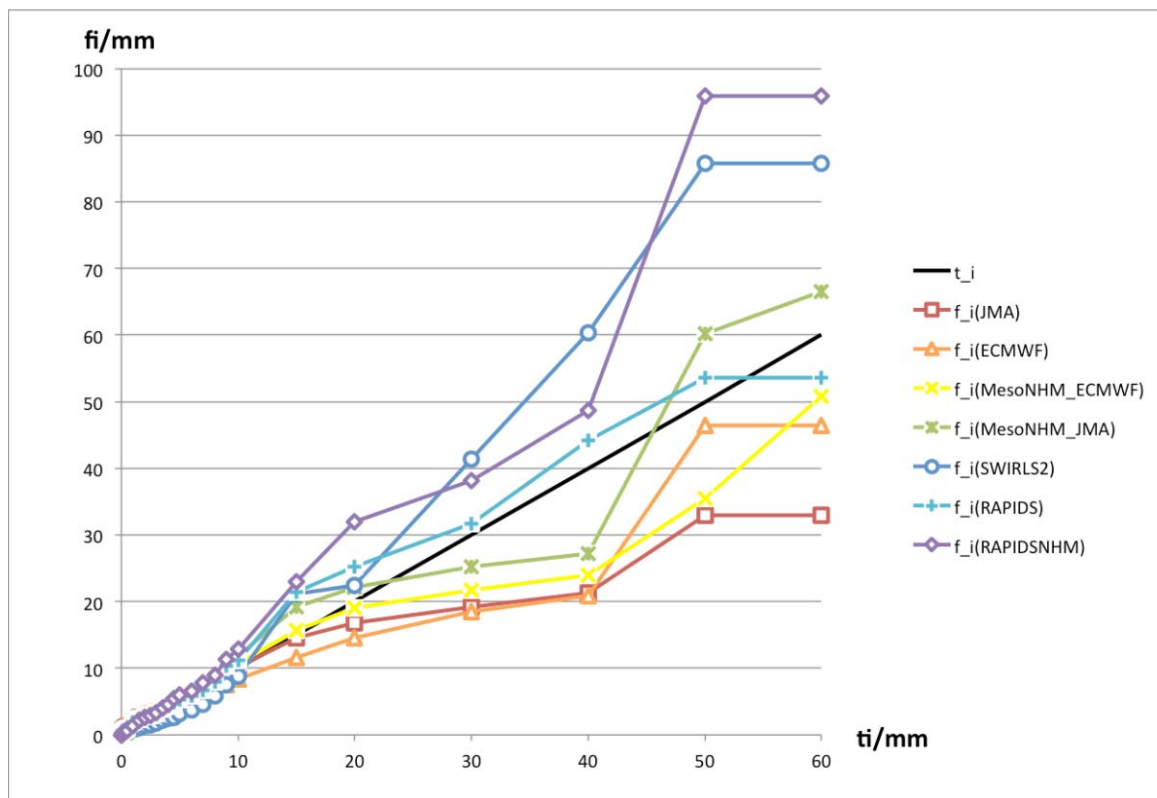
圖一、天文台的短期降雨預報工具介面



圖二、2012 年 ECMWF、JMA 預測及實況的經驗累積分佈函數 (ECDF)

