

國立中央大學

大氣科學學系
碩士論文

台灣地區對流胞特性統計分析
與即時路徑預報之改善

研究生：鄒益豪

指導教授：鍾高陞 博士

中華民國一百零九年六月

國立中央大學圖書館學位論文授權書

填單日期：2020 / 08 / 19

2019.9 版

授權人姓名	鄒益豪	學號	107621014
系所名稱	大氣科學學系	學位類別	<input checked="" type="checkbox"/> 碩士 <input type="checkbox"/> 博士
論文名稱	台灣地區對流胞特性統計分析 與即時路徑預報之改善	指導教授	鍾高陞

學位論文網路公開授權

授權本人撰寫之學位論文全文電子檔：

- 在「國立中央大學圖書館博碩士論文系統」。
 - () 同意立即網路公開
 - () 同意 於西元_____年_____月_____日網路公開
 - () 不同意網路公開，原因是：_____
- 在國家圖書館「臺灣博碩士論文知識加值系統」
 - () 同意立即網路公開
 - () 同意 於西元_____年_____月_____日網路公開
 - () 不同意網路公開，原因是：_____

依著作權法規定，非專屬、無償授權國立中央大學、台灣聯合大學系統與國家圖書館，不限地域、時間與次數，以文件、錄影帶、錄音帶、光碟、微縮、數位化或其他方式將上列授權標的基於非營利目的進行重製。

學位論文紙本延後公開申請 (紙本學位論文立即公開者此欄免填)

本人撰寫之學位論文紙本因以下原因將延後公開

- 延後原因
 - () 已申請專利並檢附證明，專利申請案號：
 - () 準備以上列論文投稿期刊
 - () 涉國家機密
 - () 依法不得提供，請說明：_____
- 公開日期：西元_____年_____月_____日

※繳交教務處註冊組之紙本論文(送繳國家圖書館)若不立即公開，請加填「國家圖書館學位論文延後公開申請書」

研究生簽名： 鄒益豪

指導教授簽名： 鍾高陞

國立中央大學碩士班研究生

論文指導教授推薦書

大氣科學學系大氣物理碩士班 鄒益豪 研究生

所提之論文 台灣地區對流胞特性統計分析與即時路

徑預報之改善 係由本人指導撰述，同意提付審查。

指導教授 鍾高陞 (簽章)

109年6月24日

國立中央大學碩士班研究生
論文口試委員審定書

大氣科學學系大氣物理碩士班 鄒益豪 研究生
所提之論文 台灣地區對流胞特性統計分析與路徑預
報之改善 經本委員會審議，認定符合碩士資格標準。

學位考試委員會召集人
委員

黃 椿 喜
鍾 高 陞
林 欣 弘
張 博 鈞

中華民國 109 年 7 月 14 日

中文摘要

劇烈天氣降水為台灣春夏交際時常見的天氣事件，並且容易對經濟造成損失，甚至對於大眾的生活以及安全造成危害；因此當劇烈天氣發生時該如何有效應對以及警戒是一項重要的議題。本研究使用中央氣象局用於預報作業上之對流監測平台系統(System for Convection Analysis and Nowcasting, SCAN)當中以對流胞辨識與追蹤(Storm Cell Identification and Tracking, SCIT)方式所得出的對流胞資料，進行 2015 年~2018 年總共 4 年來 5 月到 8 月之統計分析。由於台灣主要為東北——西南走向之地形，天氣系統在北部以及南部皆有不同的表現，因此北部採用五分山雷達之觀測資料，南部則以七股雷達資料將台灣地區分為北部以及南部進行分析探討。藉由統計上所得到的資訊定量決定對流胞預報過程中之預警範圍。進一步利用 2019 年 5~8 月資料進行驗證。

在對流胞特性分析上，北部地區之對流胞多為自陸地往海洋或在洋面上移動，南部地區主要是自海面往陸地上移動；由於挑選月分為春夏交際之時，因此大多數對流胞還是以西南向東北進行移動。生命週期方面絕大多數對流胞落在 1 小時內，其次為 1~2 小時；在位置分布上，北部區域分佈於海面上之對流胞數量相較於南部地區海域對流胞數量來得多，而分布密度上不論南北區域依然是陸地區域之對流胞密度高於海面區域。

而對流胞預警方面，本研究採用類似於颱風路徑潛勢預報(PTA)的方式將對流胞統計過去誤差後取前 70%之最大誤差，並將對流胞依照 4 種速度進行區分，不同速度對應至不同誤差範圍，挑取個案進行預報測試；結果顯示整體命中率約為 60~70%。由於 SCIT 演算法本身的限制，對流胞初筆資料並不會有移動方向以及速度以進行外延預報，因此後續加入了其他系統所提供之中尺度環流場進行測試，初步測試結果為使用 MAPLE 運動場在大多數個案可以達到近似於原本 SCIT 資料直線外延之效果，甚至在部分個案表現出之效果比原先結果來得更好，因此推測可以補足 SCIT 上不足之處，以增加劇烈天氣警戒能力。

Abstract

Severe weather system accompanies with heavy rainfall is a common event which often occurs in summer time over Taiwan area. It affects people security, life safety, and the economy. Therefore, how to predict such kind of events and prevent the disasters is an major issue for the operational unit. In this study, the Storm Cell Identification and Tracking (SCIT) algorithm in the System for Convection Analysis and Nowcasting (SCAN), which is applied in the forecast center of Central Weather Bureau (CWB), is used to survey the occurrence of convective cells, identify their locations and track the movements for the nowcasting. To examine the convective cells statistically, a set of historical data between March and August from 2015 to 2018 are selected for this study. In addition, the RCWF (Wu-Fan San) radar data is collected to represent northern Taiwan area, and the RCCG (Chi-Gu) radar data is selected to represent southern Taiwan area.

Results of the analysis show that, most of convective cells have about 1-hour life time. In addition, the distribution of cells shows more convection events over the ocean area in northern Taiwan compared with southern Taiwan, but the cell density over land area is higher than ocean area in both location.

To improve the nowcasting quantitatively, the tracking error of the convective cells are estimated in statistics. Based on the moving speed of the cells, the Potential Track Area algorithm is applied in 4 categories to define the affected radius of convective cells in the period of 0-1h nowcasting. By examining the performance of storm tracking in 2019, result shows that the hit rate is about 60~70%. When further providing additional information of environment flow, the performance of nowcasting can be further improved in some cases.

致謝

碩士的兩年時光飛逝，轉眼間也到了即將畢業的時刻，自高中以來選擇了大氣系，爾後就讀了中國文化大學，再進一步成功地進入中央大學，能如此順利地一步一腳印心無旁騖地汲取大氣科學知識，首先還是要感謝我的父母一路上各方面的支持，在有需要之時伸出援手；再來是要感謝我的指導教授鍾高陞老師，自高中畢業後之所以會踏入研究大氣領域，其初衷即是希望能以快速簡單地預報，知道待會是否下雨，殊不知此種預報即是所謂「即時天氣預報」，而看似高深的目標其實背後只有一個小小的願望——等等出門時會不會下雨？如今十分有幸地遇到了指導我的鍾老師，不僅僅是教導我關於即時天氣預報的諸多知識以及工具，更加帶我了解與接觸到中央氣象局許多關於即時天氣預報上的努力與成果，如今對於即時天氣預報上的學成，可以算是圓滿了當年的心願吧！

再來要感謝的是自大學時期即對我照顧有加的冠宏學姊，即使之後研究所就讀不同大學，但是每當研究上或是生活上陷入低潮時都有人能夠陪伴以及給予經驗，而且在畢業後進入預報中心也提供了我不少在研究方面的協助！再來還要感謝雷達實驗室的大家！先是感謝從大學時期就在程式上指導有方的張偉裕老師，如今能對於程式碼如此上手有一部分是張老師的功勞呢！也感謝廖宇慶老師和陳台琦老師，在雷達相關的知識以及人生經歷上可謂如同醍醐灌頂，在原先的基礎上能夠更加地精進。此外也感謝信廷對於實驗室各類雷達的悉心照料，並且不怨其煩地向我解釋我提出的諸多關於雷達上的疑惑。另外還有感謝一同在實驗室待了兩年的博安、顯榮、鈞澤、晨語不論是在安排報告順序或是雷達觀測時都能夠互相關照並且提供許多幫忙！還要感謝實驗室的助理以及學長姐們亦或是學弟妹們給予各方面的協助，才能不只是讓我，也讓實驗室的大家在學校的時候能夠方心地做研究，以及出觀測時能夠互相照料，如同一個和樂融融的大家庭一般！還要感謝其他班上同學們，即使是身處各個不同的實驗室，都一同互向照應以及揪出去吃飯！為平凡的碩士生活添加許多生活上的調味料！最後還要感謝 NCDR 的林欣弘博士，在使用 MAPLE 時提供不少的協助！同時感謝氣象局提供許多研究上使用之資料以及預報中心的許多人員對於本研究之協助！以及感謝科技部與中國文化大學「大氣水文研究資料庫」之資料提供，使本研究得以順利完成！

目錄

	頁次
中文摘要	i
Abstract	ii
致謝	iii
目錄	iv
表目錄	vi
圖目錄	vii
第一章 緒論	1
1.1 前言	1
1.2 文獻回顧	2
1.3 研究目的	4
第二章 研究方法	5
2.1 對流胞辨識與追蹤演算法(SCIT).....	5
2.2 誤差計算方法	6
2.2.1 三次仿樣函數(cubic spline).....	6
2.2.2 歐幾里得距離(euclidean distance).....	7
2.3 路徑潛勢預報(PTA).....	7
2.3.1 颱風路徑潛勢預報	7
2.3.2 對流胞路徑潛勢預報	7
2.4 雷達回波外延預報系統(MAPLE)	8
2.4.1 變分回波追蹤法(Variational Echo Tracking, VET)	8
2.4.2 VET 實驗設定	9
2.5 絕對校驗方法(Categorical Verification).....	11

第三章 資料來源及個案介紹.....	12
3.1 資料來源.....	12
3.1.1 對流監測平台系統(SCAN).....	12
3.1.2 台灣雷達回波整合網.....	12
3.2 個案挑選.....	13
第四章 結果分析.....	15
4.1 對流胞特性分析.....	15
4.2 對流胞線性外延誤差分析.....	17
4.3 對流胞潛勢預報之建立與校驗.....	18
4.4 對流胞 PTA 改善.....	20
4.5 進階個案探討.....	22
第五章 結論與未來展望.....	24
5.1 結論.....	24
5.2 未來展望.....	25
參考文獻.....	26
附表.....	29
附圖.....	32

表目錄

	頁次
表 2.1 各項參數設定列表。.....	29
表 3.1 校驗時使用之所個案挑選時間以及主要天氣類型列表。.....	30
表 5.1 南北部重點結論整理比較表。.....	31

圖目錄

頁次

圖 1.1 不同預報方式對於預報時間以及預報資訊缺失情況之概念圖。實線為可預報性的理論極限，條虛線為 NWP，點虛線為 Nowcasting。(摘自 Golding 1998).....	32
圖 2.1 中央氣象局颱風路徑潛勢預報示意圖。(資料來源：中央氣象局).....	33
圖 2.2 雷達整合資料所包含之雷達與其資料範圍。紅色虛線雷為達整合資料涵蓋範圍；綠色虛線為分別以 RCWF(a)和 RCCG(b)為中心所選取之小範圍雷達資料示意圖。...	34
圖 3.1 挑選 10 筆個案之參考天氣圖。(資料來源：中央氣象局).....	35
圖 3.2 挑選 10 筆個案之日累積雨量圖參考，時間為 LST。(資料來源：中央氣象局)	36
圖 4.1 選出 2017 年 6 月生命週期超過 2 小時之對流胞移動路徑圖，藍色打叉為起點，紅色為移動路徑。(a)為 RCWF，(b)為 RCCG 資料.....	37
圖 4.2 統計 4 年資料之對流胞分布位置數量。(a)為 RCWF，(b)為 RCCG。.....	38
圖 4.3 統計 4 年資料之對流胞海面分布數量以及佔總體資料之比例與資料密度。(a)為 RCWF，(b)為 RCCG。.....	39
圖 4.4 統計 4 年資料之對流胞陸地分布數量以及佔總體資料之比例與資料密度。(a)為 RCWF，(b)為 RCCG。地形實線分別為 200 m、1500 m 的地形等高線。.....	40
圖 4.5 統計 4 年資料之對流胞平均速度分布。(a)為 RCWF，(b)為 RCCG。地形實線分別為 200 m、1500 m 的地形等高線。.....	41
圖 4.6 統計 4 年資料之對流胞平均移動方向分布。(a)為 RCWF，(b)為 RCCG。地形實線分別為 200 m、1500 m 的地形等高線。.....	42
圖 4.7 統計 4 年所有對流胞生命週期長條圖。(a)為 RCWF，(b)為 RCCG。.....	43
圖 4.8 統計 4 年對流胞 0~2 小時之生命週期長條圖。(a)為 RCWF，(b)為 RCCG。..	44
圖 4.9 以最大回波值(x 軸)與速度(y 軸)統計 4 年對流胞之數量(顏色)分布圖。(a)為 RCWF，(b)為 RCCG。.....	45

圖 4.10 統計 4 年不同速度對流胞歷史資料之前 70%最大誤差值。(a)為 RCWF(b)為 RCCG。	46
圖 4.11 統計 4 年不同最大回波對流胞歷史資料之前 70%最大誤差值。(a)為 RCWF(b)為 RCCG。	47
圖 4.12 對流胞路徑潛勢預報示意圖，此為 2019/05/17 04:00(UTC)之歷史資料還原。黑線為過去觀測資料，藍點為初始時間，紅線範圍為預報誤差範圍，綠線為 1 小時實際觀測範圍。	48
圖 4.13 RCWF(a)和 RCCG(b)南北兩地之個案 1 結果。	49
圖 4.14 RCWF(a)和 RCCG(b)南北兩地之個案 2 結果。	50
圖 4.15 RCWF(a)和 RCCG(b)南北兩地之個案 3 結果。	51
圖 4.16 RCWF(a)和 RCCG(b)南北兩地之個案 4 結果。	52
圖 4.17 RCWF(a)和 RCCG(b)南北兩地之個案 5 結果。	53
圖 4.18 (a)北部 RCWF 之個案 1 結合 MAPLE 之結果。藍線為 MAPLE VET 取代結果，綠線為原始直線外延結果。(b)為 MAPLE VET 移動場參考圖。	54
圖 4.19 (a)南部 RCCG 之個案 1 結合 MAPLE 之結果。藍線為 MAPLE VET 取代結果，綠線為原始直線外延結果。(b)為 MAPLE VET 移動場參考圖。	55
圖 4.20 (a)北部 RCWF 之個案 2 結合 MAPLE 之結果。藍線為 MAPLE VET 取代結果，綠線為原始直線外延結果。(b)為 MAPLE VET 移動場參考圖。	56
圖 4.21 (a)南部 RCCG 之個案 2 結合 MAPLE 之結果。藍線為 MAPLE VET 取代結果，綠線為原始直線外延結果。(b)為 MAPLE VET 移動場參考圖。	57
圖 4.22 (a)北部 RCWF 之個案 3 結合 MAPLE 之結果。藍線為 MAPLE VET 取代結果，綠線為原始直線外延結果。(b)為 MAPLE VET 移動場參考圖。	58
圖 4.23 (a)南部 RCCG 之個案 3 結合 MAPLE 之結果。藍線為 MAPLE VET 取代結果，綠線為原始直線外延結果。(b)為 MAPLE VET 移動場參考圖。	59
圖 4.24 (a)北部 RCWF 之個案 4 結合 MAPLE 之結果。藍線為 MAPLE VET 取代結果，綠線為原始直線外延結果。(b)為 MAPLE VET 移動場參考圖。	60

圖 4.25 (a)南部 RCCG 之個案 4 結合 MAPLE 之結果。藍線為 MAPLE VET 取代結果， 綠線為原始直線外延結果。(b)為 MAPLE VET 移動場參考圖。.....	61
圖 4.26 (a)北部 RCWF 之個案 5 結合 MAPLE 之結果。藍線為 MAPLE VET 取代結果， 綠線為原始直線外延結果。(b)為 MAPLE VET 移動場參考圖。.....	62
圖 4.27 (a)南部 RCCG 之個案 5 結合 MAPLE 之結果。藍線為 MAPLE VET 取代結果， 綠線為原始直線外延結果。(b)為 MAPLE VET 移動場參考圖。.....	63
圖 4.28 2018/08/23 12:04 UTC 對流胞路徑預報模擬圖，紅線為 70%預報誤差範圍，圓圈 表示第 10、30、60 分鐘之預報，藍點為對流胞位置，綠線為 1 小時後實際觀測路徑， 黑線為過去 1 小時觀測路徑。(a)為直線外延之預報，(b)為 MAPLE 結果之預報。 ...	64
圖 4.29 2018/08/23 之三筆用於計算 VET 之雷達觀測結果	65
圖 4.30 (a)為 2018/08/23 12:00(UTC)以門閾值 35 dBZ 計算之 VET 結果。(b)為將 MAPLE 門閾值設定為 35 dBZ 後所計算之 POD 結果。.....	66
圖 4.31 2019/06/13 20:09 UTC 對流胞路徑預報模擬圖，紅線為 70%預報誤差範圍，圓圈 表示第 10、30、60 分鐘之預報，藍點為對流胞位置，綠線為 1 小時後實際觀測路徑， 黑線為過去 1 小時觀測路徑。(a)為直線外延之預報，(b)為 MAPLE 結果之預報。 ...	67

第一章 緒論

1.1 前言

台灣在暖季之時，經常因為不同氣團的交互作用以及環境風場與熱力作用交互影響下發生如同冰雹、強回波降水、午後雷陣雨、中尺度對流系統等劇烈天氣事件，並且由於台灣地勢陡峭、河川短窄，每當發生劇烈天氣降水事件時亦容易造成淹水、溪流暴漲、土石流等災害，輕則外出不便，重則造成生命上的危害；由上述可知劇烈天氣降水對人民的生活、經濟以及安全有著密切的關連。

近年來，有鑑於諸多氣象觀測以及數值天氣預報(Numerical Weather Prediction, NWP)較過往來得進步許多，人們得以想盡辦法將天然災害的災損降至最低。但劇烈天氣事件往往發生地十分快速，在過往許多研究指出，劇烈天氣自發展到結束僅有數個小時的時間。即使數值天氣預報相較於過去已可精準掌握台灣之降水型態，對於災防上尚須一項重要的因素，即為「時間」；以數值模式舉例：數值模式是基於觀測資料及物理過程進行天氣預測，但是受限於其空間解析度和複雜的物理過程以及與地形的交互作用，往往需要大量的運算資源以及運算時間，當運算完成後，天氣系統可能也已發生變化，若想要進行即時災防仍需要運算能力上之突破，因此數值模式在即時天氣預報(Nowcasting)之中對於系統移動以及運算速度上往往表現不佳。

有鑑於此，本研究期望能以即時觀測取得最接近於當下的天氣型態，在有足夠的空間解析度下盡可能的獲取大量資料，同時亦能明顯區分出強降水事件的天氣型態，並以簡單的計算過程降低運算資源來達到即時天氣預報；為了滿足上述條件，本研究使用雷達觀測所得到的資訊進行一系列分析及計算。

1.2 文獻回顧

對於對流胞特性方面，Foresti et al. (2018) 之研究使用了 10 年歷史資料研究瑞士多山地形之對流移動與消長情形，其中指出地形對於降水系統之生成、消散與移動有一定影響；並且 Lin et al. (2011) 對於 4 年來台灣弱綜觀條件下暖季與後對流之特性進行深入分析，其中指出大多數對流胞發生之位置與地形走向以及風向有高度相關性，亦進一步將台灣區分成四個區域進行對流胞位置以及數量之分佈；Chen et al. (2016) 亦進一步對於台灣台北地區之午後雷暴事件將移動特性、天氣型態、降水型態進行分類以及預報校驗與測試，其中提到地形之間之交互作用以及模式預報解析度在進行午後對流預報上為一大挑戰。基於上述前人研究可以得知，不同地形分佈對於對流胞特性上有極高相關性，並且進而影響到後續預報效果。

在過往預報降水系統，最常使用的不外乎是數值模式預報(NWP)或是外延預報，此兩種預報在不同預報時間(Forecast lead time)上皆各有優缺點，外延預報相較於數值模式預報在預報前期會有較佳表現(圖 1.1，摘自 Golding 1998)；數值模式預報由於其為根據完整且複雜的物理計算過程進行預測，因此能夠得知天氣系統之完整熱力過程以及動力過程，但是受限於資料解析度以及現今運算資源影響，若是要解析較小尺度的天氣系統則表現不佳；而相對的，外延預報之預報方式較為簡單，因此可以在短時間內處理高解析度之資料，但也因為其較為簡單的預報方法缺乏完整物理過程，雖然彌補了數值天氣預報在解析度上的缺點，但是同時顯現出了難以呈現自然界中隨著物理變化過程之缺點。不過由於極端天氣事件所需要的為極短期(very short-term)天氣預報之預警，因此外延預報相較於數值預報來得適合使用在極端天氣事件之極短期天氣預報上；於前人研究當中，為了彌補外延預報對於系統消長上之短處，Bechini and Chandrasekar (2017) 以增強光流法追蹤天氣系統移動時得到之移動場並結合簡單數值模式彌補因物理過程而產生之降水系統增長與移動上之誤差；日本氣象廳對於降水即時預報相關報告(木川誠一郎, 2014) 提到日本氣象廳進行降水即時預報時，除了進行移動向量之預測，亦結合來自不同簡易模式之各項預報參數進行高解析度降水即時預報；上述研究主要為統整出對於短期天氣

預報上使用外延預報以及增強外延預報之解決方法，由此可知外延預報對於短期天氣預報上之優勢，也因其免除複雜且龐大之運算過程，相較於數值模式預報能使用更高解析度之資料，因此可以使用如同雷達資料擁有高時間、高空間解析度的資料進行外延預報。

氣象雷達在時間上可以提供每 6~7 分鐘一筆三維觀測資料；空間上甚至可達 250 公尺之解析度資料，因此在對流胞辨識以及追蹤上具有相當良好的監測能力。由於雷達資料能夠提供高時間與高空間解析度的三維觀測資料，在對流胞監測與辨識方面世界各地皆發展出許多基於雷達觀測的劇烈天氣預警系統，如：Thunderstorm Identification, Tracking Analysis and Nowcasting(TITAN)(Dixon and Wiener 1993)、Warning Decision Support System(WDSS)(Eilts et al. 1996)、Canadian Radar Decision System (CARDS)(Joe et al. 2003)、Short-Term Ensemble Prediction System(STEPS)(Bowler et al. 2006)、Short-Range Warnings of Intense Rainstorms in Localized Systems(SWIRLS)(Wong et al. 2006)、Warning Decision Support System-Integrated Information(WDSS-II)(Lakshmanan et al. 2007)、Rapidly Developing Thunderstorms algorithm(RDT)(Morel 2002, Brovelli et al. 2005)。

目前中央氣象局為了能妥善使用雷達資料進行強降水事件的即時預報以及因應劇烈天氣系統發生時的即時預警，引進了美國國家劇烈風暴實驗室(National Severe Storm Laboratory, NSSL)所發展之對流監測平台系統(System for Convection Analysis and Nowcasting, SCAN)以協助預報員在預報作業上對於劇烈天氣系統的預警。SCAN 當中擁有基於雷達資料以及結合其他相關資訊(如探空、地面觀測、數值模式)，對於不同對流胞提供許多資訊，像是對流胞辨識及追蹤演算法(Storm Cell Identification and Tracking algorithm, SCIT)(Johnson et al. 1998)、中尺度渦旋偵測演算法(Mesocyclone Detection Algorithm, MDA)(Stumpf et al. 1998)、冰雹預警演算法(Hail Detection Algorithm, HAD)(Witt et al. 1998)等。

其中，本研究主要以 SCAN 當中之對流胞辨識及追蹤演算法(SCIT)所提供之對流胞辨識、移動向量等資訊來預測對流胞在 0~1 小時之間發展。在前人的研究當中，張等人 (2006) 首先利用氣象局所開發之 QPESUMS(Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensors)系統，藉由 SCIT 演算法針對颱風及梅雨季大雨個案

追蹤對流胞路徑，其分析結果顯示對流胞 30 分鐘的預報位置平均誤差為 5~6 公里，預報 60 分鐘的位置平均誤差為 8~13 公里。張等人 (2008) 利用 QPESUMS 之最大回波資料統計台灣地區 2005~2007 年暖季(5~10 月)之回波統計分析，其結果指出地形對於對流的發展可能扮演相當重要的角色。蔡 (2011) 亦曾使用 SCAN 追蹤分析龍捲風所伴隨之風暴個案，其結論中建議 SCAN 當中提供的資料仍須經研究修改為適合台灣的特性。綜合上述結果，目前 SCAN 在台灣地區在對流胞辨識及追蹤之掌握尚未針對地區特性進行測試，例如不同緯度、地形、天氣型態等，因此進行對流胞預警之前尚須對此套系統以及演算法對於台灣地區性之效果進行分析與評估。

1.3 研究目的

從過去文獻回顧當中發現 SCAN 當中之對流胞辨識及追蹤(SCIT)演算法可以即時地從雷達資料獲取對流胞之移動向量，為了達到即時預警之效果，本研究目的為使用 SCIT 演算法所得之對流胞移動資訊並以簡單外延即時推估對流胞未來可能之位置並評估其預報性，劇烈天氣個案挑選上則參考 SCIT 演算法當中對於對流胞辨識強度之門閥值定義(30 dBZ)以及參考中央氣象局有發布大雷雨即時訊息之天氣系統進行分析；且由過去文獻指出此演算法尚未對於台灣地區進行最佳化設定，因此需要先對此系統在台灣地區之對流胞辨識與追蹤預報情形進行分析；再加上前人提到對流胞發展可能會受到地形影響，因此本研究將會分成不同區域進行分析以及探討。

本研究共分為五個章節，第一章為緒論。第二章將會介紹所使用的資料來源以及個案挑選介紹。第三章將會介紹研究方法，為本研究主要使用之計算方式、外延預報方式以及後續預報校驗方式。第四章為結果分析，主要分成兩個部分，第一個部分為分析對流胞之不同區域特性，由於考量到台灣為東北——西南走向之狹長分布，在不同地區上可能會有不同地形及不同天氣型態之表現，因此本篇研究將台灣區分成北部、南部等兩個部分，北部以中央氣象局五分山雷達周圍為主，南部以中央氣象局七股雷達周圍為主；第二個部分為使用短期預報後之預報結果分析，分析結果將會挑出數個個案分別呈現北部、南部之預報結果。最後一章為本研究之結論以及未來展望。

第二章 研究方法

本章節將會對於本篇研究當中所使用之各項工具、理論以及統計與計算方法進行介紹。由於本篇研究目標為藉由對流胞各項資訊進行分析，進而進行對流胞即時預報以及預報效果之改善，因此依序將會介紹對流胞辨識與追蹤之手段、進行線性外延後計算預報誤差之誤差統計方法、對流胞線性外延預報誤差之延伸應用、即時路徑預報之改善所選用之工具以及預報校驗方法。

2.1 對流胞辨識與追蹤演算法(SCIT)

對流胞辨識與追蹤演算法(Storm Cell Identification and Tracking algorithm, SCIT) (Johnson et al., 1998)為一種可以利用三維雷達資料即時辨識出對流胞後並且以歷史資料推估對流胞移動方向與移動速度之演算法；其中定義對流胞時會依據以下流程進行對流胞之定義：

(1) 一維方向雷達波束門閾值辨識

單一雷達回波波束資料若大於給定門閾值(預設最小為 30 dBZ)、長度大於設定區塊(預設為 2 區塊)、大於設定之最短長度(預設為 1.9 公里)則會將此波束分段進行標示。

(2) 二維方向對流面積辨識

進行完一維方向上辨識後將會擴展至同一仰角上進行二維面積方向進辨識，在符合上述一維判定的波中，兩兩相鄰之方位角需小於 1.5° ，並且此面積需要大於 10 平方公里，符合上述條件才會滿足二維判斷。

(3) 三維方向對流體積辨識

完成一維及二維的判斷後會進行三維空間上判斷；從最低仰角至最高仰角皆會完成上述一維至二維的對流胞辨識，因此在各個仰角的資料平面上皆會有許多二維辨識出的對流，接著會判斷水平距離相近的兩個不同仰角對流胞其水平距離小於 10 公

里，垂直上小於 4 公里，仰角小於 3.0° ；但是若對流胞彼此距離過近將會不利於追蹤其演變過程，因此若是判定垂直距離小於 4 公里、水平距離小於 5 公里的對流胞，會將較弱或是高度較矮者去除，亦即視為單個較強的對流胞。

完成上述辨識後，會產生許多已辨識之對流胞與其相關資訊，再將此對流胞給予編號和利用投影至平面上之面積計算出之質心位置做為對流編號以及對流中心位置等資訊。

辨識對流編號及中心位置後會進行追蹤並計算移動方向和速度，在 20 分鐘內的兩筆資料才會進行追蹤，追蹤時會判斷兩筆中心需要小於一定門閥值後取最接近的中心並將兩筆資料視為有時間關聯之資料，以此條件進行追蹤；追蹤完成後會採取至少 2 筆、最多 10 筆資料進行線性擬合得到對流此時之移動方向、移動速度。

2.2 誤差計算方法

如同上述預報颱風時會參考過去路徑預報誤差，在將對流胞進行簡單外延預報時也會有預報誤差，由於實際觀測時是根據不同雷達資料之完整體積掃描，和實際觀測進行預報誤差計算時無法獲取完整每分鐘資料，因此每分鐘誤差計算將會採用內差進行補值。

