

行政院原子能委員會

委託研究計畫研究報告

緊急應變劑量評估系統氣象預報與同化分析技術
整合服務

Weather forecasting technology development and
data integration services in emergency dose assessment
system

計畫編號：108B013

受委託機關(構)：財團法人氣象應用推廣基金會

計畫主持人：葉錫圻

聯絡電話：02-27004048

E-mail address：tengjh@cwb.gov.tw

協同主持人：鄧仁星

研究期程：中華民國 108 年 1 月至 108 年 12 月

研究經費：新臺幣 310 萬元

核研所聯絡人員：許玉霞

報告日期：108 年 12 月 15 日

目 錄

目 錄.....	i
中文摘要.....	1
Abstract.....	2
壹、計畫緣起與目的	3
貳、研究方法與過程	10
一、研究方法概述	10
(一)劑量評估系統發展歷程.....	10
(二)降尺度系統 (CWB/MDDS).....	19
(三)A2C (Atmosphere to Computational fluid dynamic) 數值模式 介紹	28
(四)劑量評估系統說明.....	33
(五)射源項評估與回推的方法.....	36
(六)氣象觀測資料同化分析方法.....	40
二、計畫執行內容	50
(一)完成核三廠緊急應變計畫區 250 公尺、緊急應變準備區 500 公尺、60 公里範圍 1 公里及全臺範圍 2.5 公里解析度之劑 量評估系統建置	50
(二)核電廠假想事故冬春每日案例對於陸地行政區域之影響情 況分析	76
(三)完成氣象分析資料自動化更新機制	178
(四)完成非傳統氣象觀測資料同化分析技術測試與校驗	180
(五)A2Cflow 模式調校精進及核三廠氣象資料庫更新.....	190
(六)變分法射源項回推技術開發.....	243

參、主要發現與結論	250
肆、參考文獻.....	251

中文摘要

為改進現行境內核子事故劑量評估系統以天氣類型法的氣象資料庫造成的氣象預報的限制(無法滿足較大範圍及天氣變化較劇烈的情況)，利用科技部「國際核災輻射塵影響評估技術研究」計畫中，中央氣象局與美國國家海洋與大氣總署 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) 下之 GSD (Global system division) 合作發展的複雜地形區的三維連續變分降尺度系統(Mesoscale Dynamic Downscaling System, MDDS)，最佳化後應用於境內核子事故緊急應變劑量評估系統中。並開發氣象觀測資料同化分析技術，建立三維氣象資料分析能力，使劑量評估系統可兼具已發生之輻射影響評估；並提升濕沉降之計算評估能力，增強乾濕沉降效應的計算精度與能力，增進劑量評估的效能，以建置涵蓋全臺灣之新一代核子事故緊急應變劑量評估系統。

另外，並將本計畫建立之射源項回推技術釋射源項回推技術，建立以量測分析資料及高解析度氣象分析資料為基礎的外釋射源項回推能力，並使劑量評估系統可評估已發生的放射性物質外釋結果並同時預測未來影響趨勢。

Abstract

In order to improve the weather type database method in current domestic nuclear accident dose assessment system, we use mesoscale dynamic downscaling system, which is a real-time analysis system developed for complex terrain area by Central Weather Bureau and National Oceanic and Atmospheric Administration. We will also develop meteorological data assimilation analysis technology to build three-dimensional meteorological analysis data for assessing radiation dose in events that have occurred. In transfer and diffusion part, we will enhance the ability of wet deposition calculation and the precision and efficacy of dry and wet deposition effect.

In addition, based on source term estimation technology developed in this project, we will establish a source term estimation system by using real-time meteorology analysis data and radiation measurement data. So, this new dose assessment system not only can evaluate the results of the external release of radioactive material has occurred, but also can predict the impact of future trends

壹、計畫緣起與目的

原子能委員會(簡稱原能會)是核能及輻射安全的主管機關，緊急應變是核安管制的最後一道防線，其目的在保障民眾和環境之安全。日本福島核子事故後，原能會於「國內核能電廠現有安全防護體制全面體檢方案總檢討報告」中有關緊急應變作業能力檢討及改善方案中，強調精進現有應變作業工具包括事故評估系統、劑量評估系統、地理資訊系統(電子地圖)、應變作業平台、輻射資源整合系統(放射性物質使用場所、偵檢儀器數量等)，俾即時提供研析評估結果及掌握各項救災資源。

而核子事故緊急應變劑量評估系統建置的目的，除在緊急應變期間提供劑量評估結果作為核子事故民眾防護行動之依據與輻射監測中心進行輻射偵測行動的參考外；在平時則可透過假想事故的作業化評估與統計分析，作為諸如輻測偵測站佈站、採樣點及民眾集結點規畫之參考，更可為核子事故緊急應變主管與決策單位對各廠區若發生事故時之影響有較通盤且縝密的了解與掌握。

現有的劑量評估系統的開發，是起於民國 85 年全國核子事故處理委員會作業執行室委託核能研究所與氣象局合作，所共同開發第一代的三維緊急應變劑量評估系統。此套系統利用網路分散處理與遠端控制技術，由於當時無任何高解析(須達公里級以上)的作業化氣象模式可供進行大氣擴散分析，故以氣象資料庫形式，整合研究用之高解析度氣象三維風場預報模式 HOTMAC(Higher Order Turbulence Model for Atmospheric

Circulation)，雲團大氣擴散分析 RAPTAD(Random Puff Transport and Diffusion)，以及環境人員輻射劑量評估等專業科技而成的電腦運算系統。在核電廠發生事故啟動緊急應變動員時，可運用此系統，配合氣象局專家主觀之天氣風場預報資料，進行事故發生後未來 4 天內，電廠輻射物質外釋所造成之即時劑量率與累積劑量評估分析，預先評估事故災害所可能造成電廠周圍之民眾輻射劑量多寡，提供給緊急應變決策者之重要決策資訊參考。

歷經數次核安演習應變測試與實務應用，順利完成各項訓練任務與經驗累積。整合歷屆演習所得之經驗以及專家學者之檢討意見，考量客觀化及人性化，提升緊急應變氣象風場預報之即時性與準確性，乃於民國 92、93 及 94 年由核能研究所與氣象局共同開發第二代的三維緊急應變劑量評估系統，進行為期二年半之「核一、二、三廠近指中心劑量評估系統即時化功能建立」，其中兩年委託氣象局之氣象資料庫更新擴建計畫之計畫目標為：擴建更真實化的氣象資料庫，並提供緊急應變劑量評估系統即時的廠區附近之氣象參數預報，主要工作包括：廠區附近氣象場預報模式更新（Version 4 升級至 Version 7），氣象模式解析度提高（由原先的 1 公里提升至 250 公尺）、氣象模式所需之地形高度資料全面更新（由原先之 1 公里提升至 100 公尺）、全時氣象特徵參數分析與分類，即時化預報氣象特徵參數輸出及遠端傳輸介面建立，三維氣象場資料庫的運跑及建置等。本系統在氣象風場預報模組之功能上，配合目前更先進的整合網路與大型資料庫存取技術，進行更符合即時預報需求之功能提升，同時進行更詳細的參數切割，建置更全面完整可用的全時風場資料庫（由原先每個廠約 40 組提高至近 900 組）。

目前在氣象局內，於每 12 小時當氣象局全球預報作業系統執行完後，氣象局核能安全緊急應變系統即時氣象資料系統即馬上開始運作，將台灣四個核電廠附近地區的 8 天環境氣象預報資料，利用網路連線，傳輸至原能會及輻射偵測中心核電廠緊急應變系統劑量評估系統之伺服器內，當這些伺服器接收到氣象預報資料後，配合氣象資料庫系統，即時執行風場混合模組，求取未來 8 天每小時的核電廠附近高解析度三維氣象資訊，以供系統在事故發生時評估事故災害所可能造成電廠周圍之民眾輻射劑量多寡。

當事故發生或平常演練時，劑量評估人員可透過本系統建立的網頁式操作介面，透過全自動更新氣象預報資訊，或經由使用者自行調整設定預測風場，經由網路連線遠端高效能之伺服器，進行結合數值地形之三維小尺度大氣擴散模式之分析計算，再將結果計算放射性外釋雲團之網格劑量，同時可經由各項參數之設定，執行可減免劑量結果，與採行防護行動措施建議時間之評估計算，提供三維圖像化與文字介面之輸出結果，以供決策者參考使用。

現行以天氣類型法的氣象資料庫的氣象預報，是以假設計算範圍內氣象條件相同且無雲雨產生的狀態下，以高解析度模式模擬太陽輻射及地形與地表狀態產生的變化為主，故其僅適用於氣團型天氣狀況的小區域範圍。當計算範圍擴大、氣象條件變化較大、範圍內氣象條件差異較大時或範圍內存在雲雨系統時，此方法的適用性則有審慎考量的空間。以此方法應用在日本福島事件初期(3 月 12 日至 3 月 16 日)時的結果來看，整體而言(3 月 15 日除外)，在不考慮天氣類型分類的誤差下，現行之劑量評估系統得

到的結果因氣象模式(A2Cflow)對海陸風環流的模擬強度較實際為強，導致外釋的放射性物質主要傳輸方向較實際更偏向內地或海上(較偏東西向)，其角度大致差個 10 度左右。但在 3 月 15 日時，當天有一鋒面系統靠近，伴隨著條狀的降雨系統，在鋒面帶上為氣流輻合區，因為氣流輻合及降雨的影響，外釋的放射性物質很難越過鋒面帶到更西北的地方，但在現行天氣類型法的計算結果，因無考慮氣象條件在範圍內的變化，使得外釋的放射性物質能帶到西北地方並穿越山區到達日本西部海面，就算考量濕沉降的效應，僅僅是在降雨區的沉降量增加，傳輸的方向及形狀並沒有太大的差異。

本計畫之目的主要因應 311 日本福島核電廠事故，原能會檢討國內核電廠緊急應變之作業能力，俾即時提供研析準確的評估結果及掌握各項救災資源。並參酌日本福島民眾防護措施實施之經驗，強化精進劑量評估系統之軟硬體介面整合能力及評估效能，落實核安輻安、民眾心安之目標。

為改進現行境內核子事故劑量評估系統以天氣類型法的氣象資料庫造成的氣象預報的限制(無法滿足較大範圍及天氣變化較劇烈的情況)，利用科技部「國際核災輻射塵影響評估技術研究」計畫中，中央氣象局與美國國家海洋與大氣總署 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)下之 GSD (Global system division)合作發展的複雜地形區的三維連續變分降尺度系統(Mesoscale Dynamic Downscaling System, MDDS)，最佳化後應用於境內核子事故緊急應變劑量評估系統中。並開發氣象觀測資料同化分析技術，建立三維氣象資料分析能力，使劑量評估系統可兼具已發生之輻射影響評估；並提升濕沉降之計算評估能力，增

強乾濕沉降效應的計算精度與能力，增進劑量評估的效能，以建置涵蓋全臺灣之新一代核子事故緊急應變劑量評估系統。並且另外以日本 JAEA 射源項回推方法為基礎的外釋射源項回推技術，建立以量測分析資料及高解析度氣象分析資料為主的外釋射源項回推能力，並使劑量評估系統可評估已發生的放射性物質外釋結果並同時預測未來影響趨勢。

本計畫擬延伸本所大氣擴散與劑量評估、環境輻射量測，及國家游離輻射標準實驗室之專業研發領域，開發並提升核子事故劑量評估系統的作業能力，以符合核能總體檢的需求，強化應變準備能力。在福島事故後之檢討，國際間均在尋求可於事故期間獲取外釋射源項之方法，而利用環境偵測資料配合大氣擴散模擬回推外釋量與外釋時序，為目前國際間共同之因應對策並致力精進之技術，主要如日本 WSPEEDI，美國 NARAC、RASCAL，歐洲 RODOS、ARGOS，英國 NAME 等劑量評估與決策系統，都投入以偵測資料達成外釋射源項回推之研發議題。

因此本計畫主要預期效益為利用開發完成之射源項回推功能，以事故評估系統之模擬結果作為回推初始條件，套用「即時化高解析度之網格氣象觀測/預報資料」，提升外釋射源項回推之準確度與可信度。另外除提升氣象場精確度外，緊急應變時期偵測取樣之標的，關係到外釋射源項回推之良窳，故採用取樣分析與劑量率量測之選擇與對應之回推應用，也將於本計畫建立規範。同時在本計畫執行期間，將積極與上述國際的研究機構，進行技術交流，汲取研發經驗與心得，回饋至國內系統開發參考。

本年度（108）規畫之各工作項目如下：

1. 完成核三廠 4 層巢狀網格(緊急應變計畫區 250 公尺、緊急應變準

備區 500 公尺、60 公里範圍 1 公里及全臺範圍 2.5 公里解析度) 之劑量評估系統建置(含操作及顯示資訊系統)。

2. 每日核一、二、三廠及福清電廠假想事故全臺 2.5 公里解析度擴散模擬作業，完成每週選定案例之分析與討論，並統計各季節對於陸地區域影響之量化分析。
3. 利用觀測資料完成核三廠年度氣象場預報校驗，完成氣象資料庫類型劑量評估系統之氣象資料庫更新。
4. 完成非傳統氣象觀測資料的氣象資料同化分析技術開發及其測試與校驗。
5. 以變分法為基礎之射源項回推技術開發。

期中與期末查核點分列如下。

期中：

1. 完成核三廠緊急應變計畫區 250 公尺、緊急應變準備區 500 公尺、60 公里範圍 1 公里及全臺範圍 2.5 公里解析度之劑量評估系統建置。
2. 完成非傳統氣象觀測資料同化分析技術測試與校驗。
3. 核電廠假想事故冬春每日案例對於陸地行政區域之影響情況分析
4. 完成氣象分析資料自動化更新機制。

期末：

1. 完成開發雲分析模組
2. 完成核三廠資料庫類型封廠資料更新。
3. 統計夏秋每日案例對於陸地行政區域之影響情況與潛在熱點分析。
4. 完成以變分法為基礎之射源回推技術開發。

5. 完成現行固定輻射監測站設站位置最佳化分析。

貳、研究方法與過程

一、研究方法概述

(一)劑量評估系統發展歷程

劑量評估系統的開發歷程如圖 1.1.1 所示，起於民國 85 年全國核子事故處理委員會作業執行室委託核能研究所與中央氣象局合作，所共同開發第一代的三維緊急應變劑量評估系統，如圖 1.1.2。此套系統利用網路分散處理與遠端控制技術，由於當時無任何高解析（須達公里級以上）的作業化氣象模式可供進行大氣擴散分析，故以氣象資料庫形式，整合研究用之高解析度氣象三維風場預報模式 HOTMAC (Higher Order Turbulence Model for Atmospheric Circulation)，雲團大氣擴散分析 RAPTAD (Random Puff Transport and Diffusion)，以及環境人員輻射劑量評估等專業科技而成的電腦運算系統。在核電廠發生事故啟動緊急應變動員時，可運用此系統，配合氣象局專家主觀之天氣風場預報資料，進行事故發生後未來 4 天內，電廠輻射物質外釋所造成即時劑量率與累積劑量評估分析，預先評估事故災害所可能造成電廠周圍之民眾輻射劑量，提供給緊急應變決策者之重要決策資訊參考。

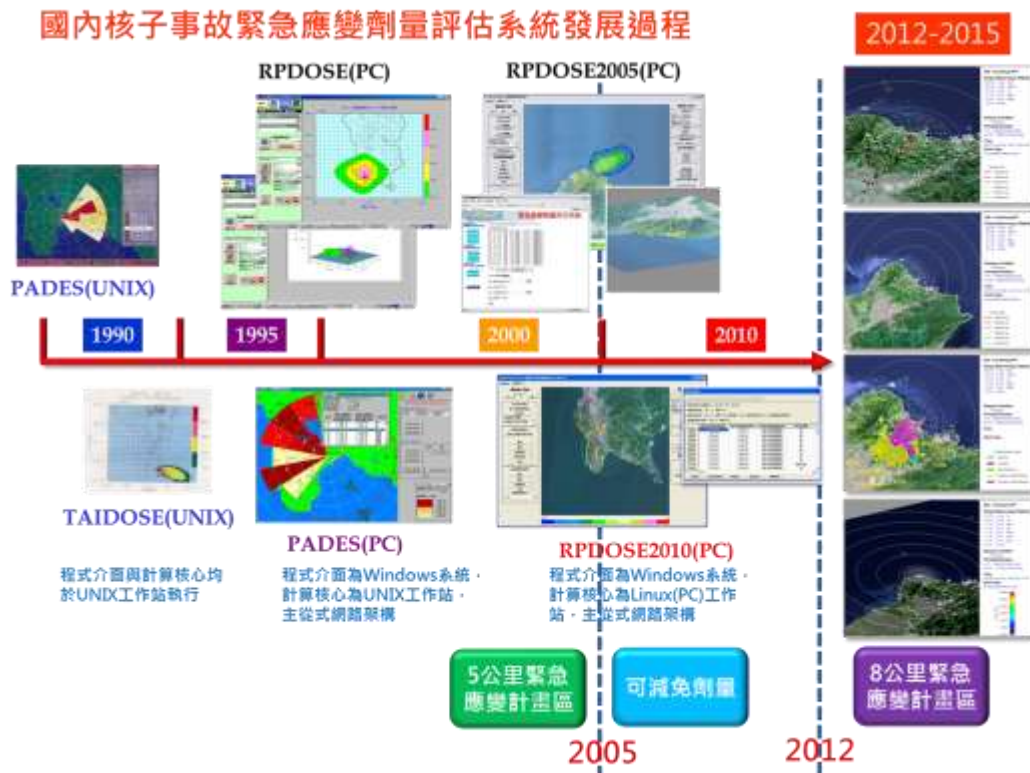


圖 1.1.1 劑量評估系統發展歷程

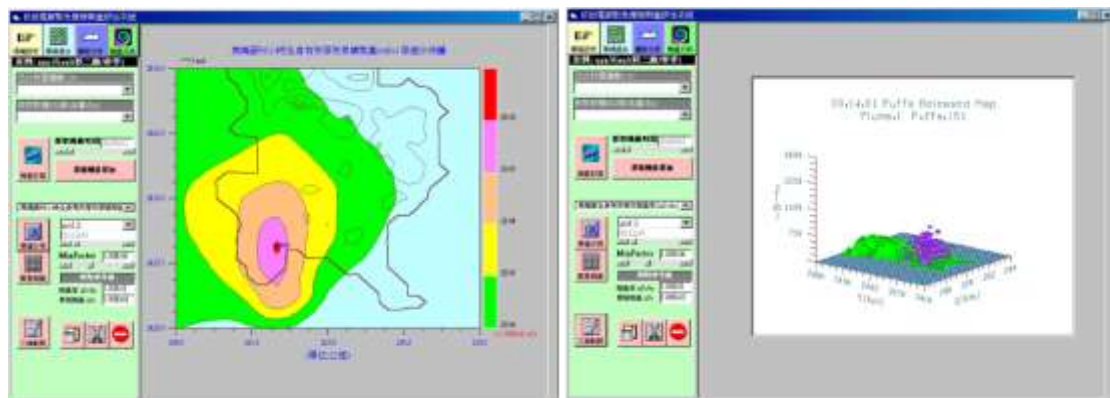


圖 1.1.2 第一代三維緊急應變劑量評估系統介面

民國 92、93 及 94 年由核研所與氣象局共同開發第二代的三維緊急應變劑量評估系統，進行為期二年半之「核一、二、三廠近指中心劑量評估系統即時化功能建立」，其中氣象資料庫更新擴建計畫之計畫目標為：擴建更真實化的氣象資料庫，並提供緊急應變劑量評估系統即時的廠區附近之氣象參數預報，主要工作包括：廠區附近氣象場預報模式更新（Version 4 升級至 Version

7)，氣象模式解析度提高（由原先的 1 公里提升至 250 公尺）、氣象模式所需之地形高度資料全面更新（由原先之 1 公里提升至 100 公尺）、全時氣象特徵參數分析與分類，即時化預報氣象特徵參數輸出及遠端傳輸介面建立，三維氣象場資料庫的運跑及建置等。本系統在氣象風場預報模組之功能上，配合目前更先進的整合網路與大型資料庫存取技術，進行更符合即時預報需求之功能提升，同時進行更詳細的參數切割，建置更全面完整可用的全時風場資料庫（由原先每個廠約 40 組提高至近 900 組）。

另外劑量評估系統人機介面採用高階跨平台程式語言開發，展示介面以衛星影像為底圖，結合數值地形，並引入地理資訊概念，操作介面可讓使用者於圖台上依需求縮放，平移，與旋轉，大幅提升劑量評估結果之資料視覺化功能與操作互動性。如圖 1.1.3。



圖 1.1.3 即時化氣象預報三維劑量評估系統

民國 96 年因應「核子事故緊急應變法」第十四條規定，原能會已於 94 年 7 月 15 日發布「核子事故民眾防護行動規範」並自發布日起生效。該規範和以往採行之「核子事故民眾防護行動指引」最大不同處是採用可減免劑量新觀念，作為採行防護措施干預基準之依據。為符合新法規之防護措施干預基準的要求，針

對劑量評估系統開發符合減免劑量規範之劑量評估模式，同時需增加現有之氣象預報天數，以達到七天疏散減免劑量之評估需求。另依據原能會核技處軟硬體使用維護需求，與考量大氣擴散程式之更新，以高階個人電腦取代 SUN/Solaris 運作平台，故進行程式改寫、轉換與功能測試，以期達成伺服器 PC 化之階段性目標。在圖資方面，以更精細之衛星影像與數值地形進行處理融合，並配合原能會提供之資料，進行村里等資料更新，讓決策者能清楚掌握實際狀況。如圖 1.1.4。

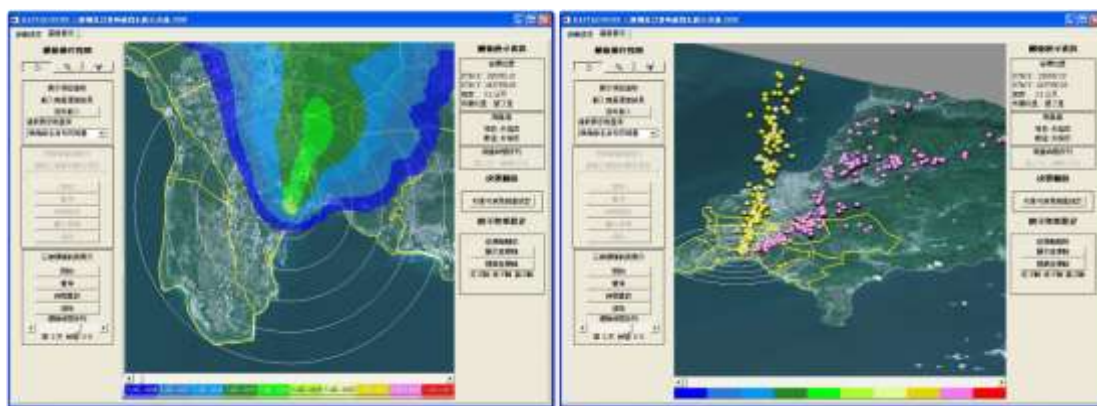


圖 1.1.4 可減免劑量之劑量評估系統介面

民國 100 年日本發生福島事故後，劑量評估系統使用者介面程式強化與提升地理資訊與資料視覺化效果，如圖 1.1.5。並於 101 年起至 104 年，因應 311 日本福島核電廠事故，配合緊急應變計畫區擴大，劑量評估系統規格須相對應擴充評估範圍，重新運跑並建置滿足緊急應變計畫區擴大後之氣象資料庫及修改台灣四個核電廠附近地區的 8 天環境氣象預報資訊外，並參酌日本福島民眾防護措施實施之經驗，精進評估系統氣象模組的準確性，除將原本氣象與大氣擴散模式由 HOTMAC 與 RAPTAD 升級為 A2C (A2Cflow 與 A2Ct&d)，並將高解析度地表利用資料引入 A2C 模組；同時考量氣候變遷因素，利用新的觀測資訊重訂

並擴大資料庫的分類，更新後核一、二、三與龍門廠資料庫分別為 1344、1416、1320 與 1412 組；另外亦新增廠區大環境的降水預報資訊，將不同放射性核種分類的乾濕沉降效應，直接引入 A2Ct&d 中，增進劑量評估的效能。

另外以相同之氣象場評估程序，利用 A2C 模式為主軸進行日本福島事故擴散模擬，射源項排放時序係利用日本環境偵測數據與 WSPEEDI 模擬相互比較調整所推估而得，以 3/14 日當天有較大射源排放量的個案為例，比較新一代 A2C t&d 模式與日本 WSPEEDI 模式的模擬結果比較可以得知新一代 A2C t&d 模式在定性與定量上都具有可信度。

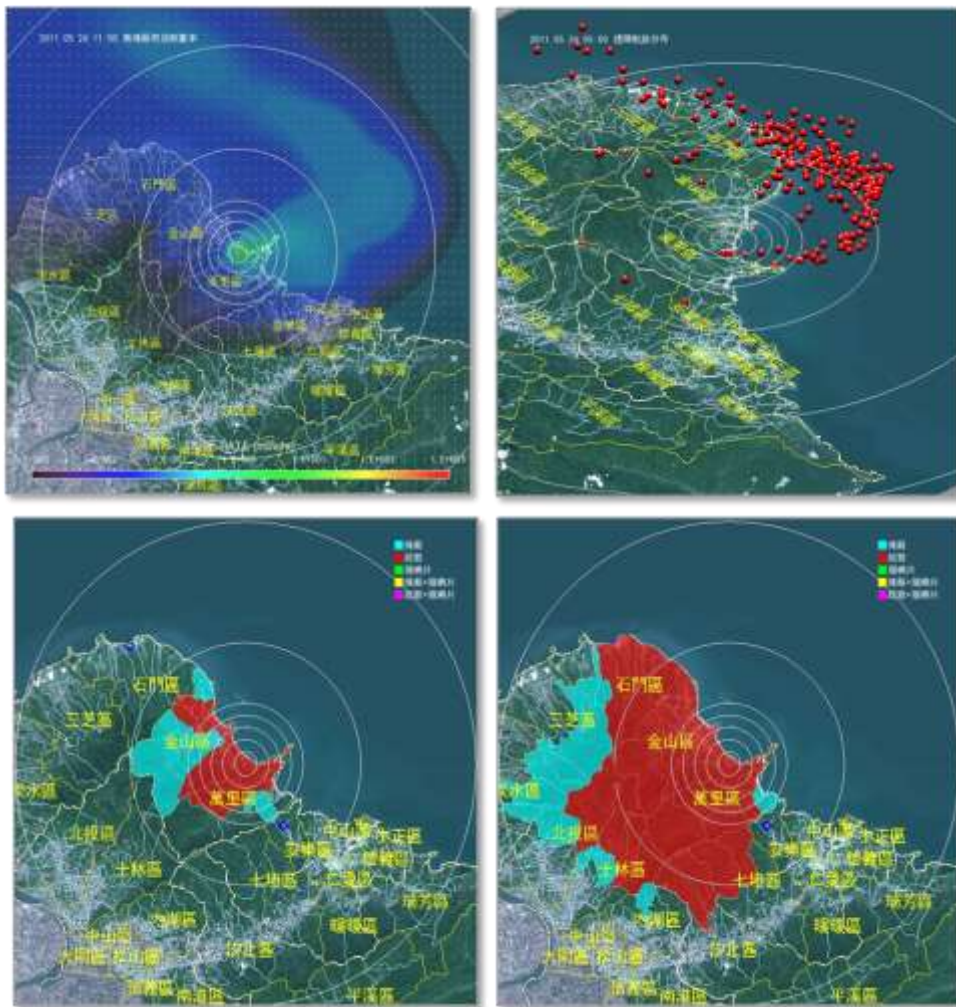


圖 1.1.5 福島事故後劑量評估系統資料視覺化提升

依據歷年演習經驗與輻防處需求，採用全新思維，重新建立劑量評估系統操作介面(如圖 1.1.6)，與強化劑量評估結果之二維與三維視覺化顯示功能(如圖 1.1.7)。視覺化輸出除原靜態(jpg)與動態(gif)圖檔外，增加提供 MPEG4 高畫質之影像輸出格式，與 Google Earth 之 kml 檔案功能，如圖 1.1.8。

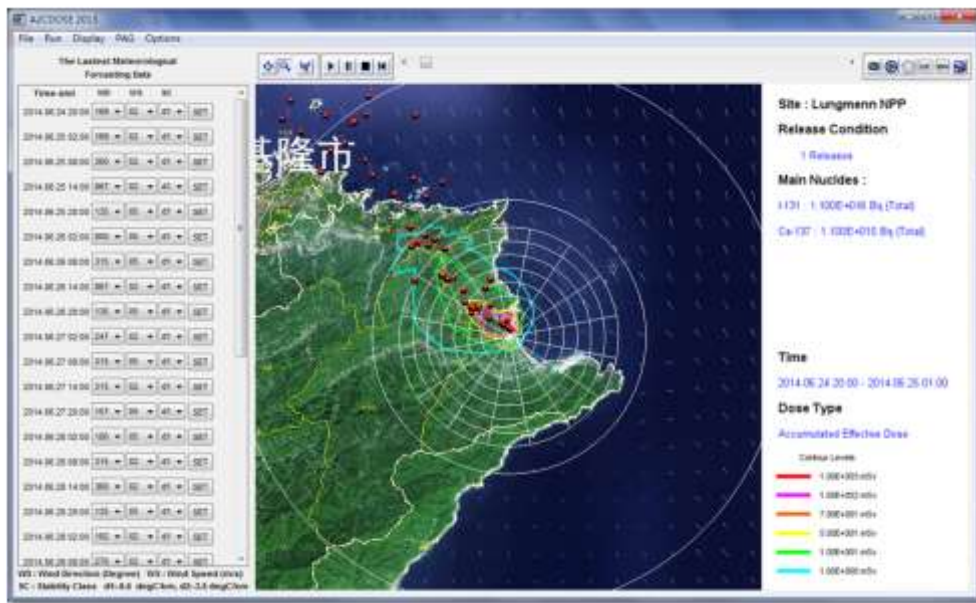


圖 1.1.6 劑量評估系統 2016 年版介面

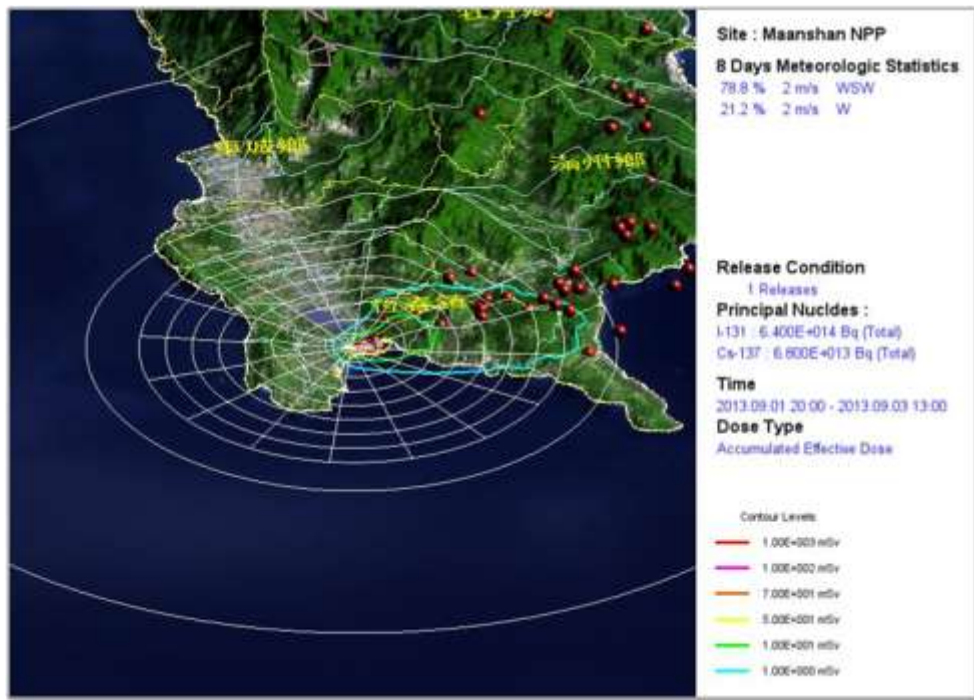


圖 1.1.7 核三廠三維劑量評估結果顯示

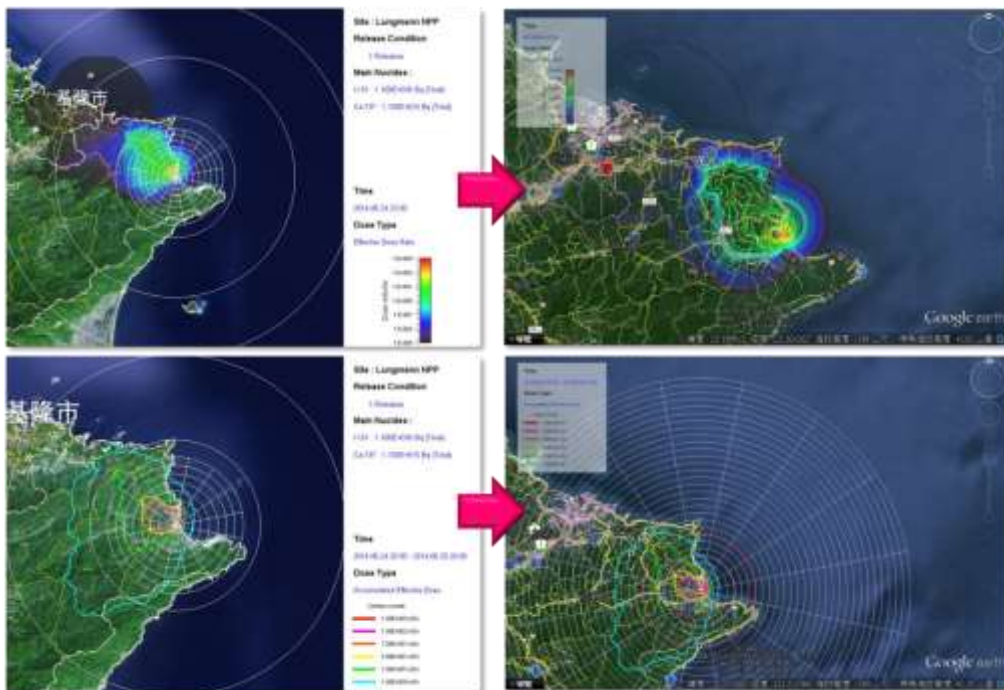


圖 1.1.8 劑量評估結果輸出 kml 檔案功能建立及結果展示

104 年利用氣象局即時化降尺度氣象預報技術，建立台灣區域 2.5 公里解析度氣象預報場，開發可評估全台灣 2.5 公里解析

度之劑量評估系統，並達成多電廠同時發生事故之評估能力，並完成事故期間外釋射源項定量與外釋時序回推之方法建立。此兩項功能為本計畫延續發展之基礎。

劑量評估系統於每 12 小時當氣象局全球預報作業系統執行完後，氣象局核能安全緊急應變系統即時氣象資料系統即馬上開始運作，將台灣四個核電廠附近地區的 8 天環境氣象預報資料，利用網路連線，傳輸至原能會及輻射偵測中心核電廠緊急應變系統劑量評估系統之伺服器內，當這些伺服器接收到氣象預報資料後，配合氣象資料庫系統，即時執行風場混合模組，求取未來 8 天每小時的核電廠附近高解析度三維氣象資訊，以供系統在事故發生時評估事故災害所可能造成電廠周圍之民眾輻射劑量多寡。

當事故發生或平常演練時，劑量評估人員可透過本系統建立的操作介面，透過全自動更新氣象預報資訊，或經由使用者自行調整設定預測風場，利用網路連線遠端高效能之伺服器，進行結合數值地形之三維小尺度大氣擴散模式之分析計算，再將結果計算放射性外釋雲團之網格劑量，同時可經由各項參數之設定，執行可減免劑量結果，與採行防護行動措施建議時間之評估計算，提供三維圖像化與文字介面之輸出結果，以供決策者參考使用。

現行以天氣類型法的氣象資料庫的氣象預報，是以假設計算範圍內氣象條件相同且無雲雨產生的狀態下，以高解析度模式模擬太陽輻射及地形與地表狀態產生的變化為主，故其僅適用於氣團型天氣狀況的小區域範圍。當計算範圍擴大、氣象條件變化較大、範圍內氣象條件差異較大時或範圍內存在雲雨系統時，此方法的適用性則有審慎考量的空間。以此方法應用在日本福島事件初期（3 月 12 日至 3 月 16 日）的結果來看，整體而言（3 月 15

日除外)，在不考慮天氣類型分類的誤差下，現行之劑量評估系統得到的結果因 A2Cflow 氣象模式對海陸風環流的模擬強度較實際為強，導致外釋的放射性物質主要傳輸方向較實際更偏向內地或海上（較偏東西向），角度大致差 10 度左右。但在 3 月 15 日時，當天有一鋒面系統靠近，伴隨著條狀的降雨系統，在鋒面帶上為氣流輻合區，因為氣流輻合及降雨的影響，外釋的放射性物質很難越過鋒面帶到更西北的地方，但在現行天氣類型法的計算結果，因無考慮氣象條件在範圍內的變化，使得外釋的放射性物質能帶到西北地方並穿越山區到達日本西部海面，就算考量濕沉降的效應，僅僅是在降雨區的沉降量增加，傳輸的方向及形狀並沒有太大的差異。

為改進現行境內核子事故劑量評估系統以天氣類型法的氣象資料庫造成的氣象預報的限制（無法滿足較大範圍及天氣變化較劇烈的情況），利用科技部「國際核災輻射塵影響評估技術研究」計畫中，中央氣象局與美國國家海洋與大氣總署 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) 下之 GSD (Global System Division) 合作發展的複雜地形區的三維連續變分降尺度系統 (Mesoscale Dynamic Downscaling System, MDDS)，最佳化後應用於境內核子事故緊急應變劑量評估系統中。並開發氣象觀測資料同化分析技術，建立三維氣象資料分析能力，使劑量評估系統可兼具已發生之輻射影響評估；並提升濕沉降之計算評估能力，增強乾濕沉降效應的計算精度與能力，增進劑量評估的效能，以建置涵蓋全臺灣之新一代核子事故緊急應變劑量評估系統。

根據福島事故後之檢討，在缺乏外釋射源項之情況下，劑量

評估系統將無法提供有效資訊，作為決策參考依據。因為不同之外釋時間與外釋量，對於擴散污染分布結果可能大不相同。由日本之經驗，雖然福島事故期間依照事故發展狀況(如氫爆或二號機大量外釋等)，隨時利用單位外釋量以 SPEEDI 進行模擬，即使預測出高污染區域與觀測結果具一致趨勢，然因缺乏絕對數值佐證，致使當時日本政府無法利用評估結果作出任何決策判斷。

故福島事故後，國際間均在尋求可於事故期間獲取外釋射源項之方法，而利用環境偵測資料配合大氣擴散模擬回推外釋量與外釋時序，為目前國際間共同之因應對策並致力精進之技術，主要如日本 WSPEEDI，美國 NARAC、RASCAL，歐洲 RODOS、ARGOS，英國 NAME 等劑量評估與決策系統，都投入以偵測資料達成外釋射源項回推之研發議題。

(二)降尺度系統 (CWB/MDDS)

有別於過去核一、二、三廠緊急應變劑量評估系統，運用由 A2Cflow 透過統計的方式所建立的天氣類型資料庫，並藉由 CWB/GFS 在各個核電廠的八天預報資訊，自動挑選使用的天氣類型，並經由時間混和內插，產生供 A2C 擴散模式使用的氣象場資料；在新一代核子事故緊急應變劑量評估系統中，則是建置了全真化的即時氣象應用資料庫 (real-MAD)，包含美國及氣象局的作業化全球模式預報資料 (NCEP/GFS 及 CWB/GFS)、氣象局作業化區域模式 (CWB/WRF) 的預報資料，以及因應緊急應變劑量評估系統開發的不同範圍與解析度的動力降尺度系統 (CWB/MDDS)，每日定時進行即時的分析與整合處理，使得發生核電廠事故時，大氣擴散模式可即時（最近時間）運用氣象預報資料進行模擬並評估對台灣的影響，爭取在最短的時間內掌控

最佳的即時資訊。

目前 NCEP/GFS 與 CWB/GFS 的資料均為每天 4 次預報資料 (00、06、12、18 UTC)，其水平解析度分別為 0.5 及 0.375 度經緯度（在台灣附近約為 55 及 40 公里），預報時間長度均取預報準確度較高的前 8 天，每 3 或 6 小時輸出氣象模式預報資料。

目前 CWB/WRF 的資料亦為每天 4 次預報資料，其為 3 層巢狀網格（水平解析度分別為 45、15、5 公里），範圍分別涵蓋東亞、東南亞及台灣附近區域（如圖 1.1.9），預報時間長度為 84 小時，每小時輸出氣象模式預報資料。

CWB/MDDS 的開發與建置的目的是提供緊急應變劑量評估系統所需的較長時間且較高解析度的氣象預報資訊。目前在新一代核子事故劑量評估系統中，已進行每日 4 次的全臺灣 2.5 公里解析度（範圍如圖 1.1.9 所示）的 CWB/MDDS T2.5 作業化 8 天氣象預報場輸出。在本計畫中將利用 CWB/MDDS 的方法，進行核一、二、三廠 1 公里、0.5 公里及 0.25 公里解析度的氣象預報降尺度分析系統建置。

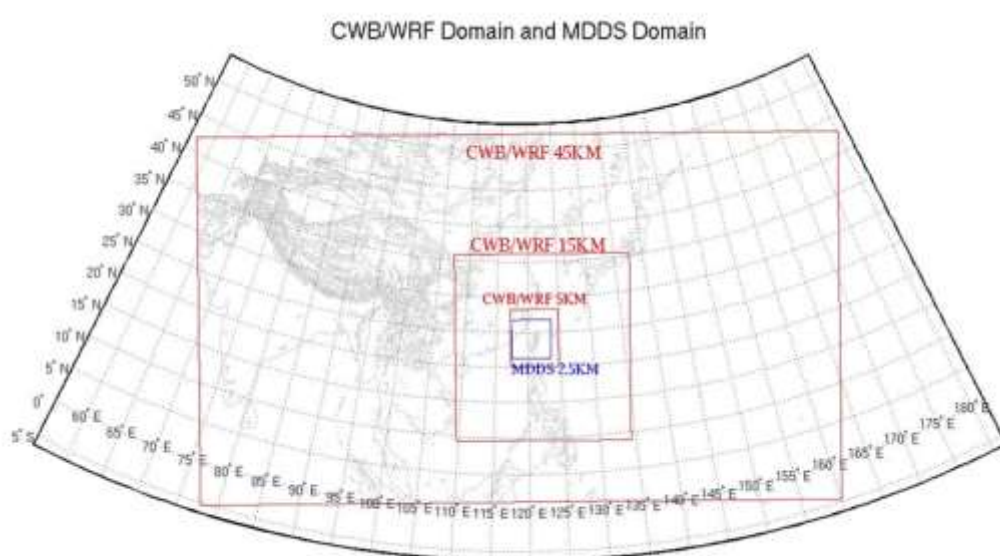


圖 1.1.9 CWB/WRF 不同解析度所包含的範圍及 MDDS 高解析度氣象資訊之範

圖。紅色方框為 CWB/WRF，藍色方框為 MDDS 2.5 公里解析度範圍

MDDS (Mesoscale Dynamic Downscaling System) 為中央氣象局與美國國家海洋與大氣總署 (NOAA) 下之 GSD (Global System Division) 合作發展的複雜地形區的三維連續變分降尺度系統。

降尺度指的是將解析度較粗糙的資料提升其解析度而得到較精細的資訊：小尺度天氣變數以大尺度天氣作為背景，並受局部下墊面特徵，例如地形、離海岸的距離、土地利用等影響，經由降尺度方法以提高其解析度(Grotch et al., 1991)。降尺度方法常運用在氣候上的議題，由全球尺度的一般環流模式 (GCM) 結果得到區域尺度的現象。降尺度方法分三種：統計降尺度、動力降尺度以及兩種方式混和的統計動力混合降尺度 (Murphy et al., 1999)。

統計降尺度方法主要概念是建立大尺度模式 (如 GCM) 或再分析網格點資料和氣象觀測值兩者之間的統計關係式 (Von Storch et al., 1993; Wilby et al., 2004)。以簡單的式子可描述為 $R=F(X)$ ， R 為大尺度網格點資料稱為預報因子 (predictor)， X 是欲降尺度的變數，此處為氣象觀測值稱為預報變量 (predictand)，兩者的經驗關係式 F 透過統計方法建立，以解釋網格點間的氣象變化 (Fowle et al., 2007)。在某給定範圍中，大氣變量與預報變量有越高的相關程度，越適合選作預報因子 (Kang et al., 2007)。最廣泛使用的統計降尺度方法為回歸模式 (regression model)，回歸模式中利用的統計方法有線性回歸、典型相關分析 (Canonical Correlation Analysis, CCA) (Bürger et al., 1996)、類神經網路 (artificial neural networks, ANN) (Cavazos et

al., 2005)、主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA)、奇異值分解 (Singular Value Decomposition, SVD) (Huth et al., 1999) 等，這些方法利用歷史觀測資料來做統計訓練 (statistically-trained)，以求建立預報因子和預報變量之間的關係式。PCA、SVD、CCA 皆屬於多變量分析方法，指分析多個變數的資料，探討資料彼此之間的關聯性或是釐清資料的結構。PCA 及 SVD 原理皆是經由線性轉化將變數分解為主分量（時間序列）與特徵向量（空間分布），得到相對較顯著且彼此互相獨立的主成分分數，以解釋觀測資料中的大部分資訊。CCA 則是利用兩組變數，分別對這兩組變數各做線性組合後，再計算兩組變數加權和的簡單相關係數，然後以這個簡單相關係數當做這兩組變數之間相關性的衡量指標。ANN 是一種模仿生物神經網路的結構和功能的計算模型，為一自適性 (adaptive) 系統，利用輸入變數和輸出變數間複雜的關係進行建模。此外還有在國際間廣泛被使用的套裝軟體模式 SDSM (Statistical DownScaling Model)，結合序率天氣繁衍 (stochastic weather generator) 模式以及回歸模式 (Wilby et al., 2002)，常作為評估氣候變遷衝擊之工具。SDSM 中的天氣繁衍模式，使用了環流 pattern 跟水氣變量去決定局部的天氣變數，再利用統計方法實行了誤差校正 (bias correction) 和變數膨脹 (variance inflation) 的技術，減少了計算時的標準誤差且可以增加模式解釋的變量，達到最佳的降尺度表現。

而動力降尺度方法是用多組方程式和大氣中的各種物理過程（如輻射驅動力、積雲參數化等）做時間積分，經由時間平均後的結果 (Barnston et al., 1999)。廣義來說，根據物理基礎將大

尺度氣象特徵解析為小尺度的區域氣象變數就稱為動力降尺度。而常用作法是利用 GCM 或 AGCM(Atmospheric General Circulation Model, 大氣一般環流模式)的區域結果作為初始場及邊界條件,使用物理基礎建構的 LAM (limited-area model)、區域氣候模式 (RCM) 或區域大氣模式系統 (RAMS) 進行高解析度數值模擬,考量區域之地形地貌等因素,而得到小尺度的天氣現象及區域性的氣象特徵 (Giorgi et al., 2001),如地形降雨 (Frei et al., 2003)、極端氣候事件 (Fowler et al., 2007) 等非線性效應事件。利用區域模式降尺度之分析結果,必須與 GCM 再分析資料的大尺度資訊之特徵有一致性,因此需要測試不同的區域模式,選擇適合的為最佳降尺度工具。動力降尺度的表現對於選定區域大小、水平解析度、地形、地表利用等變數非常敏感,因此在不同的區域模式模擬比較測試動力降尺度的結果是有必要性的 (Xue et al., 2007)。

統計降尺度優點在於計算資源的需求相對較少且方法也較簡易,但結果通常對極端事件表現得不理想,其模擬的結果無法顯示氣候的物理過程、並且缺少適當的物理解釋,用來作為預報時需要假設未來氣候特徵是統計穩定的,而這個假設一般無法滿足也無法證明。動力降尺度方法優點在於包含大氣的物理及動力過程為基礎,對於模擬的結果能以物理機制做適當的解釋,但是計算耗時,而且需要大量的模式輸出儲存空間。

台灣是一個多山的海島,五大山脈(雪山山脈、中央山脈、玉山山脈、阿里山山脈及海岸山脈)縱貫全島,地勢高於 3000 公尺的山脈有 100 座以上,最高峰玉山高度幾近 4000 公尺。在如此複雜的地形影響下,降尺度方法是否考慮地形的效應就決定

了其結果的可信度。在複雜地形區的降尺度方法最簡便的即是利用區域數值模式的動力降尺度法，但此方法會面臨所有數值模式的極限，諸如初始場產生的模式調整問題 (spin up problem)、模式動力及物理參數化問題等等。而在統計降尺度中，以 fingerprint method 將地形高度對氣象場的理想分布特性作為其方法的權重函數 (Steincker et al., 2006)，可得到複雜地形區內較好的氣象場分布，但此方法僅適用於單一的純量氣象變數，對向量變數（風場）並不適用，且不同氣象變數間並無任何的物理關係存在。

MDDS 是試圖解出靜態下因複雜地形產生的氣象場變化，所發展出一適合複雜地形區的新三維連續變分中尺度動力降尺度系統。MDDS 利用追隨地勢座標的純控制方程三維變分法，其包含較完整的中小尺度氣象物理方程式為變分法的控制方程，使其結果在不同氣象變數間有相當大程度滿足所使用的控制方程式。利用三維變分法的特性，MDDS 可以快速解析出高解析度下受地形影響的氣象場特性，且消耗較少的計算資源。

考慮僅以動量方程、連續方程、熱力方程及水汽保守方程為控制方程的純三維變分，其價值函數可寫為：

$$J = \iiint (\alpha_1 P_1^2 + \alpha_2 P_2^2 + \alpha_3 P_3^2 + \alpha_4 P_4^2 + \alpha_5 P_5^2 + \alpha_6 P_6^2 + \alpha_7 P_7^2) d\Omega$$

其中 P_n 為各項控制方程，包含三個方向的動量方程 (P_1 到 P_3)、連續方程 (P_4)、熱力方程 (P_5)、水汽保守方程 (P_6) 及所有氣象變數的平滑懲罰項 (P_7)， α_n 為各控制方程項的權重。

$$P_1 = R_d p_{00}^{-\kappa} (\bar{\theta}_v + \theta'_v) (\bar{p} + p')^{\kappa-1} \left(\frac{\partial p'}{\partial x} + \frac{J_1}{J_3} \frac{\partial p'}{\partial \eta} \right) + \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \dot{\eta} \frac{\partial u}{\partial \eta} \right) - f v$$

$$P_2 = R_d p_{00}^{-\kappa} (\bar{\theta}_v + \theta'_v) (\bar{p} + p')^{\kappa-1} \left(\frac{\partial p'}{\partial y} + \frac{J_2}{J_3} \frac{\partial p'}{\partial \eta} \right) + \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \dot{\eta} \frac{\partial v}{\partial \eta} \right) + f u$$

$$\begin{aligned}
P_3 &= \frac{R_d p_{00}^{-\kappa} \theta_v p^{\kappa-1}}{J_3} \frac{\partial p'}{\partial \eta} + \left(u \frac{\partial J_3 \dot{\eta}}{\partial X} + v \frac{\partial J_3 \dot{\eta}}{\partial Y} + \dot{\eta} \frac{\partial J_3 \dot{\eta}}{\partial \eta} \right) - \left(u \frac{\partial J_1 u}{\partial X} + v \frac{\partial J_1 u}{\partial Y} + \dot{\eta} \frac{\partial J_1 u}{\partial \eta} \right) - \\
&\quad \left(u \frac{\partial J_2 v}{\partial X} + v \frac{\partial J_2 v}{\partial Y} + \dot{\eta} \frac{\partial J_2 v}{\partial \eta} \right) - \frac{(\kappa-1)g}{\bar{p}} p' - \frac{g}{\theta_v} \theta' \\
P_4 &= (1-\kappa)p^{-1} \left(u \frac{\partial p'}{\partial X} + v \frac{\partial p'}{\partial Y} + \dot{\eta} \frac{\partial p'}{\partial \eta} \right) - \frac{(1-\kappa)p^{-1}g}{R_d \bar{\theta}_v p_{00}^{-\kappa} \bar{p}^{\kappa-1}} (J_3 \dot{\eta} - J_1 u - J_2 v) \\
&\quad + \left(\frac{\partial u}{\partial X} + \frac{\partial v}{\partial Y} + \frac{\partial \dot{\eta}}{\partial \eta} - \frac{u}{J_3} \frac{\partial J_1}{\partial \eta} - \frac{v}{J_3} \frac{\partial J_2}{\partial \eta} + \frac{\dot{\eta}}{J_3} \frac{\partial J_3}{\partial \eta} \right) \\
P_5 &= u \frac{\partial \theta'_v}{\partial X} + v \frac{\partial \theta'_v}{\partial Y} + \dot{\eta} \frac{\partial \theta'_v}{\partial \eta} + \frac{1}{J_3} (J_3 \dot{\eta} - J_1 u - J_2 v) \frac{\partial \bar{\theta}_v}{\partial \eta} \\
P_6 &= u \frac{\partial q'_v}{\partial X} + v \frac{\partial q'_v}{\partial Y} + \dot{\eta} \frac{\partial q'_v}{\partial \eta} + \frac{1}{J_3} (J_3 \dot{\eta} - J_1 u - J_2 v) \frac{\partial \bar{q}_v}{\partial \eta}
\end{aligned}$$

其中 u 、 v 、 $\dot{\eta}$ 為三個方向的風速， p 為壓力， θ_v 為虛位溫， q_v 為水汽混合比， J_n 為三個方向之座標轉換因子， $p = \bar{p}(z) + p'$ ， $\theta_v = \bar{\theta}_v(z) + \theta'_v$ ， $q_v = \bar{q}_v(z) + q'_v$ ， $R_d = 287 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 為乾空氣氣體常數， $p_{00} = 10^5$ 帕為參考壓力值， $g = 9.8 \text{ s}^{-2}$ 為重力加速度， $\kappa = 0.287$ 。為減少變數及控方程式的數量，故以狀態方程式取代各式中的密度項，可使各控制方程式包括較多氣象變數，增加變分求解時的穩定性。

考慮追隨地勢座標，其垂直座標定義為：

$$\eta = \frac{Z_t(Z - Z_g)}{Z_t - Z_g}$$

其中 Z_g 為地表高度， Z_t 為模式頂高度。在此定義下，三個方向的座標轉換因子可寫為：

$$J_1 = \frac{\eta - Z_t}{Z_t} \frac{\partial Z_g}{\partial X}$$

$$J_2 = \frac{\eta - Z_t}{Z_t} \frac{\partial Z_g}{\partial Y}$$

$$J_3 = \frac{\partial Z}{\partial \eta} = \frac{Z_t - Z_g}{Z_t}$$

Xie et al. (2011) 提出連續變分法進行資料同化分析，利用一個高度非線性的，多尺度解析函數，模擬經常與鋒面或強對流下沖氣流外流相關聯的複雜現象的理想化試驗數據進行連續變分法分析，並與傳統的客觀分析或現行的變分分析進行比較，且測試了遞歸濾波，小波，及多網格方式決定變分法中的誤差協方差矩陣，雖然不同的誤差協方差矩陣方式對連續變分法分析的結果有些細微差異，但每個捕獲的風暴邊界的主要波長由大至小均優於現行變分分析或 Barnes 在相同條件下的客觀分析結果（如圖 1.1.）。證實此方法在各種情況下均能提供良好的分析。在此我們也利用此方式進行降尺度的分析，在同一個分析範圍內，先在網格距較大的情況下解出上述的價值函數最小值，得到此網距可解析的尺度現象，在以此為下一個較小網格距（其網格距比通常為 $1/2$ ）求解的初始值，如此反覆得到最終的最小網距的分析資料。

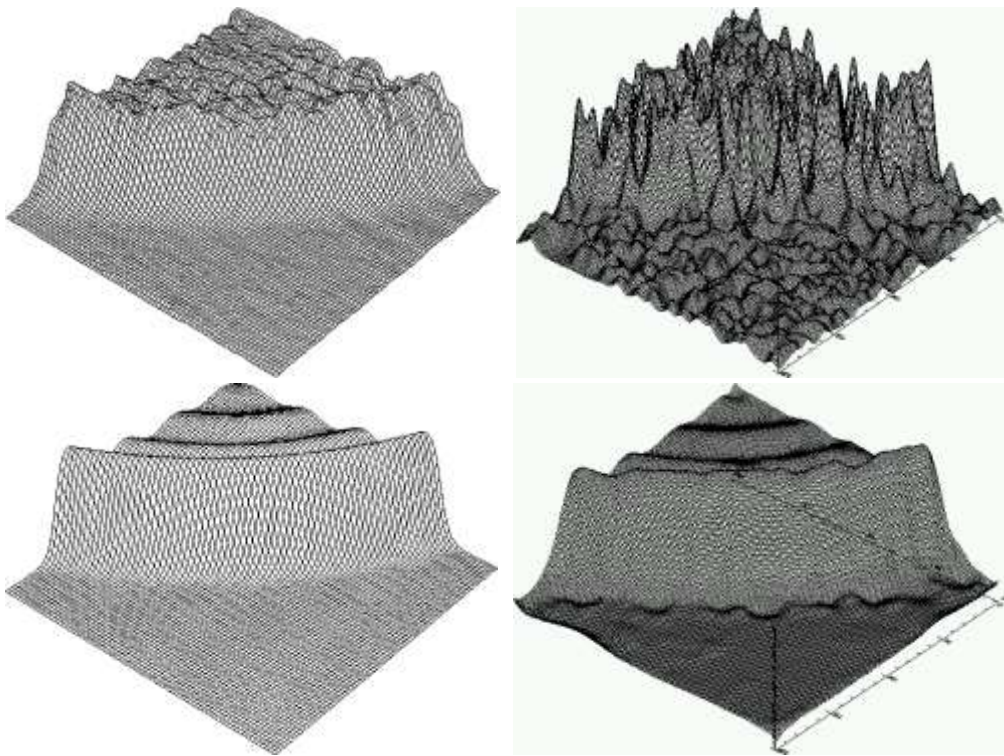


圖 1.1.10 利用多重尺度之複雜現象的理想化試驗數據進行不同資料同化（或客觀分析）的比較。上圖左為 Barnes 方法、上圖右為現行的 3DVAR 方法、下圖左為理想化試驗數據圖、下圖右為連續變分方法

(三)A2C (Atmosphere to Computational fluid dynamic) 數值模式介紹

在大氣部分 (A2Cflow)，為能模擬非均勻地形並易於處理地表邊界條件，本模式垂直方向採用 (Mahrer and Pielke, 1975) 所定義之地形座標：

$$z^* = \overline{H} \frac{z - z_g}{H - z_g}$$

其中 z^* ， z 分別為轉換後及卡氏座標下的垂直座標。式中 z_g 為地表高度， $\overline{H}$ 為 z^* 座標下的模式頂高度， H 為 z 座標下的模式頂高度。在模式頂，兩種座標（ z^* 及 z 座標）之座標面為相同的水平面。

模式中基本控制方程式包括 x 方向（東西方向）及 y 方向（南北方向）之動量方程、連續方程、亂流動能方程、亂流長度尺度方程、熱力及水汽混合比方程等，分別敘述如下：

東西方向動量方程：

$$\begin{aligned} \frac{dU}{dt} = & f(V - V_g) + g \frac{\overline{H} - z^*}{\overline{H}} \left(1 - \frac{\overline{\theta}_v}{\theta_v} \right) \frac{\partial z_g}{\partial x} \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{xy} \frac{\partial U}{\partial y} \right) + \frac{\overline{H}}{H - z_g} \frac{\partial}{\partial z^*} (-\overline{uw}) \end{aligned}$$

南北方向動量方程：

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} = & f(U - U_g) + g \frac{\overline{H} - z^*}{\overline{H}} \left(1 - \frac{\overline{\theta}_v}{\theta_v} \right) \frac{\partial z_g}{\partial y} \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xy} \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial V}{\partial y} \right) + \frac{\overline{H}}{H - z_g} \frac{\partial}{\partial z^*} (-\overline{vw}) \end{aligned}$$

連續方程：

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W^*}{\partial z^*} - \frac{1}{H - z_\varepsilon} \left(U \frac{\partial z_\varepsilon}{\partial x} + V \frac{\partial z_\varepsilon}{\partial y} \right) = 0$$

其中 z^* 座標下之垂直速度 (W^*) 可寫為：

$$W^* \equiv \frac{\bar{H}}{H - z_\varepsilon} W + \frac{z^* - \bar{H}}{H - z_\varepsilon} \left(U \frac{\partial z_\varepsilon}{\partial x} + V \frac{\partial z_\varepsilon}{\partial y} \right)$$

上幾式中，大寫表示總集平均值，小寫表示對平均值的擾動量， U 、 V 為 x 及 y 方向平均風速， U_g 、 V_g 為 x 及 y 方向地轉風， g 為地球重力加速度， θ_v 為虛位溫， W 為 z 座標下之垂直速度。

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + U \frac{\partial}{\partial x} + V \frac{\partial}{\partial y} + W^* \frac{\partial}{\partial z^*}$$

為全微分， K_x 、 K_{xy} 及 K_y 為水平渦流黏滯係數。在動量方程中之等號右邊第一項為科氏力造成的加速度項，第二項為地形效應項，第三及第四項為水平渦流黏滯力項，第五項為亂流項。

亂流動能方程式如下：

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{q^2}{2} \right) &= \frac{\partial}{\partial x} \left[K_x \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q^2}{2} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_y \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{2} \right) \right] \\ &+ \left(\frac{\bar{H}}{H - z_\varepsilon} \right)^2 \frac{\partial}{\partial z^*} \left[q l S_q \frac{\partial}{\partial z^*} \left(\frac{q^2}{2} \right) \right] \\ &- \frac{\bar{H}}{H - z_\varepsilon} \left(\overline{uw} \frac{\partial U}{\partial z^*} + \overline{vw} \frac{\partial V}{\partial z^*} \right) + \beta g \overline{w\theta_v} - \frac{q^3}{B_1 l} \end{aligned}$$

在上式中，等號右邊第一至三項為亂流動能的傳送項，此傳送假設為順梯度擴散，第四項為風切產生項，第五項為浮力項，第六項為動能消散項。 $q^2 = \overline{u^2} + \overline{v^2} + \overline{w^2}$ 、 $\overline{w\theta_v}$ 為亂流熱通量。

亂流長度尺度 l 可利用下式求得：

$$\begin{aligned}
\frac{d}{dt}(q^2 l) = & \frac{\partial}{\partial x} \left[K_x \frac{\partial}{\partial x} (q^2 l) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_y \frac{\partial}{\partial y} (q^2 l) \right] \\
& + \left(\frac{\bar{H}}{H - z_g} \right)^2 \frac{\partial}{\partial z^*} \left[q l S_i \frac{\partial}{\partial z^*} (q^2 l) \right] \\
& - l F_1 \left[\frac{\bar{H}}{H - z_g} \left(-\overline{uw} \frac{\partial U}{\partial z^*} - \overline{vw} \frac{\partial V}{\partial z^*} \right) + \beta g \overline{w \theta_v} \right] \\
& - \frac{q^3}{B_1} \left[1 + F_2 \left(\frac{l}{kz} \right)^2 \right]
\end{aligned}$$

在上式中，等號右邊第一至三項為傳送項，此傳送假設為順梯度擴散，第四項為風切產生項與浮力項，第五項為消散項，其中 F_1 、 F_2 、 S_q 、 S_i 及 B_1 為從實驗所得之經驗常數，其值分別為 1.8、1.33、0.2、0.2 及 16.6。

熱力及水汽混合比方程式如下：

$$\begin{aligned}
\frac{d\delta\theta}{dt} = & \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial \delta\theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial \delta\theta}{\partial y} \right) \\
& + \frac{\bar{H}}{H - z_g} \left[\frac{\partial}{\partial z^*} (-\overline{w\theta}) + \frac{1}{\rho C_p} \frac{\partial R_y}{\partial z^*} - W \frac{\partial \theta_v}{\partial z} \right] \\
\frac{dq_v}{dt} = & \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial q_v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial q_v}{\partial y} \right) + \frac{\bar{H}}{H - z_g} \frac{\partial}{\partial z^*} (-\overline{wq_v})
\end{aligned}$$

在上兩式中，等號右邊第一、二項為水平渦流黏滯項，第三項在熱力方程式中包含亂流項、輻射通量項及環境溫度垂直平流項，在水汽混合比方程式中為亂流項。

方程式中之亂流通量，由簡化的二階亂流閉合方程得到 (Yamada, 1983)：

$$\begin{aligned}
(\overline{uw}, \overline{vw}) = & -l \tilde{S}_M \left(\frac{\partial U}{\partial z}, \frac{\partial V}{\partial z} \right) \\
(\overline{w\theta}, \overline{wq_v}) = & -\alpha l q \tilde{S}_M \left(\frac{\partial \theta}{\partial z}, \frac{\partial q_v}{\partial z} \right)
\end{aligned}$$

其中 $\tilde{S}_M$ 及 α 是通量理查遜數 (flux Richardson number) 的函

數。 $\alpha \equiv K_H/K_M$ 為亂流普朗多常數的倒數，其中 K_H 及 K_M 為渦流擴散及黏滯係數。 $\tilde{S}_M$ 及 α 可由 Mellor and Yamada (1974) 之 level 2 模式中得到。此求法為亂流動能方程式中忽略動能的全微分項和亂流動能的傳送項，為風切產生項、浮力項及動能消散項之平衡。

A2Cflow 模式主要預報的變數為水平風場 (U, V)、亂流動能 q^2 、亂流長度尺度 l 、溫度擾動 $\delta \theta$ 及水汽混合比 q_v 。利用有限差分的方法將這些預報方程寫成有限差分式，積分是採用內隱式法 (Alternating Direction Implicit method, ADI)，積分間距則滿足 CFL (Courant-Friedrich-Lewy) 之穩定條件標準。ADI 法在時間及空間微分是具有無條件性穩定及二階準確。

為增加有限差分法的準確性，網格點上平均及擾動場之變數在水平及垂直方向均採交錯網格配置。由於風場、溫度場及水汽場在靠近地面往上之變化非常快，因此垂直方向採用非均勻網格間距。

在煙流擴散 (A2Ct&d) 方面，模式採用 KDE (Kernel Density Estimation) 法，即將連續排放源，切割成無數的物質粒子，各粒子以某一間隔時間釋放出來，經環境風場飄送與擴散，形成許多大小不同的煙陣 (puff)，每一粒子即為一煙陣的中心。模式利用蒙地卡羅統計法 (Monte Carlo Statistical Method) 計算煙陣 (puff) 的傳送。煙陣質點在 Δt 後的位置 $x_i(t+\Delta t)$ 由下式計算：

$$x_i(t+\Delta t) = x_i(t) + U_{pi}\Delta t$$

其中 U_{pi} 為質點 x_i 方向的速度，且 $U_{pi} = U_i + u_i$ ， U_i 為平均速度， u_i 為亂流速度。

$$u_i(t + \Delta t) = au_i(t) + b\sigma_{ui}\zeta + \delta_{i3}(1-a)t_{Lx_i} \frac{\partial}{\partial x_i}(\sigma_{ui}^2)$$

$$a = \exp(-\Delta t/t_{Lx_i}), \quad b = (1-a^2)^{0.5}$$

上式 ζ 是以一個標準偏差及零平均值之高斯分布的隨機變數， t_{Lx_i} 是速度 u_i 的拉氏積分時間尺度 (Lagrangian integral time scale)， σ_{ui} 是速度 u_i 變化的標準偏差， δ_{i3} 是 Dirac delta， U_i 和 σ_{ui} 則由氣象模式計算而得。

在煙流濃度中，考慮地表反射下，利用高斯分布去模擬每一煙陣的濃度，則某一空間點的濃度為所有煙陣質點濃度影響的加總，在點 (X,Y,Z) 的濃度可以下式表示：

$$\begin{aligned} \chi(X,Y,Z) = & \frac{Q\Delta t}{(2\pi)^{3/2}} \sum_{k=1}^N \frac{1}{\sigma_{xk}\sigma_{yk}\sigma_{zk}} \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(x_k - X)^2}{\sigma_{xk}^2}\right] \times \\ & \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(y_k - Y)^2}{\sigma_{yk}^2}\right] \times \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(z_k - Z)^2}{\sigma_{zk}^2}\right] + \right. \\ & \left. \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(z_k - Z - 2z_g)^2}{\sigma_{zk}^2}\right] \right\} \end{aligned}$$

其中 (x_k, y_k, z_k) 是 k 質點的位置， σ_{xk} ， σ_{yk} 和 σ_{zk} 是高斯分布的標準偏差，可利用 Yamada and Bunker (1988) 的方法計算。

(四)劑量評估系統說明

劑量評估系統主要分為幾個部分，氣象場部分、大氣擴散、沉降、劑量計算。新一代劑量評估系統直接使用作業化的預報資料，以及經過降尺度系統處理過後之氣象資料，以取代以往所使用的氣象資料庫方式，所以新一代劑量評估系統之氣象的部分也能夠有較佳的預報資訊。

資料庫類型的氣象場資料，是用全球模式 (CWB GFS) 資料內插到核電廠位置，得到單點 8 天的預報資料，再去選取相對應的資料庫當中的氣象場，如此處理出來的結果，與直接將當下預報模式進行降尺度處理得到的資料有一定的落差，因此新一代劑量評估系統使用一個範圍的氣象預報資料，會比資料庫類型使用一個點的氣象預報資料，更能反應出綜觀尺度下系統的對台灣附近天氣情況的影響。

比較兩系統進行福島事件的模擬結果可得到以下幾點結論：

- 兩系統均能有效掌握放射性物質外釋的主要傳輸路徑。
- 資料庫類型系統由於無法模擬天氣變化時的情境（如鋒面、颱風、對流系統等），當碰到天氣系統變化時，無法掌握變化期或天氣系統造成的風場變化，導致福島事件期間 3 月 15~16 日福島西北側鋒面附近的濃度較高區無法解析，但在新系統可以做到。
- 資料庫類型系統應用 A2Cflow 進行廠區高解析風場模擬，因 A2Cflow 本身在福島事件應用上可能過度強化海陸風效應，導致傳輸方向與實際上有點偏（約達 15 度左右），此問題若需改進可能需要花一點時間調教模式中之輻射傳遞

方法。新系統沒有這個問題，但模擬海陸風效應之可能會受 MDDS 使用的 GFS 或 WRF 模式解析度之影響。

- 由於目前新系統仍在開發當中，其解析度尚未達到資料庫類型系統的程度，藉由本 4 年期計畫的完成可彌補此缺失。
- 其他新系統與資料類型系統的差別來自模式的改進，諸如模擬範圍擴大至全臺灣、乾濕沉降效應的改進、多核種、外釋時序變化、引進事故評估之外釋情節、開發外釋量回推方法、事故全期模擬分析與預報整合等。

大氣擴散、沉降以及劑量計算都是由改寫過後 A2Ct&d 模式進行運算，其中大氣擴散的部分是原本 A2Ct&d 模式中，將煙流切割為無數個煙陣的粒子煙陣 (puff-particle) 模式進行計算。

沉降的部分則是參考美國 NOAA ARL 實驗室之 HYSPLIT 模式中對於乾溼沉降的判斷與計算方法，改寫之後加入 A2Ct&d 模式，使得煙陣有移除到地表累積的機制。乾沉降主要受沉降速度之影響，而濕沉降的計算則以含有雲過程的清除比來表示，此清除比指的是污染物在水中濃度和污染物在空氣中濃度的比值，濕沉降速度的表示式如下：

$$V_{inc} = S P$$

其中， P 為降雨強度(mm/hr)。而雲內沉降的時間常數為：

$$\beta_{inc} = F^t F_b V_{inc} \Delta Z_p^{-1}$$

其中， F^t 及 F_b 分別為雲頂及雲底高， $S=3.2 \times 10^5$ 為單位體積的平均清除比， ΔZ_p 為污染層的厚度。雲下的沉降直接被定義成常數率與降雨率之間為獨立關係，雲下的沉降時間常數(s^{-1})為

$$\beta_{bel} = 5 \times 10^{-5} (1.0 - F_b)$$

目前的作業化系統中，在濕沉降移除機制中所需的降雨率、以及雲底和雲頂的資訊，來自 CWB WRF 5 公里解析度的預報資

料，其中雲高的資訊利用雲滴混合比估算得到，再將其資料內插至作業化模擬的氣象資料網格當中。

最後劑量計算的部分，是根據模式中的地表濃度和地表沉積量，對於空氣浸身、呼吸攝入、地表輻射等途徑，乘上各個核種的劑量轉換因數得到，其中也包含計算核種的半衰期。如此新一代的劑量評估系統就可以得到核子事故的完整資訊。

目前系統有一個即時的氣象資料庫，除了各個核電廠例行假想事故中會用到的 NCEP 預報資料、以及降尺度處理過後水平 2.5 公里解析度的 NCEP 預報資料，會每天固定 4 個時間進行氣象場的整合之外，也整合了 CWB GFS 資料和 CWB WRF 的資料存放，以利其他額外之模擬使用。因此系統文件的另一部分，即是在詳細的說明，各個資料原本的格式、存放位置以及整合至 A2Ct&d 模式可使用的資料過程。上述資料目前規畫保留 15 天以達核子事故即時評估的需求。

(五)射源項評估與回推的方法

在射源項回推方面，主要採用由日本原子力研究開發機構 (JAEA) 的 Terada、Katata、Chino...等學者群合作研究後，於 2012 年發表的文章：Atmospheric discharge and dispersion of radionuclides during the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. Part1: Source term estimation and local-scale atmospheric dispersion in early phase of the accident 提出的方法(Katata et al., 2012、Terada et al., 2012)。當時因觀測資料種類繁多，但在時間上並不連續及完整，所以將福島核災事件從 2011 年 3 月 12 至 15 日分為 13 個時段進行回推，並根據不同狀況使用不同的觀測資料及方法去估算釋放率，一共使用了三種估算法，分段說明如下：

方法一：沿用 (Chino et al., 2011) 方法為回推射源項之理論基礎，方法之概念是將觀測資料當成參考值，取模式計算出來的結果相互比對後，去估算出釋放率。方法一選用的觀測資料為土壤樣本資料 (dust sampling data)。釋放率是觀測點上量測到的核種濃度 (M_i) 與 WSPEEDI 模式計算出來之濃度 (C_i) 之比值，如下式：

$$Q_i = M_i / C_i$$

其中， Q_i 是某核種之釋放率 (Bq/hr)， M_i 是觀測之核種濃度 (Bq/m^3)， C_i ：稀釋因子 (hr/m^3)，相當於模式在單位釋放率設定為 $1 Bq/hr$ 下模擬出的核種濃度。

即可得轉換因子 (C)，得到的轉換因子即是釋放率。

$$\frac{airdose^O}{airdose^M} = \frac{C}{1}$$

方法二：方法二的原理與方法一相同，差別在於使用的觀測資料為各測站的空氣劑量率資料 (monitoring data)，其資料空間分布範圍也較土樣資料廣。釋放率由觀測資料和模擬之空氣劑量率兩者以空間分布圖繪製比對後，取距離釋放源最相近之觀測點作為參考值，如圖 1.1.11 橘色圓圈處，當模擬單位空氣劑量率 (1 Bq/hr) 之分布結果與轉換因子 C 之積與觀測相近時，轉換因子 C 即為所求的釋放率 (Bq/hr)。

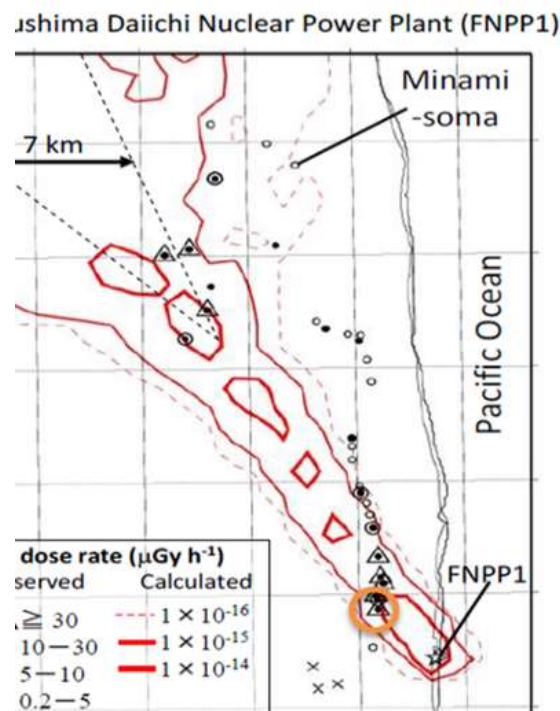


圖 1.1.11 福島事故觀測資料點與劑量模擬計算結果

方法三：在 3/13 23:00 至 3/14 11:00 的時段內缺乏鄰近釋放源的觀測資料，因當日風向主要為東南風，故採用距離較遠（下風處）之西北向之單一站點資料來回推釋放率。釋放率 (Q) 由高斯煙羽模式 (Gaussian plume model) 搭配觀測之空氣劑量率推估而得，此方法配合風速 (U)、大氣穩定度 (σ_y , σ_z)、釋放

高度 (H)、下風處距釋放點的距離 $(x, y, 0)$ ，以計算核種濃度：

$$\chi(x, y, 0) = \frac{Q}{\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot U} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

另外，本計畫中亦參考其他國家對核電廠發生事故所做的回推釋放源方法研究。如美國 NCAR (National Center for Atmosphere Research) 應用研究實驗室之 G. Cervone et al. 在 2014 年發表的文章：Source Term Estimation for the 2011 Fukushima Nuclear Accident 提到的方法(Cervone and Franzese, 2014)，主要是利用觀測濃度和模擬濃度誤差最小化來辨認出釋放率的變化。首先設定一個釋放率的假設值為常數 q ，對應到一連串 N 個離散的 $Q_n, n=1 \dots N$ ，而 Q_n 的大小可由 q 乘上一純量 ω_n ，所以重建釋放源的目標就是得到一向量 $W = \{\omega_1 \dots \omega_N\}$ 。藉由最小化各個觀測點觀測到的放射性物質及由大氣擴散模式的模擬值的誤差，來得到一隨機優化的向量 W 。

如果是在每個觀測位置 $x = (x, y, z)$ 和每個釋放時間 t 的放射性物質濃度總和可寫成

$$C(x, t) = \sum_{n=1}^N c_n(x, t)$$

其中， c_n 為每段釋放期間每個觀測位置和時間模擬得到的濃度值。

為找出未知的釋放率 Q_n ，首先，在整個空間中定義出 M 個離散的觀測站，以及共有 K 個樣本時間 t ，然後將 N 個釋放量都是 q 的釋放源在大氣擴散模式進行模擬，其中每段釋放都得到一個濃度 ε_{nmk} ，其中 $n=1 \dots N, m=1 \dots M, k=1 \dots K$ ，也就是說，是在第 n 個釋放期間在測站 m 的時間 k 得到的濃度值。若是由真實的釋

放量 Q_n 產生的濃度則可表示如下：

$$C_{nmk} = \omega_n \varepsilon_{nmk}$$

其中 ω_n 則是未知向量 W 中的一個，而濃度相對應到真實的釋放率 Q_n 則可表示如下：

$$C_{mk} = \sum_{n=1}^N c_{nmk} = \sum_{n=1}^N \omega_n \varepsilon_{nmk}$$

並且假設濃度和釋放率之間是線性關係：

$$Q_n = \omega_n q$$

未知的 ω_n 則可透過最小化在位置 m 時間 k 的模擬濃度 C_{mk} 和觀測濃度 C_{mk}^o 之間的平均平方差來得到：

$$\Delta = \frac{1}{M + K} \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K (C_{mk} - C_{mk}^o)^2$$

求解此價值函數 Δ 即可得到 ω_n 。

JAEA 與 NCAR 使用的外釋射源項回推方法很相似，皆是利用觀測資料之空氣劑量率和單位釋放率模擬之空氣劑量率比值回推外釋射源項，兩者主要差異在於 JAEA 的方法中，會依分析員的經驗，根據不同的狀況篩選較適合的觀測資料與時段進行回推，因此有較高的分析員數值與經驗需求，以及較高的人力資源需求；NCAR 則是囊括所有觀測點資料，以觀測與模擬空氣劑量率最小化平均平方差的方式進行回推，此方法在觀測資料的使用上較為客觀，較少的人員主觀分析介入，在回推程序自動化的建立上亦較為容易，但相對地對於整體觀測資料的品質要求較高。表 1.1.即為 JAEA 與 NCAR 外釋射源項回推方法比較。

表 1.1.1 JAEA 與 NCAR 外釋射源項回推方法比較

	JAEA_SPEEDI	NCAR_RASCAL
計算方法	利用觀測資料之空氣劑量率和單位釋放率模擬之空氣劑量率比值回推外釋射源項	
觀測資料篩選	主觀篩選觀測資料與時段，進行回推	囊括所有觀測點資料，以觀測與模擬空氣劑量率最小化平均平方差的方式進行回推
優勢	分析員依經驗篩選出較適合回推的時段資料，可以獲得更好的回推結果	1. 資料使用較為客觀 2. 回推程序較容易自動化
限制	1. 分析方法較主觀 2. 人力資源消耗較高 分析員的素質與經驗要求高	觀測資料品質要求高

(六)氣象觀測資料同化分析方法

當進行射源項回推時，需要先知道已排放的放射性物質在空氣中傳輸與擴散的主要推動力量，即放射性物質所在的氣象資料的空間及時間分布，以便讓劑量評估模式使用。由於氣象觀測資料的空間與時間解析度差距甚大。如陸地上有密度較高的地面觀測資料，但海面上的觀測資料較少；空中的觀測資料（探空資料）空間及時間密度（約數百公里即 6-12 小時）很疏。擁有較高空間與時間解析度的雷達或衛星資料均非一般氣象變數（如回波強度、竟像速度、衛星反射率資料等）。如何由這些難得的氣象觀測資料，獲取足夠且滿足劑量評估模式所需的高解析度四維氣象資訊，是本計畫中之氣象觀測資料同化分析的主要目的。

由於現代的作業數值天氣預報模式使用更一般性的氣象流體物理原始方程，為避免天氣預報模式因初始氣象分析場未能滿足模式的物理導致大振幅的虛假重力波被模式激發出來，從而影響整個預報場的準確度。因此必須對由氣象觀測資料分析得到的

