

WEPS 降雨情境預報於梅雨預報應用之發展

蘇奕叡¹、賴曉薇¹、陳思穎¹、陳文柔¹、徐驊¹、

羅翊銓¹、蔡金成¹、吳英璋¹、張保亮¹、洪景山²

¹中央氣象局 氣象資訊中心

²中央氣象局 氣象科技中心

摘要

數值天氣預報存在可預報度的限制，中央氣象局作業之系集預報系統(WEPS)自2011年開始作業，主要是建立在WRF區域模式的基礎，巢狀網格解析度分別為15公里跟3公里，透過初始隨機擾動、邊界擾動和物理參數法擾動等，產生20組系集預報成員，期望能涵蓋預報的不確定性。然而，如何從系集預報系統所提供的龐大預報資料中取得有用的資訊，並確實掌握預報的不確定性，是WEPS在天氣預報應用的重要關鍵。

WEPS各系集成員的定量降水預報雖然皆有差異，但經驗顯示成員之間會有相近的特徵，此可能與模式大氣的環境條件或是系集成員的模式組態有關，我們稱之為分群現象，同時，這些分群的現象也可能反映出未來預報可能的降水情境。本研究藉由類神經網路之自組織映射圖網路(self-organizing map, SOM)群集分析技術，針對梅雨鋒面降水個案，運用WEPS之預報輸出，預先將模式定量降水預報分為四個群集，並進行分群特性分析。為進一步了解造成預報降雨情境差異的可能因素，本研究針對梅雨伴隨鋒面雨帶重要的天氣因子，包括相當位溫主軸、低層噴流位置及水氣場的變化等，利用降水預報的分群結果將同一群集的成員進行上述天氣因子的合成，以探討不同降水群集下所伴隨的天氣型態，提供該降水情境下大氣環境條件的詮釋與論述資訊。

Key words: 系集預報系統、群集分析、梅雨系統

一、前言

定量降水預報(Quantitative Precipitation Forecast, QPF)是數值天氣預報最大的挑戰之一，大氣中水氣相位變化的過程及其與大氣熱力、動力過程的交互作用，無論是在觀測，或是模式解析度的限制以及物理參數法的不確定性等，都使得數值模式的定量降水預報充滿不確定性。也因此，為了彌補觀測和模式技術的限制，系集預報系統的發展以及系集定量降水預報產品的研發成為近年來最重要的研究課題之一。

中央氣象局亦致力於區域系集預報之發展，李和洪(2011, 2014)針對系集成員產生方式進行一系列的評估，並據以建立了一套以WRF區域模式為基礎之系集預報系統(WRF Ensemble Prediction System, WEPS)，期望能涵蓋可能之預報不確定性，並嘗試從大量系集預報資料中發展出有用的預報指引。Hong et al. (2015)以WEPS系統，利用颱風地形鎖定之特性發展系集颱風定量降水預報(ensemble typhoon quantitative precipitation forecast, ETQPF)，針對系集的颱風路徑以及定量降水

預報，透過挑選系集成員相近颱風位置的預報，可計算出同一種情境下的台灣平均降水配置。

根據ETQPF的研究經驗，我們發現在台灣的定量降水系集預報中，若能根據不同降雨型態特性，對系集預報結果進行客觀分析，透過適當挑選有相似特性的系集成員，可得到更為合理的預報結果。若再配合歸納不同特性之系集預報結果的機率分布，還可進一步提供不同情境下風險管理的有效資訊。因此，若能發展與建置有效且適用之群集分析技術並應用到系集定量降水預報中，則可透過客觀的統計分類方法，能更深入了解系集預報系統特性。

近年來亦有許多以機器學習(machine learning)理論為基礎所發展之新式的群集分析方法，如Borah et al. (2013)發展以自組織映射圖(self-organizing map, SOM; Kohonen, 2001)為基礎之系集預報系統，對資料進行以樣式辨識(pattern recognition)為基礎之群集分析。找出較為相似天氣狀況。並採用對應之天氣狀況後續演變之降雨資訊來做預報。

