

NCDR 108-T10

氣象雷達於短延時強降雨之監測與 預警技術開發

Technology development of meteorological radar on
short-duration intense rainfall surveillance and forecast



國家災害防救科技中心

National Science and Technology Center
for Disaster Reduction

國家災害防救科技中心

中華民國 109 年 01 月

氣象雷達於短延時強降雨之監測與 預警技術開發

Technology development of meteorological radar on
short-duration intense rainfall surveillance and forecast

林忠義、廖信豪、劉嘉騏、吳佳純
李宗融、林欣弘、王安翔、于宜強



國家災害防救科技中心

National Science and Technology Center
for Disaster Reduction

中文摘要

近年來臺灣短延時強降雨的災害漸增，2015年6月14日，午後一場劇烈的熱對流，為台北地區帶來驚人的雨勢，造成局部地區積水災情，2016年6月2日梅雨鋒面伴隨的中尺度降雨系統，在臺灣北部地區造成降雨，雖然持續時間短，但雨勢又大又急，仍使北台灣多處地方有淹水災情傳出。2018年9月8日傍晚，台北盆地內生成的對流胞，受鋒面通過而加強，為北北基地區帶來劇烈降雨，多處地方有積淹水災情傳出。氣象雷達具有高時間、空間解析度的優勢，可彌補地面觀測資料的不足，因此成了觀測及預警劇烈天氣(例如：颱風、鋒面、龍捲風及中尺度對流系統)的利器。

本研究透過氣象雷達觀測資料提供定量降雨資訊，首先蒐整全臺10座雷達資料並進行資料品質檢覈以及自動化處理，爾後研發包含閃電與回波觀測強降雨示警、三維風場反演技術，以及雷達資料同化等方法，整合不同模式和不同時間空間解析度的資料，進行短延時強降雨之監測與預警技術的開發。

關鍵字：短延時強降雨、氣象雷達、閃電資料、降雨預警系統

ABSTRACT

The short-duration intense rainfall has brought lots of damages in recent years. There is an afternoon thunder storm that caused urban flood in several regions in Taipei on 14th June, 2015. The Meiyu front coupled with mesoscale convective system produced heavy rainfall in a very short duration and drowned many areas at northern Taiwan on 2nd June, 2016. The convective cell generated in Taipei basin and strengthened by the front caused severe rainfall at Taipei and Keelung area on 8th September, 2018. Meteorological radar has the potential of high temporal and spatial resolution which covers the deficiency of ground observation becomes a good instrument to observe severe weather system, such as typhoon, front, thunder storm and mesoscale convective system.

In this study, we use weather radar data to provide quantitative precipitation information. First, we collect 10 radar data in Taiwan and automatically do the data quality control in real-time. Then develop the lightning and radar reflectivity warning system, three-dimensional wind retrieval technique, and radar data assimilation method, etc. We combine different model data and different resolution observational data to develop a short-duration intense rainfall early warning system.

Keywords: short-duration intense rainfall, weather radar, lightning data, rainfall warning system

目錄

第一章 前言.....	1
第二章 雷達資料處理	5
2.1 全臺 3 維雷達資料建置流程.....	5
2.2 雷達資料品質控制.....	9
2.2.1 都卜勒雷達資料品質控制.....	10
2.2.2 雙偏極化雷達資料品質控制.....	12
2.2.3 徑向風場(radial velocity, V_R)去折疊	21
2.3 全臺 3 維雷達資料合成.....	24
第三章 雷達 3D 展示介面	27
3.1 3D 資料展示軟體簡介.....	27
3.2 雷達資料 3D 展示自動化模組.....	29
3.3 雷達資料 3D 展示與應用.....	31
第四章 WISSDOM 三維風場反演技術	34
4.1 WISSDOM 雷達三維風場反演技術建置.....	34
4.2 三維風場反演個案分析.....	37
第五章 雷達與閃電強降雨即時預警系統開發	44
5.1 臺灣短延時強降雨系統特徵.....	44
5.2 雷達資料與閃電資料分析.....	45
5.2.1 回波與閃電資料.....	46
5.2.2 偏極化參數「比差異相位差(KDP)」與閃電資料.....	49
5.3 個案及作業化測試.....	52
5.4 小結.....	57
第六章 高解析度雷達資料同化系統建置	59
6.1 雷達資料同化方法.....	59
6.2 模式建置.....	60
6.3 個案測試.....	64
第七章 結論與建議	72

參考文獻.....74

圖目錄

圖 2.1 台灣最新一代環島雷達網，現階段共計有 10 座作業氣象雷達，分屬氣象局、空軍及民航局。未來將有 3 座防災降雨雷達陸續建置完成，上線投入觀測作業.....	6
圖 2.2 本研究建立之雷達資料處理與全臺 3 維資料合成流程.....	9
圖 2.3 本研究建置之都卜勒雷達品質管理流程，應用於花蓮、七股、墾丁及桃園機場雷達資料.....	11
圖 2.4 本研究建置之雙偏極化雷達資料品質管理流程，應用於五分山、清泉崗、馬公、綠島、林園及林園雷達資料.....	12
圖 2.5 非氣象資訊處理前後差異.....	12
圖 2.6 林園雷達(a)原始資料，利用不同門檻值(b) $\rho_{HV}=0.9$ 、 Φ_{DP} 標準差=10、(c) $\rho_{HV}=0.8$ 、 Φ_{DP} 標準差=7、(d) $\rho_{HV}=0.8$ 、 Φ_{DP} 標準差=10 處理後的結果.....	14
圖 2.7 利用 5 年的雨滴譜儀資料模擬，擬合得到的 C 波段雷達衰減修正公式，藍線-AH、紅線-AHV	17
圖 2.8 雷達 ZH 資料(a)衰減修正前與(b)衰減修正後的差異	17
圖 2.9 利用 5 年的雨滴譜儀資料模擬偏極化參數，經過擬合得到 KDP-ZH 關係式係數，紅線為擬合出的公式結果.....	18
圖 2.10 利用 5 年的雨滴譜儀資料模擬偏極化參數，經過擬合得到 ZH-ZDR 關係式係數，紅線為擬合出的公式結果.....	20
圖 2.11 雷達資料 ZH 及 ZDR(a、b)處理前與(c、d)處理後的差異.....	20
圖 2.12 中間的藍紅點線為零值線位置。當發生風場折疊時，會有正負相接的不連續帶出現.....	22
圖 2.13 風場(a)去折疊前與(b)去折疊後的結果比對	23
圖 2.14 (a)採用本研究全臺 3 維雷達資料合成方法製作出之 2019 年 5 月 20 日	

15 時 10 分之最大回波圖；(b)氣象局官網提供之 2019 年 5 月 20 日 15 時 10 分之最大回波圖.....	26
圖 3.1 WRF 模式模擬颱風回波和三維風場.....	28
圖 3.2 VAPOR 繪製 108 年 8 月 13 日中南部強降雨個案.....	29
圖 3.3 災防中心雷達資料 3D 展示自動化模組.....	30
圖 3.4 以歷史資料規劃不同視角、色階、透明度的範本.....	32
圖 3.5 製作不同視角、色階、透明度的 3D 視覺化預畫選單.....	32
圖 3.6 白鹿颱風 (BAILU) 3D 展示	33
圖 3.7 米塔颱風 (MITAG) 3D 展示	33
圖 4.1 WISSDOM 風場三維反演合成範圍示意圖.....	35
圖 4.2 今年 7 月 19 日南部降雨個案 WISSDOM 風場於 WATCH 系統上展示 圖，左上圖為 3 公里高層水平面的回波場和風場，右上圖為 4 公里高層水 平面的風場疊合幅合幅散場，下圖為圖中點選位置之東西向垂直縱剖通面 回波場和風場分佈圖.....	36
圖 4.3 2019 年 4 月 19 日 02 時之地面天氣圖(資料來源：中央氣象局).....	38
圖 4.4 2019 年 4 月 19 日之紅外線強化衛星雲圖，(a) 00:30，(b) 01:30，(c) 02:30，(d) 03:30，(e) 04:30，(f) 05:30，(g) 06:30 及(h) 07:30。(資料來源： 中央氣象局).....	38
圖 4.5 颱風影響南部期間之降雨時序與雷達回波觀測，圖中降雨時序。(a)臺南 市北區站，(b)高雄市御油山站。(1)至(4)為雷達回波觀測，時間分別為(1) 03:30，(2) 04:30，(3) 05:30，(4) 06:30，圖中黑色虛線表示弓狀回波或颱風 位置，藍線為圖 4 之剖面位置；回波強度如色標尺所示。(回波的單位為 dBZ).....	39
圖 4.6 4 月 19 日 WISSDOM 雷達三維風場合成結果，(a) 04:00，(b) 04:30，(c) 05:00，圖中箭頭表示風速風向，黑色虛線為風切線，回波強度如色標尺所	

示。(單位 dBZ).....	40
圖 4.7 4 月 19 日凌晨 5 時之 WISSDOM 雷達三維風場合成結果，(a)合成雷達回波與風場，雷達回波強度如色標尺所示，箭號表示風速和風向，單位 m/s；圖中黑色粗虛線為風切線，點虛線為圖 8 所示之剖面位置。(b)輻散場，圖中暖色為正值，表示輻散；冷色為負值，表示輻合，單位 $10^{-4}/s$ 。(c)垂直速度場，正值表上升運動(暖色)，負值為下沉運動，單位 $10^{-2} m/s$	41
圖 4.8 4 月 19 日凌晨 5 時 WISSDOM 雷達三維風場合成之剖面分析，(a) 垂直速度場，正值表上升運動(藍色實線箭號)，負值為下沉運動(藍色虛線箭號)，單位 $10^{-2} m/s$ 。(b) 輻散場，圖中黑色實線為正值，表示輻散；負值為虛線，表示輻合，單位 $10^{-4}/s$ 。圖中填色為雷達回波大小，空白黑色箭號表示飢線系統移動方向.....	42
圖 5.1 中央氣象局閃電資料範例.....	45
圖 5.2 2019 年 4 月 18 日 1800 至 2030UTC，每 30 分鐘的回波與雲內閃電分布圖.....	47
圖 5.3 2019 年 4 月 18 日 1800 至 2030UTC，每 30 分鐘的回波與雲地閃電分布圖.....	48
圖 5.4 海上時期雲地(1)/雲內(2)閃電與不同仰角回波值的關係.....	49
圖 5.5 陸上時期雲地(1)/雲內(2)閃電與不同仰角回波值的關係.....	49
圖 5.6 2019 年 4 月 18 日 1800 至 1930UTC，每 30 分鐘的(a-d)雲內閃電、(e-g)雲地閃電與比差異相位差(KDP)分布圖.....	51
圖 5.7 (a)海上時期、(b)陸上時期，雲地(1)/雲內(2)閃電與比差異相位差(KDP)的關係.....	52
圖 5.8 選取範圍示意圖。淡黃色區域為選取的測試範圍，黑色小方格為 $10*10$ 公里的計算區域.....	53
圖 5.9 區域裡的回波值大於 40dBZ 的資料百分比、平均回波值及閃電密度(分	

雲內及雲地)的計算結果示意圖	53
圖 5.10 中央氣象局累積雨量圖與強降雨警戒判斷結果的比較.....	54
圖 5.11 雲內/雲地閃電隨時間變化與回波隨時間變化之間的關係.....	55
圖 5.12 雷達與閃電強降雨即時預警系統的自動化作業流程.....	56
圖 5.13 Watch 系統上雷達與閃電強降雨即時預警系統展示頁面	57
圖 5.14 雲內/雲地閃電隨時間變化與 KDP 隨時間變化之間的關係	58
圖 6.1 高解析度模式網格設定.....	60
圖 6.2 風場單點測試於各變數之分析增量。由左至右、由上至下的變數分別為 風場的東西分量、風場的南北分量、垂直風場、溫度、壓力、雨水、雲 水、及水氣含量.....	62
圖 6.3 同圖 6.2 但給定觀測增量為溫度.....	62
圖 6.4 U 風場之單點測試於不同特徵長度調節因子設定下之結果。由左至右之 特徵長度調節因子分別為 0.25、0.5、及 1.5.....	63
圖 6.5 U 風場之單點測試於不同變量尺度調節因子設定下之結果。由左至右之 變量尺度調節因子分別為 0.5 及 1.5.....	64
圖 6.6 2019 年 7 月 19 日 13 時至 23 時高雄楠梓與大寮的降雨歷線圖.....	65
圖 6.7 2019 年 7 月 19 日 07Z 與 08Z 之雷達合成回波圖.....	66
圖 6.8 四組雷達資料同化實驗設計圖示.....	66
圖 6.9 上列為林園雷達於 2019 年 7 月 19 日 7:08Z 各高度層之觀測回波圖。下 列為觀測(藍點)及使用資料點(紅點)之位置圖	68
圖 6.10 2019 年 7 月 19 日 07:08Z 兩實驗組同化前(上排)、後(下排)在高度 0.5 公 里處之雷達回波圖。左圖為林園雷達於高度 0.5 公里之觀測回波.....	69
圖 6.11 下排為 2019 年 7 月 19 日 07:08Z 在南部地區各實驗組分析場之合成回 波圖；上排為以東經 120.15 度、北緯 22.65 度至東經 120.5 度、北緯 22.65 度連線之垂直剖面。由左至右分別為林園雷達觀測、實驗組 NODA、實驗	

組 DA1T、及實驗組 DA2T	70
圖 6.12 同圖 6.11，時間為由 2019 年 7 月 19 日 07:08Z 開始積分 2 分鐘後的 07:10Z.....	71
圖 6.13 三實驗組於 2019 年 7 月 19 日 07:30Z 在高度 0.5 公里處之預報回波 圖。由左至右分別為林園雷達觀測、實驗組 NODA、實驗組 DA1T、及實 驗組 DA2T	71

表目錄

表 2.1 本研究使用之氣象雷達所屬波段、掃描時間及接收資料格式。其中，高雄林園、台中南屯因觀測需求，有提供每 2 鐘最低 3 個仰角之觀測資料，另每 7.5 分鐘提供完整仰角(volumn)之掃描資料。桃園機場則依天氣狀況，調整掃描時間頻率，分別可 30 分鐘或 15 分鐘提供一筆觀測資料.....	8
表 2.2 都卜勒雷達濾除雜訊時，使用的門檻值設定.....	11
表 2.3 本研究使用之雙偏極化雷達非氣象資訊濾除門檻值.....	14
表 2.4 林園及南屯防災降雨雷達ZH及ZDR的系統偏差量	19
表 5.1 雷達/閃電 強降雨監測指標說明	54
表 6.1 高解析度模式參數設定.....	61
表 6.2 林園雷達於 2019 年 7 月 19 日 7:08Z 之各高度觀測點數及同化系統資料使用情況.....	67

第一章 前言

台灣地形陡峭致使山區雨量分布極為複雜，加上侵台颱風與外圍環流的交互作用，及梅雨季西南季風中的中尺度對流系統，常可能在局部地區產生極為劇烈之降雨事件，而這些強降雨經常造成大量的人民財產損失以及山區公路阻斷等影響，例如 2010 年的梅姬颱風，其強降雨造成台 9 線蘇花公路沿線嚴重的土砂災害。2015 年蘇迪勒、杜鵑颱風共造成 11 人死亡、813 人受傷、4 人失蹤，全臺農林漁牧業損失逾 31 億。2016 年尼伯特、莫蘭蒂、梅姬颱風共造成 8 人死亡、1035 人受傷，全臺農林漁牧業損失逾 43 億，其中尼伯特颱風更重創台東縣市，風災過後滿目瘡痍，居民生命和財產皆受到嚴重影響。

除了颱風和梅雨帶來持續的豪大雨以外，近年來短延時強降雨在平地都會區亦帶來許多災情，例如：2015 年 6 月 14 日，大台北地區午後對流發展旺盛，導致公館地區出現積水現象。2016 年 6 月 2 日北部鋒面伴隨中尺度降雨系統，造成北台灣多處地方有淹水災情傳出。2019 年 7 月 19 日午後中尺度對流系統接連的發展，當對流系統移入高屏地區既帶來非常強烈的暴雨，高雄沿海地區多處時雨量均超過 100 毫米，導致多處地區發生積、淹水的災情，此個案

為典型短延時強降雨類型。

上述這些極短時降雨事件，對台灣造成相當嚴重的損失，過去對於這樣的降雨事件能提供的預警能力有限，因此短延時強降雨預報為近年來各級政府防災單位迫切需要的一項技術。本研究擬透過氣象雷達觀測資料，加上閃電觀測和氣象模式預報資料，開發一套短延時強降雨預警系統，期望能在降雨事件發生前，提供相關單位有效的預警資訊。

氣象雷達具有高時間空間解析度，透過主動發射電磁波並接收其在空間中遭遇到物體所反射的電磁波能力，可計算該物體的空間特性，例如：高度、速度甚至形狀，可用來偵測空間中降雨系統的位置和其發展過程。然而由於雷達掃描觀測為倒錐狀體，單一雷達掃描會有底層欠缺觀測資料的情況，因此需要有多雷達網以補足各自雷達掃描死角的問題，台灣目前共擁有 10 座氣象雷達分別為不同單位所有，例如：中央氣象局、民航局、空軍以及水利署。不同雷達之間的掃描策略不盡相同，若要得到整合全臺的三維雷達觀測資料，有其困難度。因此，災防中心今（108）年完成即時收集全臺 10 座雷達觀測資料的工作，並將這 10 座雷達資料從原始資料端的接收、資料品質處理，以及整合成全臺最完整的三維雷達觀測資料，到最後提供不同研究所需之雷達觀測產品，完成建置一套自動

化的作業流程，可每 10 分鐘提供一筆整合雷達觀測資料，供後續包含閃電與回波觀測強降雨示警、三維風場反演技術，以及雷達資料同化等方法所用。

透過此套全臺即時雷達觀測資料，本研究對短延時強降雨系統所需面臨的監測以及預警技術，進行研究和開發。首先為加強防災意識，本中心引進美國大氣科學中心（NCAR）開發的 3D 繪圖軟體 VAPOR，將 3D 繪圖應用在雷達資料展示與分析，透過自行研發的工具達到即時展示雷達三維回波的目的，並提供災害應變時做為災情研判的參考。

另外，本中心為強化南部地區劇烈天氣的監測能力，以臺南市、高雄市及屏東地區為示範區域，使用該區域共四顆雷達資料，透過中央大學廖宇慶教授研發的 WISSDOM 雷達三維風場反演方法，建構南部地區劇烈天氣監測系統，提供劇烈降雨系統所需的防災預警參考資訊。同時，也參考前人研究成果，嘗試利用全臺 10 座氣象雷達的觀測資料及閃電資料，進行雷達與閃電強降雨即時預警技術的開發，建構可提供防災操作的預警技術。

在模式的先期研究上，本中心也針對高雄林園防災降雨雷達可提供高時空解析度雷達觀測資料的優勢，使用每 2 分鐘一筆、水平

解析度為 250 公尺的資料，在南部地區建置一個模擬區域，進行高解析度雷達資料同化方法的測試，期能修正對流降雨位置，掌握模式真實初始場狀況，以求能進一步改進短時降雨預報結果。

第二章 雷達資料處理

2.1 全臺 3 維雷達資料建置流程

台灣自 1987 年架設全臺第一座 C 波段都卜勒雷達後(周 2001)，隨著時代的演進與科技的發展，台灣目前已有 10 座作業用氣象雷達，建構成最新一代的氣象雷達觀測網(圖 2.1)。這 10 座雷達分別是：氣象局所屬的 4 座 S 波段雷達(五分山、七股、花蓮、墾丁)；空軍 3 座 C 波段雷達(馬公、清泉崗、綠島)；民航局 1 座 C 波段雷達(桃園機場)；及 2 座 C 波段防災降雨雷達¹(高雄林園、台中南屯)。其中，五分山、馬公、清泉崗、綠島、高雄林園及台中南屯都是先進的雙偏極化雷達，其餘則為都卜勒雷達。

¹ 2010 年行政院核定之水災策進計畫，由國家災害防救科技中心、交通部中央氣象局極經濟部水利署合作規劃，於在北、中、南 3 個都會區以及雲林、宜蘭 2 個低窪易淹水地區，各建置 1 部 C 波段雙偏極化氣象雷達，以精進降雨預警及防汛管理之用。其中南部(高雄林園)及中部(台中南屯)已分別於 2017、2018 年落成啟用。

新一代 防災氣象雷達網

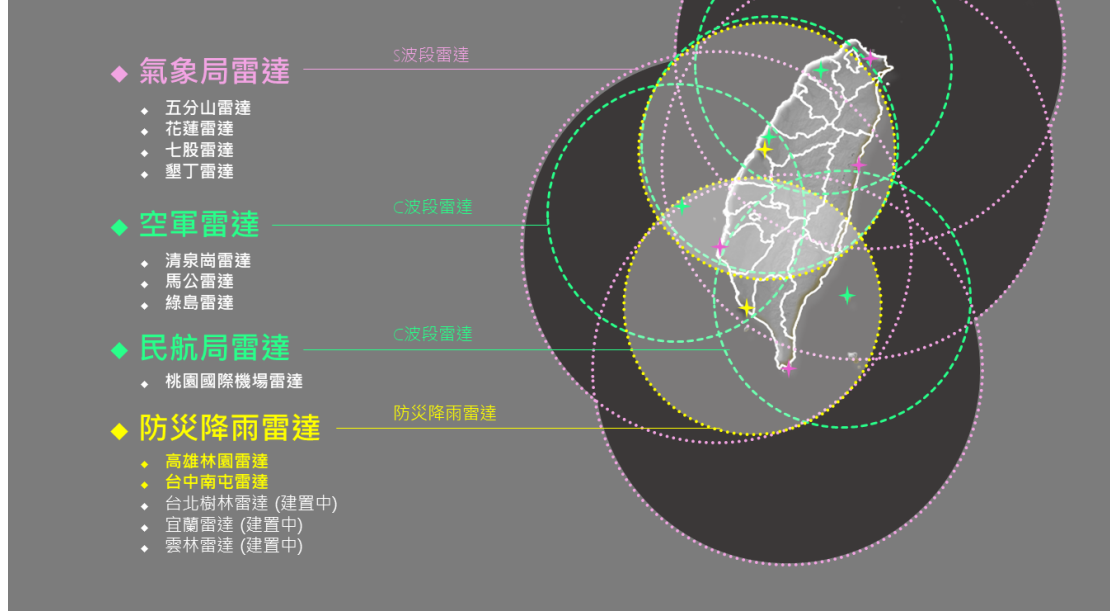


圖 2.1 台灣最新一代環島雷達網，現階段共計有 10 座作業氣象雷達，分屬氣象局、空軍及民航局。未來將有 3 座防災降雨雷達陸續建置完成，上線投入觀測作業

雙偏極化雷達-顧名思義就是會發射兩個不同極化方向(一般為水平與垂直)電磁波，對大氣中之粒子(包含水象、冰象或非水象)進行觀測的雷達。相較於傳統水平極化雷達(例如：都卜勒雷達)，僅有回波(Z_{HH})、徑向風場(V_R)及頻譜寬(SW)3 個觀測參數，雙偏極化雷達可獲得更多進階觀測參數，例如：差異反射率(Differential Refletivity, Z_{DR})、差異相位差(Differential Phase shift, Φ_{DP})、比差異相位差(Specific Differential Phase, K_{DP})及相關係數(correlation coefficient, ρ_{HV})。在過去的研究指出，雙偏極化雷達在降雨估計能

力及水象粒子物理特性分析上都有顯著的提升(陳與張 2006)。

在天氣監測與預警作業上，氣象雷達相對於其他遙測設備，雖具有高時間(數分鐘)及高空間解析度(數十~數百公尺)的優勢，但仍有其先天或後天的限制。例如：有限的觀測範圍(S 波段約 460 公里，C 波段約 150 公里)及地形遮蔽等因素，都會影響實際觀測之效果。加上，這 10 座雷達分屬不同作業單位，雷達所屬波段、掃描策略、掃描更新時間及原始資料格式都有所不同(表 2.1)，如何有效且穩定的進行資料處理(包含資料品質控制及格式轉換)以及雷達間相互整合成一組最佳的全臺雷達網格資料，是後續將雷達資料應用於防災科研與應用相當重要的前置工作。

