交通部中央氣象局 委託研究計畫期末成果報告

系集颱風路徑預報應用技術發展(1/2)

計	畫	類	别	:	氟氧	象	□海.	象		震			
計	畫	編	號	:	MOT	$C - C^{r}$	WB - 1	105 - I	M - 01				
執	行	期	間	:	105 年	-4月	13 日	至 10	5年1	2月3	1日		
計	畫	主	持	人	:蕭珥	令鳳							
執	行	機	構	:	財團沒	去人國	家實	驗研究	咒院台	灣颱	虱洪水	、研究。	中心

本成果報告包括以下應繳交之附件(或附錄):

□赴國外出差或研習心得報告1份

□赴大陸地區出差或研習心得報告1份

□出席國際學術會議心得報告及發表之論文各1份

中華民國 105 年 12 月 02 日

政府研究計畫期末報告摘要資料表

		,	R 1 1 1 2		
計畫中文名稱	十畫中文名稱 系集颱風路徑預報應用技術發展(1/2)				
計畫編號	MOTC – CWB - 10	5 - M - 01			
主管機關	交通部中央氣象局				
執行機構	財團法人國家實驗	研究院台灣颱風洪水	研究中心		
年度	105 執行期間 105年4月13日至105年12月31				
本期經費	1 200 I =				
(單位:千元)	1,280 千元				
執行進度	預定(%)	實際 (%)	比較(%)		
	100%	100%	0%		
征弗 十 田	預定(千元)	實際(千元)	支用率(%)		
經費支用	1,280 千元	1,280 千元	100%		
	計畫主持人	協同主持人	研究助理		
			陳嬿竹		
			謝銘恩		
研究人員	**		劉嘉騏		
	蕭玲鳳		江宙君		
			蔡金成		
			黃 奕霖		
報告頁數	69	使用語言	中文		
1. 24 \ 100 \ 1. 100	中文:系集預報、颱風路徑				
中英文關鍵詞	英文: ensemble forecast, typhoon track				
	本兩年期計畫之全程計畫目的係配合氣象局颱風預報作業				
	需要,以現有颱風路徑系集預報產品,發展相應之診斷分析與應				
研究目的	用技術。本年度(第一年)之目標為建立系集颱風路徑預報應用				
	技術,同時系統性評估此技術之效益,以協助預報員能更有效地				
	利用颱風路徑系集預報產品。				
	本計畫首先針	對 ECMWF 與 NCE	P 颱風路徑系集預報資料		
	進行分析,以 2015 年 ECMWF 颱風預報資料為例,選取排名前				
研究成果	20 之成員進行路徑預報應用技術之研發,顯示有 3.3%之初始時				
	間無足夠資料進行	計算。此外,統計系	集資料缺值狀況發現缺值		
	率約為34%,單一	成員單次預報最多缺	值次數高達9次,本研究		
	建議進行內插補值	。針對系集預報路徑	校驗分析方面,2013-2015		

年 ECMWF 與 NCEP 系集預報資料結果顯示 ECMWF 系集平均表現優於 NCEP 系集,但在預報初期(12 小時內)則以 NCEP 系集尤佳。另外,亦分析 0000、1200 UTC 與 0600、1800 UTC 起始之 NCEP 系集模式路徑預報之差別,0000、1200 UTC 預報雖然有系統性優於 0600、1800 UTC 的現象,但優勢不算明顯。整體而言,ECMWF 系集模式之系集平均路徑預報與離散度皆高於 NCEP 系集模式。

另一方面,本研究已參考 Dong and Zhang (2016)提出之OBEST 方法建置系集颱風路徑預報應用技術,並針對 2014-2015年西北太平洋颱風進行測試與校驗分析。研究顯示 0000、1200 UTC 起始之颱風路徑預報,使用 ECMWF 與 NCEP 系集資料 12小時預報前 28 名平均優於僅使用 ECMWF 系集資料取前 20 名之平均,此結果與 Dong and Zhang (2016)一致。此外,本計畫亦針對 0600 與 1800 UTC 起始時間,考慮氣象局可操作性提出兩種不同技術方案,結果顯示方案一使用 18 小時預報誤差排名平均而言優於方案二使用 12 小時誤差排名。由於方案二較方案一使用較多之 NCEP 系集成員,又因前述分析 ECMWF 系集平均整體表現優於 NCEP 系集成員,又因前述分析 ECMWF 系集平均整體表現優於 NCEP 系集成員,又因前述分析 ECMWF 系集平均整體表現優於 NCEP 系集成員,以因前述分析 ECMWF 系集平均整體表現優於 NCEP 系集成員,以因前述分析 ECMWF 系集平均整體表現優於 NCEP 系集成員,以因前述分析 ECMWF 系集平均整體表現優於 NCEP 系集成員,以因前述分析 ECMWF 系集平均整體表現優於 NCEP 系集,故建議氣象局使用方案一,針對今年 整體表現優於 NCEP 系集,故建議氣象局使用方案一,針對今年 影響表現優於 NCEP 系集,故建議氣象局使用方案一,針對今年 影響表現優於 NCEP 系集成員 REALING REALIN

進一步分析 2014-2015 年颱風個案中 SUMMER 選取之系集 成員離散度與颱風路徑預報之關係,結果發現系集離散度較小 (大)之颱風,其路徑預報誤差亦較小(大)。其中,侵台颱風 警報期間更是有較佳的預報能力,特別是在 0-72 小時預報。此 外,在系集颱風路徑預報應用技術提升方面,本計畫針對變更選 取成員數與加入區域系集模式兩方面進行改進。變更選取成員數 之初步測試結果可提升 SUMMER 颱風路徑預報能力,但尚須完 整之敏感度測試,以達系集資料之最佳化使用。另一方面,本研 究加入區域系集模式進行系統性評估,顯示 ECMWF 系集模式 仍有較優之表現。TAPEX 為多模式系集系統且有物理參數化之 初始擾動,具有較大的離散度。此外,多組系集模式之系集平均, 較單一系集模式有較好的路徑預報結果。將區域系集模式加入 SUMMER 進行測試,結果顯示可些微改進 72 小時內颱風路徑預 報,本計畫建議氣象局上線作業。以今年尼伯特特殊颱風為例: 加入區域系集模式之 SUMMER 顯著提升 72 小時內之颱風路徑 預報能力,未來將針對個案進行深入研究,提出可量化之作業最

	佳應用參考指標。
建議事項	無
具體落實應用	本計畫完成應用 ECMWF 與 NCEP 系集路徑預報產品研發系集
情形	颱風路徑預報技術,並針對 2014-2015 年之颱風個案進行分析。
	此研發技術已移轉至中央氣象局預報中心,同時亦提供路徑數據
	資料至預報中心 TAFIS 作業系統。
計畫變更說明	無
落後原因	無
變更或落後之	無
檢討與因應對	
策	

(以下接全文報告)

中英文摘要

一、中文計畫摘要:

系集預報技術發展除前端模式改進與資料同化技術的提升外,系集預報所產生之預報結果亦須有相對應之診斷分析、加值應用與校驗技術。一方面可提供模式改進之參考與系集成員設計策略之規畫,另一方面透過分析方法對於預報產品有完整的描述亦可幫助氣象局能更有效、合理的利用系集預報產品。本兩年期計畫之目的在於配合氣象局颱風預報之需要,發展系集颱風路徑預報應用技術。本年(第一年)計畫將應用現有之系集預報系統,針對颱風路徑進行加值化技術發展,並透過系統性分析與校驗,提供可操作之預報指引。本年度已完成研發系集颱風路徑預報技術(OBEST 方法版本)與同時使用全球與區域模式進行颱風路徑系集預報之應用,並針對 2014-2015 年之颱風個案進行分析。此研發技術已移轉至中央氣象局預報中心上線作業,同時亦提供路徑數據資料至預報中心 TAFIS 作業系統。

關鍵字: 系集預報、颱風路徑

二、英文計畫摘要 Abstract:

The purpose of this 2-year project is to develop the ensemble based typhoon track forecast techniques for Taiwan area by the ensemble models, to help meet the goal of the operational requirement of the Central Weather Bureau (CWB) during the typhoon warning period. In this year (the first year), the study will focus on the typhoon track forecast techniques by using different ensemble systems data, through a systematically examination, and provide a forecast technique for CWB. The technique is developed for tropical cyclone track prediction in using multimodel ensembles both from global and regional models. Meanwhile, the forecast experiment on typhoons from 2014 to 2015 over the western North Pacific Ocean shows the superior forecast skill to ensemble mean. Therefore, this technique has been implemented in the CWB operational TAFIS prediction system.

Keywords: ensemble forecast, typhoon track

目錄

目錄	中英文摘要	1
圖目錄	目錄	2
第一章、計畫概述	表目錄	4
第一章、計畫概述	圖目錄	5
1.1 計畫背景與目的		
1.1.1 計畫背景		
1.1.2 計畫目的 1.2 國內外與本計畫相關研究情況 1.2.1 颱風路徑系集預報 1.1.2.2 權重系集預報 1.1.3 計畫工作項目 1.3 計畫工作項目 1.3 計畫工作項目 1.3 計畫工作項目 1.3 計畫工作項目 1.3 計畫工作項目 1.4 歐洲中尺度預報中心系集預報系統 (ECMWF EPS) 1.2.1.1 歐洲中尺度預報中心系集預報系統 (ECMWF EPS) 1.2.1.2 美國環境預報中心系集預報系統 (NCEP GEFS) 1.2.1.3 中央氣象局 WRF 系集預報系統 (CWB WEPS) 1.2.1.4 國研院颱洪中心系集預報實驗系統 (TAPEX) 1.2.2 颱風路徑系集預報校驗與分析 1.2.2 颱風路徑系集預報校驗與分析 1.2.2.1 路徑資料蒐集與完整度分析 1.2.2.2 系集預報路徑校驗分析 2.2.2 系集閱報路徑積報應用技術開發 3.3.1 作業化颱風路徑預報應用技術開發 3.3.1 作業化颱風路徑預報應用技術開發 3.3.1 作業化颱風路徑預報應用技術建置 3.3.1.1 0000/1200 UTC 颱風路徑預報及誤差統計 3.3.2 2014-2015 年西北太平洋歷史颱風之系集路徑預報分析 3.3.3 2016 年西北太平洋颱風之實時系集路徑預報分析 3.3.3 2016 年西北太平洋颱風之實時系集路徑預報分析 3.3.4 系集颱風路徑預報應用技術之改進 3.4.1 變更選取成員數 3.4.1 變更運取成員數 3.4.1 變更運取成員數 3.4.1 變更選取成員數 3.4.1 變更運取成員數 3.4.1 變更速取成員數 3.4.1 變更運取成員數 3.4.1 變更運取成員數 3.4.1 變更運取成員數 3.4.1 變更認取成員數 3.4.1 變更認取及與經濟就可以與於認取及可以與於認取及可以與於認取及可以可以與認取及可以與認取及可以可以可以可以可以可以可以可以可以可以可以可以可以可以可以可以可以可以可以		
1.2 國內外與本計畫相關研究情況		
1.2.1 颱風路徑系集預報 1 1.2.2 權重系集預報 1 1.3 計畫工作項目 1 第二章、各國系集資料系統性校驗分析 1 2.1 各國系集簡介 1 2.1.1 歐洲中尺度預報中心系集預報系統 (ECMWF EPS) 1 2.1.2 美國環境預報中心系集預報系統 (NCEP GEFS) 1 2.1.3 中央氣象局 WRF 系集預報系統 (CWB WEPS) 1 2.1.4 國研院颱洪中心系集預報實驗系統 (TAPEX) 1 2.2 颱風路徑系集預報校驗與分析 1 2.2.1 路徑資料蒐集與完整度分析 1 2.2.2 產集預報路徑校驗分析 2 第三章、系集颱風路徑預報應用技術開發 3 3.1 作業化颱風路徑預報應用技術建置 3 3.1.1 0000/1200 UTC 颱風路徑預報及誤差統計 3 3.2 2014-2015 年西北太平洋歷史颱風之系集路徑預報分析 3 3.2 2014-2015 年西北太平洋歷史颱風之系集路徑預報分析 3 3.3 2016 年西北太平洋颱風之實時系集路徑預報分析 3 3.4 系集颱風路徑預報應用技術之改進 3 3.4.1 變更選取成員數 3		
1.2.2 權重系集預報 1 1.3 計畫工作項目 1 第二章、各國系集資料系統性校驗分析 1 2.1 各國系集簡介 1 2.1.1 歐洲中尺度預報中心系集預報系統 (ECMWF EPS) 1 2.1.2 美國環境預報中心系集預報系統 (NCEP GEFS) 1 2.1.3 中央氣象局 WRF 系集預報系統 (CWB WEPS) 1 2.1.4 國研院颱洪中心系集預報實驗系統 (TAPEX) 1 2.2 颱風路徑系集預報校驗與分析 1 2.2.1 路徑資料蔥集與完整度分析 1 2.2.2 系集預報路徑校驗分析 2 第三章、系集颱風路徑預報應用技術開發 3 3.1 作業化颱風路徑預報應用技術開發 3 3.1.1 0000/1200 UTC 颱風路徑預報及誤差統計 3 3.2 2014-2015 年西北太平洋歷史颱風之系集路徑預報分析 3 3.3 2016 年西北太平洋颱風之實時系集路徑預報分析 3 3.4 系集颱風路徑預報應用技術之改進 3 3.4 系集颱風路徑預報應用技術之改進 3 3.4.1 變更選取成員數 3		
1.3 計畫工作項目		
2.1 各國系集簡介		
2.1.1 歐洲中尺度預報中心系集預報系統 (ECMWF EPS) 1 2.1.2 美國環境預報中心系集預報系統 (NCEP GEFS) 1 2.1.3 中央氣象局 WRF 系集預報系統 (CWB WEPS) 1 2.1.4 國研院颱洪中心系集預報實驗系統 (TAPEX) 1 2.2 颱風路徑系集預報校驗與分析 1 2.2.1 路徑資料蒐集與完整度分析 2 2.2.2 系集預報路徑校驗分析 2 第三章、系集颱風路徑預報應用技術開發 3 3.1 作業化颱風路徑預報應用技術建置 3 3.1.1 0000/1200 UTC 颱風路徑預報及誤差統計 3 3.2 2014-2015 年西北太平洋歷史颱風之系集路徑預報分析 3 3.3 2016 年西北太平洋颱風之實時系集路徑預報分析 3 3.4 系集颱風路徑預報應用技術之改進 3 3.4.1 變更選取成員數 3	第二章、各國系集資料系統性校驗分析	17
2.1.2 美國環境預報中心系集預報系統 (NCEP GEFS) 1 2.1.3 中央氣象局 WRF 系集預報系統 (CWB WEPS) 1 2.1.4 國研院颱洪中心系集預報實驗系統 (TAPEX) 1 2.2 颱風路徑系集預報校驗與分析 1 2.2.1 路徑資料蒐集與完整度分析 1 2.2.2 系集預報路徑校驗分析 2 第三章、系集颱風路徑預報應用技術開發 3 3.1 作業化颱風路徑預報應用技術建置 3 3.1.1 0000/1200 UTC 颱風路徑預報及誤差統計 3 3.1.2 0600/1800 UTC 颱風路徑預報及誤差統計 3 3.2 2014-2015 年西北太平洋歷史颱風之系集路徑預報分析 3 3.3 2016 年西北太平洋颱風之實時系集路徑預報分析 3 3.4 系集颱風路徑預報應用技術之改進 3 3.4.1 變更選取成員數 3	2.1 各國系集簡介	17
2.1.2 美國環境預報中心系集預報系統 (NCEP GEFS) 1 2.1.3 中央氣象局 WRF 系集預報系統 (CWB WEPS) 1 2.1.4 國研院颱洪中心系集預報實驗系統 (TAPEX) 1 2.2 颱風路徑系集預報校驗與分析 1 2.2.1 路徑資料蒐集與完整度分析 1 2.2.2 系集預報路徑校驗分析 2 第三章、系集颱風路徑預報應用技術開發 3 3.1 作業化颱風路徑預報應用技術建置 3 3.1.1 0000/1200 UTC 颱風路徑預報及誤差統計 3 3.1.2 0600/1800 UTC 颱風路徑預報及誤差統計 3 3.2 2014-2015 年西北太平洋歷史颱風之系集路徑預報分析 3 3.3 2016 年西北太平洋颱風之實時系集路徑預報分析 3 3.4 系集颱風路徑預報應用技術之改進 3 3.4.1 變更選取成員數 3	2.1.1 歐洲中尺度預報中心系集預報系統 (ECMWF EPS)	17
2.1.3 中央氣象局 WRF 系集預報系統 (CWB WEPS) 1 2.1.4 國研院颱洪中心系集預報實驗系統 (TAPEX) 1 2.2 颱風路徑系集預報校驗與分析 1 2.2.1 路徑資料蒐集與完整度分析 1 2.2.2 系集預報路徑校驗分析 2 第三章、系集颱風路徑預報應用技術開發 3 3.1 作業化颱風路徑預報應用技術建置 3 3.1.1 0000/1200 UTC 颱風路徑預報及誤差統計 3 3.1.2 0600/1800 UTC 颱風路徑預報及誤差統計 3 3.2 2014-2015 年西北太平洋歷史颱風之系集路徑預報分析 3 3.3 2016 年西北太平洋颱風之實時系集路徑預報分析 3 3.4 系集颱風路徑預報應用技術之改進 3 3.4.1 變更選取成員數 3		
2.2 颱風路徑系集預報校驗與分析 1 2.2.1 路徑資料蒐集與完整度分析 1 2.2.2 系集預報路徑校驗分析 2 第三章、系集颱風路徑預報應用技術開發 3 3.1 作業化颱風路徑預報應用技術建置 3 3.1.1 0000/1200 UTC 颱風路徑預報及誤差統計 3 3.1.2 0600/1800 UTC 颱風路徑預報及誤差統計 3 3.2 2014-2015 年西北太平洋歷史颱風之系集路徑預報分析 3 3.3 2016 年西北太平洋颱風之實時系集路徑預報分析 3 3.4 系集颱風路徑預報應用技術之改進 3 3.4.1 變更選取成員數 3		
2.2.1 路徑資料蒐集與完整度分析 1 2.2.2 系集預報路徑校驗分析 2 第三章、系集颱風路徑預報應用技術開發 3 3.1 作業化颱風路徑預報應用技術建置 3 3.1.1 0000/1200 UTC 颱風路徑預報及誤差統計 3 3.1.2 0600/1800 UTC 颱風路徑預報及誤差統計 3 3.2 2014-2015 年西北太平洋歷史颱風之系集路徑預報分析 3 3.3 2016 年西北太平洋颱風之實時系集路徑預報分析 3 3.4 系集颱風路徑預報應用技術之改進 3 3.4.1 變更選取成員數 3	2.1.4 國研院颱洪中心系集預報實驗系統 (TAPEX)	18
2.2.2 系集預報路徑校驗分析 2 第三章、系集颱風路徑預報應用技術開發 3 3.1 作業化颱風路徑預報應用技術建置 3 3.1.1 0000/1200 UTC 颱風路徑預報及誤差統計 3 3.1.2 0600/1800 UTC 颱風路徑預報及誤差統計 3 3.2 2014-2015 年西北太平洋歷史颱風之系集路徑預報分析 3 3.3 2016 年西北太平洋颱風之實時系集路徑預報分析 3 3.4 系集颱風路徑預報應用技術之改進 3 3.4.1 變更選取成員數 3	2.2 颱風路徑系集預報校驗與分析	18
第三章、系集颱風路徑預報應用技術開發	2.2.1 路徑資料蒐集與完整度分析	18
3.1 作業化颱風路徑預報應用技術建置 3 3.1.1 0000/1200 UTC 颱風路徑預報及誤差統計 3 3.1.2 0600/1800 UTC 颱風路徑預報及誤差統計 3 3.2 2014-2015 年西北太平洋歷史颱風之系集路徑預報分析 3 3.3 2016 年西北太平洋颱風之實時系集路徑預報分析 3 3.4 系集颱風路徑預報應用技術之改進 3 3.4.1 變更選取成員數 3	2.2.2 系集預報路徑校驗分析	20
3.1.1 0000/1200 UTC 颱風路徑預報及誤差統計 3 3.1.2 0600/1800 UTC 颱風路徑預報及誤差統計 3 3.2 2014-2015 年西北太平洋歷史颱風之系集路徑預報分析 3 3.3 2016 年西北太平洋颱風之實時系集路徑預報分析 3 3.4 系集颱風路徑預報應用技術之改進 3 3.4.1 變更選取成員數 3	第三章、系集颱風路徑預報應用技術開發	35
3.1.2 0600/1800 UTC 颱風路徑預報及誤差統計 3 3.2 2014-2015 年西北太平洋歷史颱風之系集路徑預報分析 3 3.3 2016 年西北太平洋颱風之實時系集路徑預報分析 3 3.4 系集颱風路徑預報應用技術之改進 3 3.4.1 變更選取成員數 3	3.1 作業化颱風路徑預報應用技術建置	35
3.2 2014-2015 年西北太平洋歷史颱風之系集路徑預報分析 3 3.3 2016 年西北太平洋颱風之實時系集路徑預報分析 3 3.4 系集颱風路徑預報應用技術之改進 3 3.4.1 變更選取成員數 3	3.1.1 0000/1200 UTC 颱風路徑預報及誤差統計	35
3.3 2016 年西北太平洋颱風之實時系集路徑預報分析 3 3.4 系集颱風路徑預報應用技術之改進 3 3.4.1 變更選取成員數 3	3.1.2 0600/1800 UTC 颱風路徑預報及誤差統計	36
3.4 系集颱風路徑預報應用技術之改進 3 3.4.1 變更選取成員數 3	3.2 2014-2015 年西北太平洋歷史颱風之系集路徑預報分析	37
3.4.1 變更選取成員數	3.3 2016 年西北太平洋颱風之實時系集路徑預報分析	38
	3.4 糸集颱風路徑預報應用技術之改進	38
3.4.2 加入區域模式系集預報資料3	3.4.1 變更選取成員數	39
	3.4.2 加入區域模式系集預報資料	39

