

# 石門水庫集水區颱風降水之模擬

喬鳳倫 謝信良 陳正改

中央氣象局

## 摘要

本文以水汽保守定律及福克氏 ( Fuks ) 降雨強度公式，分別為颱風附近因輻合作用及地形舉升作用而發生降水之基本理論，再配合侵台颱風路徑與石門水庫集水區之地形，嘗試發展一簡單模式，用以模擬計算該集水區之降水強度及型態。本研究採用八個颱風作為模擬對象，其結果顯示降水強度及降水型態雖均有相當誤差，惟此模式，仍不失為該集水區颱風降水預測方法之一。

## 一、前言

台灣地區因河流短促，且坡度甚大，無法儲水，易患洪災或乾旱，水資源的運用主要是靠蓄水庫的調節，在豐水期儲蓄水量，以應枯水期的需要。水庫蓄水量的妥善調節，對水庫的經濟效益影響至鉅，尤當豪雨前後，適時洩洪，可保障水庫及下游民衆的安全，所以降雨量的預測成為各水庫操作的重要參考資料，而逐時雨量預測更為豪雨時水庫調節水位所必需要件之一。台灣地區對降水預報之研究，已有報告多篇（如陳，1978；吳、陳，1977；郭等，1980），但對逐時降水預報之模式，除對曾文水庫之研究（吳、謝、喬、陳，1981）外，尚未普遍推展。

中央氣象局為配合台灣各地水利的開發，擬逐年逐次建立台灣各重要河川（水庫集水區）的逐時定量降雨預報模式，期能對某一特定流域或某一集水區的逐時降雨作出正確的預估，提供水利單位參考運用。

本文以大漢河流域的石門水庫集水區作為研究的對象，因為此水庫位於淡水河最主要的支流——大漢溪的中游，為我國政府興建的第一個多目標水資源工程，其功用直接影響淡水河流域的開發及首善之區台北盆地的利益。

降水量的預測，由於理論的複雜，資料的缺乏，結果均欠理想。本文試以簡單模式，模擬該水庫

集水區颱風降水之強度及時間分布型態，倘誤差尚在容許範圍之內，則可用為預測颱風降水方法之一。

## 二、颱風降雨模式

一般而言，颱風降雨係由兩種降雨相加而成，一為環流雨，另一為地形雨。環流雨係因颱風四周低層高溫高濕空氣向颱風中心輻合上升，以致所含水汽冷卻凝結成雨下降而成，地形雨則係進行中之颱風環流受山脈阻擋被迫抬升而降雨。彭立等（1967）、王時鼎等（1977）曾分別研究颱風環流雨及地形雨之計算方法，求得達見水庫及翡翠谷集水區之「最大」可降水量，供水庫設計規劃之參考。吳宗堯等（1981）曾應用半經驗方法之颱風降水預測模式，考慮颱風環流之輻合作用及地形抬升兩種效應，模擬計算颱風以各種不同路徑侵襲曾文集水區時之逐時雨量，結果顯示以西進颱風類之降水型態與實際情況最為接近，且具有可預測性，本文應用同一方法模擬計算颱風侵襲石門集水區時之逐時降雨量。

### (1) 環流雨之計算

設颱風之結構為對稱之環流，如圖 1，且令  $P_0$  為距颱風中心  $r_1$  及  $r_2$  ( $r_1 \neq r_2$ ) 兩同心圓間之單位面積、單位時間之降水量。由水汽保守定律 ( the law of conservation of moisture ) 得：

$$P_0 \pi (r_2^2 - r_1^2) = 2\pi (r_2 v_2 - r_1 v_1) M$$

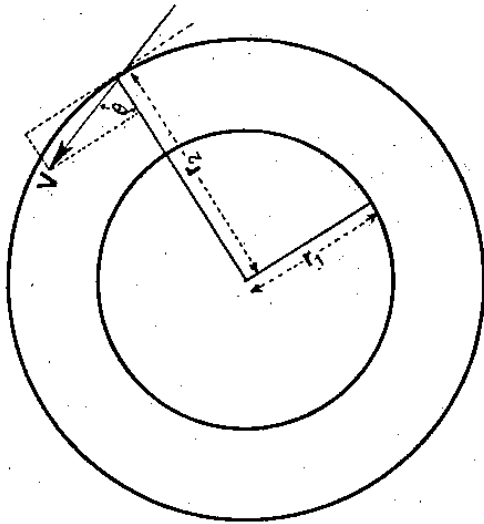


圖1 颱風模式圖

$$P_c = \frac{2M(r_2 v_2 - r_1 v_1)}{r_2^2 - r_1^2} \dots\dots\dots(1)$$

$$M = -\frac{1}{g} \int_{P_0}^{P_1} q dp \text{ (可降水量)} \dots\dots\dots(2)$$

- $P_c$ : 單位面積單位時間之環流雨。
- $q$ : 混合比 (或比濕)。
- $p$ : 氣壓,  $P_1$  ( $P_0$ ) 颱風頂 (底) 部之氣壓
- $g$ : 重力加速度。
- $v$ : 徑向風速。

[ 徑向風速即表示吹向颱風中心之風速,  $v_1$ 、 $v_2$  分別為在  $r_1$ 、 $r_2$  處吹向颱風中心之分風速; 至於徑向風速 ( $v$ ) 與實際風速 ( $V$ ) 之關係為  $v = V \cos \theta$ ,  $\theta$  為觀測點至颱風中心連線與實際風向間之夾角, 在實際計算中, 通常假設  $\theta = 70^\circ$  即  $v = V \cos 70^\circ = V \sin 20^\circ$  ( Gray 等, 1978 ) ]。

如已知颱風眼之半徑及其中心附近最大風速, 則集水區與颱風中心之距離及其切線風速 ( $v_\theta$ ,  $v_\theta = V \cos 20^\circ$ ) 之關係, 可由  $v_\theta r^a = \text{const}$  關係式求得,  $a$  為一經驗值, Riehl ( 1963, 1969 ), Gray 等 ( 1978 ) 分別由理論與觀測得其值為 0.5, 經以影響台灣且較重要之颱風予以驗證, 以  $a = 0.6$  較適合台灣地區, 吳等 ( 1981 ) 即用

$$v_\theta r^{0.6} = \text{const}$$

(2) 地形雨 ( $P_0$ ) 之推估

將大氣對流層分為數層次, 且令每一層次空氣之降雨強度為  $P_i$ , 則根據 Fulks ( 1935 ) 之降

雨強度公式:

$$P_0 = \sum P_i \dots\dots\dots(3)$$

$$\begin{aligned} \text{而 } P_i &= -\rho \frac{dq}{dt} \Delta z \\ &= -\frac{P}{RT} \cdot \frac{dq}{dz} \cdot v_z \cdot \Delta z \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

- $\rho$ : 乾空氣密度。
- $R$ : 乾空氣氣體常數 (  $2.87 \times 10^8 \text{ cm}^2 \cdot \text{sec}^{-2} \cdot \text{deg}^{-1}$  )。
- $q$ : 比濕 (或混合比) (  $\text{g/kg}$  )。
- $e$ : 水汽壓。
- $v_z$ : 垂直風速 (  $v_z = V \cdot \nabla z$ ,  $V$  為實際向量風,  $\nabla z$  為有效地形坡度 )
- $\Delta z$ : 氣柱之厚度。
- $P_i$ : 每一層次單位時間之降水量。

(3) 計算方法及步驟

本節依據颱風降雨理論之模式, 對颱風逐時降水量之計算方法及步驟予以說明如下:

- ① 參照關島颱風聯合警報中心 ( JTWC ) 之颱風中心位置報告, 並依據中央氣象局及琉球所屬氣象雷達站颱風逐時定位報告, 確定颱風中心之逐時位置, 求得颱風的最佳路徑圖 ( Best Track )。
- ② 分析石門水庫集水區實際降水資料, 確定集水區因受颱風之影響而開始下雨之時刻, 於最佳路徑圖上定此時刻為 0 點, 由此向後順延, 定其降水時序為 1, 2, 3, …………… 一直到颱風對石門水庫集水區無影響為止, 並量取集水區與各時序颱風中心位置的距離。
- ③ 由 JTWC 之颱風報告資料, 得到颱風之近中心最大風速 ( $V_{max}$ ) 及颱風眼之半徑 ( $r$ ), 然後由  $v_\theta r^{0.6} = C$ , 求得常數  $C$  之數值。
- ④ 由  $v_\theta r^{0.6} = C$  之關係式求得集水區受颱風影響時, 各時序的風速 ( $V$ )。
- ⑤ 由於石門水庫集水區未有完整的地面觀測風之報告, 且本集水區之地形相當複雜, 以致當其受颱風影響時, 集水區之風向甚難決定, 為了便於未來能直接應用於預報作業上, 而設計一風盤 (圖 2), 利用此風盤可由颱風中心與石門集水區之相對位置決定集水區因受颱風環流之影響而各時序應有之

理想風向。

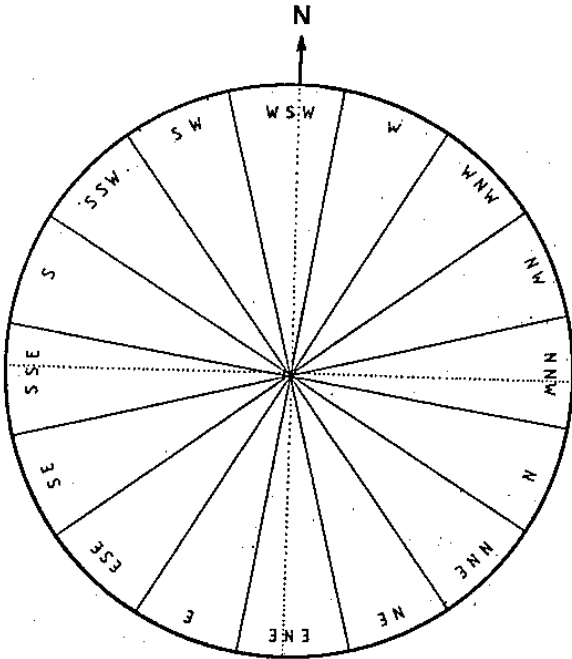


圖 2 理想風盤

⑥依據颱風侵襲台灣地區時，桃園或台北之探空資料，應用公式(2) $M = -\frac{1}{g} \int_{P_0}^{P_1} q \Delta p$  求取集水區

1000 - 900 mb 及 900 - 800 mb 二層之可降水量 (M)。王時鼎等 (1977) 計算環流雨時只考慮 1000-900 mb 之近地氣層。Gray (1978) 由實際觀測資料分析颱風之垂直結構，發現颱風之徑向分風速由地面隨高度減小，至 700 mb 高度時接近零，最大值則出現在 950 mb 處，由此可見颱風之水平向輻合氣流發生在 700 mb 以下之對流層中，並非僅限於地面 1000 mb 至 900 mb 之間，根據颱風侵台期間之桃園、台北等探空資料顯示，地面至 800 mb 之空氣柱中水汽含量相當高，接近飽和，因此本文計算颱風環流雨時分別取 1000-900 mb，900-800 mb 兩層，然後將所得值相加為環流雨。為方便起見，假設徑向風速隨高度呈線性遞

減，1000 至 900 mb 之平均風速以地面風代之，900 至 800 mb 平均風速則以 850 mb 風速代之，且  $v_{850 \text{ mb}} = 0.52 v_{1000 \text{ mb}}$ 。

⑦由颱風降雨模式理論的地形雨計算部份得知，垂直速度是影響地形雨之主要因子；而垂直速度 ( $v_z$ ) 乃受集水區地形之有效坡度 ( $\nabla z$ ) 及風速 ( $V$ ) 所左右；而地形對降水之影響程度直接取決於當地地形之走向與風之來向的關係。表 1 為石門水庫集水區之風向及其地形有效坡度之關係表，圖 3 為其各方向之地形有效坡度的分佈圖，由此分佈圖，可發現來自西北方之風向與石門的地形具有最大之關係，由此向右及向左逐漸遞減，而風向東北東至西南西之風幾乎完全無作用，此可由石門的地形得知，因為此方向均是崇山峻嶺，來自此方向的氣流均無法進入石門集水區內而被抬升。由  $v_z = V \cdot \nabla z$  可求取颱風侵襲台灣地區時，集水區各時序之垂直風速 ( $v_z$ )。

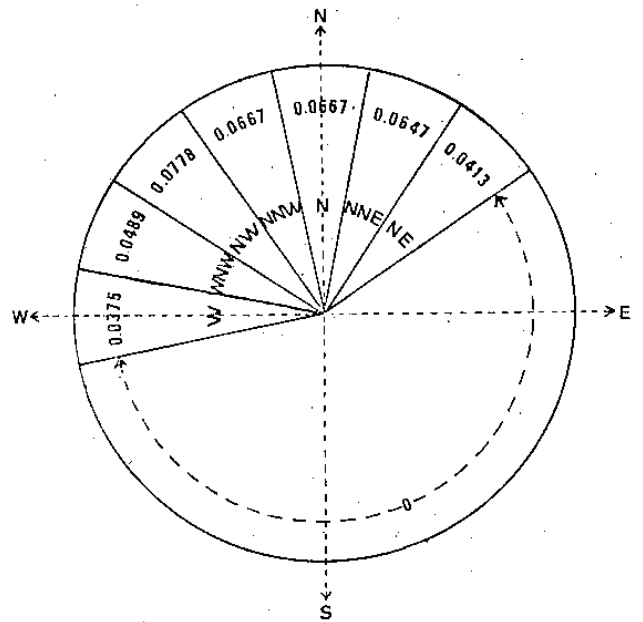


圖 3 石門水庫集水區地形有效坡度之分佈圖

⑧應用  $P_0 = \sum P_i \dots \dots \dots (3)$

表 1 石門水庫集水區之風向及其地形有效坡度之關係表

風 向	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE ~ WSW	
地形之有效坡度	0.0375	0.0489	0.0778	0.0667	0.0667	0.0647	0.0413	~ 0	~ 0

$$P_r = - \frac{P}{RT} \cdot \frac{dq}{dz} \cdot v_z \Delta z \dots\dots\dots(4)$$

可求颱風侵襲時之地形雨。

於實際計算過程中，吾人係將大氣層分為四層：

- ① 850 mb 以下。
- ② 850-700 mb 。
- ③ 700-550 mb 。
- ④ 550 mb 以上。

然因 550 mb 以上氣層之濕度太小，對  $P_0$  (地形雨) 之影響甚小，故可忽略。又根據台灣地區十年無線電探空資料之分析 (王時鼎，1977) 發現，850-700 mb 及 700-550 mb 為台灣地區之飽和層，故本文求地形雨時，乃針對此二層來計算，並取平均層 775 mb 及 625 mb 各代表此二飽和層

，以便於計算。

在(4)式中之  $v_z = V \cdot \nabla z$  之計算已於第⑦步詳述，至於地形雨的計算係數  $(\frac{P}{RT} \cdot \frac{dq}{dz} \cdot \Delta z)$  則將實際探空資料代入，即可求得。