LROSE(Lidar Radar Open Software Environment)為美國國家大氣研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)開發之雷達資料處理軟體。在 2018 年釋出第一版本，提供的功能有雷達原始資料格式轉換、資料座標轉換(極座標轉為卡式座標)等功能，且可通用世界各國之雷達原始資料格式。因此，因應我國雷達原始資料種類多元，使用 LRSOE 軟體，可大幅提升資料處理及座標轉換之便利性與穩定性，因此，本研究之雷達資料處理流程採用 LROSE 為主幹。另外，因現行 LRSOE 尚未提供雷達資料品質控制之模組，加上台灣地形複雜，在資料品質控制上(包含折錯、衰減修正

等)仍需針對各別雷達進行細部研究與設定，故此部分之工作採用中央大學發展之 RAKIT(Radar Kit)模組進行(詳章節 2.2)。綜合上述，本中心雷達資料處理與後續 3 維資料合成(詳章節 2.3)之流程如圖 2.2 所式。經此流程，每 10 分鐘可獲得一筆整合全臺 10 座雷達之 3 維網格雷達資料。

表 2.1 本研究使用之氣象雷達所屬波段、掃描時間及接收資料格式。其中，高雄林園、台中南屯因觀測需求，有提供每 2 鐘最低 3 個仰角之觀測資料，另每 7.5 分鐘提供完整仰角(volumn)之掃描資料。桃園機場則依天氣狀況，調整掃描時間頻率，分別可 30 分鐘或 15 分鐘提供一筆觀測資料

雷達	五分 山	七股	花蓮	墾丁	高雄 林園	台中 南屯	清泉崗	馬公	綠島	桃園 機場
波段	S	S	S	S	C	C	C	C	C	C
掃描 時間	6	10	10	10	2/7.5	2/7.5	7.5	7.5	7.5	30/15
接收 資料 格式	LV2	LV2	LV2	LV2	LV2 & RB5	LV2 & RB5	LV2	LV2	LV2	RB5

雷達資料處理流程

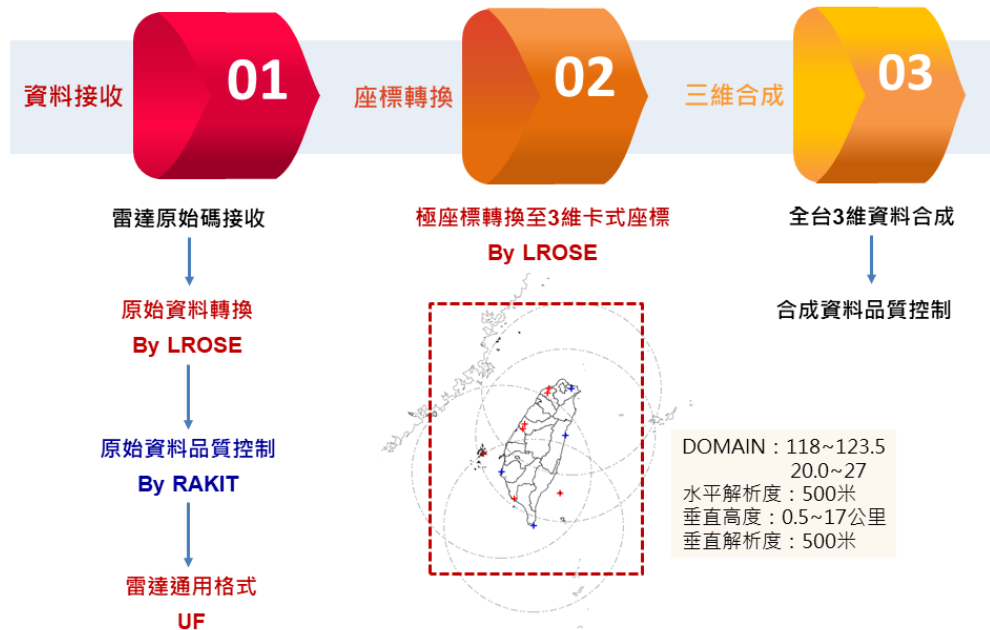


圖 2.2 本研究建立之雷達資料處理與全臺 3 維資料合成流程

2.2 雷達資料品質控制

如同前文所述，氣象雷達發射之電磁波，在大氣傳遞過程中，如果碰到地面障礙物(例如：地形、建物)或是鳥、昆蟲及海浪等非氣象物體時，會產生雜訊進而影響資料的品質。此外，雷達硬體本身系統偏差、雷達訊號與環境交互作用所致的電磁波能量衰減以及風場折疊，也會影響觀測資料的正確性。因此，在使用雷達資料前，必須針對不同的雷達，建立專屬的資料品質管理(quality control, QC)流程，用以修正資料，加強後續資料分析與應用之正確性。

本研究建置的雷達資料品質控制流程，採用中央大學大氣科學

系雷達氣象實驗室開發的 Rakit (Radar Kit) 氣象雷達資料編修軟體，進行流程編排與設定。由於都卜勒雷達與雙偏極化雷達是兩種不同類型的雷達，觀測參數也有差異。因此，在資料品質控制上，使用的方法及步驟也有區別，兩種類型雷達資料的品質管理流程分別如圖 2.3、圖 2.4。以下，將分別針對本研究建立之都卜勒雷達、雙偏極化雷達的資料品質控制及風場去折疊之參數設定，進行詳細說明。

2.1.1 都卜勒雷達資料品質控制

目前環島氣象雷達網中，共有 4 座都卜勒氣象雷達，分別為中央氣象局所屬之七股、墾丁、花蓮(S 波段，10 公分波長)及民航局之桃園機場雷達(C 波段，5 公分波長)。由於，S 波段波長較長，發射能量強，電磁波在通過降雨系統時，能量不易受水滴粒子影響而衰減，因此不需考量衰減修正之問題。C 波段之雷達，雖然在劇烈降雨事件，潛在能量衰減的問題，但由於都卜勒雷達沒有偏極化參數的幫助，因此也不進行資料衰減之修正。

都卜勒雷達進行非氣象資訊濾除時，主要使用的方法有二。第一是根據雷達附近的地形資料，直接把在地形上出現的回波濾除；第二，則是利用回波與風速的關係，當電磁波碰到固定不動的物體時，會產生強回波，但因物體不動，雷達風場會顯示為弱風速，因

此可利用強回波弱風速的概念濾除。本研究統計山區、雷達中心附近及海面等非氣象資訊的回波與徑向風速之間的關係，找尋適合的回波與徑向風速門檻值。再考慮資料高度、位置及與地形之間的高度差，來進行非氣象資訊的濾除，使用的門檻值如表 2.2 所示。實際濾除的結果如(圖 2.5)顯示，本研究使用的參數設定可有效地把大部分非氣象資訊濾除，且不會過度濾除到氣象資訊的資料。

表 2.2 都卜勒雷達濾除雜訊時，使用的門檻值設定

雷達名稱	山區	雷達附近
七股雷達	回波(dBZ) > 15	-50 < 回波(dBZ) < 20
	徑向風(m/s) < 2	徑向風(m/s) < 5
墾丁雷達	無，山區不進行掃描	回波(dBZ) > 0
		徑向風(m/s) < 5
花蓮雷達	回波(dBZ) > 0	0 < 回波(dBZ) < 20
	徑向風(m/s) < 5	徑向風(m/s) < 5



圖 2.3 本研究建置之都卜勒雷達品質管理流程，應用於花蓮、七股、墾丁及桃園機場雷達資料

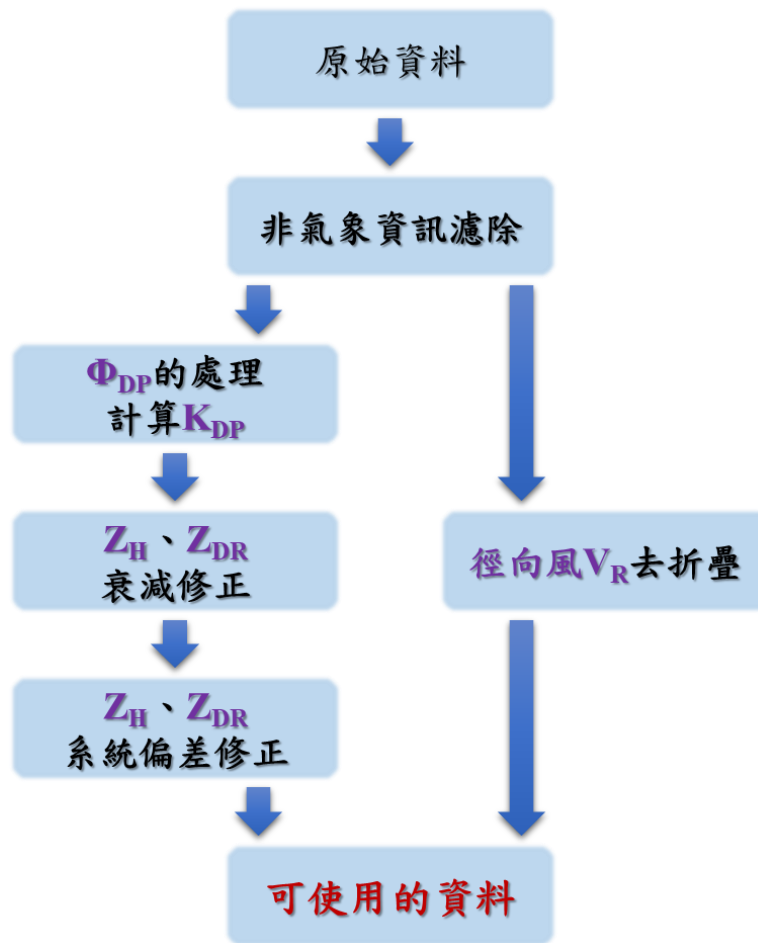


圖 2.4 本研究建置之雙偏極化雷達資料品質管理流程，應用於五分山、清泉崗、馬公、綠島、林園及林園雷達資料

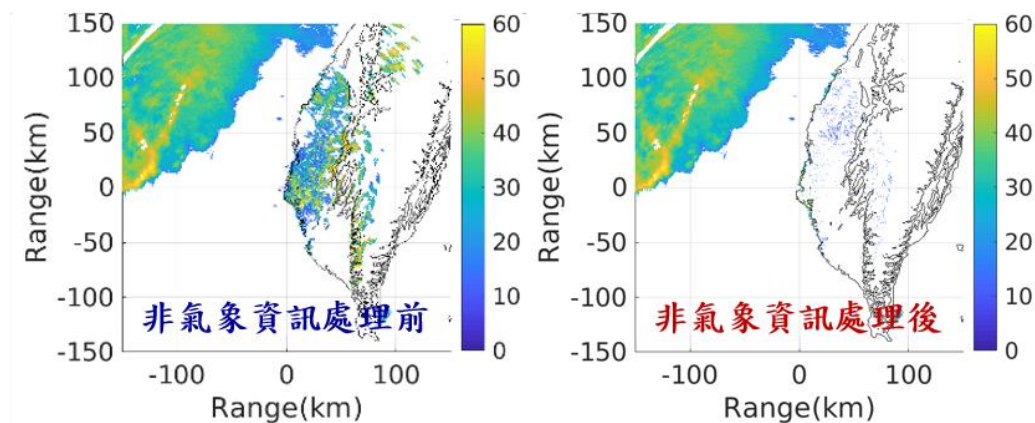


圖 2.5 非氣象資訊處理前後差異

2.1.2 雙偏極化雷達資料品質控制

雙偏極化雷達在作雷達資料品質管理時，可以利用觀測到的偏

極化參數，協助資料品質的處理。唯獨因不同雷達，資料特性之差異，因此需針對各別雷達，研究與找尋適合的品質管理參數。有關本研究雙偏極化雷達資料處理流程，詳細步驟與內容說明如下：

1. 非氣象資訊濾除：

偏極化雷達觀測參數中的相關係數(ρ_{HV})，其定義為連續時間裡，雷達觀測到的水平回波 (Z_{HH})和垂直回波(Z_{VV})之間的相關性。 ρ_{HV} 值受觀測目標的散射行為是否一致所影響，當觀測到的目標為純相(如純液態水、純冰等)時， ρ_{HV} 值較高，通常可達 0.9 以上；反之，若目標為混相時， ρ_{HV} 值較低。而地形的散射行為是較雜亂的，所以也會造成低的 ρ_{HV} 值。實際使用 0.9 作為門檻值時，發現會濾掉過多的降水粒子資訊，反之若降低 ρ_{HV} 門檻值，雖保留完整的氣象資訊，但亦容易保有雜訊。因此本研究搭配差異相位差(Φ_{DP})的標準差，來輔助雜訊的濾除。在經過多座雷達間的比較及測試，對於 S 波段及 C 波段的偏極化雷達資料，將使用不同的門檻值進行資料的濾除(表 2.3)。

以林園雷達為例(圖 2.6)，當使用 $\rho_{HV}=0.9$ 、 Φ_{DP} 標準差=10 或 $\rho_{HV}=0.8$ 、 Φ_{DP} 標準差=7 作門檻值時，皆會濾掉過多的氣象資訊。但若使用 $\rho_{HV}=0.8$ 、 Φ_{DP} 標準差=10，除了可有效的濾除非氣象資訊

外，氣象資訊也成功的被保留下來。

表 2.3 本研究使用之雙偏極化雷達非氣象資訊濾除門檻值

波段	ρ_{HV} 值	Φ_{DP} 標準差	代表雷達
S 波段	0.9	10	五分山雷達
C 波段	0.8	10	馬公、清泉崗、林園、南屯、綠島

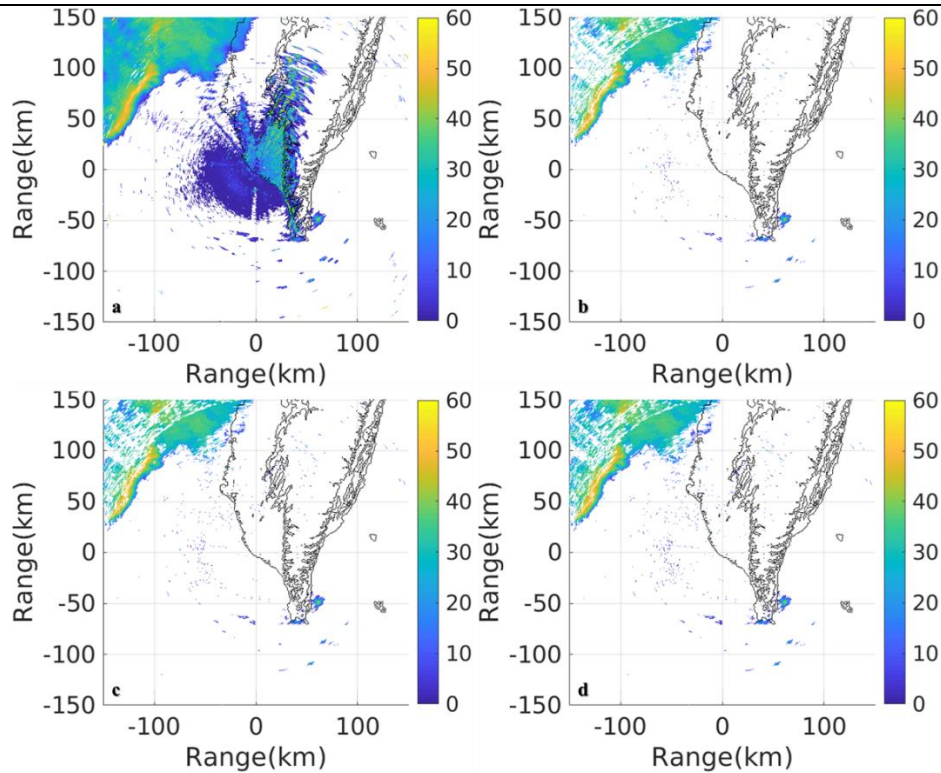


圖 2.6 林園雷達(a)原始資料，利用不同門檻值(b) $\rho_{HV}=0.9$ 、 Φ_{DP} 標準差=10、(c) $\rho_{HV}=0.8$ 、 Φ_{DP} 標準差=7、(d) $\rho_{HV}=0.8$ 、 Φ_{DP} 標準差=10 處理後的結果

2. 差異相位差(Φ_{DP})去折疊與平滑及比差異相位差(K_{DP})反演：

雷達發射之電磁波在經過空間中的水象粒子時，會被粒子吸收產生向前散射之電磁波。經過水象粒子散射後的淨電場，會和雷達原始所發射的電場存在相位的偏移，此偏差量稱之為相位差。由於大氣中的水象粒子並非全是圓球體，因此不同極化方向入射的電磁波，所造成的相位偏移也會有所不同。所以，偏極化雷達中兩個極化方向之電

磁波相位偏移的差異量，便稱之為差異相位差(Differential phase shift, Φ_{DP})。 Φ_{DP} 的特性是會隨著電磁波在降水區傳播距離增加而增加或維持不變。所以 Φ_{DP} 在弱降水區偏差量小，在強降水區偏差量大。不過由於 Φ_{DP} 值為累積量，在分析使用上較不直觀。因此在實際分析應用上，多使用 Φ_{DP} 隨距離之變化率，即是比差異相位差(Specific differential phase shift, K_{DP})。 K_{DP} ，其所應的就是大氣中的液態水含量，且因其為相位資料，具有不受能量衰減影響之優點，對於應用於劇烈降雨之雨量估計有顯著的優勢。

$$K_{DP} = \frac{1}{2} \frac{d\Phi_{DP}}{dr} \quad \text{式2.1}$$

由於 K_{DP} 並非雷達實際觀測之結果，需透過 Φ_{DP} 進行反演。因此，在進行 K_{DP} 反演前，須先針對 Φ_{DP} 進行資料品質處理。有關 Φ_{DP} 資料處理，本研究採用紀(2005)的方法。首先，將 Φ_{DP} 作去折疊(unfolding)後，利用 17 點平滑的方式來降低 δ 之影響(劉 2005)。最後，透過式 2.1 來估計 K_{DP} ，最後再把 K_{DP} 作 3 點平滑，增加資料之連續性。

3. 回波(reflectivity factor, Z_H)及差異反射率(Differential reflectivity,

Z_{DR})衰減修正：

差異反射率(Differential reflectivity, Z_{DR})為水平偏極化方向回波(Z_{HH})與垂直偏極化方向回波(Z_{VV})的推導量，其值受降水粒子的形狀

及介電常數所控制。當降落的雨滴越大顆，雨滴的形狀越扁平，對應的 Z_{DR} 值也越大；相反的，當降落的雨滴越小顆，雨滴的形狀越接近圓形，對應的 Z_{DR} 值會接近零。因此可利用 Z_{DR} 來判斷雨滴的大小。

Z_H 及 Z_{DR} 皆為電磁波功率的推導量，與電磁發發射之能量有關，所以觀測值會受到降水系統的影響，而有能量衰減問題。真正的 Z_H 及 Z_{DR} 值可以寫作：

$$Z_H = Z_H^{obs} + A_H + Z_H^{bias} \quad \text{式 2.2}$$

$$Z_{DR} = Z_{DR}^{obs} + A_{HV} + Z_{DR}^{bias} \quad \text{式 2.3}$$

換句話說，完整的 Z_H 及 Z_{DR} 值為觀測值(Z_H^{obs} 、 Z_{DR}^{obs})、衰減量(A_H 、 A_{HV})與系統偏移量(Z_H^{bias} 、 Z_{DR}^{bias})的加總。因此在降水系統內之觀測量必須經過能量衰減修正(attenuation correction)與系統偏移修正後才能使用。根據前人研究(Bringi et al. 1990)， Z_H 及 Z_{DR} 的衰減量 A_H 及 A_{HV} 與 K_{DP} 之間有良好的線性關係，因此可用 K_{DP} 作衰減修正，公式可表示成：

$$A_H = \alpha K_{DP} \quad \text{式 2.4}$$

$$A_{HV} = \beta K_{DP} \quad \text{式 2.5}$$

式 2.4 與式 2.5 中之 $\alpha=0.08627$ 及 $\beta=0.01643$ ，係數的決定是利用過去 5 年的雨滴譜儀資料模擬，透過統計的方式計算得到(圖 2.7)。圖 2.8 為林園雷達 Z_H 衰減修正前後之比對，修正後之結果顯然較為接

近理論值。

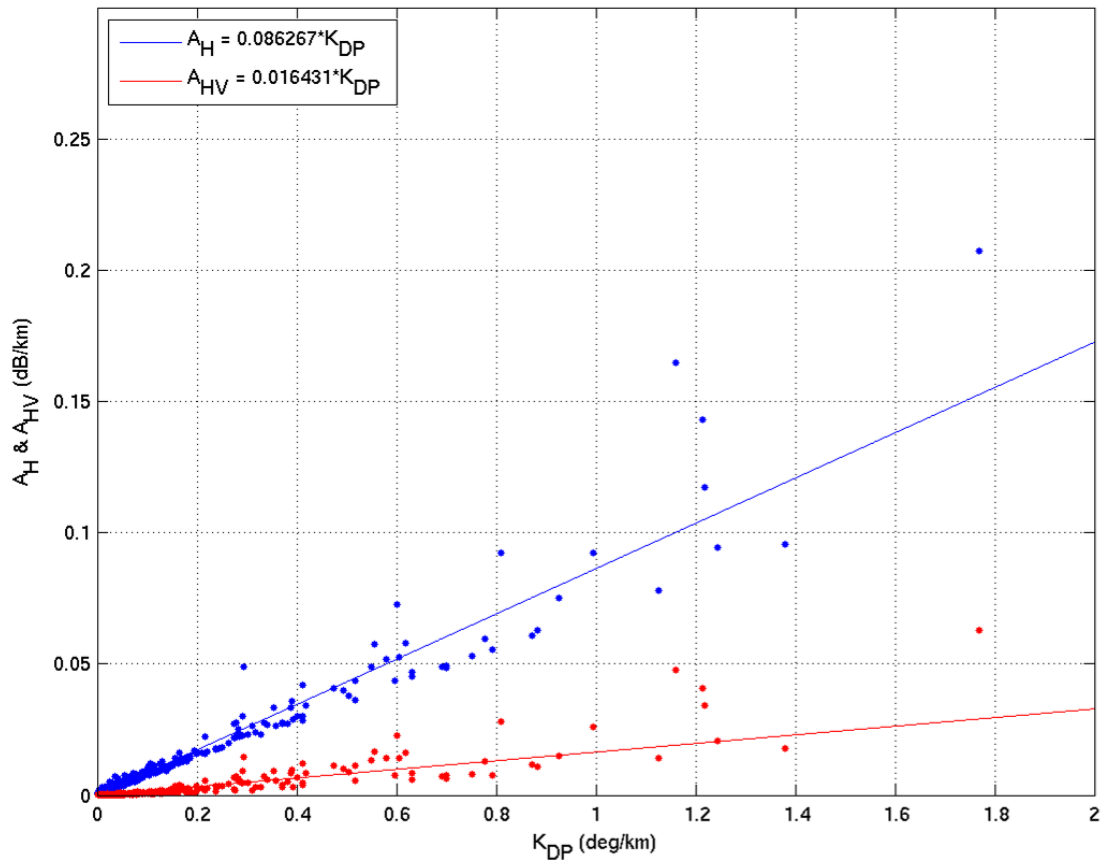


圖 2.7 利用 5 年的雨滴譜儀資料模擬，擬合得到的 C 波段雷達衰減修正公式，藍線- A_H 、紅線- A_{HV}

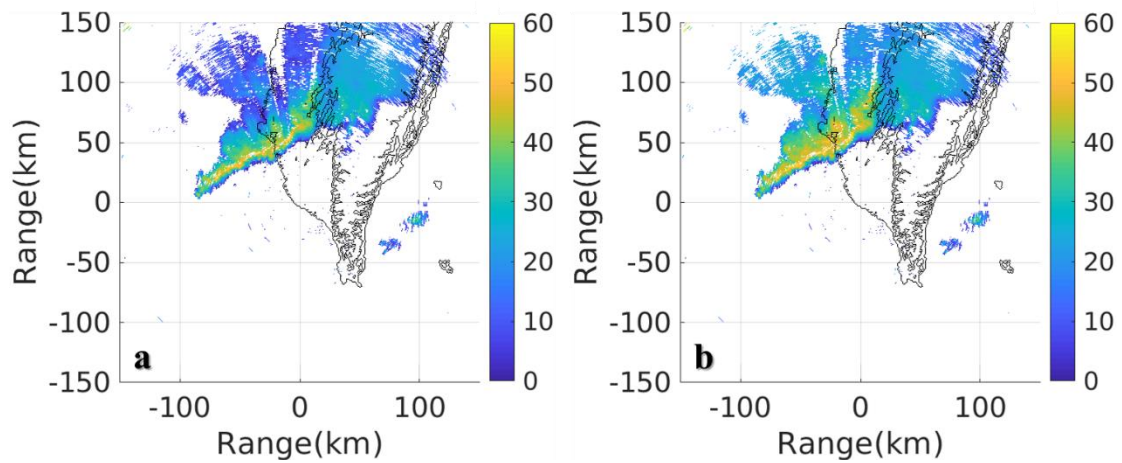


圖 2.8 雷達 ZH 資料(a)衰減修正前與(b)衰減修正後的差異

4. 回波及差異反射率系統偏差修正：

Z_H 的系統偏差(system bias)，主要是受到雷達硬體的影響，如導波管損耗、放大器增益和天線增益等，而導致觀測資料不正確。 Z_H 的系統偏差修正是利用自洽性法(Self-consistency，Goddadr et al. 1994)求取。使用 5 年的雨滴譜儀資料模擬偏極化參數，經過擬合得到 Z 與 K_{DP} 的關係式(圖 2.9)：

$$K_{DP} = aZ^b \quad \text{式 2.6}$$

式 2.6 係數在 C 波段雷達為 $a = 3.8728 \times 10^{-4}$ 及 $b = 1.1932$ ， Z 的單位為線性的 $mm^6 m^{-3}$ 。將式 2.1 的 K_{DP} 帶入式 2.6 中，求出理論的 Z 值($Z_H = 10 \log_{10} Z$)。有了 Z_H^{obs} 、 A_H 及理論的 Z_H ，即可得到 Z_H 的系統偏差量(Z_H^{bias} ，式 2.2)。

