

改進ETQPF颱風總雨量預報之研究

黃克禮 張麗秋 蔡孝忠
淡江大學水資源及環境工程學系

摘要

本研究採用颱風中心大氣水文資料庫之颱風路徑與颱風降雨系集預報資料，以石門水庫為研究區域，共計採用11個歷史颱風預報，比較颱風預報路徑與實際觀測路徑之決定係數 (R^2)，以評估系集預報成員的颱風預報路徑之表現，再利用以下兩種方法重新計算颱風總降雨量預報：(1)加權平均法：透過加權平均法重新計算系集預報總降雨量，若某成員的颱風路徑預報越準確，其權重值越高。(2)篩選法：選取表現較好之系集成員（例如颱風路徑預報 $R^2 > 0.95$ ），再求取對應之系集預報總降雨量平均值。研究結果顯示，相較於ETQPF之原始預報總降雨量，本研究提出的兩種改進方法可分別改進79%與90%。ETQPF的RMSE與MAE分別為70.62 mm 與61.15 mm；本研究提出之加權平均法（方法1）RMSE與MAE分別為66.27 mm與54.18 mm，篩選法（方法2）的RMSE與MAE分別為71.95 mm與63.03 mm。雖然方法2的RMSE與MAE較ETQPF稍高，但是並沒有產生明顯偏差，若可採用更多系集成員，或許可獲得更佳之改善結果。上述評估結果顯示，ETQPF之系集預報成員在經過篩選或調整之後，可產生預報技術較佳之颱風總降雨量預報，對於防災單位與水庫操作單位將有所助益。

關鍵字：系集模式颱風定量降水預報法(ETQPF)，加權平均法，颱風路徑分類

一、前言

台灣平均每年有3~4個颱風侵襲，伴隨而來的強風與豪雨，造成河川暴洪、對下游地區帶來很大的衝擊。在颱風侵台時期水庫是非常重要的減洪防災設施，然而有效的水庫防洪操作所面臨的最大挑戰是颱風降雨預報之不確定性。除了颱風本身的結構、強度的影響之外，台灣的地形使得颱風降雨機制變得更為複雜且難以預測。

目前常用的定量降雨預報或監測系統有：中尺度數值天氣預報模式 (Mesoscale Numerical Weather Prediction Model)、中央氣象局劇烈天氣監測系統 (Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensors, QPESUMS)，系集模式颱風定量降水預報法 (Ensemble Typhoon Quantitative Precipitation Forecast, ETQPF)。若能改善或精進颱風

的降雨預報技術，將有助於水資源與防災系統的管理與規劃；本研究根據不同颱風路徑類別，提出依系集成員颱風預報路徑表現給予不同權重值，改善颱風降雨預報之準確率。

二、資料與研究方法

台灣颱風洪水研究中心數值模式系集預報實驗對颱風場次進行定量降水預報。在2009年時，其系集成員的數量有18個，2017年時已經增加至28個。每一個系集成員透過設定不同的初始場、邊界條件與物理參數，去計算不同的數值天氣預報。颱風中心的系集預報系統擁有三層槽狀網格，水平解析度分別為45、15及5 km。此系集預報系統每日產生4筆數值預報，分別為00、06、12和18 UTC，每筆預報都含有未來72小時的時降雨量。

在數值模式系集預報中，共有兩種颱風路徑，第一種是颱風中心最低氣壓的位置（位於海平面），第二種是颱風中心位於500 mb高度場的位置（約位於海平面上方5.5 km處）。本研究選擇Domain 2（水平解析度15 km）的颱風中心最低氣壓位置，同時也會選擇同一個系集成員對應在Domain 3（水平解析度5 km）的定量降水預報（Quantitative Precipitation Forecast, QPF）。本研究採用颱風中心大氣水文資料庫之颱風路徑與颱風降雨系集預報資料，以石門水庫為研究區域，共計採用11個歷史颱風預報，分別是201319天兔、201323菲特、201410麥德姆、201513蘇迪勒、201515天鵝、201521杜鵑、201614莫蘭蒂、201616馬勒卡、201617梅姬、201709尼莎與201710海棠。

