

颱風侵襲機率可行性研究

李清勝 柳中明

謝信良

劉麗真

台灣大學大氣科學系

中央氣象局

台灣大學大氣科學系

摘要

颱風侵襲機率預報除可提供定量及較長時間的預報外，並可供使用者了解颱風路徑預報的不確定性。本文參考美國國家氣象局（National Weather Service）機率預報原則，利用HURRAN法做台灣地區颱風侵襲機率預報的初步研究。

NWS的颱風侵襲機率預報乃針對某---特定地點，以116公里為侵襲範圍半徑，計算該地未來某時段內（以3小時為間隔），受颱風侵襲之機率。本研究則選擇46公里為侵襲範圍半徑，24小時為間隔，自1980年至1985年中，選出6個各具特色的颱風個案做嘗試性之機率預報。結果顯示，侵襲機率值在時間和空間的分布，可反應颱風最有可能登陸的地區和時間。值得注意的是，縱使預報之颱風路徑不通過台灣，台灣各地區的颱風侵襲機率未必均為0。對行徑怪異的颱風而言，機率預報效果較差，但本預報所顯示的不確定性，正好可提供使用者颱風路徑預報可能不準確的先期預警。

一、前言

位於西北太平洋的台灣，為颱風行徑的要衝，每年侵襲的颱風約在3~4個，每次的颱風侵襲，皆造成台灣各地的嚴重損失。以1987年10月琳恩颱風為例，其中心雖未通過台灣，卻造成了台灣地區51人死亡，北部地區嚴重水災，總計財產損失達二十六億六千四百萬台幣（蔡和張，1987）。隨著台灣經濟的發展，每次颱風侵襲所造成的財物和人力損失越來越高，相對地，防颱準備的重要性也逐年提升，因此，颱風警報所扮演防患於未然的角色也益受重視。

中央氣象局目前所發布的颱風警報有兩種，分別為海上颱風警報及陸上颱風警報（參見表一）。當預測二十四小時內，颱風的暴風範圍可能侵襲台灣及金門、馬祖一百公里以內海域時，即發布「海上颱風警報」。當預測十八小時內，颱風的暴風範圍可能侵襲台灣，及金門、馬祖陸上時，則發布「海上、陸上颱風警報」，之後每隔六小時發布一次至警報解除為止。

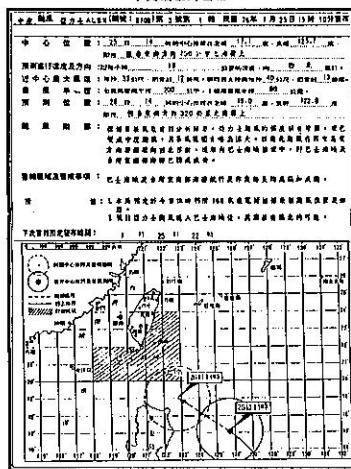
近年來台灣因為社會工商業發達，人們為了使天災損失減低到最少，所需要的防範與疏散時間也相對地增加，尤其對某些特定對象（例如台電核能電廠、中油、探油船、中鋼和水庫等）而言益形重要。

解決這些問題，並非單單延長預報時間即可，根據Mcbride和Holland（1987）研究指出，自1980~1984年，西北太平洋區熱帶氣旋的平均預報誤差，24小時為211公里，48小時為442公里，72小時達679公里，中央氣象局24小時誤差則為177公里（李，1988），誤差這樣大的預報，勢必無法取信於民，則颱風警報等於高喊「狼來了」。

另外，傳統的颱風警報只有定性結論。對政府機關（例如，決定放假與否的人事行政局及防災救災單位）和公私企業（如上述台電、中油等）決策者而言，他們迫切需要的可能是：防颱準備費用相對於假設颱風果真侵襲時所造成損失（潛在損失）的分析，然後由這種定量的分析，決定必要時，何地

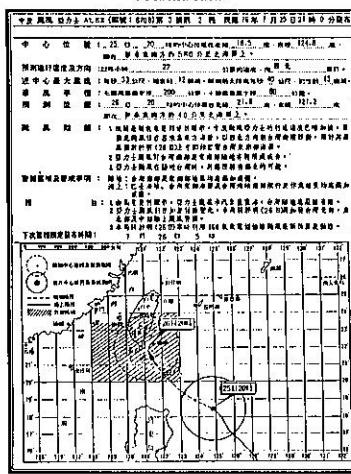
海上颱風警報

中央氣象局發布



海上陸上颱風警報

中央氣象局發布



表一 中央氣象局所發布的海上颱風警報單及海上陸上颱風警報單。此二警報單格式完全一樣，僅顏色不同，海上颱風警報單為藍色，海上陸上颱風警報單是紅色。（資料來源：中央氣象局）

該在何時，採取什麼樣的防颱措施。

針對以上各點，在 1983 年，美國國家氣象局和美國國家颶風中心（ NHC ）在傳統颶風預報外，另又發布了颶風侵襲機率預報。侵襲機率預報乃對每一特定城市，提供颶風中心經過一特定距離可能性的定量資訊；其警報單如圖一所示，其中各城市名稱旁邊的數字代表未來 48 小時內遭受颶風侵襲的機率。

NHC 所採用的颶風機率預報方法，不但可以提供社會大眾定量與較長時間的颶風動向資訊，在公家機關或私人事業機構的決策者能據此做快速而正確的防颱措施，社會大眾更可以由機率預報的精神充分了解颶風預報路徑本身的不確定性，從而提高警覺，歸納出有利的防颱結論，減少生命、財產損失，並藉此提高民衆對中央氣象局颶風警報之採用度及信賴度。

本研究將介紹並採用 NWS 之颶風機率預報，針對 1962 — 1987 年台灣地區颶風路徑預報誤差之校驗與各預報方法之評估結果（李， 1988 ），將統計評估後，效果最好的颶風預報方法（ HURRAN 法）用來做颶風侵襲機率預報，在台灣地區應用之初步研究。

二、颶風機率預報簡介

計算颶風侵襲機率的方法有很多，其中大部分皆以歷年的氣候記錄為基礎而發展出來（ Cry , 1961; Hope and Neumann, 1968 及 1971 ; Simpson and Lawrence, 1971 ; Jarvinen and Neumann, 1978 ）。 1958 年， S. J. Kimball 發展出颶風期間，西北太平洋地區颶風強度風速（ hurricane force wind ）出現之機率模式。 1962 年， Appleman 承續了 Kimball 的工作，但不同的是， Appleman 用了 3 個與風暴緯度有關的分布，與 Kimball 只用單一預報誤差場分布有異，後來， Appleman 且將此預報模式應用到西北大西洋區。 1970 年， Hope 和 Numann 將這些方法改良後，發展了以機率形式對颶風未來移動的統計預報模式。約 20 年後， Jarrell (1978) 採用了與 Kimball 大致相同的方法，利用現代電腦及更精細的預報誤差分布（ forecast error distribution ）估計，發展一操作程式來估計選定的某一些區域的熱帶氣旋“侵襲機率”。

當一颶風中心移經某一地點之右 93 公里（ 50 海浬），或其左約 139 公里（ 75 海浬）之區域內時（

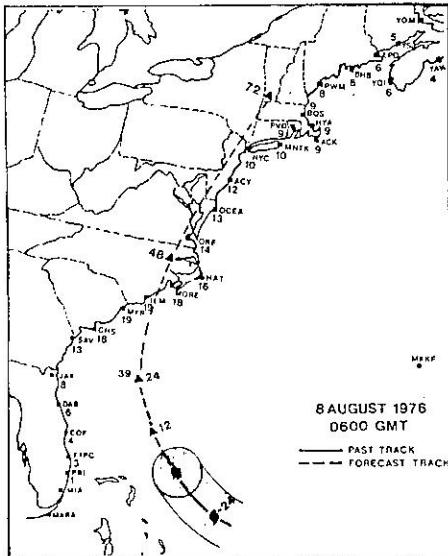


圖 1 NWS 颱風侵襲機率警報單，其中各城市名字邊的數字代表48小時內的颱風侵襲機率。
(摘自 Sheets, R. C., 1985)

因為颱風行進方向之右邊風速較大)，此地點即受「颱風侵襲」。為了解颱風侵襲機率到底代表多大的準確性，以颱風 Frederic (1979, 9, 11) 為例，假設我們可以從過去很長的一段時間，例如100,000 年的歷史颱風資料中，找出100個過去24小時內與 Frederic 路徑相仿的颱風，經平移處理，它們未來48小時的位置如圖 2，我們利用雙變數（經度、緯度）常態分布算出並繪出99%橢圓機率圖（圖 3），此圖意謂48小時後，颱風 Frederic 移動到此橢圓範圍內的機率是99%，同理我們可以畫出不同大小（如50%）的橢圓機率圖。假如把99%的橢圓機率圖割分成一些機率相等的小格子（圖 4），則利用圖 4 我們可以直接算出某一選定區域受颱風侵襲之機率：以圖 5 為例，陰影區每一小格之機率相加，即此區48小時後的颱風侵襲機率。

