

台灣地區颱風路徑之預報分析

李清勝

國立台灣大學大氣科學系

(中華民國七十七年一月二十七日收稿；四月十五日定稿)

摘 要

本研究收集了1962至1987年間，中央氣象局所發佈的海上陸上颱風警報單之資料，分析中央氣象局的颱風路徑預報誤差，以及HURRAN法，CLIPER法及ANALOG法等颱風路徑客觀預報方法在台灣地區的可適用性。結果顯示HURRAN法的24小時平均預報誤差最小(170公里)，各月的預報誤差亦最平穩。ANALOG法預報誤差之持續特性則較高。中央氣象局的24小時平均預報誤差為(177公里)較HURRAN法和CLIPER法(173公里)為大，但較關島美軍聯合颱風警報中心(JTWC)之221公里為小。然而中央氣象局的颱風預報誤差並沒有逐年減小之趨勢，顯示中央氣象局之颱風預報雖已達國際水準，但是預報方法仍有待研究改進。

關鍵詞：颱風、颱風路徑預報、客觀方法、誤差校驗。

一、前言

台灣位於西北太平洋颱風路徑的要衝，平均每年因颱風所造成的損失約17.8億元(謝和陳，1986)，為各類自然災害之首。欲有效的減少颱風所造成的損失，首先，最重要的莫過於提高颱風路徑預報的準確度。颱風路徑的預報方法，大抵可分成兩大類，即數值預報模式和氣候統計法兩大類。對於較長時間的預報(例如：48~72小時)數值模式所預測的路徑大抵比氣候統計法好，(參見Anthes, 1982；表7.7)，但對於24~36小時的預報則氣候統計法有其實用上的價值。

Matsumoto(1985)在發展西北太平洋颱風路徑預測方法的複迴歸分析時，考慮了綜觀天氣條件和數值預報結果(稱為perfect prog)。其

所得到的颱風路徑統計預報模式比其他所有的方法準確度為高(根據Ted Tsui所提供之資料)。由於此方法採用了綜觀天氣條件和數值模式預報結果，可稱之為天氣、動力統計法。Matsumoto的模式採用了美國NMC的分析和預報的網格點資料，國內目前並無法發展此種模式，因此本文將分析現有的颱風路徑客觀預報方法預報誤差之逐年、逐月和時間上之變化特性，增進對預報方法特性之瞭解，以作為未來研究發展之基礎。

目前颱風路徑預報之客觀方法，包括HURRAN法、CLIPER法、PC法、ANALOG法(或稱CWB-81)和ARAKAWA法等。謝等(1986)曾經採用1957~1977年西北太平洋地區颱風最佳路徑資料(Best Track, Annual Typhoon Report, Joint Typhoon Warning Center,

JTWC, GUAM) 對前面四種方法作有系統的校驗, (ARAKAWA 法因需使用綜觀天氣分析資料, 因此不列入校驗。) 結果顯示在此四種方法中, HURRAN 法之平均誤差最小, PC 法之平均誤差最大。然而 JTWC 之最佳路徑資料乃是事後分析所得, 與實際應用上當有出入, 本研究將採用類似的分析方法, 搜集實際預報作業中可獲得的資料, 針對直接或可能對台灣構成威脅的颱風作有系統的校驗分析; 在分析中將包括各種客觀預報方法逐年和各月的預報誤差變化及誤差大小之持續特性。此外, 我們也將校驗在過去二、三十年中央氣象局颱風路徑預報誤差之改進情形。

二、資料搜集與整理

本研究採用中央氣象局 1962 至 1987 年, 共 26 年, 所發布之颱風警報單上之颱風實際定位和預報位置, 總計 173 個颱風。然而早期所發布之颱風警報單並未保存完整, 部分資料流軼, 造成部分颱風資料在時間上不連續; 另外颱風警報單之時間間隔並非全為 6 小時, 而警報單上所預報之颱風亦並非全為 24 小時後之位置。為了解決資料不一致之問題, 將資料時間間隔一律定為 6 小時, 超過 6 小時者以內插求得, 不足 6 小時者則捨棄不用。經過整理得 1807 筆資料, 其中有 202 筆資料的颱風位置由內插得到, 每筆資料包括時間、颱風名稱、中心位置、最大風速、移動方向與速度以及預測之 12 小時或 24 小時位置。在此 1807 筆資料中, 有 294 筆資料沒有預報之位置 (包括前述之 202 筆內插所得資料), 或者預報的時間非 12 或 24 小時以後。剩下的 1513 筆資料中, 預報之颱風為 24 小時後的有 1165 筆, 為 12 小時後的有 348 筆。在校驗分析中央氣象局之預報誤差時, 兩者將分別計算。