綜合以上，中央氣象局與台灣颱風洪水研究中心以自組織映射圖之類神經網路方法，發

展應用於系集預報系統之群集分析技術，欲以此分析 WEPS 系集之定量降水預報之預報特性，並應用群集分析統探討於氣象局數值模式預報之應用。

二、系統與方法介紹

(一) 自組織映射圖與群集分析

自組織映射圖網路為一種特殊之類神經網路，目的在於使用一個較低維度的拓撲圖 (topological map)，以視覺化 (visualization) 的方式展示高維度資料的情況。SOM 屬於非監督式神經網路，同時也是競爭式學習神經網路。亦即在學習過程中並無確切的目標輸出資料可供比對，並在學習過程中不斷地調整網路權重值，而學習的最終目的則為了使網路權重具有可描述眾多資料分佈關係的能力。在 SOM 網路權重值的修改與調整過程中，係採用競爭性 (competitive) 學習機制，意味著在網路學習過程中，只有優勝神經元 (winning neuron) 有權利調整權重。此外，SOM 網路的學習採用特徵映射 (feature mapping) 方式，所以可將任意高維度的輸入資料映射至較低維度的離散化空間上，而形成具拓撲結構 (topological structure) 的映射圖。

由於 SOM 最終產生的拓撲結構映射圖可以反應所有輸入資料在資料空間中之分佈關係，因此則將該產出之映射圖稱為拓撲圖或稱為特徵圖 (feature map)。在多次訓練後，藉由最終之 SOM 特徵圖，找出員輸入資料所在之相鄰近之神經元位置，即以此為相似之群集。

中央氣象局利用該技術，針對 WEPS 預報的定量降水預報結果進行群集分析，並且依據分群結果計算各個群集的機率擬合平均 (PMM) 得到四種不同的降水情境。而為針對這些降水情境的結果提供更進一步的分析，計算這些情境背後系集成員的各個天氣場進行系集平均，來診斷不同降水情境背後的天氣成因。本研究即針對梅雨伴隨鋒面雨帶的降水，藉由分析其中重要的天氣因子，進行群集分析產品的應用。

(二) 梅雨豪大雨檢查表之天氣因子分析

首先為探討為探討梅雨預報中有哪些重要的天氣因子，本文從梅雨檢查表中 (表一) 的各項參數來進行分析。

而為判斷其中那些參數是 WEPS 系統可掌握的重要天氣因子，這邊利用系集預報的離散度可以涵蓋模式預報的不確定性，以及大雨

系統發生時，模式預報的不確定性也會變強的特性。假設豪大雨發生時，系集離散度大的天氣因子代表有高不確定性，表示其在造成豪大雨系統的不確定性中有重要的影響。藉此找出系集預報中的高影響天氣因子分析。

此外，由於系集預報資料龐大，在判定上必須以不同的演算法以優化處理的速度，建立自動化的分析工具。故本研究依據梅雨檢查表的因子分類，本文大致利用四種演算法進行系集預報的天氣因子分析：

a. 鋒面位置判斷

在梅雨鋒面位置的判讀上，常從相當位溫 θ_e 梯度位置判斷，或是從濕舌附近的位置 (陳 1992)。

故在自動化分析上，先利用 θ_e 空間峰值，並以 K-means 分類法來劃分空間上相近的極值點，藉此找出 850hpa θ_e 主軸的位置，除了可對應檢查表中主軸指向台灣與否的判定，亦可作為鋒前暖區的指標，並在依此判定鋒面的相對位置，進一步判定梅雨鋒面的位置 (圖一)。

b. 低層噴流位置

因該項目的設定為判定區域間西南風風速值有無的定性門檻，但定量上無法判定風速的影響範圍。為此本研究依照檢查表設定風速門檻值，計算在判定區域 (18~26°N; 116~125°E) 中超過門檻值的格點數百分比，檢測出對梅雨系統之敏感性找出最佳的面積門檻，並以此門檻作為低層噴流項目發生之標準。