初始場做初始化或平衡的手續。而從氣象觀測資料收集到初始化的過程稱為氣象觀測資料同化。此為一循環的過程，並可分為 4 個部分：

- (a) 氣象觀測資料品質控制。
- (b) 客觀分析，主要為空間內插。
- (c) 初始化，又稱為平衡。
- (d) 進行短時間的預報，以作為下次客觀分析的首次猜測場 (initial guess) 之用。

在氣象觀測資料品質控制方面，主要是處理氣象觀測資料的重大誤差。氣象資料的誤差可分為自然誤差和重大誤差，自然誤差包括儀器誤差和代表性誤差，代表性誤差和存在於大氣中卻不能被觀測網偵測的小尺度氣象擾動有關；重大誤差主要是因為人為因素、不當的儀器校準和電信傳送等所造成。在進行資料同化時，自然誤差可以妥善處理，而重大誤差才是需要檢驗出來並加以訂正或捨棄的對象。

一般來說，品質控制主要有兩種方法，即統計校驗和連續校驗，統計校驗是指氣象變數的值有一定範圍，如果不再這範圍內，就可認定這個資料有錯而捨棄不用；連續校驗是指利用空間或時間的連續性檢驗資料的正確性，將某測站資料和周圍測站或前後時間資料互相比較，若相差太大則此測站此時的資料可能有錯。

客觀分析方面，主要是將不規則分布的測站點資料，進行空間的內插置規則網格點上，並可在此內插過程中，利用數學的方式進行濾波的動作，將氣象資料裡面的小於網格可解析尺度的擾動去除。更可利用簡單的平衡條件（如靜力平衡）進行各種氣象

變數間的平衡，維持氣象場間的內在一致。在此過程中通常需要模式的預報場或氣候場資料當作客觀分析的背景值。

在初始化方面，主要是因為一般的客觀分析方法所得的氣象分析資料，各氣象場之間並無法滿足數值預報模式所使用的物理方程，其原因有很大一部分是因為客觀分析中使用的背景資料的正確性及觀測資料密度的極度不均勻所致。若直接利用客觀分析場作為數值預報模式的初始場時，很有可能會馬上激發虛假的大幅度重力波產生而導致預報結果的錯誤。

主要資料同化的方法分為：經驗插值法、統計插值法、變分法、卡曼濾波等幾種。變分法相較於經驗插值法、統計插值法可以同化非傳統的觀測資料，例如衛星資料及雷達資料等，且不需要單獨初始化，動力初始化可以在同化的過程中實現等優點，且相較於系集卡曼濾波形式的資料同化所需要的計算資源較少。

在 1950 年代 Sasaki 利用變分學提出變分最佳分析的理論基礎，此方法能將動力的、數學的甚至經驗的約束條件納入最佳化過程中，以便維持氣象場的內在一致。並於 Sasaki (1969)及 Sasaki (1970)年共 4 篇文章指出此方法的特點、約束條件的功能以及濾波器的特性，從而奠定變分最佳分析的理論基礎和應用在氣象資料分析的可行性。並自 1980 年代開始急劇發展，諸如變分初始化、變分正模初始化、變分資料同化、雷達與衛星資料變分反演等，目前仍在氣象資料分析及初始化上扮演最主流與主要的角色。

變分學主要討論如何求出一個泛函的極值。所謂泛函就是一個或多個函數的函數。例如平面或球面上兩點的距離依賴於通過這兩點的曲線，因此這個距離就是泛函，它的大小取決於這條曲

線的形狀，而變分學就是找出此泛函極值（最小值）的曲線，極最短距離的曲線。

假如這個函數求極值問題屬於最小二乘問題，例如求出一個最佳的分析場，既按某個準確度和背景值、觀測值充分接近，又滿足大氣所應有的動力或其他約束條件的問題，即稱為變分資料同化。其泛函 J （或稱為價值函數）可寫為：

$$J(x) = \frac{1}{2} x^T B^{-1} x + \frac{1}{2} (H_x - y)^T R^{-1} (H_x - y) + J_c$$

其中 x 為氣象變數（如風場、溫度、壓力、水氣場等）相對於背景值的增量矩陣， y 為觀測變數（可與氣象變數相同或不同）相對於背景值的增量矩陣， H_x 為理論或經驗上觀測變數與氣象變數的關係函數， B 及 R 分別為背景場及觀測場的誤差協方差矩陣， J_c 為其他動力或經驗統計等約束條件。

複雜地形上的氣流分析在核一、二、三場劑量評估系統的氣象應用中非常重要。一般來說，現有的風資訊來自各種不同的觀測系統，這些觀測系統各有不同的觀測誤差和分辨率。此外地形也限制了它們的代表性，需使用追隨地勢座標且對大氣邊界層內的風速垂直分布做若干假設。基於此，系統中所使用的變分資料同化中之動力約束條件採追隨地勢座標的複雜非靜力原始方程（與 MDDS 相同）。並在此動力約束條件加上邊界層的影響，而邊界層的計算分為兩部分，一為地面層，另一為行星邊界層。

地面層根據 Monin and Obukhow (1954) 建議，在水平均勻的地面層其平均流和紊流的垂直變化只和由量測摩擦風速 u_* 所得的地面動量通量、浮力通量 B_0 、高度 z （限制了垂直的渦流高度，和其攜帶紊流通量）有關。因此我們可以假定穩定參數為

$\zeta = z/L$ ，獲得動量通量、熱量通量、水汽通量的無維度穩定函數，其表示如下：

$$\frac{kz}{u_*} \frac{\partial u}{\partial z} = \phi_m \left(\frac{z}{L} \right); \quad \frac{kz}{\theta_*} \frac{\partial \theta}{\partial z} = \phi_h \left(\frac{z}{L} \right); \quad \frac{kz}{q_*} \frac{\partial q}{\partial z} = \phi_q \left(\frac{z}{L} \right)$$

其中 k 是馮卡曼常數， u 是在地面層高度 z 的風場， θ 為位溫， θ_* , q_* 為溫度尺度、水氣尺度， L 是 Obukhov 長度，其公式如下：

$$L = - \frac{u_*^3 \theta}{kg \overline{(w'\theta')}_0} = \frac{u_*^2 \theta}{kg \theta_*}$$

其中 $\overline{(w'\theta')}_0$ 為地面層熱動量通量， g 為重力加速度。

Deardorff (1968) 對動量穩定函數提供了一種較常用的通式解，Businger et al. (1971) 利用 kansa 觀測資料歸納出關係式如下：

$$\phi_m = \begin{cases} (1 - \gamma_1 \zeta)^{\frac{1}{4}} & \text{in the unstable case, } \zeta < 0 \\ 1 + \beta \zeta & \text{in the stable case, } \zeta > 0 \end{cases}$$

$$\phi_h = \begin{cases} \text{Pr}_{tN} (1 - \gamma_2 \zeta)^{\frac{1}{2}} & \text{in the unstable case, } \zeta < 0 \\ \text{Pr}_{tN} + \beta \zeta & \text{in the stable case, } \zeta > 0 \end{cases}$$

Dyer (1967, 1974) 由 Hay 及 Gurley (均位於新南威爾斯州) 觀測資料建議 $\text{Pr}_{tN} = 1$ 、 $\beta = 5$ 、 $\gamma_1 = \gamma_2 = 16$ ， Pr_{tN} 為普朗克常數。

假定地面層的高度為模式最底層的高度，將動量、熱量、水汽穩定函數對 z 積分並整理成對 ζ 的函式，其中水汽穩定函式依照 Carlson and Boland (1978) 假定於地面層內存在一摩擦次層，其高度從地表到 z_1 (z_1 在地上為 0.01 公尺，在水上為 z_0)，再依據 Grell et al. (1994) 修正水汽項：

$$u_a = \frac{u_*}{k} \left[\ln \left(\frac{z_a}{z_0} - \int_0^{\zeta} [1 - \phi_m(\zeta)] \frac{d\zeta}{\zeta} \right) \right] = \frac{u_*}{k} \left[\ln \left(\frac{z_a}{z_0} \right) - \psi_m \right]$$

$$\theta_a - \theta_g = \frac{\theta_*}{k} \left[\ln \left(\frac{z_a}{z_0} - \int_0^{\zeta} [1 - \phi_h(\zeta)] \frac{d\zeta}{\zeta} \right) \right] = \frac{\theta_*}{k} \left[\ln \left(\frac{z_a}{z_0} \right) - \psi_m \right]$$

$$q_a - q_g = \frac{q_*}{k} \left[\ln \left(\frac{z_a}{z_0} - \int_0^{\zeta} [1 - \phi_h(\zeta)] \frac{d\zeta}{\zeta} \right) \right] = \frac{q_*}{k} \left[\ln \left(\frac{kz_a u_*}{K_a} + \frac{z_a}{z_l} \right) - \psi_h \right]$$

z_a 為模式最底層的高度， u_a 、 θ_a 、 q_a 為在 z_a 時的風速、位溫、水汽混和比， θ_g 、 q_g 則為地表的值， z_0 為地表粗糙長度，為 $K_a = 2.4 \times 10^{-5} m^2 s^{-1}$ 為背景擴散係數， ψ_m 、 ψ_h 為積分後的相似函數。

Businger (1973) 首先根據觀測提出自由對流中紊流會造成水平風場的波動及垂直風切，而建立自由對流速度尺度的概念，Godfrey and Beljaars (1991) 和 Beljaars (1995) 將此明確建立在水平風場的修正項 (βw_*)；Mahrt and Sun (1995) 針對在大尺度流場微弱下，次網格內中尺度的熱量通量和水汽通量極為重要而對風場提出了修正項 (u_{sg})。其風場修正如下：

$$u_a^2 = u_a^2 + \alpha w_*^2 + u_{sg}^2$$

$$w_* = \frac{g}{T_0} h \overline{(w' \theta'_v)_0}$$

$$u_{sg} = 0.32 \times \left(\max \left(\frac{dx}{5000} \right) - 1, 0 \right)^{0.33}$$

$\alpha=1$ ， w_* 為自由對流速度尺度， T_0 為地表溫度， h 為邊界層高度， dx 為網格尺度。相似函數依照 Blackadar (1976,1979) 高階析度邊界層模式及 Zhang and Anthes (1982)，以穩定度分為四個區域，穩定度則由 Bulk Richardson Number 來決定：

第一區： $Ri_b \geq 0.2$ ，穩定，如夜間穩定無紊流。

$$\psi_m = \psi_h = -10 \ln \left(\frac{z_a}{z_0} \right)$$

第二區： $0 < Ri_b < 0.2$ ，Damped mechanical turbulence

$$\psi_m = \psi_h = \frac{-5Ri_b}{1.1 - 5Ri_b} \ln \left(\frac{z_a}{z_0} \right)$$

$$\begin{aligned} \frac{z_a}{L} &= \frac{Ri_b}{1 - 5Ri_b} \ln \left(\frac{z_a}{z_0} \right) & \frac{z_a}{L} \leq 0.5 \\ \frac{z_a}{L} &= \left[1.89 \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) + 44.2 \right] Ri_b^2 + \left[1.18 \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) - 1.37 \right] Ri_b & \frac{z_a}{L} > 0.5 \end{aligned}$$

第三區： $Ri_b = 0$ ，強迫對流。

$$\psi_m = \psi_h = 0$$

第四區： $Ri_b < 0$ ，自由對流。

$$\psi_m = 2 \ln \left(\frac{1+x}{2} \right) + \ln \left(\frac{1+x^2}{2} \right) + 2 \tan^{-1} x + \frac{\pi}{2}$$

$$\psi_h = 2 \ln \left(\frac{1+x^2}{2} \right)$$

其中

$$x = (1 - \gamma_1 \zeta)^{\frac{1}{4}} = \phi_m^{-1}$$

$$\text{Bulk Richardson Number} \quad Ri_b = \frac{g}{\theta_a} z_a \frac{\theta_{va} - \theta_{vg}}{u_a^2}$$

θ_{va} 為在 z_a 高度的虛位溫。因為 u_* 、 θ_* 、 L 需要遞迴去求解，而 z_a/L 為 Ri_b 的函數，為了節省計算時間，假定 z_a/L 在第一、三、四區的初始值為 $Ri_b \ln(z_a/z_0)$ 。

遞迴解出 u_* 、 θ_* 、 L 後則可以依照下面關係求出地面層的動量通量、熱動量通量、水汽通量：

$$\overline{(u'_a w')_0} = -u_*^2$$

$$\overline{(w' \theta')_0} = -u_* \theta_*$$

$$\overline{(w' q')_0} = -u_* q_*$$

$$\overline{(u'_a w')_0} = -u_*^2$$

$$\overline{(w' \theta'_v)_0} = \overline{(w' \theta')_0} + 0.61 \theta_a \overline{(w' q')_0}$$

行星邊界層主要根據 Hong and Pan (1996) 所開發並於 Mediun-Range Forecast (MRF) 模式中使用的行星邊界層參數化模組，再依據 Hong et al. (2006) 來修正。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K_c \left(\frac{\partial C}{\partial z} - \gamma_c \right) \right]$$

其中 $C: u, v, \theta, q$ ， K_c 為紊流擴散係數， λ_c 為 Toren and Mahrt (1986) 提出 Nonlocal-K 近似所增加的垂直梯度修正項（反梯度），因為大尺度紊流對整個邊界層的影響有反梯度的效果。根據 Toren and Mahrt (1986)，Holtslag et al. (1990)，Holtslag and Boville (1993)，動量擴散係數 K_{zm} ：

$$K_m = k w_s z \left(1 - \frac{z}{h} \right)^p$$

$$w_s = u_* \phi_m^{-1}$$

其中 $p=2$ 為擴散係數垂直形狀的指數， w_s 為混和層速度尺度。反梯度 γ_c 為：

$$\gamma_c = b \frac{\overline{(w' c')_0}}{w_s h} \quad c \text{ only for } \theta, q$$

$b=7.8$ ， $\overline{(w' c')_0}$ 為地面層的熱動量通量和水氣通量。為了使邊界層底和地面層頂的通量一至，將 $z=0.1h$ 代入穩定函數：

$$\phi_m = \begin{cases} \left(1 - 16 \frac{0.1h}{L}\right)^{\frac{1}{4}} & \text{for neutral and unstable, } \overline{(w'\theta'_v)_0} \leq 0 \\ 1 + 5 \frac{0.1h}{L} & \text{for stable, } \overline{(w'\theta'_v)_0} > 0 \end{cases}$$

$$\phi_h = \begin{cases} \left(1 - 16 \frac{0.1h}{L}\right)^{\frac{1}{2}} & \text{for neutral and unstable, } \overline{(w'\theta'_v)_0} \leq 0 \\ 1 + 5 \frac{0.1h}{L} & \text{for stable, } \overline{(w'\theta'_v)_0} > 0 \end{cases}$$

邊界層的高度 h 由 Ri_b 推導而來：

$$h = Ri_{b-cr} \frac{\theta_{va} |U(h)|^2}{g(\theta_v(h) - \theta_s)}$$

$$\theta_s = \theta_{va} + \theta_{vT}$$

$$\theta_{vT} = \frac{b \overline{(w'\theta'_v)_0}}{w_s}$$

$Ri_{b-cr} = 0.5$ 為 Ri_b 的臨界值， $U(h)$ 和 $\theta_v(h)$ 為在邊界層的風速和虛位溫， θ_s 為邊界層底的虛位溫， θ_{vT} 為虛位溫在邊界層底逸入的值，其值不大於 $3^\circ K$ 。因此為了求出 K_m ，先假定 $\theta_s = \theta_{va}$ ，以各模式層求出 Ri_b 內差出邊界層高度 h ，再依序代回 ϕ_m 、 w_s 、 θ_{vT} ，將 θ_{vT} 帶入 θ_s 求出修正後的 θ_s 、 h 、 ϕ_m 、 w_s ，最後求出 K_m 。 K_h 則由普朗克常數推導：

$$P_r = \left(\frac{\phi_h}{\phi_m} + bk \frac{0.1h}{h} \right) = \frac{K_m}{K_h}$$

在邊界層之上使用 Louis (1979) 的 Local-K 近似來計算 K_m 、 K_h ：

$$K_{m,h} = l^2 \cdot f_{m,h}(Ri_g) \cdot \left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)$$

$$\frac{1}{l} = \frac{1}{kz} + \frac{1}{\lambda_0}$$

l 是混和長度， $\lambda_0 = 150$ 公尺為漸近長度尺度， $f_{m,h}(Ri_g)$ 為 gradient Richardson number 的函數，依照穩定度分：

$$Ri_g = \frac{g}{\theta} \frac{\frac{\partial \theta_v}{\partial z}}{\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2}$$

不穩定 ($Ri_g < 0$)：

$$f_m(Ri_g) = 1 - \frac{8Ri_g}{1 + 1.746\sqrt{-Ri_g}}$$

$$f_h(Ri_g) = 1 - \frac{8Ri_g}{1 + 1.286\sqrt{-Ri_g}}$$

中性或穩定 ($Ri_g \geq 0$)

$$f_h(Ri_g) = \frac{1}{(1 + 5Ri_g)^2}$$

在中性和穩定的情形下， K_m 由 $P_r = 1.0 + 2.1Ri_g = K_m/K_h$ 來計算。

二、計畫執行內容

(一)完成核三廠緊急應變計畫區 250 公尺、緊急應變準備區 500 公尺、60 公里範圍 1 公里及全臺範圍 2.5 公里解析度之劑量評估系統建置

本項工作為應用先前「國際核災輻射塵影響評估技術研究」完成之 MDDS 與 104 核技處科技計畫成果，將現階段緊急應變計畫區採高解析度資料庫類型之天氣類型法氣象資料，而全台灣採 MDDS 2.5 公里解析度全真化氣象預報，整合成全部利用 MDDS 技術建立核電廠周圍三層巢狀網格高解析度全真化氣象預報，加上全台灣 2.5 公里解析度之氣象預報共四層巢狀網格。採用 MDDS 氣象預報技術除能更精確掌握風場的三維空間分布及天氣系統變化時伴隨風場的轉變，也可解決在極端天天氣條件下，氣象資料庫類型無法適用之問題。

1. 核三廠區三層巢狀網格降尺度氣象預報系統開發與建置

為使全真化氣象預報滿足現行緊急應變計畫區半徑 8 公里和 8 公里外的準備區，核三廠三層巢狀網格的設定如下：中心點設定為東經 120.7516，北緯 21.9581，蘭伯特投影，參考緯度為北緯 30 度和 60 度，參考經度與中心點的經度相同。

第一層巢狀網格取 MDDS 全真化 2.5 公里解析度範圍的資料，內插到以三層巢狀網格設定的 2 公里解析度範圍(共 129 公里)，並降尺度至 1 公里解析度。第二層巢狀網格取 1 公里解析度中間共 65 公里範圍，並降尺度至 500 公尺解析度。第三層巢狀網格取 500 公尺解析度中間共 32 公里範圍，並降尺度至 250 公尺解析度。其範圍如

圖 2.1.圖 2.1.1 所示：最外圍的黑色框為 MDDS 第一層巢狀

網格 1 公里解析度總共 128 公里範圍，其滿足核三廠半徑 30 公里 1 公里解析度範圍。其次黑色框為 MDDS 第二層巢狀網格 500 公尺解析度共 64 公里範圍，其滿足核三廠半徑 20 公里 500 公尺解析度範圍。最小的黑色框為 MDDS 第三層巢狀網格 250 公尺解析度 32 公里範圍，其滿足核三廠半徑 10 公里 250 公尺解析度範圍(紅色框)。MDDS 地形高度和地表利用資料捨棄 USGS(U.S. Geological Survey，美國地質調查局) 30 秒資料(約 1 公里解析度)，改用中央大學的高解析度地形高度資料(100 公尺解析度)和高解析度地表利用資料(NCU-CSRSR，Center for Space and Remote Sensing Research，國立中央大學太空及遙測研究中心，40 公尺解析度)。

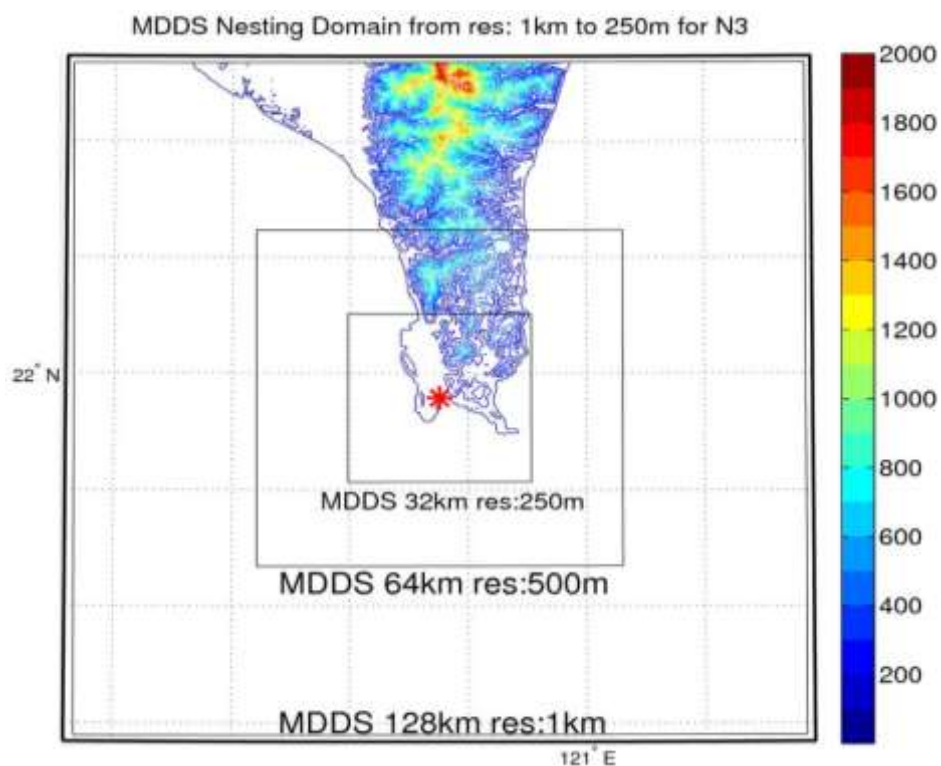


圖 2.1.1 核三廠區 MDDS 3 層巢狀網格區範圍圖。最外圍的黑色框為 MDDS 第一層巢狀網格 1 公里解析度共 128 公里範圍，其次黑色框為 MDDS 第二層巢狀網格 500 公尺解析度共 64 公里範圍，最小的黑色框為 MDDS 第三層巢狀網格 250 公尺解析度 32 公里範圍

2. 核三廠假想事故評估案例分析

每日的例行假想事故模擬的設定，是以福島事件等級的量及進行模式釋放源排放依據，以 JAEA 回推福島事件釋放量，前 7 天累加 Cs-137 的總量： 4.3619×10^{15} Bq，換算($\div 168 \div 3600$)得到 Cs-137 的釋放率為 7.2121×10^9 Bq/s，而 JAEA 回推的結果中，I-131 的釋放量大約為 Cs-137 釋放量的 10 倍，因此，在此設定 I-131 的釋放量為 7.2121×10^{10} Bq/s。目前 NCEP GFS 預報的時間長度為 192 小時，因此劑量評估的計算模擬也是 192 小時，時間解析度為 6 小時，其中 Cs-137 的乾沉降速度為 0.001m/s，I-131 的乾沉降速度為 0.003m/s。輸出的產品有有效劑量率、甲狀腺約定等價劑量率以及地表沉降濃度。

以 2019 年 06 月 01 日的案例為例，圖 2.1.2 為在預報時間 24 小時，風由台灣西南部外海海面上 8m/s 的西南風，因台灣地形阻擋效應產生繞流，分別為往北部的北風分量及往台灣南端的西風分量，在核三廠區附近風速約為 4-6m/s，在接近陸地風速減弱，但在台灣東部外海因過台灣南端的風和大環境場的西南風輻合後，風速又增強約為 12m/s，有效劑量的模擬(Cs-137+I-131)，於解析度 2.5 公里的結果(圖 2.1.2a)，可看到劑量大致上都是往海面上移動，有效劑量由核三廠釋出，往東移動到海面上後，被較強的西南風帶到較遠的海面上，形成一條細長的分布情形，解析度 1 公里的結果(圖 2.1.2b)， 1×10^{-4} mSv/h 影響陸地範圍大約是核三廠往北約 27 公里的距離，核三廠附近的極值大小大約是 1mSv/hr，解析度 500 公尺的結果(圖 2.1.2c)和解析度 250 公尺(圖 2.1.2d)的結果都與 1 公里解析度的分布情形相似，但極值

的部分可達到**10** mSv/h，約為一個長為 1 公里寬為 800 公尺的橢圓，影響到屏東縣恆春鎮南灣里 (圖 2.1.2e)。圖 2.1.為 Cs-137 沉降量的分布，可以看到從 2018/06/01 00Z 開始釋放後，每個時間的風向風速影響下累積的結果，台灣南端風向為西風，在解析度 2.5 公里的模擬結果(圖 2.1.3a)，可看到沉降量的分布方向在核三廠東北方海面上，極值達 10 萬 Bq/m²，在解析度 1 公里的有效劑量結果(圖 2.1.3b)，活度濃度的值達到 100 萬 Bq/ m²，在越高解析度的結果範圍中可以看到活度濃度分布其更細微的空間分布(圖 2.1.2c 與圖 2.1.2d)。圖 2.1.4 為 Cs-137 與 I-131 的甲狀腺約定等價劑量，各尺度的配置與有效劑量率相似，但劑量明顯大了有效劑量率一個級數，由於 I-131 的沉降速度、釋放量及甲狀腺轉換因子都較 Cs-137 來得大且多，因此在甲狀腺的劑量率部分，I-131 較 Cs-137 大 100 倍，所以兩者相加，極值達 10mSv/hr 以上，其影響的範圍有龍水里、大光里、南灣里及墾丁里(圖 2.1.4e)。圖 2.1.5 為 I-131 的每日假想事故模擬之地表沉降量，在 2.5 公里的解析度中可看到核三廠東北部海面上 I-131 的活度濃度都落在 1 萬 Bq/ m² 至 10 萬 Bq/ m² 之間，只有超過 100 萬 Bq/ m² 的橘色小點在核三廠附近，再由 1 公里解析度到 250 公尺解析度可以明顯看出極值的範圍，從模擬開始時間 2019/06/01 00Z 開始到 24 小時，各時間點在台灣南端陸地的風速都很小約為 5m/s 左右，所以煙陣在此累積沉降活度濃度較高。

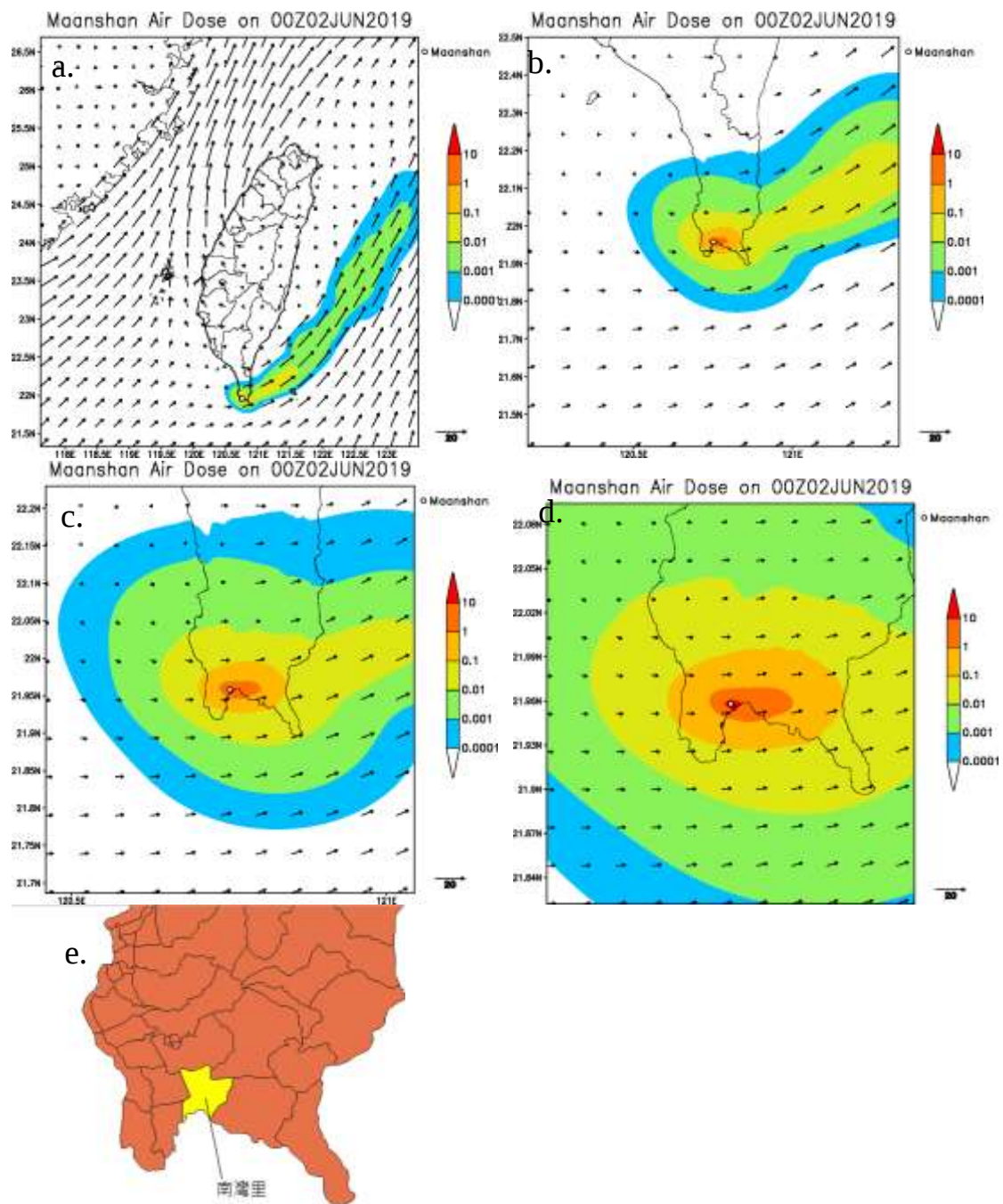


圖 2.1.2 核三廠 4 層巢狀網格之劑量評估系統結果，圖為 2019/06/01Cs-137 + I-131 的假想案例模擬，預報 24 小時後(2019/06/02)的有效劑量率分布，單位:mSv/hr。由左至右，由上至下依序為 a. 解析度 2.5 公里 b.解析度 1 公里 c. 解析度 500 公尺 d.解析度 250 公尺 e.受影響的村里

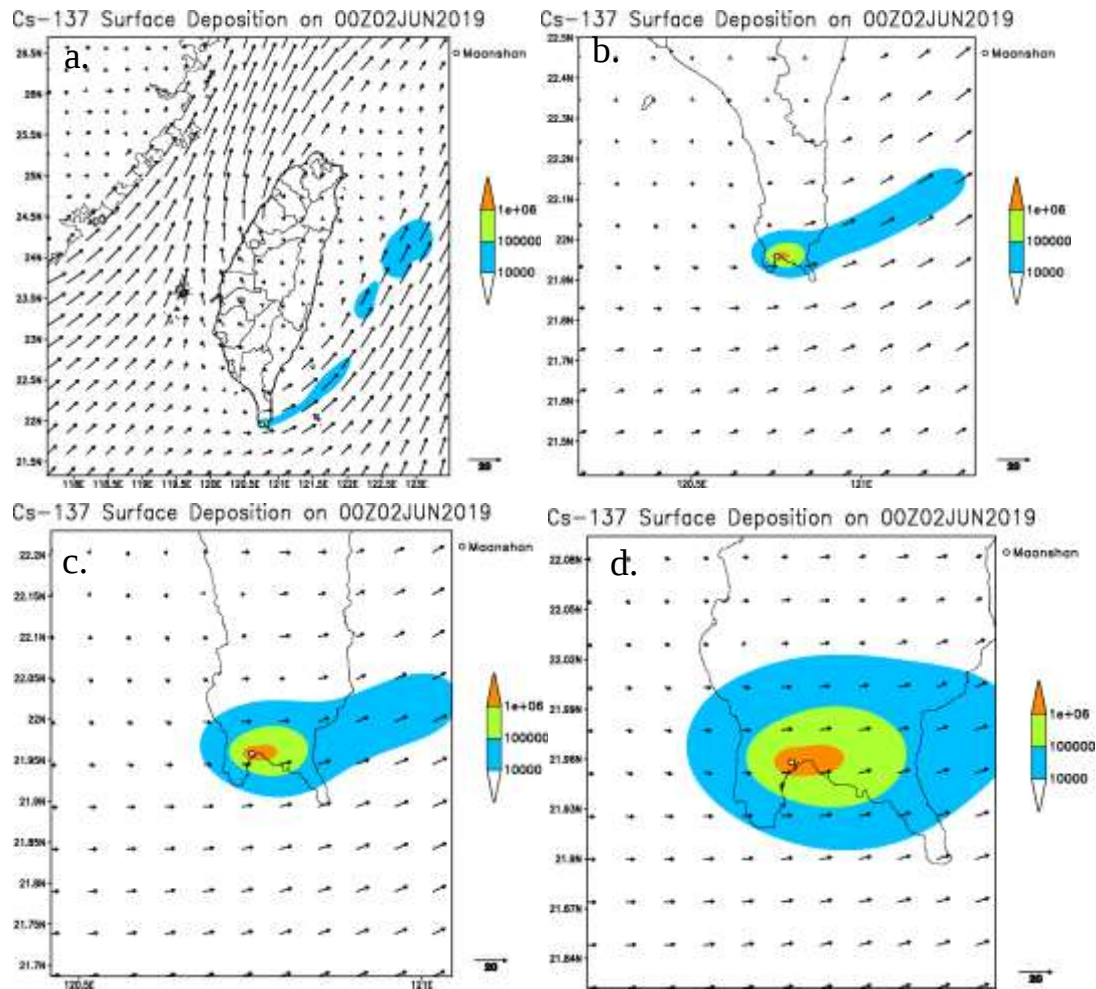


圖 2.1.3 核三廠 4 層巢狀網格之劑量評估系統結果，圖為 2019/06/01 Cs-137 的假想案例模擬，預報 24 小時後(2019/06/02)的地表沉降量分布，單位:Bq/m²。由左至右，由上至下依序為 a. 解析度 2.5 公里 b.解析度 1 公里 c.解析度 500 公尺 d. 解析度 250 公尺

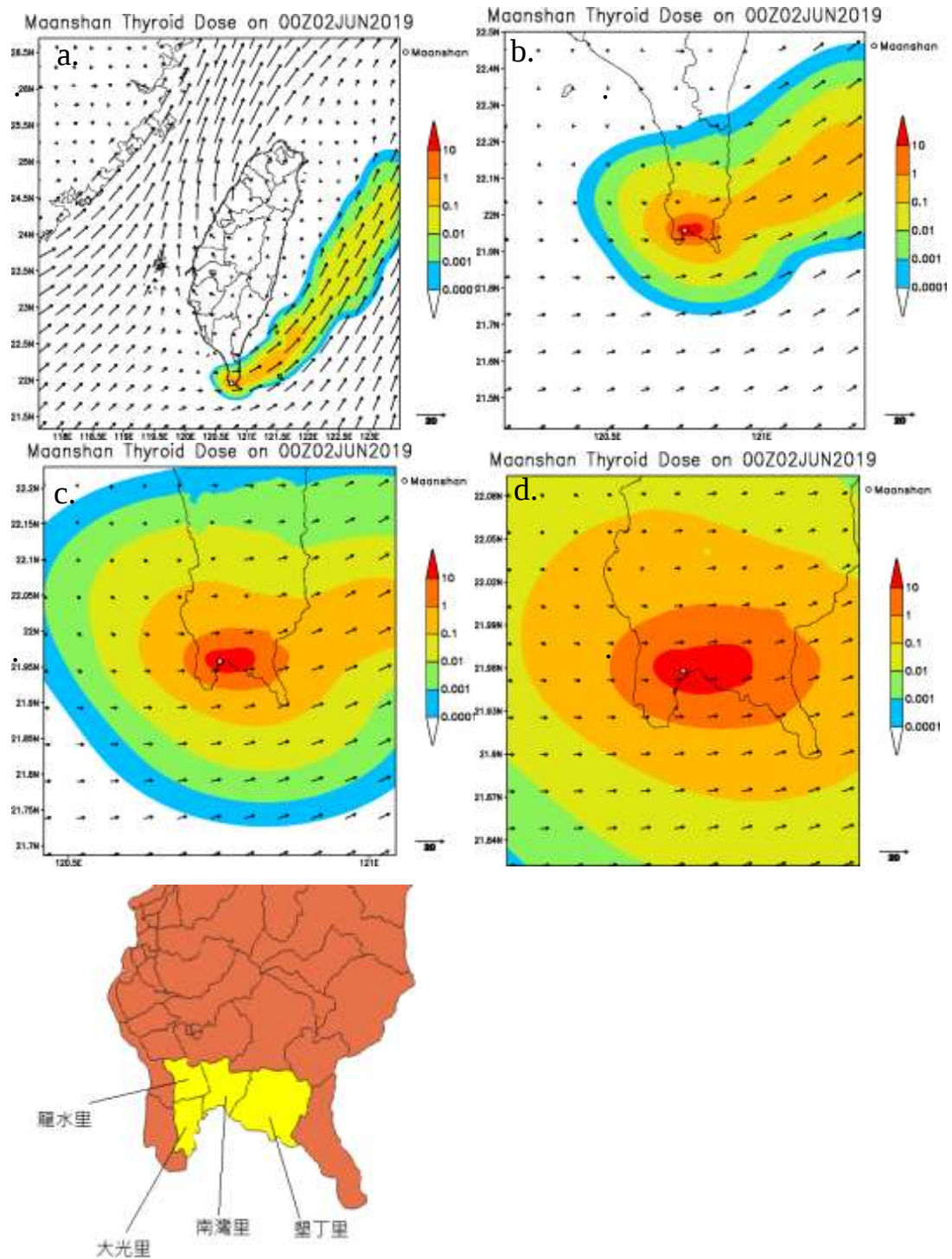


圖 2.1.4 核三廠 4 層巢狀網格之劑量評估系統結果，圖為 2019/06/01 Cs-137 + I-131 的假想案例模擬，預報 24 小時後(2019/06/02)的甲狀腺約定等價劑量分布，單位:mSv/hr。由左至右，由上至下依序為 a. 解析度 2.5 公里 b.解析度 1 公里 c. 解析度 500 公尺 d.解析度 250 公尺 e.受影響的村里

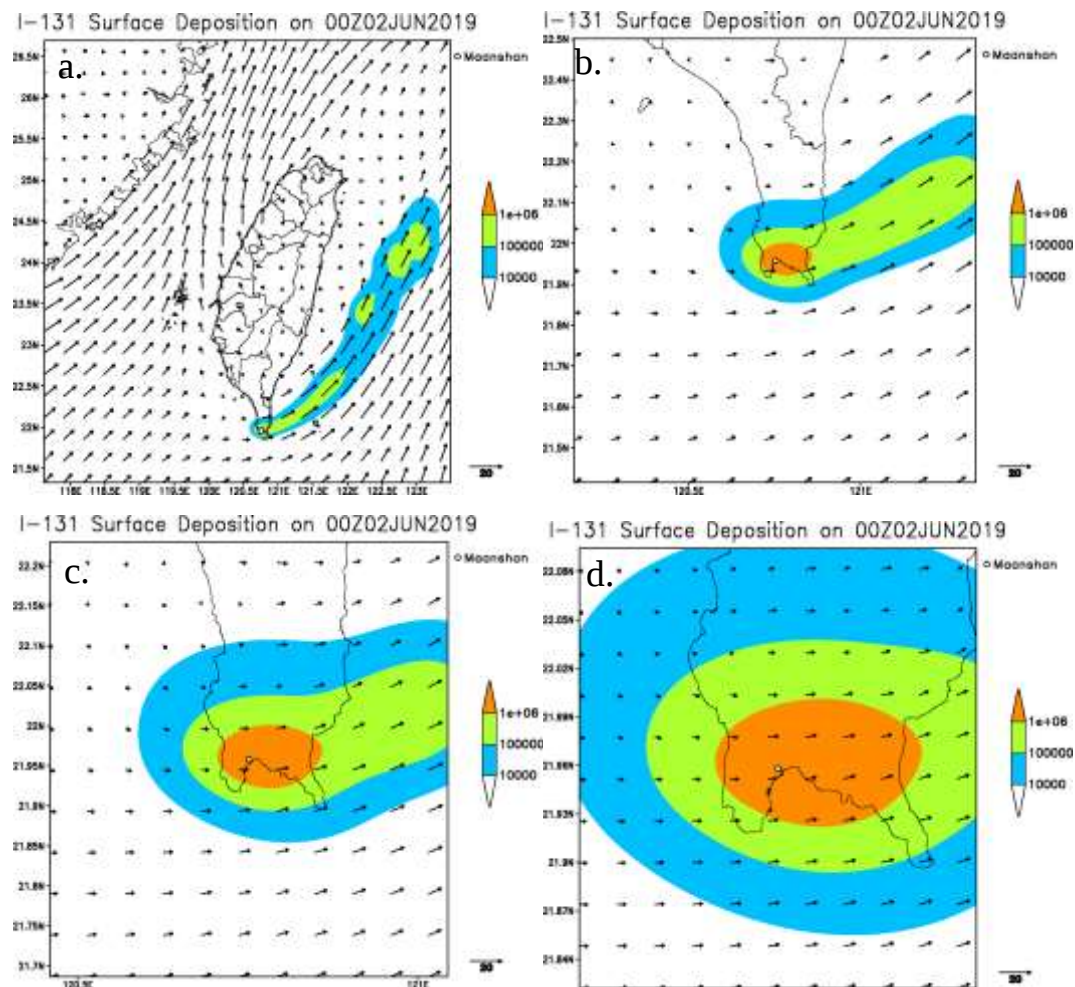


圖 2.1.5 核三廠 4 層巢狀網格之劑量評估系統結果，圖為 2019/06/01 I-131 的假想案例模擬，預報 24 小時後(2019/06/02)的沉降量活度濃度分布，單位:Bq/m²。由左至右，由上至下依序為 a. 解析度 2.5 公里 b.解析度 1 公里 c.解析度 500 公尺 d. 解析度 250 公尺。

核一廠、核二廠、核三廠濕沉降案例

核一、核二廠的案例選擇 107 年 9 月 24 日，東北風南下北部迎風面屬於有雨的天氣，由當日的 24 小時累積雨量圖，如圖 2.1.6，北部的降雨主要集中在雪山山脈以及宜蘭南部沿岸，而核一、核二廠所在之北海岸也有明顯的降雨，因此選取這個個案分別進行只有乾沉降及包含濕沉降過程的比較，在劑量評估系統中引入的降雨資訊來自 CWB WRF 5 公里的 84 小時降雨預報資訊，其時間解析度為 6 小時，如圖 2.1.2.1.7。

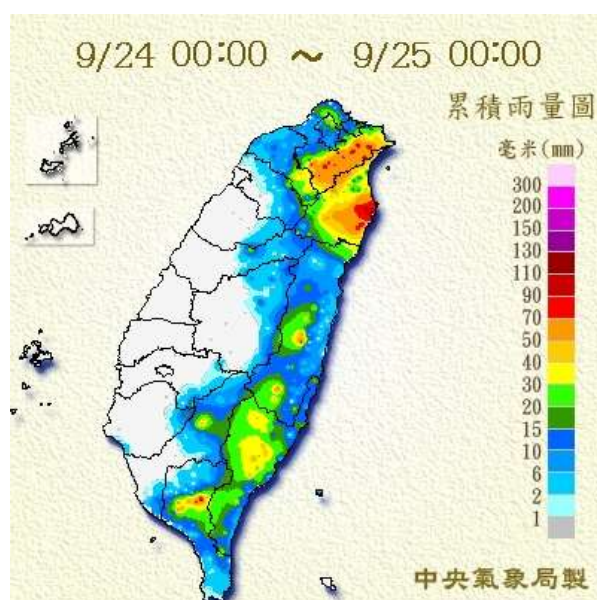


圖 2.1.6 2018 年 9 月 24 日 24 小時降雨累積圖(圖片來源:中央氣象局官網)

核一廠在 9 月 24 日的假想事故模擬結果中，利用 Cs-137 的模擬結果進行比較，圖 2.1.8 為僅有乾沉降過程的空氣劑量率分布，圖 2.1.9 為僅有乾沉降過程之沉降量累積分布，圖 2.1.10 為包含濕沉降過程的空氣劑量率分布，圖 2.1.11 為包含濕沉降過程之沉降量累積分布，兩相比較之下可看出在 06 時和 24 時，有濕沉降過程的結果中，空氣劑量率(圖 2.1.8 和圖 2.1.10 相比)明顯減少很多，沉降量(圖 2.1.9 和圖 2.1.11 相比)則是增加許多，顯示在有

降雨的情況下，有許多的放射性污染物透過了模式中的濕沉降機制沉降到了地面上，而在只有乾沉降過程時，地表沉降量則是比較小的(圖 2.1.9)。核二廠情況與核一廠類似(圖 2.1.12~15)

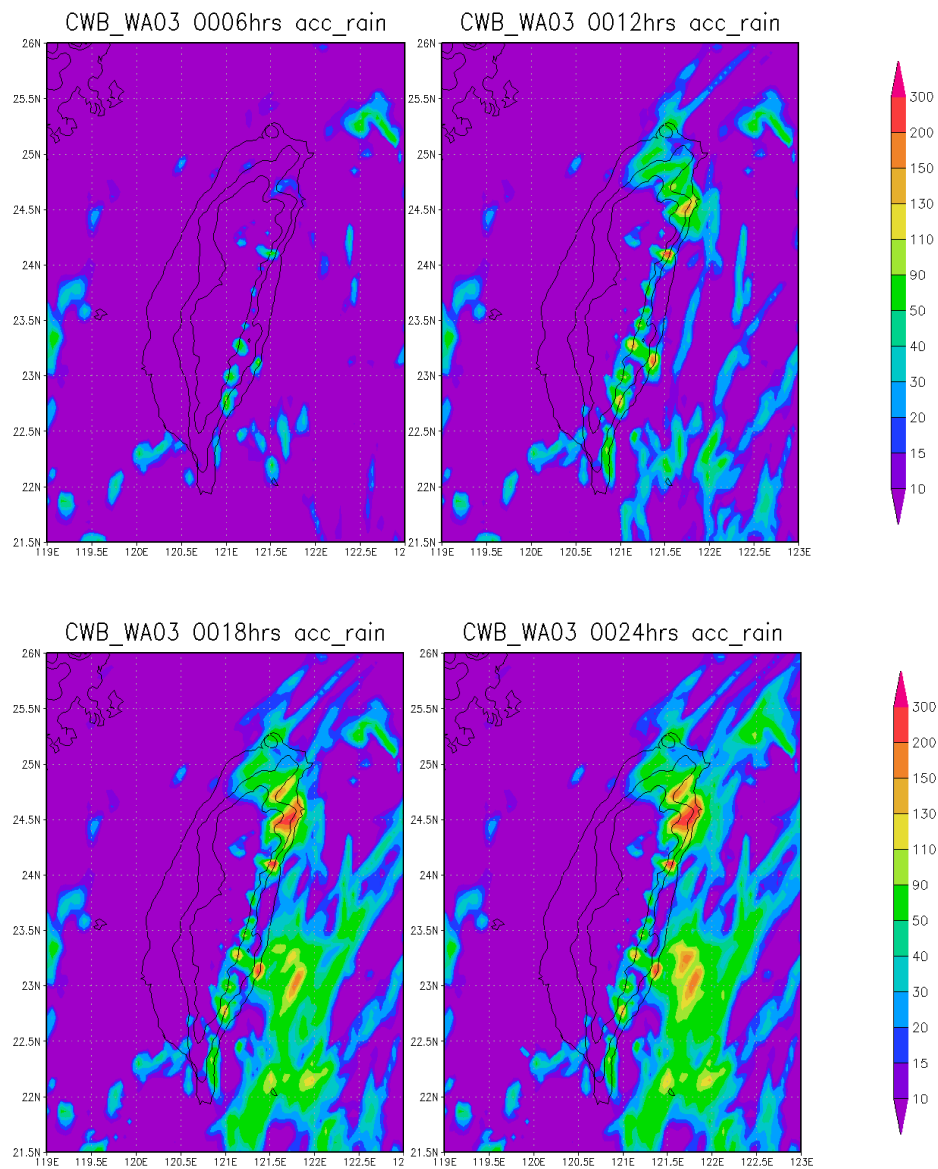


圖 2.1.7 2018 年 9 月 24 日 CWB WRF 每六小時累積降雨預報分布圖 (mm)，水平解析度為 5 公里。

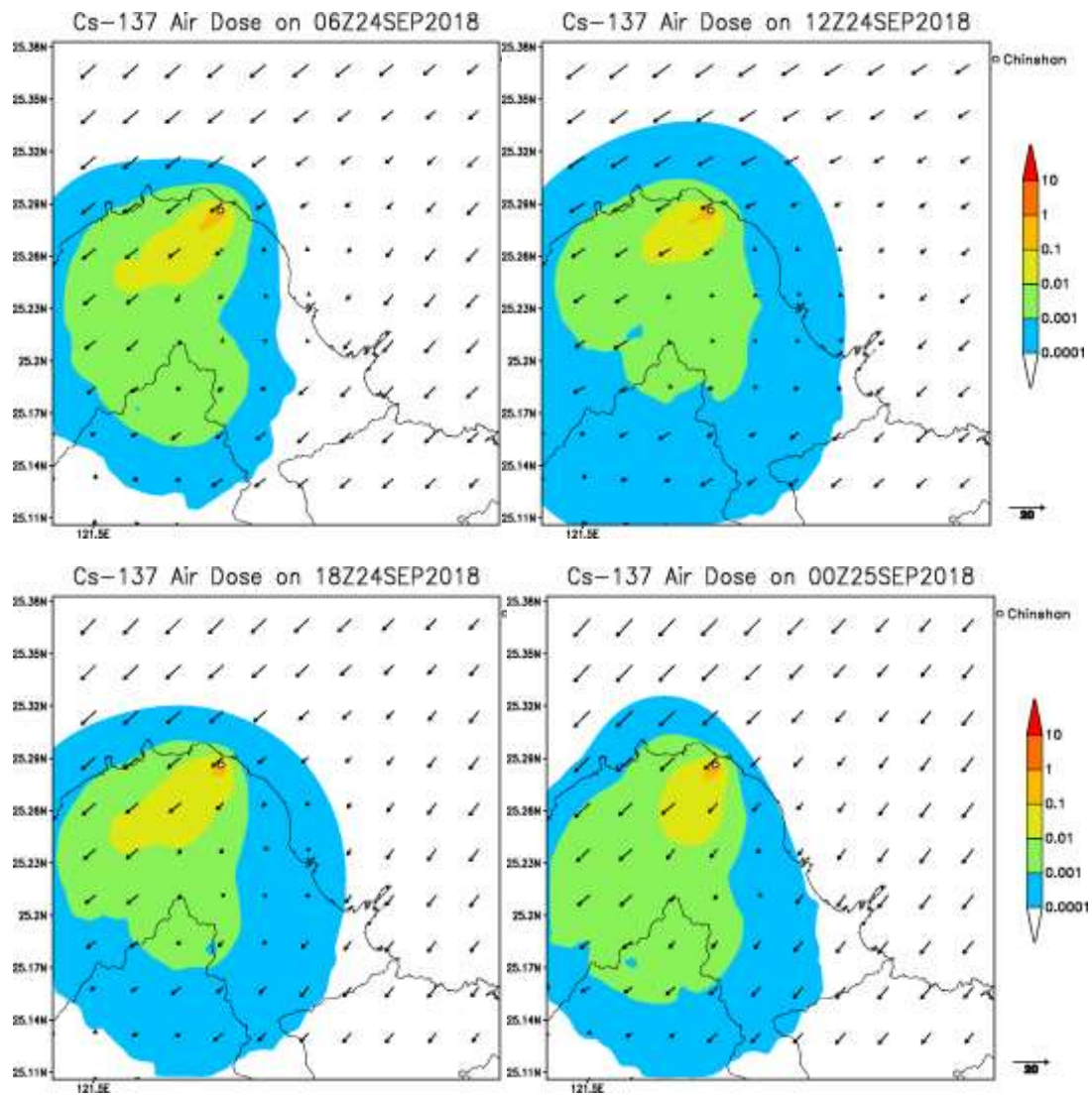


圖 2.1.8 2018 年 9 月 24 日僅有乾沉降過程之每六小時之空氣劑量率 (mSv/hr) 分布。

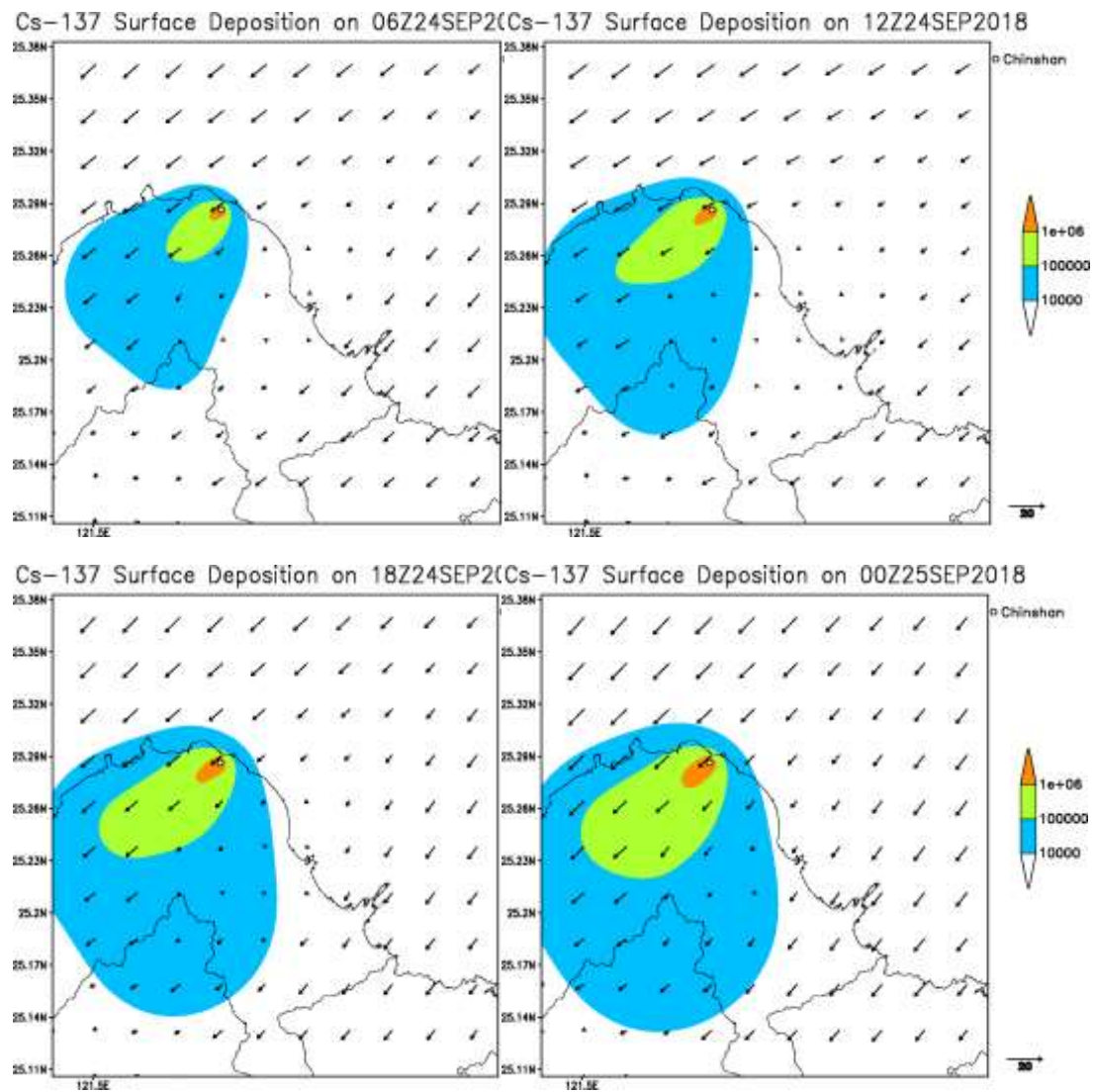


圖 2.1.9 2018 年 9 月 24 日僅有乾沉降過程之每六小時之地表沉降累積量(Bq/m^2)分布。

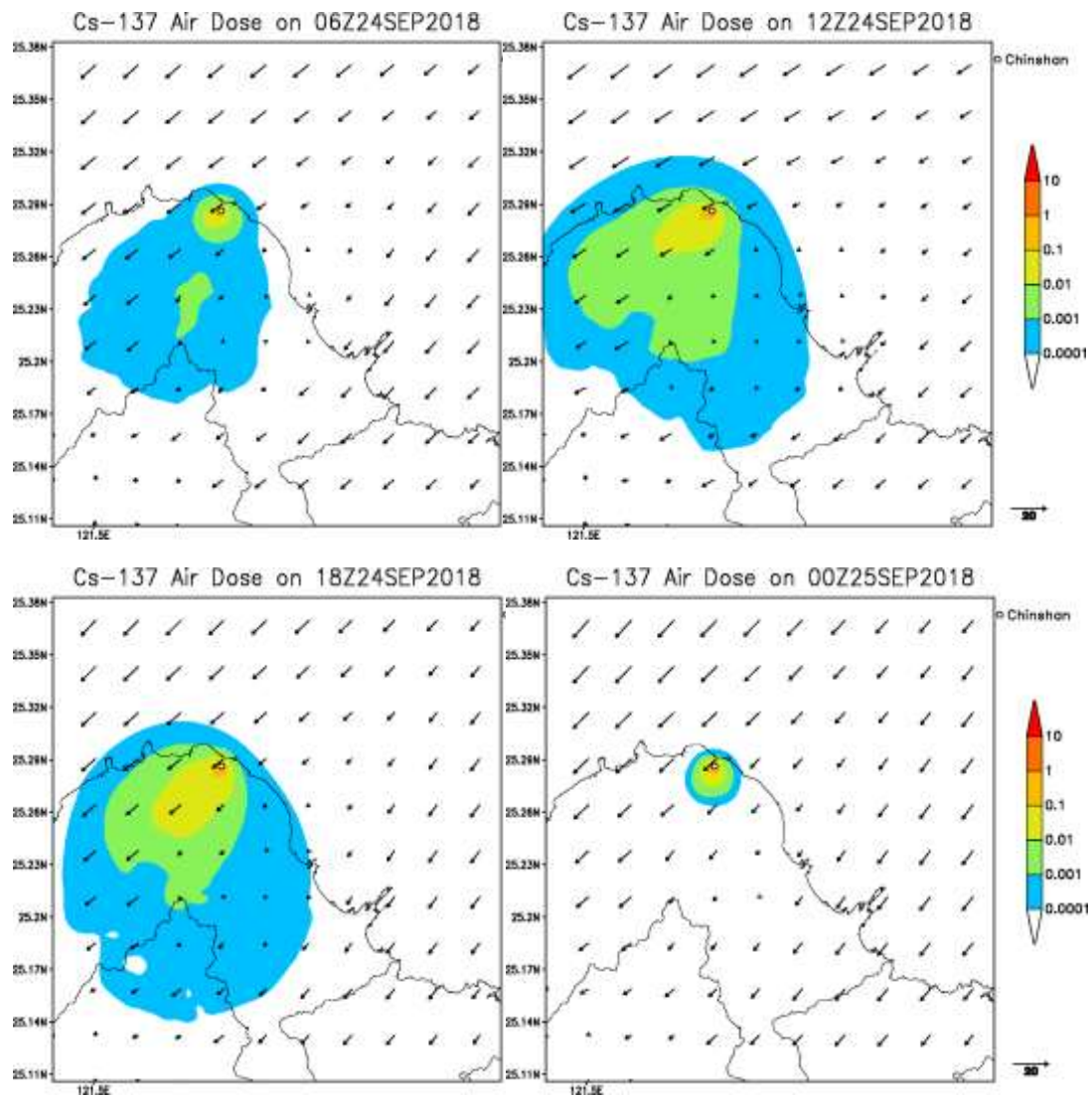


圖 2.1.10 2018 年 9 月 24 日包含濕沉降過程之每六小時之空氣劑量率 (mSv/hr) 分布。

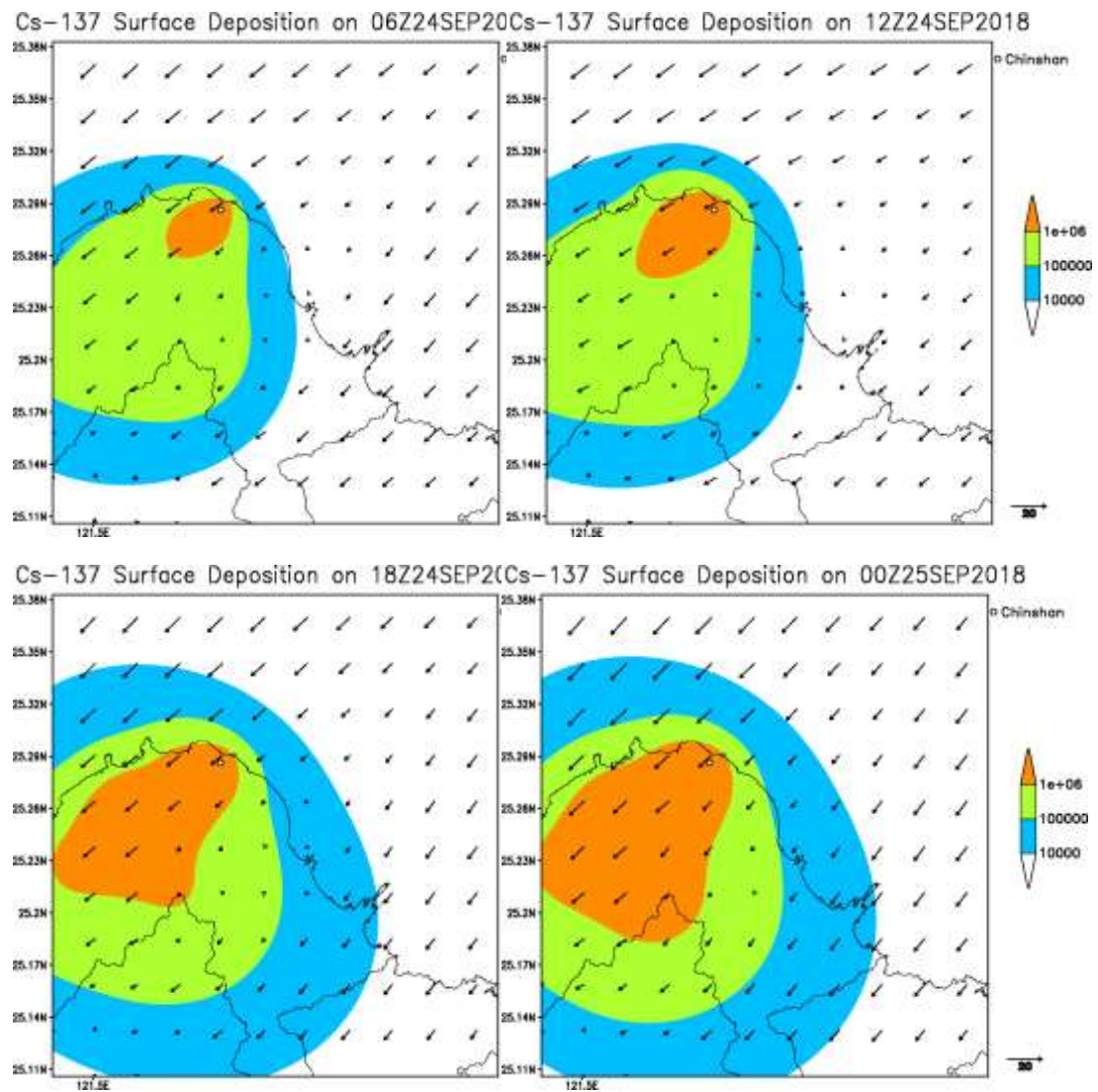


圖 2.1.11 2018 年 9 月 24 日包含濕沉降過程之每六小時之地表沉降累積量(Bq/m^2)分布。

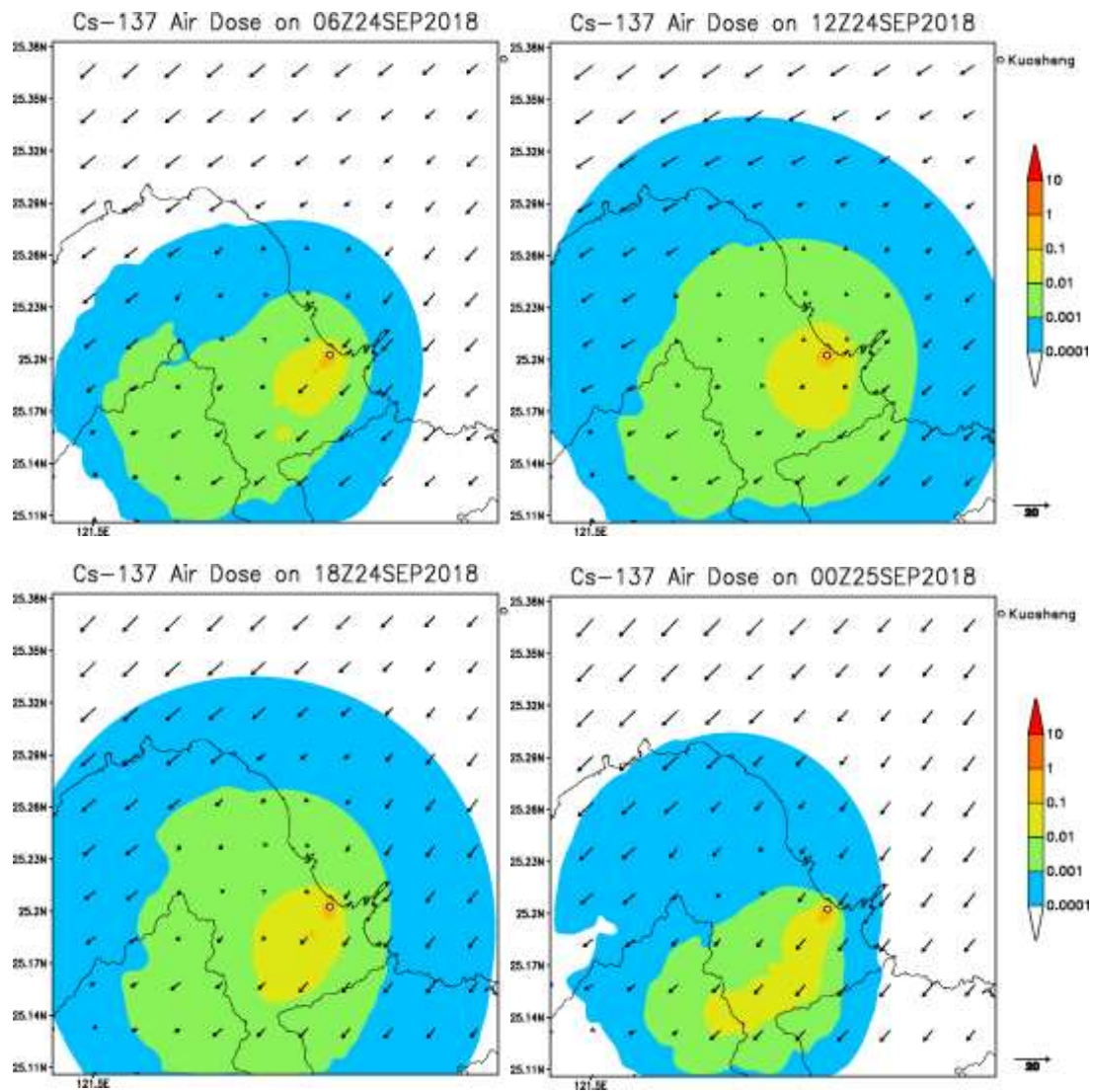


圖 2.1.12 2018 年 9 月 24 日僅有乾沉降過程之每六小時之空氣劑量率 (mSv/hr) 分布。

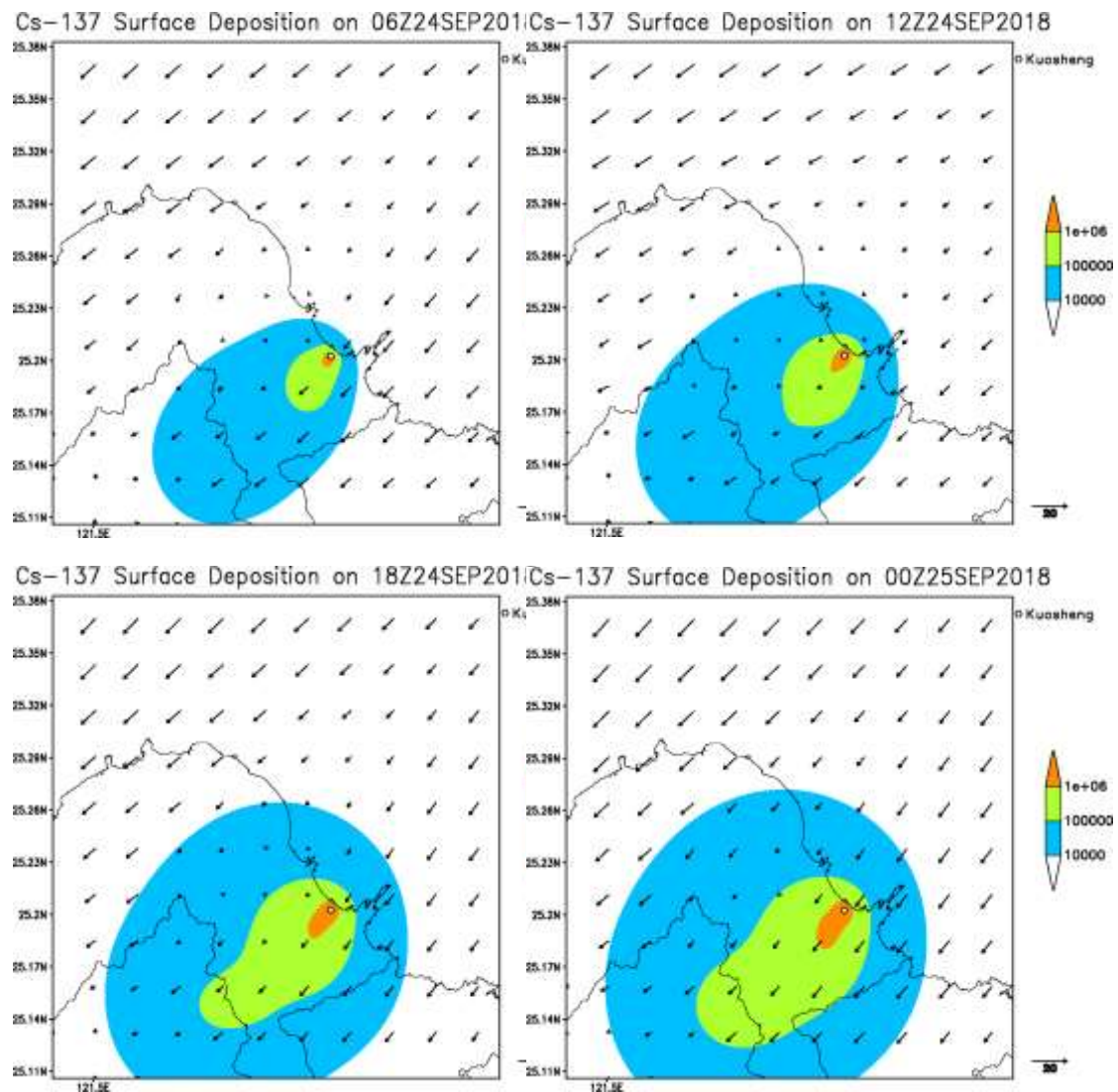


圖 2.1.13 2018 年 9 月 24 日僅有乾沉降過程之每六小時之地表沉降累積量(Bq/m^2)分布。

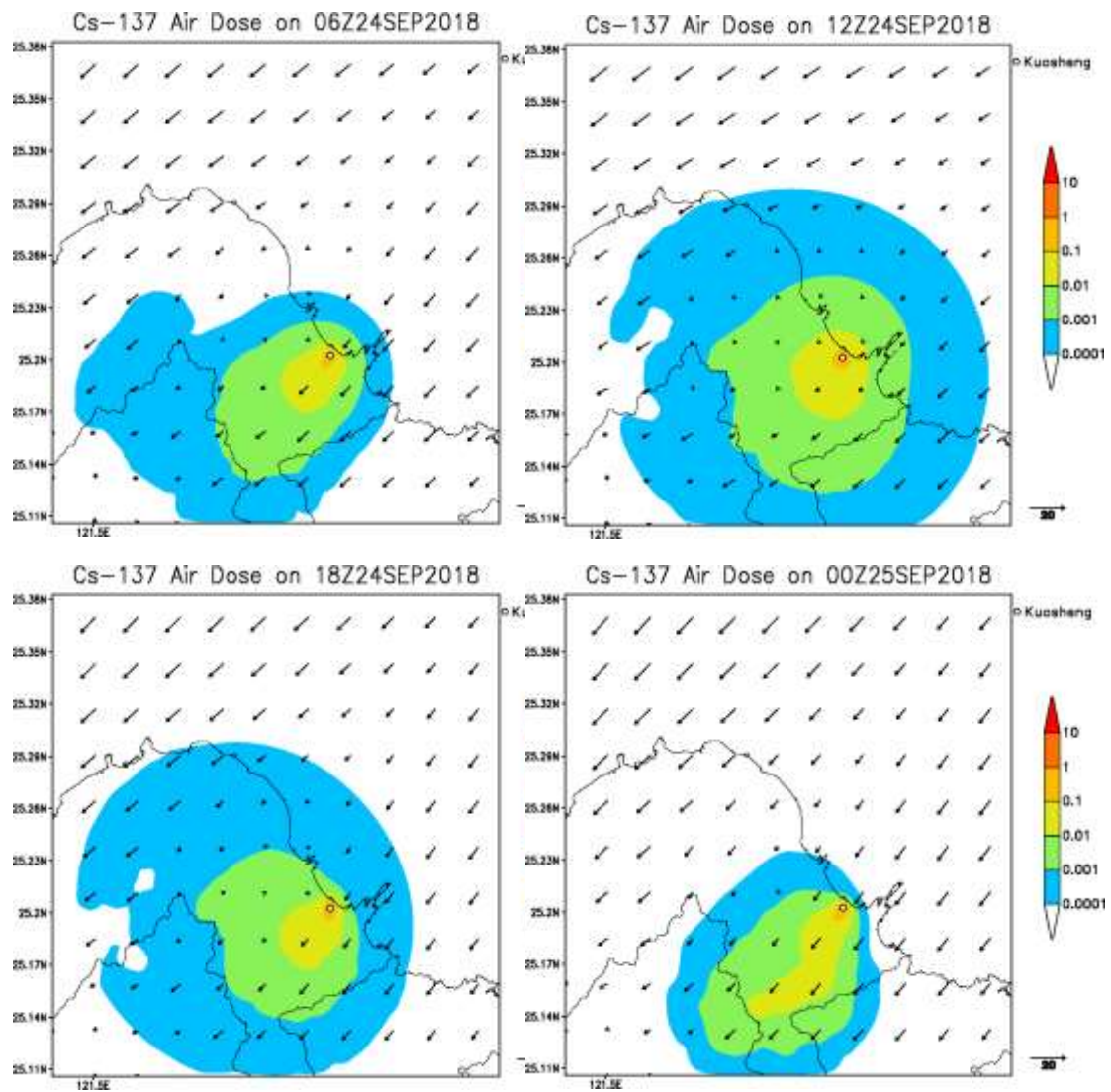


圖 2.1.14 2018 年 9 月 24 日包含濕沉降過程之每六小時之空氣劑量率 (mSv/hr) 分布。

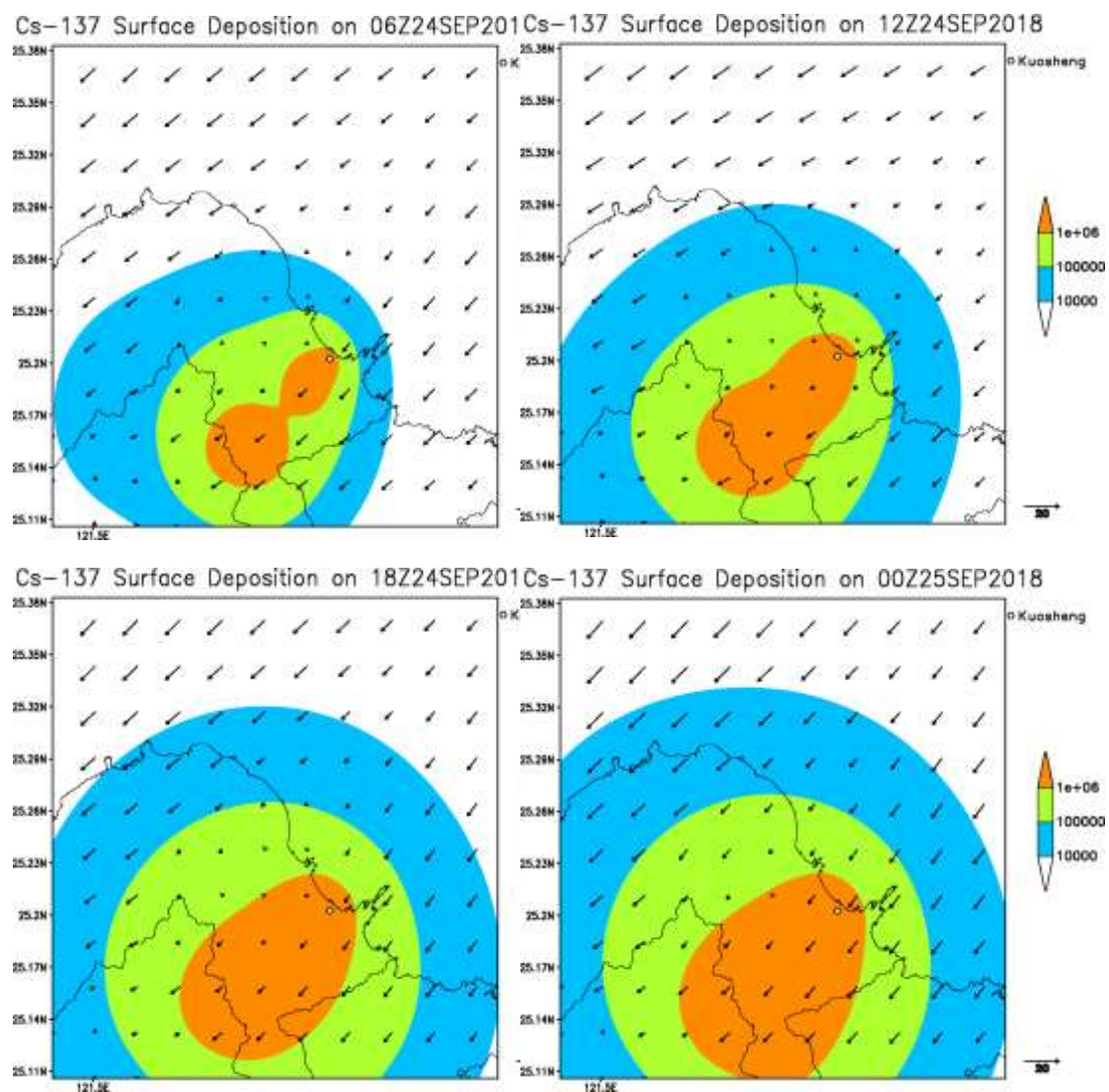


圖 2.1.15 2018 年 9 月 24 日包含濕沉降過程之每六小時之地表沉降累積量(Bq/m^2)分布。

核三廠的案例選擇 2019 年 08 月 24 日白鹿颱風侵台期間，在台灣之東南部及南部地區造成一些降雨，圖 2.1.16 為劑量評估系統使用之降雨資料，可看到在預報時間 06 時和 18 時在恆春半島都有明顯的降雨，這邊進行只有乾沉降與加上濕沉降的比對。圖 2.1.17 為核三廠模擬只有乾沉降過程之結果，I-131 與 Cs-137 這兩個釋放核種加總的有效劑量率(mSv/ hr)，圖 2.1.18 及圖 2.1.19 分別為只有乾沉降過程之 Cs-137 和 I-131 的地表濃度分布。圖 2.1.20~圖 2.1.22 則為包含濕沉降的模擬結果，兩相比較之下，可明顯看到有濕沉降過程對於地表沉降的貢獻增加 10 倍左右，反之，有效劑量率在包含濕沉降的過程的結果就小了許多。

