

EAKF 系集資料同化系統初步測試

林昀瑛¹ 劉輝² 郭英華² 滕春慈³ 馮欽賜¹

中央氣象局氣象資訊中心¹ 美國國家大氣研究中心² 中央氣象局海象測報中心³

摘要

系集調整卡爾曼濾波 (EAKF) 為美國國家大氣研究中心 (NCAR) 資料同化研究平台 (DART) 最新資料同化系統。卡爾曼濾波係利用分析場與觀測值所決定出來的最佳解。簡單來說，在預報過程中若有新的觀測資料進來時，由預報值與觀測值決定最佳分析數值解，再由此分析值往下預報。假設使用卡爾曼濾波分析一段時間後，預報結果將會接近實際觀測大氣，預報誤差也不會顯著成長。EAKF 利用系集樣本的預報場與新的觀測資料來求取最佳分析場，同時也更新背景場誤差 (Background Error)。

EAKF 資料同化系統已成功移植至中央氣象局作業系統中，並以 2008 年 4 個颱風個案進行資料同化分析。初步結果顯示：(1) 加入新版的颱風 BOGUS 資料方法有助於改善颱風初始位置。(2) 對於強度較強的颱風，經過 EAKF 分析後的颱風路徑預報誤差較小，而強度較弱颱風的路徑預報，EAKF 仍有改善空間。本次實驗為初步測試的結果，關於 EAKF 對於較弱颱風的路徑預報誤差仍需進一步的研究。

關鍵字：系集調整卡爾曼濾波 (Ensemble Adjustment Kalman Filter; EAKF)

一、前言

系集調整卡爾曼濾波 (Ensemble Adjustment Kalman Filter system; EAKF) 是近年美國國家大氣研究中心 (National Center for Atmospheric Research) 資料同化研究平台 (Data Assimilation Research Testbed; DART) 最新資料同化系統，此方法將氣象資訊在時間上往前分析，再依次估計出整個大氣狀態的估計值。簡單來說，在預報過程中有新的觀測資料進來時，用此觀測資料與預報值來決定出最佳的分析值。利用最新觀測資料來更新預報值，有利於預報結果不會偏離實際大氣太遠，使得預報誤差降低，進而改善數值模式預報結果。EAKF 與 WRFVAR 資料同化最大差異在於背景場誤差 (Background Error) 更新，現有 WRFVAR 資料同化系統採用一組固定的背景場誤差進行調整。EAKF 的背景場誤差會隨時間變動，係利用新的觀測資料進來更新背景場誤差，使得此背景場誤差更接近於實際大氣狀態。

中央氣象局已於 2008 年引進 EAKF 資料同化系統安裝於作業系統中，並以 2008 年實際颱風個案進行初步測試。

二、EAKF 資料同化系統概述與流程

資料同化係將特定時間內所有的觀測資料加上模式背景場估計出大氣狀態。本局近年來不斷發展大氣資料同化系統以取代傳統的客觀分析方法，EAKF 為美國國家大氣研究中心最近研發的資料同化系統，利用系集預報與資料同化的特性，使得分析場更接近於實際大氣狀態，特別是在中尺度天氣系統上。

EAKF 資料同化流程 (圖 1) 如下：

- (1) 產生一組系集模式狀態變數估計值 (X_i^p)。
- (2) 利用觀測算子得到一組系集觀測估計值 (Y_i^p)。
- (3) 計算系集平均與斜方差。
- (4) 計算更新的標準差平方與觀測點上系集平均。
- (5) 將估計的觀測變數與更新的系集平均計算出更新的觀測變數 (Y_i^u)。
- (6) 計算在觀測點上系集預報標準差的平方與每一個預報樣本協方差。
- (7) 假設模式預報的誤差分布為高斯分布，由系集預報標準差的平方、預報樣本斜方差和更新前後觀