c. 風切線位置

在設定範圍中 (22~28°N ; 114~127°E)，利用計算渦度和輻合輻散綜合判斷風切位置，依據以下條件來計算系集預報成員的發生頻率：

$$\begin{aligned} & \text{if} \quad \text{大環境正渦度} \\ & \quad V_{\text{right}} - V_{\text{left}} - (U_{\text{top}} - U_{\text{bottom}}) > 0 \\ & \text{and} \quad \text{有南北輻合} \\ & \quad (V_{\text{top}} - V_{\text{bottom}}) < 0 \\ & \text{and} \quad \text{北風}(V > 0) \text{面積} \\ & \quad \text{要小於 domain 面積} 85\% \end{aligned}$$

其中，UV 風速均為區域的平均，而左右之經向風 (V_{left} and V_{right}) 為以經度 120.5°E 做分界，上下之緯向風 (U_{top} And U_{bottom}) 為以 25°N 做分界。

d. 高層風場分流

在高層風場的分流角度，主是要確認位於

高層的輻散區。而利用數值模式，計算區域中的總輻散值，依據輻合輻散程度來判斷台灣是否位於高層輻散區。

e. 其他綜觀條件判斷

該診斷項目包含濕度分布，氣壓分布與 K-index 分布等指標，在檢查表中定義的範圍為 15~30°N、110~127°E。因診斷範圍太大發現分辨力不足，故本研究修改定義「台灣附近」範圍為 20.5~26.0°N、119.5~122.5°E。以此利用各個成員在台灣附近範圍內達成的比例來作為發生頻率。以氣壓分布為例，藉由診斷系集在該區域之平均海平面氣壓低於 1005 hpa 的比率來計算預報的機率。

三、 結果與討論

(一) 梅雨豪大雨天氣因子分析

在豪大雨檢查表中，本研究統計2021年6月梅雨系統前後的系集預報進行判斷，每組系集預報皆能對各個天氣因子得到一組預報機率，藉由預報機率進行預報的區辨力分析（表一）。可以看到，各項參數裡以鋒面的位置、風切線的存在以及高層風場分流有最高的區辨力。

此外，本研究亦結合預報員意見的討論，認為除了檢查表的項目外還有其他重要的天氣因子，並以此解決水氣場跟低層噴流場區辨力不顯著的問題。因此建置相當位溫產品與水氣通量輻合產品。

相當位溫產品(圖2a)除了展示台灣附近的相當位溫分布，並於台灣海峽上標記三個點來劃分台灣海峽之北中南三塊區域，藉此計算三個區域的垂直探空風速變化(圖2b)，進而分析鋒面的位置跟結構。而水氣通量輻合產品(圖2c)是藉由積分從地表到700hpa的水氣通量(Qv flux)來計算，能描述在近地面水氣的移動情形，提供判斷水氣傳送的依據。

以此結果，本文結合預報員的主觀意見，進一步與群集分析結果進行整合來建立群集分析之診斷產品，包含：相當位溫場、低層噴流、高層風場與水氣通量輻合場等產品。

(二) 群集分析診斷產品與個案分析

藉由分析出在梅雨判定上重要出的天氣因子，套用進群集分析系統中，得到四種情境的天氣因子分析產品。本文以2021年6月22日之梅雨個案做天氣診斷的個案分析實例。

22日00-12Z的梅雨降水主要集中在西南

部，利用群集分析來檢視可以看到系集系統對降水的預報存在大致四種情境(圖3a)，四種情境皆顯示在西南部平地的降水，但是在中部降水的範圍以及主要強降雨(大於150mm)有所不同，可以看到第四個情境雖然組成的系集成員最少，但是強降水有分布到苗栗，且強降水區域較偏北，跟實際降水較相近。