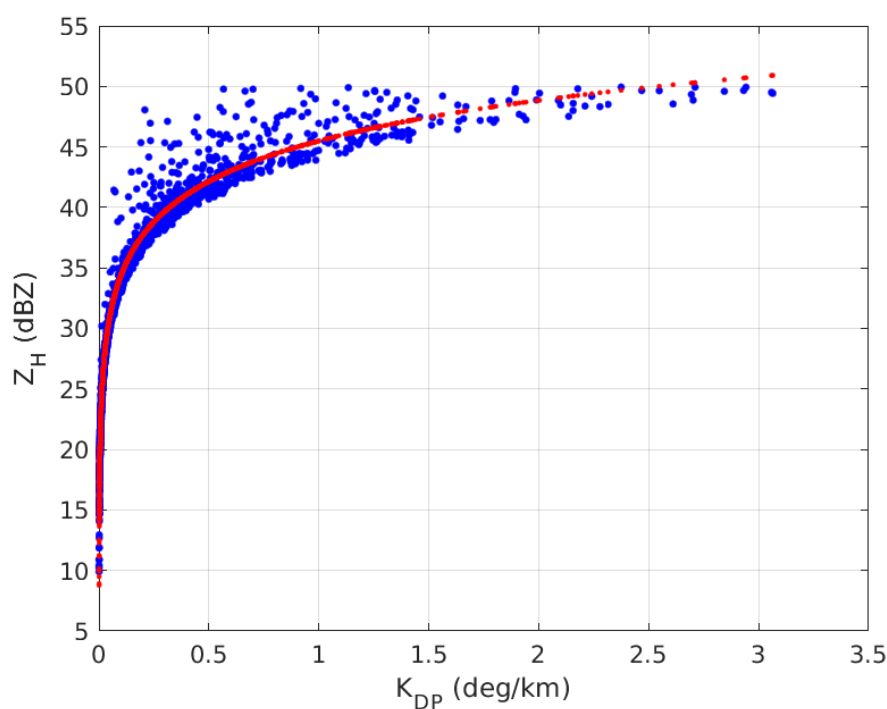


圖 2.9 利用 5 年的雨滴譜儀資料模擬偏極化參數，經過擬合得到 K_{DP} - Z_H 關係式係數，紅線為擬合出的公式結果

而收發訊號時所產生的 Z_{DR} 系統偏差量，可透過 Z_H 與 Z_{DR} 的關係 (Z_H - Z_{DR} mean relationship) 求得 (圖 2.10)。將修正好的 Z_H 帶入式 2.7，得到理論的 Z_{DR} 值。有了 Z_{DR}^{obs} 、 A_{HV} 及理論的 Z_{DR} ，透過式 2.3 的計算，即可得到 Z_{DR} 的系統偏差量 (表 2.4)。圖 2.9a、b 顯示未修正前的 Z_H 及 Z_{DR} 資料，含有許多的雜訊，而且觀測值明顯偏低。但在經過圖 2.2 的品質管理處理，雜訊被祛除掉、觀測值也修正回來，得到正確的 Z_H 及 Z_{DR} 資料 (圖 2.9c、d)，這些修正好的資料才能被使用。

$$Z_{DR} = 0.0013Z_H^2 - 0.0178Z_H \quad \text{式 2.7}$$

表 2.4 林園及南屯防災降雨雷達 Z_H 及 Z_{DR} 的系統偏差量

雷達	ZH 系統偏差量 (dBZ)	ZDR 系統偏差量 (dB)
林園雷達	2.7	0.6
南屯雷達	1.7	1.1

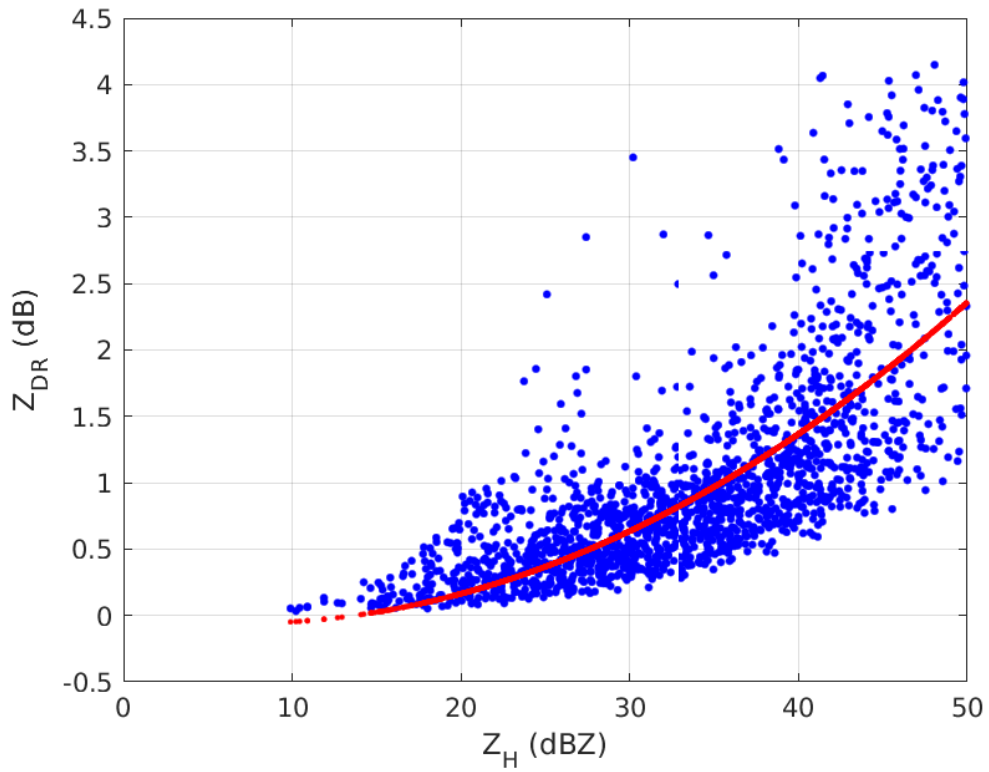


圖 2.10 利用 5 年的雨滴譜儀資料模擬偏極化參數，經過擬合得到 Z_H - Z_{DR} 關係式係數，紅線為擬合出的公式結果

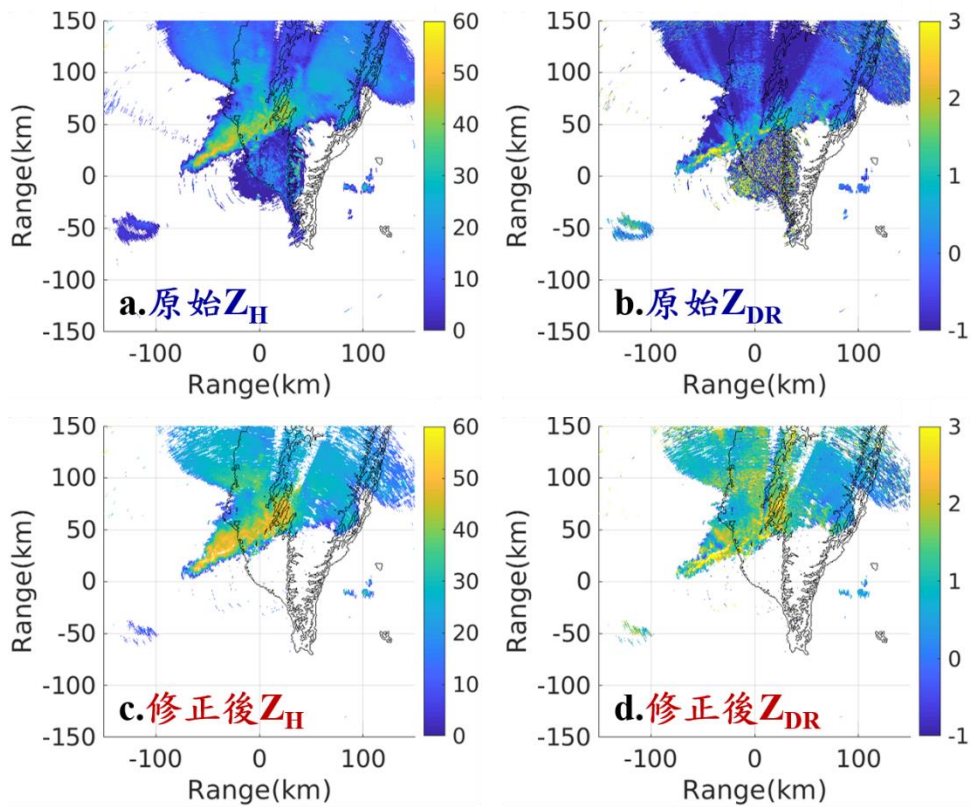


圖 2.11 雷達資料 Z_H 及 Z_{DR} (a、b) 處理前與 (c、d) 處理後的差異

2.1.3 徑向風場(radial velocity, V_R)去折疊

徑向風場(radial velocity, V_R)是由雷達相位資料計算而來。根據都卜勒效應，當電磁波發射到移動的目標，若目標遠離，電磁波的頻率就會減少；目標靠近，頻率則會增加。利用此頻率的變換，來判斷目標物的速度及移動方向(遠離或接近)雷達。當目標接近雷達時，徑向風場為負；反之則為正。徑向風的公式可簡單表示成：

$$V_R = -\frac{f_d \lambda}{2} \quad \text{式2.8}$$

式 2.8 中 λ 為雷達波長， f_D 為都卜勒位移和頻率有關。不同雷達因為發射頻率的差異，最大可觀測風速(折錯速度)也不同。觀測上，正常的徑向風場為一個連續變化的觀測場，風向正負的轉變皆會通過零值線才做變化。但當風速大於雷達最大可觀測風速時，相位值就會超出原來區間，發生風場折疊情況。在實際觀測資料上，當有風場折疊發生時，在最大可觀測風速邊界，風場資料會直接由正(負)變負(正)，出現明顯的不連續帶 (圖 2.12)。風場去折疊就是要把這些因為雷達儀器本身限制而產生的風速錯誤，進行修正。

過去，NCAR 發展的 SOLO 軟體，來處理雷達風場折疊的問題，但使用該軟體需人工逐筆處理，並不符合本研究後續產品之即時應用需求。因此本研究基於 RAKIT 軟體，利用風速在空間連續的概念，自行研發風場去折疊方法。首先找尋零值線的位置，以零值

線為基準，往外延伸找尋連續且差值小於 6m/s 的範圍，並定義此範圍內之風場資料為正確無發生折疊的，此範圍以外則為有發生折疊。接著將每仰角之資料劃分成許多的小區域，並以無折疊的區域作為參考點，從參考點開始，每一格小區域去作有無折疊的判斷，當判斷有風場折疊的情形出現時，則依鄰近參考點的數值判斷，反折疊(加減兩倍折錯速度)後之實際風速值，以此方式逐步完成整個區域。圖 2.13 為林園雷達風場資料折疊處理之前後比對，可明顯看出，經由本研究方法，可有效地去掉原始觀測資料風場折疊之問題，獲得合理的觀測風速值。

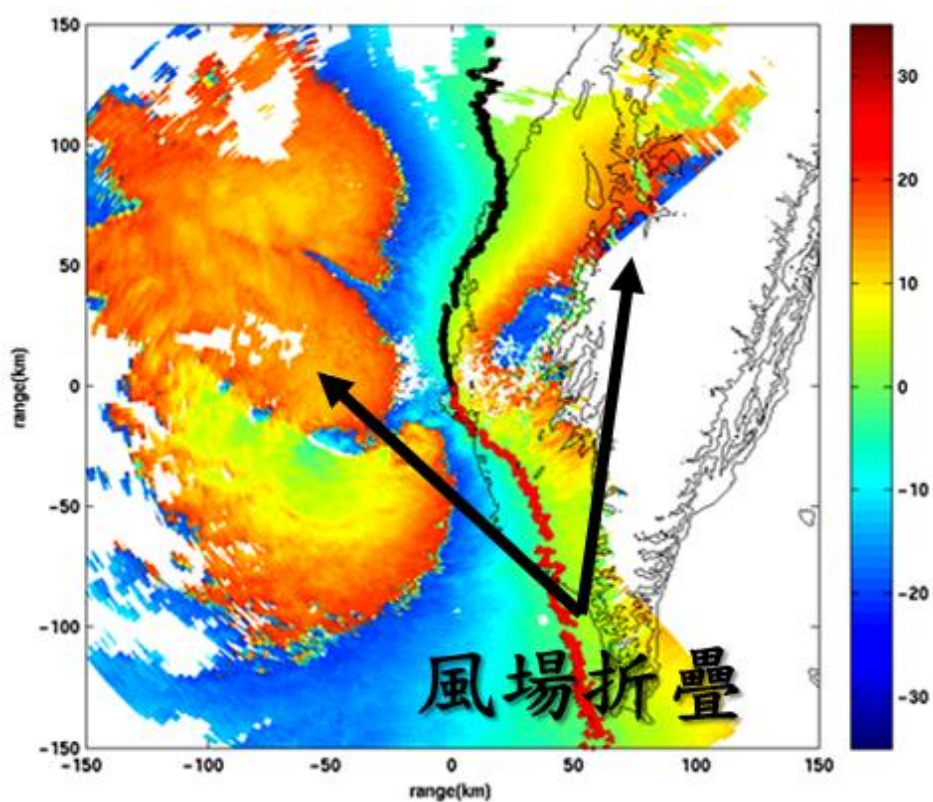


圖 2.12 中間的藍紅點線為零值線位置。當發生風場折疊時，會有正負相接的不連續帶出現

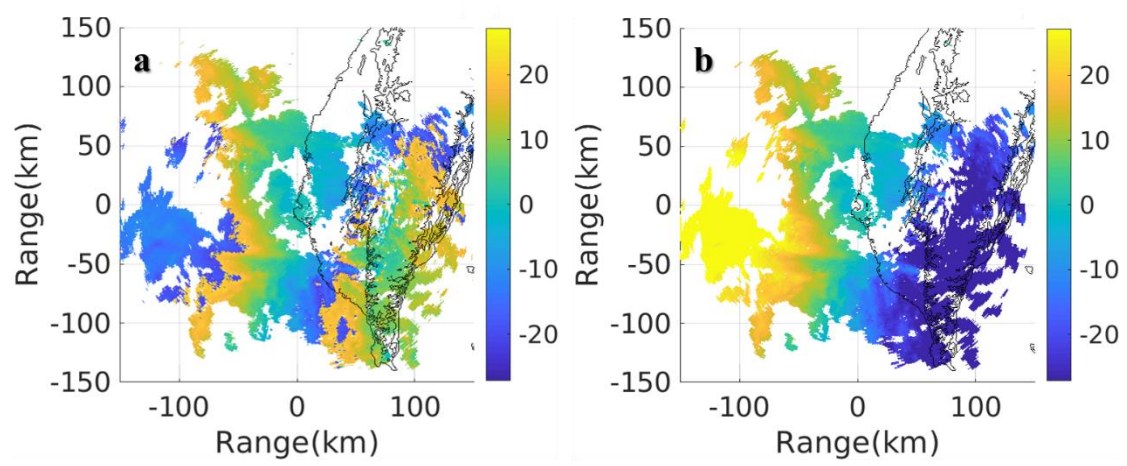


圖 2.13 風場(a)去折疊前與(b)去折疊後的結果比對

2.2 全臺 3 維雷達資料合成

經由章節 2.2 雷達資料品質控制流程後，本研究即可獲得各單一雷達值得信賴的資料。然而，誠如前文所述，單一雷達的觀測範圍有限，仍須將這 10 座雷達進行合成，才能完成全臺 3 維網格雷達資料的目標。而本研究在執行此項工作，使用的就是「拼圖」的概念，透過不同雷達觀測的範圍，逐一將台灣附近可觀測範圍內的 3 維雷達資料拼湊而成。

要完成這幅 3 度立體空間的拼圖，首先面臨的第一個問題，就是拼圖的範圍以及拼圖的細緻程度(解析度)。這些設定，除了必須考量雷達本身的特性(觀測範圍、原始資料解析度)外，還需要考量未來要研究的天氣系統特性。舉例而言，颱風多從東邊侵襲臺灣，鋒面系統多從北方南下等。此外，計算機計算時間及資料儲存空間都需要納入考量，這些都會影響這幅拼圖最後拚出來的效果。經過反覆測試評估，本研究定義的全臺 3 維網格雷達資料範圍為東經 $118^{\circ} \sim 123.5^{\circ}$ 、北緯 $20^{\circ} \sim 27^{\circ}$ ，水平解析度 0.005° (約 500 公尺)，垂直解析度 500 公尺。10 座雷達資料，都將藉由 LROSE 軟體，將完成品質控制之極座標資料內插至這個 3 維立體的卡式座標。

完成範圍與解析度設定後，接續的就是時間解析度的設定，也

就是多久要合成一筆全臺的 3 維雷達資料。由表 2.1 可知，現階段 10 座雷達完成單一體積掃描的時間並不一致，且觀測的時間點也不相同。因此，考量所有雷達資料更新頻率、資料接收時間及天氣系統移動特性，本研究採每整 10 分鐘產製一筆全臺的 3 維雷達資料。而在雷達資料取用上，採行「時間區間」的方法，10 座雷達的觀測資料必須落在合成資料時間前後的 10 分鐘內，才進行合成。除可避免使用到過舊的資料，而使得資料不連續，也可避免因為即時雷達觀測或是資料傳遞上的問題，而造成的缺漏。在實際作業上，如果即時資料傳遞順暢，多數雷達取到的觀測時間，距離合成資料時間約 3 分鐘以內，資料合理性是相當足夠的。

最後的步驟，則是將資料合成時間內取到的雷達資料合成，由圖 2.1 可知，台灣本島與近海的區域，多數都是有多顆雷達可同時觀測的。本研究採用各網格點資料排序前 3 大值的平均，同時去除空間上的單一值歧異點，加強資料在水平與垂直上之連續性。圖 2.14 為使用本研究合成之 3 維雷達資料製作成之最大回波圖與同一時間氣象局最大回波圖之比對。可以發現，本研究合成之雷達圖在中部地區有較多的雷達訊號(圖 2.14(a))，這與本研究亦使用空軍及防災降雨雷達資料進行合成有關。

經由前述雷達資料品質控制及全臺 3 維雷達資料合成之步驟，

本研究已即時且穩定的產出單一雷達網格資料及全臺 3 維合成雷達資料，相關資料後續可應用在雷達 3D 展示、WISSDOM 三維風場反演、雷達資料同化、回波與閃電強降雨監測、雷達定量降雨估計等技術應用，強化短延時強降雨系統之防災科研能量。

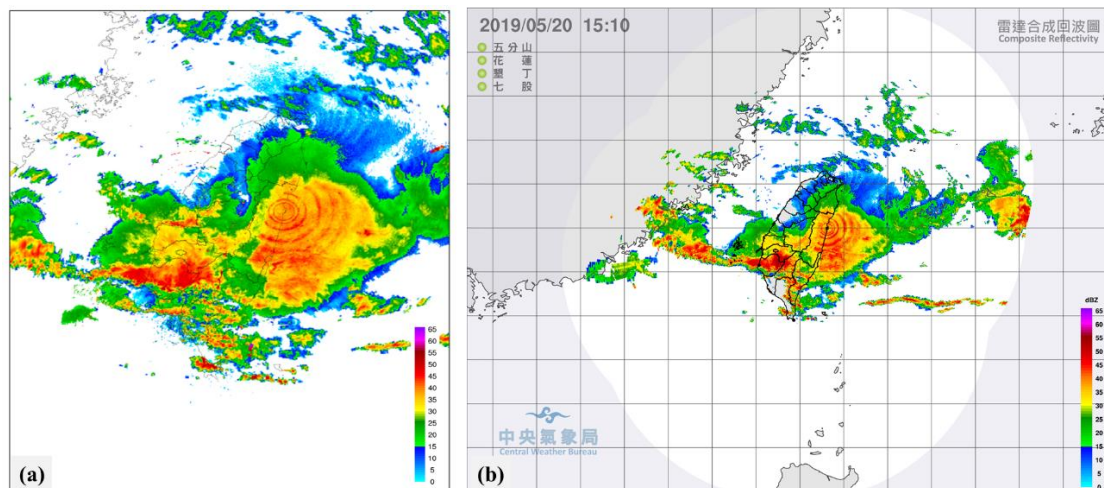


圖 2.14 (a)採用本研究全臺 3 維雷達資料合成方法製作出之 2019 年 5 月 20 日 15 時 10 分之最大回波圖；(b)氣象局官網提供之 2019 年 5 月 20 日 15 時 10 分之最大回波圖

第三章 雷達 3D 展示介面

3.1 3D 資料展示軟體簡介

為加強防災意識，如何將防災資訊轉化為更直覺、更能理解的方式是一項重要課題，本中心引進美國大氣科學中心（NCAR）開發的 3D 繪圖軟體 VAPOR，將 3D 繪圖應用在雷達資料展示與分析。VAPOR 開發時即以大氣和地球科學相關資料呈現為主要目標，考量了科學資料的讀取、多變數、慣用呈現方式。

軟體採用視窗介面，而非程式指令，讓使用者可以更直覺地放大縮小、旋轉視角、調整色階、透明度等參數。資料呈現方式有：三維等值面、立體渲染、二維等值線、三維流線、向量箭頭等，亦可同時開啟多個視窗繪製。圖 3.1 為 VAPOR 繪製 WRF 模式模擬颱風回波（立體渲染）和三維風場（向量箭頭）。