三、中央氣象局颱風路徑預報誤差之校驗分析

在校驗預報誤差時, 首先將以實際預報作業時所決定之颱風中心位置 (非最佳路徑資料), 校驗分析中央氣象局颱風路徑 24 小時之平均預報誤差和標準偏差。在計算時, 經內差求得之颱風位置 (202 個資料) 並未被當作標準來計算預報誤差。表一中列出了中央氣象局 (CWB) 24 小時逐年平均預報誤差和標準偏差; 右邊兩行分別是每年預報資料總數和颱風個數。為方便比較, JTWC 的年平均誤差亦列在表一中之括弧內 (資料取自 JTWC, Annual Tropical Cyclone Report, 1986)。

表一 中央氣象局 24 小時颱風預報誤差

(單位: 公里)

年份	年平均	JTWC 預報誤差	標準 偏差	資料 個數	颱風 個數
1962	271	(267)	156	20	6
1963	169	(235)	69	42	7
1964	195	(246)	113	32	10
1965	221	(280)	135	23	9
1966	131	(252)	121	26	7
1967	195	(232)	136	25	8
1968	170	(195)	106	27	6
1969	166	(206)	74	16	5
1970	219	(182)	108	9	3
1971	143	(183)	82	19	4
1972	134	(215)	68	16	3
1973	182	(189)	64	22	5
1974	184	(211)	70	25	8
1975	170	(239)	87	21	4
1976	162	(217)	80	31	7
1977	177	(259)	97	31	5
1978	248	(222)	113	10	4
1979	199	(209)	144	40	7
1980	148	(215)	96	31	5
1981	158	(217)	70	26	6
1982	150	(211)	63	54	6
1983	127	(204)	56	39	4
1984	203	(204)	104	42	7
1985	191	(208)	109	48	7
1986	189	(217)	119	81	7
1987	172	—	98	49	6
總結	177	(221)	105	756	150

。下面一列則為全部26年(或25年)的平均誤差和標準偏差,所採用的資料總數與颱風總數。

此份結果顯示中央氣象局的24小時颱風預報誤差(177公里)較之關島JTWC之預報誤差(221公里)小了42公里;標準偏差亦較小。在1962~1986年中只有1962、1970和1978三年,中央氣象局的預報誤差較JTWC為高。至於中央氣象局預報最好的是1983年,年平均誤差僅127公里。由於資料取樣之不同,中央氣象局之預報誤差大小和JTWC並無一定之關係,然而,JTWC年平均預報誤差之逐年變化較中央氣象局為小,此乃因中央氣象局預報責任區較小,颱風個數亦少,預報誤差之大小和這些颱風的可預報度有很大的關係,如果侵襲台灣附近地區颱風之路徑變化較小,誤差會較小,反之則較大。令人意外的,從1962年至1987年,中央氣象局的颱風預報誤差並沒有明顯的下降趨勢(圖一),中央氣象局颱風預報時間為12小時19年(1962~1984,缺1972、1973、1975、1976)之平均預報誤差為96公里(表二),較24小時預報誤差之半數89公里稍高。標準偏差則為63公里。如同24小時預報誤差,12小

表二 中央氣象局12小時颱風預報誤差

(單位:公里)

年份	年平均	標準偏差	資料個數	颱風數
1962	132	25	25	5
1963	82	14	14	2
1964	95	22	22	5
1965	115	16	16	3
1966	63	22	22	4
1967	83	37	37	8
1968	85	27	27	5
1969	129	15	15	2
1970	127	3	3	1
1971	71	10	10	3
1974	75	3	3	2
1977	120	12	12	3
1978	102	13	13	3
1979	94	9	9	3
1980	71	7	7	2
1981	113	13	13	4
1982	101	2	2	2
1983	80	1	1	1
1984	93	3	3	2
總結	96	254	254	60