在診斷上可以在850hpa相當位溫圖中(圖2a)找到 θ_e 主軸的位置，從情境4的 θ_e 主軸較偏北，探空資料(圖2b)也顯示海峽北方的風向為西南風，鋒面位置較為偏北。此外，除了情境3跟4在進台灣海域的相當位溫較高外，情境4在水氣通量輻合(圖2c)也顯示在進台灣中部的的水氣通量較多，顯示情境4的鋒面較偏北，水氣通量較強，導致其降水的分布亦為偏北，而情境3的水氣通量整體較大，但集中在南部山區，故在南部山區尚有最大的極值發生。

而若是檢視下一趟預報6月22日12Z到隔天00Z的結果(如圖3b)，看到各個群集的降雨情境差異很大，在診斷場上的表現可以從探空圖(圖4b)中看到情境1跟情境3在海峽中部主要偏南風，跟陸地降水較不顯著有所關聯。而情境2則是在西南部低層有局部西南風的發生(圖4c)，造成西南部平地明顯的降水。情境4則是雖然西南向噴流較弱，但海峽上風向偏南(圖4b)，且加上水氣最充沛(圖4a)也造在山區有明顯的降水。

四、 結論

本研究主要目的於發展群集分析技術應用在梅雨預報之實際應用。利用系集預報對梅雨檢查表判定標準的統計可以歸納出鋒面的位置、風切線的有無以及高層風場分流等為最有區辨力的天氣因子，也針對效益較低的天氣因子進一步分展出更適合的氣象產品來協助進行數值天氣預報的診斷分析。並利用2021年6月之梅雨個案進行分析，針對WEPS群集分析降水得到的四種降水情境，提供梅雨降水情就預報結果背後的大氣環境條件，在實際應用跟分析上更完整的詮釋。

五、 參考資料

李志昕、洪景山，2011：“區域系集預報系統研究：物理參數化擾動”。*大氣科學*，**39**，95 - 116。

李志昕、洪景山， 2013：“區域系集預報系統研究：系集成員產生方式之評估”。*大氣科學*，**42**， 153 - 179。

陳泰然、王重傑、紀水上， 1992：“梅雨季伴隨豪雨之中尺度低壓個案研究”，*大氣科學*，**20**， 319-339。

簡芳菁、柳懿秦、周仲島、林沛練、洪景山和蕭玲鳳， 2005：“2003年梅雨季 MM5 系集降水預報”。*大氣科學*，**33**， 255 - 275。

蘇奕叡、吳明璋、洪景山， 2017：“群集分析工具在系集定量降水預報之應用”。*天氣分析與預報研討會*，中央氣象局。

Borah N., A.K. Sahai, R. Chattopadhyay, S. Joseph, S. Abhilash, B. N. Goswami, 2013: “A self-organizing map-based ensemble forecast system for extended range prediction of active/break cycles of Indian summer monsoon”. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **118(16)**, 9022–9034.

Ebert, Elizabeth E., 2001: “Ability of a Poor Man’s Ensemble to Predict the Probability and Distribution of Precipitation”. *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 2461-2480

Kohonen, T., 2001: “Self-Organizing Maps”, 3rd edn. Springer-Verlag: Berlin.

