

TAMEX 期間大雨預報校驗

蔡清彥 盛修慧
國立台灣大學 中央氣象局
大氣科學系 預報中心

(中華民國七十七年十月二十日收稿；七十八年二月十日定稿)

摘 要

本文針對1987年台灣地區中尺度實驗(Taiwan Area Mesoscale Experiment, 簡稱TAMEX)期間, 三個不同單位: 中央氣象局預報中心(文中簡稱CWB)、TAMEX預報中心(TAMEX Forecast Center, 簡稱TFC)及TAMEX的實驗預報組(Experimental Forecast Group, 簡稱EFG)所用之大雨預報參數檢查表, 加以比較和校驗。分別對各單位選取之大雨預報參數, 重新訂定各項檢查方法, 對1987年5、6月實際天氣逐項檢查, 並進行各種分析評估, 以瞭解各預報參數對大雨之預報能力, 最後綜合整理出一組共7項最為重要的大雨預報參數, 以供預報梅雨期大雨發生之參考。

關鍵詞: 梅雨鋒面、大雨預報參數、技術得分、低層噴流、中尺度低壓、中尺度對流系統、 χ^2 得分

一、前言

梅雨期間的豪雨為台灣地區每年四大重要災變天氣之一, 此種多為中尺度系統造成的劇烈降水, 因此颱風時豪雨更為局部性, 預報時效及判斷更難掌握, 過去雖有各種由長期統計、綜觀觀點研究分析梅雨期的環流形式及降水特性(陳正改、蔡清彥, 1980; 曲克恭, 1981; 紀水上, 1977; 徐明同、紀水上, 1974等), 亦有對於伴隨梅雨鋒面之中尺度天氣系統、結構之合成分析(陳泰然、紀水上, 1978; 王崇岳, 1978; 陳正改, 1979; 陳泰然等, 1986等), 但尚無對較短期之大雨預報方法加以探討研究, 近來雖有對大雨綜觀預報因子的初步整理, 但尚未針對實際大雨作過校驗。國內氣象界有鑒於梅雨期大雨造成之災害, 在國科會的大力推動下, 在1987年特別進行了「台灣地區中尺度實驗」(Taiwan Area Meso-

scale Experiment, 簡稱TAMEX)大型計畫, 集合了中、美雙方科學家, 設備資源等, 進行密集觀測實驗, 提供今後對劇烈區域性豪雨之研究資料。在五、六月期間因而有TAMEX預報中心(TAMEX Forecast Center, 簡稱TFC)及實驗預報組(Experimental Forecast Group, 簡稱EFG)兩小組從事預報工作, 再加上原本中央氣象局預報中心(Central Weather Bureau, 以CWB表示)的日常例行預報作業, 本文將此三個單位所採用的不同預報參數加以比較和校驗, 來評估各預報參數對大雨的預報能力, 並重新建立梅雨期間之大雨預報方法。

二、校驗的資料來源及方法

(一)大雨預報參數檢查表

為配合TAMEX計畫的實施, CWB、

TFC及EFG三單位，即根據過去對梅雨期中尺度及綜觀尺度環境之各種研究資料，分別設計了一份大雨預報參數檢查表：

1. CWB

CWB係採用「台灣地區（非氣旋性）大雷雨潛勢預報綜觀檢查表」（表1a）。該表乃利用本島夏季判斷雷雨發生之「台灣（台北）地區綜觀預報指標檢定表」之部分參數項目，並參考過去研究成果與實際預報經驗加以修正或加入新參數，組成15項預報參數檢查表，檢查整個綜觀環流形勢。其15項預報參數中均為實際資料，數值天氣預報（NWP）預測圖項目則未列入。

2. TFC

TFC本身未正式列出一套參數表格，而其預報主要根據下列資料或方法作成（Yu, 1988）：

- (1)現有（當時）之地面及高空天氣圖、衛星雲圖、探空觀測資料、地面天氣一覽圖、雷達等觀測資料。
- (2)各類合成圖。
- (3)日本（JMA）及歐洲中期天氣預報中心（ECMWF）之NWP產品。
- (4)經驗預報法（Rules of Thumb）。
- (5)觀念模式（Conceptual model for heavy rainfall over northern Taiwan）。
- (6)客觀方法。

因而在與俞家忠教授（TAMEX預報中心負責人）討論過後，由其作預報時根據之觀念模式，本研究自行整理歸納出其大雨之預報參數，如表2a中參數1至參數7。但考慮此七項參數之不足，故在其後參考王時鼎等（1986），曲克恭及任立渝（1985），柯文雄等（1986），另外加入參數8至10，而將此10項預報參數稱作TFC大雨預報參數檢查表。