測資料的增量，可以得到(分析後)的預報狀態分布的增量。

- (8) 得到一組更新的系集模式變數(X_i^u)。
- (9) 將更新的系集模式變數使用數值模式進行短期(2小時)預報，再把預報結果當作下一個時間的系集模式狀態變數估計值，重複步驟(1)到(8)以更新下一時間的系集模式變數。

三、實驗設計

本次實驗使用WRF(Weather Research and Forecasting)模式為v 3.0.1.1版本(August 22 2008 released)，EAKF資料同化系統為v 3版本。模式使用單層巢狀網格，預報區域如圖2所示(d01: 222 x 128)，模式解析度為45 km，垂直使用的 σ 座標共有41層，模式層頂為30hPa。以NCEP AVN全球模式分析場資料作為模式邊界場，使用WRF/EAKF做每2小時cycling run，再選取00、06、12和18Z進行72小時預報。

研究個案均以2008年侵台颱風為主，首先比較WRF模式分別以EAKF和WRFVAR為資料同化方法而產生颱風路徑預報的差異。此外本局最近也研發先的颱風BOGUS方法。

本次實驗也在EAKF系集資料同化系統下進行新舊版本颱風BOGUS資料方法對於颱風預報路徑誤差的比較。

由於EAKF資料同化系統需要一段資料同化的磨合期，因此本次實驗在開始颱風BOGUS的資料前一至兩天即進行EAKF資料同化。實驗採用32組系集樣本數作資料同化與短期預報，受限於電腦運算資源，因此採取32組的系集平均再進行72小時預報。

四、颱風路徑預報誤差

(一) EAKFc04WRFVAR的比較

如前言所提，在預報過程中EAKF不斷的利用新的觀測資料來更新背景場誤差，使得背景場誤差更接近於實際觀測大氣狀態。以2008年Sinlaku颱風為個案進行EAKF和WRFVAR二者資料同化方法對颱風預報路徑的比較，使用NCEP AVN全球模式預報場資料作為邊界場。結果顯示在颱風初期EAKF預報路徑偏北，而WRFVAR的路徑預報較接近實際颱風位置(如圖3)。如表1所示，當颱風越接近台灣陸地時WRFVAR的颱風預報路徑誤差有增加的趨勢，而EAKF則是減小的趨勢，EAKF預報路徑較接近實際颱風位置(如圖4)。

(二) 颱風植入(BOGUS)方法的影響

1. Kalmaegi颱風

EAKF分析起始時間為2008071400，颱風BOGUS資料同化時間為2008071506。Kalmaegi為輕度颱風，其強度為4個颱風中最弱。在2008071606(如圖4)使用舊版颱風BOGUS在初始颱風位置與實際觀測值有顯著差異，更新颱風BOGUS後(如圖5)，其颱風初始位置誤差有顯著改善。使用新版颱風BOGUS的72小時平均颱風路徑預報誤差最小為48.02公里(如表2)。當Kalmaegi颱風登陸台灣(2008071800)後，新版颱風BOGUS路徑預報誤差有增加的現象。

2. Nuri颱風

EAKF分析起始時間為2008081700，颱風BOGUS資料同化時間為2008081800。Nuri颱風接近台灣巴士海峽時強度達到中度，其強度較Kalmaegi颱風強。在2008081812(如圖7和圖8)使用新版颱風BOGUS的颱風初始位置較舊版好。72小時平均颱風路徑預報誤差最小為50.47公里(如表2)。當Nuri颱風通過菲律賓呂宋島北方後(2008082000)，新版颱風BOGUS路徑預報誤差也有增加的現象。