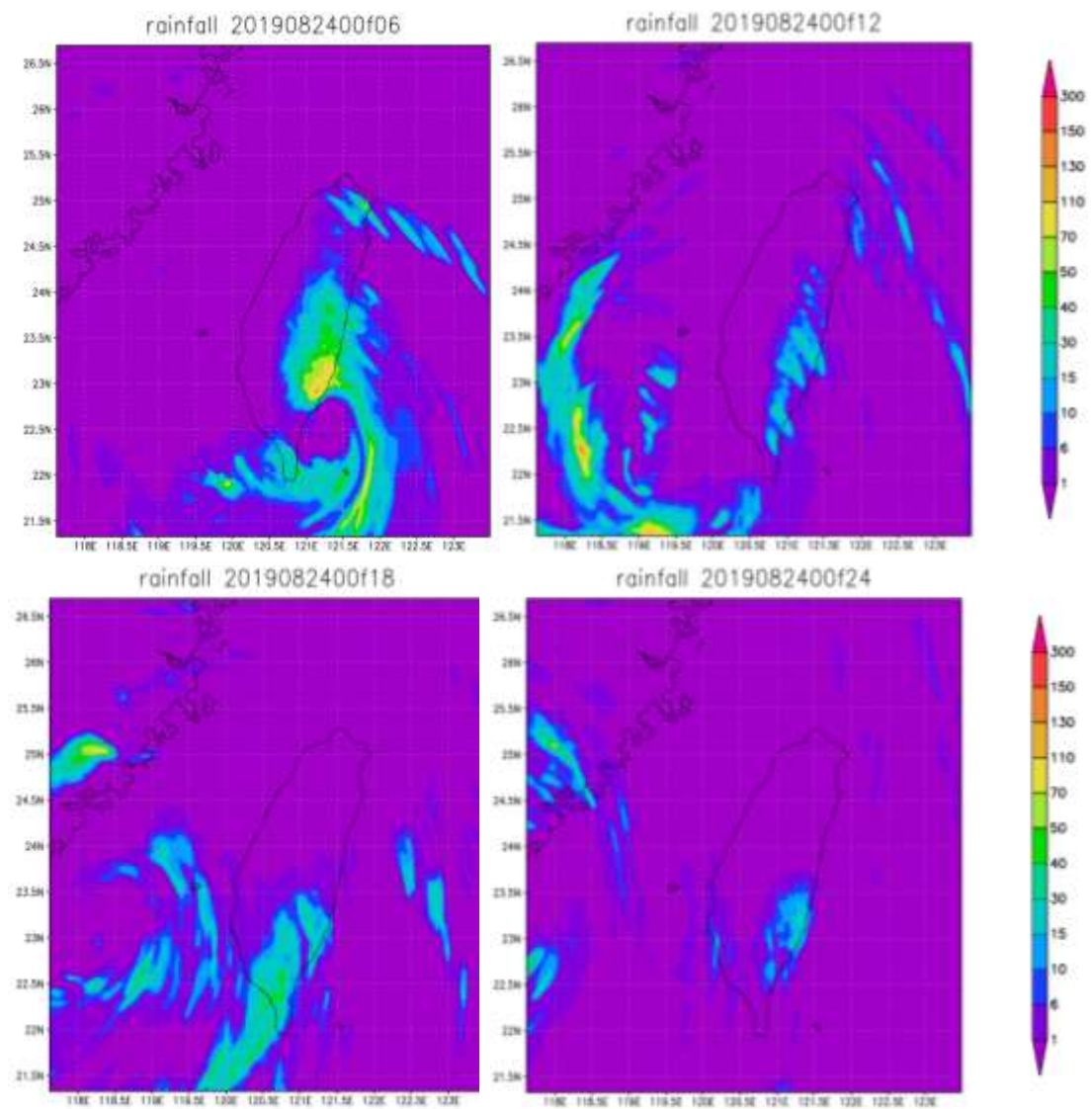


圖 2.2.16 2019 年 8 月 24 日 CWB WRF 水平解析度為 3 公里之每六小時之時雨量預報分布內插至 MDDS2.5 公里解析度網格點上之分布圖 (mm)。

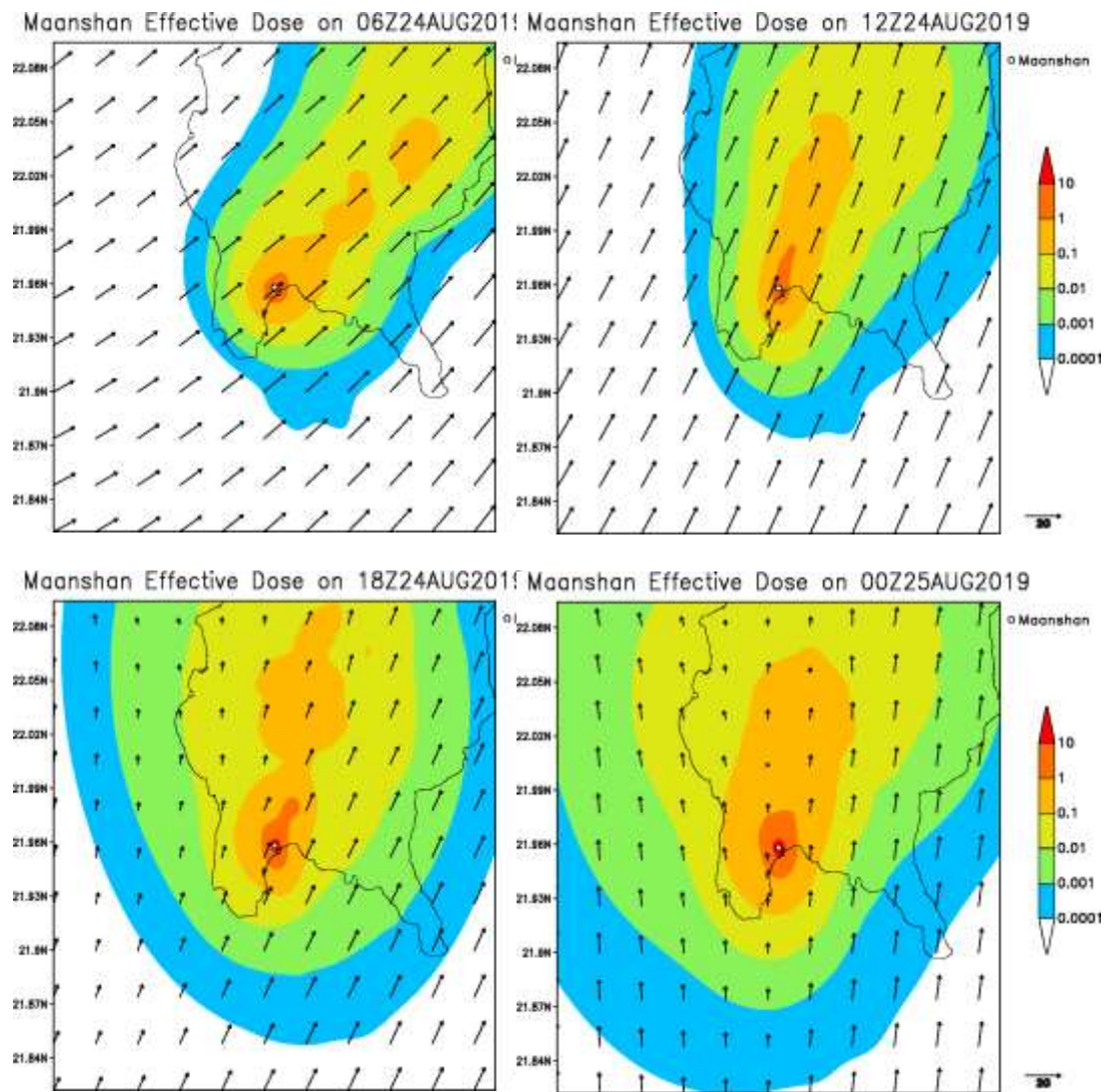


圖 2.1.17 2019 年 8 月 24 日僅有乾沉降過程，Cs-137 和 I-131 加總的每六小時之空氣劑量率(mSv/hr)分布。

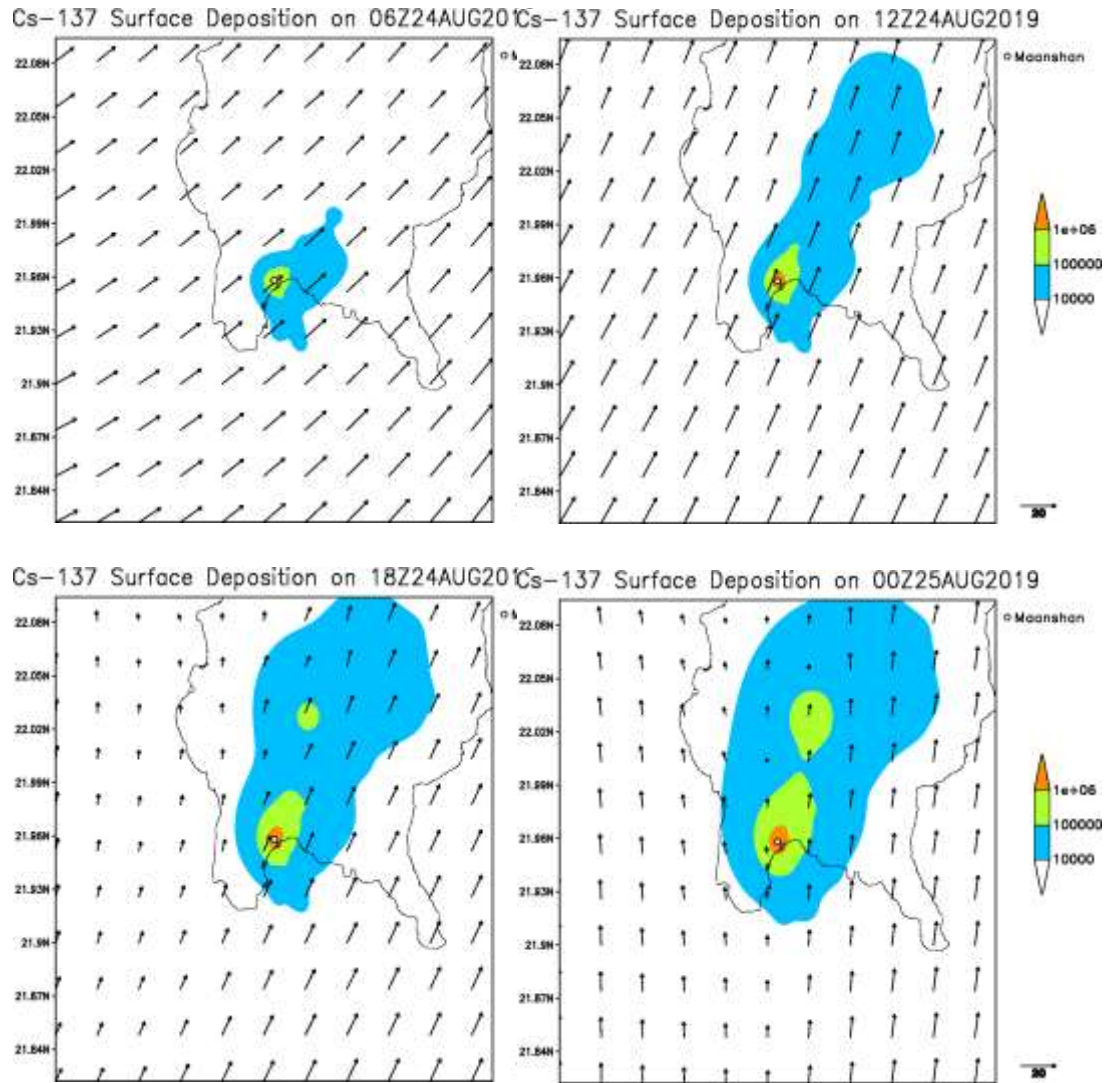


圖 2.1.18 2019 年 8 月 24 日僅有乾沉降過程，Cs-137 的每六小時地表沉降累積量(Bq/m²)分布。

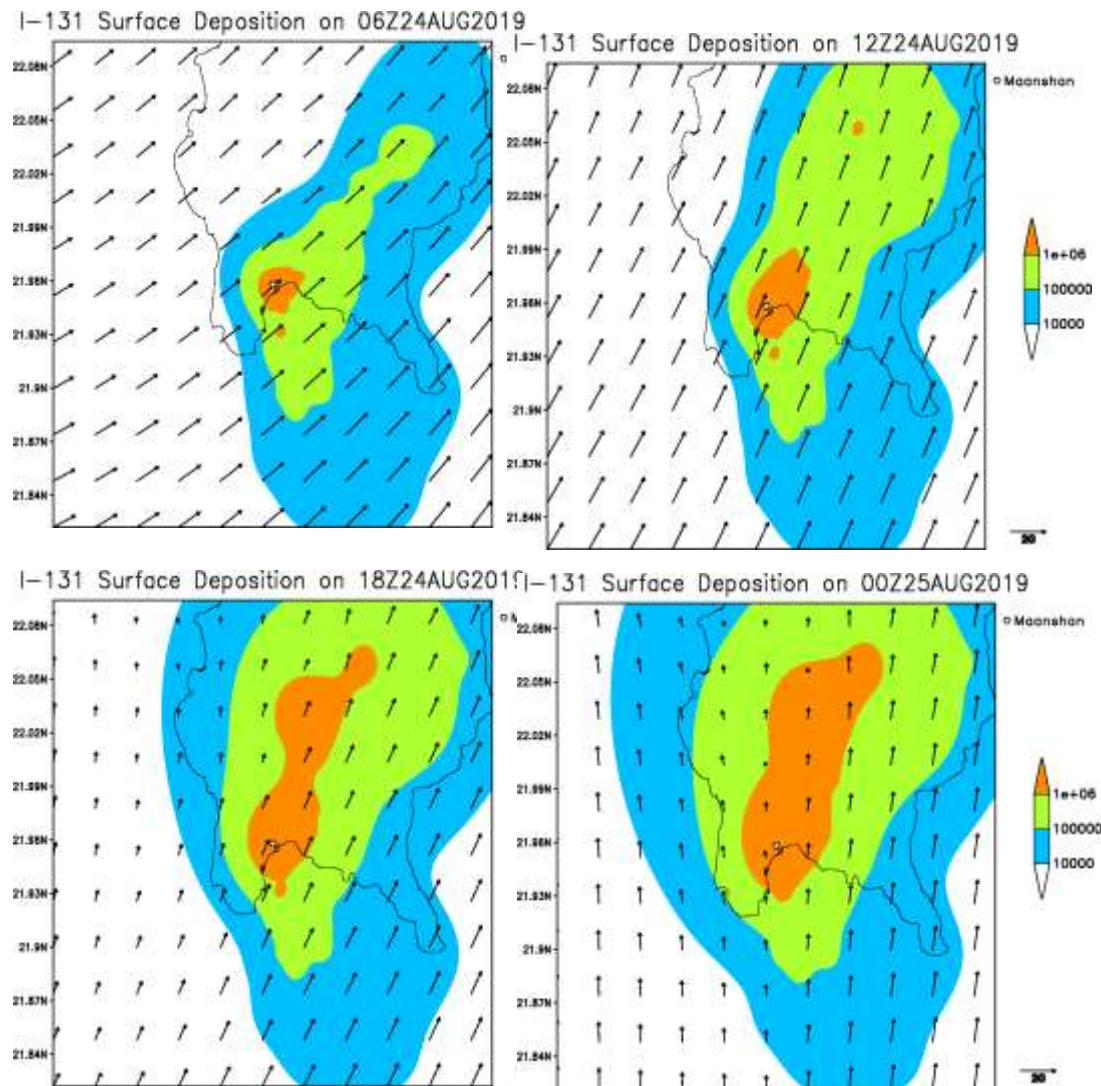


圖 2.1.1 2019 年 8 月 24 日僅有乾沉降過程，I-131 的每六小時地表沉降累積量(Bq/m²)分布。

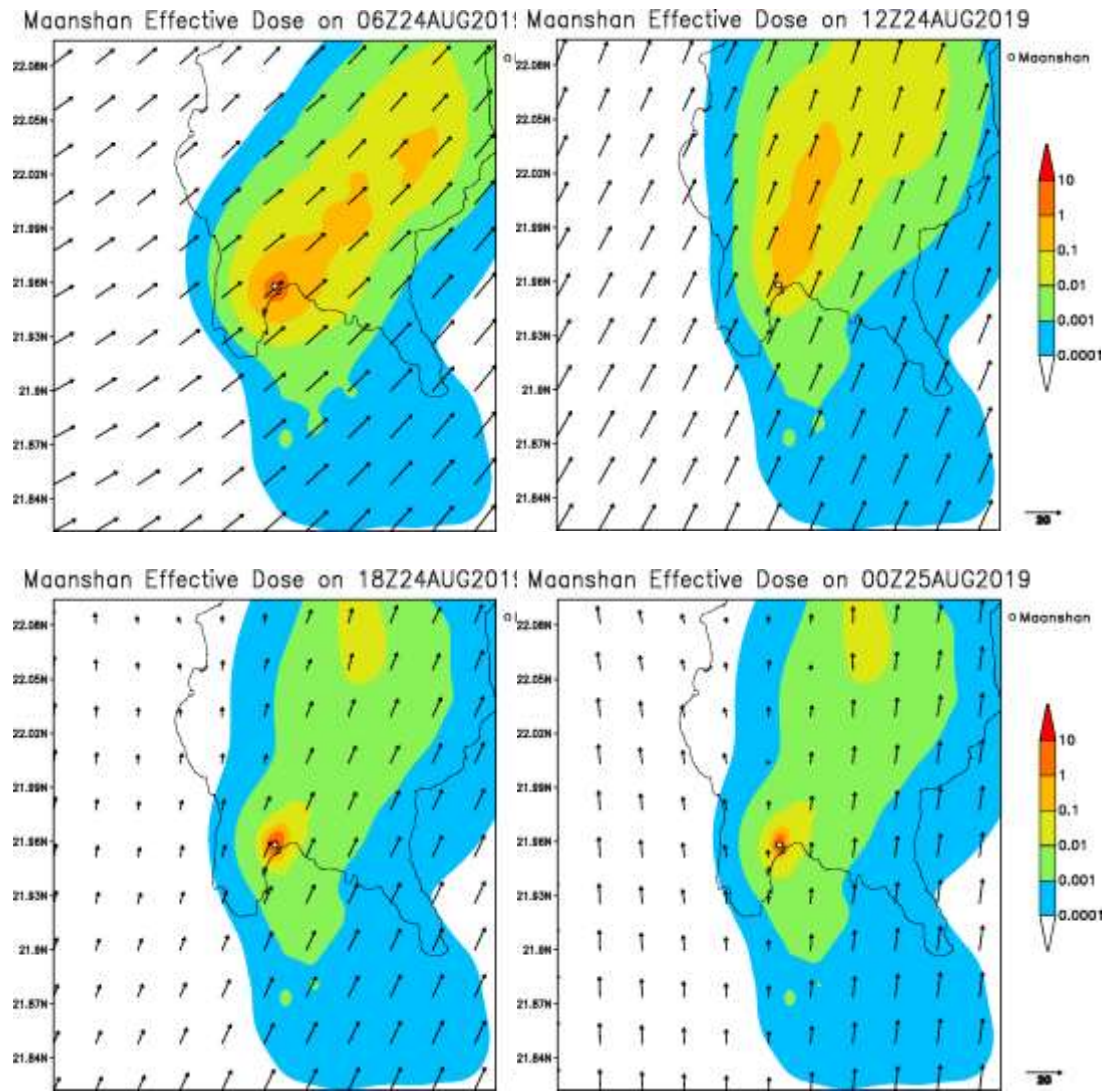


圖 2.1.20 2019 年 8 月 24 日濕沉降過程，Cs-137 和 I-131 加總的每六小時之空氣劑量率(mSv/hr)分布。

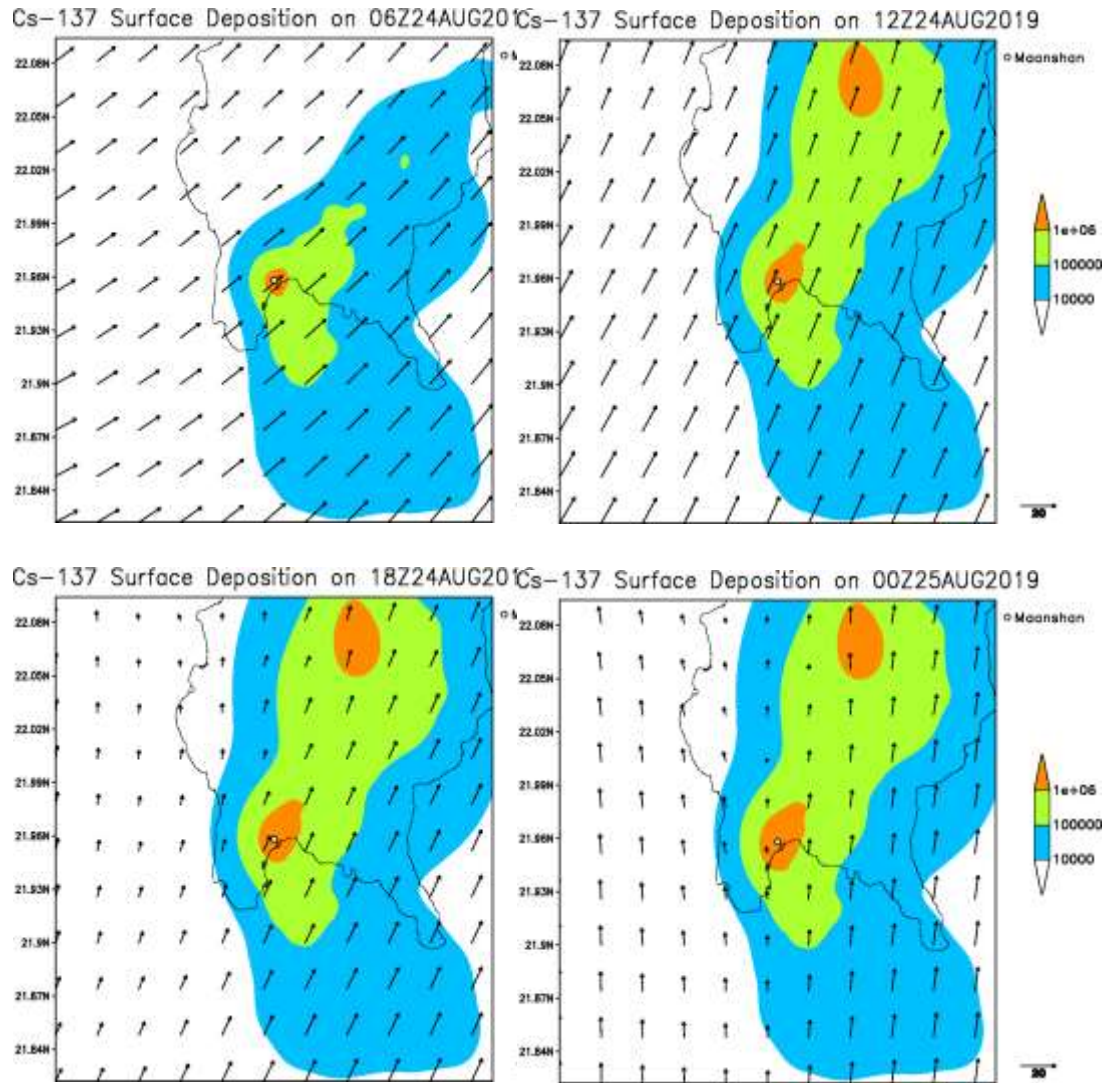


圖 2.1.21 2019 年 8 月 24 日濕沉降過程，Cs-137 之每六小時地表沉降累積量(Bq/m^2)分布。

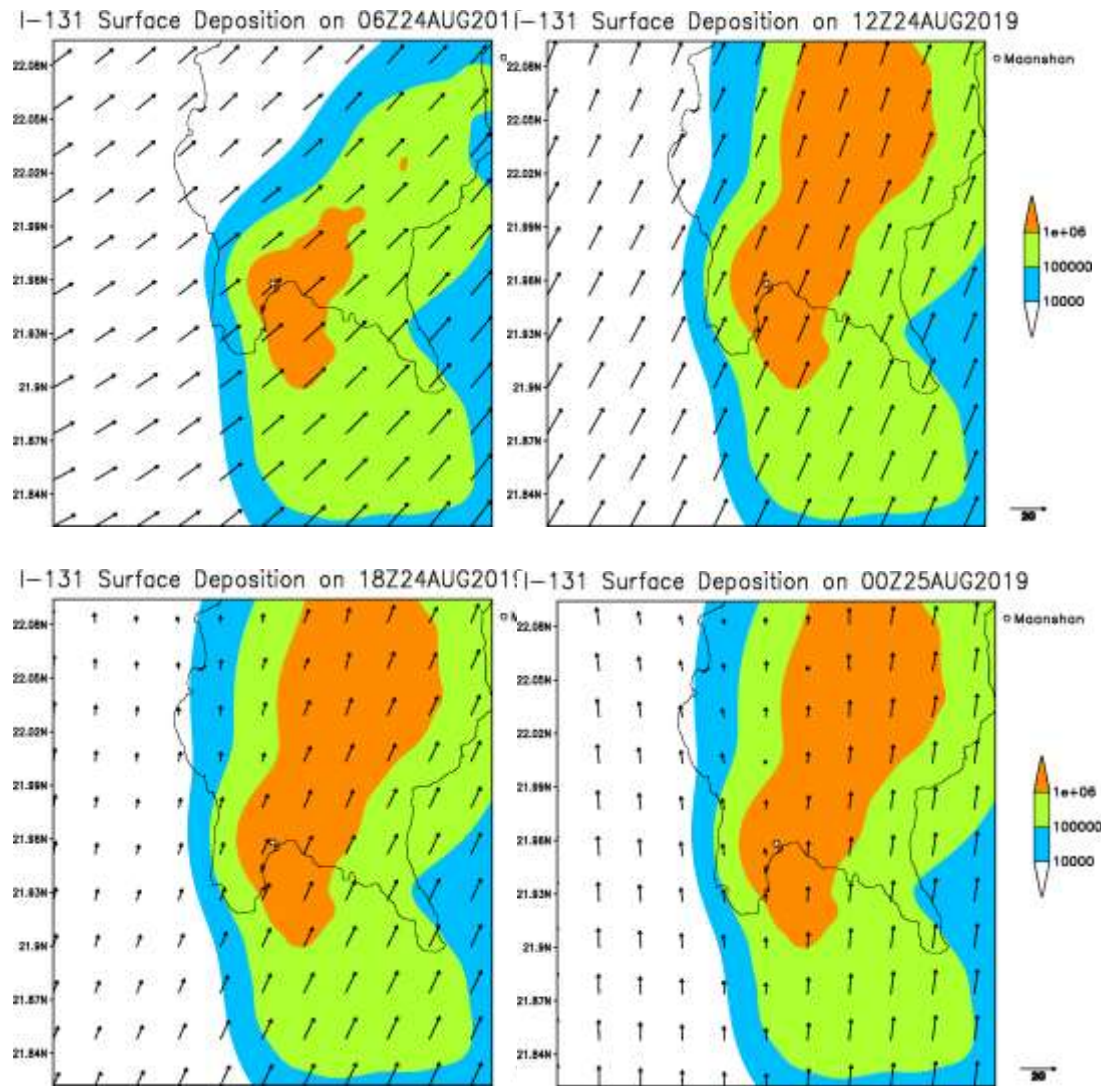


圖 2.1.22 2019 年 8 月 24 日濕沉降過程，I-131 之每六小時地表沉降累積量(Bq/m²)分布。

(二)核電廠假想事故冬春每日案例對於陸地行政區域之影響情況分析

1. 冬季案例探討

由於每周例行作業案例選取，以當週週三至下週週二為一案例選取期間，因此冬春每日案例的探討時間為 2018 年 11 月 28 日至 2019 年 5 月 28 日為止，共 26 周。假想案例釋放條件是 Cs-137 7.2121×10^9 Bq/s 連續釋放，I-131 7.2121×10^{10} Bq/s 連續釋放，藉由每周七天之累積有效劑量的分布，初步掌握各個電廠在此季節下的分布特性，並希望透過每一週的探討將各個天氣類型中，其所對應的影響區域，因此在報告中除了每周的天氣圖分析之外，再利用風花圖更好的來說明在核電廠附近的風向風速狀況，而風花圖的選用，除了將氣象資料內插至核電廠的位置之外，亦試圖考慮核電廠周圍的風場，因此除了單點的風向風速風花圖之外，也特別將電廠周圍 1 公里範圍的網格點進行風向風速的平均進行比較，來選定後續統計分析採用之風花圖，圖 2.2.1 為冬天 13 週(a~m)核一廠單點與平均的風花圖比較，上排為單點，下排為平均，圖 2.2.2、圖 2.2.3 則分別為核二、三場的風花圖比較。核一廠在冬季的部分，平均和單點的風花圖相當一致，為第四週(圖 2.2.1d)單點的東風風速略小於平均的風速和第七周(圖 2.2.1g)單點的東北東風略大於平均的風速，而核二廠的位置其風場受周圍地形較顯著，其風速常常小於核一廠，風向變化也較多，但單點與平均的差異較核一廠來的明顯，但差異也不多，核三廠在冬天的風速都偏大，尤其前 9 週，幾乎是 10m/s 以上的東北風，單點和平均的風場差異並不大，因此在各季節裡，直接使用單點的風花圖來進行討論分析。圖 2.2.利用內政部國土測繪中心之國土測繪圖資服務雲所框

選出北部地區核電廠 250 公尺解析度之劑量評估系統模擬範圍之電子地圖，底圖為台灣地區通用電子地圖，加上了村里界之圖層，並標示出核一、核二廠所在位置，在左上的為核一廠，右下的為核二廠。圖 2.2.為核一廠冬季各週 Cs-137 累積有效劑量分布，圖 2.2.6 則為 I-131 累積有效劑量分布，以下皆以水平解析度 250 公尺的模擬範圍進行討論，其中以釋放量較大的 I-131 進行探討，較能表現出福島等級之影響。

台灣的冬季主要受到大陸冷高壓的影響，隨著高壓南下，高壓出海等歷程變化，對應出在冬季台灣北部地區的盛行風，在東北風和東風之間變化，而一周劑量分布之不同的分布類型則是因大陸冷高壓的強度、影響時間長度、其出海之位置，造成的風向風速不同排列組合而成。2019 年的冬季共分為 3 種類型，類型 A(圖 2.2.4)為大陸高壓影響時的東北風，接著高壓出海後之東風系組合而成，由當周的風花圖可看到主要為強勁的東北風及較弱的東南東風組成，7 天累積劑量達 50mSv 以上的有效劑量主要影響新北市的石門區。類型 B(圖 2.2.5)則為大陸高壓影響較為持續的一周，其分布類型主要皆受東北風影響，其風花圖可看到將近 90%風速達 10m/s 以上的東北風，累積劑量達 50mSv 以上的有效劑量往核一廠的西南方影響新北市的石門和三芝區。類型 C(圖 2.2.6)則是接近春季，大陸高壓減弱，東北風影響時間短暫，主要受高壓出海之東風影響，由風花圖也可以看到東北風的頻率減至 20%左右，取而代之的是風速在 5~10m/s 之間的東風、東北東風，因此劑量分布多往西，影響地區亦為新北市石門及三芝區。

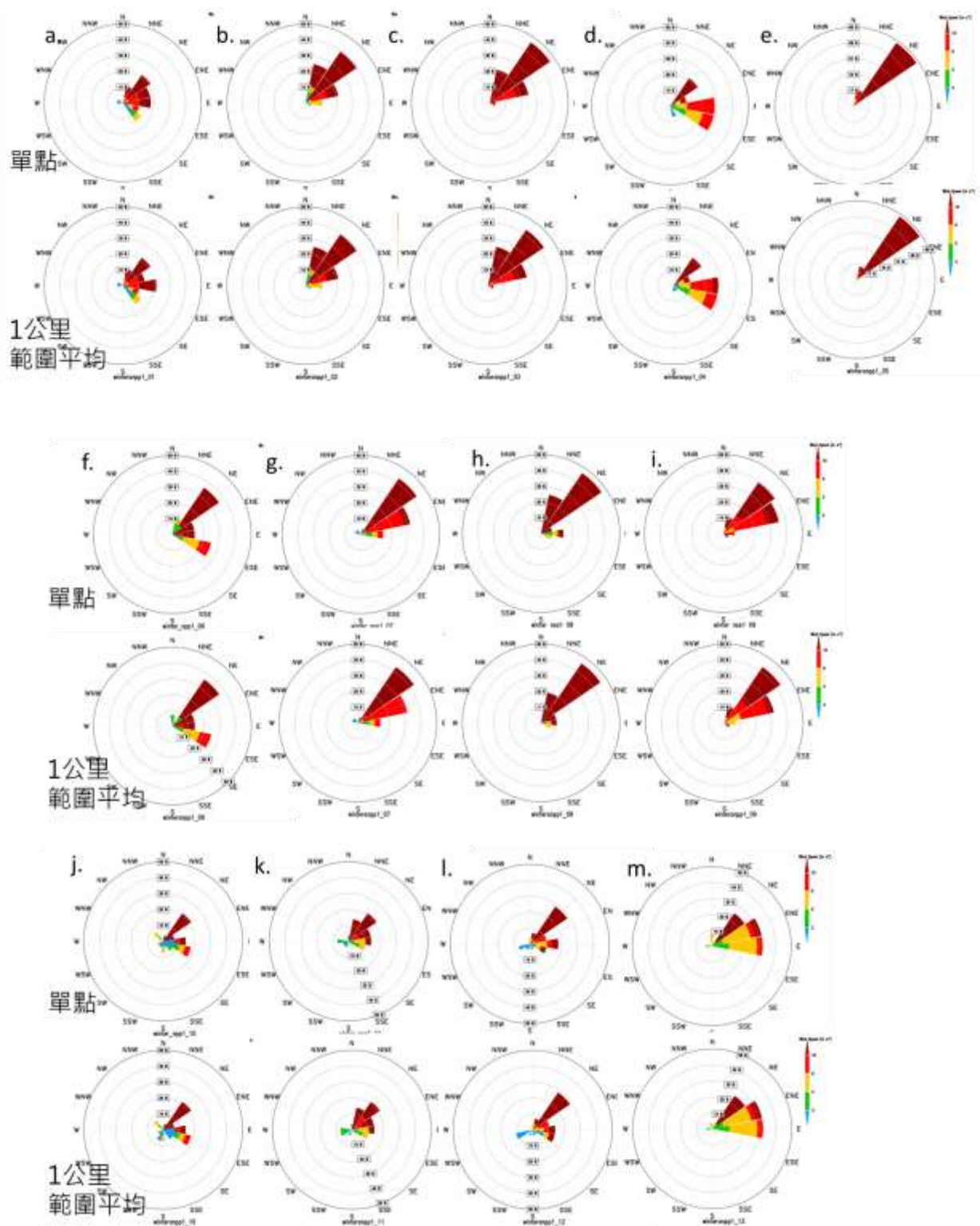


圖 2.2.1 核一廠冬季各週單點與平均風花圖，a~m 共 13 週，每週之上圖為核電廠位置單點風花圖，下圖為核電廠周圍 4 平方公里之風場平均風花圖，顏色代表不同的風速，分別為 3m/s 以下、3~5m/s、5~8m/s、8~10m/s、10m/s 以上。

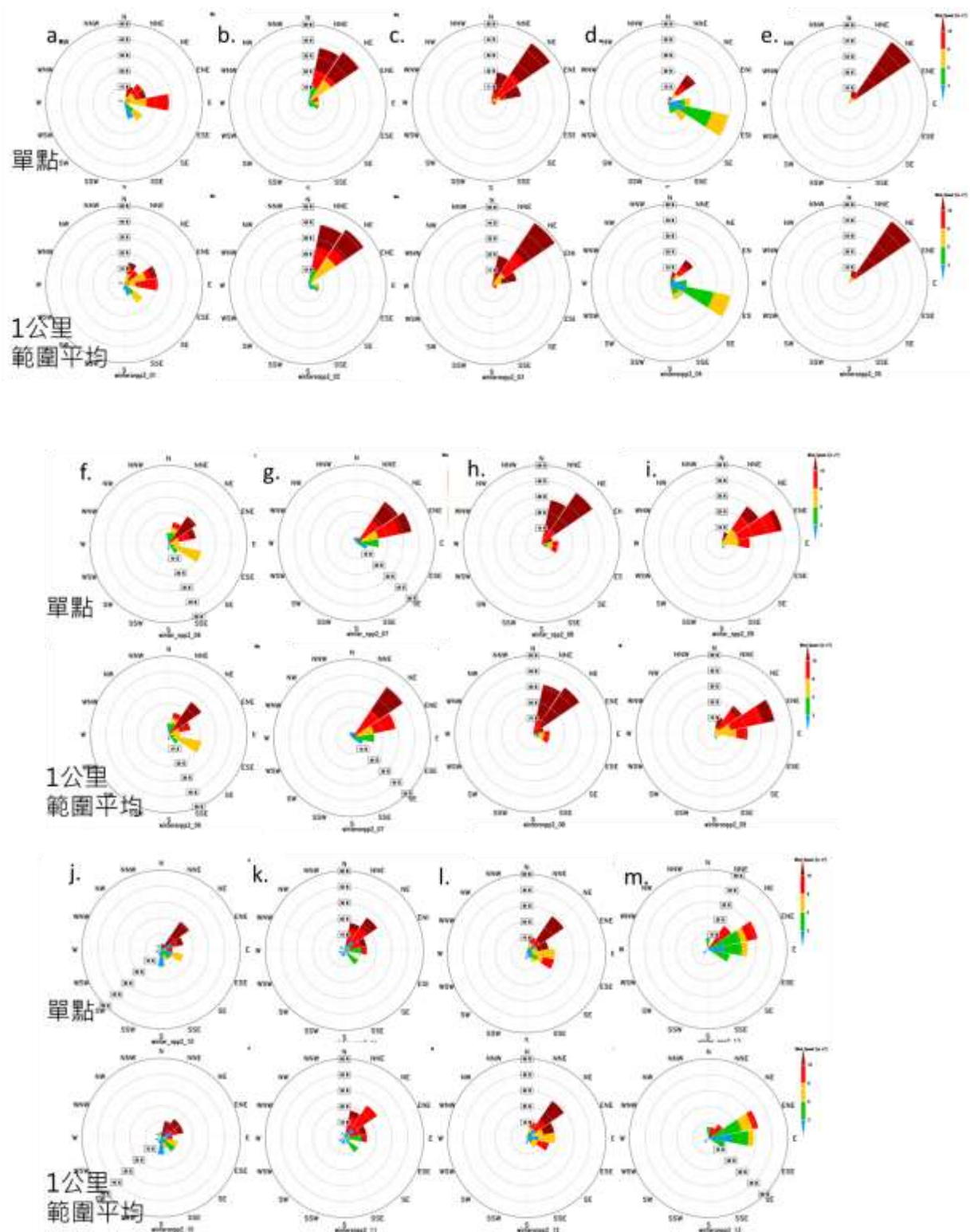


圖 2.2.2 核二廠冬季各週單點與平均風花圖，a~m 共 13 週，每週之上圖為核電廠位置單點風花圖，下圖為核電廠周圍 4 平方公里之風場平均風花圖，顏色代表不同的風速，分別為 3m/s 以下、3~5m/s、5~8m/s、8~10m/s、10m/s 以上。



圖 2.2.4 由內政部國土測繪中心之國土測繪圖資服務雲所框選出北部地區核電廠 250 公尺解析度之劑量評估系統模擬範圍之電子地圖，底圖為台灣地區通用電子地圖，加上了村里界之圖層。

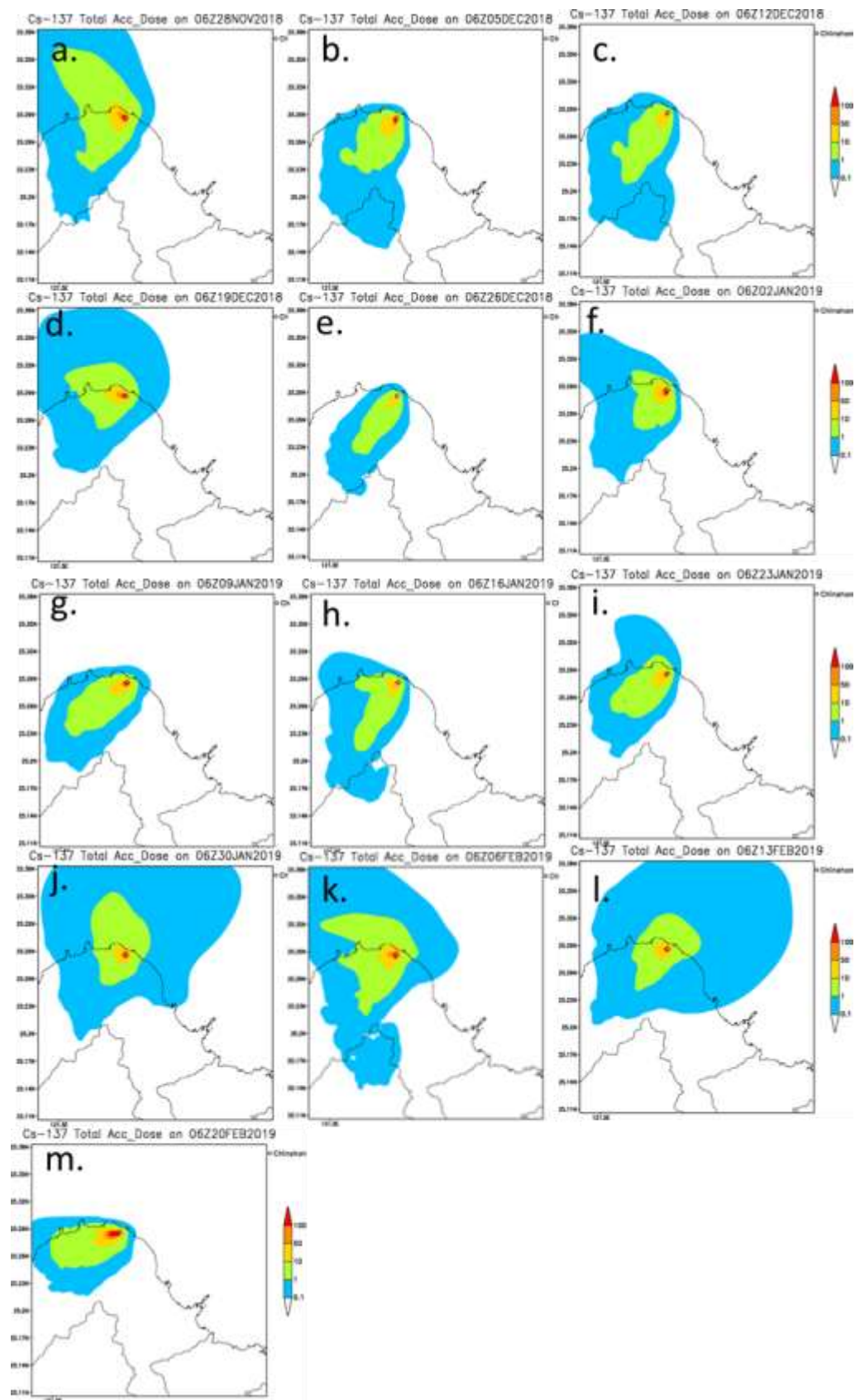


圖 2.2.5 核一廠冬季，自 2018 年 11 月 28 日至 2019 年 2 月 26 日 Cs-137 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

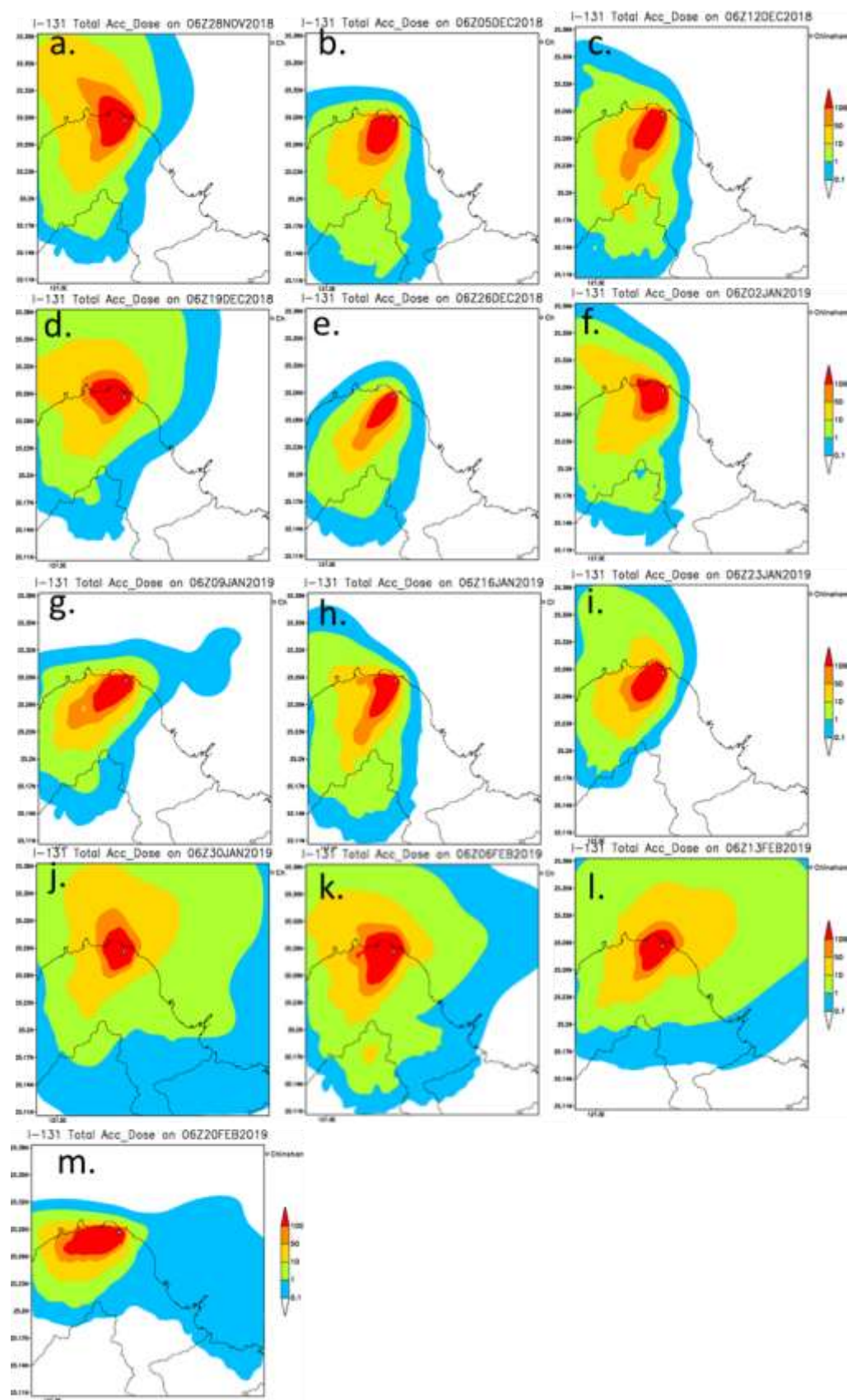


圖 2.2.6 核一廠冬季，自 2018 年 11 月 28 日至 2019 年 2 月 26 日 I-131 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

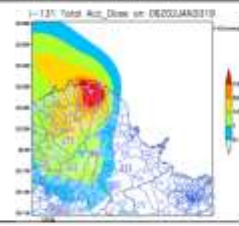
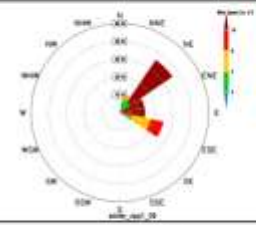
Type A	一周天氣影響概述	日期
	一周的天氣主要受到大陸高壓影響，隨著高壓往東或東南移動出海，風向就會由東北風轉為東風系	 11/28~12/4 12/19~12/25 1/2~1/8 1/30~2/5 2/6~2/12
		

圖 2.2.7 2019 年核一廠冬季，劑量分布類型 A，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

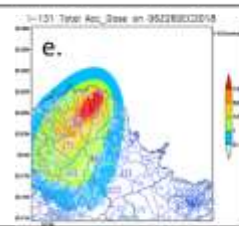
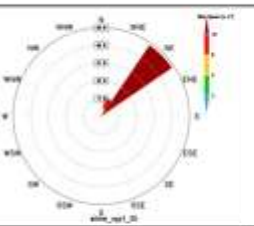
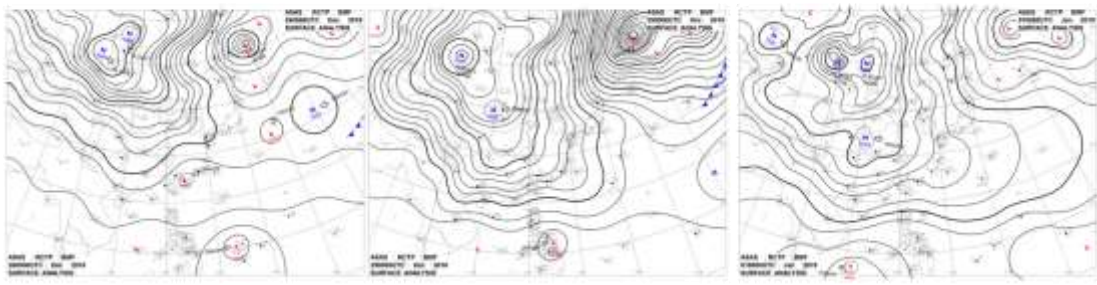
Type B	一周風向影響概述	日期
	大陸高壓影響較為持續的一周，台灣環境風場皆以東北風為主	 12/5~12/11 12/12~12/18 12/26~1/1 1/9~1/15 1/16~1/22 1/23~1/29、2/13~2/19
		

圖 2.2.8 2019 年核一廠冬季，劑量分布類型 B，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

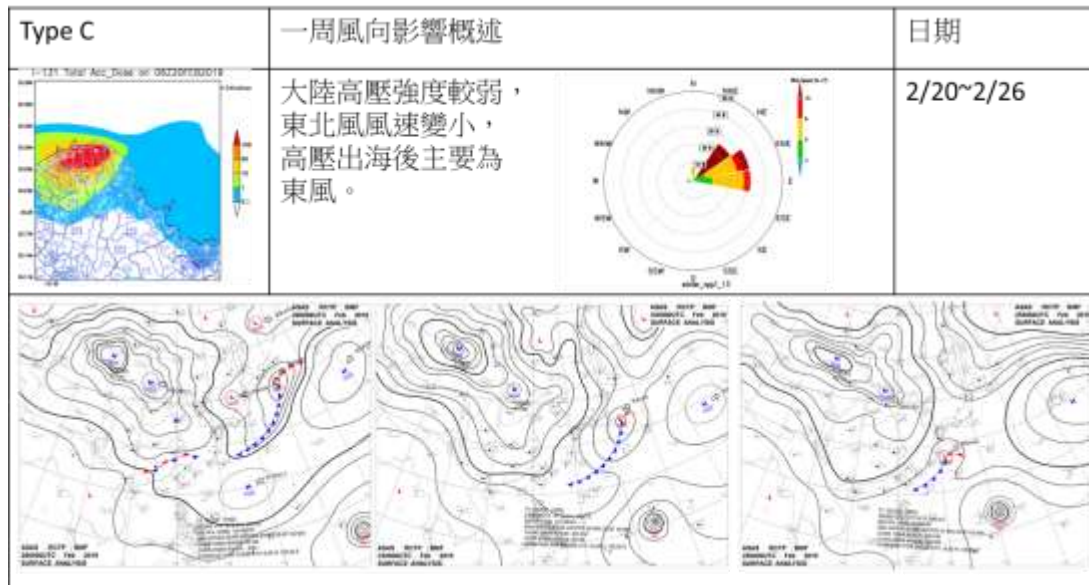


圖 2.2.9 2019 年核一廠冬季，劑量分布類型 C，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

核二廠與核一廠的位置相距大約 13 公里，但核二廠所在位置受其西邊和西南邊的的大屯山群之地形阻擋，風向會有所變化，劑量累積亦更有特色及變化圖 2.2.10 為核二廠冬季各週 Cs-137 累積有效劑量分布，圖 2.2.11 則為 I-131 累積有效劑量分布。在相同的天氣型態下，核一廠只有一種劑量類型，但核二廠可能會有兩種，因而分類名稱會有 A-1、A-2 等。在類型 A-1(圖 2.2.12)中，受大陸冷高壓影響，為東北風，待高壓出海之後，風向轉為東風系，由風花圖也可看得到此情形，東北風大約在 20%左右，其餘約有一半的時間是東北東及東南東等東風系之影響，而東風系的風場受到西邊大屯山群的阻擋，風速減速，易在新北市石門區乾華里、山溪里、三芝區圓山里近大屯山區一帶產生次極值，為特別需要關注之處。A-2 類型(圖 2.2.13)當中，由於高壓出海後位置較為靠近台灣的東北部海面，有南風出現，由風花圖可看到有南風時，風速較小，擴散不易，因此往北方的累積明顯，且與西邊的大屯山區交互作用較少，因而沒有明顯的次極值產生。

B-1 類型(圖 2.2.14)為東北風持續影響的一周，風向以東北風為主，在風花圖中東北風頻率達到近 90%，累積劑量達 50mSv 以上的劑量主要影響的區域為新北市萬里區的野柳里、磺溪里、雙興里、溪底里。B-2 類型(圖 2.2.15)為當高壓從山東半島移出時，東北風碰到核二廠南方之風向，受到雪山山脈阻擋，東風分量增加，接著劑量會受到大屯山的阻擋，風速減弱，因而有累積的情形，與 B-1 類型之風花圖相比，風向變化較多，確有東北東風的出現，而累積劑量達 50mSv 以上的劑量主要影響的區域為新北市萬里區的野柳里、磺溪里、雙興里、溪底里，金山區的重和里，而台北市士林區的菁山里、平等里和溪山里距核二廠 10 公里以上，其影響程度為距核二廠 10 公里處的一半。類型 C(圖 2.2.16)，與類型 B-2 有點類似，但是因為東北風影響時間短暫，東風的影響更明顯的狀態下，除了大屯山群山凹處有累積之外，在大屯山西側也有累積，由風花圖可明顯看出這類型的劑量累積由東風系的風場主宰，累積劑量達 50mSv 以上的劑量主要影響的區域為新北市萬里區的野柳里、磺溪里、雙興里、溪底里，金山區的重和里、五湖里，而台北市士林區的菁山里、平等里和溪山里部分區域距核二廠 10 公里以上，其影響程度為距核二廠 10 公里處的一半。新北市三芝區的圓山里和店子里。

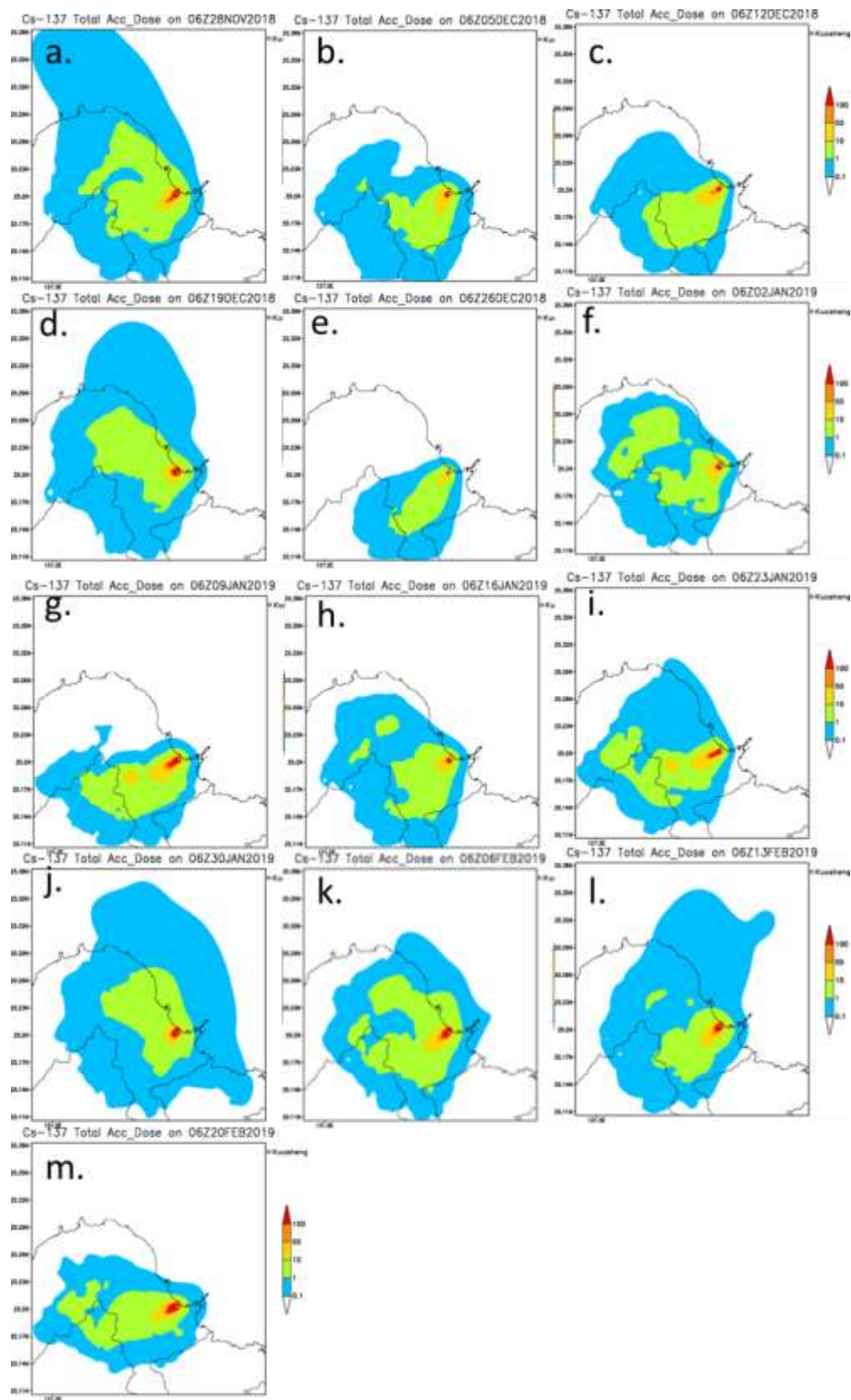


圖 2.2.10 核二廠冬季，自 2018 年 11 月 28 日至 2019 年 2 月 26 日 Cs-137 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

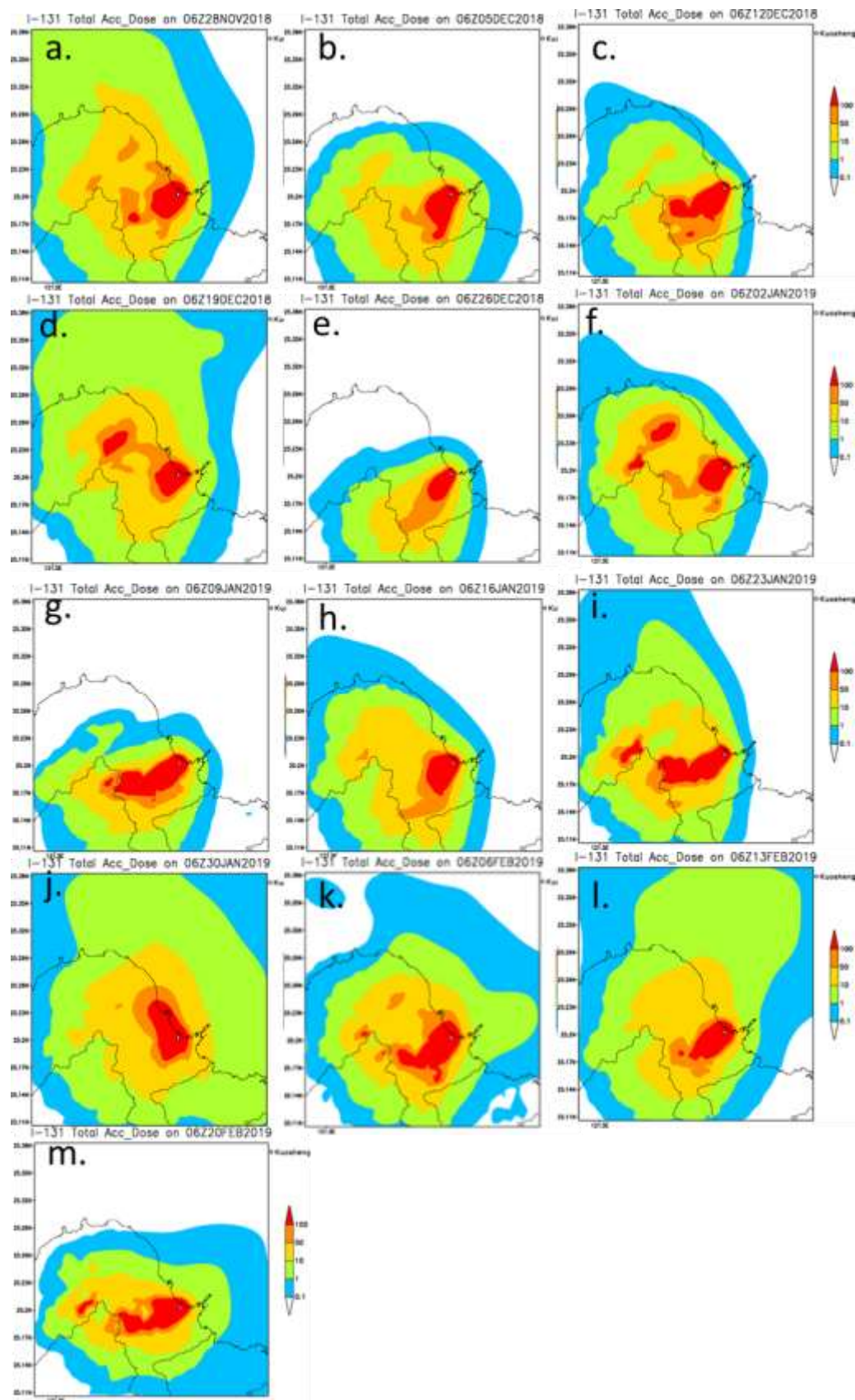


圖 2.2.11 核二廠冬季，自 2018 年 11 月 28 日至 2019 年 2 月 26 日 I-131 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

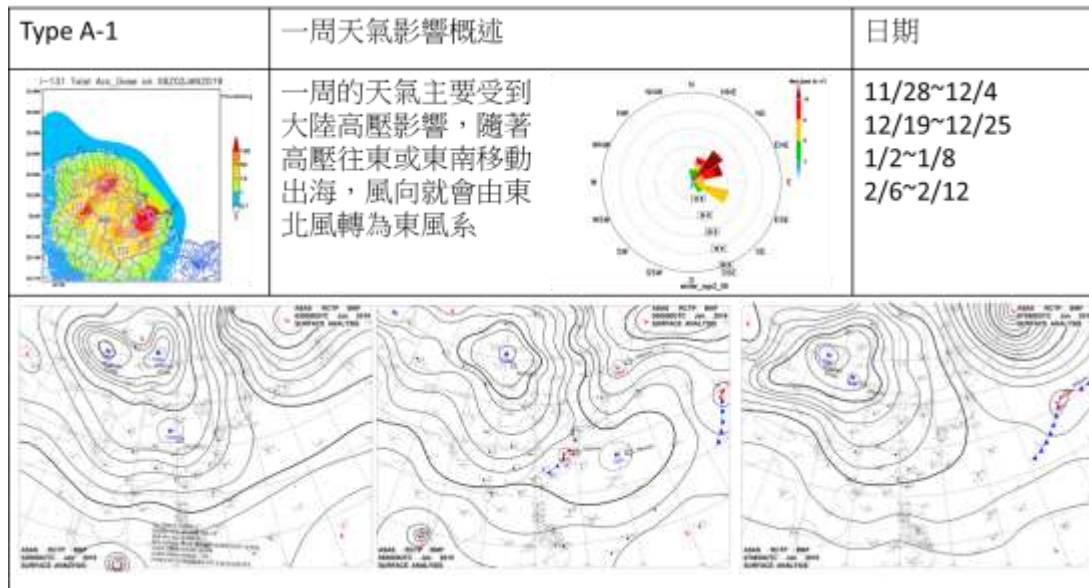


圖 2.2.12 2019 年核二廠冬季，劑量分布類型 A-1，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

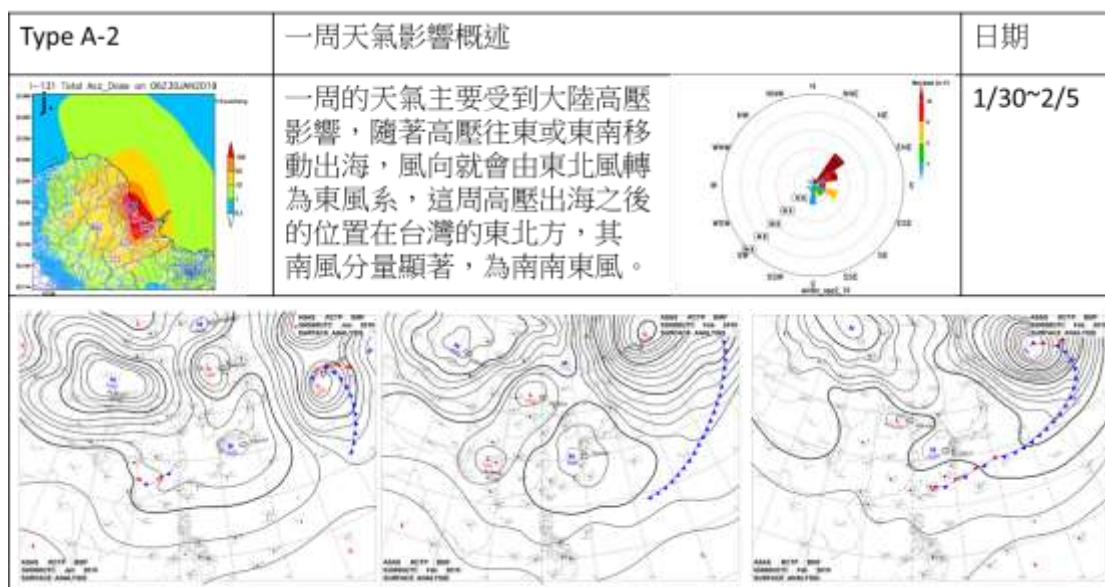


圖 2.2.13 2019 年核二廠冬季，劑量分布類型 A-2，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

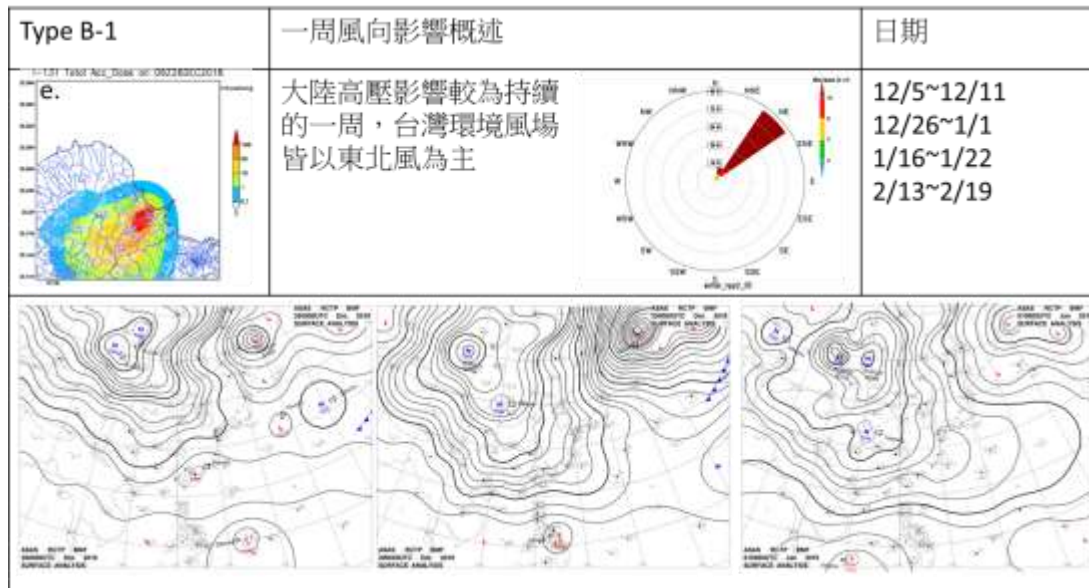


圖 2.2.14 2019 年核二廠冬季，劑量分布類型 B-1，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

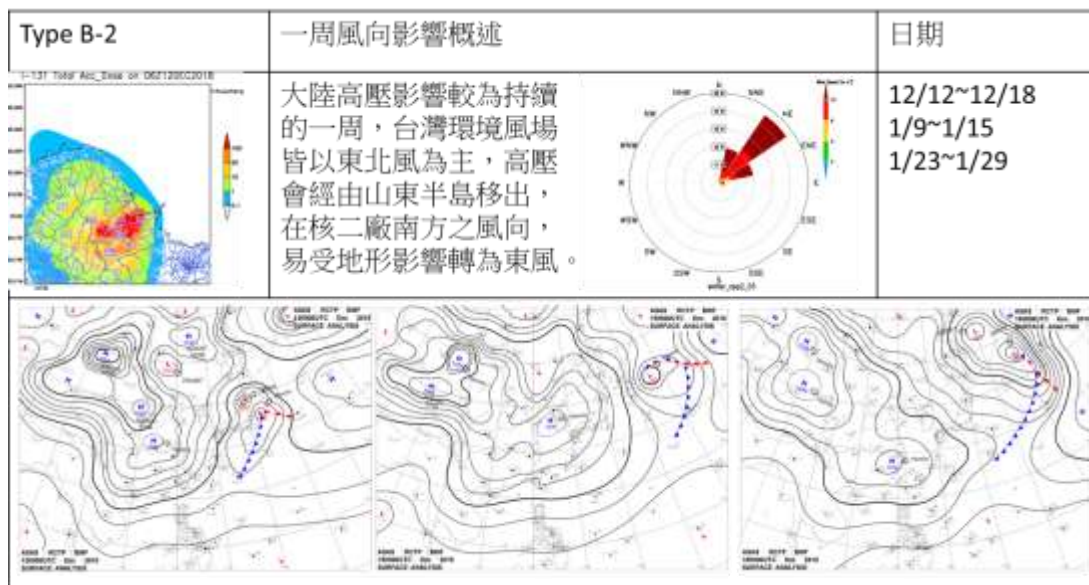


圖 2.2.15 2019 年核二廠冬季，劑量分布類型 B-2，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

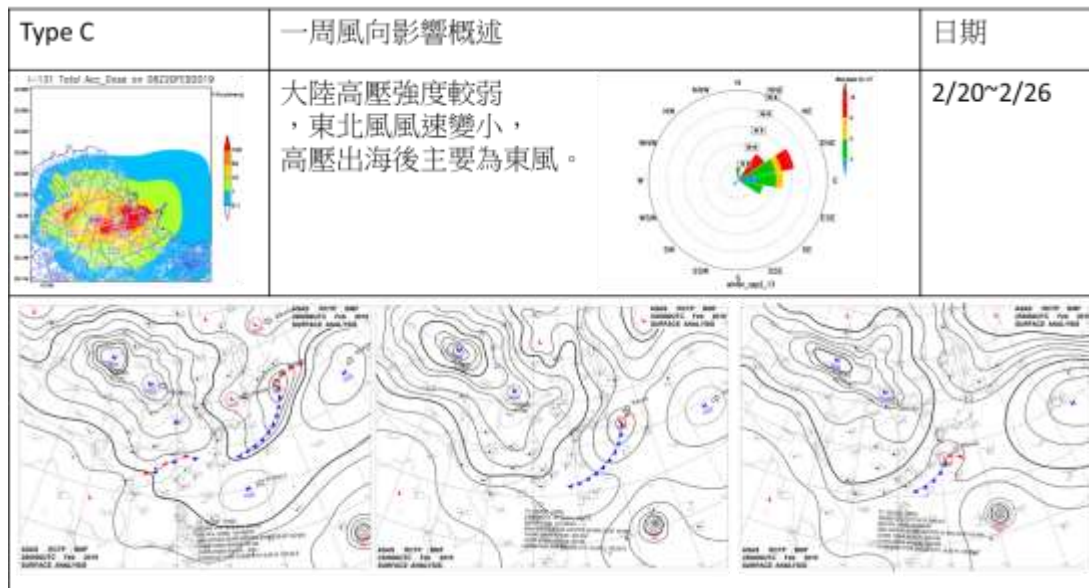


圖 2.2.16 2019 年核二廠冬季，劑量分布類型 C，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。



圖 2.2.17 由內政部國土測繪中心之國土測繪圖資服務雲所框選出核三廠 250 公尺解析度之劑量評估系統模擬範圍之電子地圖，底圖為台灣地區通用電子地圖，加上了村里界之圖層。

圖 2.2.17 為核三廠 250 公尺解析度之劑量評估系統模擬範圍之電子地圖加上了村里界之圖層，由內政部國土測繪中心之國土測繪圖資服務雲所框選。在核三廠的冬季，主要亦是受到東北風影響，劑量多是往海面方向擴散，而劑量較不連續分布之處，是由於單純風場加速減速造成的，與地形較無密切關係。核三廠各周 7 天累積劑量，Cs-137 和 I-131 如圖 2.2.18 與圖 2.2.19 所示。而核三廠與核一廠大致分為三個類型。類型 A(圖 2.2.20)，是大陸高壓影響後，受高壓出海影響的情形，不同於北部地區高壓出海轉為東風系，墾丁地區仍為東北風，由風花圖可看到此類型的風象主要為強勁東北風與東北東風的組合。在核三廠西南邊靠近海岸線，也就是屏東縣恆春站水源里的位置，風速減弱，有劑量累積的情形。類型 B(圖 2.2.21)為純粹東北風影響的類型，風花圖主要為將近 70%的東北風和 30%左右的北北東風組成。在墾丁地區風速頗大，擴散條件良好，50mSv/hr 以上的劑量只影響到恆春鎮的南灣里、大光里和龍水里。類型 C(圖 2.2.22)東北風影響時間短，東風頻率較高的天氣，風花圖中可看到風向主要都是東風系，包含東北風到東南風，50mSv/hr 以上的劑量影響的地區有恆春鎮的南灣里、大光里、山海里、水泉里和龍水里。

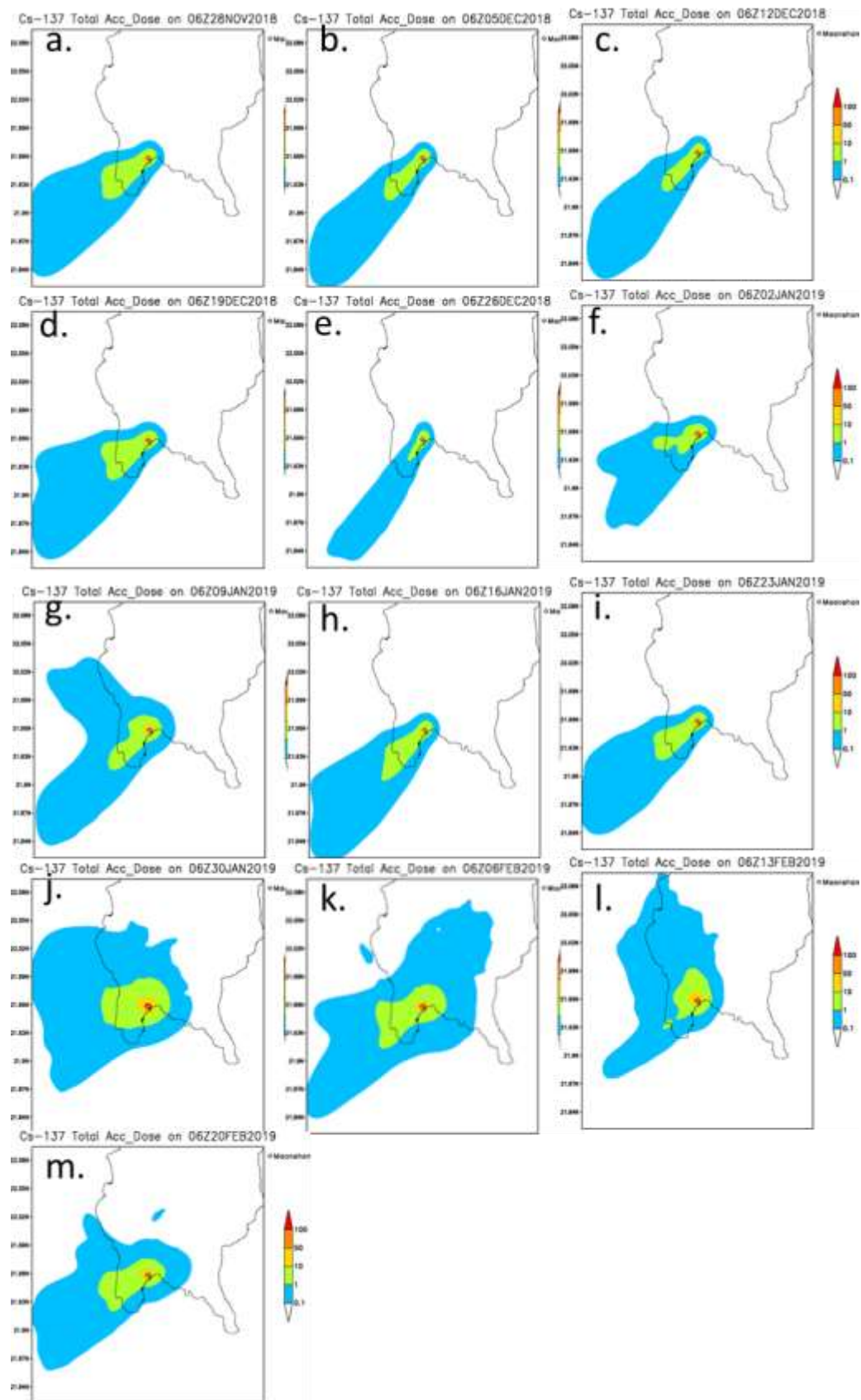


圖 2.2.18 核三廠冬季，自 2017 年 11 月 29 日至 2018 年 2 月 27 日 Cs-137 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)

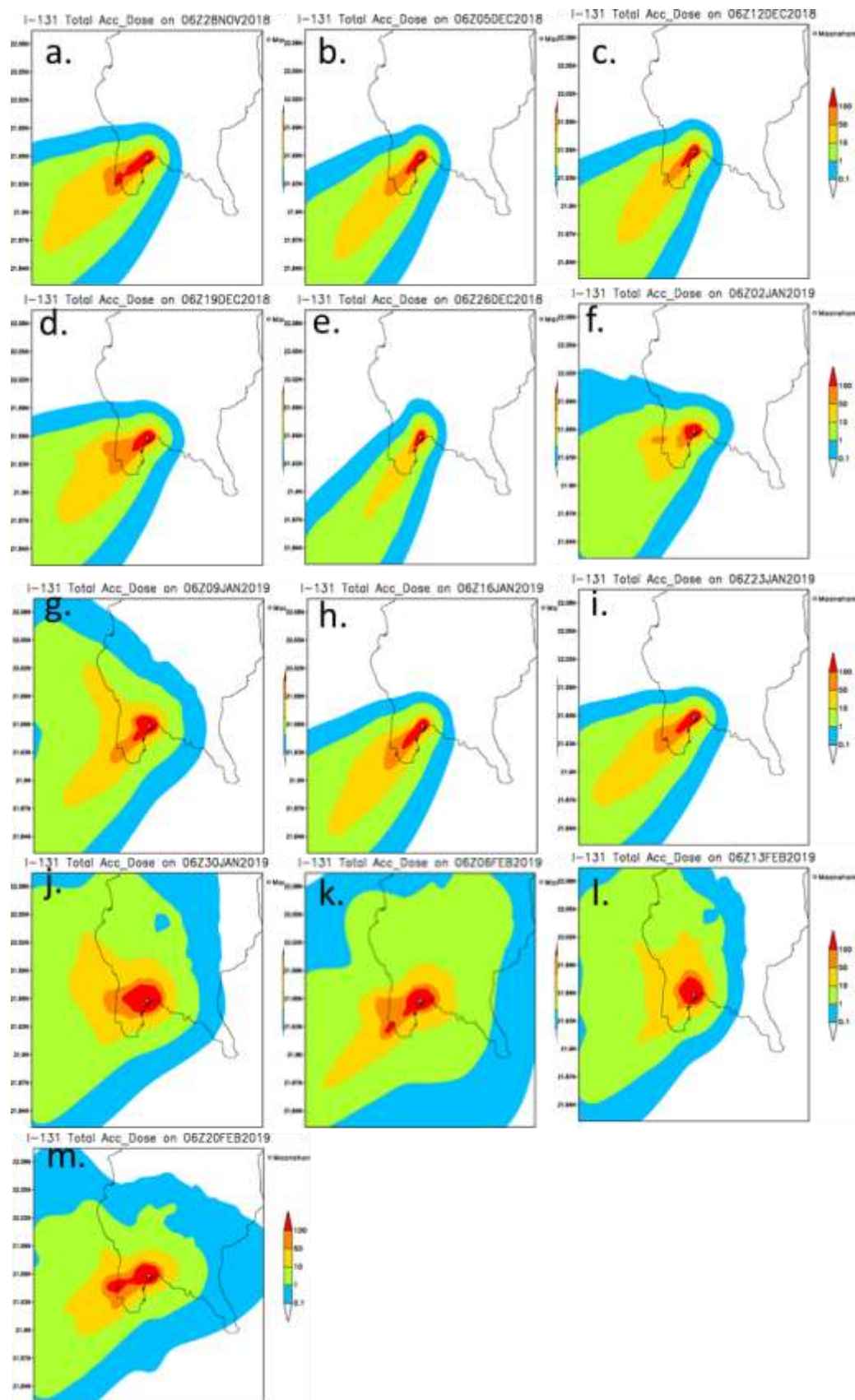


圖 2.2.19 核三廠冬季，自 2017 年 11 月 29 日至 2018 年 2 月 27 日 I-131 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

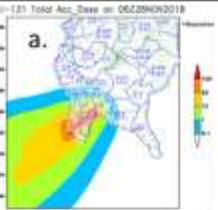
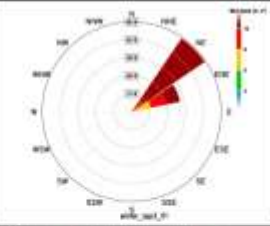
Type A	一周天氣影響概述	日期
	一周的天氣主要受到大陸高壓影響，隨著高壓往東或東南移動出海，風向就會由東北風轉為東風系 	11/28~12/4 1/2~1/8 2/6~2/12 2/20~2/26
		

圖 2.2.20 2019 年核一廠冬季，劑量分布類型 A，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

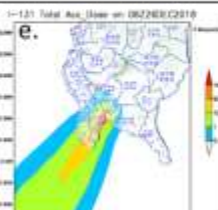
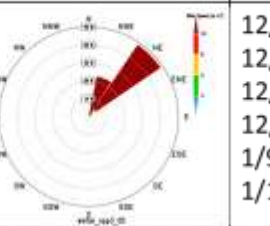
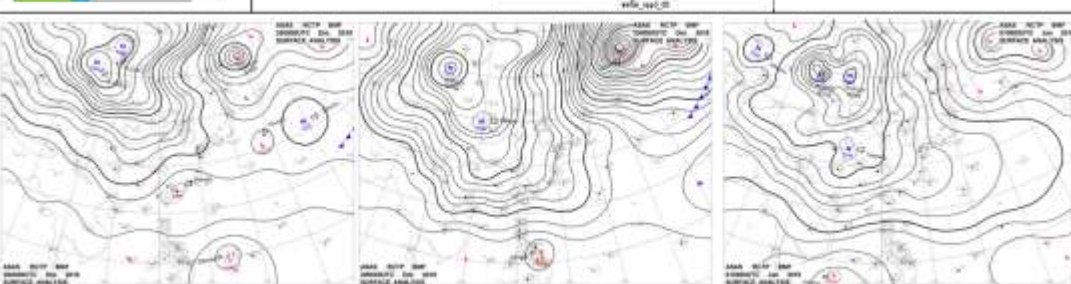
Type B	一周風向影響概述	日期
	大陸高壓影響較為持續的一周，台灣環境風場皆以東北風為主 	12/5~12/11 12/12~12/18 12/19~12/25 12/26~1/1 1/9~1/15 1/16~1/22、1/23~1/29
		