第四章、總結與未來工作	63
附錄一	64
附錄二	66
參考文獻	68

表目錄

表 1	2015 年 ECMWF 系集路徑預報資料缺值狀況整理,各預報時間點有預報
	值情形以 1 表示,缺值以 0 表示。23
表 2	2015 年 ECMWF 系集路徑預報資料缺值統計 (一個預報時間僅算一次)。
	24
表 3	2015 年 ECMWF 系集路徑預報資料,單一成員單次預報缺值次數大於 7
	次之事件。24

圖目錄

置	1	針對 2010-2011 年西北太平洋颱風個案,以(a) ECMWF 系集成員及	(b)
		ECMWF與 NCEP 系集成員計算其 12 小時颱風路徑預報誤差與選取排	丰名
		成員數的關係。不同顏色線條代表不同預報時間,而各線上三角形代表	此
		預報時間之誤差最小的系集排名成員數。	.14
置	2	(a) 2010-2011 年後報與(b) 2012-2013 年作業預報之西北太平洋颱風個第	条 ,
		比較 ECMWF 決定性預報(ECD)、系集平均(ECM)、OBEST 之颱風路徑	預
		報誤差,括號內數字代表各預報時間統計個案數,長條上百分比代	表
		OBEST 相對於 ECM 之誤差改進比例,+代表「ECM 與 OBEST 存在差距	<u> </u>
		統計上滿足 95%信心水準。	.15
啚	3	比較 2012-2013 年西北太平洋颱風作業預報之 OBEST、兩模式系集平	均
		(SuperM)、兩模式 OBEST 方法(Super-OBEST)之颱風路徑預報誤差,括	號
		內數字代表各預報時間統計個案數,長條上百分比代表 OBEST 相對	於
		ECM 之誤差改進比例,★代表「ECM 與 OBEST 存在差距」統計上滿	足
		95%信心水準。	.16
啚	4	參與 TIGGE 計畫之各國預報中心。	.16
啚	5	2015 年 ECMWF 颱風路徑系集預報到齊成員數與符合此成員數之時間	割點
		總數關係圖,橫軸為成員數,左側座標軸為總數,右側座標軸為累積百	分
		比(百分比之計算已扣除均無資料之狀況)。	.25
置	6	ECMWF 2015 年系集路徑預報資料各成員缺值情形統計,橫軸為成員 1	至
		51,縱軸為缺值次數之個案由上到下為多(9次)到少(5次),色階表	缺
		值數,顏色越深代表缺值次數越多。	.25
啚	7	2013-2015年ECMWF與NCEP系集平均颱風路徑 0-240 小時之預報誤差	<u>.</u> ,
		横軸為預報時間,紅色系、藍色系線條分別代表 ECMWF、NCEP 模式	
		年之統計結果。	
啚	8	同圖 7,但為 0-120 小時預報誤差。	.26
啚	9	同圖 7,但為 0-72 小時預報誤差。圖中省略 2013 年 ECMWF 初始誤差	0
啚	10		
		0600/1800 UTC (虛線) 之颱風路徑平均預報誤差,橋、紫、綠線分別	
		2013、2014、2015 年。	
啚	11	同圖 10,但為 0-120 小時預報誤差。	
置	12	同圖 10,但為 0-72 小時預報誤差。	
置	13		
		化分析結果,下方數字為資料筆數,圓點為個別系集成員結果。紅、藍	
		綠色分別代表 ECMWF 系集模式、NCEP 系集模式以及 ECMWF+NC	
		系集綜合。	.29

啚	14	同圖 13,但為 0-120 小時預報誤差。2	29
圖	15	2015 年系集平均颱風路徑 0-240 小時預報誤差,線條為系集平均之均	質
		化分析結果,下方數字為資料筆數,圓點為個別系集成員結果。紅、藍	`
		綠色分別代表 ECMWF 系集模式、NCEP 系集模式以及 ECMWF+NCE	P
		系集綜合。	0
圖	16	同圖 15,但為 0-120 小時預報誤差。	0
圖	17	2013-2015 年 ECMWF、NCEP、WEPS 以及 TAPEX 系集平均颱風路	
		0-240 小時之預報誤差,橫軸為預報時間,咖啡色系、淺藍色系、粉紅	多
		系以及深藍色系線條分別代表 ECMWF、NCEP、WEPS 以及 TAPEX 相	莫
		式各年之統計結果。3	1
圖	18	同圖 17,但為 0-120 小時預報誤差。	1
昌	19	同圖 17,但為 0-72 小時預報誤差。	32
圖	20	2014-2015 年 ECMWF、NCEP、WEPS 以及 TAPEX 系集平均颱風路	垩
		0-72 小時之均質化預報誤差,橫軸為預報時間,藍、紅、橘及綠色線份	条
		分別代表 ECMWF、NCEP、WEPS 以及 TAPEX 模式之校驗結果。3	2
置	21	同圖 20,但為警報颱風之路徑預報結果。	3
昌	22	2014年ECMWF、NCEP、WEPS、TAPEX、2個全球模式以及4個模	式
		系集平均颱風路徑 0-72 小時之均質預報誤差,橫軸為預報時間,線條	為
		系集平均之均質化分析結果,下方數字為資料筆數,圓點為個別系集)	戎
		員結果。綠色系、藍綠色系、藍色系、紫色系、咖啡色、粉紅色分別	為
		ECMWF、NCEP、WEPS、TAPEX、2個全球模式及4個模式之統計結果	0
		3	3
昌	23	同圖 22,但為 2015 年之預報誤差。	4
啚	24	系集颱風路徑預報應用技術作業化流程。	1
昌	25	以 0000 UTC 為例,氣象局實際颱風預報作業取得各種模式資料之時刻	0
		4	12
啚	26	針對 2014-2015 年西北太平洋颱風個案,以 ECMWF 系集成員統計「」	
		12 小時路徑預報誤差排名選取用以平均之成員數」與「以整體系集平量	勻
		預報誤差標準化之路徑誤差」之關係。不同顏色線條代表不同預報時間	,
		而各線上三角形代表此預報時間之誤差最小的系集排名成員數。4	13
啚	27	針對 2014-2015 年西北太平洋颱風個案,統計 ECMWF 系集平均(MEAN	1)
		與 OBEST 之颱風路徑預報誤差。左縱軸與長條代表路徑誤差,右縱軸!	題
		曲線上百分比代表 OBEST 相對於 MEAN 之誤差改進比例,括號內數學	字
		代表各預報時間統計個案數,+代表「MEAN 與 OBEST 存在差距」	统
		計上滿足 95%信心水準。4	13
昌	28	同圖 26,但為 ECMWF 加上 NCEP 系集成員之統計關係。	4
昌	29	同圖 27,但為 ECMWF 加上 NCEP 系集成員之統計關係。	4
昌	30	針對 2014-2015 年西北太平洋颱風個案,統計 OBEST 與 Super-OBES	Τ

	之颱風路徑預報誤差。左縱軸與長條代表路徑誤差,右縱軸與曲線上百
	分比代表 Super-OBEST 相對於 OBEST 之誤差改進比例。45
圖 31	針對 2014-2015 年西北太平洋颱風個案,採用 ECMWF 系集成員之(a)方
	案一、(b)方案二,統計「排名後用以平均之成員數」與「以整體系集平
	均預報誤差標準化之路徑誤差」之關係。不同顏色線條代表不同預報時
	間,而各線上三角形代表此預報時間之誤差最小的系集排名成員數。 46
圖 32	針對 2014-2015 年西北太平洋颱風個案,採用 ECMWF 系集成員之(a)方
	案一、(b)方案二,統計 ECMWF 系集平均(MEAN)與 OBEST 之颱風路徑
	預報誤差。左縱軸與長條代表路徑誤差,右縱軸與曲線上百分比代表
	OBEST 相對於 MEAN 之誤差改進比例,括號內數字代表各預報時間之
	統計個案數,+代表「MEAN 與 OBEST 存在差距」統計上滿足 95%信
	心水準。47
圖 33	針對 2014-2015 年西北太平洋颱風個案,統計(a)以 0618run 之 ECMWF
	系集 OBEST 方案一、二之颱風路徑預報誤差。左縱軸與長條為路徑誤差,
	右縱軸與曲線上百分比為Super-OBEST相對於OBEST之誤差改進比例;
	(b) 0012run、0618run 之方案一、方案二之 OBEST 平均路徑誤差。48
圖 34	同圖 31,但為 Super-OBEST 之結果。
圖 35	同圖 32,但為 Super-OBEST 之結果。
圖 36	同圖 33,但為 Super-OBEST 之結果。51
圖 37	針對 2014-2015 年西北太平洋颱風個案, 0012run 之 OBEST 與
	Super-OBEST 以及 0618run 之方案一與方案二共 6 項實驗之 240 小時路
圖 38	針對 2014-2015 年西北太平洋颱風個案, Super-OBEST 之 0012run 以及
	0618run 之方案一與方案二使用 NCEP 系集成員之狀況。左縱軸使用
	NCEP 系集成員之比例,右縱軸則表示相應使用之成員數。52
圖 39	2014-2015 年西北太平洋颱風全球系集成員與 Super-OBEST 選取成員之
	平均系集成員離散度與平均路徑誤差。藍、黃色系線條分別代表平均路
	徑誤差、系集成員離散度;淺、深色系線條則分別代表全球系集模式與
	Super-OBEST • 53
圖 40	針對 2014-2015 年西北太平洋颱風個案,0012run 之全球系集成員與相應
	Super-OBEST 選取成員之離散度與誤差散布圖。上、下列分別代表第72、
	120 小時;左、右行分別代表 Super-OBEST、系集平均。圖中均註明線
	性迴歸線方程式及相關係數平方值。54
圖 41	2014-2015年篩選之颱風個案(篩選條件見3.2節),平均系集成員離散度
回 11	與其離散度標準差之散布圖。黑實線為線性迴歸線,其相關係數平方值
	為 0.7。
圖 42	2014-2015 年篩選之颱風個案,依圖 41 中各分類之平均路徑預報誤差,
四 72	生中 w 為氧象局發布 警報之 颱風。

圖 43	氣象局預報中心 TAFIS 系統對 2016 年西北太平洋 24 個颱風非均質化 120
	小時路徑預報,包含氣象局(CWB)、北京(BABJ)官方、TWRF、NCEP
	ECMWF 決定性模式預報以及 SUMMER。56
圖 44	2016 年颱洪中心上線作業之 SUMMER 與全球系集模式(ECMWF+NCEP
	平均於今年颱風季之 240 小時颱風路徑預報與差異。56
圖 45	同圖 29,但為 Super-OBEST 選取成員數為 34 之結果。57
圖 46	針對 2014-2015 年西北太平洋颱風個案之 0012run,統計 Super-OBEST 選
	取成員數為 28 及 34 之 240 小時颱風路徑預報誤差。左縱軸與長條圖為
	路徑誤差,右縱軸與曲線上百分比為 M = 34 相對於 M = 28 之誤差改進
	比例。57
圖 47	2014-2015 年西北太平洋颱風全球與區域系集模式各選取成員數之 12 小
	時路徑預報資料達成率。58
圖 48	同圖 26,但為 ECMWF、NCEP、WEPS 及 TAPEX 系集模式之結果。58
圖 49	同圖 27,但為 ECMWF、NCEP、WEPS 及 TAPEX 系集模式之結果。59
圖 50	2014-2015 年西北太平洋颱風個案,ECMWF、NCEP、WEPS 及 TAPEX
	系集模式平均與 SUMMER 之平均系集成員離散度與平均路徑預報誤差
	藍、黃色系線條分別為平均路徑預報誤差與系集成員離散度;淺、深色
	系線條分別為系集模式平均與 SUMMER。59
圖 51	2014-2015 年西北太平洋颱風 240 小時路徑預報誤差。藍色、紫色線分別
	為 ECMWF+NCEP 與 ECMWF+NCEP+WEPS+TAPEX 之系集平均;黄
	橘色線則分別表示 ECMWF+NCEP 與 ECMWF+NCEP+WEPS+TAPEX 之
	SUMMER •
圖 52	同圖 51 中 SUMMER 之 120 小時路徑預報,線條代表有無加入區域系集
	模式 SUMMER 之路徑預報誤差別。60
圖 53	
	ECMWF、NCEP、WEPS 及 TAPEX 系集模式,(b)圖為將(a)圖分為全球
	與區域模式,(c)圖則為圖 38 與(a)圖中 NCEP 系集成員之使用比例。.62
圖 54	同圖 27,但為尼伯特颱風個案。 62

第一章、計畫概述

1.1 計畫背景與目的

1.1.1 計畫背景

台灣位於太平洋季風合流區,同時又座落於菲律賓海板塊與歐亞板塊交界,因此常面臨颱風、梅雨、地震等天然災害。世界銀行 2005 年公布的「災害高風險區評估報告」指出,台灣是全球水災、旱災及地震複合型災害發生頻率最高的地區,平均有 90%以上的人口面臨 2 種天然災害(颱風、洪水、乾旱、地震)威脅,有 73%的人口面臨 3 種天然災害威脅。美國東部及南部亦常因颶風侵襲而導致災情(如 2005 年的卡崔娜颶風),其災害規模常和颶風強度密切相關,故美國的颶風研究非常重視強度的變化和預報。台灣位於西北太平洋地區颱風路徑之要衝,是全世界受颱風影響最顯著的國家之一。對台灣而言,大部分的颱風災害(淹水、土石流、崩塌及斷橋),係因持續性豪大雨所導致,故台灣的颱洪減災研究重點與美國有顯著差異;再者,台灣的複雜地形除提高問題困難度外,亦使台灣的颱洪災害研究具相當高的特殊性。

在過去學研界和作業單位的努力下,台灣的颱風預報和颱洪災害預警應變能力已達國際一流水準,並實際發揮成效。然而由於台灣人口密度高、地形複雜、地質不佳、河流短促且坡陡流急,加上降雨過程之複雜與隨機特性,局部地區突發性豪雨的預測困難度相當高,也增加了洪水與坡地災害預警資訊的不確定性。此外,國內颱洪研究社群人力有限,颱風、豪雨研發能量仍有相當多提升空間;因此台灣的颱洪研究除需與國際接軌、引進國外先進技術外,須針對國內獨特需求,針對高災害潛勢區,建構研究所需的大氣水文密集觀測能量,並強化高時空解析定量降雨預報技術與災害潛勢預警能力。而台灣的颱風災害,大都因持續性的豪大雨所導致(如淹水、土石流),故為提升颱洪災害預警應變作業效能,具備可操作之定量降雨預報技術為其重要關鍵;而若想要達成良好之颱風定量降雨預報,颱風路徑預報之改進為最重要的要素之一。

自 1963 年 Lorenz 提出混沌理論後,眾人理解到由於整個大氣系統先天上的限制、初始場不精確、計算存在誤差等因素,使得兩週以上之決定性預報不可能被實現; Epstein (1969)提出一隨機動力模式(stochastic dynamic model),此模式可提供大氣狀態的平均及變異度,它與蒙地卡羅(Monte Carlo)方法於文中幾個預報個案均顯示較決定性預報為佳的表現; Leith (1974)則以理論推導及理想測試,說明蒙地卡羅法中之平均過程能夠過濾掉長時間預報後毫無精確度的小尺度結構,且能維持可預報度較高之大尺度擾動,相較於 Epstein (1969)之隨機動力模式更具有預報能力。然而,直到 1992 年世界各預報中心才開始著手進行系集(ensemble)預報之作業化,如今系集預報已成為全球作業單位廣泛使用之重要預報工具。

1.1.2 計畫目的

雖然近 20 年來各作業預報中心之颱風路徑預報能力已有長足的進步,但基 於決定性預報無可避免地具有不確定性,各國均致力於研發系集預報技術,特別 針對颱風此類對於環境條件非常敏感的系統更需要考慮其不確定性。故本兩年期 計畫之全程計畫目的係配合氣象局颱風作業預報需要,針對現有颱風路徑系集預 報產品,發展相應之診斷分析與應用技術。本年度(第一年)之目標為建立系集 颱風路徑預報應用技術,同時系統性評估此技術之效益。研究成果除可供模式改 進參考與系集成員設計策略規劃外,透過分析方法完整描述預報產品亦能幫助氣 象局更有效、合理地運用系集預報產品。

1.2 國內外與本計畫相關研究情況

1.2.1 颱風路徑系集預報

隨著大氣科學研究累積及計算機運算能力提升,自 1980 年代起各國開始進行颱風路徑作業預報,且預報能力逐年提升。隨著各種數值模式陸續問世,學者與預報單位便著手思考如何善用這些模式預報資訊以改進颱風預報。其實早在 1973 年 Sanders 已提出一致性(consensus)預報的概念,藉由不同來源預報結合而成的一組預報雖然可能不見得總是優於個別預報,然而以長期觀點來看為表現最好者。以 Leith (1974)的理論衍生出的系集預報方法則為使用單一模式,但使用各種擾動方式產生系集成員。Thompson (1977)則以理論推導證明,基於兩組預報對於真值均無偏差(unbiased)且彼此並無完全相關(not perfectly correlated)之前提之下,使用相等權重之線性組合,能得到誤差預期較個別預報為小之預報。