3. EFG

EFG之大雨預報參數檢查表為中央氣象

局氣象科技研究中心王時鼎技正所設計（如表3a），共有25項檢查項目，區分為熱力條件（8項）、動力條件（17項）。

(二)各項參數的檢查說明

CWB、EFG雖各有其參數檢查表，但在TAMEX期間，並未徹底執行檢查的工作，而TFC的工作任務亦非對雨量作預測（而是以預報鋒面系統及中尺度對流系統（MCS）可能發生的區域為主），故三單位的大雨預報參數檢查工作，均需事後重新補做。此外因原參數檢查表中對部分參數的檢查標準及範圍定義並不明確，且為了求檢查標準的一致與統一，以便均能針對未來12~36小時的大雨預報校驗，故檢查範圍除特別說明外，仍以原CWB所定110°E以東，30°N以南的華南至台灣地區為準，各項預報參數均以採用00Z資料為主。

1. CWB

本文對CWB大雨預報參數的各項參數，詳細檢查方法見表1b。茲另外補充說明各項修正之依據如下：參數3及4所選之範圍均為參考謝信良（1985）所研究台灣附近鋒前不穩定區而訂定的。

參數8的低層暖平流乃根據曲克恭及任立渝（1985）的研究，北部豪雨前大陸東南沿海之溫度槽有逐漸向台灣接近之趨勢，且在豪雨發生前12小時之間有顯著暖平流。

參數10的短槽範圍係參考陳泰然及吳宗堯（1985）的700 mb短波槽的時空分布，給予向西3°的檢查緩衝區域。

參數11則為根據前項所定槽綫位置，檢查槽後之乾冷空氣。而參數13檢查範圍北界向北移3°原因亦如上述。參數14雷達回波強度定為在level 2以上（說明見EFG參數24）。參數15的MCS檢查位置，為參考陳泰然等（1986）對MCS合成分析的移向所定。並考慮對台灣東部的可能影響而加入在台灣東部海面出現且追蹤其移向為向西者亦可。

2. TFC

表 1a : CWB 大雨預報參數檢查表

編號	大雨預報參數
1	K. I. > 30
2	地面有異常變壓, 3小時 $ \Delta P \geq 4$ MB
3	850 MB 24小時之 $\Delta Z < -10$ GPM
4	850 MB 之 Td $> 12^{\circ}C$
5	850 MB 鋒面後有強勁北風垂直於鋒面
6	850 MB 風速 > 20 KT, 30 KT, 40 KT 或以上
7	700 MB 風速 > 30 KT, 40 KT, 50 KT 或以上
8	850 MB 至 500 MB 有暖平流 (850 MB 吹南~西南風且風向向上順轉)
9	850 MB 與 / 或 700 MB 有水平輻合 (方向或速度) 向東位移
10	700 MB 或 500 MB $110^{\circ}E$ 附近 $30^{\circ}N$ 以南有短波槽
11	700 MB 有乾冷空氣入侵
12	300 MB 有顯著降溫現象
13	位於 200 MB Jet streak 入區右側 (南側)
14	有較強之雷達回波出現在華南沿海或台灣海峽
15	$115^{\circ}E$ 以東華南沿海有 MCS 出現 (衛星雲圖)

表 1b : 本文對表 1a 中各參數的檢查方法

編號	檢查方法
1	以板橋 (46692)、馬公 (46734) 及東港 (46747) 任一站之 K index ≥ 30 即可
2	以中央氣象局各時天氣報告一覽圖上所屬 24 測站任一站 21 Z 或 00 Z 滿足 3 小時 $ \Delta P \geq 4$ mb 即可
3	850 mb 24 小時 $\Delta Z < -10$ gpm 之測站位置, 須在 $26^{\circ}N$ 以南、 $115^{\circ}E$ 以東至台灣的範圍內
4	在 $115^{\circ}E$ 以東, $30^{\circ}N$ 以南至台灣的範圍內, 至少有三個測站滿足 850 mb Td $> 12^{\circ}C$
5	850 mb 鋒後之偏北風速須 ≥ 20 kts
6	850 mb 低層噴流 (LLJ) 風速 ≥ 20 kts; 700 mb LLJ 風速 ≥ 30 kts。須有數站資料且能連成一封閉等風速綫者, 且須維持 24 小時以上。如僅單站滿足不予考慮。LLJ 如因高壓脊西伸 (在槽前尚有一段距離) 產生亦可
7	
8	檢查 $115^{\circ}E$ 以東, $30^{\circ}N$ 以南至台灣的範圍內有暖平流, 僅單站滿足時不予考慮
9	850 mb 或 700 mb 任一層有輻合現象均可
10	短槽範圍由 $107^{\circ}E$ 以東, $30^{\circ}N$ 以南起至華南沿海
11	檢查 $33^{\circ}N$, $107^{\circ}E$ 至台灣地區範圍內之槽後, 本文冷空氣檢查標準為 24 小時 $\Delta T \leq -2^{\circ}C$, 乾空氣檢查標準: $T - Td > 3^{\circ}C$
12	300 mb 降溫標準本文定為 $\Delta T \leq -2^{\circ}C / 24$ hr, 單站滿足即可
13	檢查 200 mb 噴流綫軸心在 $33^{\circ}N$ 以南, $115^{\circ} \sim 125^{\circ}E$ 之範圍內
14	level 2 以上雷達回波出現在台灣海峽或華南沿海 (高雄) 或台灣東部海面 (花蓮) 任一站即可, 以 00 Z 資料為主, 參考 21 Z ~ 03 Z
15	MCS 在 $115^{\circ}E$ 以東, $28^{\circ}N$ 以南, 以 00 Z 為主, 參考 21 Z ~ 03 Z 資料