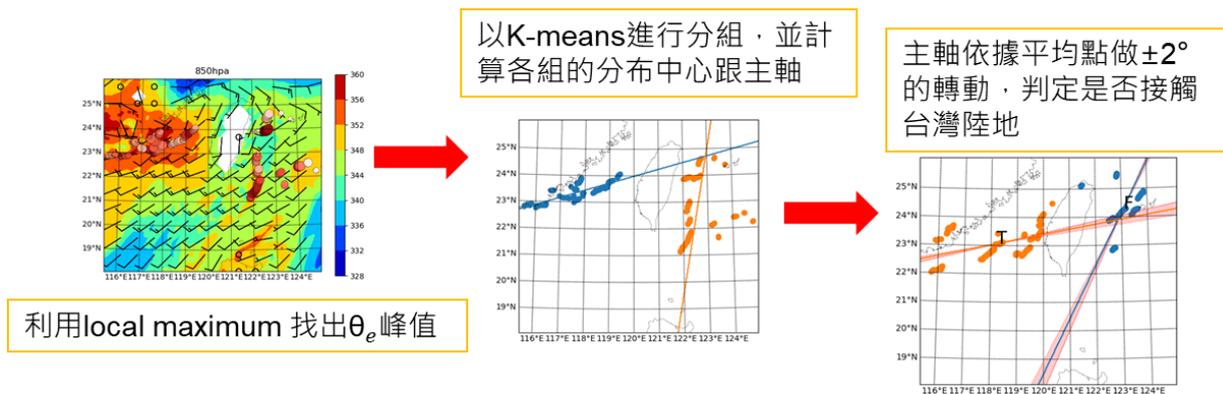
Molteni, F., R. Buizza, T. N. Palmer, and T. Petroliagis, 1996: “The ECMWF Ensemble Prediction System: Methodology and validation”. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **122**, 73–119.

NMOC operations Bulletin No. 81, Operational Description of the Daily PME System.

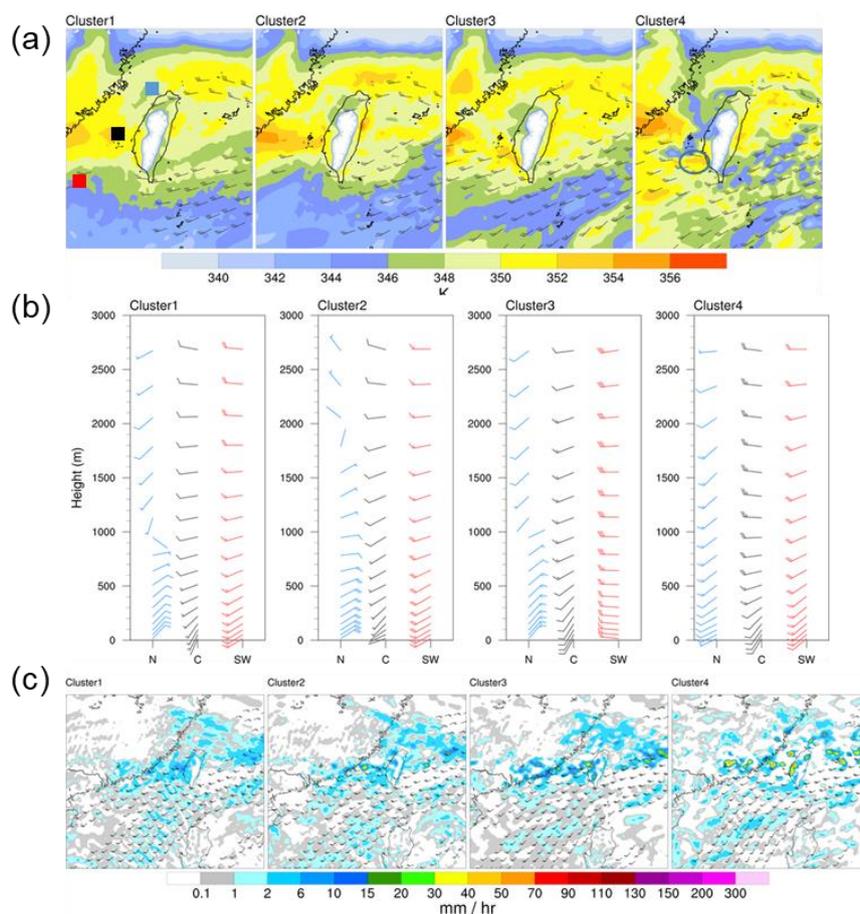
Zhu, Y. and Z. Toth, 2008: “Ensemble Based Probabilistic Forecast Verification”. 19th AMS conference on Probability and Statistics. New Orleans, LA, 20-24 Jan. 2008.