此後不斷有許多相關研究,例如 Leslie and Fraedrich (1990)結合澳洲熱帶模式與 CLIPER (climatology-persistence,氣候持續法)模式、Goerss (2000)使用全球及區域作業模式分別進行一致性預報,相較於氣候法或個別模式均得到相當不錯的結果。Weber (2003)則統計各模式過去之誤差特性,以決定系集平均權重,其預報表現與一致性預報類似。 Poroseva et al. (2010)提出幾個基於Dempster-Shafer 理論,以多模式進行颱風路徑預報的方法,並討論多模式法預報能力與模式數量之間的關聯,考慮的模式包括 NOGAPS (Navy Operational Global Atmospheric Prediction System)、ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)、NCEP (National Centers for Environmental Prediction)的 MRF (medium range forecast)及 AVN (Aviation Run of the MRF),並以 2000 年太平洋與南印度洋颱風評估其預報能力,結果顯示僅兩個模式即可提供合理的多模式預報,而增加模式數可增進多模式預報的品質,不過在某些個案仍可能所有預報方法均失敗。Froude et al. (2007)甚至以 ECMWF 及 NCEP 系集預報系統探討溫帶氣旋之路徑及強度預報,除歸納出與颱風預報類似的結論外,亦指出似乎僅挑選部分

較佳成員可得到更好的預報。故不論多模式或單一模式之系集預報,在颱風路徑 與強度預報上均扮演重要的角色,特別是在於提供準確度更高的預報指引及預報 不確定性。

Elsberry et al. (2014)探討 2012 年 ECMWF 對大西洋颱風之預報表現,研究發現 ECMWF 系集模式在大西洋之颱風預報能力不如西北太平洋。Evans et al. (2014)針對引發強降水之 2008 年 Fay 颱風個案,以 16 組高解析度 WRF 模式系集預報為例,探討預報員如何使用系集預報指引(forecast guidance)。參與的預報員感想為:高解析度系集指引雖然不見得能實質上降低預報不確定性,但對他們的預報有加值作用且能加強其信心度。在準備預報過程中如考慮系集指引,平均而言在所有降雨門檻值均可提升預報技術。這些研究均說明採用系集預報方式確實對颱風預報有相當大的助益。

1.2.2 權重系集預報

等權重系集預報在各預報中心已長期作業化應用(WMO(2007)),然而僅將 所有成員之颱風路徑作算數平均似乎無法完全展現系集預報之優勢,故亦有許多 研究針對此議題進行探討。Elsberry and Carr (2000)除了與 Goerss (2000)一致認為 系集路徑預報具有良好預報誤差特性之外,亦指出預報員可藉由去除誤差可能較 大之部分成員,使用剩餘成員之系集平均可對預報員有加值的效果。Lee and Wong (2002)應用 ECMWF、JMA (Japan Meteorological Agency)、UKMO (U.K. Met Office)之系集預報產品,比較等權重、以颱風初始位置(即 0 小時預報)誤差、 以12小時預報誤差為權重之系集路徑表現,發現以12小時預報誤差為權重者於 24 及 48 小時預報誤差均優於前二者,而 72 小時預報表現則三者類似。Kumar et al. (2003)則使用 ECMWF、NCEP AVN、NOGAPS、UKMO、JMA 等系集模式經 過一段時間訓練後,針對各預報時間個別統計各模式之系統性偏差決定其權重。 校驗結果亦顯示優於各模式及系集平均之表現,特別是三天以上之預報更為顯著。 Elsberry et al. (2008)提出以 60 至 72 小時各成員與一致性預報之差異作為權重, 研究使用直接調整72小時後之預報中心位置與藉由調整72小時後之預報移速向 量來改進中心位置兩種方案。結果顯示此兩種方法之路徑預報對 2006 年西北太 平洋颱風個案均較系集平均為佳,而後者之改進幅度較大。

Qi et al. (2014)提出一基於 EPS (ensemble prediction system, 系集預報系統)成員短期(12 小時)颱風路徑預報誤差之選擇性系集平均法。CMA (China Meteorological Administration)應用 ECMWF、NCEP 之 EPS 產品針對 2010-2011年共 35 個颱風預報利用 JMA 最佳路徑進行校驗, 結果顯示挑選之系集成員直接平均表現優於權重平均。Brill et al. (2015)則以一維傅立葉變換之 divisive clustering algorithm 應用於 NCEP GEFS 20 組成員與 ECMWF 50 組成員進行群集分類,統計校驗顯示使用較多成員的結果不盡然比僅用 ECMWF 者好,但某些個案在多模式系集中選出的群集似乎較能維持路徑之連續性。

本計畫採用 Dong and Zhang (2016)參考 Qi et al. (2014)所提出之 OBEST (Observation-Based Ensemble Subsetting Technique)方法;先以氣象局提供之觀測 颱風路徑進行各系集成員之 12 小時預報誤差校驗,再選取此誤差最低之前 M 名排名成員,直接算數平均後得到最佳預報路徑。圖 1 利用 2010-2011 年西北太平洋之颱風個案統計「排名後用以平均之成員數 (M)」與「以整體系集平均預報誤差標準化之路徑誤差」之關係,ECMWF 系集(OBEST)與 ECMWF 加上 NCEP 系集(Super-OBEST) 最佳排名之成員數分別為 M = 20 與 M = 28。此外,以 2010-2011 年後報與 2012-2013 年作業預報之颱風個案進行統計(圖 2 (a)與圖 2 (b)),OBEST 路徑預報大致上均優於系集平均,其中 2010-2011 年 12-36 小時與 2012-2013 年12-24 小時預報之改進具統計顯著性。圖 3 則比較 2012-2013 年颱風個案之 Super-OBEST 與系集平均預報誤差,發現 Super-OBEST 能夠再進一步改進颱風路徑預報,統計顯著性亦可維持到 36 小時。

1.3 計畫工作項目

本年度計畫工作分為二個部分,「各國系集資料系統性校驗分析」與「系集 颱風路徑預報應用技術開發」。以下分別說明第一年(本年)計畫之主要工作項 目與內容說明:

1. 各國系集資料系統性校驗分析

TIGGE (THORPEX Interactive Grand Global Ensemble) 為國際整合型計畫,目的為蒐集各國系集路徑產品,供研究人員進行可預報度分析與機率預報研究。該計畫自 2006 年十月開始進行,收集十個主要單位之系集資料 (圖 4),累積相當多之路徑預報結果。本計畫將蒐集、整理 TIGGE 資料進行系統性分析與評估。首先將著重於 ECMWF、NCEP 及 CWB WEPS (Central Weather Bureau WRF Ensemble Prediction System)等氣象局常用之系集預報系統;除上述三種系集系統外,本計畫亦將嘗試納入颱洪中心與氣象局、學界共同推動之 TAPEX (Taiwan cooperative precipitation ensemble forecast experiment)系集系統。

待上述各系集系統之路徑資料蒐集完整後,將利用 SQLbase 系統建立系集颱風路徑資料庫,提供後續技術發展、系統建立、資料分析之用。資料蒐集時將一併整理颱風強度資訊,以利後續計畫之應用。各單位之系集路徑預報校驗將以氣象局定位之路徑為基準,針對個別模式計算其絕對誤差;進一步分析預報時間延遲導致之路徑誤差特性。路徑誤差之計算以大圓公式進行計算;希望可系統性了解個別系集系統之路徑偏差特性及全球模式與區域模式之模式差異,以利後續進一步加值應用參考。此外,亦將針對各系集颱風路徑(ECMWF、NCEP、CWBWEPS...等)進行系統性評估與分析。除蒐集歷史系集路徑資料之外,亦將確認即時預報應用時可獲得之路徑預報資料與時機,配合各模式資料之產出特性發展適合之路徑預報應用技術。

2. 系集颱風路徑預報應用技術開發

如 1.2.2 節提及,OBEST 方法係考慮即時颱風中心位置,作為選取路徑預報相對準確系集成員之基準,用以計算系集平均。根據過去研究統計 (Dong and Zhang 2016),應用 OBEST 方法獲得之路徑其誤差改進具有統計顯著性。本研究首先將以較近期之系集資料配合氣象局定位資料重新測試 OBEST 方法。預計進行之步驟如下:

- a) 利用 ECMWF 資料進行 OBEST 方法測試,並重現如圖 1 之結果。
- b) 利用 ECMWF 與 NCEP 資料再次進行 OBEST 方法測試,並重現如圖 1 之結果。
- c) 同時利用全球與區域模式資料進行 OBEST 方法測試,並重現如圖 1 之 結果。

上述各步驟分析時,亦同時計算各結果之路徑校驗是否通過95%信心檢定;所有測試之歷史路徑資料檔與OBEST測試路徑資料檔,將同步交付氣象局供內部系統使用。透過系統性分析與評估後,將歸納整理一較佳之OBEST運用策略供氣象局參考使用。另一方面,考量到ECMWF系集模式每日僅於0000 UTC與1200 UTC進行兩次預報,將分析與評估作業上較佳之使用策略,供氣象局每日四次(0000、0600、1200、1800 UTC)預報之參考。上述策略將於同年度颱風季期間實際測試運用,並協助氣象局建立作業化程序,針對颱風季實際測試結果進行分析與檢討。

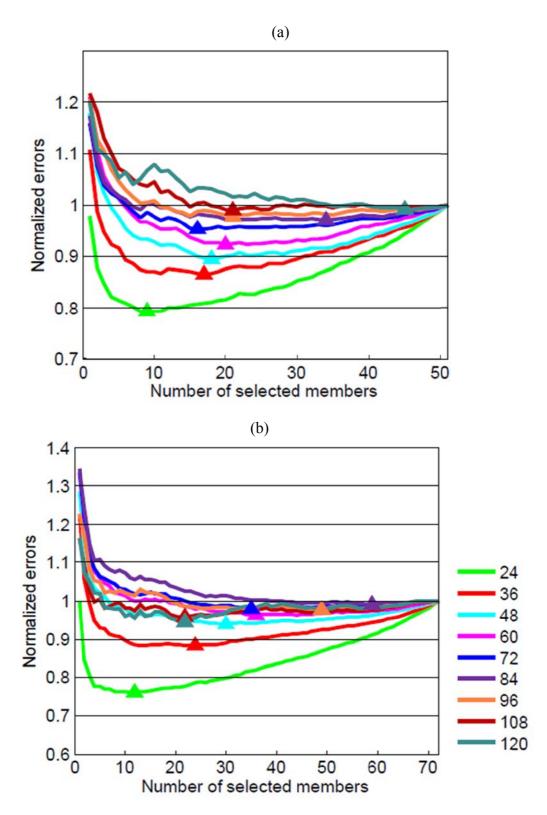
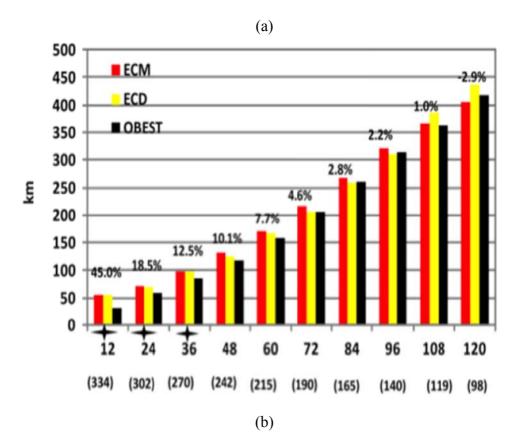


圖 1 針對 2010-2011 年西北太平洋颱風個案,以(a) ECMWF 系集成員及(b) ECMWF 與 NCEP 系集成員計算其 12 小時颱風路徑預報誤差與選取排名 成員數的關係。不同顏色線條代表不同預報時間,而各線上三角形代表此 預報時間之誤差最小的系集排名成員數。



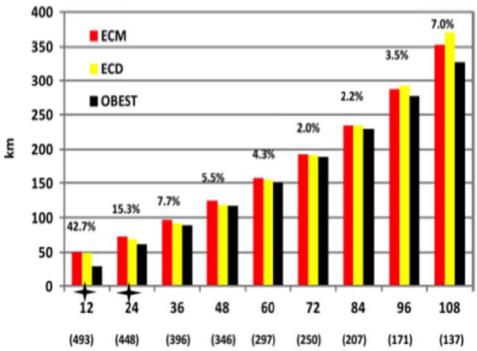


圖 2 (a) 2010-2011 年後報與(b) 2012-2013 年作業預報之西北太平洋颱風個案, 比較 ECMWF 決定性預報(ECD)、系集平均(ECM)、OBEST 之颱風路徑預 報誤差,括號內數字代表各預報時間統計個案數,長條上百分比代表 OBEST 相對於 ECM 之誤差改進比例,+代表「ECM與OBEST 存在差距」 統計上滿足 95%信心水準。

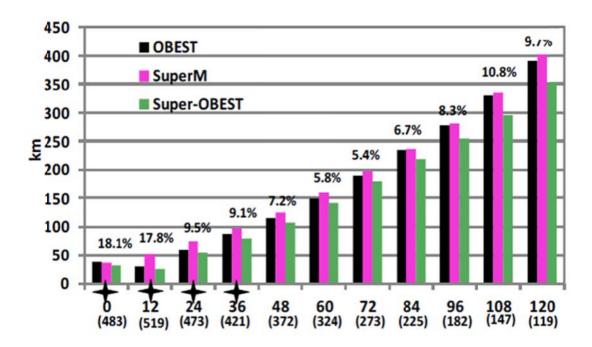


圖 3 比較 2012-2013 年西北太平洋颱風作業預報之 OBEST、兩模式系集平均 (SuperM)、兩模式 OBEST 方法(Super-OBEST)之颱風路徑預報誤差,括號內數字代表各預報時間統計個案數,長條上百分比代表 OBEST 相對於 ECM 之誤差改進比例, →代表「ECM 與 OBEST 存在差距」統計上滿足 95%信心水準。

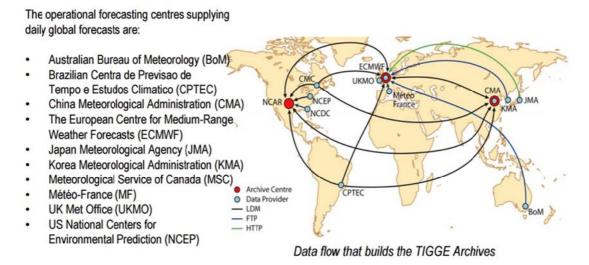


圖 4 參與 TIGGE 計畫之各國預報中心。

第二章、各國系集資料系統性校驗分析

2.1 各國系集簡介

以下分別針對氣象局常用之系集預報系統,包括 ECMWF、NCEP、CWB WEPS、TAPEX,各系統模式特性分述如下:

2.1.1 歐洲中尺度預報中心系集預報系統 (ECMWF EPS)

由歐洲中尺度預報中心發展之全球系集預報系統,2010年1月後設定如下:

■ 模式種類:全球模式

■ 每日預報起始: 0000、1200 UTC

■ 水平解析度: 0-10 天為 T639 (~32 km), 11-15 天為 T319 (~64 km)

■ 垂直層數:62

■ 模式層頂:~5 hPa

■ 預報時間:240 小時/360 小時

■ 系集成員數:51

其中垂直層數於 2013 年 11 月提高為 91 層,模式層頂調整為 0.01 hPa。此外, 2016 年 3 月水平解析度更新成 0-15 天為 O640 (~18 km),15-46 天為 O320 (~36 km), 預報時間則分別為 360 小時/1104 小時,其餘不變。

2.1.2 美國環境預報中心系集預報系統 (NCEP GEFS)

由美國環境預報中心發展之全球系集預報系統(Global Ensemble Forecast System, GEFS), 2012 年後設定如下:

■ 模式種類:全球模式

■ 每日預報起始: 0000、0600、1200、1800 UTC

■ 水平解析度: 0-8 天為 T254 (~52km), 9-16 天為 T190 (~70km)

■ 垂直層數:42

■ 模式層頂:~2.73 hPa

■ 預報時間:384小時

■ 系集成員數:21

其中水平解析度於 2015 年 12 月提高為 0-8 天為 TL574 (~34 km), 9-16 天為 TL382 (~52 km), 垂直層數則提高至 64 層。

2.1.3 中央氣象局 WRF 系集預報系統 (CWB WEPS)

由中央氣象局建置之 WEPS 系集系統,以 WRF (Weather Research and Forecasting Model) 區域模式三層巢狀網格為基礎。其初始擾動來自中央氣象局

決定性區域預報系統所提供之六小時預報場,再透過 WRF 三維變分法加入隨機 亂數,產生 20 組擾動初始場;邊界擾動則由 NCEP GEFS 提供擾動邊界條件; 而模式擾動則由不同之模式物理參數法之設定產生,主要為針對微物理參數法、 邊界層參數法和積雲參數法進行不同參數法之組合(李和洪,2011、2014)。

■ 模式種類:區域模式

■ 每日預報起始: 0000、0600、1200、1800 UTC

■ 水平解析度:45/15/5 km

■ 垂直層數:45

■ 模式層頂:30 hPa ■ 預報時間:78 小時

■ 系集成員數:20

2.1.4 國研院颱洪中心系集預報實驗系統 (TAPEX)

颱洪中心為協助提升我國防救災預警與應變能力,自民國 99 年起即結合氣象局、災防中心及學界(台灣大學、中央大學、師範大學及文化大學),積極研發定量降雨系集預報技術,並在國網中心支援下,進行台灣定量降雨系集預報實驗(Taiwan Cooperative Precipitation Ensemble Forecast Experiment, TAPEX)。實驗之目的除測試、驗證系集預報技術之外,並可增加災防單位進行情資研判時可參考之資訊,協助提升災害防救效能。TAPEX 係利用多模式、初始及邊界條件、各參數化方法之擾動構成之系集預報系統,颱風期間路徑預報來自 19 組 WRF模式、2 組第五代中尺度氣象模式(The Fifth-Generation NCAR / Penn State Mesoscale Model, MM5),以及 2 組 HWRF模式(Hurricane WRF)。

■ 模式種類:區域模式

■ 毎日預報起始:0000、0600、1200、1800 UTC

■ 水平解析度:45/15/5 km (大部分成員)

■ 垂直層數:45

■ 模式層頂:~30 hPa
■ 預報時間:78 小時
■ 系集成員數:23

2.2 颱風路徑系集預報校驗與分析

2.2.1 路徑資料蒐集與完整度分析

本計畫用以進行校驗與技術發展之實際颱風路徑資料,為氣象局 2008 至 2015 年之颱風中心定位資料。除上述資料外,本計畫上半年度亦已建立由 TIGGE 網站取得 ECMWF、NCEP 颱風路徑系集預報資料之完整流程。

為進行颱風路徑預報,各國作業單位均有其颱風中心自動定位程式,其原理為給定一指定初始位置,程式於此位置之鄰近區域搜尋最低海平面氣壓或最高500 hPa 高度所在點,將之指定為颱風中心。於颱風生命初期、後期強度較弱或颱風中心接近陸地時,路徑定位程式有時無法掌握中心位置而導致缺值。本計畫目標之一為建立系集預報系統之加值化技術,若原始模式預報資料有缺值情形,將會影響技術開發測試與校驗之完整性,故首先統計分析路徑資料之缺值情形。以下以2015年ECMWF系集路徑資料為例進行分析與討論。