表 2b 所示為 TFC 大雨預報參數的各項參數詳細檢查方法。茲另外補充說明各項修正之依據如下：參數 1 及參數 2 雖為預測參數，但因 NWP 圖上並無地面鋒及 850 mb 槽綫預測的確切位置，故此二項仍須加入人為主觀的判定。

參數 4 的 850 mb 暖舌若由等溫綫分布形式不易確定，故比較 24 小時溫差；若位於 115°E 以東僅單站滿足此條件則不予考慮，原因同 CWB 參數 8。

參數 5 的中尺度低壓分析採用中央氣象局科技中心分析資料，但缺 6 月份資料。

參數 6 850 mb 溼區 ($T - T_d < 3^\circ$)，此項通常均易滿足，故本文著重於檢查滿足

此條件的區域面積。

參數 10 分流及風速輻散二者作用通常互相抵消，不易同時存在，故本文僅作定性檢查 200 或 300 mb 有分流現象且風速無明顯的輻合即可。

3. EFG

表 3b 所示為 EFG 大雨預報參數各項詳細檢查方法。茲另外補充說明各項參數修正之依據如下：參數 1 的東西範圍參照參數 6 及 11，亦定為 115°E 以東至台灣地區。參數 3 的地面氣壓係採用原表根據過去氣候資料的統計平均而得。參數 24 雷達回波 level 2 約相當於 28~41 dB (一般降雨率)。

以上三單位共 50 項大雨預報參數，其中大部

表 2a：TFC 大雨預報參數檢查表

編號	大雨預報參數
1	地面鋒而在 28°N 以南，115°E 以東的台灣地區附近或在此範圍內伴隨有南海之熱帶性低壓
2	850 mb 槽綫 (28°N ~ 台灣附近，115°E ~ 125°E) 或風切綫
3	低層噴流 (LLJ ≥ 20 KTS for 850 mb)
4	850 mb 暖舌 (鋒前有增溫)
5	中尺度低壓移至台灣附近海面
6	850 mb $T - T_d < 3^\circ C$
7	大陸華南沿海附近 MCS
8	中對流層短波槽 (700 mb 槽綫或風切綫或 700 mb、500 mb 短波槽)
9	TTI ≥ 40
10	高層為輻散

表 2b：本文對表 2a 中各參數的檢查方法

編號	檢查方法
1	為預測參數項，以 00Z 資料加上人為主觀判斷，預測未來 12~36 小時地面鋒之變化
2	為預測參數項，同上，但為 850 mb
3	同 CWB 參數 6
4	比較當日與前日 (24 小時) 溫差，增溫在 2°C 以上，且須配合在鋒前
5	—
6	滿足此項條件之範圍，本文定為須占 110°E 以東，30°N 以南之華南地區的面積一半以上
7	同 CWB 參數 15
8	700 mb 有槽綫、風切綫、短槽或 500 mb 短波槽有其一即可，短槽範圍同 CWB 參數 10
9	板橋、馬公、東港探空資料任一站滿足即可
10	定性檢查 200 或 300 mb 圖上氣流有分流 (diffluence) 現象且風速無明顯的輻合即可

表 3a : EFG大雨預報參數檢查表(Th表熱力條件,其他為動力條件)
(本表為王時鼎先生所設計,將刊登於中央氣象局科技研究中心
出版之「台灣梅雨期豪大雨預報指引」中)

編 號		大 雨 預 報 參 數
地 面 圖	1	鋒區: $27^{\circ}\text{N} \sim 20^{\circ}\text{N}$ 或 T.D.: 18°N 以北
	2	* 彭佳嶼風速 $\geq 20\text{KTS}$, 蘭嶼風速 $\geq 25\text{KTS}$
	3	* 預測台北地面氣壓: 5月: $\leq 1008.8\text{mb}$, 6月: $\leq 1008.9\text{mb}$
	4	* 有雷雨發生
	5	Td: $\geq 22^{\circ}\text{C}$ (Th)
850 MB	6	東西向槽線: 27°N 以南 南北向槽線: 115°E 以東
	7	* 實驗範圍內高度值: 5月: $\leq 1495.3\text{gpm}$, 6月: $\leq 1477.1\text{gpm}$
	8	* 低層噴流: $\geq 25\text{KTS}$
	9	Td: $\geq 14^{\circ}\text{C}$ (Th)
700 MB	10	暖平流: $\geq 2^{\circ}\text{C}/\text{day}$ (Th)
	11	東西向槽線: 30°N 以南 南北向槽線: 115°E 以東
	12	* 高度值 $\leq 3120\text{gpm}$
	13	* 低層噴流: $\geq 25\text{KTS}$
	14	Td: $\geq 6^{\circ}\text{C}$ (Th)
500 MB	15	暖平流: $\geq 2^{\circ}\text{C}/\text{day}$ (Th)
	16	深槽: 115°E 以東
	17	台北高度值: 5月: $\leq 5859\text{gpm}$, 6月: $\leq 5849\text{gpm}$
200 MB 及 300 MB	18	* 冷舌存在 (Th)
	19	附近有分流
	20	風速輻散
21	K index	: ≥ 30 (Th)
22	Total index	: ≥ 35 (Th)
23	MCS	在 117°E 以東
24	雷達回波強度 level 2 以上之面積	$\geq 2,000\text{km}^2$
25	中尺度低壓發生	

