

台灣附近颱風路徑預報校驗 與統計方法之應用

葉天降 吳石吉 謝信良

中央氣象局

(中華民國八十七年七月九日收稿；中華民國八十七年九月十日定稿)

摘 要

本文延用李等(1996)所搜集之中央氣象局颱風定位與預報資料，分析中央氣象局所做 12 小時與 24 小時颱風路徑預報之誤差並進一步討論此預報誤差之特性。分析之結果得到中央氣象局對 1962 至 1995 年共 1,136 個案之平均 24 小時颱風路徑預報平均誤差為 178 公里，對同期間 744 個案之 12 小時路徑預報平均誤差為 90 公里。這些預報誤差值分別較 CLIPER 與 HURRAN 兩統計路徑預報方法之誤差為小，但較 1987 年以前之平均誤差值大，顯示 1987 年後颱風預報之困難度提高。

預報誤差之分佈則顯示中央氣象局對 24 小時之颱風路徑預報有偏向台灣之系統性誤差，這些誤差主要是對在台灣東方向北移動颱風有偏西且偏南之誤差，而對在台灣南方向西移動颱風有偏北之誤差。CLIPER 與 HURRAN 兩預報方法則對向北移動颱風有比較明顯低估其移動速度的系統性誤差，而引用 CLIPER 與 HURRAN 簡單系集平均之作法則能提高對颱風路徑預報之能力。

關鍵詞：颱風路徑預報

一、前 言

西北太平洋是全球熱帶氣旋活動最旺盛的地區，平均每年約有 25.7 個颱風生成，而其

中更有 16 個颱風之平均中心最大風速曾經超過 32m/s，而為中度以上的颱風 (Neumann 1993)。台灣位於太平洋之西濱，幅原雖然不大，但因為是在颱風移動的主要路徑之上，平均每年約有 6

個左右颱風影響台灣和附近海域（李 1988），之中更有 2 至 3 個颱風其中心直接侵襲台灣（Yeh and Elsberry 1993）。這些颱風雖為台灣地區，尤其是南部地區，夏季主要的水源，但也因風力強勁，雨勢大且急驟，因而常造成許多生命之傷亡和財物設備的損失。據中央氣象局之統計，近 15 年台灣地區因氣象災害所造成之直接財物損失，平均每年高達新台幣 157 億元，而這些災害損失中，7 成以上是由颱風和其外圍環流所造成。1996 年賀伯颱風曾在台灣地區造成超過 350 億元之直接損失和 51 人死亡，1997 年溫妮颱風也在台灣北部地區造成超過 30 人死亡，因此準確的颱風預報成為當今國內在氣象預報與天然災害防護上最重要的課題。

各颱風雖有其特異而複雜的中尺度結構，但颱風之暴風雨大多集中於中心附近（Willoughby 1995），因此準確的路徑預報成為颱風預報的關鍵。Elsberry（1995）將各種颱風路徑預報方法歸納為三大類，第一類為應用持續性和氣候路徑所延伸之簡單統計方法，如 CLIPER 法（Neumann 1972；Xu and Neumann 1985），HURRAN 法（Hope and Neumann 1970；Jarrell and Somervell 1970）等。第二類為以統計方法為基礎，結合了持續性、氣候路徑外，也考慮環境之分析與其預報結果而發展之颱風路徑預報模式，如 NHC-83（Neumann 1988）。第三類則是以大氣動力為基礎所發展之數值路徑預報模式，包括單層之正壓或相當正壓模式以及可以包含斜壓性之多層模式。

國內主要負責對一般民眾提供天氣預報服務的中央氣象局，在颱風預報作業方面，以往大多仰賴主觀天氣型態之研判，到民國 65 年在

電腦引進於作業應用之後才陸續有 CLIPER 和 HURRAN 等簡單客觀預報方法之建立（胡與陳 1976），隨後有相當正壓（蔡與程 1991）和原始方程颱風路徑（Jeng et al. 1991；Chen et al. 1995）預報模式之建立。在實際預報作業時，吳與謝（1988）及中央氣象局於 1997 年所編印之颱風預報作業手冊都提及，如何有效綜合研判各客觀指引以及颱風定位、結構與綜觀天氣型態等資料是主觀預報優劣的關鍵因素。

而關於預報作業，往往可以透過完整而確實之預報校驗，以了解預報之準確性和誤差，並在許多不同的預報參考資料中，得到一些擇選的指引，因此預報校驗是整體預報工作中，十分重要的一環。對颱風路徑預報之校驗，Elsberry（1995）有詳細的討論，過去在國內也有許多文獻有相關之報導。其中，各別颱風路徑預報之誤差大部分都可在中央氣象局對該颱風之季後檢討報告上得知。而在新的客觀預報方法引進之時，也有相關之預報校驗，如戚（1966）在引進荒川氏颱風統計預報法（Arakawa 1964）之際，曾對該法之預報誤差與中央氣象局之主觀預報結果做比較，胡與陳（1976）在引進客觀比擬法（HURRAN）時也曾對這方法之預報誤差和其他方法之預報誤差做一些比較。

然而以上之各颱風路徑預報校驗，所採用之個案數都偏少，因此無法得到整體性的了解。謝等（1986）則以 1959 年至 1977 年，在台灣及鄰近地區 120 個颱風之路徑，對當時中央氣象局所建立的 HURRAN, CLIPER, PC 及 CWB81 等四種統計方法（詳見謝等 1986）做較完整之預報校驗。他們的結果顯示，以上四種統計方法之中，以 HURRAN 法之平均預報誤差 150.7 公里

最小，CLIPER 法居次。

謝等(1986)之預報校驗是以美國聯合颱風警報中心(JTWC)之季後颱風最佳路徑資料為基準，李(1988)則選擇以中央氣象局之即時颱風中心定位資料為基準，對1962年至1986年間在台灣及其附近之颱風做24小時預報準確度之校驗。他同樣發現各統計客觀路徑預報方法中仍以HURRAN法之平均誤差170公里為最小，其次是CLIPER法(173公里)，並且這兩種客觀預報方法之平均誤差皆較中央氣象局主觀預報之平均誤差(177公里)為小。李等(1996)進一步擴充資料個案到1995年，並進一步討論預報誤差隨颱風行進類別、所在方位等之變化情形。

以上這些預報校驗之結果可以增進我們對台灣及其附近地區颱風路徑之預報準確度有較系統性的認識，同時對真正從事預報工作之人員，也可在許多客觀路徑指引中，對如何擇選或綜合利用這些結果有較客觀之參考依據。然而，不論是謝等(1986)或李(1988)之校驗研究裡，各統計預報法或主觀預報結果之個案並非一致，如在李(1988)之研究裡HURRAN法之個案僅約為主觀預報個案數之六成，因此有必要進一步了解這些平均誤差受到不同個案之影響情形，從而得到一有代表性之比較。此外，在謝等(1986)和李(1988)所得之平均誤差值(如HURRAN預報誤差分別為150.7公里與170公里)也有非常顯著的差異，因此值得進一步探討這些差異是主要因為年際間之變化所造成抑或是因所採用路徑定位資料不同而造成。另外，12小時之路徑預報也是預報作業相當重要的項目，尤其是在颱風中心已經相當接近陸地之時，

然而關於這方面之預報校驗卻比較缺乏。本文將針對此參重點，以更完整之資料，來探討颱風在台灣附近之路徑特性和各預報校驗。

二、資料與路徑預報方法

李(1988)在中央氣象局之支助下，利用中央氣象局所發佈之颱風警報單，整理了中央氣象局對1962至1987年間，總計173個颱風之中心定位和預報位置。李(1988)指出，這些資料已整理為每6小時間距，共有513筆含有完整之颱風中心定位和24小時之預報位置。近來，李等(1996)再在中央氣象局之協助下，擴充此資料庫，使包括1962至1995年之颱風定位和預報位置。於後將稱此資料為中央氣象局颱風定位與預報資料，並將沿用這資料以進行分析探討。

圖1a為由此資料庫中，颱風定位資料所繪得各颱風之移動路徑分佈，這些颱風有許多是在其它地方生成，待移入中央氣象局所關心之警戒區域後才被記錄。由圖可見，這些颱風之位置大致散佈呈一橢圓形，台灣位於偏西側。針對台灣而言，這些颱風主要來向可分為二，一為由太平洋向西或向西北移近，另一為由南海向東北或向北移近。依中央氣象局颱風預報作業辦法之規定，颱風警報是在預期颱風暴風區將在24小時內影響到所轄陸地或離岸100公里內之臨近海域時發佈。對一移向對台灣地方有威脅之颱風，若以5m/s之移速和暴風半徑為350公里估計，中心定位約在離岸900公里時，即可能發佈警報。這和圖1a之颱風中心主要在 130° E以西、 110° E以東和 10° N以北為主一致。而對移速較快或暴風範圍較大的颱風，則將在中心離台灣