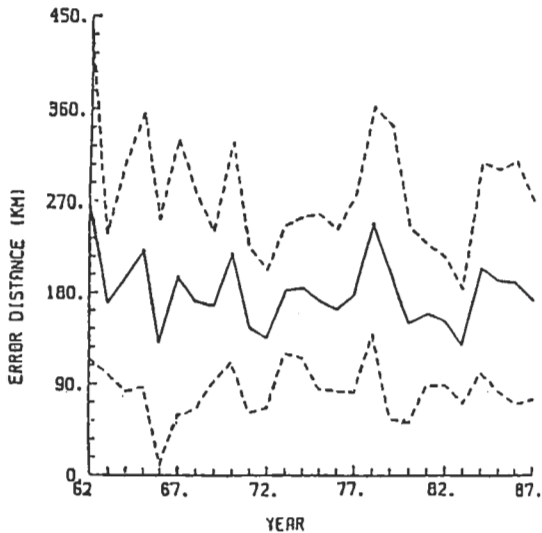


圖1 中央氣象局24小時颱風路徑預報之年平均誤差(實線)。虛線為平均值加上和減去標準偏差之值。

時年平均預報誤差亦沒有明顯逐年降低的趨勢。

表三中列出了中央氣象局24和12小時預報四至十一月之月平均誤差、標準偏差和資料個數。由資料顯示,七、八、九等三個月的颱風最有可能影響台灣,六月和十月颱風侵襲的機會減小很多。至於四、五、十一等三個月侵襲之機率非常少。由此份結果顯示,24小時誤差以九月份最小,只有159公里,比平均之177公里小了18公里,其次是10月份之166公里,這兩個月的標準偏差也都較小。八月份之平均誤差則較九月份大31公里,標準偏差也偏大。七月份之誤差和平均值差不多。12小時之預報誤差仍然是九月較小,八月較大,標準偏差亦雷同。但是十月份之誤差則跳升為最大。一般說來,誤差平均值大者,其標準偏差亦較大,反之亦然,然而,八月份之標準偏差顯有偏大之情形,顯示八月份颱風之行徑最為善變,不易掌握,平均誤差值因此

表三 中央氣象局24小時和12小時颱風預報之月平均誤差(單位:公里)

月份	24小時颱風預報			12小時颱風預報		
	平均	標準偏差	資料個數	平均	標準偏差	資料個數
4	223	115	10	75	24	2
5	226	138	9	103	56	13
6	180	99	65	108	75	28
7	177	101	196	93	56	56
8	189	123	216	104	77	54
9	159	90	211	78	42	64
10	166	79	71	124	73	27
11	216	113	27	83	46	10

也較七、九兩月為大。

在以上分析中採用了中央氣象局於預報作業時所決定之颱風中心位置為校驗標準,難以避免的此資料有少許之誤差。例如高低中心分離型的颱風,中心位置的決定往往有很大的誤差;再者有些颱風的中心位置並不能很明確的決定,此時預報者主觀的判斷,可能會往其先前所預報的位置偏。為了測試這些因素可能產生的影響,我們另外採用了關島 JTWC 的最佳路徑資料來評估分析中央氣象局的預報誤差,結果列在表四中(BEST TRACK 只到1986,因此1987年不列入)。表四颱風個數和表一所列者大約相同,資料個數則稍多(表四中從略)。採用最佳路徑評估之平均24時預報誤差是198公里,12小時預報誤差112公里,均較前述預報誤差(177公里和96公里)為大,偏差的百分比分別是12%(21公里/177公里)和17%(16公里/96公里)。雖然部份誤差增大的原因,是因此份分析資料包括了警報發佈末期之颱風,而有些颱風進入西風帶速度加快,使得誤差變大所帶來之影響。但是這麼大的誤差,說明了颱風中心定位準確度的重要性。目前關島的飛機颱風偵察飛行已經停止,因此研究如何利用衛星資料正確決定颱風中心位置和強度益形重要。

表四 利用 JTWC 最佳路徑資料評估中央氣象局之颱風預報(單位:公里)

年份	24小時預報誤差		12小時預報誤差	
	年平均	標準偏差	年平均	標準偏差
1962	275	135	134	80
1963	182	78	95	47
1964	186	98	117	58
1965	294	214	115	49
1966	141	99	101	126
1967	204	131	94	46
1968	181	114	106	65
1969	218	146	114	78
1970	183	110	146	40
1971	148	77	85	48
1972	170	81	—	—
1973	204	109	197	145
1974	182	95	203	0
1975	151	68	79	22
1976	175	91	120	51
1977	217	124	118	59
1978	270	74	135	73
1979	251	175	204	0
1980	151	92	74	30
1981	162	87	135	72
1982	171	67	121	55
1983	141	62	125	47
1984	230	115	98	51
1985	215	130	—	—
1986	246	167	—	—
總計	198	123	112	72