本研究所選用之颱風路徑分類與ETQPF資料源自本單位與石門水庫合作計劃。同一類別之颱風將被分成訓練與測試兩組資料，透過比較颱風預報路徑與實際觀測路徑之決定係數 (R^2)，以評估系集預報成員的颱風路徑預報之表現。圖 1 比較201617梅姬颱風實際路徑與M01系集成員預報路徑。接著利用以下兩種方法重新計算颱風總降雨量預報：(1)加權平均法：透過加權平均法重新計算系集預報總降雨量，若某成員的颱風路徑預報越準確，其權重值越高；(2)篩選法：選取表現較好之系集成員（例如颱風路徑預報 $R^2 >$

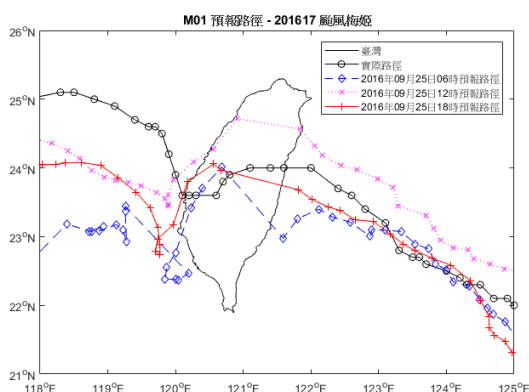


圖 1 比較颱風預報路徑與實際觀測路徑之 R^2 ，例子為201617梅姬颱風之實際路徑與M01系集成員之預報路徑

0.95)，再求取對應之系集預報總降雨量平均值。

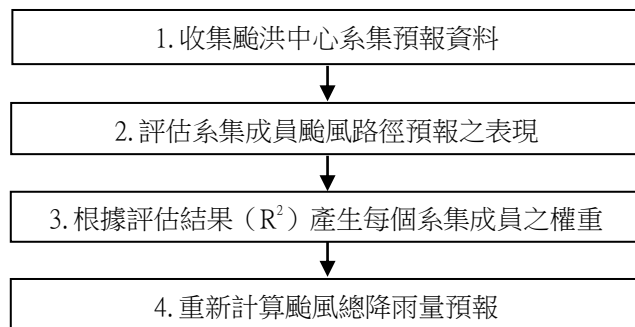


圖 2 研究方法流程圖

三、結果與討論

表 1 顯示24個系集成員對第3類的201513蘇迪勒颱風與201521杜鵑颱風之路徑預報表現。有15個系集成員對這類颱風路徑預報之平均 R^2 大於0.90，其中3個成員M10，M11與M12更超過0.95。然而，有一些系集成員如M06，M07與M15卻無法預測好此類颱風之路徑，平均 R^2 低於0.30。

表 1 系集成員對第3類颱風之路徑預報表現

颱風	訓練場次		平均
	201513 蘇迪勒	201521 杜鵑	
系集成員	R^2		
M01	0.5702	0.9641	0.7671
M02	0.9358	0.9582	0.9470
M03	0.9367	0.9588	0.9477
M04	0.9300	0.9544	0.9422
M05	0.9250	0.9556	0.9403
M06	0.2732	0.2435	0.2584
M07	0.2941	0.2478	0.2709
M08	0.9350	0.9560	0.9455
M09	0.9390	0.3011	0.6201
M10	0.9294	1.0000	0.9647
M11	0.9315	1.0000	0.9657
M12	0.9392	1.0000	0.9696
M13	0.9278	0.9545	0.9411
M14	0.9307	0.9538	0.9423
M15	0.2777	0.2440	0.2608
M18	0.9207	0.9514	0.9360
M19	0.9215	0.9449	0.9332
M20	0.9233	0.9447	0.9340
M21	0.6156	0.9558	0.7857
M23	0.9396	0.9579	0.9487
M24	0.9395	0.9580	0.9488
M26	0.5497	0.2632	0.4065
M27	0.7504	0.6845	0.7174
M28	0.7227	0.6576	0.6901