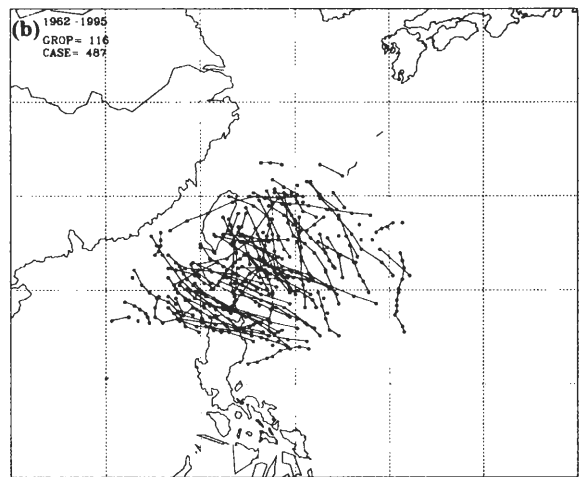
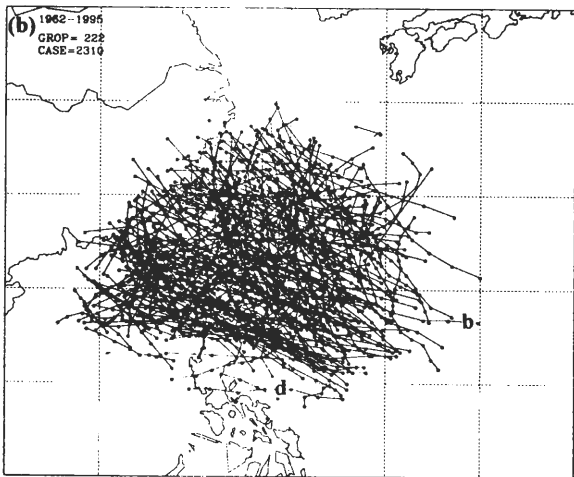
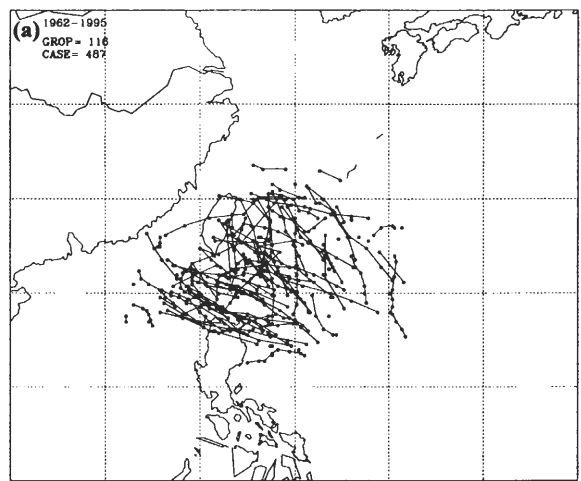
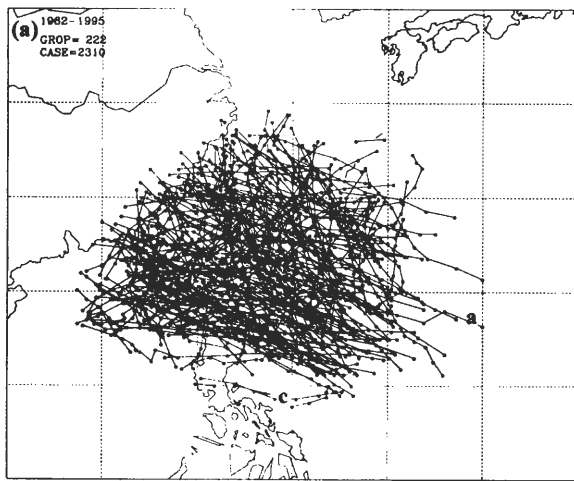


圖 1 1962 至 1995 年(a)中央氣象局颱風定位資料與 (b)對應之 JTWC 颱風定位資料所得颱風移動路徑分佈。

圖 2 如圖 1 唯為共同個案之颱風移動路徑分佈。

更遠時就開始發佈警報，因此圖 1a 中有部分颱風是在由東移入 135°E 就開始發佈警報。而警報之結束，對繼續向西移動之颱風主要是在中心移入中國大陸之後發佈，而對朝向西北或轉向之颱風則約在中心移至 28°N 左右時發佈。

除了中央氣象局的定位資料外，我們也將引用美國防颱中心(JTWC)之颱風最佳路徑資料以做比較。對圖 1a 相同之颱風，JTWC 定位所得之路徑分佈如圖 1b。和圖 1a 比較，可見颱風

所在位址分佈區域相似，但詳細比較則有所差異。如圖 1a 之 a 路徑與圖 1b 中之 b 路徑顯示 JTWC 之路徑比較平滑，而中央氣象局所定之路徑則較曲折。另外 c 與 d 路徑比較則見對此颱風，在橫越菲律賓時 JTWC 定位是在中央氣象局定位之南方，而在颱風侵襲前其定位則在中央氣象局定位之北方。這差異的由來，一方面可能是 JTWC 之最佳路徑是在颱風過後經平滑處理而得，另一方面也可能是因為颱風中心結構不完整，不易研判而產生。

在預報之校驗上，除了中央氣象局之主觀預報外，我們也將引用中央氣象局目前作業使用之 CLIPER 與 HURRAN 兩種簡單統計路徑預報方法，這些方法常被當做比較其它方法是否有預報技術(Skill)之基礎。謝等(1986)曾對中央氣象局作業使用之 CLIPER 與 HURRAN 兩方法有非常詳細的說明，因此不再對此兩方法做進一步解釋。值得一提的是 CLIPER 與 HURRAN 方法在做路徑預報時是需要輸入不同的資料，CLIPER 方法需要預測時前 24 小時內之定位資料，而 HURRAN 方法則只需預測前 12 小時內之定位資料。爲了比較上之公平性，我們也在圖 1a 與圖 1b 中選取了一組資料，如圖 2a 與 2b，在圖 2 中共 487 個定位是所有方法都可做預測，而且其 24 小時之預測結果也有資料可供校驗的個案，於後將稱此爲共同個案。

對 HURRAN 預報方法，另外需要有的是一組歷史颱風路徑檔，由此資料，HURRAN 方法將選取和所要預報颱風之路徑相似的個案，而由這些相似個案移動情形得到預報結果。在本文中將分別嘗試二組歷史颱風路徑檔，一組爲 1947 至 1987 年之 JTWC 最佳路徑資料，另一組則爲 1947 至 1995 年之 JTWC 最佳路徑資料。

三、預報誤差校驗與討論

(一) 24 小時預報誤差

針對實際作業時，中央氣象局(CWB)之颱風中心定位和 24 小時預報位置進行校驗，其結果如表一。表中並將 1987 年以前之結果和李(1988)之差異情形列出。由表可見如 1963、1964 等 20 年之結果皆和李(1988)之結果相同(在有效位數精確度內)，而 1962 及 1966 等六年之結果

則有差異。其中，1962 及 1983 等二年之個案數皆增加一個，總誤差約分別改變 392 公里及 179 公里，此誤差是在平均值加標準差之範圍內，因此並未特異。1987 年則增加 20 個案，使平均誤差約改變 4 公里。而 1996、1979 及 1985 等三年之個案數並未改變，但平均誤差和標準差皆不同，顯示此三年之資料和李(1988)並不儘相同，而有所修正，但差異並不明顯。以改變最多的爲例，對 1966 年 26 個案之年平均誤差約改變 20 公里，使總誤差約改變 520 公里，如以標準差 100 公里估計，可能有五筆資料，或相當於一組颱風資料有所修正。

表一同時也顯示，1962 至 1987 年間之總平均 24 小時颱風路徑預報誤差約爲 175.8 公里，此值和李(1988)所得 177 公里之差異僅約爲標準差的 1%。而值得注意的是加入 1988 至 1995 年之資料後，總平均 24 小時預報誤差增大 2.1 公里，標準差也增大 1.4 公里，單純由此值似乎顯示 1988 年後路徑預報之能力稍微降低。而由圖 3 則顯示 1988 年後各年之年平均預報誤差與標準差在和其它年份比較上並無特殊不同，只是 1988 年後各年間之平均預報誤差似乎較 1962 至 1987 年間變動較小，最大最小間僅爲 75 公里。而在前段時期如 1962、1965、1970、1978 及 1984 等年其誤差值皆超過 200 公里，而 1966、1971、1972、1980 及 1983 等年其誤差又皆低於 150 公里，最大最小間相差 165 公里，年際間有較大的差異。

李(1988)曾對中央氣象局 24 小時颱風路徑預報誤差與 CLIPER 及 HURRAN 等統計路徑預報法之預報結果做比較，他的結果顯示，對 1962 至 1987 年間 494 組 HURRAN 方法預報之平均誤差爲 170 公里，751 組 CLIPER 方法預報

表一 中央氣象局 24 小時颱風路徑預報誤差（公里）。括號內數值為有差異時李（1988）之結果。

年份	年平均	標準差	個案數
1962	276.8(271)	146.9(156)	21(20)
1963	169	69.2	42
1964	194.5	112.4	32
1965	221.5	135.4	23
1966	111.4(131)	87.5(121)	26
1967	194.8	136	25
1968	170.3	105.6	27
1969	165.9	74.5	16
1970	218.5	108.4	9
1971	142.8	81.9	19
1972	133.5	67.9	16
1973	181.8	63.6	22
1974	184.2	70.1	25
1975	170.5	87	21
1976	161.8	80	31
1977	177.4	97	31
1978	248.2	112.5	10
1979	180.4(199)	97.2(144)	40
1980	147.6	96.2	31
1981	157.6	69.9	26
1982	150.3	62.9	54
1983	128.3(127)	56.3	40(39)
1984	203.2	103.8	42
1985	188.4(191)	110.8(109)	48
1986	188.9	119.1	81
1987	175.7(172)	95.7(98)	69(49)
1988	200.3	115.2	31
1989	223.4	129.1	40
1990	200	94.5	52
1991	150.4	98.3	46
1992	196.4	121.6	44
1993	164.3	89.7	19
1994	148.5	73.8	41
1995	177.7	87.2	36
總計 (1962-1987)	175.8	101.5	827
總計 (1962-1995)	177.9	102.9	1136

之平均誤差為 173 公里。以更新後更完整資料做相似之比較，結果列於表二。表二可見，對此資料中，有 545 組資料可供 CLIPER 預報校驗，其平均誤差為 172.3 公里；有 786 組可供 HURRAN

預報校驗，其平均誤差為 175.0 公里。表二中 HURRAN 方法是以 1947 至 1987 年之最佳路徑資料為甄選相似路徑之資料檔，引用 1947 至 1995 年之最佳路徑資料為甄選相似路徑之資料檔時之結果改變非常有限，其平均誤差僅改變 0.1 公里，為 175.1 公里。和李(1988)之結果比較，僅 HURRAN 之結果有比較大差異，此差異之原因一方面可能是由於不同的個案數所造成，因李(1988)僅進行 494 個 HURRAN 預報。而另一方面，若將 HURRAN 預報方法中，在相似路徑之挑選時，不剔除該預報個案時(在實際作業不可能發生，作業模式中並沒有加入此項檢驗)，將使表二中 HURRAN 預報誤差變成 169.7 公里，此結果和李(1988)所述 170 公里極為相近。

