

颱風暴風圈內水庫集水區雨量預測法

王 崇 岳*

摘 要

根據實測颱風之強度，模擬颱風環流，用數學式表示該颱風環流內風、雨之分佈，由此計算颱風過境時水庫集水區逐時與累積雨量，作為水位控制之依據。

前言

近十年來，臺灣社會進步，經濟繁榮，人民生活富裕，家用設備均現代化；但對於保障人民生命財產安全之防洪設施，未能與時代巨輪並進，仍停留於一、二十年前之情況，防洪計劃仍在研擬階段，未能及時實施，設若再有五十二年九月十一日「葛樂禮」型颱風襲臺，帶來什公厘以上之豪雨，大廈地下室可能變成游泳池，行人如織之地下行人道可變為養魚塘，工廠新型機器與設備浸水，則政府與居民之損失可數十倍於往昔。筆者有鑑於此，年來曾致力於颱風預報改進之研究，創模型颱風預報法（王，66年：WANG, 1978），根據每一颱風實測之資料，用數學模式表示颱風環流內風、雨之分佈，由此當颱風中心接近臺灣本島時，可預知各地最可能發生之強風與豪雨，作為防颱防洪措施之依據。

石門與曾水兩水庫均為多目標型，水位控制相當複雜，為發揮水庫防洪效益，對於颱風接近臺灣本島時，水庫集水區之雨量如能準確預測，即可預估水位，及時洩洪，下游居民亦可早悉水庫之洩洪計劃，採取適當之防洪措施，以減少損失。

二 颱風暴風圈內雨量計算法

李 爾博士（Riehl 1946）於一九四六年首創暴風圈內雨量計算法，唯因有若干困難，難以克服，故迄今未能為氣象界廣泛應用。筆者首創模型颱風預報法，現已可解決李爾所遭遇之問題。李 爾假設颱風暴風圈內之雨量等於由大氣低層進入該圈內之水氣量與高空中外溢水氣量之差；因後者之數量甚微，可略而不計，故前者之水氣量即為雨量。設暴風圈內一地與颱風中心間之距離為 r ，該地徑向風速為 v_r ，則進入暴風圈內之水氣量等於

$2\pi r v_r \frac{\Delta P}{g} \bar{q}$ ， \bar{q} 代表低層大氣柱中平均水氣量（ g/kg ）， $\Delta P/g$ 代表單位面積上大氣柱之質量（ $\Delta P/g = -\rho \Delta z$ ， ρ 大氣密度， Δz 大氣柱厚度）， ΔP 代表大氣柱頂、底間氣壓差，李爾建議 $\Delta P = 100 mb$ ， g 為重力加速。又設 R 為暴風圈內單位面積與單位時間之雨量，則暴風圈內單位時間之總雨量是等於 $r^2 \pi R$ ；該總雨量與總水氣量相等，

即

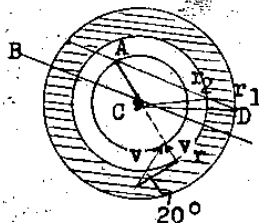
$$r^2 \pi R = 2\pi r v_r \frac{\Delta P}{g} \bar{q}$$

$$\text{故 } R = \frac{2 v_r \Delta P}{r g} \bar{q} \quad (1)$$

* 國立臺灣大學大氣科學系天氣學教授

本式為李爾所創，可稱為李爾計算式。通常暴風圈內低層大氣中之風向量 v 與等壓線平均有 20° 交角，並指向颱風中心，圖一，故

$$v_r = v \sin 20^\circ, \quad \text{即} \quad v_r = 0.34 v, \quad \text{以此式}$$



圖一：C 颱風中心；A 水庫集水區中心； r_1 外側暴風半徑； r_2 較內側暴風半徑； v_r 徑向風向量； v ，實測風向量。

代入(1)式，並簡化之，得

$$R = 24.5 \left(\frac{v}{r} \right) \bar{q}$$

R 代表單位面積上每小時雨量（公厘）。

v 代表暴風圈內任一點上之風速（m/s）。

r 代表和 v 對應點與颱風中心間之距離（km）。

\bar{q} 低層大氣柱（100 mb，或 1000 公尺厚）內之平均水氣量（g/kg）。

(2)式僅適用於颱風中心通過之地點，如圖一，設石門水庫位於 A 點，是時風速為 v ，與颱風中心 C 間之距離為 r ，低層大氣柱內平均水氣量為 \bar{q} ，由 A 至 C 預測歷時五小時，則當颱風中心通過水庫上空時，其總雨量約為(2)式之五倍。但若颱風中心沿 C-B 方向前進，則颱風之 A-D 部分通過水庫上空，與颱風中心 C 尚有若干距離，我人均知與颱風中心逾近，雨量愈大，當颱風中心未通過該地時應按圓環形式計算，由(2)式可導引(3)式，

$$R_{1,2} = 24.5 \left(\frac{v_1 r_1 - v_2 r_2}{r_1^2 - r_2^2} \right) \bar{q} \quad (3)$$

由圖一，斜線區之圓環，其外側半徑為 r_1 ，風速為 v_1 ；內側者各為 r_2 與 v_2 。圓環內每小時雨量為 $R_{1,2}$ 。小括號內數據可稱為輻合項，因外側之 $v_1 r_1$ 較內側之 $v_2 r_2$ 為大，氣流呈輻合上昇，以致成雲降雨。當筆者未創模型颱風預報法前，(2)(3)兩式中之 v 僅能用實測風速代入，無法預知，故該兩式未為氣象界普遍應用。按模型颱風四周之氣壓分佈如下式

$$(\text{Schloemer, 1954}): \quad p = p_c + a \exp -r_0/r \quad (4)$$

$$\text{由此可解梯度風} \quad v_{gr} = \sqrt{a^2 r_0^{-1} r^{-1} \exp -r_0/r + r^2 \omega^2 \sin^2 \theta - r \omega^2 \sin \theta} \quad (5)$$