表 2 系集成員對第3類颱風之預報降雨量與根據表1的R²計算出對應的權重

颱風	訓練場次				測試場次	
	201513 蘇迪勒		201521 杜鵑		201617 梅姬	
	QPF (mm)	權重	QPF (mm)	權重	QPF (mm)	權重
M01	476.7	0.046	442.4	0.045	332.8	0.046
M02	488.8	0.057	350.3	0.055	341.6	0.057
M03	431.8	0.057	352.9	0.055	315.5	0.057
M04	492.0	0.057	356.5	0.055	378.4	0.057
M05	456.4	0.057	334.5	0.055	357.8	0.056
M06	423.4	0.016	345.0	0.015	315.3	0.016
M07	445.6	0.016	342.0	0.016	345.2	0.016
M08	449.1	0.057	351.6	0.055	337.6	0.057
M09	496.9	0.037	372.4	0.036	349.8	0.037
M10	439.0	0.058	352.4	0.056	445.2	0.058
M11	384.4	0.058	368.2	0.056	407.3	0.058
M12	386.7	0.058	188.6	0.056	371.0	0.058
M13	425.4	0.057	303.7	0.055	349.2	0.057
M14	442.4	0.057	366.1	0.055	306.2	0.057
M15	389.6	0.016	390.7	0.015	315.6	0.016
M18	-	-	422.0	0.055	418.5	0.056
M19	510.8	0.056	421.3	0.054	418.3	0.056
M20	470.9	0.056	734.8	0.054	-	-
M21	414.0	0.047	361.8	0.046	383.6	0.047
M23	547.0	0.057	387.1	0.055	436.7	0.057
M24	456.0	0.057	342.1	0.055	302.9	0.057
M26	482.6	0.024	-	-	337.5	0.024
M27	-	-	-	-	-	-
M28	-	-	-	-	-	-
Σ		1.000		1.000		1.000

表 2 顯示24個系集成員對第3類颱風之降雨預報，以及根據表1的R²所計算出對應的權重。對於同時產生路徑預報與降雨預報之系集成員，其R²會正規化成0至1的範圍，且所有系集成員之R²總和為1。除了上述所示3場颱風，颱風中心系集成員對其餘的8個颱風場次之路徑預報表現、降雨預報與權重在此省略。

表 3 比較各方法所預報之颱風降雨量。研究結果顯示，ETQPF的RMSE與MAE分別為70.62 mm 與 61.15 mm；本研究提出之加權平均法（方法1）RMSE與MAE分別為66.27 mm與54.18 mm，較ETQPF表現佳；而篩選法（方法2）的RMSE與MAE分別為71.95

表 3 比較各方法之預報降雨量

類別	颱風	觀測 降雨量 (mm)	ETQPF (mm)	加權 平均法 (mm)	篩選法 (mm)
3	201513 蘇迪勒	459.2	439.2	455.0	403.4
	201521 杜鵑	407.7	317.3	376.4	303.1
	201617 梅姬	420.2	293.0	365.7	407.9
4	201410 麥德姆	147.6	220.4	262.0	245.3
	201709 尼莎	138.1	191.2	166.1	181.6
	201710 海棠	49.1	110.0	34.2	44.3
12	201319 天兔	246.3	225.0	228.9	190.3
	201515 天鵝	63.9	172.3	181.8	172.7
	201614 莫蘭蒂	64.5	116.6	138.0	112.0
15	201323 菲特	217.9	208.7	127.2	115.9
	201616 馬勒卡	135.7	192.9	86.5	75.5
評估 指標	RMSE	-	70.62	66.27	71.95
	MAE	-	61.15	54.18	63.03

注：陰影為測試場次

mm與63.03 mm，雖然方法2的RMSE與MAE較ETQPF稍高，但是並沒有產生明顯偏差，若可採用更多系集成員，或許可獲得更佳之改善結果。

表 4 顯示加權平均法與篩選法相對ETQPF之改善率，而特定方法之改善率的公式如下所示：

$$\text{改善率}_{\text{方法}}(\%) = \frac{\left| \text{預報降雨量}_{\text{ETQPF}} - \text{觀測降雨量} \right| - \left| \text{預報降雨量}_{\text{方法}} - \text{觀測降雨量} \right|}{\left| \text{預報降雨量}_{\text{ETQPF}} - \text{觀測降雨量} \right|} \times 100\%$$