3. Sinlaku颱風

EAKF分析起始時間為2008090800，颱風BOGUS資料同化時間為2008091000。Sinlaku颱風接近台灣時強度達到強烈，使用新舊颱風BOGUS都能掌握不錯的颱風初始位置。在2008091000(如圖9)時兩組實驗路徑預報都偏北，隨著預報時間逐漸往實際觀測位置修正，在2008091218(如圖10)使用新版颱風BOGUS在接近台灣陸地時有向南偏轉的現象。使用新版颱風BOGUS的72小時平均颱風路徑預報誤差最小為45.09公里(如表2)。在Sinlaku颱風登陸前，使用新版颱風BOGUS的颱風路徑預報平均都比舊版好，顯示新版颱風BOGUS對於強度較強的颱風路徑預報有改善。

4. Jangmi颱風

EAKF分析起始時間為2008092400，颱風BOGUS資料同化時間為2008092412。Jangmi颱風接近台灣時強度達到強烈，在2008092418(如圖11)使用新版颱風BOGUS的颱風初始位置較舊版接近實際觀測位置。在前段分析時兩組實驗的颱風路徑都有偏北的現象，隨著分析時間也慢慢往實際觀測位置修正(如圖12)。當Jangmi颱風接近台灣時，其48小時以後的路徑預報誤差也顯著增加的趨勢(如表2)。

五、結論

本次實驗使用EAKF資料同化系統針對2008年4個颱風進行路徑預報，主要測試EAKF系統在中央氣象局作業系統的穩定性，並且測試不同版本的颱風BOGUS資料對於颱風路徑預報差異。初步測試結果顯示EAKF系統使用新版颱風BOGUS有助於改善颱風初始位置與路徑預報誤差。

1. 使用新版颱風BOGUS有助於改善颱風初始位置誤差，特別是對於強度較弱的颱風，其改善更為明顯。
2. 新版颱風BOGUS對於強度較弱的颱風(如:Kalmaegi和Nuri)在0-24小時路徑預報有正效應(如圖13)，特別是在0-12小時的路徑預報，這可能是因為颱風初始位置改善所造成。
3. 新版颱風BOGUS對於強度較強的颱風(如:Sinlaku和Jangmi)則是在24小時以上路徑預報有正效應(如圖14)，而48小時以上改善更為明顯。
4. 對於較弱颱風使用新版颱風BOGUS在48小時以上路徑預報較舊版來的差，仍需進一步研究。

表2 颱風平均預報路徑誤差，分別為Kalmaegi、Nuri、Sinlaku和Jangmi。

KALMAEGI mean track error

Time (UTC)	New BOGUS (KM)	Old BOGUS (KM)	Improve (%)
2008071506	211.50	224.15	5.64
2008071512	202.12	182.71	-10.62
2008071518	168.35	143.88	-13.53
2008071600	137.35	141.24	2.75
2008071606	71.63	88.62	19.17
2008071612	50.65	70.08	27.73
2008071618	68.54	70.27	2.46
2008071700	153.30	88.53	-73.16
2008071706	48.02	93.12	48.43
2008071712	67.13	86.15	22.07
2008071718	80.54	83.42	3.45
2008071800	116.54	87.70	-32.88
2008071806	122.05	91.45	-33.46
2008071812	116.34	86.95	-33.80
2008071818	130.47	91.08	-43.25
Mean	116.30	109.96	-5.76

六、未來工作

目前已完成4個颱風路徑預報測試，未來將針對以下幾點進行測試：

1. 使用新版颱風BOGUS資料測試更多颱風個案，分析此資料對於颱風路徑預報誤差的效應。
2. 進行長時間(2到3星期)EAKF連續分析，測試EAKF系統對於長期預報的穩定性與可預報度。
3. 使用第二層巢狀網格分析與預報，進行台灣地區中尺度天氣系統預報。
4. 進行更多颱風的EAKF和WRFVAR的比較。