根據前述的「侵襲」定義，為簡便起見，我們以 116 公里 (62.5 海哩) 為半徑，對一城市畫出侵襲範圍，則此圓形區域及沿著颱風行進方向之外延區（圖 6）所占的橢圓格數即其侵襲機率。其中外延區代表沿預測的颱風移動方向，48小時後已經通過侵襲範圍的颱風，由於它們也引起了有效侵襲區域內的颱風狀況，故我們一併考慮此外延區域的

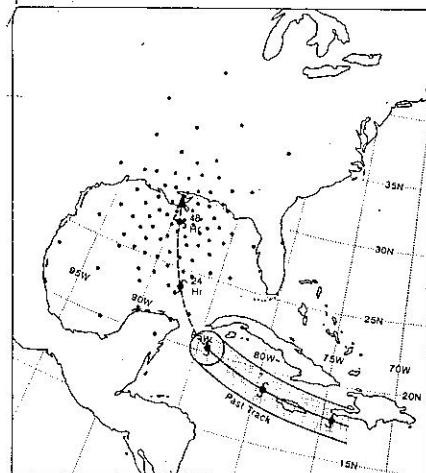


圖 2 圖中黑點乃與 Frederic 過去路徑相似的歷史颱風，其48小時後的颱風中心落點。圖中陰影區為 Frederic 過去路徑，圓圈中心乃颱風現在位置，虛線是預測路徑。(摘自 Carter, T. M., 1983)

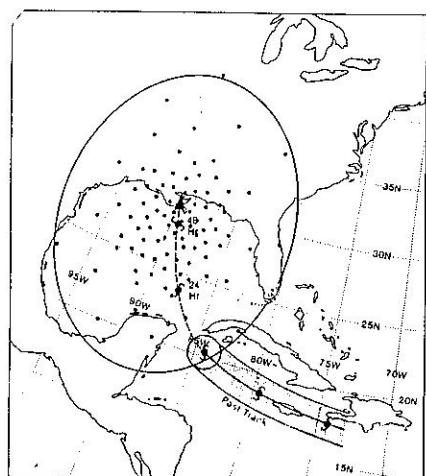


圖 3 歷史颱風 48 小時後落點的 99% 機率橢圓。圖中 100 點乃與 Frederic 過去路徑相似的颱風。(摘自 Carter, T. M., 1983)

侵襲機率。

NWS 計算颱風侵襲機率的方法，基本上是在預測的 72 小時內，取 3 小時為預報時間間隔畫橢圓機率圖，按上述方法定出侵襲範圍及外延區，由 3 小時預報開始往後累積出侵襲機率（重疊部份僅算前一時間）。以 1982 年 7 月 27 日 00Z 之安迪颱風為例，圖 7 乃在未來 48 小時內，間隔為 6 小時的 55

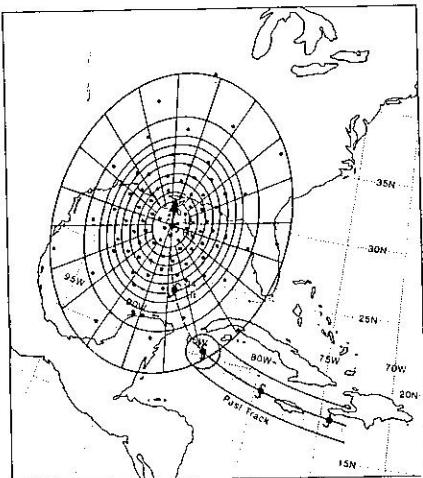


圖 4 將歷史颱風 48 小時後落點的 99% 機率橢圓劃分成若干小格子，除了最內及最外一圓橢圓外，其它每一小格的機率均為 0.5%。(摘自 Carter, T.M., 1983)

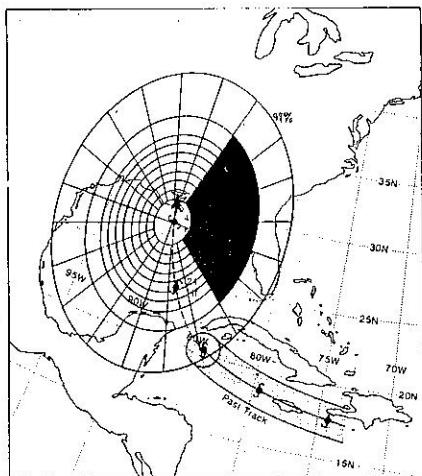


圖 5 把陰影區每一小格的機率相加，即此區所受颱風侵襲的機率。(摘自 Carter, T.M., 1983)

%橢圓機率圖，計算侵襲機率時，重疊部份以預報時間較近的橢圓為準，再加上其後的較大橢圓的機率增量；當預報時間與真實時間愈近，其橢圓機率圖愈小，對同樣的面積而言，它所占的權重也就較大，而愈往後的橢圓機率圖所占的權重愈小。事實上，此時間間隔應為無限小，如此所累積出的機率才是最接近理想的。由於本報告旨在評估颱風機率預報的可行性，有於人力及時間考慮而採用 24 小時

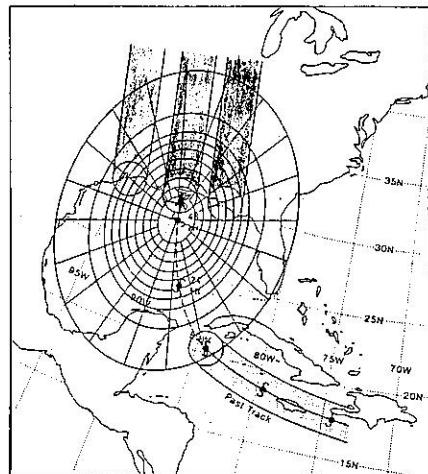


圖 6 計算某區域或某城市的侵襲機率範例。說明見本文。(摘自 Carter, T.M., 1983)

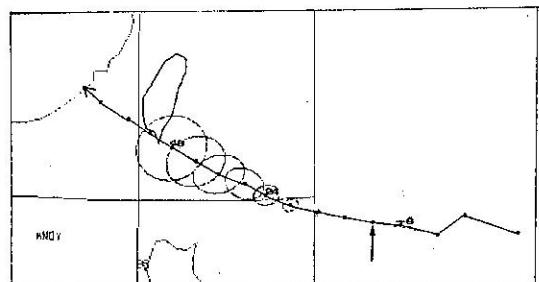


圖 7 以 1982 年 7 月 27 日 00Z 的安迪颱風為例作預報，每隔 6 小時畫 55% 的橢圓機率圖。(箭頭 “↑” 指向目前位置)

為時間間隔，同時因此間隔稍大，故橢圓機率圖重疊部分所占機率小，在此可省略不計而不影響定性結果。

表二為基於上述原則，所算出 Frederic 對各城市之侵襲機率（預報開始時間為 9 月 11 日 07pm），我們可以看出 Gulfport 從週二（9 月 11 日）下午 7 時到週三下午 7 時受颱風侵襲之機率為 14%；至週四下午則為 $14 + 6 + 1 = 21\%$ ，而到週五晚上 7 時的颱風侵襲機率為 $14 + 6 + 1 + 1 = 22\%$ 。

三、預報方法與歷史颱風的選取

目前中央氣象局所採用的四種颱風路徑客觀預報法中，PC 法 (Aoki & Nomoto, 1977) 和 CLI

HURRICANE PROBABILITY TABLE WHICH WILL BE APPENDED TO THE BOTTOM OF THE PUBLIC ADVISORY.						
PUBLIC ADVISORY # 52 ISSUED AT 9:30 PM CDT TUE SEPT 11 1979						
HURRICANE FREDERIC PROBABILITIES FOR GUIDANCE IN HURRICANE PROTECTION PLANNING BY GOVERNMENT AND DISASTER OFFICIALS						
CHANCES OF CENTER OF FREDERIC PASSING WITHIN 65 MILES OF LISTED LOCATIONS THROUGH 7 PM CDT FRIDAY SEPTEMBER 14 1979						
CHANCES EXPRESSED IN PER CENT ... TIMES CDT						
ADDITIONAL INCREMENTS						
COASTAL LOCATIONS						
	7 PM THRU 7 PM	7 AM THRU 7 AM	7 PM THRU 7 PM	7 PM THRU 7 PM	TOTAL	
	WED	THU	THU	FRI		
HARBO ISLAND, FL	-	-	-	-	1	
FT. MYERS, FL	-	1	-	-	1	
VERMONT, FL	1	-	1	-	1	
TAMPA, FL	1	1	1	-	4	
CEDAR KEY, FL	2	3	1	-	6	
ST. MARKS, FL	7	5	2	-	14	
MALACHICOLA, FL	16	3	-	-	20	
PANAMA CITY, FL	19	3	-	-	23	
PENSACOLA, FL	21	3	1	-	25	
MOBILE, AL	16	6	1	-	23	
GULFPORT, MS	14	6	1	-	22	
BURAS, LA	16	4	1	-	21	
NEW ORLEANS, LA	8	2	1	-	17	
HOUMA, LA	7	5	3	-	12	
PORT ARTHUR, TX	-	-	3	-	3	
GALVESTON, TX	-	1	2	-	5	
PORT O'CONNOR, TX	-	-	1	-	1	
CORPUS CHRISTI, TX	-	-	1	-	1	
BROWNSVILLE, TX	-	-	-	-	1	
PROBABILITY LESS THAN 1 PER CENT						