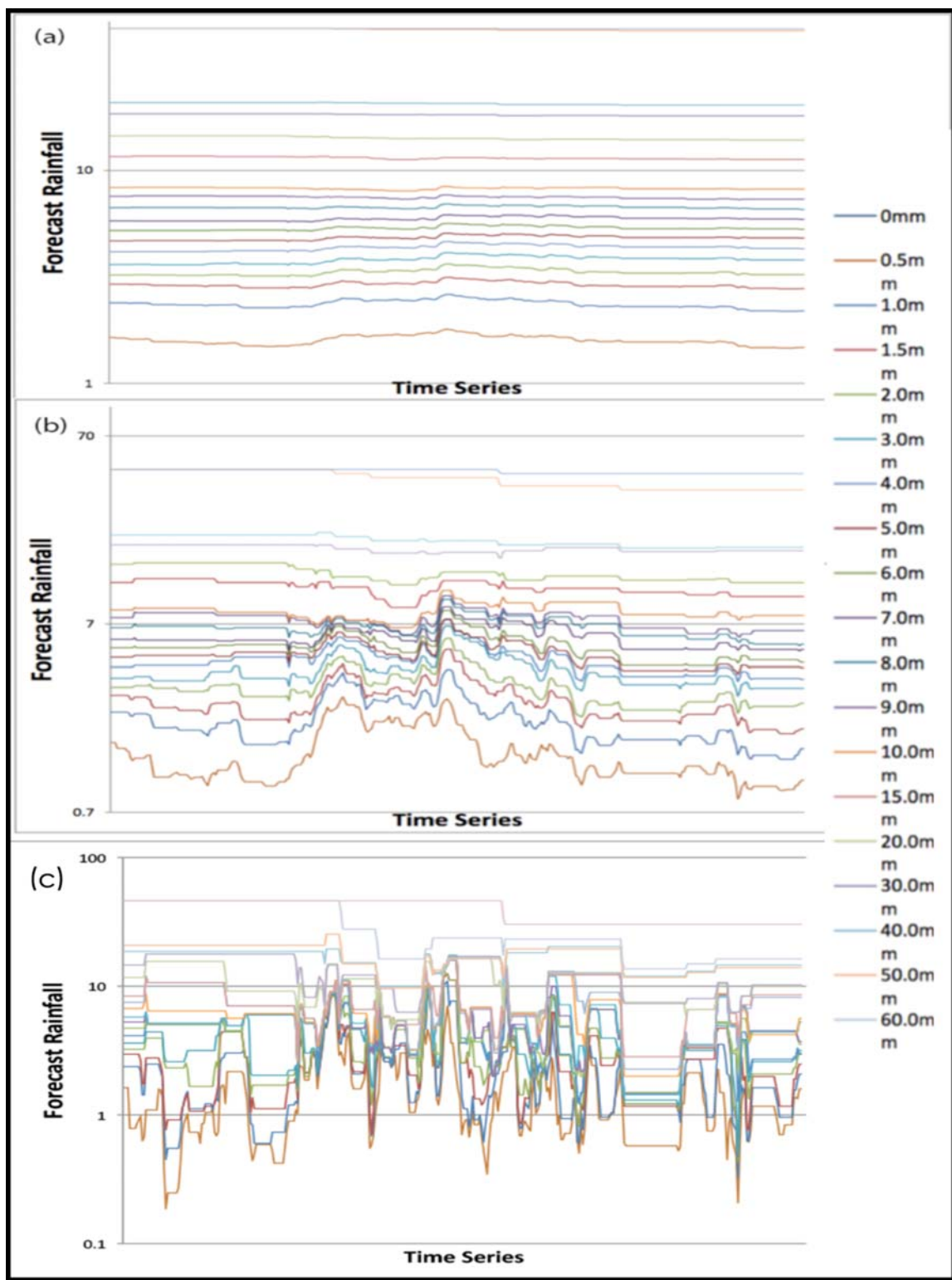
Thresholds table			
ti	fi	ti	fi
0	0	4.5	4.484
0.1	1.07	5	4.67
0.2	1.339	6	5.231
0.3	1.477	7	5.8
0.4	1.556	8	6.682
0.5	1.644	9	7.563
1	2.389	10	8.312
1.5	2.929	15	11.615
2	3.231	20	14.535
2.5	3.358	30	18.441
3	3.619	40	20.819
3.5	3.918	50	46.422
4	4.147	60	46.422