表1 Sinlaku颱風EAKF與3DVAR平均預報路徑誤差

SINLAKU mean track error

Time (UTC)	EAKF (KM)	3DVAR (KM)	Improve (%)
2008091000	101.99	138.11	26.15
2008091006	91.91	211.65	56.57
2008091012	126.35	102.03	-23.84
2008091018	130.06	53.24	-144.29
2008091100	134.89	39.66	-240.12
2008091106	130.66	91.77	-42.38
2008091112	109.57	86.26	-26.99
2008091118	84.01	112.41	25.26
2008091200	60.95	58.75	-3.74
2008091206	62.23	198.56	68.66
2008091212	74.17	104.71	29.19
2008091218	77.07	268.02	71.24
Mean	98.66	122.10	19.20

NURI mean track error

Time (UTC)	New BOGUS (KM)	Old BOGUS (KM)	Improve (%)
2008081800	120.13	159.35	24.61
2008081806	81.09	102.78	21.10
2008081812	79.65	64.21	-24.05
2008081818	50.47	81.92	38.39
2008081900	51.18	71.87	28.59
2008081906	91.43	97.82	6.34
2008081912	100.72	103.17	2.37
2008081918	147.61	140.06	-5.39
2008082000	140.38	124.96	-13.34
2008082006	158.05	124.34	-27.11
2008082012	156.02	127.69	-22.19
2008082018	151.44	133.42	-13.51
2008082100	108.93	120.14	9.33
2008082106	147.12	130.48	-12.75
2008082112	202.77	133.05	-52.40
Mean	119.13	114.32	-4.20

SINLAKU mean track error

Time (UTC)	New BOGUS (KM)	Old BOGUS (KM)	Improve (%)
2008091000	106.50	148.84	28.44
2008091006	77.67	109.63	29.15
2008091012	96.87	159.46	39.25
2008091018	104.70	162.04	35.38
2008091100	119.98	164.47	27.05
2008091106	83.78	171.89	51.25
2008091112	66.52	132.45	49.77
2008091118	78.69	118.13	33.38
2008091200	61.20	76.24	19.72
2008091206	63.77	91.66	30.42
2008091212	61.55	86.66	28.97
2008091218	45.09	121.72	62.95
Mean	80.52	128.60	37.38

JANGMI mean track error

Time (UTC)	New BOGUS (KM)	Old BOGUS (KM)	Improve (%)
2008092500	116.36	200.25	41.89
2008092506	89.30	178.60	50.00
2008092512	84.99	121.75	30.19
2008092518	83.35	117.51	29.07
2008092600	104.79	139.56	24.91
2008092606	168.81	152.06	-11.02
2008092612	148.42	133.33	-11.52
2008092618	116.29	103.23	-12.65
2008092700	96.75	139.99	30.89
2008092706	116.28	178.86	34.99
2008092712	111.55	219.13	49.09
2008092718	133.65	455.06	70.63
2008092800	133.82	300.81	55.51
2008092806	130.86	296.71	55.90
2008092812	71.42	577.33	87.63
Mean	86.42	220.94	60.89