表二 表中乃各不同城市在不同時段的侵襲機率，各時段乃取 12 小時間隔。第一欄是沿岸城市名，第二欄乃未來 24 小時內的侵襲機率，第三、四、五欄各為未來 24~36, 36~48, 48~72 小時內的侵襲機率增量，第六欄是未來 72 小時內總共的侵襲機率。（摘自 Carter, T.M., 1983）

PER 法 (Neumann, 1972; 徐, 1977) 著重在颶風的持續性和氣候統計上的特性。HURRAN 法 (胡和陳, 1976) 和 ANALOG 法 (或 CWB-81; 陳, 1980) 則著重於選取特徵相似的歷史颶風，做或然率之統計分析 (類比法)，而在未來 18 小時內的預報，HURRAN 法並且強調了持續性的重要。

根據李 (1988) 的統計結果顯示，HURRAN 法的長期平均預報誤差最小，約 170 公里，較之 ANALOG 法的 184 公里為佳，且 HURRAN 法各月平均誤差較為一致，其 5 至 10 月的平均預報誤差變化很小，除 7 月份平均誤差較小外，其它各月之值幾乎一樣，而 ANALOG 法標準偏差較 HURRAN 法大 12 公里，逐年、逐月變化也較大。再由謝等 (1986) 的統計結果，也顯示了 HURRAN 法的 24 小時預報誤差在四種方法中為最小，故 HURRAN 法最具參考價值，本研究因而採用 HURRAN 法選取歷史颶風並作路徑之機率預報。

有關 HURRAN 法的介紹，在謝等 (1986) 研

究報告中有詳細介紹。由於歷史颶風個案的選取條件與預報準確度關係密切，本研究未來亦將改變選取條件並分析預報結果，故在此先說明歷史颶風選取之步驟 (謝等, 1986)：

1. 求出歷史颶風路徑最接近 (X_k, Y_k) 之點，令為 ($X_{k'}, Y_{k'}$)，而 ($X_{k'}, Y_{k'}$) 與 (X_k, Y_k) 間之距離不得大於 300 海浬。

2. 計算歷史颶風在 ($X_{k'}, Y_{k'}$) 點的方向 θ_1' ，且須滿足：

$$|\theta_1 - \theta_1'| \leq 22.5^\circ$$

3. 計算歷史颶風在 ($X_{k'}, Y_{k'}$) 點的速率 V' ，令 $\Delta V = |V - V'|$ ，須滿足：

$$(a) \Delta V < 5 \text{ (海浬/時)} , \text{ 當 } V < 10$$

$$(b) \Delta V < 10 \text{ (海浬/時)} , \text{ 當 } 10 \leq V \leq 20$$

$$(c) \Delta V < 15 \text{ (海浬/時)} , \text{ 當 } V > 20$$

4. 計算歷史颶風在 ($X_{k'}, Y_{k'}$) 點的加速度方向 θ_2' ，且須滿足：

$$|\theta_2 - \theta_2'| < 90^\circ$$

5. 計算歷史颶風在 ($X_{k'}, Y_{k'}$) 點的加速率 a' ，令 $\Delta a = |a - a'|$ ，須滿足：

$$(a) \Delta a < 2.5 \text{ (海浬/時/時)} , \text{ 當 } a < 5$$

$$(b) \Delta a < 5.0 \text{ (海浬/時/時)} , \text{ 當 } 5 \leq a \leq 10$$

$$(c) \Delta a < 7.5 \text{ (海浬/時/時)} , \text{ 當 } a > 10$$

6. 歷史颶風在 ($X_{k'}, Y_{k'}$) 的日序 T' ，須滿足：

$$|T - T'| \leq 30$$

其中 (X_k, Y_k) 乃颶風現在位置，T 是目前日序，而颶風的速率 (V)，方向 (θ_1)，加速率 (a) 及加速度方向 (θ_2) 乃利用過去 6 小時位置 (X_{k-1}, Y_{k-1})，過去 12 小時位置 (X_{k-2}, Y_{k-2}) 求出：

$$V = [(X_k - X_{k-1})^2 + (Y_k - Y_{k-1})^2]^{1/2} / 6$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} |(Y_k - Y_{k-1}) / (X_k - X_{k-1})|$$

$$a = [(X_k - 2X_{k-1} + X_{k-2})^2 + (Y_k - 2Y_{k-1} + Y_{k-2})^2]^{1/2} / 6$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} |(Y_k - 2Y_{k-1} + Y_{k-2}) / (X_k - 2X_{k-1} + X_{k-2})|$$

針對台灣地區而言，侵襲範圍若以 116 公里 (62.5 海浬) 為半徑，便幾乎涵蓋了半個台灣，由

表三 台灣省各縣面積及有效半徑

縣	面積 (Km ²)	有效半徑 (Km)	縣	面積 (Km ²)	有效半徑 (Km)
花蓮	4628.57	68	台中	2051.47	45
宜蘭	2137.46	46	彰化	1074.39	33
基隆	132.76	12	雲林	1290.84	36
台北	2052.33	45	嘉義	1961.70	44
桃園	1220.89	35	台南	2016.00	45
新竹	1531.69	39	高雄	2792.66	53
苗栗	1820.31	43	台東	3515.25	59
澎湖	126.86	11	屏東	2776.00	53

註：台灣省唯一不濱海的南投縣未列出。（4106.44 Km²）

於機率預報是針對各主要城市而言，因此，在此先以各縣平均面積為侵襲範圍，表三是各縣面積及其有效的半徑。除了基隆、澎湖外，表中十四個縣的平均半徑約46公里。

然而46公里的半徑，若考慮颱風眼的半徑則嫌小，但因中央山脈的影響，颱風侵襲台灣時強度一般會減弱，且環流被破壞，影響範圍可能減小，因此可暫時採用46公里為侵襲範圍的半徑，未來有必要時再做修正。（例如可依颱風強弱或暴風半徑大小而改變）

在以下之分析中，為便於計算起見，所選取的機率橢圓乃自5%，15%，…至95%，而所劃出的小格除了最裏的橢圓每一小格為0.25%外，其他的一小格皆為0.5%。

本研究採用陳（1976）的HURRAN 程式加以修改成適合在個人電腦上作業的程式，並利用中央大學林松錦教授所發展出來的個人電腦（地形線）繪圖程式，在PC上直接繪出機率橢圓預報圖。而未來目標乃發展一套可在個人電腦或工作站上直接操作的颱風路徑即時預報系統，提供中央氣象局預報中心參考使用。

四、個案颱風侵襲機率之分析與討論

為瞭解颱風機率預報在台灣地區的可行性，以下便針對6個侵台颱風個案，作台灣地區的初步侵襲機率預報。由於台灣地區正好位於西北太平洋地

區轉向和不轉向颱風的分歧點，故本研究所選取的個案路徑包括了(1)不轉向，直接由巴士海峽通過的珀西颱風（1980），(2)稍轉向，橫越台灣南部的安迪颱風（1982），(3)由西進轉向西北且通過台灣的亞力士颱風（1984），(4)轉向，且其路徑起初皆直指台灣，後來彎回東北向的肯恩（1982）和西仕颱風（1985），(5)由西行轉向西北，通過東海的傑夫颱風（1985）。這六個颱風路徑繪於圖8。所選的颱風個案集中於颱風發生頻率最高的七、八、九月，因這幾個月的歷史颱風個案多，且其生命史也長，較容易找到符合本研究要求的個案。