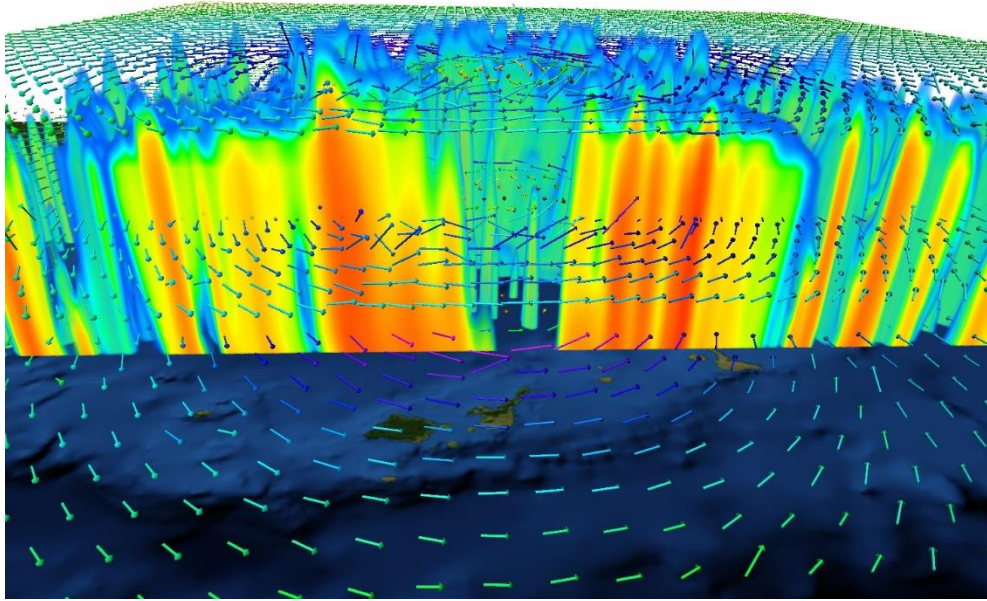


圖 3.1 WRF 模式模擬颱風回波和三維風場

VAPOR 雖然可直接讀取 WRF-ARW、MOM4、MPAS 等模式輸出格式，但卻無法直接讀取雷達資料，因此本中心必須先將雷達資料網格化，並將二進位資料（binary data）轉為 VAPOR 可讀取的輸入格式。在轉檔同時，我們可以設定同時輸入多個時間資料，以利後續製作動畫。為了將資料重點清楚呈現，可依雷達回波強度和季節天氣系統，進行色階、透明度等參數微調，並可將調整的參數存檔供之後使用。圖 3.2 為 VAPOR 繪製本中心處理的高解析雷達資料和反演降雨強度。

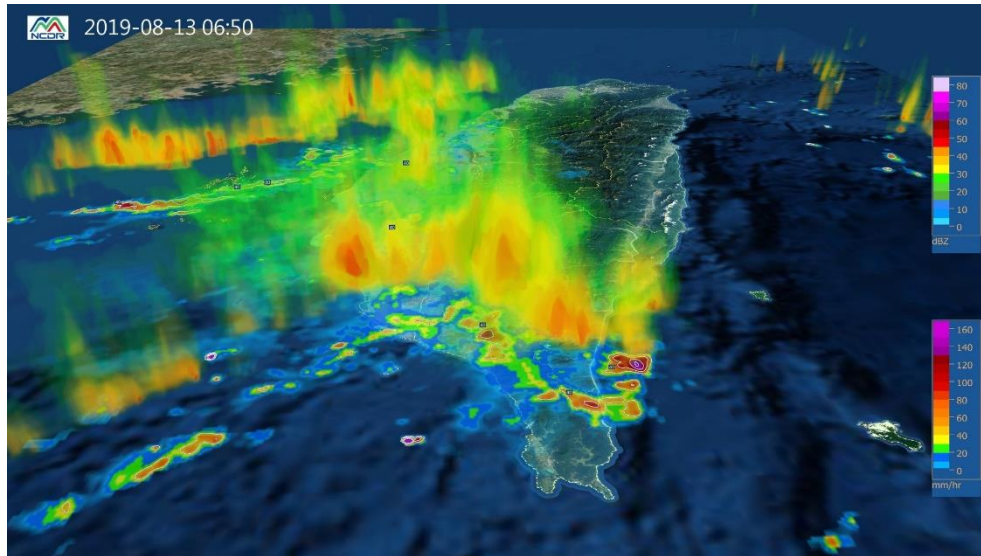


圖 3.2 VAPOR 繪製 108 年 8 月 13 日中南部強降雨個案

3.2 雷達資料 3D 展示自動化模組

目前一般 3D 繪圖，包含美國 NCAR 的軟體 VAPOR，僅能使用手動操作方式，多應用在個案分析上。今（108）年災防中心利用 WINDOWS 批次語法等方式，建構跨系統的自動繪圖模組圖，將雷達資料 3D 展示自動化。此雷達資料 3D 展示自動化模組（圖 3.3）包含資料模組、視覺化模組、服務模組三大項。

NCDR雷達資料3D展示自動化模組

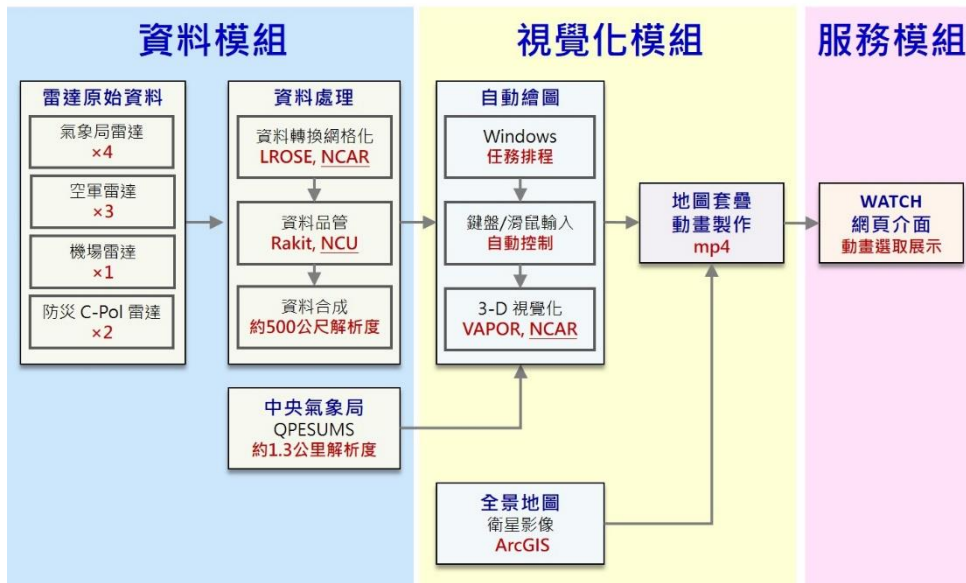


圖 3.3 災防中心雷達資料 3D 展示自動化模組

資料模組部分，以 UNIX 系統為主，除了歷史個案資料，亦可輸入目前雷達觀測資料；可選取災防中心合成處理的高解析 3D 雷達資料（水平解析度為 0.005 度，約 555 公尺）或是中央氣象局的 QPESUMS 雷達資料（水平解析度為 0.0125 度，約 1.3 公里），這兩組資料都是每隔 10 分鐘更新。

視覺化部分，以 Windows 系統為主，配合雷達資料更新時間，製作每 10 分鐘的任務排程。先自動讀取遠端資料，轉化為 3D 繪圖所需的檔案格式，輸入預設的視角、色階等設定，套疊地圖製作 3D 雷達圖，再將數張 3D 雷達圖組成 mp4 動畫。

服務模組部分，為了讓資訊能夠快速傳遞且容易遠端取得，採用災防中心的天氣與氣候監測網（WATCH）網頁，經過數個月的

測試與修正，目前能穩定地每 10 分鐘自動繪製展示最新的環臺雷達 3D 圖，可做為防災及科普教育使用。

3.3 雷達資料 3D 展示與應用

今（108）年汛期嘗試將雷達資料 3D 展示應用在颱風等強降個案。為提高應變時期使用效率，採用預畫選單的方式，利用歷史颱風資料進行測試，開發颱洪應變 3D 展示模組，在今年利奇馬颱風、白鹿颱風和米塔颱風侵臺期間，已開始提供應變使用。

颱洪應變 3D 展示模組的工作重點在提早在颱風生成守視時，以歷史資料預先規劃範本（如圖 3.4、圖 3.5），再依最可能的預報路徑選取出 3 個可能效果較佳者。視颱風特性和需要將範本微調後，在海上颱風警報發布前提早啟動，導入即時資料自動展示模組。最後在颱風靠近，雷達資料可看到暴風圈時，依呈現效果和應變需求選取一組作展示。圖 3.6 為今年唯一登陸臺灣本島的白鹿颱風（BAILU）3D 展示，圖 3.7 為今年 9 月米塔颱風（MITAG）3D 展示。

若因颱風路徑或強降雨區與預期不同，造成預畫選單皆無法呈現關注重點區域，可另外製作 VAPOR 範本，重新導入視覺化模組，並將資料模組設定為一次導入過去數小時資料，完成應變需

求。

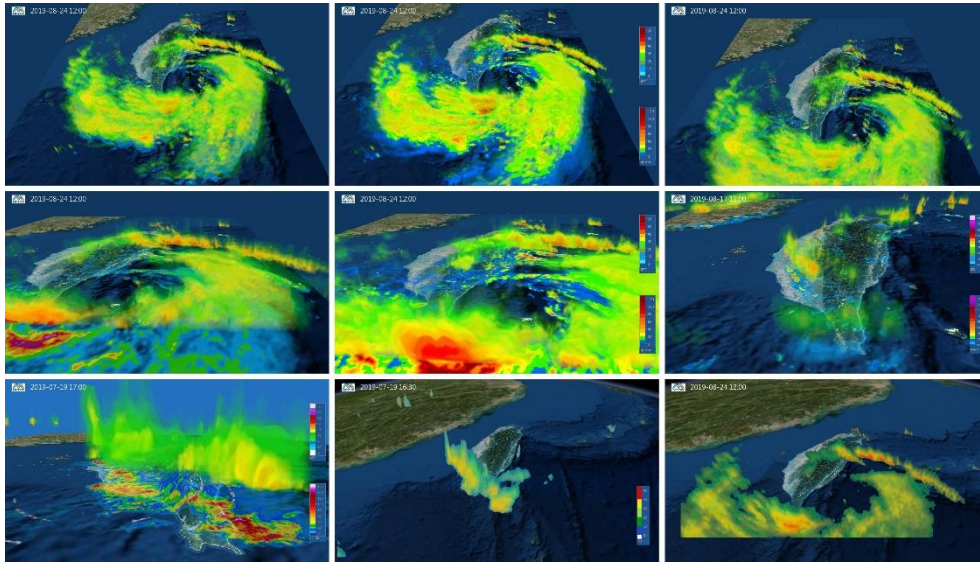


圖 3.4 以歷史資料規劃不同視角、色階、透明度的範本

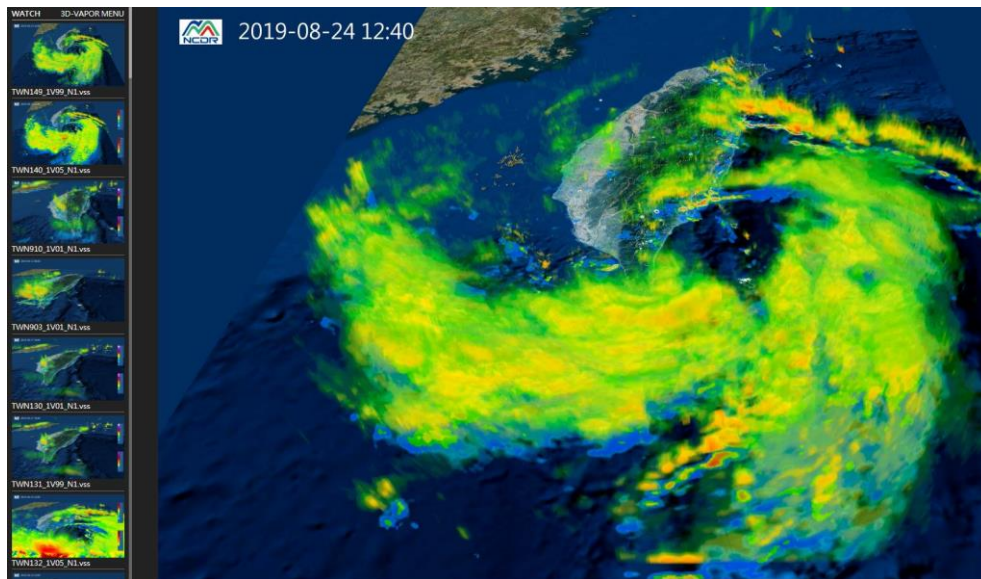


圖 3.5 製作不同視角、色階、透明度的 3D 視覺化預畫選單

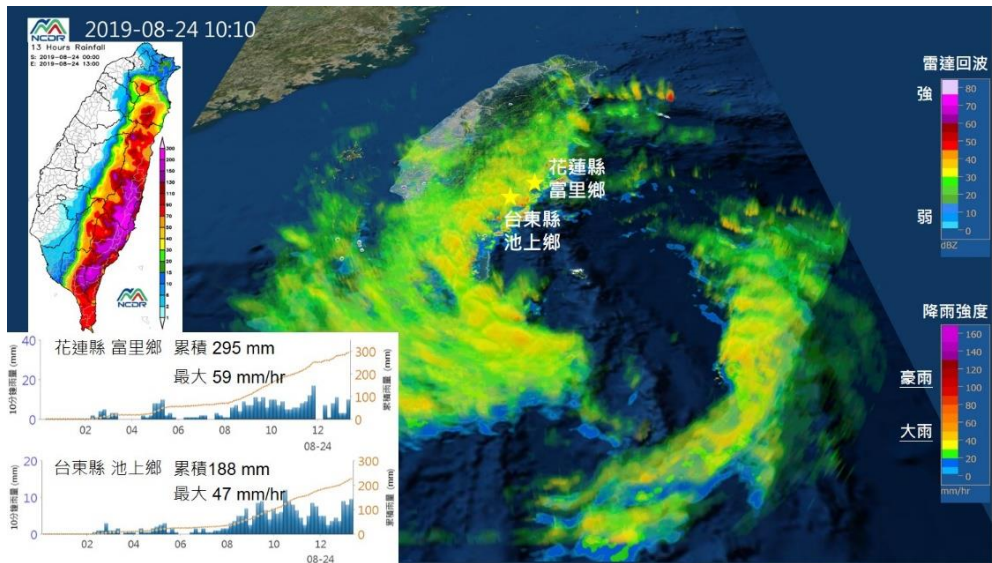


圖 3.6 白鹿颱風 (BAILU) 3D 展示

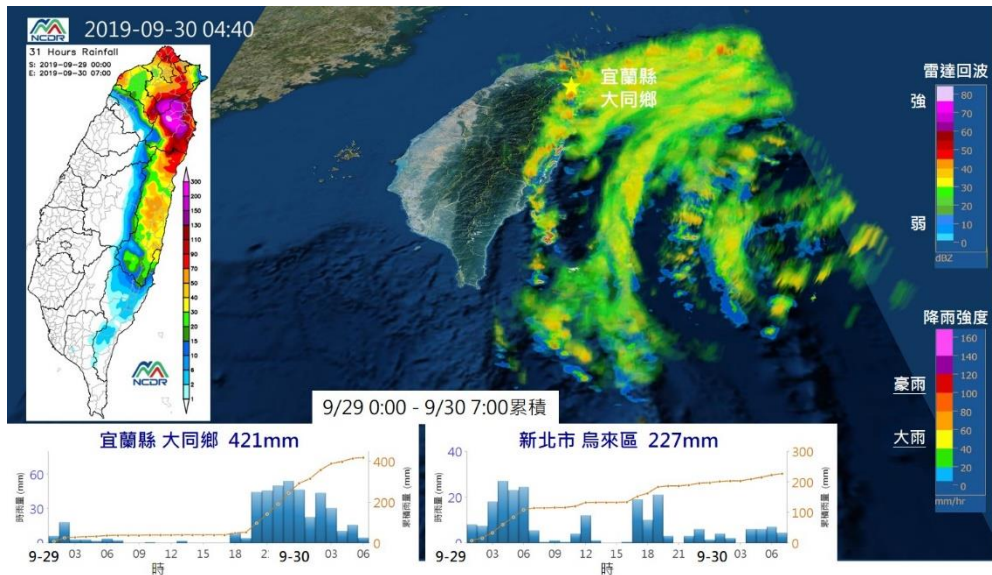


圖 3.7 米塔颱風 (MITAG) 3D 展示

第四章 WISSDOM 三維風場反演技術

4.1 WISSDOM 雷達三維風場反演技術建置

2017 年本中心與國立中央大學廖宇慶教授合作，使用五分山、桃園機場、中央大學等 3 顆雷達觀測資料，使用多都卜勒雷達三維風場合成方法((WInd Synthesis System using DOppler Measurement, WISSDOM))反演北部地區三維風場，建構北部暴雨監測系統，提供劇烈降雨監測資訊。

而因應國內防災需求經濟部水利署與中央氣象局陸續於台灣西半部地區增設防災降雨雷達，在 2018 年南部地區已於高雄市林園增設 C 波段雙偏極化雷達，提供南部地區高時時空解析之雷達降雨估計資訊，補足南部地區進行都卜勒風場反演的死角。

因此，今年度本中心為強化南部地區劇烈天氣的監測能力，以臺南市、高雄市及屏東地區為示範區域，使用七股、馬公、墾丁以及最新建置完成的高雄林園雷達共四顆雷達資料，使用 WISSDOM 雷達三維風場反演方法建構南部地區劇烈天氣監測系統。選定區域範圍如圖 4.1 所示，圖中下方紅色方框即為南部監測系統之涵蓋範圍，此區域大小為 100 公里乘以 100 公里，所提供的合成雷達資訊水平解析度為 1 公里，垂直解析度為 500 公尺，最大高度為 10 公

里。當有降雨系統發生於此區域內，可即時反演出該區域的三維風場資訊，提供劇烈降雨系統所需的防災預警參考資訊。

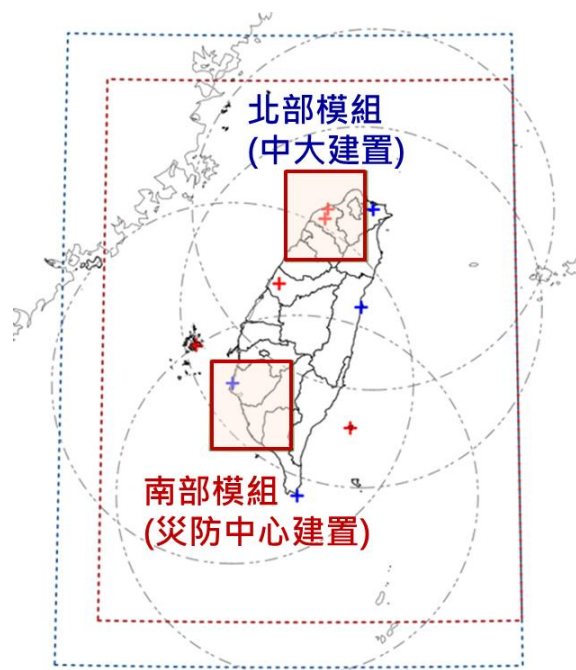


圖 4.1 WISSDOM 風場三維反演合成範圍示意圖

本年度也持續和中央大學廖宇慶教授研究室合作，取得最新版的程式，今年新增的功能為將地面測站風速及風向資訊同時放進 WISSDOM 系統中進行三維風場的合成，透過本中心即時接收氣象局提供的自動和人工地面測站的觀測資料，可即時產生地面風速資料供 WISSDOM 系統使用。

接著將目前建置好的南部地區 WISSDOM 系統以每半小時一次的更新頻率在本中心的 WATCH 系統上即時上線展示，在 WATCH 網頁中除了可點選顯示不同高度層的水平回波及風場，如圖 4.2 左

上圖所示，為 3 公里高層水平面的回波場和風場，圖 4.2 右上為 4 公里高層水平面的風場疊合幅合幅散場。另外，也可以針對想要研究的區域，進行縱剖面的分析，如圖 4.2 下圖所示，在水平圖上任意位置進行點選可畫出該點的垂直剖面風場和回波場的分佈，進行垂直剖面的繪製可透過圖中最左上角的地方，選擇要以東西向、南北向或是任兩點間進行剖面的分析。

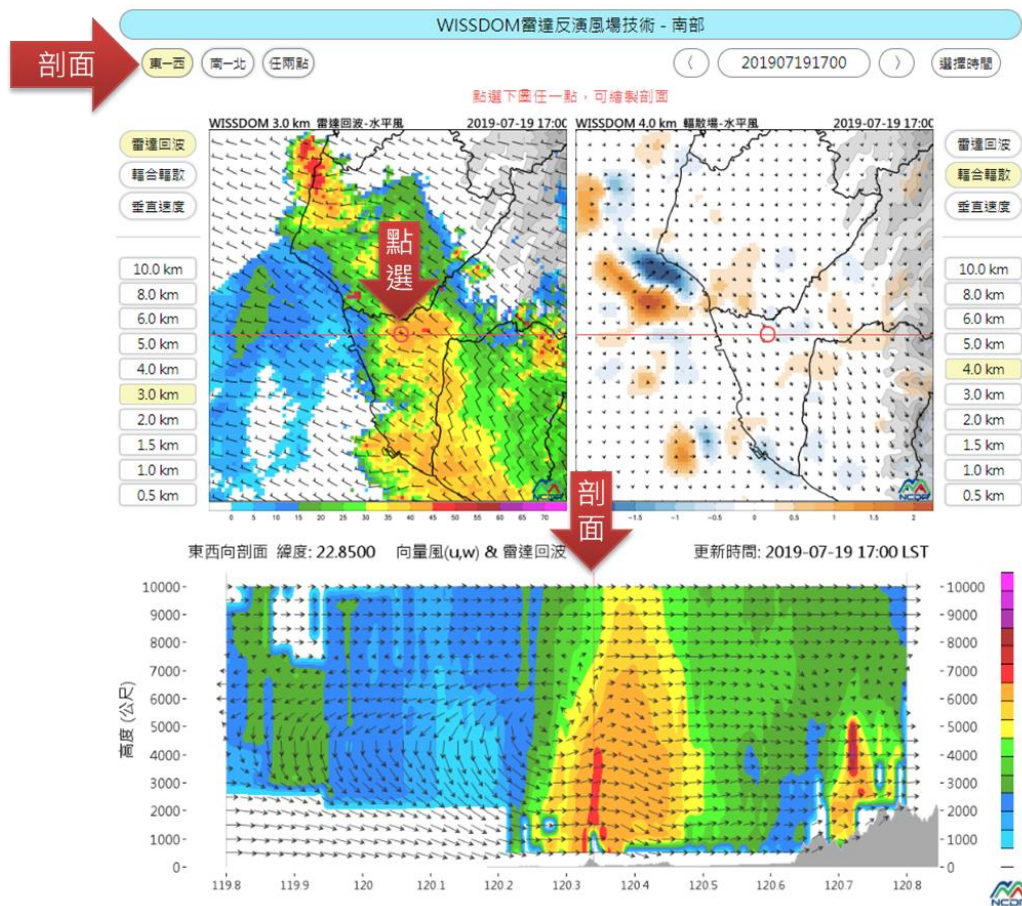


圖 4.2 今年 7 月 19 日南部降雨個案 WISSDOM 風場於 WATCH 系統上展示圖，左上圖為 3 公里高層水平面的回波場和風場，右上圖為 4 公里高層水平面的風場疊合幅合幅散場，下圖為圖中點選位置之東西向垂直縱剖通面回波場和風場分佈圖

4.2 三維風場反演個案分析

2019 年 4 月 19 日凌晨，在台灣海峽上有一弓狀回波，移入南部陸地後形成飆線系統，此系統在凌晨 3 時至 7 時之間，通過台南市、高雄市，最後於屏東地區減弱東移出海。由 4 月 19 日凌晨 2 時的地面天氣圖顯示(圖 4.3)，在南部西南方外海有低壓系統並伴隨劇烈對流發展。在凌晨 0 時至 2 時(圖 4.4a-c)，在台灣海峽上的對流系統逐漸朝台灣南部移動，並逐漸增強。凌晨 3 時至 4 時(圖 4.4d-e)，對流系統位於南部地區，隨後朝東南方移動，並逐漸消散(圖 4.4f-h)。