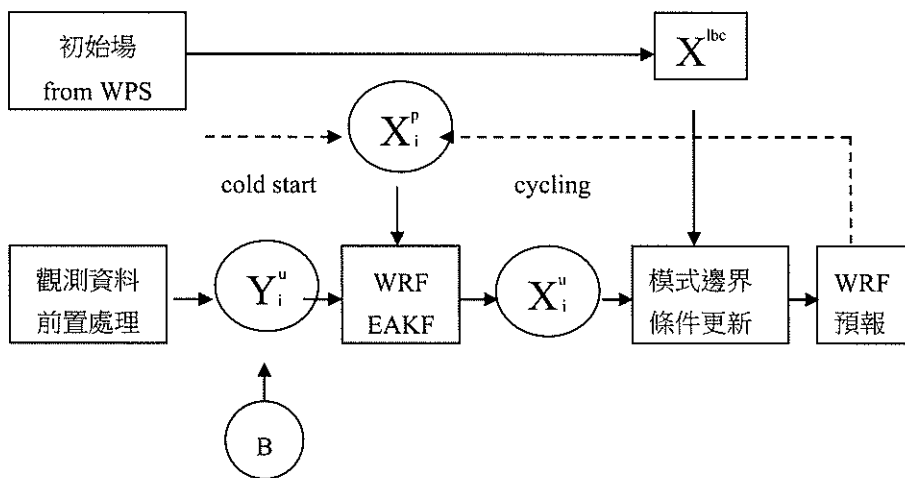


圖 1 WRF/EAKF cycling run 示意圖， Y_i^u 為更新的觀測變數， B 為 background error， X_i^p 為系集模式狀態變數估計值， X_i^u 為更新的系集模式變數， X^{lbc} 為初始場資料分析值， i 為系集樣本編號。