圖 2.2.21 2019 年核一廠冬季，劑量分布類型 A，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

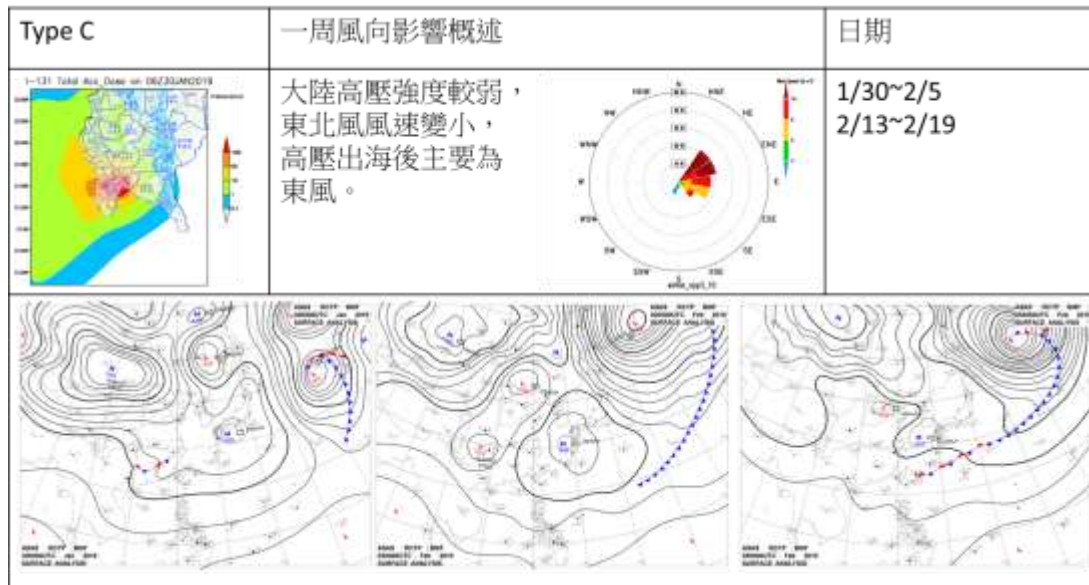


圖 2.2.222 2019 年核一廠冬季，劑量分布類型 A，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

福清電廠目前只有針對半衰期較長的 Cs-137 進行每日例行的模擬，但為了達到福島事件的等級，其釋放的劑量較核一~核三廠的 Cs-137 大 10 倍，另外，福清電廠之假想模擬僅有兩層網格，外層為全球 0.5 度的解析度，內層為涵蓋台灣地區的 2.5 公里解析度，因此，此處以 2.5 公里解析度的模擬結果進行討論，其冬季各周 Cs-137 的累積劑量分布如圖 2.2.23。

由於福建地區沿海多為丘陵，風向變化多沿著地形，為東北風或西南風，因此，在冬季共分為兩類，類型 A(圖 2.2.24)，主要受到大陸高壓影響，隨著高壓往東或東南移動出海，風向就會由東北風轉為東風系，但福建地區受地形影響，仍為東北風，風花圖中顯示為大量的北北東風與東北風的組合，劑量多往福清電廠之西南方傳送。類型 B(圖 2.2.25)，在冷高壓南下時，為東北風，當高壓出海空檔較長時有東南風出現，但受福建地形影響轉為西南風，風花圖中也可看到大約 20% 的西南風出現的頻率，因此此類型之劑量分布分別往福清電廠的

東北與西南邊分布。

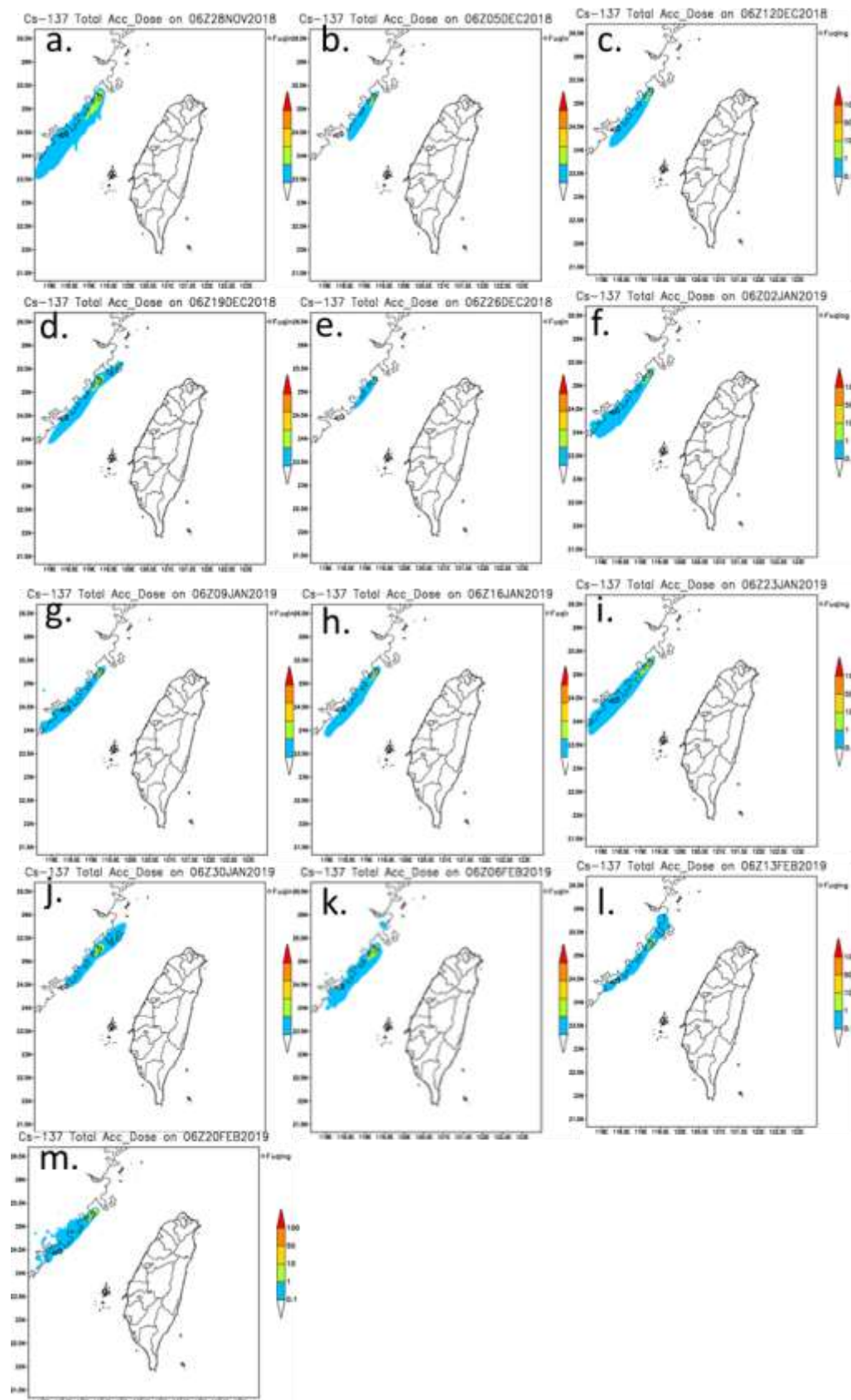


圖 2.2.23 福清電廠冬季，自 2018 年 11 月 28 日至 2019 年 2 月 26 日 Cs-137 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

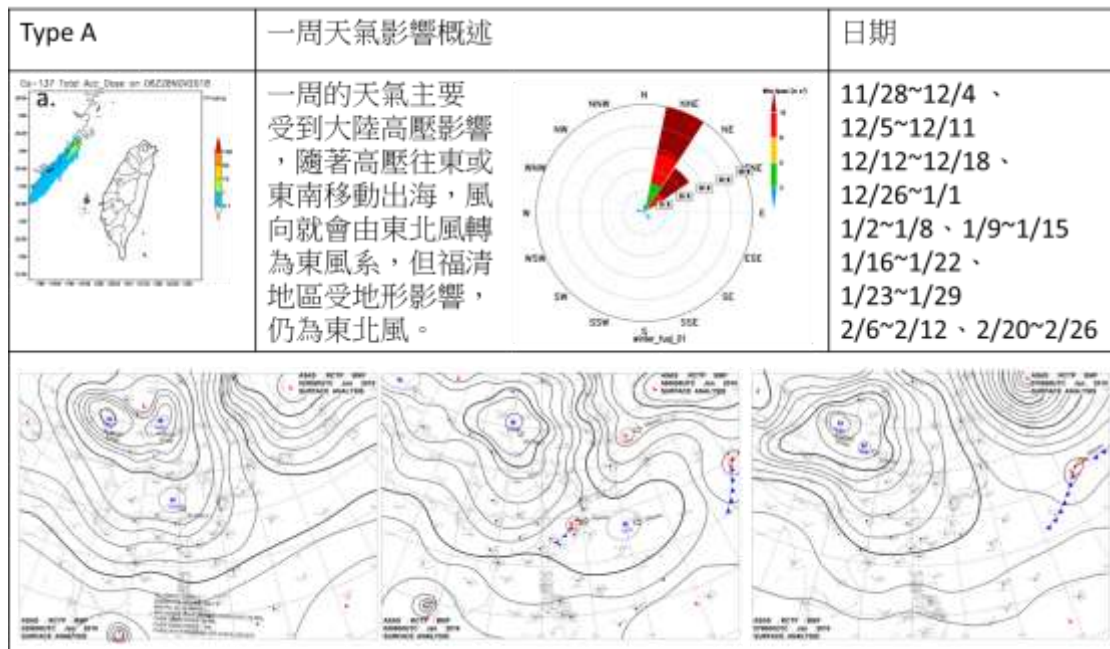


圖 2.2.24 2019 年福清電廠冬季，劑量分布類型 A，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

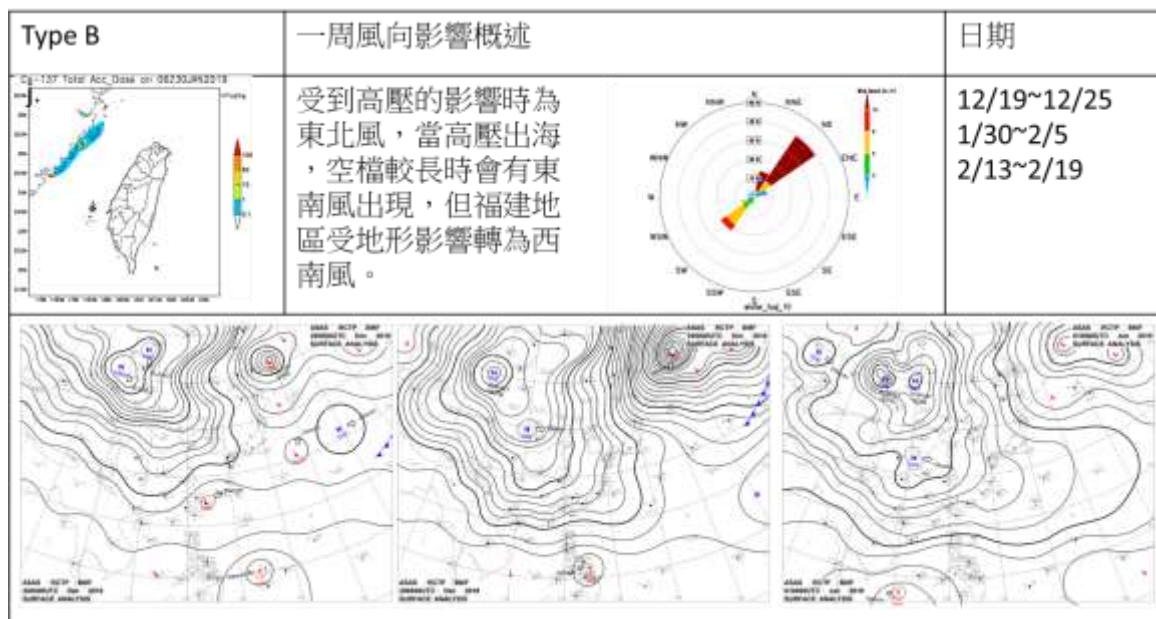


圖 2.2.25 2019 年福清電廠冬季，劑量分布類型 B，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

2. 春季案例探討

在春季時，北部地區東北風的發生頻率降低，南風分量增多，多了許多東南風發生，更甚者有代表夏季型態的西南風出現，但頻率仍低，圖 2.2.26 和圖 2.2.27 分別為核一廠 Cs-137 和 I-131 在春季各周的累積劑量分布。核一廠在春季風場的條件下，共分為 4 個類型，類型 A(圖 2.2.28)，主要仍受東北季風影響，劑量往核一廠的西南方移動，50mSv 以上的 7 天累積劑量影響的區域有，新北市的石門區草里里、茂林里、乾華里、尖鹿里、石門里、山溪里、老梅里，三芝區埔坪里、茂長里、橫山里。類型 B(圖 2.2.29)，春季的高壓減弱，東北風風速變小，且發生頻率降低，主要受高壓出海的東風影響，劑量多往核一廠的西邊傳送，影響了新北市石門區的草里里、茂林里、前華里、尖鹿里、石門里、山溪里、富基里。類型 C(圖 2.2.30)，此類型的天氣為鋒面通過台灣之後，台灣接著受大陸高壓影響，在鋒面通過以南風為主，接著高壓影響時則為東北風，而高壓出海後，影響台灣的亦為東風。因此劑量的分布是往核一廠的西北、西、西南方擴散，7 天累積劑量達 50mSv 的範圍影響了新北市的石門區由茂林里往西，直到富基里，以及三芝區的橫山里。類型 D(圖 2.2.31)，當滯留鋒在台灣北部海面上時，台灣地區受西南風影響，北部地區為西南風或西風，其劑量分布的特色，多往核一廠的附近及東方傳送，7 天累積劑量達 50mSv 以上的範圍影響了新北市石門區由山溪里往東至草里里，以及金山區的永興里。

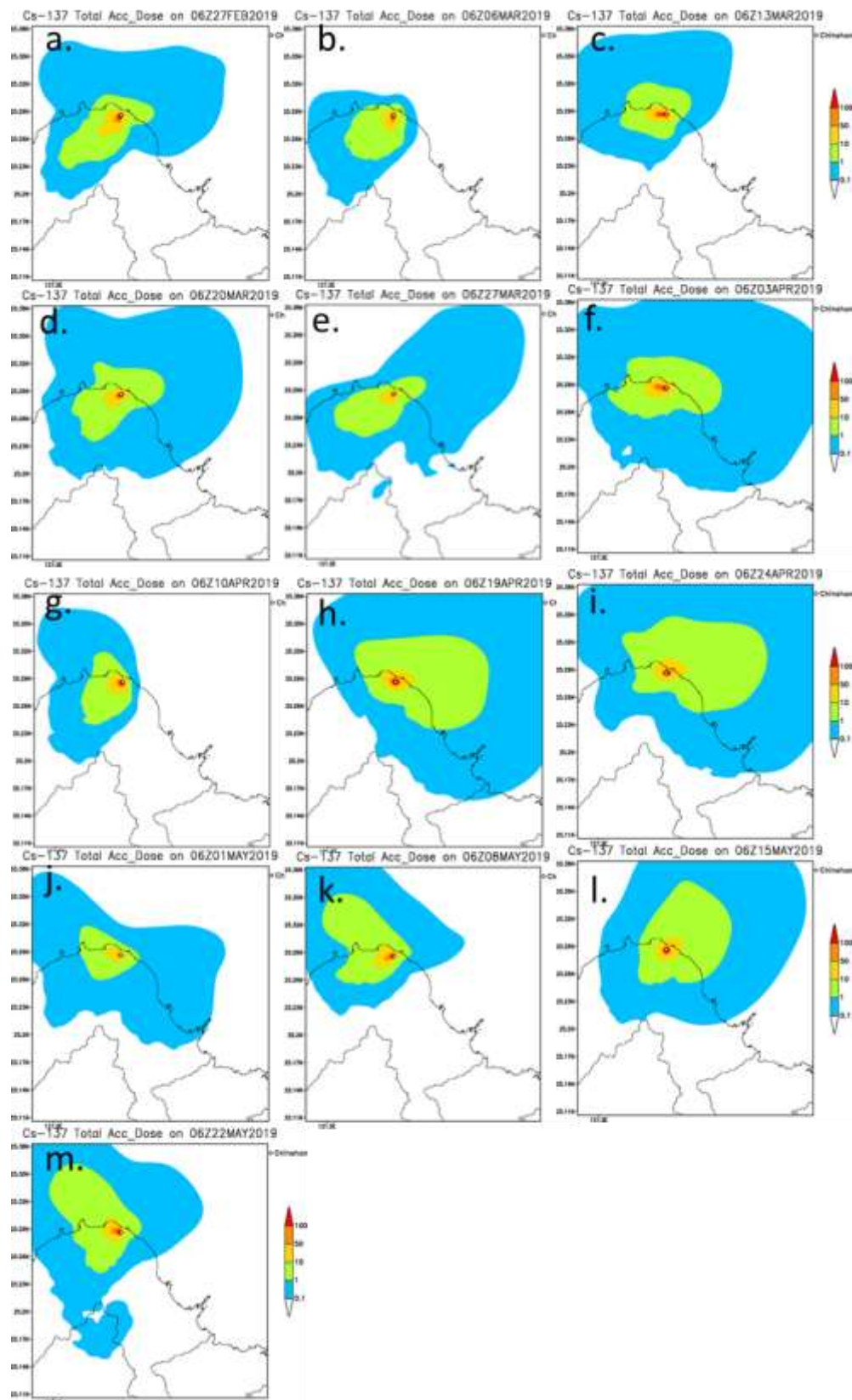


圖 2.2.26 核一廠春季，自 2019 年 2 月 27 日至 2019 年 5 月 28 日 Cs-137 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

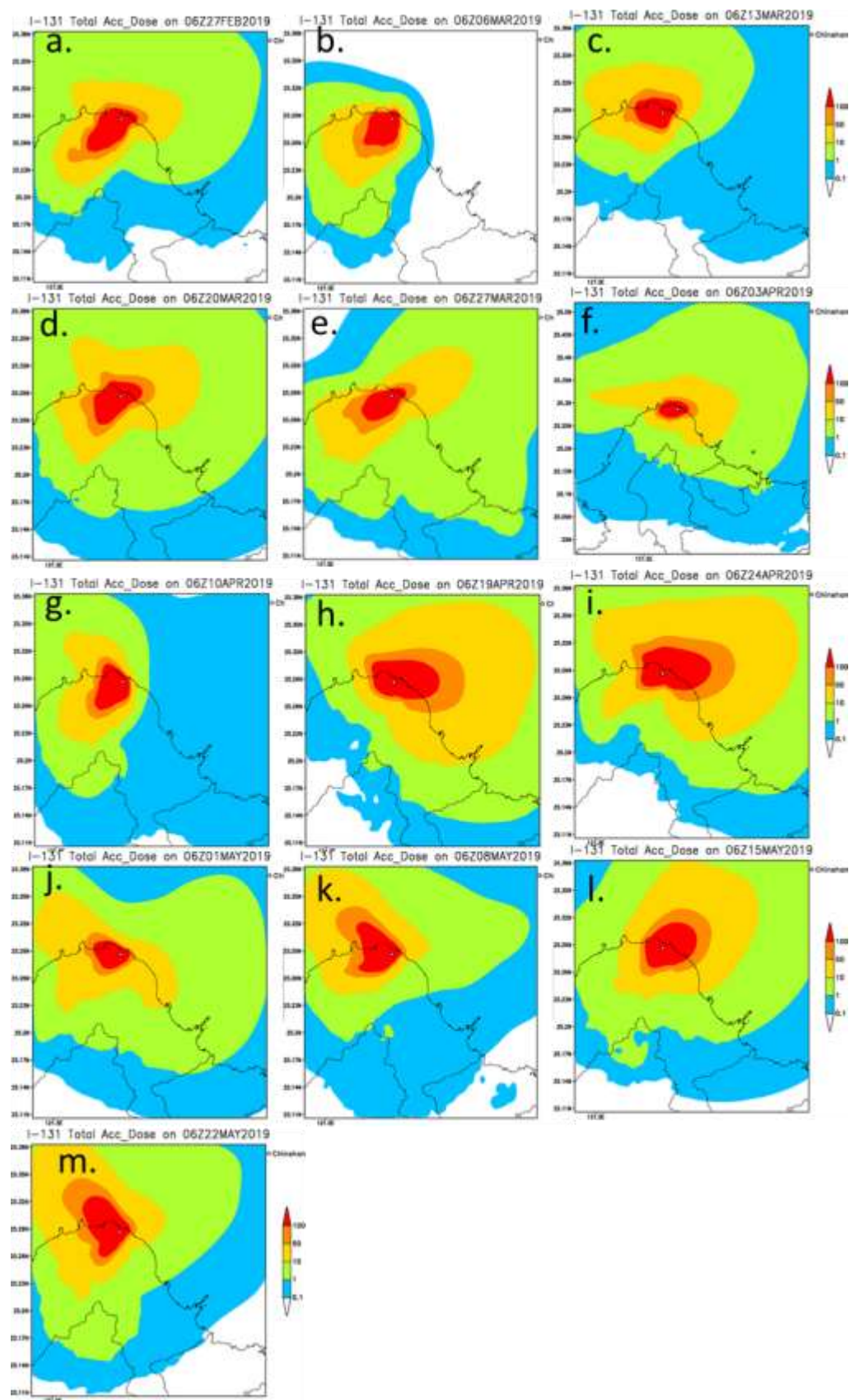


圖 2.2.27 核一廠春季，自 2019 年 2 月 27 日至 2019 年 5 月 28 日 I-131 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

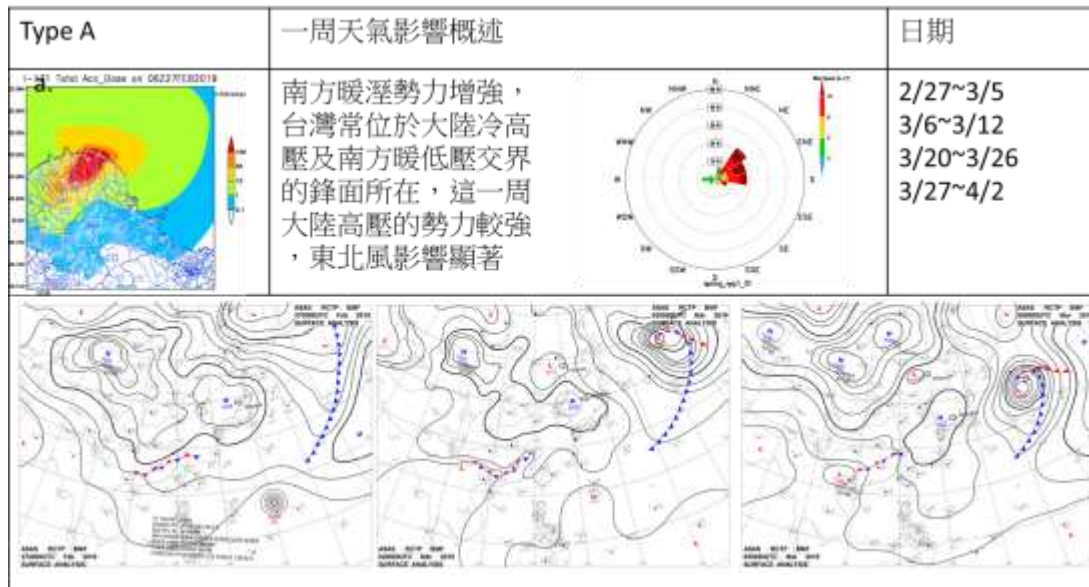


圖 2.2.28 2019 年核一廠春季，劑量分布類型 A，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

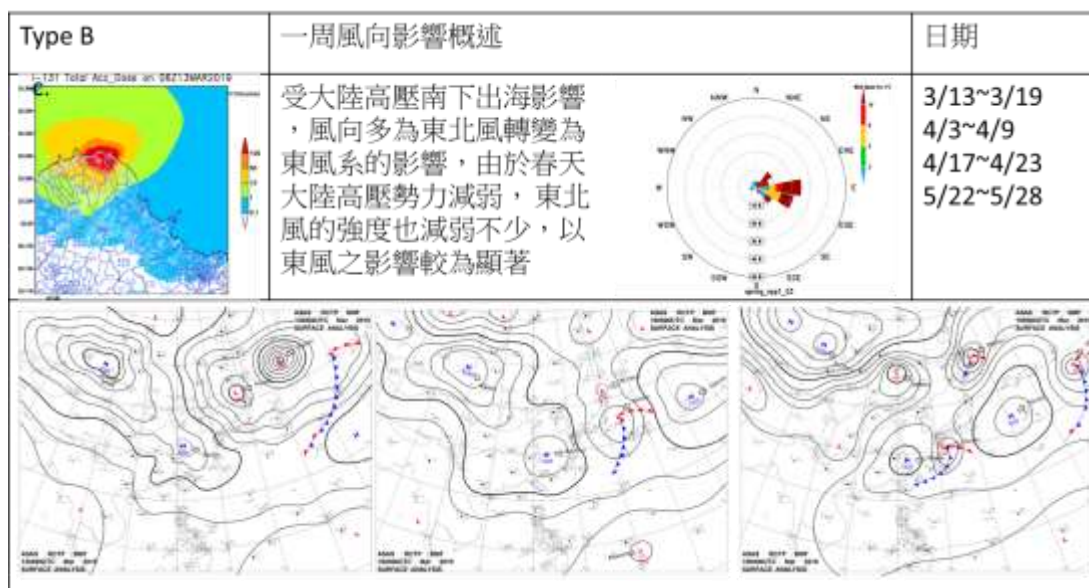


圖 2.2.29 2019 年核一廠春季，劑量分布類型 B，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

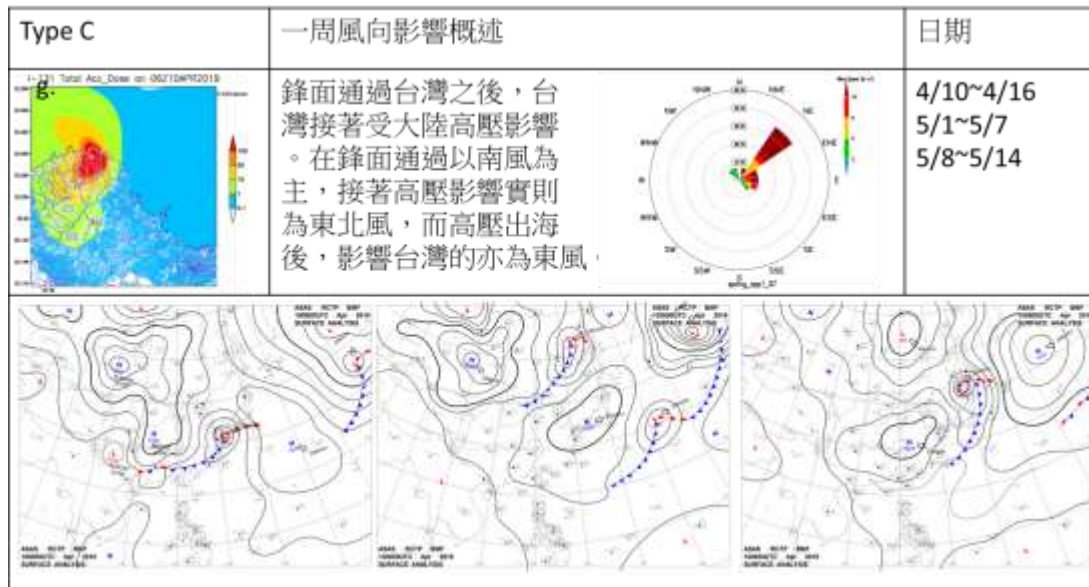


圖 2.2.30 2019 年核一廠春季，劑量分布類型 C，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

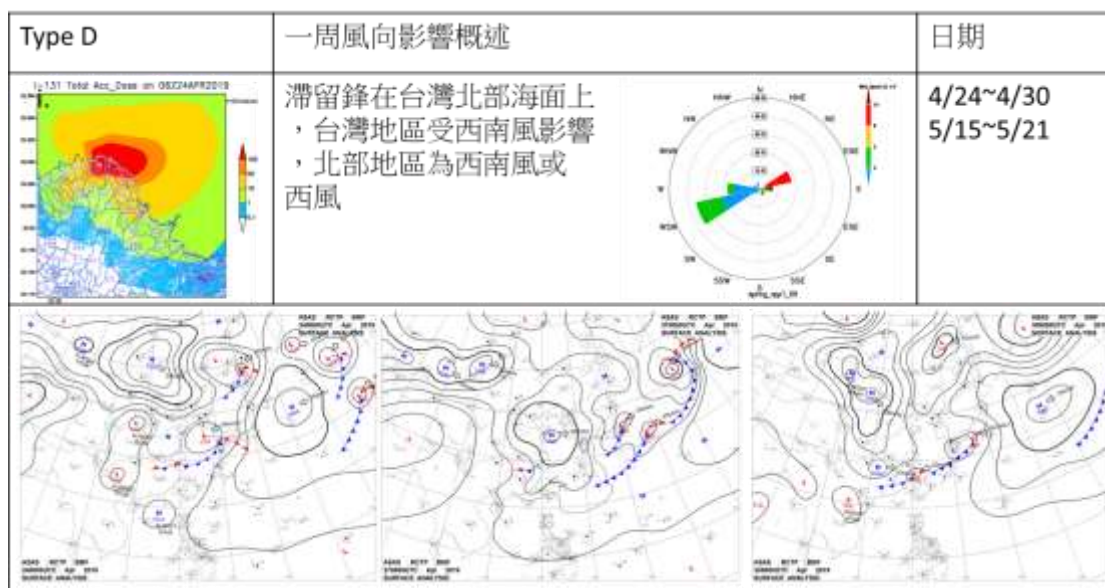


圖 2.2.31 2019 年核一廠春季，劑量分布類型 D，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

核二廠 Cs-137 和 I-131 的春季劑量累積分部如圖 2.2.32 和圖 2.2.33，因為春季多了較多的南風分量，7 天的劑量累積情況會較冬季多往海面上分布。核二廠的分類與冬季時相同，與同在北部核一廠有著相同的環境風場，但由於核二廠所在位置與地形交互作用明顯，因此在核二廠時，天氣系統的分類會更為仔細，以核一廠分類為基礎，再分出細項來，共有 7 個分類。A-1 類型(圖 2.2.34)，春季仍有受高壓影響較多之天氣類型，主要為東北風，累積劑量達 50mSv 以上的地區，有新北市萬里區大鵬里、野柳里、龜吼里、雙興里、磺潭里以及金山區重和里。A-2 類型(圖 2.2.35)，南方暖溼勢力增強，台灣常位於大陸冷高壓及南方暖低壓交界的鋒面所在，高壓的空檔較久，故東北風和東風的天數各約一半。累積劑量達 50mSv 以上的地區，有新北市萬里區大鵬里、野柳里、龜吼里、雙興里、磺潭里、坎腳里、中幅里。B-1 類型(圖 2.2.36)，受大陸高壓南下出海影響，風向多為東北風轉變為東風系的影響，由於春天大陸高壓勢力減弱，東北風的強度也減弱不少，以東風之影響較為顯著，劑量累積達 50mSv 以上的地區，有新北市萬里區大鵬里、野柳里、雙興里、磺潭里，金山區五湖里、金美里、磺港里、清泉里、三界里、六股里、兩湖里、乾華里、茂林里、重和里。B-2 類型(圖 2.2.37)，與 B-1 類型相似，但其中 1~2 天副熱帶高壓影響，故北部東南風較盛。劑量累積達 50mSv 以上的地區，有新北市萬里區龜吼里、中幅里、野柳里、大鵬里、雙興里、磺潭里，金山區磺港里、金美里、清泉里、五湖里、六股里、三界里。類型 C-1(圖 2.2.38)，鋒面通過台灣之後，台灣接著受大陸高壓影響。在鋒面通過以南風為主，接著高壓影響時則為東北風，而當高壓出海的位置在長江以南，台灣仍為東北風。劑量累積達 50mSv

以上的地區，有新北市萬里區龜吼里、野柳里、大鵬里、雙興里、磺潭里。類型 C-2(圖 2.2.39)，與類型 C-1 相似，但高壓出海的位置在長江以北，在台灣地區的風向則為東風系，使得在核二廠西北方的大屯山區會有劑量的次極值產生。劑量累積達 50mSv 以上的地區，有新北市萬里區龜吼里、野柳里、大鵬里、雙興里、磺潭里，金山區的五湖里、金美里，次極值累積同樣達 50mSv 以上的地區，有金山區重和里、兩湖里，石門區乾華里、三芝區圓山里。類型 D(圖 2.2.40)，滯留鋒在台灣北部海面上，台灣地區受西南風影響，北部地區為西南風或西風，劑量主要往海面上擴散，劑量累積達 50mSv 的地區，有新北市萬里區龜吼里、野柳里、大鵬里、雙興里、磺潭里，金山區豐漁里、磺港里、美田里、金美里、萬壽里、清泉里、豐漁里。

。

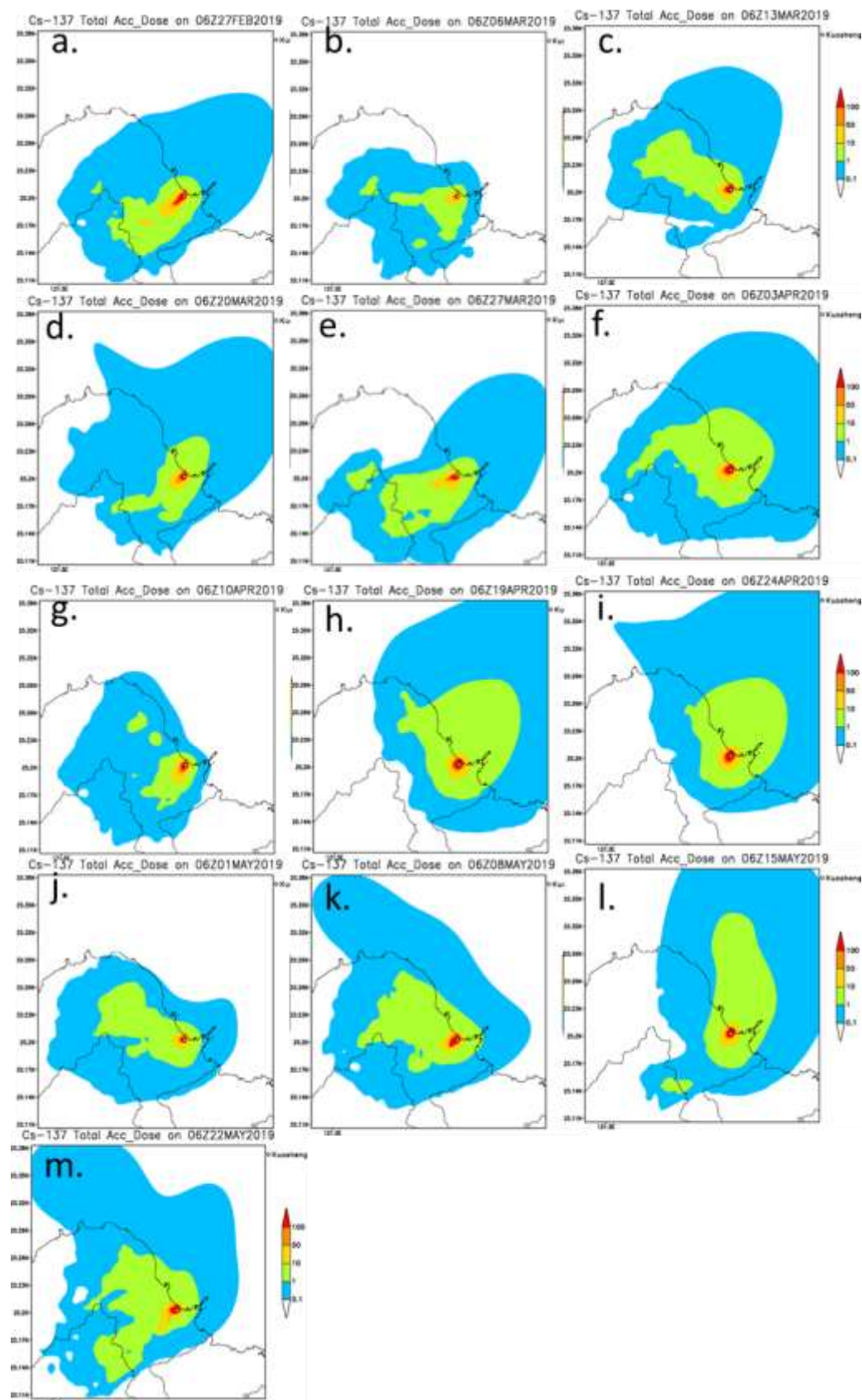


圖 2.2.32 核二廠春季，自 2019 年 2 月 27 日至 2018 年 5 月 28 日 Cs-137 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

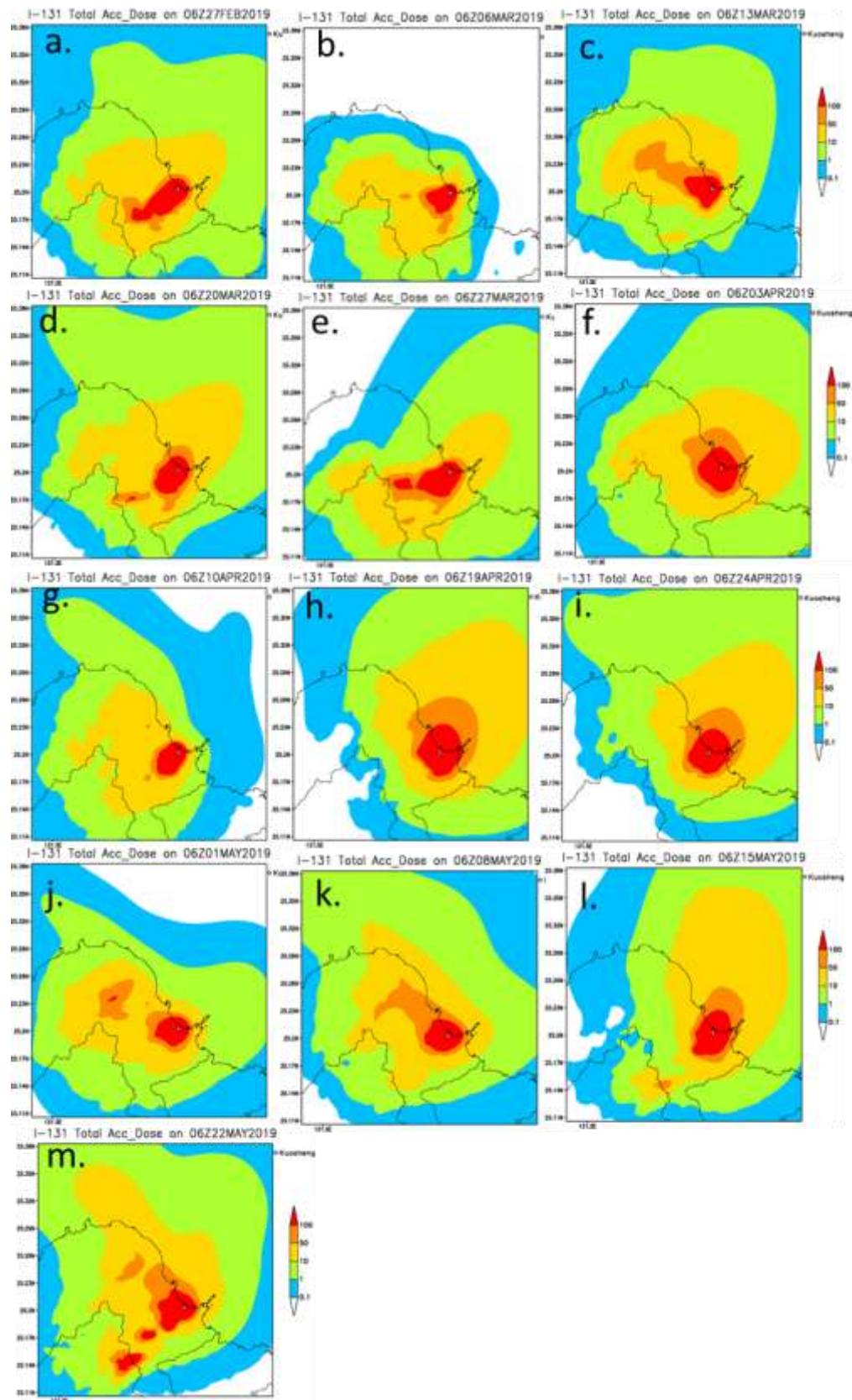


圖 2.2.33 核二廠春季，自 2019 年 2 月 27 日至 2019 年 5 月 28 日 I-131 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

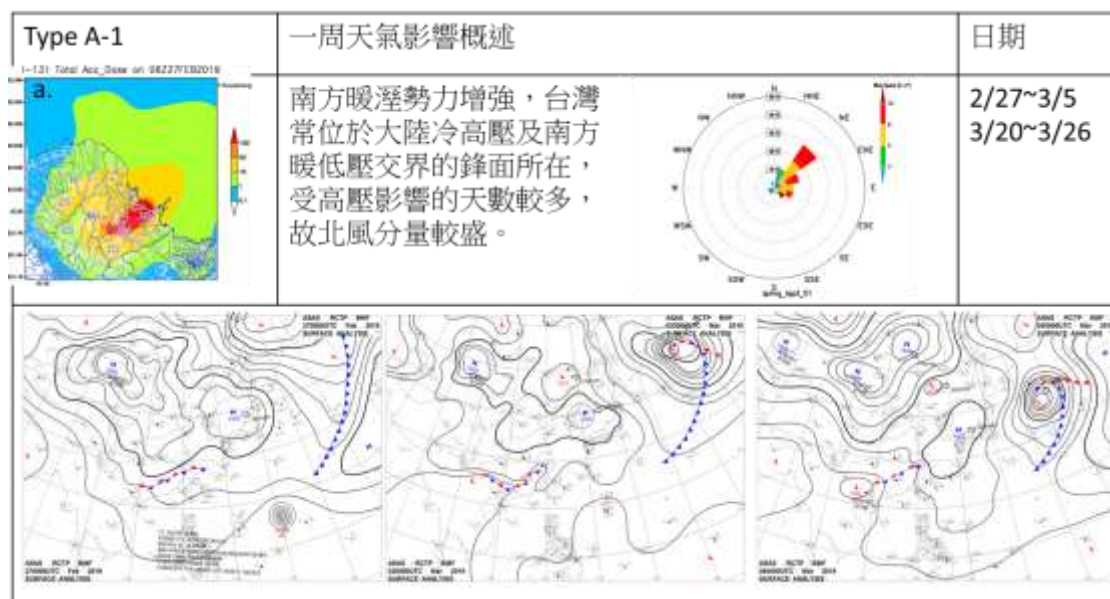


圖 2.2.34 2019 年核二廠春季，劑量分布類型 A-1，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

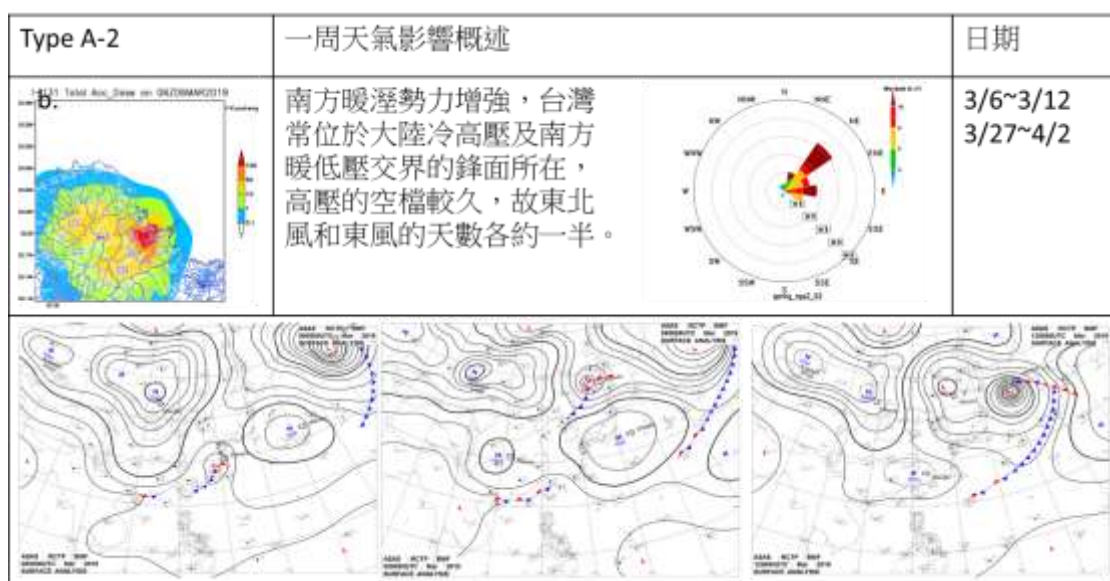


圖 2.2.35 2019 年核二廠春季，劑量分布類型 A-2，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

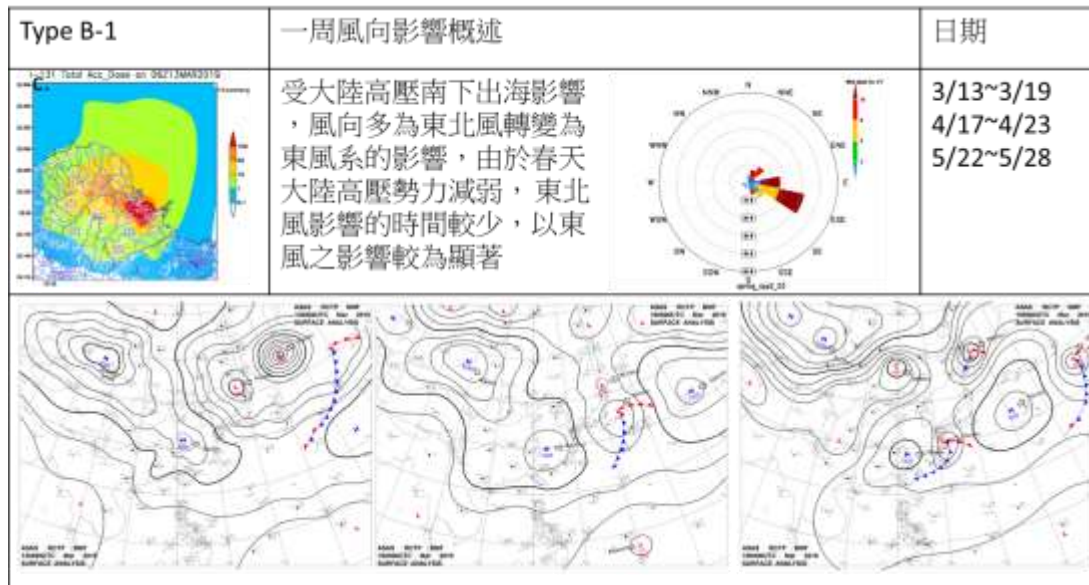


圖 2.2.36 2019 年核二廠春季，劑量分布類型 B-1，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

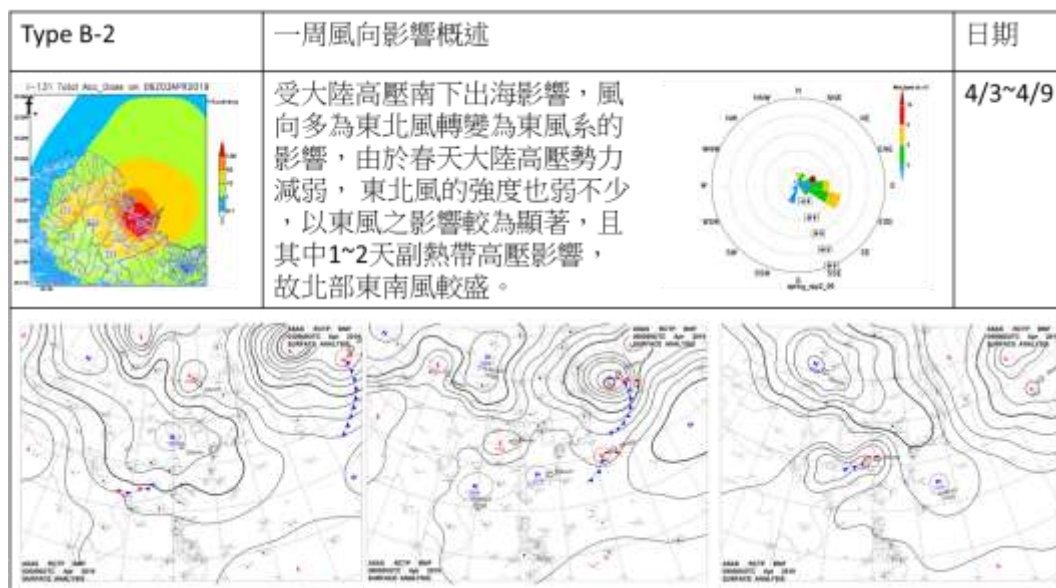


圖 2.2.37 2019 年核二廠春季，劑量分布類型 B-2，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

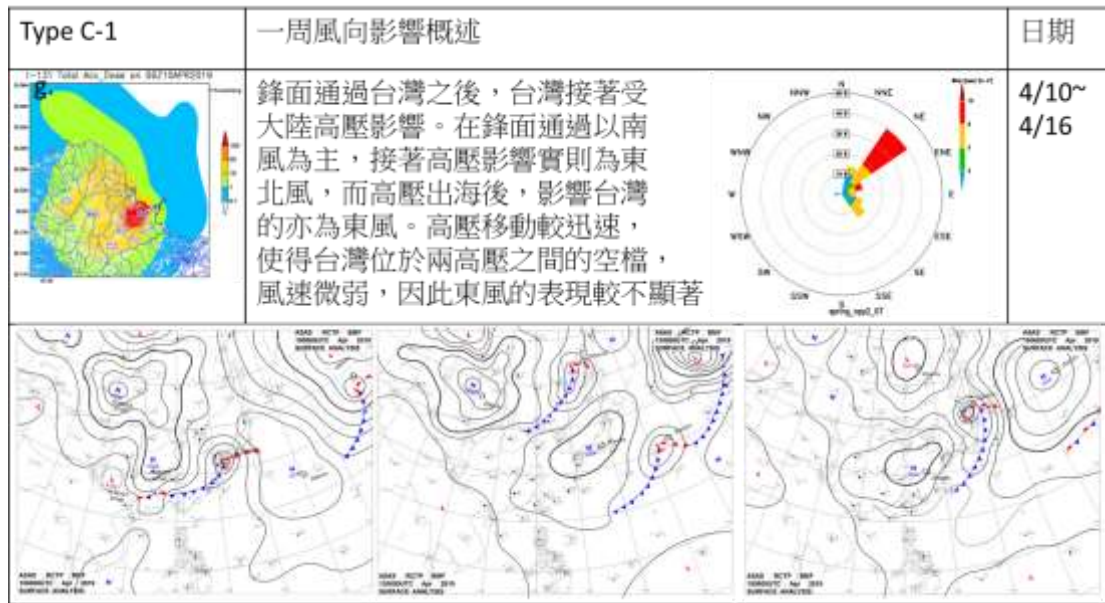


圖 2.2.38 2019 年核二廠春季，劑量分布類型 C-1，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

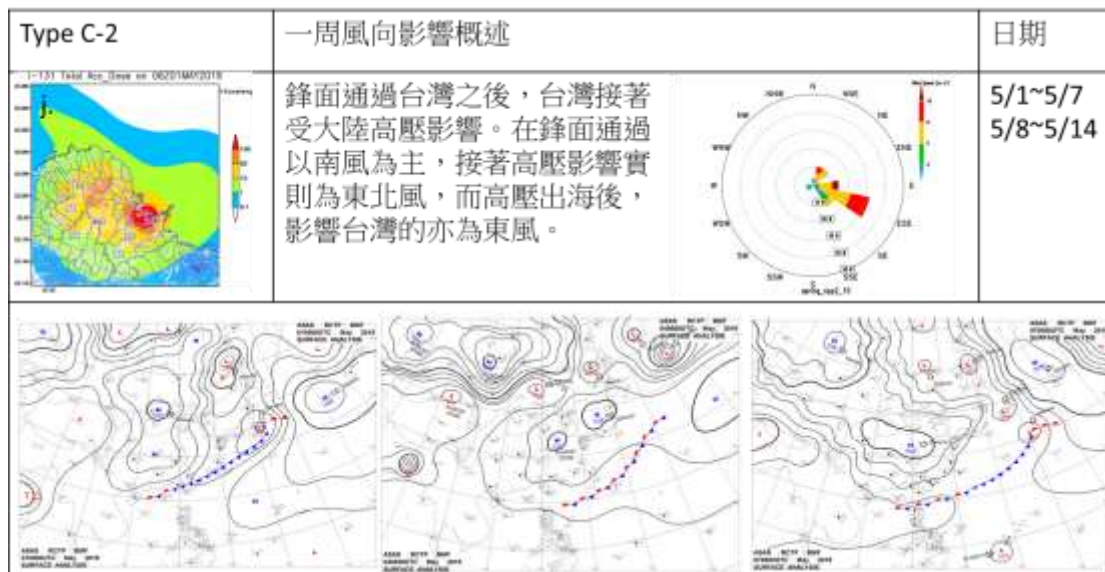


圖 2.2.39 2019 年核二廠春季，劑量分布類型 C-2，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

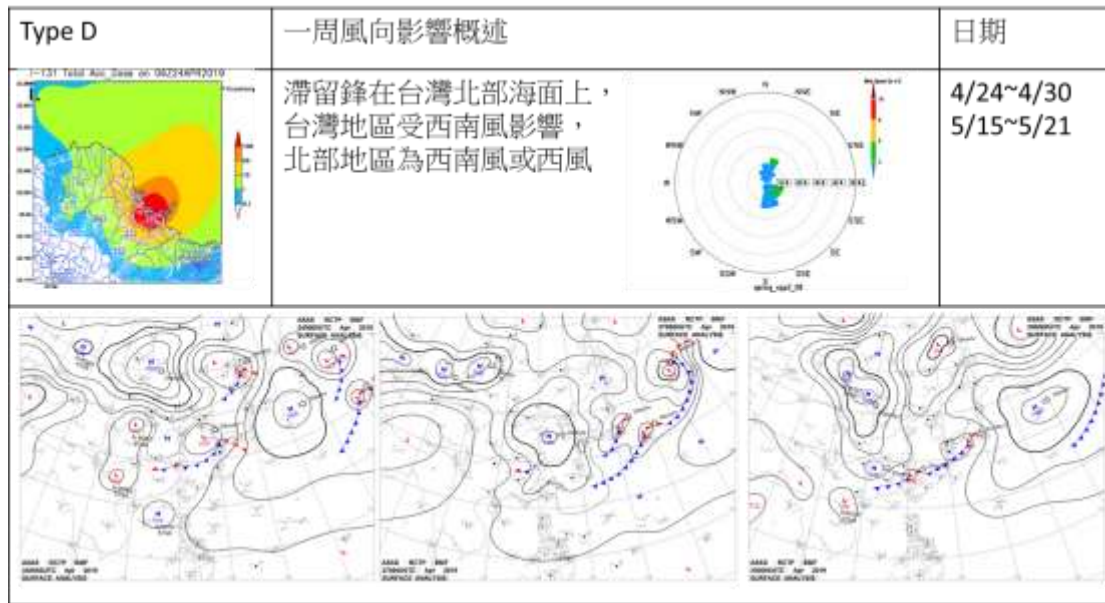


圖 2.2.40 2019 年核二廠春季，劑量分布類型 D，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

核三廠春季 Cs-137 和 I-131 每周劑量累積如圖 2.2.41 和圖 2.2.42，仍以東北風為主，次為東風，也有一些西南風的出現，風向變化多，共分為 4 個類型。類型 A(圖 2.2.43)，南方暖溼勢力增強，台灣常位於大陸冷高壓及南方暖低壓交界的鋒面所在，這一周大陸高壓的勢力較強，東北風影響顯著。在墾丁地區雖以東風和東北風為主，但風速較小，因此劑量的分布以核三廠附近影響較多，7 天累積劑量達 50mSv 以上的地區包含了，屏東縣恆春鎮的墾丁里、南灣里、龍水里、大光里、山海里、水泉里。類型 B(圖 2.2.44)，大陸高壓強度較弱，東北風風速變小，高壓出海後盛行風為東風。墾丁地區仍依然是東北風，故劑量分布多往核三廠之西南方傳送，累積劑量達 50mSv 以上的地區可延伸到海上，陸地上影響的行政區域與類型 A 相同。類型 C(圖 2.2.45)，鋒面通過台灣之後，台灣接著受大陸高壓影響。在鋒面通過以南風為主，接著高壓影響時則為東北風，而高壓出海後，影響台灣

的亦為東風，而劑量即是往核三廠的西方傳送，累積劑量達 50mSv 以上的行政區域亦與類型 A 和 B 相同。類型 D(圖 2.2.46)，滯留鋒在台灣北部海面上，台灣地區受西南風影響，南部地區為西南風或西風，因此劑量往核三廠的東方傳送，7 天累積劑量達 50mSv 以上的地區包含了，屏東縣恆春鎮的墾丁里、南灣里、龍水里、大光里。

春季為冬天和夏天天氣系統轉換之際，北方和南方的系統消長快速，以致福清電廠地區之風向在東北風和西南風之間變化，圖 2.2.47 即為福清電廠 Cs-137 每周劑量累積分布。福清電廠的劑量分布一樣分為兩類。類型 A(圖 2.2.48)，風速較大時，在一周內同時受到北方和南方系統影響時，劑量往福清電廠之東北和西南方傳送。類型 B(圖 2.2.49)，大陸高壓影響時，風速較強，因此福清地區之放射性物質快速地被傳送出去，劑量分布累積較少，僅在核電廠附近。

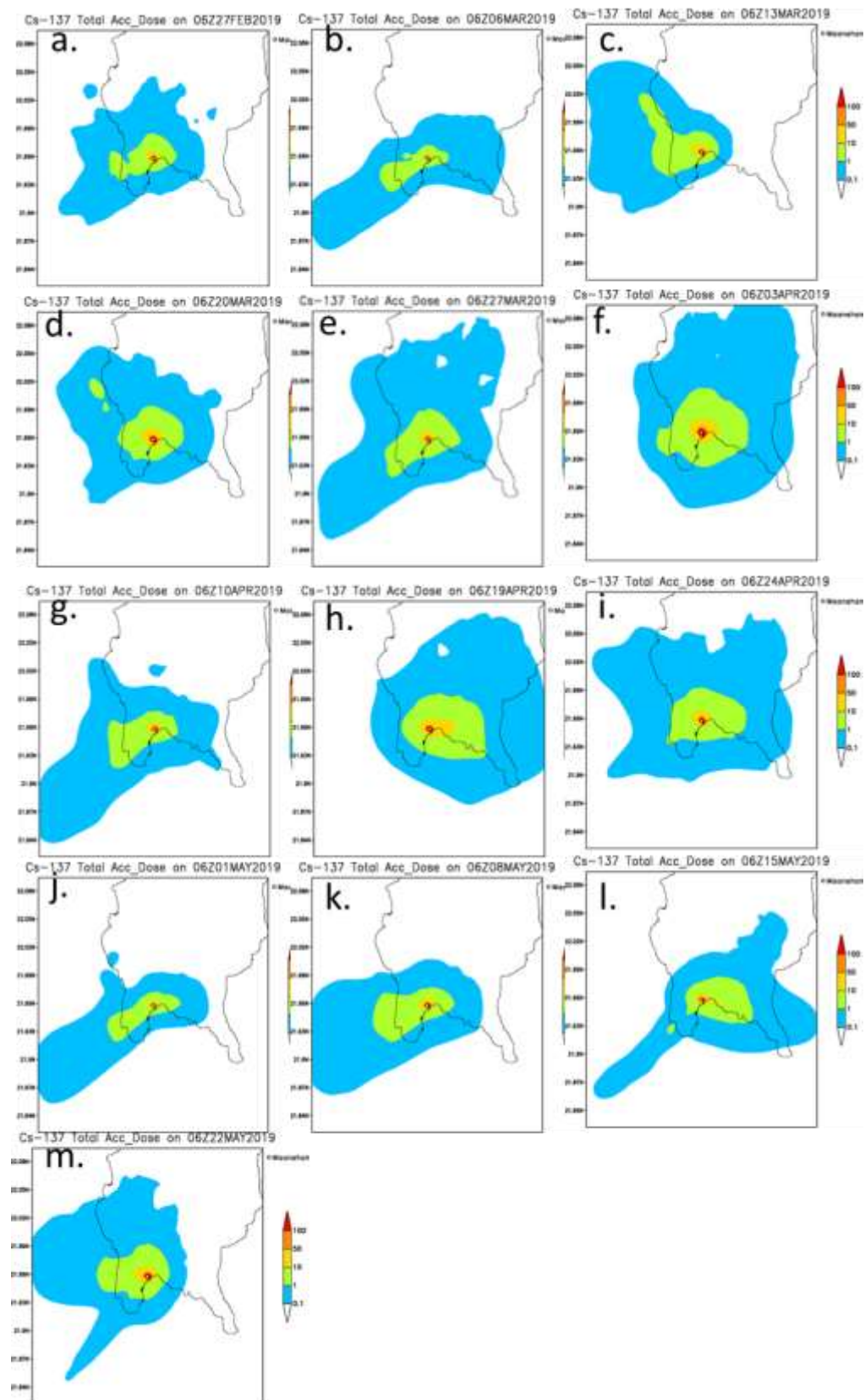


圖 2.2.41 核三廠春季，自 2019 年 2 月 27 日至 2019 年 5 月 28 日 Cs-137 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

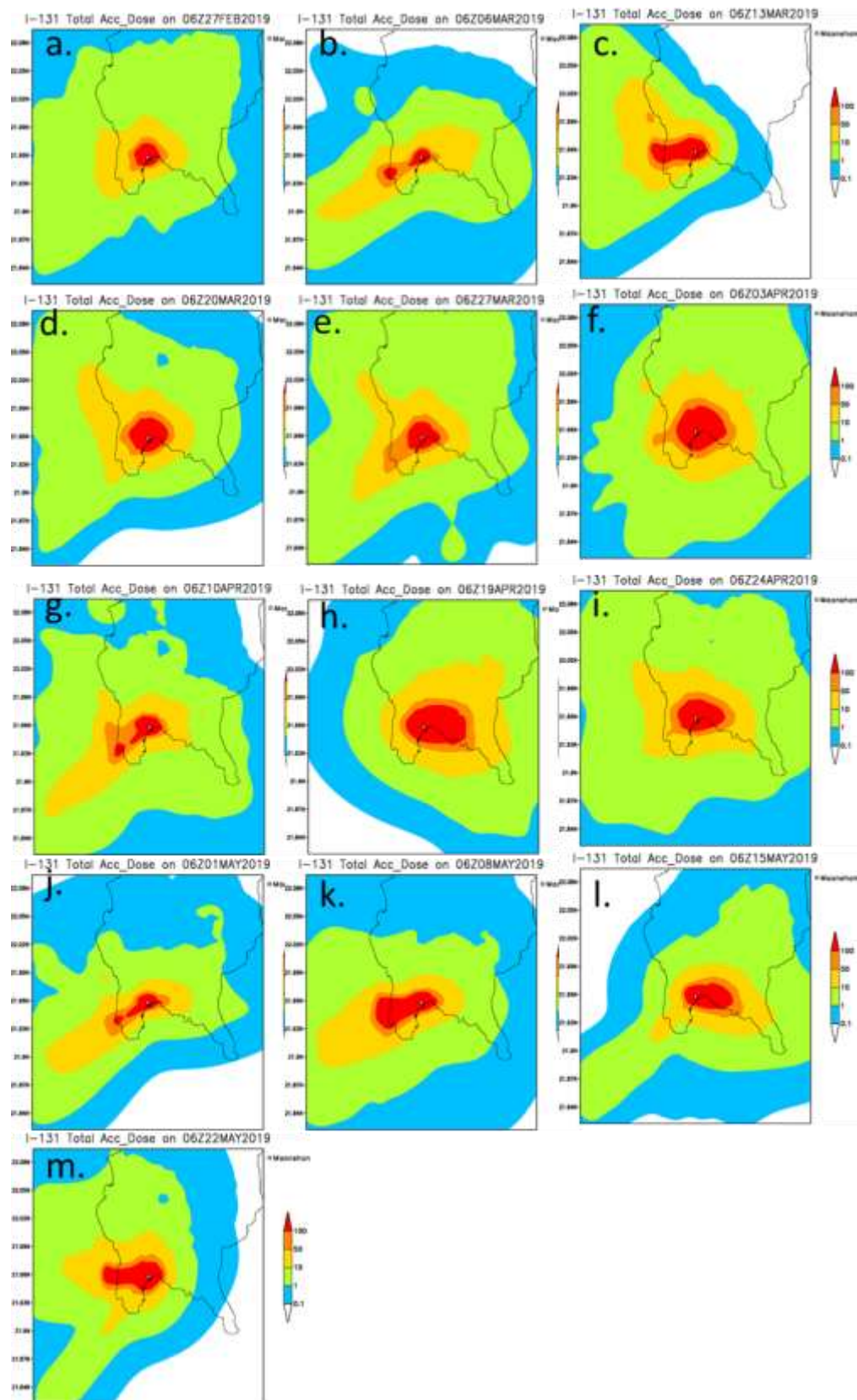


圖 2.2.42 核三廠春季，自 2019 年 2 月 27 日至 2019 年 5 月 28 日 I-131 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

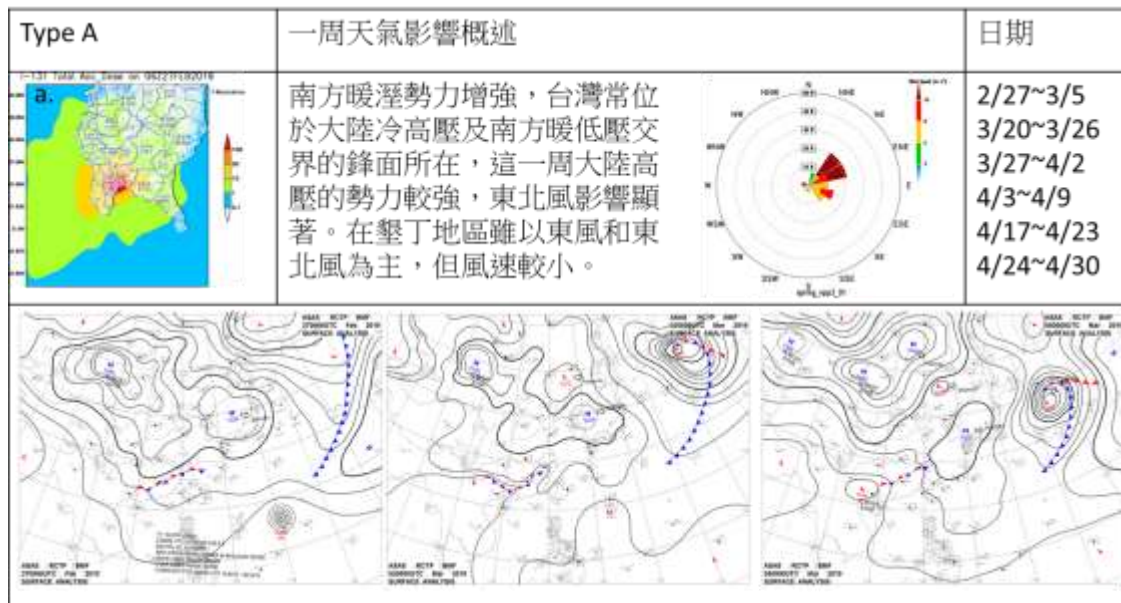


圖 2.2.43 2019 年核三廠春季，劑量分布類型 A，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

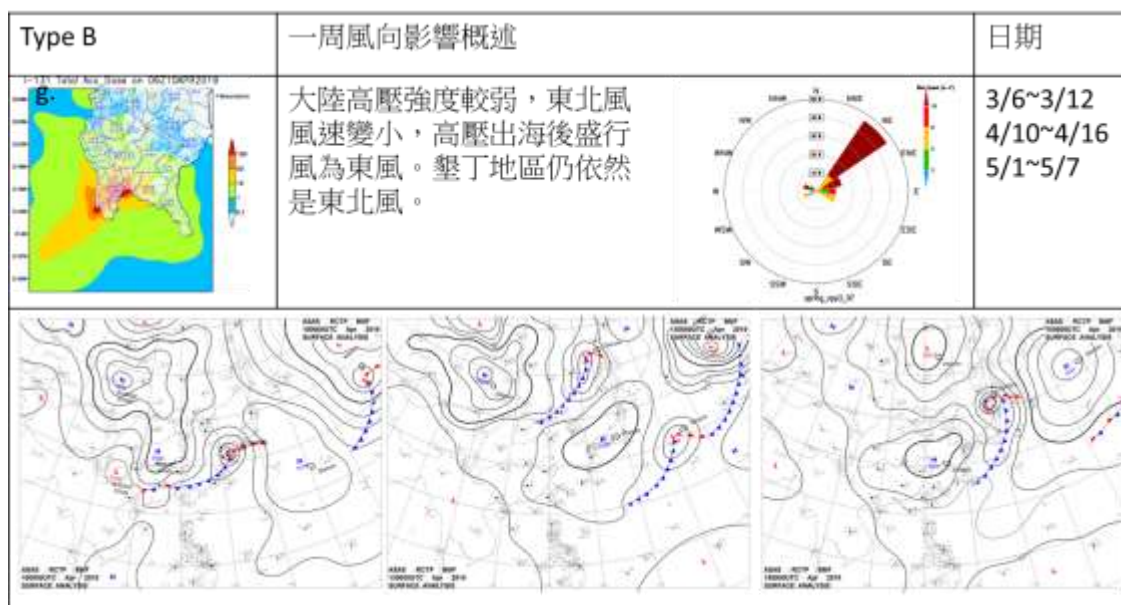


圖 2.2.44 2019 年核三廠春季，劑量分布類型 B，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

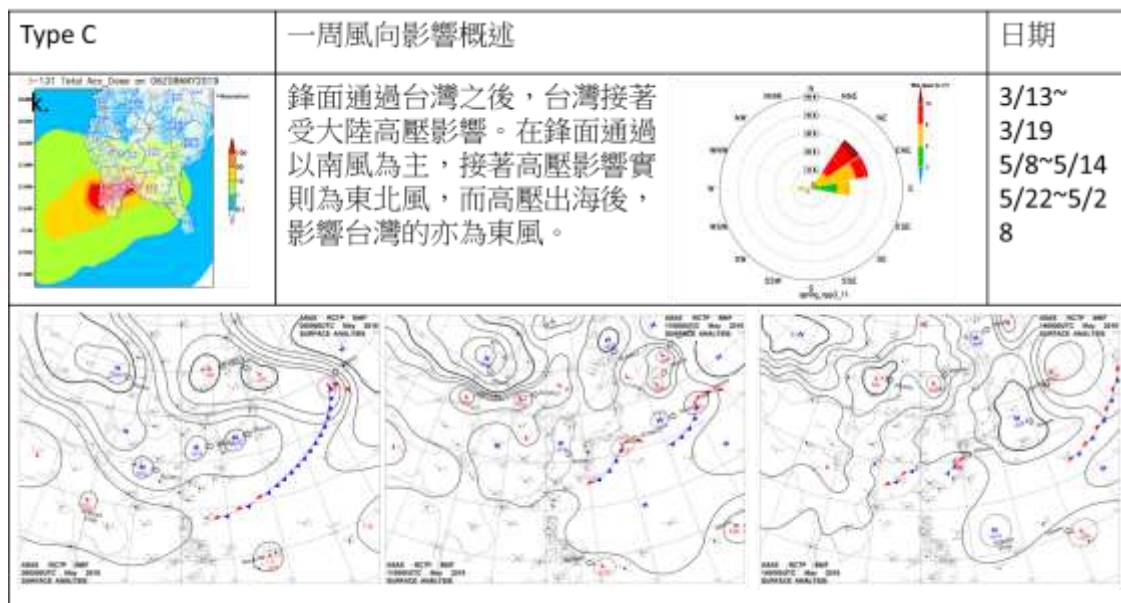


圖 2.2.45 2019 年核三廠春季，劑量分布類型 C，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

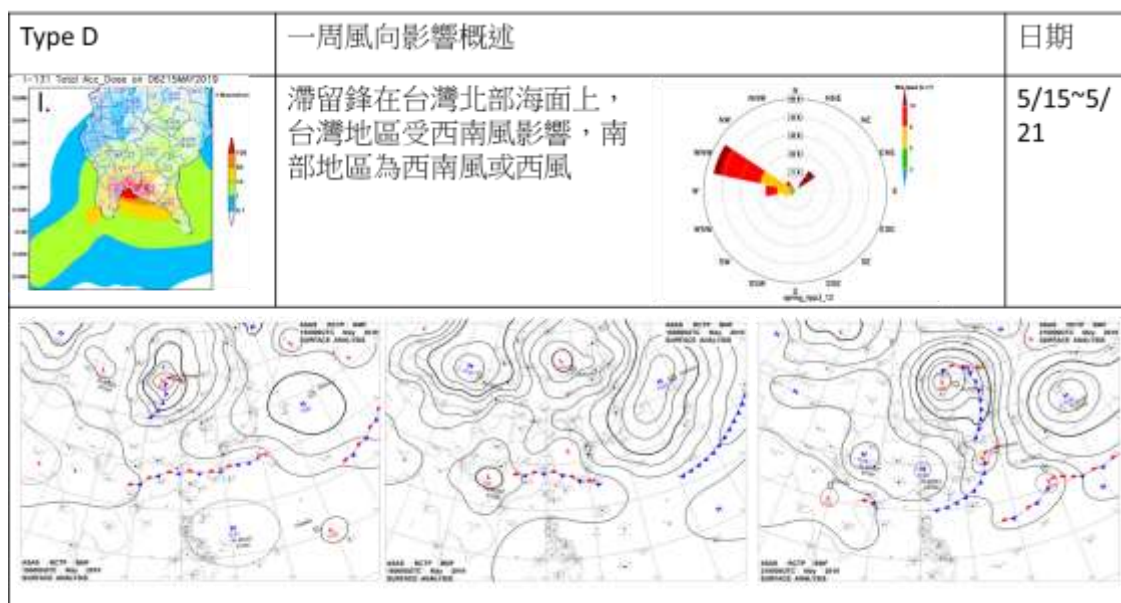


圖 2.2.46 2019 年核三廠春季，劑量分布類型 D，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

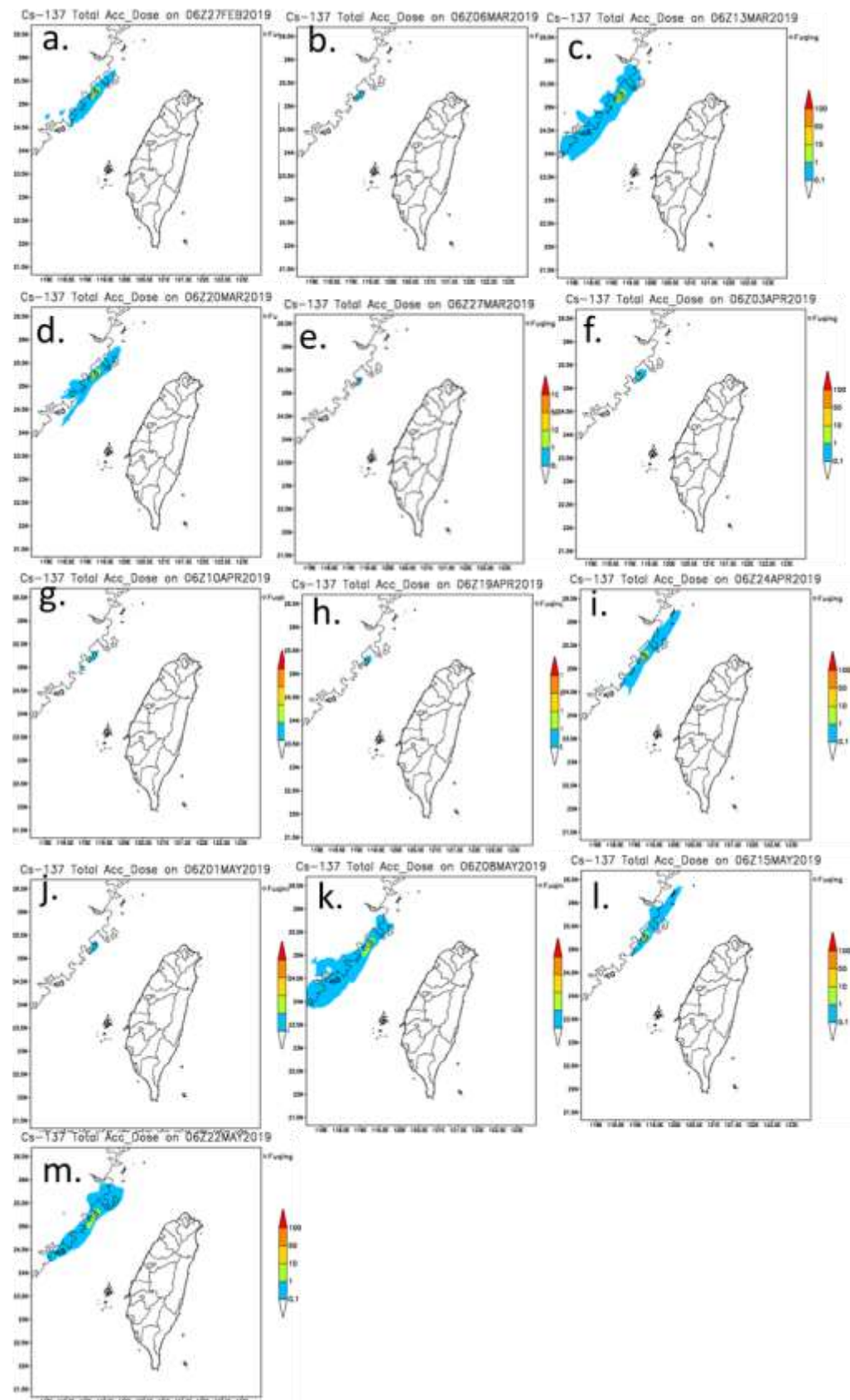


圖 2.2.47 福清電廠春季，自 2019 年 2 月 27 日至 2019 年 5 月 28 日 I-131 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

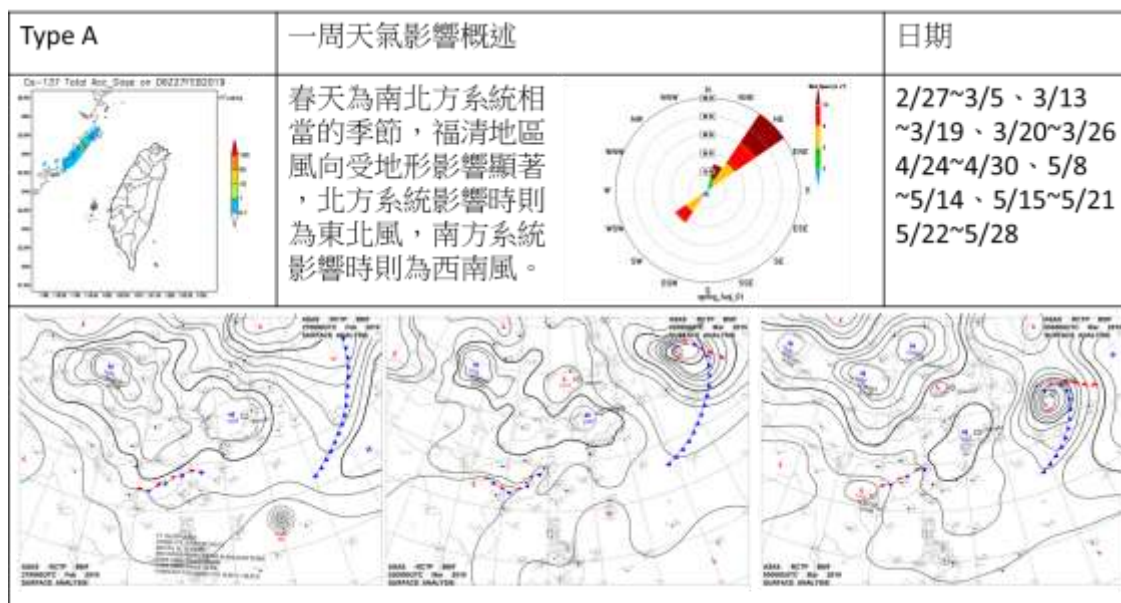


圖 2.2.48 2019 年福清電廠春季，劑量分布類型 A，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

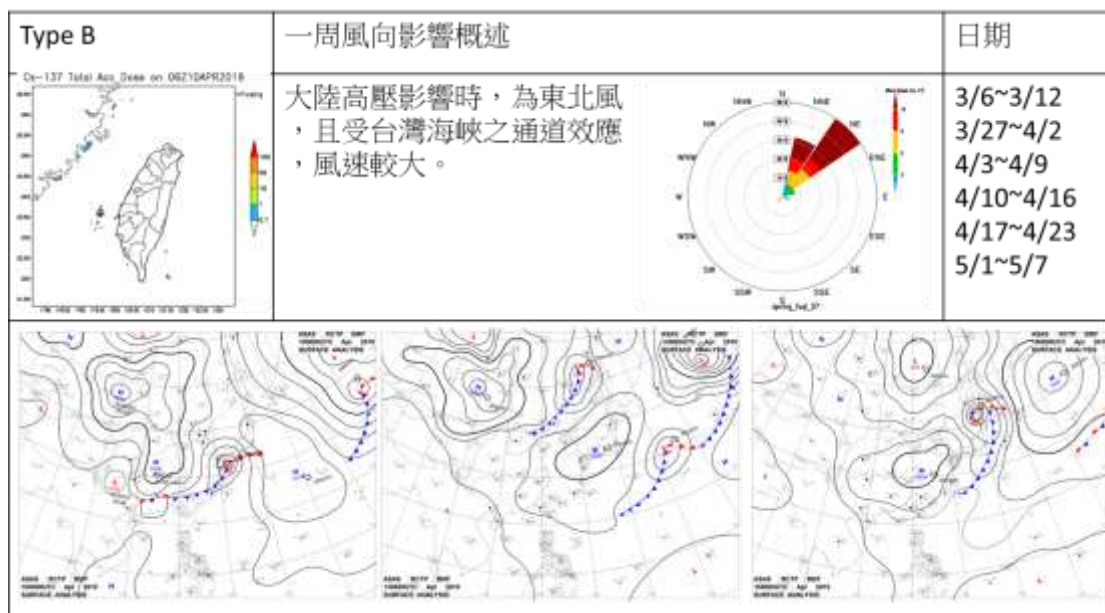


圖 2.2.49 2019 年福清電廠春季，劑量分布類型 B，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