圖 4.5 為 4 月 19 日零時至中午 12 時於臺南市北區站與高雄市御油山站的降雨時序圖。結果顯示，臺南市較大降雨發生於凌晨 4 時至 5 時之間，尤其凌晨 5 時的時雨量高達 45 毫米。而高雄市御油山最強降雨發生於上午 6 時，時雨量為 21.5 毫米，高雄市相較於臺南市的強雨發生時間約落後 1 小時。由雷達回波觀測可以發現，弓狀回波在凌晨 3 時 30 分位於臺南市與嘉義縣市外海(圖 4.5(1))，隨後進入南部地區(圖 4.5(2))。同時，弓狀回波逐漸形成飆線系統從臺南市朝東南方移動至高雄市及屏東地區(圖 4.5(3)與圖 4.5(4))。由降雨和飆線系統移動時序(圖 4.5a 與 b)顯示，飆線系統所到之處皆有劇烈降雨發生，當飆線系統離開後，雨勢便迅速趨緩。

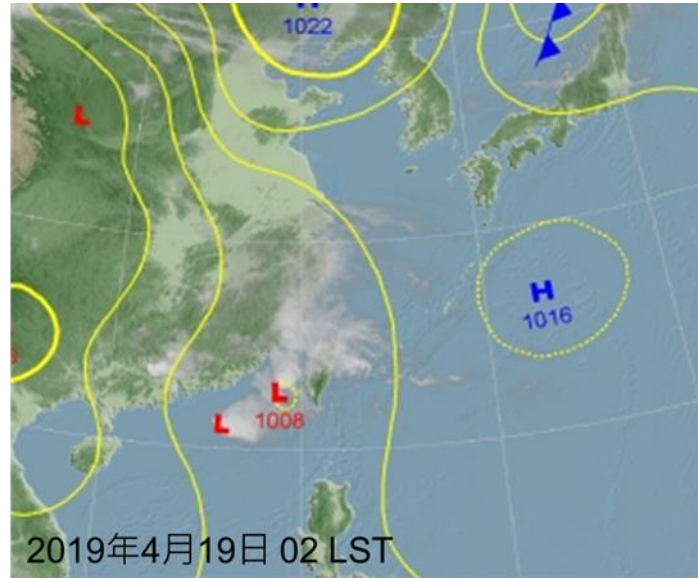


圖 4.3 2019 年 4 月 19 日 02 時之地面天氣圖(資料來源：中央氣象局)

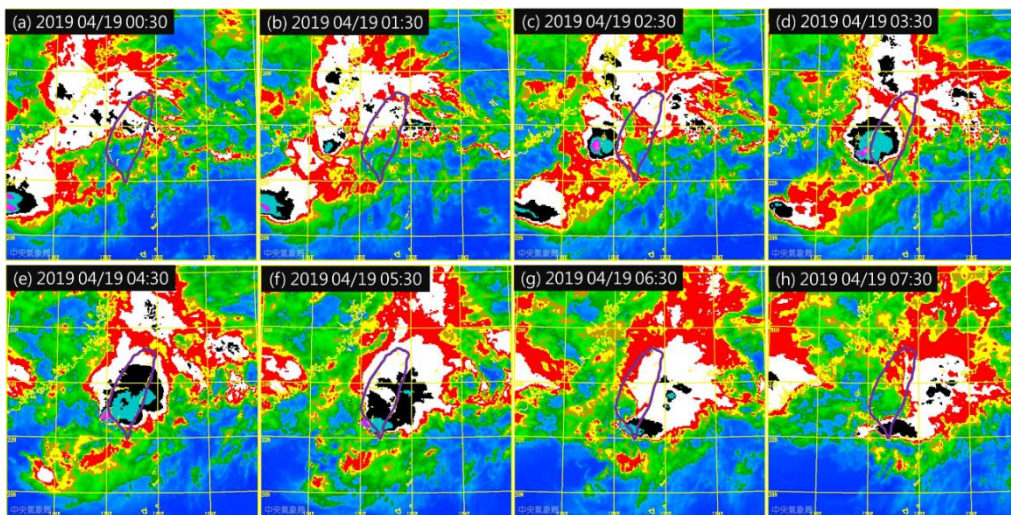


圖 4.4 2019 年 4 月 19 日之紅外線強化衛星雲圖，(a) 00:30，(b) 01:30，(c) 02:30，(d) 03:30，(e) 04:30，(f) 05:30，(g) 06:30 及 (h) 07:30。(資料來源：中央氣象局)

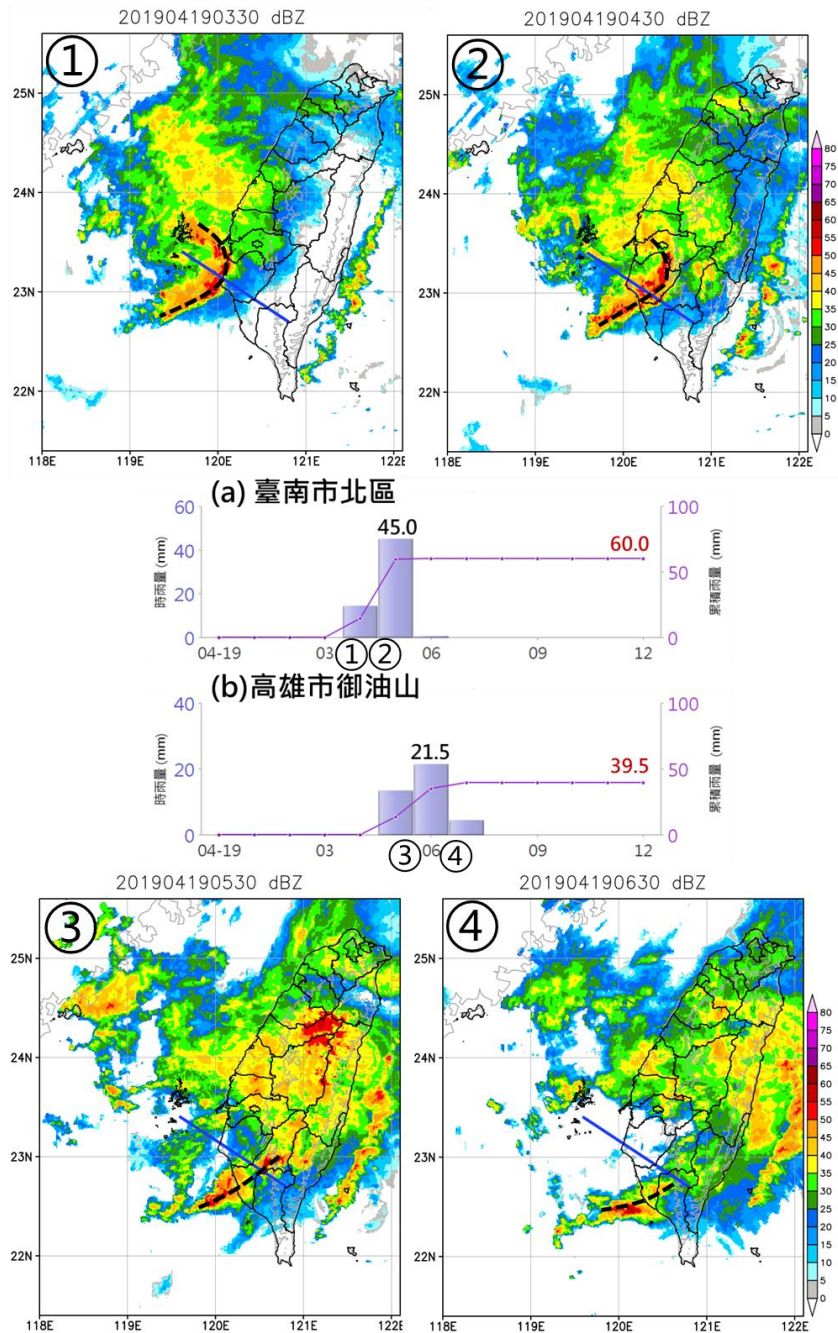


圖 4.5 颱風影響南部期間之降雨時序與雷達回波觀測，圖中降雨時序。(a)臺南市北區站，(b)高雄市御油山站。(1)至(4)為雷達回波觀測，時間分別為(1) 03:30，(2) 04:30，(3) 05:30，(4) 06:30，圖中黑色虛線表示弓狀回波或颱風線位置，藍線為圖 4 之剖面位置；回波強度如色標尺所示。(回波的單位為 dBZ)

在 4 月 19 日颱風系統影響南部期間，透過本中心建置的 WISSDOM 合成風場對此事件進行分析，合成時間間隔為 30 分鐘，高度 3 km 的 WISSDOM 風場如圖 4.6 所示，圖中黑色虛線表示風切線，可清楚見到颱風系統前方為西南風，系統後方為西風。當颱風系

統逐漸向東南方移動時，所伴隨的對流也逐漸減弱。

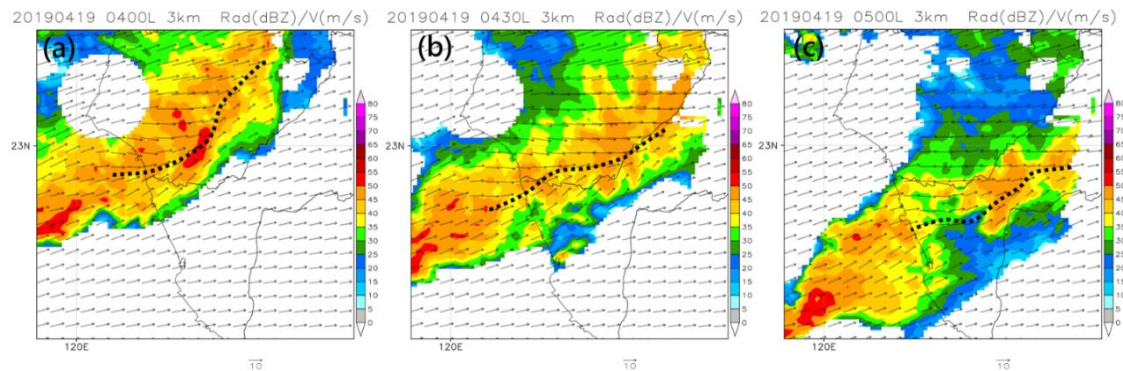


圖 4.6 4 月 19 日 WISDOM 雷達三維風場合成結果，(a) 04:00，(b) 04:30，(c) 05:00，圖中箭頭表示風速風向，黑色虛線為風切線，回波強度如色標尺所示。(單位 dBZ)

圖 4.7 為 19 日凌晨 5 時在高度 3 km 水平方向的輻散場與垂直速度場分布，結果顯示，在輻合區位於颱風系統內(圖 4.7a)，而輻散區位於系統前後兩側；垂直速度下沉區位於颱風系統後側，系統前側為上升運動區。

若沿系統運動方向進行垂直剖面分析(如圖 4.7 中，黑色點虛線所示)。結果顯示，垂直速度上升區位於颱風系統前方(圖 4.8a)，系統後側為下沉區；最大上升與最大下沉速度發生於 3-6 km 高度。另外，颱風系統內(強回波區域內)高度在 3km 以下有 2 個強下沉區，此為下衝流(downburst)與劇烈降雨發生的位置。在輻散場的空間分布顯示(圖 4.8b)，颱風系統內(強回波區)為輻合區，系統上方與下方各有一個輻散區。而颱風系統的垂直速度分布與輻散場皆有隨高度向後方傾斜的結構。

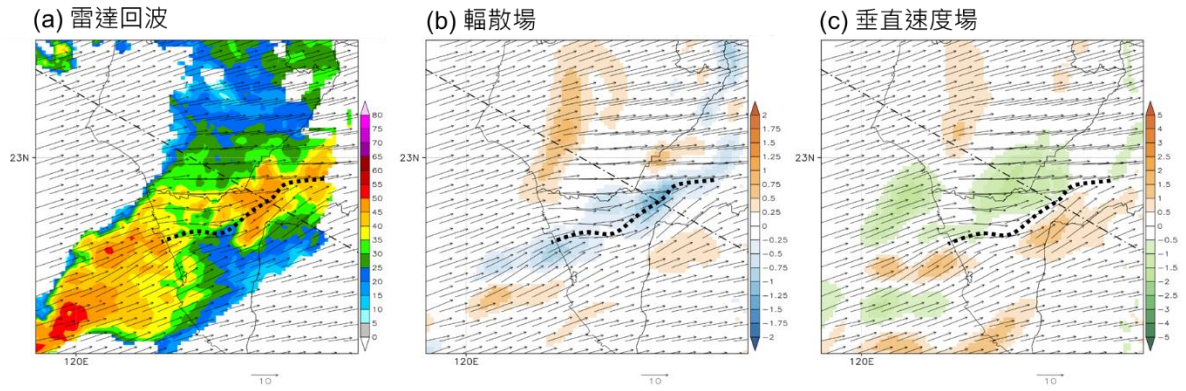


圖 4.7 4 月 19 日凌晨 5 時之 WISSDOM 雷達三維風場合成結果，(a)合成雷達回波與風場，雷達回波強度如色標尺所示，箭號表示風速和風向，單位 m/s；圖中黑色粗虛線為風切線，點虛線為圖 8 所示之剖面位置。(b)輻散場，圖中暖色為正值，表示輻散；冷色為負值，表示輻合，單位 $10^{-4}/s$ 。(c)垂直速度場，正值表上升運動(暖色)，負值為下沉運動，單位 $10^{-2} m/s$

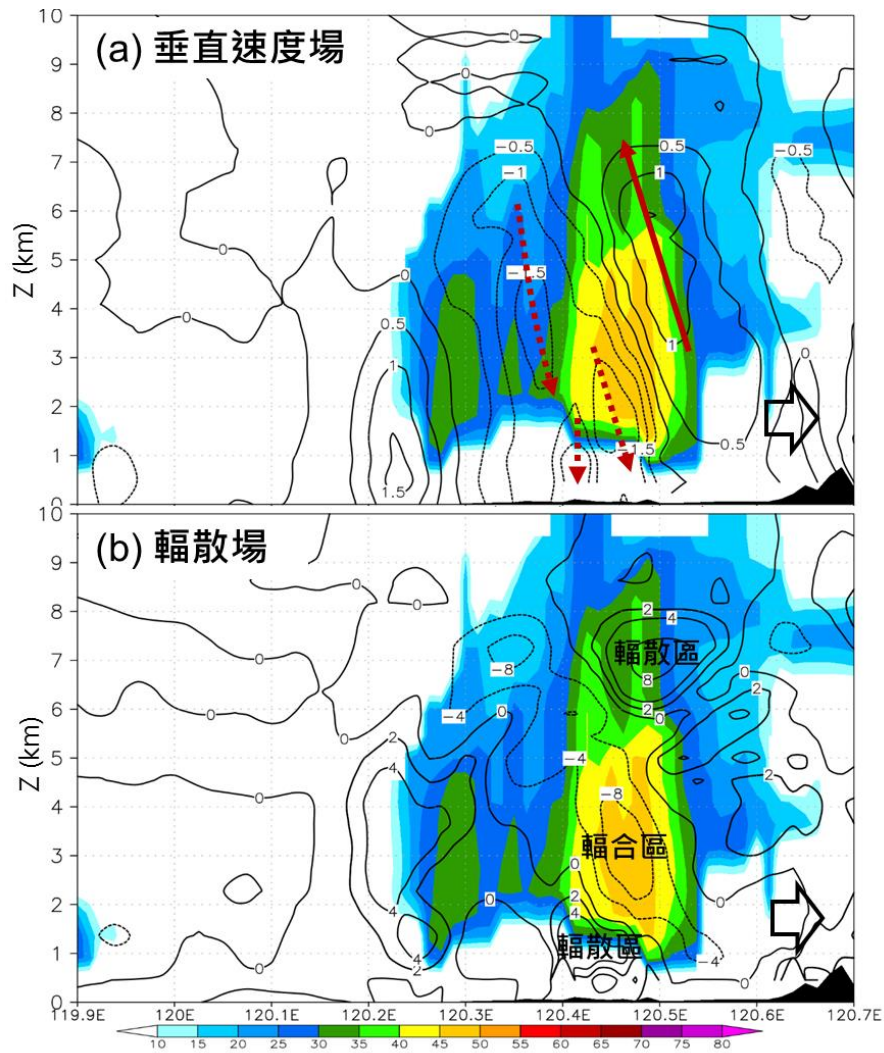


圖 4.8 4 月 19 日凌晨 5 時 WISSDOM 雷達三維風場合成之剖面分析，(a) 垂直速度場，正值表上升運動(藍色實線箭號)，負值為下沉運動(藍色虛線箭號)，單位 10^{-2} m/s 。(b) 輻散場，圖中黑色實線為正值，表示輻散；負值為虛線，表示輻合，單位 $10^{-4}/\text{s}$ 。圖中填色為雷達回波大小，空白黑色箭號表示颱風系統移動方向

去年(2018 年)高雄市林園 C 波段雙偏極化雷達站的增設完成，補足南部地區進行都卜勒風場反演的死角。經由此次事件的分析，可得知 WISSDOM 方法相關成果將有助於南部地區劇烈天氣監測系統研發建置的參考。另外，由於 WISSDOM 方法可以反演出空間中的三維風場，利用風場資料可透過公式求得渦度場以及輻合輻散

場，這些變數場對於對流降雨的發生可提供預警的訊息，未來若能在降雨發生前，即時監控此區域渦度場及幅合幅散場的變化，可以有效增進短延時強降雨事件的預警效能。

第五章 雷達與閃電強降雨即時預警系統開發

5.1 臺灣短延時強降雨系統特徵

臺灣近年來短延時強降雨所帶來的災害頻傳，這些劇烈降雨事件皆伴隨閃電及強回波的出現，但目前閃電與回波資訊，多應用在發布大雷雨訊息提醒，無法達到防災預警需求。根據前人研究(Williams et al, 1999)，強對流降雨系統通常伴隨有閃電的發生，並且閃電頻率會隨著降雨系統的增強而增加。當強降雨系統趨近於成熟，此時的閃電頻率會有急遽增加的現象，稱為閃電躍升(lightning jump)。閃電躍升的發生通常會領先於地面觀測到的劇烈天氣現象，如冰雹、龍捲風、強降雨等，領先時間約在 5 至 20 分鐘(Schultz et al., 2009；Gatlin and Goodman, 2010；戴等 2015)。當閃電頻率開始減少時，則表示強對流降雨系統開始減弱(Makowski et al., 2013)。因此，閃電頻率的變化可作為強降雨監測的參考指標。

近年臺灣的雷達觀測網的發展越來越完善，從過去中央氣象局的 4 顆 S 波段都卜勒雷達、空軍和民航局的 C 波段都卜勒雷達，到近年雷達系統的升級(都卜勒雷達升級為雙偏極化雷達)、防災降雨雷達陸續的建置，對於中央到各地防災的作業可提供很大的幫助。過去許多學者從雷達資料與閃電關係的研究中(洪, 2002；Lang et al.,

2000；Shafer et al., 2000)發現，系統中閃電的分布與強回波的位置一致，表示閃電頻率的變化與降雨系統發展強度有密切的關係。

因此，將參考前人研究成果，嘗試利用全臺 10 座氣象雷達的觀測資料(資料來源：中央氣象局、民航局、空軍)及閃電資料(資料來源：中央氣象局與台電)，進行雷達與閃電強降雨即時預警技術的開發，建構可提供防災操作的預警技術。

5.2 雷達資料與閃電資料分析

利用中央氣象局的閃電資料及林園防災降雨雷達資料，進行閃電與回波之間關係的分析。從閃電資料內容來看(圖 5.1)，裡面包含的資訊有：經度、緯度、閃電類型(1=雲地、2=雲內)、日期(年-月-日)、時間(時:分:秒)、資料單位(0=台電、1=氣象局)。

```
118.401 23.289 1 2019-04-19 00:03:00 1
118.399 23.288 1 2019-04-19 00:03:00 1
118.398 23.287 1 2019-04-19 00:03:00 1
118.395 23.295 2 2019-04-19 00:03:00 1
118.348 24.115 1 2019-04-19 00:03:00 1
118.34 24.096 1 2019-04-19 00:03:00 1
118.389 23.363 1 2019-04-19 00:03:00 1
118.387 23.357 1 2019-04-19 00:03:00 1
118.392 23.357 1 2019-04-19 00:03:00 1
118.018 23.19 2 2019-04-19 00:03:00 1
117.587 23.501 1 2019-04-19 00:03:00 1
118.498 24.243 1 2019-04-19 00:04:00 1
118.521 24.245 1 2019-04-19 00:04:00 1
118.1 24.376 1 2019-04-19 00:04:00 1
118.366 23.994 1 2019-04-19 00:04:00 1
117.424 23.747 1 2019-04-19 00:04:00 1
119.134 23.516 2 2019-04-19 00:07:00 0
119.101 23.544 2 2019-04-19 00:07:00 0
119.496 23.48 2 2019-04-19 00:07:00 0
119.545 23.458 2 2019-04-19 00:07:00 0
119.144 23.519 2 2019-04-19 00:07:00 0
119.102 23.528 2 2019-04-19 00:07:00 0
119.57 23.48 2 2019-04-19 00:07:00 0
```

44, 38 0%

圖 5.1 中央氣象局閃電資料範例

5.2.1 回波與閃電資料

將經過品質管理後的防災降雨雷達回波資料，與雲內、雲地閃電資料發生位置進行分析，嘗試找尋彼此的關係。從雲內閃電與回波的分布圖來看(圖 5.2)，當降雨系統在海上時(圖 5.2a-c)，閃電多發生在強回波區移動方向的前方，當降雨系統往陸地靠近時，閃電位置也隨著朝陸地方向移動。在 1900UTC 位在臺灣外海的降雨系統(圖 5.2c)，回波強度增強。此時陸地上方的閃電頻率和前面時間相比，明顯增加許多，是為閃電躍升。約莫 20 至 30 分鐘以後，強回波區移至臺灣，閃電躍升區域的地面開始有劇烈降雨產生(圖 5.2d)。閃電躍升領先於地面劇烈降雨的發生。如此的時間分布，與前人研究結果移至一致(Schultz et al. 2009)。當降雨系統移動至陸地以後，雲內閃電的發生，則主要分布在強回波區的後緣或附近區域，領先降雨系統特性已不可見。

而雲地閃電的分布，多伴隨有強回波的出現。分析圖 5.3，當降雨系統在海上時(圖 5.3a-c)，閃電大多分布在強回波區裡面，並且頻率隨著降雨系統的增強而增加，同樣也可見閃電躍升的情形發生。而當降雨系統移至陸地後，雲地閃電則多分布在強回波區後緣，頻率隨著降雨系統的變化而有增減。

此外比較圖 5.2 及圖 5.3 雲內閃電及雲地閃電發生的情形，可見

雲內閃電的發生會領先於雲地閃電，並且發生頻率也是最多的。當降雨系統趨於成熟時，雲內閃電會先閃電躍升的現象出現，大約經過 10 至 20 分鐘，雲地閃電才有快速增加的趨勢，與前人研究結果一致(Lang and Rutledge, 2002)。