圖三、2012 年 ECMWF 的 對應表

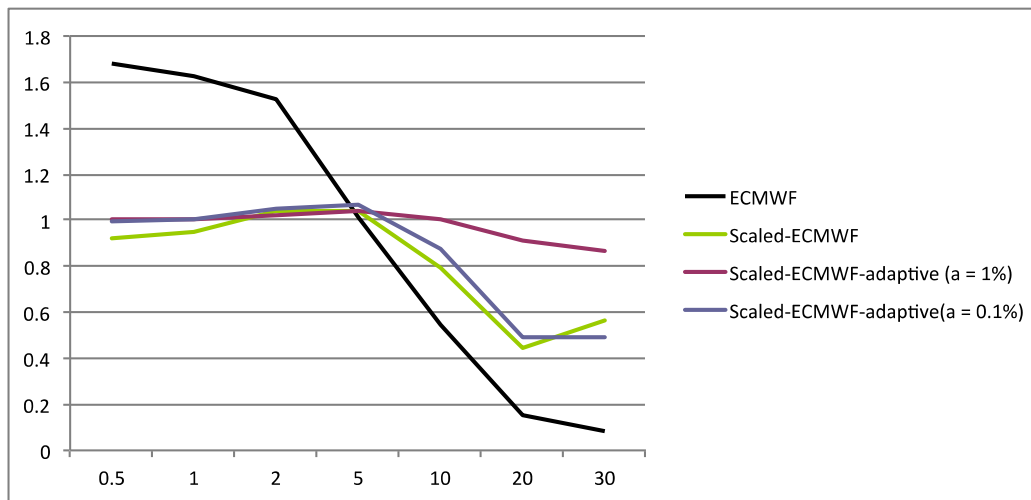


圖四、利用 2012 各預報工具和實況數據得出的

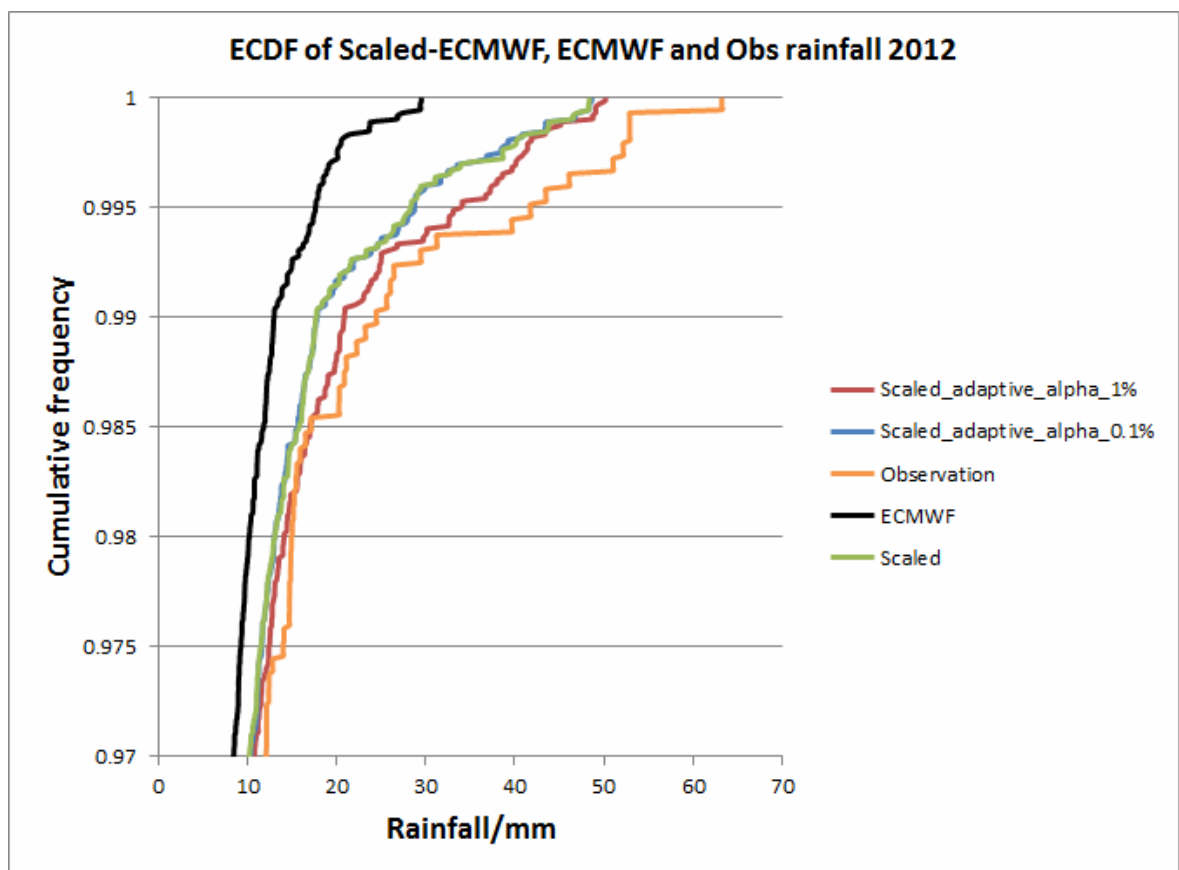
對應圖



圖五 a 至 c、2012 年不同 f_i 值 $\alpha = 0.1\%$ (a) $\alpha = 1\%$ (b) $\alpha = 10\%$ (c) 一年的變化