⑨將上述所求得的資料數值，代入颱風降雨模式〔公式(1)，(3)〕之內，即可求得颱風侵襲期間，石門水庫集水區之逐時降水量。

### 三、個案驗算及結果

依據上述的計算方法及步驟，模擬過去曾影響石門水庫集水區之不同路徑颱風，逐次計算逐時降水量，並以實際的降水量予以比較，以探討此降水模式應用於石門水庫集水區之可行性。所採用的颱風個案有下列八個：

颱風名稱	侵台日期	* 颱風路徑分類
茱迪 ( Judy )	68.8.22 ~ 24	A 1 a
芙安 ( Fran )	59.9.6 ~ 7	A 1 b
貝蒂 ( Betty )	61.8.16 ~ 17	A 1 b
貝絲 ( Bess )	60.9.21 ~ 23	A 1 c
艾妮絲 ( Agnes )	60.9.17 ~ 19	A 2
艾爾西 ( Elsie )	58.9.26 ~ 27	A 2
貝蒂 ( Betty )	64.9.22 ~ 23	A 3
芙勞西 ( Flossie )	58.10.2 ~ 4	B

\* 颱風路徑分類見圖 4

計算結果如表 2 所示，而各颱風逐時模擬雨量與實際逐時雨量之分佈情況如圖 6 ~ 13 所示，其中以貝蒂颱風 ( 61 年 8 月 16 ~ 17 日 ) 結果最佳。圖 5 為貝蒂颱風的最佳路徑圖，表 3 是貝蒂颱風侵襲台灣期間，石門集水區與各時序颱風中心位置間之距離，集水區之理想風向，垂直風速和集水區之環流雨，地形雨及預測之降水量。圖 6 是貝蒂颱風侵襲期間，石門集水區逐時之預測及實際降水量之比較。

分析上述圖表，得知：

1 8 月 16 日 10 點以前，台北之氣壓均在 995 毫巴以上，表示此時間之前，台灣北部地區還是受到颱風前方的下沉氣流之影響，以致空氣甚為乾燥而穩定，山區內之降雨，屬局部性的小雨，但 16

日 10 點過後，集水區就受到颱風環流之影響，而開始出現豪雨。

2 貝蒂颱風是標準的強降水個案，由於此颱風中心是通過彭佳嶼，經分析其氣象資料以及當時的雲圖 ( 詳見 JTWC, 1972 )，發現彭佳嶼於 16 日 17 點至 20 點，以及 17 日 0 點至 10 點曾出現強烈的降水現象，此即受到螺旋狀雨帶 ( spiral rain bands ) 影響所致。颱風範圍中雨區之結構，視暴風圈大小，生命階段和是否轉向等因素而不同，由衛星雲圖及雷達觀測資料，發現颱風中雲雨之分佈並不均勻，有若干狹長雲帶，呈螺旋狀旋向颱風中心；根據 wexler(1951) 之統計，雨帶的長度從 35 哩至 200 哩不等，雨帶的數目從一條至七條不等，平均寬度大約是數哩，但近中心處有時只