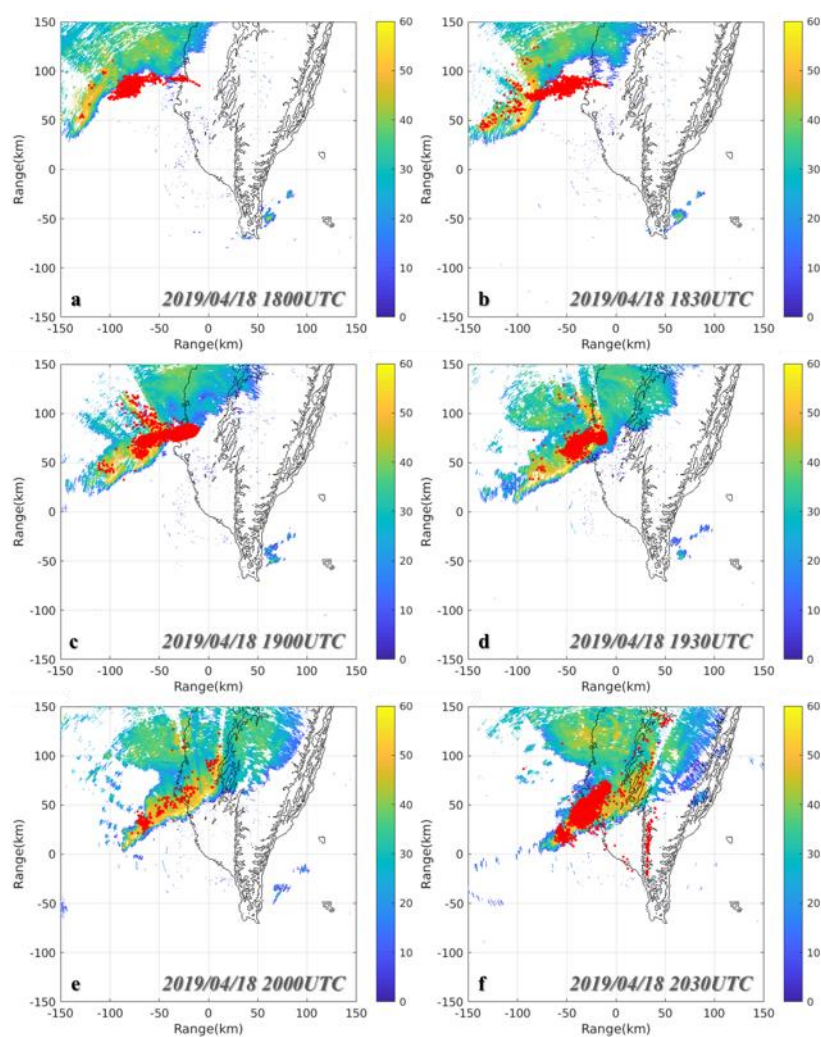


圖 5.2 2019 年 4 月 18 日 1800 至 2030UTC，每 30 分鐘的回波與雲內閃電分布圖

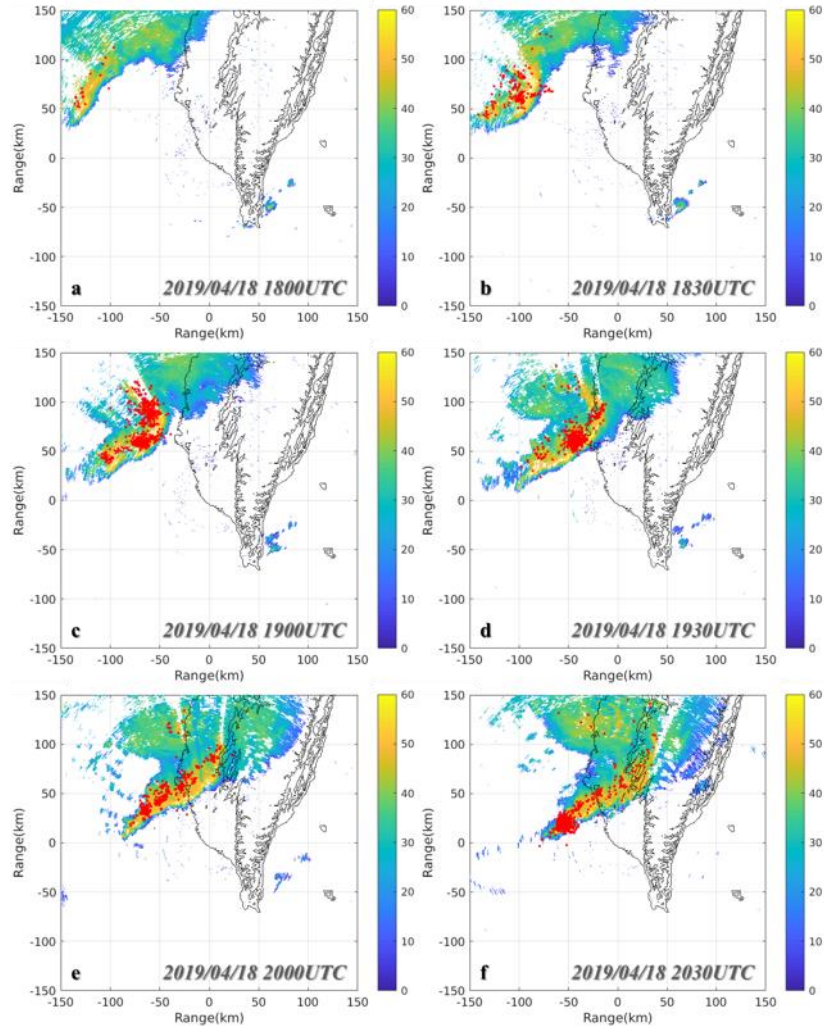


圖 5.3 2019 年 4 月 18 日 1800 至 2030UTC，每 30 分鐘的回波與雲地閃電分布圖

利用不同仰角的回波資料，分析雲地/雲內閃電與回波值大小的關係，嘗試找出閃電發生時，相對的回波門檻值。將結果分成海上及陸上來看，當系統與閃電位在海上時(圖 5.4)，閃電的發生與不同仰角的回波值，彼此之間關係的變異性較大。特別是看到雲地/雲內閃電與回波值的關係，雲地閃電對應到的平均回波值，明顯比雲內閃電的結果要高出需多，約可高 5dBZ 以上。主要是因為在海上時期，雲內閃電的分布是領先強回波區，但雲地閃電則是分布在強回

波區裡，所以對應到的回波值才会有如此大的差異。剔除變異性較大的 2.4°仰角資料，當閃電發生時，相對的平均回波值大小約在 40dBZ。

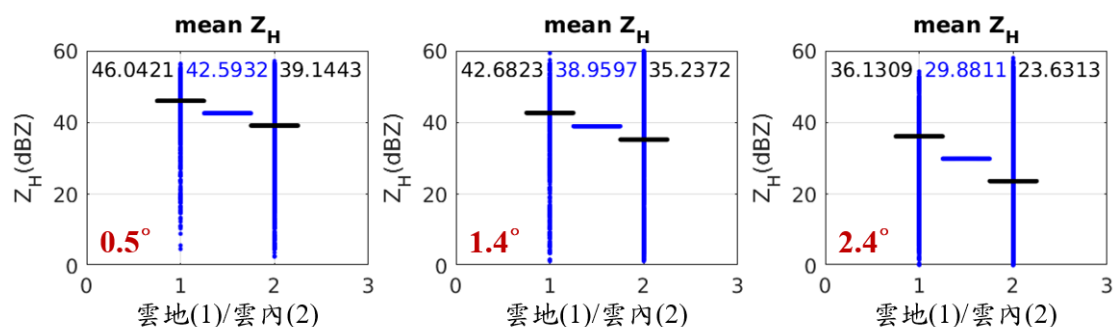


圖 5.4 海上時期雲地(1)/雲內(2)閃電與不同仰角回波值的關係

到了陸上階段，從分析中發現，最低三層仰角的回波值和閃電資料的統計結果一致性較高。當雲地/雲內閃電發生時，兩者相對的平均回波值之間並無明顯差異，平均回波值約為 42dBZ。

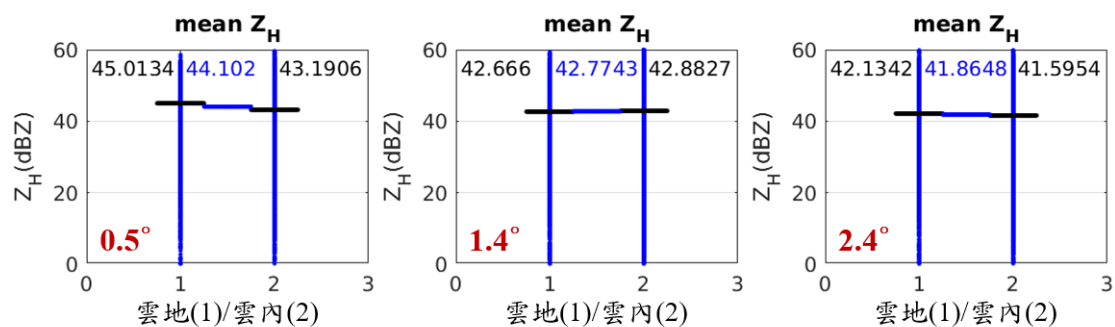


圖 5.5 陸上時期雲地(1)/雲內(2)閃電與不同仰角回波值的關係

根據上述結果，將以「40dBZ」作為回波門檻值的設定，進行回波與閃電即時預警系統的個案測試。

5.2.2 偏極化參數「比差異相位差(KDP)」與閃電資料

因為陸地上雨量站分布不均勻，海上無法設置雨量站，而且雨

量站的觀測和閃電發生的位置，存在有一定程度的高度差。因此，若直接利用雨量站觀測資料與閃電資料進行比較，會有很大的不確定性存在，影響比較結果。為分析閃電發生時與降雨的關係，便利用雷達觀測的偏極化參數「比差異相位差(KDP)」資料，取代雨量站資料。KDP 可代表液態水含量，值越大表示液態水含量越多、降雨越大。因此透過閃電資料與 KDP 的比較，可以了解閃電發生時和降雨的關係。

海上時期，雲內閃電的位置，多發生在降雨系統移動方向的前方(圖 5.6a、b、c)，而雲地閃電大多發生於 KDP 值大的地方(圖 5.6e、f、g)。降雨系統增強，閃電頻率跟著增加，並隨著降雨系統移動；陸上時期，不論是雲內或雲地閃電(圖 5.6d、h)，發生的位置則多在 KDP 值大的後方，與 KDP 值大的區域有偏移現象。

分析雲地/雲內閃電與 KDP 值大小的關係，由圖 5.7 明顯看到，和回波與閃電關係的表現不同。在海上或陸上時期，雲地閃電相對的 KDP 值，皆大於雲內閃電相對的 KDP 值。而當閃電發生時，相對的平均 KDP 值大小約在 $2.2^{\circ}/\text{km}$ 。

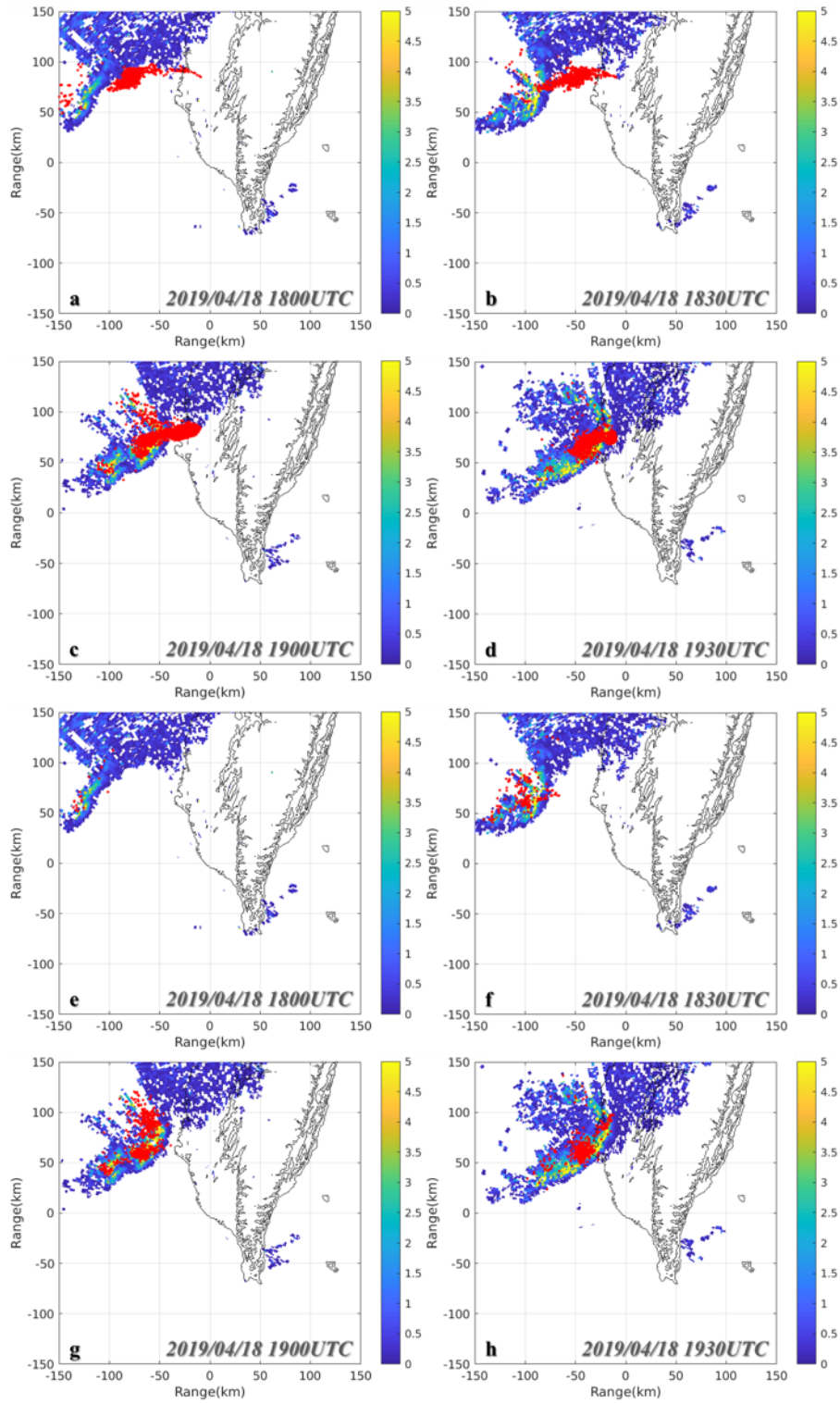


圖 5.6 2019 年 4 月 18 日 1800 至 1930UTC，每 30 分鐘的(a-d)雲內閃電、(e-g)雲地閃電與比差異相位差(KDP)分布圖

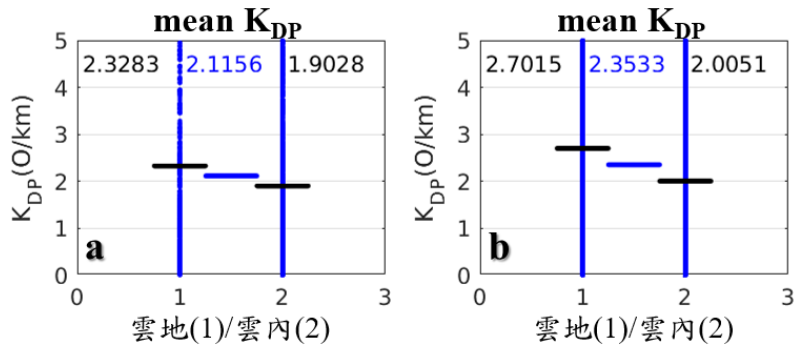


圖 5.7 (a)海上時期、(b)陸上時期，雲地(1)/雲內(2)閃電與比差異相位差(KDP)的關係

根據 KDP 與閃電關係的分析結果，並考慮在一些不確定因素影響下，所產生的統計誤差。日後在增加 KDP 作強降雨預警系統的判斷條件時，可嘗試以「 $2.0^{\circ}/\text{km}$ 」作為 KDP 門檻值的設定。

5.3 個案及作業化測試

現今臺灣偏極化雷達觀測的覆蓋範圍並不完整，還有許多的空洞存在(以東部為最大)。因此利用偏極化參數作為強降雨預警系統的判斷條件時，無法適用於全臺。所以在測試及規劃強降雨預警系統時，目前仍單純以回波配合閃電資料作為系統的判斷條件。

挑選 2019 年 4 月 18 日的降雨事件，利用閃電資料及品質管理後的林園防災降雨雷達回波資料，進行強降雨預警系統的個案測試。以雷達位置為中心，選取測試範圍 X 方向 100 公里、Y 方向 150 公里，每 10×10 公里作一個小區域(圖 5.8)，計算這小區域裡的平均回波值、回波值大於 40dBZ 的資料百分比及閃電密度(分雲內及

雲地)(圖 5.9)。

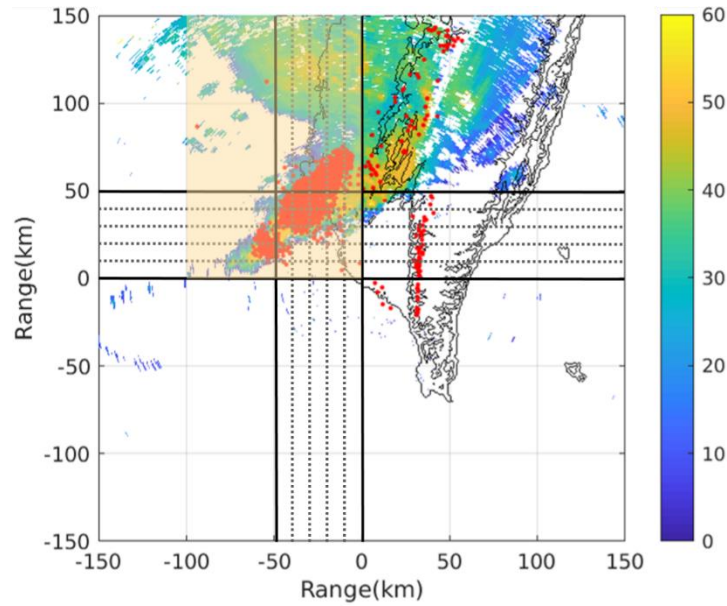


圖 5.8 選取範圍示意圖。淡黃色區域為選取的測試範圍，黑色小方格為 10*10 公里的計算區域

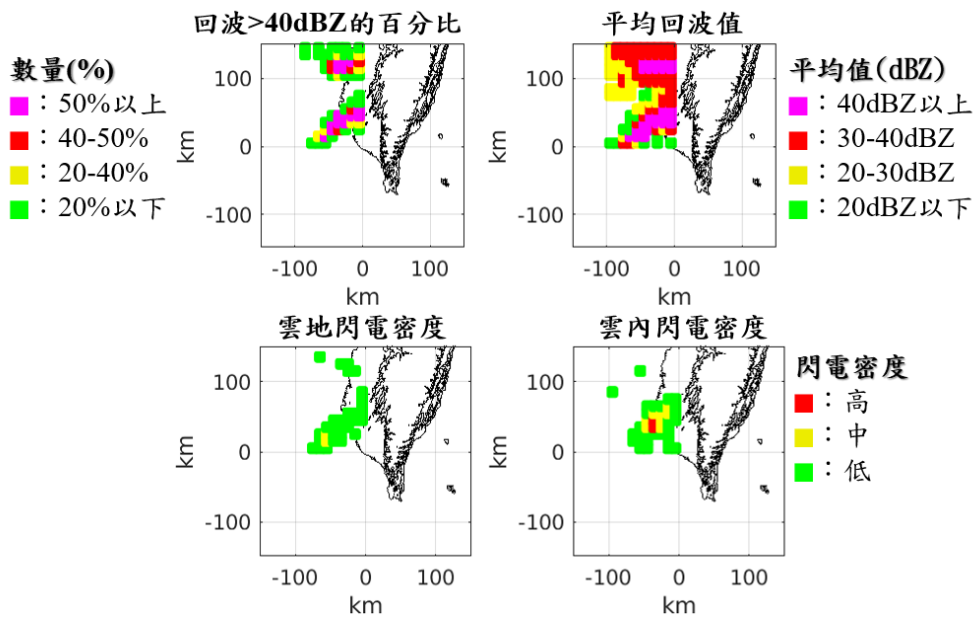


圖 5.9 區域裡的回波值大於 40dBZ 的資料百分比、平均回波值及閃電密度(分雲內及雲地)的計算結果示意圖

以回波值 40dBZ 作為門檻值，設定 4 個強降雨警戒指標(表

5.1)，將小區域內計算的結果，利用此條件進行警戒程度的判斷。圖

5.10 中研判的警戒區域與累積雨量圖的降雨極值位置一致，而累積雨量最大的地區正好是危險警戒的範圍，判斷結果還不錯。此外分析回波與閃電隨時間的變化，計算兩者之間的相關性(圖 5.11)。指出在隨時間的變化上，雲內/雲地閃電與回波之間的相關性皆可達 0.6 以上。

根據以上分析結果，顯示利用回波與閃電進行強降雨警戒判斷是可行的。

表 5.1 雷達/閃電 強降雨監測指標說明

警戒程度	代表顏色	判斷條件
危險警戒	紫色	回波 $\geq 40\text{dBZ}$ 且閃電密度高
高度警戒	紅色	回波 $\geq 40\text{dBZ}$ 且閃電密度中
中度警戒	黃色	回波 $\geq 40\text{dBZ}$ 且閃電密度低
低度警戒	綠色	回波 $\geq 40\text{dBZ}$ 、無閃電

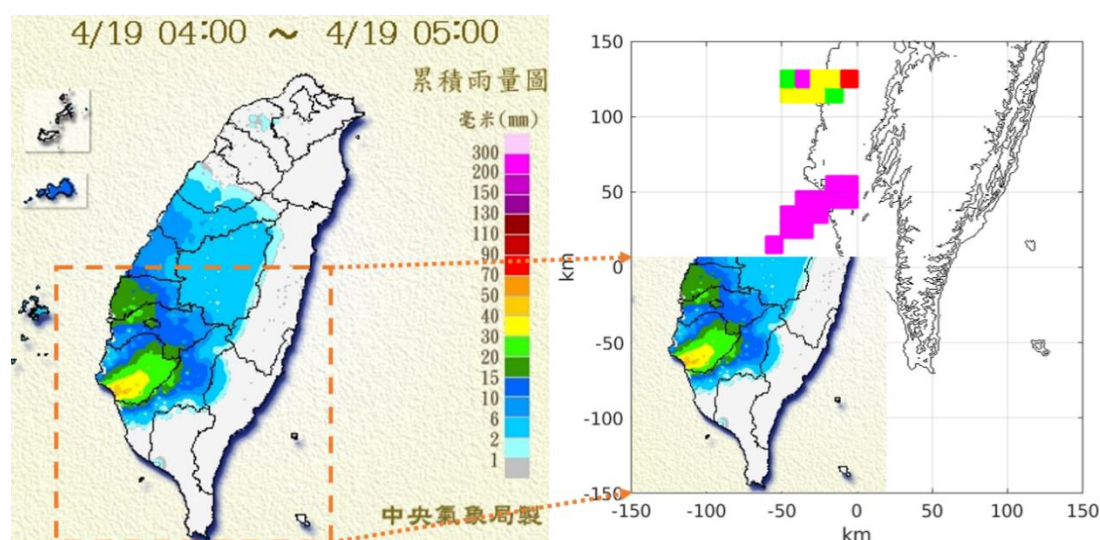


圖 5.10 中央氣象局累積雨量圖與強降雨警戒判斷結果的比較

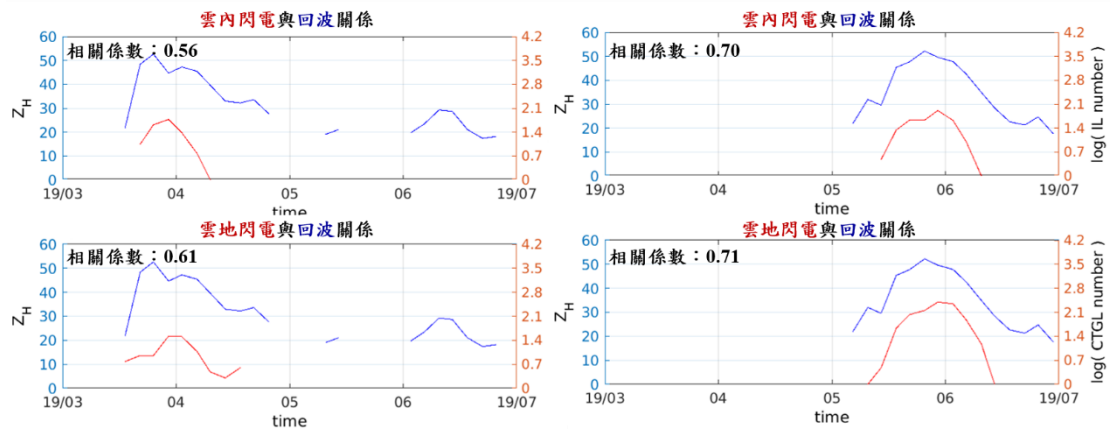


圖 5.11 雲內/雲地閃電隨時間變化與回波隨時間變化之間的關係

圖 5.12 為強降雨預警系統的自動化作業流程，使用中心收集完整的全臺 10 座氣象雷達資料，配合即時的閃電觀測資料，進行警戒值的計算。將解析度 0.005° 的雷達網格資料，每 $0.01 \times 0.01^\circ$ 範圍 (約 10×10 公里) 進行警戒值的計算，並將判斷結果，與全臺 368 個鄉鎮的鄉鎮界資訊進行匹配，得到各鄉鎮的強降雨警戒指標，可作為日後防災操作上的參考資訊。目前此系統已在氣象組的 WATCH 系統上進行自動化作業測試(圖 5.13)。