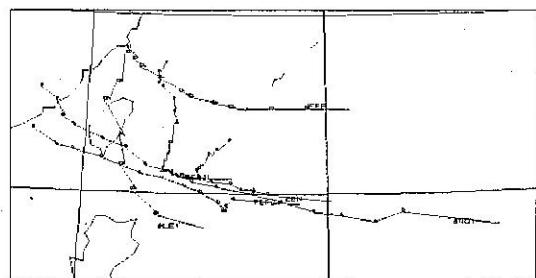


圖8 本研究所選定的6個颱風個案路徑圖。

以下便就這些個案詳加討論：

(+) 1980年9月，珀西颱風（PERCY）

由珀西颱風的路徑圖（圖9）可看出，於9月15日到9月16日間，它在北緯19.0°，東經126.5°附近打轉，HURRAN法所能選取之符合條件的歷

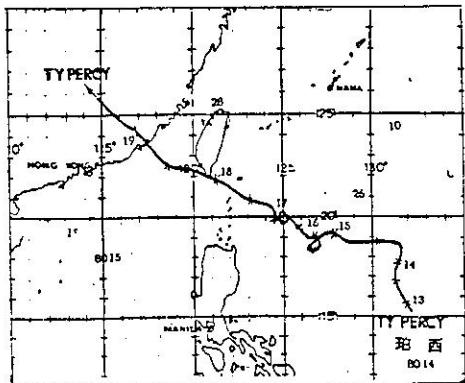


圖 9 珀西颱風路徑圖（1980，9）自9月13日至19日止。（摘自中央氣象局，中華民國六十九年颱風調查報告）

史颱風很少，預報結果意義不高。

9月17日的路徑較為正常，故可選取較多的歷史颱風。預測出24小時後的颱風位置在台灣東南外海，48小時後的颱風路徑則橫越台灣腹部（圖10(b)）。利用圖10以台東市為中心，取半徑46公里畫一颱風侵襲範圍，則未來24小時內的台東受侵襲之機率為6%，48小時則為12%；台灣其它各城市受颱風侵襲之機率參見表四。

9月17日06Z的路徑預報較之前面幾個預報準確度較高，其未來24小時預報位置為（21.7, 121.1）（圖11），而實際上，9月18日06Z的颱風位於（22.4, 119.5）。此時恒春未來24小時內受

颱風侵襲之機率為9%。9月17日12Z的24小時預報位置在（22.8, 119.5），實際颱風定位在（22.6, 118.8），誤差僅75公里（圖12），恒春及高雄的侵襲機率亦列於表四。由於HURRAN法在預測的前24小時極強調颱風持續性，因此觀測時間之前的颱風行徑微小波動皆會影響未來24小時內的預測結果。而從9月17日12Z到18Z，颱風移動角度由316°轉成300°，故17日18Z預報24小時後的颱風位置（22.0, 118.6）誤差增大，（實際颱風定位為北緯23.5°，東經117.8°）。

圖14中列出了各地自17日00Z至17日18Z各時間受颱風侵襲之機率，恒春地區自17日06Z到17日18Z的侵襲機率皆高居全省之冠，尤其9月17日12Z的未來48小時內侵襲機率更是高達74%（未來24小時為55%），高雄地區的侵襲機率在9月17日12Z亦達57%（未來24小時內則為37%），據此可以大致反應颱風侵擊台灣南部地區的機會非常高，尤其是17日12Z之後24小時內，故恒春地區尤應嚴加戒備。事實上，颱風中心是在9月18日清晨通過恒春一帶。

再從全省侵襲機率分布來看（圖14），機率值大致由南向北遞減，且在9月17日18Z之前，全省各地未來48小時內侵襲機率皆有一定數值，例如嘉義地區在17日12Z時由原本的10%增至16%；花蓮地區侵襲機率約略在10%左右；台北地區在17日18Z

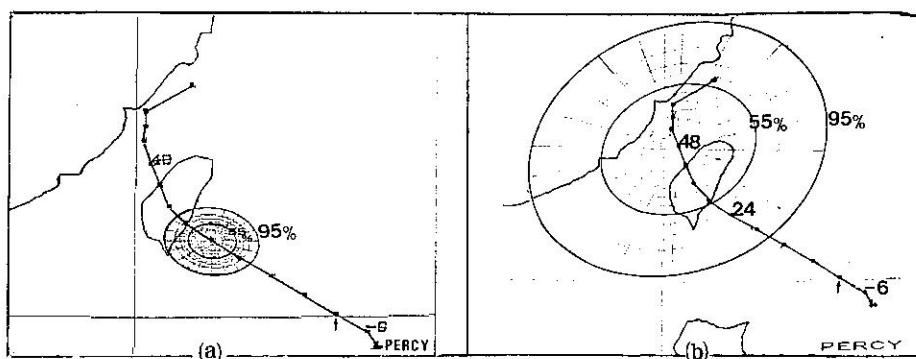


圖10 對9月17日00Z 珀西颱風作預報。圖10(a)中橢圓乃24小時後的侵襲機率橢圓，圖10(b)則為未來48小時後的侵襲機率橢圓，最大的橢圓機率是95%，圖中55%的機率橢圓也加深顏色。' - 6 ' 表前6小時之位置，' + 6 ' 表未來48小時之預測位置，' ↑ ' 指向颱風目前位置；圖中每兩小點相隔6小時。

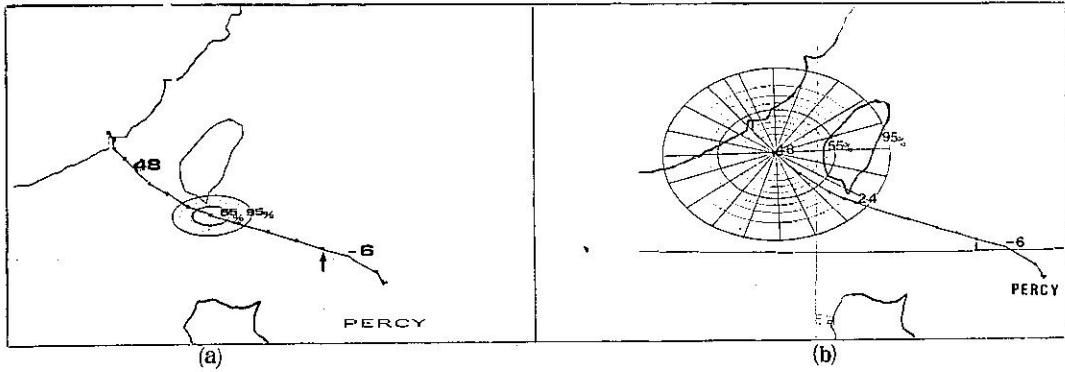


圖11 17日06Z 珀西颱風的侵襲橢圓機率圖。(a)為未來24小時，(b)為未來48小時的侵襲橢圓機率圖。

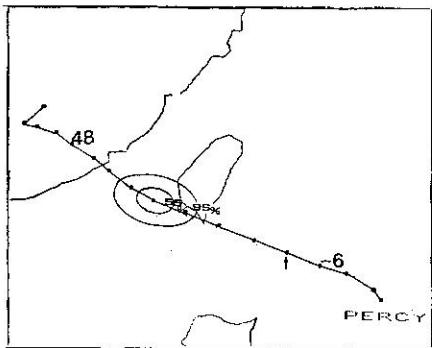


圖12 17日12Z 珀西颱風未來24小時侵襲橢圓機率圖。

真實時間	預報的時間	台北	嘉義	高雄	恆春	花蓮
日 時(Z)	18, 00	—	—	—	—	—
17 00	19, 00	7	12	18	16	10
	18, 06	—	—	—	9	—
17 06	19, 06	1	10	18	23	6
	18, 12	—	—	37	55	—
17 12	19, 12	4	16	20	19	10
	18, 18	—	—	—	14	—
17 18	19, 18	—	7	21	20	4

表四 1980年9月珀西颱風侵襲機率(%)預報表。表中“—”表示颱風侵襲機率小於1%在第二欄「預報的時間」，每筆預報的上一格表24小時後的時間，下一格是48小時後的時間。

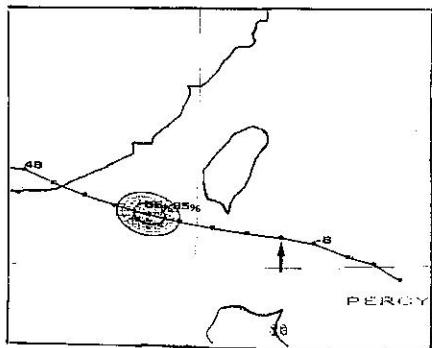


圖13 17日18Z 珀西颱風24小時後機率橢圓圖。

以前，侵襲機率亦均不為0。從這些侵襲機率中，可以反應出颱風最有可能的侵襲地區（恒春）及時間（在17日12Z之後24小時內），但由於其它地區的侵襲機率也有一定的數值，故此機率預報之使用者不致因為颱風中心較不可能通過其區而不注意颱風動向。

(二) 1982年8月，西仕颱風(CECIL)

和珀西颱風一樣，西仕颱風在初期之行徑變化亦大（見圖15），利用 HURRAN 法做的預報誤差在初期亦較大。以下將討論8月7日00Z至8月8日12Z等七筆機率之預報分析結果：

8月7日00Z的48小時橢圓機率圖涵括了台灣南部（見圖16），台東、恒春、高雄皆有可能受颱風侵襲，其中侵襲機率最大的是恒春：14%，高雄次之，為7%，台東為4%（參見表六）。恒春地區之所以占最高的侵襲機率，乃因西仕颱風在7日00Z之前，其行進方向幾乎是朝西向台灣南部移近。