在中央氣象局預報誤差與 CLIPER 及 HURRAN 兩者之比較上，中央氣象局預報誤差較此兩客觀統計預報方法之結果在平均值上都較大，但有較小之標準差，和李(1988)之結果相似。而為比較更公平起見，表二也列了共同個案(如圖 2a)之比較結果，對在 1962 至 1987 年間之 356 個案使各種方法皆有 24 小時之預報校驗裏，中央氣象局預報誤差為 167.3 公里，CLIPER 與 HURRAN 兩者則分別為 160.2 及 162.4 公里，中央氣象局之預報誤差仍然較其它兩客觀方法之預報誤差為大，沒有明顯之預報技術。

表一顯示在包含 1988 至 1995 年之颱風個案後，中央氣象局之 24 小時路徑預報平均誤差，較 1987 年以前之誤差大。表二顯示對 CLIPER 與 HURRAN 兩種客觀預報方法也有相同的情形，並且其預報誤差增加的幅度更大，使得其誤差分別達到 179.3 公里(681 個案)與 181.1 公里(992 個案)，而比中央氣象局之預報誤差為大。若以共同之 487 個案(見圖 2)比較，這些共

CWB Typhoon Track Forecasting Errors (km)

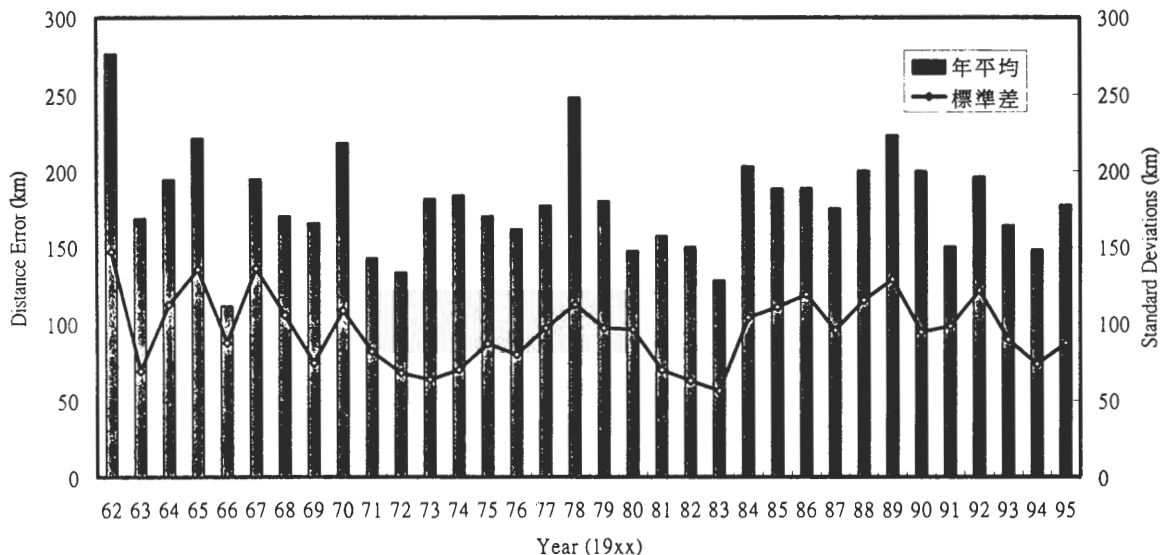


圖 3 中央氣象局 24 小時颱風路徑預報年平均誤差（公里）與標準差。

表二 中央氣象局、CLIPER、HURRAN 與 CHMEAN(見文)之 24 小時平均颱風路徑預報誤差（公里）與標準差。

方 法		1962-1987			1962-1995		
		平均誤差	標準差	個案數	平均誤差	標準差	個案數
全數 個案	CWB 預報	175.8	101.5	827	177.9	102.9	1136
	CLIPER	172.3	114.7	545	179.3	117.7	681
	HURRAN	175.0 (175.1)	120.1	786	181.1 (180.7)	122.2	992
共同 個案	CWB 預報	167.3	88.8	356	170.3	93.4	487
	CLIPER	160.2	105.2	356	173.2	113.5	487
	HURRAN	162.4 (161.5)	105.7	356	176.9 (175.9)	119.3	487
	CHMEAN	160.3	107.0	356	171.5	115.4	487

註：HURRAN 方法係以 1947 至 1987 年路徑資料為甄選相似路徑時之資料檔，若以 1947 至 1995 年路徑資料為甄選相似路徑之資料檔時其結果示於括號內。

同個案之預報誤差分佈情形和全數個案之預報誤差分佈情形相似。圖 4 顯示中央氣象局對 1962 至 1995 年間全數個案以及共同個案兩組路徑預報，其誤差大小之百分比分佈情形。圖中是以每 50 公里為分組間距，因此圖上第一點 25 公里上之值是表示預報誤差為 0 至 50 公里而第二點 75 公里是表示預報誤差為 50 至 100 公里間之個數百分比，對全數個案與共同個案兩組資料之預報誤差不論是距離、延向或偏向誤差之分佈其間差異都不明顯，對 CLIPER 與 HURRAN 之預報結果也相似（圖略）。因此，共同個案可反應全數個案之一般特性，並沒有明顯的特異。以含 1988 年後 487 共同個案中央氣象局之預報誤差為 170.3 公里，較 CLIPER 為 173.2 公里、HURRAN 為 175.9 公里兩誤差為小。

圖 5 進一步顯示各別預報誤差之分布，有許多個案之預報誤差在 100 公里以下，但也有許多個案之預報誤差在 300 公里以上，個案間之差異相當大。

若以 11 個預報結果做平均，在 1986 年以前其值大致在 100 至 200 公里之間，但在 1986 年以後則有許多時候如 1987、1990、1992 之平均預報誤差皆大於 200 公里。然而，此值若與 CLIPER 預報誤差做比較，則可見在 1987 年以前中央氣象局之預報誤差有時較 CLIPER 預報誤差大，有時較 CLIPER 預報誤差小，但在 1987 年以後中央氣象局之預報誤差絕大部分都較 CLIPER 預報誤差小，顯示中央氣象局在 1987 年後之颱風路徑預報已逐漸有技術。

颱風路徑預報誤差改變之原因很複雜，尤其是主觀預報，作業人員改變與參考資料不同等，都可能造成差異，因此不容易研判造成預報誤差改變之原因。但，1987 年後颱風路徑預報之平均誤差和標準差較 1987 年前大之原因可能和 1987 年後美國不再執行颱風飛機觀測有關，由於颱風所在廣大洋面上缺乏傳統觀測資料，以往在颱風時主要仰賴飛機觀測以得到較準確之

CWB Typhoon Track Forecasting Errors

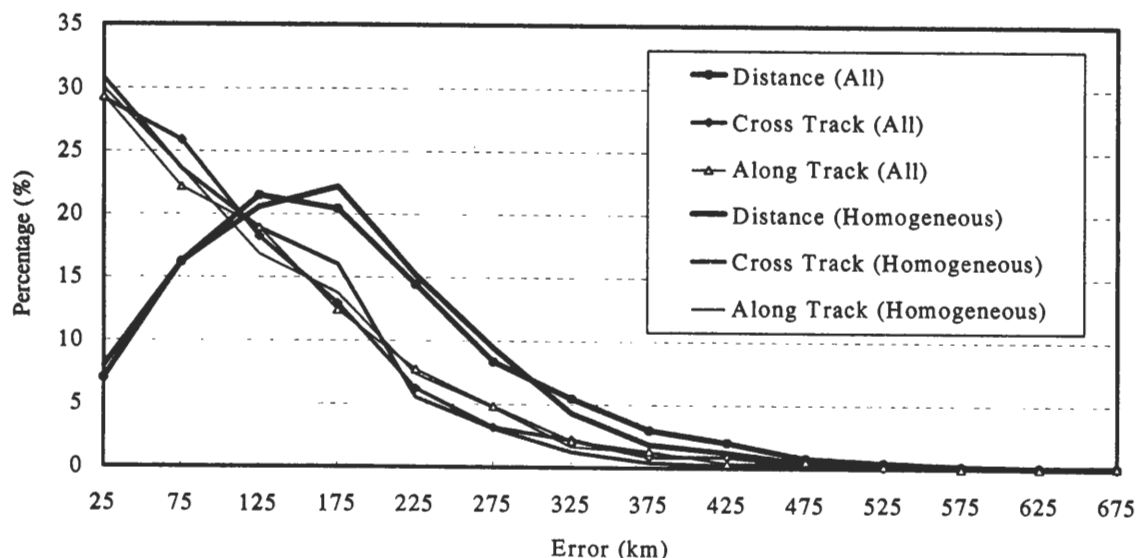


圖 4 中央氣象局 24 小時颱風路徑預報距離(Distance)、偏向(Cross Track)與延向(Along Track)誤差之機率分佈，圖中 All 與 Homogeneous 分別為對全數(1136)與共同(487)個案。

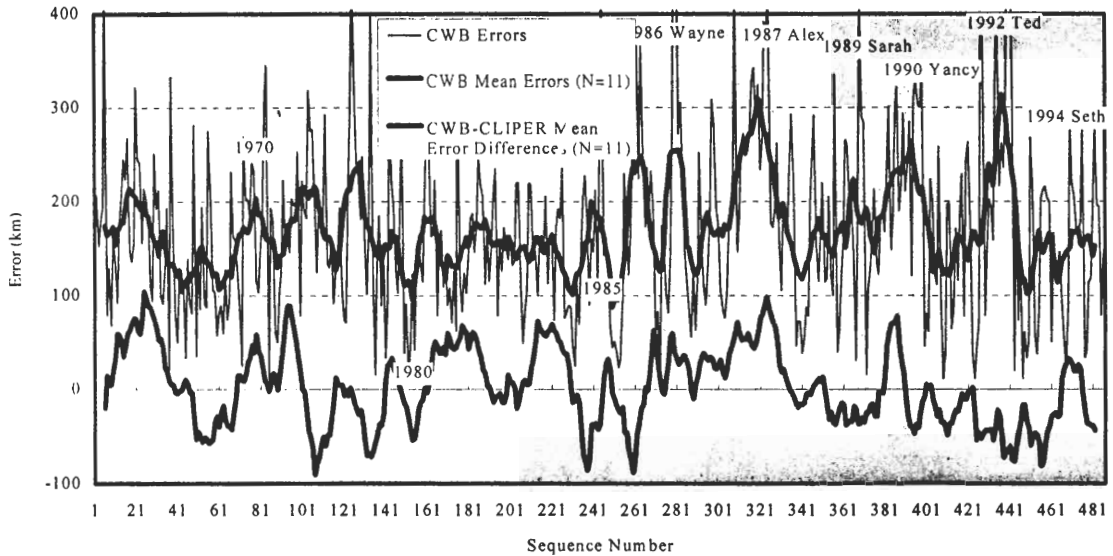


圖 5 中央氣象局 24 小時颱風路徑預報誤差（公里）隨個案序（細線）、11 個案平均（上粗線）與和 CLIPER 預報之差異（下粗線）。

中心位置、強度與暴風半徑等資料，在撤除飛機觀測後，颱風之定位與強度結構研判主要仰賴衛星及不完整之傳統觀測資料，以致造成更大的不確定性，可能連帶使各種預報之結果也較不準確。而中央氣象局所以會在 1987 年後逐漸展現颱風路徑預報技術，可能和其推行預報作業現代化之成果有關，1980 代末期，中央氣象局發展完成其第一代數值預報系統，因此有更完整的觀測資料、有更多客觀的預報結果可供參考、並有更現代化的作業環境，這些改變或許是造成其颱風路徑預報技術有所提昇的原因。