2015年ECMWF系集模式自每日預報起始時間(通常以此時間代表本次預報,其格式為年月日時,分別為 4、2、2、2 位數字,即 date-time-group,簡稱DTG)起預報 240 小時,預報資料輸出間隔為 6 小時。因此一次預報(包括初始時間)共有 41 個時間點,一筆預報如有任一時間點有颱風存在且有相應時間點之實際颱風觀測則納入統計。全年所有預報與觀測可對應者共有 411 個 DTG,最多可達 16851 個時間點。ECMWF系集模式之 51 個成員中,若所有成員均無資料(通常為颱風生命期後期、系統已消失)之狀況有 8539 個時間點。其餘時間點(8312 個)中,所有成員均到齊者有 5235 個(比例為 62.98%);未完全到齊狀況之各成員數所占比例如圖 5 所示,成員數小(等)於 20 筆之累積百分比為 3.3%。此結果顯示,若欲以 2015年 ECMWF 颱風預報資料,選取排名前 20之成員進行 OBEST 技術開發,有 3.3%之時間點無足夠資料進行計算。

2015 年 ECMWF 預報資料缺值狀況整理如表 1,統計中並無類別 F、H、I 之情形,即模式預報期間最多只缺3個時間點,而僅缺初始時間這個單一時間點 之情形有 179 筆。2015 年所有 ECMWF 預報共 413 個 DTG, 故共有 21063 筆預 報資料。其中預報期間缺 1/2/3 個時間點之狀況分別有 8192/2467/922 筆, 上述統計亦可能發生一筆預報資料有兩個以上缺值之情形。若同時考慮所有預報 期間之缺值情形(表2),以2015年 ECMWF 資料而言,完全無缺值之資料筆數 約占所有資料之 66%,僅缺值一次之資料筆數占 21%。單一成員單次預報最多 缺值次數達 9 次,此種預報資料有兩筆。缺值次數 7 次以上事件列舉如表 3 所示, 表中同時亦顯示各預報缺值狀況。分析表 3 所列預報缺值次數較多之個案,於颱 風生命初期(CHAMPI, HALOLA)、中期(BAVI)、後期(KOPPU, HALOLA, MUJIGAE, KOPPU)均有可能發生;若以強度分析,除 KOPPU 颱風之缺值發生 於熱帶低壓時期外,其餘大多為輕度(CHAMPI, HALOLA, BAVI)或中度颱風 (HALOLA, MUJIGAE, KOPPU, MELOR)。其中 HALOLA 颱風生命期較長,且颱 風強度有兩次增強之情形,中間一度減弱成熱帶低氣壓,其強度變化較大。若以 颱風所在位置區分,缺值較多之個案可分為發生於洋面上(CHAMPI, HALOLA, BAVI, MELOR)、準備或剛登陸陸地(HALOLA, MUJIGA, KOPPU)及剛離開陸地 (KOPPU)之情形。

為進一步分析各預報缺值狀況是否跟成員有關,圖 6 為 2015 年 ECMWF 颱 風路徑預報各系集成員之缺值統計,橫軸為各成員、縱軸為經由表 2 計算之缺值 次數個案由上到下為多(9次)到少(5次),顏色越深代表缺值次數越多,圖中似無某些成員較容易發生缺值之情形,缺值情形於各成員之間應為隨機發生。

由於 OBEST 方法為選取第 12 小時預報資料,以其路徑誤差進行排序,故本研究亦分析預報 12 小時之缺值情形。統計 2015 年所有 ECMWF 之 12 小時預報資料有 413 個 DTG,共 21063 筆預報資料,其中缺值有 1008 筆(4.79%),若第 12 小時發生缺值且其前後時刻存在資料可用以內插補值,此種情形有 417 筆 (1.98%),剩餘之 591 筆則無法進行內插補值之動作,以原始 OBEST 方法而言,該筆資料將無法進行排序供成員挑選。

2.2.2 系集預報路徑校驗分析

於應用現有各國系集路徑資料發展颱風路徑預報技術前,須先行了解各系集系統之誤差特性。首先針對 2013-2015 年 ECMWF 與 NCEP 系集預報資料進行分析,圖 7 為 0-240 小時系集平均颱風路徑預報誤差表現。由於 2013 年 ECMWF 系集僅預報至 120 小時,故預報時間於 5 天後未有資料顯示。如圖 7 所示,5 天後之預報以 ECMWF 系集平均表現較佳,而 NCEP 系集平均則有明顯逐年改善之趨勢。以 2015 年為例:120 小時之系集平均路徑誤差 ECMWF 為 297.5 公里、NCEP 為 377.2 公里,120-240 小時預報期間兩者誤差差距大約 150 公里。而在ECMWF 部分,2015 年預報 168 小時後之誤差表現反而落後 2014 年。此外,ECMWF 系集模式於 2013 年初始時間誤差高達 263 公里,且 2014-2015 年於 5 天後預報出現 12 小時週期之振盪現象,此部分仍有待進一步分析探討。

進一步分析預報 120 小時(圖 8)與預報 72 小時(圖 9)之結果,顯示整體而言 ECMWF 與 NCEP 模式均有逐年改善之趨勢,且自 2014 年起 ECMWF 颱風路徑系集平均於預報 60 小時後即顯著優於 NCEP 颱風路徑系集平均。若比較預報初始與第 6、12 小時預報,則 NCEP 系集平均則優於 ECMWF 系集平均,可能是 NCEP 系統於初始化時使用颱風移置(re-location)技術之故。

由於 ECMWF 系集模式每日僅有兩次預報 (0000、1200 UTC),而 NCEP 系集模式每日有四次預報 (0000、0600、1200、1800 UTC),後續研究將針對 0600/1800 UTC 進行不同之應用技術發展。在校驗分析部分,將先針對 NCEP 系集模式初始時間為 0000/1200 UTC (以下簡稱 0012 run)與 0600/1800 UTC (以下簡稱 0618 run)兩組不同初始時間之路徑預報資料是否存在差異性進行分析。

圖 10 為 2013-2015 年 NCEP 系集模式 0-240 小時颱風路徑預報平均誤差表現,2015 年系集模式於 5 天後之表現 0012 run 似乎稍微優於 0618 run,2014 年於預報 180 小時後則以 0618 run 較佳。其中 2014 年和 2015 年於 120-180 小時亦有週期為 12 小時之振盪現象,此現象與 ECMWF 系集模式之特性相似,值得再深入探討。進一步檢視預報 0-120 小時(圖 11)與 0-72 小時(圖 12)之結果,預報 3 天以內之誤差分析顯示,2014 與 2015 年結果均顯示 0012 run 系統性優於

0618 run,但兩者差距不大。以2013-2015年之分析結果而言,0-72小時之路徑預報能力無顯著差異,顯示模式已達其穩定水準。綜合而言,NCEP系集模式預報有逐年改善之現象,其路徑預報改善主要為5天後之預報。0012 run 雖然有系統性優於0618 run 的現象,但優勢不算明顯。

上述分析為個別考慮 ECMWF 或 NCEP 模式系集平均路徑之結果,後續將進一步分析 ECMWF 加入 NCEP 系集模式組成之兩模式綜合平均路徑結果(ECMWF+NCEP Total Mean)分析。為了有更客觀之討論,下述之分析均會進行 ECMWF 與 NCEP 均質化分析(Homogeneous Analysis),亦即同一個預報時間,需同時有 ECMWF 系集模式與 NCEP 系集模式之預報結果(至少一組成員以上)才會列入統計。因此配合 ECMWF 之預報策略,下述分析僅針對 0000/1200 UTC 之結果,整體之資料筆數也相對較少。

由於 2013 年 ECMWF 系集颱風路徑預報至 120 小時,為求與 NCEP 資料一致性故後續的分析與技術發展僅針對 2014 與 2015 年之系集資料。圖 13 與圖 14 為 2014 年 ECMWF 與 NCEP 系集平均颱風路徑之 0-240 小時與 0-120 小時預報誤差,線條為兩系集均質化分析後結果,分別呈現 ECMWF、NCEP 及 ECMWF+NCEP 三種系集平均之結果,圓點為個別系集成員結果。如圖所示,整體而言 ECMWF 系集模式之個別成員於預報 120 小時後,顯著優於 NCEP 系集模式,而在 0-60 小時預報期間,以 NCEP 系集模式之個別成員表現較佳。而在 48-120 小時預報期間,可發現有一組 ECMWF 系集模式之成員明顯優於其他成員,該成員結果與系集平均相當接近。各系集平均之結果均普遍優於相應之個別系集成員,此結果與一般系集分析一致。而分析 ECMWF+NCEP 綜合平均路徑顯示,綜合兩組系集模式後,其誤差於 0-120 小時均優於個別模式之系集平均,而在預報 150 小時後,則以 ECMWF 系集平均較佳,推測可能為 NCEP 系集模式與差較大,導致綜合平均之結果也較差。由於 ECMWF 系集模式有 51 組系集成員,其影響程度大致上亦將高於 NCEP 系集模式之 21 組系集成員。

同樣的分析應用於 2015 年,結果如圖 15 與圖 16 所示,與 2014 年結果相比,均質化後之資料筆數約增加一倍。由於 NCEP 系集模式於 2015 年有顯著之改進,綜合平均之結果於 0-168 小時均為最佳之表現。於預報後期,綜合平均之結果亦呈現以 12 小時為週期之振盪現象,應與 ECMWF 系集模式之特性有關。整體而言,2015 年之系統性特性與 2014 年相似,初期以 NCEP 系集模式之成員較佳,後期則多以 ECMWF 系集模式之成員較佳。若進一步分析預報中期(132-150 小時)、後期(198-240 小時),可發現 ECMWF 系集模式個別成員誤差高於 NCEP 系集模式個別成員,然 ECMWF 仍有系集成員其誤差較 NCEP 系集成員低,顯示 ECMWF 系集模式之系集離散度(spread)高於 NCEP 系集模式。

為更深入了解全球系集模式與區域系集之特性,針對 2013-2015 年區域預報 系統進行分析,包括氣象局 WRF 20 組成員之系集預報系統(WEPS)與颱洪中心 23 組成員之系集預報實驗系統(TAPEX)。圖 17 為四個系集模式 240 小時平均颱 風路徑預報誤差,但因區域模式預報時間為 3 天 (2015 年 TAPEX 部分成員預報 5 天除外),故於 72 小時後無路徑預報資料。與前述一致,5 天後之預報亦以 ECMWF 系集平均表現較佳。進一步分析 120 小時(圖 18)與 72 小時(圖 19)路徑預報之結果,顯示各模式均有逐年改善的趨勢,72 小時路徑預報誤差大約從 250 公里進步至 200 公里以下。除 TAPEX 於 12 小時前之路徑預報領先其他系集模式外,大致上全球系集模式對於颱風路徑之掌握能力較佳,特別以 ECMWF 系集模式為優。

由於 ECMWF 系集模式每日有兩次預報 (0000、1200 UTC),而 NCEP、WPES 以及 TAPEX 系集模式每日有四次預報 (0000、0600、1200、1800 UTC),為公平了解各系集之系集平均以及系集成員之差異,分別均質化校驗 2014-2015年四個系集模式,結果如圖 20 所示。圖中顯示 ECMWF 系集平均有較好的表現,其次依序為 NECP, TAPEX 以及 WEPS。進一步檢視警報颱風 (圖 21) 之路徑預報,ECWMF 仍優於其他系集模式平均,但不同的是 TAPEX 於 36 小時預報後優於 NCEP, WEPS 則於 48 小時後。此結果顯示針對台灣地區設計之區域系集模式,於侵台颱風警報期間具有較佳的預報能力。

若分別由 2014 年(圖 22)與 2015 年(圖 23)校驗結果,可看出不同系集預報系統之各成員皆有不同表現結果。如同前述,全球系集模式 ECMWF 系集模式之系集離散度高於 NCEP 系集模式。然而,區域系集模式整體而言以 TAPEX 有較大的離散度,且區域模式之離散度均較全球模式為高。其中,造成 TAPEX 產生較大離散度可能由於 TAPEX 為多模式系集系統所致。全球系集模式均使用控制組經由擾動產生不同之模式初始場,故離散度較區域模式使用多模式與物理參數化擾動小。另一方面,由全球系集模式系集平均(ECMWF+NCEP)與四個系集模式平均均顯示較單一系集模式有較好的表現。其中,2015 年(圖 23)因區域系集模式表現較好,故四個模式之系集平均優於全球系集模式之系集平均。總之,ECMWF、NCEP、WEPS 及 TAPEX 四個系集模式各有不同的特性,其中以 ECMWF 系集模式表現較優。在各系統特性方面,TAPEX 之系集成員離散度較大,且區域系集模式均較全球模式為大。而在系集平均組合方面,多系集模式之系集平均,較單一系集模式有較優的表現。然而,在侵台颱風警報期間,區域系集模式相對於 NCEP 之全球系集模式有較好的預報能力。

表 1 2015 年 ECMWF 系集路徑預報資料缺值狀況整理,各預報時間點有預報 值情形以 1 表示,缺值以 0 表示。

類別	預報時間點 141	狀況描述
A	111111111111111111111111111111111111111	正常,所有時間點均有值。
В	1111111111111111111111111111111111110000	正常,後面時間點缺值表系 統消失。
C	111110111111111111111111111111111111111	預報期間出現1次連續缺值, 其中共1個時間點。
D	111110011111111111111111111111111111111	預報期間出現1次連續缺值, 其中共2個時間點。
Е	111110001111111111111111111111111111111	預報期間出現1次連續缺值, 其中共3個時間點。
F	111110000111111111111111111111111111111	預報期間出現1次連續缺值, 其中共4個時間點。
G	011111111111111111111111111111111111111	初始時間缺1個時間點。
Н	001111111111111111111111111111111111111	初始時間連續缺2個時間點。
I	000111111111111111111111111111111111111	初始時間連續缺3個時間點。
K	111111110111111111111111111111111111111	預報期間出現2次連續缺值, 兩者均為缺1個時間點。
L	111111110011111111111111111111111111111	預報期間出現2次連續缺值, 分別為缺1個與2個時間點。

表 2 2015 年 ECMWF 系集路徑預報資料缺值統計 (一個預報時間僅算一次)。

預報期間 缺值次數	缺一個時間點次數統計	缺二個時間點次數統計	缺三個時間點次數統計	無缺值/缺一個時間點以上之次數統計	無缺值/缺一個時間點以上之比例
無缺值	-	-	-	13913	66.05%
1	4023	1911	807	4423	21.00%
2	1176	219	53	1680	7.98%
3	368	34	3	627	2.98%
4	128	4	0	267	1.27%
5	30	0	0	97	0.46%
6	5	0	0	37	0.18%
7	3	0	0	12	0.06%
8	0	0	0	5	0.02%
9	0	0	0	2	0.01%

表 3 2015 年 ECMWF 系集路徑預報資料,單一成員單次預報缺值次數大於 7 次之事件。

颱風/預報初始時間	缺值	缺值狀況
	次數	預報時間點 1
CHAMPI / 2015-10-14 12:00:00	9	1111110111111111111100101010101000110101
KOPPU/2015-10-21 00:00:00	9	010101010001000100111101000110010000000
HALOLA / 2015-07-14 12:00:00	8	111111111111111011011011011101010010010
HALOLA / 2015-07-15 00:00:00	8	111111111110001001111111110101000100100
HALOLA / 2015-07-15 12:00:00	8	1101011101100110111111111110101100110000
HALOLA / 2015-07-16 00:00:00	8	101011011010101010111010000000000000000
HALOLA / 2015-07-16 12:00:00	8	110101110101011011010010000000000000000
BAVI / 2015-03-17 00:00:00	7	111111101010001110101001010000000000000
HALOLA / 2015-07-14 00:00:00	7	111111011011111011100011001010001111111
HALOLA / 2015-07-26 00:00:00	7	111110011101011001001011001000000000000
MUJIGAE / 2015-10-04 12:00:00	7	111110110011010111111011001001000000000
KOPPU/2015-10-18 00:00:00	7	11111111111111110101111011111110101101001000
KOPPU/2015-10-19 12:00:00	7	1111100101111101011111000111111111110110001
KOPPU/2015-10-20 12:00:00	7	110111100110011011010111110100000000000
MELOR / 2015-12-13 00:00:00	7	111111111111100110101100101101010000000

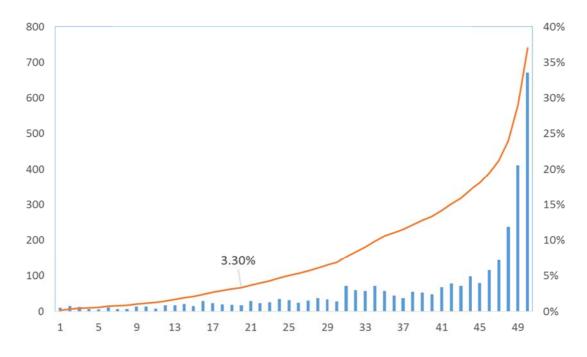


圖 5 2015 年 ECMWF 颱風路徑系集預報到齊成員數與符合此成員數之時間點 總數關係圖,橫軸為成員數,左側座標軸為總數,右側座標軸為累積百分 比(百分比之計算已扣除均無資料之狀況)。

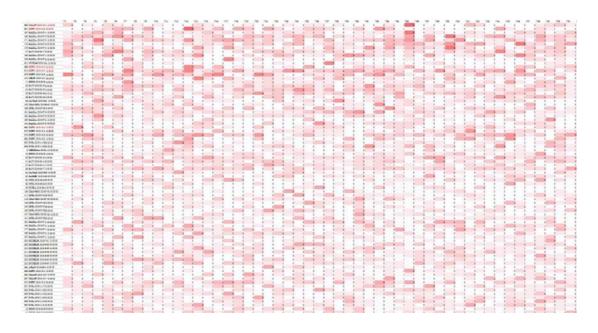


圖 6 ECMWF 2015 年系集路徑預報資料各成員缺值情形統計,橫軸為成員 1 至 51,縱軸為缺值次數之個案由上到下為多 (9 次) 到少 (5 次),色階表缺值數,顏色越深代表缺值次數越多。

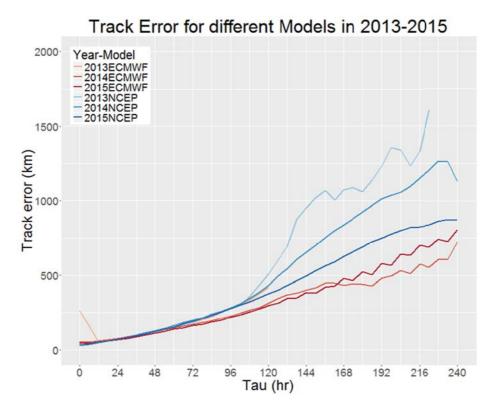


圖7 2013-2015年ECMWF與NCEP系集平均颱風路徑0-240小時之預報誤差, 横軸為預報時間,紅色系、藍色系線條分別代表 ECMWF、NCEP 模式各 年之統計結果。