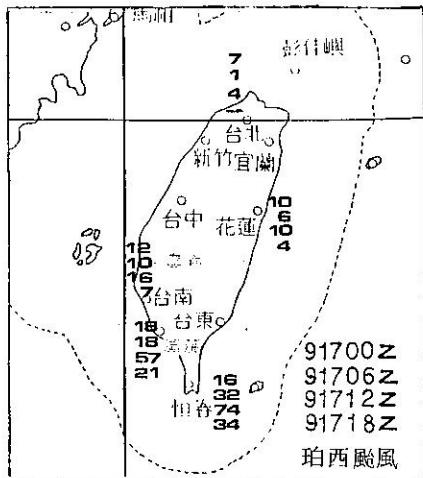


圖14 各地區不同時間的48小時累積機率，圖右下角數字表示各預報機率的發布時間。‘—’表侵襲機率小於1%。以花蓮地區為例，其9月17日00Z的未來48小時內颱風累積侵襲機率為10%，9月17日06Z的未來48小時內颱風累積侵襲機率為6%。

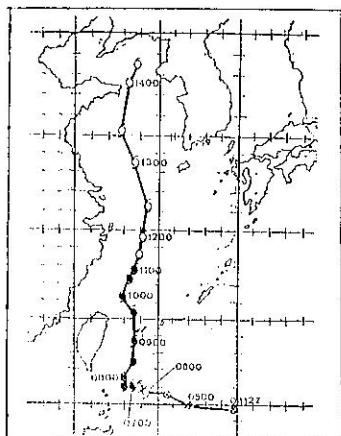


圖15 西仕颱風最佳路徑圖(1982, 8)(摘自中央氣象局，中華民國七十一年颱風調查報告)

8月7日06Z、12Z、18Z正值颱風行踪最飄忽不定，且近似滯留的不穩定期，此三個時間皆無法找出超過兩個歷史颱風，無法畫出機率橢圓圖。

到了8月8日00Z，颱風移動方向已明顯偏北，機率預報的結果顯示台東、恒春、高雄的侵襲機率下降(不到1%)，而台北和花蓮分別升高為10

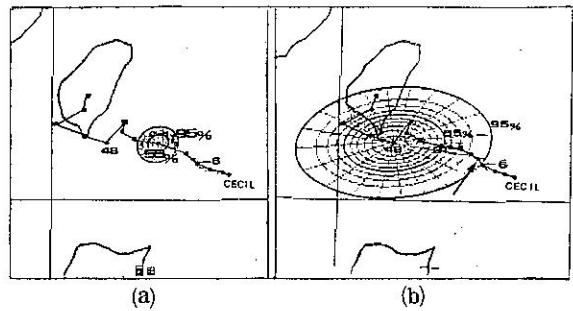


圖16 1982年8月7日00Z的西仕颱風之橢圓機率預報圖。(a)圖乃24小時橢圓機率圖，(b)圖為48小時橢圓機率圖。

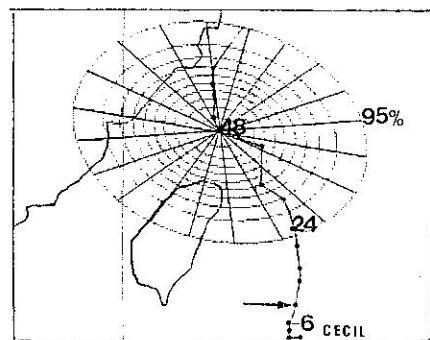


圖17 1982年8月8日06Z西仕颱風之預報圖。

%及6%，此種轉變，乃因颱風轉向而來，此時應嚴加戒備區也由南部轉為東北部。

自8月8日06Z後，由於西仕颱風的行徑已趨穩定，故HURRAN法預測的颱風路徑也變成向北移動，並未直接侵襲台灣(見圖17)。值得一提的是，縱使預報颱風路徑不經過台灣，但未必台灣各地區的颱風侵襲機率便為0，如8日6Z之48小時預測台北地區侵襲機率為17%，花蓮為11%，8日12Z的未來48小時預報颱風位置機率橢圓圖亦觸及台灣東北部地區(見表六)。

然而以上之侵襲機率皆發生在24至48小時間，24小時之侵襲機率值皆為零，顯然的，此颱風雖對台灣構成威脅，但直接侵襲之機率則不高。

(三) 1982年9月，肯恩颱風(KEN)

於1982年9月16日12Z發生於菲律賓島東方海面上的肯恩颱風，在18日12Z增強為強烈颱風，且持續向台灣東南海面接近，其路徑圖參見圖19。

真實時間	預報的時間	台北	花蓮	台東	恆春	高雄
日 時(Z)	8 , 00	—	—	—	—	—
7 00	9 , 00	—	—	4	14	7
7 06	8 , 06	—	—	—	—	—
	9 , 06	—	—	—	—	—
7 12	8 , 12	—	—	—	—	—
	9 , 12	—	—	—	—	—
7 18	8 , 18	—	—	—	—	—
	9 , 18	—	—	—	—	—
8 00	9 , 00	—	—	—	—	—
	10 , 00	10	6	—	—	—
8 06	9 , 06	—	—	—	—	—
	10 , 06	17	11	—	—	—
8 12	9 , 12	—	—	—	—	—
	10 , 12	11	10	—	—	—

表六 1982年8月，西仕颱風侵襲機率預報表

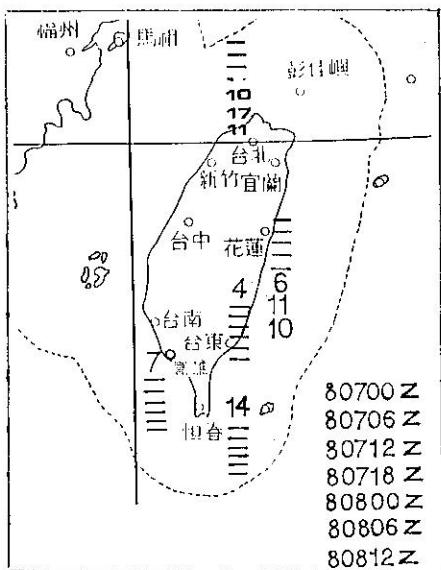


圖 18 台灣地區 48 小時西向颱風累積侵襲機率

表七及圖20為各地侵襲機率值。除了9月20日00Z各地侵襲機率皆為0外，其餘各地48小時之侵襲機率皆有數值。在20日06Z，全省各地區的侵襲機率達最高，此乃因20日06Z以前的肯恩颱風路徑持續向西北西前進，而此時間也是肯恩颱風整個生命歷程中，最接近台灣的一個轉折點，由於表七的預

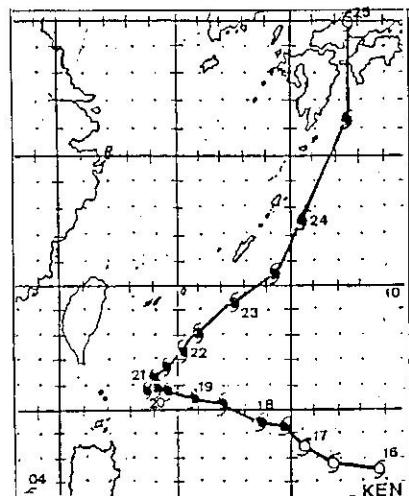


圖19 肯恩颱風路徑圖（1982，9）（摘自中央氣象局，中華民國七十一年颱風調查報告）

真實時間	預報的時間	台北	台中	台南	台東	花蓮
日 時(Z)	20 , 00	—	—	—	—	—
19 00	21 , 00	12	7	5	21	13
	20 , 06	—	—	—	—	—
19 06	21 , 06	0	2	6	9	2
	20 , 12	—	—	—	—	—
19 12	21 , 12	1	5	10	15	9
	20 , 18	—	—	—	—	—
19 18	21 , 18	1	4	6	12	8
	21 , 00	—	—	—	—	—
20 00	22 , 00	—	—	—	—	—
	21 , 06	—	—	—	—	—
20 06	22 , 06	10	12	11	20	14

表七 1982年9月肯恩颱風侵襲機率預報表

報地區中，台東地區首當其衝，故它有最高的48小時被侵襲機率—20%。

值得一提的是，9月20日00Z的預報（圖21）顯示颱風即將轉向，而使得各地之預報侵襲機率為0。此乃因肯恩的過去資料顯示系統移動速度減慢，而轉向颱風於轉向前移動速度一般均減緩，然而肯恩卻於20日12Z後才開始轉向。由20日00Z至20日06Z之移速似乎又加快，使得此時之預報路徑又