2.2.1 三次仿樣函數(cubic spline)

由於自然界中觀測誤差的變化理論會是平滑地變化，因此若是單以兩筆時間之斜率變化值皆進行線性內差可能會較不符合自然現象，因此本研究之內差方法為採用 cubic spline 進行內差，cubic spline 最大的特點是整體方程式所表現出的趨勢會較為圓滑並同時保有實際的觀測值；cubic spline 方程式如下：

$$y = a_i(x - x_i)^3 + b_i(x - x_i)^2 + c_i(x - x_i) + d_i \quad (2.1)$$

y 為每筆資料之值， x 為欲求其值之時間， x_i 為每筆實際資料之時間， $a_i \sim d_i$ 為每筆資料間隔計算其值之參數，求得 $a_i \sim d_i$ 後即可將每分鐘之值算出。

2.2.2 歐幾里得距離(euclidean distance)

由於進行誤差計算時會有南北方向之誤差以及東西方向之誤差，而 PTA 方法為採用一誤差數值表現不確定性範圍之半徑，因此統計出南北方向(y方向)與東西方向(x方向)誤差後會計算其歐幾里得距離，公式如下：

$$DIS = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (2.2)$$

2.3 路徑潛勢預報(PTA)

2.3.1 颱風路徑潛勢預報

颱風路徑潛勢預報(typhoon Potential Track Area, PTA)為中央氣象局為了呈現颱風路徑預報不確定性而發展的一套預報方法。PTA 預報呈現了單一路徑隨著時間越長，路徑預報不確定性範圍越大(圖 2.1)，藉由量化不確定性的方式提供更好的防災預警資訊參考。

中央氣象局在將 PTA 應用於颱風預報上時，會先將颱風移速分成 $V \leq 5\text{kt}$ 、 $5 < V \leq 10\text{kt}$ 、 $10 < V \leq 15\text{kt}$ 、 $15 < V \leq 20\text{kt}$ 、 $V > 20\text{kt}$ 等五類，爾後統計過去五年來預報路徑和實際路徑的預報誤差，由小排列至大後取得預報誤差前 70%的數值，再將路徑預報誤差根據不同速度製作成對照表；最後在進行颱風路徑潛勢預報時會依據颱風不同的速度使用不同組數據做為誤差半徑並繪製於路徑預報圖上，如此產生出颱風路徑潛勢預報。

2.3.2 對流胞路徑潛勢預報

主要概念為希望能發展出一套可以表現對流胞路徑預報不確定性之定量表現方式，因此本研究參考颱風路徑潛勢預報之統計方式，先將對流胞以 SCAN 資料進行歷史資料之簡單外延預報誤差統計，初步效仿颱風分組方式區分成不同速度對流胞以及分別對應到之預報誤差值，並且統計出歷史資料前 70%最大預報誤差。主要概念大至如同於颱風路徑潛勢預報，希望能藉此表現出定量上對流胞在簡單外延預報上之不確定性。而在簡

單外延上則可大致分成直線外延以及二維外延之兩種外延方法，此兩種方法之簡單描述如下：

(1) 直線外延 PTA：

此方法為使用 SCAN 所提供之以 SCIT 演算法計算得出當下對流胞移動方向以及速度後進行直線外延，並且對應到不同移動速度之對流胞套用統計之前 70%預報誤差範圍半徑；以此方法繪製出誤差範圍以及進行後續較驗分析。

(2) 二維外延 PTA：

此方法為基於 SCAN 所提供之資料加入二維移動向量資料取代後進行對流胞外延。隨著時間增加($t_0 + 1$)，對流胞將會移動至上一時間(t_0)預報結果($t_0 + 1$)之相對應網格，在預報下一時間($t_0 + 2$)時會採用($t_0 + 1$)之網格資訊後再進行預報；因此理論上使用此方法進行對流胞預報的話，對流胞會隨著二維移動場的移動方式進行外延，亦即有機會表現出曲線路徑。

2.4 雷達回波外延預報系統(MAPLE)

MAPLE 全名為 McGill Algorithm for Precipitation nowcasting using Lagrangian Extrapolation，此系統為眾多外延系統當中一種利用將雷達回波資訊進行簡單外延進行短期預報之系統，最初由加拿大麥基爾大學 (McGill University) 雷達氣象團隊 (J. S. Marshall Radar Observatory) 所開發，主要使用雷達回波變分追蹤法 (Variational Echo Tracking, VET) 取得此時之中尺度環流場，在以此環流場進行外延預報；本研究主要使用其 VET 環流場進行後續應用，以下將對 VET 進行概略介紹以及實驗參數說明。

2.4.1 變分回波追蹤法(Variational Echo Tracking, VET)

最初在 MAPLE 系統當中所使用的 VET 計算方法為 Laroche and Zawadzki (1994,1995) 所發展，原始目的為利用單都卜勒雷達回波資料進行三維風場反演，而在 MAPLE 系統中應用於多雷達整合回波資料的二維移動場計算。以下為其價值函數(cost function)：

$$J_{VET}(V) = J_{\psi} + J_V \quad (2.3)$$

上式當中 V 為使用觀測之雷達回波資料經過此價值函數極小化後而得到的二維回波運動場資訊。(2.3)式中的 J_ψ 項為回波保守條件項 (conservation of reflectivity constraint)，代表觀測回波剩餘項平方的總和，公式如下：

$$J_\psi = \iint \beta(x)[\Psi(t_0, x) - \Psi(t_0 - \Delta t, x - u\Delta t)]^2 dx dy \quad (2.4)$$

上式中 $\beta(x)$ 為回波保守條件項的權重，假設降水系統並沒有生成或是消散，亦即滿足回波保守，透過變分法求出過去時間的觀測回波值在空間上的移動關係，得到二維的移動場。而(2.3)式中的 J_V 項為平滑懲罰項(smoothness penalty constraint)，公式如下：

$$J_V = \gamma \iint \left[\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] dx dy \quad (2.5)$$

其中 γ 為平滑懲罰項的權重， u 和 v 為回波移動場在 x 方向和 y 方向之分量。而為了有效使得上述價值函數最有效地進行最小化，MAPLE 系統參考由 Navon and Legler (1987) 所描述的共軛梯度演算法 (conjugate-gradient algorithm) 進行疊代計算極小化(2.3)式，且為了避免疊代時會向次小值收斂，使用 Laroche and Zawadzki (1994) 所發展的尺度猜測程序 (scaling-guess process) 逐步增加移動場解析度進行疊代計算。

潘等人(2018)將雷達回波變分追蹤法應用於台灣之可行性評估當中成功地將此系統應用於台灣，本研究參考上述研究進一步調整 VET 之設定。由於計算 VET 過程中使用的尺度猜測程序皆以正方形網格資料進行；在初始 MAPLE 系統設定當中會先將雷達資料進行擴展成正方形的範圍再切割出欲計算 VET 的區域，本研究為測試高解析度 VET 影響而另外先將原始雷達資料進行切割成小範圍的正方形區域，再進行 VET 計算。

2.4.2 VET 實驗設定

本研究為了進一步進行對流胞路徑細部追蹤，因此將雷達回波值進行分割成北部以及南區域資料後再進行 VET 計算，範圍選取方式為北部以五分山雷達站為中心，南部以七股雷達站為中心朝四方向外約 200 公里的正方形範圍，其餘各項 VET 參數設定亦參考了潘等人(2018)和 Chung and Yao (2020)的實驗設定，詳細 VET 計算以及切割後解析度設定請參考表 2.1，以下將對各項參數進行簡述。

(1) 觀測資料筆數：

理論上只要有至少 2 筆觀測資料即可推算出回波移動場，然而為了增加資料之間的關聯性以計算較完整之移動過程，本研究參考前人研究設定為使用 3 筆觀測資料進行計算。

(2) 觀測資料時間間隔：

觀測資料之時間間隔選定方式主要取決於雷達觀測之時間解析度。中央氣象局之最大回波合成資料為 10 分鐘一筆，因此使用此觀測資料進行計算時須設定為 10 的倍數，系統預設值為使用 30 分鐘，但考量到對流胞之生命週期可能較為快速，因此本研究所採用之時間間隔為 20 分鐘。

(3) 雷達觀測資料密度：

此為系統輸入之雷達資料密度，原始預設值為使用 921×881 的雷達資料，本研究則先將雷達資料分割至雷達周圍 300×300 之範圍再進行後續計算(圖 2.2 之綠色虛線範圍)，以達提高解析度之目的。

(4) 雷達觀測資料解析度：

此為使用中央氣象局雷達觀測之資料解析度，解析度為 0.0125° (約 1.27 公里)。

(5) 回波門檻：

回波值之範圍最小可達 -10dBZ ，最大甚至可達 70dBZ ；原始大範圍預設值為了考量到中小尺度之較大範圍系統移動情形，因此將此門檻設定為 5dBZ 。而本研究主要為對於對流胞之追蹤，因此提高此設定值至 15dBZ 。

(6) 尺度猜測程序之次數：

初始預設為使用 4 次尺度猜測逐步進行計算，本實驗為了達到更高解析度，因此多增加一次尺度猜測至更高向量密度。

(7) 尺度猜測程序之向量密度：

系統預設值由於僅對於中尺度流場進行研究，因此使用最高密度為 48×48 之向量密度。而本研究為了分析更小尺度之運動，因此多增加一組尺度猜測程序並且使得向量密度最高達到 144×144 之向量密度。

(8) VET 網格密度：

為了考慮尺度猜測之向量密度，需要設定成可被尺度猜測向量密度整除之正方形範圍。原始設定為 720×720，本研究設定為 288×288 之網格密度。

(9) VET 網格解析度：

以原始設定進行計算後，VET 解析度約為 0.1875°，而本研究為了達到以簡單方法提高解析度之目的，使用上述設定後經計算得到之小範圍 VET 解析度約為 0.025°(288÷144×0.0125=，約 2.53 公里)。

2.5 絕對校驗方法(Categorical Verification)

由於本研究希望能對於對流胞路徑潛勢預報進行校驗分析，評估了諸多校驗方式後發現在僅有對流胞中心位置以及對流胞預報範圍的資訊下，使用絕對校驗法判斷預報中心位置是否有命中預報誤差範圍較為合適。其中我們計算了 Probability Of Detection (POD)值以量化預報效果，POD 的意義即為命中率，其公式如下：

$$POD = \frac{Hits}{(Hits + Misses)}$$

若是 SCAN 得出未來觀測資料之對流胞中心位於預報範圍內則為 Hit，反之在範圍外則為 Miss，以此統計出 0~1 小時內之預報得分情況為何。

第三章 資料來源及個案介紹

3.1 資料來源

本研究主要為使用高空間與時間解析度之雷達資料所得到的各項資訊進行分析以及應用，其中對流監測平台系統(SCAN)包含了以 SCIT 演算法計算各個雷達資料得到的諸多對流胞辨識及追蹤資訊；而台灣雷達回波整合網資料將會用於後續 MAPLE 進行 VET 移動場計算後再進行二維對流胞外延預報。

3.1.1 對流監測平台系統(SCAN)

中央氣象局近年來引進美國國家劇烈風暴實驗室(National Severe Storm Laboratory, NSSL)所發展之對流監測平台系統(System for Convection Analysis and Nowcasting, SCAN) 用作預報劇烈天氣時之輔助工具，其中包含了各項演算法以即時觀測資料計算得出之諸多參數，本研究主要使用資料為當中以對流胞辨識與追蹤演算法(SCIT)所得到之對流胞編號、位置、移動方向、移動速度、最大回波等資訊進行分析；由於對流胞好發期主要為台灣暖季，因此選用資料時間為 5 月~8 月的資料，並且採用 2015 年~2018 年之資料進行歷史資料統計與分析；為達校驗公平性，校驗時額外加入了 2019 年的資料進行校驗。考量到區域上對流特性可能有所不同，主要選定五分山 SCAN 資料以及七股雷達站 SCAN 資料進行使用，由於 SCIT 需要完整三維資料進行運算，因此資料時間解析度為各個雷達之體積掃描時間。

3.1.2 台灣雷達回波整合網

此資料為中央氣象局所開發之劇烈天氣監測系統(Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensor, QPESUMS) 當中所提供之一項產品，本研究採用之資料為最大回波整合資料 (Composite Reflectivity)；其中包含了氣象局 4

座 S 波段雙偏極化都卜勒氣象雷達，分別位於五分山(RCWF)、七股(RCCG)、墾丁(RCKT)、花蓮(RCHL)以及空軍氣象單位的 2 座 C 波段雙偏極化都卜勒氣象雷達，位於清泉崗(RCCK)和馬公(RCKT)機場。

由於此產品包含了許多部雷達資料，因此可以提供十分大量的空間上以及高解析度之觀測資料，空間上涵蓋範圍為北緯 18°至 29°，東經 115°至 126.5°，共有 921×881 個網格數，空間解析度為 0.0125°，時間解析度為 10 分鐘一筆資料，雷達分布位置與涵蓋範圍如圖 2.2 之整體繪圖範圍所示。

3.2 個案挑選

本研究主要探討為劇烈天氣降水事件，因此校驗用個案日期挑選主要參考中央氣象局有發布大雷雨即時訊息之個案進行分析，並且由於希望驗證此方法在不同種天氣型態的表現效果，因此本研究挑選的個案包含了冷鋒、滯留鋒、弱綜觀天氣系統、綜觀天氣系統、熱帶低壓等天氣型態之個案，詳細天氣類型以及個案時間如表 3.1 以及圖 3.1 所示。

圖 3.1 與圖 3.2 為此 10 筆個案參考之天氣圖以及日累積雨量圖，參考圖之順序對應至表 3.1 之位置，左側皆為北部區域(RCWF)個案，右側接為南部區域(RCCG)個案，由上至下分別是北部與南部區域之個案 1~個案 5。首先先大略介紹 RCWF 之個案 1 的天氣型態，此天氣型態主要受到滯留鋒過境北台灣，造成台灣西北部有較多累積降雨。而 RCCG 個案 1，主要為受到高壓籠罩之弱綜觀天氣型態，主要為山區局部性對流降水，並未有明顯之對流胞移動，從降水區域也可看出大多位於西南部以及西北部山區。個案 2 的部分，不論北部(RCWF)或南部(RCCG)挑選到的個案皆為弱綜觀天氣系統影響，為午後對流性降雨型態，北部個案方面除了山區降水，在都市亦有較高累積降水發生；而南部區域降水則明顯累積於南部山區，算是常見的山區午後熱對流之降水型態。而個案 3 的部分，北部區域挑選為大環境受到颱風外圍環流影響，主要環境風向為西南風，可以看到降水分布在北部受到陽明山以及雪山山脈周遭，主要為受到地形抬升之對流發展型態；南部區域之個案 3 則為熱帶性低氣壓，其中心位置約為於台灣西南部沿海，因此

降水主要發生於熱帶性低壓之東南方位置，加上台灣西南部山區分布位置影響，於台南、高雄等地造成不小雨勢以及不小的累積降雨量。在個案 4 的部分，北部之天氣型態為冷鋒過境台灣之天氣型態，由於此系統移動較為快速，因此從日累積雨量圖可以看出自北到南皆有不小之累積降水；而南部主要為受到颱風外圍環流影響之天氣型態，整體環境風場主要為西南風，因此降水主要發生於台灣西南部以及山區迎風面。而個案 5 南北部皆為受到縱觀環境影響之天氣型態，北部為受到低壓籠罩，降水主要分布於桃園、新北、台北與基隆一帶；南部區域則為受到颱風外圍環流影響之天氣型態，受到大環境西南風影響，降雨集中於中部與西南部山區迎風面之區域。

第四章 結果分析

本章節首先會對 2015~2018 年 5~8 月總共 16 個月的對流胞 SCAN 資料進行特性分析，嘗試理解這段期間之內在台灣南部以及北部的對流胞在移動以及分布方面是否有地域上之差異，接著進一步分析兩地區之間對流胞在移動、生命週期與最大回波值所展現出的特性，藉由生命週期的分析，決定出研究後續預報之重點預報時長，再藉由移動速度以及最大回波值之分佈特性決定出後續何種因素最能展現出對流胞彼此之間不同之特性。

章節第二部分為外延預報部分，將會依照對流胞特性分析之結果統計出對流胞路徑預報誤差所需要之各項要素，再挑選出實際個案進行個案驗證，模擬本研究所提出之方法是否能夠在實際預報作業上達到一定可信度，最後再對於一些預報表現較為不佳之實際個案進行更深入探討。

4.1 對流胞特性分析

首先是對流胞移動路徑上南部與北部對流胞之差異，根據統計，北部對流胞大多數移動方向為朝向 49° (約為東北方向) 移動，南部對流胞則略為偏北 (39° 方向)，並且兩者對流胞經過區域也有所不同，以 2017 年 6 月舉例，圖 4.1 為挑選出 2017 年 6 月一整個月且生命週期大於 2 小時之對流胞移動路徑，圖上中藍色打叉符號為對流胞初始點，紅線為追蹤之路徑，圖中所示北部(圖 4.1(a))對流大多是自海上生成後在海上移動或是自陸地生成後移至海面；而南部(圖 4.1(b))對流則為自台灣西南方海面生成後往陸地移動，且統計得出北部對流之移速大多略快於南部對流移動速度，推測是由於北部對流大多位於海面上方，因此在移動速度上受到地形影響的因素較小；爾後進一步統計 4 年來 5~8 月所有已偵測到的對流位置，結果如圖 4.2，圖中顯示出雖然大多數偵測到的對流位於山區，但是就海面上而言(圖 4.3)，北部區域的海面對流偵測到之資料數量約佔總體資料 68.1%，而南部約為 60.6%；北部海面對流之資料量略大於南部區域的海面對流的

資料量。雖然乍看之下海面資料量較多，但是就密度而言，海面資料之密度北部在圖 4.3(a)中為每單位網格(pixel)約有 9 筆資料(1 pixel 約為 16 km²)，而南部(圖 4.3(b))中海面資料密度約為每單位網格有 18 筆資料；相較於陸地上之統計結果(圖 4.4)，北部區域(圖 4.4(a))雖然陸地資料占整體資料之比例較少，但是密度上約每單位網格有 23 筆資料，南部區域(圖 4.4(b))陸地上資料密度約為每單位網格有 44 筆資料，明顯陸地上密度較多；但是由於南部與北部海岸線之差異，因此整體對流被偵測到之位置在數量上還是以海面居多。從上述分析已可看出區域分布對於對流胞特性差異上之影響。

若是針對地形與對流胞分布特性進行分析，從圖 4.4 當中之地形等高線(200 公尺、1500 公尺)可以看出不論是南部區域還是北部區域，其對流胞分布地點較多的地方大約位在 200 公尺附近的地形，而在 1500 公尺後數量較少；而若是從平均速度分布上來看，圖 4.5 顯示出在 200 公尺以下之區域其速度明顯較慢，並且隨著地形高度上升，速度受到地形而減速之效果越明顯；另外再從平均移動方向分布來看，圖 4.6 顯示了各個區域平均對流胞之來向分布，北部區域海面上主要為自西方來的對流，西北部陸地上則受到地形影響主要為自西南方來的對流，在北部 200 公尺至 1500 公尺高之地區主要為自西方來的對流；南部區域的話整體主要接為自西南方來的對流，而南部海面亦有些許自南方來的對流胞。從上述各項分析亦可看出地形對於對流胞之移動方向、移動速度、分布位置有明顯的相關，並且在南部以及北部也有表現出對流胞在地區上所佔展現之不同特性。

若是對南部以及北部所有對流胞進行生命週期上之 4 年資料統計，結果如圖 4.7 所示，多數對流胞的生命週期約在 1 小時之內，其次是 1~2 小時，生命週期大於 2 小時的對流胞少之又少；若是將 0~120 分鐘內的資料以 10 分鐘為間隔進行分析(圖 4.8)，則可看出北部的對流胞生命週期大多為 20 分鐘，南部則相較於北部有些許不同，南部的對流胞則主要為 30 分鐘之生命週期；由此可知若想要在使用 SCAN 資料進行強對流(回波值超過 30dBZ)的預報，其關鍵在於 0~1 小時的預報表現是否能夠達到預期之效果，並且未來應用於災防上時，也可以更加確認對流胞短期預報在 0~1 小時的預報時間之重要性。

接著再以速度以及對流胞之最大回波進行數量上之統計，圖 4.9 中 Y 軸為 SCIT 演算法得到之各個數據，X 軸為對流胞之最大回波值，顏色漸層則為統計之對流胞資料數量，圖中可以看出在北部(RCWF)區域，其觀測到之最大速度大於南部(RCCG)區域，且兩者在速度方面絕大多數皆集中在 2~10 m/s 的範圍，但是最大回波方面則是南部區域擁有觀測到之最大回波，南北兩區域之最大回波大多集中在 45~55 dBZ 之區間；整體分布上呈現沿著速度主導之分布情況(沿著 Y 軸方向分布)，各個速度值皆有一定數量的對流胞資料。若是參考颱風路徑潛勢預報將對流胞依照移動速度分成四類($V \leq 5$ m/s、 $5 < V \leq 10$ m/s、 $10 < V \leq 15$ m/s、 $V > 15$ m/s)，則會發現數量上並未特別集中於某類速度，且多數對流為 5~10 m/s 之速度；接著再對各組數據進行如同於颱風 PTA 誤差取樣之步驟，對前 70%進行最大誤差篩選。

4.2 對流胞線性外延誤差分析

藉由上一章節提到以及參考颱風路徑預報誤差之分類方式，以速度上進行分類進行統計之結果如圖 4.10 所示，此結果為 4 年來歷史資料依據不同速度統計得出前 70%最大誤差增長圖，圖中可以看出南部區域(圖 4.10(b))誤差增長較快；並且不論是在南部區域(圖 4.10(b))還是北部區域(圖 4.10(a))其誤差增長約為前期(0~8 分鐘)增長斜率較大，會有此現象發生之主要因為因為氣象局雷達之完整體積掃描約為 6~7.5 分鐘，因此在 0 分鐘時誤差一定為 0，但是下一筆資料(6~7 分鐘後)其誤差才剛開始增長，而之後為近似於線性之增長，並且動速度越快的對流，其誤差增長越為顯著，其中移動速度大於 15 m/s 之對流胞誤差最大，在 40 分鐘後誤差範圍甚至大於 20 公里，其餘速度之對流胞在 1 小時左右的誤差落在 20 公里左右，甚至小於 20 公里；若是單看先前統計出之數量最多的速度區間(5~10 m/s 區間)，其誤差情況在 1 小時最大約為 17 公里；其次為速度小於 5 m/s 的對流胞，在 1 小時之後最大誤差約落在 15 公里左右。從此結果得知在以不同速度進行區分時，每一種速度類型對流胞的誤差增長特性可以明顯地看出不同，進而在對於不同速度之對流胞進行統計後，至目前為止已可得到類似於颱風路徑潛勢預報一般之對流胞資料集，接著將會對於此資料集進行校驗，並且評估此種方法是否可以

應用於不同的個案當中。

除了速度之外，本研究同時統計出對流胞發展之最大回波是否也會對於移動誤差上有所影響，因此除了以速度上進行分類，本研究亦對於最大回波值上進行分類，最大回波值之分類初步分成最大回波 ≤ 40 dBZ、 $40\sim 45$ dBZ、 $45\sim 50$ dBZ 以及最大回波 >50 dBZ 等四類，其結果如圖 4. 11 所示，大略可以看出整體誤差情況為最大回波值越小，其誤差越大，也可以說是發展越弱的回波，其誤差越大，但是整體而言每種分類並未有明顯差異，因此後續分類將會繼續依照如同颱風 PTA 的分類方式從速度方類上進行分析。

4.3 對流胞潛勢預報之建立與校驗

本小節將會對於上一節提到的對流胞誤差增長資料集進行驗證，校驗分數採用的是 Probability Of Detectopn(POD)值，其中之數學意義即為「命中率」，因此為了要計算命中率，需要定義何為「命中」(Hit) 以及何為「未命中」(Miss)；命中判斷方式之示意圖如圖 4. 12 所示，此圖為 2019 年 5 月 17 日 4 時(UTC)之歷史資料預報模擬圖，圖中紅色直線即為直線對流胞外延預報結果，三圈紅圈範圍即為以上述資料集沿著外延預報所繪製出第 10、30、60 分鐘之預報誤差範圍以及圓圈彼此之切線；黑線為過去 1 小時之觀測資料；藍點為對流胞初始位置；綠色虛線為時間之後之對流胞中心觀測資料。簡單來說，若是未來觀測資料(綠色)有位於紅色範圍內則定義為「命中」(Hit)，若是不在紅色範圍內則為「未命中」(Miss)。

以上述定義進行表 3. 1 當中 10 筆個案之 POD 計算，結果如圖 4. 13 至圖 4. 17 所示。圖 4. 13(a)為 RCWF 之個案 1，此個案為滯留鋒個案，此個案前期 POD 可維持在接近於 0.5，但是在約半小時後 POD 下降至 0.4，之後持續下降，在此個案中主要為前期表現尚可而後期表現不佳，平均移動方向約朝向東北東方向移動，平均移動速度約為 13.15 m/s，移動速度明顯比北部區域 4 年來對流移動速度平均值(8.19 m/s)快上不少，推測是因為對流移動快速，造成整體預報能力下降。圖 4. 13(b)為 RCCG 之個案 1，天氣型態主要為受到太平洋高壓籠罩所產生之午後熱對流，同樣呈現了前期較高命中率，而

後隨時間增加命中率下降的趨勢，並且在前半小時內 POD 約在 0.5 之上(命中率高於 50%)，而半小時後 POD 下降低於 0.5；移動速度上約為 5.11 m/s，而南部地區 4 年來對流平均移動速度約為 8.01 m/s，移動速度較慢，整體對流移動形態為朝向北北西方向緩慢移動，推測因為此天氣形態下對流較不易移動，因此前期雖然還在誤差範圍之內，但是後期由於預報上有給予速度，因此預報圖勢必會進行移動，但若是此時對流胞移動速度較慢，即會造成後其預報效果不佳之結果。

圖 4.14 則皆為弱綜觀天氣系統，(a)為 RCWF 之個案 2，(b)為 RCCG 之個案 2，兩者皆類似於 RCCG 之個案 1 弱綜觀天氣系統結果，呈現前期較高而後期較低之趨勢，但是整體 POD 依然約在 0.5 之上，北部對流主要為朝向北北東方向緩慢移動，南部對流主要為朝向西北方向緩慢移動，且南部地區在此個案之中移動速度僅約為 3.97 m/s。

圖 4.15(a)為 RCWF 個案 3，此為受到颱風外圍環流影像響的綜觀天氣系統個案，整體對流移動型態為朝向北北東方向移動，雖然相較於前幾筆個案來說移動方式以及速度十分類似，但是此個案 POD 卻呈現了前期分數低而後期升高之趨勢，不僅是高於 0.5，甚至超過 0.7，推測是因為影響的天氣型態不同，導致對流胞發展型態之不同使得預報結果與前幾筆個案有所差異。圖 4.15(b)為 RCCG 個案 3，此為熱帶性低氣壓之天氣型態，此熱帶性低氣壓大約位於台灣西南沿海，平均對流移動方向約朝向東南方，但是此天氣型態之運動方式主要為旋轉的運動型態，以直線外延的結果來看整體 POD 維持在 0.6 上下。

圖 4.16(a)為 RCWF 個案 4，天氣型態為冷鋒過境台灣，對流平均移動速度較為快速，約 16.98 m/s，主要朝著東北東方向移動，如同上述滯留鋒個案所表現出之 POD 特性，在前期約保持在 0.6 左右且略微上升，但是後期減至 0.5 之下。圖 4.16(b)為 RCCG 個案 4，主要為受到颱風外圍環流影響之縱觀天氣型態，對流胞移動主要以 6.95 m/s 的速度往東北方山區移動，為受到大環境風場影響造成之地形性對流發展之天氣型態，整體 POD 約為 0.6 至 0.7 之間，維持至後期 POD 表現皆在 0.6 之上。

圖 4.17 兩者個案皆是綜觀天氣系統影響，(a)為 RCWF 個案 5，為低壓籠罩於台灣上空，並且受到低壓外圍環流影響平均對流胞移動方向為朝向北方移動，POD 則約為

0.7 左右，至 1 小時後下降略低於 0.6，不過整體 POD 皆在 0.5 之上。圖 4.17(b)為 RCCG 個案 5，主要受到颱風外圍環流影響，對流移動平均方向如同上述個案朝向東北東方向移動，主要為受到環境風場與地形交互作用產生之降水型態，POD 略低於 0.6，但依然保持在 0.5 以上。

綜合上述 10 筆個案，可以發現在大多數個案之中，POD 皆保持在 0.5 之上，亦即命中率大於 50%，甚至有些個案之 POD 大於 0.7。因此得知在這些個案中，若是使用過去資料統計前 70%最大誤差做為預報不確定性之表示，可以得到一定成效。

4.4 對流胞 PTA 改善

由於考量到自然界中對流胞移動方式並不一定為直線移動，因此本研究希望能使用二維移動場進行 PTA 預報，讓進行簡單外延時得以考慮到位置不同造成不同的預報結果。本研究初步測試了以 MAPLE 系統計算得出之 VET 移動場做為二維移動場資訊，將原本單純的直線外延進行取代後再以此結果得到的中心移動軌跡預報以及統計出之對流胞預報誤差資料集進行 POD 校驗，校驗結果如圖 4.18 至圖 4.27 圖 4.22 所示，每張圖之(a)部分綠色虛線為原始以直線外延方法所得到的校驗分數，藍色實線為以 MAPLE 得到之 VET 場進行取代後計算得到之校驗分數(以下簡稱為「MAPLE 結果」)；而(b)部分為挑選出之個案期間在某時間時之 MAPLE VET 移動場結果。