分條件重複或近似: 包括k index項(CWB 1及EFG 21)、MCS項(CWB 15、TFC 7及EFG 23)、850 mb Td(CWB 4及EFG 9)、850 mb LLJ(CWB 6及TFC 3)、地面鋒位置(TFC 1及EFG 1)、850 mb 槽線位置(TFC 2及EFG 6)、850 mb 暖平流項(TFC 4及EFG 10)、中尺度低壓項(TFC 5及EFG 25)等。

(二)應用之資料圖表

所有預報參數之檢查工作,所應用到的圖表資料包括:中央氣象局每日斜溫圖、各時天氣報

告一覽圖、亞洲地面天氣圖、850 mb、700 mb、500 mb、300 mb、200 mb 高空天氣圖、中央氣象局可見光及紅外線低解像衛星雲圖及色調強化處理後之衛星雲圖、TAMEX 期間高雄、花蓮雷達站降水回波圖,此外中尺度低壓項使用之資料為氣象局科技中心於TAMEX 過後所作之分析,惟缺六月份之分析資料。彭佳嶼、蘭嶼風速為根據中央氣象局之月報表風速資料。

(四)校驗方法

首先找出實際大雨日。根據中央氣象局突變

表 3b：本文對表 3a 中各參數的檢查方法

編號	檢查方法
1	為預測參數，以 00Z 資料加上主觀判斷預報未來 12~36 小時地面鋒位置，東西範圍本文定為 115° E 以東至台灣地區
2	彭佳嶼或蘭嶼風速滿足即可，檢查 00Z 或 01Z 資料
3	亦為預測參數，根據實際 00Z 之天氣型態預測 12~36 小時之變化
4	以 00Z 亞洲地面天氣圖資料為主，參考 21Z ~ 03Z 之一覽圖測站報告，範圍：115° E 以東，30° N 以南至台灣
5	同 CWB 參數 4，但為地面 Td
6	為預測參數。根據實際資料，加上主觀判斷 850 mb 槽綫位置
7	為預測參數，同上，判斷 850 mb 台北之高度值
8	850 mb LLJ 風速 ≥ 25 kts，其他同 CWB 參數 6
9	檢查範圍及標準同 CWB 參數 4
10	同 TFC 參數 4
11	為預測參數，以實際資料加上主觀判斷 700 mb 槽綫位置
12	為預測參數，以實際資料加上主觀判斷 700 mb 台北高度值
13	同參數 8，但為 700 mb LLJ
14	同參數 9，但為 700 mb Td
15	同 TFC 參數 4，但為 700 mb
16	為預測參數，以實際資料加上主觀判斷 500 mb 槽綫位置
17	為預測參數，以實際資料加上主觀判斷 500 mb 台北高度值
18	任一測站降溫達 2°C / 24 hr 即可
19	台灣地區和其上游之間氣流綫分析有分流現象
20	台灣及其上游附近有風速的輻散
21	同 CWB 參數 1
22	同 TFC 參數 9
23	同 CWB 參數 15
24	花蓮或高雄 Cv 雷達回波強度在 level 2 (以上) 面積須達 2000 (km) ² (略小於 (1/2 latitude) ²)
25	同 TFC 參數 5

天氣作業程序中大雨之定義：每小時雨量超過 15 公厘之連續性大雨，日雨量超過 50 公厘，可能導致災害者；然因配合參數檢查標準均為針對未來 12~36 小時內的大雨預測，故校驗大雨發生之時間亦為同一時段：即以每日 00Z 之資料（預報參數）預測當日 13Z 至次日 12Z（24 小時）之大雨，表 4 為根據此 24 小時內任一測站滿足上述大雨定義所統計之實際大雨日與各單位預報大雨日之比較。