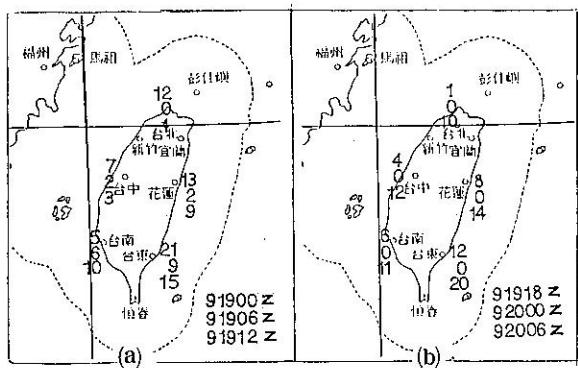


圖20 台灣各地區48小時肯恩颱風累積侵襲機率，
(a)自9月19日00Z～12Z，(b)自9月19日
18Z～9月20日06Z。

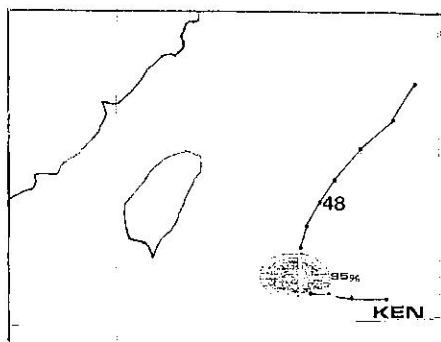


圖21 1982年9月20日00Z 肯恩颱風的橢圓機率預報圖，其目前位置及6小時前和未來12小時內的颱風位置均在機率橢圓內。

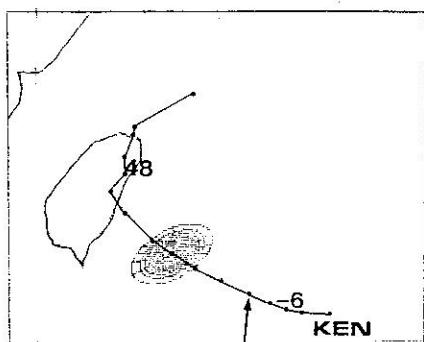


圖22 1982年9月20日06Z 肯恩颱風的橢圓機率預報圖。此時預報之路徑折向台灣。

偏向西北而指向台灣東北部（圖22），至20日12時颱風之轉向趨於明顯，因此HURRAN法能成功的預報其轉向（圖23）。由以上的結果顯示，如果去除20日06Z的較短時間移速變動所造成的預報路徑

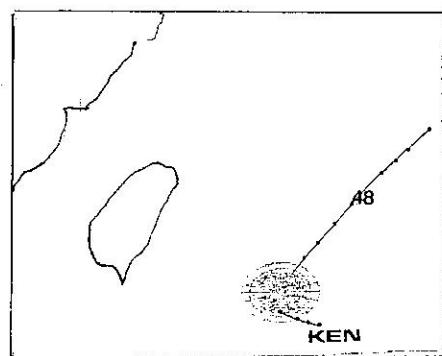


圖23 1982年9月20日12Z 肯恩颱風的橢圓機率預報圖。現在預報路徑又轉向太平洋。

變化，HURRAN法在20日00Z和12Z已能成功的預報出此颱風之轉向，此點應可作為以後作業之參考。

此外，如同前述之西仕颱風，肯恩颱風之24小時侵襲機率皆為0，亦即肯恩颱風僅是有可能侵襲台灣地區，事實上從未真正對台灣造成直接威脅。
(四) 1982年7月，安迪颱風(ANDY)

安迪颱風自7月26日後即以偏西路徑向台灣移近（見圖24），且移動速度變化不大，因此HURRAN法預報之效果甚佳。

侵襲機率預報表（表八）及圖25顯示，台北地區所受侵襲機率幾乎都遜於其他地區，而恒春、台東、高雄地區之侵襲機率則自28日00Z始便偏高，高雄、恒春之24小時侵襲機率於27日18Z即分別為14

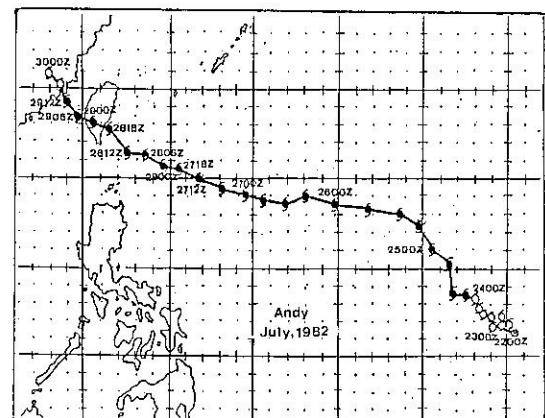


圖24 安迪(Andy)颱風最佳路徑圖(1982.7.)（摘自中央氣象局，中華民國七十年颱風調查報告）

真實時間	預報的時間	台北	高雄	恆春	台東
日 時(Z)	28 , 00	—	—	—	—
27 00	29 , 00	—	4	7	6
	28 , 06	—	—	—	—
27 06	29 , 06	7	16	19	19
	28 , 12	—	—	—	—
27 12	29 , 12	4	20	17	16
	28 , 18	—	14	26	—
27 18	29 , 18	1	21	20	14
	29 , 00	—	22	30	—
28 00	30 , 00	3	16	23	14
	29 , 06	—	29	23	46
28 06	30 , 06	7	18	18	18
	29 , 12	—	34	37	7
28 12	30 , 12	3	22	20	18
	29 , 18	5	11	14	27
28 18	30 , 18	13	12	13	11
	30 , 00	—	31	25	33
29 00	31 , 00	11	14	17	16

表八 安迪颱風(1982.7)侵襲機率預報表

%和26%，於28日00Z則分別增加為22%和30%，顯示出安迪颱風很可能在28日18Z至29日00Z間侵襲台灣南部地區。

台北地區的侵襲機率則一直偏低，最大值是在28日18Z(18%)，此時恰為安迪颱風從西進轉為西北，故雖然颱風已瀕臨台東外海附近，但台北仍有受侵襲的可能，故此種機率值的變動情形即提醒台北地區民眾颱風路徑之變化性尚大。

由表八，高雄地區在28日12Z之48小時累積機率預報達到56%，台東28日06Z之侵襲機率高達64%，恒春也在28日12Z達57%，這些高侵襲機率皆因颱風此時已位於台東東南外海附近，而且朝向西北移動。

此外，從27日18Z至28日12Z，高雄、恒春和台東三地的侵襲機率值時有起落，此乃因HURRAN法之預報在未來24小時內亦偏重持續性，因此系統路徑的變動(尤其是移動方向)常易造成預報侵襲

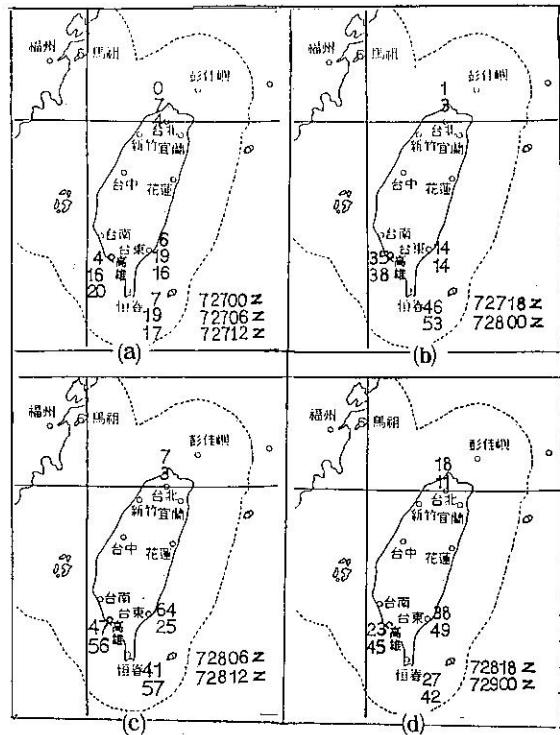


圖25 從(a)到(d)分別為27日00Z~12Z，27日18Z~28日00Z，28日06Z~12Z，28日18Z~29日00Z的台灣各地區受安迪颱風侵襲的機率。

機率值的變動。然而，即使如此，預報結果仍顯示台灣南部地區很可能受颱風侵襲，只是不能肯定於何地登陸而已。

(五) 1984年7月，亞力士颱風(Alex)

亞力士颱風由台灣東南方逼近，於7月3日下午登陸花蓮縣新港，隨後因中央山脈的阻擋而威力迅速減弱，在新竹附近形成副低壓中心，由台灣西部出海(見圖26)。

2日00Z至3日00Z的機率預報表(表九)顯示，2日00Z至18Z各地之侵襲機率值皆不高，台東的侵襲機率大致上較其他各地為高，3日00Z的24小時預報，台東地區則高達30%，累積的48小時預報達47%，此因預報的登陸點在台東附近之故，台東地區從2日00Z到3日00Z每隔6小時的48小時累積機率預報分別是8%，10%，14%，18%，47%，一直呈增加的趨勢(見圖27及表九)，反應出颱風穩定地向台東地區逼近與漸次升高的危險程