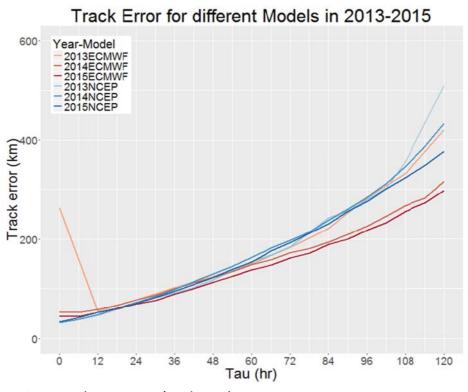


圖 8 同圖 7,但為 0-120 小時預報誤差。

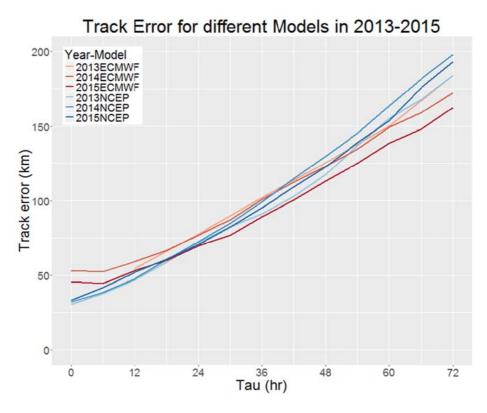


圖 9 同圖 7,但為 0-72 小時預報誤差。圖中省略 2013 年 ECMWF 初始誤差。

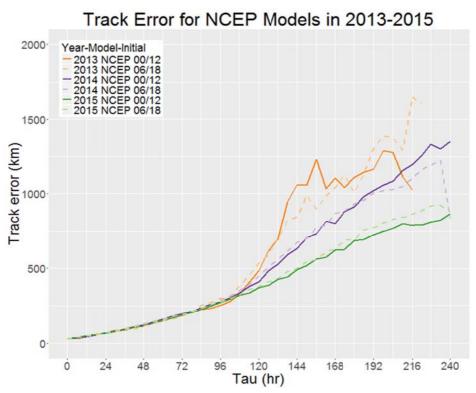


圖 10 2013-2015 年 NCEP 系集模式初始時間為 0000/1200 UTC (實線) 與 0600/1800 UTC (虛線) 之颱風路徑平均預報誤差,橘、紫、綠線分別為 2013、2014、2015 年。

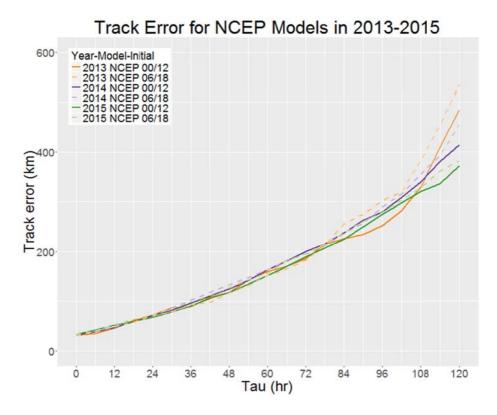


圖 11 同圖 10,但為 0-120 小時預報誤差。

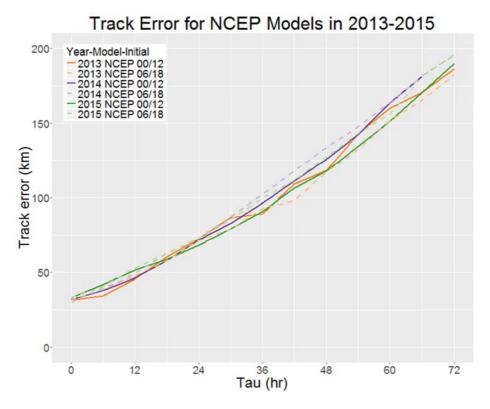


圖 12 同圖 10,但為 0-72 小時預報誤差。

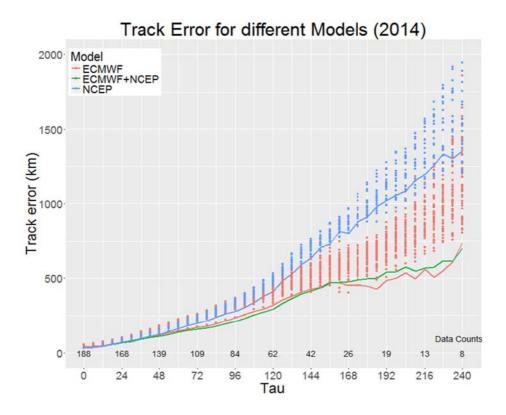


圖 13 2014 年系集平均颱風路徑 0-240 小時預報誤差,線條為系集平均之均質 化分析結果,下方數字為資料筆數,圓點為個別系集成員結果。紅、藍、 綠色分別代表 ECMWF 系集模式、NCEP 系集模式以及 ECMWF+NCEP 系集綜合。

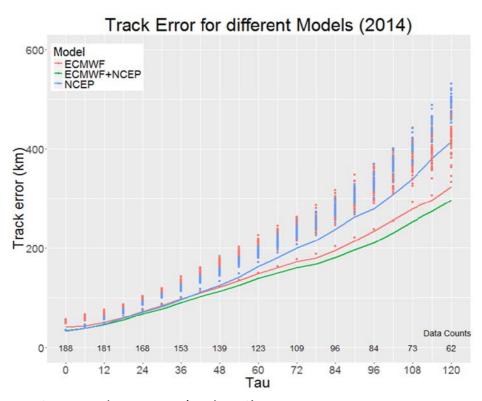


圖 14 同圖 13,但為 0-120 小時預報誤差。

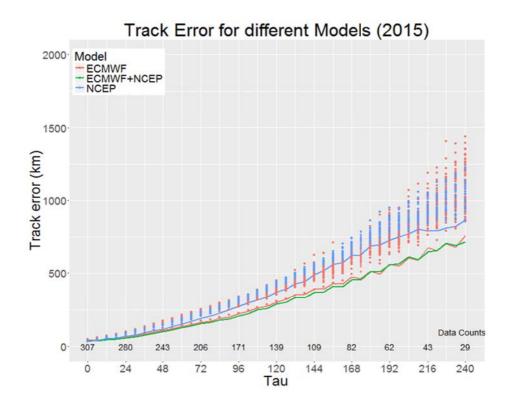


圖 15 2015 年系集平均颱風路徑 0-240 小時預報誤差,線條為系集平均之均質 化分析結果,下方數字為資料筆數,圓點為個別系集成員結果。紅、藍、 綠色分別代表 ECMWF 系集模式、NCEP 系集模式以及 ECMWF+NCEP 系集綜合。

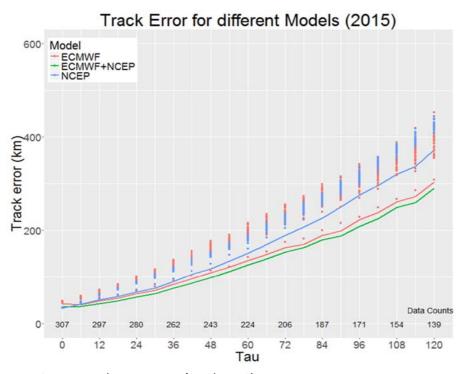


圖 16 同圖 15,但為 0-120 小時預報誤差。

Track Error for different Models in 2013-2015 Year-Model 2000-2013ECMWF 2013NCEP 2013TAPEX 2013WEPS 2014ECMWF 2014NCEP 2014TAPEX 2014WEPS 1500 2015ECMWF 2015NCEP Track error (km) 2015TAPEX 1000 500 240 Ò 24 48 120 168 192 216 72 144 Tau (hr)

圖 17 2013-2015 年 ECMWF、NCEP、WEPS 以及 TAPEX 系集平均颱風路徑 0-240 小時之預報誤差,橫軸為預報時間,咖啡色系、淺藍色系、粉紅色系以及深藍色系線條分別代表 ECMWF、NCEP、WEPS 以及 TAPEX 模式各年之統計結果。

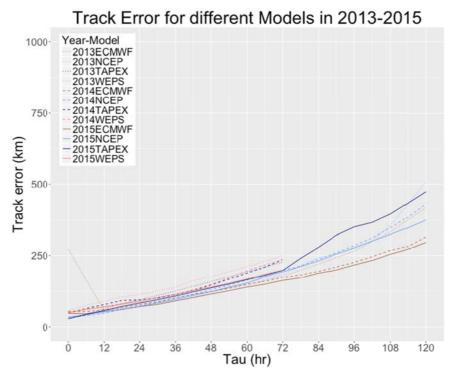


圖 18 同圖 17,但為 0-120 小時預報誤差。

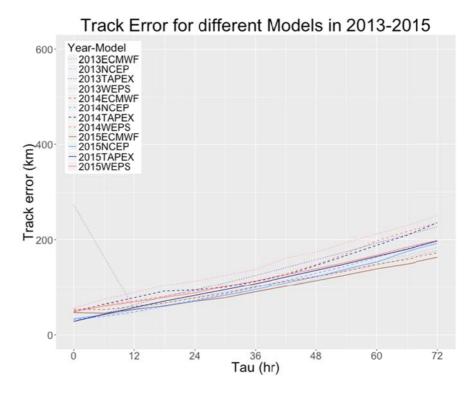


圖 19 同圖 17,但為 0-72 小時預報誤差。

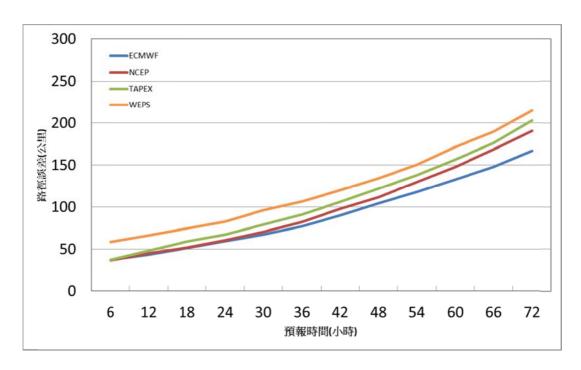


圖 20 2014-2015 年 ECMWF、NCEP、WEPS 以及 TAPEX 系集平均颱風路徑 0-72 小時之均質化預報誤差,橫軸為預報時間,藍、紅、橘及綠色線條分別代表 ECMWF、NCEP、WEPS 以及 TAPEX 模式之校驗結果。

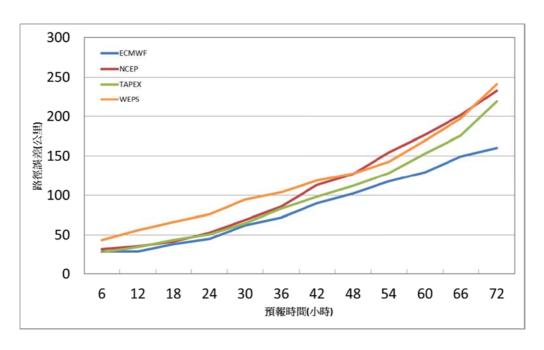


圖 21 同圖 20,但為警報颱風之路徑預報結果。

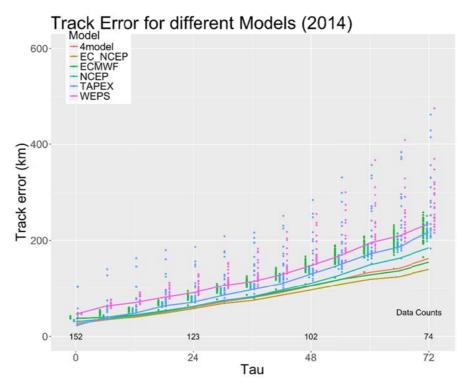


圖 22 2014年ECMWF、NCEP、WEPS、TAPEX、2個全球模式以及4個模式 系集平均颱風路徑 0-72 小時之均質預報誤差,橫軸為預報時間,線條為 系集平均之均質化分析結果,下方數字為資料筆數,圓點為個別系集成 員結果。綠色系、藍綠色系、藍色系、紫色系、咖啡色、粉紅色分別為 ECMWF、NCEP、WEPS、TAPEX、2個全球模式及4個模式之統計結果。

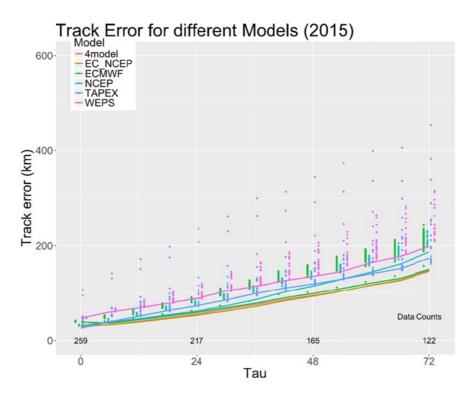


圖 23 同圖 22,但為 2015 年之預報誤差。

第三章、系集颱風路徑預報應用技術開發

3.1 作業化颱風路徑預報應用技術建置

針對作業化系集颱風路徑預報應用技術之建置工作,本研究參考 Dong and Zhang (2016)提出之 OBEST 方法,已於颱洪中心計算主機進行資料下載、匯入資料庫、格式處理、處理流程自動化、運算程式撰寫、測試與勘誤等步驟之建立,簡要流程見圖 24。圖 25 為以 0000 UTC 為例,氣象局實際颱風預報作業取得各種模式資料之時刻。由圖中可知於 1000 UTC 後,始可獲得起始時間為 0000 UTC 之 ECMWF 系集預報資料進行加值應用。原始 OBEST 方法為以各系集成員之 12 小時路徑誤差作為成員選取之排名依據,故於 1200 UTC 時能夠以 0000 UTC 之 ECMWF 系集資料與當下之實際颱風中心位置進行 12 小時誤差校驗,提供系集預報應用。以下分別以初始時間為 0000/1200 UTC (0012run) 及 0600/1800 UTC (0618run) 之全球模式系集預報資料,針對 2014-2015 年所有西北太平洋颱風個案,進行仿照 OBEST 方法之作業化颱風路徑預報及平均誤差統計。

3.1.1 0000/1200 UTC 颱風路徑預報及誤差統計

本節先以 ECMWF 與 NCEP 系集均有預報之 0000 及 1200 UTC,採用 Dong and Zhang (2016)建議之最佳成員數 (即 OBEST 與 Super-OBEST 分別使用前 20 與前 28 名成員) 進行統計分析。圖 26 為仿照圖 1(a),利用 ECMWF 系集預報資 料統計「排名後用以平均之成員數」與「以整體系集平均預報誤差標準化之路徑 誤差 | 之關係,誤差最小值(圖中三角形)對應之成員數大致上有隨預報時間增 加而增加之趨勢,48 小時以後之最小值成員數大約落於20 與30 之間。相對於 圖 1 (a),最小值成員數大約落於 10 與 20 之間,可能是由於使用之系集資料年 代與校驗之觀測資料不同所導致的差異。進一步比較 ECMWF 系集平均(MEAN) 與 OBEST 之颱風路徑預報誤差、預報改進比例及其統計顯著性(圖 27),顯示 OBEST 於 72 小時前之預報均優於系集平均,且此改進之統計顯著性可維持至 66 小時。圖 28 同圖 26 但為同時考慮 ECMWF 與 NCEP 系集之結果,除亦存在 誤差最小值對應之成員數隨預報時間增加之趨勢以外,欲使 Super-OBEST 較系 集平均為佳(即標準化誤差小於1)所需之成員數較僅考慮ECMWF系集者為多, 而 48 小時後之最小值成員數大約為 25 至 40°以目前使用 Dong and Zhang (2016) 建議之最佳成員數為28,不全然適合2014-2015年之系集資料,之後將對此做進 一步之分析與探討。圖 29 比較 ECMWF 加上 NCEP 之系集平均(Super-MEAN) 與 Super-OBEST 之路徑預報,與圖 27 同樣能觀察到 Super-OBEST 於 72 小時前 之預報均優於系集平均,但此改進之統計顯著性僅維持至 54 小時。直接比較 OBEST與Super-OBEST路徑誤差與Super-OBEST相較於OBEST之改進比例(圖 30),可發現幾乎對於所有預報時間 Super-OBEST 之路徑預報均優於 OBEST, 顯示使用多模式仍具有一定優勢,此結果與 Dong and Zhang (2016)一致。

3.1.2 0600/1800 UTC 颱風路徑預報及誤差統計

由前段針對 0000 與 1200 UTC 之統計分析結果,可知使用兩組系集資料者 平均而言可以得到較佳之颱風路徑預報。然而 ECMWF 每日僅有此兩次預報, 本計畫特針對 0600 與 1800 UTC 之 Super-OBEST 設計,測試 ECMWF 與 NCEP 資料之兩種組合方案(此兩方案係 2016 年 4 月 25 日工作會議討論之決議,詳見 附錄一):

以 1800 UTC 為例,可使用之系集預報資料包括 0000 UTC 起始之 ECMWF 系集 與 0000、0600 UTC 起始之 NCEP 系集,故可用以計算 OBEST 或 Super-OBEST 的兩種方案為:

方案一: 兩者均採用 0000 UTC 起始之預報,以 18 小時預報誤差排名;

方案二:NCEP採用 0600 UTC 起始之預報,而 ECMWF採用 0000 UTC 起始之預報,但去除初始時間(即預報時間減去 6 小時)使其對應 NCEP之預報時間。同時,根據 0600 UTC 之颱風觀測位置,將 ECMWF之 0000UTC 第 6 小時預報資料修正為觀測位置,並將第 7 小時至第 240 小時的預報資料同步進行修正,最後以 12 小時預報誤差排名。

圖 31 為以 2014-2015 西北太平洋颱風個案,比較僅使用 ECMWF 系集 (OBEST) 0618run 兩種方案之「排名後用以平均之成員數」與「以整體系集平均預報誤差標準化之路徑誤差」之關係,可發現在成員數較少時,使用方案一似乎能產生較大之誤差改進量,而成員數較多時兩者差異不大。圖 32 比較兩方案之颱風路徑預報誤差、預報改進比例及其統計顯著性,兩方案之 OBEST 相對於系集平均而言均有改進,在 72 小時前方案一之改進比例略大於方案二,統計顯著性則方案二可維持至預報 78 小時、略久於方案一之 72 小時。直接比較方案一、二之平均路徑誤差(圖 33)可知於預報 24 小時內方案一優於方案二,而 24 小時以後方案一之誤差略大於方案二,但差距約為 3%以內。此外,圖中亦顯示 0012 run 大致上路徑預報皆優於 0618 run。

應用相同分析方法於同時考慮 ECMWF 與 NCEP 系集之 Super-OBEST 方法 (圖 34 至圖 36),方案一、二之最佳成員數大致位於 20 至 30 之間。而對於相應之 Super-MEAN 之改進量在預報時間 72 小時以內均以方案一較高,此結論與前述方案一與方案二之 OBEST 統計結果一致。於 OBEST 不同之處在於除了預報時間 36 至 54 小時之間方案一較方案二略差之外,其餘預報時間之誤差均以方案一為佳 (圖 36(a)),由圖 36(b)之 6 天後預報誤差甚至可看出方案一表現與 0012run 之誤差相當接近,而方案二則與前二者差距較大。

圖 37 為 0012run 之 OBEST 與 Super-OBEST 及 0618run 之方案一與方案二路徑預報誤差,結果顯示預報 120 小時以內大致上 Super-OBEST 路徑預報較佳,