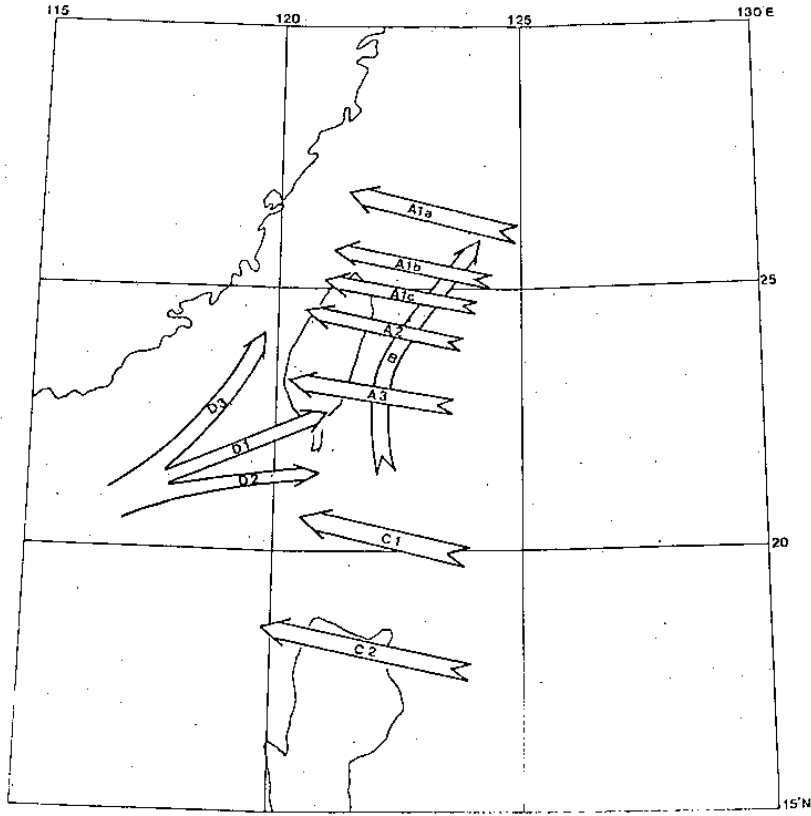


圖 4 影響石門水庫集水區之颱風路徑分類圖

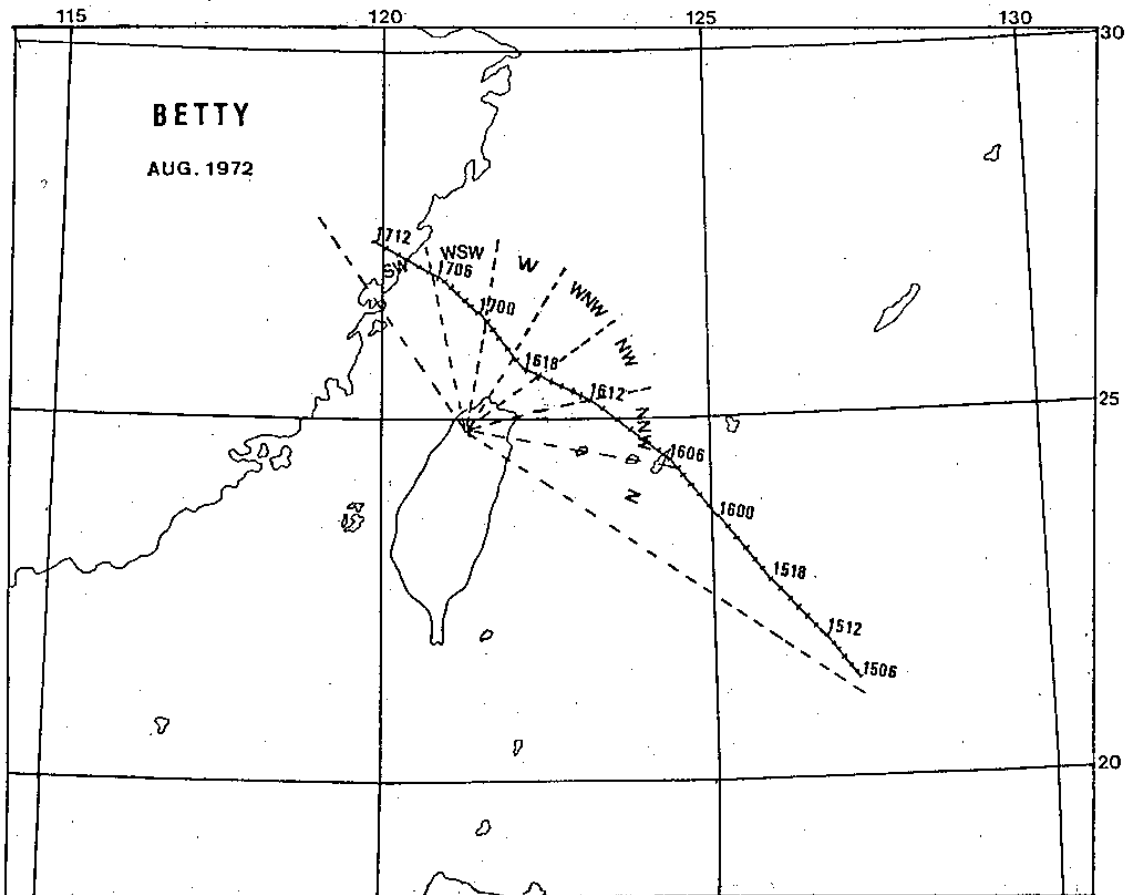


圖 5 貝蒂颱風的最佳路徑圖

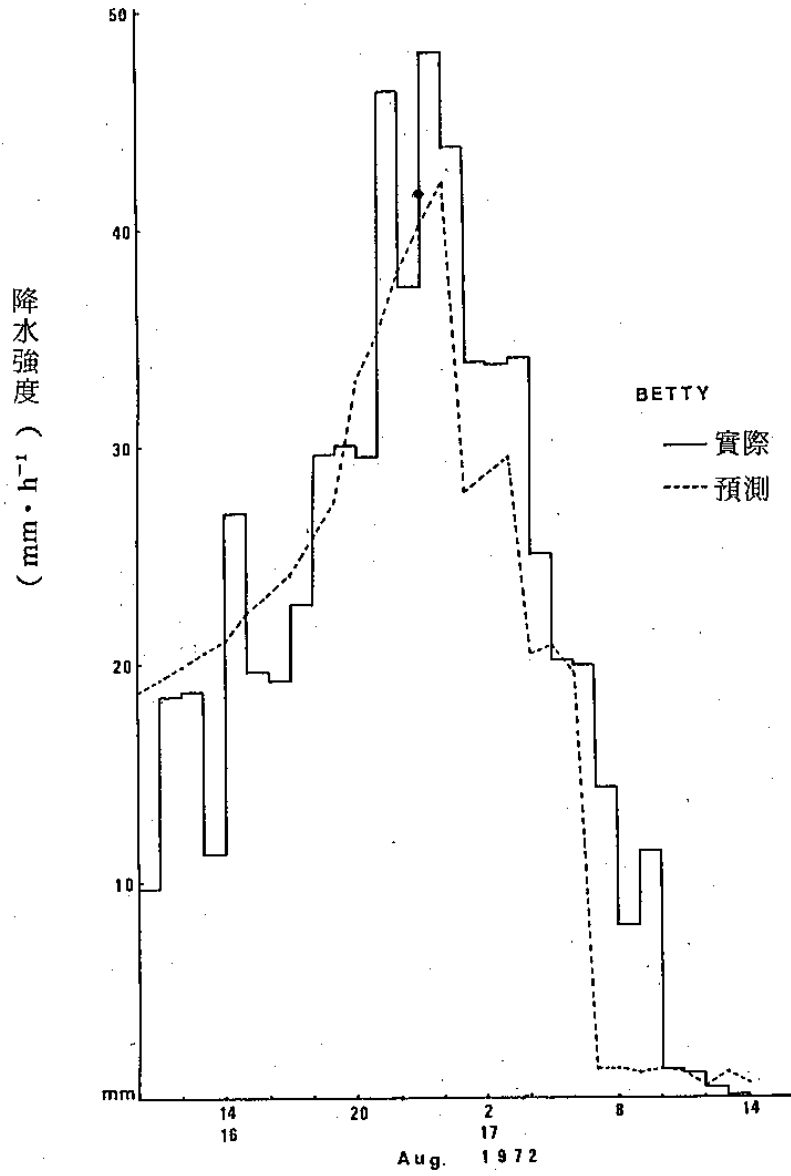


圖 6 貝蒂颱風侵襲期間，石門水庫集水區逐時之預測及實際降水量之比較

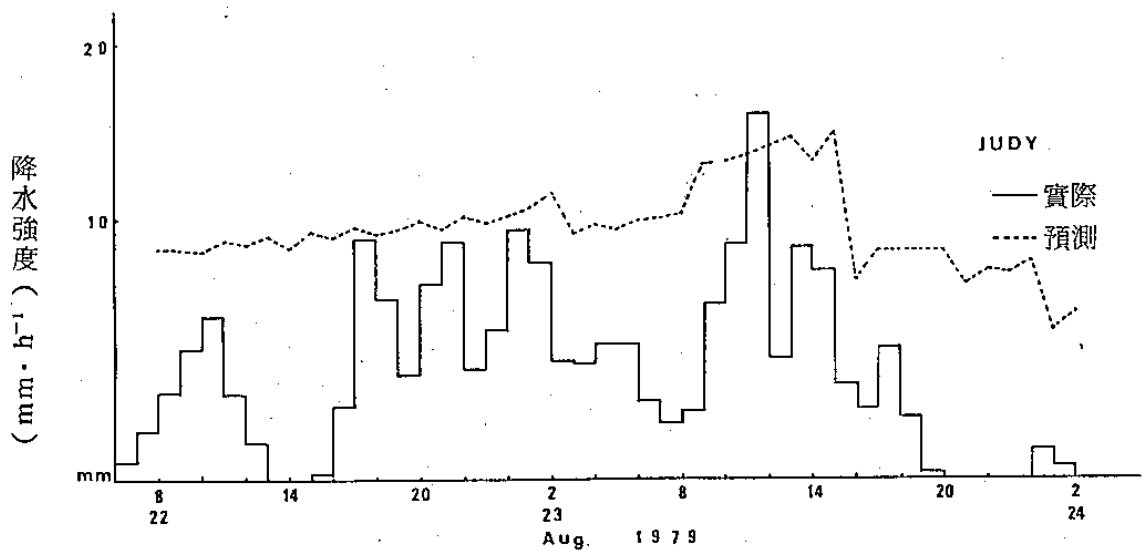


圖 7 茱迪颱風侵襲期間，石門水庫集水區逐時之預測及實際降水量之比較

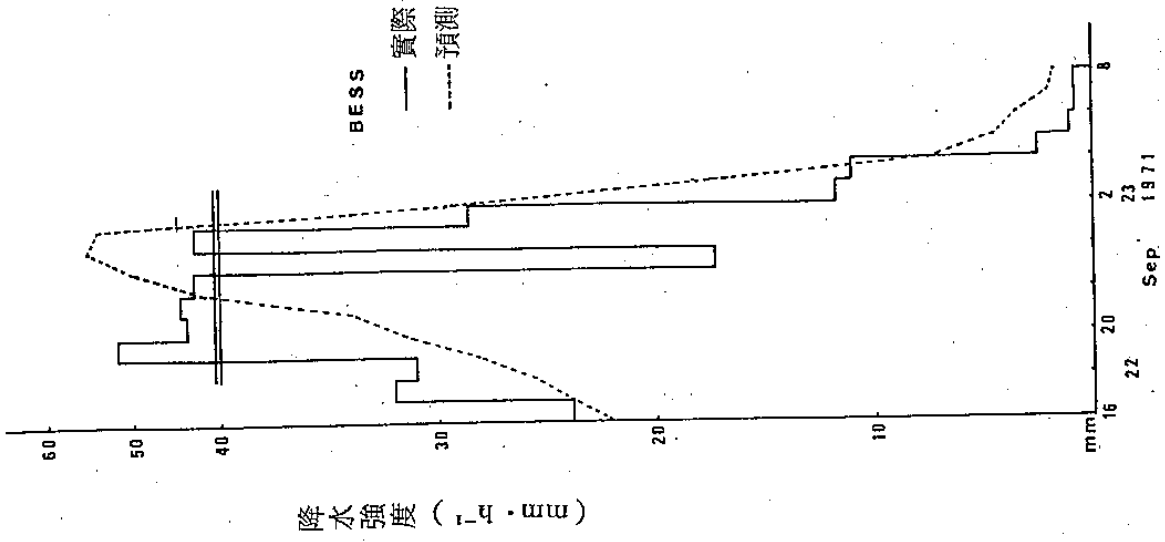


圖 8 美安颱風侵襲期間，石門水庫集水區逐時之預測及實際降水量之比較

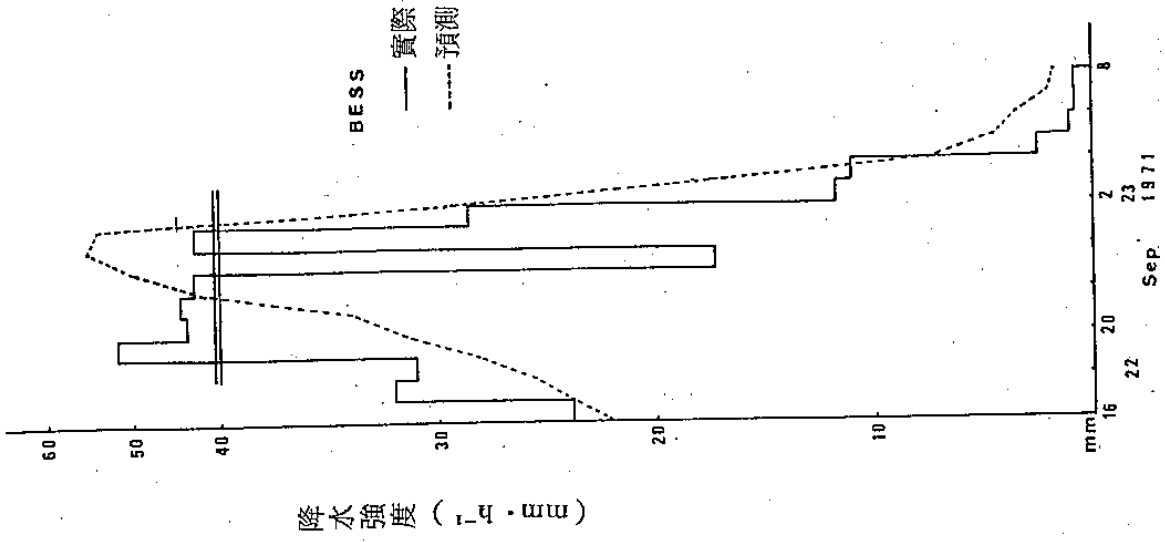


圖 9 貝絲颱風侵襲期間，石門水庫集水區逐時之預測及實際降水量之比較

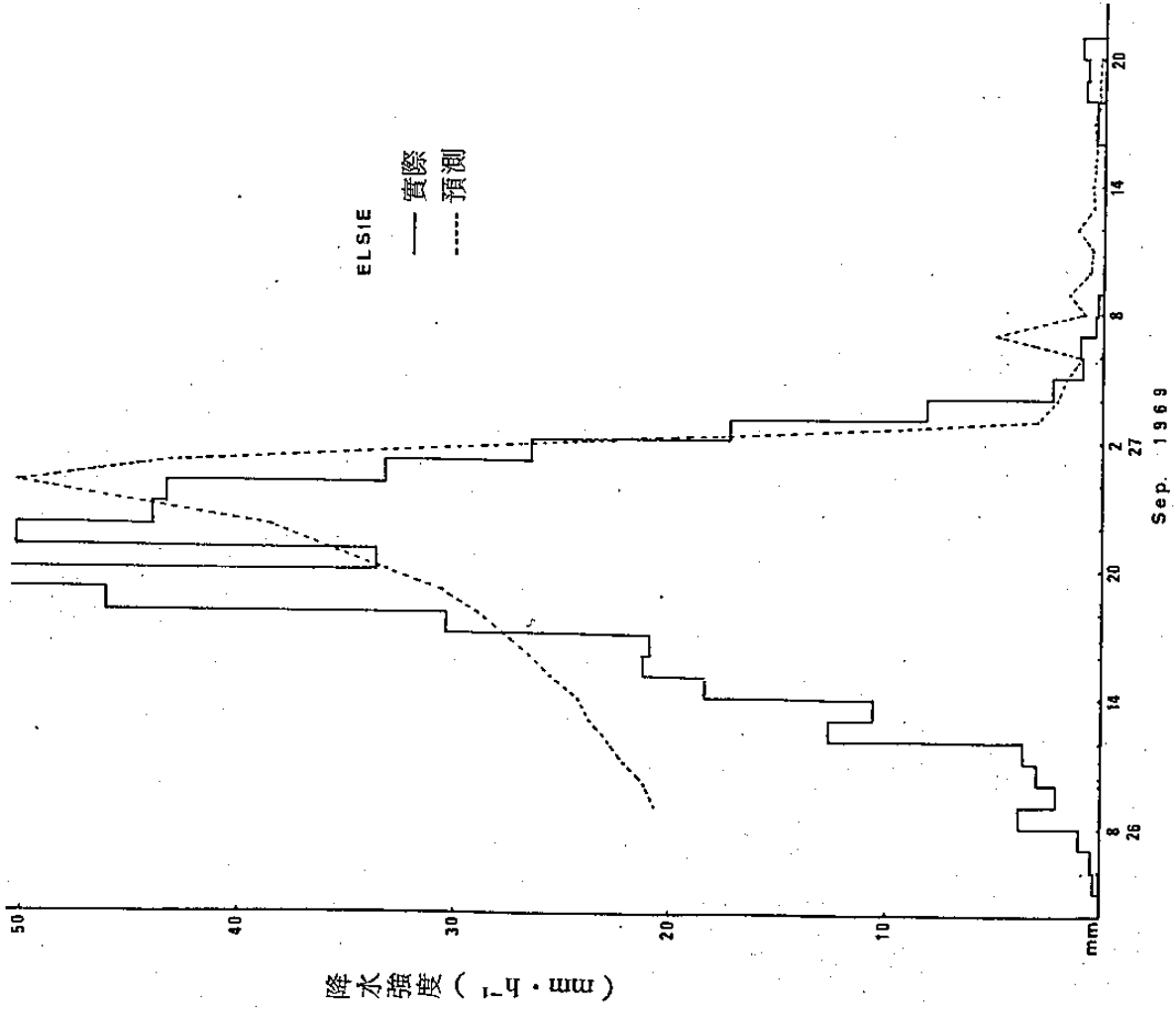


圖 11 艾爾西颱風侵襲期間，石門水庫集水區逐時之預測及實際降水量之比較