項次	檢查項目	初始場時間：	ini	F12	F24	F36	F48
1	梅雨鋒面存在於	20-28N與118-124E間	0.75	0.66	0.66	0.64	0.54
2		台北位於 鋒後100Km或鋒前200Km內	0.76	0.66	0.62	0.57	0.5
3		高雄位於 鋒前200Km內	0.66	0.62	0.6	0.53	0.46
4	濕度分布	850hpa Td ₂ 15°C	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
5		850hpa @ e主軸指向台灣	0.64	0.67	0.64	0.55	0.46
6		700hpa T-Td ₃ 3°C	0.7	0.63	0.6	0.55	0.51
7	低層噴流：	18-26N與115-125E間 地面有10-20kts西南風	0.6	0.58	0.58	0.6	0.68
8		850hpa有 > 25kts西南風	0.5	0.52	0.52	0.5	0.55
9		700hpa有 > 30kts西南風	0.56	0.57	0.52	0.52	0.52
10		南海15N以北 850hpa有 _≥ 10kts南至西南風	0.4	0.32	0.39	0.4	0.46
11	溫度場：	850/700hpa風切線北側有冷舌					
12		台灣位於 500-1000hpa厚度增韌散區					
13	風切線：	22-28N、114-127E 有850/700hpa風切線存在	0.78	0.82	0.8	0.78	0.72
14	次系統：	華南沿海、南海北部 地面/850hpa有中尺度低壓					
15		及114E以東 700/500hpa有短波槽					
16	氣壓：	台灣位於低壓帶內	0.63	0.57	0.62	0.64	0.76
17		台灣附近 地面氣壓 < 1005hpa					
18	高層風場：	300/200風場分流角度 > 45°	0.73	0.64	0.67	0.6	0.63
19		台灣位於 300/200噴流條入區右側					
20	穩定度：	K-Index > 35	0.5	0.52	0.55	0.53	0.52
總分			8.71	8.28	8.27	7.91	7.81

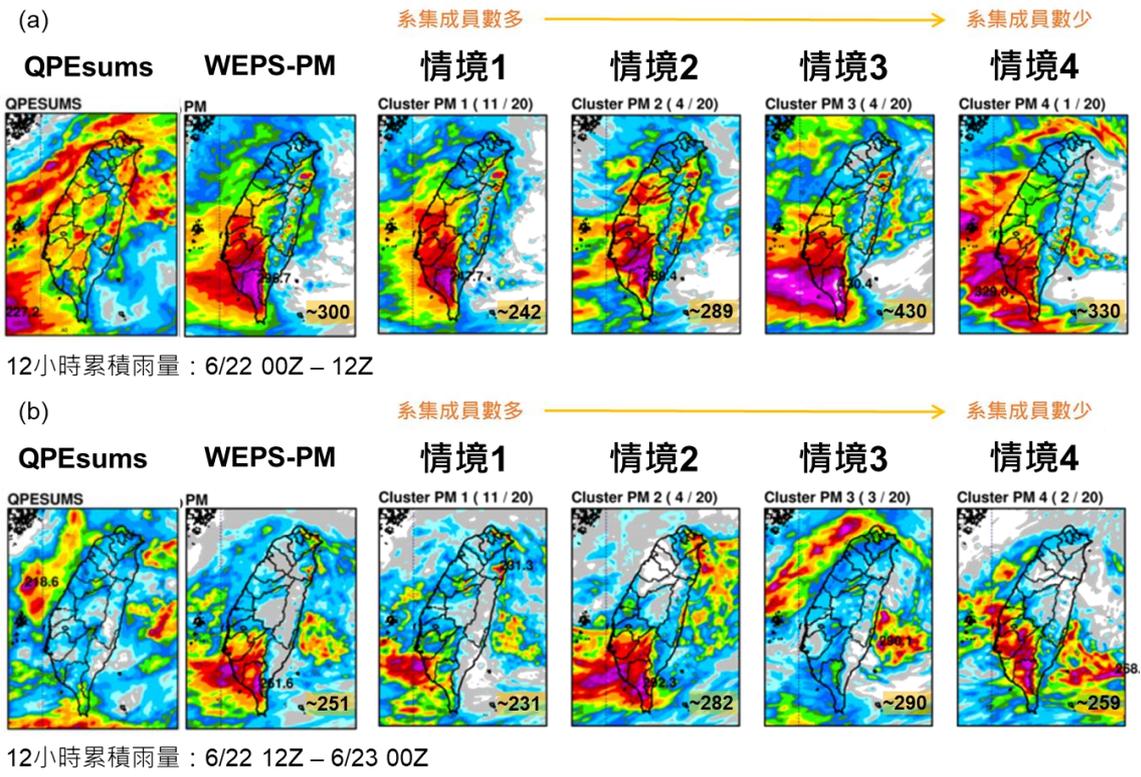
表一 梅雨檢查表項目與統計 WEPS 之 6 月每 12 小時預報對應各項梅雨檢查表參數之區辨力分析。