然而超過120小時則顯示 OBEST 尤佳。此結果與2.2.2小節 ECMWF 系集模式於120小時預報後路徑表現遠優於 NCEP 系集一致。此外,值得一提的是 OBEST 方案一與方案二僅為 ECMWF 系集 12 小時預報之差別,由圖中顯示兩預報極為相似,表示此系集模式表現相當穩定。另一方面,若僅比較 0618run,整體上以方案一之 Super-OBEST 優於其他三種預報方案(方案一之 OBEST 以及方案二之 OBEST 與 Super-OBEST)。由圖 38 可知方案二使用 NCEP 成員數在所有預報時間皆多於方案一,結果顯示 0618run 使用 12 小時排名 (方案二)較 18 小時排名 (方案一)選取出為多 NCEP 系集成員。此差別隨時間增大,造成路徑預報誤差於 120 小時後明顯差距增加(圖 37 深綠線與深藍線)。此外,方案二使用的 NCEP 系集成員數與 Super-OBEST 0012run 較為一致。因此,本計畫於 2016 年 6 月 2 日工作會議 (詳見附錄二)中建議氣象局使用 Super-OBEST 方案,針對 0618run 則採用本計畫測試之方案一,提供今年颱風季進行上線作業運用。

3.2 2014-2015 年西北太平洋歷史颱風之系集路徑預報分析

根據上節之建議,於 0600/1800 UTC 時採用方案一進行預報,即應用初始時間為 0000/1200UTC 之 18 小時預報資料,故本節僅針對 0012run 之 2014-2015 年西北太平洋颱風 Super-OBEST 預報結果進行分析。由 3.1.1 節中圖 29 之比較, Super-OBEST 於 72 小時前之預報均優於系集平均,且此改進之統計顯著性維持至 54 小時。本計畫欲進一步探討此技術作業上較佳之使用策略,故進行系集成員離散度與颱風路徑誤差之研究。系集成員離散度之計算為針對某 DTG (t_k) 之某 特 定 預 報 時 間 、 並 選 定 n 個 成 員 , 其 離 散 度 σ 定 義 為 $\sigma(\tau,t_k)=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n\left\{\left(x_i(\tau,t_k)-\bar{x}(\tau,t_k)\right)^2+\left(y_i(\tau,t_k)-\bar{y}(\tau,t_k)\right)^2\right\}}$,其中 x_i 、 y_i 代表成員 i 之颱風中心座標、 \bar{x} 、 \bar{y} 代表此 n 個成員颱風中心之平均座標;而某 m 個 DTG 之平均離散度則為 $\overline{\sigma}(\tau)=\frac{1}{m}\sum_{k=1}^m\sigma(\tau,t_k)$ 。

圖39比較全球系集成員與相應 Super-OBEST 選取成員之離散度與路徑誤差。 結果除再次顯示 72 小時前後兩者優劣互換之外,亦能知兩者均有系集成員離散 度過高之情況 (離散度大於平均誤差)。然而,透過 Super-OBEST 選取後之系集 成員離散度較小,較為接近其平均誤差。為進一步檢視系集離散度與路徑誤差是 否存在對應關係,選取第 72 小時與 120 小時之所有個案並進行線性迴歸分析(圖 40),得到之相關係數均不超過 0.5,代表兩者之間線性相關薄弱。此結論與過去 相關研究相符(Whitaker and Loughe 1998, Grimit and Mass 2007),由於成員不足與 非常態分布之系集模式所致。

為進一步分析颱風個案之系集離散度與路徑誤差相關性,將2014年23個颱風與2015年27個颱風超過5個DTG的颱風個案中滿足「240小時內均可計算系集離散度」之所有DTG,依此條件篩選後剩餘2014年5個颱風、2015年12個颱風,共195個DTG。圖41為使用上述所有篩選個案計算各個案中所有颱風

平均離散度與其離散度標準差之散布圖。線性迴歸得到之相關係數平方值為 0.7,顯示若系集離散度較大之颱風個案其離散度之變化亦較大。依系集離散度主觀使用 350 與 500 公里分為三個群組 (如圖 41 中所示),並分析各群組之平均路徑預報誤差 (圖 42)。結果顯示群組 II 之平均誤差與所有個案之結果相當一致,而群組 I 及 III 則清楚顯示系集離散度較小(大)之颱風,其路徑預報誤差亦較小(大)。如進一步分析氣象局發布之警報颱風,可發現警報颱風期間此系集颱風路徑預報應用技術有不錯的預報能力,特別是在 72 小時前之預報優於所有群組。

3.3 2016 年西北太平洋颱風之實時系集路徑預報分析

前述已針對 2014-2015 年西北太平洋颱風提出系集颱風路徑預報應用技術,並顯示 0000、1200 UTC 起始之颱風路徑預報,使用 ECMWF 與 NCEP 系集資料 12 小時預報前 28 名成員之平均優於僅使用 ECMWF 系集資料取前 20 名之平均。此外,亦針對 0600 與 1800 UTC 起始時間,考慮氣象局可操作性提出兩種不同技術方案,結果顯示使用 18 小時預報誤差排名之方案一,平均而言優於使用 12 小時誤差排名之方案二。因此建議氣象局使用方案一,並針對今年颱風季進行上線作業運用。此外,本計畫發展之系集颱風路徑預報應用技術已於今年開始上線作業使用,為使預報員便於使用且與 Dong and Zhang (2016)提出之 OBEST 方法有所區隔,經氣象局與颱洪中心討論後決定將此技術命名為 SUMMER (SUper Multi-Model Ensemble Realignment for typhoon forecast),以下報告亦皆以 SUMMER 稱之。

圖43 為氣象局預報中心 TAFIS 系統針對今(2016)年24 個颱風之非均質化校驗結果,並與氣象局(CWB)、北京(BABJ)官方、TWRF、NCEP 以及 ECMWF 等決定性模式預報進行比較。大致上,SUMMER 優於 NCEP 決定性預報與 CWB官方預報,且72 小時內 SUMMER 有不錯的路徑表現,僅次於 ECMWF決定性預報。此外,2016 年上線之 TWRF 高解析度模式(3公里)亦有優異的表現,特別是在72 小時預報之後。本計畫同時亦於颱洪中心建置 SUMMER 作業化系統,圖44 為今年颱洪中心 SUMMER 之颱風路徑預報結果及其與全球系集模式(ECMWF+NCEP)平均之比較。結果顯示72 小時內 SUMMER 路徑預報皆較全球系集模式平均(all mean)優,但隨預報時間增加 SUMMER 路徑預報皆較全球系集模式平均(all mean)優,但隨預報時間增加 SUMMER 路徑誤差則越趨增加。此結論與前述測試2014-2015 年西北太平洋颱風個案之結果一致,表示此技術對提升颱風72 小時路徑預報有一定之能力。

3.4 系集颱風路徑預報應用技術之改進

本計畫除運用全球模式系集預報資料,建置仿照 OBEST 方法之颱風路徑預報技術之外,亦初步嘗試改進其於西北太平洋地區之預報能力。本計畫針對變更選取成員數與加入區域系集模式兩方面進行改進。

3.4.1 變更選取成員數

原 OBEST 方法應用 ECMWF 與 NCEP 系集預報資料之選取成員數(簡稱 M值)為28,然而於圖28中84小時之前相對於系集平均得到最大改進量之 M值範圍散布於20至40之間,且範圍內各 M值之改進量皆相當接近,故針對2014-2015年西北太平洋颱風個案,測試變更 M值之效果。因圖28中從第24小時至第84小時之 M值平均約為34,故初步以 M=34進行測試。

圖 45 為選取 34 個成員之 SUMMER 與全球模式(ECMWF+NCEP)系集平均之 120 小時颱風路徑預報誤差、預報改進比例及其統計顯著性。結果顯示 SUMMER 於 84 小時前預報均優於系集平均,此改進之統計顯著性可持續至 54 小時。若比較 M = 28 與 M = 34 之(非均質)路徑誤差(圖 46),除第 12 小時之外,其餘 96 小時前預報時間之 M = 34 誤差均較 M = 28 為低。其中,第 240 小時因個案較少故出現較大落差。此初步測試結果尚未以均質方式比較、且未測試其他成員數之影響,因此未來需詳細測試本方法對於選取成員數之敏感度,以達系集資料之最佳化使用。

3.4.2 加入區域模式系集預報資料

如 2.1 節所述,氣象局 WEPS 與颱洪中心結合作業單位及學研界之 TAPEX 皆為針對台灣地區設計之區域系集模式,故本計畫亦初步測試加入區域模式系集 預報資料之效益。使用 Super-OBEST 之全球系集模式(ECMWF+NCEP)為 72 個成員,加上 WEPS、TAPEX 分別為 20 個、23 個成員,共 115 個成員。統計 2014-2015 年颱風期間(圖 47)各成員數之 12 小時路徑預報資料完整度,大致上選取成員數為 90 之資料達成率已降至不到八成(實際預報作業時之平均資料達成率應不超過此比例)。為使統計結果具代表性,本節中之「全體」系集平均定義為 90 個系集成員之平均,若總成員數大於 90,則取 12 小時路徑預報誤差由低至高之前 90 名成員。

以2014-2015年西北太平洋颱風之ECMWF、NCEP、WEPS及TAPEX系集模式統計「排名後用以平均之成員數」與「以整體系集平均預報誤差標準化之路徑誤差」(圖48),整體而言72小時前最佳選取成員數為30以下,72小時以後則為60以上。然而,因24~48小時預報最佳選取成員數約為28,故以下測試均採用與前述章節相同之成員數(28個)。加入區域系集模式路徑測試結果如圖49,SUMMER於78小時前之預報優於系集平均,此改進之統計顯著性較僅使用全球系集模式之結果(圖29)稍高,可維持至72小時。此外,統計此測試系集離散度與路徑誤差之關係(圖50),結果顯示與3.2節(圖39)僅使用ECMWF與NCEP系集模式相似。但因區域系集模式僅預報至72小時,故72小時內之離散度均較僅使用全球系集模式之SUMMER更高。圖51進一步檢視加入區域系集模式之誤差比較(非均質),整體而言72小時預報前之差距不大,其中以加入區

域系集模式之 SUMMER 稍佳,而 72 小時後則以使用全球系集模式之系集平均較佳。加入區域系集模式改進幅度可由圖 52 得知,顯示於 72 小時預報前 SUMMER 可略微降低路徑誤差,72 小時後之誤差增加則與 SUMMER 之 28 個選取成員中全球系集模式所占之比例有關。遂分析各系集模式於 SUMMER 中使用之比例,圖 53 (a)顯示 72 小時預報前 ECMWF 系集成員使用最多,其次依序為 NCEP、TAPEX 以及 WEPS,72 小時後僅剩下 ECMWF 與 NCEP 系集模式。 另外,圖 53(b)中 72 小時預報全球與區域系集模式成員使用上均很一致,大致上為全球系集成員佔 70%,區域則佔 30%。72 小時以後 NCEP 模式使用比例如圖 53(c),加入區域系集模式之 SUMMER 所用之 NCEP 系集成員比例皆較使用全球系集模式(ECMWF+NCEP)為高。由圖 17 可知 ECMWF 系集模式較優於 NCEP,特別在 120 小時預報後更為顯著。同時,亦造成圖 50 與圖 51 加入區域系集模式之 SUMMER 路徑誤差隨著預報時間增加而有增大之趨勢。

由上分析,加入區域系集模式之 SUMMER 可些微改進 72 小時內颱風路徑預報,本計畫建議氣象局上線作業。以今(2016)年尼伯特颱風為例,圖 27 顯示加入區域系集模式之 SUMMER 顯著提升 72 小時內之颱風路徑預報能力,平均可達 25%。此為今年較特殊之颱風個案,未來將進一步針對個案進行深入研究,提出可量化之作業最佳應用參考指標。

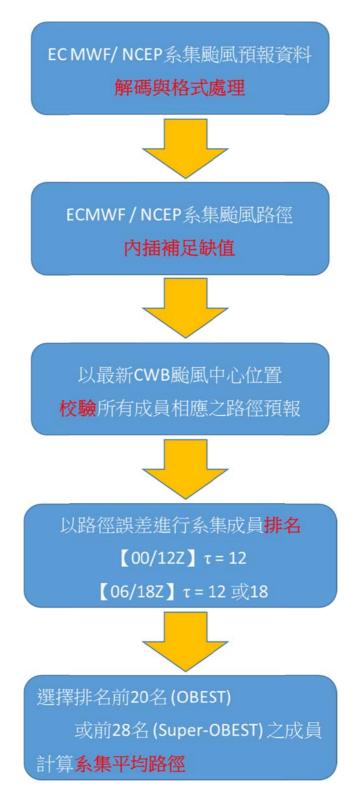


圖 24 系集颱風路徑預報應用技術作業化流程。

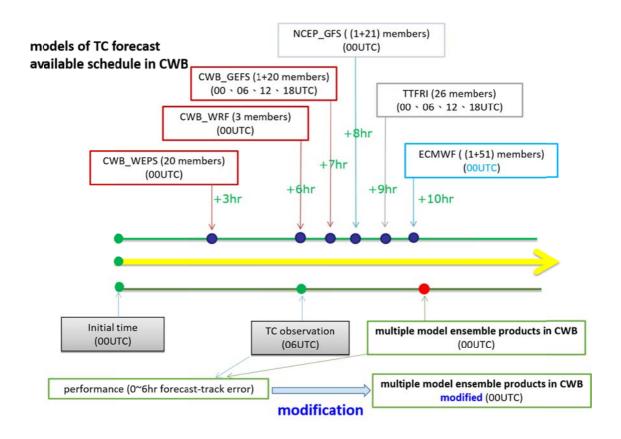


圖 25 以 0000 UTC 為例,氣象局實際颱風預報作業取得各種模式資料之時刻。

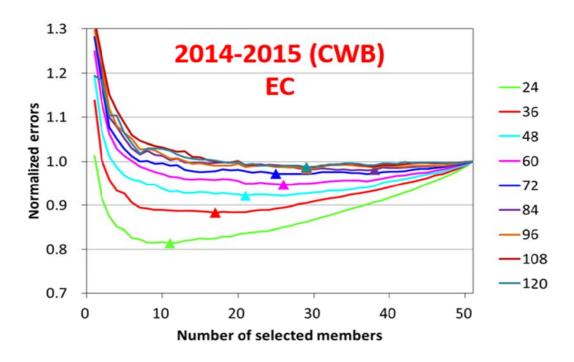


圖 26 針對 2014-2015 年西北太平洋颱風個案,以 ECMWF 系集成員統計「以 12 小時路徑預報誤差排名選取用以平均之成員數」與「以整體系集平均 預報誤差標準化之路徑誤差」之關係。不同顏色線條代表不同預報時間, 而各線上三角形代表此預報時間之誤差最小的系集排名成員數。

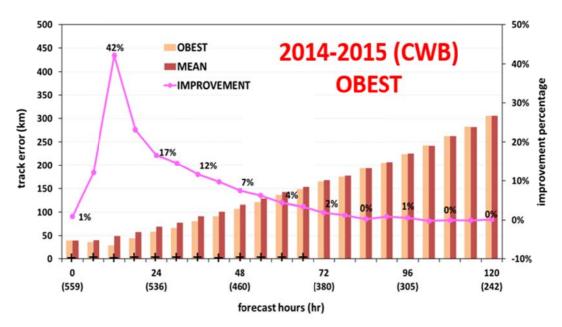


圖 27 針對 2014-2015 年西北太平洋颱風個案,統計 ECMWF 系集平均(MEAN) 與 OBEST 之颱風路徑預報誤差。左縱軸與長條代表路徑誤差,右縱軸與 曲線上百分比代表 OBEST 相對於 MEAN 之誤差改進比例,括號內數字 代表各預報時間統計個案數,+代表「MEAN 與 OBEST 存在差距」統 計上滿足 95%信心水準。

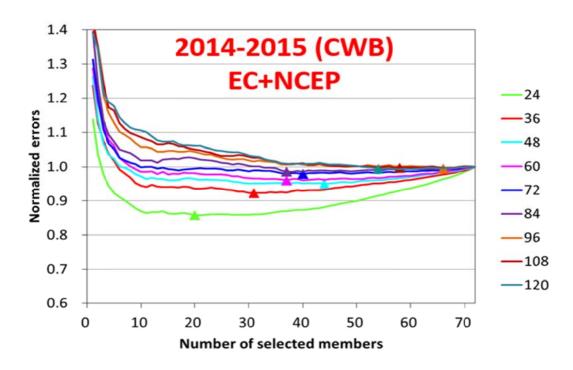


圖 28 同圖 26,但為 ECMWF 加上 NCEP 系集成員之統計關係。

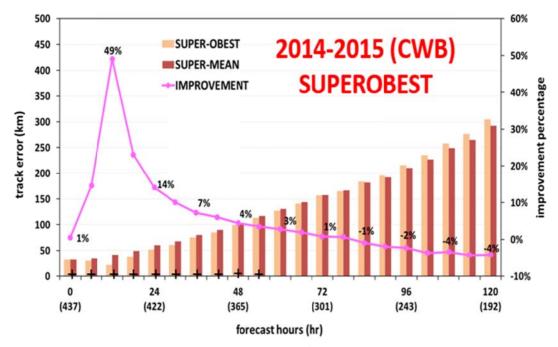


圖 29 同圖 27,但為 ECMWF 加上 NCEP 系集成員之統計關係。

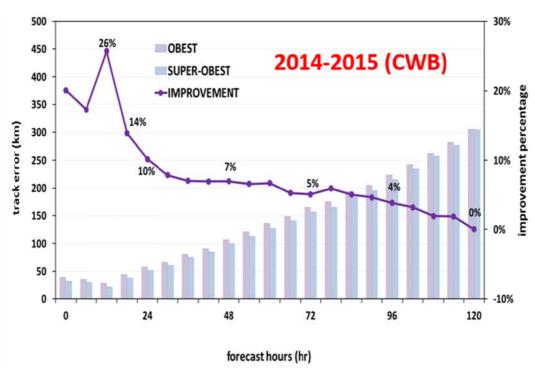
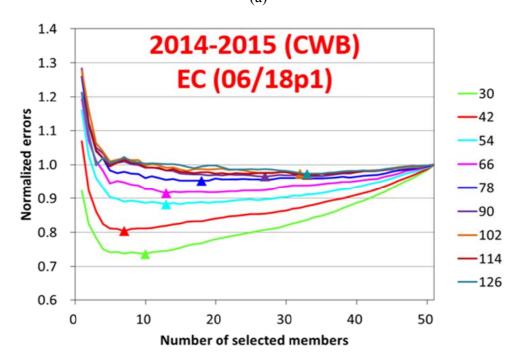


圖 30 針對 2014-2015 年西北太平洋颱風個案,統計 OBEST 與 Super-OBEST 之颱風路徑預報誤差。左縱軸與長條代表路徑誤差,右縱軸與曲線上百分比代表 Super-OBEST 相對於 OBEST 之誤差改進比例。

(a)



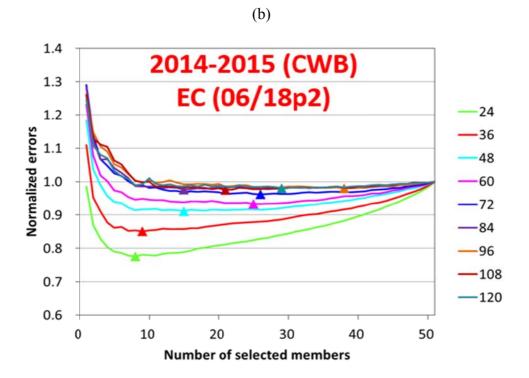
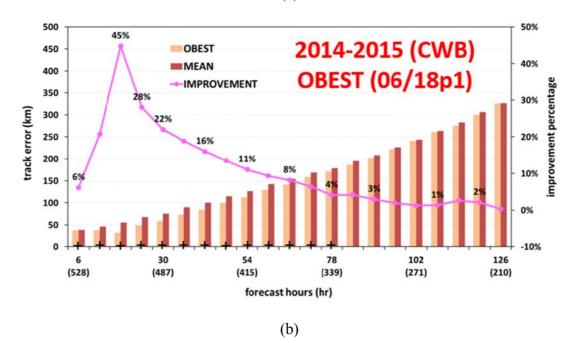