本文須決定 CWB、TFC 及 EFG 各組的預報大雨日。對於 CWB 的預報大雨日，我們根

據每日 16 時 30 分發布的台灣地區天氣概況中提及次日有大雨發生者（不限地區），或根據其在五~六月所發布之大（豪）雨特報。對於 TFC 的預報大雨日，我們根據 TFC 預測圖預測在台灣附近有 MCS 發生，另外再參考 TAMEX 科學計畫組（Scientific Planning Group，簡稱 SPG）之主席報告單（Chairman Report）（每日 SPG 開會結論，為各項綜合之意見）來決定其預報大雨日，扣除午後陣雨之預報，共計 30 天。至於 EFG 在 TAMEX 期間亦未提供雨量之預報，故以其 25 項預報參數的檢查結

表 4：1987 年 5 ~ 6 月各單位預報大雨日及實際大雨日。

		五 月																																			
		5						10						15						20						25						30					
CWB 預報大雨日				√		√								√	√	√	√			√	√	√	√									√	√				
TFC 預報大雨日		√	√	√	√	√	√							√	√					√	√	√	√	√	√								√				
EFG 預報大雨日		√	√											√	√						√	√	√														
實 際 大雨日		√	√																		√	√	√	√								√					

		六 月																																			
		5						10						15						20						25						30					
CWB 預報大雨日		√				√	√	√												√	√	√											√				
TFC 預報大雨日		√	√			√	√	√	√	√											√	√	√	√									√	√	√		
EFG 預報大雨日		√				√	√	√	√											√	√		√											√			
實 際 大雨日		√	√			√	√													√	√		√									√	√	√			

果，主觀的以參數滿足超過半數即視為預報大雨日。

本文校驗方法為採用 2 × 2 的矩陣列聯表 (如表 5)，先統計五、六月份中 CWB、TFC 及 EFG 三組預報參數與實際大雨日，及與預報大雨日之關係，再依下列三類換成矩陣表示法：

- (1) 每項參數與實際大雨之關係。
- (2) 預報參數滿足項數超過一半與實際大雨之關係。
- (3) 預報參數滿足項數超過一半與預報大雨之關係。

每一矩陣均計算其技術得分 (Heidke Skill Score，簡稱 HSS)，作為對該項預報參數評估比較之重要依據：

$$HSS = \frac{F - E}{T - E}$$

$F = A + D$: 正確預測次數

$T = A + B + C + D$: 總校驗次數

$$E = \frac{MX + NY}{T}$$

: 由機率預測所預期的
正確預測次數

根據此定義， $-1 \leq HSS \leq 1$

此外對 CWB、TFC 及 EFG 各組大雨預報參數表所作之大雨預測，校驗方法為採用 TS (Threat Score)：

$$TS = \frac{C}{F + O - C}$$

$C = A$: 正確預報到的次數

$F = A + C$: 預報的次數

$O = A + B$: 觀測次數

根據此定義， $0 \leq TS \leq 1$

三、校驗結果

(一) 1987 年五、六月實際天氣概述

表 5：2 × 2 矩陣列聯表。

觀 測 \ 預 報	預 報		總計
	有	無	
有	A	B	X
無	C	D	Y
總 計	M	N	T

1987年五、六月台灣地區梅雨期，各地雨量幾乎均較氣候平均為少，梅雨期並不顯著。

根據前述對實際大雨之定義，我們統計中央氣象局所屬地面31個（包括雨量站）測站，在TAMEX期間之大雨時間及雨量。五、六月間共十次鋒面系統影響台灣地區，造成共計22個大雨日。發生大雨測站最多之大雨個案為5月16日（入梅）、6月7日、16日及24日。而十次鋒面

系統中，第二、第三次在鋒面影響台灣時並無大雨發生。

(C) CWB、TFC、EFG 各組預報大雨日之預報參數

各組大雨預報參數檢查表對1987年5~6月實際天氣型態檢查完成後，分析預報參數與各組預報大雨日之關係（表略）及改寫成矩陣形式之結果（表6）。我們可以發現除EFG（為本

表6：參數過半與預報大雨之關係。
（括號內為占各列百分比數）

CWB				
預報大雨	參數	過半		總計
		有	無	
有		17 (65)	3 (9)	20
無		9 (35)	32 (91)	41
總計		26	35	61

HSS : 0.59

TFC

預報大雨	參數	過半		總計
		有	無	
有		27 (63)	3 (17)	30
無		16 (37)	15 (83)	31
總計		43	18	61

HSS : 0.39

EFG

預報大雨	參數	過半		總計
		有	無	
有		24 (100)	0	24
無		0	37 (100)	37
總計		24	37	61

HSS : 1

表7：參數過半與實際大雨之關係。
（括號內為占各列百分比數）

CWB				
實際大雨	參數	過半		總計
		有	無	
有		11 (42)	11 (31)	22
無		15 (58)	24 (69)	39
總計		26	35	61