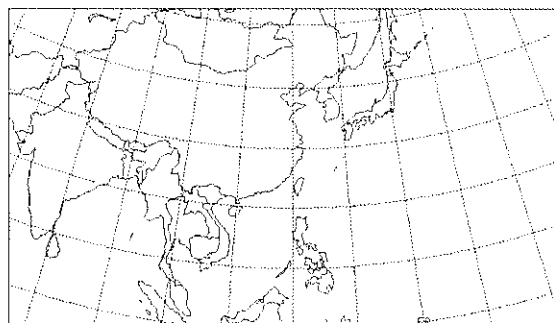


圖 2 中央氣象局 WRF 模式預報網格點範圍，domain 1：222 x 128，格點解析度為 45 km。

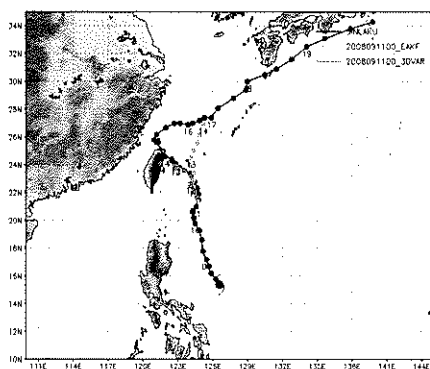


圖 3 Sinlaku 颱風 2008091100 颱風 72 小時預報路徑圖

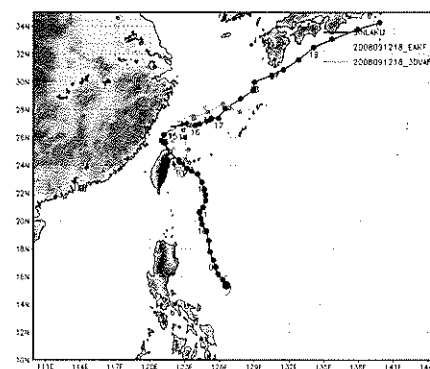


圖 4 Sinlaku 颱風 2008091218 颱風 72 小時預報路徑圖

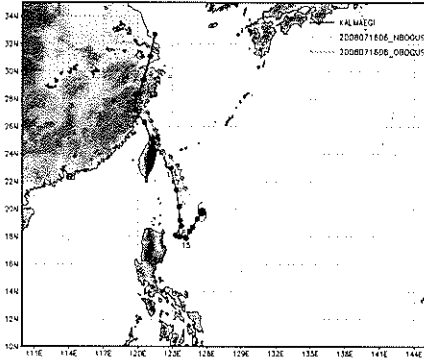


圖5 Kalmaegi颱風,2008071606颱風72小時預報路徑圖

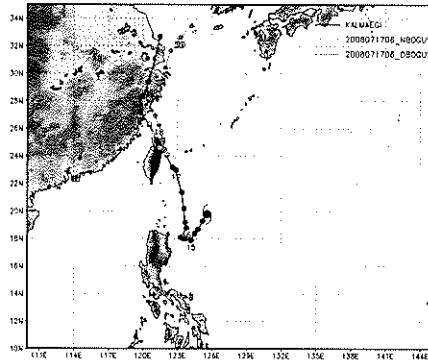


圖6 Kalmaegi颱風,2008071706颱風72小時預報路徑圖

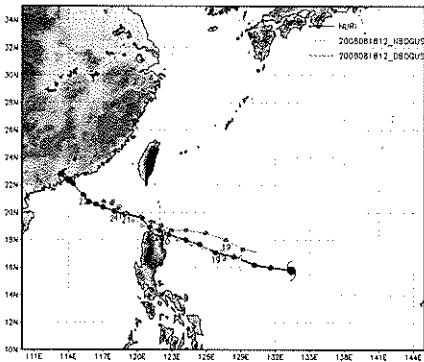


圖7 Nuri颱風,2008081812颱風72小時預報路徑圖

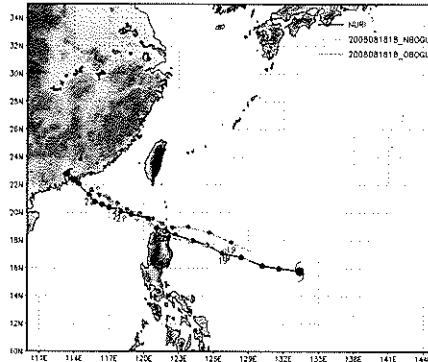


圖8 Nuri颱風,2008081818颱風72小時預報路徑圖