圖 4.18 為 RCWF 之個案 1 之結果，雖然 MAPLE 結果在前期表現較差，但是在後期的表現卻是比起單純以直線外延的結果來得較佳，移動場主要為由西向東之移動方式。圖 4.19(a)為 RCCG 個案 1 之 POD 結果，整體效果都比起單純以直線外延的結果來得有所提升，在此弱綜觀系統的個案上使用 VET 移動場進行取代的 POD 甚至有達 0.8 以上；VET 移動場(圖 4.19(b))呈現自中西部沿海向外緩慢輻散之移動場。

圖 4.20 為 RCWF 個案 2 之結果，此為弱綜觀天氣系統的天氣型態，MAPLE 結果並未有顯著提升，整體移動場主要是向北移動，速度約為 4~5 m/s。圖 4.21 亦為弱綜觀天氣系統之結果，此為 RCCG 之個案 2，與 RCWF 個案 2 一樣，MAPLE 結果並未有顯著提升或下降，其結果類似於直線預報；但 VET 移動場明顯表現出西南沿岸自陸地

輻散出海之移動場特性。

圖 4.22 為 RCWF 個案 3 之結果，此為受到颱風影響而使環境風場為西南風之個案，從 VET 移動場可以看出整體移動主要為西南朝向東北方移動，並且表現出受到地形影響之特性；而在 POD 結果上，前期比起直線外延的方法有所提升，但是後期略為下降，整體 POD 結果依然保持在 0.6 以上。圖 4.23 為 RCCG 之個案 3，此個案受到熱帶性低氣壓影響，從 VET 場即可看出有些為旋轉效果，並且 VET 之旋轉中心位於雲林、彰化沿岸，此種旋轉效果是單純直線外延較不易得到之結果，不過在 POD 分數上(圖 4.23 (a))卻是以 MAPLE 結果表現較差，主要原因是由於 VET 移動場整體速度大約為 2~4 m/s，但是 SCAN 系統在此個案當中得到之平均移動速度為 10.16 m/s，速度上之差距極大，在此推測是因為 MAPLE 結果期移動速度較慢，造成預報表現不佳，而後續會對此個案做進一步分析與探討。

再來是圖 4.24 之結果，此為 RCWF 之個案 4，天氣型態主要受到冷鋒過境北台灣影響，從 SCAN 計算之平均對流移動速度和 VET 移動場皆可看出此系統移動較為快速，並且主要朝向西方移動，以 MAPLE 結果之 POD 表現雖然後期略微上升，但是整體而言還是比起直線外延結果來得較差，此個案在後續也會進一步進行探討。圖 4.25 為 RCCG 之個案 4 之結果，在受到颱風環流影響下，整體移動場主要自西南移向至東北方，並在地形迎風面處產生對流；MAPLE 結果呈現了較於直線外延略佳之成果，在後期也有顯著提升。

圖 4.26 為 RCWF 之個案 5 結果，整體移動場為自南向北之移動，MAPLE 結果所計算之 POD 顯示雖然前期表現不佳，但是後期表現略微上升，整體 POD 約在 0.6~0.7 之間。圖 4.27 為 RCCG 個案 5 之結果，此個案亦為綜觀天氣系統之型態，由於受到颱風環流影響，VET 移動場主要為向東移動之分量，並且此天氣型態在西部地區造成明顯降水，；但是 MAPLE 結果相較於直線外延結果而言其 POD 分數略低，整體趨勢類似，而 VET 速度約為 4~5 m/s，低於 SCAN 之對流胞平均速度 8.46 m/s，初步推測是因為 MAPLE 速度較慢，而使得 POD 分數表現略為不佳。

4.5 進階個案探討

本節將針對上一節所提到之 RCCG 個案 3 以及 RCWF 個案 4 進行討論。首先先針對南部地區(RCCG)之個案 3 進行分析，此個案為熱帶性低氣壓個案，在 MAPLE 之 VET 場結果當中明顯地表現出了其旋轉中心，以 VET 場之能表現出旋轉效果之優勢理論上應該會較於直線外延效果更加，因此後續選擇了 2018/08/23 12:04 (UTC)之對流胞路徑預報模擬結果進行路徑上之討論，如圖 4. 28 所示，圖中紅線為歷史資料 70%預報誤差範圍，紅圈分別為 10、30、60 分鐘之誤差範圍，藍點為對流胞此時之位置，綠線為 1 小時後之實際觀測路徑，黑線為過去 1 小時之實際觀測路徑；圖 4. 28(a)為單純以直線外延之結果，圖 4. 28(b)為以 MAPLE VET 二維移動場資料取代後之結果。移動速度上 VET 場明顯過於緩慢，使得預報效果比起速度較快的 SCAN 直線預報來得差，但是單就綠色之觀測路徑來看，綠色之旋轉中心近乎位於嘉義台南沿岸，對照圖 4.23(b)的 VET 結果顯示出 VET 移動場所計算出旋轉中心位置大致符合實際觀測之位置，但是其速度過於緩慢，造成雖然位置正確，但是速度錯誤之情況，導致 POD 得分相較於直線外延較低之結果；而之所以會造成速度較慢，以 2018/08/23 12:00 (UTC)之 VET 結果為例，計算此時間之 VET 所採用之觀測資料為 11:20、11:40、12:00 之資料(如圖 4. 29)，由於此個案中有較多回波不斷生成於台灣西南部沿岸，因此當計算時之門閾值設為 15 dBZ 時，VET 移動場將會低估實際對流之移速；由於 SCIT 演算法主要偵測之對流回波為較強回波(30 dBZ 以上)，加上日本氣象廳之宮城等人 (2013) 對於降水即時預報之改善中亦有提到在使用雷達回波估計移動向量時，有分別考慮強回波區域以及弱回波區域移動方向之差異，因此在本測試當中嘗試將 MAPLE 設定之對流門閾值進行調整；若將回波門閾值設為 35 dBZ 時，其位於沿岸之 VET 場移動速度也確實有所增加(圖 4.30(a))，而若是進一步使用 35dBZ 之門閾值進行對流胞路徑預報以及 POD 校驗，其結果如圖 4.30(b)所示，可以看出雖然依然低於直線外延之結果，但是其效果增進不少，主要是因為 SCAN 主要追蹤對象為較強對流胞，因此若是將 MAPLE 設定為僅對於強對流胞上進行計算，在大範圍天氣系統上對於強對流將會有較佳掌握；從此測試以可看出對於不同天氣系統

下，不同設定值對於預報結果之影響。

接著討論之個案為北部(RCWF)之個案 4，此個案受到冷鋒影響，圖 4. 31 為挑選 2019/06/13 20:09 (UTC)之路徑預報模擬結果，從圖 4. 31(a)可看出部分預報誤差範圍較大，但是以 MAPLE 結果來說誤差範圍卻較小，使得部分對流胞中心在兩種情況呈現一為命中，一為不命中之情況，主要原因推測為以 SCAN 計算之平均對流胞移動速度上可以得知其值約為 16.98 m/s，而 VET 移動場整體約為 12~14 m/s(圖 4. 24)，然而在本研究當中對於對流胞進行分類時，15 m/s 為其中一種分類門檻，因此在此個案中推測有許多介於分類門檻上下之對流胞移動速度，造成同一對流胞以直線外延和 MAPLE 取代之結果在進行 POD 分數計算時使用了不同速度之校驗門檻，並且從圖 4. 31(b)也可看出使用 MAPLE 計算之 VET 速度較慢，雖然較為接近真實觀測之移動速度，但是角度對於真實觀測依然有些差異，造成即使速度較為正確，但是方向產生偏差，以及加上了校驗時介於門閥值等因素使得 MAPLE 結果計算出之 POD 分數相較於直線外延結果來得低。

第五章 結論與未來展望

5.1 結論

由於劇烈天氣系統之生成往往發生得十分急遽，因此本研究基於快速並且簡單外延之方法以及預先將對流胞路徑預報進行歷史資料統計，希望能夠藉此得出類似於颱風路徑潛勢預報之表示方法，在定量上提供對流胞簡單外延上之不確定性資訊，並且進一步利用 VET 移動場補足了 SCIT 演算法在對流胞初始時無法計算移動向量的缺點。

表 5.1 為針對本研究分析結果進行重點結論整理，從特性分析上來看對流胞在空間分布上較容易位於山區，且台灣北部(五分山雷達站，RCWF)和台灣南部(七股雷達站，RCCG)因為地形上的不同而有明顯的差異，此種差異亦會影響到後續預報上的不確定性；且絕大多數強回波(大於 30 dBZ)之對流胞生命週期幾乎不到 1 個小時，更加顯示出了強降水事件的急遽性；並且在速度分布上，如同上述所題因為受到地形影響，北部更容易偵測到移動速度較快之對流胞，而不論南部以及北部，對流胞在速度以及最大回波上皆分布在一定值之間，但是速度方面之分布相較於最大回波分布較為廣泛，最大回波值則明顯集中於 45~55 dBZ 之區間。統計得到前 70%最大誤差後，也顯示出了台灣南部以及北部在誤差增長方面亦有相異之表現，南部之誤差增長相較於北部來得更快，並且速度越快其增長斜率越大。

在個案分析方面，可以發現到本研究統計出之以歷史資料建構對流胞路徑潛勢預報之方法有一定可行性。並且在加入不同移動資訊，如 MAPLE 移動場後，在一些個案當中可以增加其預報性；但由於個案與個案之間仍然有所差異，亦或是每次個案在強回波的表現有所不同，因此若是皆以同一組 MAPLE 設定進行測試，雖然在某些個案上能有顯著的進步，但是在某些個案上卻僅能獲得少量提升。

由於不同個案特性上的不同，在使用 MAPLE 進行運算時不論是在回波門閥值、觀測資料時間間隔、空間上解析度設定差異皆有可能造成移動場的誤差，因此若是在不同天氣系統上使用不同之參數設定，或許能對於於報能力有進一步提升。

5.2 未來展望

本研究在個案分析上測試了 10 筆不同個案，其中驗證了使用歷史資料進行預報不確定性的表現是可行的；但是由於天氣系統間彼此的不同，仍然需要進行不同天氣系統上的設定進一步增加其預報能力。以下整理出幾點未來可以延續之工作：

- (1) 由於不同天氣型態所造成之回波移動皆會也所不同，本研究為了測試此方法之可行性因此將所有天氣型態皆納入進行考量，並從中發現出有所不同之處，因此後續可以先將天氣型態進行劃分進行更進一步測試，歸納出不同天氣型態下之表現成效表現如何。
- (2) 考量到對流胞為中小尺度之天氣顯現象，因此使用二維移動場進行預報時解析度將會是影響結果的條件之一，或許未來可以嘗試使用更高解析度之移動資訊進行實驗。
- (3) 由於 MAPLE 系統在參數設定上可以對於回波門閾值，甚至是初始猜測之移動向量進行設定，未來可以嘗試以更多不同門閾值甚至是使用 SCAN 提供之向量進行 MAPLE 之 VET 計算，以接近更真實之天氣型態表現。
- (4) 在移動場方面，除了 VET 移動場，亦可嘗試使用其他二維移動場資訊進行取代計算，抑或是使用 Chung and Yao (2020)提出的方法，將 VET 移動場加入其他二維向量資訊後再進行對流胞路徑潛勢預報，以得到更加接近於對流胞的運動向量。
- (5) 由於本研究使用的資料皆為 SCIT 演算法所定義之對流胞值心中心位置，因此僅有單點資料進行統計與分析，後續若有辦法取得對流胞二維面積相關資料，或許能夠得到更多不同分析結果。

並且除了上述工作之外，未來或許可以藉由本研究之對流胞特性與誤差統計結果進而衍伸出對流胞移動機率分布等相關資訊(例：氣象局所發展之颱風七級風暴風圈侵襲機率 WSP, Wind Speed Probability, 蔡等人, 2011)。

參考文獻

- 潘俊瑋，鍾高陞，林欣弘，陳台琦，姚奕安，2018：“雷達回波變分追蹤法應用於臺灣複雜地形環境下之可行性評估”，大氣科學，46 卷，1-34。
- 張保亮，林品芳，丘台光，陳嘉榮，2008：“台灣地區午後對流氣候特徵”，中央氣象局天氣分析與預報研討會論文彙編（97 年），171-176。
- 蔡甫甸，2011：“中央氣象局即時預報發展之探討—使用 SCAN 追蹤分析 2011 年新店龍捲風所伴隨之風暴個案”，中央氣象局建國百年天氣分析預報與地震測報研討會論文彙編（100 年），219-224。
- 蔡孝忠，呂國臣，許乃寧，賈愛玫，2011：“蒙地卡羅法在颱風侵襲機率估計的應用”，大氣科學，39 卷，269-288。
- 木川誠一郎，2014：“高解像度降水ノウキャストにおける降水の解析・予測技術について”，測候時報，第 81 卷，55-76。
- 宮城仁史，入口武史，佐藤大輔，熊谷小緒里，白石瞬，2013：“解析雨量・降水短時間予報・降水ノウキャストの改善”，平成 24 年度予報技術研修テキスト，氣象庁予報部，108-121。
- Bechini, R. and V. Chandrasekar, 2017: An enhanced optical flow technique for radar nowcasting of precipitation and winds. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **34**(12), 2637-2658.
- Bowler, N. E., C. E. Pierce, and A. W. Seed, 2006: STEPS: A probabilistic precipitation forecasting scheme which merges an extrapolation nowcast with downscaled NWP. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **132**(620), 2127-2155.
- Brovelli, P., S. Sényi, E. Arbogast, P. Cau, S. Cazabat, M. Bouzom, and J. Reynaud, 2005: Nowcasting thunderstorms with Sigoons a significant weather object oriented nowcasting system. *Proceedings of the international symposium on nowcasting and very short range forecasting (WSN05)*, Toulouse, France.
- Chen, T. C., J. D. Tsay, and E. S. Takle, 2016: A Forecast Advisory for Afternoon Thunderstorm Occurrence in the Taipei Basin during Summer Developed from Diagnostic Analysis.

Weather and Forecasting, **31**(2), 531-552.

Chung, K. S., and I. A. Yao, 2020: Improving radar echo Lagrangian extrapolation nowcasting by blending numerical model wind information: Statistical performance of 16 typhoon cases. *Monthly Weather Review*, **148**(3), 1099-1120.

Dixon, M., and G. Wiener, 1993: TITAN: Thunderstorm identification, tracking, analysis, and nowcasting—A radar-based methodology. *Journal of atmospheric and oceanic technology*, **10**(6), 785-797.

Eilts, M. D., J. T. Johnson, E. D. Mitchell, S. Sanger, G. J. Stumpf, A. Witt, K. W. Thomas, K. Hondl, D. Rhue and M. H. Jain, 1996: Severe weather warning decision support system. Preprints, *18th Conf. on Severe Local Storms*, San Francisco, CA, Amer. Meteor. Soc., 536-540.

Foresti, L., I. V. Sideris, L. Panziera, D. Nerini, and U. Germann, 2018: A 10-year radar-based analysis of orographic precipitation growth and decay patterns over the Swiss Alpine region. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **144**(716), 2277-2301.

Golding, B. W., 1998: Nimrod: A system for generating automated very short range forecasts. *Meteorological Applications*, **5**(1), 1-16.

Joe, P., and P. T. May, 2003: Correction of dual PRF velocity errors for operational Doppler weather radars. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **20**(4), 429-442.

Johnson, J. T., P. L. MacKeen, A. Witt, E. D. W. Mitchell, G. J. Stumpf, M. D. Eilts, and K. W. Thomas, 1998: The storm cell identification and tracking algorithm: An enhanced WSR-88D algorithm. *Weather and forecasting*, **13**(2), 263-276.

Lakshmanan, V., T. Smith, G. Stumpf, and K. Hondl, 2007: The warning decision support system—integrated information. *Weather and Forecasting*, **22**(3), 596-612.

Laroche, S. and I. Zawadzki, 1994: A Variational Analysis Method for Retrieval of 3-Dimensional Wind-Field from Single Doppler Radar Data. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **51**(18), 2664-2682

Laroche, S. and I. Zawadzki, 1995: Retrievals of Horizontal Winds from Single-Doppler Clear-Air Data by Methods of Cross-Correlation and Variational Analysis. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **12**(4), 721-738

- Lin, P. F., P. L. Chang, B. J. D. Jou, J. W. Wilson, and R. D. Roberts, 2011: Warm season afternoon thunderstorm characteristics under weak synoptic-scale forcing over Taiwan Island. *Weather and forecasting*, **26**(1), 44-60.
- Morel, C., and S. Senesi, 2002: A climatology of mesoscale convective systems over Europe using satellite infrared imagery. I: Methodology. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **128**(584), 1953-1971.
- Navon, I. M., and D. M. Leger, 1987: Conjugate-Gradient Methods for Large-Scale Minimization in Meteorology. *Monthly Weather Review*, **115**(8), 1479-1502.
- Stumpf, G. J., A. Witt, E. D. Mitchell, P. L. Spencer, J. T. Johnson, M. D. Eilts, K. W. Thomas, D. W. Burgess, 1998: The National Severe Storms Laboratory mesocyclone detection algorithm for the WSR-88D. *Weather and Forecasting*, **13**(2), 304-326.
- Witt, A., M. D. Eilts, G. J. Stumpf, J. T. Johnson, Mitchell, E. D. Mitchell, and K. W. Thomas , 1998: An enhanced hail detection algorithm for the WSR-88D. *Weather and Forecasting*, **13**(2), 286-303.
- Wong, M. C., W. K. Wong, and E. S. Lai, 2006: From SWIRLS to RAPIDS: Nowcast applications development in Hong Kong. *PWS Workshop on Warnings of Real-Time Hazards by Using Nowcasting Technology*, Sydney, Australia, 9-13.

附表

參數設定值列表			
No	參數	大範圍實驗(預設值)	小範圍實驗
1	觀測資料筆數	3	
2	觀測資料時間間隔(分鐘)	30	20
3	雷達觀測資料密度	921×881	300×300
4	雷達觀測資料解析度(°)	0.0125	
5	回波門檻(dBZ)	5	15
6	尺度猜測程序之次數	4	5
7	尺度猜測程序之向量密度	4×4, 12×12, 24×24, 48×48	4×4, 12×12, 24×24, 48×48, 144×144
8	VET 網格密度	720×720	288×288
9	VET 網格解析度(°)	0.1875	0.025

表 2.1 各項參數設定列表。

挑選個案之時間與類型列表(UTC)		
雷達	RCWF	RCCG
個案 1	2017/06/13 18:00~06/14 12:00 滯留鋒	2017/07/08 06:00~13:00 弱綜觀天氣系統(高壓籠罩)
個案 2	2017/07/07 06:00~13:00 弱綜觀天氣系統(高壓籠罩)	2017/07/24 06:00~12:00 弱綜觀天氣系統(高壓籠罩)
個案 3	2018/08/03 05:00~10:00 綜觀天氣系統(颱風環流)	2018/08/23 00:00~08/24 09:00 熱帶性低氣壓
個案 4	2019/06/13 16:00~23:00 冷鋒	2019/07/19 11:00~17:40 綜觀天氣系統(颱風環流)
個案 5	2019/07/02 05:00~12:00 綜觀天氣系統(低壓環流)	2019/08/12 18:00~08/13 06:00 綜觀天氣系統(颱風環流)

表 3.1 校驗時使用之所個案挑選時間以及主要天氣類型列表。

重點結論整理比較表		
區域	北部	南部
對流胞高密度區域	山區	山區
海面資料數量	較多	較少
平均速度	偏快	偏慢
多數對流生命週期	20 分鐘	30 分鐘
速度分布區間	較南部廣	較北部窄
最大回波分布區間	45~55 dBZ	45~55 dBZ
誤差增長	較慢	較快

表 5.1 南北部重點結論整理比較表。

附圖

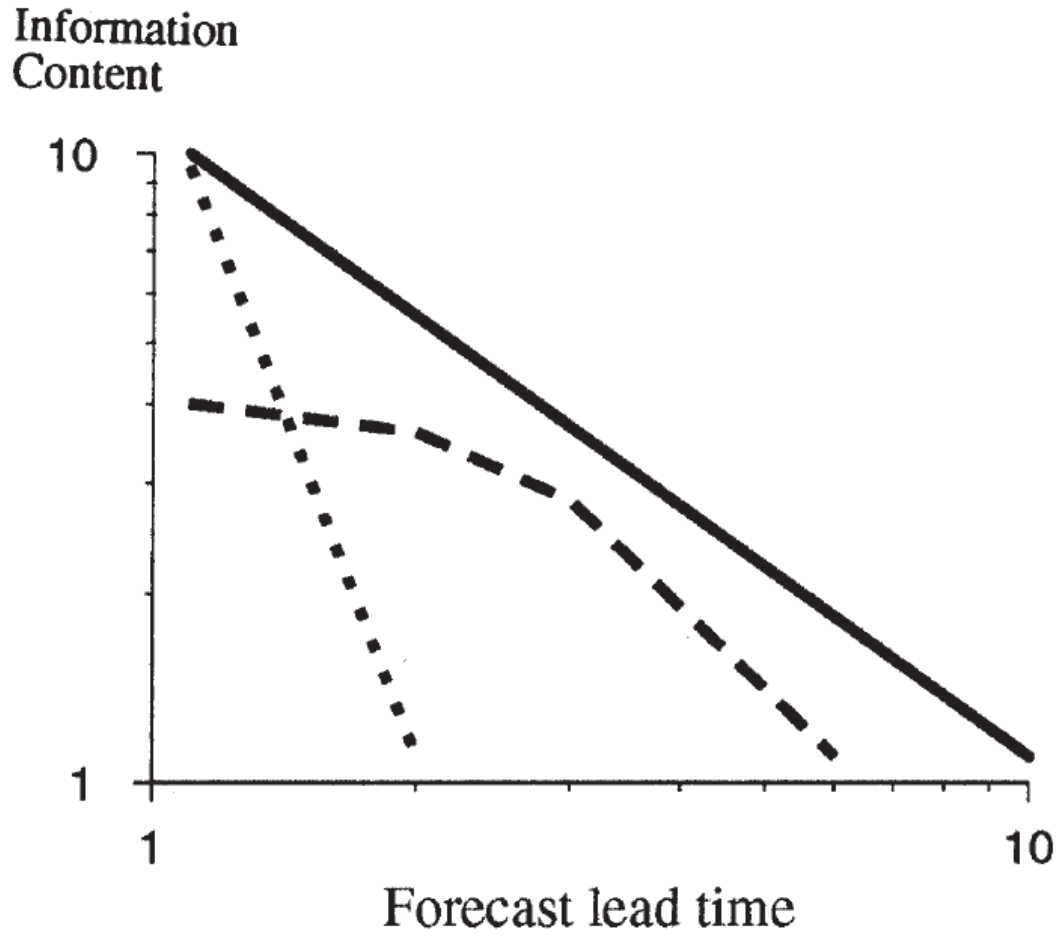


圖 1.1 不同預報方式對於預報時間以及預報資訊缺失情況之概念圖。實線為可預報性的理論極限，條虛線為 NWP，點虛線為 Nowcasting。(摘自 Golding 1998)



圖 2.1 中央氣象局颱風路徑潛勢預報示意圖。(資料來源：中央氣象局)

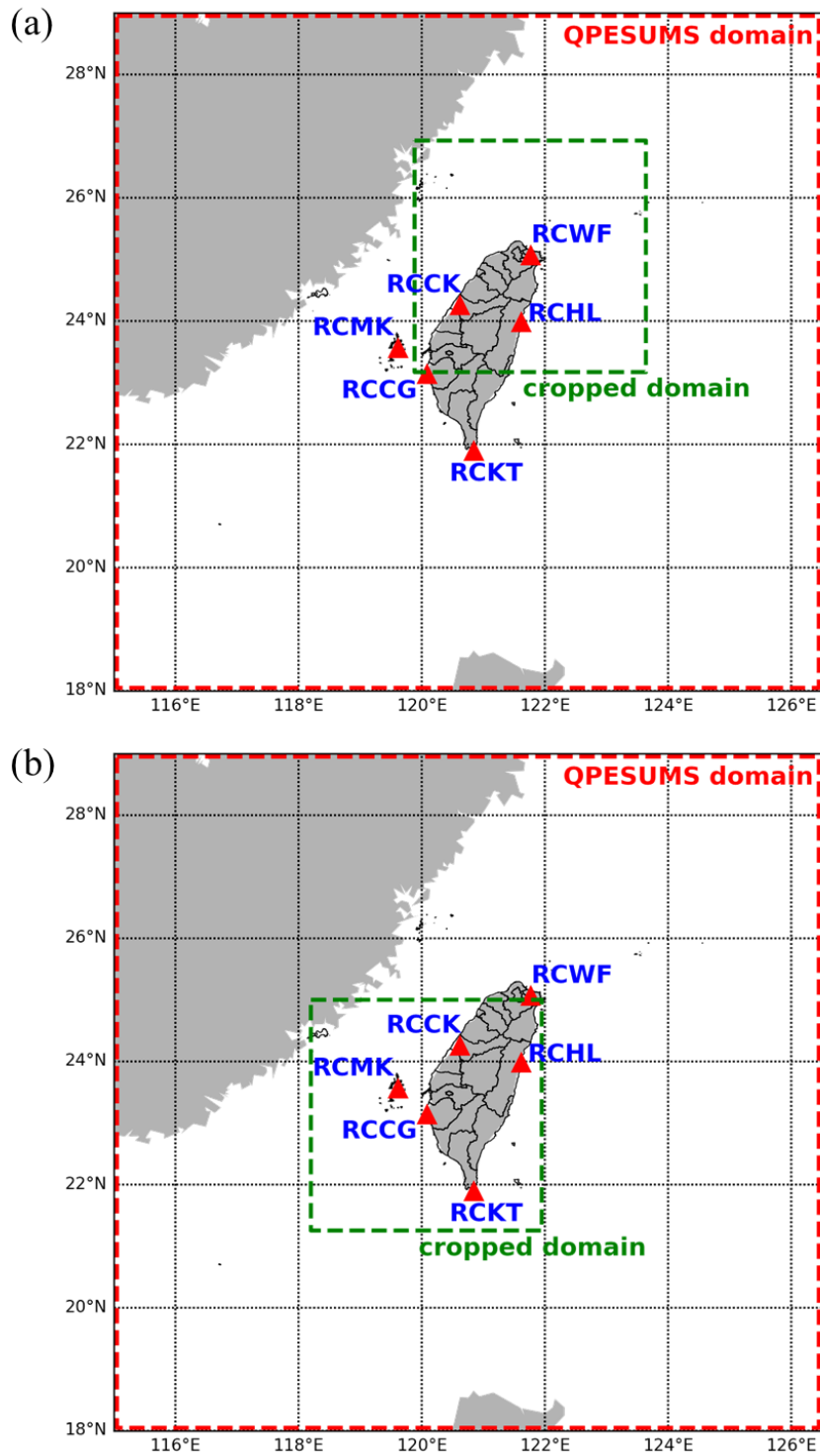


圖 2.2 雷達整合資料所包含之雷達與其資料範圍。紅色虛線雷為達整合資料涵蓋範圍；綠色虛線為分別以 RCWF(a)和 RCCG(b)為中心所選取之小範圍雷達資料示意圖。

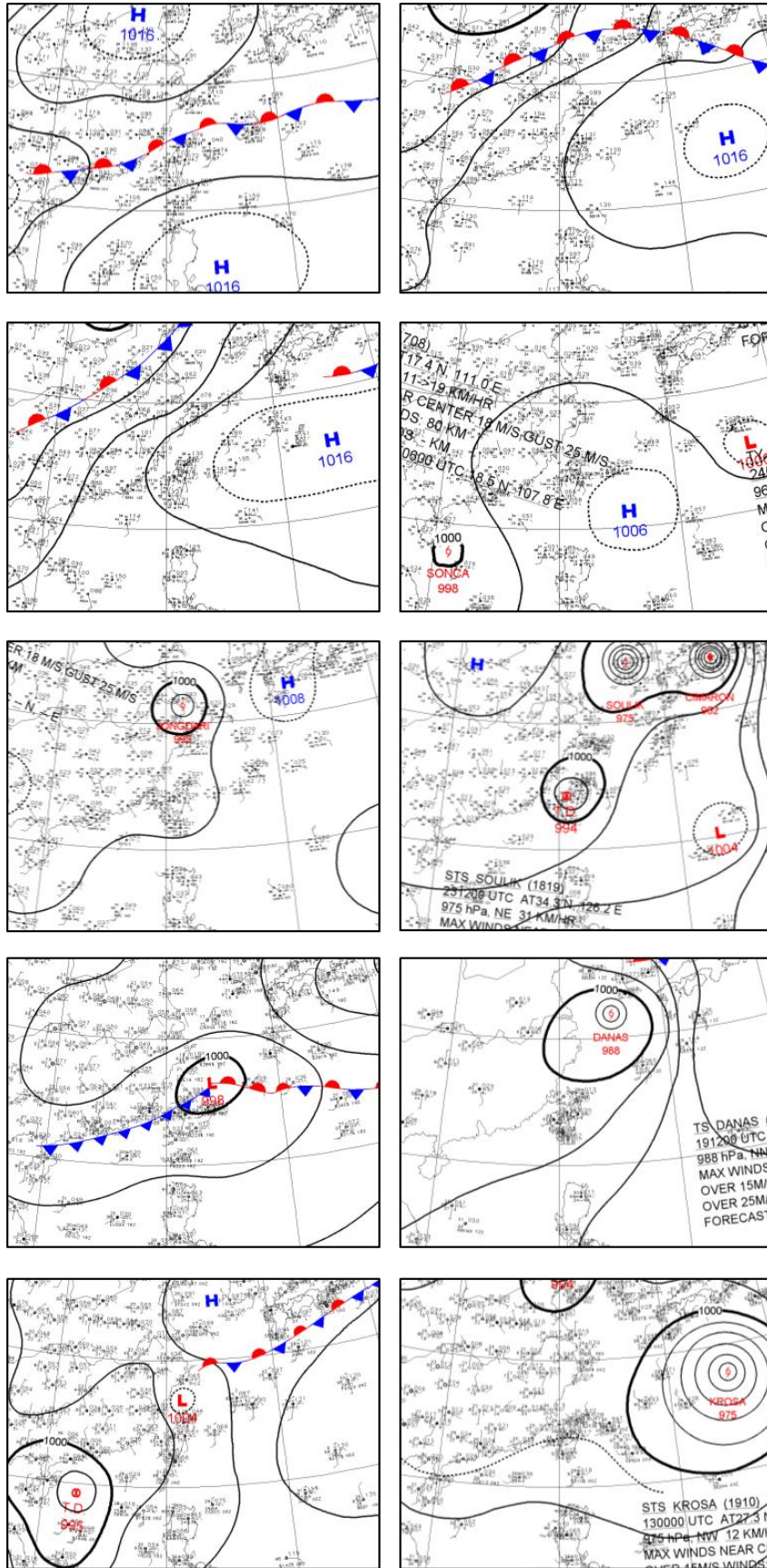


圖 3.1 挑選 10 筆個案之參考天氣圖。(資料來源：中央氣象局)