3. 夏季案例探討

台灣夏季的天氣型態主要受到太平洋副熱帶高壓及熱帶低壓系統等的影響，在夏初 6 月仍會有大陸高壓，滯留鋒等來自北方勢力影響，7 月份開始，主要受到太平洋副熱帶高壓主宰，並偶有颱風影響，因此天氣型態主要就分為，A 類：副高與大陸高壓影響，B 類：主要為副高影響，C 類：副高與颱風影響，D 類：主要為颱風及低壓影響。

圖 2.2.50 及圖 2.2.51 分別為核一廠夏季各週的 Cs-137 和 I-131 有效劑量率的累積劑量。在 A 類當中，大陸高壓的影響帶來少量的東北風，副高大致上帶來的是西南風，但當副高緯度與台灣緯度相當時，為台灣北部帶來東南風，因此分為 2 個小類，A-1 是副高在台灣東北方，A-2 副高則是跟台灣差不多緯度，相當靠近台灣。B 類主要只受到副高影響，為穩定的西南風。C 和 D 類是有颱風影響的類型，颱風路徑的不同，給台灣有很不同的影響，因此會逐一來進行討論，C 類共分了 3 個小類，D 類則是分了 2 個小類。

在核一廠的 A-1 類(圖 2.2.52)中，副高與大陸高壓的影響，顯著的西南風配上微弱的東北風，造成主要的劑量是往核一廠東北方海面上傳送，偶來的東北風讓劑量亦稍稍往內陸累積，在 2019 年 6 月 5 日~6 月 11 日期間，劑量(50mSv 以上)主要影響包含了石門區的山溪里、石門里、乾華里、茂林里和草里里。在 A-2 類(圖 2.2.53)中，副高帶來的是東南風，因而 2019 年 6 月 12 日~6 月 18 日劑量(50mSv 以上)主要影響石門區德茂里、富基里、老梅里、橫山里、尖鹿里、乾華里。在 B 類型(圖 2.2.54)中，主要僅受到副高影響，在 2019 年 7 月 3 日這周，持續的西南風吹撫，核一廠的劑量分布主要是往核一廠的東北部海邊擴散，劑量(50mSv 以上)主要影響包含了石門區尖鹿

里、乾華里、茂林里、草里里。在類型 C-1(圖 2.2.55)中，副高與丹娜絲颱風影響，丹娜絲颱風在台灣東部海面由南往北移動，當其位置在正東方時，為台灣北部帶來了東北風，在 2019 年 7 月 17 日~7 月 23 日期間，劑量(50mSv 以上)主要影響包含了石門區的山溪里、石門里、乾華里、茂林里和草里里，金山區的永興里。在類型 C-2(圖 2.2.56)中，2019 年 7 月 31 日偉帕颱風在海南島東邊位置，副高西伸靠近台灣，台灣地區為東風系，接著幾天，陸續有颱風低壓在西北太平洋生成，台灣位在一個大低壓帶中，主要風場亦為東風系，風速多介在 5~10m/s 之間，劑量(50mSv 以上)主要影響包含了石門區的富基里、山溪里、石門里、乾華里、茂林里和草里里。C-3 類型(圖 2.2.57)中，在 2019 年 8 月 21 日這周，開始先受到白鹿颱風影響，在 NCEP GFS 中白鹿颱風是由宜蘭附近穿過台灣，在竹苗附近重組往大陸移動，因而核一廠地區由較強的東南風轉為微弱的西南風，主要傳送方向是往核一廠西北邊，劑量(50mSv 以上)主要影響包含了石門區的富基里、老梅里、山溪里、石門里、乾華里、茂林里和草里里，金山區的永興里。D-1 類型(圖 2.2.58)中，首先受到利奇馬颱風影響，接著科羅莎颱風影響，利奇馬颱風距離台灣頗近，由菲律賓東方海面上一路往西北前進至台灣東北部海面，為台灣北部帶來了強勁的西南風，而柯羅莎颱風距離台灣較遠，帶來的西南風風速較弱，這個個案可看到持續的西南風，核一廠較無累積的情況，因此劑量(50mSv 以上)只影響了石門區尖鹿里、乾華里、茂林里。D-2 類型(圖 2.2.59)中，受到柯羅莎颱風及低壓帶影響主要為西南風，其強度不似利奇馬颱風期間強烈，累積狀況較為明顯，劑量(50mSv 以上)主要影響包含了石門區的富基里、老梅里、山溪里、石門里、乾華里、茂林里和草里里，金山區的永興里。

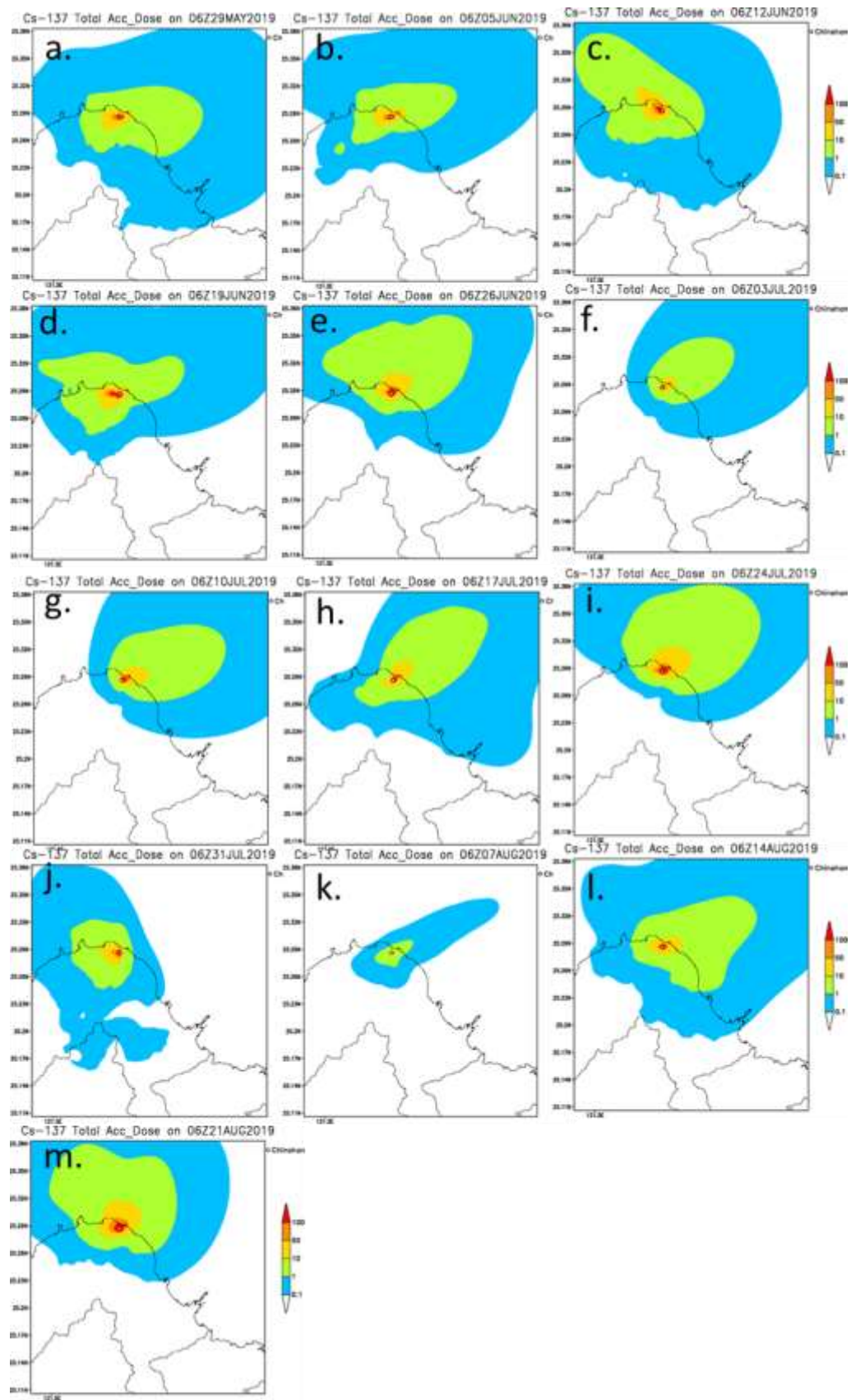


圖 2.2.50 核一廠夏季，自 2019 年 5 月 29 日至 2019 年 8 月 28 日 Cs-137 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

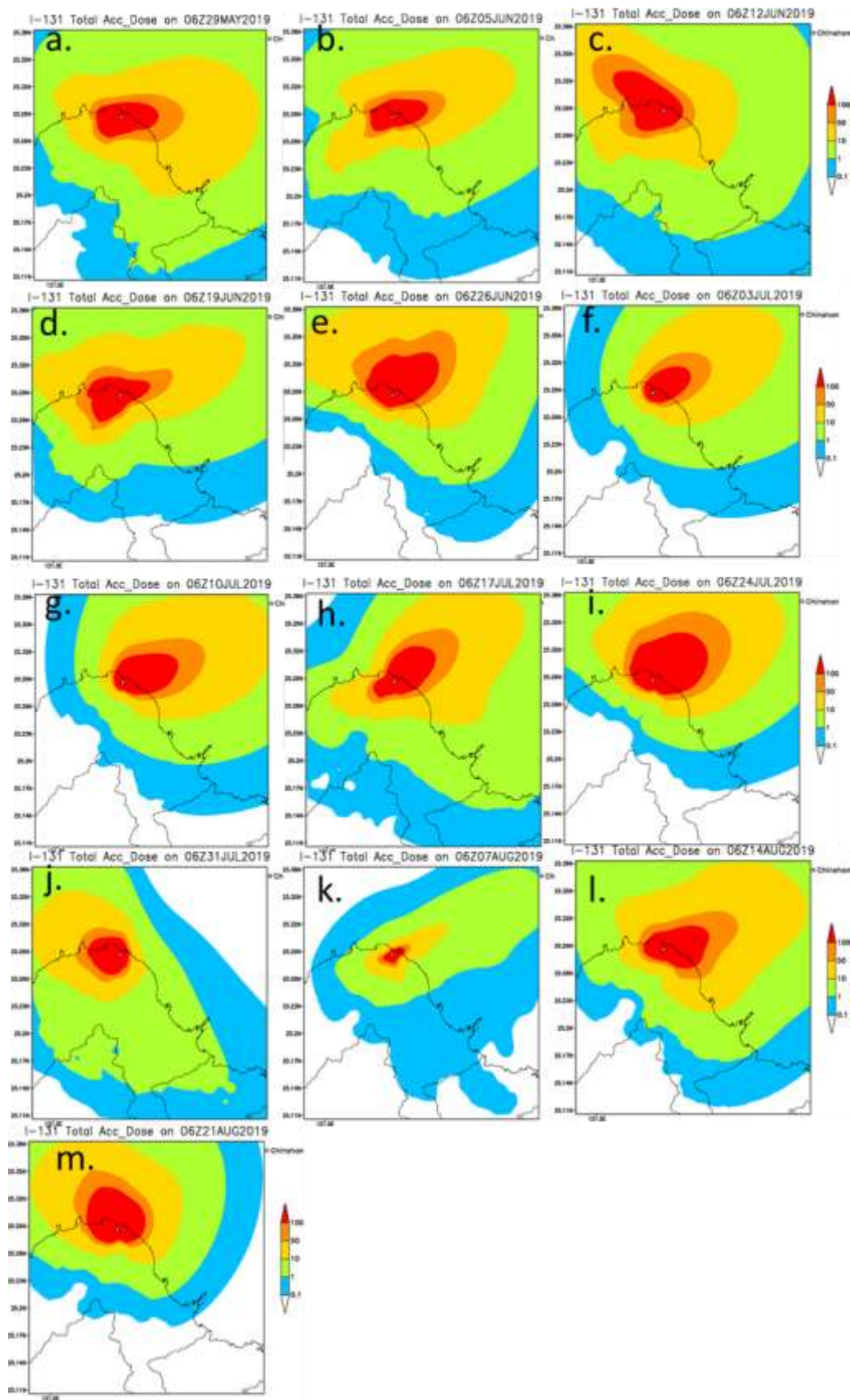


圖 2.2.51 核一廠夏季，自 2019 年 5 月 29 日至 2019 年 8 月 28 日 I-131 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

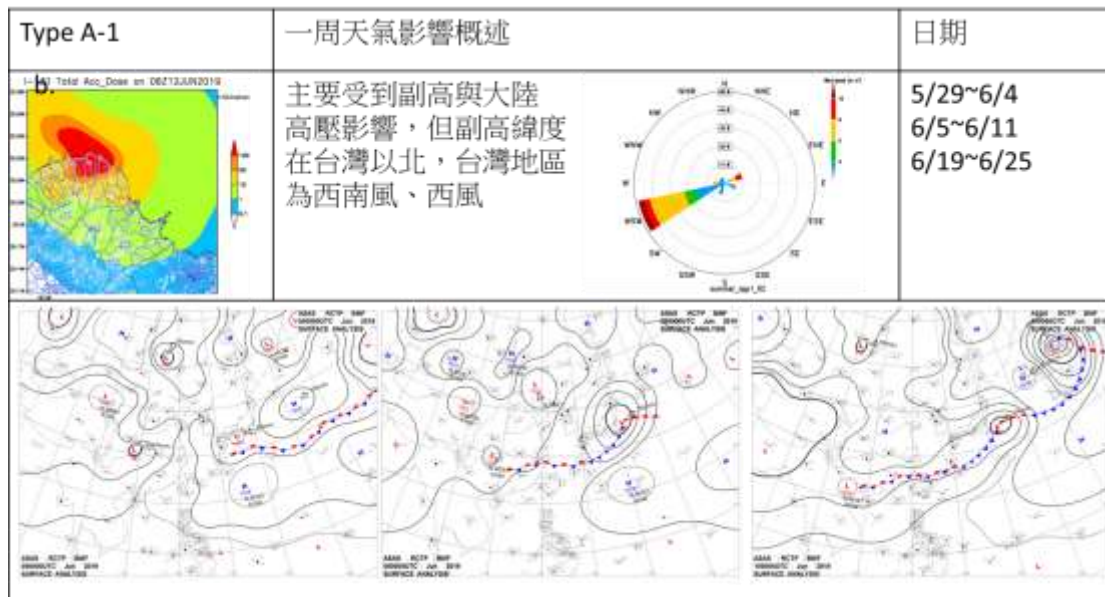


圖 2.2.52 2019 年核一廠夏季，劑量分布類型 A-1，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

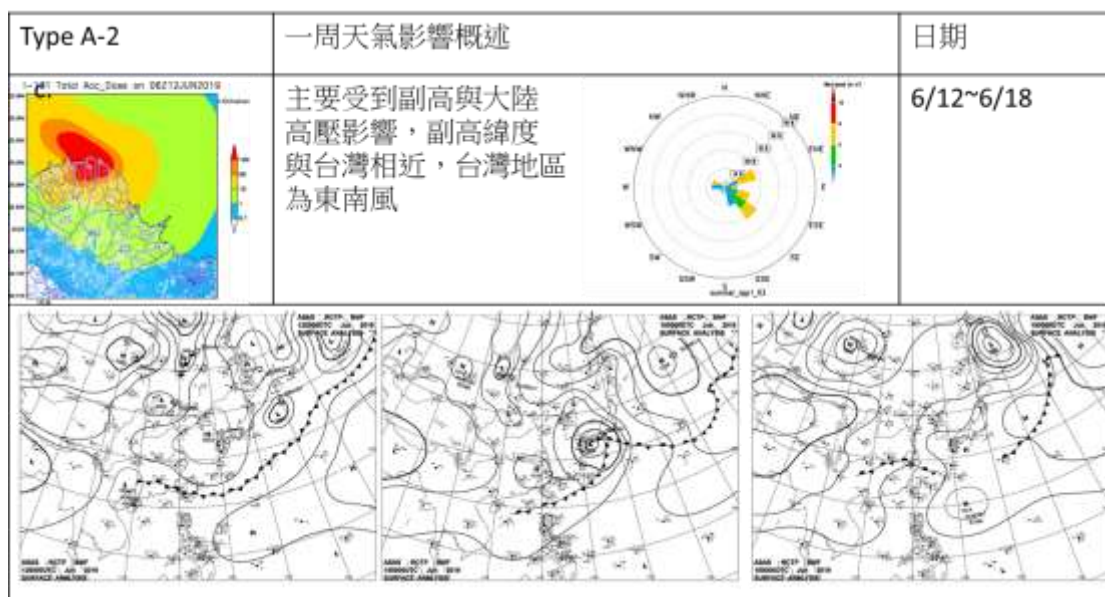


圖 2.2.53 2019 年核一廠夏季，劑量分布類型 A-2，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

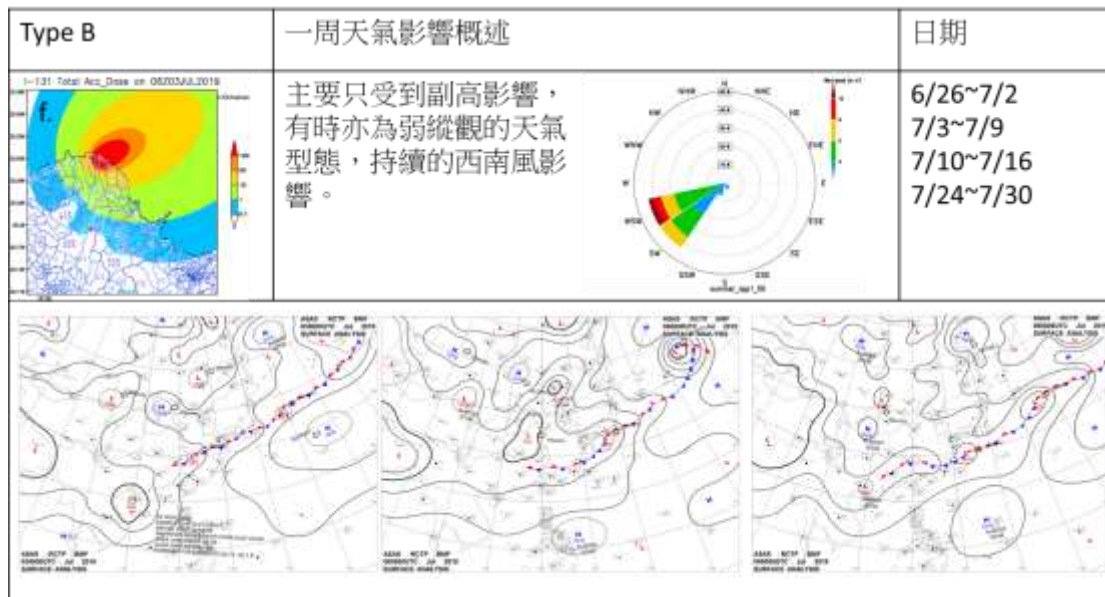


圖 2.2.54 2019 年核一廠夏季，劑量分布類型 B，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

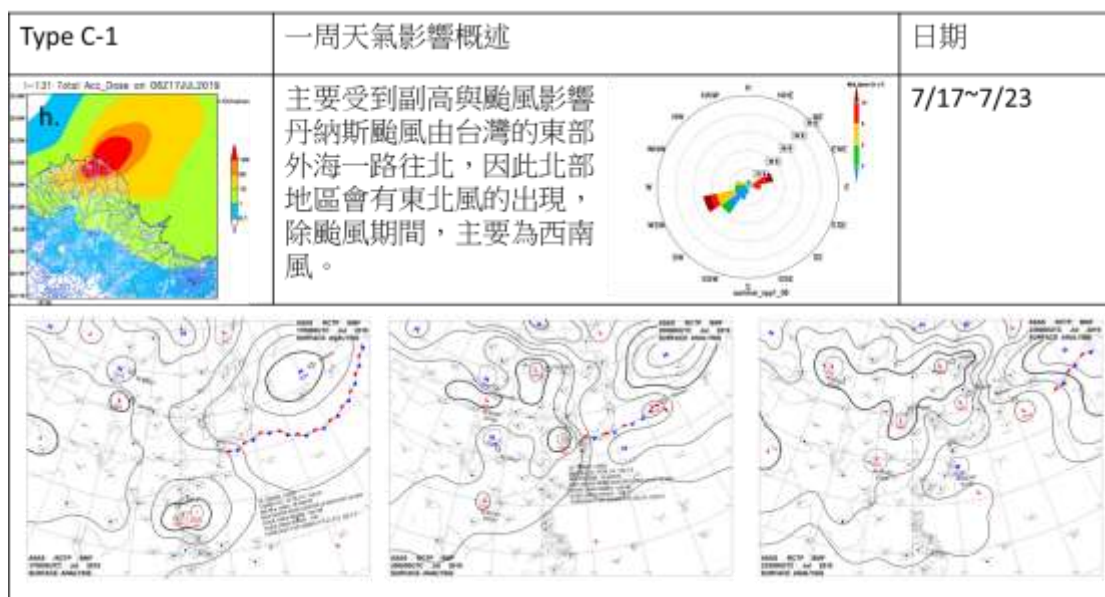


圖 2.2.55 2019 年核一廠夏季，劑量分布類型 C-1，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

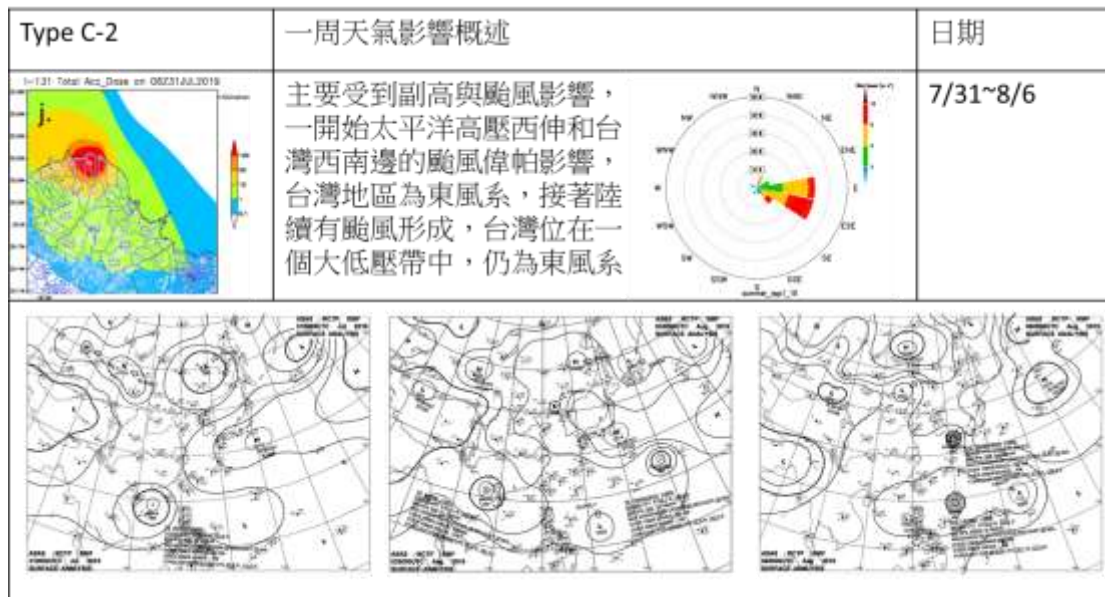


圖 2.2.56 2019 年核一廠夏季，劑量分布類型 C-2，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

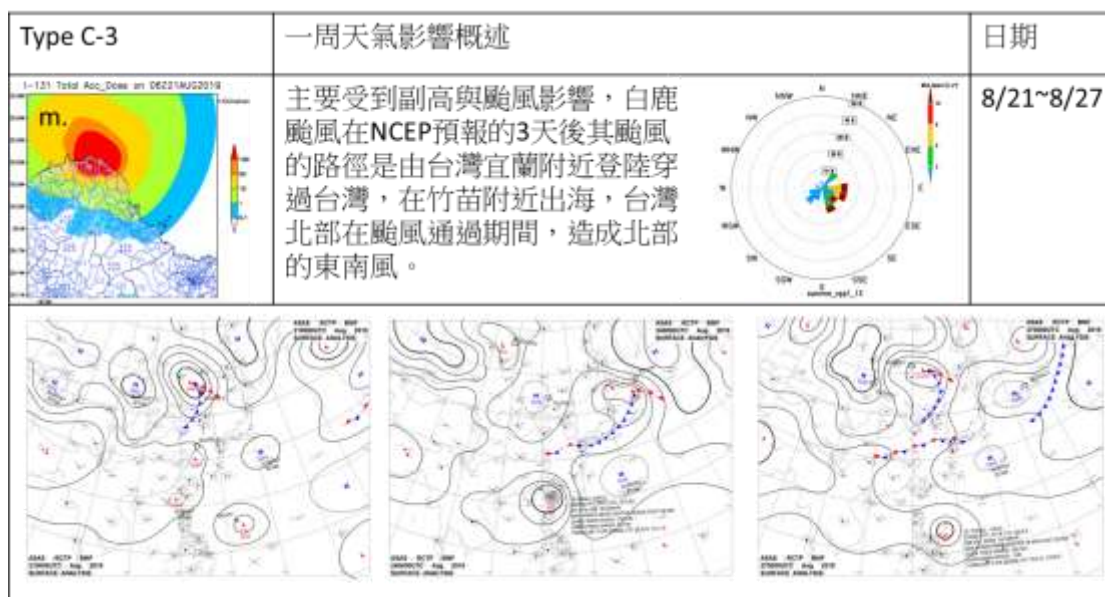


圖 2.2.57 2019 年核一廠夏季，劑量分布類型 C-3，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

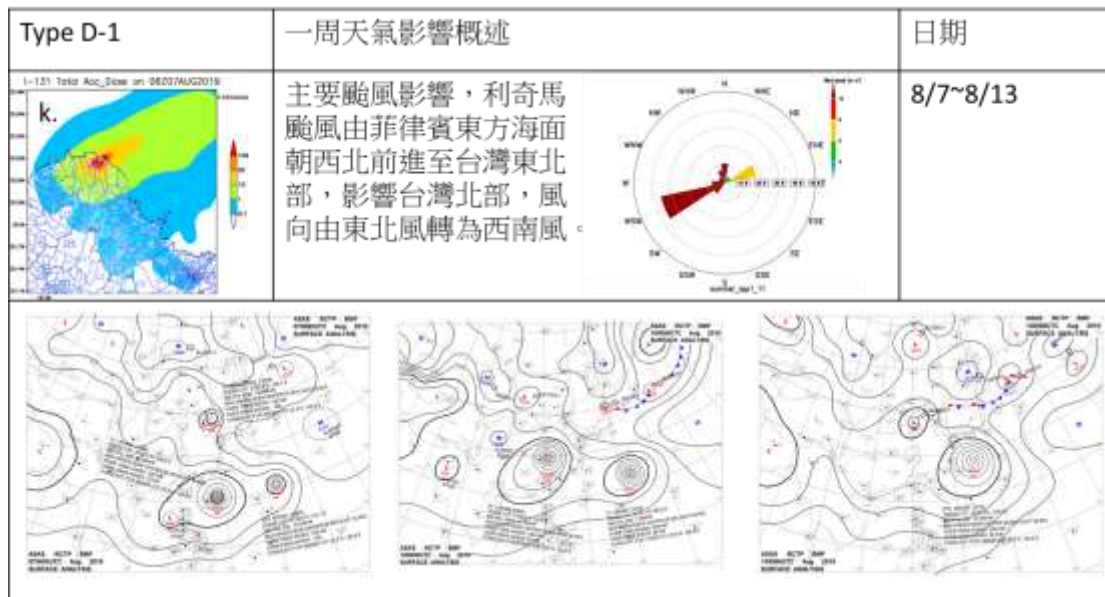


圖 2.2.58 2019 年核一廠夏季，劑量分布類型 D-1，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

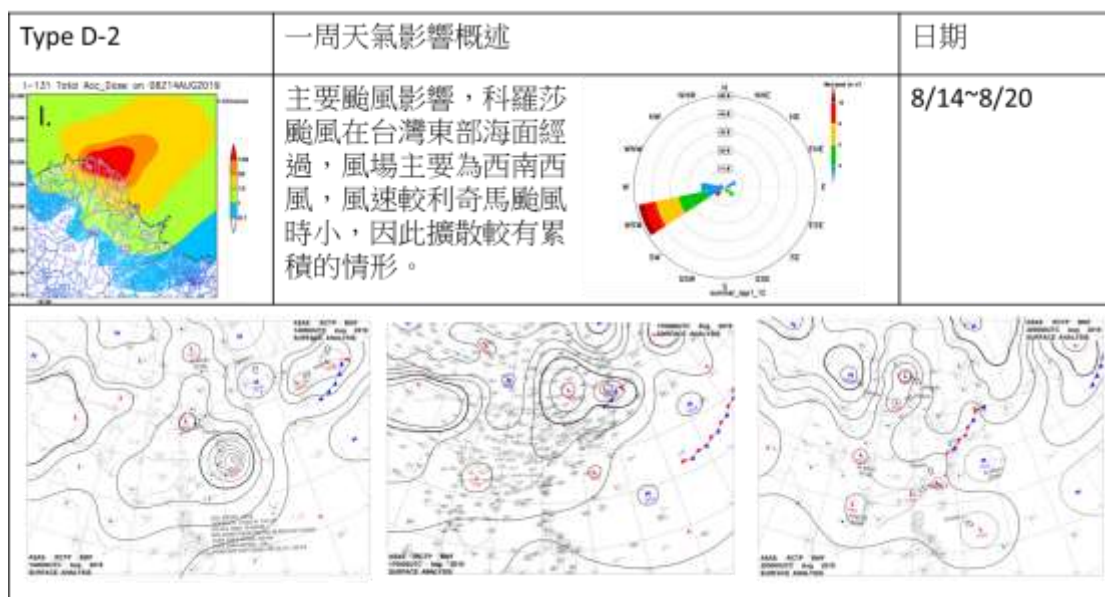


圖 2.2.59 2019 年核一廠夏季，劑量分布類型 D-2，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

圖 2.2.60、圖 2.2.61 分別為核二廠在夏季各週的 Cs-137 和 I-131 的有效劑量 7 天累積量。在核二廠夏季的 A-1 類型(圖 2.2.62)中，受西南邊大屯山的阻擋，西南風偏弱，風速在 3m/s 以下，而東北風雖然風速較強些，但發生頻率極少，整體風速弱，擴散不良，劑量(50mSv 以上)主要影響包含了金山區萬壽里、清泉里、美田里、磺港里、金美里、豐漁里，萬里區的大鵬里、磺潭里、雙興里、野柳里、龜吼里。在 A-2 類型(圖 2.2.63)中，副高位置較南邊，為核二廠帶來顯著東南風，風速在 8m/s 以下，核二廠的劑量累積一路往其西北邊延伸至大屯山附近，高濃度的劑量分布由窄變寬，顯示受地形阻擋有較多的累積，劑量(50mSv 以上)主要影響包含了石門區的山溪里、石門里、乾華里、茂林里、草里里，萬里區的大鵬里、磺潭里、野柳里、雙興里、中幅里，以及整個金山區，影響區域甚廣。在 B 類型(圖 2.2.64)中，核二地區為微弱的西南風，劑量(50mSv 以上)主要影響的區域與 A-1 類型相似。在 C-1 類型(圖 2.2.65)中，隨著丹娜絲颱風在台灣東邊由南往北的路徑，為核二地區帶來了北風、西北風，加上副高的西南風，風向變化多，但風速都不大，以至於劑量的分布在核二廠的周圍約 2~5 公里左右的範圍，劑量(50mSv 以上)主要影響包含了金山區萬壽里、清泉里、美田里、磺港里、金美里、大同里、和平里、豐漁里，萬里區的大鵬里、磺潭里、雙興里、野柳里、龜吼里。C-2 類型(圖 2.2.66)中，偉帕颱風在台灣西南邊，帶給核二廠主要是東風、東南風，劑量(50mSv 以上)主要影響的區域與 A-2 類型相似，但風速稍強，累積量較少，在石門區乾華里的山谷地區可以看到 100mSv 的累積。C-3 類型(圖 2.2.67)中，在核二區域主要為東南風、南風，劑量(50mSv

以上)主要影響的區域金山區的永興里、萬壽里、西湖里、清泉里、美田里、礮港里、金美里、大同里、和平里、五湖里、六股里，萬里區的大鵬里、礮潭里、野柳里、龜吼里、雙興里、中幅里。在 D-1 類型(圖 2.2.68)中，利奇馬颱風相當靠近台灣北部，為核二廠帶來強勁的西南風和西北風，擴散條件良好，因此劑量(50mSv 以上)主要僅影響萬里區野柳里、雙興里、中幅里與龜吼里。D-2 類型(圖 2.2.69)中，科羅莎颱風及熱帶低壓距離台灣的距離較遠，核二地區風速小風場變化大，劑量(50mSv 以上)主要影響的區域包含了金山區萬壽里、清泉里、美田里、礮港里、金美里、豐漁里，萬里區的大鵬里、礮潭里、雙興里、野柳里、龜吼里、中幅里、萬里里等。

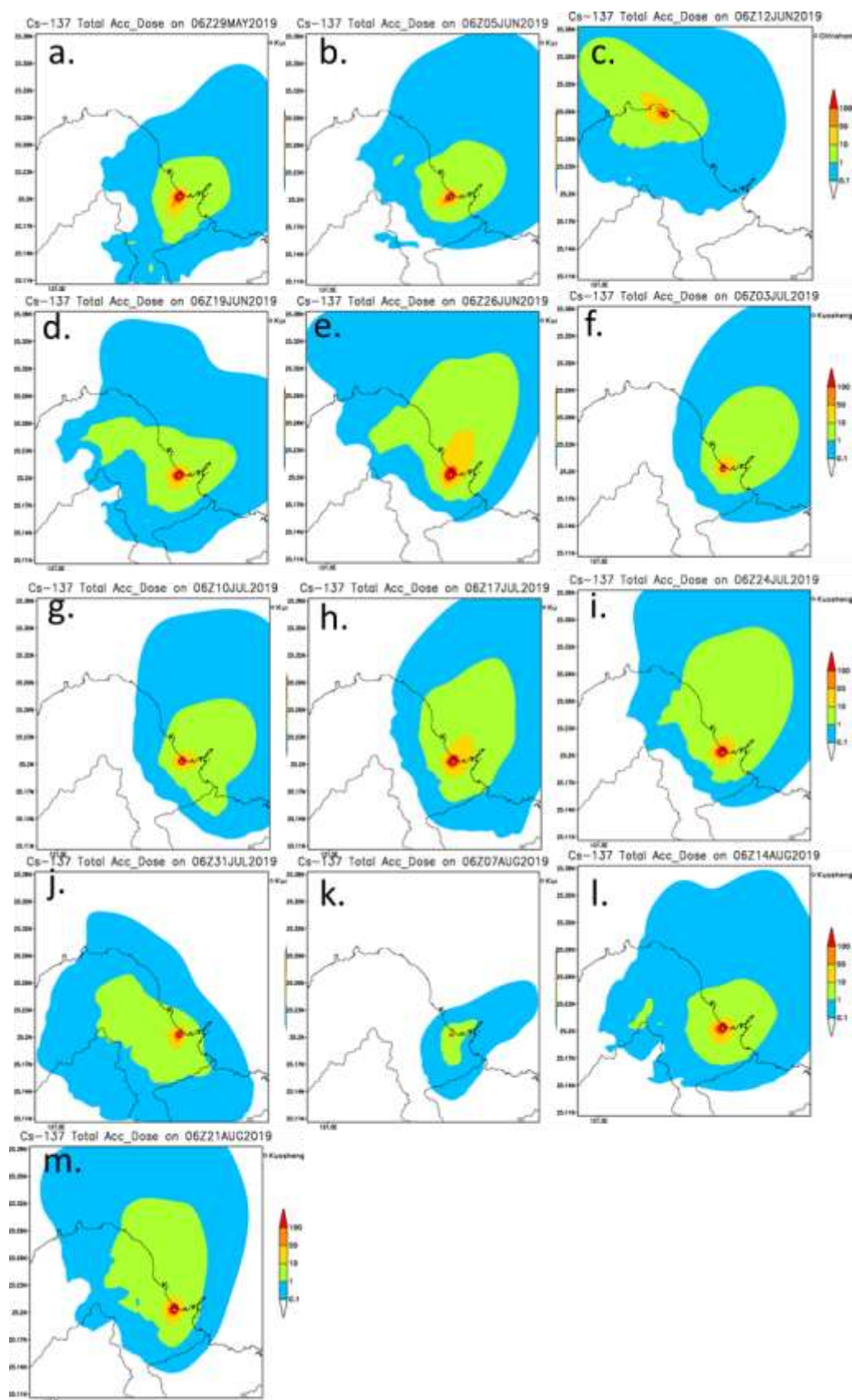


圖 2.2.60 核二廠夏季，自 2019 年 5 月 29 日至 2019 年 8 月 28 日 Cs-137 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

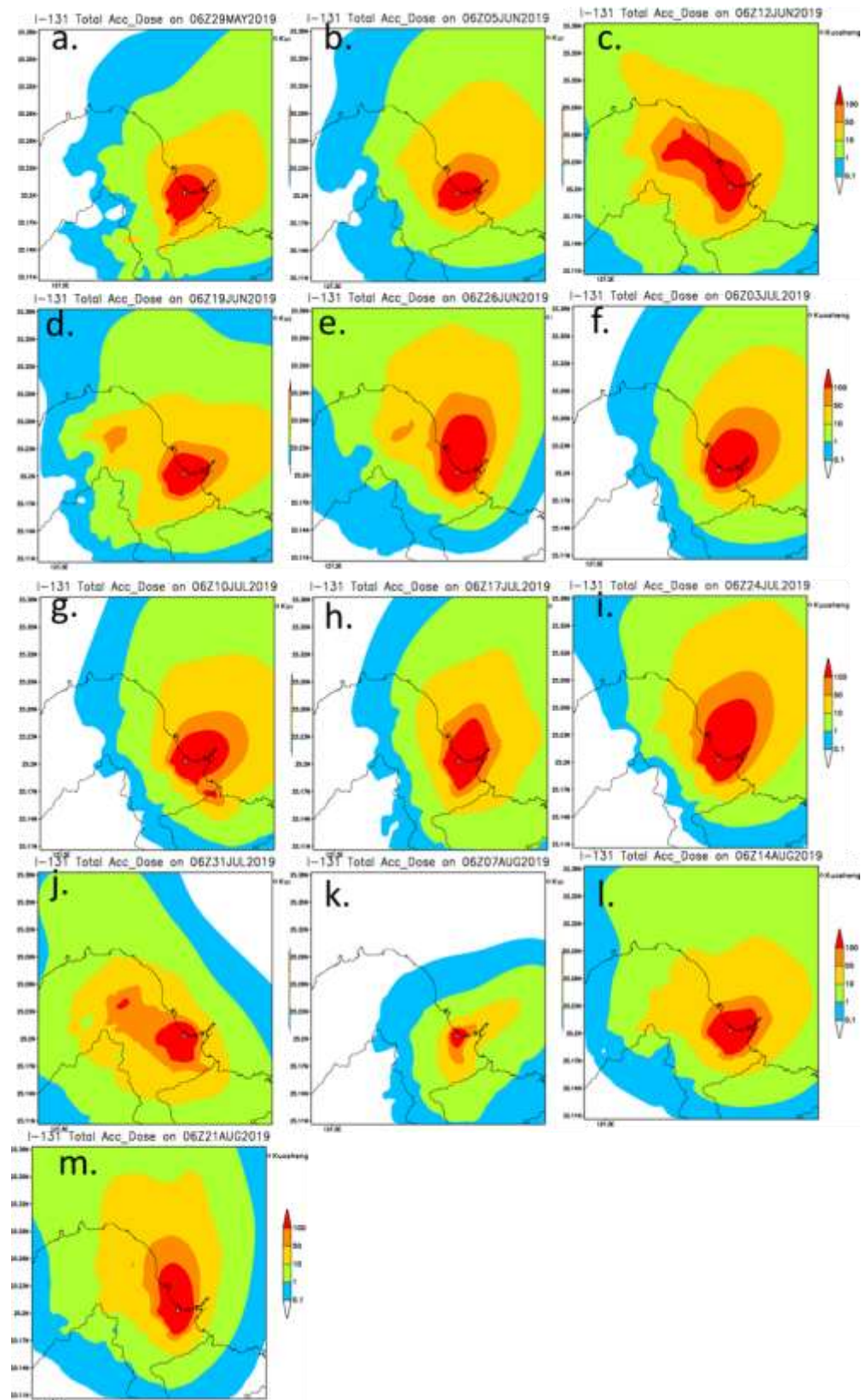


圖 2.2.61 核二廠夏季，自 2019 年 5 月 29 日至 2019 年 8 月 28 日 I-131 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

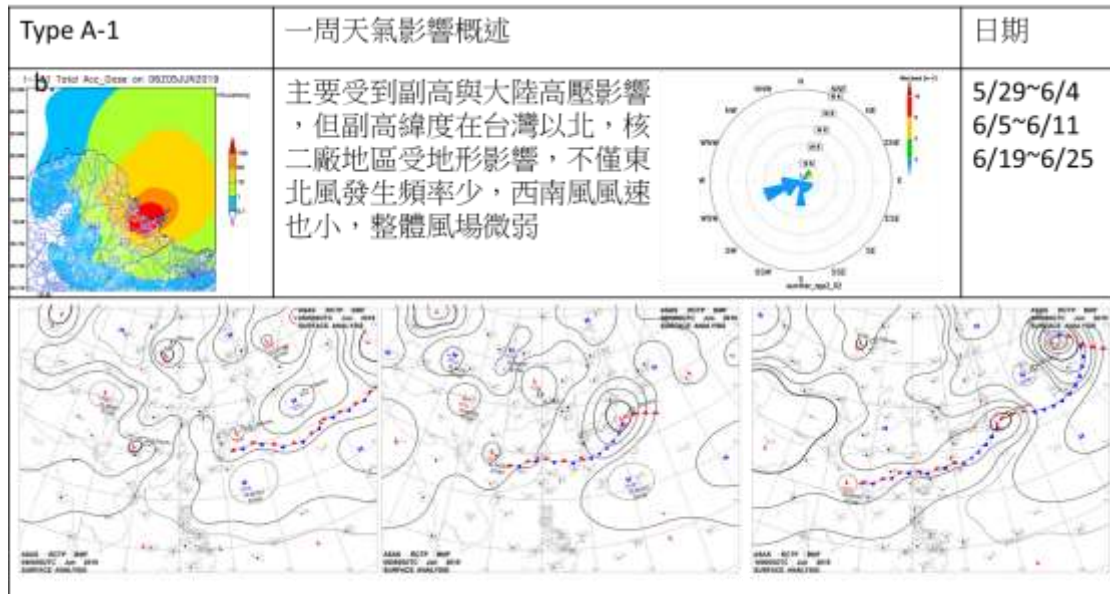


圖 2.2.62 2019 年核二廠夏季，劑量分布類型 A-1，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

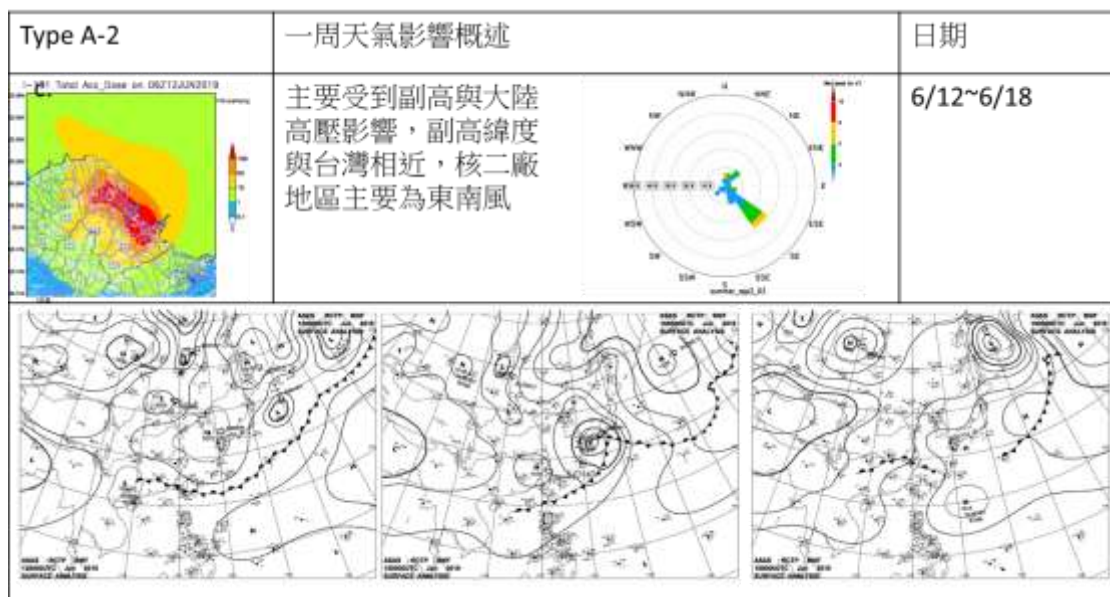


圖 2.2.63 2019 年核二廠夏季，劑量分布類型 A-2，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

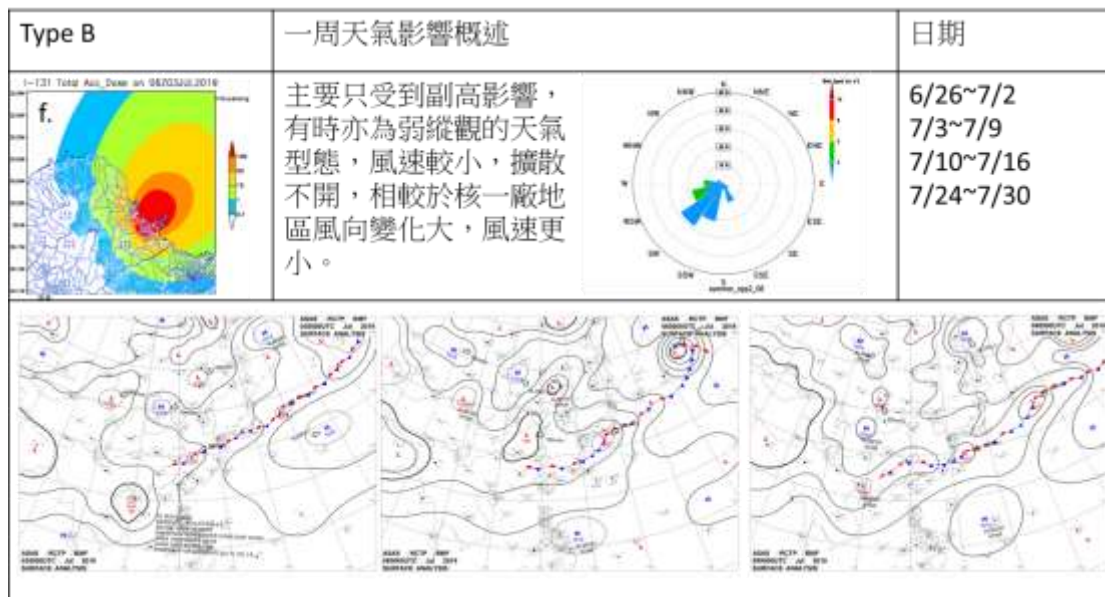


圖 2.2.64 2019 年核二廠夏季，劑量分布類型 B，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

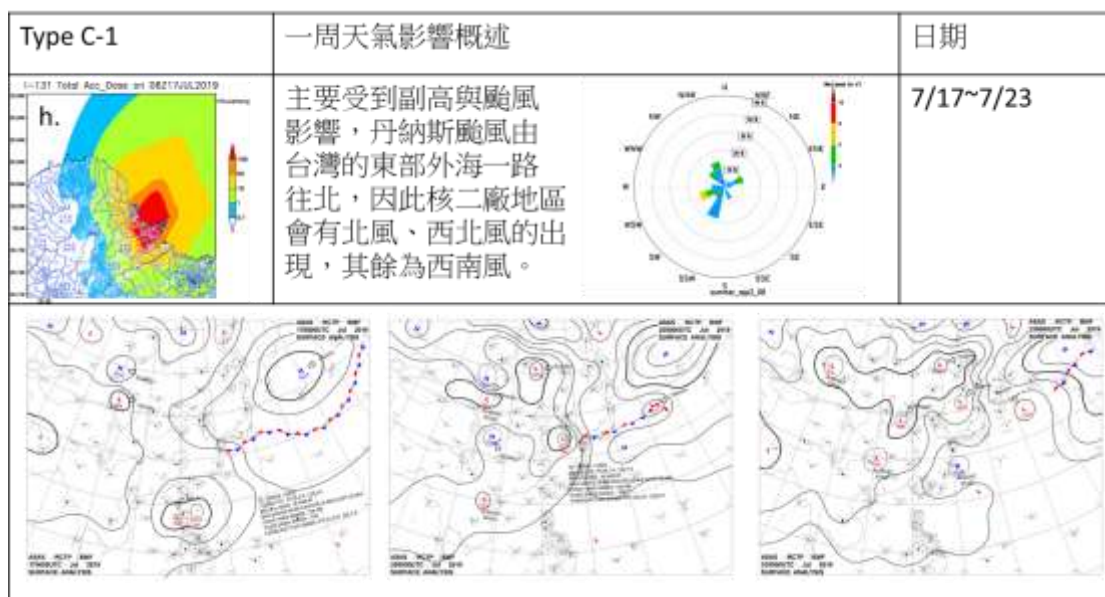


圖 2.2.65 2019 年核二廠夏季，劑量分布類型 C-1，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

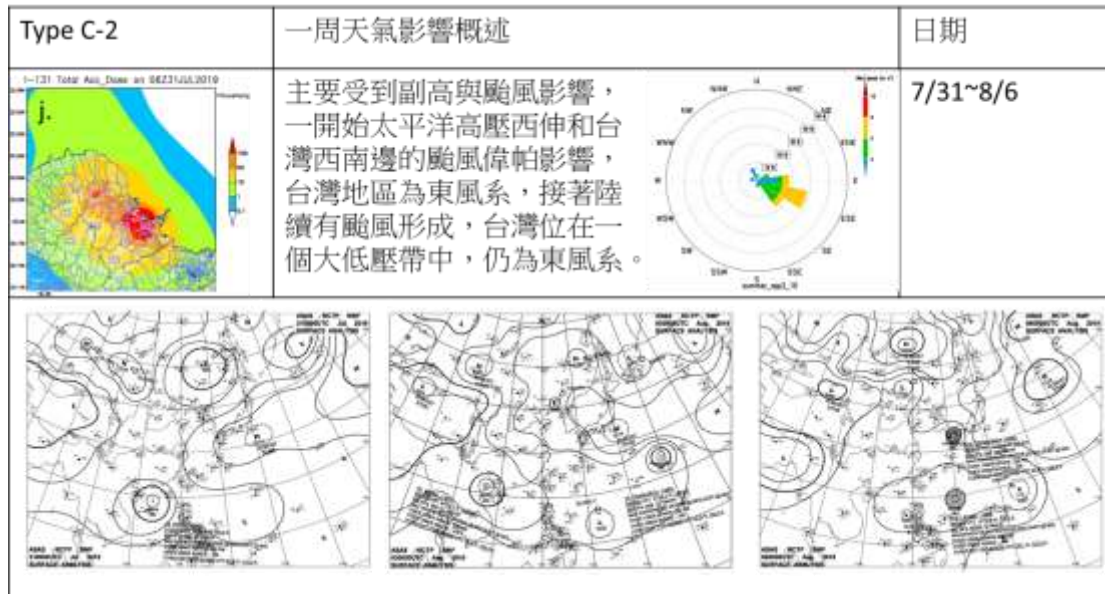


圖 2.2.66 2019 年核二廠夏季，劑量分布類型 C-2，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

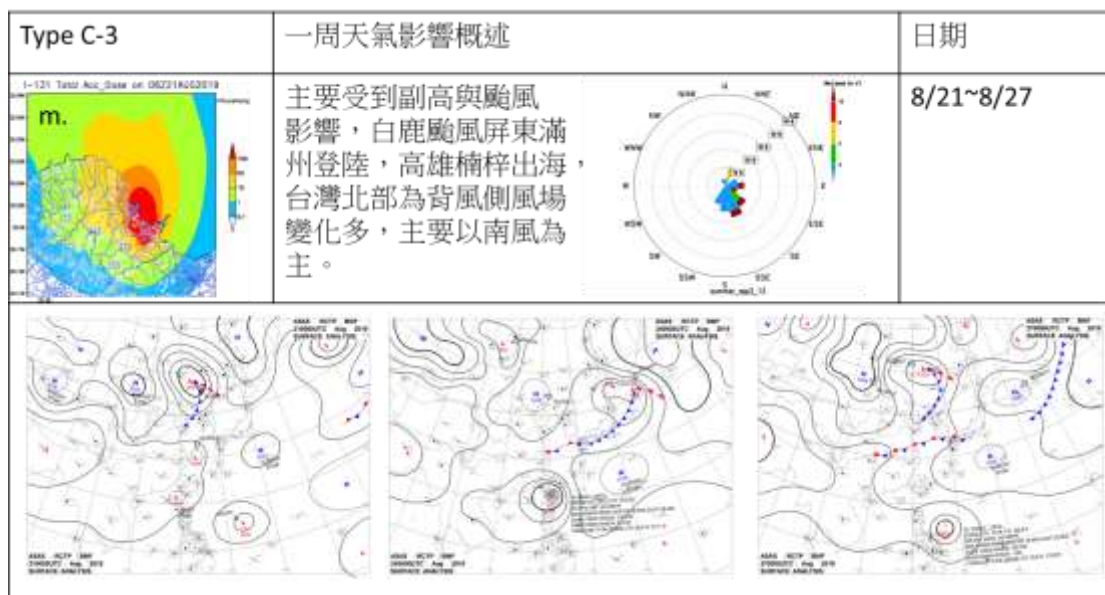


圖 2.2.67 2019 年核二廠夏季，劑量分布類型 C-3，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

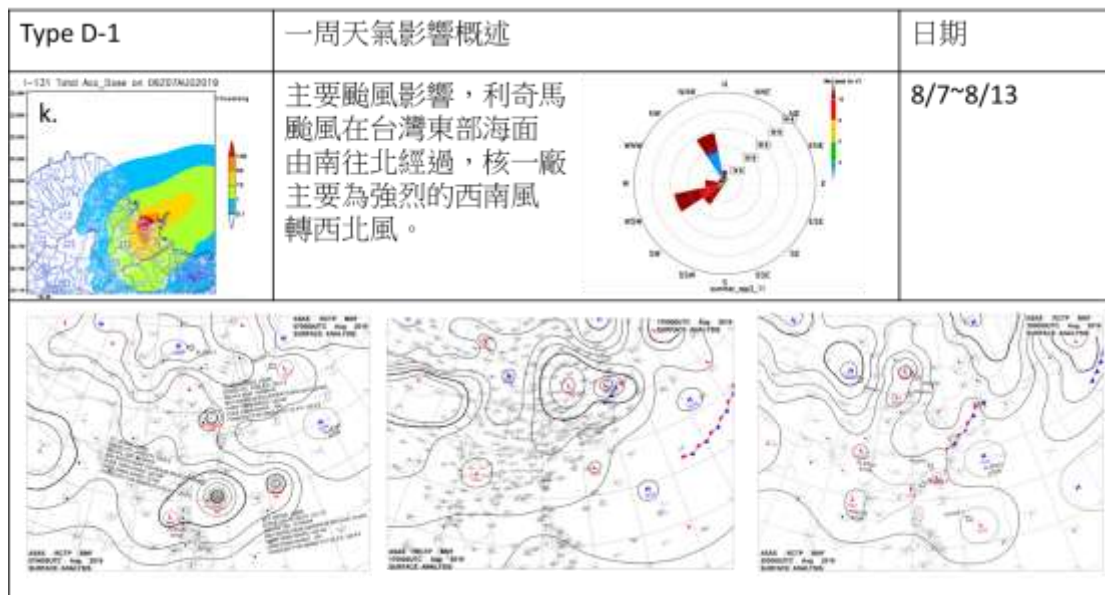


圖 2.2.68 2019 年核二廠夏季，劑量分布類型 D-1，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

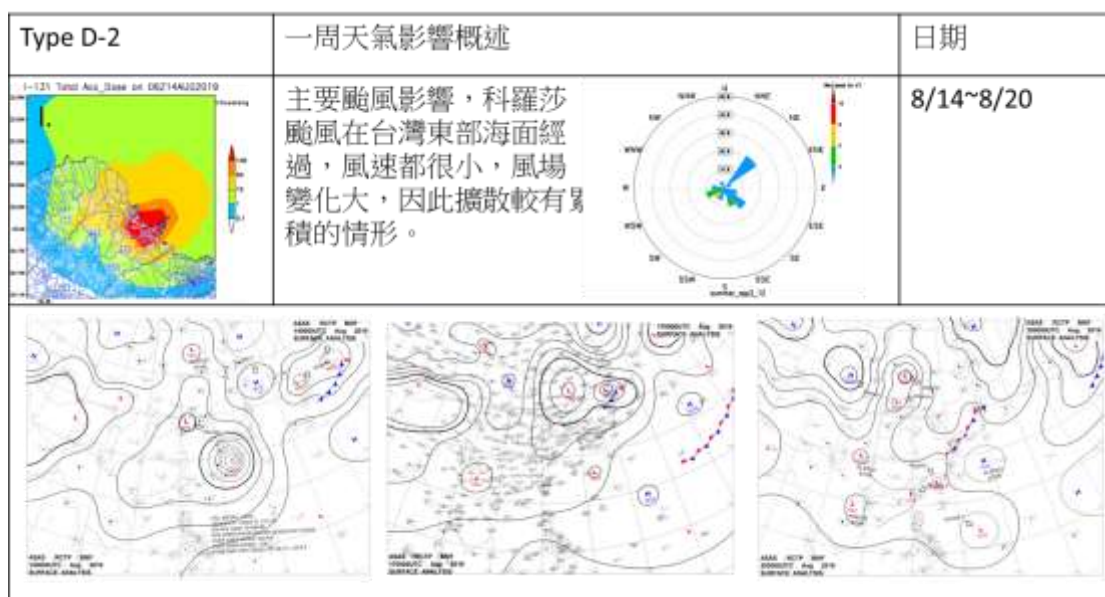


圖 2.2.69 2019 年核二廠夏季，劑量分布類型 D-2，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

圖 2.2.70、圖 2.2.71 分別為核三廠在夏季各週的 Cs-137 和 I-131 的有效劑量 7 天累積量。在核三廠的夏季，A-1 類型(圖 2.2.72)中，副高的影響，核三地區為持續的西南西風，風速以 5~8m/s 為主，劑量(50mSv 以上)主要影響的區域在核三廠附近半徑 2~4 公里，往東傳送至恆春鎮的墾丁里，亦影響了周圍的南灣里、龍水里和大光里。A-2 類型(圖 2.2.73)中，大陸高壓帶來的東北東風與副高的西南西風，造成了一個長條形的劑量分布，風速較小易於累積，因此核三廠的西南西邊累積較東北東邊累積的多，劑量(50mSv 以上)主要影響的區域為恆春鎮山海里、水泉里、龍水里、大光里、南灣里和墾丁里。類型 B(圖 2.2.74)當中，核三廠地區主要為副高帶來的西南風，風速較大，可達到 10m/s 以上，擴散快速，劑量(50mSv 以上)主要影響的區域為恆春鎮龍水里、大光里和南灣里和墾丁里西北方的一小區域。類型 C-1(圖 2.2.75)中，受副高及颱風影響，核三地區有一小段時間的東北風，較長時間的西南風，劑量(50mSv 以上)主要影響的區域為恆春鎮龍水里、大光里和南灣里和墾丁里。類型 C-2(圖 2.2.76)中，偉帕颱風在台灣西南邊，以及太平洋高壓西伸，因此對核三地區主要帶來東風、東北風，劑量(50mSv 以上)主要影響的區域在恆春鎮山海里、水泉里、龍水里、大光里、南灣里。C-3 類型中(圖 2.2.77)，這週白鹿颱風由熱帶擾動升級成颱風，最後由台東滿州鄉登陸，高雄楠梓出海，但因為使用的是 NCEP GFS 資料經過降尺度的氣象資料，於颱風登陸期間已是預報 72 小時之後了，颱風的位置與實際不同，較為北偏，因此，在核三廠劑量的結果上看不到明顯影響，主要為西南風，風速最大可達到 10m/s，除西南風外，風向多變且風速不大，因此累

積的情況，大致以核三廠為中心，半徑 2~3 公里有較大的劑量累積，影響的區域有恆春鎮山海里、水泉里、龍水里、大光里、南灣里和墾丁里。D-1 類型(圖 2.2.78)中，利奇馬為強烈颱風，受其影響核三廠這週有高達 80%的西南西風，且風速都大於 10m/s，擴散條件良好，劑量(50mSv 以上)主要影響的區域為恆春鎮龍水里、大光里、南灣里和墾丁里，範圍較小。D-2 類型(圖 2.2.79)中，台灣這一週主要都未在低壓帶中，核三地區多為西風、西南西風，風速不弱，劑量主要影響的區域為恆春鎮龍水里、大光里、南灣里和墾丁里。

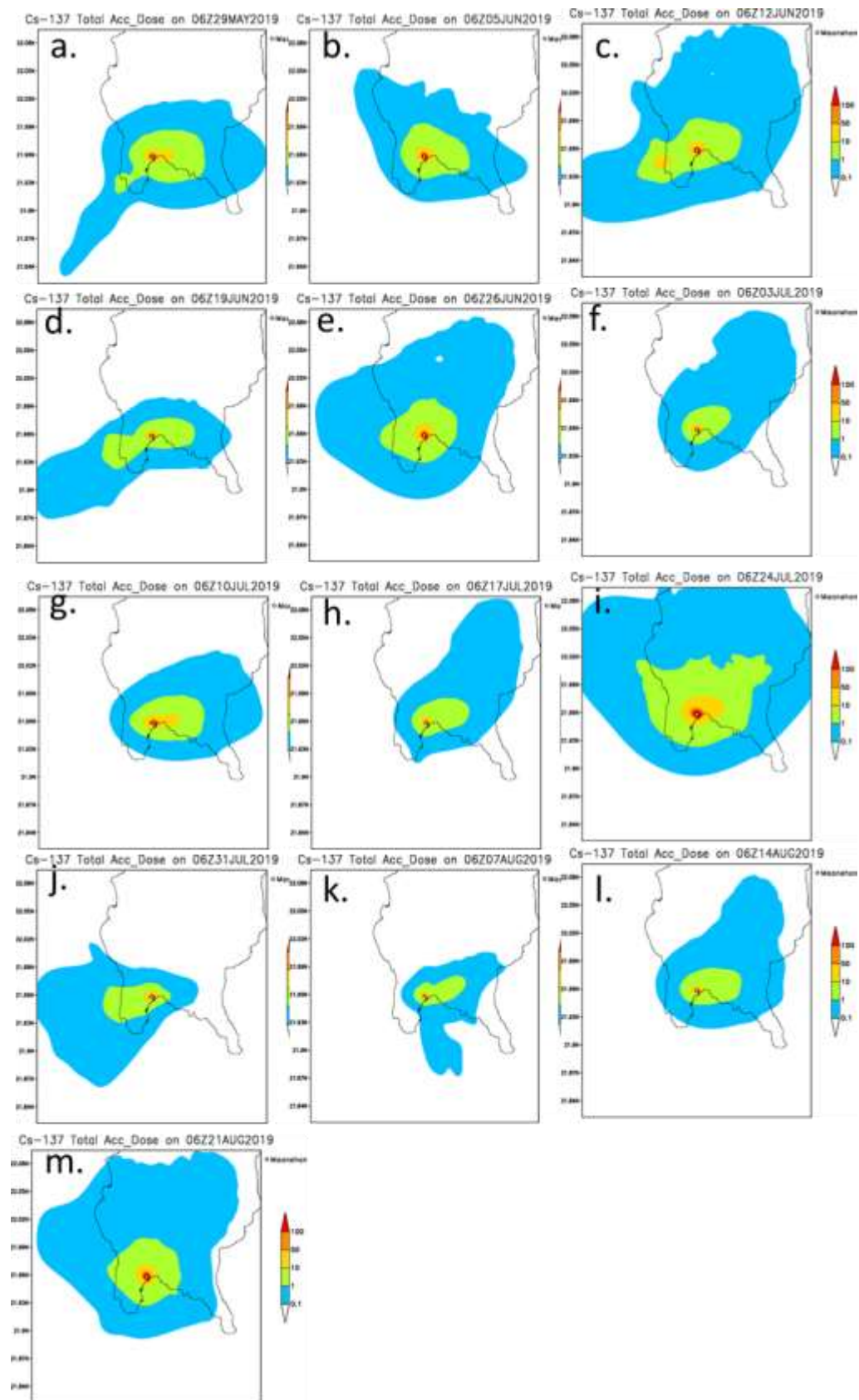


圖 2.2.70 核三廠夏季，自 2019 年 5 月 29 日至 2019 年 8 月 28 日 Cs-137 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

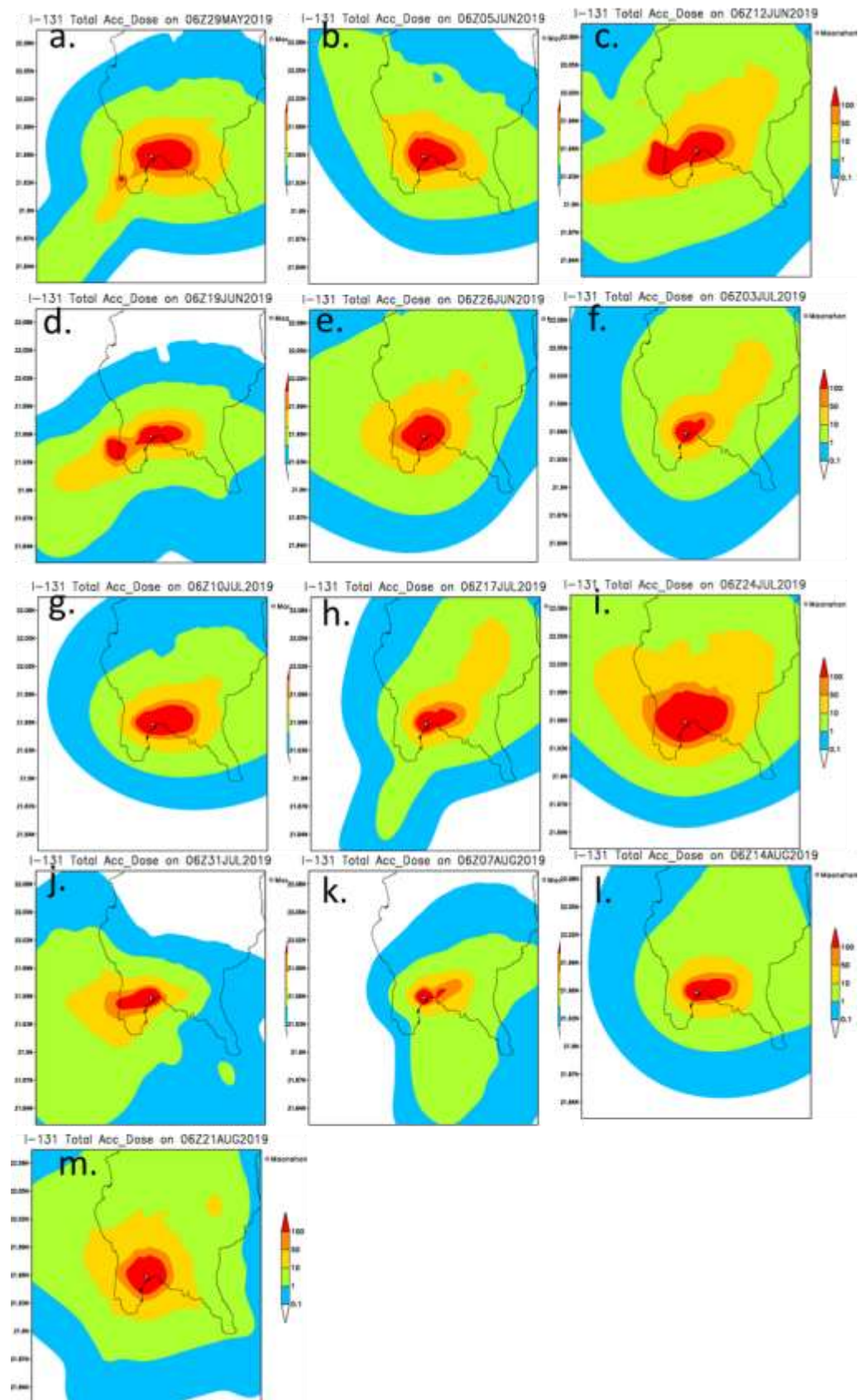


圖 2.2.71 核三廠夏季，自 2019 年 5 月 29 日至 2019 年 8 月 28 日 I-131 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

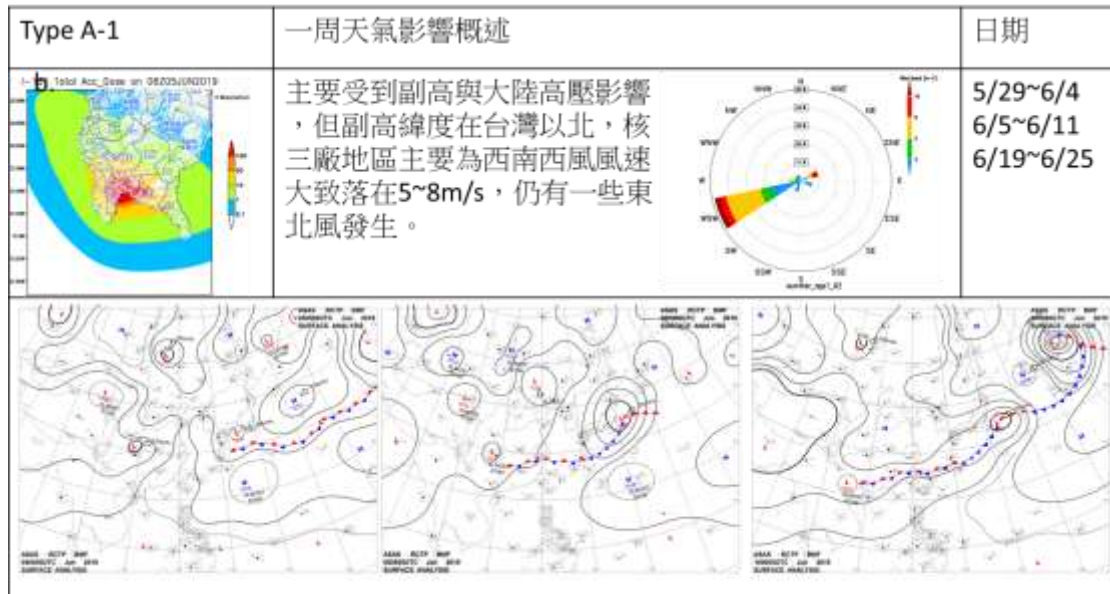


圖 2.2.72 2019 年核三廠夏季，劑量分布類型 A-1，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

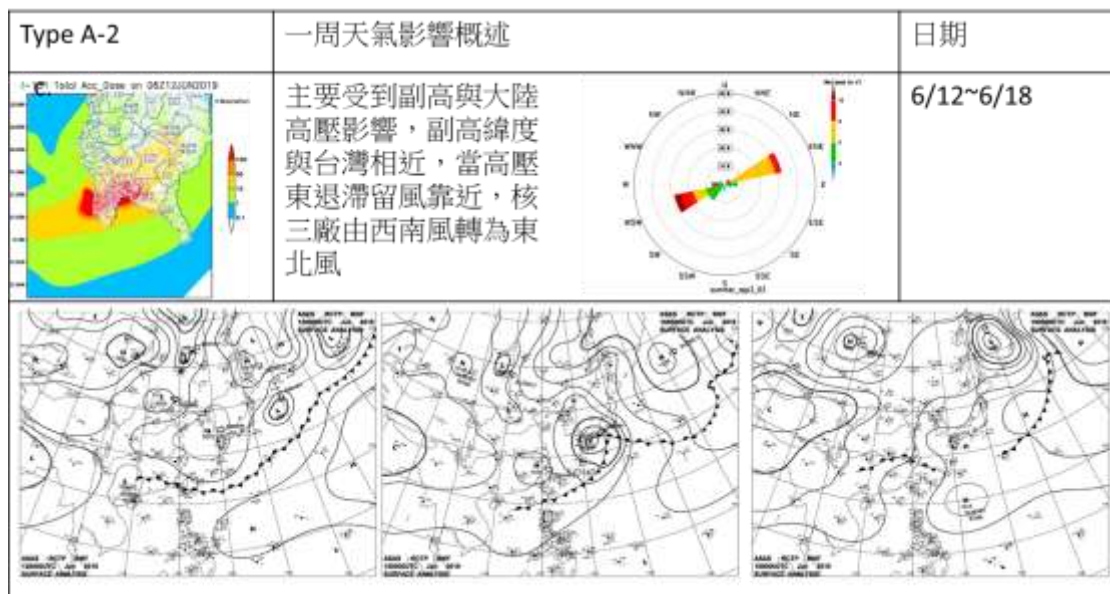


圖 2.2.73 2019 年核三廠夏季，劑量分布類型 A-2，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

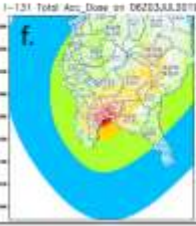
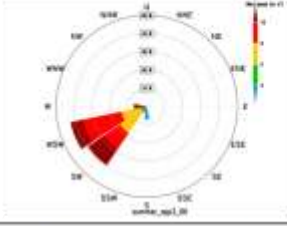
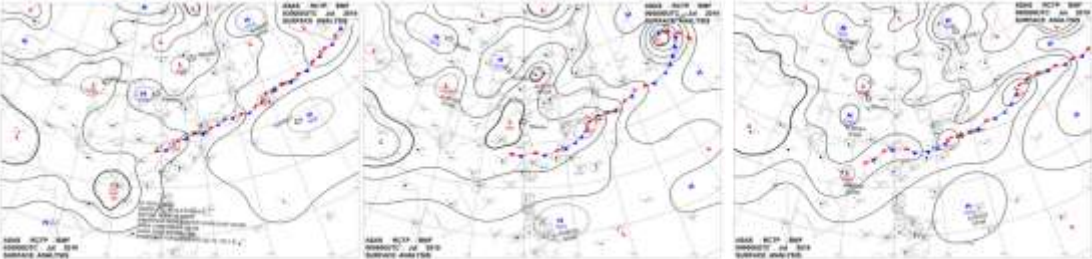
Type B	一周天氣影響概述	日期
	主要只受到副高影響，有時亦為弱縱觀的天氣型態，風場主要為西南風。 	6/26~7/2 7/3~7/9 7/10~7/16 7/24~7/30
		

圖 2.2.74 2019 年核三廠夏季，劑量分布類型 B，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

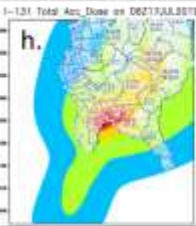
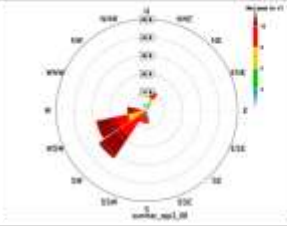
Type C-1	一周天氣影響概述	日期
	主要受到副高與颱風影響，丹納斯颱風由台灣的東部外海一路往北，核三廠主要為西南風。 	7/17~7/23
		

圖 2.2.75 2019 年核三廠夏季，劑量分布類型 C-1，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

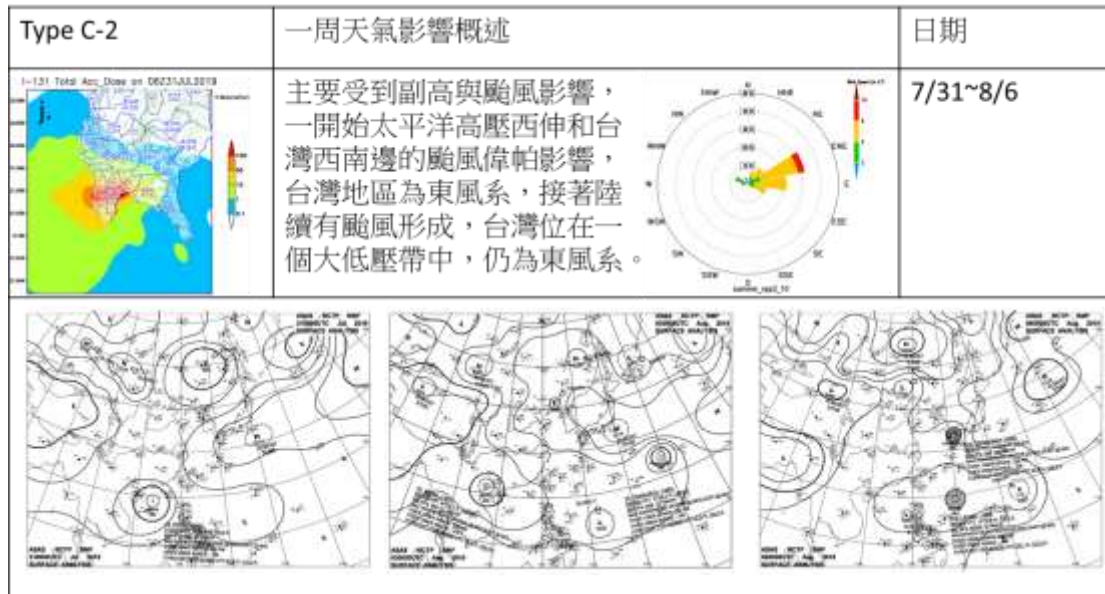


圖 2.2.76 2019 年核三廠夏季，劑量分布類型 C-2，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

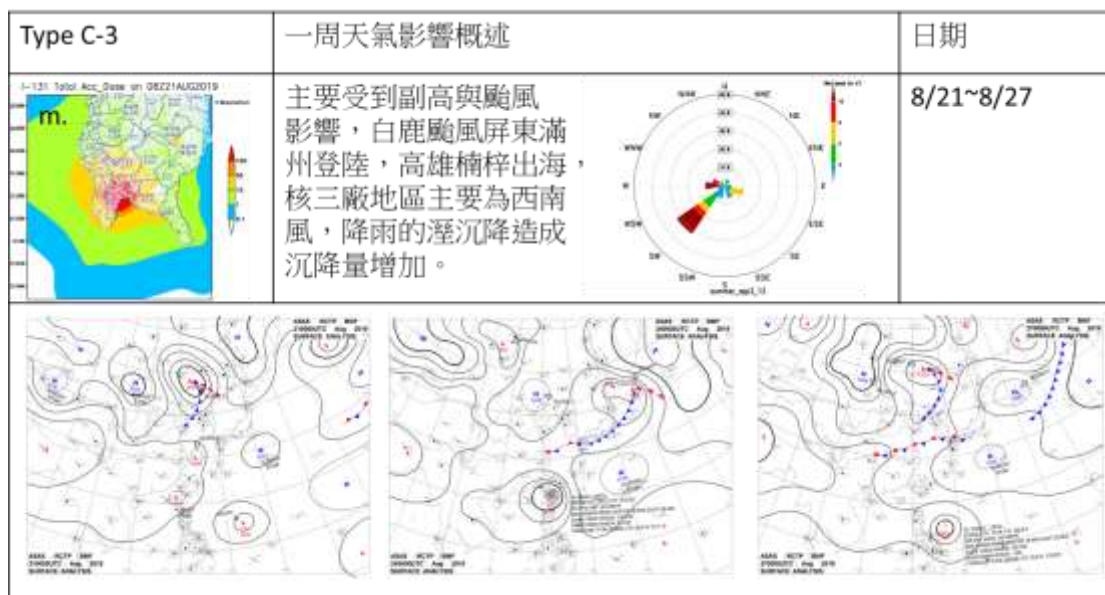


圖 2.2.77 2019 年核三廠夏季，劑量分布類型 C-3，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

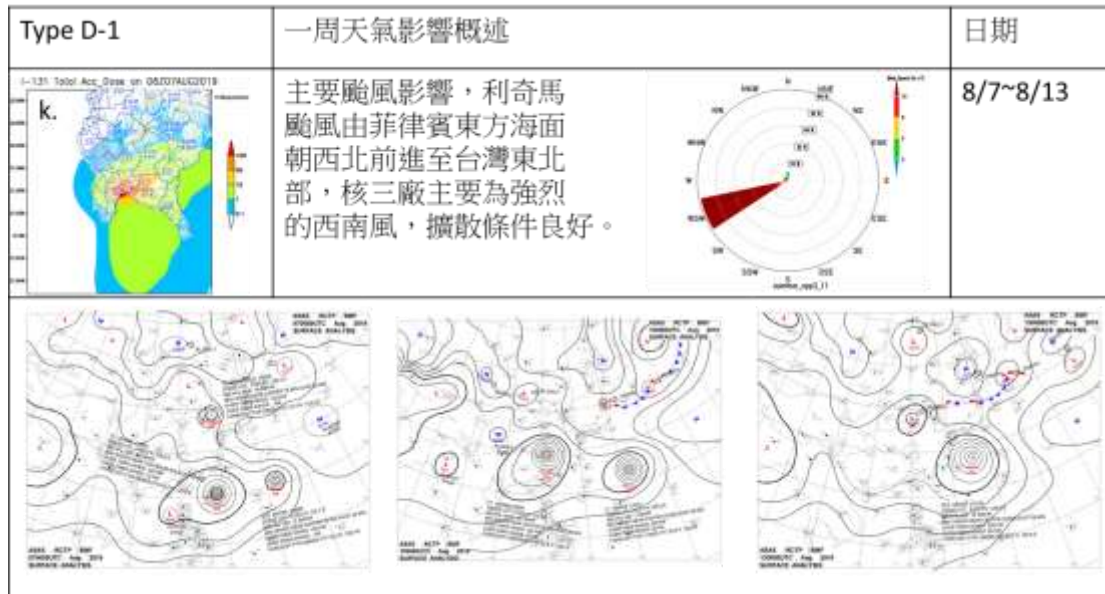


圖 2.2.78 2019 年核三廠夏季，劑量分布類型 D-1，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