於計算雨量時設 $v = v_{gr}$ 。

上兩式中 P 代表暴風圈內任一點上之氣壓，

P_c 代表颱風中心最低氣壓 (mb)，

a 緊接颱風環流外側之氣壓與 P_c 間之差數，

r_0 代表颱風眼外側最強風速帶核心區之半徑，約為七級風暴風半徑之十分之一

r 代表和 P 對應點與颱風中心間之距離，

Ω 地球旋轉之角速度 $7.292 \times 10^{-7} \text{sec}^{-1}$ ，

ϕ 緯度，

ρ 空氣密度。

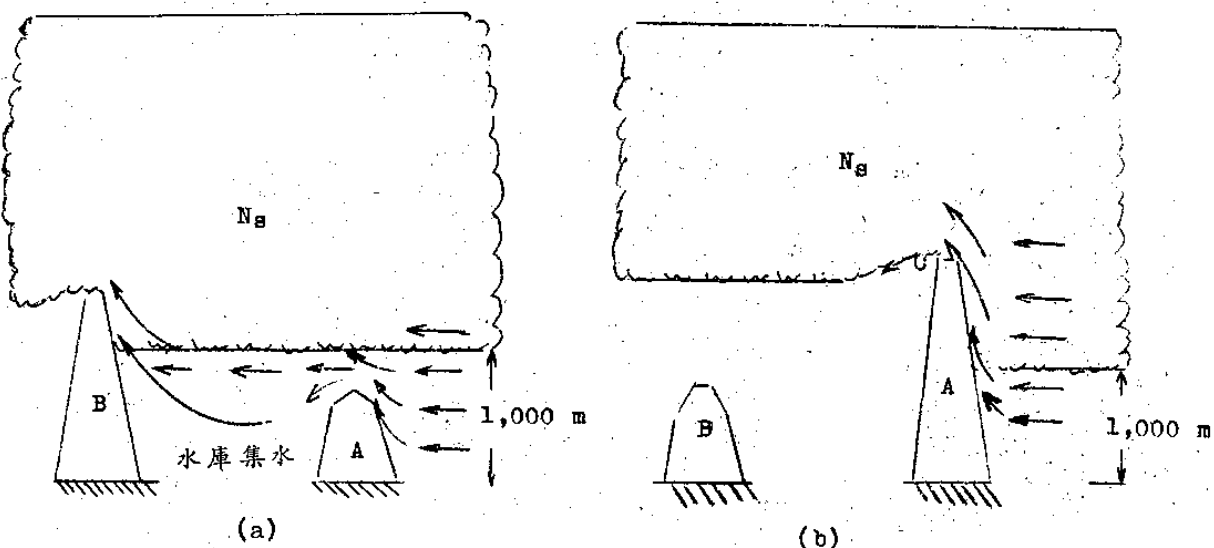
根據實測資料五十二年九月「葛樂禮」颱風之 $P_c = 930 \text{ mb}$ 。其模型颱風之計算結果，如第一表(a)所示，首行代表 r_n ， n 由 1 起，以 50 公里為間距，第二行 V_n 為風速，以公尺/秒為單位；首列表示距颱風中心 500 公里時，地面陣風可達 15.4 m/s ；450 公里時，陣風速為 16.9 m/s ，由此可計算第三行，輻合項，其值為 0.0020，計算 500-450 公里圓環內之雨量時用此數。

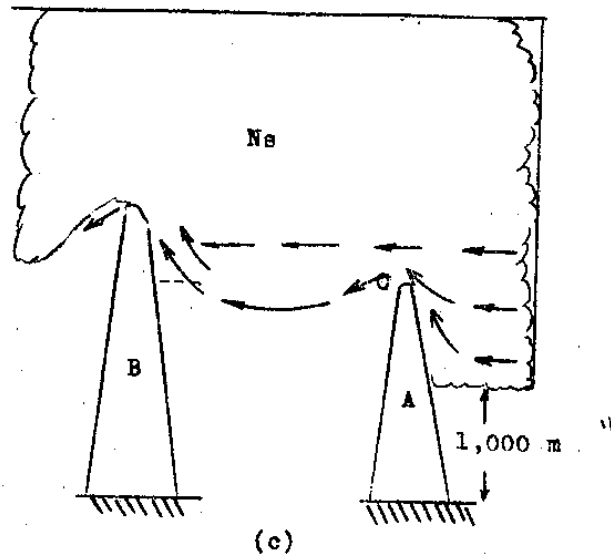
三 地形修正係數

颱風環流內之雨量可分為兩部分，因氣旋環流導致氣流輻合，以致上昇，成雲致雨，為其一；山坡迎風面之地形抬舉，或背風面之氣流下沉為其二；尤於強風時，地形對雨量之影響至鉅。

於上節颱風雨量計算式中， ΔP 以 100 mb 厚之低層大氣內所含之平均水氣 \bar{q} 作為計算第一部分之雨量；當氣流為山所阻，其因輻合而上昇之氣流加速運行，增加雨量，此種影響可於(3)式平均水氣含量 \bar{q} 旁乘一地形修正係數即可。

水庫均位於山谷區，常群山環繞，其前後或左右迎風面之組合可分為三類，圖二，該圖





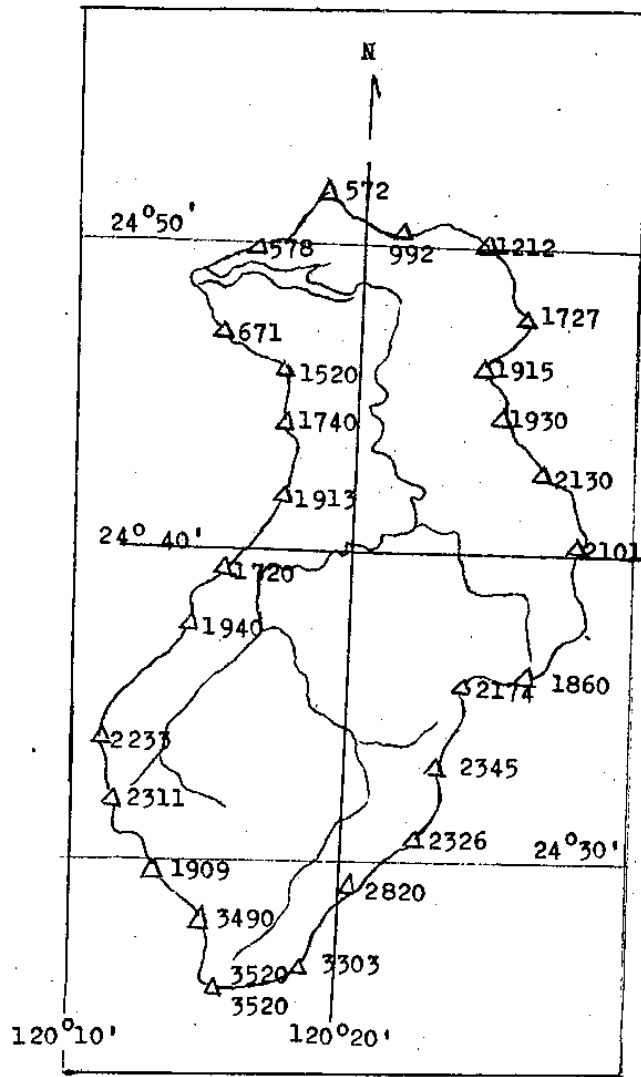
圖二：水庫集水區周圍山脊排列草圖，(a)右低 $< 1,000$ 公尺，左高($> 1,000$ 公尺)；(b)右高左低型；(c)右高左更高型。NS表示雨層雲，雲頂未繪入。

(a)表示水庫右側山頂高度低於 $1,000$ 公尺，溫濕氣流可源源供給 $1,000$ 公尺以上之雨層雲，迎風面氣流遇(A)山加速上昇，可增加其上空之雨量，但該區位於水庫之外側，對於水庫集水區之雨量並無影響，故不予考慮。唯水庫左側之高山(B)阻擋氣流前進，有助於氣流上昇，增加雨量，此種局部影響，可以左右兩側山高高度差數之半除以 $1,000$ 公尺，加 1 修正之，此數稱為「地形修正係數」。本研究所列之地形修正係數均以此法計算。圖二(b)，迎風面之山均高於 $1,000$ 公尺，其左側者低於此數。右側氣流於接近山(A)時，必迅速上昇，然後越過山頂，稍行下沉後繼續前進。深厚之雨層雲於(A)山之右側洩出大量雨水；山峯(A)左側水庫上空之雲層，其中水氣含量 \bar{q} 應以山頂C處溫度呈飽和狀為準，其地形修正係數應為“ 1 ”。如左側之山脈(B)高於右側者，圖二(c)，則其地形修正係數之計算如圖二(a)， \bar{q} 則如圖二(b)，該 \bar{q} 值已較圖二(a)為小。