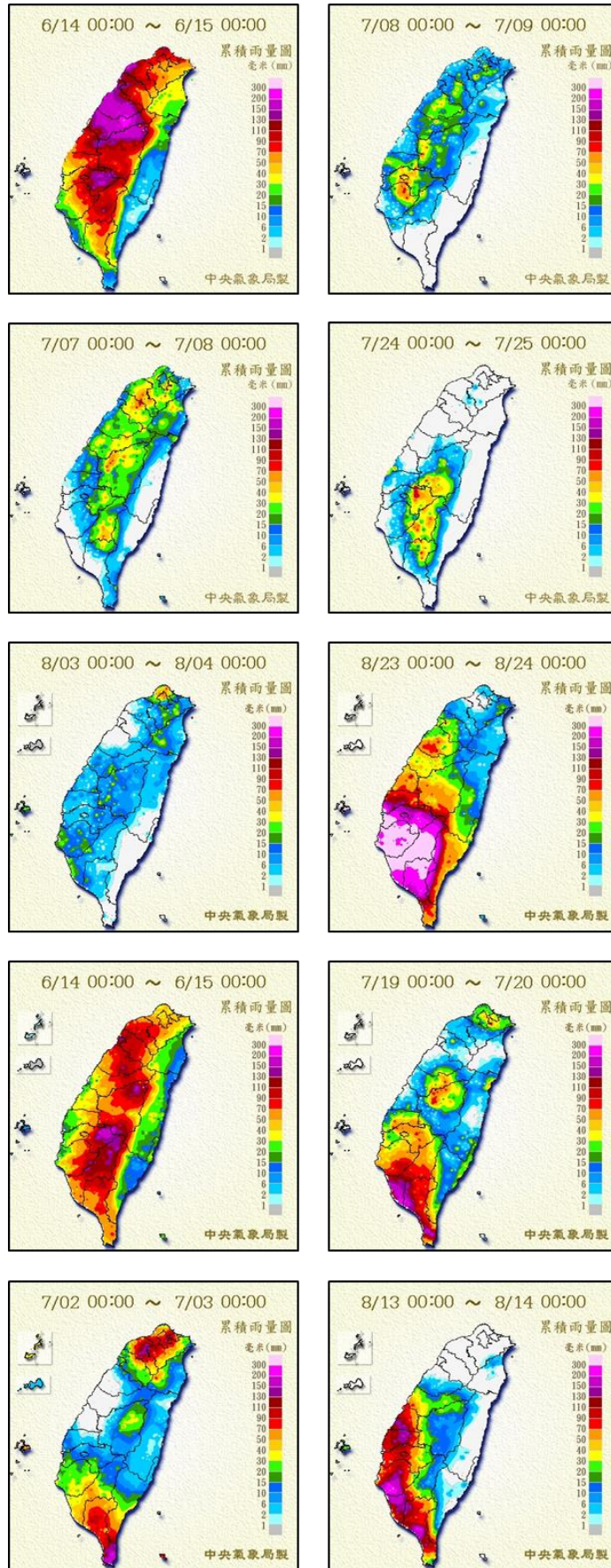
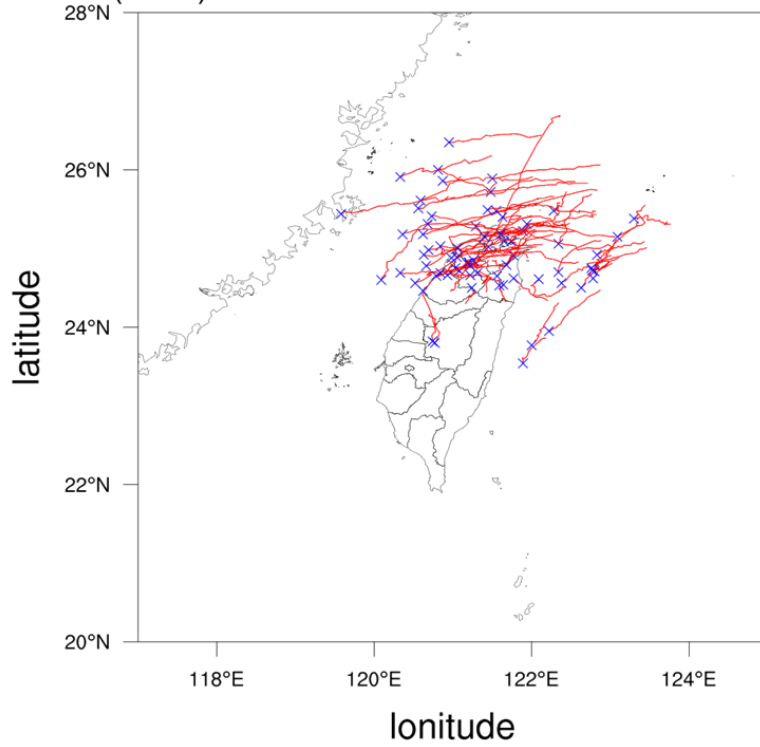


圖 3.2 挑選 10 筆個案之日累積雨量圖參考，時間為 LST。(資料來源：中央氣象局)

(a) RCWF Cell Track n=1369 Dir= 72° Spd=10.32 m/s
Date(UTC): 20170601 21:01 ~ 20170630 09:43



(b) RCCG Cell Track n=2030 Dir= 59° Spd= 9.73 m/s
Date(UTC): 20170601 03:37 ~ 20170630 13:30

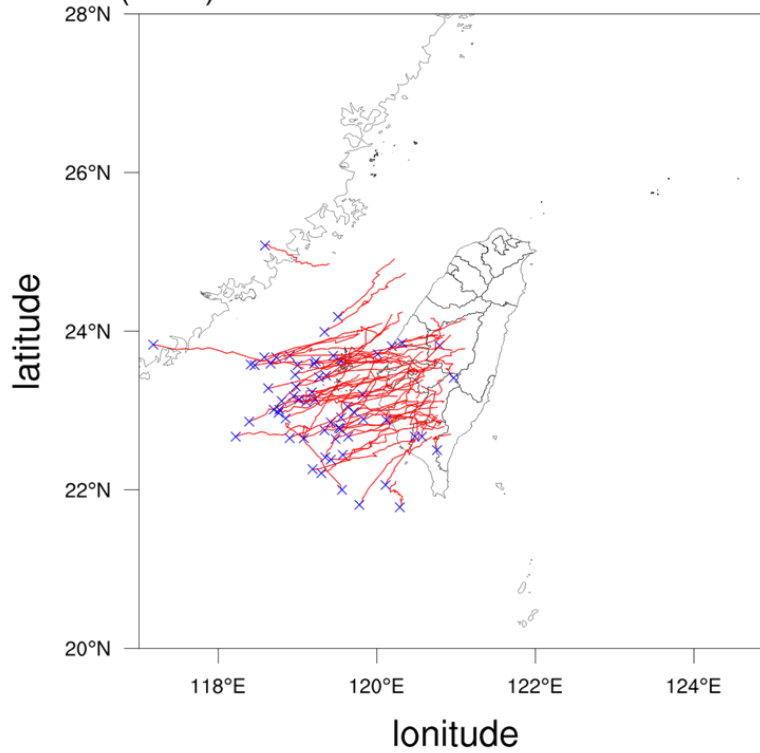


圖 4.1 選出 2017 年 6 月生命週期超過 2 小時之對流胞移動路徑圖，藍色打叉為起點，紅色為移動路徑。(a)為 RCWF，(b)為 RCCG 資料

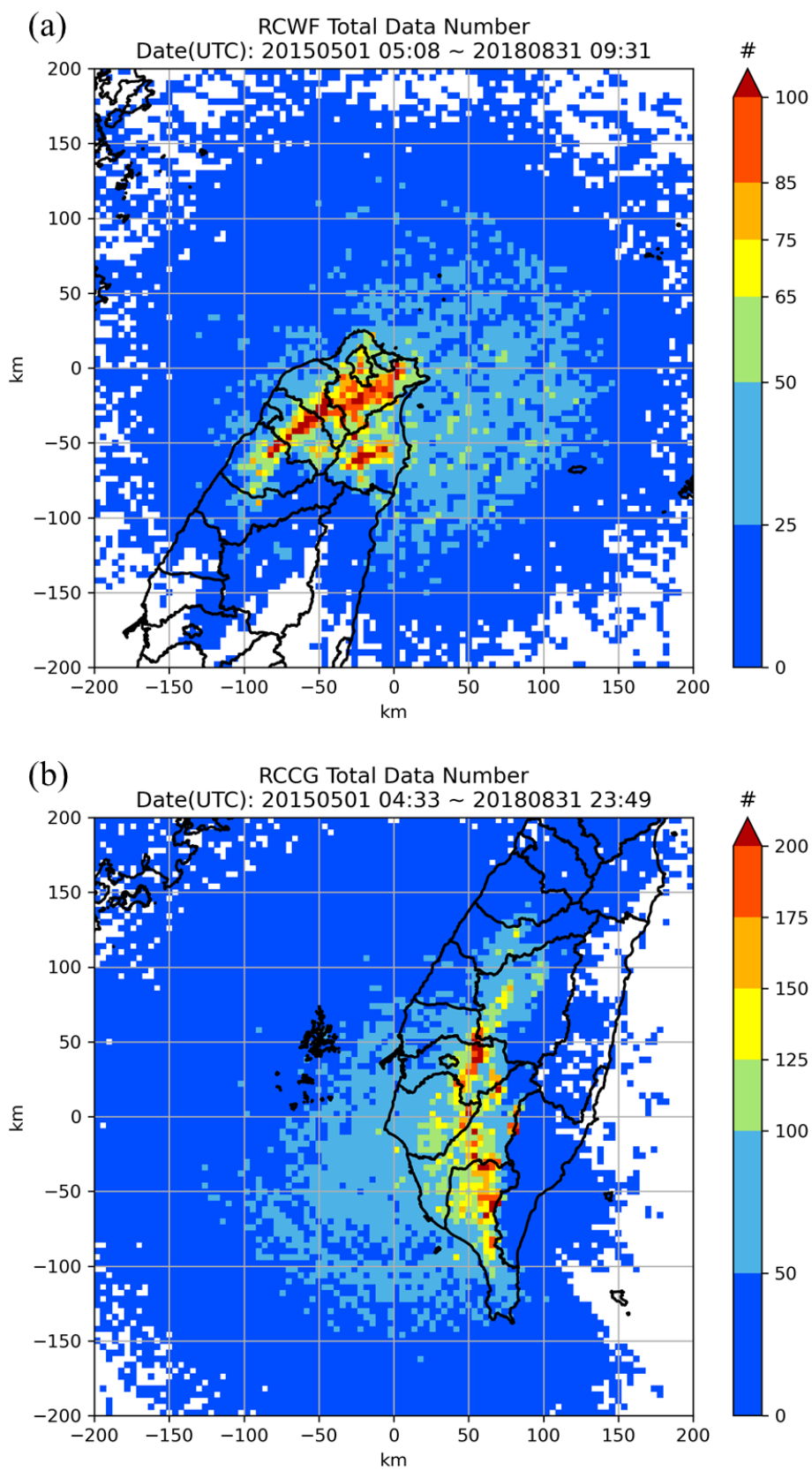


圖 4.2 統計 4 年資料之對流胞分布位置數量。(a)為 RCWF，(b)為 RCCG。

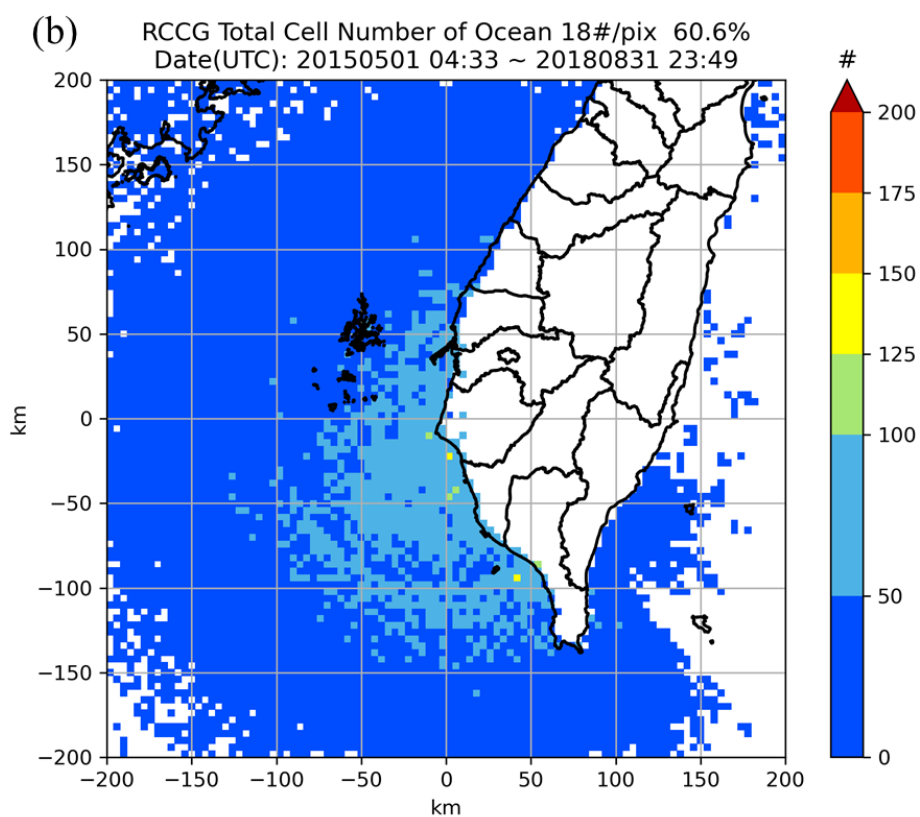
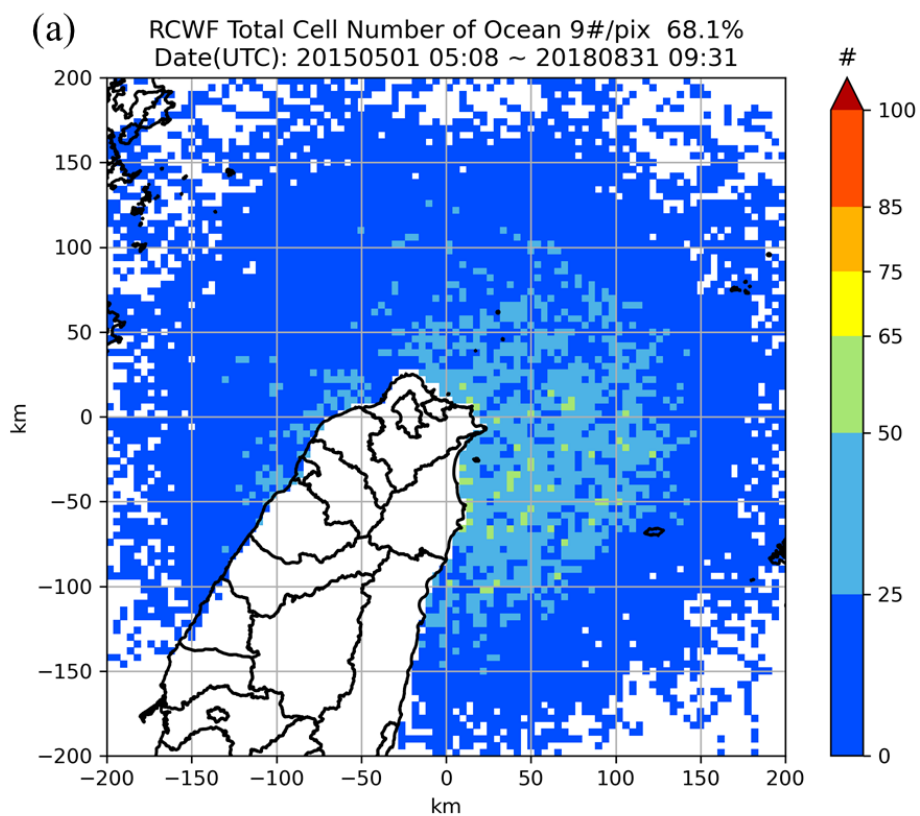


圖 4.3 統計 4 年資料之對流胞海面分布數量以及佔總體資料之比例與資料密度。(a)為 RCWF，(b)為 RCCG。

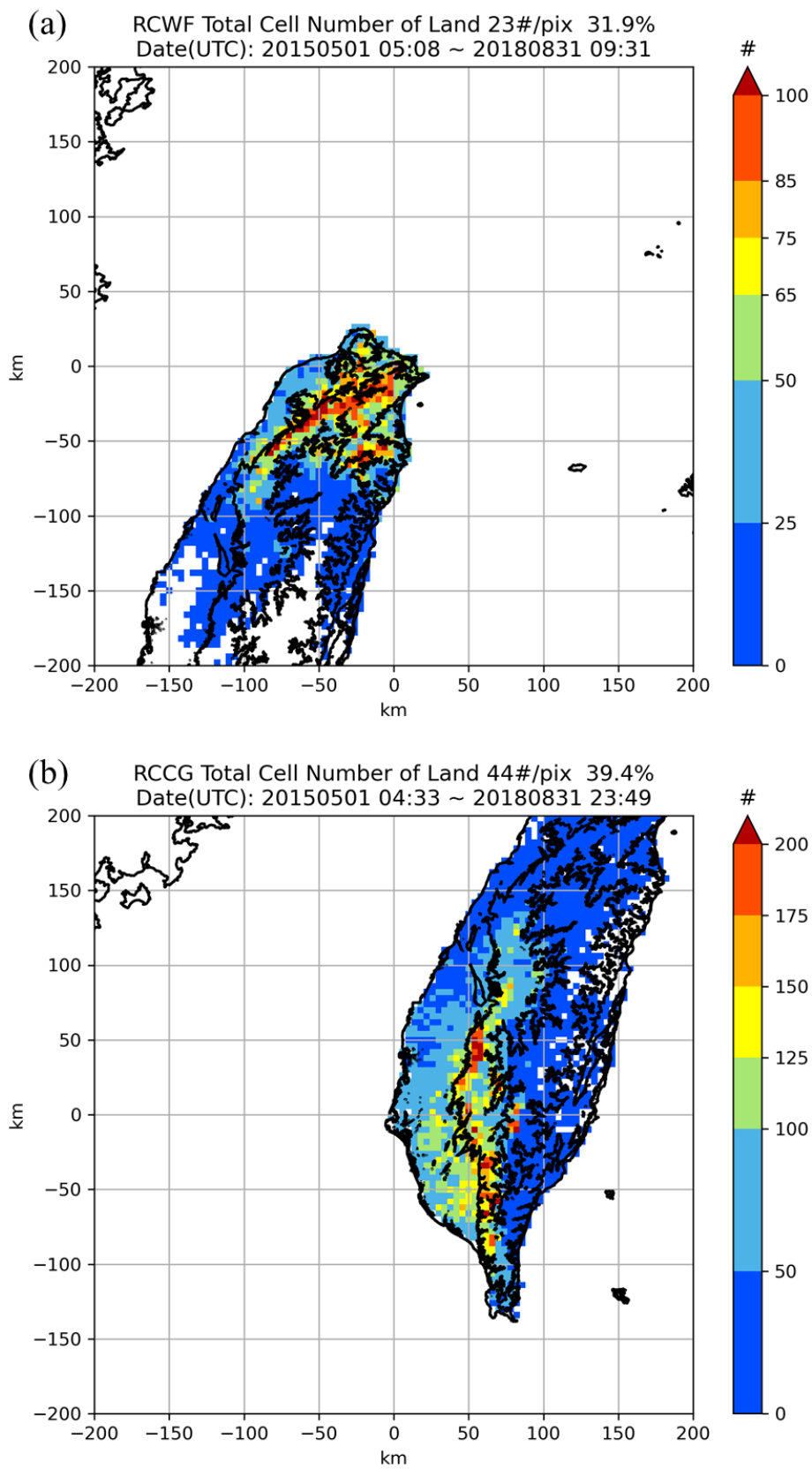


圖 4.4 統計 4 年資料之對流胞陸地分布數量以及佔總體資料之比例與資料密度。(a)為 RCWF，(b)為 RCCG。地形實線分別為 200 m、1500 m 的地形等高線。

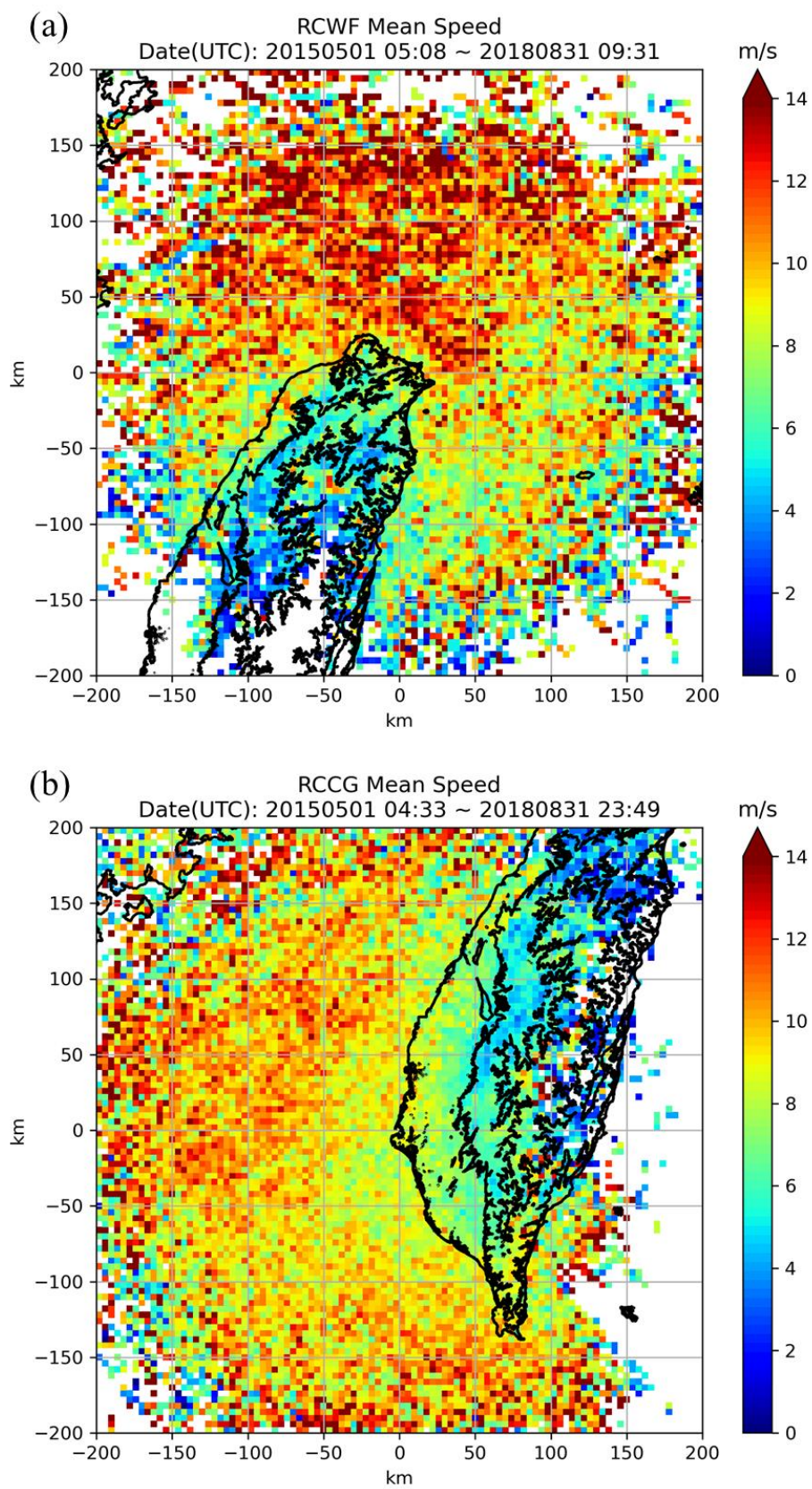


圖 4.5 統計 4 年資料之對流胞平均速度分布。(a)為 RCWF，(b)為 RCCG。地形實線分別為 200 m、1500 m 的地形等高線。

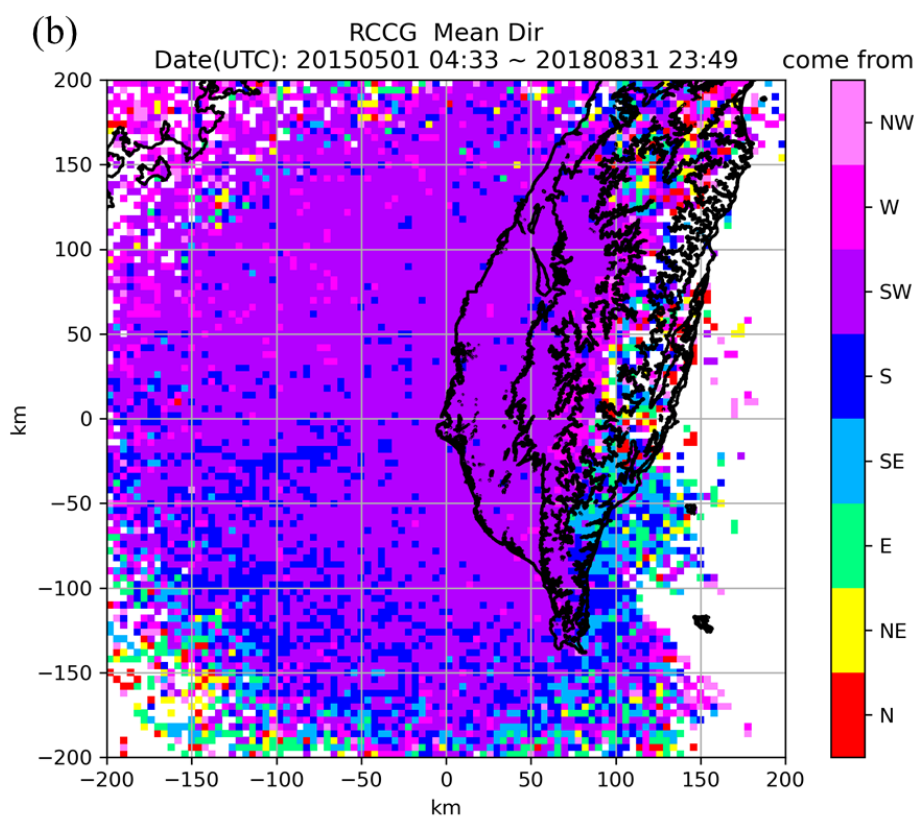
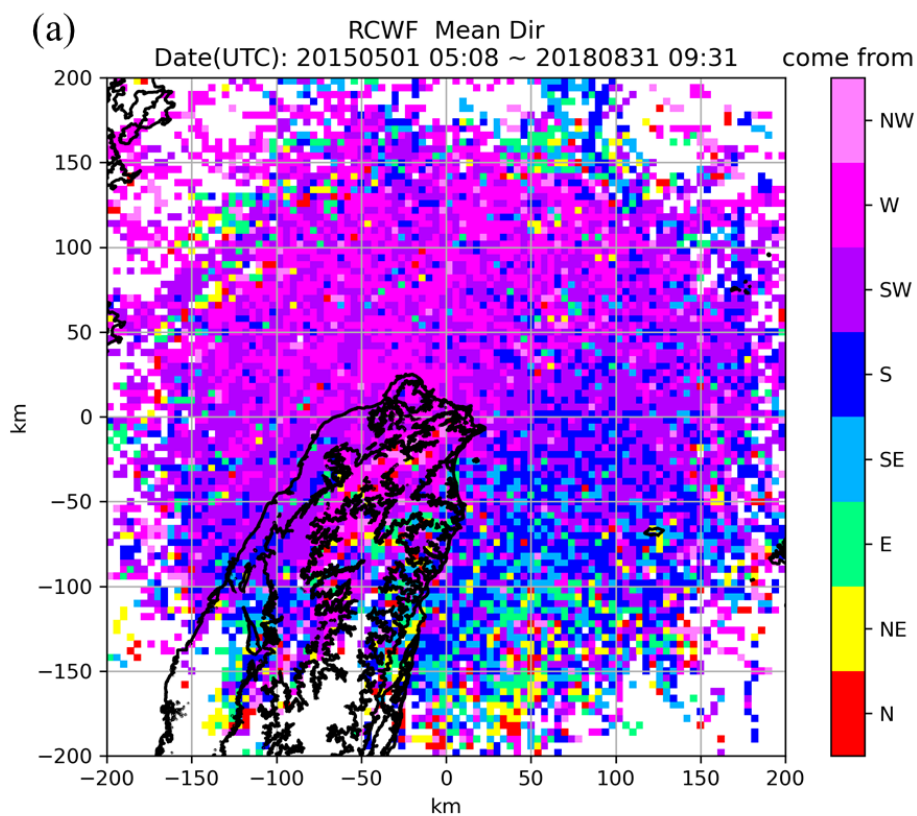