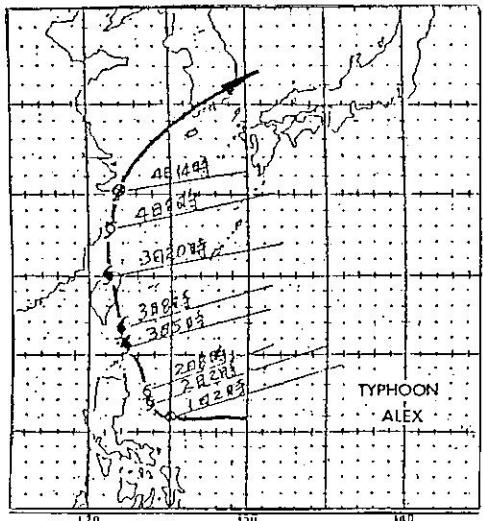


圖26 亞力士颱風路徑圖(1984, 7)，圖中時間乃地方時。(摘自中央氣象局，中華民國七十三年颱風調查報告)

真實時間	預報的時間	花蓮	台東	新竹	台北
日 時(Z)	3, 00	—	—	—	—
2 00	4, 00	7	8	4	5
2 06	3, 06	—	—	—	—
	4, 06	6	10	9	8
2 12	3, 12	—	—	—	—
	4, 12	17	14	12	15
2 18	3, 18	1	9	—	—
	4, 18	7	9	9	6
3 00	4, 00	7	30	11	2
	5, 00	14	17	13	11

表九 1984年7月亞力士颱風侵襲機率預報表

度。

至於花蓮——真正的登陸點，其48小時累積機率也大致呈增加之趨勢，但侵襲機率反而不及台東，主要原因在於3日00Z時，台東已在暴風圈內，但花蓮尚未，故台東的侵襲機會遠較花蓮為大。此點正足反應出颱風侵襲機率預報「潛在危險」的特性。

(六) 1985年7月，傑夫颱風(JEFF)

最後一個所選個案乃1985年，發生於較高緯

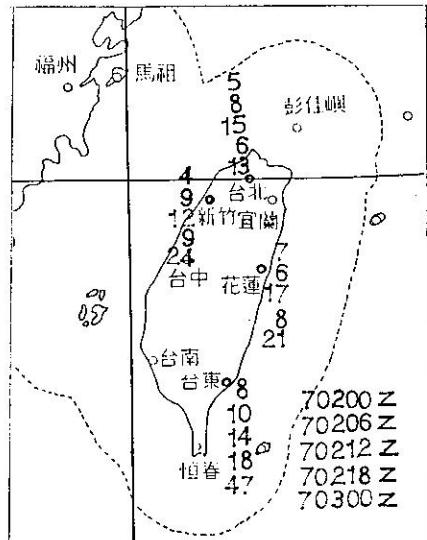


圖27 台灣各地區，48小時亞力士颱風累積侵襲機率。

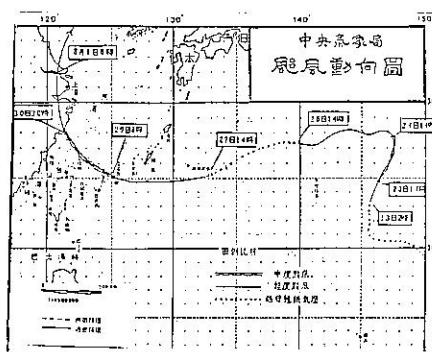


圖28 傑夫颱風路徑圖(1985, 7)

度，而由台灣東北方海面經過的傑夫颱風。(見圖28)

傑夫颱風事實上並未登陸台灣，僅於30日凌晨中心通過彭佳嶼東北方海面時，暴風範圍邊緣掠過台灣東北部及北部陸地。就24小時的機率預報言，只在29日06Z台北有2%之侵襲機率，至於其暴風範圍邊緣掠過台灣北部及東北部時，各地侵襲機率則幾為0(見表十)。

關於48小時之累積侵襲機率，則並非皆為0，但數值不高，顯示此颱風對台灣仍具潛在威脅。

由此個案可了解，即使颱風並未襲擊台灣(而僅是暴風半徑掠過而已)，但在最靠近颱風路徑的一些城市仍有不小的48小時累積侵襲機率，如圖29中的台北、花蓮地區。

真實時間	預報的時間	台北	花蓮
日 時(Z)	30 , 00	—	—
29 00	31 , 00	16	7
	30 , 06	2	—
29 06	31 , 06	19	15
	30 , 12	—	—
29 12	31 , 12	17	12

表十 1985年7月傑夫颱風侵襲機率預報表

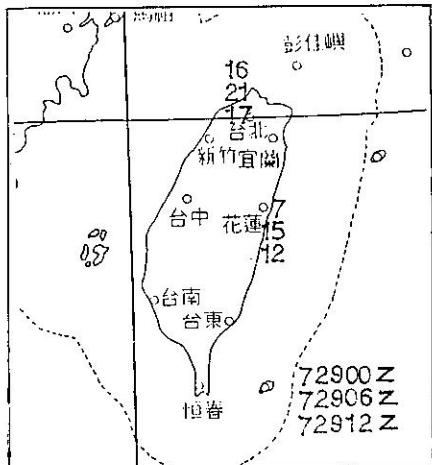


圖 29 台灣各地區48小時傑夫颱風累積機率預報

五、分析與討論

由上述六個個案，可發現利用 HURRAN 法有下列的困難及缺點：

- 1 由於 HURRAN 法強調持續性，故對前 24 小時內移動不規則或行進方向不穩定的颱風言，其 24 小時之預報結果較差，而合乎條件的歷史颱風亦少，當歷史颱風個案數少於 4 個時，不但橢圓機率圖無法畫出，且預報誤差也大，例如個案一珀西颱風之初期預報。因此，對原地打轉或行徑怪異颱風，HURRAN 法有待改進。
- 2 颱風路徑預報對其過去速度方向的細微改變極為敏感，小小的速度與方向變化即可對未來預報路徑造成很大誤差。此點乃 HURRAN 法在 24 小時以內預報之最大缺點。如將 HURRAN 法的選取歷史颱風條件做更嚴格且合理的改進，或定出一客觀修正方法，將彎曲、怪異的颱風路徑以人工或客觀修

正成平滑的路線，或者可能達到改進的效果。

3 在上述 6 個案中，由於僅取 24 小時為時間間隔，就累積侵襲機率，時間間隔理論上應為連續的觀點來看，此種算法忽略了某一部分時間的侵襲機率，所以計算出來的機率偏小（而且侵襲範圍採用 46 公里，遠比美國之 116 公里為小）。但事實上，機率大小乃是相對於時間間隔及所取侵襲範圍大小之不同而異，於所取的個案中，因時間間隔及侵襲範圍已固定，因此在相對的機率大小討論而言，仍具意義且值得參考。

4. 統計預報模式無法考慮到中央山脈所造成西部副低壓之生成，而使移動路徑呈現偏北的現象。

肯恩、西仕、安迪三個颱風路徑在早期有異曲同工之處：他們的移動方向皆直指西北——即台灣南端，但稍後，肯恩折向東北，西仕轉而北進，只有安迪仍舊朝西北方侵襲台灣。

雖然西仕和肯恩之 24 小時侵襲機率在各時間皆為 0，但 48 小時之侵襲機率則皆非 0，顯示出此兩颱風仍有侵襲台灣之潛在威脅，只是程度較低而已。至於安迪颱風則顯示，南部地區 24 和 48 小時之侵襲機率持續增加，即南部地區受威脅之機率增加，僅不能肯定將於何地登陸而已；但由此則可了解颱風路徑本身及颱風預報的不確定性，因此，將傳統颱風警報佐以機率預報的定量表示，可使預報較為客觀且具參考價值。

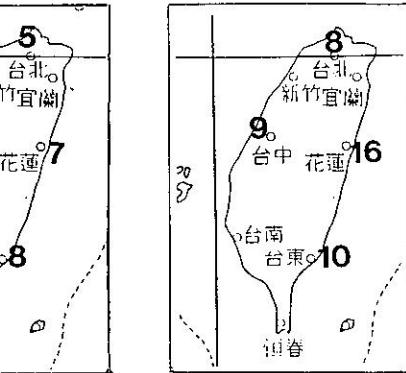
此外，從西仕、亞力士與傑夫颱風個案的機率預報中發現，縱使颱風沒有直接侵襲某區，或對某區而言，颱風已過境，惟其侵襲機率仍具相當數值，這點明白指出了機率預報包含了預報「潛在危險」的性質，對於提高社會民眾的防颱警覺應有一定程度的教育價值。