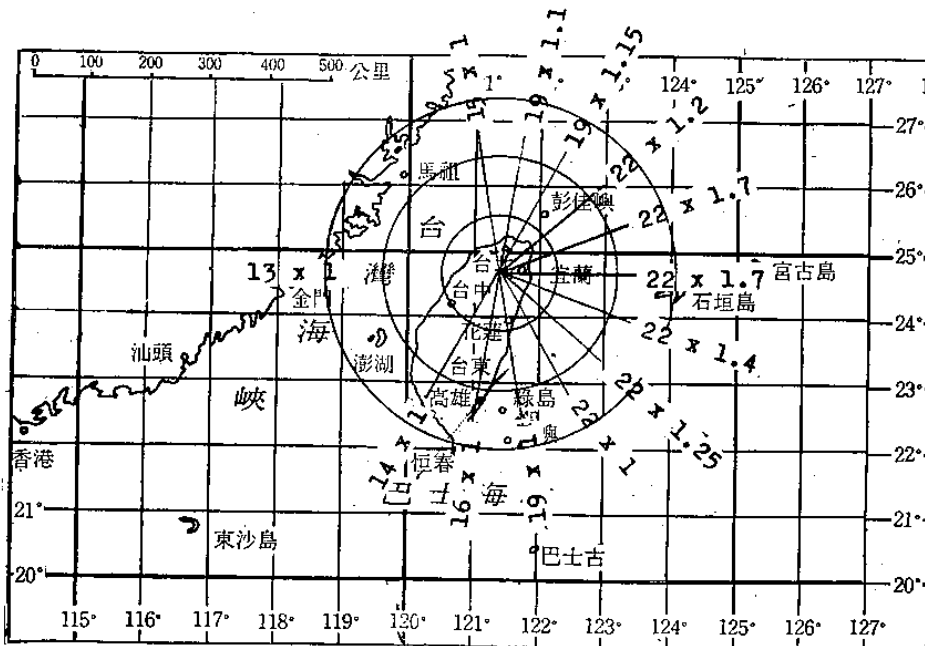
四 計算實例

(一) 石門水庫

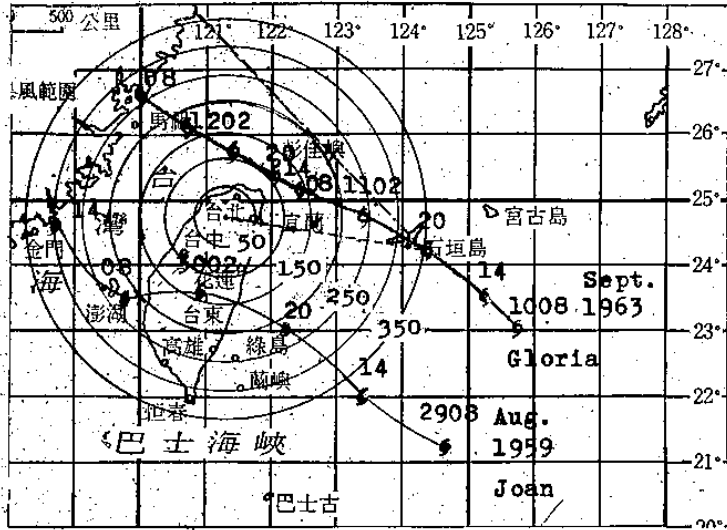
石門水庫之地形如圖三所示，其南側之山峯海拔高達 $3,520$ 公尺，東北角者約為 $1,212$ 公尺，西北側者為 578 公尺，由北方來之潤濕氣流可由低處流入，逐漸沿山坡上昇，故水庫區雨量特多。如水庫上空盛行東北風，則因東北方山高由 $1,200$ 公尺向南延伸至 $2500-3000$ 公尺，因此水庫集水區雨量遠較北風時為鮮。圖四所示者為颱風中心所在方位與地形修正係數之關係，當颱風中心位於石垣與宮古島附近時，低層大氣中之平均水氣含量最高，約為 22g/kg （有時可能大於此數），地形修正係數為 1.7 （ 1 表示低層濕空氣厚度 $1,000$ 公尺， 0.7 表示氣流因山坡影響平均再上昇 700 公尺），當颱風中心位於石門水庫之東側時，水庫上空盛行北至北北西風，集水區豪雨如注。當颱風中心進入臺灣海峽內時，因水庫之東南方有中央山脈阻擋，雨量稀少， \bar{q} 值僅有 13g/kg ，地形修正係數為“ 1 ”。同時海峽內颱風之威力銳減，集水區之雨勢終止。地形修正係數圖之右側間隔，以 20° 為準。半徑上之數值代表該半徑左右各 10° 範圍內所用之數值，圖五、六、七為雨量計算實例中所用之颱風路徑。「葛樂禮」與「瓊安」兩颱風均為強烈型，圖五，前者於基隆近海過境，石門水庫集水區三日總雨量達 1360 公厘。如用模型颱風預報法，其逐日逐時雨量之分佈如表一(b)所示。



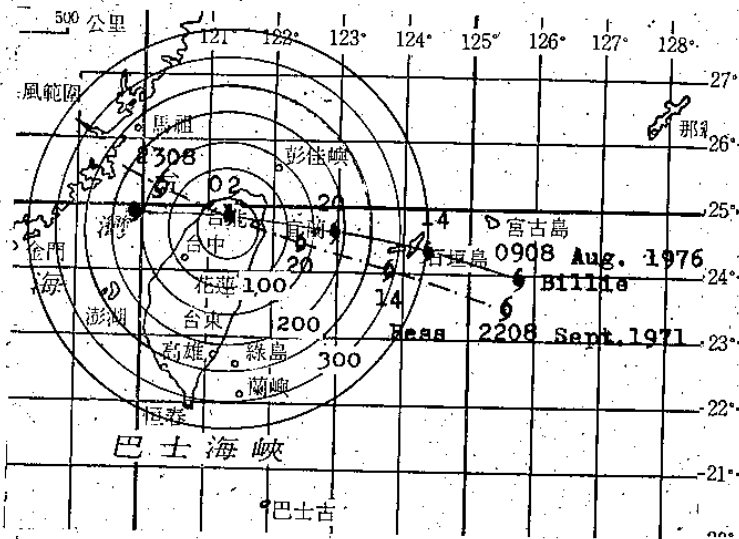
圖三：石門水庫集水區四周山峯高度分佈圖，高度單位公尺。



圖四：石門水庫集水區雨量計算時應用之地形修正係數與平均水氣量（克／公斤）



圖五：「葛樂禮」與「瓊安」之路徑圖，段線—設颱風向西位移；段點線—設颱風轉向西北路徑。



圖六：「畢莉」與「貝絲」路徑。

第一表(a)：「葛樂禮」模型颱風

Typhoon Gloria Model, $p_c = 930$ mb $r_0 = 50$ km $a = 82$ mb.