（二）12 小時預報誤差

在中央氣象局颱風定位與路徑預報資料中僅 254 個案有 12 小時之預報位置，和李(1988)所用的資料相同。預報誤差之分析顯示，對此 254 個案之平均預報誤差為 96.4 公里、標準差 63.4 公里，和李(1988)之結果一致。同時期(1962

至 1987 年間)之 CLIPER 與 HURRAN 兩方法之預報誤差情形則列於表三，兩方法之中以 CLIPER 之平均預報誤差較小。對全數個案之統計裏，兩客觀方法之平均預報誤差皆較中央氣象局預報之平均預報誤差稍小。但對 188 個共同個案裏，則顯示中央氣象局之平均預報誤差較兩客觀方法之平均預報誤差為小，屬於有預報技術。

由於中央氣象局颱風定位與路徑預報資料中，所有含 12 小時預報的個案皆係在 1987 年以前，因此不能由這資料得知中央氣象局對 12 小時之颱風路徑預報技術是否在 1987 年前後是否有所變化。而以 CLIPER 與 HURRAN 兩方法預報誤差之改變情形而言，1962 至 1987 年間 812 個案 CLIPER 平均預報誤差為 87.8 公里、1,104 個案 HURRAN 預報誤差為 90.09 公里，在加入 1988 至 1995 年之颱風個案後，CLIPER 1,024 個案之平均預報誤差增大為 92.0 公里、HURRAN 1,402 個案之平均預報誤差也增大為

表三 如表二，唯為各方法之 12 小時平均颱風路徑預報誤差（公里）與標準差。內插之說明見本文。

方 法		1962-1987			1962-1995		
		平均誤差	標準差	個案數	平均誤差	標準差	個案數
全數 個案	CWB 預報	96.4	63.4	254	96.4	63.4	254
	CLIPER	87.8	59.5	812	92.0	64.3	1024
	HURRAN	90.9 (90.6)	63.0	1104	93.3 (93.0)	65.7	1402
	CWB 內插	90.9	59.4	1036	91.7	60.8	1447
共同 個案	CWB 預報	91.8	55.9	188	91.8	55.9	188
	CLIPER	99.2	63.1	188	99.2	63.1	188
	HURRAN	100.4 (100.0)	61.3	188	100.4 (100.0)	61.3	188
內插 共同 個案	CWB 內插	87.9	53.7	539	90.3	57.1	744
	CLIPER	84.6	57.3	539	91.3	64.4	744
	HURRAN	85.2 (85.2)	57.2	539	92.3 (92.2)	65.7	744
	CHMEAN	82.1	55.4	539	89.1	63.1	744

93.3 公里，如果這些統計路徑預報方法之預報誤差大小可反應路徑預報困難度，則 12 小時之路徑預報情形和 24 小時路徑預報情形相似，都顯示 1987 年後颱風路徑預報之困難度提高，或許這都和美國撤除颱風時之飛機觀測有關。

由於中央氣象局所紀錄 12 小時颱風預報位置之個案數很少，為了對 12 小時之預報誤差有更完整的了解，乃假設 12 小時之預報位置可由 24 小時預報位置經簡單內插而得。經由此內插定位並進行預報校驗之結果，顯示對 1962 至 1987 年全數 1,036 個案之平均 12 小時預報誤差為 90.9 公里，加入 1988 年至 1995 年 411 個案

後使其平均誤差稍微增加，而為 91.7 公里。以共同個案之校驗，則顯示中央氣象局對 1962 至 1987 年間 539 個案之 12 小時平均預報誤差為 87.9 公里，較 CLIPER 之 84.6 公里與 HURRAN 之 85.2 公里稍大，而在加入 1988 年至 1995 年間 205 個案後，中央氣象局之 12 小時平均預報誤差增大至 90.3 公里。CLIPER 與 HURRAN 兩預報，在同時期之預報誤差增加幅度更大，這些結果再次顯示 1987 年後(對 12 小時)颱風路徑預報之困難度提高，而中央氣象局則在 1987 年後，逐漸在預報技術上有所提昇。

(三) JTWC 定位之校驗結果

謝等(1986)曾利用 JTWC 之颱風路徑資料，檢視 CLIPER 與 HURRAN 兩預報方法，應用在西北太平洋颱風路徑預報之誤差情形。他們的結果顯示，CLIPER 與 HURRAN 兩方法對 1959 至 1977 年在北緯 10 至 40 度、東經 110 至 150 度範圍內共 120 個颱風之平均 24 小時預報誤差分別為 164.5 公里與 150.7 公里，此值和表二之結果差異不少。為了解這差異主要是因個案差別所致抑或是因 JTWC 路徑較平滑所致，乃進一步針對表一之颱風個案，以 JTWC 之定位資料，計算預報誤差如表四。

表四顯示，對 1962 至 1995 年間 487 共同個案，若以 JTWC 定位為校驗，則 CLIPER 與 HURRAN 兩預報方法之平均 24 小時預報誤差分別為 146.3 公里與 138.9 公里，較表二所示 (CLIPER 與 HURRAN 方法分別為 173.2 公里與 176.9 公里) 顯著減少。事實上，CLIPER 與 HURRAN 兩預報方法之建立都是依據 JTWC 季後平滑處理後之最佳路徑資料而得，因此針對此

資料進行預報誤差校驗，其值較針對中央氣象局之定位所得結果小，是很容易理解的。而此結果也顯示，在實際預報作業時，所輸入之各定位，若是直接引用各時間之觀測結果，而沒有進行修勻平滑處理，並在校驗上也是直接引用觀測之即時定位資料，則預測之誤差將會較事後以最佳路徑定位從事校驗之誤差為大。

表四中，若進一步比較 1987 年前後期 CLIPER 與 HURRAN 兩方法之預報誤差，也可見在加入 1987 年以後之個案時，都使平均預報誤差增加，這和表二之結果一致，顯示 1987 年後颱風路徑預報之困難度增加。而另外表四中 HURRAN 方法之預報誤差較 CLIPER 為小，這和表二不同，但和謝等(1986)之結果相似。

(四) 誤差隨地區分佈之特性

對前述中央氣象局所做 24 小時颱風路徑預報總共 1,136 個案之誤差，若以每 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 做區分，則在這些區格裏，處於較外圍之區格其個案數一般較少(圖 6a)，在內部靠近台灣的區格，其個案數則都在 20 個以上，最多個案數的區格是

表四 以 JTWC 定位資料進行校驗所得 CLIPER 與 HURRAN 兩方法之 24 小時平均颱風路徑預報誤差 (公里) 與標準差。

方 法		1962-1987			1962-1995		
		平均誤差	標準差	個案數	平均誤差	標準差	個案數
全數 個案	CLIPER	158.6	107.4	533	159.8	105.4	666
	HURRAN	149.2	102.2	779	151.4	100.5	987
共同 個案	CLIPER	139.2	90.0	356	146.3	92.8	487
	HURRAN	131.7	86.3	356	138.9	89.6	487