對石門水庫影響較大之颱風（即第3類與第4類颱風），其改善率都相當顯著，舉第3類颱風為例，加權平均法可改善最多79%，篩選法可改善90%。而屬第4類颱風的201710海棠，利用本研究所提的兩個方法則可改善75%與92%。雖然兩個方法對第12類颱風之所產生之降雨預報改善率不大，但卻與ETQPF預報降雨量相似。從表 4 還可以看出一個訊息，即縱使只有一場

或兩場訓練場次，且兩個雨量預報方法對訓練場次都無改善表現，但仍有機會對測試場次（未來颱風）產生改善的效果。篩選法對於201319天兔與201515天鵝並無改善效果，在測試場次中卻稍微改善了201614莫蘭蒂的降雨預報；對201616馬勒卡使用加權平均法預報颱風降雨量也可發現同樣的情形。

表 4 加權平均法與篩選法相對ETQPF之改善率

類別	颱風	加權平均法 (%)	篩選法 (%)
3	201513 蘇迪勒	79.01	-
	201521 杜鵑	65.38	-
	201617 梅姬	57.17	90.29
4	201410 麥德姆	-	-
	201709 尼莎	47.19	17.97
	201710 海棠	75.46	92.17
12	201319 天兔	18.33	-
	201515 天鵝	-	-
	201614 莫蘭蒂	-	8.89
15	201323 菲特	-	-
	201616 馬勒卡	14.02	-

注：陰影為測試場次

四、結論

本研究評估系集模式對颱風預報路徑之表現，再提出兩個兩個新方法，重新計算颱風時期石門水庫的總降雨量，即加權平均法與篩選法。

研究結果顯示，相較於ETQPF之原始預報總降雨量，本研究提出的兩種改進方法可分別改進79%與90%。ETQPF的RMSE與MAE分別為70.62 mm 與61.15 mm；本研究提出之加權平均法（方法1）RMSE與MAE分別為66.27 mm與54.18 mm，較ETQPF表現佳；而篩選法（方法2）的RMSE與MAE分別為71.95 mm與63.03 mm，雖然方法2的RMSE與MAE較ETQPF稍高，但是並沒有產生明顯偏差，若可採用更多系集成員，或許可獲得更佳之改善結果。上述評估結果顯示，有一些系集成員對特定類別颱風之路徑預報表現好，ETQPF之系集預報成員在經過篩選或調整之後，

可產生預報技術較佳之颱風總降雨量預報，對於防災單位與水庫操作單位將有所助益。

參考文獻

- Cheung, K.K.W., Huang, L.R., and Lee, C.S., 2008: "Characteristics of rainfall during tropical cyclone periods in Taiwan", *Nat Hazards Earth Syst Sci*, 8, 1463-1474.
- Glahn, H.R., and Lowry, D.A., 1972: "The Use of Model Output Statistics (MOS) in Objective Weather Forecasting", *Journal of Applied Meteorology*, 11, 1203-1211.
- Hong, J.-S., Fong, C.-T., Hsiao, L.-F., Yu, Y.-C., and Tzeng, C.-Y., 2014: "Ensemble Typhoon Quantitative Precipitation Forecasts Model in Taiwan", *Weather and Forecasting*, 30, 217-237.
- Lee, C.S., Huang, L.-r., Shen, H.-s., and Wang, S.-t., 2006: "A Climatology Model for Forecasting Typhoon Rainfall in Taiwan", *Natural Hazards*, 37, 87-105.
- Raftery, A.E., Gneiting, T., Balabdaoui, F., and Polakowski, M., 2005: "Using Bayesian Model Averaging to Calibrate Forecast Ensembles", *Monthly Weather Review*, 133, 1155-1174.
- Wu, M.-C., Hong, J.-S., Hsiao, L.-F., Hsu, L.-H., and Wang, C.-J., 2017: "Effective Use of Ensemble Numerical Weather Predictions in Taiwan by Means of a SOM-Based Cluster Analysis Technique", *Water*, 9.
- Wu, M.-C., Yang, S.-C., Yang, T.-H., and Kao, H.-M., 2018: "Typhoon Rainfall Forecasting by Means of Ensemble Numerical Weather Predictions with a GA-Based Integration Strategy", *Atmosphere*, 9, 425.