距離	風速	輻合項	
r_n	v_n	$(v_n r_n - v_{n+1} r_{n+1}) / (r_n^2 - r_{n+1}^2)$	
$n=1,2,3..$			
(km)	(m/s)	Convergence term	
500	15.4		
450	16.9	(500 - 450 km)	0.0020
400	18.7	(450 - 400)	0.0030
350	20.9	(400 - 350)	0.0034
300	23.9	(350 - 300)	0.0055
250	27.6	(300 - 250)	0.0098
200	32.6	(250 - 200)	0.0169
150	37.0	(200 - 150)	0.0554
100	44.5	(150 - 100)	0.0880
90	46.4	(100 - 90)	0.1440
75	48.2	(90 - 75)	0.2270
50	52.0	(75 - 50)	0.3250

第一表(b)：「葛樂禮」計算雨量

距離	時間	時距	平均水氣含量	輻合項	雨量	累積雨量
r	time	time inter.	q	convergence term	rainfall	accu.
500	101100 L					
450	1500	4	22 x 1.4	0.0020	6	6
400	1700	2	22 x 1.4	0.0030	5	11
350	2000	3	22 x 1.4	0.0034	7	18
300	2300	3	22 x 1.7	0.0055	15	33
250	110130	2:30	22 x 1.7	0.0098	22	55
200	0400	2:30	22 x 1.7	0.0169	39	94
150	0730	3:30	22 x 1.7	0.0554	178	272
100	1400	6:30	22 x 1.7	0.088	524	796
100	2000	6	22 x 1.2	0.088	282	1078
150	120001	4	19 x 1.1	0.088	180	1258
200	0400	4	15 x 1	0.0554	81	1339
250	0730	3:30	15 x 1	0.0169	22	1361 mm

第一表(c)：「葛樂禮」向西位移預測雨量

距離	時間	經過時間	輻合項	水氣含量	雨量	累積雨量
400	101700					
350	2000	3	0.0034	22 x 1.7	9	9
300	2230	2.30	0.0055		13	22
250	110100	2.30	0.0098		22	44
200	0300	2	0.0169		31	75
150	0530	2.30	0.0554		127	202
100	0800	2.30	0.0880		202	404
90	0830	0.30	0.1440		66	470
75	1000	1.30	0.2270		312	782
50	1130	1.30	0.3250		(447)	(1229)

第一表(d)：「葛樂禮」向西北位移預測雨量

距離	時間	經過時間	輻合項	雨量	累積雨量
400	101700				
350	2000	3	0.0034	22 x 1.7	9
300	2300	3	0.0055		15
250	110300	4	0.0098		36
200	0800	5	0.0169		77
200	1400	6	0.0169	22 x 1.2	66
250	2000	6	0.0169	22 x 1.15	54

第二表(a)：「貝絲」「畢莉」與「瓊安」颱風模型

Typhoon Bess, Billie and Joan Model $p_c = 930$ mb $r_0 = 40$ km
 $a = 80$ mb

距離	風速	輻合項
r	v	Convergence term
400	16	
350	18	0.0027
300	20.2	0.0074
250	23.0	0.0112
200	27.0	0.0160
150	33.0	0.0260
100	40.0	0.0760
50	48	0.2130
40	50	0.4400

第二表(b)：「貝絲」颱風雨量計算表

距離	時間	所經時間	地形修正 與水氣量	輻合項	雨量	累積雨量
400	221100					
350	1230	1:30	22 x 1.7	0.0027	4	4
300	1400	1:30		0.0074	10	14
250	1600	2		0.0112	21	35
200	1730	1:30		0.0160	22	57
150	1930	2		0.0260	48	105
100	2130	2		0.0760	139	244
50	2300	1:30		0.213	293	537

第二表(c)：「畢莉」颱風雨量計算表

r	time	time inter,	\bar{q}	convergence term	rainfall	accu.
距離	時間	經過時間	水氣量	輻合項	雨量	累積雨量
400	091200					
350	1400	2	22 x 1.7	0.0027	5	5
300	1600	2		0.0074	14	19
250	1800	2		0.0112	21	40
200	2000	2		0.0160	29	69
150	2130	1:30		0.0260	36	105
100	2300	1:30		0.0760	104	209
50	10030	1:30		0.213	293	502 mm

第二表(d)：「瓊安」颱風雨量計算表

距離	r	time	time inter.	\bar{q}	convergence term	rainfall	累積雨量 accu.
400	291400						
350	1530	1:30	22 x 1	0.0027	2	2	
300	1700	1:30		0.0074	6	8	
250	1900	2		0.0112	12	20	
200	2100	2	19 x 1	0.0160	15	35	
150	0001	3		0.0260	36	71 mm	

第三表(a)：「艾爾西」模型颱風

Super typhoon Elsie model, $p_c = 895$ mb $r_o = 65$ km $a = 118$ mb

距離	風速	輻合項
r	v	convergence term
650	17	
600	18	
550	20	
500	22	
450	25	
400	28	0.0010
350	31	0.0090
300	34	0.0140
250	39	0.0240
200	44	0.0420
150	49	0.0830
100	58	0.1240
65	63	0.2952

第三表(b)：「艾爾西」颱風雨量計算表

距離	時間	所經時間	水氣量	輻合項	雨量	累積雨量
	time	time inter.	\bar{q}	convergence term	rainfall	accu.
450	261100					
400	1300	2	22 x 1.4	0.0010	2	2
350	1600	3		0.0090	20	22
300	1800	2		0.0140	21	43
250	2000	2		0.0240	36	79
200	2130	1:30		0.0420	48	127
150	2300	1:30		0.0830	94	221
100	270030	1:30		0.1240	140	361
65	0200	1:30		0.2950	334	695 mm

第 4 (a) : 「瑪麗」颱風模型

Typhoon Mary Model. $p_c = 930 \text{ mb}$ $r_0 = 20 \text{ km}$ $a = 83 \text{ mb}$

距離 r	風速 v	輻合項 convergence term
250	15.5	
200	19.0	0.0030
150	24.4	0.0080
100	31.0	0.045
50	44.0	0.120
20	53	0.543