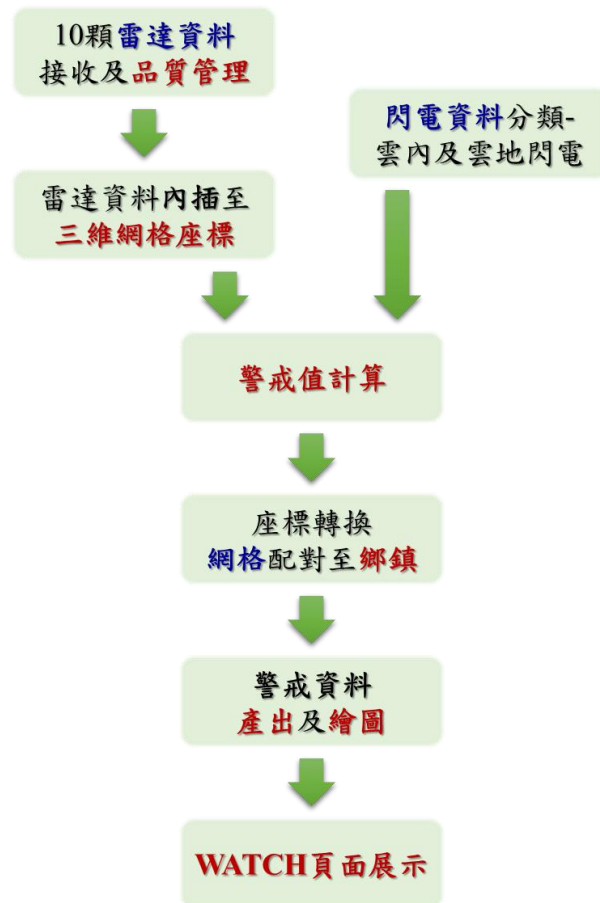
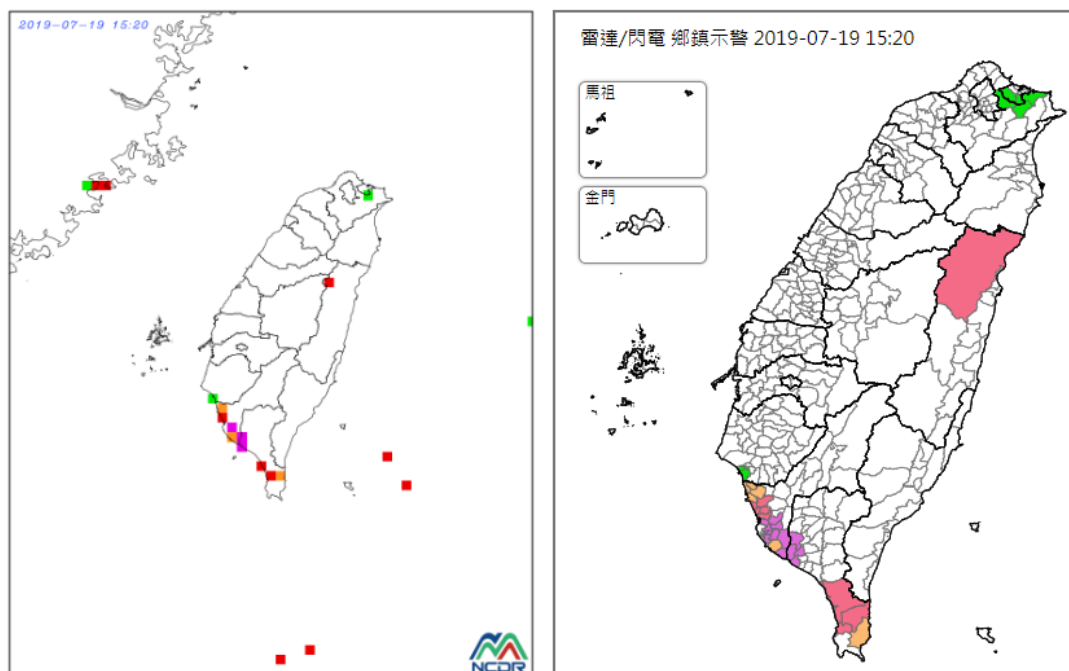


圖 5.12 雷達與閃電強降雨即時預警系統的自動化作業流程

2019-07-19 15:20 ▾



【說明】

整合各單位氣象雷達（含中央氣象局、空軍、機場、防災降雨雷達）及氣象局與台電的閃電資料進行強降雨警戒判斷

危險(紫)：回波 $\geq 40\text{dBZ}$ & 閃電密度高

高度(紅)：回波 $\geq 40\text{dBZ}$ & 閃電密度中

中度(橘)：回波 $\geq 40\text{dBZ}$ & 閃電密度低

低度(綠)：回波 $\geq 40\text{dBZ}$

圖 5.13 Watch 系統上雷達與閃電強降雨即時預警系統展示頁面

5.4 小結

從個案的測試結果得知，強降雨警戒的範圍與累積雨量圖的降雨極值區域一致，有不錯的判斷結果。目前此系統已在 WATCH 上進行自動化測試，之後將利用不同的強降雨事件對預警結果進行校驗，並依據校驗結果調整判斷的門檻值，提升預警的精確度。

而臺灣的氣象雷達觀測網將會逐步升級成雙偏極化雷達，防災

降雨雷達也會陸續建置完成，將能提供完整的全臺偏極化觀測資料。由偏極化參數 KDP 隨時間變化與閃電隨時間變化的比較顯示，KDP 與雲內或雲地閃電之間的相關性明顯優於回波，相關係數大多可達 0.7 以上。因此，未來將可增加偏極化參數作為其中的判斷條件，對於提升強降雨警戒值判斷的精確度，能提供很大的幫助。

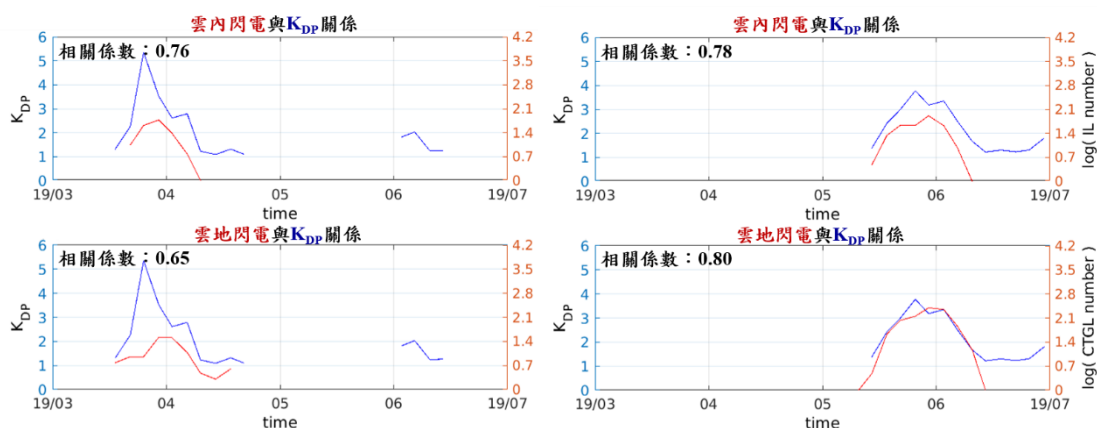


圖 5.14 雲內/雲地閃電隨時間變化與 KDP 隨時間變化之間的關係

第六章 高解析度雷達資料同化系統建置

6.1 雷達資料同化方法

林園雷達係由經濟部水利署與中央氣象局合作，在高雄林園區所建置的首座低空防災降雨雷達，主要監測範圍為大高雄地區，於2017年9月12日開始啟動觀測，是一部C波段雙偏極化都卜勒氣象雷達，能提供即時的高時空解析度觀測資料，最快每兩分鐘能完成低層掃描並回傳觀測資料，若能應用於水利防救災相關單位，預期能提升降雨預警之能力。

以美國國家大氣研究中心(National Center for Atmospheric Research; NCAR)發展之三維變分法(Three-dimensional variational data assimilation, 3DVAR)為雷達資料同化技術基礎，目前仍是多數區域數值預報主要使用的同化方法，因該方法計算費用較便宜，且分析結果穩定。雷達觀測資料的處理，是將徑向風與回波先內插至模式格點上，再同化至數值天氣模式預報初始場中。

就林園雷達能即時獲取大量高時空解析度觀測資料之優點，透過雷達資料同化技術將其觀測資訊加入模式初始場，能修正對流雨胞位置，掌握較接近實際狀況初始場，以求能進一步改善短時定量降雨預報。

6.2 模式建置

在 WRF V3.8.1 之架構下，建置一高空間解析度之三層巢狀網格設計，其水平解析度分別為 3 公里、500 公尺、250 公尺，垂直層數為 61 層，最頂層為 10hPa，模擬範圍如圖 6.1 所示。林園雷達位處台南與高雄交界，搭配其地理位置與其所背負之快速低層掃描任務兩項特質，將最內層的模擬範圍聚焦於台灣西南部沿海地帶，而模式中使用的物理參數包括 Morrison 雲微物理參數法、MYJ 邊界層參數法、RRTMG 長波和短波輻射參數法，相關參數設定如表 6.1。目前已建置一個高解析度模式，由於其最高水平解析度達 250 公尺，對於模式中時間步長的設定相當要求，若時間步長設定為 6 秒，以 64 個 code 的計算資源模擬積分一小時，需計算時間約 180 分鐘。

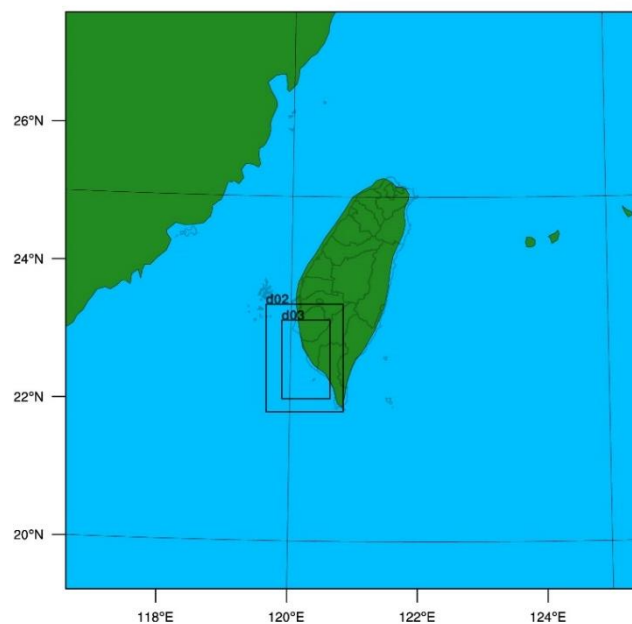


圖 6.1 高解析度模式網格設定

本項工作使用 WRFDA V3.9 之三維變分同化方法，雷達觀測資料包括已內插至模式格點上之徑向風與回波。其中，在同化回波觀測的部分，會先將觀測回波分為雨水、雪混和比的貢獻，再將此水象資訊進行資料同化的步驟(Wang et al. 2013)。基於高解析度模式著重於對流尺度之天氣系統，背景誤差改選擇以風場(U、V)做為控制變數的 CV7，而非傳統用於描述熱力風關係之流函數 (ψ) 和勢函數 (χ) 為控制變數的 CV5，以避免變數間轉換過程的問題，會使小尺度的資訊容易被忽略(Sun et al. 2016)。

表 6.1 高解析度模式參數設定

	D01	D02	D03
水平解析度(m)	3000	500	250
格點	301*301	241*337	301*491
垂直層數	61	61	61
雲微物理參數	10	10	10
邊界層參數	1	1	1
積雲參數	0	0	0
長波輻射參數	4	4	
短波輻射參數	4	4	4

因應高解析度網格重新設置規劃，必須重製一組水平解析度為 250 公尺之背景場誤差，並以此新的背景場誤差做單點測試，以了解背景場誤差結構對於同化系統分析場的影響。首先給定一測試點在風場東西分量 (U) 1 m/s 的觀測增量，同化後之分析增量如圖 6.2，由於 CV7 中各變數間並無相關，所以僅在風場有分析增量。另

外再對溫度觀測增量做測試，圖 6.3 為同化 1°C 觀測質量後的分析增量結果，亦可看出只對溫度有分析增量，並不會對風場的分析增量造成影響。

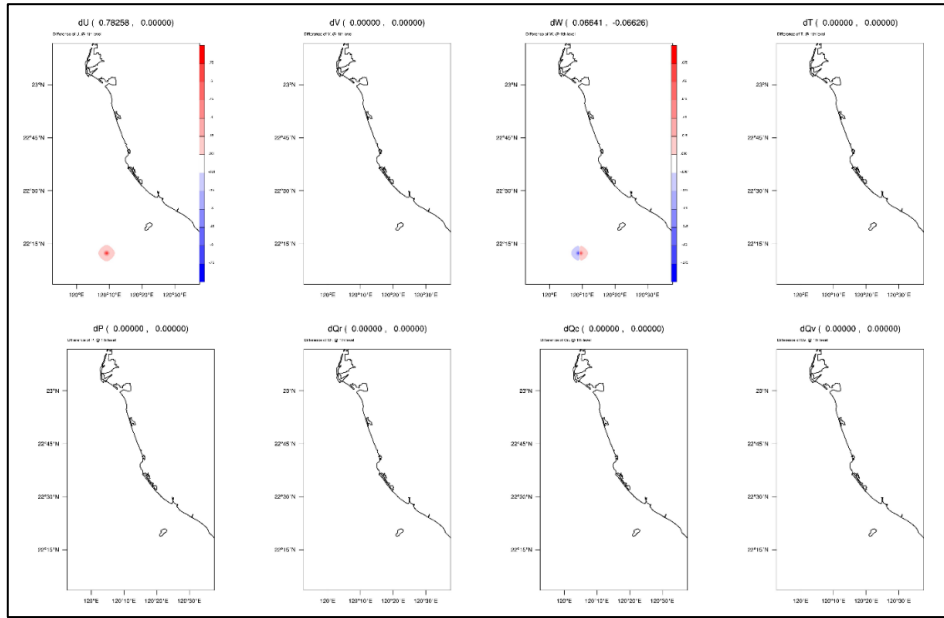


圖 6.2 風場單點測試於各變數之分析增量。由左至右、由上至下的變數分別為風場的東西分量、風場的南北分量、垂直風場、溫度、壓力、雨水、雲水、及水氣含量

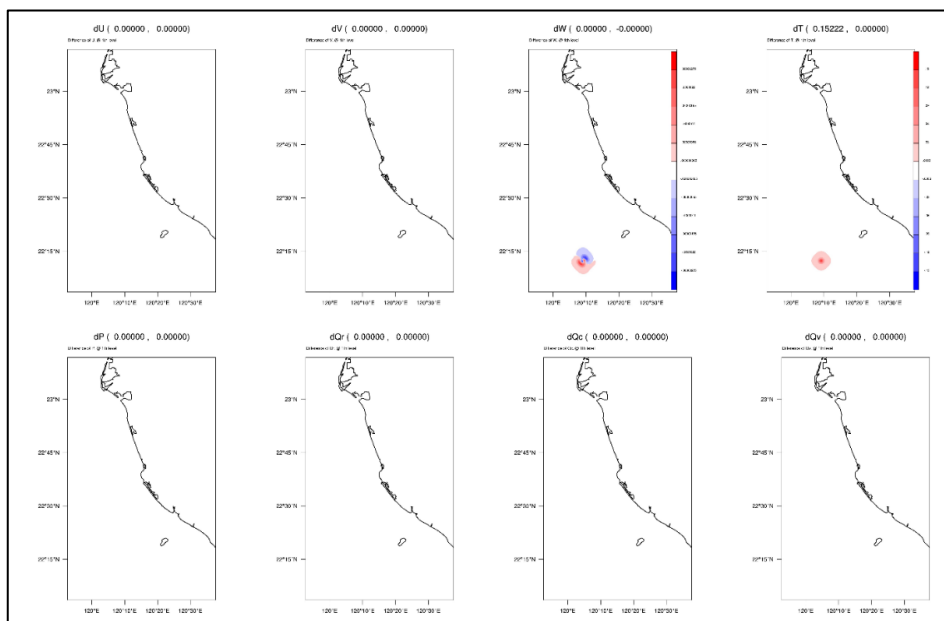


圖 6.3 同圖 6.2 但給定觀測增量為溫度

在高解析度的模式設定中，同化參數也必須根據不同的空間解析度而有所調整。U 風場單點實驗在不同特徵長度調節因子 (LEN_SCALING) 參數下所得到的分析增量(圖 6.4)，特徵長度調節因子越大，在水平方向上的影響越大，設定特徵長度調節因子分別為 0.25、0.5、及 1.5，單一觀測點影響的水平範圍由直徑約 5 公里延伸至 25 公里。變量尺度調節因子(VAR_SCALING)設定則會影響到分析增量的極值大小(圖 6.5)，以 U 風場做單點測試，設定變量尺度調節因子由 0.5 至 1.5，U 的分析增量則由 0.78m/s 增加至 0.82m/s。根據此次實驗結果，以 LEN_SCALING 設定為 0.5，VAR_SCALING 設定為 1.5，作為後續的個案模擬的同化參數。

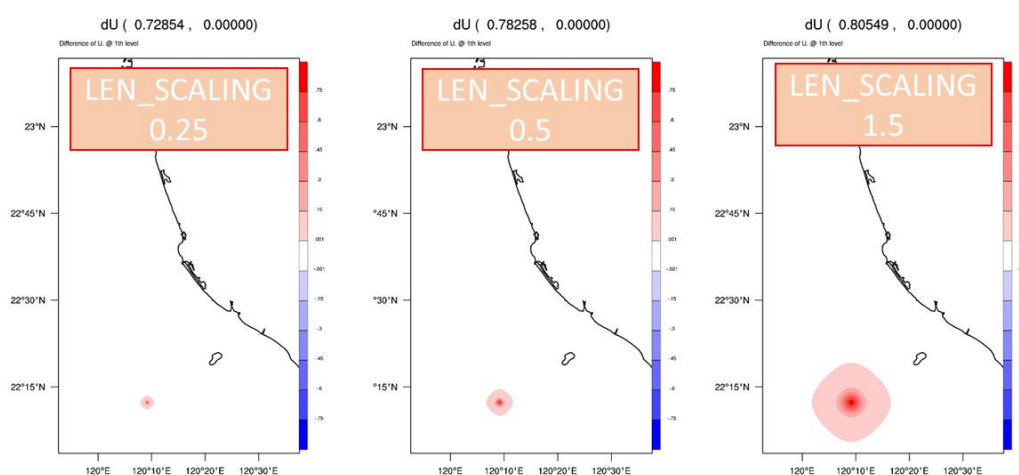


圖 6.4 U 風場之單點測試於不同特徵長度調節因子設定下之結果。由左至右之特徵長度調節因子分別為 0.25、0.5、及 1.5

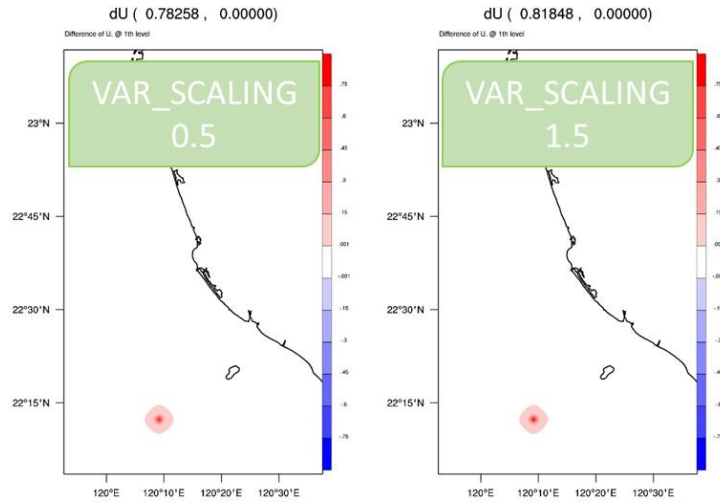


圖 6.5 U 風場之單點測試於不同變量尺度調節因子設定下之結果。由左至右之變量尺度調節因子分別為 0.5 及 1.5

6.3 個案測試

2019 年 07 月 19 日台灣南部沿海地區於下午開始出現劇烈降雨，造成台南、高雄及屏東地區多處淹水，根據高雄地區的楠梓站與大寮站雨量歷線圖(圖 6.6)可發現，主要的降雨主要集中在 16 時至 17 時，時雨量均接近一百毫米。起因於丹娜絲颱風自 19 日北移後，呂宋島西方的低壓雲系隨西南風增強而逐漸北移，富含水氣的西南風與南部山區對流系統的下衝氣流於高雄外海輻合，使線狀對流系統發展，並持續移入高屏地區造成劇烈降雨。

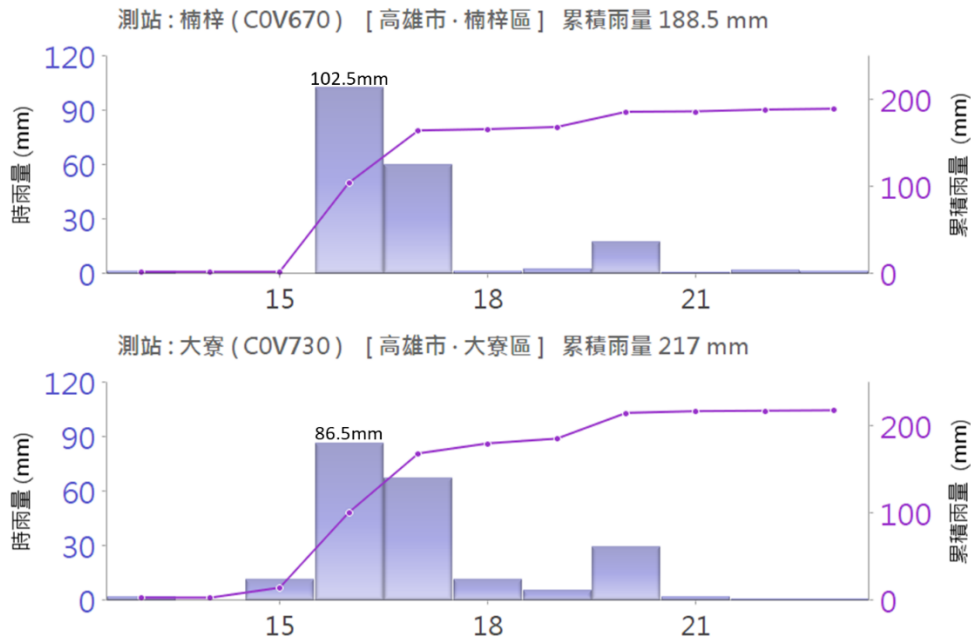


圖 6.6 2019 年 7 月 19 日 13 時至 23 時高雄楠梓與大寮的降雨歷線圖

以此降雨個案進行高解析度雷達資料同化模擬實驗，來了解加入高時空解析度之林園雷達觀測資料，是否會對模式初始場及模擬預報結果有所影響。圖 6.7 為 2019 年 7 月 19 日 07Z (15LST) 與 08Z 之氣象局的雷達合成回波圖，從圖中可以看到於高雄沿海之線狀回波正逐漸移至台灣陸地，並持續往東北方向前進，亦於此段時間內，在高雄沿海一帶造成劇烈降雨。模擬實驗以 19 日 07Z 為模式初始時間，僅使用林園雷達之觀測資料，四組實驗同化策略設定如圖 6.8 所示。實驗組 NODA 為無同化任何雷達資料；DA1T 為在初始時間積分 8 分鐘後同化一筆低層雷達觀測資料；DA2T 為在初始時間積分 8 分鐘內、每 4 分鐘同化一筆，共計 2 筆低層雷達低層觀測資料；DA1F 為在初始時間積分 8 分鐘後同化一筆整層雷達觀測資