註：HURRAN 方法係以 1947 至 1995 年路徑資料為甄選相似路徑時之資料檔。

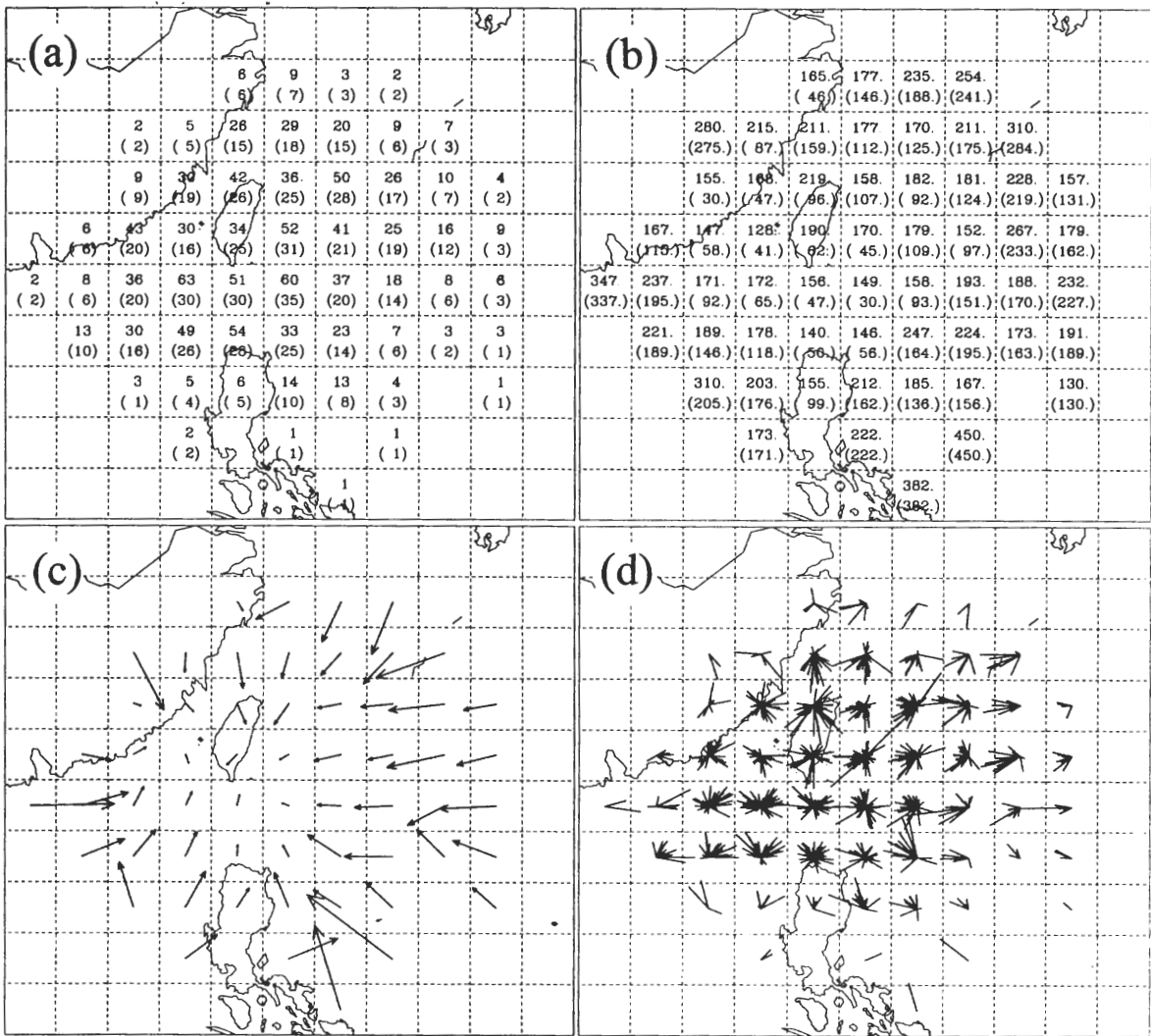


圖 6 中央氣象局對全數 1136 個案所做 24 小時颱風路徑預報之 (a) 個案數與(颱風數), (b) 平均距離誤差(公里)與(平均向量誤差值), (c) 平均向量誤差, 及(d)各預報誤差(實際大小之三分之一)隨每 2°x2°區格之分佈情形。

位於台灣的西南方, 有 63 個案共 30 個颱風。在台灣地區, 台灣北部和鄰近海域之區格內有 42 個案分屬 26 個颱風, 而在台灣和鄰近海域之區格則有 34 個案, 分屬於 25 個颱風。

在圖 6b 之每區格內則列示了在此區格內個案之預報距離誤差平均值以及預報位置誤差之向量平均值。台灣北部和鄰近海域 42 個案之

預報平均誤差為 219 公里, 台灣南部和鄰近海域 34 個案之預報平均誤差則稍小為 190 公里, 這兩地區之平均誤差較表一所示全數個案之平均誤差(178 公里)或圖 6b 所示台灣外圍其它區格內之平均預報誤差值為大, 這現象或許是顯示在台灣地區由於有高聳山嶽之存在, 使得颱風路徑預報之困難度提高、誤差變大。

區格內各個案之誤差向量和平均圖上(圖 6c)，則非常清楚的顯示，中央氣象局所做的這些預報有相當一致的偏指向台灣的系統性誤差。李等(1996)對這些個案以較大區域平均也得到相似的結論，圖 6c 則更清楚的顯示這種系統性的誤差，在外圍各區格之值較在台灣附近更大，仔細的檢視各個案之誤差向量(圖 6d，各誤差向量經平移至區格之中心)可見內側各區格之

誤差向量較均勻的分散在各方位，使向量和之值變小，並和距離值之平均有較大差異(圖 6b)，而在外圍之區格內，各個案之誤差向量則有較一致之指向，使得向量和之平均值與誤差值之平均較相近。

若進一步將這些颱風個案依其行進方向分為向北移動與向西移動兩組，其中向北移動之颱風個案是指其移動方向為向正北加或減 22.5°

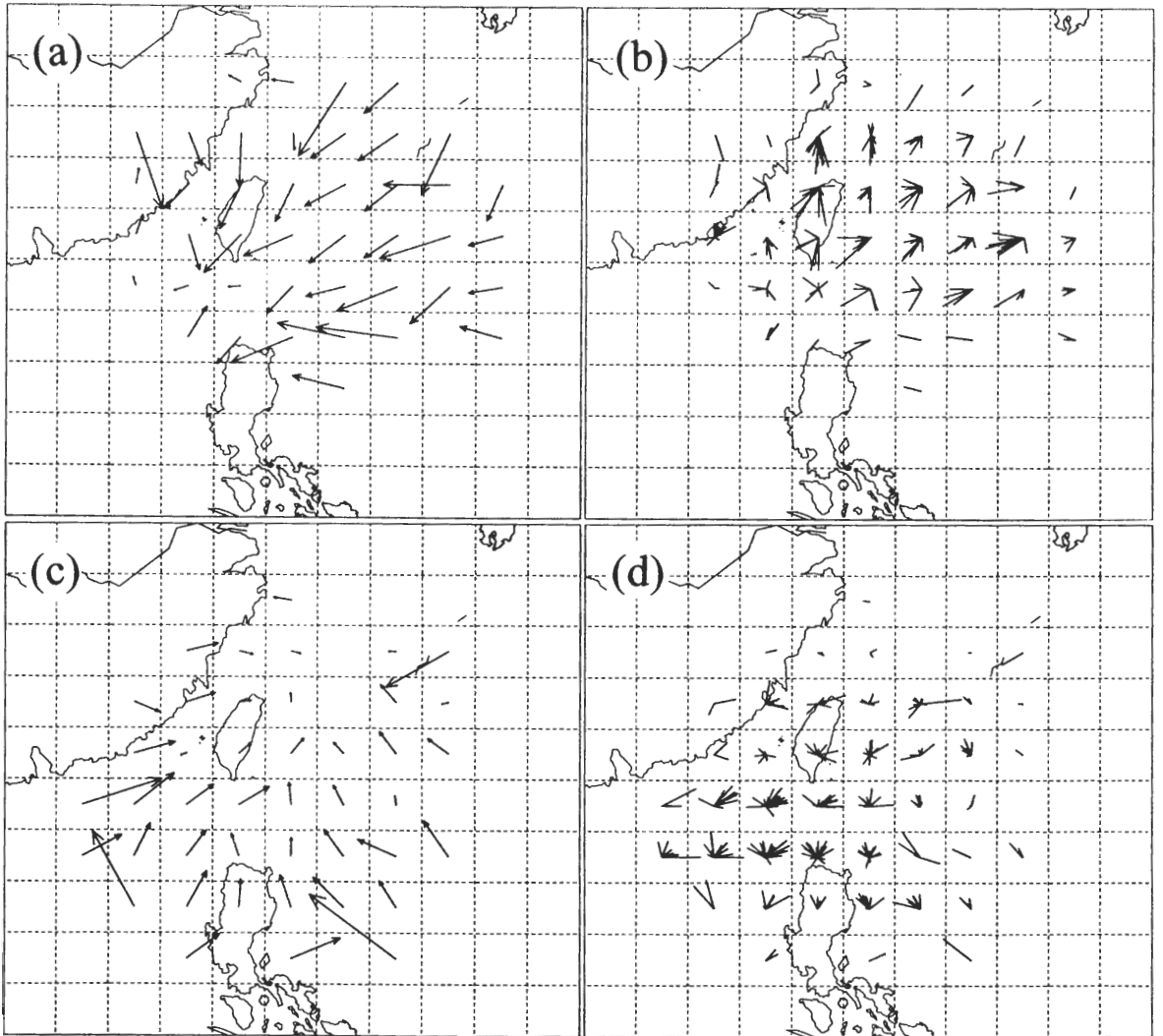


圖 7 如圖 6c 與圖 6d，唯為(a)(b)對向北移動，(c)(d)對向西移動颱風之預報情形。

內之個案，向西移動之颱風個案是指其移動方向為向正西加或減 22.5° 內之個案。在向北移動之個案裏，位於台灣東側之各預報(圖 7a)有相當一致向南和向西之系統性誤差，尤其是向西之誤差更為一致，如圖 7b 所示在 122°E 以東 135 個案裏僅有非常少數個案其預報位置是位於觀測位置之東側，絕大部分之預報皆有太偏向西側之誤差。向西移動各颱風個案中，有較明顯系統性誤差的是位於台灣的南方，對這些颱風預報個案，中央氣象局之預報有明顯偏北之誤差(圖 7c)，由圖 7d 所示，位於 20°N 以南之 186 向西移動個案中，只有極少數個案其預報位置是在觀測位置之南側，絕大部分之個案，其預報位置都是偏北。

主觀預報誤差若與 CLIPER 及 HURRAN 預報誤差做比較，則由共同個案(總數 487 個案)裏分別有 24 個案位於台灣北部之區格，有 14 個案位於台灣南部之區格，中央氣象局對這些個案之平均預報誤差分別為 196 公里與 176 公里，仍顯示對台灣北部及鄰近海域颱風預報距離誤差值較對台灣南部及鄰近海域颱風預報之距離誤差值大，同時這些值也仍較表二所示對全區域之平均值(170 公里)大。CLIPER 與 HURRAN 兩預報方法對這些共同個案在台灣南北兩地區之平均預報誤差，則分別在北區為 221 公里與 242 公里，在南區為 196 公里與 190 公里，較前述對應之中央氣象局預報誤差平均值大 14 公里以上，增大之幅度較表二所示更明顯。這些結果再次顯示颱風路徑預報在鄰近台灣時其困難度提高，而 CLIPER 與 HURRAN 兩統計預報方法在此情形下誤差更相對的提高，這或許都與台灣之高聳地形有關。