圖 31 針對 2014-2015 年西北太平洋颱風個案,採用 ECMWF 系集成員之(a)方案一、(b)方案二,統計「排名後用以平均之成員數」與「以整體系集平均預報誤差標準化之路徑誤差」之關係。不同顏色線條代表不同預報時間,而各線上三角形代表此預報時間之誤差最小的系集排名成員數。



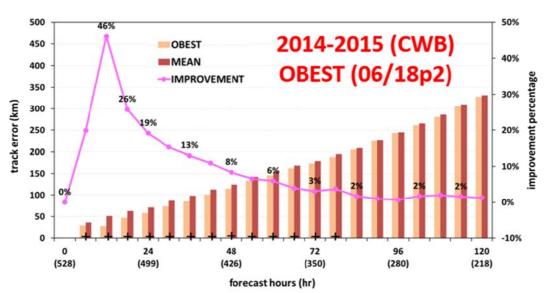
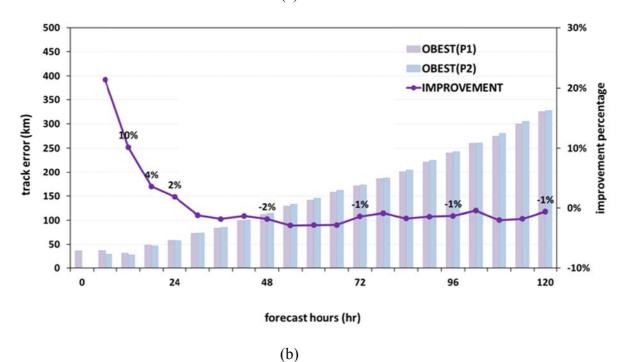


圖 32 針對 2014-2015 年西北太平洋颱風個案,採用 ECMWF 系集成員之(a)方案一、(b)方案二,統計 ECMWF 系集平均(MEAN)與 OBEST 之颱風路徑預報誤差。左縱軸與長條代表路徑誤差,右縱軸與曲線上百分比代表OBEST 相對於 MEAN 之誤差改進比例,括號內數字代表各預報時間之統計個案數,+代表「MEAN 與 OBEST 存在差距」統計上滿足 95%信心水準。





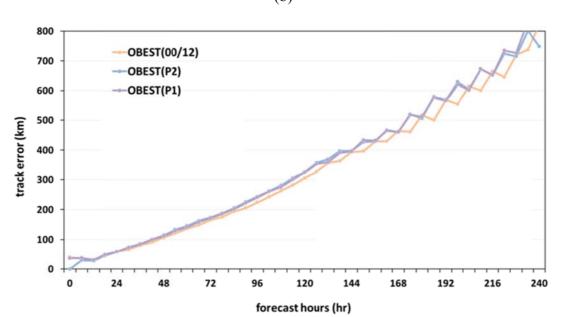
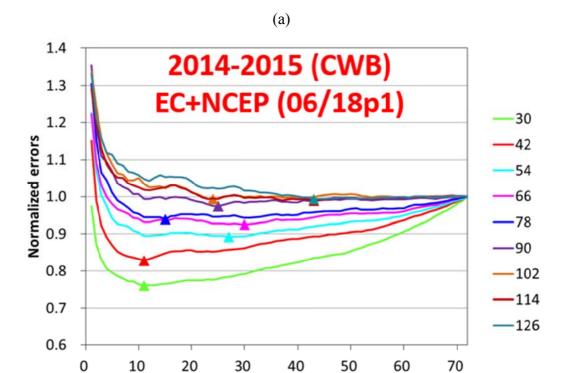


圖 33 針對 2014-2015 年西北太平洋颱風個案,統計(a)以 0618run 之 ECMWF 系集 OBEST 方案一、二之颱風路徑預報誤差。左縱軸與長條為路徑誤 差,右縱軸與曲線上百分比為 Super-OBEST 相對於 OBEST 之誤差改進 比例;(b) 0012run、0618run 之方案一、方案二之 OBEST 平均路徑誤差。



Number of selected members

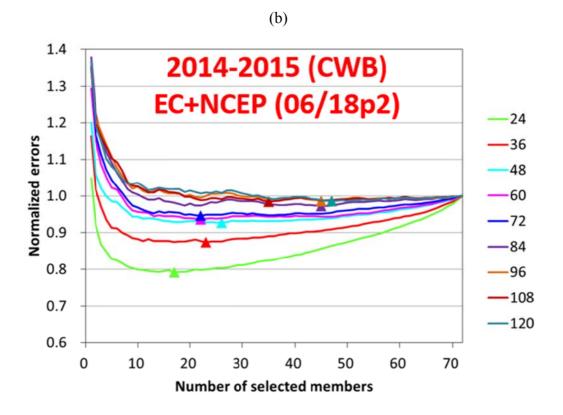
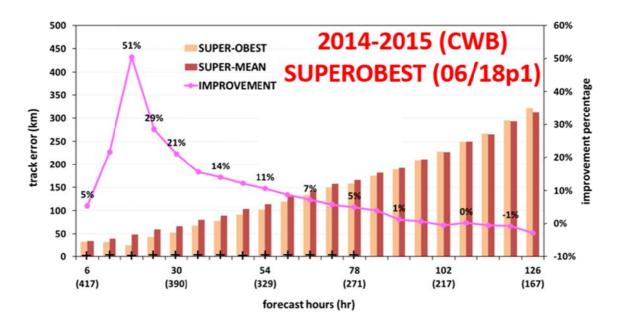


圖 34 同圖 31,但為 Super-OBEST 之結果。

(a)



(b)

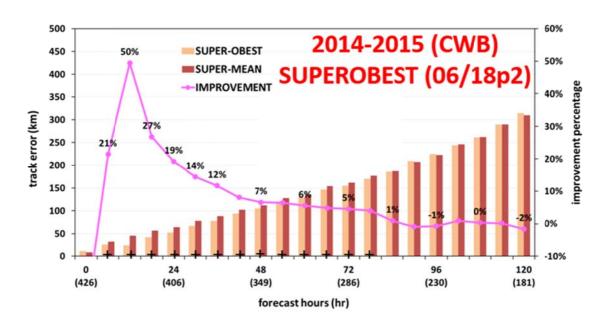
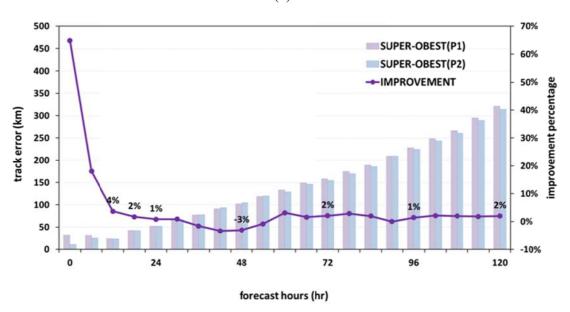


圖 35 同圖 32,但為 Super-OBEST 之結果。





(b)

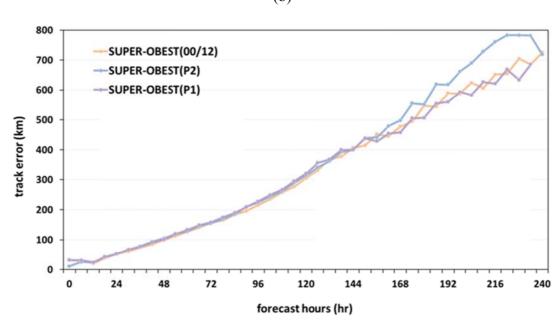


圖 36 同圖 33,但為 Super-OBEST 之結果。

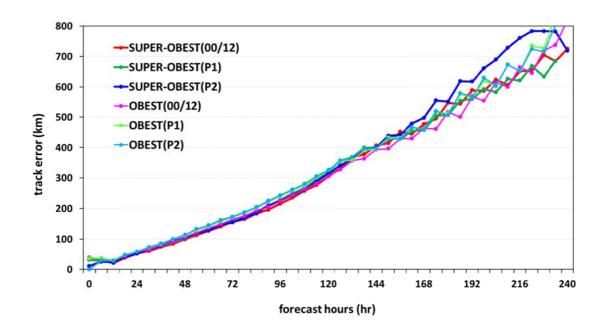


圖 37 針對 2014-2015 年西北太平洋颱風個案,0012run 之 OBEST 與 Super-OBEST 以及 0618run 之方案-與方案二共 6 項實驗之 240 小時路 徑預報誤差。

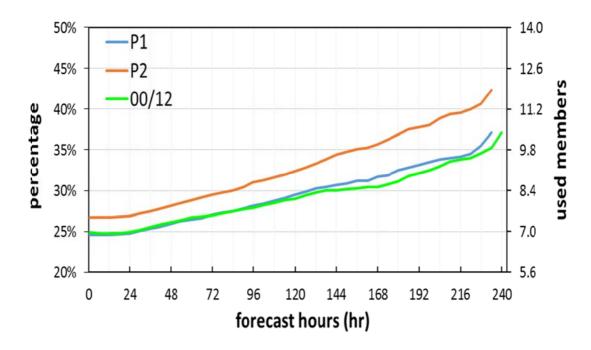


圖 38 針對 2014-2015 年西北太平洋颱風個案, Super-OBEST 之 0012run 以及 0618run 之方案一與方案二使用 NCEP 系集成員之狀況。左縱軸使用 NCEP 系集成員之比例,右縱軸則表示相應使用之成員數。

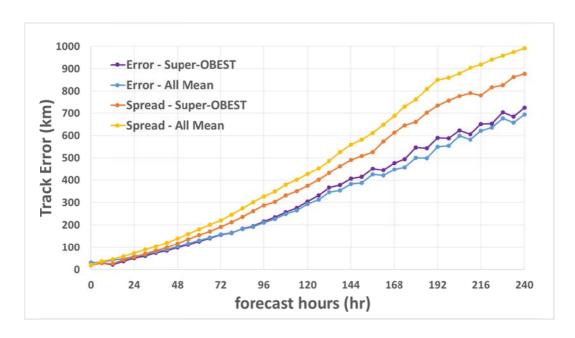
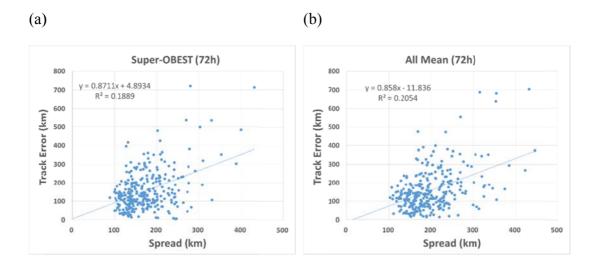


圖 39 2014-2015 年西北太平洋颱風全球系集成員與 Super-OBEST 選取成員之平均系集成員離散度與平均路徑誤差。藍、黃色系線條分別代表平均路徑誤差、系集成員離散度;淺、深色系線條則分別代表全球系集模式與 Super-OBEST。



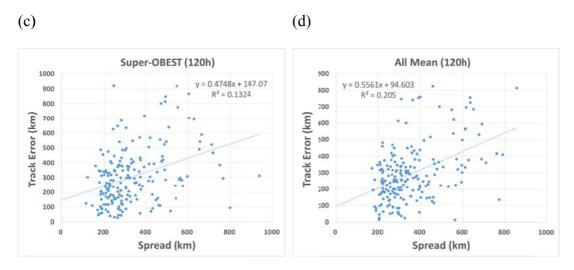


圖 40 針對 2014-2015 年西北太平洋颱風個案,0012run 之全球系集成員與相應 Super-OBEST 選取成員之離散度與誤差散布圖。上、下列分別代表第 72、 120 小時;左、右行分別代表 Super-OBEST、系集平均。圖中均註明線性 迴歸線方程式及相關係數平方值。

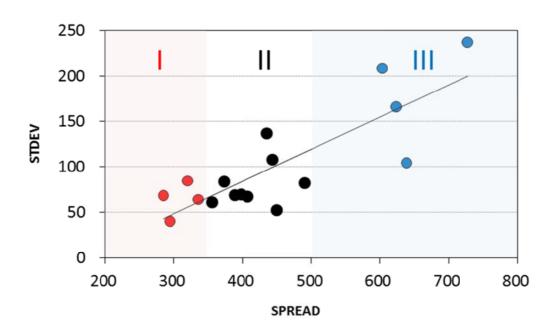


圖 41 2014-2015 年篩選之颱風個案(篩選條件見 3.2 節),平均系集成員離散度 與其離散度標準差之散布圖。黑實線為線性迴歸線,其相關係數平方值 為 0.7。

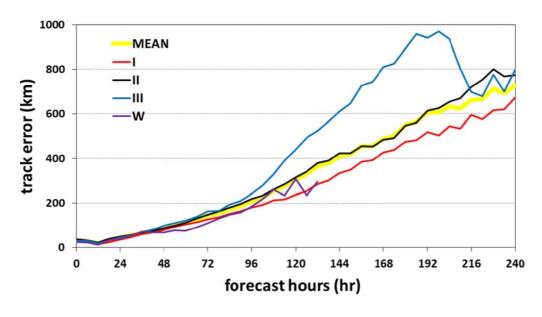
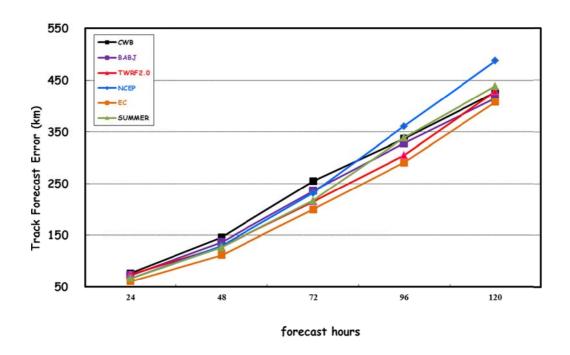


圖 42 2014-2015 年篩選之颱風個案,依圖 41 中各分類之平均路徑預報誤差, 其中 w 為氣象局發布警報之颱風。



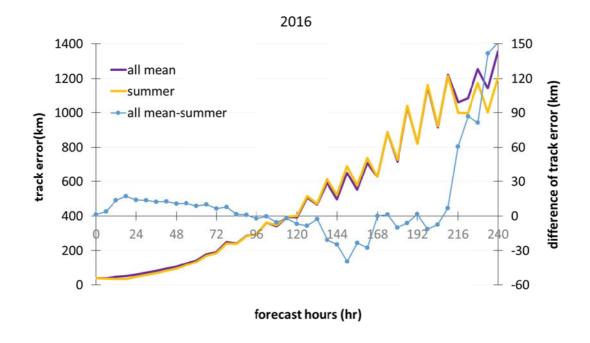


圖 44 2016 年颱洪中心上線作業之 SUMMER 與全球系集模式(ECMWF+NCEP) 平均於今年颱風季之 240 小時颱風路徑預報與差異。

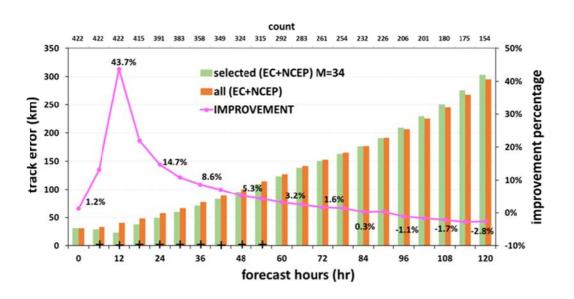


圖 45 同圖 29,但為 Super-OBEST 選取成員數為 34 之結果。

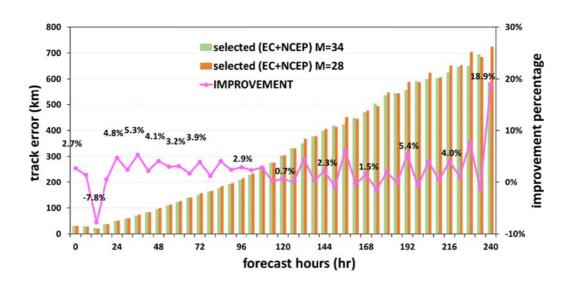


圖 46 針對 2014-2015 年西北太平洋颱風個案之 0012run,統計 Super-OBEST 選取成員數為 28 及 34 之 240 小時颱風路徑預報誤差。左縱軸與長條圖為路徑誤差,右縱軸與曲線上百分比為 M = 34 相對於 M = 28 之誤差改進比例。

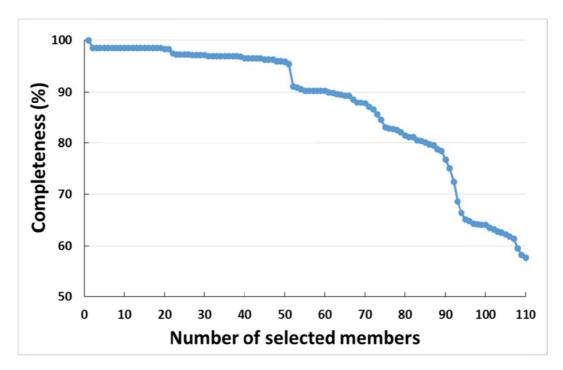


圖 47 2014-2015 年西北太平洋颱風全球與區域系集模式各選取成員數之 12 小 時路徑預報資料達成率。

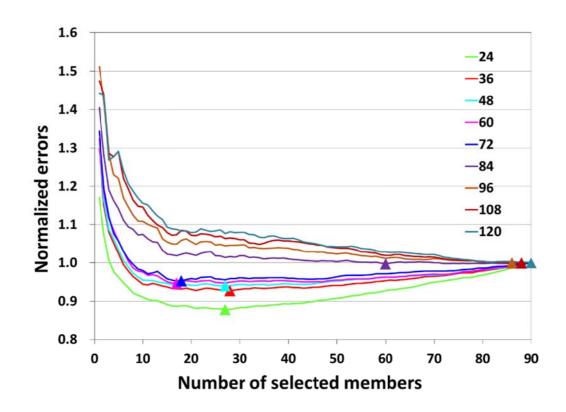


圖 48 同圖 26,但為 ECMWF、NCEP、WEPS 及 TAPEX 系集模式之結果。

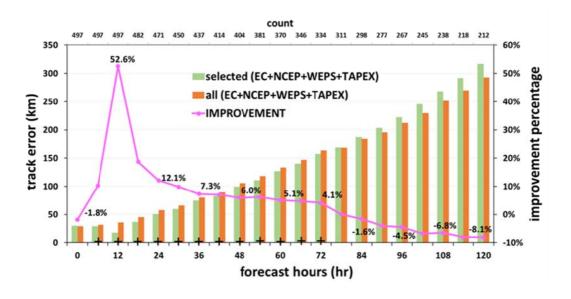


圖 49 同圖 27,但為 ECMWF、NCEP、WEPS 及 TAPEX 系集模式之結果。

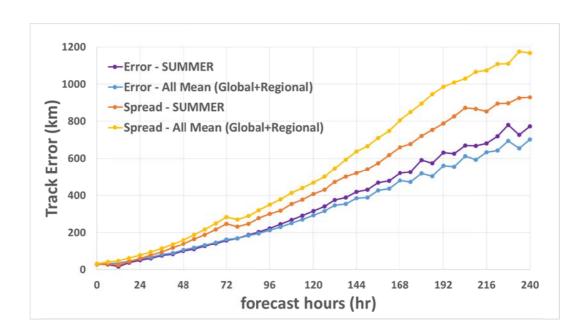


圖 50 2014-2015 年西北太平洋颱風個案,ECMWF、NCEP、WEPS 及 TAPEX 系集模式平均與 SUMMER 之平均系集成員離散度與平均路徑預報誤差。藍、黃色系線條分別為平均路徑預報誤差與系集成員離散度;淺、深色系線條分別為系集模式平均與 SUMMER。