料。由於最細之水平空間解析度高達 250 公尺，對於計算資源需求極高，以 64 個 code 同化並模擬 1 小時所需之總計算時間約 180 分鐘。

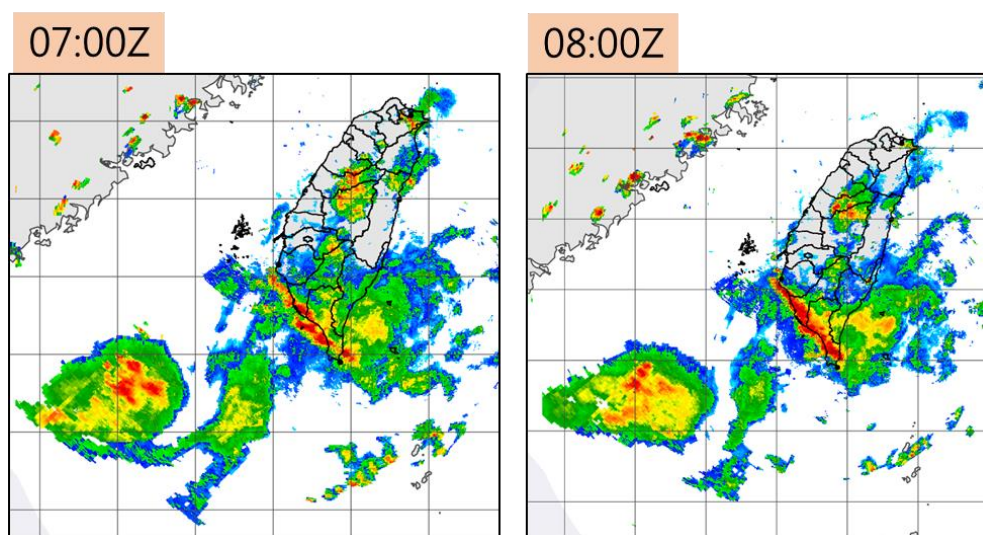


圖 6.7 2019 年 7 月 19 日 07Z 與 08Z 之雷達合成回波圖

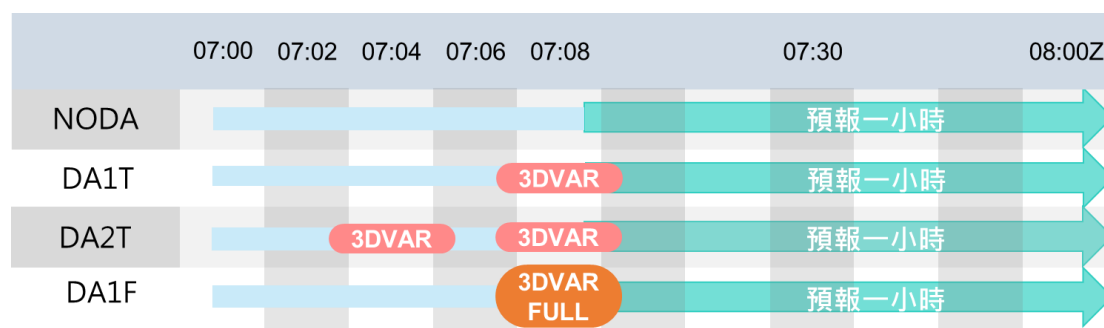


圖 6.8 四組雷達資料同化實驗設計圖示

在雷達資料處理的過程中，發現本次挑選之事件，林園雷達每隔 7.5 分鐘一筆之整層原始資料有所缺漏，因此在此篇報告中僅先討論每 2 分鐘一筆之低層觀測資料的同化實驗結果。

2019 年 7 月 19 日 7:08Z 之林園雷達觀測資料筆數及同化系統之

資料使用率如表 6.2 所示，雷達觀測掃描資料分別內插至垂直高度於 0.5 公里、1 公里、及 1.5 公里後之觀測點數為 85075 點、77067 點、及 44669 點，越往高層資料筆數越少，且受限於林園雷達快速掃描策略影響，每兩分鐘資料所觀測到的對流系統為較低層的資訊。並統計 Qr 變數之同化系統使用資料情況，可以發現資料使用率皆在 99% 以上，並由觀測點之平面分布圖能看到垂直高度越高，對於對流系統的觀測範圍越少(圖 6.9)。

表 6.2 林園雷達於 2019 年 7 月 19 日 7:08Z 之各高度觀測點數及同化系統資料使用情況

垂直高度	0.5 km	1 km	1.5 km
觀測點數	85075	77067	44669
同化系統使用點數	84898	76949	44549
資料使用率	99.79%	99.84%	99.73%

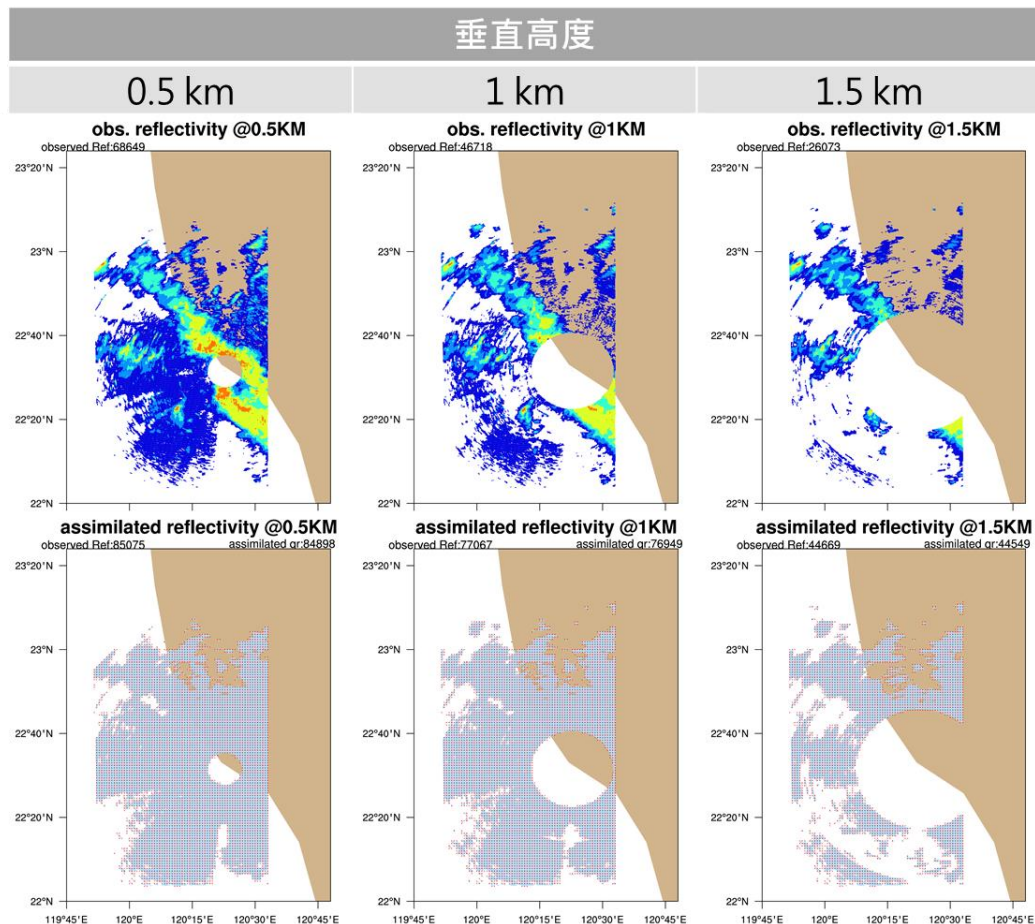


圖 6.9 上列為林園雷達於 2019 年 7 月 19 日 7:08Z 各高度層之觀測回波圖。下列為觀測(藍點)及使用資料點(紅點)之位置圖

比較不同實驗組在 7:08Z 時同化前後回波圖(圖 6.10)，顯示有同化林園雷達資料的實驗，在 0.5 公里高度層之分析場回波表現相似，差異不明顯；但由圖 6.11 的分析場垂直剖面回波圖則可看到些微的差異，同化兩筆雷達資料的 DA2T 實驗組強回波垂直高度略高且範圍較 DA1T 實驗組稍大。另外，有無同化雷達資料的回波圖也有顯著的差異，完全沒有同化雷達觀測的 NODA 實驗組分析場，在台灣西南沿海並沒有對流系統存在。

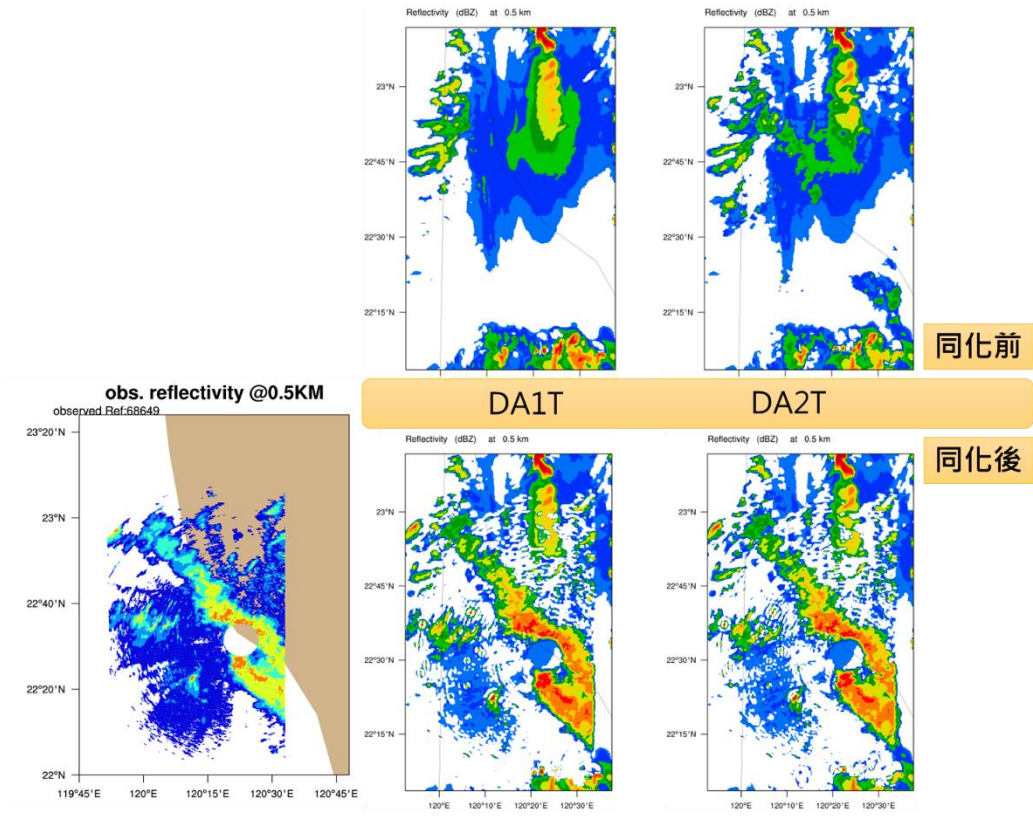


圖 6.10 2019 年 7 月 19 日 07:08Z 兩實驗組同化前(上排)、後(下排)在高度 0.5 公里處之雷達回波圖。左圖為林園雷達於高度 0.5 公里之觀測回波

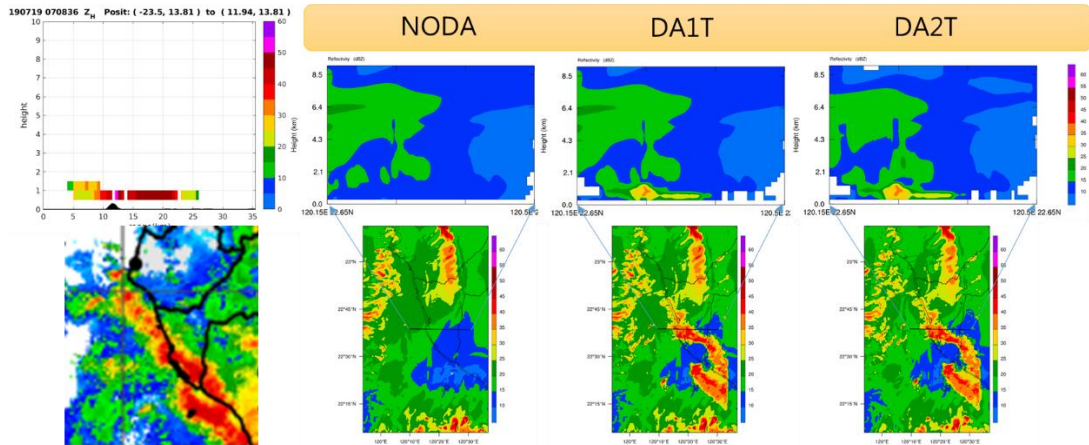


圖 6.11 下排為 2019 年 7 月 19 日 07:08Z 在南部地區各實驗組分析場之合成回波圖；上排為以東經 120.15 度、北緯 22.65 度至東經 120.5 度、北緯 22.65 度連線之垂直剖面。由左至右分別為林園雷達觀測、實驗組 NODA、實驗組 DA1T、及實驗組 DA2T

以 2019 年 7 月 19 日 07:08Z 開始預報 2 分鐘後之預報場如圖

6.12 所示，經過兩分鐘的模式積分後，台灣西南部沿海的對流系統大部分都已消散，然有同化雷達資料的實驗組在垂直剖面上仍能看到微弱的回波存在。圖 6.13 為模式積分 30 分鐘後的預報場，西南部沿海一帶已經完全沒有回波存在，指出了僅同化林園雷達低層觀測資料的效果，無法長時間地延續至後續的積分模擬中。

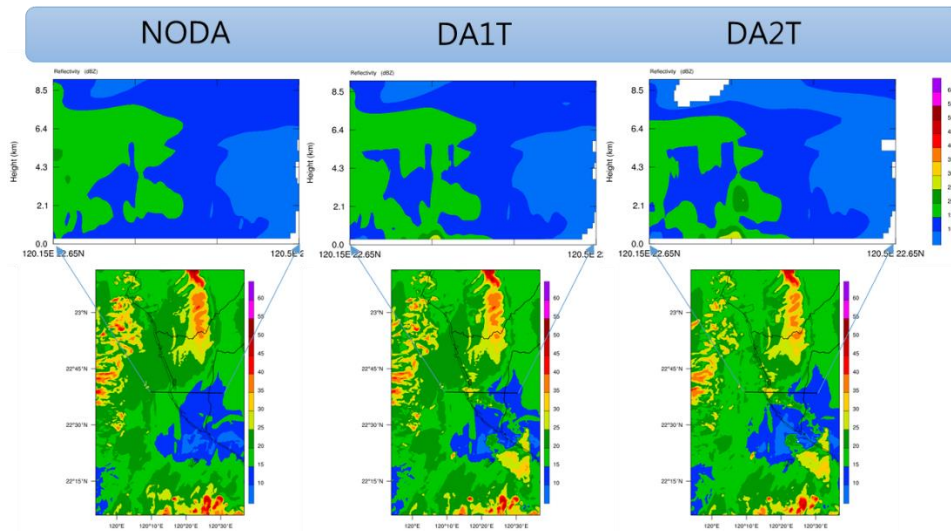


圖 6.12 同圖 6.11，時間為由 2019 年 7 月 19 日 07:08Z 開始積分 2 分鐘後的 07:10Z

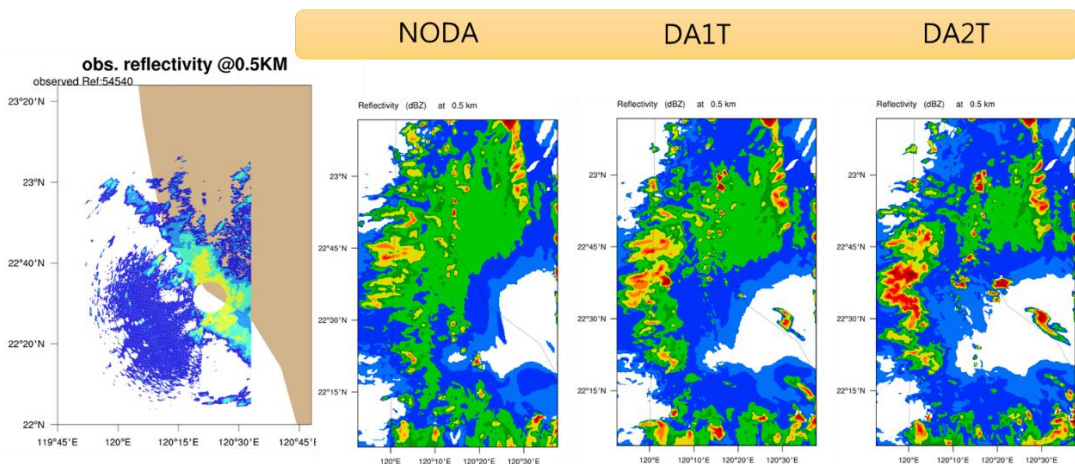


圖 6.13 三實驗組於 2019 年 7 月 19 日 07:30Z 在高度 0.5 公里處之預報回波圖。由左至右分別為林園雷達觀測、實驗組 NODA、實驗組 DA1T、及實驗組 DA2T

此次結果顯示，由於林園雷達每兩分鐘一筆之觀測資料其掃描高度較低，僅能得到較低層的資訊，同化後的模式初始場雖較原模式背景場接近雷達觀測，但模式中的對流系統不易維持。因此未來除了以高時間頻率同化林園雷達觀測外，亦會考慮加入 7.5 分鐘一筆的整層觀測資料來進行相關測試。

第七章 結論與建議

本研究透過氣象雷達觀測資料，開發自動化資料處理流程，並針對短延時強降雨事件之預警研發後續相關應用，本研究之結論如下：

1. 可即時產出單一雷達網格資料及全臺三維合成雷達資料，相關資料後續可應用在雷達 3D 展示、WISSDOM 三維風場反演、雷達資料同化、回波與閃電強降雨監測、雷達定量降雨估計等技術應用，提供短延時強降雨系統之防災資訊。
2. 以美國 NCAR 軟體 VAPOR 為基礎，利用 WINDOWS 批次語法等方式，建構跨系統的自動繪圖模組，將雷達資料 3D 展示自動化。並為提高應變時期使用效率，採用預畫選單的方式，開發颱風應變 3D 展示模組，在今年利奇馬颱風、白鹿颱風和米塔颱風侵臺期間，已開始提供應變使用。
3. 使用七股、馬公、墾丁以及新建置的高雄防災降雨雷達資料，利用雷達三維風場反演方法(WISSDOM)建構南部地區風場監測系統。當有降雨系統發生於此區域內，可即時反演出該區域的三維風場資訊，提供劇烈降雨系統所需的防災預警資訊。

4. 使用全臺 10 座氣象雷達資料，配合即時閃電觀測資料，進行警戒值的計算，並將判斷結果，與全臺 368 個鄉鎮界線資訊進行匹配，得到各鄉鎮的強降雨警戒指標，作為日後防災操作上的參考資訊。
5. 透過雷達資料同化技術，將高雄林園雷達之高時空解析度觀測資訊加入模式初始場，其水平解析度達 250 公尺，時間解析度為 2 分鐘，於南部地區建置高空間解析度雷達資料同化模式，期能修正對流雨胞位置，掌握較接近真實狀況之模式初始場。

本年度工作重點在於完成雷達觀測資料基礎建置，包含即時資料收集、串接以及資料品質處理，以及後續各種相關產品的研發，所有研究成果都朝向可落實在防災應用為第一準則。因此，在自動作業化的流程皆有特別加強以求資料及展示成果的穩定性。未來將繼續進行短延時強降雨預警系統的開發與建置，期望能整合各種觀測及模式資料，並加入其他研究成果例如：雙偏極化雷達定量降雨估計、全臺 WISSDOM 三維風場資訊等等，建置可即時預警的監測系統，提供未來可能發生短延時強降雨區域之預先防範，並可進一步將即時定量降雨估計以及極短期定量降雨預報結果，供其他相關防災單位之應用。

參考文獻

- 周仲島，2001：台灣天氣研究計畫與綠島中尺度實驗簡介，*科學發展月刊*，**29**，568-578。
- 劉慈先，2002: SCSMEX 期間利用C-Pol偏極化雷達氣象參數觀測降水系統之分析，*國立中央大學碩士論文*，67頁。
- 陳台琦、張偉裕，2006：雙偏極化雷達在定量降水估計上的應用，*災害防救電子報*，**17**，1-4。
- 紀博庭、陳台琦、呂崇華，2008：雙偏極化雷達觀測參數反求雨滴粒徑分佈以及降水估計，*大氣科學*，**36**，1，21-41。
- 戴志輝、王尹懋、王安翔、林博雄，2015：雲中閃電資料應用於雷暴即時預警之研究。*大氣科學*，**43**，2，115-132。
- 洪景山，2002：雲對地閃電和雷達回波參數之相關：個案研究。*大氣科學*，**30**，1，21-34。
- 黃紹欽、朱容練、陳淡容、于宜強、吳宜昭、吳佳純，2019: 2018臺灣極端天氣事件回顧與分析。國家災害防救科技中心，新北市。86 頁。
- 于宜強、吳宜昭、龔楚嫻、黃柏誠、王安翔、李宗融、林冠伶，2016：2015 年台灣地區極端降雨事件彙整與分析。國家災害防救科技中心，新北市。194 頁。
- 于宜強、吳宜昭、龔楚嫻，2016: 2016年0602北台灣短延時強降雨事件氣象分析。國家災害防救科技中心災害防救電子報，135，17頁。
- Bringi, V. N., V. Chandrasekar, N. Balakrishnan, and D.S. Zrnic, 1990: An Examination of propagation effects in rainfall on radar measurements at microwave frequencies.

- J. Atmos. Oceanic Technol., 7, 829-840.
- Gatlin, P. N., and S. J. Goodman, 2010: A total lightning trending algorithm to identify severe thunderstorms. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 27, 3-22.
- Goddard, J. W., J. Tan, and M. Thurai.: Technique for calibration of meteorological radar using differential phase. *Electron. Lett.*, 30, 166-167, 1994.
- Lang, T. J., S. A. Rutledge, J. E. Dye, M. Venticinque, P. Laroche, and E. Defer, 2000: Anomalous low negative cloud-to-ground lightning flash rates in intense convective storms observed during STERAO-A. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 160–173.
- Lang, T. J., and S. A. Rutledge, 2002: Relationships between convective storm kinematics, precipitation, and lightning. *Mon. Wea. Rev.*, 130, 2492-2506.
- Makowski, J. A., D. R. MacGorman, M. I. Biggerstaff, and W. H. Beasley, 2013: Total lightning characteristics relative to radar and satellite observations of Oklahoma mesoscale convective systems. *Mon. Wea. Rev.*, 141, 1593–1611
- Schultz, C. J., W. A. Petersen, and L. D. Carey, 2009: Preliminary development and evaluation of lightning jump algorithms for the real-time detection of severe weather. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 48, 2543 – 2563.
- Shafer, M. A., D. R. MacGorman, and F. H. Carr, 2000: Cloud-to-ground lightning throughout the lifetime of a severe storm system in Oklahoma. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 1798–1816.
- Williams, E.R, B. Boldi, A. Matlin, M. Weber, S. Hodanish, D. Sharp, S. Goodman, R. Raghavan, and D. Buechler, 1999: The behavior of total lightning activity in severe Florida thunderstorms. *Atmos. Res.* 51, 245-265.
- Yu-Chieng Liou, Shao-Fan Chang, and Juanzhen Sun, 2012: An Application of the

Immersed Boundary Method for Recovering the Three-Dimensional Wind Fields over Complex Terrain Using Multiple-Doppler Radar Data. *Mon. Wea. Rev.*, 140, 1603–1619.

Yu-Chieng Liou and Ya-Ju Chang, 2009: A Variational Multiple–Doppler Radar Three-Dimensional Wind Synthesis Method and Its Impacts on Thermodynamic Retrieval. *Mon. Wea. Rev.*, 137, 3992–4010.

氣象雷達於短延時強降雨之監測與預警技術開發

發行人：陳宏宇

出版機關：國家災害防救科技中心

地址：新北市新店區北新路三段 200 號 9 樓

電話：02-8195-8600

報告完成日期：中華民國 108 年 12 月

出版年月：中華民國 109 年 01 月

版 次：第一版

非賣品

地址：23143新北市新店區北新路三段200號9樓

電話：++886-2-8195-8600

傳真：++886-2-8912-7766

網址：<http://www.ncdr.nat.gov.tw>