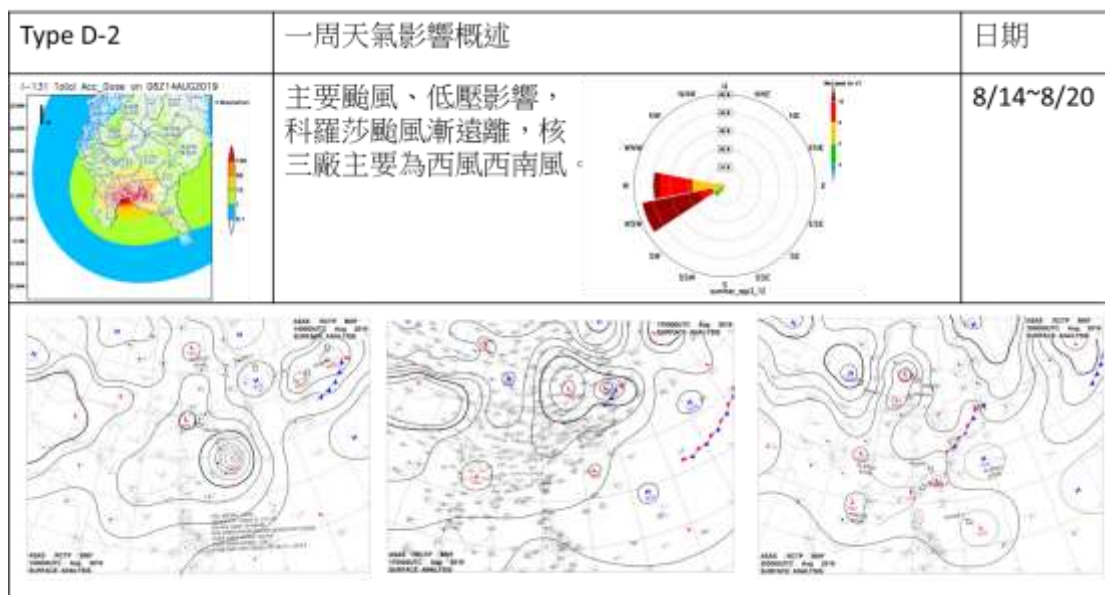


圖 2.2.79 2019 年核三廠夏季，劑量分布類型 D-2，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

圖 2.2.80 為福清電廠各週 Cs-137 劑量累積分布，與國內其他電廠不同，僅有 2500 公尺解析度的模擬，因此，其劑量的累積，不似核一到核三廠解析度高。福清電廠一樣依照台灣附近的大環境分為 8 個類型，但整體而言，福清電廠的風場由東北風、西南風和兩者的組成，且受到台灣海峽的通道效應作用，風速偏大。A-1 類型(圖 2.2.81)中，副高影響，主要為西南風，風速不大，劑量主要往福清之東北方累積。A-2 類型(圖 2.2.82)中，副高較為南邊，於福清電廠而言是南南西風，當大陸高壓出之後便轉換成東北風，風速不大，在福清的西南方有較大範圍的劑量累積。B 類型(圖 2.2.83)中，主要受副高影響，為或強或弱的西南風為主，選取的這週(圖 2.2.83)，風速偏強，累積狀況不顯著。C-1 類型(圖 2.2.84)，受丹娜斯颱風的路徑影響，風向由東北轉為西南，之後便是副高靠近之西南風，因此西南風頻率較多，主要往福清電廠東北方累積。C-2 類型(圖 2.2.85)，受在台灣西南邊的偉帕颱風以及陸續形成的熱帶低壓影響，福清地區為東北風、北風，劑量往其下風處累積。C-3 類型(圖 2.2.86)，由於 NCEP GFS 模式預報白鹿颱風的路徑與真實不同，颱風由竹苗出海重組，在福清地區造成東北風，這天風速頗大，劑量累積狀況不明顯。在 D-1 類型(圖 2.2.87)中，利奇馬颱風逼近台灣北部，並且隨著颱風往北走，由東北轉為西南風，風速頗強，累積狀況不明顯。在 D-2 類型(圖 2.2.88)中，科羅莎颱風遠離，華南一代熱帶低壓影響，皆為西南風，風速或強或弱，在福清的東北方有劑量累積。

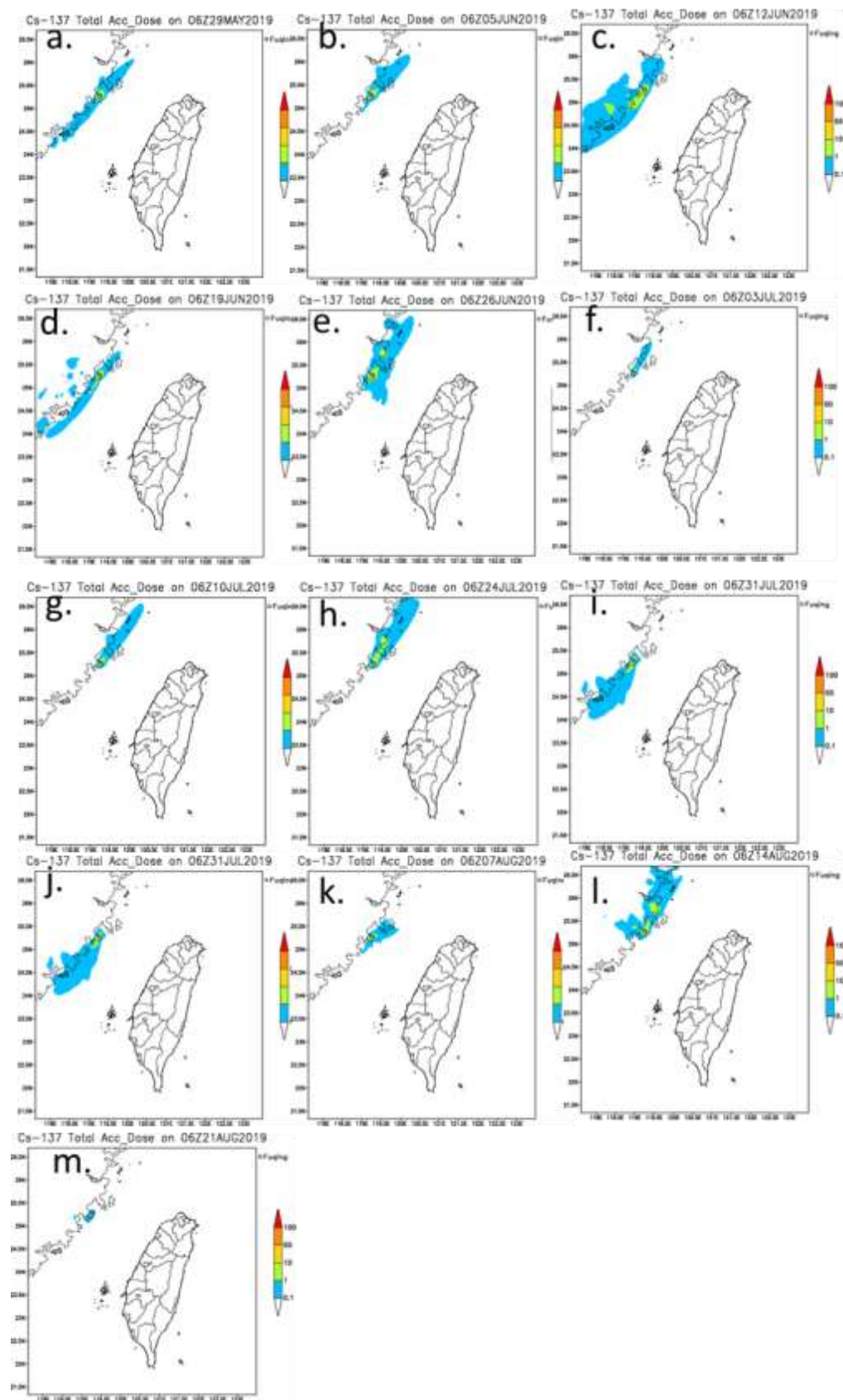


圖 2.2.80 福清電廠夏季，自 2019 年 5 月 29 日至 2019 年 8 月 28 日 Cs-137 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

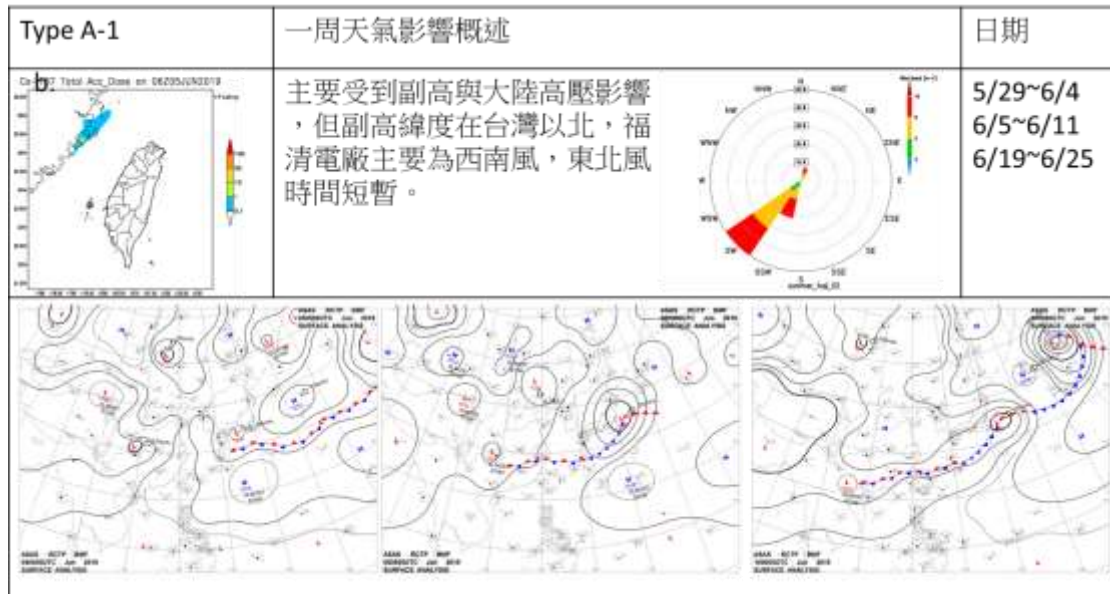


圖 2.2.81 2019 年福清電廠夏季，劑量分布 A-1 類型，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

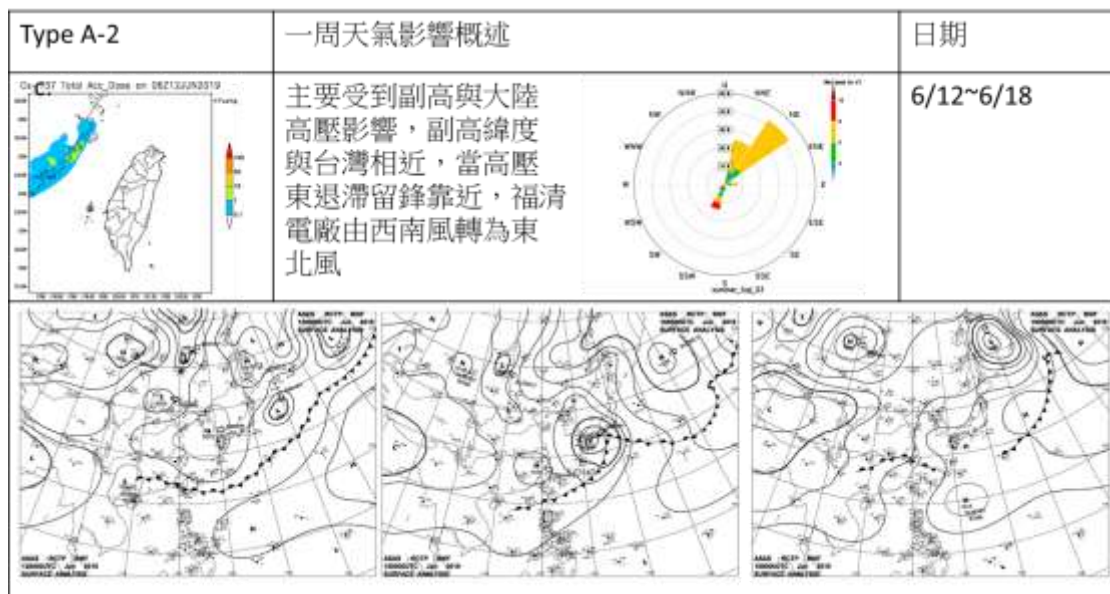


圖 2.2.82 2019 年福清電廠夏季，劑量分布 A-2 類型，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

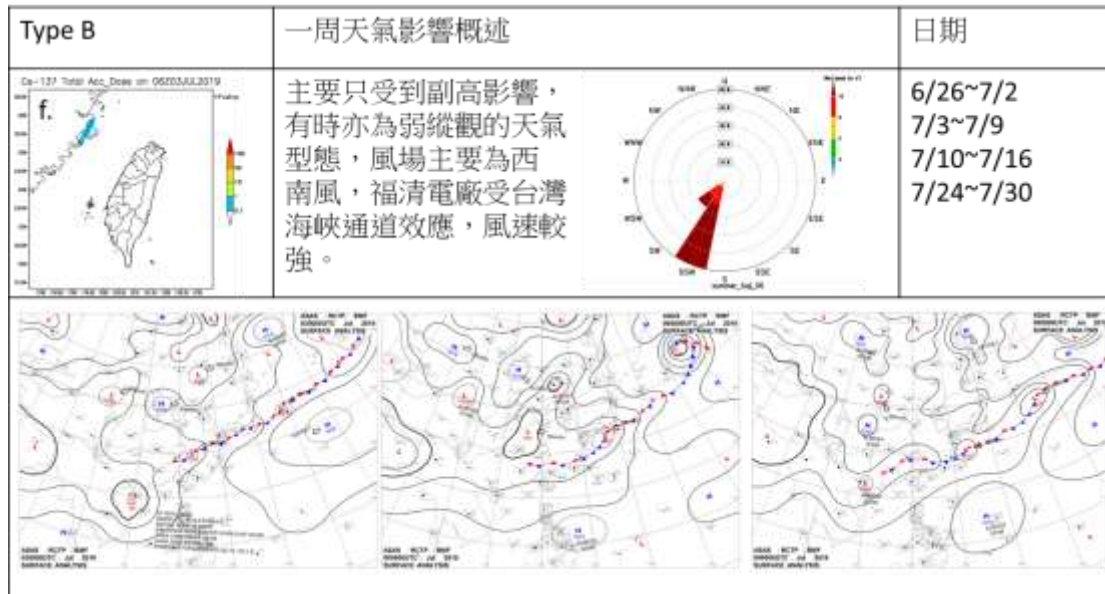


圖 2.2.83 2019 年福清電廠夏季，劑量分布 B 類型，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

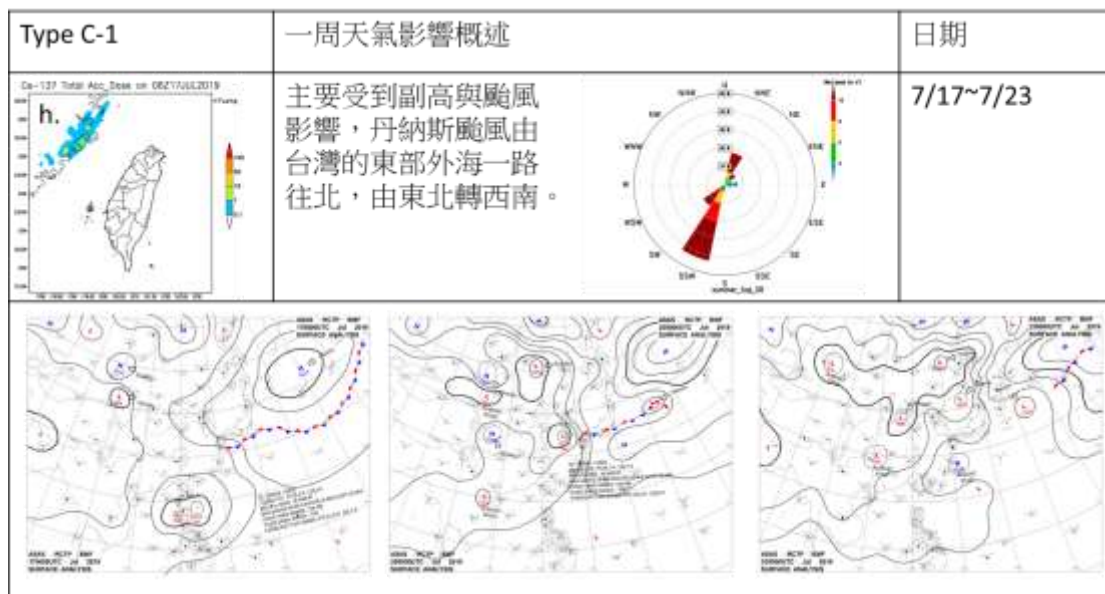


圖 2.2.84 2019 年福清電廠夏季，劑量分布 C-1 類型，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

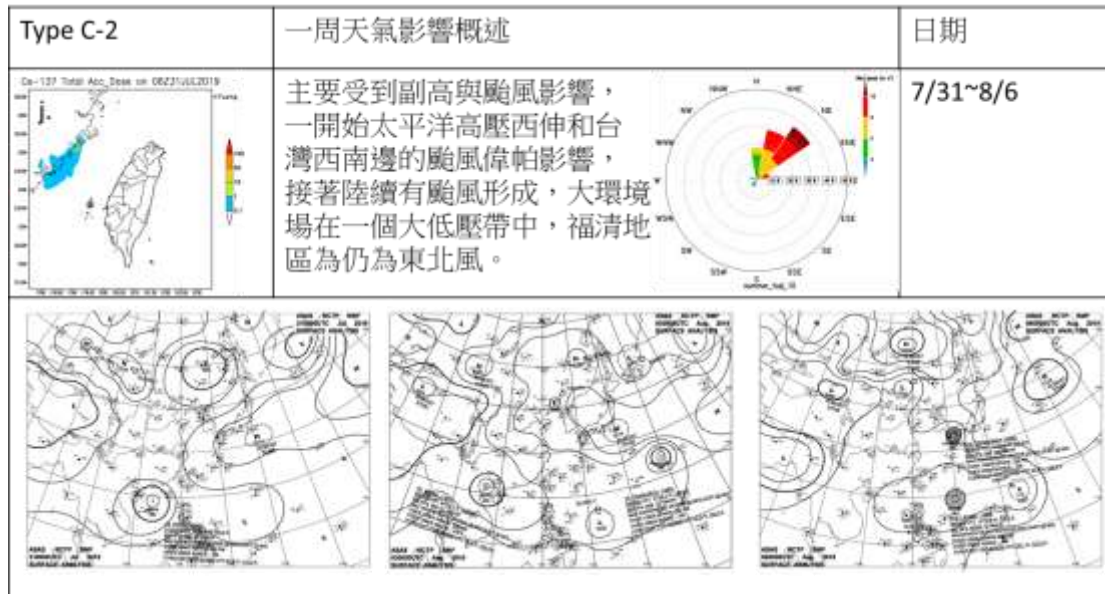


圖 2.2.85 2019 年福清電廠夏季，劑量分布 C-2 類型，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

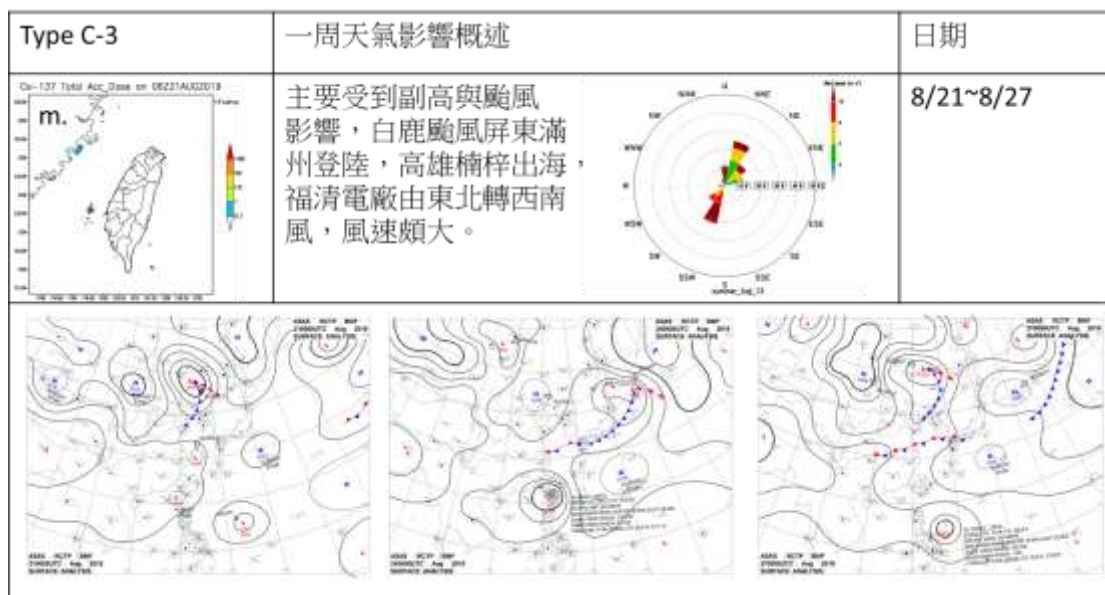


圖 2.2.86 2019 年福清電廠夏季，劑量分布 C-3 類型，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

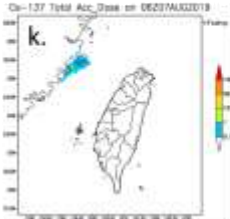
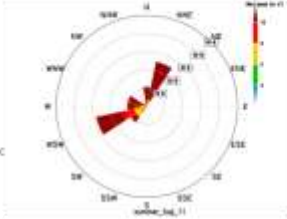
Type D-1	一周天氣影響概述	日期
	主要颱風影響，利奇馬颱風在台灣東部海面由南往北經過，福清電場由東北轉西南風，風速較大，擴散條件良好。 	8/7~8/13
		

圖 2.2.87 2019 年福清電廠夏季，劑量分布 D-1 類型，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

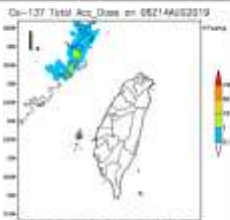
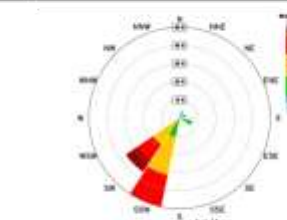
Type D-2	一周天氣影響概述	日期
	主要颱風、低壓影響，科羅莎颱風漸遠離，福清電廠主要為西風西南風。 	8/14~8/20
		

圖 2.2.88 2019 年福清電廠夏季，劑量分布 D-2 類型，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

4. 秋季案例探討

到了秋季，台灣的大環境場又變得更為複雜，在初秋之際西北太平洋區域仍有許多颱風生成，但隨著海溫的降低，颱風的強度會越來越弱，生命期也越來越短，此北方的冷空氣也漸漸的增強勢力，加入了這個季節影響天氣的行列，因此在 2019 年 8 月 28 日至 11 月 19 日以及 2018 年 11 月 21 日~11 月 27 日^{註 1}，共 13 週，分成 A 類，是南方勢力影響為主，偏夏季型態的類型，有分為有受到副高影響的 A-1 類型，及主要受到颱風和熱帶低壓影響的 A-2 類型，B 類型為北方與南方勢力皆有影響的一週，其中又分為兩類，B-1 類型為大陸高壓與颱風影響，B-2 類型則為高壓出海與颱風影響的類型，C 類型則為北方勢力影響為主的一週，大陸高壓與高壓出海交替的影響，但此時大陸高壓帶下來的東北風仍不似冬天那麼強，高壓出海時的大陸高壓空檔也比冬天時長，東風系影響時間長。

在核一的秋季，其各週的 Cs-137 和 I-131 的劑量累積如圖 2.2.89 和圖 2.2.90，A-1 類型(2.2.91)的這一週主要受到太平洋副高及楊柳和玲玲颱風的影響，先是玲玲颱風在台灣西南邊，以及副高在台灣東北邊，台灣主要為東南風，接著在台灣東南邊的熱帶低壓漸漸升級成玲玲颱風，為核一廠地區帶來的都是以東南風為主，風速有強有弱，其劑量(50mSv 以上)主要為石門區山溪里、石門里、尖鹿里、乾華里、茂林里、草里里，以及金山區永興里。A-2 類型(2.2.92)則主要為熱帶低壓、熱帶擾動，其位置大約都在台灣東邊海面上由南往北移動，對核一廠的影響為東風、東北風，但風速不大，都在 10m/s 以下，其劑量主要影響的區域為石門區德茂里、富基里、老梅里、山溪里、

註 1: 因截自報告繳交日期之前，尚來不及蒐集，便以去年相同時間之資料加入統計分析

石門里、乾華里、茂林里、草里里，及三芝區的橫山里部分區域。

B-1 類型(2.2.93)主要受到台灣東南方的熱帶擾動往北北西前進，並增強為颱風，台灣北部地區由東北轉為西北風，接著受到大陸高壓南下，又轉為東北風，其劑量(50mSv 以上)主要影響的區域有山芝區的茂長里、橫山里，石門區的富基里、老梅里、石門里、山溪里、尖鹿里、乾華里、茂林里和草里里。B-2 類型(2.2.94)是颱風與高壓出海影響的類型，這週一開始是米塔颱風在台灣の北方，但距離較遠為微弱的西風，接著受高壓出海，台灣北部主要為 5~10m/s，劑量(50mSv 以上)主要影響的區域為石門區的富基里、老梅里、山溪里、石門里、尖鹿里、乾華里、茂林里、草里里。C 類型(2.2.95)則是偏向於冬天的天氣型態，在大陸高壓影響下為風速較強的東北風，當高壓出海則為風速較弱的東北東風，這週劑量累積主要影響的區域石門區富基里、石門里、山溪里、乾華里、茂林里。

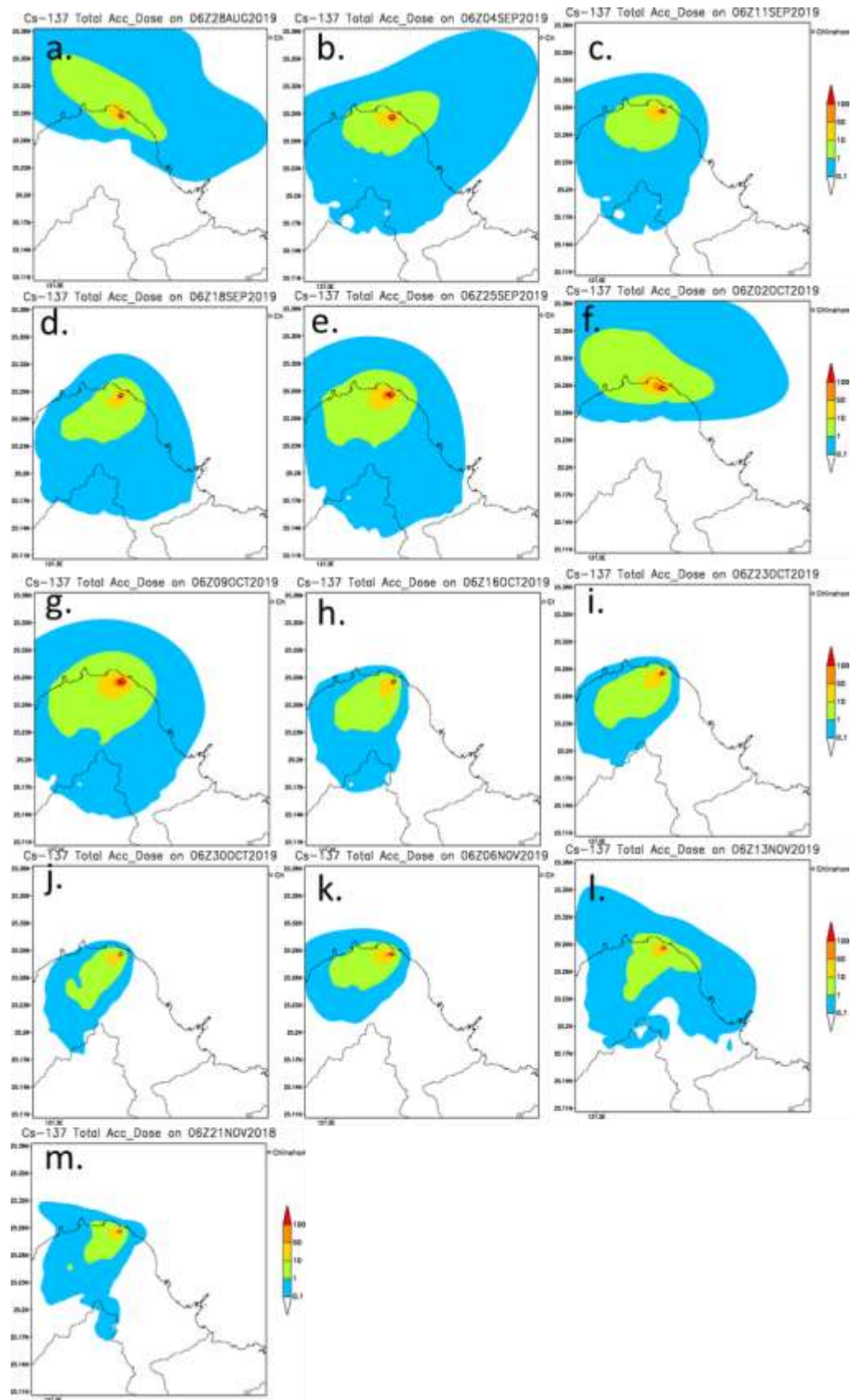


圖 2.2.89 核一廠秋季，自 2019 年 8 月 29 日至 2019 年 11 月 19 日及 2018 年 11 月 21 日至 27 日 Cs-137 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

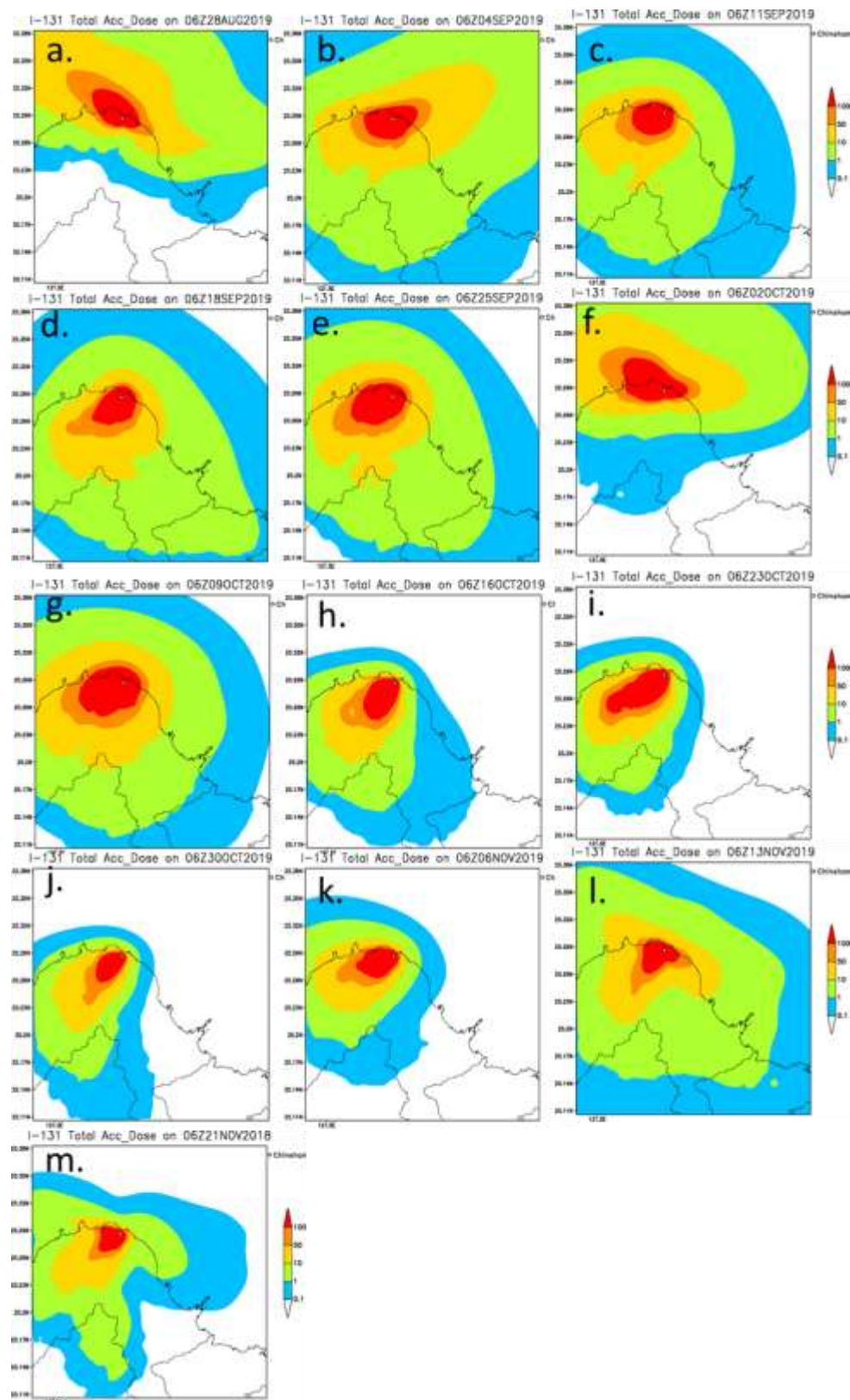


圖 2.2.90 核一廠秋季，自 2019 年 8 月 29 日至 2019 年 11 月 19 日及 2018 年 11 月 21 日至 27 日 I-131 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

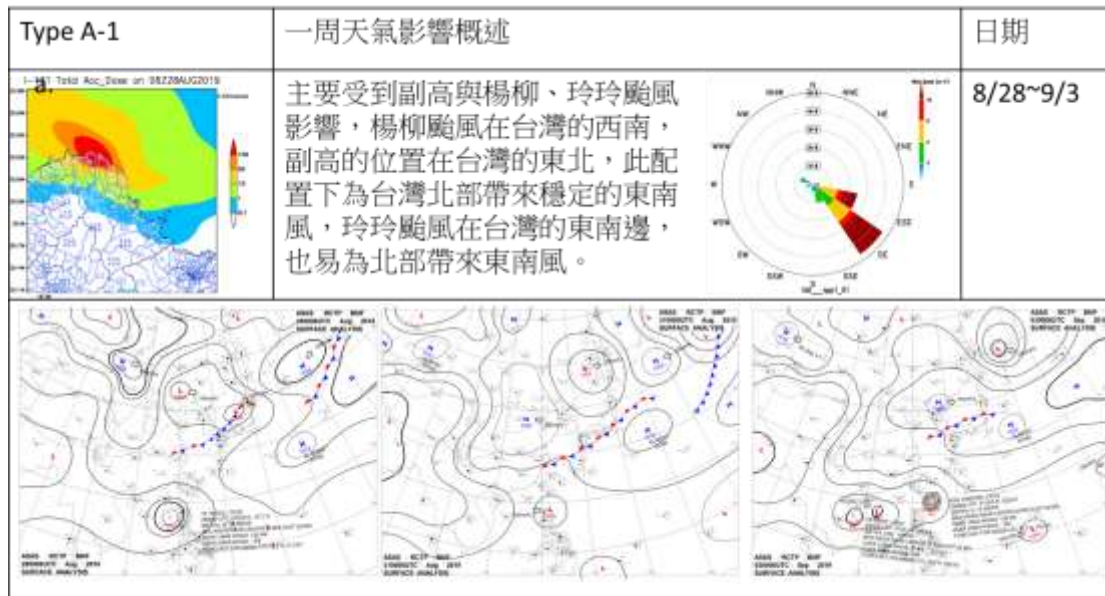


圖 2.2.91 2019 年核一廠秋季，劑量分布類型 A-1，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

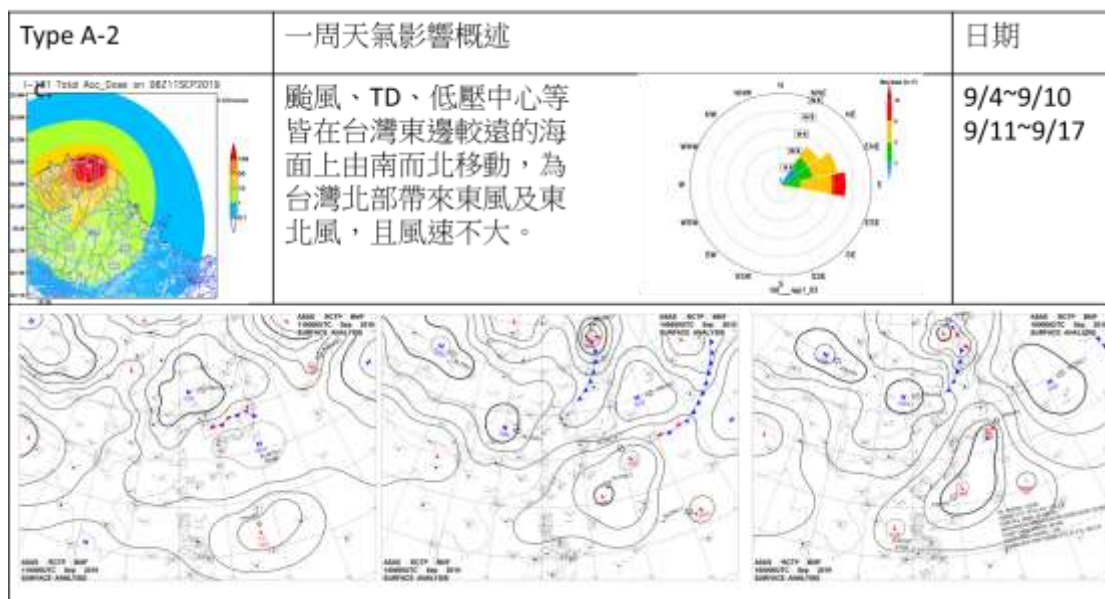


圖 2.2.92 2019 年核一廠秋季，劑量分布類型 A-2，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

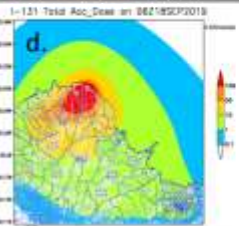
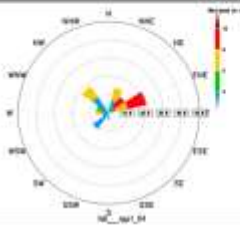
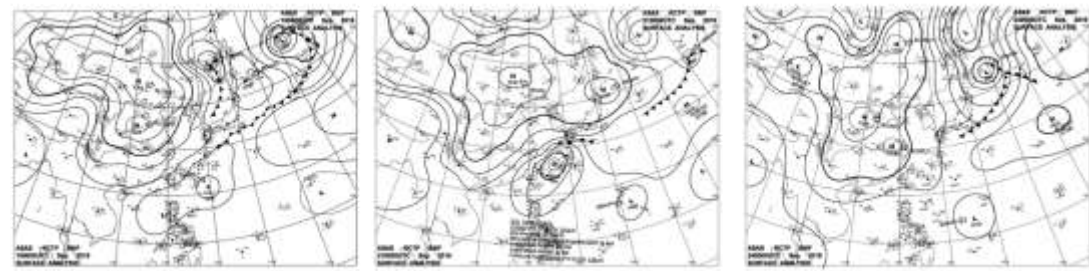
Type B-1	一周天氣影響概述	日期
	在東經140度、北緯20度的TD往北北西移動，並增強為颱風，風向由東北轉為西北風，緊接著大陸高壓影響再轉為東北風。 	9/18~9/24 9/25~10/1 10/16~10/22 10/23~10/29
		

圖 2.2.93 2019 年核一廠秋季，劑量分布類型 B-1，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

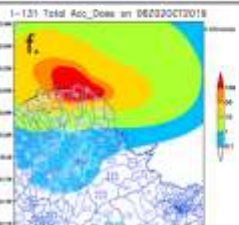
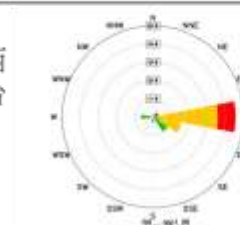
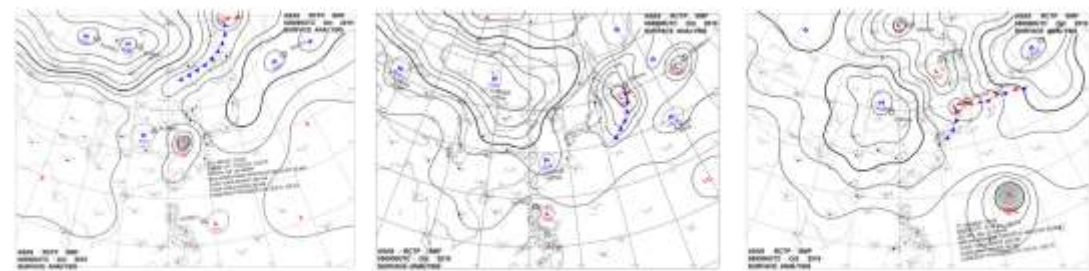
Type B-2	一周天氣影響概述	日期
	米塔颱風已為在台灣北邊，為台灣北部帶來短暫的西風，接著高壓出海，亦為台灣帶來東風。 	10/2~10/8
		

圖 2.2.94 2019 年核一廠秋季，劑量分布類型 B-2，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

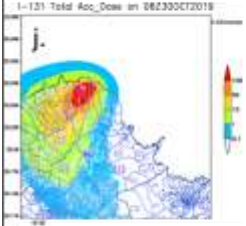
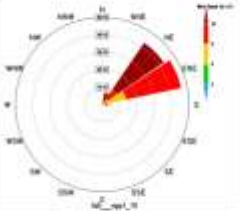
Type C	一周天氣影響概述	日期
	主要是大陸高壓及高壓出海接近於冬天的天氣型態了，通常大陸高壓影響為台灣北部帶來東北風，而高壓出海則是東風系，若高壓出海的偏北，則為北風分量多一些，偏南則難風分量多一些。 	10/9~10/15 10/30~11/5 11/6~11/12 11/13~11/19 11/21~11/27
		

圖 2.2.95 2019 年核一廠秋季，劑量分布類型 C，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

圖 2.2.96 和圖 2.2.97 為核二廠秋季 Cs-137 和 I-131 的七天劑量累積。A-1 類型(圖 2.2.98)，東南風為主的，主要影響的是核二廠的西北方區域，主要影響的區域為石門區乾華里、茂林里、草里里，金山區除重和里之外，萬里區的黃潭里、大鵬里、野柳里、龜吼里。A-2 類型(圖 2.2.99)，對核二的區主要是東風系及東北風的影響，風速都很小，多影響的是核二廠的西半邊，但因為風速小擴散不易，劑量大致是以核二廠為中心的圓形範圍累積，影響的區域有金山區萬壽里、美田里、磺港里、金美里、大同里、和平里、豐漁里，萬里區的大鵬里、磺潭里、野柳里、萬興里、龜吼里、中幅里、崁腳里。B-1 類型(圖 2.2.100)，主要為北風系，包含了東北風及西北風，影響的區域在萬里區的野柳里、磺潭里、雙興里、溪底里、崁腳里、中幅里，以及金山區的重和里。B-2 類型(圖 2.2.101)，微弱的西北風與頻率最多的東南風為主，劑量大多往核二廠的西北方向累積，其中累積劑量 100mSv 以上在大屯山北部的山谷的區有累積，大約是在石門區乾華里、和茂林里，而劑量 50mSv 以上影響的區域為，石門區山溪里、乾華里、茂林里、草里里，整個金山區，萬里區的大鵬里、磺潭里、雙興里、中幅里、野柳里、龜吼里。C 類型(圖 2.2.102)中，代表的這週當中，主要為東北風，劑量主要影響的區域為萬里區大鵬里、磺潭里、雙興里、野柳里、龜吼里、中幅里、崁腳里、溪底里，和金山區重和里的東南部區域。

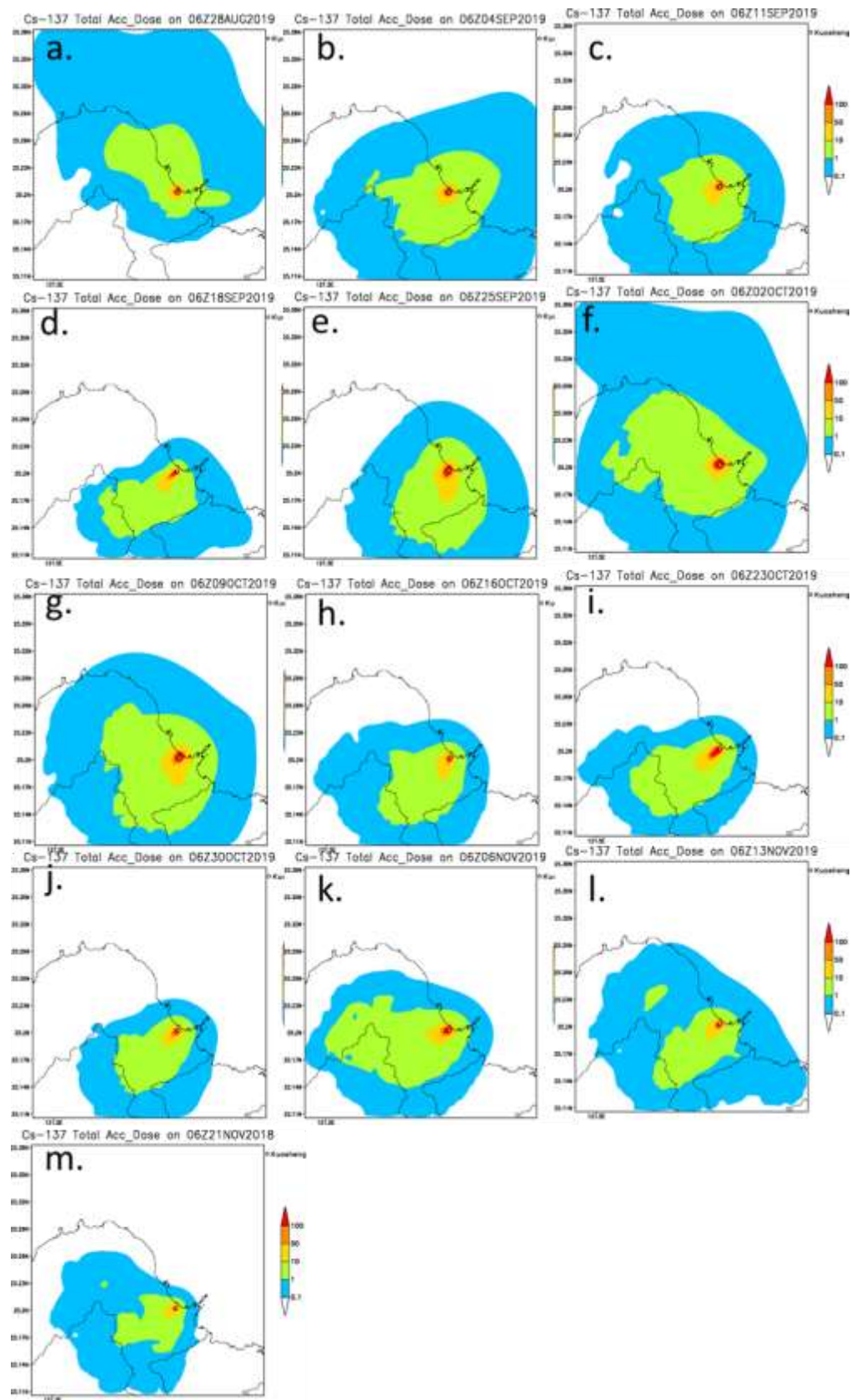


圖 2.2.96 核二廠秋季，自 2019 年 8 月 29 日至 2019 年 11 月 19 日及 2018 年 11 月 21 日至 27 日 Cs-137 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

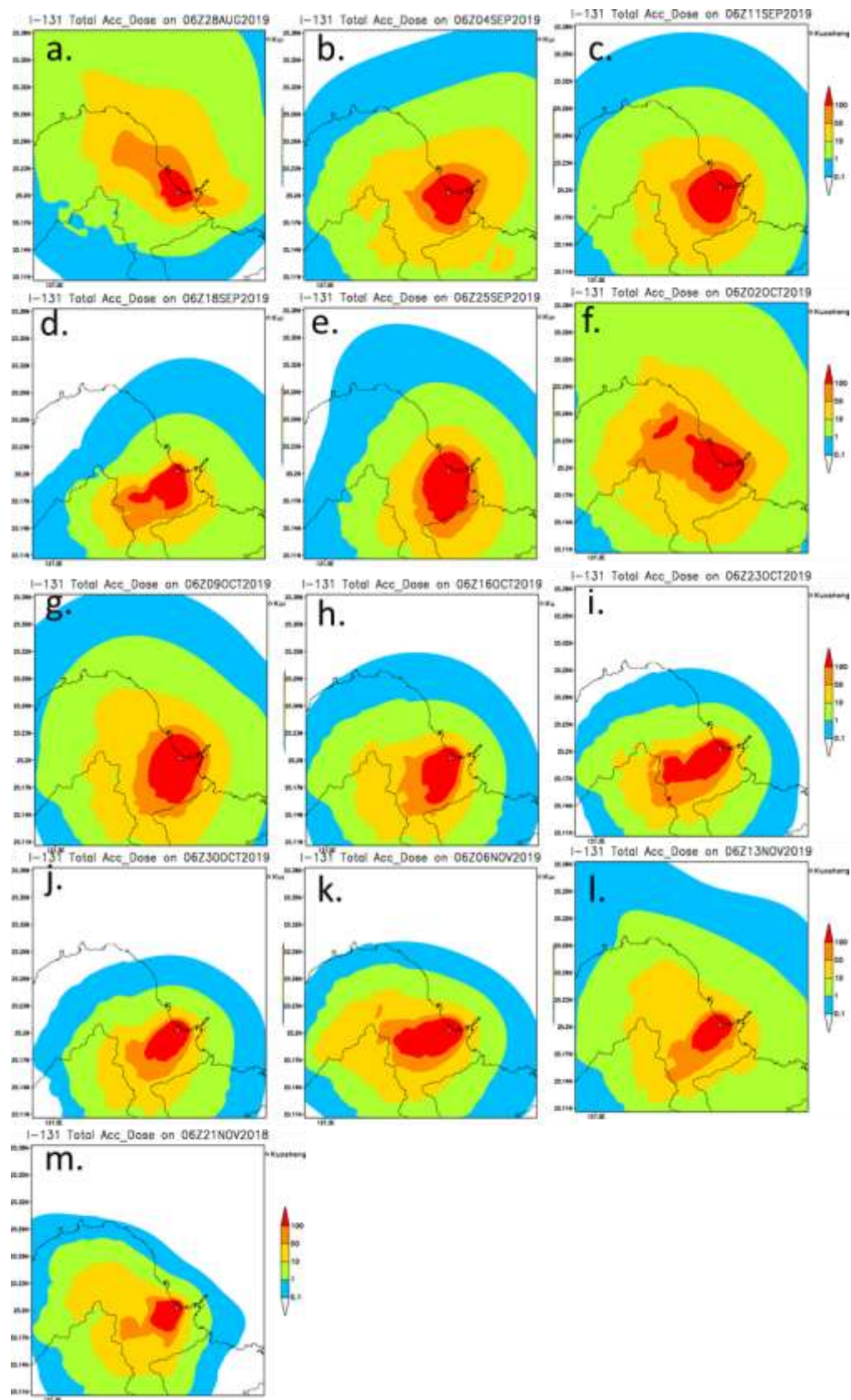


圖 2.2.97 核一廠夏季，自 2019 年 8 月 29 日至 2019 年 11 月 19 日及 2018 年 11 月 21 日至 27 日 I-131 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

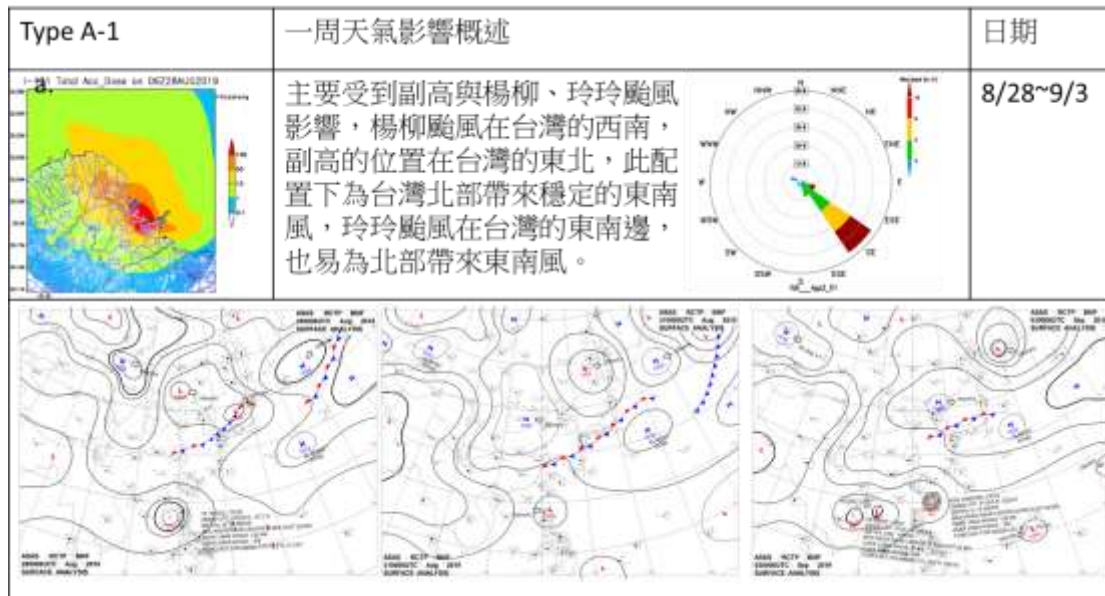


圖 2.2.98 2019 年核二廠秋季，劑量分布類型 A-1，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

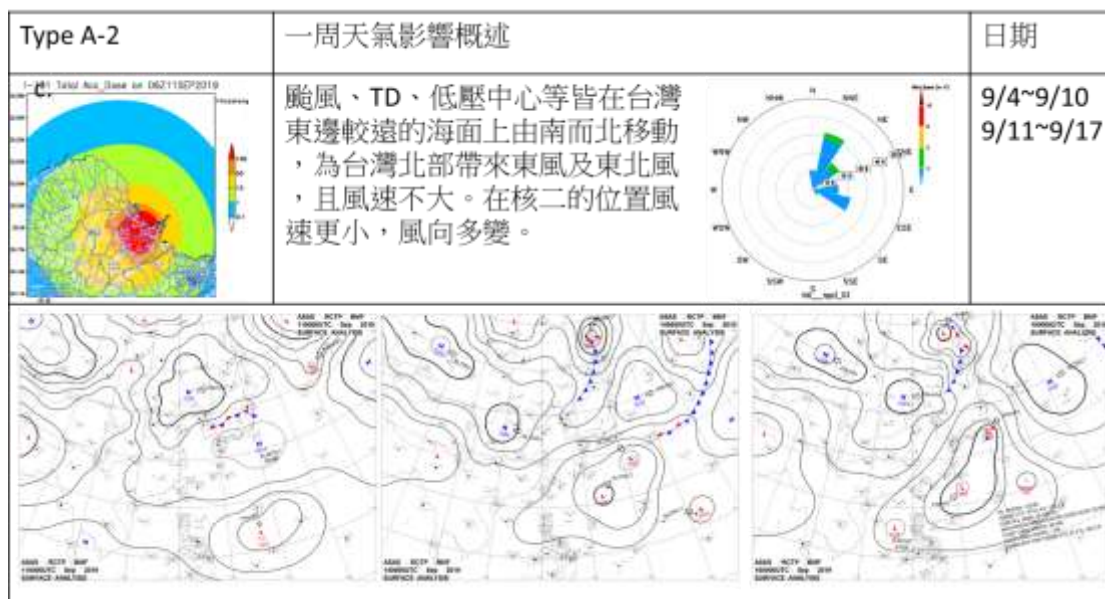


圖 2.2.99 2019 年核二廠秋季，劑量分布類型 A-2，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

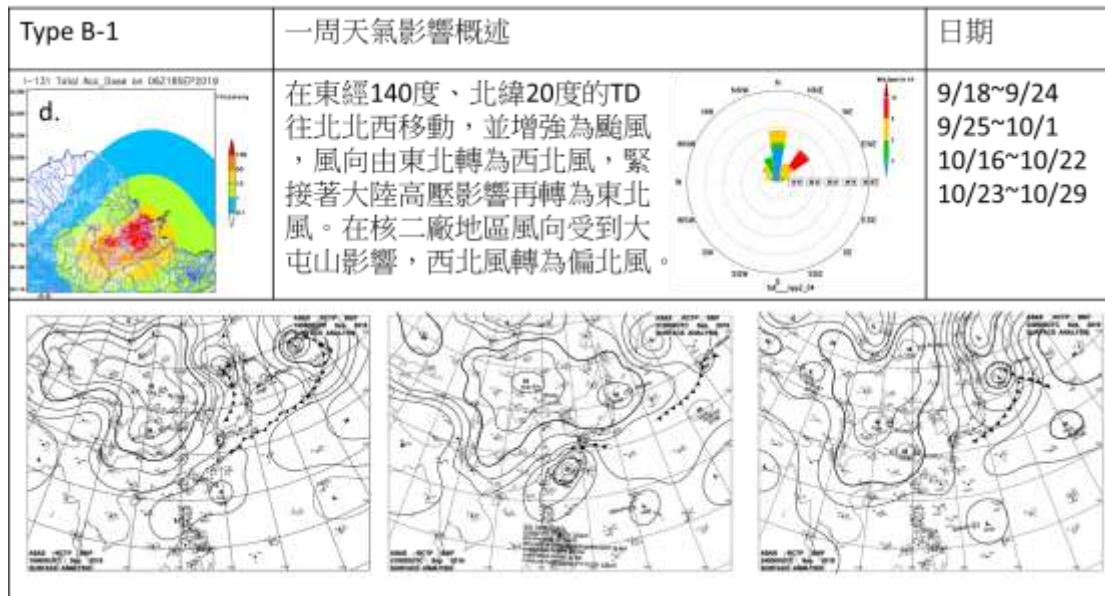


圖 2.2.100 2019 年核二廠秋季，劑量分布類型 B-1，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

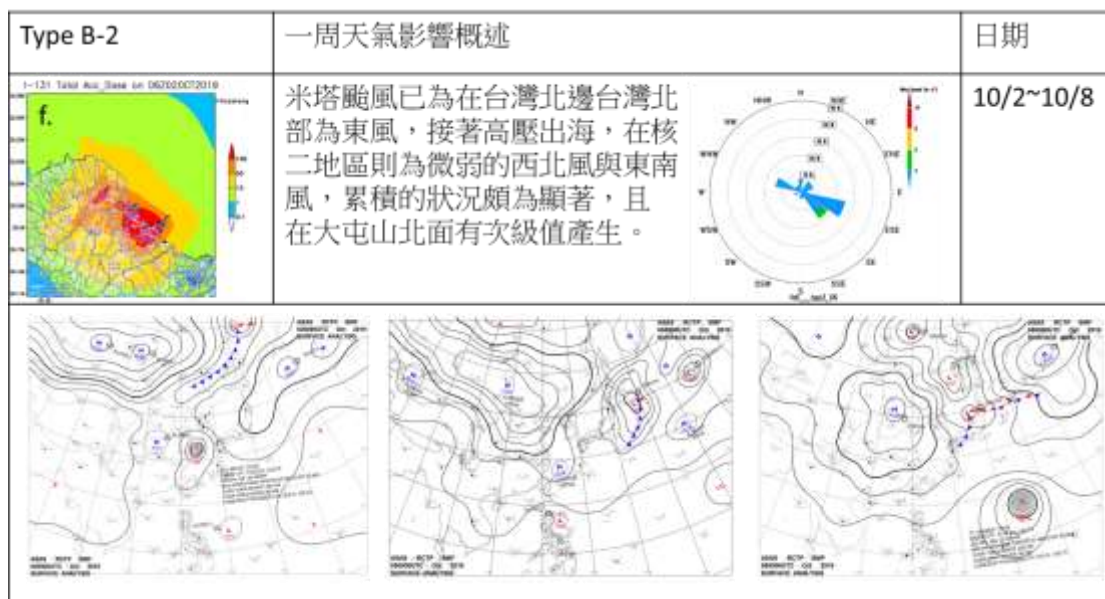


圖 2.2.101 2019 年核二廠秋季，劑量分布類型 B-2，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

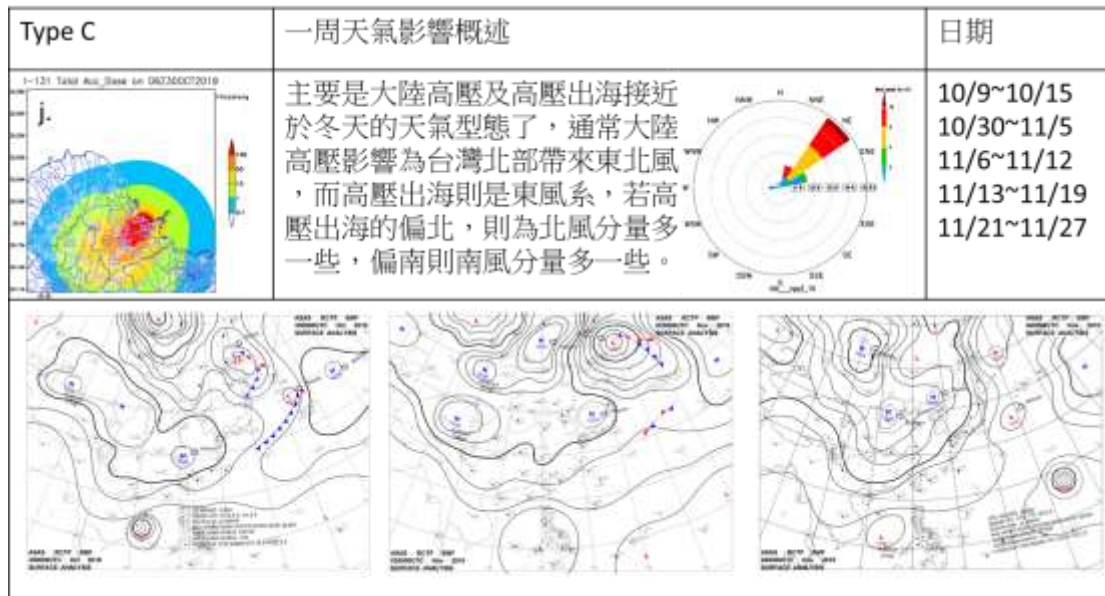


圖 2.2.102 2019 年核二廠秋季，劑量分布類型 C，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

圖 2.2.103 和圖 2.2.104 為核三廠秋季各週之 Cs-137 和 I-131 的七天有效劑量累積的分布圖。在核三廠秋季的 A-1 類型(圖 2.2.105)中，影響核三廠地區的圍強勁的東風為主，因此其累積主要在核三廠的西邊，範圍不大，影響的區域為恆春鎮的山海里、水泉里、南灣里、大光里、龍水里和小部分的墾丁里。A-2 類型(圖 2.2.106)中，低壓系統主要在核三的區的東北方，因此總為此地區帶來東北風，但距離較遠，風速不大，影響的區域有恆春鎮的龍水里、大光里、南灣里。B-1 類型(圖 2.2.107)中，無論是低壓系統還是大陸高壓對核三地區的影響皆以東北風為主，劑量主要影響的區域有恆春鎮的南灣里、大光里、龍水里和水泉里。核三的 B-2 類型(圖 2.2.108)與 B-1 類型相似，風向以及影響的區域大致相同。C 類型(圖 2.2.109)中，非常一致且強勁的東北風，其影響的區域更小，僅恆春鎮的南灣里、大光里和水泉里。

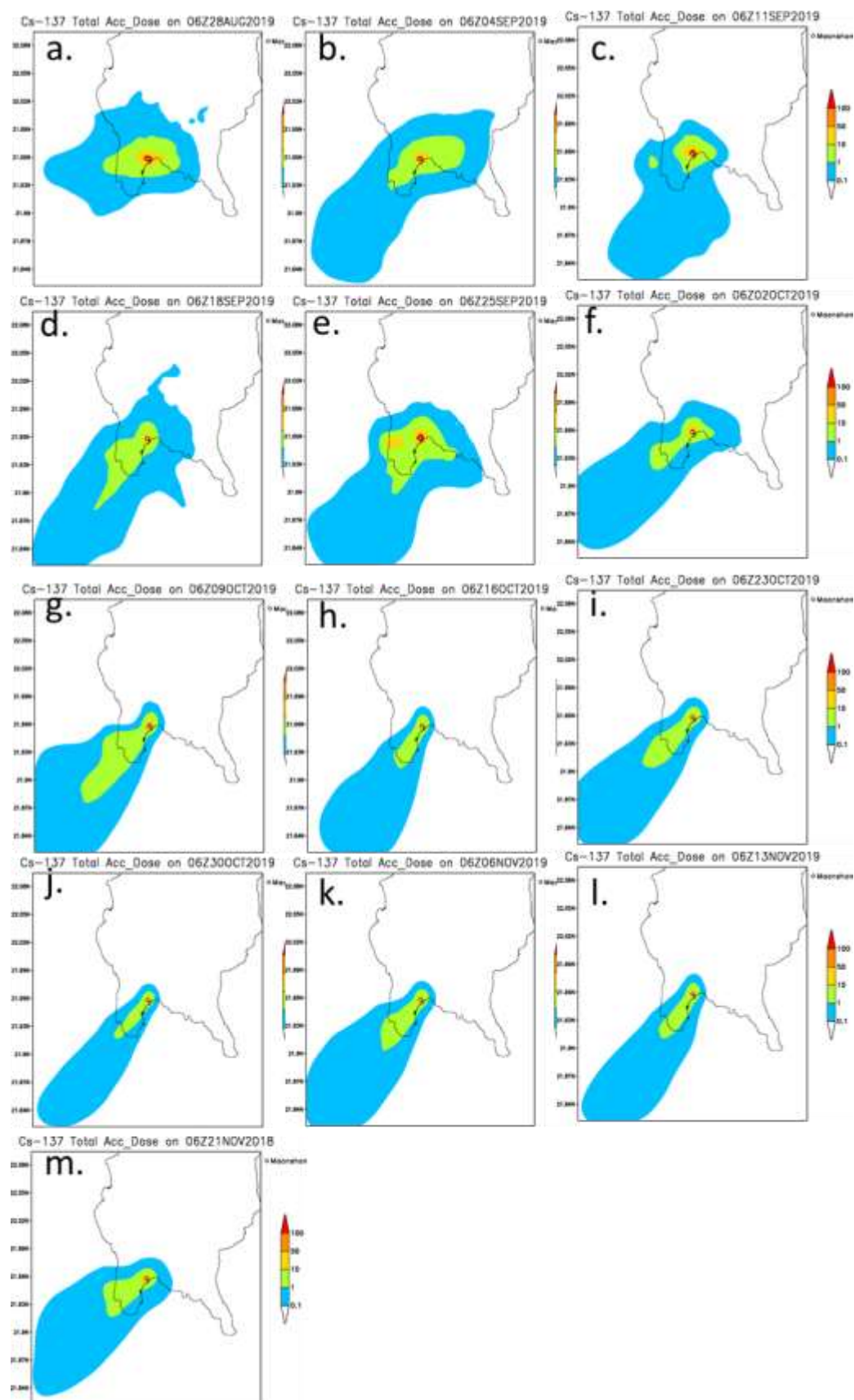


圖 2.2.103 核三廠秋季，自 2019 年 8 月 29 日至 2019 年 11 月 19 日及 2018 年 11 月 21 日至 27 日 Cs-137 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

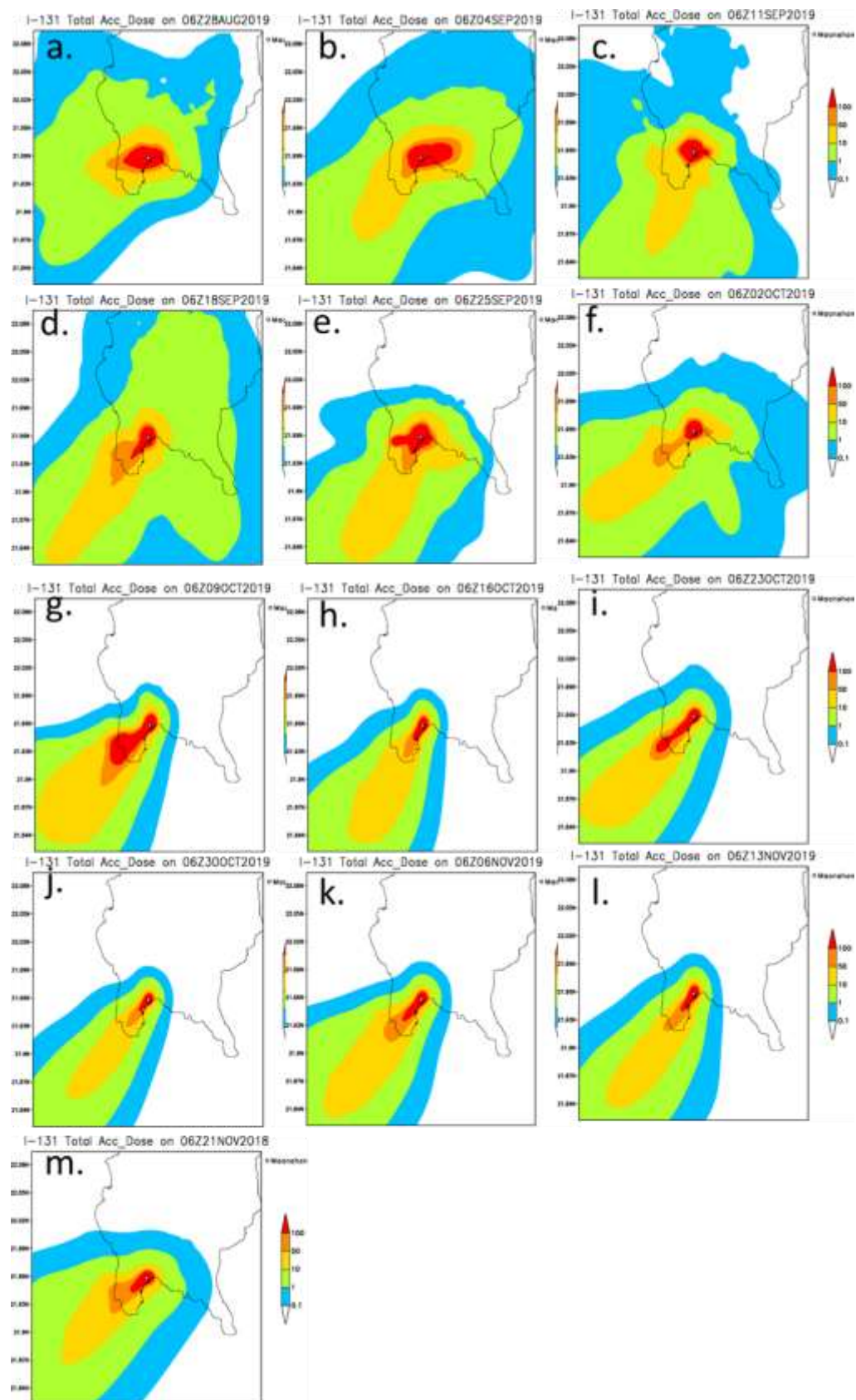


圖 2.2.104 核三廠秋季，自 2019 年 8 月 29 日至 2019 年 11 月 19 日及 2018 年 11 月 21 日至 27 日 I-131 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

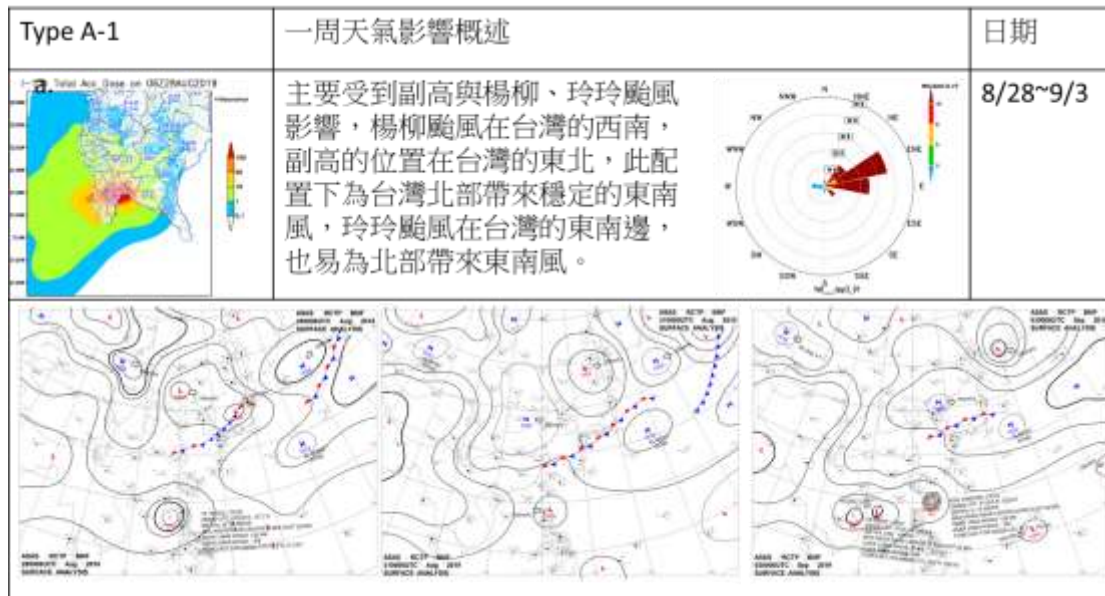


圖 2.2.105 2019 年核三廠秋季，劑量分布類型 A-1，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

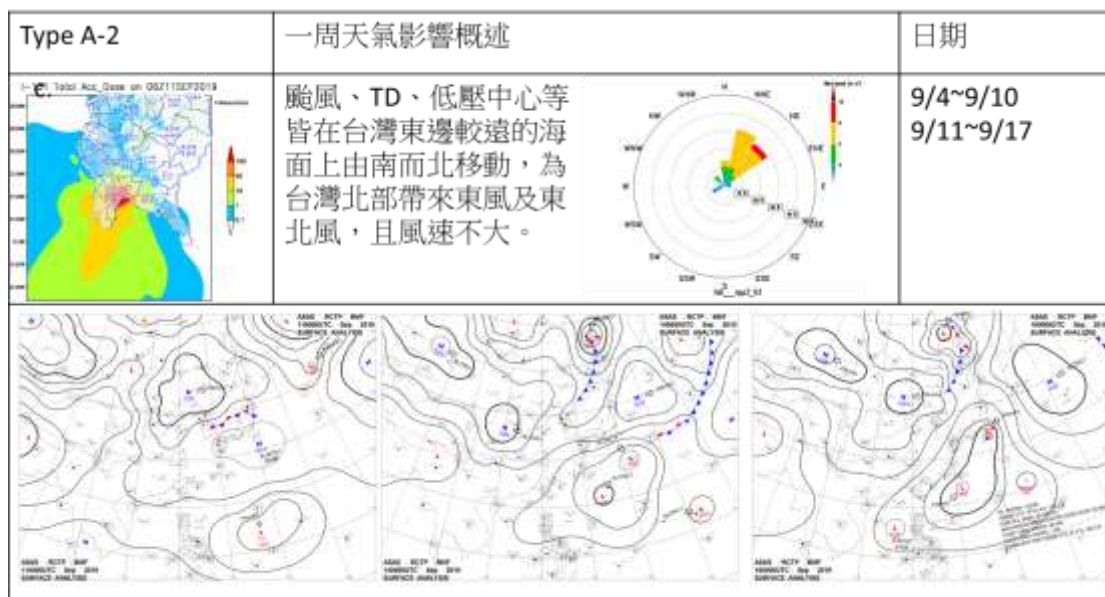


圖 2.2.106 2019 年核三廠秋季，劑量分布類型 A-2，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

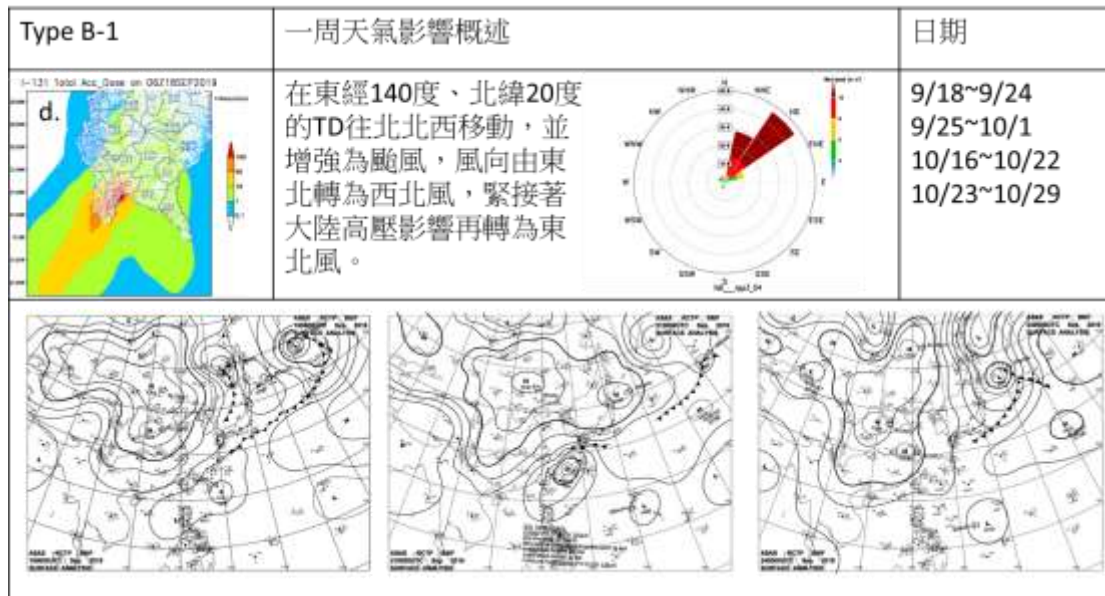


圖 2.2.107 2019 年核三廠秋季，劑量分布類型 B-1，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

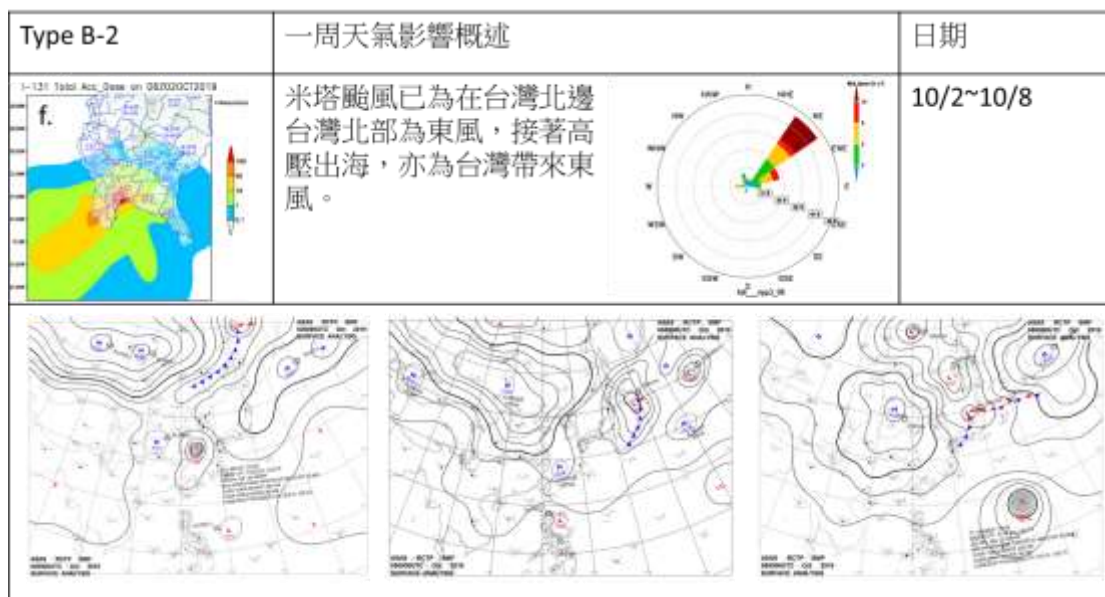


圖 2.2.108 2019 年核三廠秋季，劑量分布類型 B-2，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

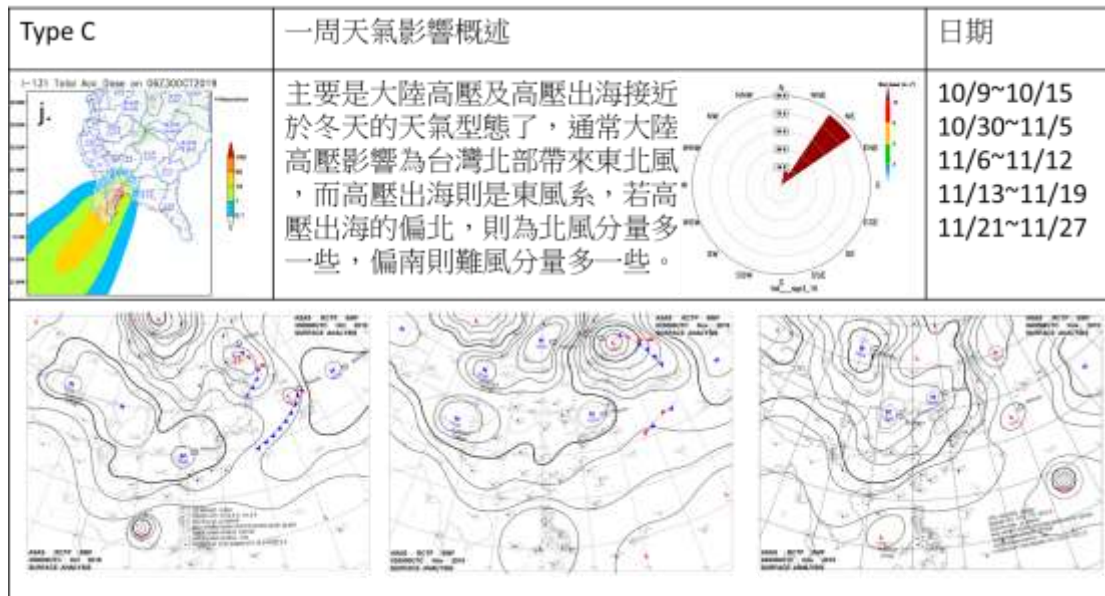


圖 2.2.109 2019 年核三廠秋季，劑量分布類型 C，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