對指向台灣之系統性預報誤差，在共同個

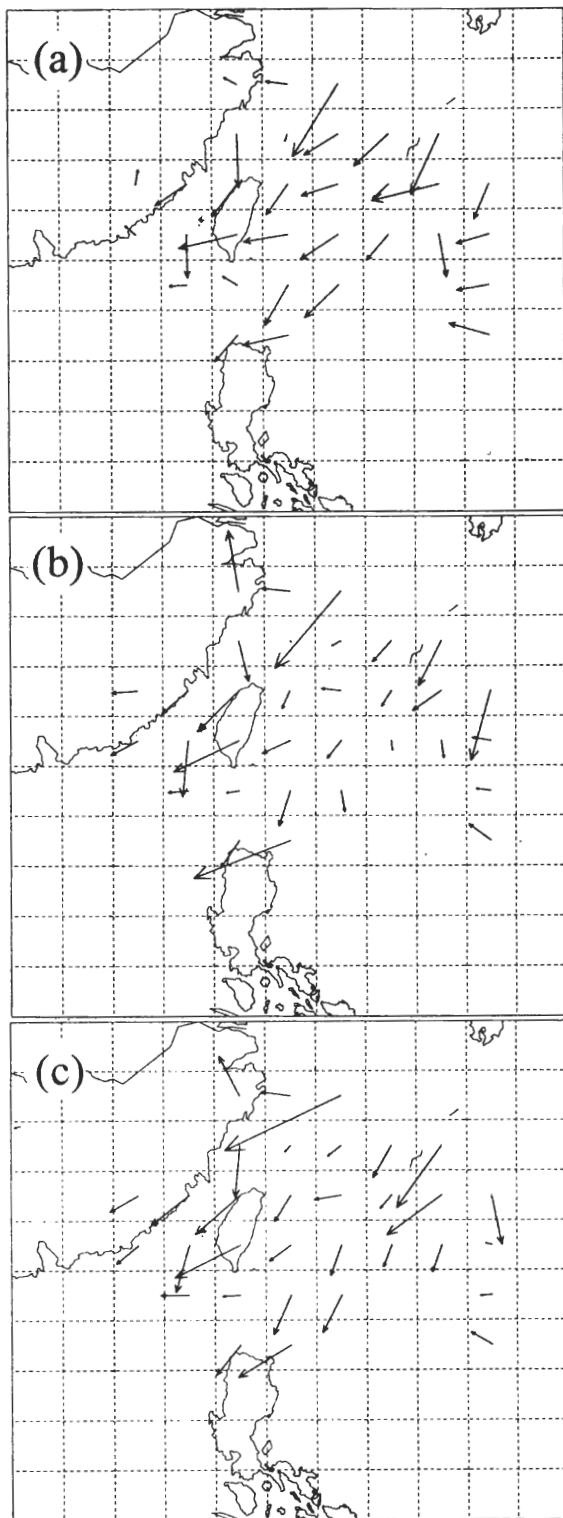


圖 8 對共同個案向北移動颱風(a)中央氣象局，(b)HURRAN，及(c)CLIPER 所做路徑預報平均向量誤差。

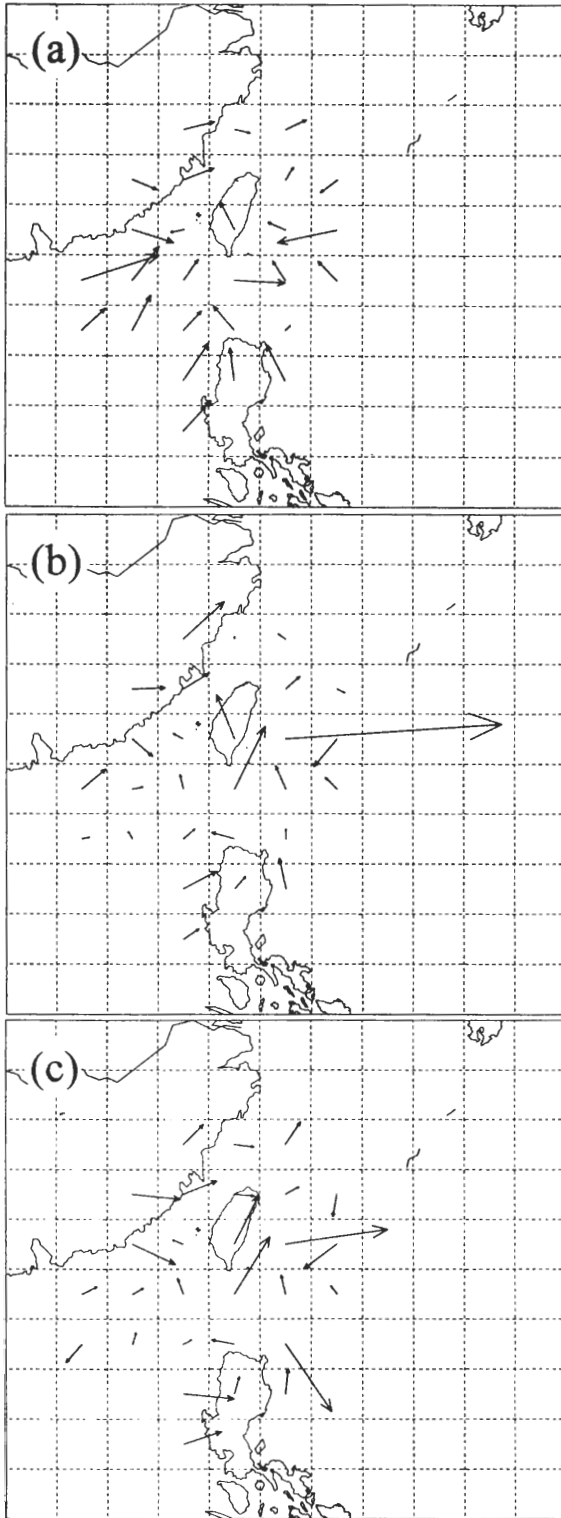


圖 9 對共同個案向西移動颱風(a)中央氣象局, (b)HURRAN, 及(c)CLIPER 所做路徑預報平均向量誤差。

案之統計裏也有相似之結果(圖略), 唯因個案數較少, 因此不若圖 6c 所示明顯。對向北移動之各共同個案除了在幾個較少個案之區格外, 仍顯示有相當明顯向西向南之系統性誤差(圖 8a), 然而對這些相同之個案, HURRAN 預報之系統性誤差(圖 8b)則比較不規則, 但有偏向南的現象, CLIPER 預報之系統性誤差(圖 8c)則偏向之誤差相當明顯, 顯示對這類向北移動之個案, 中央氣象局之預報有較指向台灣之系統性誤差, 並且三者皆有低估其向北移動的速度, 和 Carr et al. (1995) 所述向北移動之颱風其移速有被低估的現象一致。對向西移動的共同個案, 也仍可見有指向台灣的系統性誤差(圖 9a), 但並不如圖 8a 明顯, 相較之下 HURRAN(圖 9b)與 CLIPER(圖 9c)兩方法之預報誤差則更散亂而無系統性。由此我們可歸納得到, 中央氣象局對颱風路徑預報指向台灣的預報誤差主要並不是因為挑選個案不均而產生, 而是確實存在有系統性之預報誤差。

(五) 平均法的應用

圖 10 繪示中央氣象局與 CLIPER 及 HURRAN 兩方法 24 小時颱風路徑預報誤差之分佈情形。由圖可見有 60% 以上之預報其誤差是小於 200 公里, 但也有部分預報其誤差超過 300 公里。對誤差在 150 公里以內之預報, CLIPER 及 HURRAN 兩方法在個案數上較中央氣象局佔更多百分比, 而引致 CLIPER 及 HURRAN 兩方法之平均誤差反而大於中央氣象局預報之原因, 主要是 CLIPER 及 HURRAN 兩方法有較多個案之預報誤差是在 300 公里以上, 這種情形由誤差之相對散佈(圖 11)上看得更清楚。

在散佈圖上各個案之分佈相當分散, 尤其是中央氣象局預報與 HURRAN 預報之散佈圖,

Typhoon Track Forecasting Distance Errors (487 Homogeneous Cases)

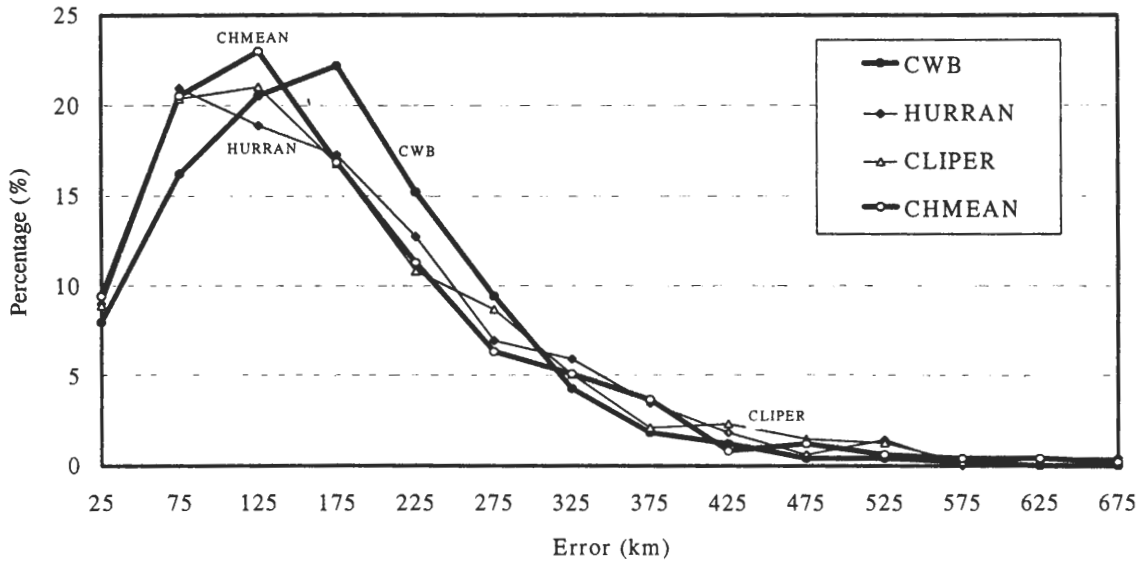


圖 10 中央氣象局與其他三種預報方法(HURRAN, CLIPER 與 CHMEAN)24 小時颱風路徑預報距離誤差之機率分佈。

其預報誤差之相關係數僅為 0.48，中央氣象局預報與 CLIPER 預報誤差之相關性稍高但亦僅為 0.58，顯示中央氣象局預報不是單一依循 CLIPER 或 HURRAN 之預報結果，而是經過其他的研判，有相當的自主性。為討論的方便，將這種散佈圖，由左至右由下至上均分為 A 至 I 等九區。圖 11a 有大部分預報個案是在散佈圖之 A 區，表示對這些個案 CLIPER 及中央氣象局兩預報之誤差都是在 300 公里以內，而 D 區內之個數較 B 區多，顯示有較多的個案其 CLIPER 預報誤差超過 300 公里而中央氣象局預報誤差小於 300 公里，有較少的個案中央氣象局預報誤差大於 300 公里而 CLIPER 預報誤差小於 300 公里。在 E 區，也有較多個案是在對角線上方，顯示對此區之個案，CLIPER 預報平均誤差較中央氣象局預報之平均誤差大。HURRAN 預報誤差與中央氣象局預報誤差之相對散佈圖(11b)與