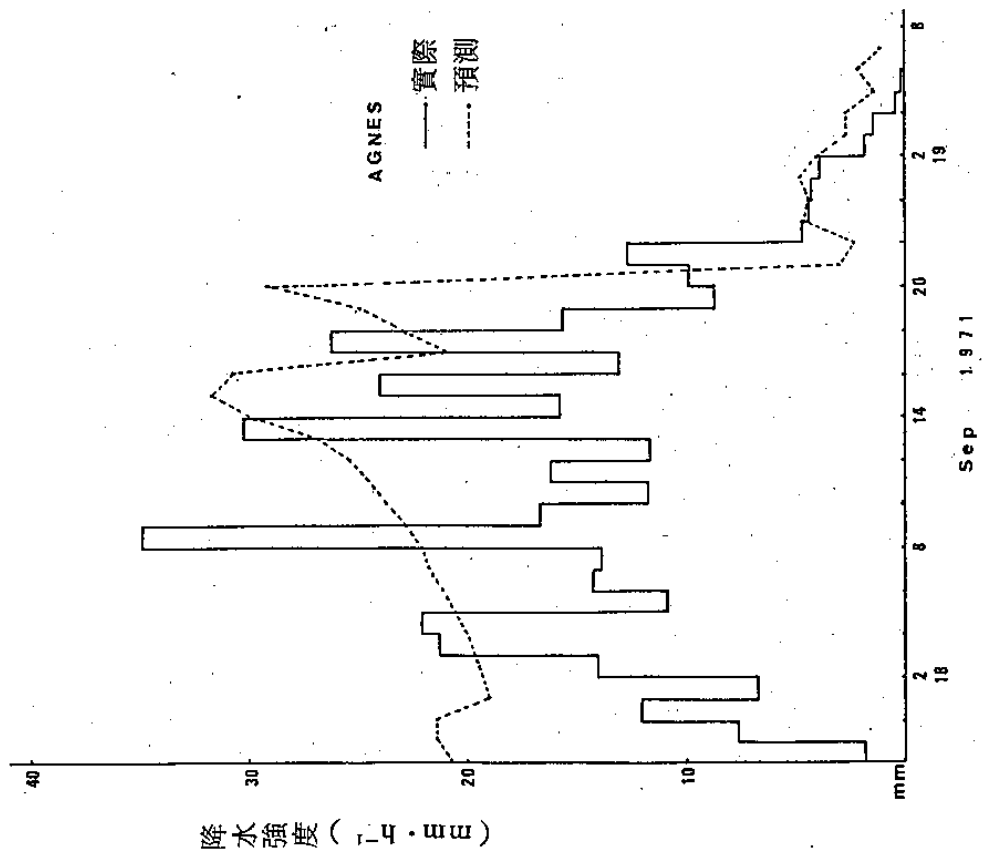


圖 10 艾妮絲颱風侵襲期間，石門水庫集水區逐時之預測及實際降水量之比較



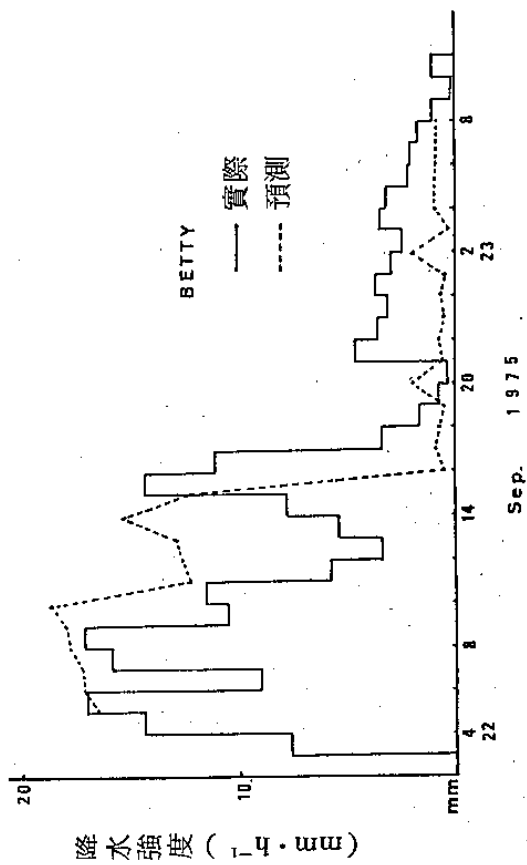


圖 12 貝蒂颱風侵襲期間，石門水庫集水區逐時之預測及實際降水量之比較

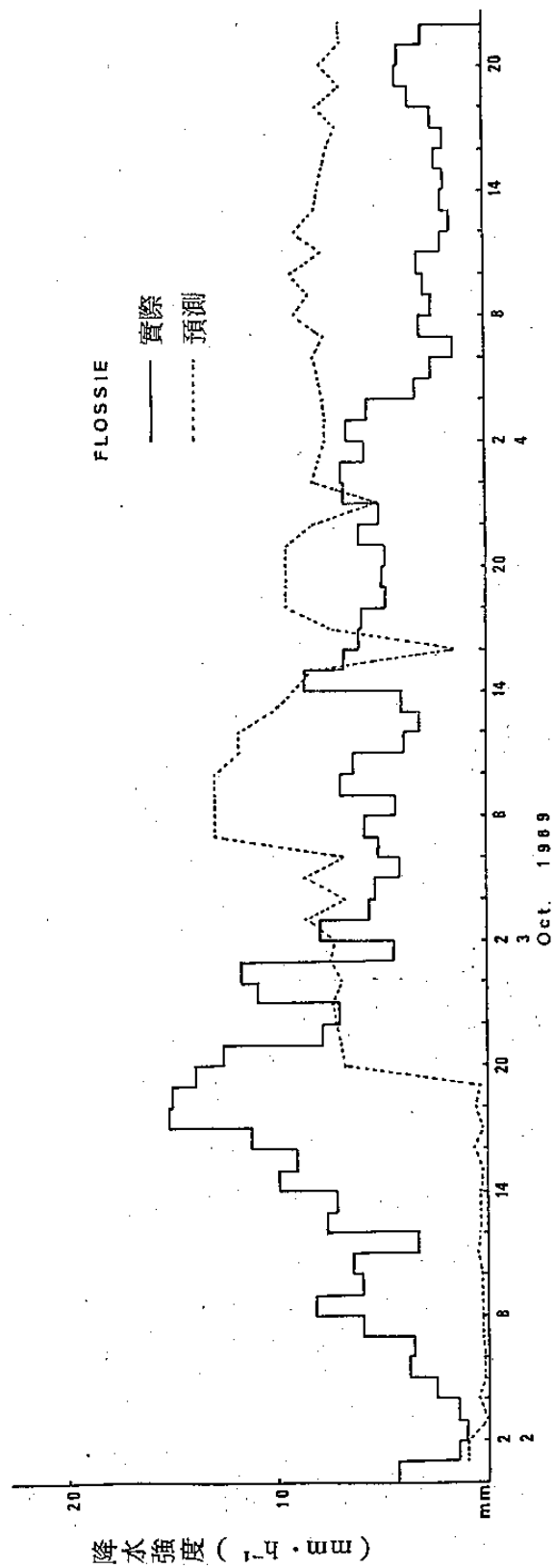


圖 13 芙勞西颱風侵襲期間，石門水庫集水區逐時之預測及實際降水量之比較

表2 各颱風影響石門水庫集水區時之預測及實際雨量之比較

項 目 \ 颱 風		茱 迪	芙 安	貝 蒂 (61年)	貝 絲	艾 妮 絲	艾 爾 西	貝 蒂 (64年)	芙 勞 西
$M_{1000 \sim 900 \text{ mb}}$		1.84	2.04	1.74	1.94	1.94	1.84	1.74	1.84
$M_{900 \sim 800 \text{ mb}}$		1.43	1.63	1.33	1.53	1.63	1.43	1.53	1.43
$M(\text{g} \cdot \text{cm}^{-2})$		3.27	3.67	3.07	3.47	3.57	3.27	3.27	3.27
$P_{850 \sim 700 \text{ mb}}$		$16.88 v_z$	$16.88 v_z$	$13.55 v_z$	$13.54 v_z$	$13.50 v_z$	$23.87 v_z$	$20.25 v_z$	$10.20 v_z$
$P_{700 \sim 550 \text{ mb}}$		$8.4 v_z$	$18.11 v_z$	$14.00 v_z$	$11.28 v_z$	$18.10 v_z$	$5.74 v_z$	$8.40 v_z$	$11.28 v_z$
$P_0(\text{mm} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{hr}^{-1})$		$25.28 v_z$	$34.99 v_z$	$27.55 v_z$	$24.82 v_z$	$31.60 v_z$	$29.61 v_z$	$28.65 v_z$	$21.48 v_z$
降 水 量 (公 厘)	實 際	221	464	619	398	398	490	194	387
	預 測	497	563	566	433	573	564	188	431
	比 較	+276	+99	-53	+35	+175	+74	-6	+44