第四表(b) : 「瑪麗」颱風雨量計算表

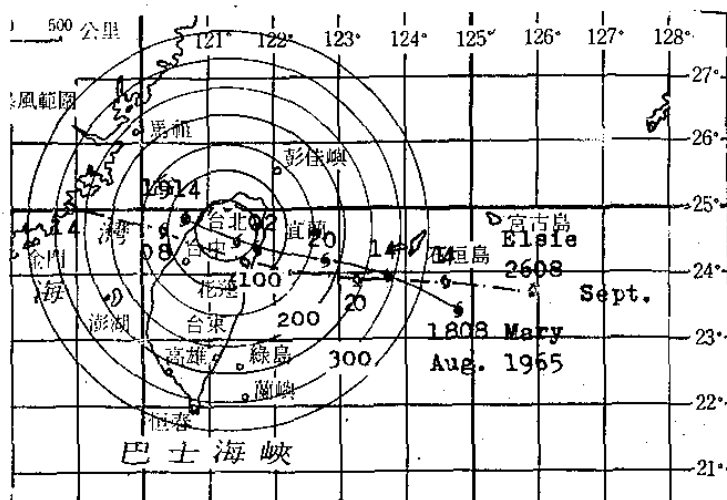
距離 r	時間 time	時距 time inter.	水氣量 \bar{q}	輻合項 convergence term	雨量 rainfall	累積雨量 accu.
250	181600		22 x 1.4			
200	1900	3		0.0030	7	7
150	2130	2:30		0.0080	15	22
100	0001	2:30		0.0450	85	107
50	190200	2		0.120	181	288

根據實測之「葛樂禮」路徑，按50公里一間距計算水庫集水區之雨量，表一(b)第一行與(a)內第一行相同；第二行是時間，表示颱風「葛樂禮」中心距石門水庫各距離之時間；第三行是兩相鄰時間間之時距；第四行是水氣含量與地形修正係數(見圖四)；第五行為輻合項與表一(a)第三行一致；第六行為圓環區域內之雨量；第七行為累積雨量。1361公厘為計算所得之雨量，與實測之流域平均雨量1360mm幾相等。「瓊安」颱風於台東縣新港鎮登陸，水庫集水區平均雨量不及百公厘。圖六所示者為強烈颱風「畢莉」與「貝絲」行徑，該兩颱風均於宜蘭附近登陸，其中心曾越過水庫上空。「貝絲」過境時，石門水庫集水區平均實測雨量為532公厘(蔗，66年)，「畢莉」者為490公厘，由圖六可知，「畢莉」由092000L至石門水庫上空時，因位移速度較「貝絲」快，故雨量少42公厘。表二(a)為「貝絲」、「畢莉」與「瓊安」三巨型強烈颱風之模型，其中心氣壓為930mb，七級風暴風半徑高達400km。表二(b)，是根據「貝絲」實際測報路徑與時間計算所得之雨量，537公厘(實測值為532mm)；表二(c)為「畢莉」，計算雨量為502公厘(實測者為490mm)。表二(d)，「瓊安」計算雨量為71公厘(實測者僅知小於百公厘)。圖七所示者為超強烈颱風「艾爾西」與強烈颱風「瑪麗」登陸前後之路徑。前者七級風暴風半徑遠達500公里，集水區平均雨量為492公厘，與上述之「畢莉」幾相同；「瑪麗」之暴風半徑為200公里，集水區雨量僅288公厘。「艾爾西」之模型颱風如表三(a)所示，中心最低氣壓僅895mb，較上述之三強烈颱風最低中心氣壓930mb尚低35mb。但此颱風接近臺灣本島時威力減弱，其計算所得雨量較實測者為多(括號內者)。表四(a)為小型強烈颱風之模型，其七級風暴風半徑僅200公里，當此颱風中心登陸時，威力銳減，雨量較少，表四(b)為雨量計算值。

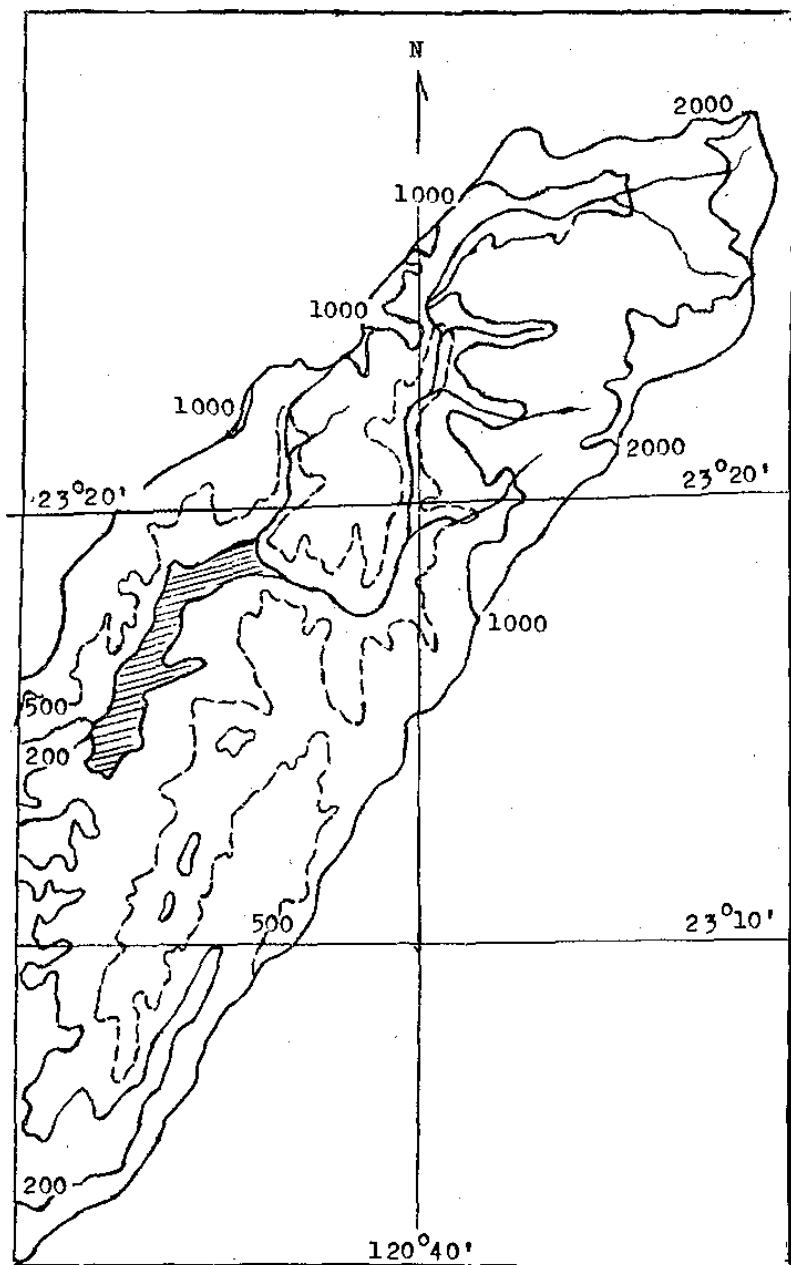
(二) 曾文水庫

曾文水庫集水區之地形如圖八所示，呈西南東北向，水庫西南方小丘海拔僅200公尺，而其上游均在2,000公尺以上，故西南風時集水區內雨量最多。其各方位之地形修正係數如圖九。當颱風中心位於曾文水庫西北方時雨量特多；所幸臺灣海峽內之颱風威力均已減弱。圖九中並繪有四次颱風路徑，最北者為「葛樂禮」(1963)，與圖二中者相同；次之為「芙瑞達」(1956)，臺灣西部曾發生大水；「瓊安」(1959)中心甚接近水庫集水區；椰定(1968)中心由恆春附近海面西運行至南海。