圖 11a 相似，而圖 11b 更顯示 HURRAN 方法有六預報之誤差大於 600 公里，而中央氣象局對此六個案之預報誤差小於 600 公里，若能改善這些較大誤差，則兩統計方法仍然對 24 小時之颱風路徑預報有重要的參考價值。

經嘗試以 CLIPER 及 HURRAN 兩預報結果之平均值為預報，簡稱此方法為 CHMEAN，CHMEAN 預報誤差與中央氣象局預報誤差之散佈情形如圖 12。在圖 12a 中也同時顯示了 CLIPER 及 HURRAN 對此 487 共同個案預報之誤差散佈情形。由圖 12a 可見，此種平均方法對單一使用 CLIPER 或 HURRAN 有較大誤差時之個案做預報，其結果會使誤差減小，而居於兩者之間。從圖 12b 可見雖有些個案 CHMEAN 之預報結果仍有比較大誤差，但在 A 區之各預報中，有許多是在對角線之下方，顯示 CHMEAN 有比中央氣象局預報較小的誤差，而使預報誤差在

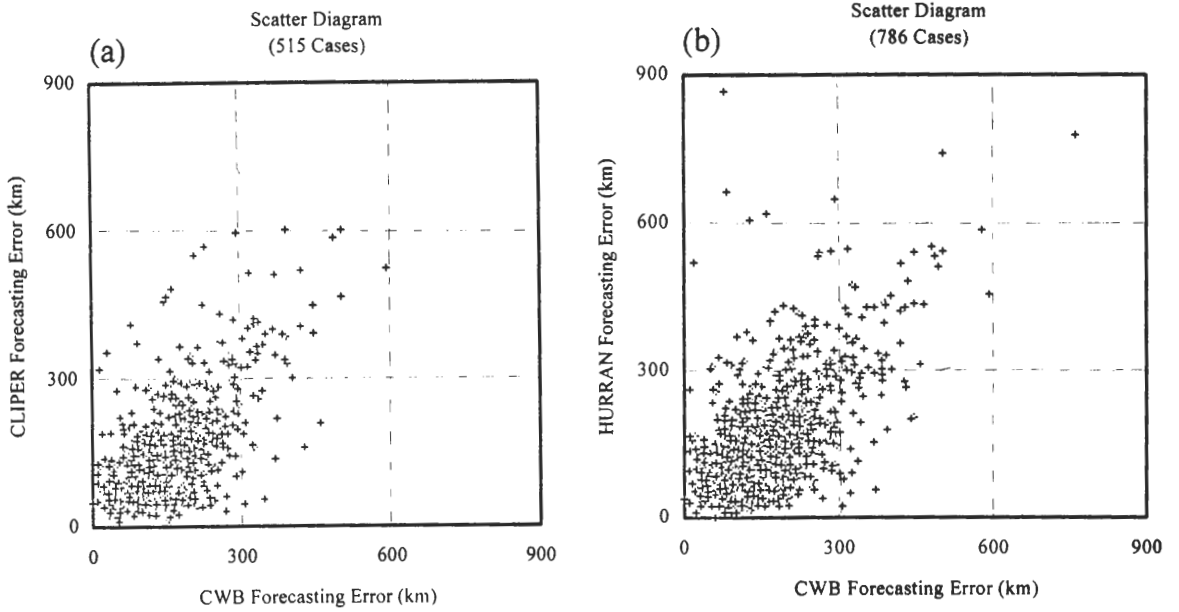


圖 11 (a) CLIPER, (b) HURRAN 之 24 小時預報誤差(縱軸)與中央氣象局預報誤差(橫軸)之散佈圖。

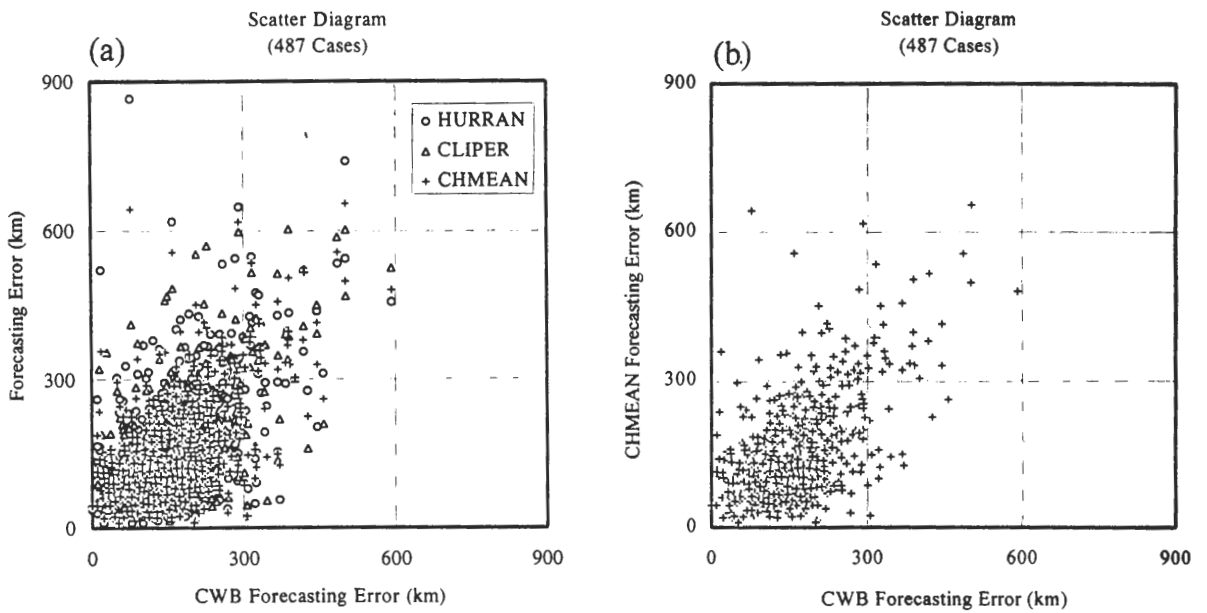


圖 12 對 487 共同個案(a) CLIPER, HURRAN 與 CHMEAN, (b) CHMEAN 之 24 小時預報誤差與中央氣象局預報誤差之散佈圖。

100 至 150 公里之個案數顯著增加(圖 10)。對 487 共同個案裡，24 小時預報之平均誤差為 171.5 公里(表二)，較 HURRAN(176.9 公里)與 CLIPER(173.2 公里)小，而和中央氣象局之預報誤差(170.3 公里)相近。對 12 小時之預報(表三)，CHMEAN 之預報誤差不僅較 HURRAN 或 CLIPER 之預報誤差小，也較中央氣象局之預報誤差更小，顯示這方法有應用參考價值。

對 CLIPER、HURRAN 與 CHMEAN 之預報誤差做進一步分析，發現 CLIPER 與 HURRAN 兩統計方法結果之相關性相當高，誤差間相關係數為 0.78，而 CHMEAN 又為其兩者之平均，因此 CHMEAN 與 HURRAN 以及 CHMEAN 與 CLIPER 之相關性更高，誤差間相關係數分別為 0.94 與 0.93，因此仍然有一些個案，CLIPER 與 HURRAN 兩統計預報之結果相近，但預報誤差仍大的情形。但我們也發現若 CLIPER 與 HURRAN 兩 24 小時預報位置之差異大於 200 公里時，有三分之二的個案其 HURRAN、CLIPER 或 CHMEAN 之預報誤差也在 200 公里以上(圖略)，因此在利用這些統計預報之結果時，若不同方法間結果差異較大，相對之可靠性將降低。

另外，由 CHMEAN 預報誤差隨日曆天數之分佈情形(圖 13)可見其誤差隨季節變化之關係並不明顯，預報誤差超過 200 公里之個案發生在整個颱風季，中央氣象局、CLIPER 與 HURRAN 之預報誤差也有相似之情形(圖略)，因此不易由季節來研判預報結果之可信度。然而由圖 13 也可以看到在進入 11 月後之 CHMEAN 預報誤差一般皆較大(HURRAN 與 CLIPER 之預報差異不大，也有相似情形)，這可能和相似個案少有關。這結果雖因個案數僅包含兩颱風共七

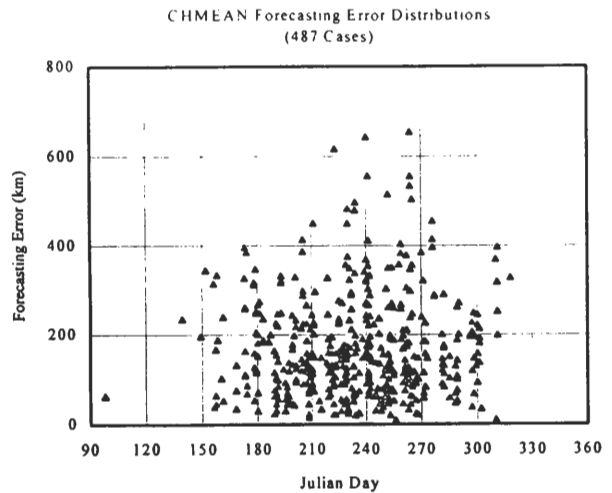


圖 13 CHMEAN 預報誤差隨日曆天數之分佈。

個案，並不一定能代表統計上之特性，但值得在進行主觀預報時注意，當歷史相似個案少時，應該將所擇選之相似個案與預報個案做進一步仔細比對，研判了解其間之差異，以免受到誤導。