( $M$  : 可降水量 ;  $P_0$  : 地形雨 ;  $v_z$  : 垂直風速)

(+ : 預測降水量 > 實際 ; - : 預測降水量 < 實際)

有 1~2 哩，離中心愈遠，帶也愈寬，帶與帶間的相隔和帶本身寬度相當，近中心處相距祇有 1~2 哩，外圍則相隔超過 10 哩，大雨都集中在雨帶區域下，在颱風中心有封閉圓環雲，稱為雲牆 (well cloud)，在此雲牆下之雨量強度亦達最大。

3 在 17 日 2 點時，颱風正好在彭佳嶼附近，此時之降雨量為 8.3 公厘，由於彭佳嶼無地形效應，所以我們可確定，貝蒂颱風之環流雨量每小時祇有 8.3 公厘而已，但 16 日午夜時其雨量少，表示颱風之環流雨少，然石門集水區於此時，其降雨量達到高峯，表示大部份是由地形雨所造成的。

4 利用模式求得的預測雨量之分配型態與實際相當吻合，而雨量高峯之時間亦一致，而雨量減弱之時間比實際提早一個小時；颱風環流侵襲期間 (16 日 10 點至 17 日 14 點) 石門集水區的預測降水量為 566.3 公厘，比實際 619.3 公厘祇少了 53 公厘。

綜合八個颱風模擬驗算，發現下列諸點結果：

1 石門水庫集水區整個大氣層在颱風侵襲期間

平均之可降水量 ( $M$ ) 約為  $3 \sim 4 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。

2 每個颱風之地形雨的計算係數 ( $\frac{P}{RT} \cdot \frac{dq}{dz} \cdot \Delta z$ ) 之差距不大，均為  $25 \sim 35 \text{ mm} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hr}^{-1}$ ，所以地形雨乃是受到垂直速度 ( $v_z$ ) 所影響，然一個地區垂直速度之大小是決定於當地之實際風速及地形的有效坡度 (即  $v_z = V \cdot \nabla z$ )，故地形雨主要是受實際風速 ( $V$ ) 及地形之有效坡度 ( $\nabla z$ ) 所左右。

3 除貝蒂颱風 (61 及 64 年) 的預測雨量比實際少外，其他颱風之預測的比實際略多，而差距最多的是茱迪颱風，於 42 小時內高估 276 公厘，而艾妮絲颱風於 32 小時內高估了 175 公厘。

4 逐時雨量分佈之預測曲線與實際之型態，大體上是一致；然雨量高峯之出現時間，有提前 1 小時或落後 4~5 小時之差距。

5 颱風登陸台灣陸地後，由於其環流結構受到中央山脈之破壞，於是石門水庫集水區之雨勢就迅速減弱，此現象可由預報模式顯示出來，且其時間

表3 貝蒂颱風侵襲期間，石門集水區降水量之計算因子及環流雨、地形雨和預測雨量

\*\*\* BETTY \*\*\*A1b

TIME	R	VV	FF	VZ	PC1	PC2	PC	PO1	PO2	PO	P'	F'
61/ 8/16/10/	365.	3.4	N	.7	.2	.1	.3	9.0	9.3	18.4	13.7	N
61/ 8/16/11/	342.	3.5	N	.7	.2	.2	.4	9.3	9.6	18.9	19.3	N
61/ 8/16/12/	332.	3.5	N	.7	.3	.2	.5	9.6	9.9	19.5	19.9	N
61/ 8/16/13/	318.	3.7	N	.7	.3	.2	.4	9.9	10.3	20.0	20.5	N
61/ 8/16/14/	304.	3.5	NNW	.7	.3	.1	.5	10.1	10.5	20.6	21.1	N
61/ 8/16/15/	280.	4.0	NNW	.8	.4	.3	.7	10.6	10.9	21.5	22.2	N
61/ 8/16/16/	258.	4.1	NNW	.8	.5	.4	1.0	10.9	11.3	22.2	23.3	N
61/ 8/16/17/	239.	4.4	NNW	.9	.6	.5	1.4	11.7	12.3	23.7	24.1	N
61/ 8/16/18/	220.	4.7	NNW	.9	.4	.3	.7	12.3	12.7	25.0	25.7	NW
61/ 8/16/19/	200.	4.9	NW	1.0	.7	.5	1.2	12.9	13.4	26.3	27.5	NW
61/ 8/16/20/	188.	5.1	NW	1.2	.5	.4	1.0	15.7	16.2	31.9	32.9	NW
61/ 8/16/21/	170.	5.4	NW	1.2	.3	.6	1.4	16.7	17.2	33.9	35.2	NW
61/ 8/16/22/	150.	5.9	NW	1.3	.2	.6	1.4	18.0	18.5	36.7	38.1	WNW
61/ 8/16/23/	140.	6.1	NW	1.4	1.1	.3	1.9	18.3	19.4	38.2	40.1	WNW
61/ 8/16/24/	130.	6.3	NW	1.4	1.4	1.1	2.4	19.5	20.3	39.7	42.1	WNW
61/ 8/17/ 1/	122.	6.5	WNW	.9	1.1	.3	1.9	12.3	13.2	25.0	27.9	WNW
61/ 8/17/ 2/	120.	6.7	WNW	1.0	1.3	1.3	2.3	12.9	13.3	26.3	28.6	WNW
61/ 8/17/ 3/	123.	6.5	WNW	.9	2.0	1.5	3.5	12.3	13.2	26.0	29.3	W
61/ 8/17/ 4/	130.	6.3	W	.7	.3	.6	1.3	9.4	9.7	19.1	20.4	W
61/ 8/17/ 5/	140.	6.1	W	.7	1.4	1.1	2.4	9.0	9.3	18.4	20.3	W
61/ 8/17/ 6/	150.	5.9	W	.5	1.1	.3	1.9	3.7	3.9	17.7	19.3	W
61/ 8/17/ 7/	160.	5.6	WSW	0.0	.3	.6	1.4	0.0	0.0	0.0	1.4	WSW
61/ 8/17/ 8/	180.	5.2	WSW	0.0	.3	.6	1.4	0.0	0.0	0.0	1.4	WSW
61/ 8/17/ 9/	188.	5.1	WSW	0.0	.7	.5	1.2	0.0	0.0	0.0	1.2	WSW
61/ 8/17/10/	195.	5.0	WSW	0.0	.7	.5	1.3	0.0	0.0	0.0	1.3	WSW
61/ 8/17/11/	210.	4.8	WSW	0.0	.7	.5	1.2	0.0	0.0	0.0	1.2	WSW
61/ 8/17/12/	218.	4.7	WSW	0.0	.5	.2	.5	0.0	0.0	0.0	.5	WSW
61/ 8/17/13/	225.	4.6	WSW	0.0	.7	.5	1.2	0.0	0.0	0.0	1.2	WSW
61/ 8/17/14/	238.	4.4	WSW	0.0	.4	.3	.7	0.0	0.0	0.0	.7	WSW

\*\*\*TOTAL= 566.3\*\*\*

R : 距離 ( km ) ; VV : 風速 ( m/s ) ; FF : 風向 ; VZ : 垂直風速 ( m/s )