HSS : 0.10 TS : 0.30

TFC

實際大雨	參數	過半		總計
		有	無	
有		18 (42)	4 (22)	22
無		25 (58)	14 (78)	39
總計		43	18	61

HSS : 0.15 TS : 0.38

EFG

實際大雨	參數	過半		總計
		有	無	
有		11 (46)	11 (30)	22
無		13 (54)	26 (70)	39
總計		24	37	61

HSS : 0.17 TS : 0.31

文主觀決定參數滿足超過半數時視為預報大雨)外, CWB及TFC在預報大雨日(分別為20次及30次)各有3次(日)滿足之參數未超過一半(指CWB當日滿足之參數項 $\geq \frac{8}{15}$ 或 $\frac{8}{14}$, TFC $\geq \frac{6}{10}$ 或 $\frac{5}{9}$;雷達回波及中尺度低壓如缺資料時則該單位預報參數項總數減一。)顯見其在決定預報大雨發生時,有時並未參考所有之預報參數,而只根據某些特別重要之預報參數。然而其HSS值均甚高:CWB為0.59, TFC為0.39, EFG=1(原因如前述),由此可見CWB及TFC預報大雨日與參數滿足過半仍有相當不錯的一致性。

(三)CWB、TFC、EFG三組預報參數滿足項數超過一半與實際大雨之關係

在此節,我們再分析參數滿足超過一半與實際大雨之關係(如表7),結果發現三組參數在實際大雨發生時,預報參數滿足超過一半的日數各占50%、82%、50%;而當參數滿足過半時,卻僅有略小於50%的機會有大雨的發生。此表示各組預報參數檢查表內的參數仍須精簡修正。計算此項HSS:CWB為0.10, TFC為0.15, EFG為0.17,三組參數得分均不高。

由預報參數與大雨日之統計,我們可找出一些大雨日的必要條件,如CWB的850 mb 24小時高度下降10 gpm以上(占 $\frac{12}{22}$),TFC的850 mb 溼舌($\frac{20}{22}$)、Total index ≥ 40 ($\frac{21}{22}$),EFG如台北氣壓值($\frac{14}{22}$)、850 mb Td($\frac{19}{22}$)、K index ≥ 30 (在大雨日全部滿足)等。然而這些參數滿足時是否亦會有

大雨之發生,則須對每項預報參數作進一步的分析。

(四)CWB、TFC、EFG各項預報參數與實際大雨之關係

若將CWB、TFC及EFG三組預報參數共50項中,刪除重複者(包括CWB 1、4、6、15;TFC 1、2、7;及EFG 10、19、20、25)共11項,則只有39項預報參數。本文曾將此39項以矩陣方式表示各預報參數滿足與實際大雨發生之關係(表略),以及此預報參數的技術得分(HSS)。由對各參數的統計及參考HSS結果,可將預報參數歸納成三類:(參看表1a~表3a)

1. $HSS \leq 0$:表示此預報參數預報實際大雨的能力較由隨機取樣(根據機率)預測大雨為差。此種參數共有17項,包括CWB參數7、8、9、10、12, TFC的3、4、9, EFG的4、8、9、11、13、16、18、21、22。其中K index、Total index參數檢查結果因在1987年5、6月幾乎全部滿足,其他參數如850 mb 暖平流、850 mb Td等,因矩陣A項或D項(表5)之次數太少,而使其降低技術得分。
2. $0 < HSS \leq 0.2$:此種預報參數的預報技術仍偏低。共計17項,包括:CWB參數2、5、13、14, TFC的5、6、8、10及EFG參數1、2、5、7、12、14、15、17、24。
3. $0.2 < HSS$:此種參數有較高的大雨預報能力,共計5項:CWB 3、11, EFG 3、6

表8:6項修正之大雨預報參數

編號	大雨預報參數修正部份之說明
1	K index ≥ 37
2	Total index ≥ 44
3	850 mb LLJ (≥ 20 kts), 滿足之範圍須在 $21^\circ \sim 26^\circ N$, $115^\circ \sim 120^\circ E$
4	700 mb LLJ (≥ 25 kts), 範圍同上
5	地面 $ \Delta P \geq 3$ mb / 3 hr
6	850 mb T - Td $\leq 2^\circ C$

表 9：本文校驗結果所選取之最佳 7 項大雨預報參數

編號	大雨預報參數
1	117° E 以東有 MCS
2	700 mb 槽後乾冷空氣
3	預測之(台北)地面氣壓 ≤ 1008.8 mb (五月) ; ≤ 1008.9 mb (六月)
4	115° E 以東, 26° N 以南至台灣之範圍內, 任一測站滿足 850 mb 24小時 $\Delta Z < -10 \text{ gpm}$
5	預測之 850 mb 槽綫在 27° N 以南, 或 115° E 以東
6	(115° E 以東, 30° N 以南) 地面 Td ≥ 22° C
7	(台灣地區) 地面氣壓 3 小時 $\Delta P \geq 3 \text{ mb}$