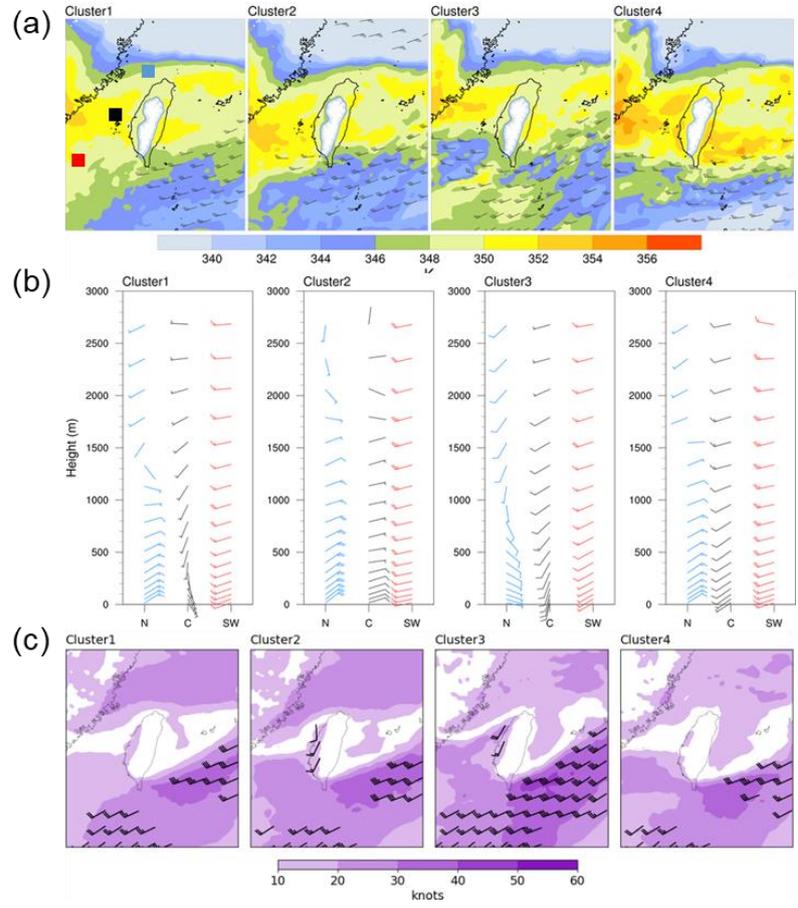
圖一 利用 θ_e 空間峰值找出鋒面位置與接觸角度的自動判定演算法示意圖。



圖二 2021年6月22日00Z之綜觀群集分析產品，其中(a)為850hpa之相當位溫，中間三個點位置對應(b)之垂直探空風速，及(c)為水氣通量輻合場。



圖三 2021年6月22日之觀測與WEPS定量降水預報之群集分析之12小時累計降水，其中(a)為00Z-12Z及(b)為12Z至23日00Z。



圖四 2021年6月22日12Z之綜觀群集分析產品，其中(a)(b)同圖三，(c)為西南風風向風