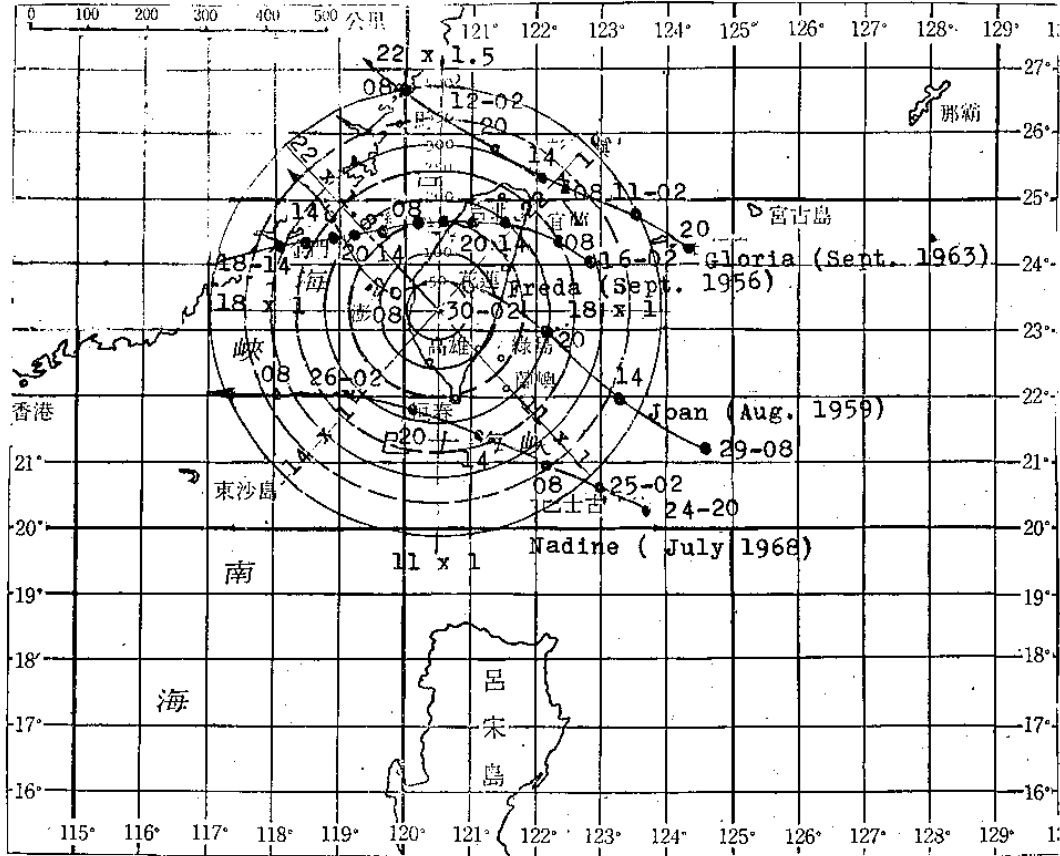
曾文水庫集水區之雨量計算法較石門水庫者為複雜。當台灣海峽內盛行西南風時，因海峽南部呈“八”字型，故該氣流於抵達水庫上空時，已因輻合而有上升作用，增加雨量，此點於計算水庫區雨量時應予考慮。颱風中心與曾文水庫間之距離以50公里為準，當颱風中心位於水庫之西北象限內時，(3)式中之輻合項應增加一級，但最小半徑以不低於50公里為原則。表五(a)所示者乃為「芙瑞達」模型颱風，表五(b)為曾文水庫集水區雨量計算法。參閱圖九，當「芙瑞達」中心由162000L位置向西位移至170200L時，其與水庫間之距離已接近150公里圓環，是時海峽風向已由西北轉為西南，應用100-150公里間距內之輻合項0.027而非0.004；由170800-2000L時，實際間距為150-200公里，因海峽內為西南風，輻合項增加一級，故仍用0.027。按表五(b)「芙瑞達」過境時，二日平均累積雨量高達651公厘，據實測資料，楠西鄉照興村二日總雨量為813公厘，楠西村者為480公厘。如有同法計算「葛樂禮」颱風於臺灣北部近海過境時，曾文水庫集水區內之平均雨量約為107公厘。「瓊安」颱風於新港登陸後，威力銳減，變為輕度颱風。表六為輕度颱風之一種雨量計算模式，「瓊安」颱風越過臺灣海峽時，曾文水庫集水區雨量約為200公厘。中度颱風「椰定」越過恆春近海時，因曾文水庫位於中央山脈之背風區，故雨量稀少。



圖七：超強烈颱風「艾爾西」與小半徑強烈颱風「瑪麗」路徑。



圖八：曾文水庫集水區地形，海拔高度以公尺為單位。



圖九：曾文水庫集水區地形修正係數與平均水氣量 (g/kg)，及「葛樂禮」、「芙瑞達」、「瓊安」與「娜定」颱風路徑。

表五(a)「芙瑞達」模型颱風

Typhoon Freda Model, $p_c = 980$ mb $r_0 = 20$ km $a = 33$ mb

距離 r (km)	風速 v (m/s)	輻合項 $(r_1 v_1 - r_2 v_2) / (r_1^2 - r_2^2)$ Convergence term	
250	9.3		
200	11.5	(250-200 km)	0.001
150	14.9	(200-150)	0.004
100	19.0	(150-100)	0.027
50	27.0	(100- 50)	0.073
20	32.6	(50- 20)	0.190

第五表(b): 「芙瑞達」颱風

距離	時間	時距	水氣量	輻合項	區域雨量	累積雨量
250	160800 L					
200	1400	6	22 x 1	0.001	7	
150	2000	6	22 x 1	0.004	13	16
150	170200	6	22 x 1.5	0.027 (100-*) 150	131	147
150	0800	6	22 x 1.5	0.027	131	278
200	2000	12	22 x 1.8	0.027	314	592
250	180600	10	22 x 1.8	0.004 (150- 200)	39	631