最後，我們將氣象局所發布的 1984 年亞力士颱風警報單與機率預報單相比較（圖 30），氣象局警報單的陸上警報範圍涵蓋全台灣，使用此種警報資料者往往沒有辦法從中判別其他地區可能遭受颱風侵襲的嚴重程度，也無從比較其與它地區的差異，而適時並分段採取所需之因應措施，以致造成人力物力的浪費。3 日 8 時的傳統預報，預報颱風將於台東登陸（此時機率預報亦指出台東 47% 為最高，但

圖30 (a)傳統預報

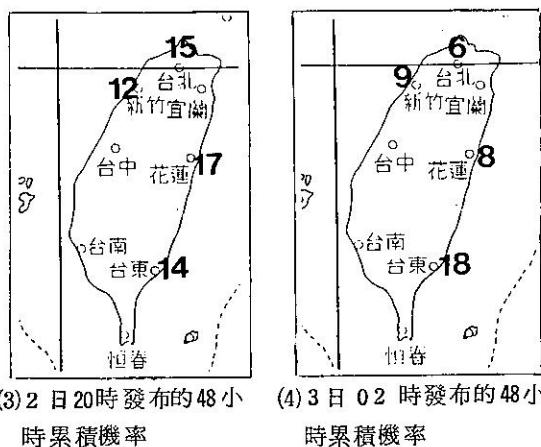
警報種類	次序	發布時間	颱風路徑			備註
			日	時	分	
颱風消息	2	15	45	巴土約翰、麥沙拉山、莫齊奧 西森南森、麥吉利斯山、南森 北部南森	高	高
海上警報	2	1	21	0	"	臺北市、基隆市、新竹市、宜蘭 花蓮各地區
"	2	2	3	4	0	巴土約翰、莫齊奧南森
"	2	3	5	56	"	莫齊奧南森的南半巴土約翰
"	2	4	3	8	50	"
"	2	4-1	3	11	30	"
"	2	5	3	15	0	"
"	2	5-1	3	18	10	"
"	2	6	3	21	25	"
海上警報解除	2	7	4	0	"	莫齊奧南森的南半巴土約翰 莫齊奧南森的南半巴土約翰 莫齊奧南森的南半巴土約翰 莫齊奧南森的南半巴土約翰
"	2	8	4	9	0	"

(b)侵襲機率預報



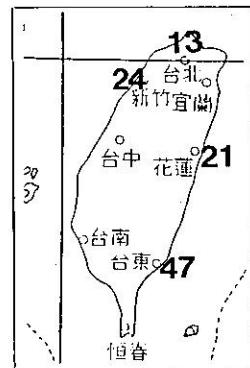
(1) 2 日 08 時發布的未來 48 小時累積侵襲機率

(2) 2 日 14 時發布的 48 小時累積機率



(3) 2 日 20 時發布的 48 小時累積機率

(4) 3 日 02 時發布的 48 小時累積機率



(5) 3 日 08 時發布的 48 小時累積機率

六、結論

在先進國家行之多年，效果良好的颱風機率預報法，如能將之附加於現行台灣地區之颱風預警報單上，不但可以使颱風警報由定性的概括說法轉為定量的預報，並可使使用者瞭解颱風路徑和路徑預報本身之不確定性，也可從而消除由於預報時間的延長導致不準度的增加而無法取信於社會大眾的困擾。然而，統計法對路徑怪異之颱風仍欠缺預報能力。未來的颱風預報勢必輔以動力颱風模式。因此，傳統的警報佐以侵襲機率預報將是未來中央氣象局發布颱風警報的理想模式。

目前，本研究乃以人工方法計算機率，難免有所誤差：如外延區域的決定及橢圓面積的判斷上都無法做到百分之百客觀。因此，颱風侵襲機率預報的電腦化是必然的趨勢，也將是颱風路徑預報作業研究上最有價值的研究課題之一。

七、致謝

本研究進行期間承蒙台大大氣科學系王天胤先生協助修改程式，陳澄圭、洪藍傳同學協助資料處理及計算，特此誌謝。本研究計劃乃在中央氣象局（計劃編號 CWB 77-01-12）贊助下完成。

八、參考書目

- 1 蔡清彦及張領孝，1987：琳恩颱風勘災調查報告，國科會防災報告 76-24 號。

花蓮之值亦為 21%），對於真正颱風登陸點—花蓮而言，則可能降低警惕作用，因此，若輔之以機率預報的形式，則可改進傳統預報的部分缺失。

- 2 李清勝， 1988: 台灣地區颱風路徑之預報分析，
大氣科學第十六期第二號， 133—139。
- 3 徐明同， 1977: 颱風之路徑與其預報，氣象學報
，23卷，2期，24—34。
4. 胡仲英及陳熙揚， 1976: 利用客觀比擬法預報颱
風路徑之研究，氣象學報，22，8—16。
5. 陳熙揚， 1980: 利用類比法預測颱風路徑之研究
，氣象學報，26卷，4期，1—13。
6. 謝信良、劉復誠及王忠山， 1986: 颱風路徑客觀
預報方法在台灣及鄰近地區應用之初步研究，氣
象學報，32卷，2期，59—38。
7. 中央氣象局， 1980～1985：民國六十九年～七
十四年颱風調查報告。
8. 中華民國台灣區地圖集， 1985: 幼獅文化事業股
份有限公司。
9. McBride, J.L., and G.J. Holland,
1987 : Tropical-Cyclone Forecasting:
A Worldwide Summary Of Techniques
and Verification Statistics. B. of
the American Met. Soc., Vol. 68, 1230
— 1238。
10. Cry, G.W., 1961: Climatology of 24-hour
Atlantic tropical cyclone movement.
U. S. Wea. Bur. Tech. Memo. NHRP
42, 92 pp.
11. Hope, J.R., and C.J. Neumann, 1968:
Probability of tropical cyclone
induced winds at Cape Kennedy.
WBTM SOS-1, Wea. Bur. ESSA, U.S.
Dept. of Com., Washington, D.C., 67 pp.
12. —, and —, 1970: An operational
technique for relating the movement
of existing tropical cyclones to
past tracks. Mon. Wea. Rev., 98, 925
— 933.
13. —, and —, 1971: Digitized Atlantic
tropical cyclone tracks. NOAA Tech.
Memo. NWS SR-55, 145 pp.
14. Simpson, R.H., and M.B. Lawrence, 1971
: Atlantic hurricane frequencies
along U.S. coastlines. NOAA Tech.
Memo. NWS SR-58, 14pp.
15. Jarvinen, B.J., and C.J. Neumann, 1978
: Atlantic tropical cyclone tracks
by 5-, 10-, 15-, and 30-day periods., NOAA
Tech. Memo. NWS NHC-5, 57 pp.
16. Kimball, S.J. 1958: Estimating the
probability of hurricane force winds
affecting an air base. AWS TR 105-
146, AWS (MATS), 20pp.
17. Appleman, H.S., 1962: Estimating the
probability of operationally critical
wind speeds affecting an air base
during passage of a tropical cyclone
. AWS TR 164, AWS (MATS), U.S. Air
Force, 22pp.
18. Jarrell, J.D., 1978: Tropical cyclone
strike probability forecasting.
NAVENVPREDRSCHFAC CR78-01,
NEPRF, Monterey, Calif., 47 pp.
19. Michael Carter, 1983: Probability of
Hurricane/Tropical Storm Condi-
tions: A User's Guide For Local
Decision Makers. U.S. Depart. of
Commerce, National Oceanic and
Atmos. Administration. 25 pp
20. Aoki, Tand and S. Nomoto, 1977: A
statistical prediction of Tropical
cyclone position Based on Persis-
tence and Climatological Factor(
The PC method). J. Met. Soc. Japan,
55.
21. Neumann, C.J., 1972: An alternate to
the HURRAN tropical cyclone
forecast system. NOAA Tech. Memo.
NWS SR-62 32pp.

Feasibility Study on Probability Forecast of Typhoon Track

Cheng-Shang Lee C. M. Liu

Shinn-Liang Shieh

**Department of Atmospheric Sciences
National Taiwan University**

Central Weather Bureau

Sally Lee-Jane Liu

**Department of Atmospheric Sciences
National Taiwan University**

Abstract

This study attempts to analyze the applicability of typhoon strike probability forecast over the Taiwan area. Developed by the U.S. National Weather Service (NWS), typhoon strike probability forecasting can provide quantitative information on typhoon tracks. The same methodology is used here.

The current analysis uses the HURRAN method to select the historical typhoon tracks whose later positions at 24 and 48 hours are analyzed to determine the probability ellipses. A "strike" is arbitrarily defined as when the center of the storm moves to or through a zone within approximately 46 km to any site of interest.

A total of six different types of typhoons (from 1980 to 1985) are analyzed. Results indicate that the distribution of strike probabilities around Taiwan can project the most likely landfall area. Even though the predicted typhoon track does not make a landfall, the strike probability is not necessarily zero over the island. Unfortunately, the HURRAN method is incapable of predicting irregular typhoon tracks. Finally, the uncertainties involved in strike probability predictions may serve to remind users of the inherent unpredictability of any given typhoon track.