圖 4. 6 統計 4 年資料之對流胞平均移動方向分布。(a)為 RCWF，(b)為 RCCG。地形實線分別為 200 m、1500 m 的地形等高線。

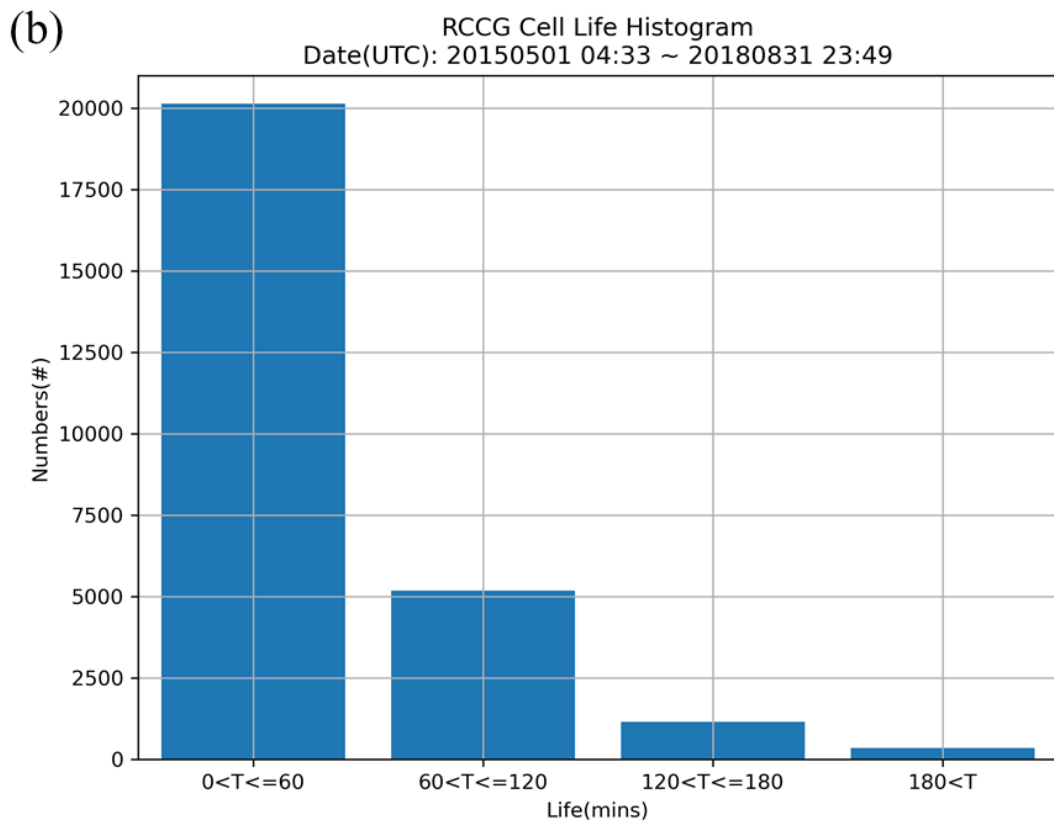
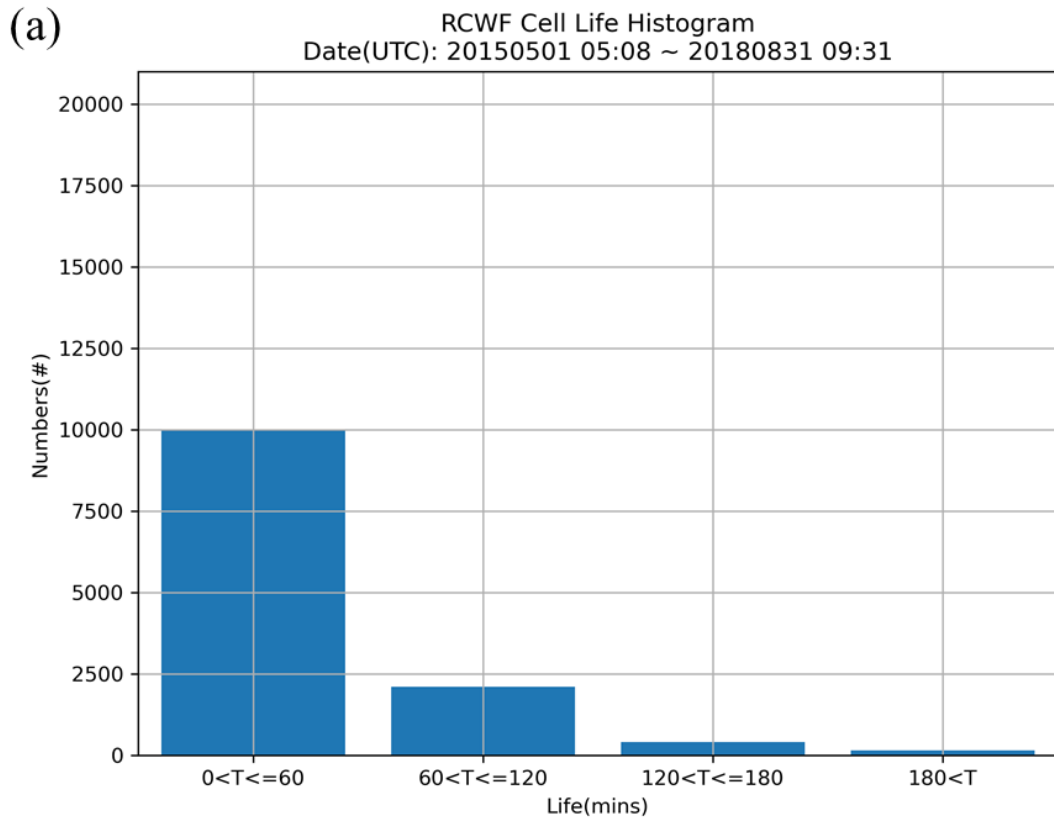


圖 4.7 統計 4 年所有對流胞生命週期長條圖。(a)為 RCWF，(b)為 RCCG。

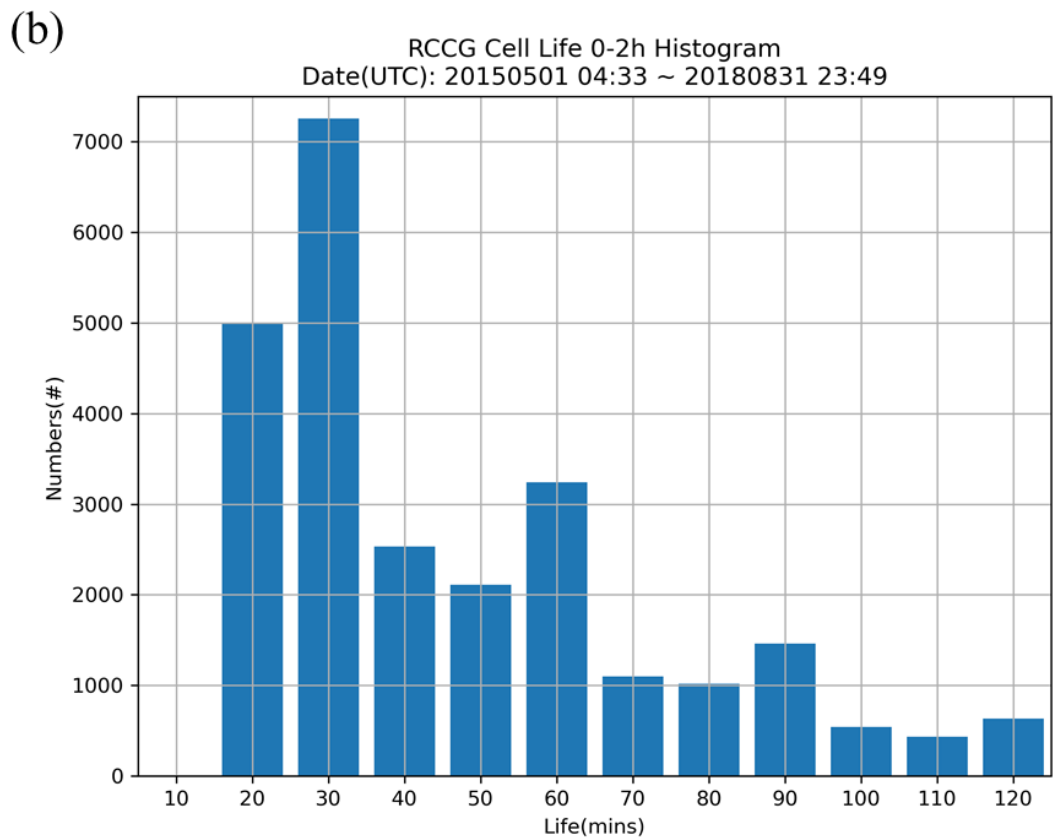
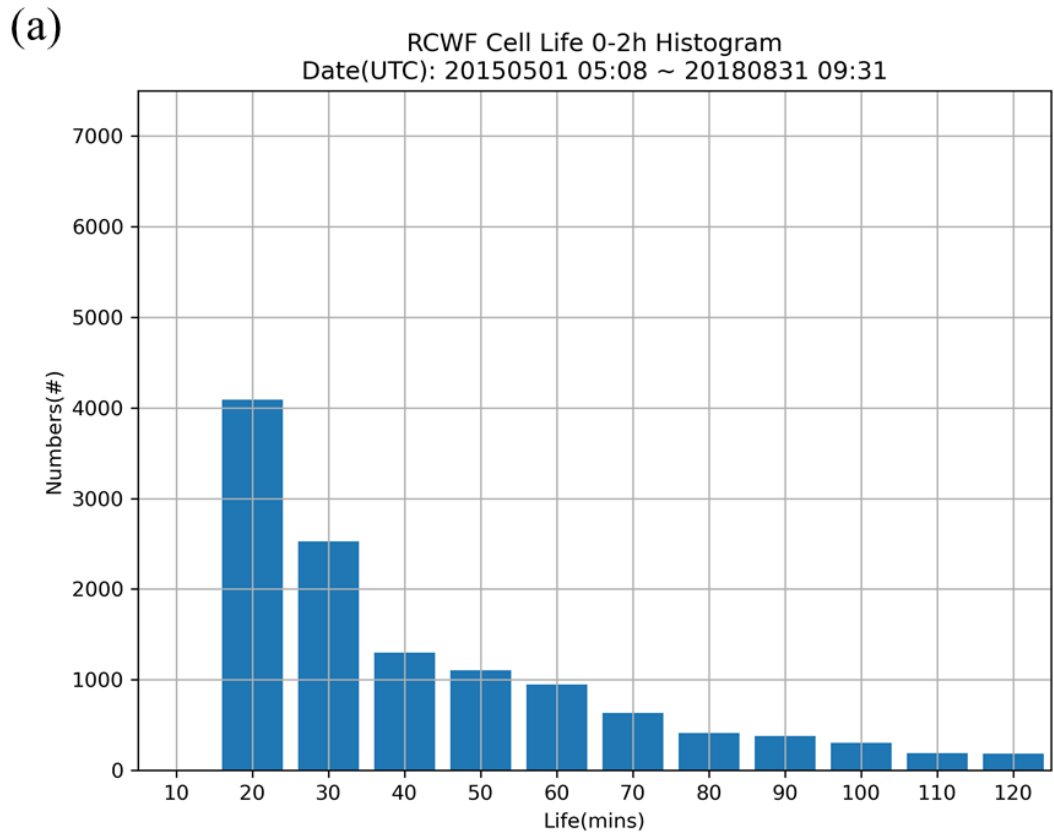


圖 4.8 統計 4 年對流胞 0~2 小時之生命週期長條圖。(a)為 RCWF，(b)為 RCCG。

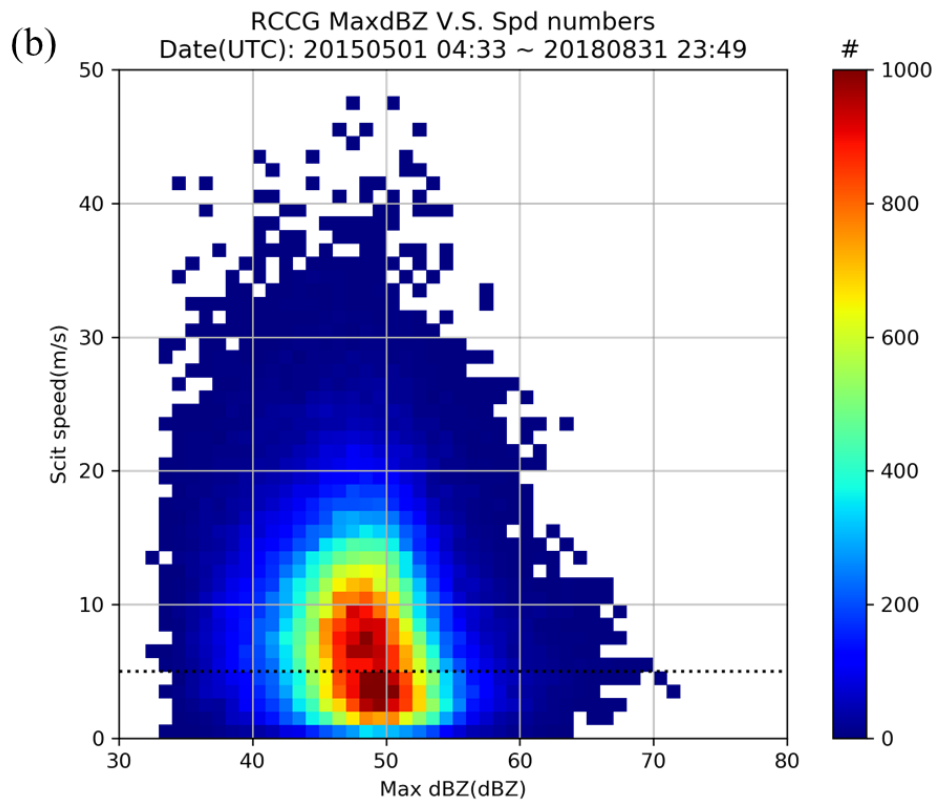
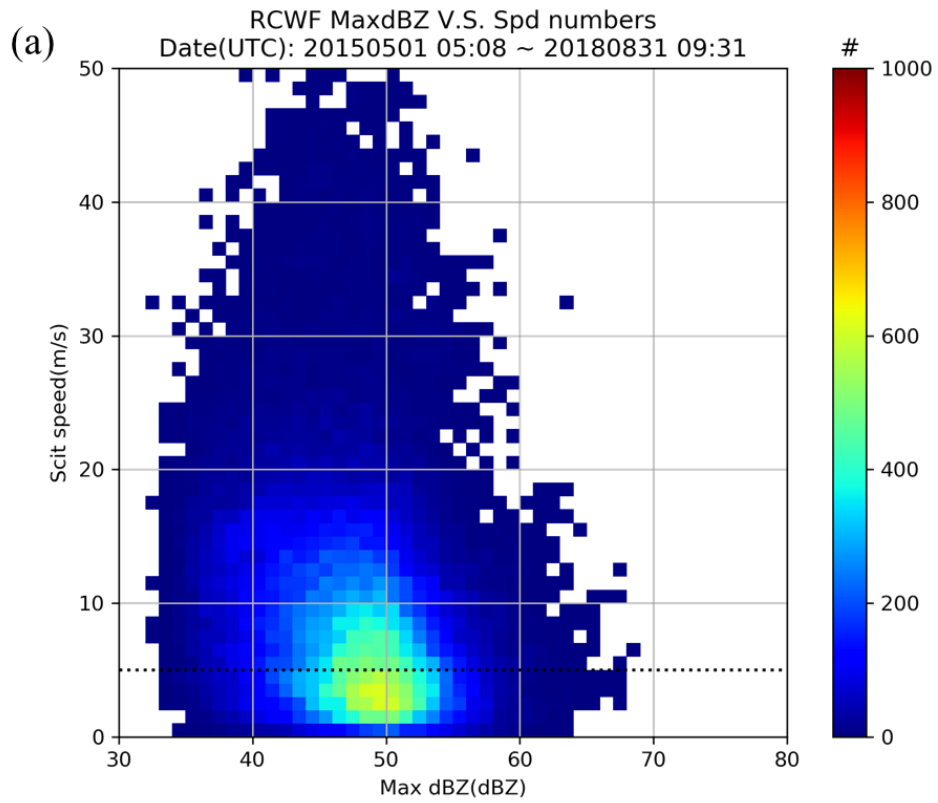


圖 4.9 以最大回波值(x 軸)與速度(y 軸)統計 4 年對流胞之數量(顏色)分布圖。(a)為 RCWF，(b)為 RCCG。

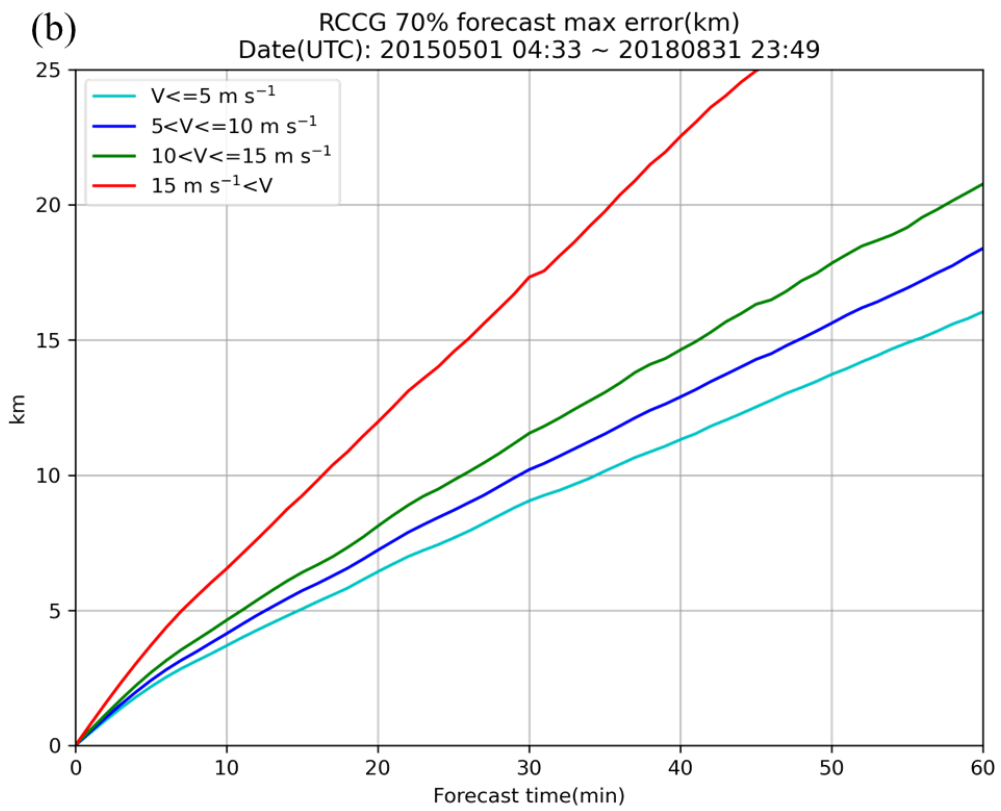
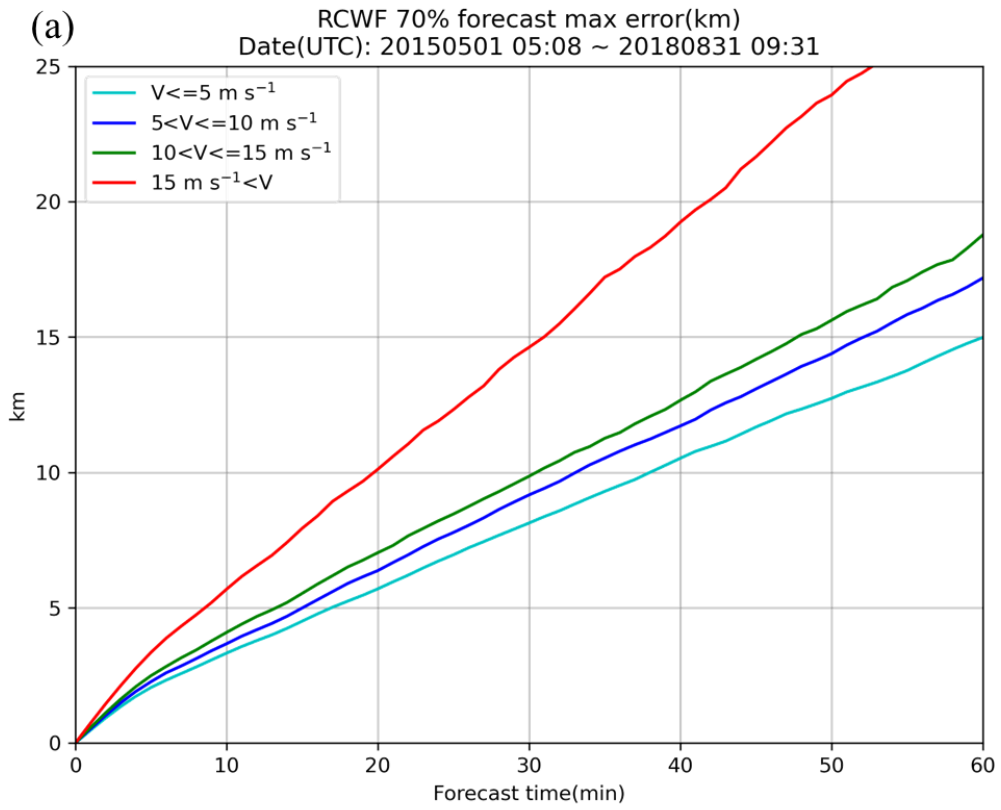


圖 4.10 統計 4 年不同速度對流胞歷史資料之前 70%最大誤差值。(a)為 RCWF(b)為 RCCG。

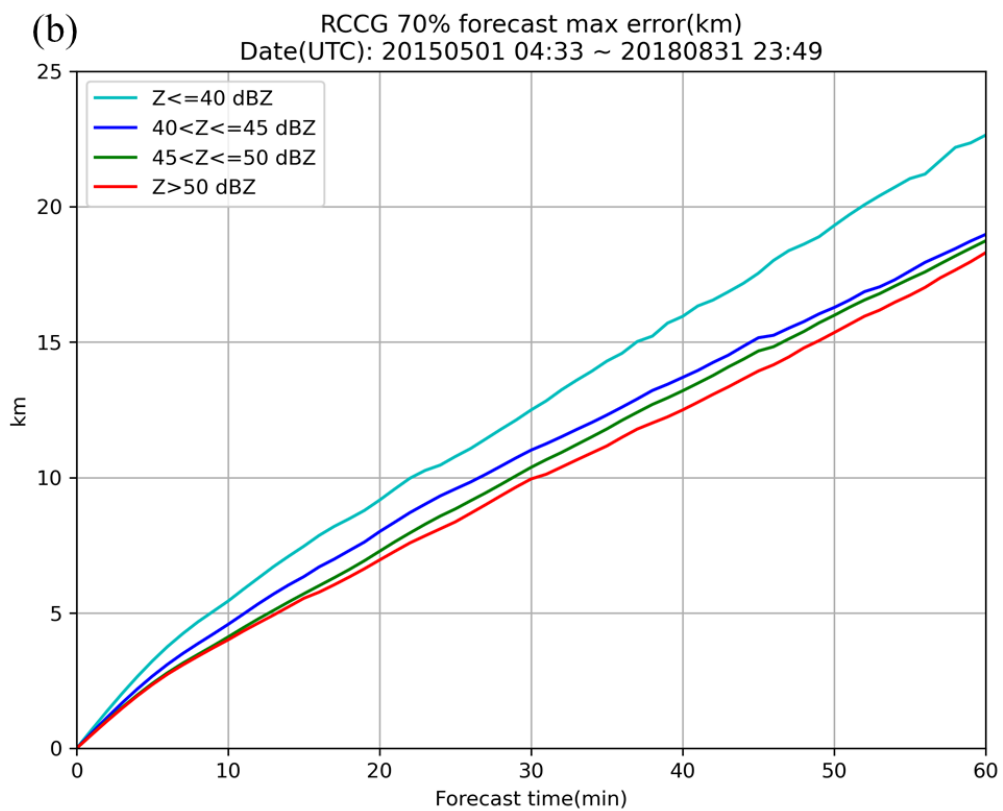
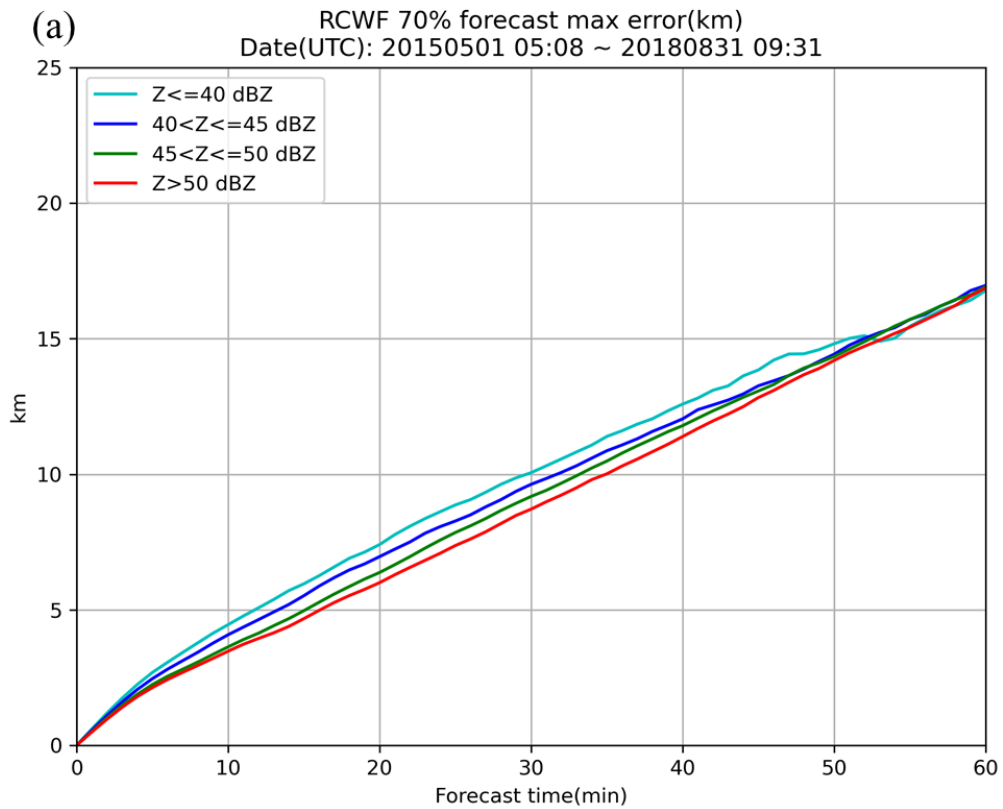