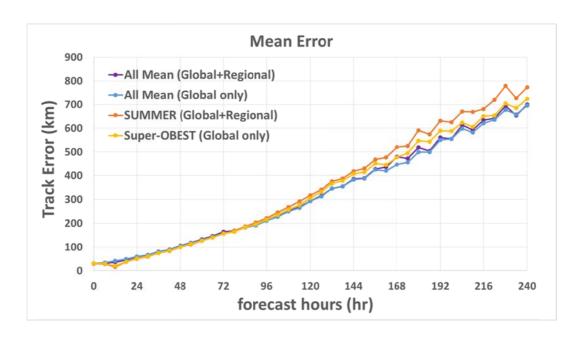


圖 51 2014-2015 年西北太平洋颱風 240 小時路徑預報誤差。藍色、紫色線分別 為 ECMWF+NCEP 與 ECMWF+NCEP+WEPS+TAPEX 之系集平均;黃、 橘色線則分別表示 ECMWF+NCEP 與 ECMWF+NCEP+WEPS+TAPEX 之 SUMMER。

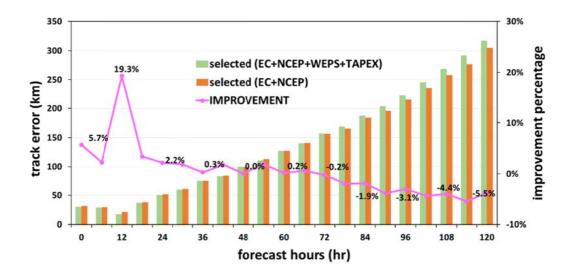
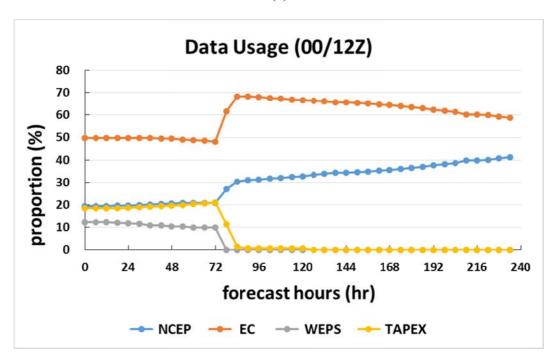
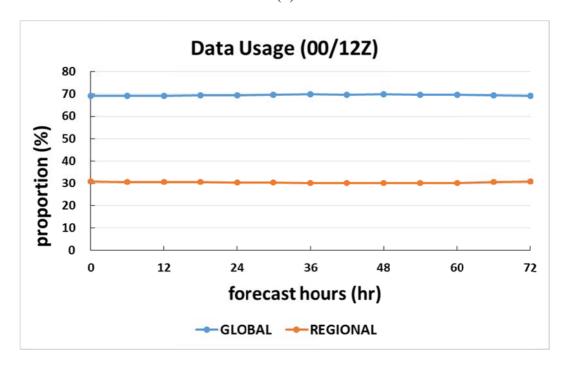


圖 52 同圖 51 中 SUMMER 之 120 小時路徑預報,線條代表有無加入區域系集模式 SUMMER 之路徑預報誤差別。

(a)



(b)



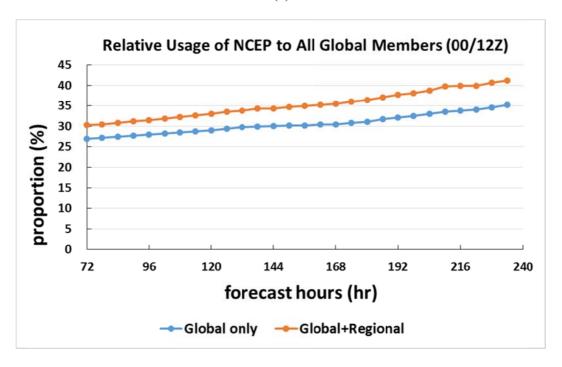


圖 53 統計 2014-2015 年西北太平洋颱風各系集模式成員使用率。(a)圖為 ECMWF、NCEP、WEPS 及 TAPEX 系集模式,(b)圖為將(a)圖分為全球 與區域模式,(c)圖則為圖 38 與(a)圖中 NCEP 系集成員之使用比例。

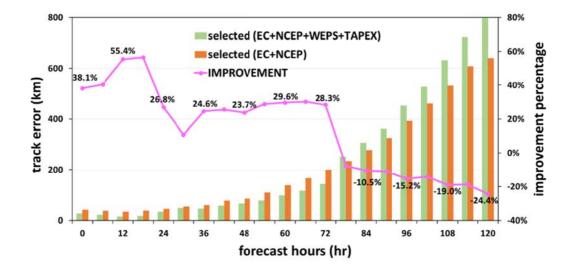


圖 54 同圖 27,但為尼伯特颱風個案。

第四章、總結與未來工作

本計畫首先針對 ECMWF 與 NCEP 颱風路徑系集預報資料進行分析,以 2015年 ECMWF 颱風預報資料為例,選取排名前 20 之成員進行路徑預報應用技術之研發,顯示有 3.3%之初始時間無足夠資料進行計算。此外,統計系集資料缺值狀況發現缺值率約為 34%,單一成員單次預報最多缺值次數高達 9 次,本研究建議進行內插補值。針對系集預報路徑校驗分析方面,2013-2015年 ECMWF 與NCEP 系集預報資料結果顯示 ECMWF 系集平均表現優於 NCEP 系集,但在預報初期(12 小時內)則以 NCEP 系集尤佳。另外,亦分析 0000、1200 UTC 與 0600、1800 UTC 起始之 NCEP 系集模式路徑預報之差別,0000、1200 UTC 預報雖然有系統性優於 0600、1800 UTC 的現象,但優勢不算明顯。整體而言,ECMWF 系集模式之系集平均路徑預報與離散度皆高於 NCEP 系集模式。

另一方面,本研究已參考 Dong and Zhang (2016)提出之 OBEST 方法建置系集颱風路徑預報應用技術,並針對 2014-2015 年西北太平洋颱風進行測試與校驗分析。研究顯示 0000、1200 UTC 起始之颱風路徑預報,使用 ECMWF 與 NCEP 系集資料 12 小時預報前 28 名平均優於僅使用 ECMWF 系集資料取前 20 名之平均,此結果與 Dong and Zhang (2016)一致。此外,本計畫亦針對 0600 與 1800 UTC 起始時間,考慮氣象局可操作性提出兩種不同技術方案,結果顯示方案一使用 18 小時預報誤差排名平均而言優於方案二使用 12 小時誤差排名。由於方案二較方案一使用較多之 NCEP 系集成員,又因前述分析 ECMWF 系集平均整體表現優於 NCEP 系集,故建議氣象局使用方案一,針對今年颱風季進行上線作業運用。本計畫已提供氣象局歷史颱風個案路徑數據資料,供預報中心內部作業評估,並將此技術命名為 SUMMER (SUper Multi-Model Ensemble Realignment for typhoon forecast)。

進一步分析 2014-2015 年颱風個案中 SUMMER 選取之系集成員離散度與颱風路徑預報之關係,結果發現系集離散度較小(大)之颱風,其路徑預報誤差亦較小(大)。其中,侵台颱風警報期間更是有較佳的預報能力,特別是在 0-72 小時預報。此外,在系集颱風路徑預報應用技術提升方面,本計畫針對變更選取成員數與加入區域系集模式兩方面進行改進。變更選取成員數之初步測試結果可提升 SUMMER 颱風路徑預報能力,但尚須完整之敏感度測試,以達系集資料之最佳化使用。另一方面,本研究加入區域系集模式進行系統性評估,顯示 ECMWF系集模式仍有較優之表現。TAPEX 為多模式系集系統且有物理參數化之初始擾動,具有較大的離散度。此外,多組系集模式之系集平均,較單一系集模式有較好的路徑預報結果。將區域系集模式加入 SUMMER 進行測試,結果顯示可些微改進72 小時內颱風路徑預報,本計畫建議氣象局上線作業。以今年尼伯特特殊颱風為例,加入區域系集模式之 SUMMER 顯著提升72 小時內之颱風路徑預報能力,未來將針對個案進行深入研究,提出可量化之作業最佳應用參考指標。

附錄一

「系集颱風路徑預報應用技術發展」計畫 第一次工作會議記錄

時間:105年4月25日(星期一)10:00-11:30

地點:中央氣象局預報中心4樓討論室

主席: 呂副主任國臣

記錄:謝副研究員銘恩

出席人員(職稱敬略):

中央氣象局:馮欽賜、陳得松、顧欣怡、賈愛玫、黃嘉美、蘇奕叡

颱洪中心:蕭玲鳳、陳嬿竹、劉嘉騏、江宙君、吳明璋

會議結論:

- 1. 颱洪於計畫執行後,實際遭遇問題包括:
 - a. EC 系集路徑原始編號為 0-50, 颱洪調整為 1-51 以便處理;而氣象局除 EC 系集成員 0-50 路徑之外,尚有 EC 決定性預報路徑,處理方式為將 原系集成員 0 改為 51,以決定性預報當作編號 00,兩單位作法不一致。 另外,請氣象局確認 NCEP 系集資料處理方式是否亦有此狀況。
 - b. 原始系集資料之颱風名稱不一致,如是否有破折號、大小寫等問題尚須 注意。
 - c. CWB working track 於生命期中某些時間有缺值現象。
 - d. 因路徑資料僅取小數點一位,某些成員得到之 12 小時路徑誤差可能完全相同,討論決定目前僅取到 OBEST 設定之成員數即可,超出部分即使誤差完全相同亦予以捨棄。
 - e. OBEST-fit 路徑作法由 OBEST 路徑平移至 12 小時預報位置。
- 2. 颱洪已針對2014-2015年颱風初步進行以OBEST原作者建議設定得到之路徑 誤差分析,結果之統計顯著性可維持至48小時,較原論文結果(2010-2011) 為長,但隨預報時間增加,使用OBEST之優勢(與純粹系集平均比較)大 幅下降,須思考改善方案。另外,可思考本土發展之「OBEST方法」其他更 適當名稱。

- 3. 颱洪須提供符合 TAFIS 格式之 OBEST 路徑資料;因警報期間每 3 小時提供 颱風定位資訊,故路徑、中心氣壓、強度均須內插至每 1 小時,以線性內插 方式即可。颱洪先提供 2014-2015 年本次實驗 (00Z、12Z) 之 OBEST 與 OBEST-fit 歷史路徑。
- 4. 作業時須考慮資料取得之時效性和備援機制,目前氣象局從系集資料源頭直接下載,颱洪則由 TIGGE 網站抓取 EC、NCEP 路徑,待 CWB 確認是否也需要同步從同一源頭抓取資料。另外,若無法即時得到最新資料則考慮使用前一報的系集預報資料。
- 5. CWB working track 或系集預報路徑中間預報時間發生缺值原因可能包括:
 - a. 颱風受地形或其他因素影響,先減弱至 TD 再增強。
 - b. 颱風 tracker 定位錯誤,例如颱風強度太弱或兩颱風位置太接近。 呂副建議颱洪探討目前資料之缺值情況,分析內插是否適當,尤其是在路徑 轉折處。
- 6. 考量 EC 系集只有 00Z、UTC, 颱洪建議於 06Z、18Z 之 OBEST 作業方案 (以 18Z 為例):
 - a. 為維持預報特性之一致性, EC 與 NCEP 均採用 00Z 之系集路徑, 以 18h 預報路徑誤差作為 OBEST 排名依據。
 - b. 以採取最新一報資訊為前提,則 NCEP 採用 06Z 系集路徑、EC 採用 00Z 系集路徑,但平移至 06Z。

附錄二

「系集颱風路徑預報應用技術發展」計畫 第二次工作會議記錄

時間:105年6月2日(星期四)14:00-15:30

地點:中央氣象局預報中心4樓討論室

主席: 呂副主任國臣

記錄:謝副研究員銘恩

出席人員(職稱敬略):

中央氣象局:馮欽賜、陳得松、張博雄、顧欣怡、賈愛玫

颱洪中心: 蕭玲鳳、陳嬿竹、劉嘉騏、江宙君

會議結論:

1. 中央氣象局:

- a. TAFIS1 & TAFIS2 歷史颱風 OBEST 和 SuperOBEST 資料與自動化作業 程式建置完成。
- b. 2014-2015 年與其他單位預報誤差比較, SuperOBEST 表現相當不錯。 但此處 SuperOBEST 未扣掉前 12 小時,實際作業為使用前 12 小時之系 集,故應往後移 12 小時再比較始為正確之評比。另此統計僅考慮 00/12, 而其他單位為所有預報時間。

2. 颱洪中心:

- a. 完成歷年(2013-2015) EC、NCEP 系集路徑預報表現分析。整體而言 EC 表現優於 NCEP 且差距於 72 小時後較明顯。2015 年 NCEP 表現較 2014 年有明顯改進。總之, EC+NCEP 之系集平均有較好之表現。
- b. 完成 OBEST、SuperOBEST 於 06/18 之初步測試與分析。SuperOBEST 平均表現均優於 OBEST;另針對 06/18 比較兩種 SuperOBEST 作業方式(方案一、二)比較,方案一均使用 18 小時前起始之系集模式資料、方案二 EC、NCEP 分別使用 18、12 小時前起始之系集,方案一於 120 小時內略遜與方案二,但 120 小時後則優於方案二。分析 EC 與 NCEP 成員使用比例發現方案二使用較多 NCEP 系集成員,可能造成 120 小時

誤差較大之原因。會議討論決定使用方案一上線作業, 颱洪中心將交付 完成之數據資料予 TAFIS。

- c. 分析系集資料缺值情形,統計 2015 年 EC 系集模式資料缺值率約為 34%, 個案最多只出現(頭尾均有值之下)連續 3 個預報時間缺值。
- d. 未來將加入其他系集資料(如 CWB WRF 45、15 公里、TWRF、WEPS 等), 並提出較現有 SuperOBEST 更好之方案。
- 3. 雙方努力想更好之名稱取代 OBEST。

参考文獻

- 李志昕、洪景山,2011:區域系集預報系統研究:物理參數化擾動。*大氣科學*, **39**,95-116。
- Brill, K. F., A. R. Fracasso, and C. M. Bailey, 2015: Applying a Divisive Clustering Algorithm to a Large Ensemble for Medium-Range Forecasting at the Weather Prediction Center. *Wea. Forecasting*, **30**, 873–891.
- Dong, L. and F. Zhang, 2016: OBEST: An Observation-based ensemble subsetting technique for tropical cyclone track prediction. *Wea. Forecasting*, **31**, 57-70.
- Elsberry, R. L., and L. E. Carr III, 2000: Consensus of dynamical tropical cyclone track forecasts—Errors versus spread. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 4131–4138.
- ——, J. R. Hughes, and M. A. Boothe, 2008: Weighted position and motion vector consensus of tropical cyclone track prediction in the western North Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, **136**, 2478-2487.
- ———, H.-C. Tsai, and M. S. Jordan, 2014: Extended-range forecasts of Atlantic tropical cyclone events during 2012 using the ECMWF 32-day ensemble predictions. *Wea. Forecasting*, **29**, 271–288.
- Epstein, E. S., 1969: Stochastic dynamic prediction. *Tellus*, 21, 739–759.
- Evans, C., D. F. Van Dyke, and T. Lericos, 2014: How do forecasters utilize output from a convection-permitting ensemble forecast system? Case study of a high-impact precipitation event. *Wea. Forecasting*, **29**, 466–486.
- Froude, L. S. R., L. Bengtsson, and K. I. Hodges, 2007: The prediction of extratropical storm tracks by the ECMWF and NCEP ensemble prediction systems. *Mon. Wea. Rev.*, **135**, 2545–2567.
- Goerss, J. S., 2000: Tropical cyclone track forecasts using an ensemble of dynamical models. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 1187-1193.
- Grimit, E. P., and C. F. Mass, 2007: Measuring the ensemble spread–error relationship with a probabilistic approach: Stochastic ensemble results. *Mon.Wea. Rev.*, **135**, 203–221.
- Hsiao, L.-F., M.-J. Yang, C.-S. Lee, H.-C. Kuo, D.-S. Shih, C.-C. Tsai, C.-J. Wang, L.-Y. Chang, D. Y.-C. Chen, L. Feng, J.-S. Hong, C.-T. Fong, D.-S. Chen, T.-C. Yeh, C.-Y. Huang, W.-D. Guo, and G.-F. Lin, 2013: Ensemble forecasting of

- typhoon rainfall and floods over a mountainous watershed in Taiwan. *J. Hydrol.* **506**, 55-68.
- Kumar, T. S. V., T. N. Krishnamurti, M. Fiorino, and M. Nagata, 2003: Multimodel superensemble forecasting of tropical cyclones in the Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 574–583.
- Lee, T. C., and M. S. Wong, 2002: The use of multiple-model ensemble techniques for tropical cyclone track forecast at the Hong Kong Observatory. WMO Commission for Basic Systems, Technical Conference on Data Processing and Forecasting Systems, Cairns, Australia, 2-3 Dec. 2002.
- Leith, C. E., 1974: Theoretical skill of Monte Carlo forecasts. *Mon. Wea. Rev.*, **102**, 409–418.
- Leslie, L. M., and K. Fraedrich, 1990: Reduction of tropical cyclone position errors using an optimal combination of independent forecasts. *Wea. Forecasting*, **5**, 158–161.
- Lorenz, E. N., 1963: Deterministic nonperiodic flow. J. Atmos. Sci., 20, 130–141.
- Poroseva, S. V., N. Lay, and M. Y. Hussaini, 2010: Multimodel approach based on evidence theory for forecasting tropical cyclone tracks. *Mon. Wea. Rev.*, **138**, 405–420.
- Qi, L., H. Yu, and P. Chen, 2014: Selective ensemble-mean technique for tropical cyclone track forecast by using ensemble prediction systems. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **140**, 805-813.
- Sanders, F., 1973: Skill in forecasting daily temperature and precipitation: Some experimental results. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **54**, 1171–1179.
- Thompson, P. D., 1977: How to improve accuracy by combining independent forecasts. *Mon. Wea. Rev.*, **105**, 228–229.
- Tien, T. T., C. Thanh, H. T. Van, and C. Q. Kieu, 2012: Two-dimensional retrieval of typhoon tracks from an ensemble of multimodel outputs. *Wea. Forecasting*, 27, 451–461.
- Weber, H. C., 2003: Hurricane track prediction using a statistical ensemble of numerical models. *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 749–770.
- Whitaker, J. S., and A. F. Loughe, 1998: The relationship between ensemble spread and ensemble mean skill. *Mon. Wea. Rev.*, **126**, 3292–3302.
- WMO, 2007: Sixth WMO International Workshop on Tropical Cyclone (IWTC-VI). WMO, 92pp.