四、颱風路徑客觀預報法之校驗分析

有關中央氣象局目前採用之各種客觀預報方法中PC法(Aoki and Nomoto, 1977)和CL-1PER法(見Neumann, 1972; 徐, 1977)著重在颱風的持續性和氣候統計上之特性。HURRAN法(胡和陳, 1976)和ANALOG法(或CWB-81; 陳, 1980)則著重於選取特徵相似之歷史颱風做或然率統計分析之類比法的應用。在未來18小時內之預報, HURRAN法同時特別強調了持續性的重要性。有關這四種方法之詳細內容,

謝等(1986)和上述各文中已有詳細之陳述,本文不再贅述。由於PC法7~11月之預報因子包含中心最低氣壓資料(本份資料缺),目前無法計算。

本文在作此四種方法之預報校驗時,皆採用上述中央氣象局實際預報作業時之資料,亦即颱風警報單之資料。個案數目比謝等(1986)所用者少很多。另外因客觀預報方法之預報因子包括了過去24小時乃至48小時之資料。校驗則需24小時後之實際定位,校驗之資料個數因此亦比第三節之中央氣象局預報校驗中之資料個數為少,而且選取之颱風偏向於對臺灣構成威脅且時間較長之個案,統計結果當然會稍受影響。

表五列出了三種客觀預報方法(和CWB, JTWC)26年平均(JTWC為25年)24小時預報誤差,由於颱風個數和資料個數減少,各方法逐年變化變大。HURRAN法之平均預報誤差(170公里)最小,其次是CLIPER法(173公里),均比中央氣象局之誤差177公里稍好,但標準偏差則較大。ANALOG法則稍差(184公里),標準偏差亦最大。PC法的逐年結果,暫無統計,但4、5、6三個月的月平均誤差分別為231、268和268公里,標準偏差分別為106、52和94公里,資料個數則分別為10、5和41。雖然資料個數不多,但很明顯的是PC法之預報誤差偏大。謝等(1986)的結果顯示PC法之預報誤差亦遠較其他方法為大。表六中列出了三種方法之月平均誤差和標準偏差。HURRAN法和CLIPER法之月平均

表五 1962-1987(或86年)24小時平均颱風預報誤差(單位:公里)

方 法	平均 誤差	標準 偏差	資料 個數	颱風 個數
HURRAN法	170	119	494	109
ANALOG法	184	131	187	43
CLIPER法	173	110	751	141
CWB 預報	177	105	756	150
JTWC 預報	221			

表六 客觀預報法月平均誤差,括弧內分別是標準偏差和資料個數(單位:公里)

月 份	HURRAN法	ANALOG法	CLIPER法
4	75(10, 5)	170(71, 6)	201(119, 13)
5	170(47, 5)	74(0, 1)	264(99, 9)
6	171(115, 40)	249(70, 9)	181(113, 66)
7	162(108, 120)	204(164, 41)	168(98, 186)
8	173(140, 117)	168(107, 38)	172(104, 183)
9	173(114, 155)	178(130, 88)	166(122, 202)
10	175(111, 43)	135(79, 3)	179(110, 68)
11	229(112, 9)	272(0, 1)	182(106, 24)

變化很小,ANALOG法則變化頗大。在颱風侵襲機率較大之七、八、九月中,除ANALOG法七月誤差較大外,此三種方法之差別並不大,但此三個月之最小誤差分別是HURRAN法、ANALOG法和CLIPER法。