在福清電廠的部分，於 9 月 18 日那週開始新增了 I-131 的模擬，故在 9 月 18 日開始，各分類之代表累積劑量便以 I-131 為代表。圖 2.2.110 為福清電廠在秋季 Cs-137 核種在各週的 7 天累積劑量，圖 2.2.111 則為 I-131 核種在 9 月 18 日至 11 月 19 日各週的 7 天累積劑量分布。在類型 A(圖 2.2.112、圖 2.2.113)中，尚只有 Cs-137 的模擬，其主要接受強勁的東北季風影響，劑量累積狀況不明顯。類型 B-1(圖 2.2.114)，亦以東北風為主，但其風速較小，並且由於 I-131 釋放量大約為 Cs-137 的 10 倍，且沉降速度為 3 倍，因此可以看到劑量往福清電場的西南方向累積。B-2 類型(圖 2.2.115)中，雖仍以東北風為主，但有短暫的微弱東風出現，致使除了福清電廠西南方的劑量累積外，也可看到在福清西邊內陸有一些劑量累積。C 類型(圖 2.2.116)中，在偏向冬季形態下的風場中，福清地區為強勁的東北風，其劑量累積較少。

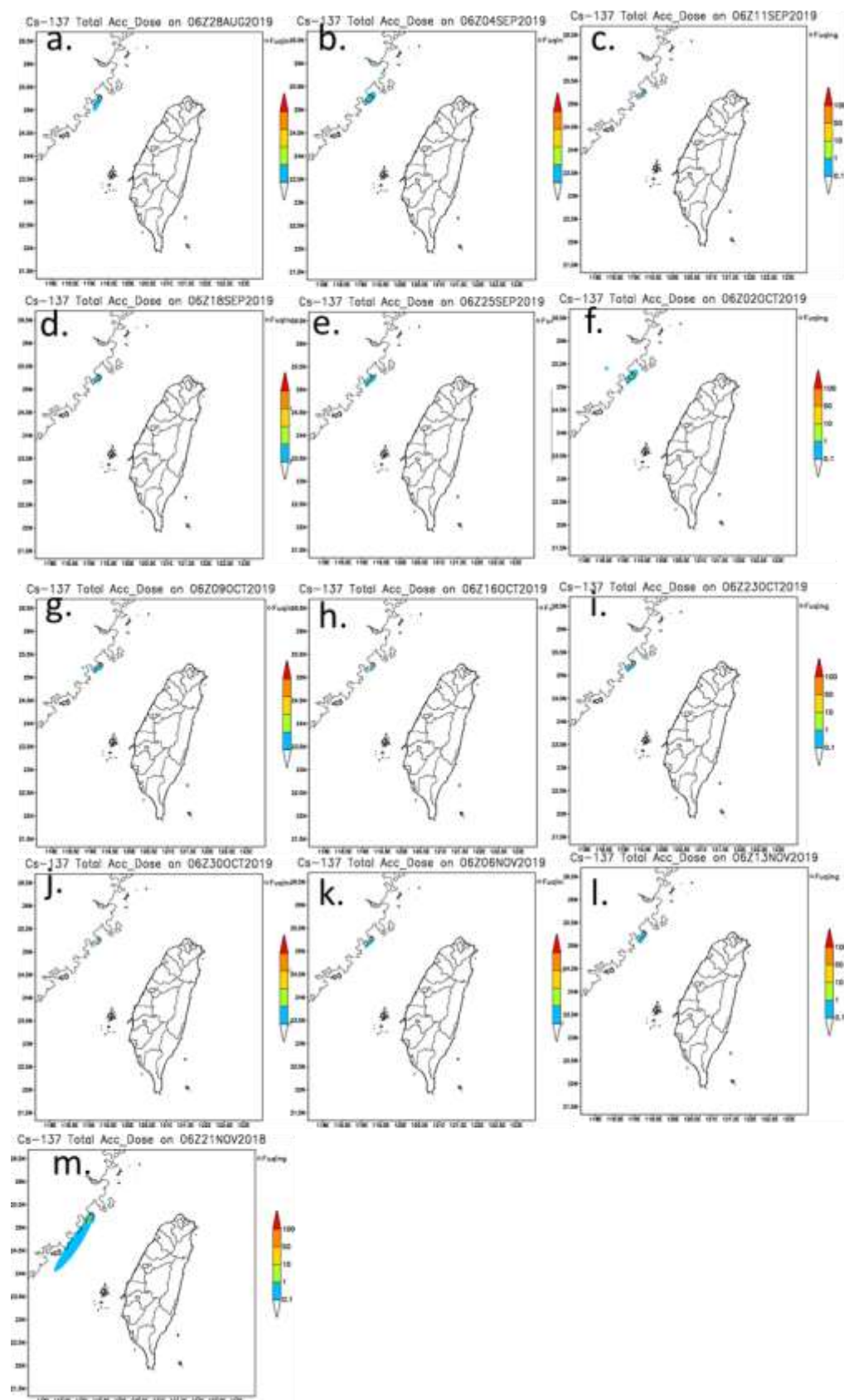


圖 2.2.110 福清電廠秋季，自 2019 年 8 月 29 日至 2019 年 11 月 19 日及 2018 年 11 月 21 日至 27 日 Cs-137 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

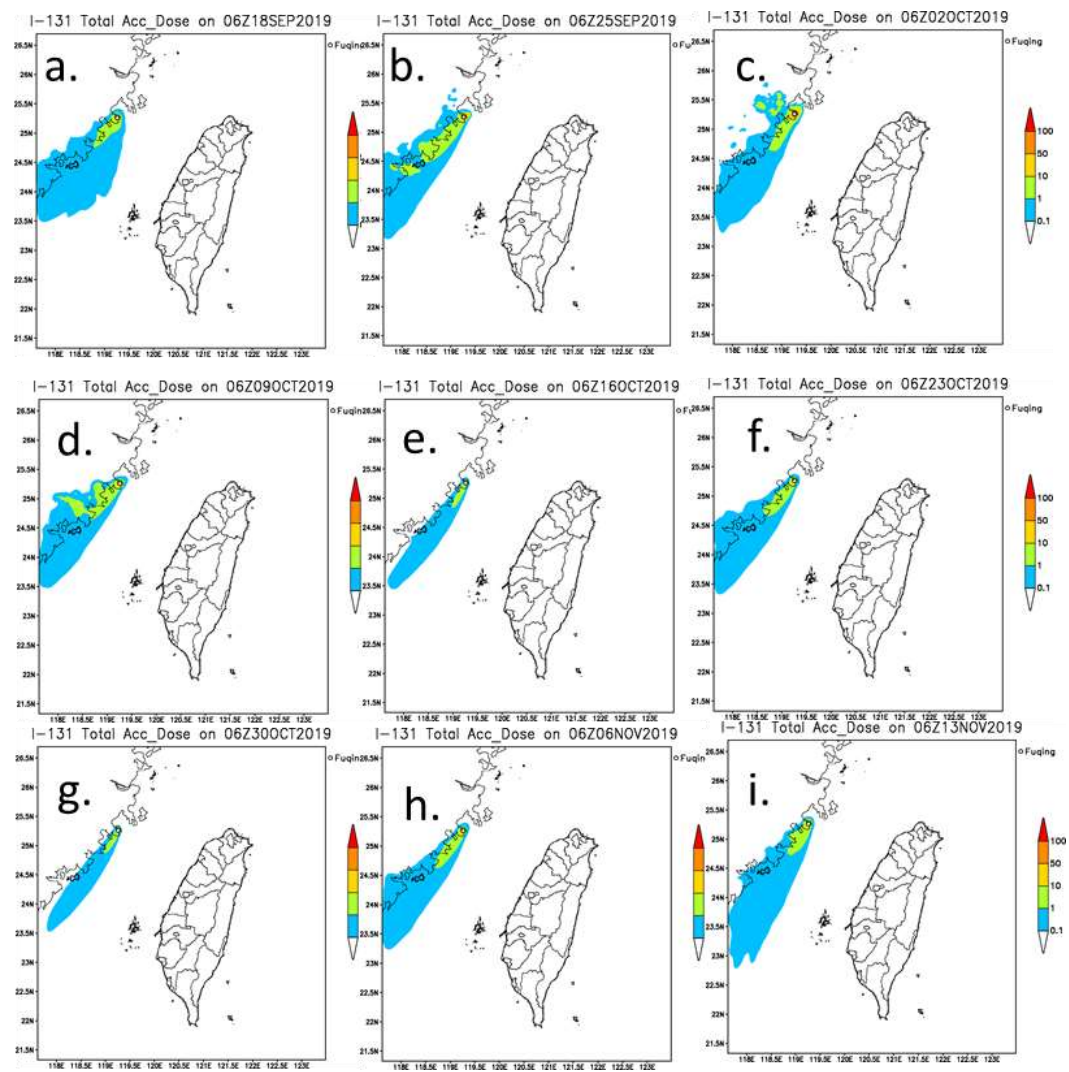


圖 2.2.111 福清電廠秋季，自 2019 年 8 月 29 日至 2019 年 11 月 19 日及 2018 年 11 月 21 日至 27 日 I-131 假想事故模擬之 7 日有效劑量累積圖(mSv)。

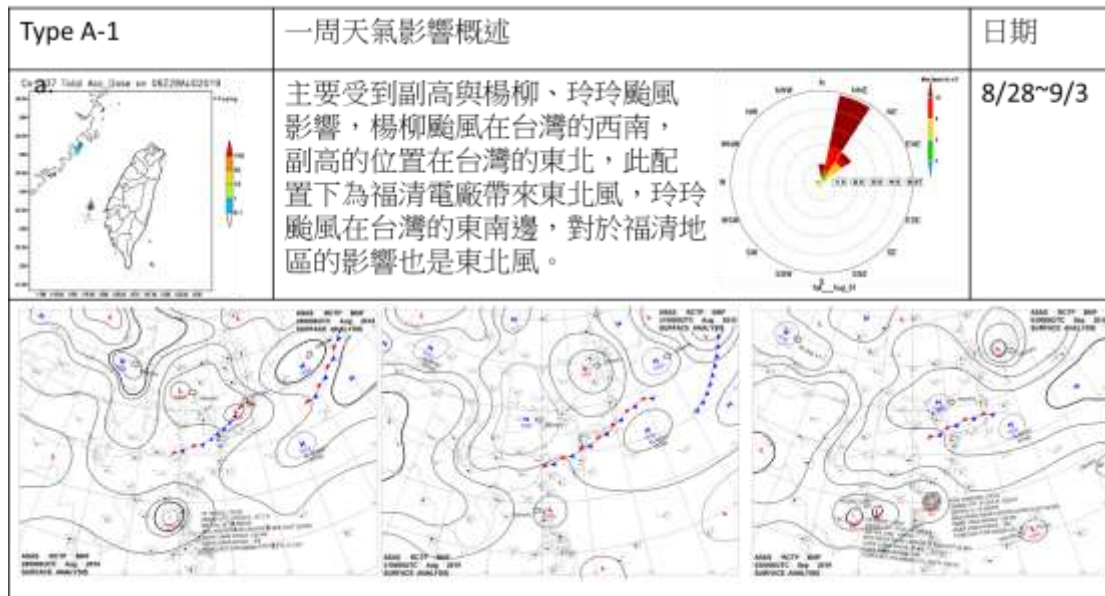


圖 2.2.112 2019 年福清電廠秋季，劑量分布類型 A-1，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

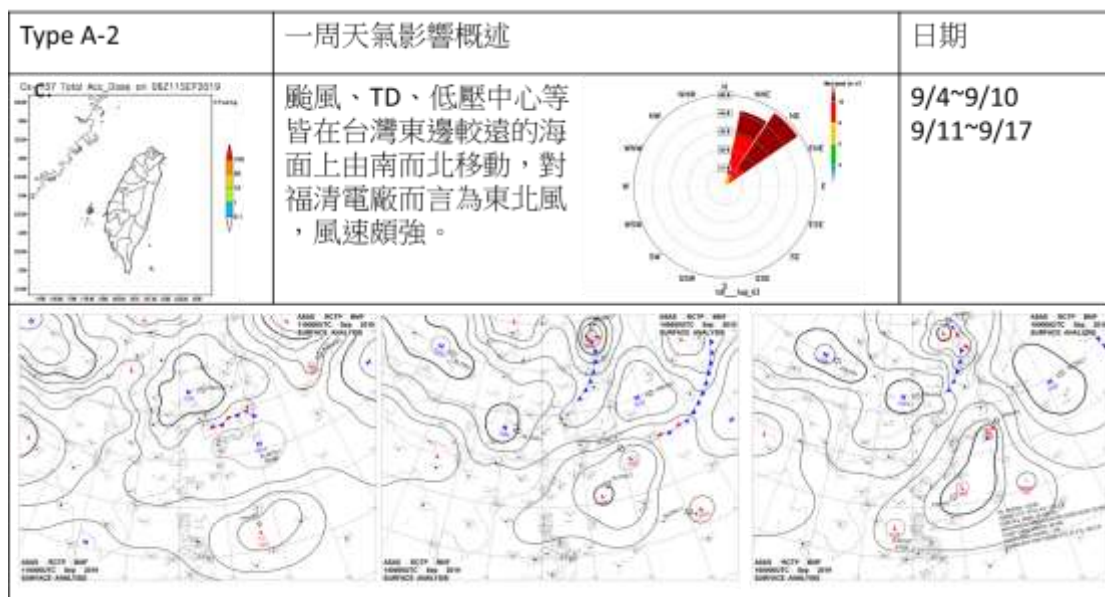


圖 2.2.113 2019 年福清電廠秋季，劑量分布類型 A-2，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

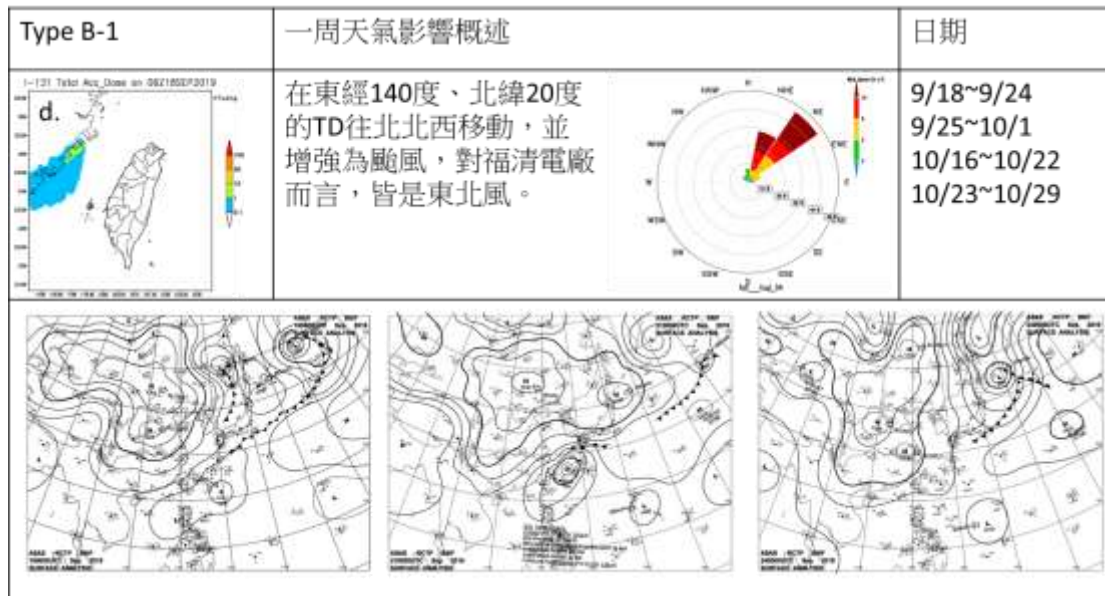


圖 2.2.114 2019 年福清電廠秋季，劑量分布類型 B-1，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

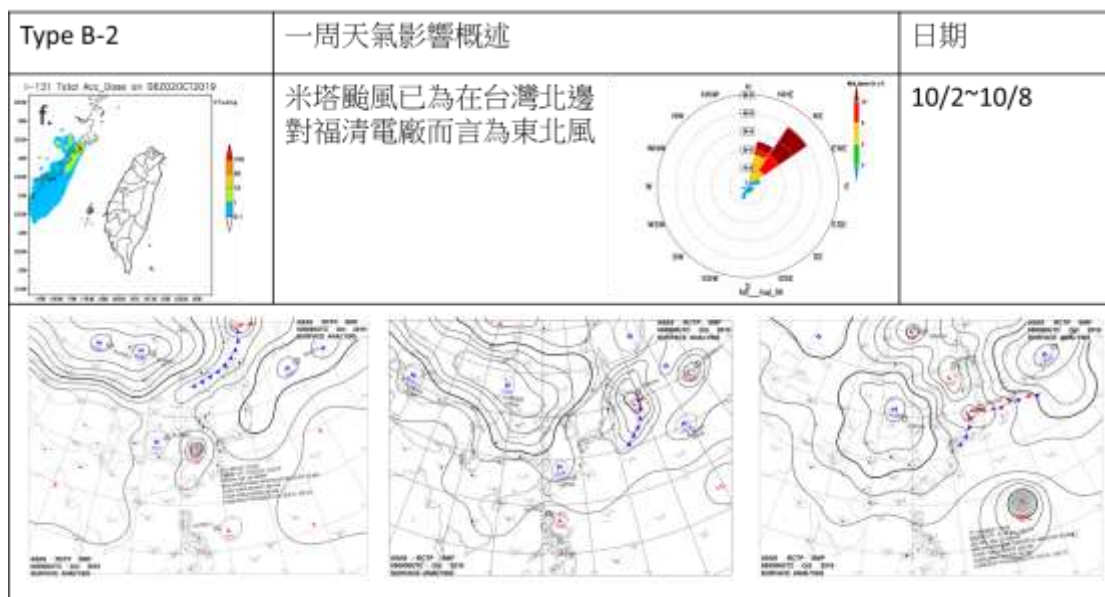


圖 2.2.115 2019 年福清電廠秋季，劑量分布類型 B-2，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

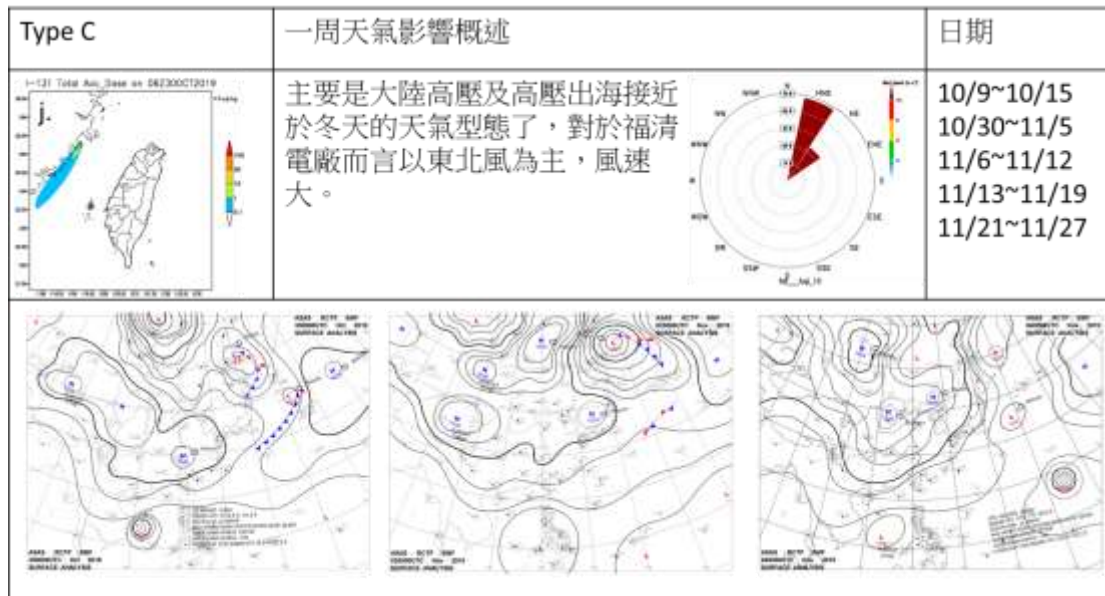


圖 2.2.116 2019 年福清電廠秋季，劑量分布類型 C，圖表第一列依序為此類型代表之劑量分布，其一周天氣概述及風花圖，與此類分布之日期，末列則為一周第一天、第四天和最後一天之天氣圖。

5. 福清電廠假想個案對台灣本島地區的影響

由於主要影響福清地區的風向為東北風和西南風，且風速偏大，在累積的狀況下較難看出其對台灣本島的影響，因此，在夏季的這幾個個案當中找到兩個即時劑量率對台灣本島有影響的個案進行分析，圖 2.2.117、圖 2.2.118 為 Cs-137 核種的有效劑量率(mSv/hr)。第一個個案為 2019 年 8 月 7 日這週利奇馬颱風靠近台灣，當颱風位在花蓮東部外海時福清電廠附近的風向由東北風漸漸轉為北風、西北風，如圖 2.2.117a 是在 8 月 7 日 00Z 預報時間的第 60 小時，福清電廠的有效劑量會隨著北風到台灣海峽轉西北風，影響到台灣的西南岸嘉義、台南、高雄和屏東部分區域，隨著利奇馬颱風往台灣北部移動，福清地區的風象漸漸轉為西風，在預報的第 78 小時(圖 2.2.117b)，劑量主要影響台中地區，第 84 小時(圖 2.2.117c)則主要影響苗栗地區，且劑量率可達 0.001mSv/hr。接著預報第 90 小時(圖 2.2.117d)，福清地區為西北風，到了台灣海峽漸漸轉為西風、西南風，主要影響的區域則為新竹地區，劑量率仍有 0.001mSv/hr。

第二個個案則為 8 月 21 號那週的白鹿颱風影響，但由於白鹿颱風是這週預報的 3 天後較靠近台灣，因此全球模式對於颱風的路徑是有誤差的，使其登陸的位置在靠近台灣北部，而非實際的台東滿州。圖 2.2.118 則為福清電廠假想事故影響台灣的過程，一開始在預報第 84 小時(圖 2.2.118a)，白鹿颱風在台東外海，福清地區為東北風，其劑量不影響台灣，第 90 小時(圖 2.2.118b)，白鹿颱風靠近宜蘭地區，福清地區雖仍為東北風，但台灣海峽南部漸漸轉為西北風，第 96 小時(圖 2.2.118c)，白鹿颱風在台灣北部陸地上，福清地區轉為西北風，其釋放出之核種劑量率分布，漸漸往台灣本島靠近，第 102 小時(圖

2.2.118d)，颱風在竹苗附近重組出海，福清的區轉為北風，台灣海峽則為西北風，將福清電廠的劑量傳送過來，影響了嘉義縣的東半邊，靠近南投縣。

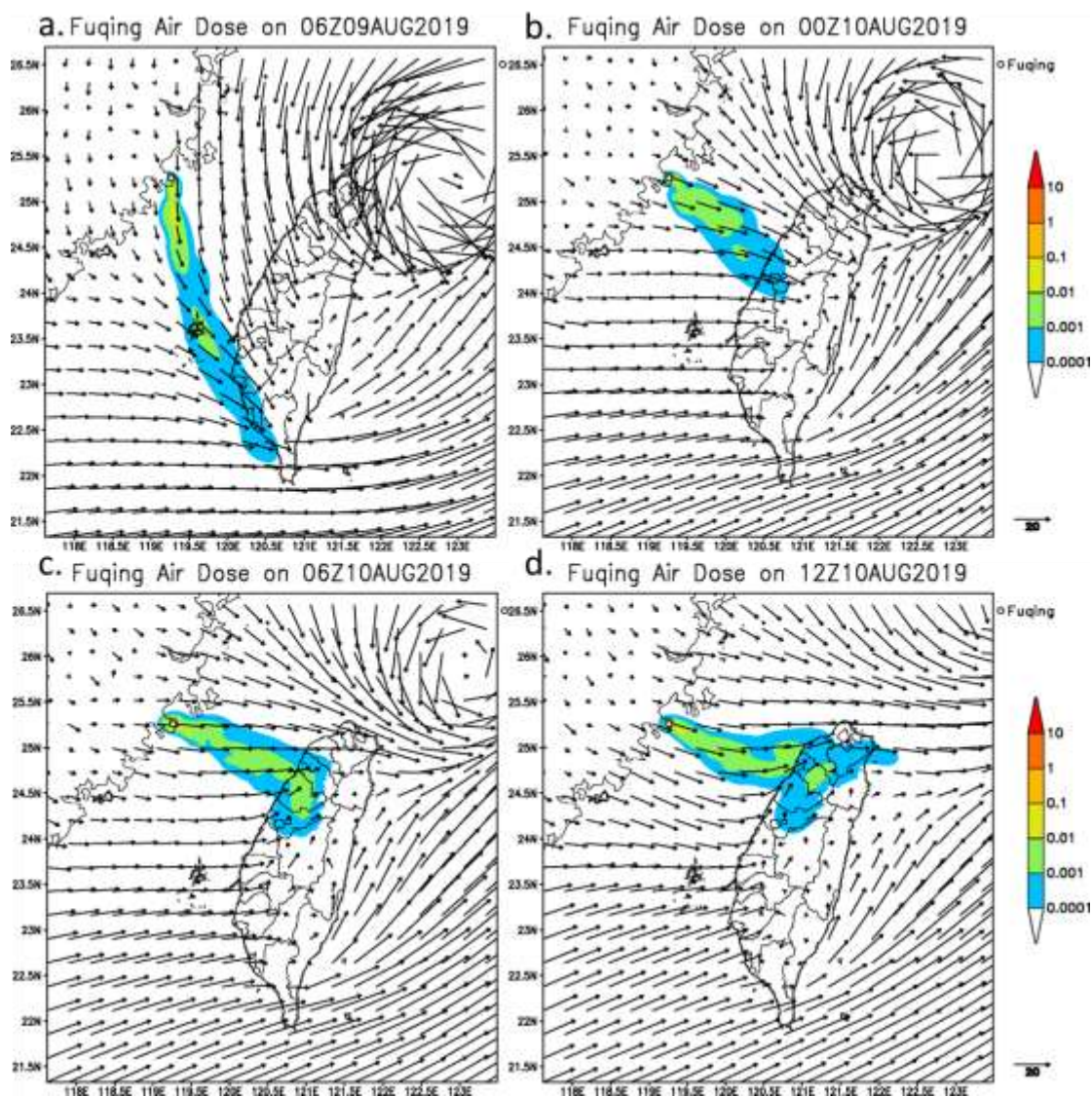


圖 2.2.117 2019 年 8 月 7 日那一週，福清電廠 Cs-137 之有效劑量率(mSv/hr)。其時間分別為: a. 預報第 60 小時，8 月 9 日 06z b. 預報時間第 78 小時，8 月 10 日 00z c. 預報時間的 84 小時，8 月 10 日 06z c.預報時間的 90 小時，8 月 10 日 12z。

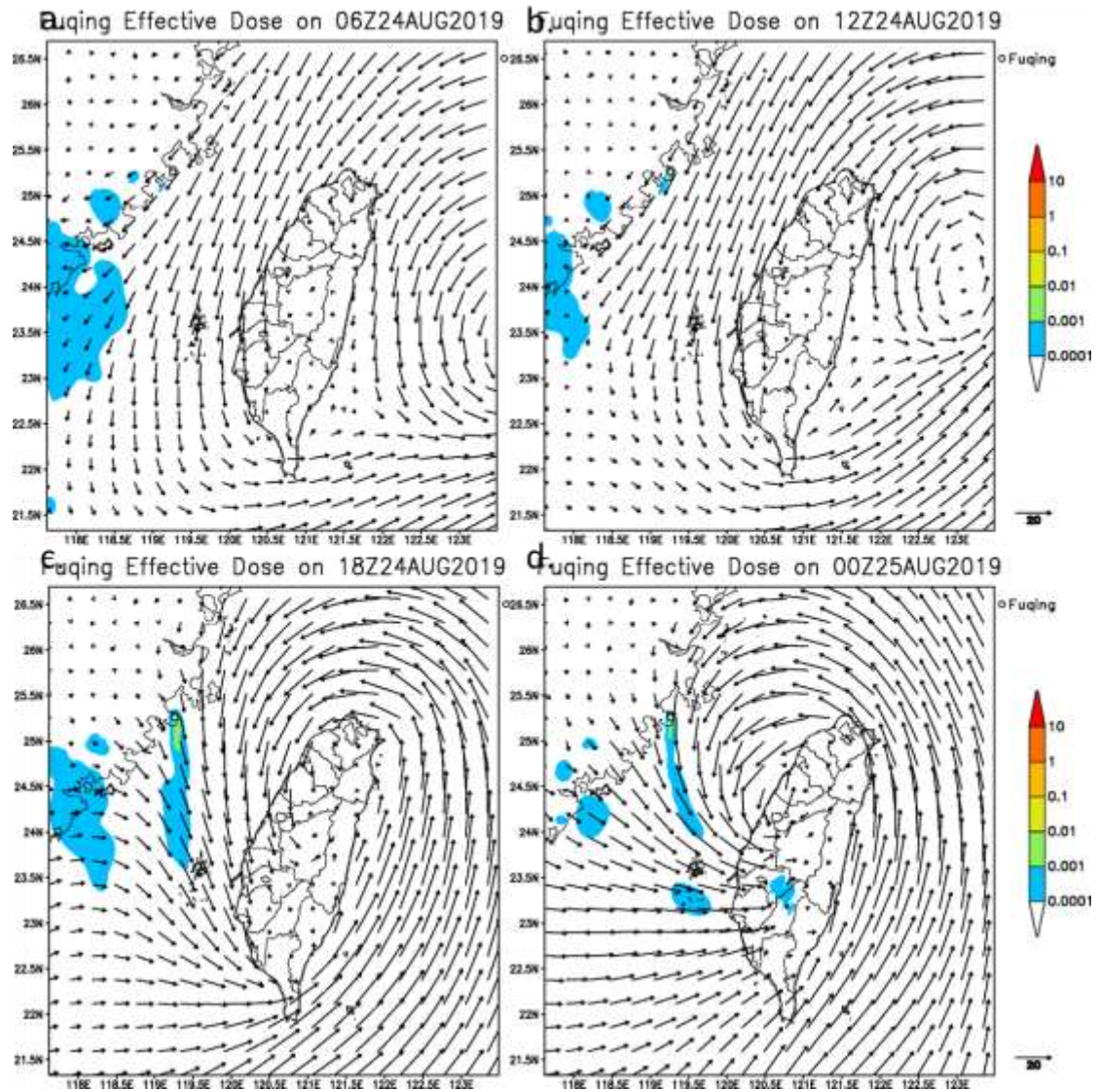


圖 2.2.118 2019 年 8 月 21 日那一週，福清電廠 Cs-137 之有效劑量率(mSv/hr)。
其時間分別為: a. 預報第 60 小時，8 月 9 日 06z b. 預報時間第 78 小時，8 月 10
日 00z c. 預報時間的 84 小時，8 月 10 日 06z c.預報時間的 90 小時，8 月 10 日
12z。

(三)完成氣象分析資料自動化更新機制

利用前幾期計畫所建立的資料同化技術，將中央氣象局中尺度動力分析系統(MDAS)於核研所機器建立自動化更新系統，其流程圖如圖 2.3.1。為了節省硬碟空間，接收氣象局觀測資料後 QC 之過程於氣象局超級電腦上完成，其程式放置於 /data1/datasas/b225/ingest_routine01/sfc(圖 2.3.2)。經 QC 後的採用資料，每小時固定傳送至核研所伺服器(211.75.118.103)，放置於 /home/inerop/data/met/cwb_sfc_obs 資料夾內，依照日期分類(圖 2.3.3)。MDAS 程式則放置於 /home/inerop/sfcm das。由於 NCEP/GFS 的資料報只有每日四報的緣故(00、06、12、18Z，其分別對應為 8 a.m.，2 p.m.，8 p.m.，2 a.m.)，MDAS 每六小時執行一次(即每日四報)。為了提供即時的高解析度氣象分析資料，氣象背景場採用前一報的第六小時預報，結合即時的觀測資料，可大約於該整點觀測資料時間後一小時左右出產同化觀測資料之氣象分析場，例如早上 8 點的觀測資料約可於 9 點左右獲得 MDAS 之高解析度氣象場分析結果，其整體時程如表 2.3.1 所示。其結果放置於 /home/inerop/data/met/mdas_tw_2500，依照日期分類(圖 2.3.4)。再將氣象動力分析資料(MDAS)與氣象動力降尺度資料(MDDS)統合成一即時最新的氣象資料庫，提供 A2C 模式做模擬。

表 2.3.1 氣象分析資料自動化更新機制之時程表

	8:00 (00Z)	14:00 (06Z)	20:00 (12Z)	2:00 (18Z)
氣象局 QC	8:15	14:15	20:15	2:15
核研所接收 觀測資料	8:25	14:25	20:25	2:25
MDAS 啟動 時間	8:30	14:30	20:30	2:30
MDAS 產出 時間(平均)	9:04	15:04	21:10	3:03

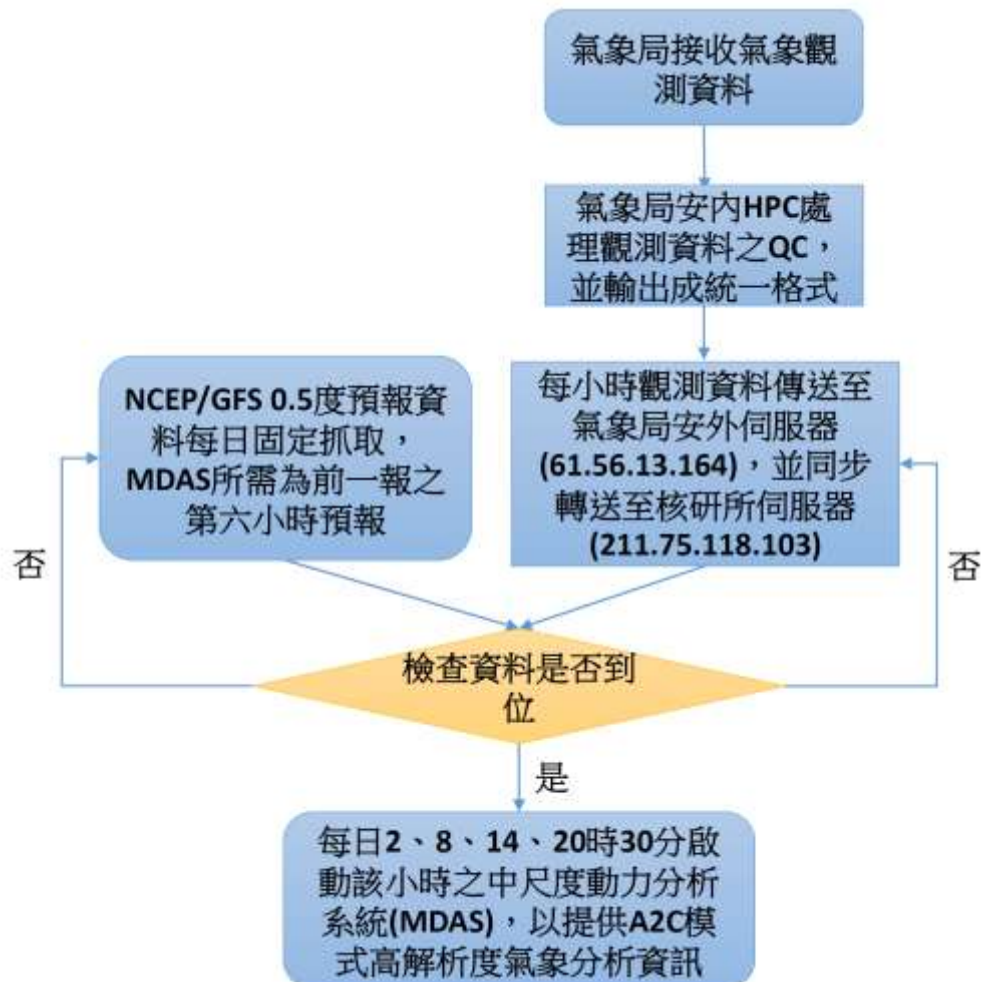


圖 2.3.1 氣象分析資料自動化更新機制之流程圖

```
datamv07:/data1/datasas/b225/ingest_routine01/sfc>ls
bin/      log/      run_ingest_sfc.sh*  setenv.info  stn_pic/
date.inc  log.DIY  run_ingest_sfc.sh.DIY*  stn_dat/
datamv07:/data1/datasas/b225/ingest_routine01/sfc>
```

圖 2.3.2 氣象觀測資料前處理 QC 程式位置

```
[inerop@211-75-118-103 cwb_sfc_obs]$ pwd
/home/inerop/data/met/cwb_sfc_obs
[inerop@211-75-118-103 cwb_sfc_obs]$ ls
2019062600 2019062700 2019062800 2019062900 2019063000
[inerop@211-75-118-103 cwb_sfc_obs]$
```

圖 2.3.3 氣象觀測 QC 後放置於核研所伺服器之位置

```
[inerop@211-75-118-103 mdas_tw_2500]$ pwd
/home/inerop/data/met/mdas_tw_2500
[inerop@211-75-118-103 mdas_tw_2500]$ ls
2019062700 2019062800 2019062812 2019062900 2019062912 2019063000
2019062718 2019062806 2019062818 2019062906 2019062918 2019063006
[inerop@211-75-118-103 mdas_tw_2500]$
```

圖 2.3.4 MDAS 之即時氣象分析資料之放置位置

(四)完成非傳統氣象觀測資料同化分析技術測試與校驗

1. 非傳統氣象觀測資料同化模組價值函數

本章節將雙都卜勒雷達反演風場之高時間及空間解析度且接近真實大氣的特性引入 MDAS 系統中，彌補海上及高空觀測資料不足，提升模式動力降尺度分析能力。考量雷達最佳分析區域的限制，使用氣象局 QPESUMS 系統之雙都卜勒風場反演資料，詳細如下：水平及垂直解析度分為 1.25、1.0 公里；有效觀測經緯度分別為東經 118.0~123.5125 度、北緯 19.9875~27 度；垂直層 1 至 10 公里等間距高度。雷達反演風資料透過客觀分析內插成等經緯網格，時間解析度為 10 分鐘。颱風期間搭配模式初始資料與預報中心颱風警報單將颱

風中心定位資訊考量進去，配合 Rankine-Vortex 的基本假設，製作一個理想颱風風速模型與反演風比對，針對不合理之風向與風速進行剔除。也參考 LAPS 資料品質設定，模式與觀測差異值高於門檻剔除，經品質管後較合理的資料引入 MDAS。

MDAS 之泛函 J ：

$$J = \omega_1 J_1 + \omega_2 J_2$$

$$J_1 = \iiint \sum_{i,j} \alpha_{i,j} (O_j - X_j)^2$$

$$J_2 = \iiint (\beta_1 P_1^2 + \beta_2 P_2^2 + \beta_3 P_3^2 + \beta_4 P_4^2 + \beta_5 P_5^2 + \beta_6 P_6^2 + \beta_7 P_7^2)$$

J_1 為觀測資料泛函， J_2 為 MDDS 泛函，亦為變分資料同化中弱約束條件的泛函。 ω_1 和 ω_2 分別為觀測資料和約束條件的權重，目的是在於平衡價值函數的大小，使得每一項對於總函數(J)都能有一定比例的貢獻。觀測資料的泛函(J_1)中， $\alpha_{i,j}$ 為觀測資料的種類與觀測變數的權重， i 為非傳統觀測資料種類，此處引入 1 種-雷達反演風， j 為觀測資料的變數，此處引入 2 種-東西風與南北風， $\alpha_{i,j}$ 為反演風觀測誤差因子修正 $\alpha_{i,j}$ 權重值。 O_j 為觀測變數所在位置， X_j 則為使用鄰近觀測變數的模式格點資料經水平及垂直內插至 O_j 所在位置之值。動力降尺度的泛函(J_2)中考慮了中尺度弱約束條件， $P_1 \sim P_3$ 為動量方程， P_4 為質量守恆方程， P_5 為熱力方程， P_6 為水汽方程， P_7 為平滑項， $\beta_1 \sim \beta_7$ 分別為各項的權重。在本次測試中， $\beta_1 \sim \beta_7$ 設定為 10、10、0.5、75、10、10 及 1。MDAS 在降尺度的過程中注重觀測資料與動力約束條件

並重，因此利用權重函數(ω_1 和 ω_2)來調整。估算方法先假定 ω_2 為 1，並算出觀測資料的泛涵 J_1 及約束條件的泛涵 J_2 的級數差距，令 ω_1 為此級數差距使初始之 $\omega_1 J_1$ 約等於 $\omega_2 J_2$ ，再進行變分降尺度迭代計算。

2. 氣象觀測資料同化模組驗證結果

為了評估同化實驗的表現，進一步求得統計驗證參數，計算模式值與觀測值之間的誤差量，評估分析場的準確度，本實驗參考陳(2016)使用四個驗證參數針對風場計算得分。

(A)平均向量誤差(Mean Vector Difference,MVD)： U_b 、 V_b 模式水平風， U_o 、 V_o 觀測水平風， N 樣本數。當 MVD 越小表示風場有越高的準確度。

$$MVD = \frac{\sum_{i=1}^N \sqrt{(U_b - U_o)^2 + (V_b - V_o)^2}}{N}$$

(B)空間相關係數(Spatial Correlation Coefficient,SCC)： B 模式值、 O 觀測值，下標 i 為某網格點，上標 $\bar{}$ 為平均值， N 樣本數。SCC 介於+1至-1 之間，正值表示兩者為正相關，負值表示兩者為負相關，值越高表示兩者空間相關性越高。

$$SCC = \frac{\sum_{i=1}^N (B_i - \bar{B})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (B_i - \bar{B})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}}$$

(C)均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)： X_b 模式值、 X_o 觀測值， N 樣本數。RMSE 越小表示其誤差越小，表示該變數有較高的準

確度。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_b - X_o)^2}{N}}$$

(D)均方根強度(Root Mean Square Magnitude,RMSM): X_b 模式值、 X_o 觀測值， N 樣本數。兩者 RMSM 值越接近表示其愈相似，有較高一致性。

$$RMSM_o = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_o)^2}{N}}, RMSM_b = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_b)^2}{N}}$$

在有限的資料池中挑選事件時間較完整通過台灣的劇烈天氣系統個案，因為其天氣系統雷達反演風場較多，包含梅雨及颱風。個案分別為 2017 尼莎颱風(07/29~07/30)、2017 海棠颱風(07/30~07/31)與 2018 西南氣流(06/18~06/20)，圖 2.4.1 至圖 2.4.3 為不同個案初始猜測場(FG)與 MDAS(MA)風速分析圖，初始猜測場使用 NCEP 全球模式 0.5 度，動力降尺度至 2.5 公里。

以雷達資料 5000 公尺高度為例，尼莎颱風期間 2017/07/29 12z 時透過圖 2.4.1 a 稀化的雷達反演風資料，可以觀察到中颱尼莎颱風中心位於宜蘭上空，北部及東部地區受颱風環流影響，有豪雨情況發生。圖 2.4.1f 雷達合成迴波圖明顯看到颱風環流結構，除了北部及東部受颱風環流影響，南部也受到颱風外圍雨帶影響。圖 2.4.1b 為稀疏化雷達反演風網格資料減去初始猜測場風速，可以看到在颱風中心東南方有雷達觀測資料部分之風速比初始猜測場風速強，不過雷達資料在花蓮外海並不連續，向量差也可以看到雷達觀測資料南風偏強。圖 2.4.1d 為 ncep/gfs 0.5 度資料經過前處理後的初始猜測場，圖 2.4.1e 為經過資料同化 MDAS 之結果，圖 2.4.1 c 為 MDAS 結果和初始差測

場的差值。首先可以看到經過 MDAS 後颱風完整的結構仍保持，說明經過資料同化後結構並沒有隨意改變；經由兩者的差值(圖 2.4.1 c)，MDAS 同化結果在颱風登陸時間加強了颱風眼東南側環流帶的風速，值得注意的是 MDAS 結果加強了整條環流帶的風速，而觀測資料在東南風方的環流帶上中間有一段是沒有雷達觀測資料的，說明 MDAS 可以在同化少量的雷達觀測資料下，建立較完整的天氣系統現象。同樣 MDAS 可以重建颱風受到地形影響在宜蘭外海的減速以及台北桃園新竹外海的風速加強。

為了驗證同化的有效性，表 2.4.1 為尼莎颱風影響期間 (07/29~07/30)整層（共 10 層風場）風場校驗統計平均值，dd01~dd05 為由粗到細不同解析度結果，尼莎颱風 MDAS 的統計誤差量(RMSE 與 MVD)皆比初始猜測場小，伴隨解析度提高統計誤差也是逐漸降低，說明模式資料經 MDAS 降尺度後，其結果較原始模式資料更貼近觀測值。空間相關方面，MDAS 每一層降尺度之 SCC 都大於初始猜測場，也說明 MDAS 較原始模式資料更貼近觀測資料。均方根強度(RMSM)方面，越靠近觀測資料的均方根強度代表和觀測資料較一致，而 MDAS 每一層降尺度其 RMSM 均較原始模式資料貼近觀測資料之 RMSM。上面四個統計參數說明 MDAS 引入雷達資料後是有改善模式氣象場。

海棠颱風期間 2017/07/30 18z 時透過圖 2.4.2f 可以明顯看到中颱海棠颱風的環流結構，颱風中心位於福州上空，位於迎風面的西半部地區明顯受到颱風環流影響，造成局部豪大雨。圖 2.4.2a 稀化的雷達反演風資料(以 5000 公尺風場為例)顯示在桃園外海及南部外海有較密集反演資料，雷達反演風場在南部外海以西南風為主，北部外海以

東南風為主。圖 2.4.2b 稀疏化雷達反演風網格資料減去初始猜測場風速，可以看到在雷達反演風在南部外海風速比初始猜測場風速強，北部外海則是比初始猜測場弱。經由兩者的差值(圖 2.4.2c)，MDAS 同化結果強化了迎風面(西南部)局部地區風速，同時西風分量增強，位於颱風眼東北側，則是風速減弱。表 2.4.2 為海棠颱風影響期間(07/30~07/31)整層風場校驗統計平均值，MDAS 伴隨解析度提高，誤差量(RMSE 與 MVD)逐漸降低，空間相關性(SCC)逐漸提高，說明初使猜測場經 MDAS 降尺度後，結果較初使猜測場更接近觀測值。

2018/06/19 18z 時透過圖 2.4.3f 觀察到西南氣流主要影響台灣南部地區，圖 2.4.3a 稀化的雷達反演風資料(以 5000 公尺風場為例)顯示在南部外海及東部外海有較密集反演資料，雷達反演風場以西南風為主。圖 2.4.3b 稀疏化雷達反演風網格資料減去初始猜測場風速，可以看到在雷達反演風在南部外海風速比初始猜測場風速強，東部外海則是比初始猜測場弱。兩者差值(圖 2.4.3c)，MDAS 同化結果強化了初猜場西南氣流局部風速，同時背風側風速減弱。表 2.4.3 為西南氣流影響期間(06/18~06/19)整層風場校驗統計平均值，MDAS 誤差量皆比初猜場低，空間相關性也由原本 0.5 提升至 0.7，MDAS 結果較初猜場更接近觀測。

表 2.4.2，2017 尼莎颱風風場初始猜測場(FG)、MDAS(MA)兩者與觀測(OBS)誤差量，校驗參數為 RMSE(紅色)、MVD(藍色)、SCC(綠色)與 RMSM(黑色)。dd01 至 dd05 為不同解析度結果。

誤差	Var	dd01	dd02	dd03	dd04	dd05	強度	Var	dd01	dd02	dd03	dd04	dd05
RMSE(FG)	U	5.91	5.36	5.27	5.19	5.03	RMSM(FG)	U	9.90	9.81	9.58	9.47	9.36
	V	6.48	6.17	6.00	5.85	5.72		V	10.08	10.20	10.30	10.39	10.49
RMSE(MA)	U	5.91	4.82	4.45	4.31	4.20	RMSM(MA)	U	9.89	9.94	9.87	9.80	9.65
	V	6.49	5.54	5.04	4.82	4.73		V	10.09	10.45	10.74	10.86	10.91
MVD(FG)	Wind	7.18	6.76	6.63	6.55	6.41	RMSM(OBS)	U	11.68	11.77	11.59	11.61	11.50
MVD(MA)	Wind	7.18	5.94	5.36	5.16	5.09		V	11.97	12.50	12.70	12.84	12.97
SCC(FG)	U	0.62	0.64	0.65	0.65	0.65	2017NESAT						
	V	0.60	0.62	0.64	0.65	0.65							
SCC(MA)	U	0.62	0.66	0.68	0.68	0.68							
	V	0.60	0.65	0.67	0.68	0.68							

表 2.4.3，2017 海棠颱風風場得分結果。風場初始猜測場(FG)、MDAS(MA)兩者與觀測(OBS)誤差量，校驗參數為 RMSE(紅色)、MVD(藍色)、SCC(綠色)與 RMSM(黑色)。dd01 至 dd05 為不同解析度結果。

誤差	Var	dd01	dd02	dd03	dd04	dd05	強度	Var	dd01	dd02	dd03	dd04	dd05
RMSE(FG)	U	8.18	8.03	7.89	7.79	7.65	RMSM(FG)	U	8.12	8.13	8.09	8.11	8.14
	V	8.50	7.70	7.26	6.93	6.52		V	13.13	12.67	12.30	11.91	11.53
RMSE(MA)	U	8.21	6.81	6.06	5.62	5.45	RMSM(MA)	U	8.14	7.98	7.94	7.90	7.94
	V	8.48	6.61	5.66	5.25	5.05		V	13.12	12.26	11.76	11.16	10.74
MVD(FG)	Wind	9.64	9.25	8.96	8.78	8.54	RMSM(OBS)	U	10.12	10.06	10.14	10.14	10.13
MVD(MA)	Wind	9.64	7.75	6.73	6.20	6.03		V	13.07	13.02	12.90	12.76	12.52
SCC(FG)	U	0.51	0.51	0.53	0.52	0.53	2017HAITANG						
	V	0.54	0.58	0.61	0.63	0.66							
SCC(MA)	U	0.51	0.65	0.74	0.77	0.77							
	V	0.54	0.70	0.76	0.79	0.81							

表 2.4.4，2018 西南氣流得分結果。2018 西南氣流初始猜測場(FG)、MDAS(MA)兩者與觀測(OBS)誤差量，校驗參數為 RMSE(紅色)、MVD(藍色)、SCC(綠色)與 RMSM(黑色)。dd01 至 dd05 為不同解析度結果

誤差	Var	dd01	dd02	dd03	dd04	dd05	強度	Var	dd01	dd02	dd03	dd04	dd05
RMSE(FG)	U	3.52	3.46	3.48	3.44	3.41	RMSM(FG)	U	7.52	7.79	7.97	8.13	8.26
	V	3.56	3.61	3.47	3.42	3.35		V	5.38	5.51	5.58	5.64	5.68
RMSE(MA)	U	3.51	2.91	2.74	2.68	2.78	RMSM(MA)	U	7.47	7.79	8.04	8.16	8.22
	V	3.55	2.92	2.63	2.56	2.56		V	5.45	5.38	5.40	5.36	5.33
MVD(FG)	Wind	4.26	4.22	4.19	4.15	4.10	RMSM(OBS)	U	8.62	8.75	9.03	9.21	9.36
MVD(MA)	Wind	4.25	3.44	3.16	3.07	3.13		V	6.13	6.16	6.18	6.17	6.15
SCC(FG)	U	0.54	0.55	0.55	0.54	0.54	2018SouthWesterly Flow						
	V	0.57	0.55	0.56	0.55	0.55							
SCC(MA)	U	0.54	0.67	0.71	0.72	0.69							
	V	0.58	0.69	0.73	0.73	0.73							

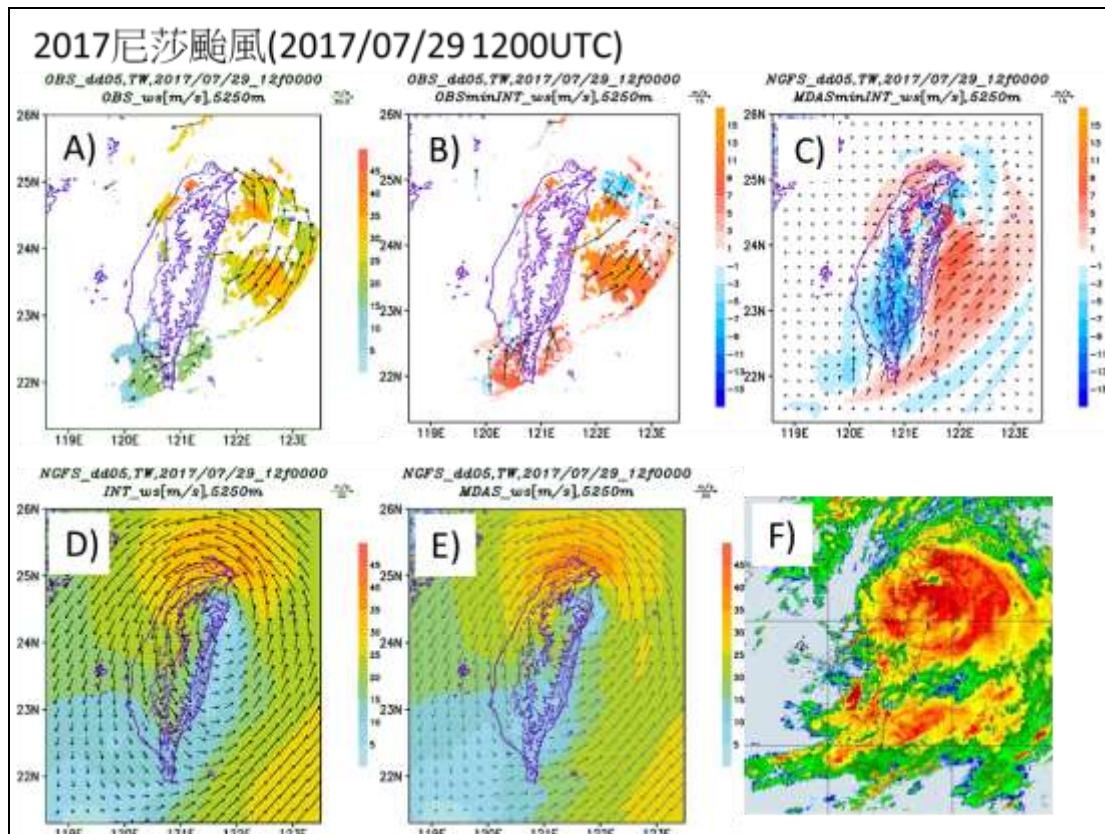


圖 2.4.1 2017 尼莎颱風 5250 公尺風速。(A)QPESUMS 雷達反演風、(B)QPESUMS 雷達反演風減初始猜測場、(C)MDAS 減初始猜測場、(D)初始猜測場、(E)MDAS 降尺度結果與、(F)合成雷達迴波；(A)(D)(E)風標為向量，(B)(C)風標為向量差。

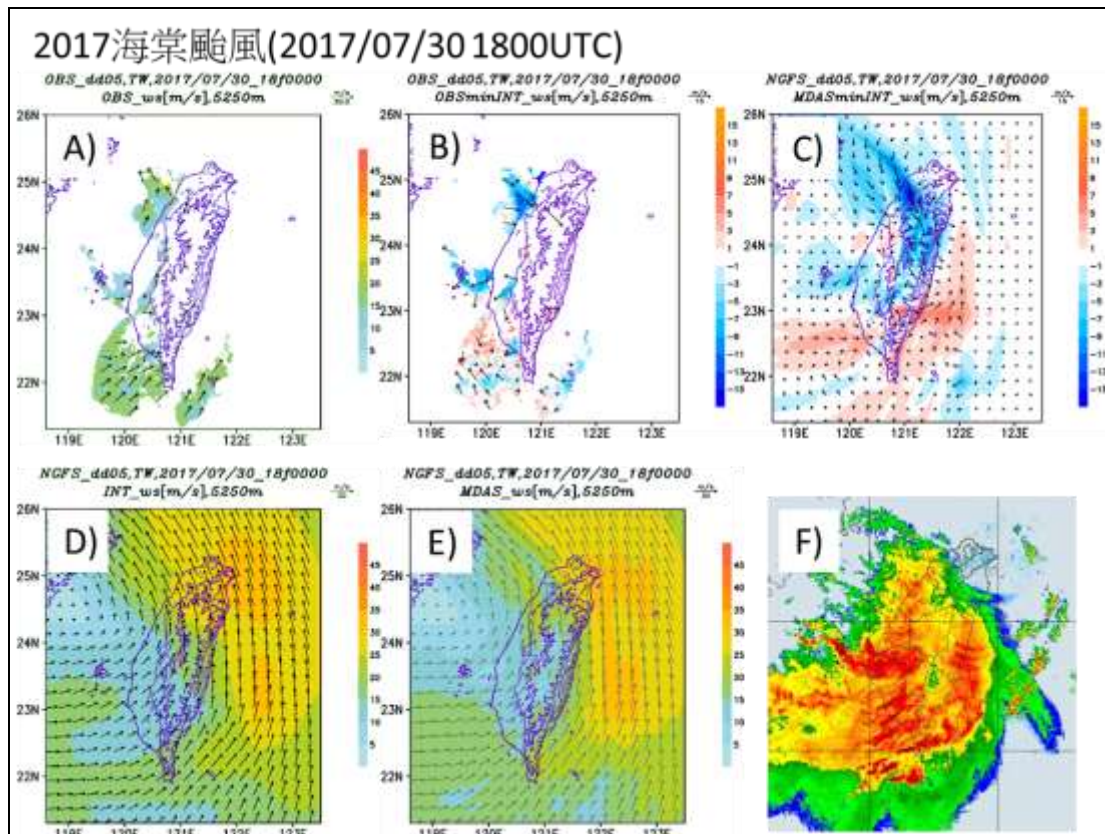


圖 2.4.2 2017 海棠颱風 5250 公尺風速。(A)QPESUMS 雷達反演風、(B)QPESUMS 雷達反演風減初始猜測場、(C)MDAS 減初始猜測場、(D)初始猜測場、(E) MDAS 降尺度結果與、(F)合成雷達迴波；(A)(D)(E)風標為向量，(B)(C)風標為向量差。

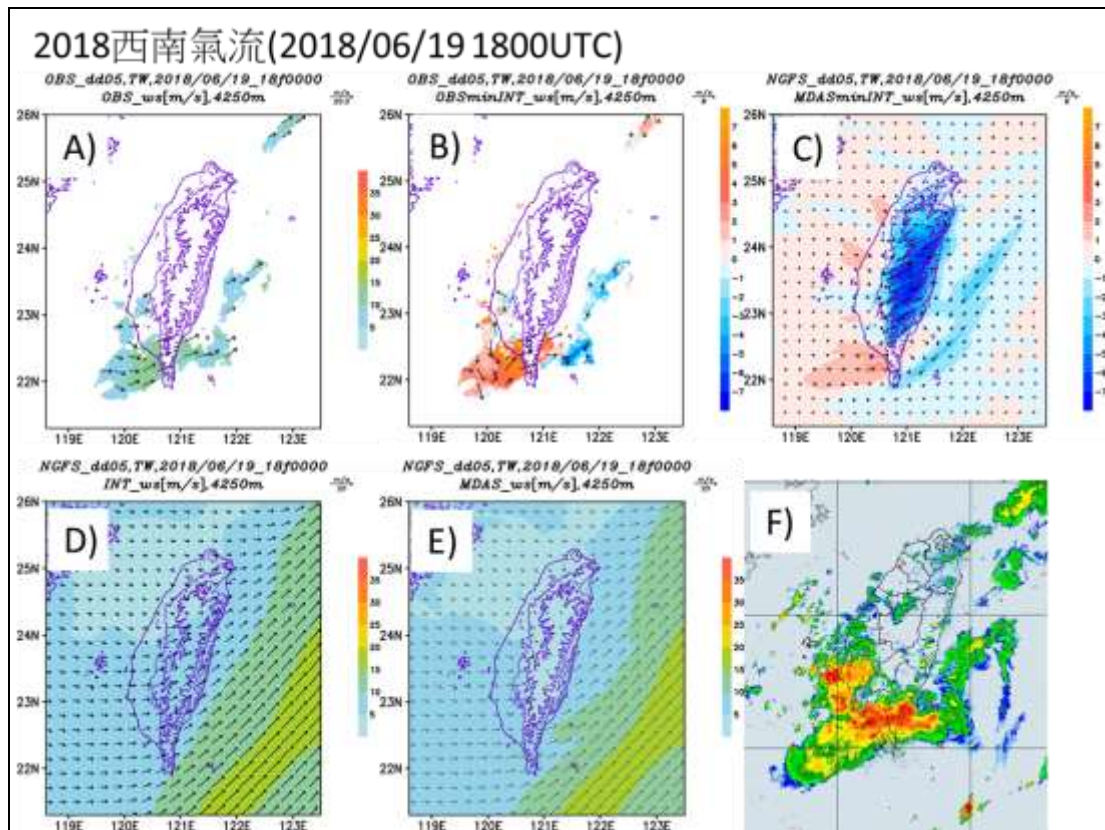


圖 2.4.3 2018 西南氣流 4250 公尺風速。(A)QPESUMS 雷達反演風、(B)QPESUMS 雷達反演風減初始猜測場、(C)MDAS 減初始猜測場、(D)初始猜測場、(E) MDAS 降尺度結果、(F)合成雷達迴波；(A)(D)(E)風標為向量，(B)(C)風標為向量差。

(五) A2Cflow 模式調校精進及核三廠氣象資料庫更新

模式中位溫的計算係使用以下之方程式，其中 $\Delta\Theta$ 表示位溫的擾動值。

$$\frac{D\Delta\Theta}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K_x \frac{\partial \Delta\Theta}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_y \frac{\partial \Delta\Theta}{\partial y} \right] + \frac{\bar{H}}{H - z_g} \\ \times \left[\frac{\partial}{\partial z^*} (-\overline{w\theta}) + \frac{1}{\rho C_p} \frac{\partial R_N}{\partial z^*} - W \frac{\partial \Theta_v}{\partial z^*} \right],$$

其中 $W \partial \Theta_v / \partial z^*$ 的 W 為卡氏座標下的垂直速度，但在 A2C 的原始程式中，此項是使用地勢追隨座標的垂直速度，造成模式在模擬時無法表現出應有的地形效應，因此將之修改。在模式設定中地面溫度與海水表面溫度分別根據表 2.5.1 之每月的溫度平均值作為模擬初始值設定。

表 2.5.1 每月的溫度平均值作為模擬初始值設定。

上半年	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
地面溫度(°C)	20.70	21.40	23.20	25.20	27.00	27.90
海水表面溫度(°C)	21.90	23.00	24.10	26.00	28.20	29.50
下半年	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
地面溫度(°C)	28.40	28.10	27.40	26.30	24.30	21.70
海水表面溫度(°C)	29.70	29.30	28.80	26.80	24.80	22.60

A2Cflow 模式模擬的設計分為四個巢狀網格，解析度為 4km、1km、0.5km 還有 0.25km，格點數分別為 120×120、120×120、80×80 以及 80×80，最小範圍則涵蓋以各核三廠為中心；模式將初始風向依據各個月份之測站風場統計結果，每個月有將近 20 個風向的分類，模擬的初始風速分別設為 2m/s、5m/s 還有 8m/s，穩定度參數值則分

成 0.002(即 $-0.65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，相當於穩定度分類中的 D 級)跟 0.005($-0.35^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，相當於穩定度分類中的 E 級)兩種穩定度，其中穩定度參數值 0.002 代表標準大氣之溫度遞減率，相較於穩定度參數 0.002 的標準大氣之溫度遞減率，穩定度參數 0.005 較為穩定。

根據上述條件模擬日期取每月中，其中春季和秋季的初始模擬時間為 00LST，夏季的初始模擬時間為 02LST，冬季的初始模擬時間為 22LST，每一個模擬均總共模擬 36 個小時。圖 2.5.1 到 2.5.96 為 A2Cflow 模式模擬之風場，其中 1 個風向 3 個風速、2 種穩定度及四個季節之結果，共 24 組模擬。向量圖為模式第二層風，其高度為 20m，溫度擾動以填色表示，溫度擾動是指當下格點上的溫度與其模擬初始輸入地面溫度之差值。

更新的資料儲存在機器中如圖 2.5.97~圖 2.5.100 所示，依月份放置，二月份~九月分都有 116 個類型，其餘一月份和十至十二月份都是 98 種類型。檔案亦已傳送到輻防處機器(IP:114.34.140.182)存放，其路徑為/export/home/a2cdose/case/wind/npp3/new/，資料夾裡亦是依月分分類存放。

Month = 01

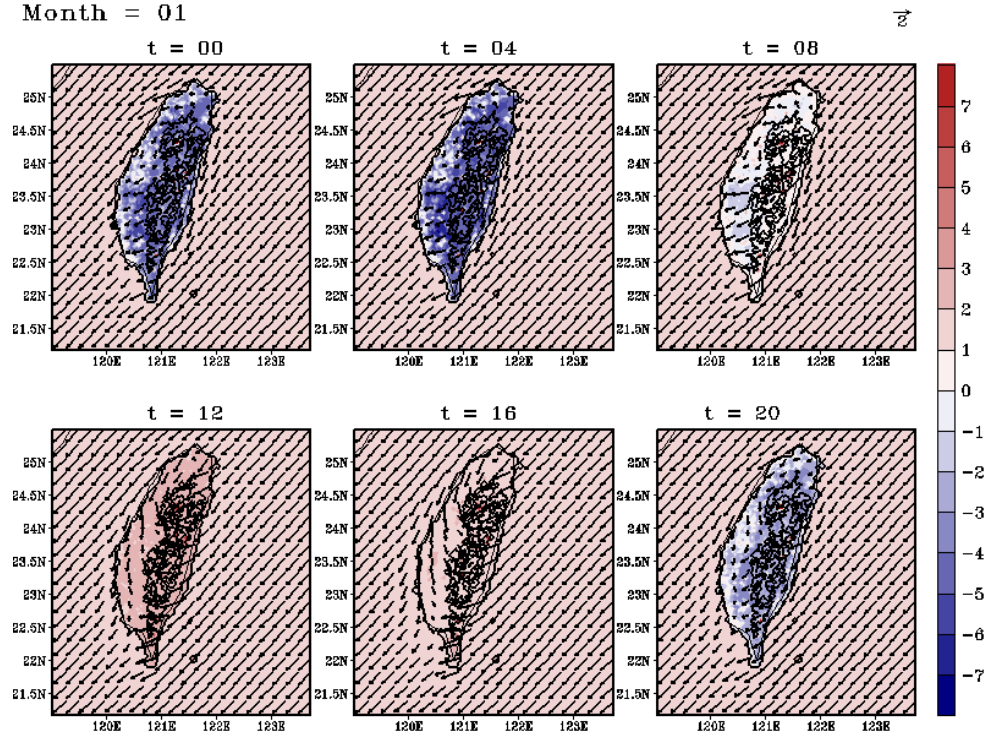


圖 2.5.1 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 22LST，風向為 45° ，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)；填色部分為溫度擾動，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。

Month = 01

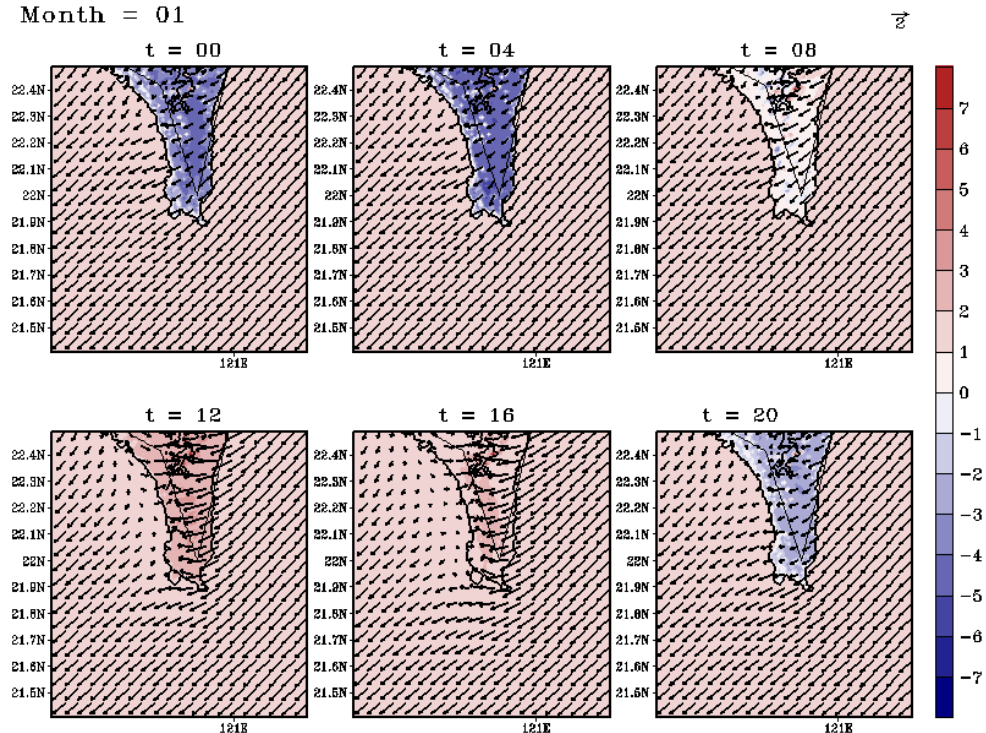


圖 2.5.2 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 22LST，中心位置為核三廠(第 2 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)；填色部分為溫度擾動，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。

Month = 01

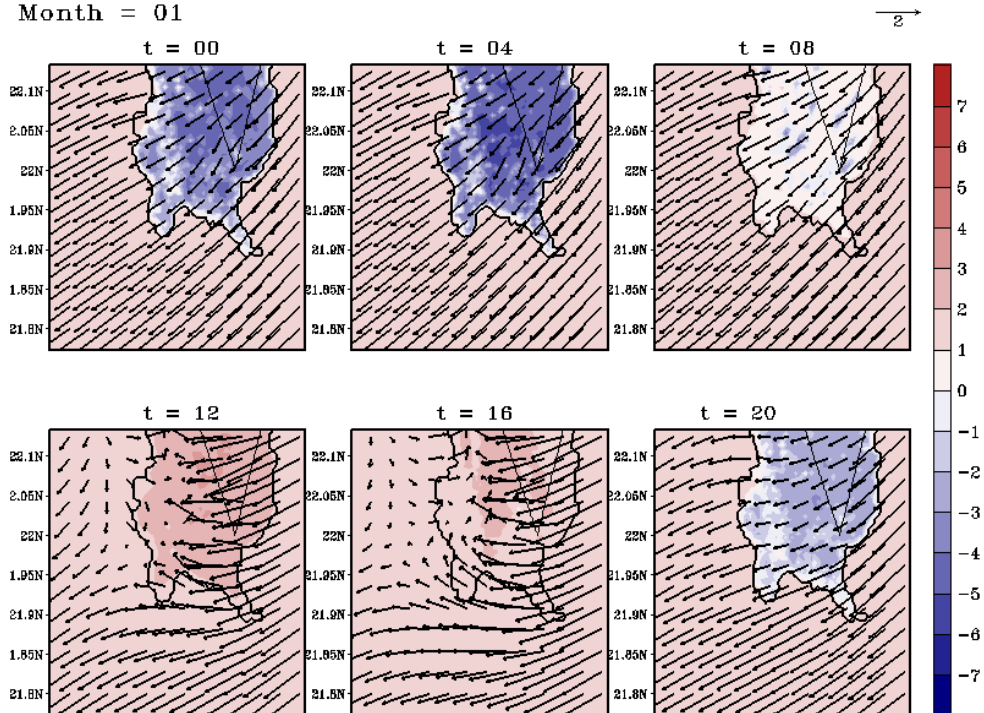


圖 2.5.3 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 22LST，中心位置為核三廠(第 3 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)；填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

Month = 01

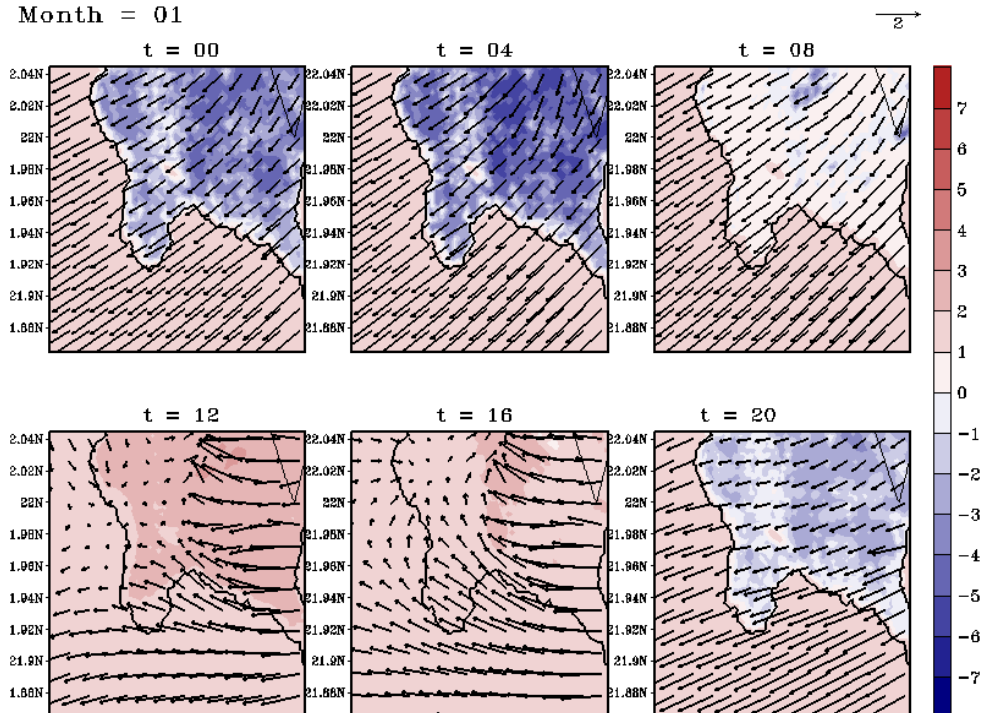


圖 2.5.4 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 22LST，中心位置為核三廠(第 4 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)；填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

Month = 01

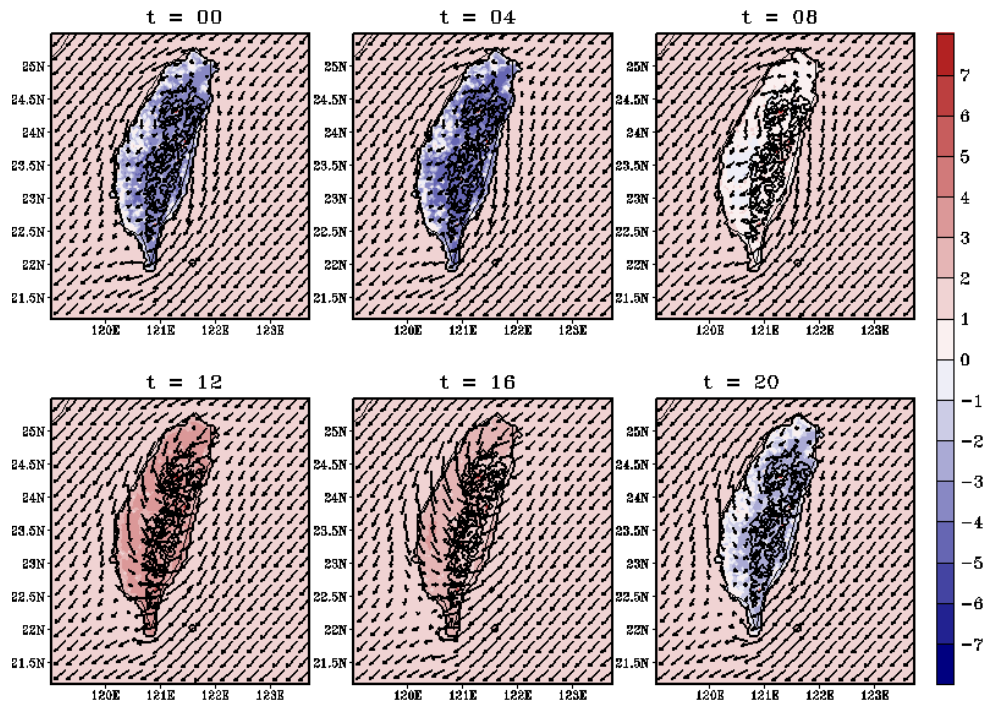


圖 2.5.5 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 22LST，風向為 45°，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)；填色部分為溫度擾動，單位為 °C。

Month = 01

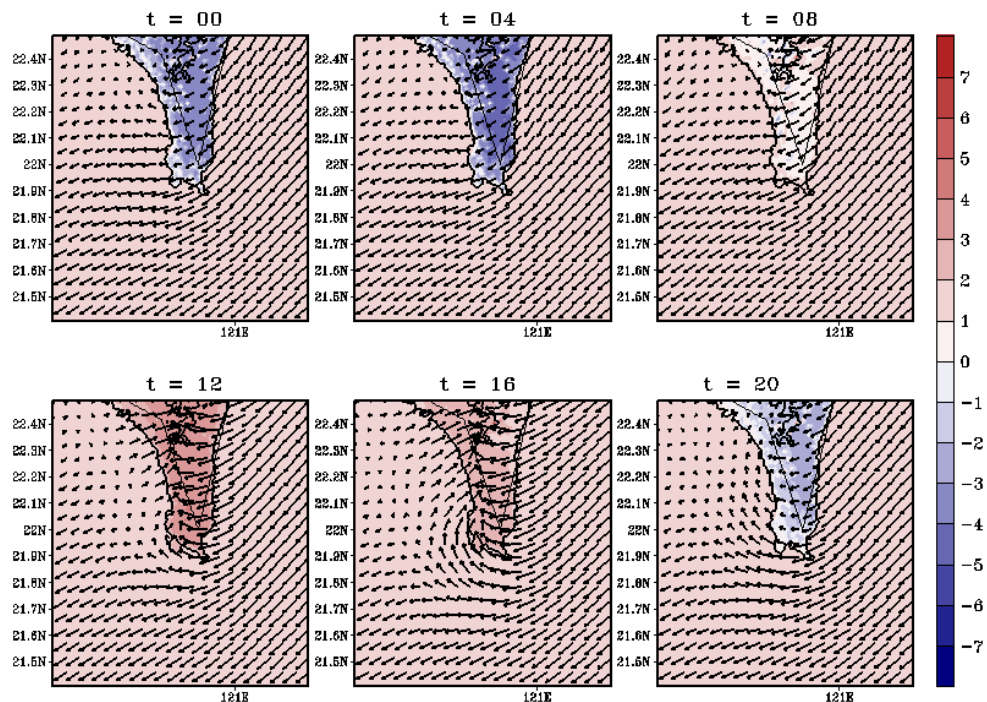


圖 2.5.6 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 22LST，中心位置為核三廠(第 2 層巢狀網格)，風向為 45°，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)；填色部分為溫度擾動，單位為 °C。

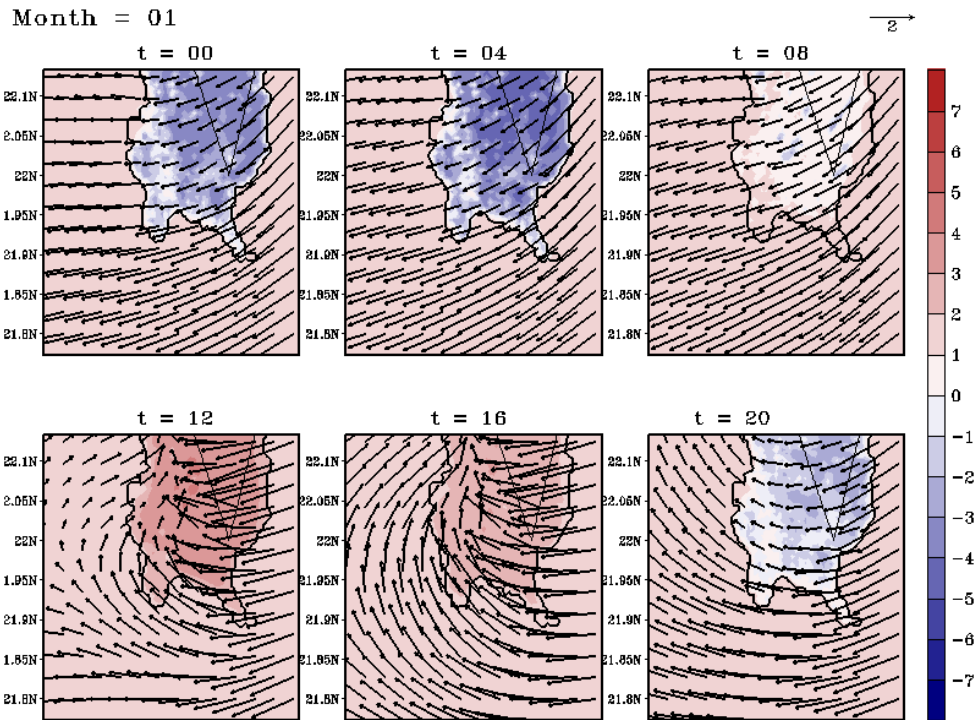


圖 2.5.7 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 22LST，中心位置為核三廠(第 3 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)；填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