PC1 : 環流雨 (  $\frac{900}{1000}$  mb ) ; PC2 : 環流雨 (  $\frac{800}{900}$  mb ) ; PC = PC1 + PC2 ( 環流雨 )

PO1 : 地形雨 (  $\frac{700}{850}$  mb ) ; PO2 : 地形雨 (  $\frac{550}{700}$  mb ) ; PO = PO1 + PO2 ( 地形雨 )

F'F' : 台北之實際風向

亦相當一致，真是難能可貴。

6. 此預報模式對西進，且由集水區北方通過 ( A1b 及 A1c 類 ) 及南方陸地通過 ( A3 類 ) 之颱風的效果最為理想。

#### 四、討 論

由颱風降雨預報模式之實例計算過程中，幾個因素對計算之結果，具有相當程度之影響，茲特別提出加以討論：

##### 1. 颱風環流雨計算之問題

本文環流雨之計算式是依據水汽保守定律和颱風眼半徑及其中心附近最大風速之關係 ( Riehl , 1963 , 1969 ; Gray 等 1978. ) 所推演而得，經

以實際個案之計算，發現：石門水庫集水區之環流雨每小時祇有 3~5 公厘，均比地形雨小。

根據日本 Sugiura ( 1971 ) 之研究，認為颱風雨量主要來源有四：①颱風中心附近的環流雨，②地形雨，③鋒面雨，④外圍雲帶所造成的雨；但於颱風區內亦祇考慮環流雨和地形雨而已；至於環流雨之計算，Sugiura 是依據下列經驗公式

$$VR(I, J) = 0.8 \times ST(I) \times \exp \left\{ - \frac{50}{ST(I)} \times \left( \frac{R(I, J)}{100} \right)^2 \right\}$$

.....(5)

VR : 環流雨 ( mm/hr )

ST : 中心最大風速 ( m/s )

R : 各預報區之中心點至颱風中心之距離 ( Km )

$I, J$ : 分別代表時刻及區域。

根據 Sugiura 之經驗公式，計算 97 年 8 月的貝蒂颱風，發現石門水庫集水區最大之環流雨是 9.5 mm/hr (8 月 17 日 2 點)，根據本文之模式(公式(1)(2))，求得的最大環流雨為 3.5 mm/hr，由於貝蒂颱風之中心是通過彭佳嶼附近，且彭佳嶼之地形較單純，所以彭佳嶼之實際降雨量應可代表貝蒂颱風之環流雨；經以公式(1)(2)求得彭佳嶼受貝蒂颱風侵襲時最大之環流雨為 26.4 mm/hr (8 月 16 日 20 ~ 21 點)，根據 Sugiura 之經驗式(公式(5))，求得此時最大之環流雨為 38 mm/hr；但颱風中心最接近彭佳嶼時之實際降雨量祇有 8.3 mm/hr，而颱風侵襲期間之最大降水量為 24.7 mm/hr (17 日 5 點)，由此可知，依據本文之模式所求得之環流雨與日本經驗公式所求得雖有差距，但與彭佳嶼實際之最大雨量則很接近，祇是出現之時間約提前 8 個鐘頭，這亦說明，颱風最接近時，並不一定是雨量最大之時間，而應與颱風所伴隨之雲雨帶之分佈有密切之關係。

由以上之比較及說明，證明本文環流雨之計算模式，於台灣地區是可應用的。

2 地形有效坡度之計算問題——由於石門水庫集水區之地形非常複雜，要精確求得各方位之有效地形坡度相當困難，而此等坡度值對計算因地形產生之氣流垂直上升速度(即  $V \cdot \nabla z$ ) 具有關鍵性的影響，更直接關係到所求得地形雨之準確性。本文所使用之有效地形坡度值是利用集水區之地形圖上的等高線梯度推算而得，其準確度仍有待進一步的修正。

3 集水區風向之變化——石門水庫集水區因缺乏完整之測風記錄，故本文計算環流雨及地形雨時，利用設計好之風盤，依颱風中心與集水區之相關位置，推估集水區之理想風向，經比較集水區下游之台北測站的風與理想風向，發現兩者角度之相差，大者可達 70 度，小者 20 度(詳見表 3)，這可能之風向偏差，亦足以影響到預測雨量之準確性。實際情形如何？則於將來有足夠之觀測資料時，再詳加以分析校驗。

4 颱風路徑之選擇——本文在計算颱風環流影

響期間，集水區的風向風速，是利用實際已出現之歷史颱風最佳路徑為例，作模擬試驗，而在將來應用於預報颱風之降水時，則需使用預測之颱風路徑，與實際情況可能有所出入，因此對最佳颱風預測路徑之選擇，是為決定降雨預報成功與否的重要因素。

## 致 謝

本論文之完成，承蒙中央氣象局吳局長，王時鼎技正提供諸多寶貴意見與資料，葉天降、林俊雄、李南文先生及劉淑珍、鄭月娥、紀美杏小姐協助處理資料，繪製圖表並參與討論；石門水庫集水區各雨量站之逐時雨量資料由石門水庫管理局提供，特此致謝。

## 參考文獻

- Fulks, J. R., 1935: Rate of precipitation from adiabatically ascending air. *Mon. Wea. Rev.*, 63, 291 — 294.
- Gray, W. M. and W. M. Frank, 1978: New results of tropical cyclone research from observational analysis. *NAVENVPREDRSCHFAC Tech. Rep. TR 78 — 01*, 105 PP.
- JTWC, 1972: Annual Typhoon Report, P 39.
- Riehl, H., 1963: Some relation between wind and thermal structure of steady state hurricanes. *J. Atms. Sci.*, 20, 276 — 287.
- Riehl, H., 1969: The tropical meteorology, 293-297.
- Sugiura, 1971: On a Computation Program for Estimation of Typhoon Rainfall Amount, *研究時報*, 23.1.21 ~ 28.
- Wexler, R., 1951: Theory of observation of radar storm detection, *Compendium of Meteorology*, *Am. Meteor. soc.*, 1283 ~ 1289.
- 彭 立、王時鼎、俞家忠, 1967: Investigation

of probable maximum precipitation caused by typhoon in Tachien Watershed, 45 PP.

彭立、王時鼎、俞家忠，1967：Probable maximum precipitation caused by typhoon over Tachien Watershed, 30 PP.

王時鼎、劉廣英、曲克恭、林則銘、黃中成、謝維權，1977：翡翠谷壩址最大可能暴雨研究，空軍氣象中心研究報告13號，86 PP.

吳宗堯、陳正改，1978：台灣北部地區豪雨特性

之分析，氣象預報與分析，77,69-115。

吳宗堯、謝信良、喬鳳倫、陳正改、黃清芬，

1981：曾文水庫集水區降水特性分析及颱風降水預報之研究，大氣科學，第八期 1~18。

陳毓雷，1978：大漢溪流域颱風暴雨量預報之研究，氣象預報與分析，74，16-44。

郭文鑠、蔣志才、朱曙光、陳正改，1980：淡水河流域颱風降水量預報之研究，國科會研究報告 NSC-69M-0202-08(01)，17 PP.

# Simulation of the Typhoon Precipitation over Shimen Reservoir Watershed

Feng-lun Chiao Shim-liang Shieh Cheng-kai Chen

Central Weather Bureau, R.O.C.

## Abstract

The precipitation associated with a typhoon over a montanic area is mainly caused by the convergence and the terrain-affected vertical motion of the air. In this paper, the law of moisture conservation and the scheme of precipitation intensity by Fults are employed as the basic concepts in developing a simple model to simulate the precipitation over Shimen Reservoir Watershed. Eight cases have been studied. The results indicate that there are some extent of errors in both the calculated intensity and total amount of the precipitation, however the model still can be used as one of the methods to forecast the precipitation over the watershed.