圖六、2012 年 ECMWF (黑線)、未使用自適應方案的修正預測 (綠線)、 $\alpha = 0.1\%$ 的修正預測 (藍線) 和 $\alpha = 1\%$ 的修正預測 (紅線) 的偏差



圖七、2012 年 ECMWF (黑線)、未使用自適應方案的修正預測 (綠線)、 $\alpha = 0.1\%$ 的修正預測 (藍線) 和 $\alpha = 1\%$ 的修正預測 (紅線) 與實況值 (橙線) 在大雨下的經驗累積分佈函數 (ECDF)

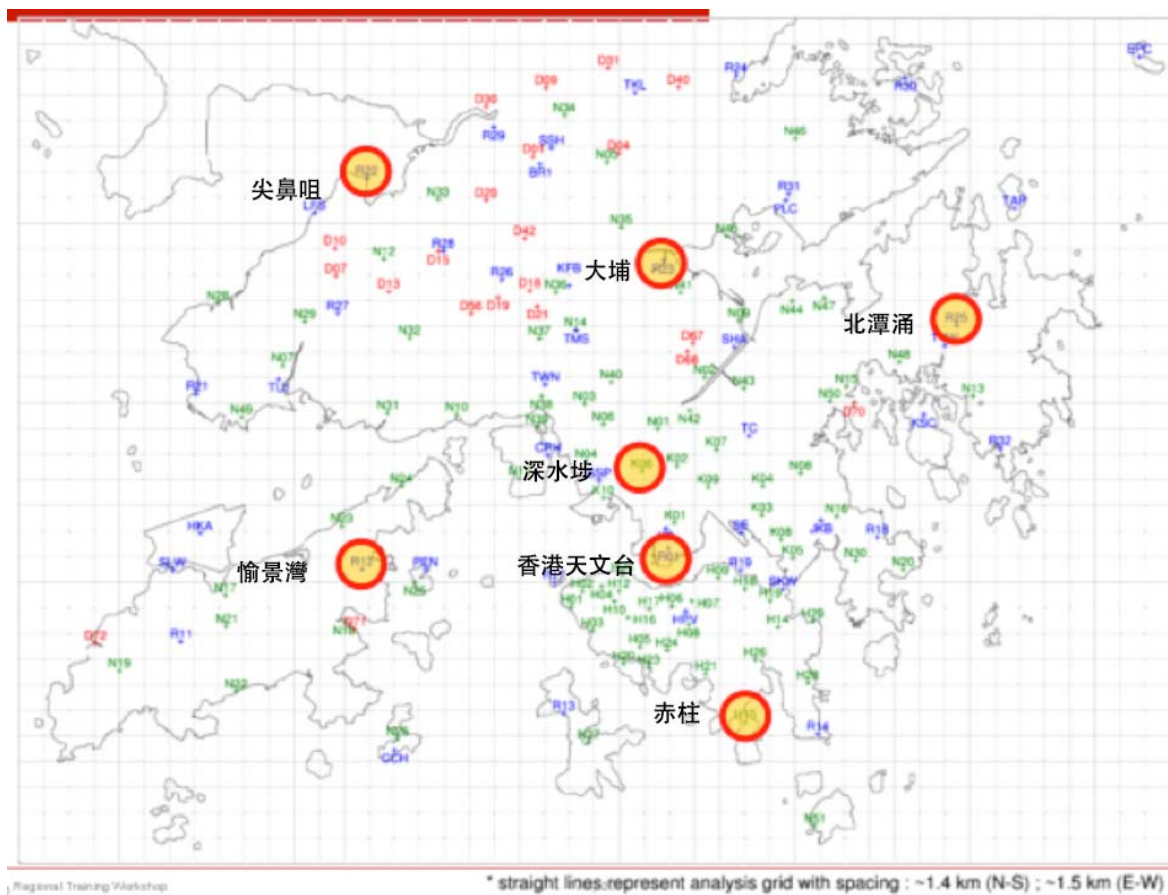
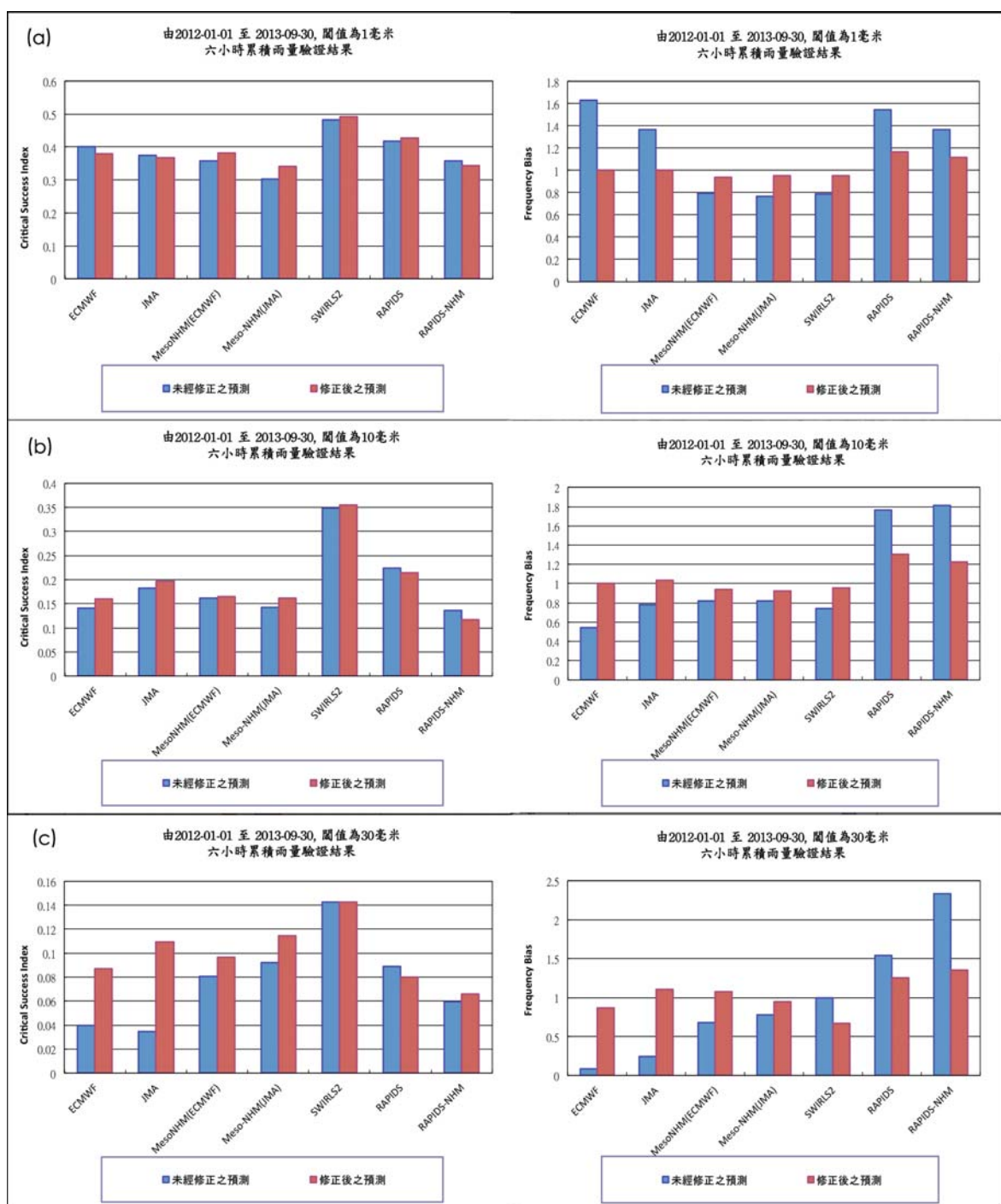


圖 八 、 用 於 驗 證 的 雨 量 計 分 布



圖九 a 至 c、2012 年 1 月 1 日至 2013 年 9 月 30 日閾值為 1 毫米、10 毫米、30 毫米的驗證結果，橫軸為不同預報工具，縱軸為 CSI（左圖）和偏差（右圖）。