五、討論

統計結果顯示在各種颱風路徑客觀預報方法中,長期平均之24小時預報誤差最小的依次是HURRAN法、CLIPER法、ANALOG法,PC法最差。中央氣象局的平均預報誤差,界於CLIPER法以及ANALOG法之間,然而HURRAN法、CLIPER法、CWB和ANALOG法之預報誤差差別並不大,平均誤差依次是170、173、177和184公里,這些誤差也都比關島JTWC之平均預報誤差(221公里)為小。當同時考慮預報責任區與客觀方法之預報誤差後,可看出中央氣象局之颱風路徑預報準確度實質上並不一定比關島JTWC者好,但是如果說中央氣象局颱風路徑預報之準確度已達國際水準則不為過。然而,在作業時如僅僅採用HURRAN法或CLIPER法來作預報,長期平均誤差則較中央氣象局過去之平均預報誤差為小。可能的原因是中央氣象局於實際預報作業時考慮了安全因素,以至於使預報誤差加大。而且,事實上,這些客觀方法均是七〇年代以後才發展出來

之技術。

謝等(1986)所分析之24小時預報誤差分佈和目前結果相似,平均誤差由小至大依次為HURRAN法(151公里)、CLIPER法(165公里)、ANALOG法(176公里)和PC法(394公里),然而,目前結果之平均誤差均較謝等人所分析之結果為大。差別依次是HURRAN法19公里、CLIPER法8公里、ANALOG法8公里。此種差別的產生,主要是謝等所用之資料為最佳路徑資料而且客觀方法在發展過程中所採用的資料也是最佳路徑資料,謝等之誤差因此必較目前分析者為小。這些數據同時顯示HURRAN法雖然最有參考價值,但是其預報誤差對於定位誤差亦最敏感。平均24小時內因定位誤差所產生的預報誤差可達13%(19公里/151公里)。CLIPER法和ANALOG法則對定位誤差較不敏感,平均24小時內所產生的誤差均在5%以下。此等結果與客觀預報法之特性有關。在24小時內之預報HURRAN法頗為著重原始位移之重要性,初始颱風定位如有誤差,則連帶影響初始位移的準確度,對未來預報位置將有一定程度上之影響。

為了瞭解客觀方法在不同颱風之應用價值,表七中列出了過去五年中(1983~1987),資料時間較長的十個颱風之中央氣象局以及HURRAN法和CLIPER法之預報誤差,結果顯示三者之預報誤差並沒明顯相關,然而對於行徑怪異的颱風,目前的客觀預報法較難掌握,例如:1986年之韋恩颱風(Wayne),HURRAN法之平均預報誤差是232公里,CLIPER法是299公里,而中央氣象局之預報誤差則僅有181公里,但仍較平均值為高,此結果顯示主觀之預報經驗在颱風路徑預報上仍具有一定價值,然而主觀的經驗亦可能造成誤差之加大,例如:1986年的貝姬颱風(Peggy),HURRAN法之平均預報誤差僅為103公里,CLIPER法亦僅131公里,而中央氣象局之預報誤差竟達166公里。如以長期誤差平均來說,客觀方法並不一定比目前中央氣象局之預報差,然而目前之

表七 1983~1987年中,資料數較多之十個颱風之24小時平均預報誤差

年份	名稱	CWB 資料 個數	HURRAN法	CLIPER法
1983	Abby	156 (13)	92	146
1983	Forrest	94 (11)	104	70
1984	Wayne	142 (11)	94	158
1985	Nelson	59 (10)	198	99
1986	Peggy	166 (14)	103	131
1986	Wayne	181 (28)	232	299
1986	Abby	175 (14)	178	165
1986	Ellen	203 (10)	110	180
1987	Cary	179 (12)	129	179
1987	Gerald	65 (11)	121	66

客觀預報方法對路徑怪異之颱風尚欠缺預報能力,因此如何發展一種既客觀又能掌握怪異路徑颱風之颱風路徑客觀預報方法仍是一重要課題。

最後,我們分析了三種方法預報誤差之自相關係數,亦即目前之24小時預報誤差大小,與6小時、12小時、18小時和24小時後之24小時預報誤差之關係,結果列於表八中。自相關係數較高之方法在應用上有較高之價值,例如ANALOG法在某一時間之24小時預報誤差與6小時後之24小時預報誤差相關性達到0.815,即使18小時後亦達0.701。因此,如果ANALOG法對某一颱風之預報誤差在過去數個時間內均持續的偏低,則目前時間ANALOG法之24小時預報誤差較小之機率亦較高。至於CLIPER法和HURRAN法,則預報誤差之持續特性甚低。

表八 客觀預報方法之自相關係數,時間差分別為6、12、18和24小時

方法\時差	6Hr.	12Hr.	18Hr.	24Hr.
HURRAN	0.364	0.300	0.253	0.172
ANALOG	0.815	0.799	0.701	0.546
CLIPER	0.616	0.419	0.277	0.166