四、綜 結

颱風是造成台灣地區最嚴重氣象災害的天氣系統，其預報之重點首在於正確之路徑預報，了解現今路徑預報以及客觀預報方法之誤差特性，而予修正，則將有助於路徑預報之改進。本文以李等(1996)所搜集之中央氣象局在 1962 至 1995 年颱風定位與預報資料，校驗與討論中央氣象局對這些颱風個案所做 12 與 24 小時之預報誤差特性。

由資料之分析得到中央氣象局在 1962 至 1995 年對 1,136 颱風個案 24 小時路徑預報之平均誤差為 178 公里，此誤差值較僅含 1962 至 1987 年共 827 個案之平均誤差 176 公里稍微提

高。以兩颱風路徑統計預報方法 CLIPER (Neumann 1972)與 HURRAN (Hope and Neumann 1970)也都可進行預報校驗之 487 共同個案得到平均誤差 170 公里,此值也較對 1987 年以前 356 共同個案之平均誤差 167 公里為大。

對 1962 至 1995 年之 487 共同個案, CLIPER 與 HURRAN 兩方法之 24 小時颱風路徑預報誤差平均值分別為 173 公里與 177 公里,較中央氣象局之平均預報誤差大,而對 1987 年前之 356 共同個案之 24 小時颱風路徑預報誤差平均值則分別為 160 公里與 162 公里,較中央氣象局之平均預報誤差小,也較加入 1987 年以後個案之平均誤差值小。這些結果顯示,1987 年後颱風路徑預報之困難度提高,這種現象或許與 1987 年後美國撤除颱風飛機觀測有關;而中央氣象局則逐漸在 1987 年後展現其颱風路徑預報技術,這或許是與中央氣象局推行氣象作業現代化與成功建立數值預報系統,使得氣象作業有更完整的參考資料有關。

李等(1996)之資料庫中僅 254 個案含 12 小時之颱風路徑預報資料,若以 24 小時之路徑預報做簡單之平均以得 12 小時路徑預報位置,則對 1962 至 1995 年間,744 共同個案中央氣象局之 12 小時颱風路徑預報平均誤差為 90 公里,分別較 CLIPER(91 公里)與 HURRAN(92 公里)之預報平均誤差稍小,但較對 1987 年前 539 共同個案之預報平均誤差 88 公里稍大,同樣顯示 1987 年後颱風路徑預報困難度提高。

由路徑預報誤差隨空間之分佈情形顯示當颱風是在台灣地區時,不論主觀或統計預報其預報誤差值都較颱風在台灣鄰近地區為大,其中又以在台灣北部之誤差大於在台灣南部之誤

差,而 CLIPER 與 HURRAN 兩統計方法預報能力下降更明顯,這種預報困難度之提高或許與台灣之複雜地形有關。

在研究裏,我們也嘗試應用 CLIPER 與 HURRAN 兩路徑預報方法所得位置之平均為預報位置,結果顯示這種簡單之系集平均其預報總平均誤差值較單獨以 CLIPER 或 HURRAN 之預報結果小。另外我們也發現,當 CLIPER 與 HURRAN 兩預報結果差異大時,這種系集平均之預報可信度降低,而對 10 月底後之颱風可能是因為個案數較少,此統計方法之預報結果誤差也較大。

預報誤差之分佈也顯示中央氣象局之颱風路徑預報有偏向台灣之誤差,其中對在台灣東方向北行進之颱風移動有預報太偏向西速度偏慢的誤差,而對在台灣南方向西移動之颱風則有預報太偏向北之誤差。以共同之個案做比較,CLIPER 與 HURRAN 預報方法也有低估這些向北移動颱風之移速的系統性誤差,但對向西移動颱風個案之系統誤差就比較不明顯。

值得一提的是,雖然 CLIPER 與 HURRAN 兩預報誤差在總平均上較中央氣象局之平均誤差大,但其平均誤差較大的原因是這些方法對少數個案有相當嚴重的預報誤差所造成,因此值得進一步探討這些個案之特殊性,以及較有系統的區分這些統計預報方法之適用性,則將更有助於短期颱風路徑預報準確度之提昇。另外,我們也得知對相同之颱風,若定位資料是根據 JTWC 較平滑之路徑資料做預報校驗時,其 24 小時路徑預報平均誤差約較以中央氣象局作業定位時之路徑為校驗時小 25 公里,因此在預報作業時,對颱風之定位是否應當引用平滑處理的概

念，抑或應依實際觀測所得做詳實的公布，值得作業單位進一步思考。

誌 謝

本文是在中央氣象局支持與國科會研究計畫 NSC87-2621-P052-012 資助下完成，特別感謝台灣大學大氣科學系李清勝教授和中央氣象局呂國臣技正提供他們整理的中央氣象局颱風定位和預報資料檔，並感謝兩位審查委員之建議使本文更完整。

參考文獻

- 李清勝，1988：台灣地區颱風路徑之預報分析，**大氣科學**, 16, 133-139。
- 李清勝、葉天降與呂國臣，1996：改進中央氣象局颱風路徑機率預報之研究，中央氣象局委託研究報告 CWB85-2M-07, 21PP。
- 吳宗堯與謝信良，1988：現有颱風預報研究成果作業化之研究（一），國家科學委員會研究報告 NSC77-0414-P052-04B, 144pp。
- 胡仲英與陳熙揚，1976：利用客觀比擬法預報颱風路徑之研究，**氣象學報**, 22, 8-16。
- 戚啓勳，1966：荒川氏颱風統計預報新法之試驗，**氣象學報**, 12, 第二期 1-13。
- 陳熙揚，1980：利用類比法預測颱風路徑之研究，**氣象學報**, 26, 第四期 1-13。
- 蔡清彥與程家平，1989：正壓颱風路徑預報模式之改進研究，**大氣科學**, 17, 101-120。
- 謝信良、劉復誠與王忠山，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, 第二期 1-25。
- Arakawa, H., 1964: Statistical method to forecast the movement and central pressure of typhoons in Western North Pacific. *J. of Applied Meteor.*, 3, 524-546.
- Chen, D.-S., T.-C. Yeh, K.-N. Huang, M.S. Pean and S.W. Chang, 1995: A new operational typhoon track prediction system at the Central Weather Bureau in Taiwan. Preprints, 21st Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology. April 24-28, 1995, Miami, FL., 50-51.
- Carr, L.E., III, M.A. Boothe, S.R. White, C.S. Kent, and R.L. Elsberry, 1995: Systematic approach to tropical cyclone track forecasting. Part II. Climatology, reproducibility, and refinement of meteorological knowledge base. Tech. Rep. NPS-MR-95-001, Naval Postgraduate School, Monterey, CA 93943, USA, 96PP.
- Elsberry, R.L., 1995: Tropical Cyclone Motion. *Chapter 4, Global Perspectives on Tropical Cyclones*. WMO/TD-No.693, WMO, 106-197。
- Hope, J.R., and C.J. Neumann, 1970: An operational technique for relating the movement of existing tropical cyclones to pass tracks. *Mon. Wea. Rev.*, 98, 925-933。
- Jarrell, J.D., and W.L. Somervell, Jr., 1970: A computer technique for using typhoon analogs as a forecast aid. Naval Weather Research Facility Tech. Paper No. 6-70, 47pp。
- Jeng, B.-F., H.-J. Chen, S.-C. Lin, T.-M. Leou, M. S. Peng, S. W. Chang, W.-R. Hsu, and C.-P. Chang, 1990: The limited-Area Forecast Systems at the Central Weather Bureau in Taiwan. *Weather and Forecasting*, 6, 155-178.
- Neumann, C. J., 1972: An alternate to the HURRAN tropical cyclone forecast system. *Mon. Wea. Rev.*, 100, 245-255。
- Neumann, C. J., 1988: The National Hurricane Center NHC83 model. NOAA Tech. Memo. NWS NHC41, National Hurricane Center, Miami, FL., 44pp。
- Neumann, C. J., 1993: Global overview. *Chapter 1, Global Guide to Tropical Cyclone Forecasting*. WMO, 1.1-1.56。

- Willoughby, H. E., 1995: Mature structure and evolution. *Chapter 2, Global Perspectives on Tropical Cyclones*. WMO/TO-No.693, WMO, 21-62.
- Xu, Y., and C. J. Neumann, 1985: A statistical model for the prediction of western North Pacific tropical cyclone motion (WPCLPR). NOAA Tech. Memo. NWS-NHC 28, National Hurricane Center, Miami, FL., 30pp.
- Yeh, T.-C. and R. L. Elsberry, 1993: Interaction of typhoons with the Taiwan orography. Part I: Upstream track deflections. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 3193-3212.

The Evaluation of Typhoon Track Forecasting Errors and The Application of The Statistical Typhoon Track Forecasting Approaches in Taiwan Area

Tien-Chiang Yeh Shih-Chi Wu Shinn-Liang Shieh
Central Weather Bureau

(Manuscript received 09 July 1998 : in final form 10 September 1998)

ABSTRACT

Typhoon forecasting is one of the most important tasks of the weather services in Taiwan area. In this study, the Central Weather Bureau typhoon warnings collected by Li et al. (1996) is applied to evaluate the typhoon track forecasting from Central Weather Bureau. The result show the averaging 12/24 hours typhoon track forecasting distance error of 744/1,136 cases between 1962 to 1995 is 90/178 km. These errors are smaller than the errors from two statistical track forecasting methods of CLIPER and HURRAN. A simple ensemble average of the forecasts by CLIPER and HURRAN can reduce the error.

The result also show that the typhoon track forecasting errors are smaller for cases before 1987 than for cases after 1987. The increase of the errors, implying the increase of the typhoon track forecasting difficulties, maybe relate to the unavailable of the reconnaissance observations after 1987. There are also shown systematic bias on the Central Weather Bureau forecasts. The forecasts of typhoon centers were too close to Taiwan, especially for the cases of the northward moving typhoons to the east of Taiwan and for the westward moving typhoons to the south of Taiwan.

Key words: Typhoon track forecasting