圖 4.11 統計 4 年不同最大回波對流胞歷史資料之前 70%最大誤差值。(a)為 RCWF(b)為 RCCG。

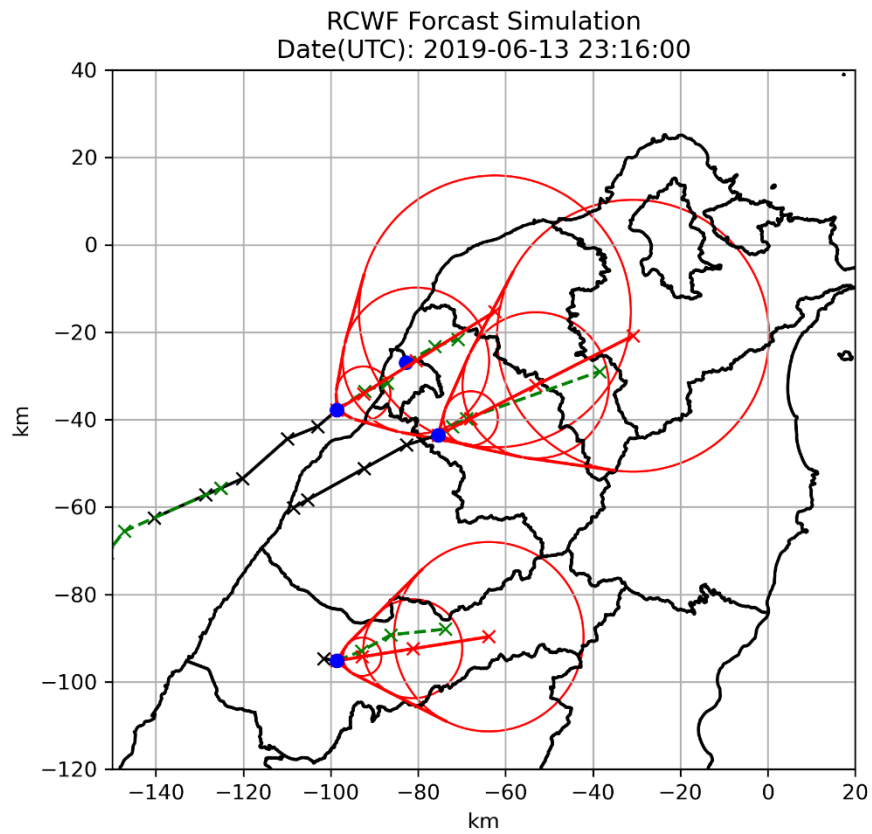
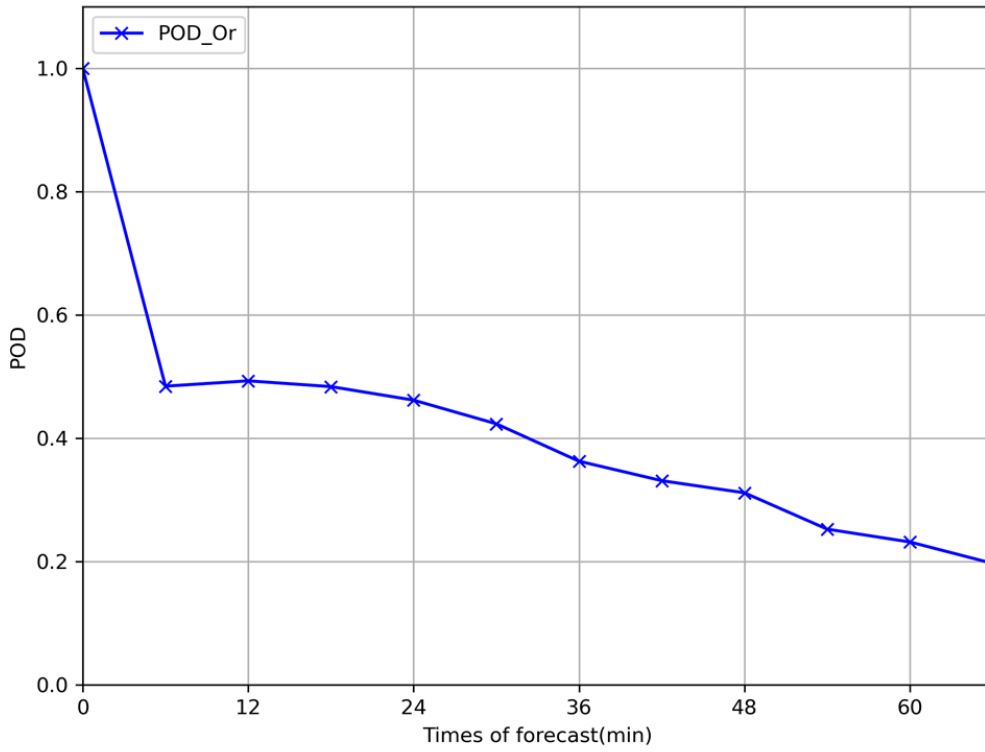


圖 4.12 對流胞路徑潛勢預報示意圖，此為 2019/05/17 04:00(UTC)之歷史資料還原。黑線為過去觀測資料，藍點為初始時間，紅線範圍為預報誤差範圍，綠線為 1 小時候實際觀測範圍。

(a) RCWF Volume Error 70Err n=578 Dir= 88° Spd=13.15 m/s
Date(UTC): 20170613 18:28 ~ 20170614 11:59 Life=25(x1.0)



(b) RCCG Volume Error 70Err n=215 Dir=331° Spd= 5.11 m/s
Date(UTC): 20170708 06:14 ~ 20170708 12:59 Life=18(x1.0)

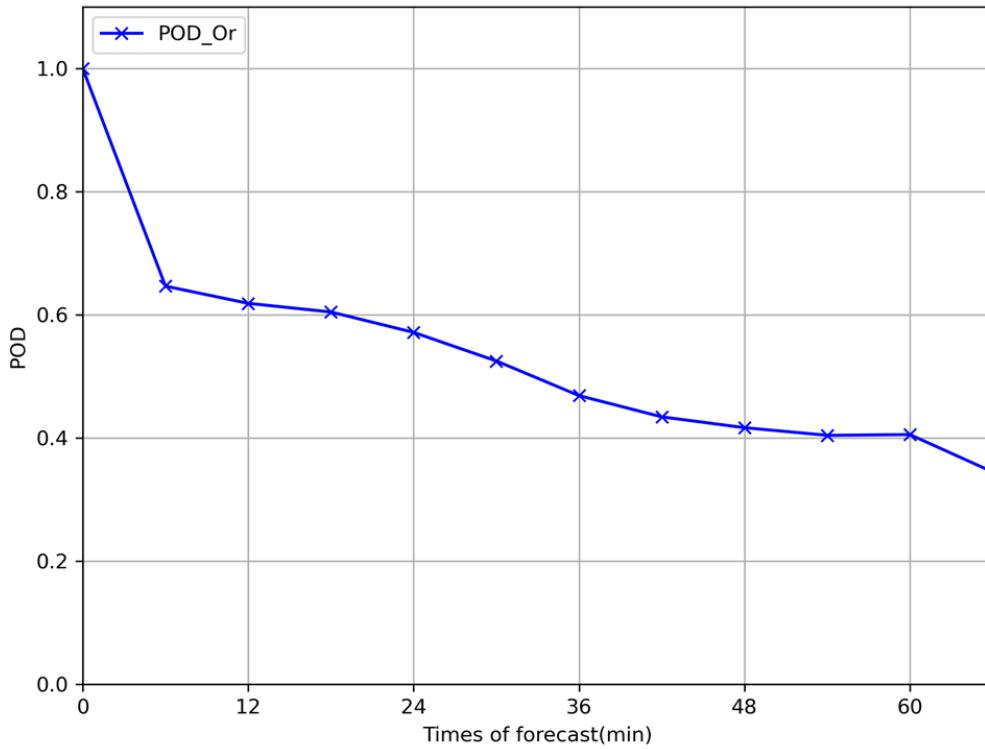


圖 4. 13 RCWF(a)和 RCCG(b)南北兩地之個案 1 結果。

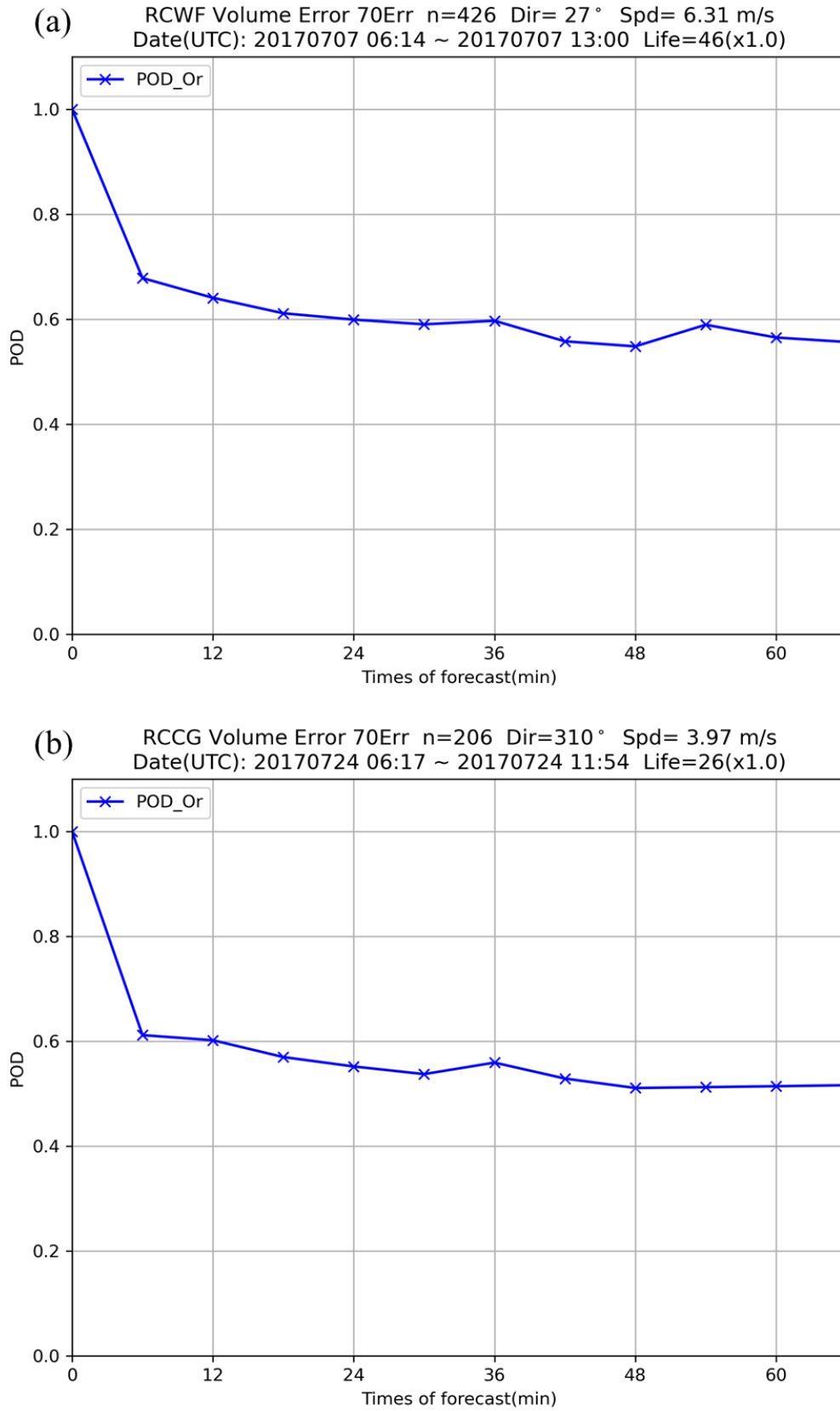


圖 4. 14 RCWF(a)和 RCCG(b)南北兩地之個案 2 結果。

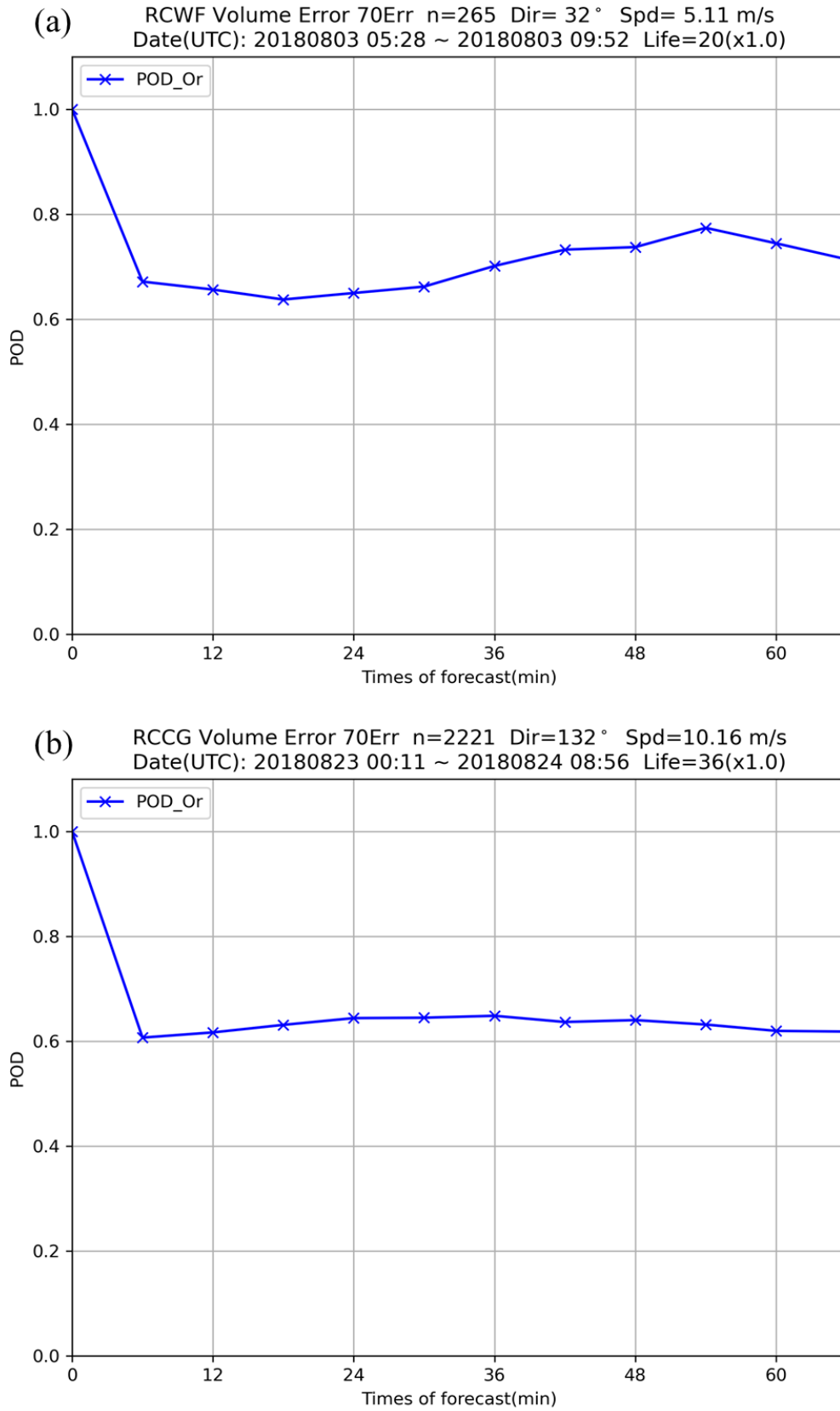


圖 4. 15 RCWF(a)和 RCCG(b)南北兩地之個案 3 結果。

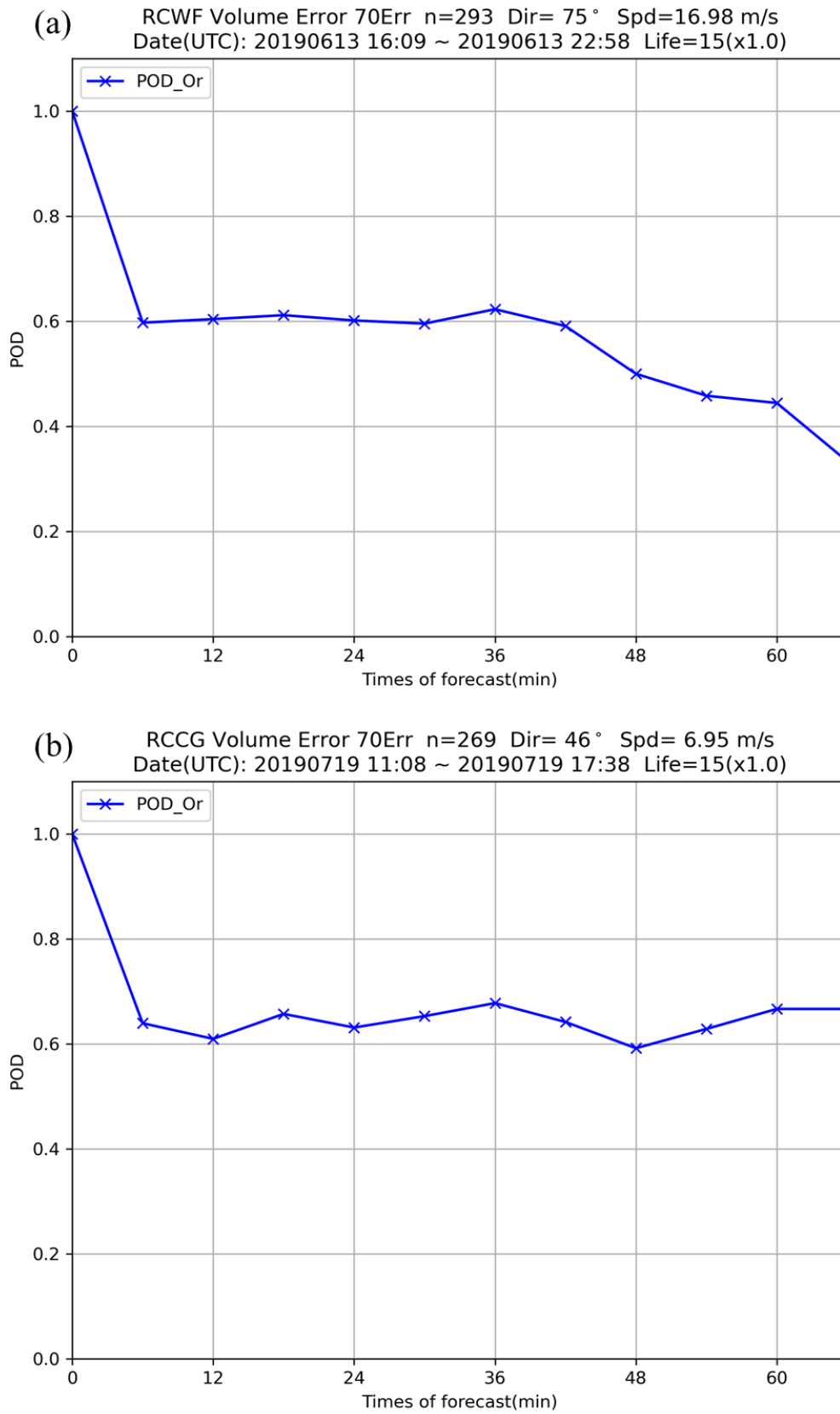


圖 4. 16 RCWF(a)和 RCCG(b)南北兩地之個案 4 結果。

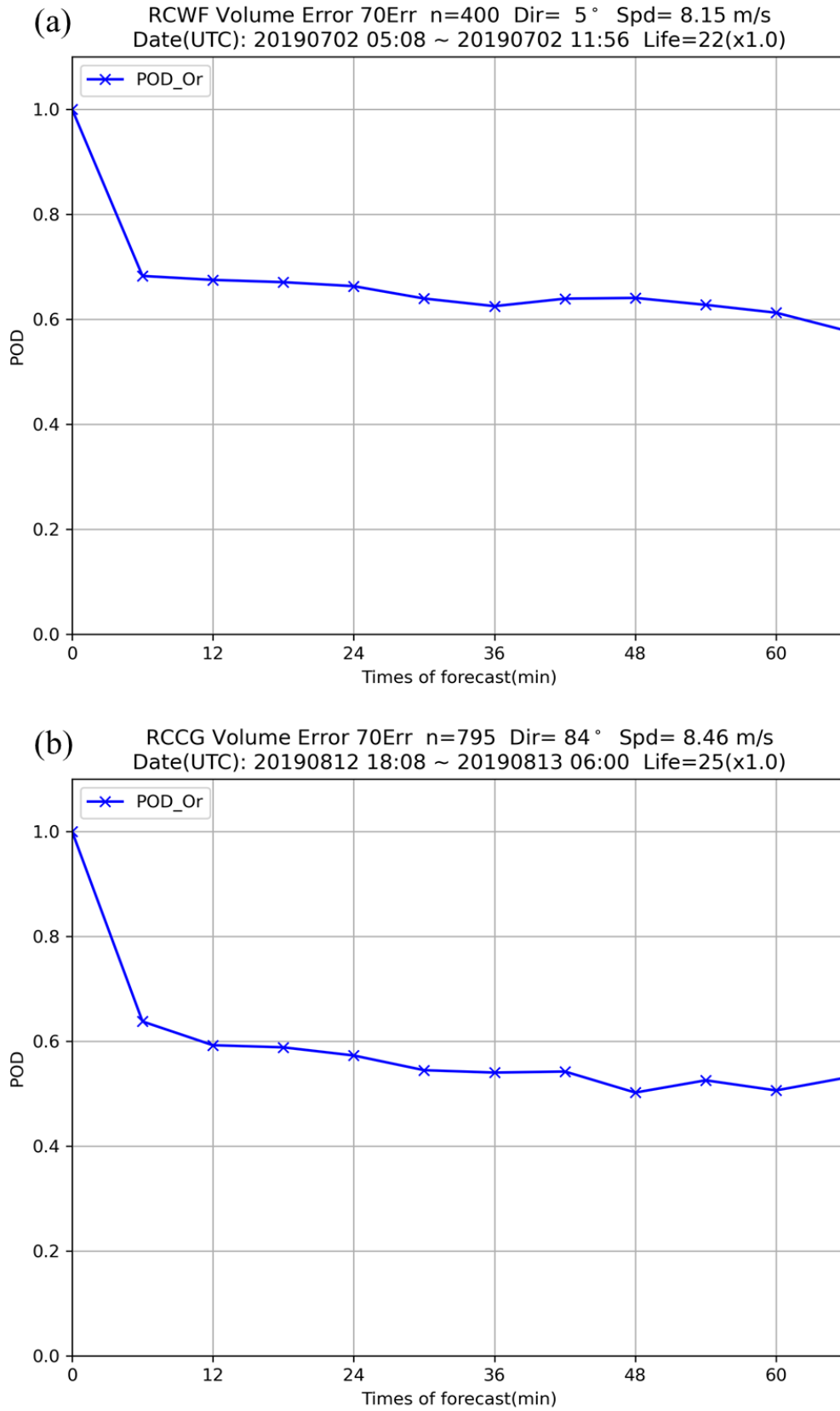
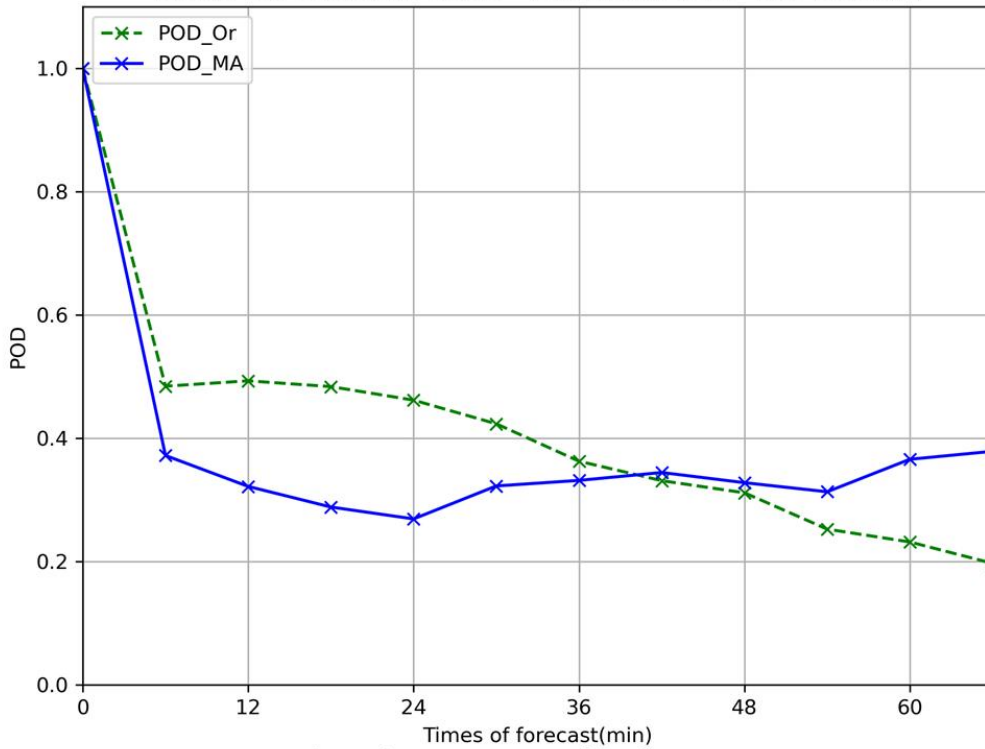


圖 4. 17 RCWF(a)和 RCCG(b)南北兩地之個案 5 結果。

(a) RCWF Volume Error 70Err MAPLE n=578 Dir= 88° Spd=13.15 m/s
Date(UTC): 20170613 18:28 ~ 20170614 11:59 Life=25(x1.0)



(b) VET motion field at 2017/06/14 02:20Z
VET20mins, 144x144(24x24)

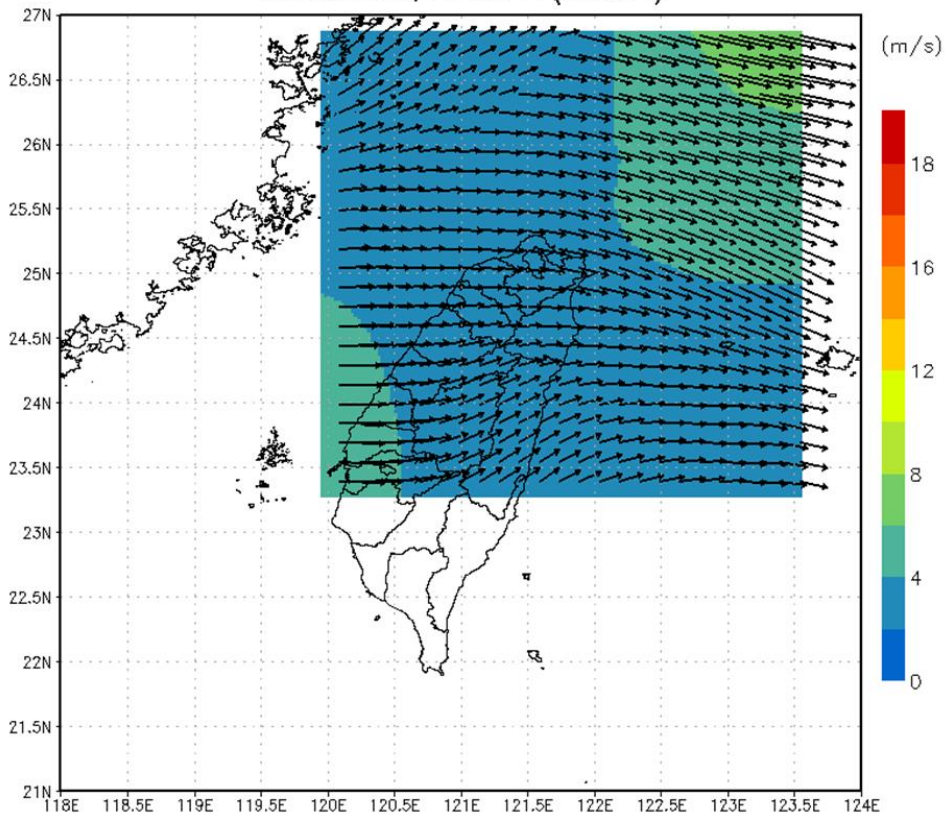
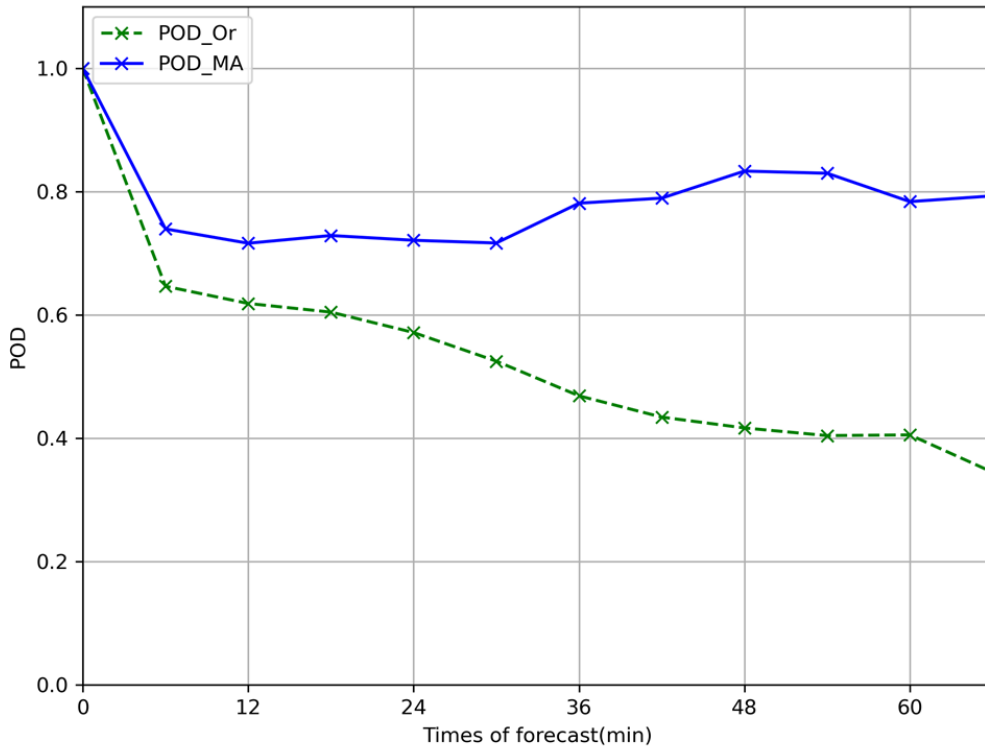


圖 4. 18 (a)北部 RCWF 之個案 1 結合 MAPLE 之結果。藍線為 MAPLE VET 取代結果，綠線為原始直線外延結果。(b)為 MAPLE VET 移動場參考圖。

(a) RCCG Volume Error 70Err MAPLE n=215 Dir=331° Spd= 5.11 m/s
Date(UTC): 20170708 06:14 ~ 20170708 12:59 Life=18(x1.0)



(b) VET motion field at 2017/07/08 09:30Z
VET20mins, 144x144(24x24)