*當颱風中心位於曾文水庫之正北方時，台灣海峽內之風向開始轉為西南，是時輻合項應昇高一級。

表六：輕度颱風模型

A tropical storm model

$p_c = 985$ $r_0 = 20$ $a = 25$ mb

距離 r	風速 v	輻合項 convergence term
150	13	
100	17	0.0020
50	24	0.0667
20	29	0.2950

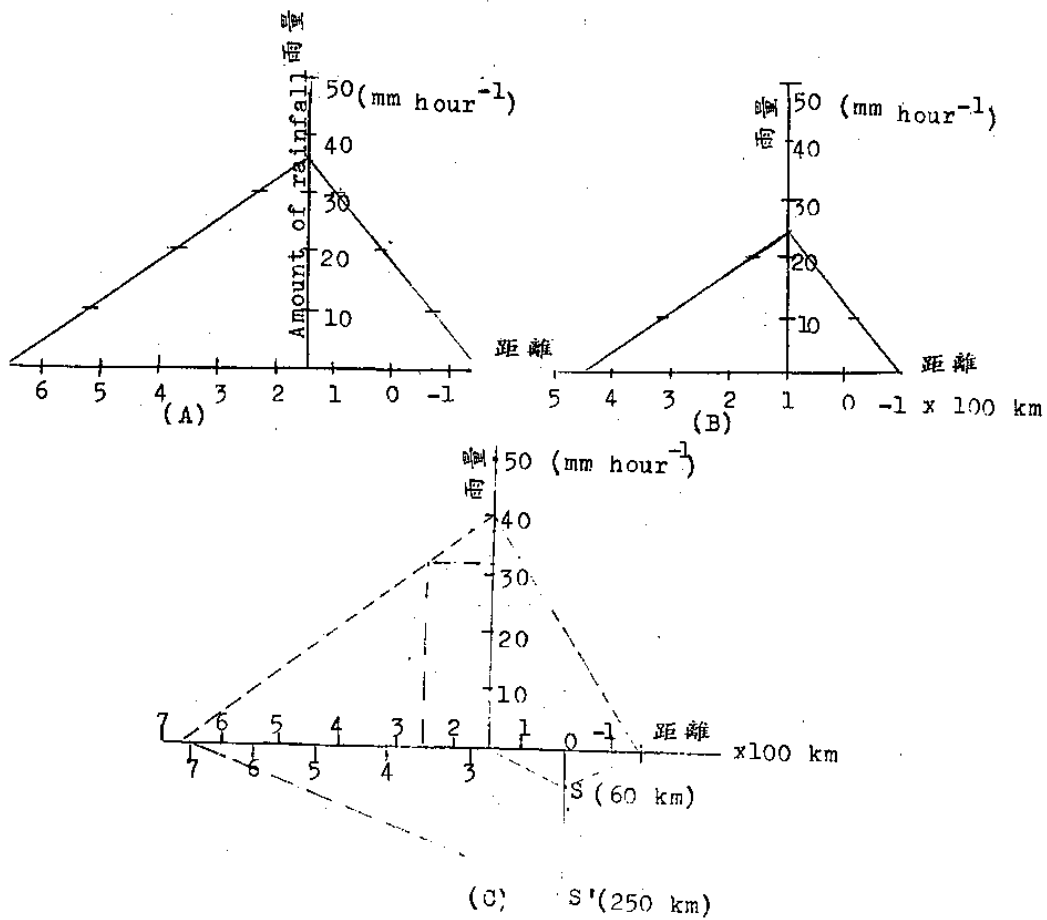
五 颱風環流之變型與雨量

當颱風接近臺灣本島時，因地形影響而使颱風環流變型，根據實測資料統計（利用桃園探空報告），知石門水庫集水區上空七級暴風出現之時間或距離，遠在圓型七級暴風半徑之前，通常約超過百分之五十。設颱風在海面上時七級暴風半徑為500公里，則當颱風中心由沖繩區接近台灣時，石門水庫距颱風中心約750公里時即有七級風，並開始下雨，此點對水庫之操作非常重要，又當颱風中心接近台灣本島時，因中央山脈阻擋，部分圓型環流為之破壞，故颱風威力減弱，暴風半徑愈大，其開始減弱之時間愈早；原為強烈颱風，其中心接近陸地時常減弱為中度颱風；或由中度而降為輕度。每當颱風中心接近台灣東部沿海，或北部近海時，水庫距中心約三分之一暴風半徑時，石門區雨量最大，由此石門區氣壓雖仍繼續下降（表示颱風威力減弱）；當登陸後之颱風中心越過石門水庫上空時，雨勢繼續減弱，至颱風中心越過石門水庫三分之一暴風半徑時，雨即終止。

圖十(A)(B)與(C)表示颱風中心接近台灣本島與越過水庫上空或於接近後他移時，石門水庫集水區每小時平均雨量分佈圖。圖十(A)表示七級風暴風半徑為450km，石門水庫於距颱風中心約675km時開始下雨，當水庫距颱風中心約150km ($450 \times \frac{1}{3}$)時雨勢最大，是時雨量可由(3)式計算200-150km 每小時雨量即得。由此因颱風強度減弱而雨量遞減；當颱風中心越過水庫上空(O)空到達150公里時雨停。圖十(B)表示七級風暴風半徑為300公里之颱風，當水庫距颱風中心約450公里時，可能開始下雨，至越過水庫並前移至100km處雨停。圖十(C)表示颱風中心(O)距水庫最近時約有60km，但水庫集水區距颱風中心150km時雨量最多。如颱風中心(O)距水庫(S)之最近距離大於150km時，設等於250km，則每小時雨量如該圖中段雙點線所示，每小時32公厘餘類推。圖十一所示者乃為六十年九月二十二日強烈颱風「貝絲」通過石門水庫上空時之雨量分佈。該颱風中心遠在距水庫千公里外時，即有陣雨，而於300-500公里距離時雨量反小，其前期超額雨量，或可補300-500公里階段之不足。圖十二為五十二年九月十日強烈颱風越過臺灣北部近海時，石門水庫集水區之平均雨量。

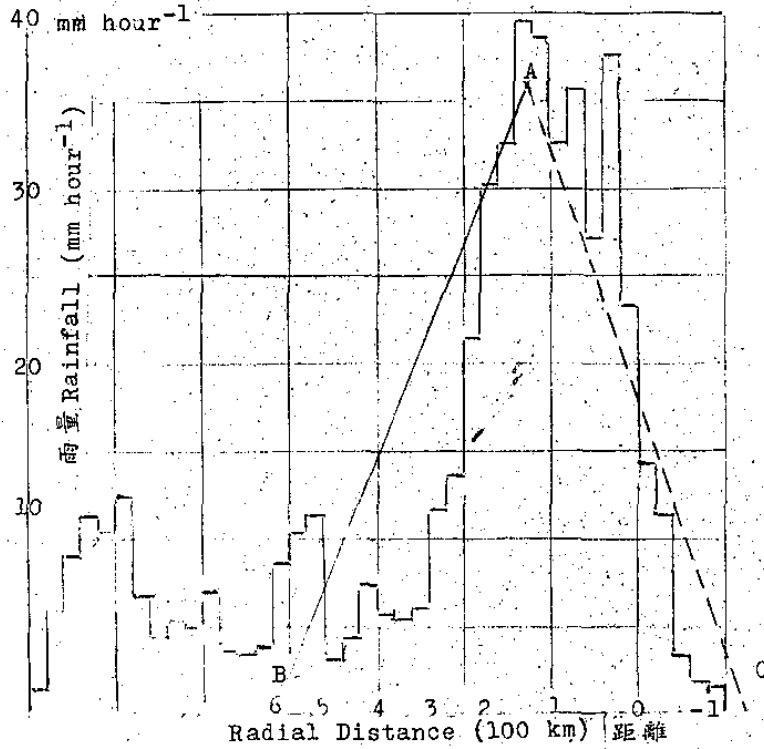
六 結論

本研究報告所用之基本資料，石門水庫者共二十六年（41-66年），曾文水庫者共二十一年（25-45年）用以核對地形修正係數。颱風過境時計算雨量與實測流域平均雨量之誤差均在±20%之範圍內，對於水庫操作，俾益非淺，其預測準確度，則待來日實測資料之證明