六、結語

台灣地區每年均受到颱風之侵襲，所造成的損失為台灣各類天然災害之冠，如何準確的預報颱風未來的路徑，進而做好防颱措施，以減少生命財產的損失，長久以來均是國內氣象界努力的目標。雖然中央氣象局的颱風路徑預報的準確率已達國際水準，但是預報誤差並沒有明顯逐年下降的趨勢。長期平均下來，仍比HURRAN法和CLIPER法等兩種客觀預報方法為差。然而目前的路徑客觀預報方法對於路徑怪異的颱風，仍欠缺預報能力。因此如何改進颱風路徑客觀預報方法，減少誤差，尤其是發展能掌握行徑怪異颱風的天氣、動力統計模式，仍應是中央氣象局未來研究發展的重點。

分析結果同時顯示，颱風定位誤差對於颱風路徑預測的準確度有很大的影響，然而，目前美國關島的JTWC已經停止飛機颱風偵察任務，這對於颱風位置和強度的決定，有相當不利的影響。因此，在沒有更好的觀測工具前，如何利用衛星資料，正確的決定颱風中心位置以及強度，應為當前最重要的研究課題之一。

誌謝

本文承蒙兩位審查者費心指正，特此致謝。研究工作進行時蒙中央氣象局提供資料，謝信良主任和林民生博士提供寶貴意見，劉麗真同學協助程式設計和分析結果，陳瑞梅小姐協助資料收集整理，在此一併誌謝。本研究計劃乃在中央氣象局（計劃編號CWB 76-01-19）和國科會計劃（NSC-76-0202-M 002-19）與大型防災計劃（編號NSC 77-0414-P 052-03B）贊助下完成。

參考文獻

- 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。
- 徐明同，1977：颱風之路徑與其預報，*氣象學報*，23，24～34。
- 陳熙揚，1980：利用類比法預測颱風路徑之研究，*氣象學報*，26，1～13。
- 謝信良與陳正改，1986：台灣地區氣象災害之調查研究（II），國科會防災科技研究報告75-4號，107頁。
- 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*，32，59～38。
- Anthes, R.A., 1982: Tropical Cyclones: Their Evolution, Structure and Effects. AMS Meteorological Monographs, Vol. 19, No. 41, 208 pp.
- Aoki, Tand and S. Nomoto, 1977: A Statistical Prediction of Tropical Cyclone Position Based on Persistence and Climatological Factor (The PC Method). *J. Met. Soc. Japan*, 55, 147-150.
- Joint Typhoon Warning Center (JTWC) 1986: Annual Tropical Cyclone Report. NAVOCEANCOMCEN/JTWC. Guam, 191 pp.
- Matsumoto, Clifford R., 1985: A Statistical Method for One-to Three-Day Tropical Cyclone Track Prediction. *Dept. of Atmos. Sci., Paper No. 379*, Colo. State Univ., Ft. Collins, Co, 201pp.
- Neumann, C. J., 1972: An Alternate to the HURRAN Tropical Cyclone Forecast System. *NOAA Tech. Memo. NWS SR-62*, 32pp.

AN ANALYSIS OF TYPHOON TRACK FORECAST OVER TAIWAN AREA**Cheng-Shang Lee****Department of Atmospheric Sciences
National Taiwan University**

(manuscript received January 27 1988; in final form April 15, 1988)

ABSTRACT

This report analyzes the applicability of different typhoon track objective forecast schemes over Taiwan area. The official typhoon forecast errors of Central Weather Bureau (CWB) are also evaluated. A total of 26 years (1962–1978) of data determined by CWB during real-time operation are used.

Results indicate that the HURRAN method has the smallest average 24-hour forecast error (170KM). The monthly variation of errors is also the smallest. The HURRAN method is the most valuable reference tool during typhoon forecast operation. The 24-hour forecast error of CWB is slightly larger than those of HURRAN and CLIPER (173KM) methods, however, the error is considerably smaller than that (221KM) of Joint Typhoon Warning Center (JTWC), Guam. Unfortunately, there is no indication that the typhoon forecast error of CWB is getting smaller over the last 26 years. Considerable effort is still needed in order to significantly improve the typhoon track forecast.

Key words: typhoon, typhoon track forecast, object method, error verification.