、23。它們的 HSS 數值分別為 0.24, 0.29, 0.27, 0.21, 0.29。

由於有些 HSS 得分較低之參數, 仍有可能或應為重要預報因子, 如 K index、Total index、 $|\Delta P|_{stc}$ 項、LLJ (850、700 mb) 及 850 mb T-Td 項等, 此種參數的檢查結果或在大雨日全部滿足; 或雖滿足之次數甚少而卻與大雨日一致; 或滿足之次數太多, 因此認為有修正再次檢查之必要。此外, 中尺度低壓及雷達回波有資料之個案太少, 其 HSS 得分不足採信, 故先予保留, 待最後討論。

6 項給予修正及檢查之預報參數修正之說明見表 8。各項檢查的結果以矩陣方式表示並計算 HSS (表略)。HSS 值除 $|\Delta P|_{stc}$ 項為 0.17 較高外, 其餘五項得分仍甚小或為負值, 經對 K index 及 Total index 之檢查標準再作修正檢查, 結果 K index 經由 35 調整至 38,

表 10：6 項參數過半與實際大雨之關係。

(括號內為占各列百分比數)

實際 大雨 參數	過 半		總計
	過	未 過 半	
有	13 (59)	9 (23)	22
無	9 (41)	30 (77)	39
總 計	22	39	61

HSS : 0.36 TS : 0.42 χ^2 : 8.01

HSS 仍都在 0.1 以下, Total index 之 HSS 亦低。

(五) 本文建議之預報方法

為了更深入地分析各矩陣之 HSS 所代表之意義及瞭解、比較各項預報參數的實際預報能力與機率(隨機)預測之優劣, 因此在計算 HSS 之後, 又計算了 39 項及修正後之 6 項預報參數各矩陣的 chi-square :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^4 \frac{(O_i - H_i)^2}{H_i}$$

O_i 為各矩陣的每一行(或列)元素之數值(次數)

H_i 為無預報技術(即參數滿足與實際大雨無關)之矩陣各元素所應發生的次數

H_i 的計算方式為各元素所對應的行及列次數相乘除以總校驗次數

表 11：7 項參數過半與實際大雨之關係。

(括號內為占各列百分比數)

實際 大雨 參數	過 半		總計
	過	未 過 半	
有	14 (58)	8 (22)	22
無	10 (42)	29 (78)	39
總 計	24	37	61

HSS : 0.38 TS : 0.44 χ^2 : 8.37

因為 2×2 矩陣，故查對自由度為 1 的 $\chi^2_{0.10}$ 為 2.71。綜合判斷 39 項參數（矩陣）的 HSS 及 χ^2 score，我們共選取了 HSS 得分最高且 $\chi^2 \geq 2.71$ 有預報能力的 6 項大雨預報參數，按其 HSS 及 χ^2 得分之高低依次排列，如表 9 中 1 ~ 6 項。

經計算此 6 項參數滿足超過半數與實際大雨之關係，如表 10，可得到 HSS = 0.36，TS = 0.42， $\chi^2 = 8.01$ ，然考慮修正後第 5 項 $|\Delta P|_{afc} \geq 3 \text{ mb} / 3 \text{ hr}$ （其 HSS = 0.17， $\chi^2 = 2.58$ ）與取捨標準相差無幾，而試將此項列入（表 9 第 7 項），再統計此 7 項參數滿足超過半數與實際大雨之關係，如表 11：HSS = 0.38，TS = 0.44， $\chi^2 = 8.37$ ，有比表 10 更好的預報能力。因此，建議選擇此 7 項大雨預報參數，可獲得與實際大雨發生更高的相關。

四、討論與建議

本文針對 TAMEX 期間 CWB、TFC 及 EFG 三組共 50 項大雨預報參數，經篩檢過濾，刪除參數相似或重複項後，採用所餘 39 項，重新訂定各項檢查方式及範圍，每日逐項檢查（對 1987 年 5、6 月實際天氣資料），而後對未來 12 ~ 36 小時的大雨發生加以校驗；計算技術得分（HSS）及 χ^2 ，以評估各項參數的大雨預報能力，初步整理校驗的結果，獲得 7 項較有意義的大雨預報參數（見表 9），此 7 項大雨預報參數與豪雨發生之關係和過去研究結果大致一致：衛星雲圖上之 MCS（表 9 第 1 項）提供大雨發生之良好指引；850 mb 及 700 mb 槽綫代表二不同性質氣團在低對流層之交界面，槽前必為西南較暖溼空氣，槽後為較乾冷氣流（第 2 及第 5 項），故此項參數即可包括 LLJ 之存在；3 及 4 項代表地面低壓及 850 mb 的強烈降壓；2、6 兩項為此 7 項預報參數中之熱力項，即地面須有足夠之水汽且中對流層以上為乾冷空氣造成大氣之對流不穩定環境，2 ~ 7 項預報參數均在提供有利的中尺度對流系統（MCS）的

發展條件，而 MCS 的消長及位置正是決定豪雨發生所在的主要因素。惟第 7 項修正之檢查結果大都為在大雨前有地面升壓，此似乎可顯示因鋒面過境時高壓遮補而產生之不穩定亦會導致大雨，然此項條件可能僅為在梅雨季時適用。