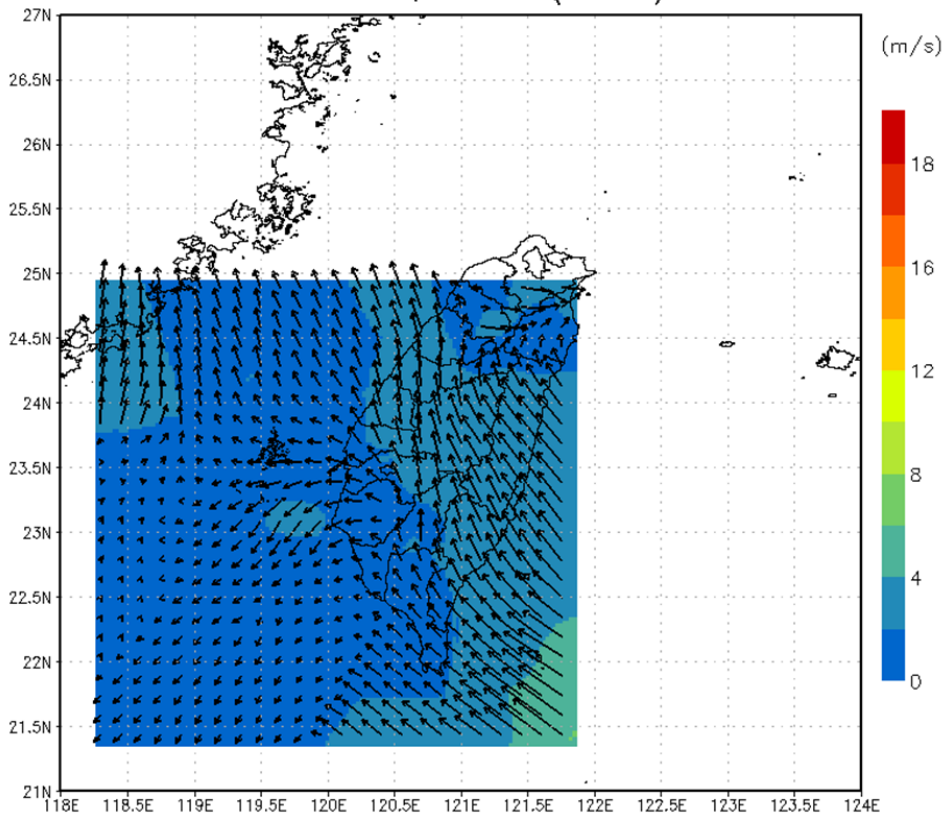
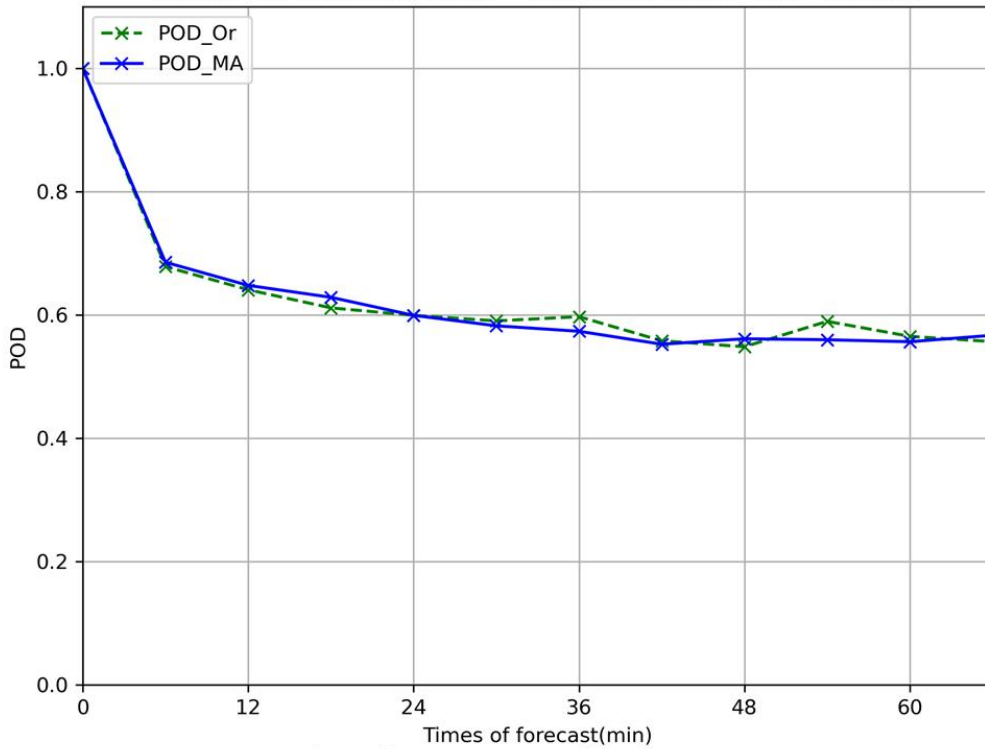


圖 4.19 (a)南部 RCCG 之個案 1 結合 MAPLE 之結果。藍線為 MAPLE VET 取代結果，綠線為原始直線外延結果。(b)為 MAPLE VET 移動場參考圖。

(a) RCWF Volume Error 70Err MAPLE n=426 Dir= 27° Spd= 6.31 m/s
Date(UTC): 20170707 06:14 ~ 20170707 13:00 Life=46(x1.0)



(b) VET motion field at 2017/07/07 09:30Z
VET20mins, 144x144 (24x24)

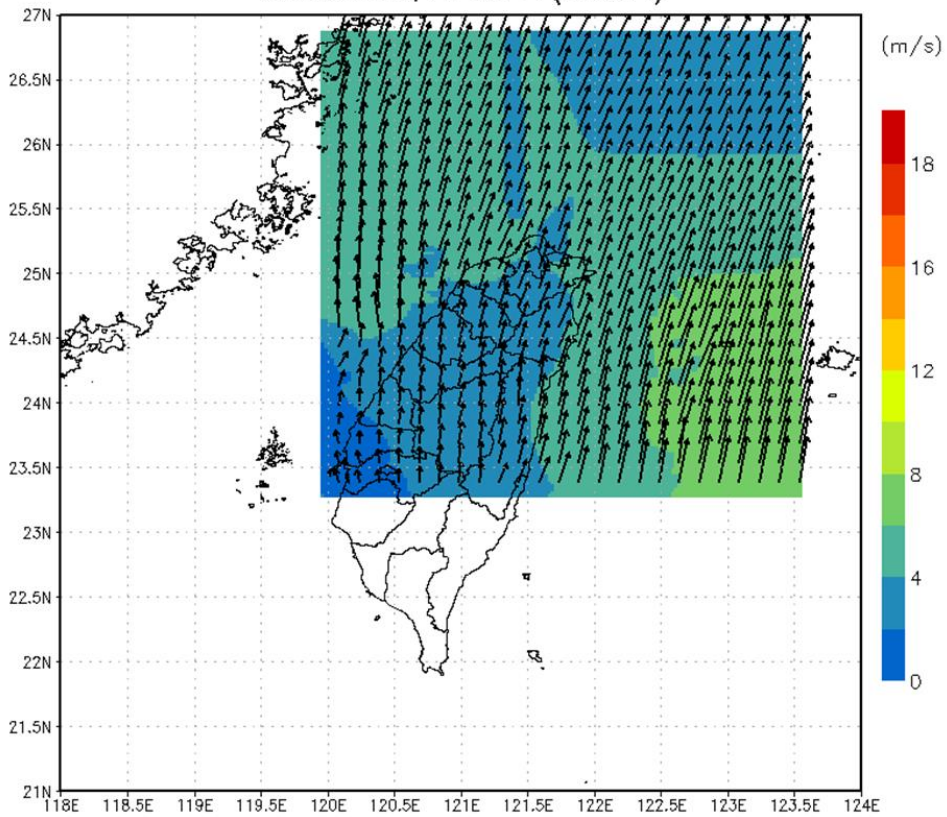
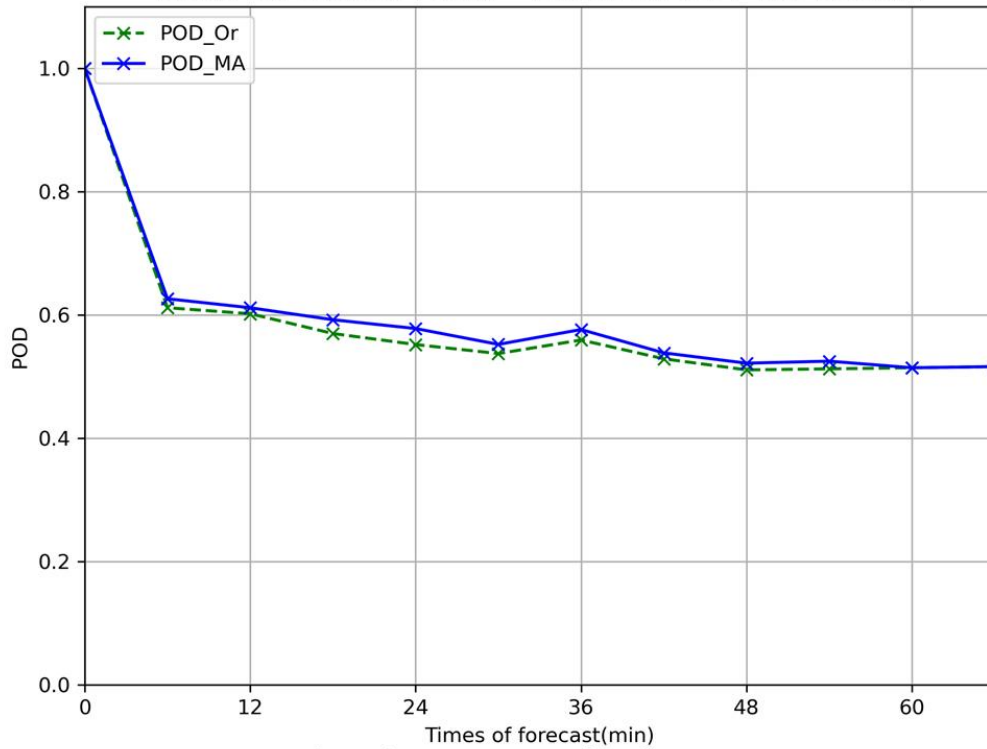


圖 4. 20 (a)北部 RCWF 之個案 2 結合 MAPLE 之結果。藍線為 MAPLE VET 取代結果，綠線為原始直線外延結果。(b)為 MAPLE VET 移動場參考圖。

(a) RCGG Volume Error 70Err MAPLE n=206 Dir=310° Spd= 3.97 m/s
Date(UTC): 20170724 06:17 ~ 20170724 11:54 Life=26(x1.0)



(b) VET motion field at 2017/07/24 10:00Z
VET20mins, 144x144 (24x24)

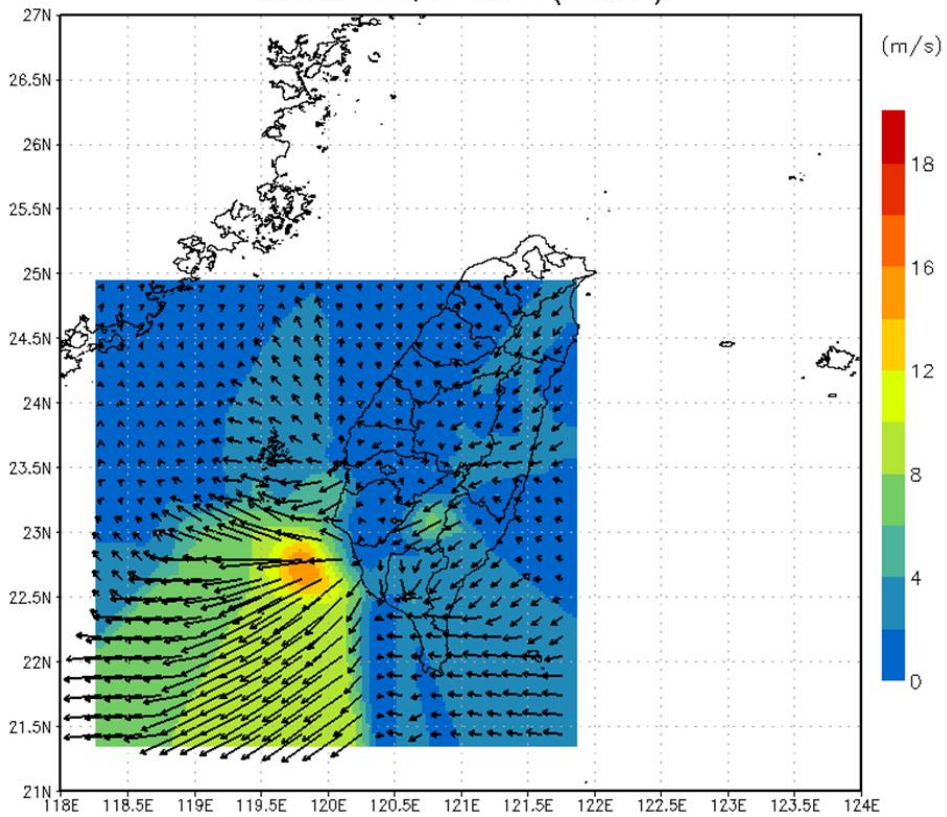
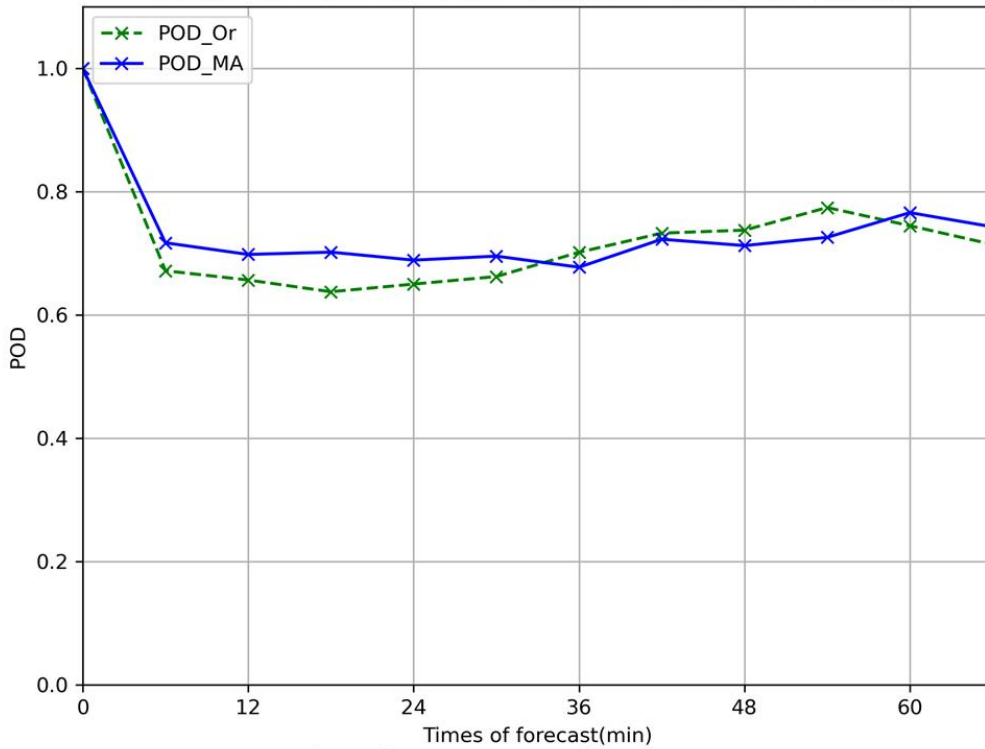


圖 4.21 (a)南部 RCGG 之個案 2 結合 MAPLE 之結果。藍線為 MAPLE VET 取代結果，綠線為原始直線外延結果。(b)為 MAPLE VET 移動場參考圖。

(a) RCWF Volume Error 70Err MAPLE n=265 Dir= 32° Spd= 5.11 m/s
Date(UTC): 20180803 05:28 ~ 20180803 09:52 Life=20(x1.0)



(b) VET motion field at 2018/08/03 07:30Z
VET20mins, 144x144(24x24)

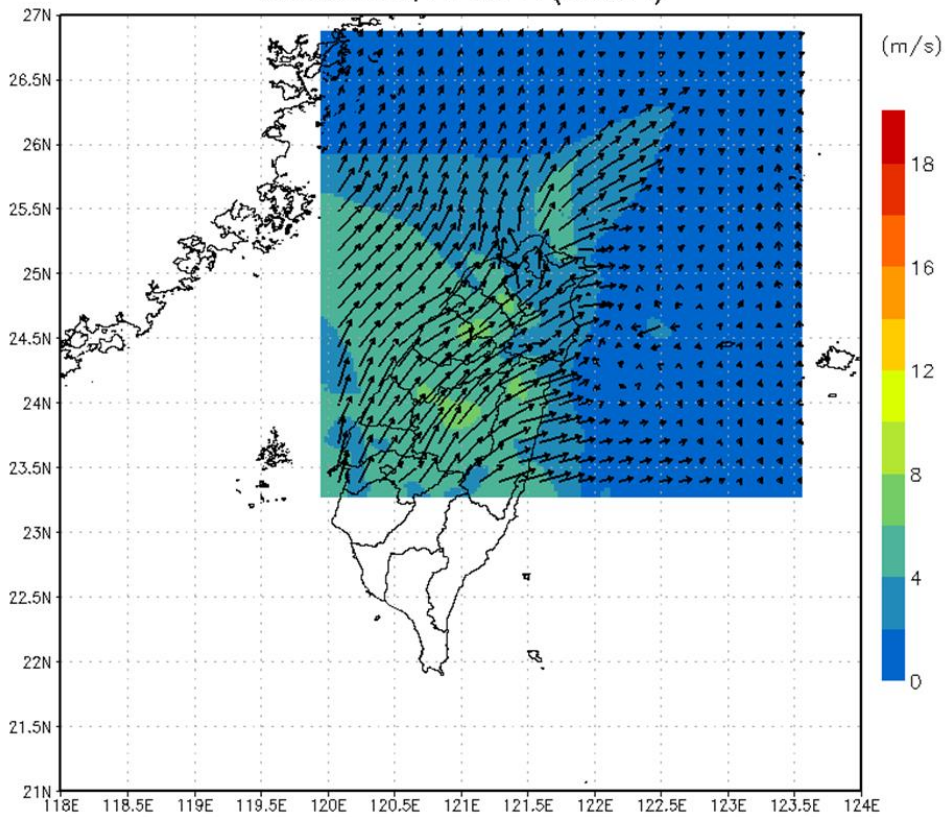
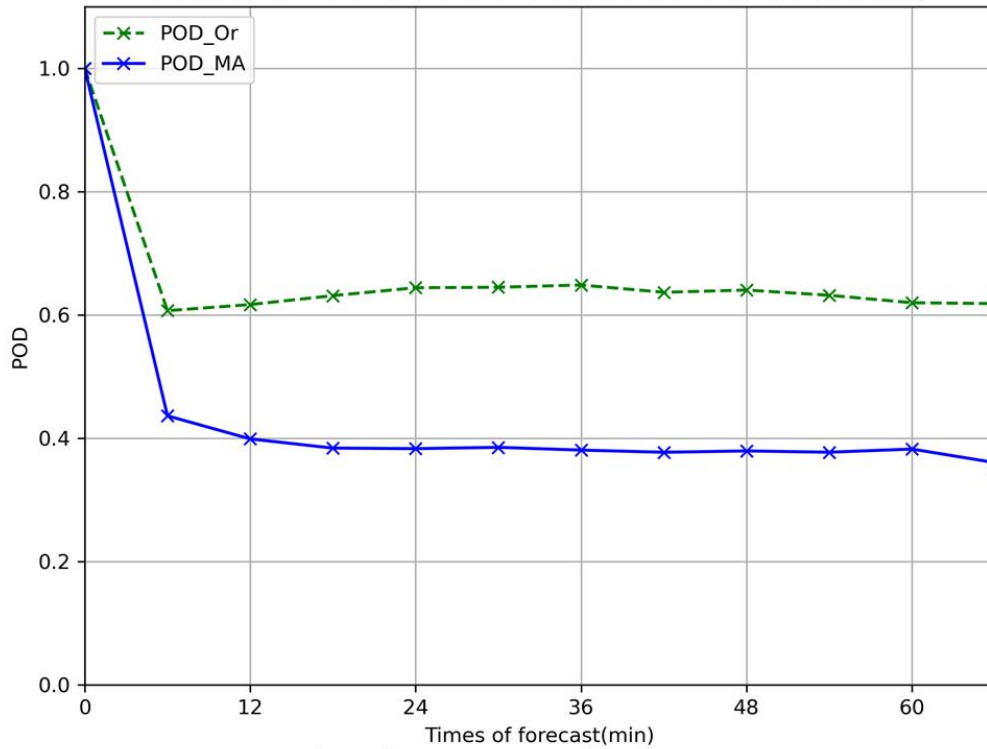


圖 4. 22 (a)北部 RCWF 之個案 3 結合 MAPLE 之結果。藍線為 MAPLE VET 取代結果，綠線為原始直線外延結果。(b)為 MAPLE VET 移動場參考圖。

(a) RCCG Volume Error 70Err MAPLE n=2221 Dir=132° Spd=10.16 m/s
Date(UTC): 20180823 00:11 ~ 20180824 08:56 Life=36(x1.0)



(b) VET motion field at 2018/08/23 12:00Z
VET20mins, 144x144 (24x24)

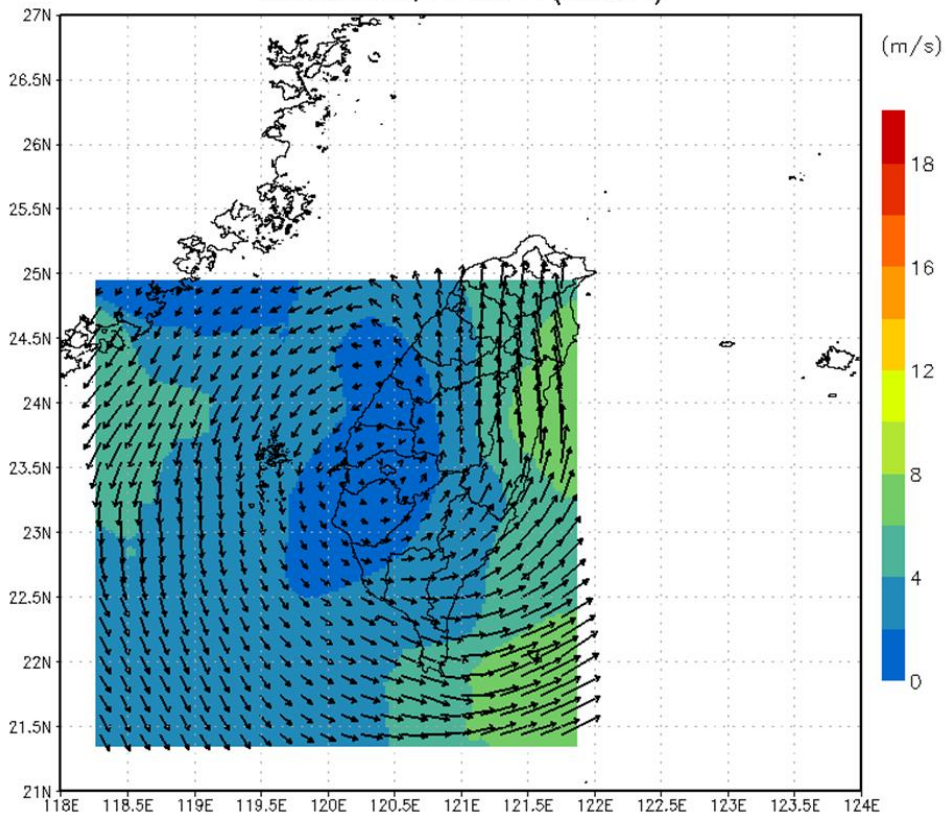
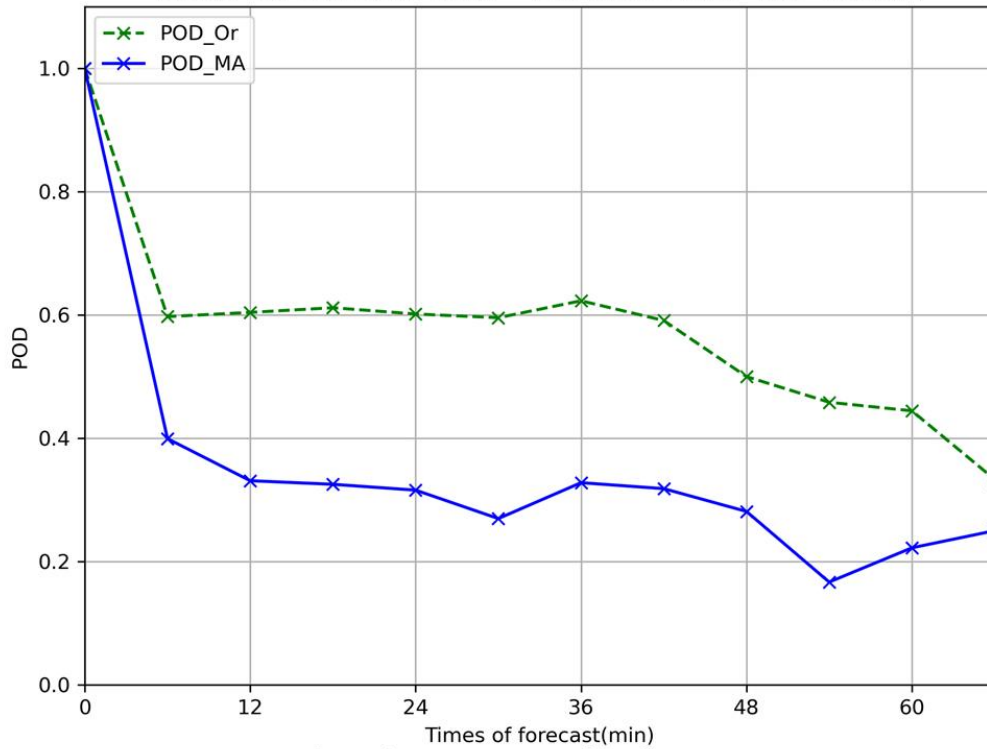


圖 4.23 (a)南部 RCCG 之個案 3 結合 MAPLE 之結果。藍線為 MAPLE VET 取代結果，綠線為原始直線外延結果。(b)為 MAPLE VET 移動場參考圖。

(a) RCWF Volume Error 70Err MAPLE n=293 Dir= 75° Spd=16.98 m/s
Date(UTC): 20190613 16:09 ~ 20190613 22:58 Life=15(x1.0)



(b) VET motion field at 2019/06/13 19:30Z
VET20mins, 144x144(24x24)

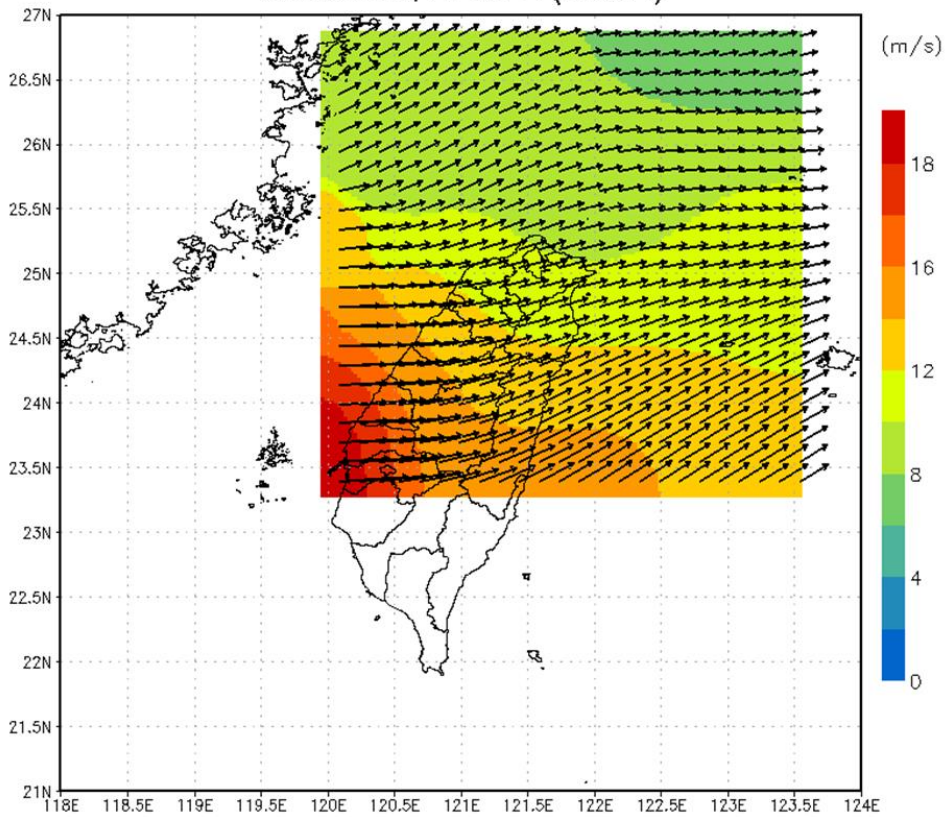
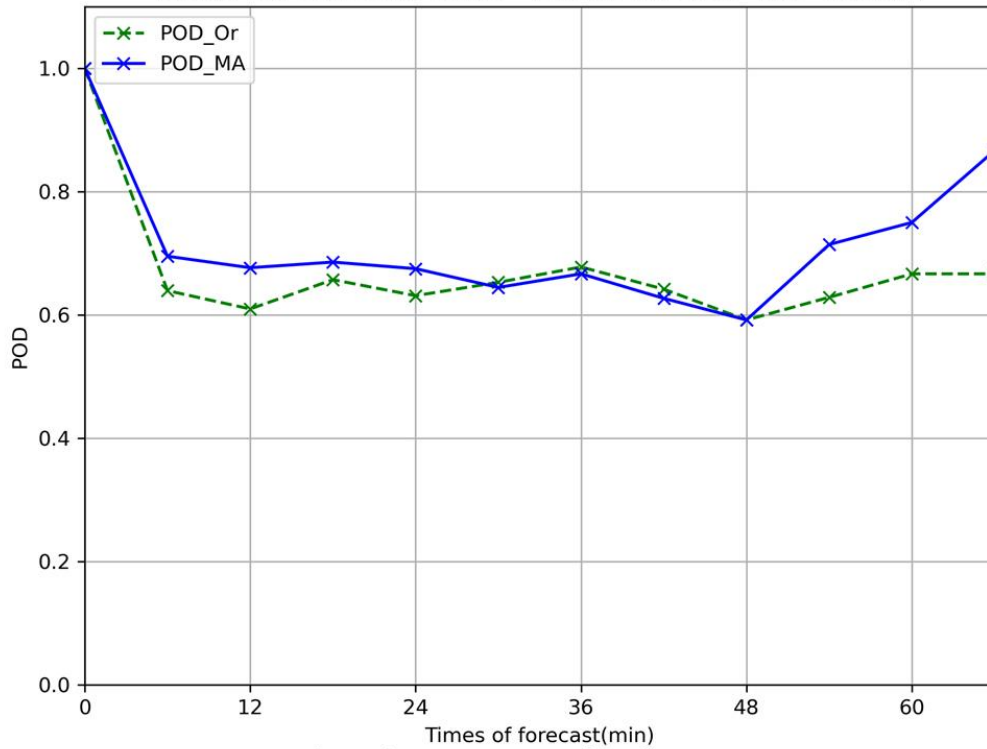