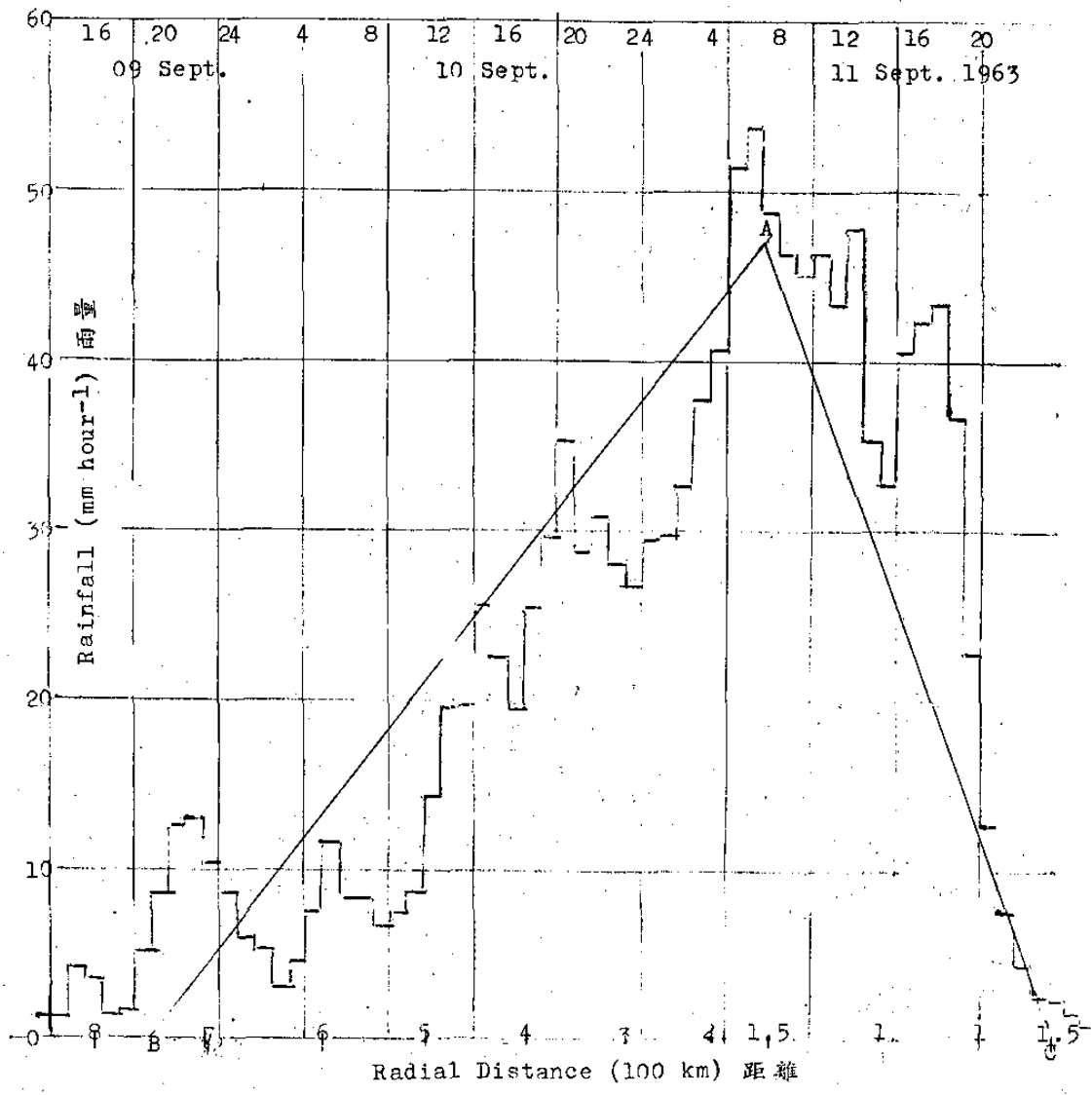


圖十：颱風過境時石門水庫集水區每小時雨量分佈模式，(A)七級風暴風半徑為 450km，(B) 300km，颱風中心經過石門上空(C)亦為 450km，唯颱風中心由台灣北部進海越過，S 與 S' 均代表水庫與颱風中心間之相對位置。

"Typhoon Bess"
 16 20 24 4 8 12 16 20 24 4
 21 Sept. 22 Sept 1971



圖十一：六十年九月二十二日颱風「貝絲」過境時石門水庫集水區內每小時實測平均雨量。該颱風之七級風暴風半徑為400km, A點表示距颱風中心133km時 ($400 \times \frac{1}{3}$) 之計算雨量 ($400 \times \frac{1}{3}$)，B點是由 ($400 + 400 \times \frac{1}{2}$) km 獲得，C點距颱風中心過境後之133km。 Δ 區內所表示之總雨量，與颱風中心位移之速度有關。



圖十二：五十二年九月十一日颱風「葛樂禮」越過基隆近海時，石門集水區內每小時平均雨量，A.B. 與C點之意義與上圖同。

七 參考文獻

- (一) 中央氣象局颱風年報，中央氣象局發行。
- (二) 臺灣省降水量記錄 經濟部水資源統一規劃委員會（四十七年三月）
- (三) 熊汝統，六十六年：暴雨對石門水庫計劃區域環境之影響，暴雨對環境之影響研討會論文集。
- (四) 王崇岳六十六年：颱風暴風圈內陣風與豪雨預測法，氣象學報二十三卷第二期。
- (五) Riehl, H., 1946 : Tropical Meteorology, p.294 (McGraw Hill, New York, 1954).
- (六) Wang, C.Y. Griffith, 1978 : Sea-level pressure profile and gusts within a typhoon circulation, Monthly Weather Review 106, July 1978.
- Schloemer, Robert W., 1954: Analysis and synthesis of hurricane wind patterns over lake Okeechobee, Florida, Hydro-meteorological Report No. 31, U.S. Department of Commerce, Weather Bureau.

An Objective Method of Rainfall Forecasting
in Watersheds of Reservoirs within a Typhoon Circulation

Griffith C. Y. Wang

Abstract

Based on the theory of continuity in moisture the rainfall (minus the evaporation) within a typhoon of specific radius must equal the difference between inward and outward transport of moisture across periphery of the storm. Since the outflow takes place in the high troposphere, where the moisture content of the air is less than 10 per cent that in the subcloud layer, we can neglect it for an order-of-magnitude computation; while for inflow it can be evaluated from the gradient wind speeds which are obtained from the pressure profile of the Model Typhoon (Wang, 1978). The inflow of moisture across typhoon's periphery of radius r is equal to the circumference $2\pi r$ of the circulation multiplied by the mean specific humidity of the inflow and the mass flux across the periphery. This product divided by the circular area of radius r is equal to the rainfall amount per unit area and time, and the rainfall amount per unit area inside the ring of two concentric circles with different radii is equal to the difference of total rainfalls within respective circular areas divided by the circular area difference.