未列入之 32 項參數中，LLJ 原是過去被視為引發豪雨的重要因子，這可能與預報參數中 LLJ 的定義標準及檢查方法有關，仍待進一步研究澄清，此外大部分的熱力項參數或許由於在梅雨期間幾乎均能滿足，而顯示並非重要的大雨預報參數。而中尺度低壓及雷達回波兩項參數因限於資料不足，無法得到真正的技術得分，但由已有的少數個案資料顯示可能亦為很好的大雨預報指引。

由本文中初步得到的結果因僅針對 1987 年校驗未必完全具有代表性，未來預報參數的增減、合併或修正，仍有待更多年份的校驗，如：參數檢查表中之預測參數，可考慮應用 NWP 預測圖資料，取代人為主觀的判斷；及 LLJ 檢查範圍之再確定等，以期獲得最佳而客觀的大雨預報方法。

誌謝

我們對本文兩位審查人的耐心詳細指正，表示誠心的感謝，另外對台大俞家忠教授、吳清吉教授、陳泰然教授及中央氣象局林民生博士、王時鼎先生及謝信良主任在本文進行中所給予的寶貴意見及資料深深致謝。

本文是在國科會研究計畫編號 NSC 78 - 0202 - M002 - 01 補助下完成的。

參考文獻

- 王崇岳，1978：梅雨期台灣地區中範圍天氣之分析與預報。*大氣科學*，5，1，15 ~ 24。
- 王時鼎、鄭俠、徐晉淮、丘台光，1986：五、六月間台灣地區暴雨之環境條件。中央氣象局氣象科技研究中心技術報告彙編，1，1，53 ~ 70。

- 曲克恭，1981：台灣梅雨之可預測度，異常氣候研討會論文彙編，中央氣象局，155～170。
- 曲克恭、任立渝，1985：梅雨季發生大雨之綜觀預報法。國科會防災科技研究報告74～01號，55頁。
- 紀水上，1977：台灣梅雨客觀預報法。氣象系刊第五期，中國文化學院氣象學會，55～65。
- 柯文雄、林和、沈鴻禧，1986：低層噴流之數值模擬。第四屆全國大氣科學學術研討會，61～75。
- 徐明同、紀水上，1974：台灣梅雨之分析。氣象學報，20，4，25～44。
- 陳正改，1979：梅雨鋒面所伴隨之低層噴射氣流和台灣地區豪雨之關係。大氣科學，6，1，29～37。
- 陳正改、蔡清彥，1980：影響台灣北部地區之梅雨系統。大氣科學，7，49～58。
- 陳泰然、紀水上，1978：台灣梅雨鋒面之中幅度結構。大氣科學，5，1，35～47。
- 陳泰然、吳宗堯，1985：「劇烈區域性豪雨觀測與分析實驗計畫」之先驅研究。國科會防災科技研究報告，74～25號，108頁。
- 陳泰然、吳情雯、紀水上，1986：梅雨期東亞及西太平洋中尺度對流系統之氣候特徵。大氣科學，13，33～45。
- 劉復誠，1987：現行豪雨預報技術之評估與改進研究。中央氣象局研究報告第154號，70頁。
- 鄭寶鳳，1986：台灣梅雨期低層噴流的結構分析及其與豪雨發生的關係。國立台灣大學大氣科學研究所碩士論文，81頁。
- 謝信良，1985：伴隨鋒面劇烈天氣現象之研究。中央氣象局研究報告第126號，77頁。
- Panofsky, H. A., and G. W. Brier, 1976: *Some Applications of Statistics to Meteorology*. 224pp.
- Yu, C. C., 1988: TAMEX forecast assessment. A Joint NSF-NSC Workshop on TAMEX, Boulder, Colorado, Feb. 9-11, 1988.

EVALUATIONS OF HEAVY RAINFALL PREDICTIONS DURING TAMEX

*Ching-Yen Tsay*Department of Atmospheric Sciences
National Taiwan University*Shiou-Huey Sheng*Forecast Center
Central Weather Bureau

(manuscript received October 20 1988; in final form February 10 1989)

ABSTRACT

In May and June (Mei-Yu season) of 1987, Taiwan Area Mesoscale Experiment (TAMEX) has been successfully carried out through a US-ROC cooperative research project. During that period, there were three independent forecast groups, including the Forecast Center of the Central Weather Bureau (CWB), TAMEX Forecast Center (TFC), and TAMEX Experimental Forecast Group (EFG). In this study, we first examined the criteria of their forecast parameters and re-defined them if necessary. Each parameter was then re-calculated and evaluated against precipitation every day in TAMEX period. Seven statistically significant predictors were selected for the prediction of heavy rainfall in Taiwan.

Key words: Mei-Yu front, heavy rainfall prediction parameter, Heidke skill score, low level jet, Meso low, Meso-scale convective system, Chi-square score.