圖 4. 24 (a)北部 RCWF 之個案 4 結合 MAPLE 之結果。藍線為 MAPLE VET 取代結果，綠線為原始直線外延結果。(b)為 MAPLE VET 移動場參考圖。

(a) RCCG Volume Error 70Err MAPLE n=269 Dir= 46° Spd= 6.95 m/s
Date(UTC): 20190719 11:08 ~ 20190719 17:38 Life=15(x1.0)



(b) VET motion field at 2019/07/19 14:00Z
VET20mins, 144x144(24x24)

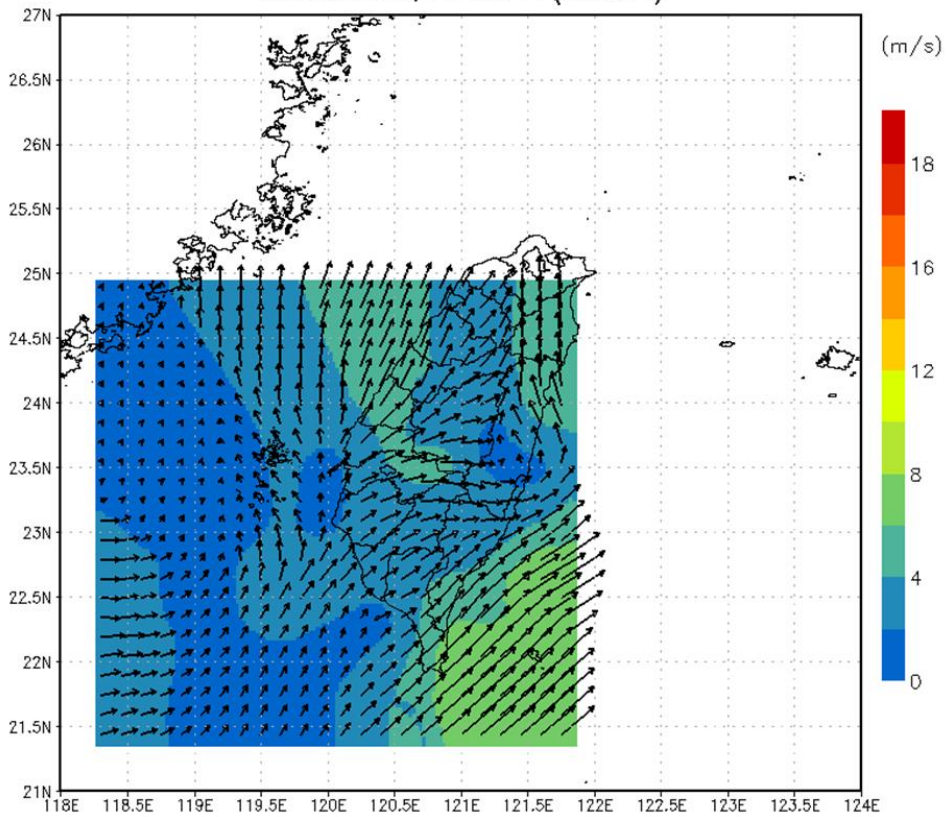
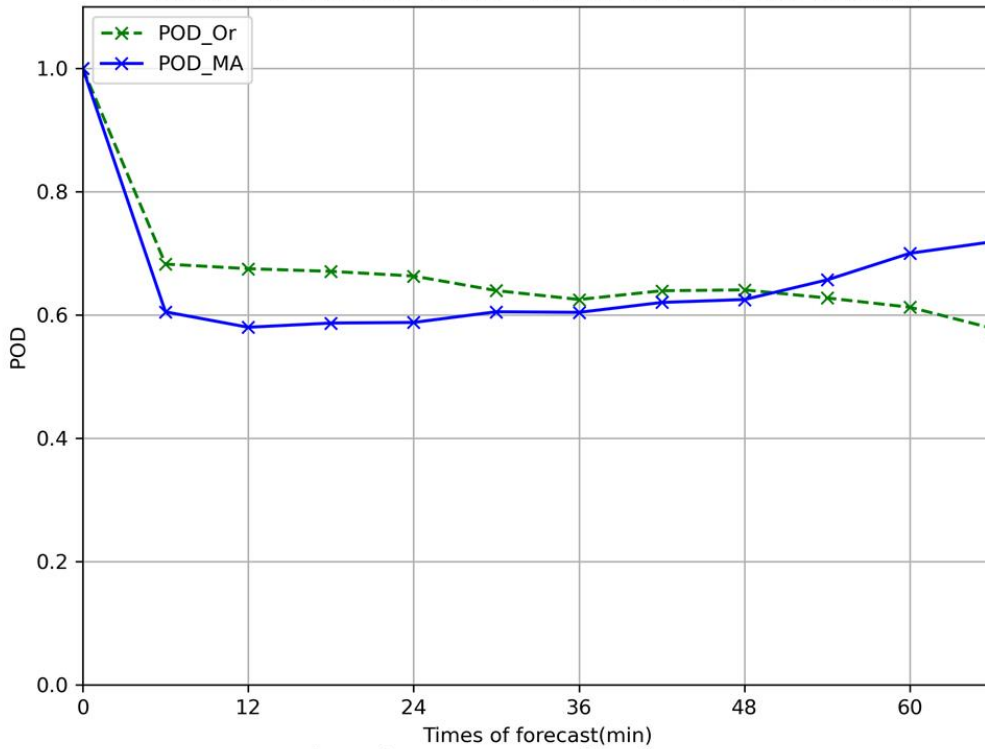


圖 4.25 (a)南部 RCCG 之個案 4 結合 MAPLE 之結果。藍線為 MAPLE VET 取代結果，綠線為原始直線外延結果。(b)為 MAPLE VET 移動場參考圖。

(a) RCWF Volume Error 70Err MAPLE n=400 Dir= 5° Spd= 8.15 m/s
Date(UTC): 20190702 05:08 ~ 20190702 11:56 Life=22(x1.0)



(b) VET motion field at 2019/07/02 10:40Z
VET20mins, 144x144 (24x24)

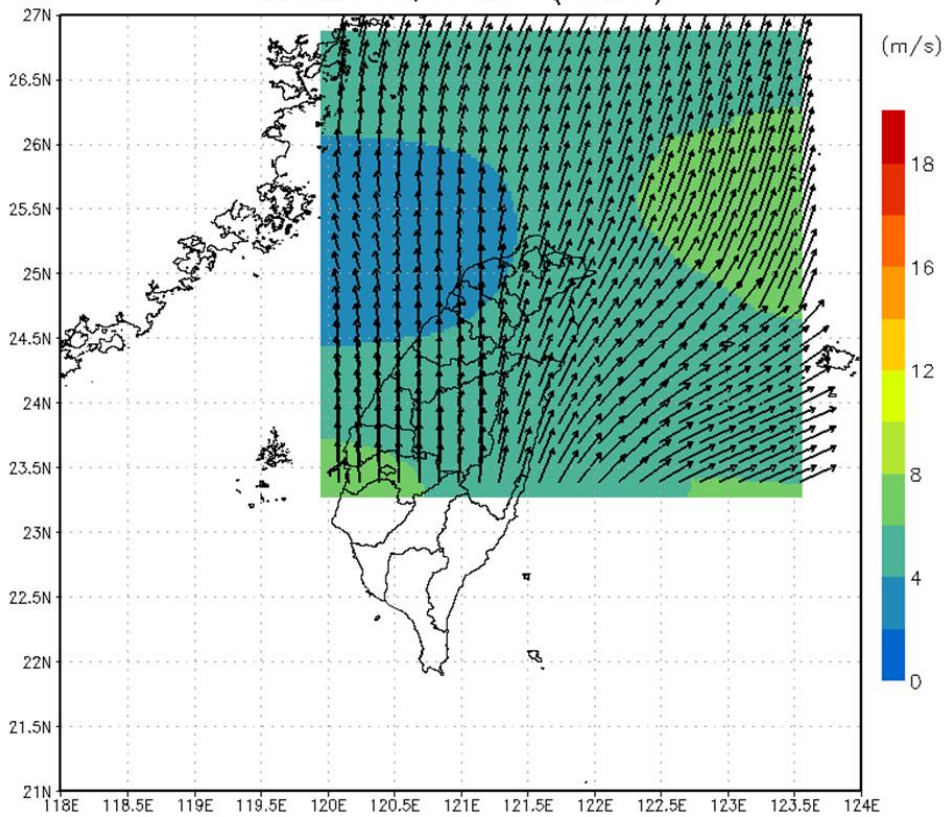
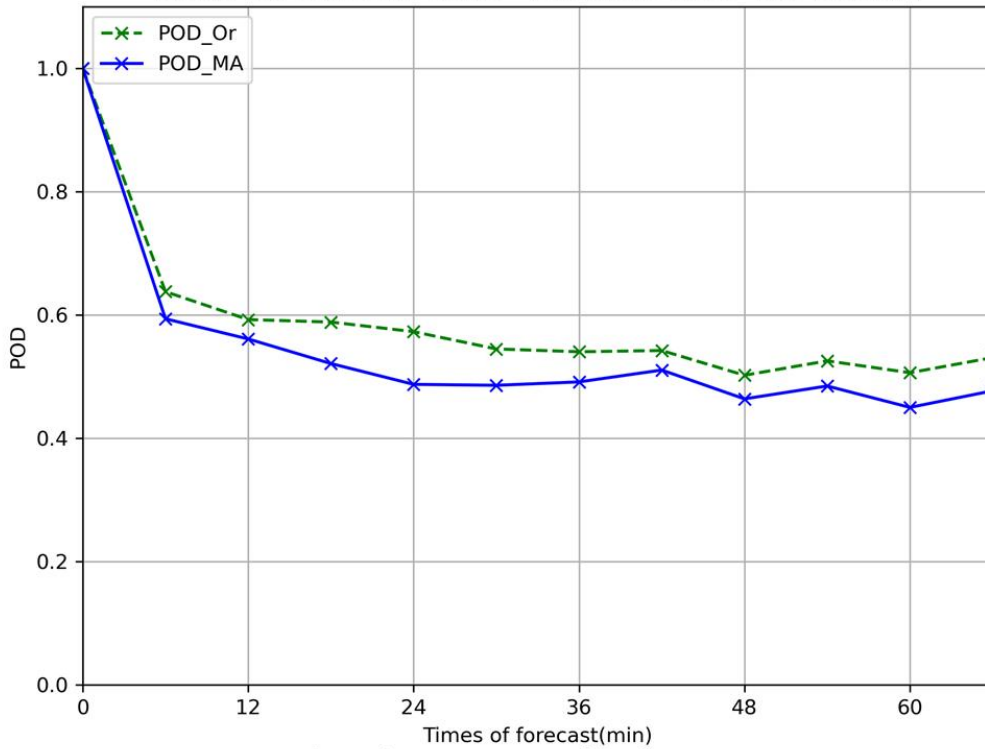


圖 4.26 (a)北部 RCWF 之個案 5 結合 MAPLE 之結果。藍線為 MAPLE VET 取代結果，綠線為原始直線外延結果。(b)為 MAPLE VET 移動場參考圖。

(a) RCGG Volume Error 70Err MAPLE n=795 Dir= 84° Spd= 8.46 m/s
Date(UTC): 20190812 18:08 ~ 20190813 06:00 Life=25(x1.0)



(b) VET motion field at 2019/08/13 00:00Z
VET20mins, 144x144 (24x24)

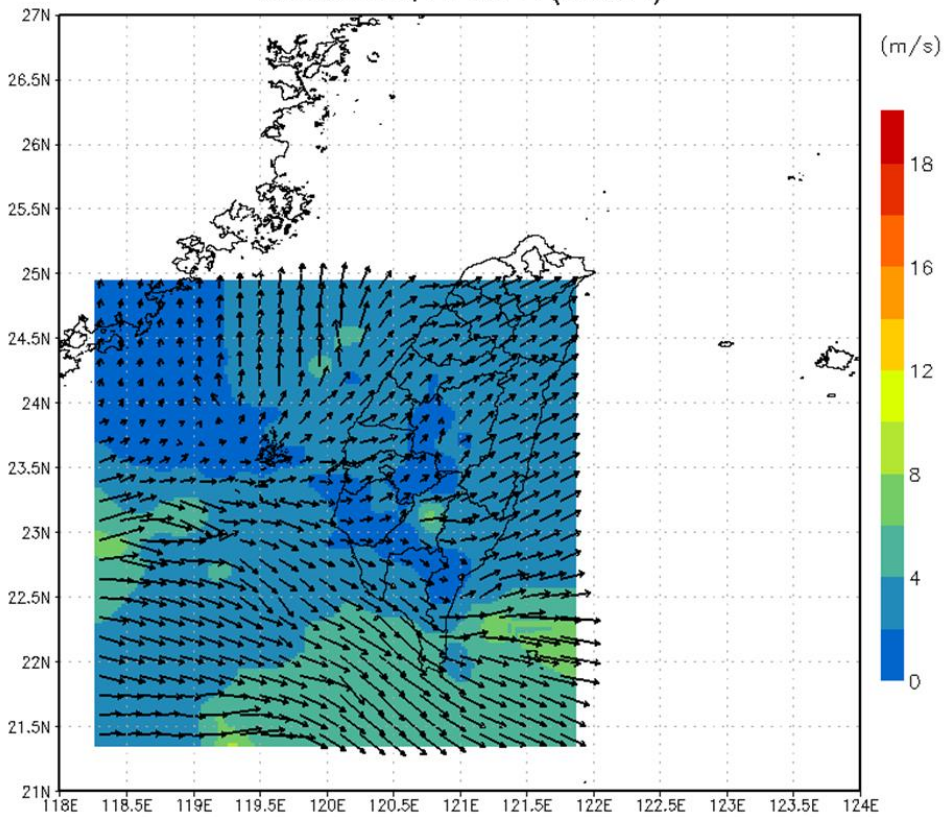


圖 4.27 (a)南部 RCGG 之個案 5 結合 MAPLE 之結果。藍線為 MAPLE VET 取代結果，綠線為原始直線外延結果。(b)為 MAPLE VET 移動場參考圖。

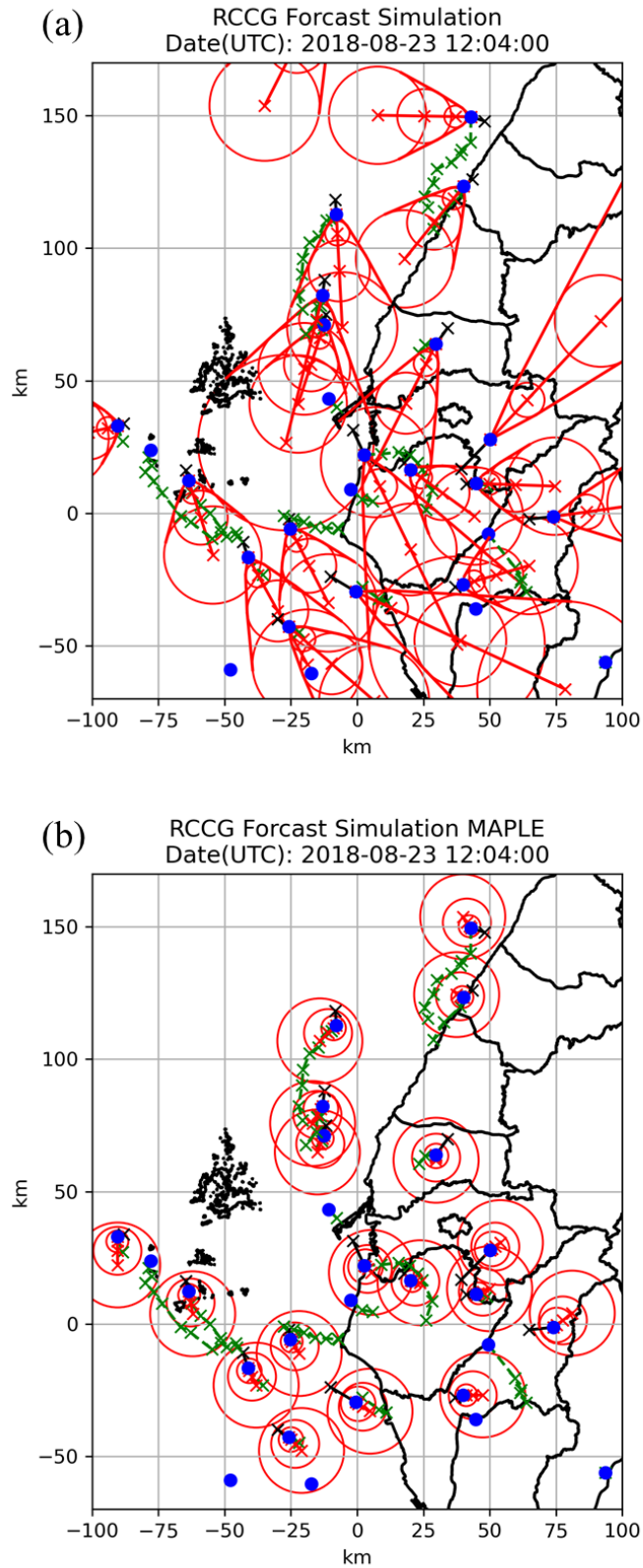


圖 4.28 2018/08/23 12:04 UTC 對流胞路徑預報模擬圖，紅線為 70%預報誤差範圍，圓圈表示第 10、30、60 分鐘之預報，藍點為對流胞位置，綠線為 1 小時後實際觀測路徑，黑線為過去 1 小時觀測路徑。(a)為直線外延之預報，(b)為 MAPLE 結果之預報。

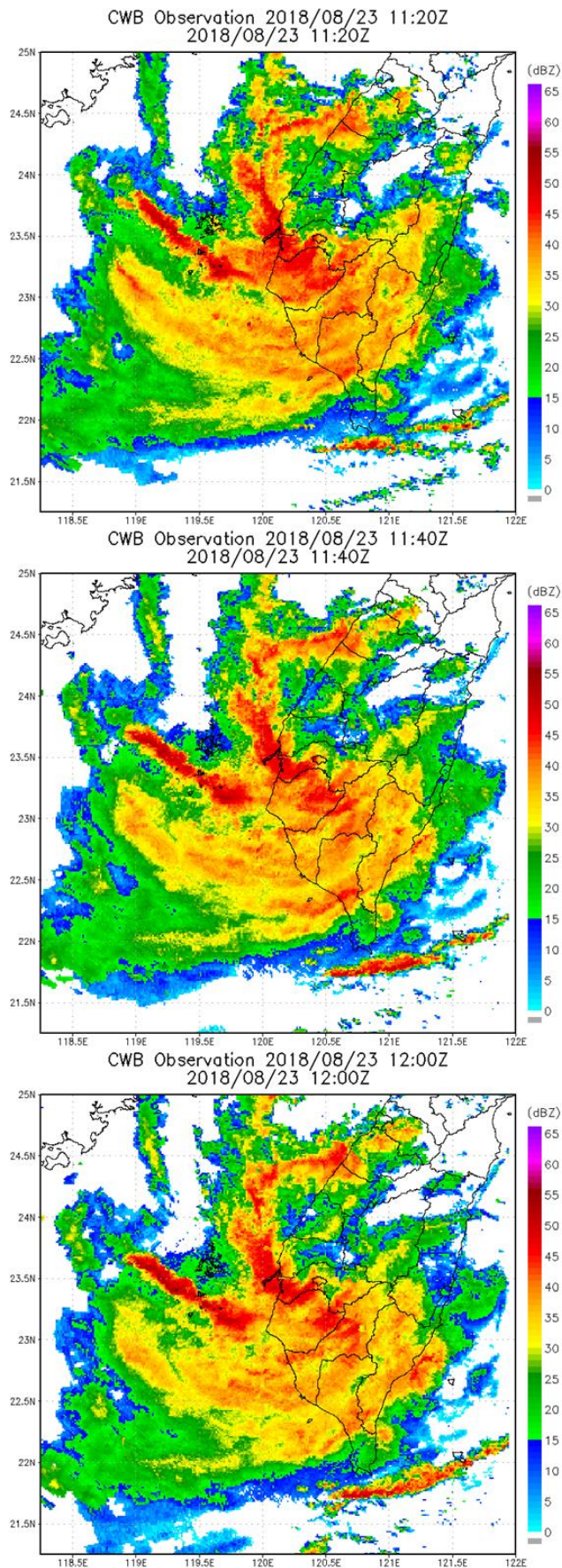


圖 4.29 2018/08/23 之三筆用於計算 VET 之雷達觀測結果

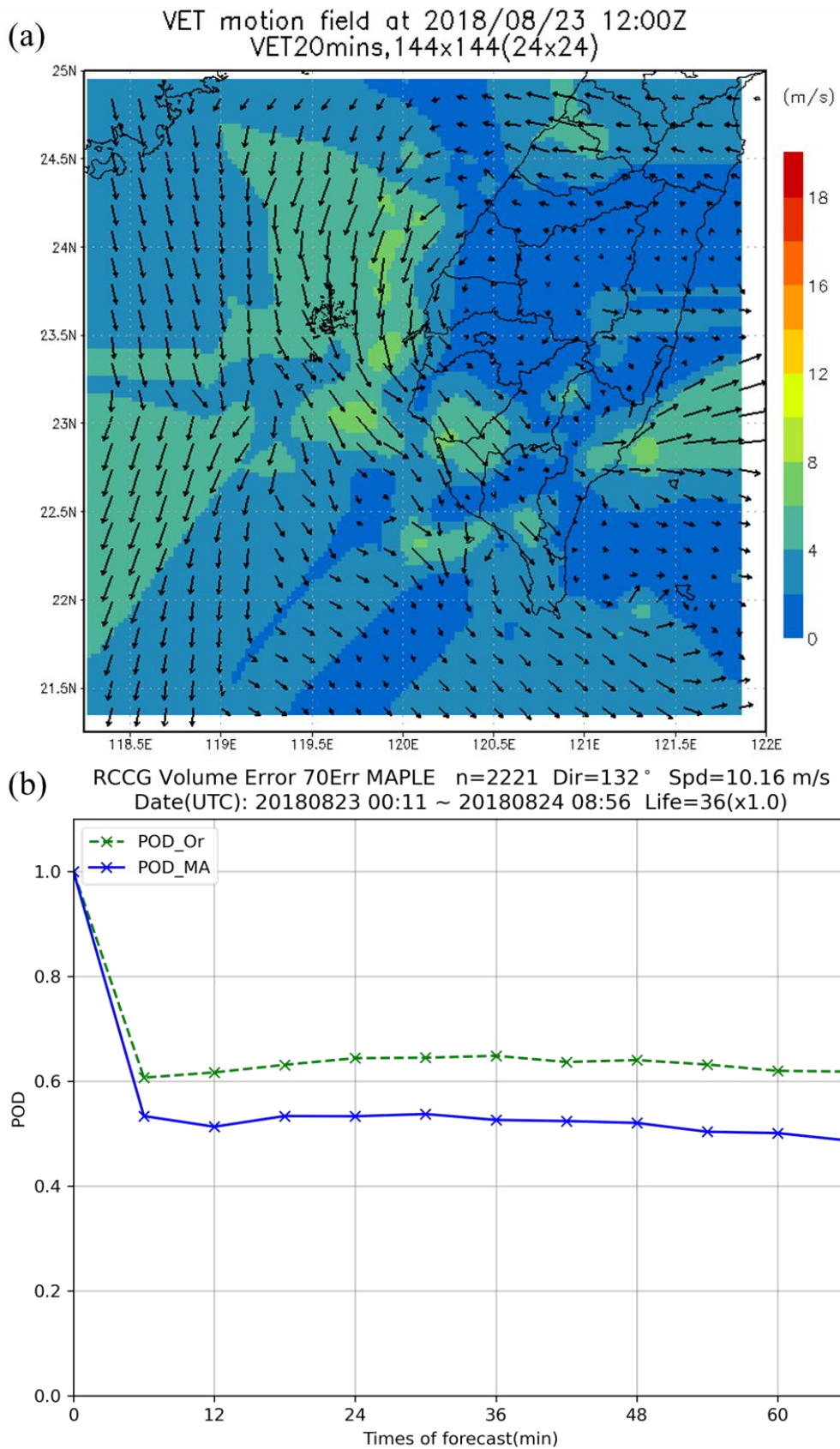


圖 4.30(a)為 2018/08/23 12:00(UTC)以門閾值 35 dBZ 計算之 VET 結果。(b)為將 MAPLE 門閾值設定為 35 dBZ 後所計算之 POD 結果。

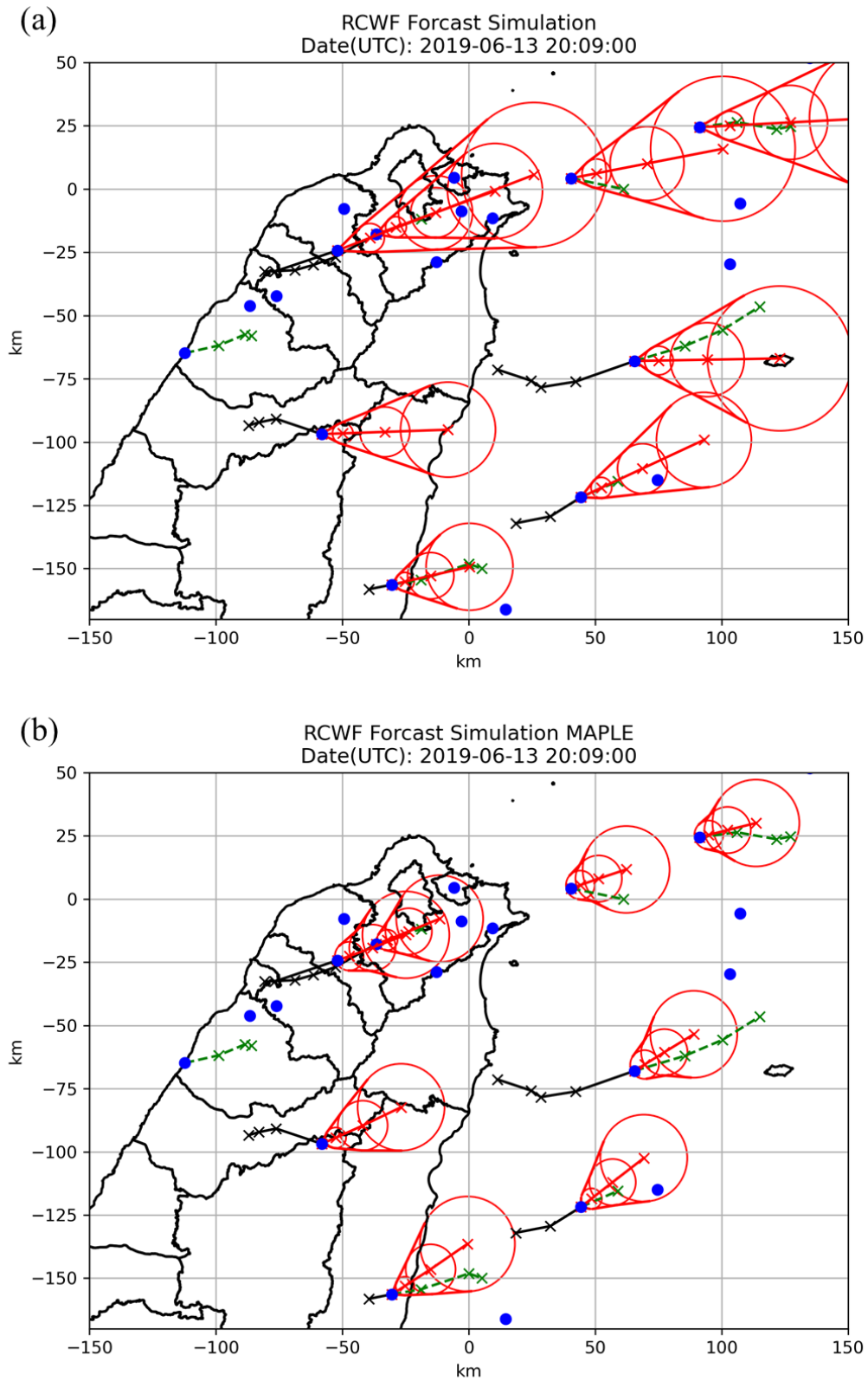


圖 4.31 2019/06/13 20:09 UTC 對流胞路徑預報模擬圖，紅線為 70%預報誤差範圍，圓圈表示第 10、30、60 分鐘之預報，藍點為對流胞位置，綠線為 1 小時後實際觀測路徑，黑線為過去 1 小時觀測路徑。(a)為直線外延之預報，(b)為 MAPLE 結果之預報。