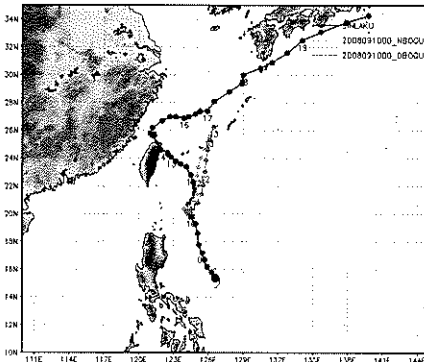


圖9 Sinlaku颱風,2008091000颱風72小時預報路徑圖

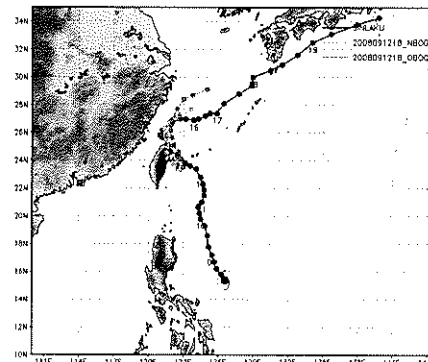


圖10 Sinlaku颱風,2008091218颱風72小時預報路徑圖

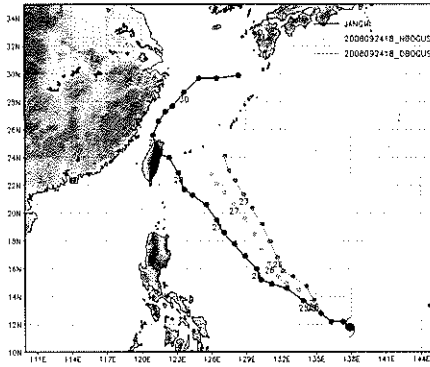


圖11 Jangmi颱風2008092418颱風72小時預報路徑圖

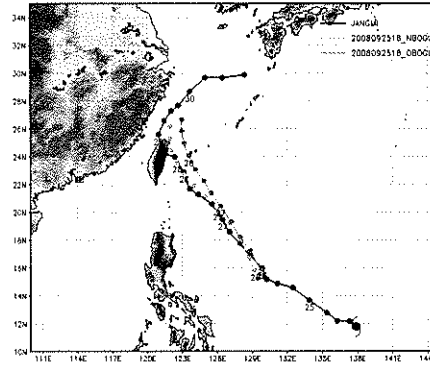


圖12 Jangmi颱風2008092518颱風72小時預報路徑圖

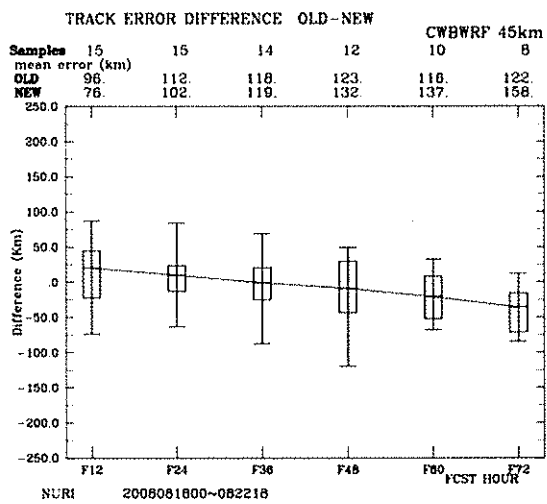
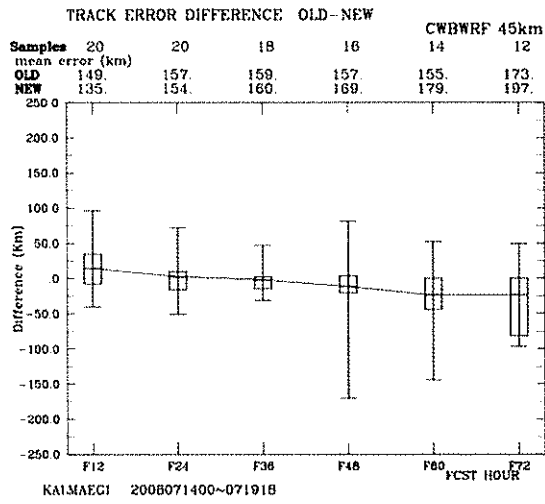


圖13 Kalmaegi颱風與Nuri颱風新舊颱風BOGUS資料颱風路徑預報差異，方框為25%到75%分布範圍。

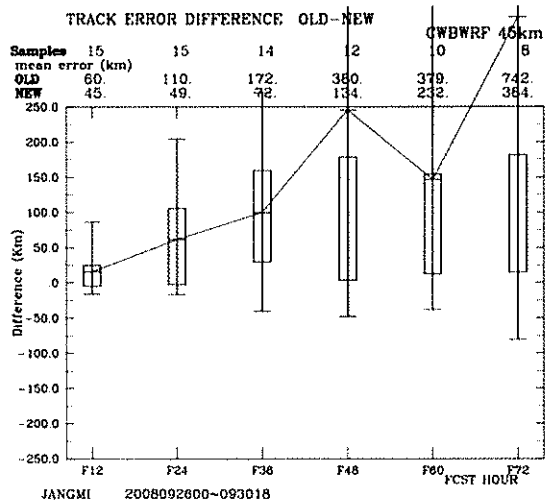
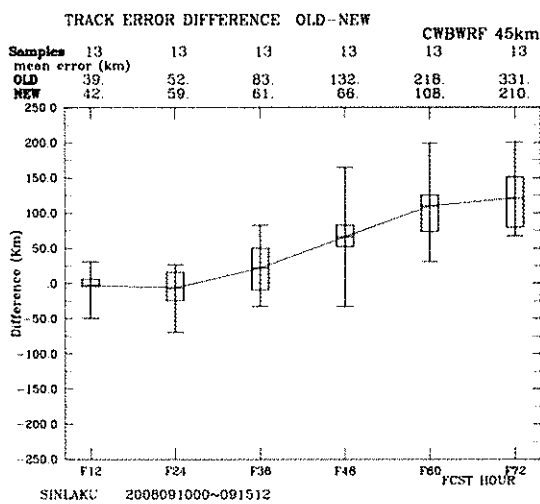


圖14 Sinlaku颱風與Jangmi颱風新舊颱風BOGUS資料颱風路徑預報差異，方框為25%到75%分布範圍。