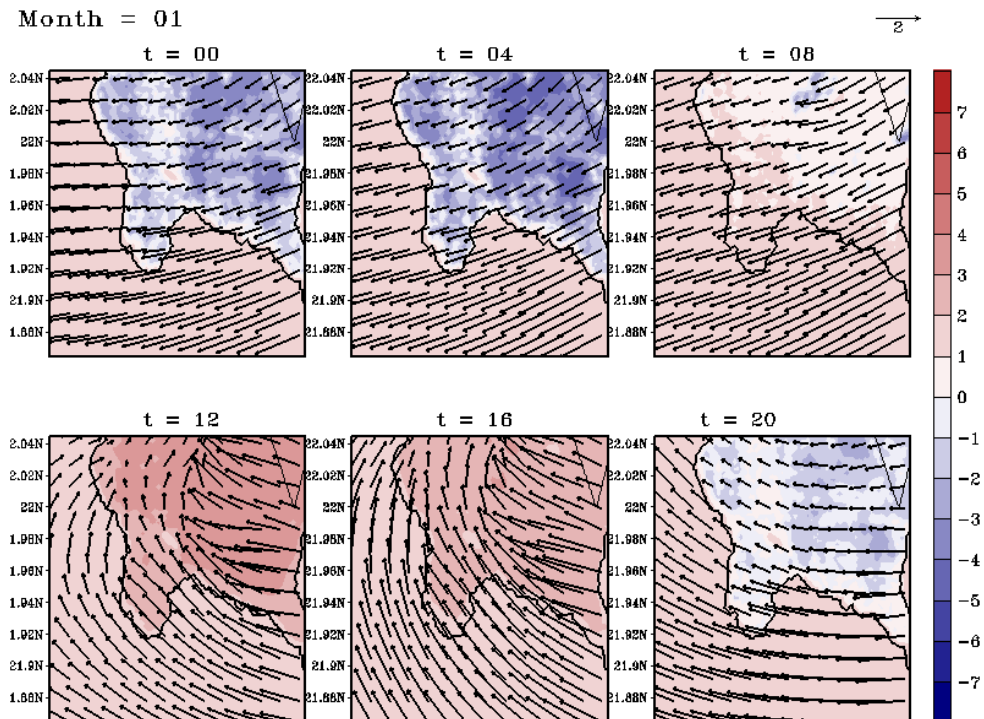


圖 2.5.8 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 22LST，中心位置為核三廠(第 4 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)；填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

°C。

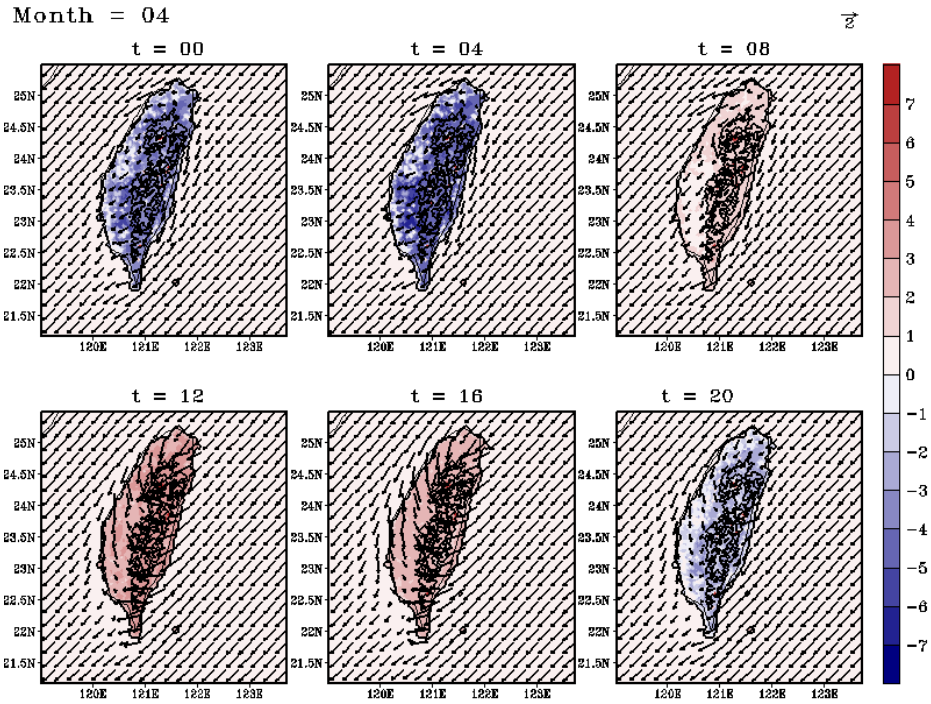


圖 2.5.9 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 105 日，模擬初始時間為 00LST，向為 45°，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)；填色部分為溫度擾動，單位為°C。

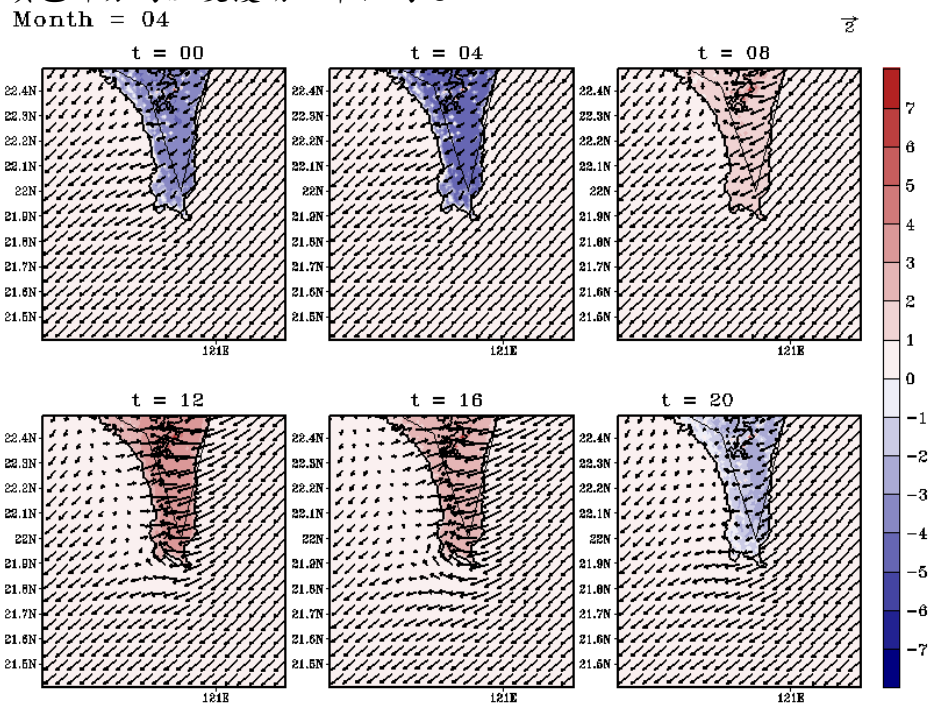


圖 2.5.10 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 105 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 2 層巢狀網格)，風向為 45°，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)；填色部分為溫度擾動，單位為°C。

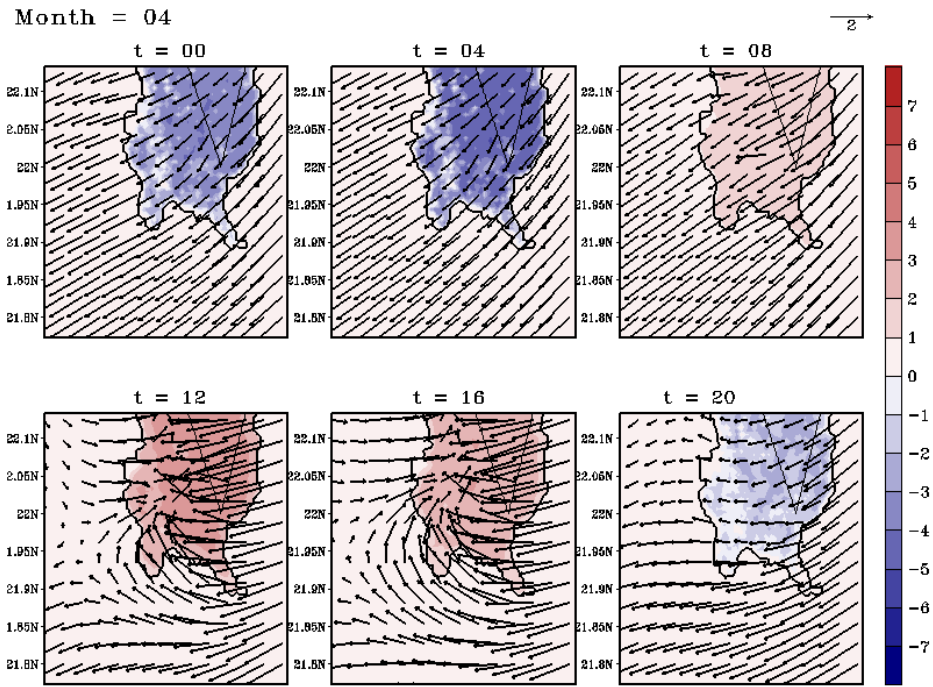


圖 2.5.11 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 105 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 3 層巢狀網格)，風向為 45°，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)；填色部分為溫度擾動，單位為℃。

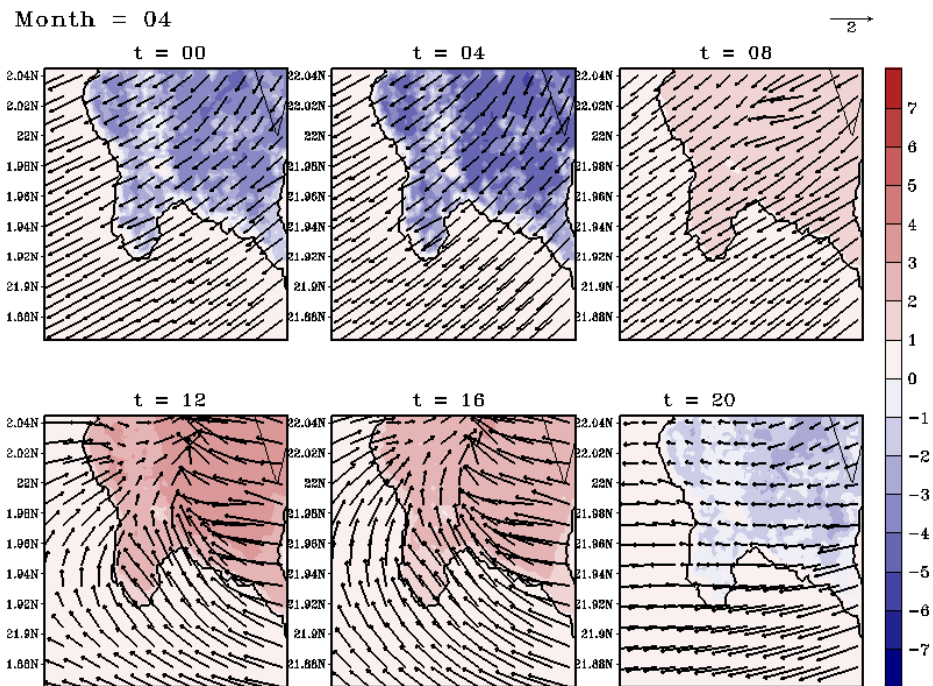


圖 2.5.12 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 105 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 4 層巢狀網格)，風向為 45°，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)；填色部分為溫度擾動，單位為℃。

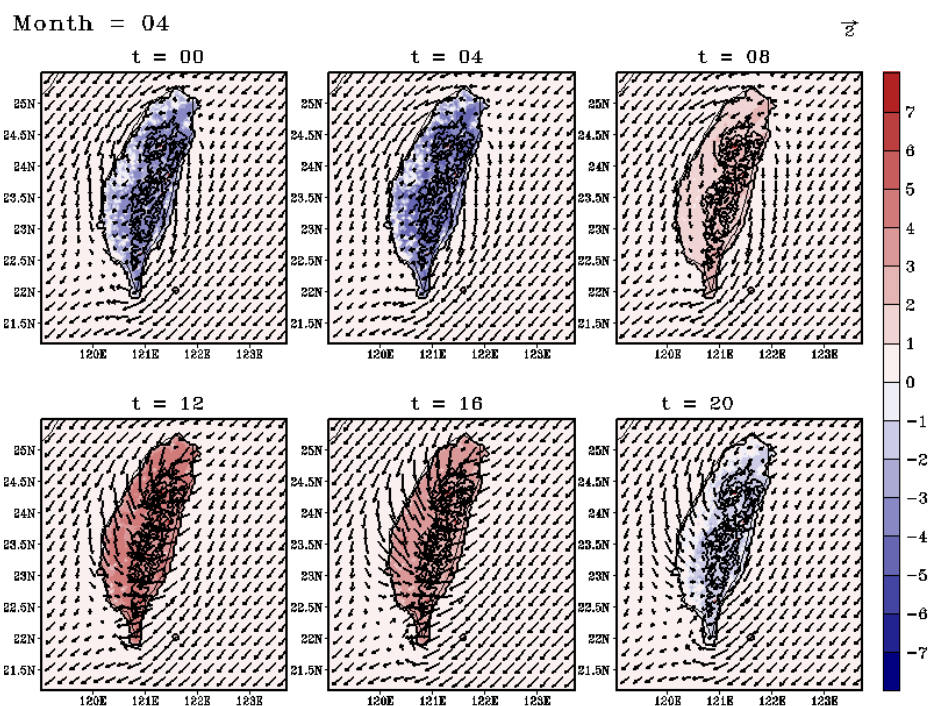


圖 2.5.13 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 105 日，模擬初始時間為 00LST，風向為 45° ，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)；填色部分為溫度擾動，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。

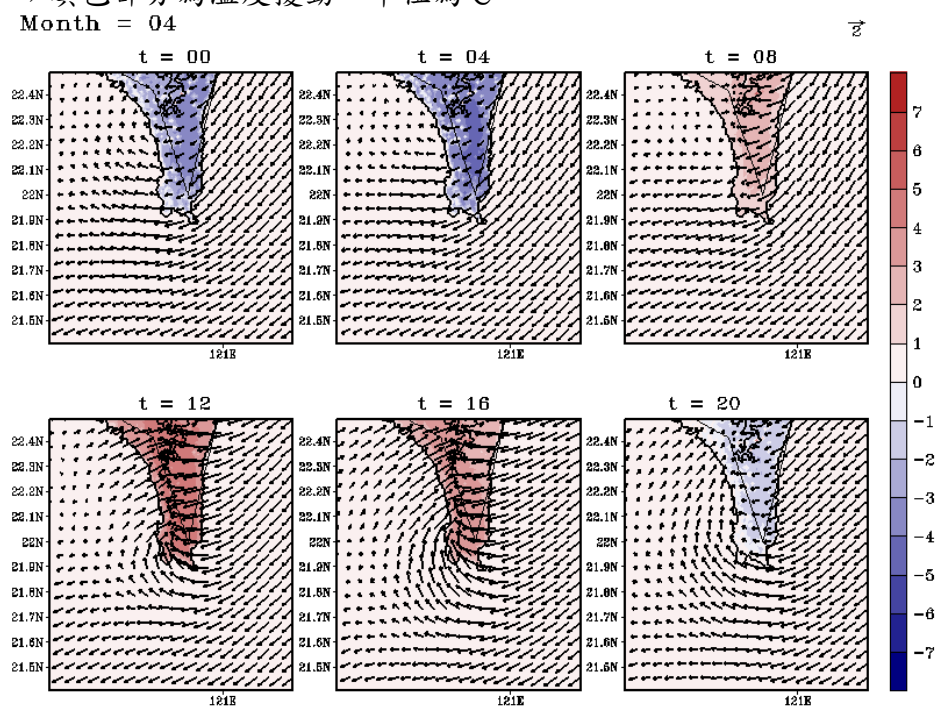


圖 2.5.14 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 105 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 2 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)；填色部分為溫度擾動，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。

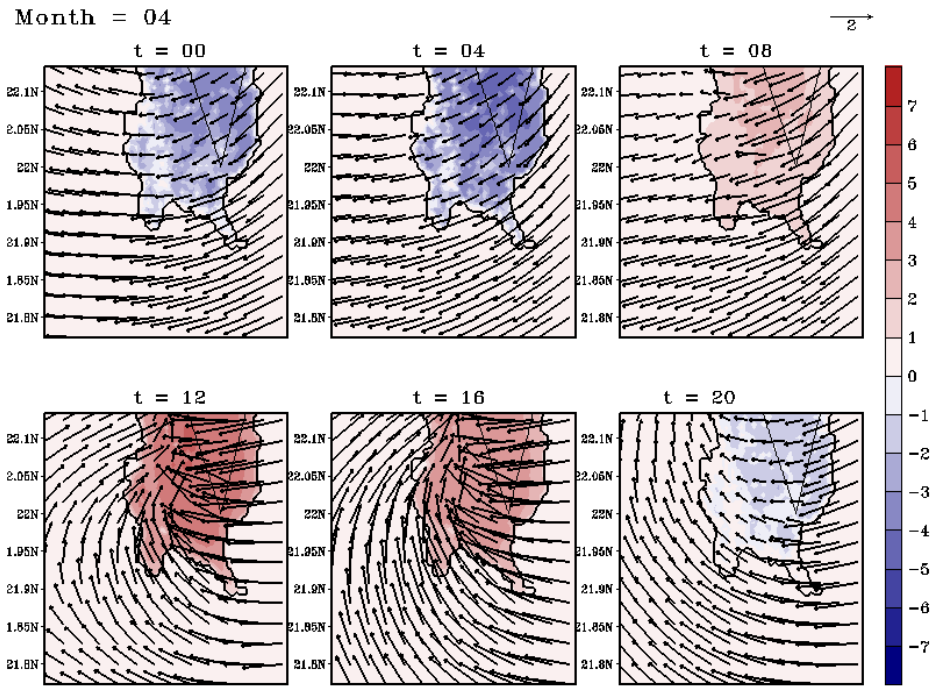


圖 2.5.15 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 105 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 3 層巢狀網格)，風向為 45°，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)；填色部分為溫度擾動，單位為 °C。

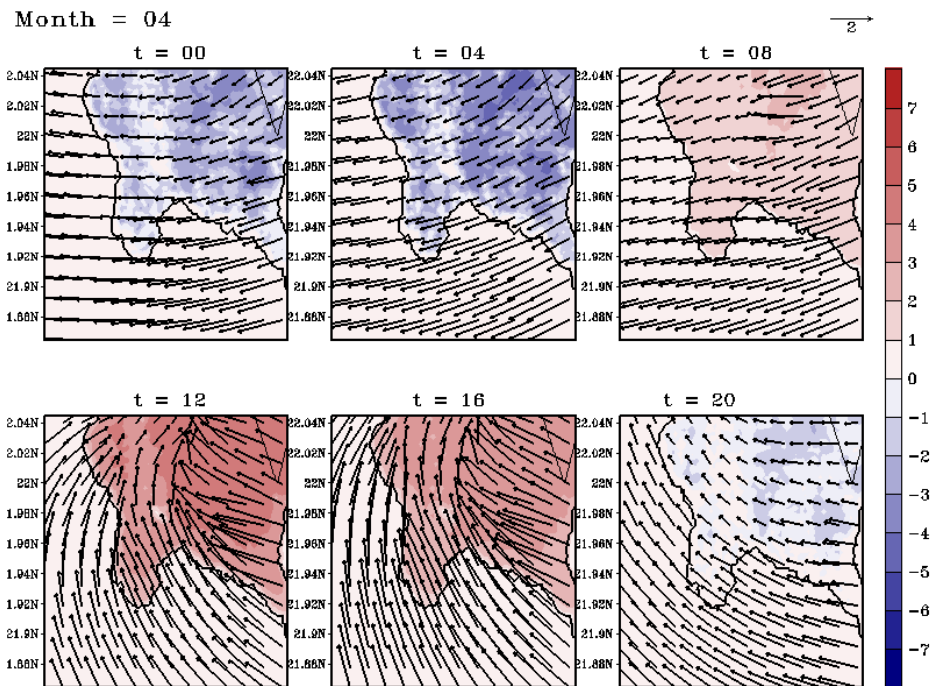


圖 2.5.16 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 105 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 4 層巢狀網格)，風向為 45°，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)；填色部分為溫度擾動，單位為 °C。

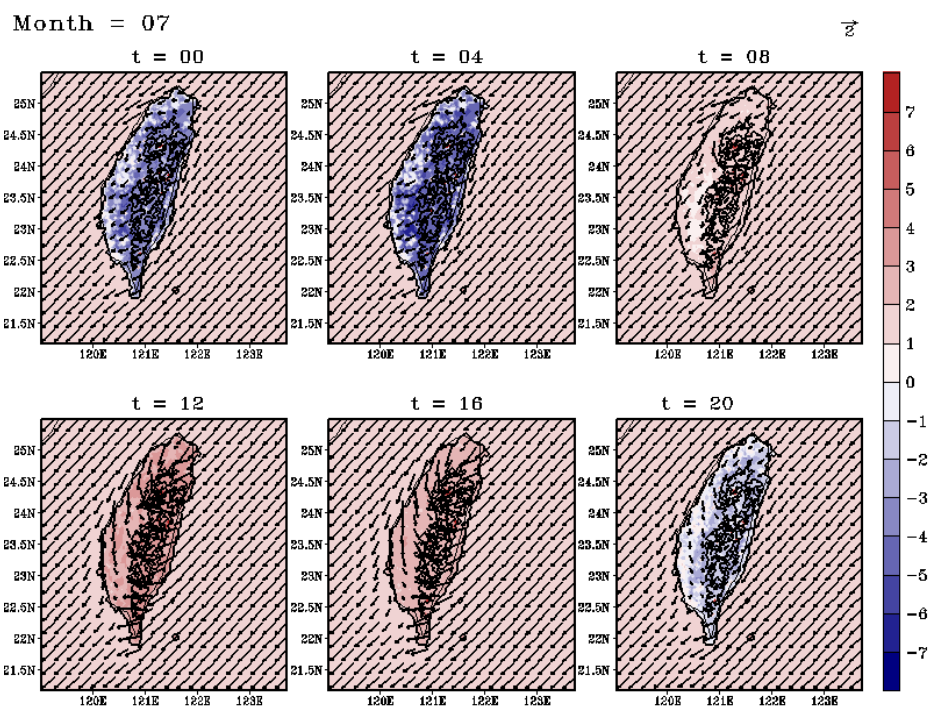


圖 2.5.17 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 196 日，模擬初始時間為 02LST，風向為 45° ，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)；填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

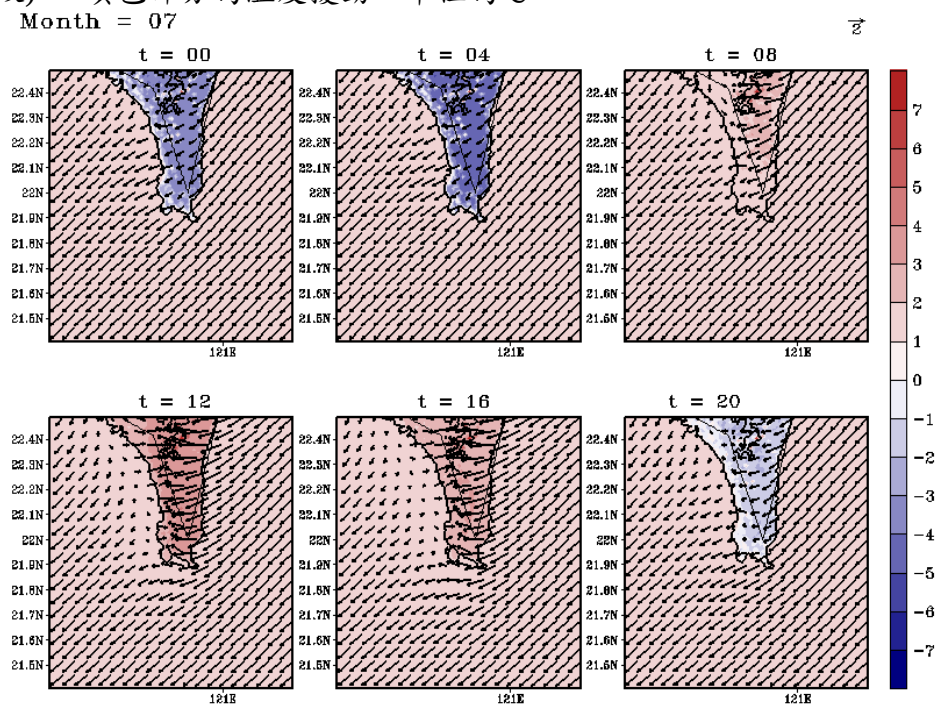


圖 2.5.18 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 196 日，模擬初始時間為 02LST，中心位置為核三廠(第 2 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)；填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

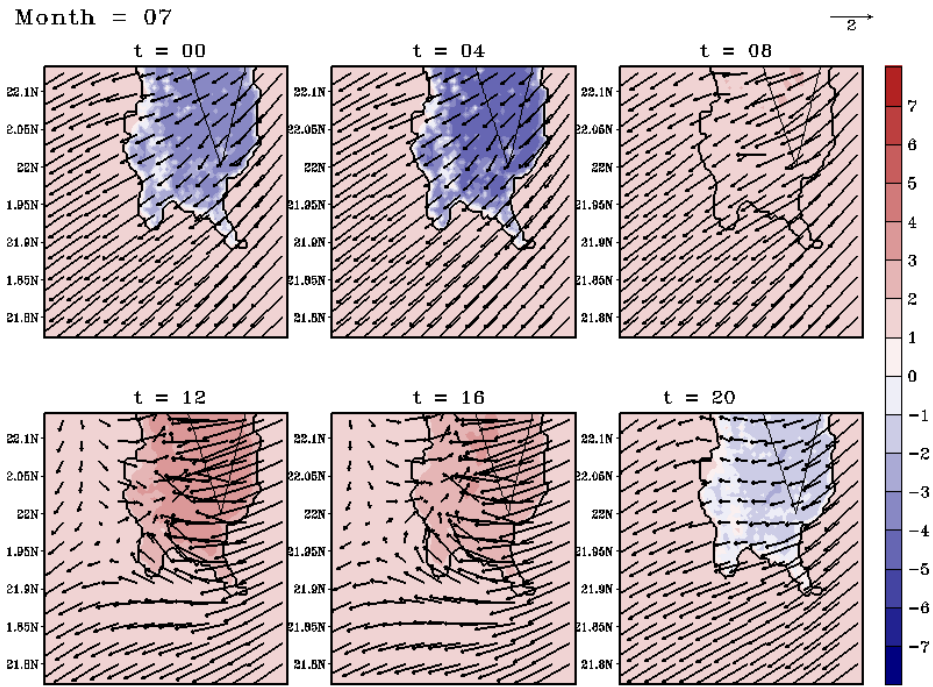


圖 2.5.19 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 196 日，模擬初始時間為 02LST，中心位置為核三廠(第 3 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)；填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

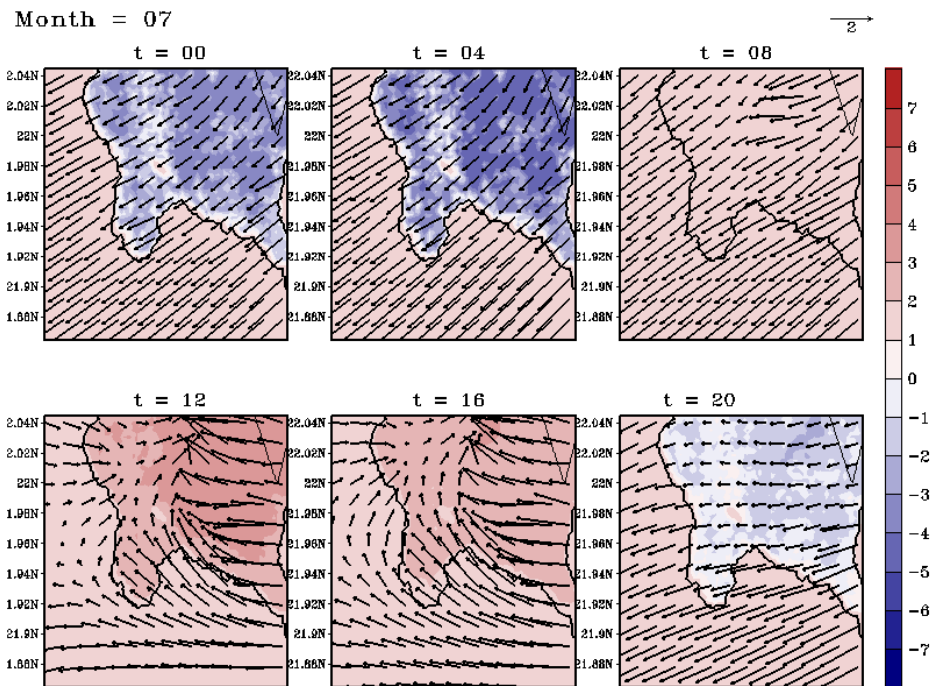


圖 2.5.20 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 196 日，模擬初始時間為 02LST，中心位置為核三廠(第 4 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)；填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

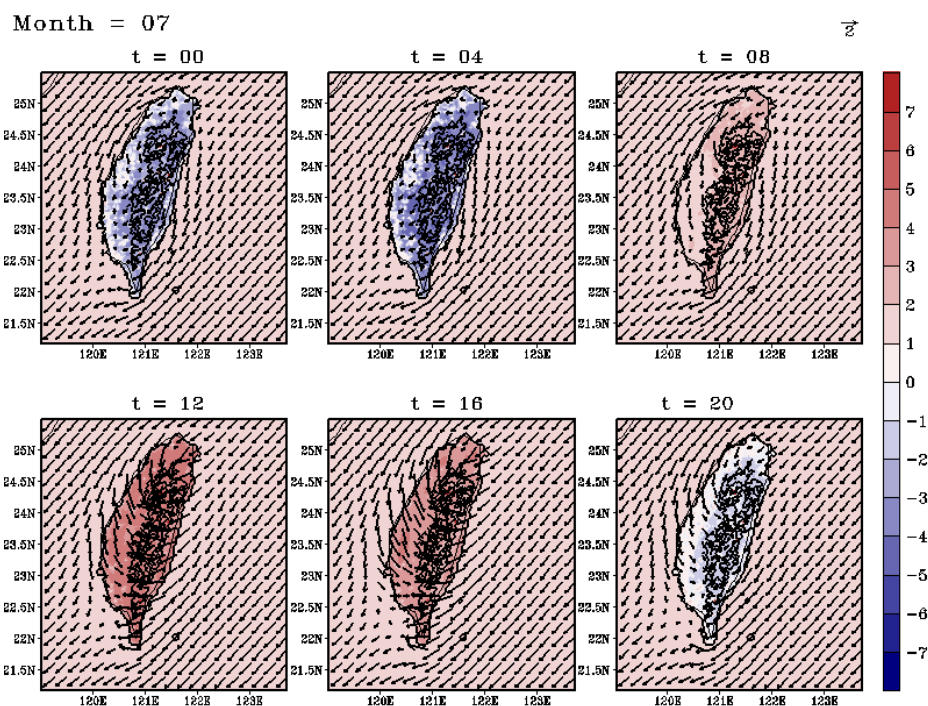


圖 2.5.21 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 196 日，模擬初始時間為 02LST，風向為 45° ，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

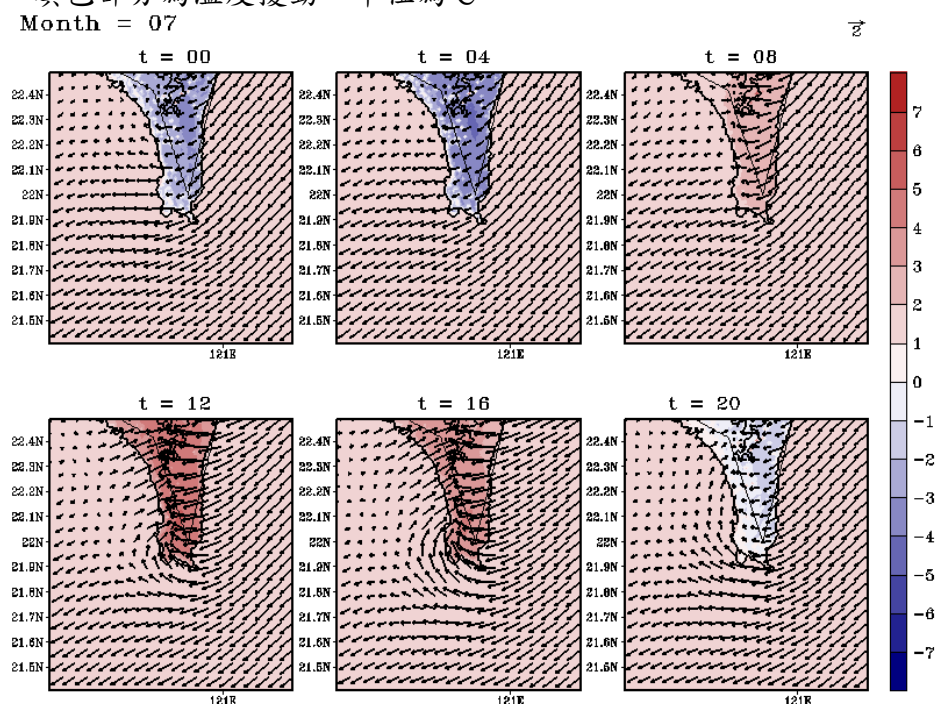


圖 2.5.22 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 196 日，模擬初始時間為 02LST，中心位置為核三廠(第 2 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

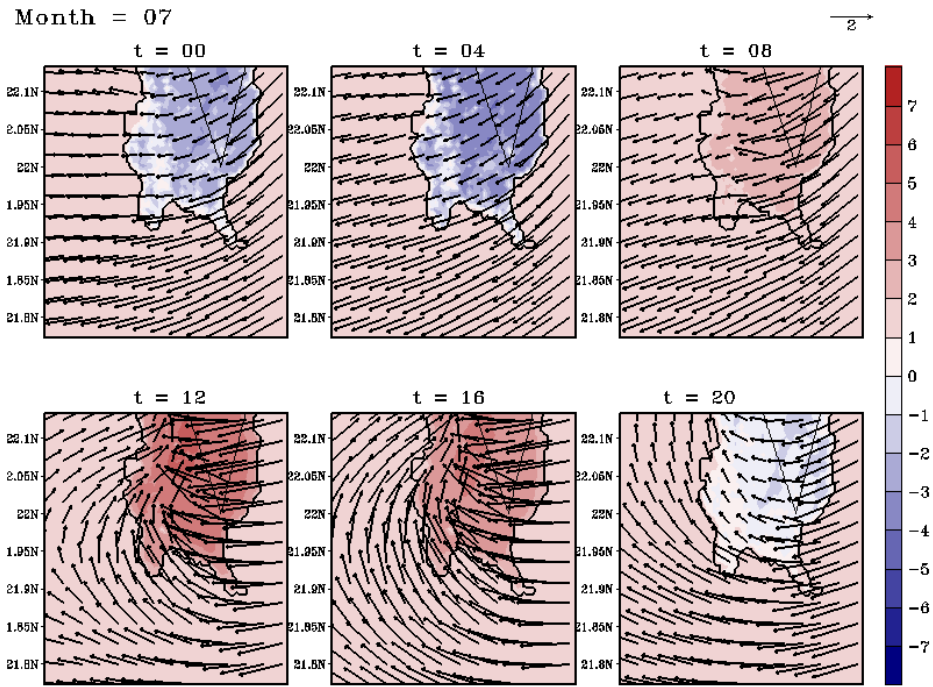


圖 2.5.23 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 196 日，模擬初始時間為 02LST，中心位置為核三廠(第 3 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

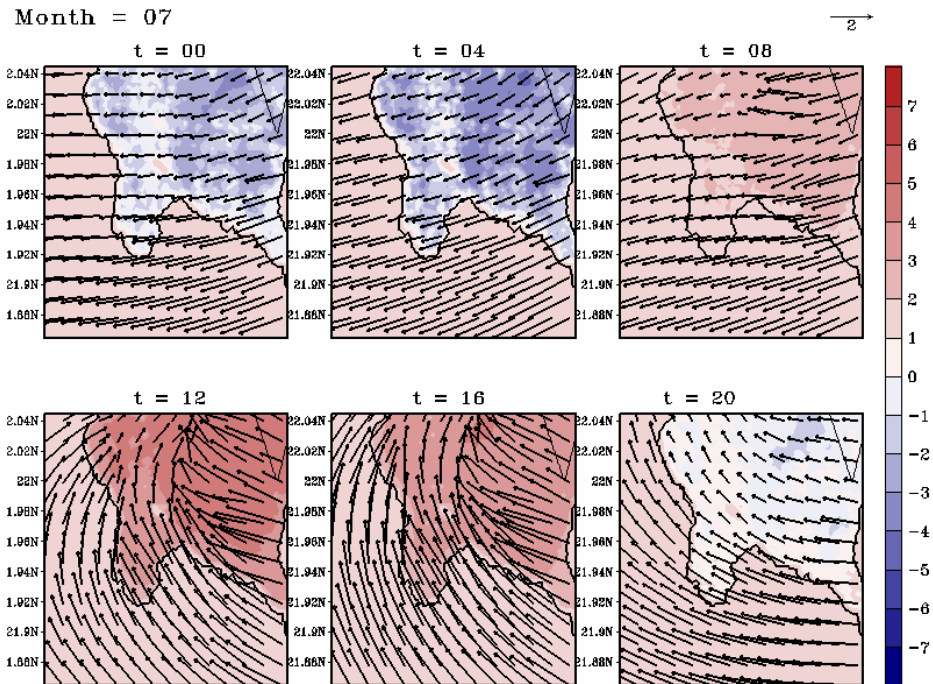


圖 2.5.24 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 196 日，模擬初始時間為 02LST，中心位置為核三廠(第 4 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

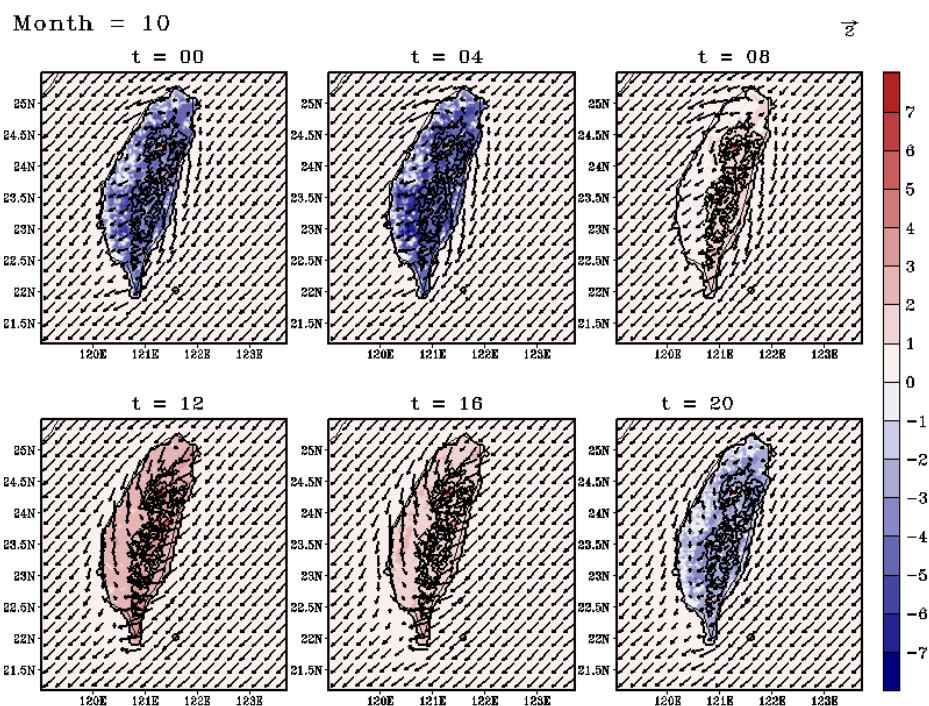


圖 2.5.25 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 288 日，模擬初始時間為 00LST，風向為 45°，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為℃。

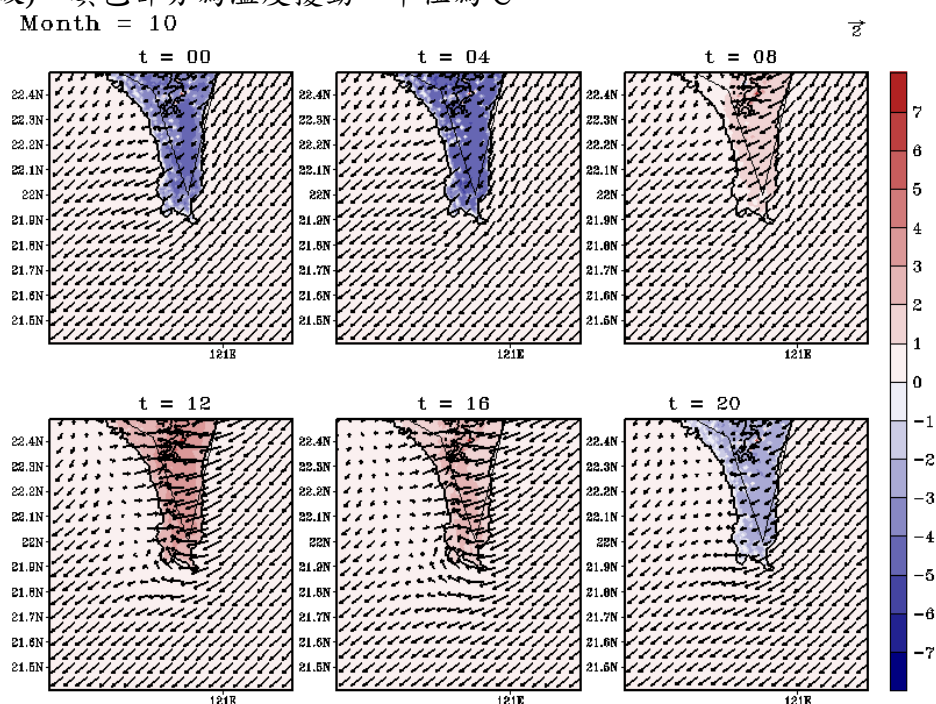


圖 2.5.26 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 288 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 2 層巢狀網格)，風向為 45°，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為℃。

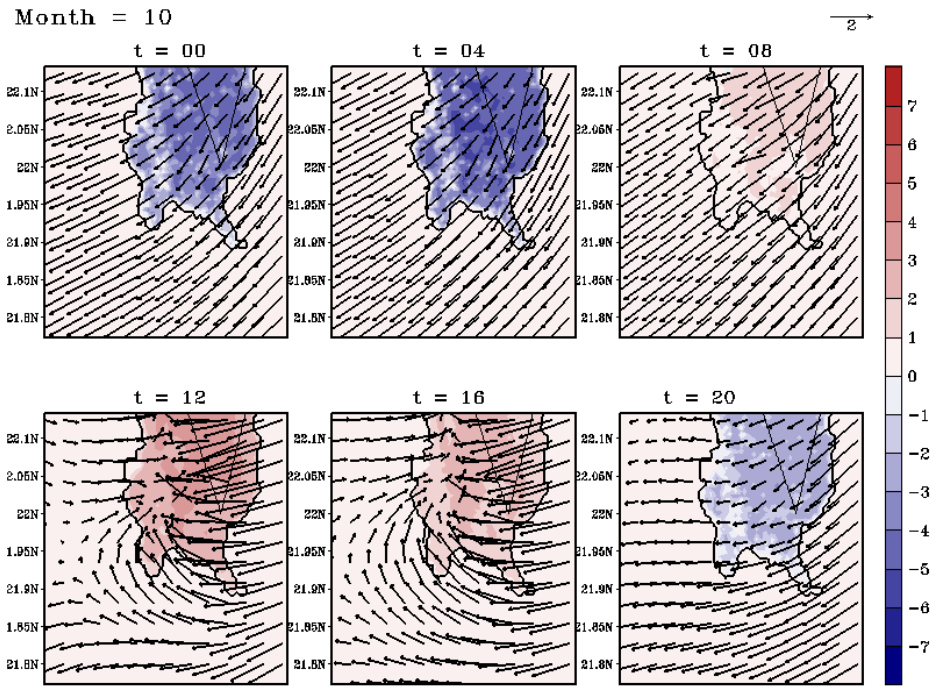


圖 2.5.27 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 288 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 3 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

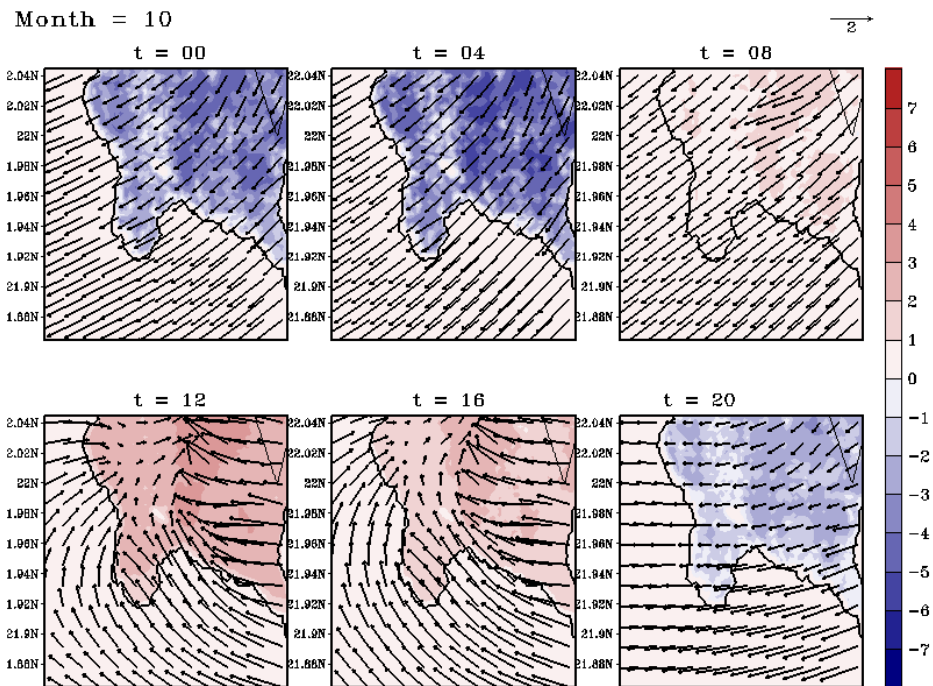


圖 2.5.28 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 288 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 3 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

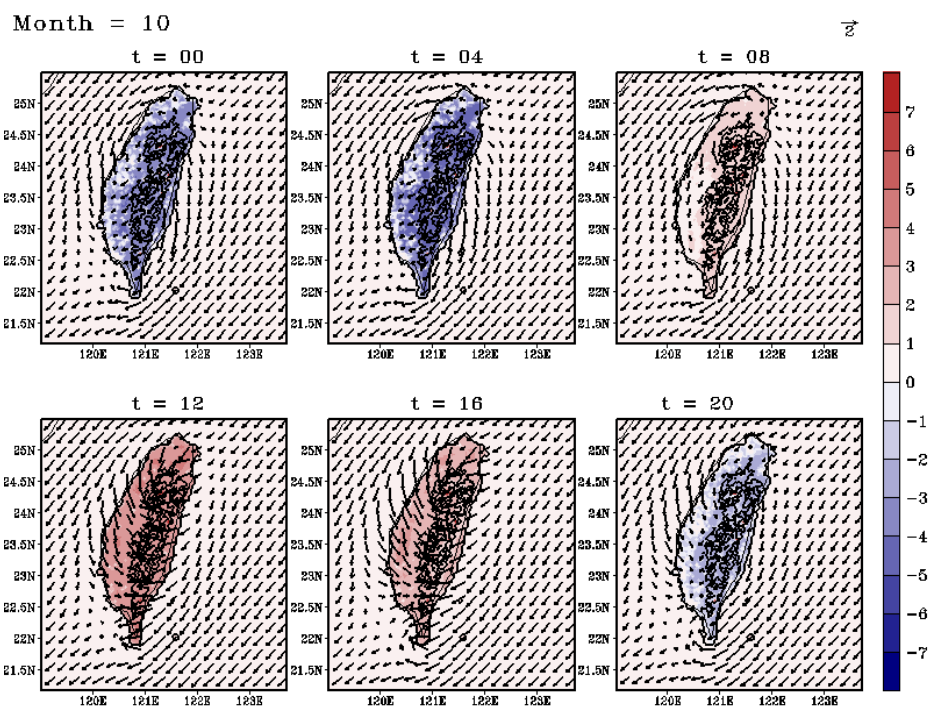


圖 2.5.29 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 288 日，模擬初始時間為 00LST，風向為 45° ，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

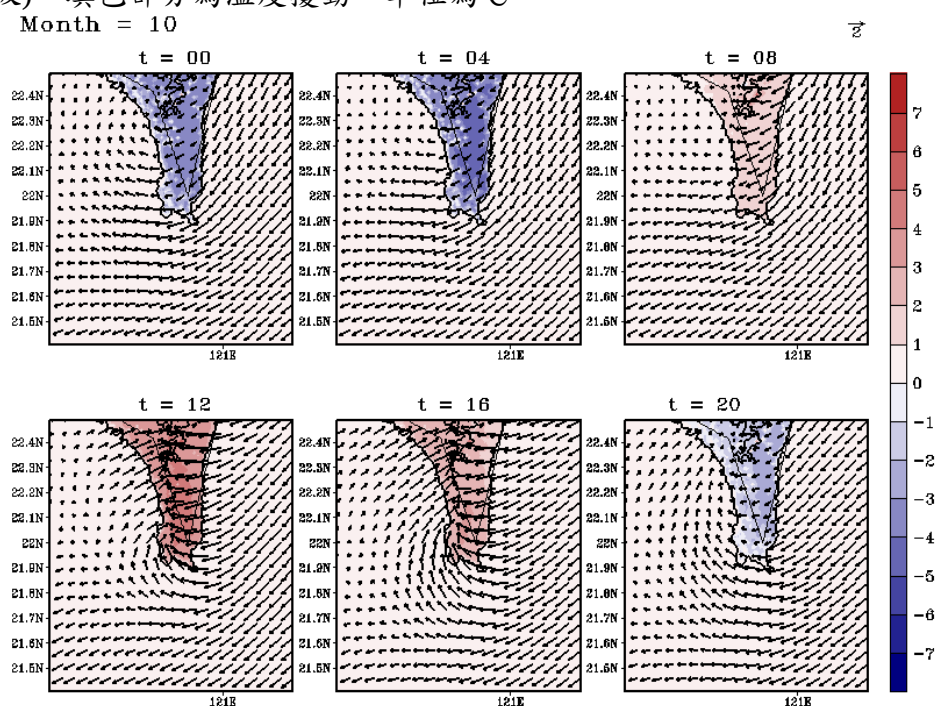


圖 2.5.30 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 288 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 2 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

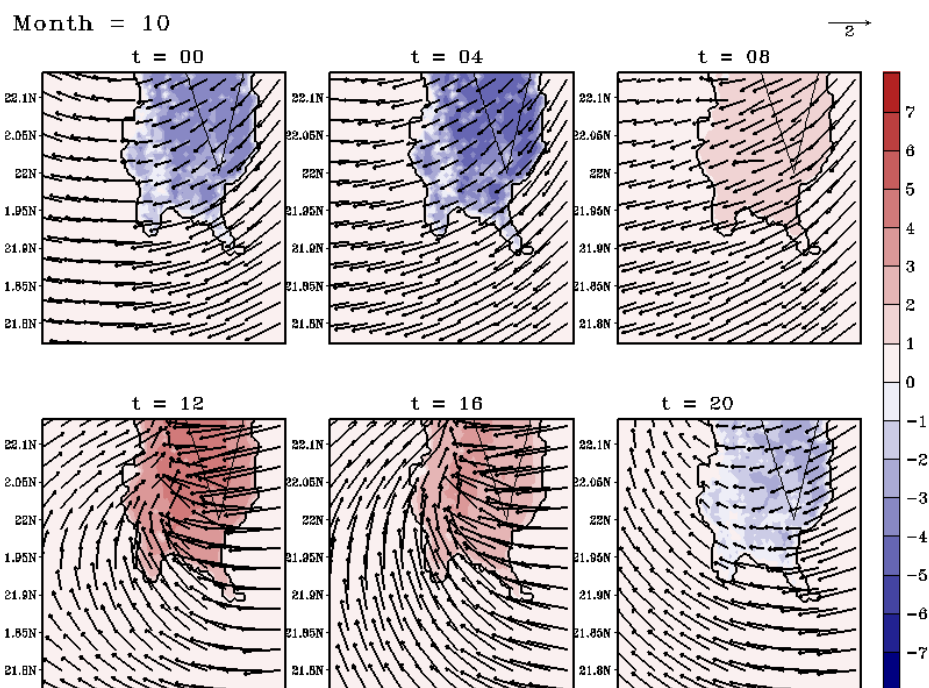


圖 2.5.31 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 288 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 3 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

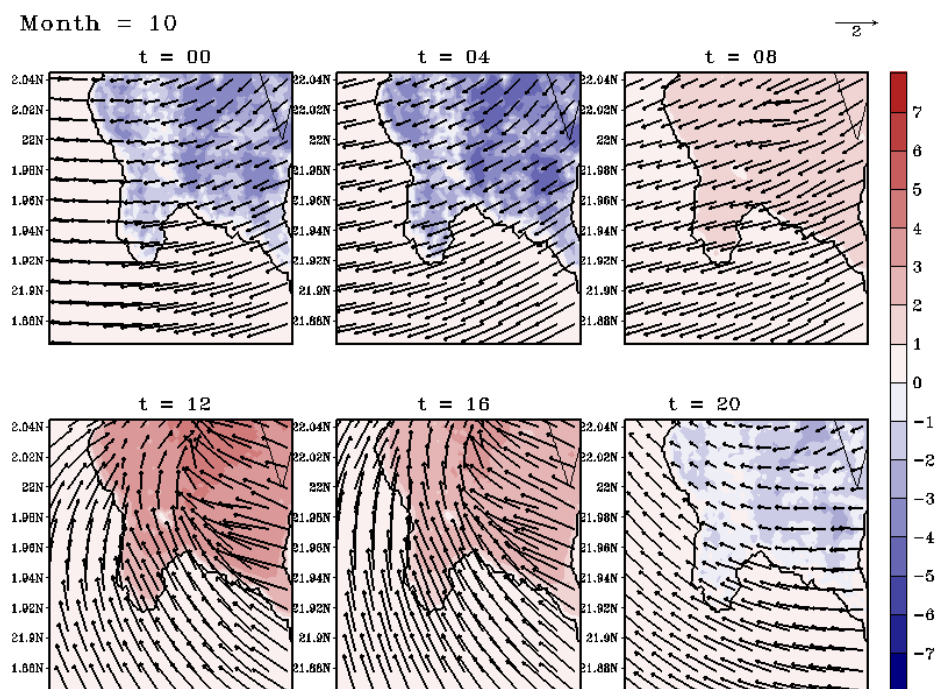


圖 2.5.32 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 288 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 4 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

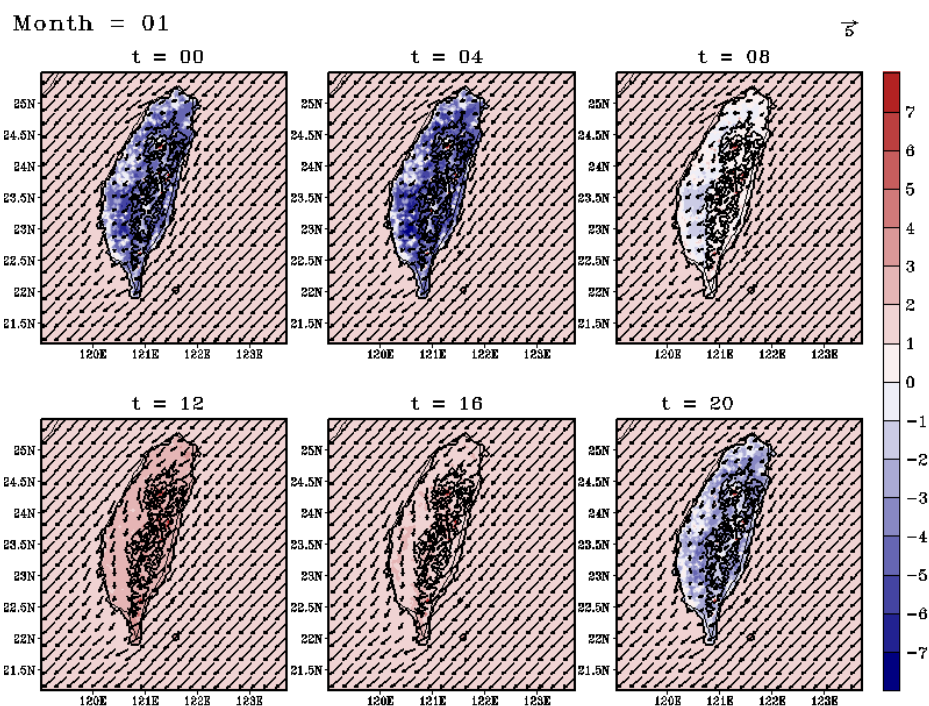


圖 2.5.33 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 22LST，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

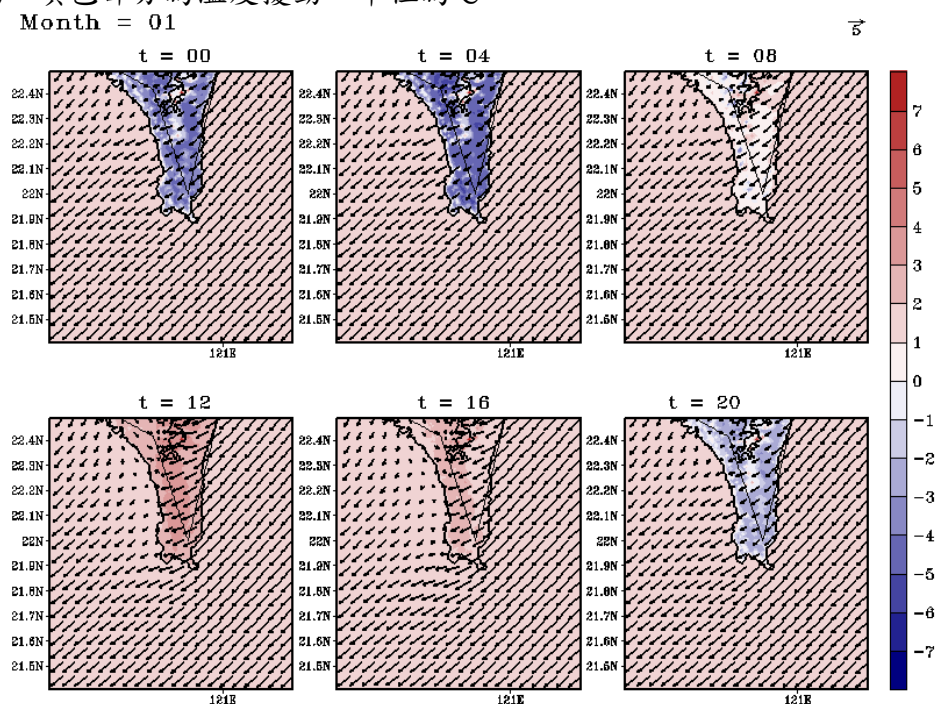


圖 2.5.34 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 22LST，中心位置為核三廠(第 2 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

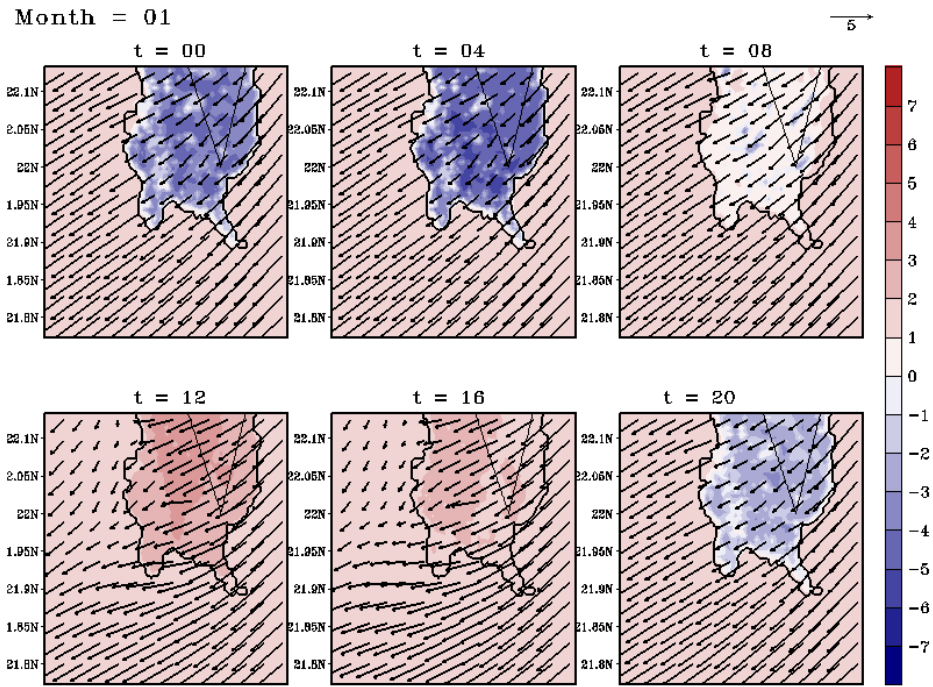


圖 2.5.35 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 22LST，中心位置為核三廠(第 3 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

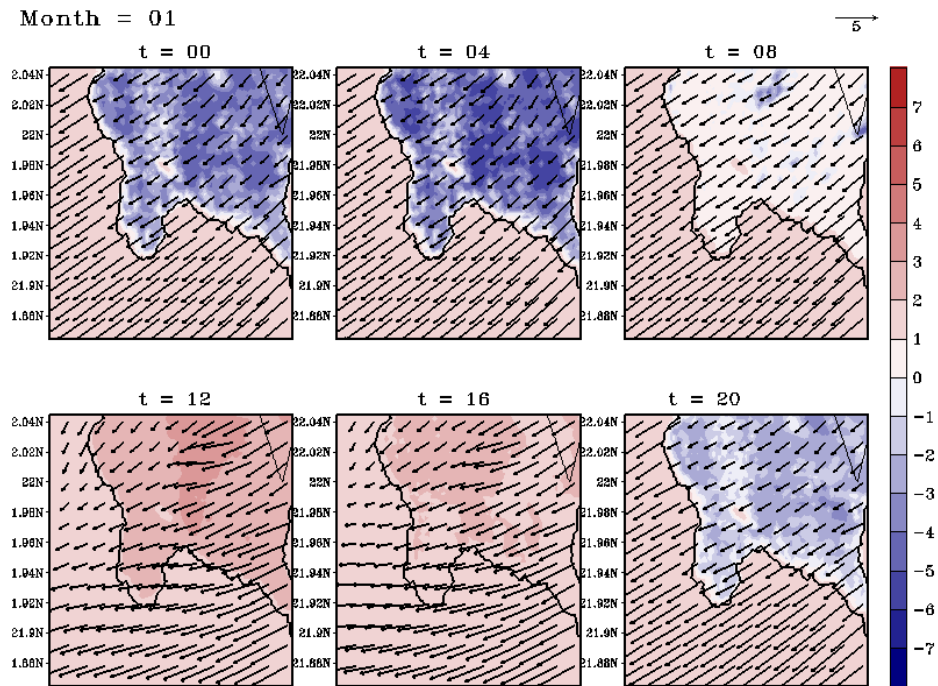


圖 2.5.36 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 22LST，中心位置為核三廠(第 4 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

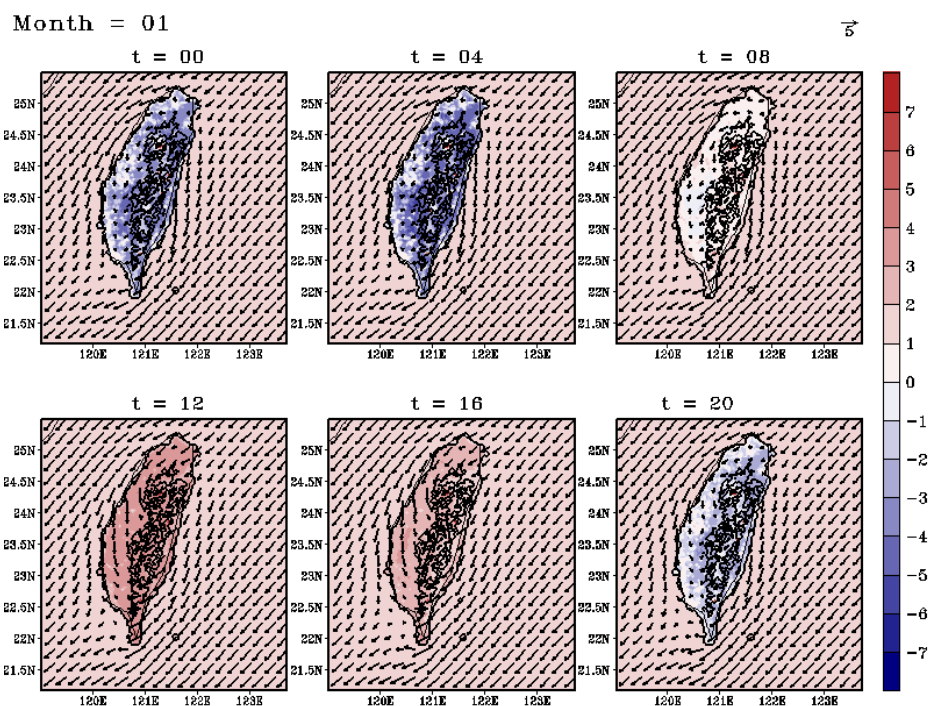


圖 2.5.37 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 22LST，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

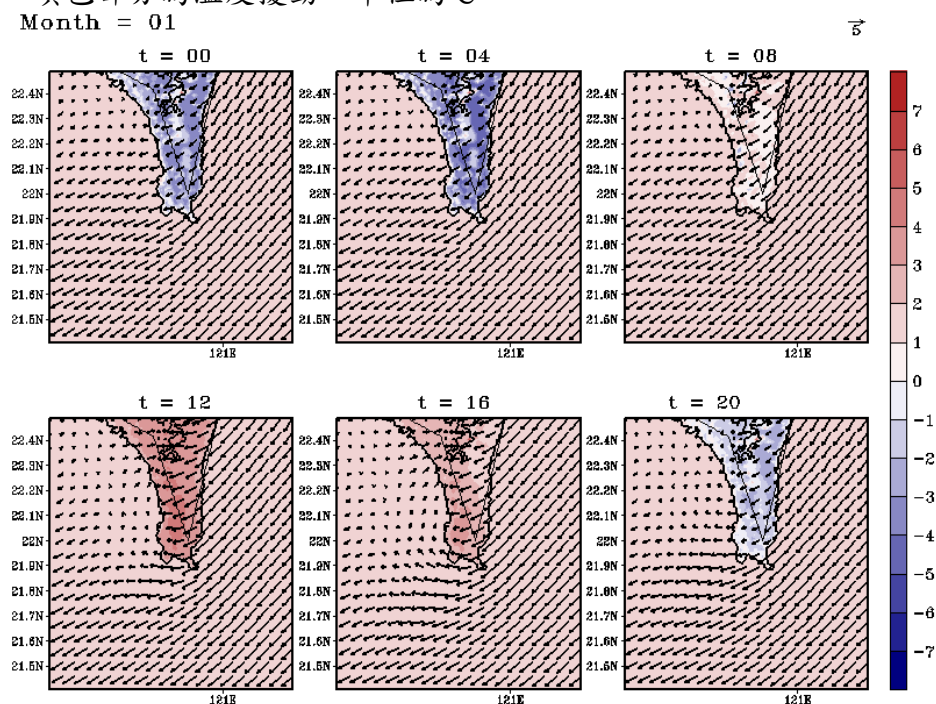


圖 2.5.38 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 22LST，中心位置為核三廠(第 2 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

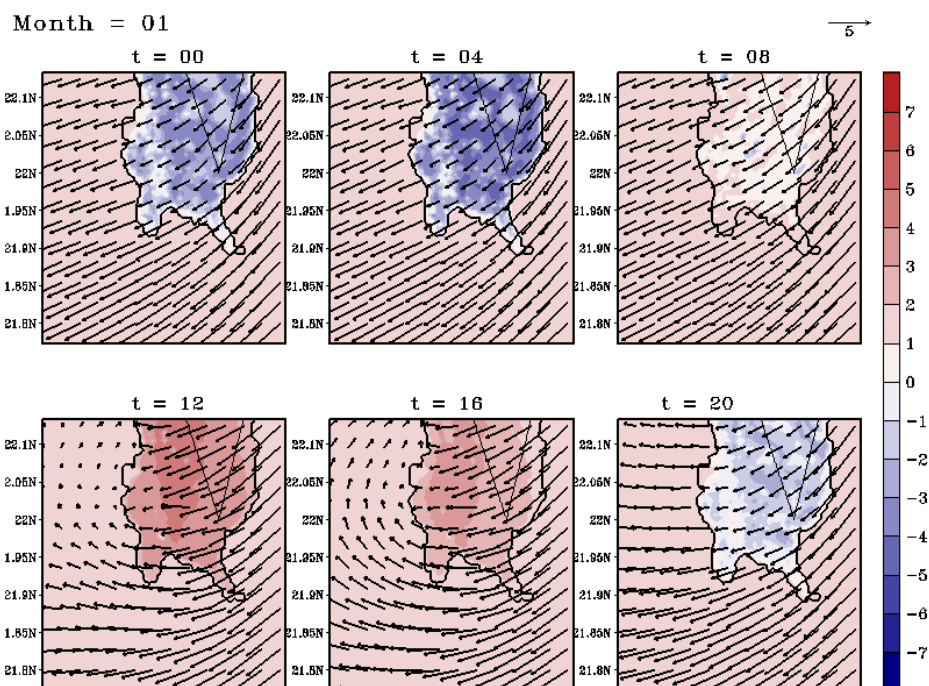


圖 2.5.39 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 22LST，中心位置為核三廠(第 3 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

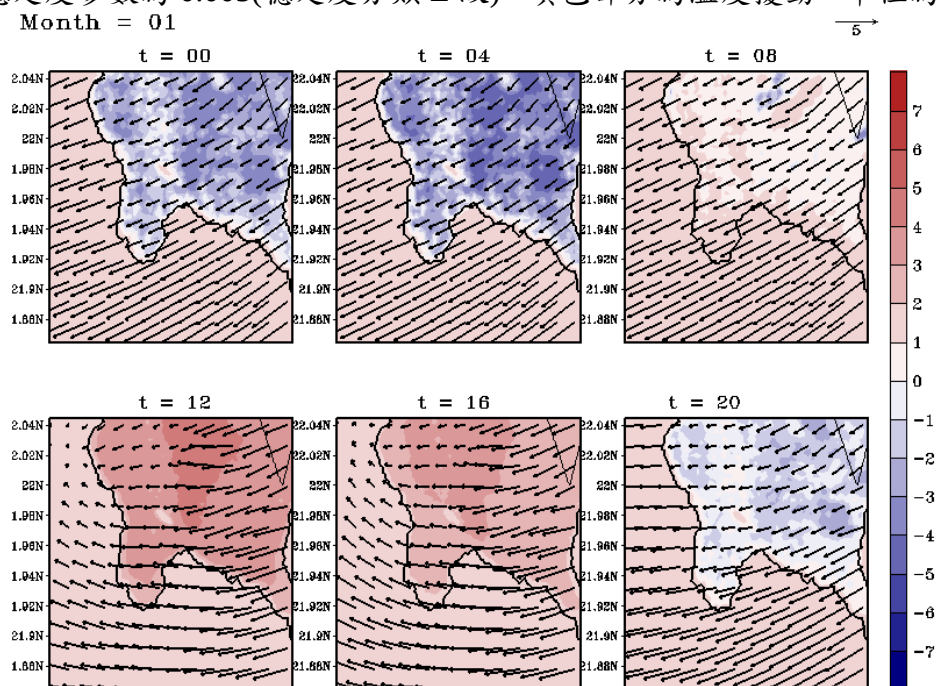


圖 2.5.40 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 22LST，中心位置為核三廠(第 4 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

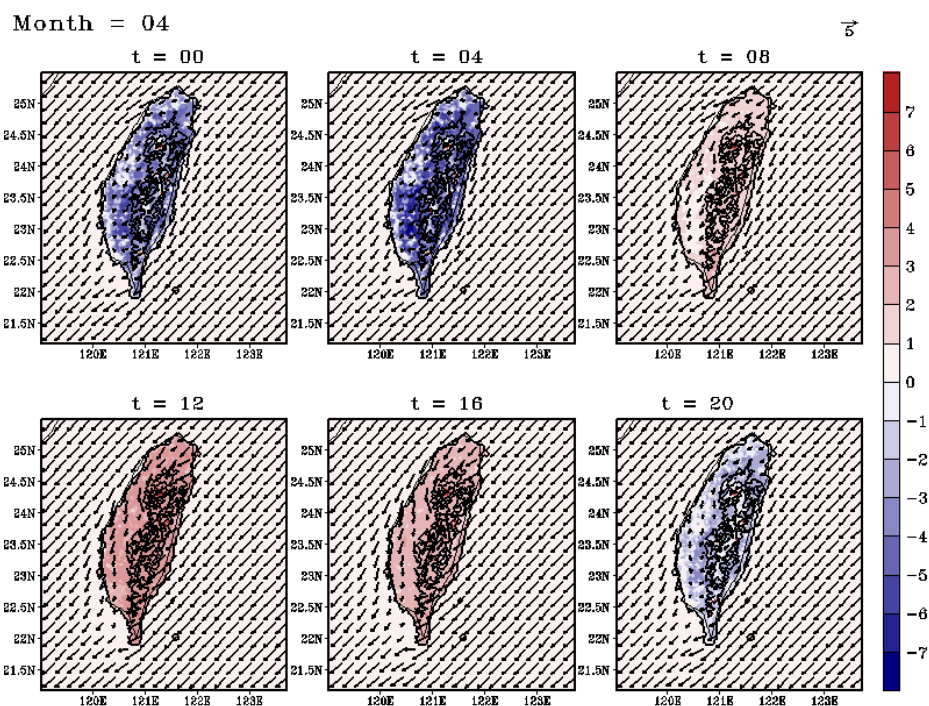


圖 2.5.41 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 105 日，模擬初始時間為 00LST，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。

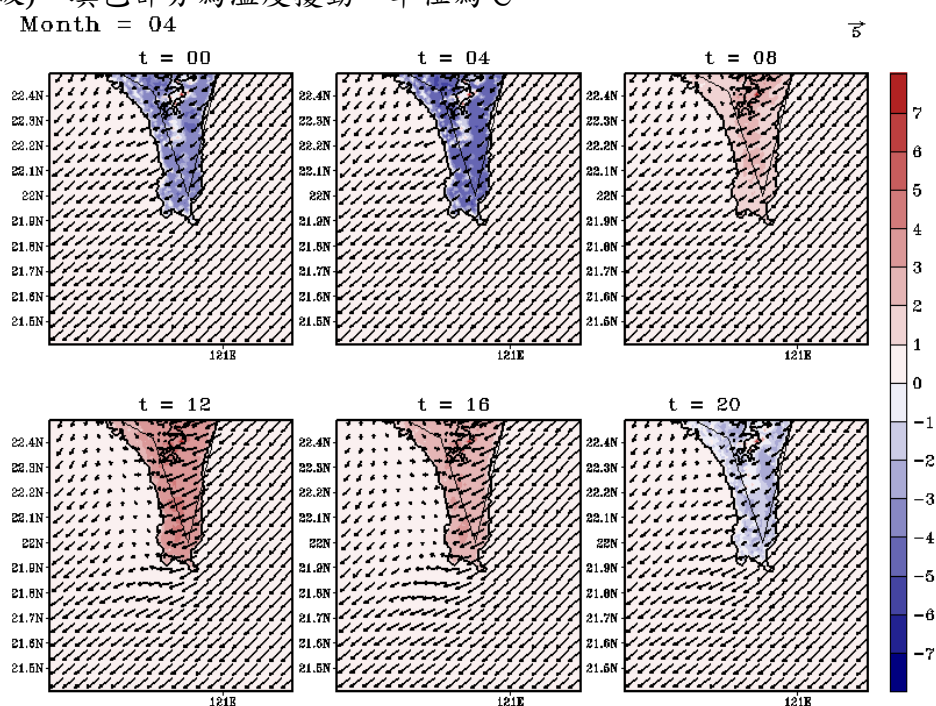


圖 2.5.42 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 105 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 2 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。

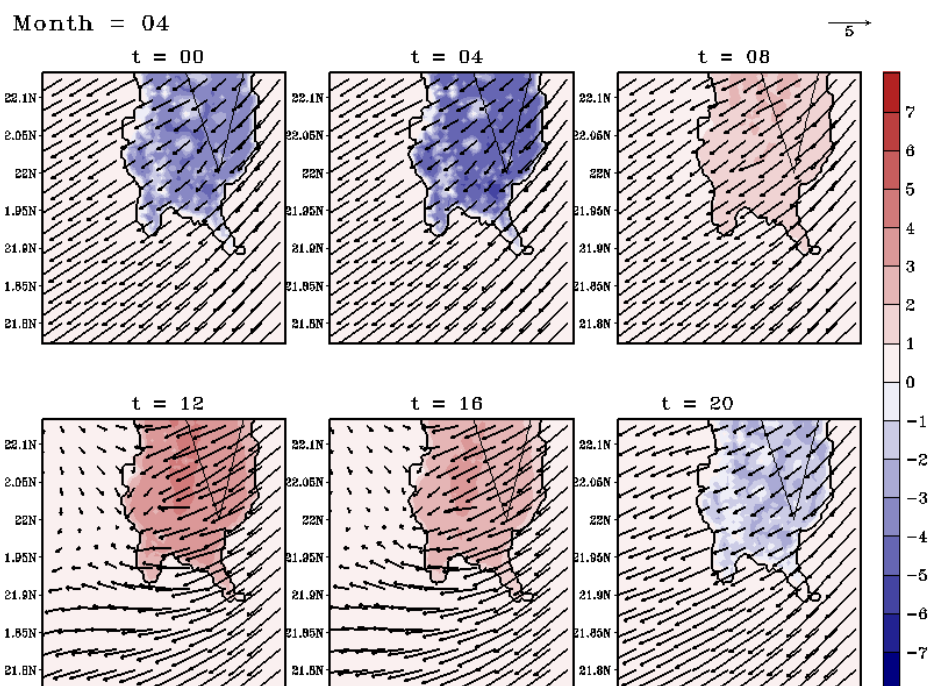


圖 2.5.43 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 105 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 3 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

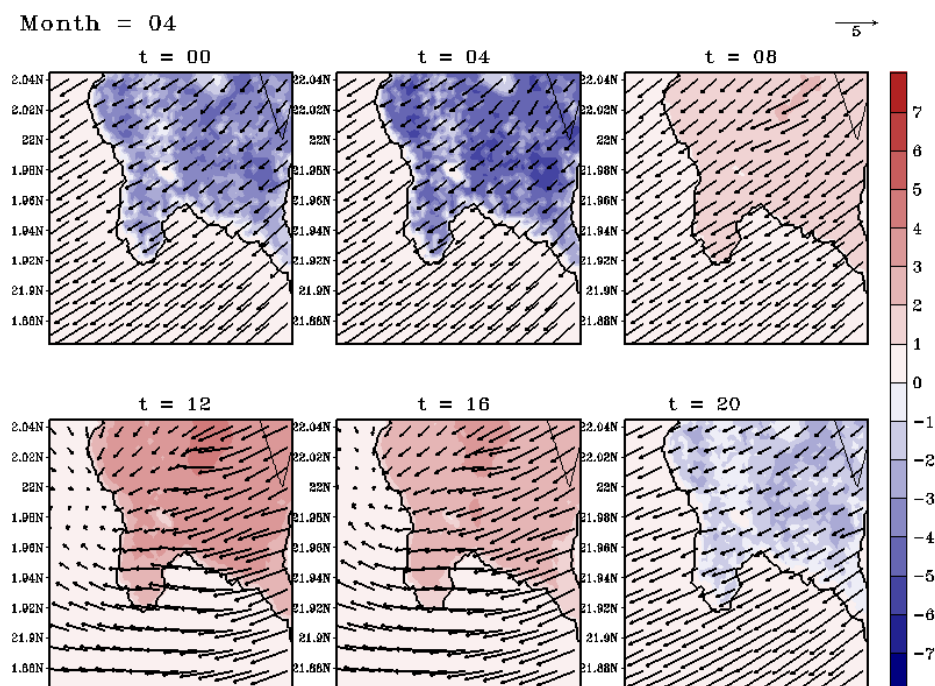


圖 2.5.44 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 105 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 4 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

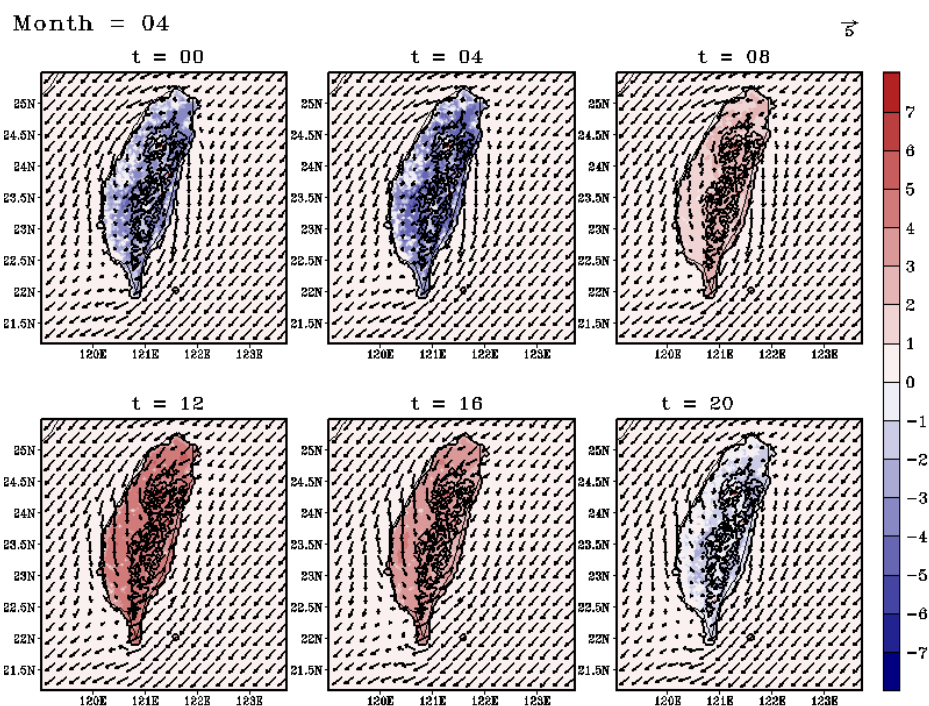


圖 2.5.45 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 105 日，模擬初始時間為 00LST，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

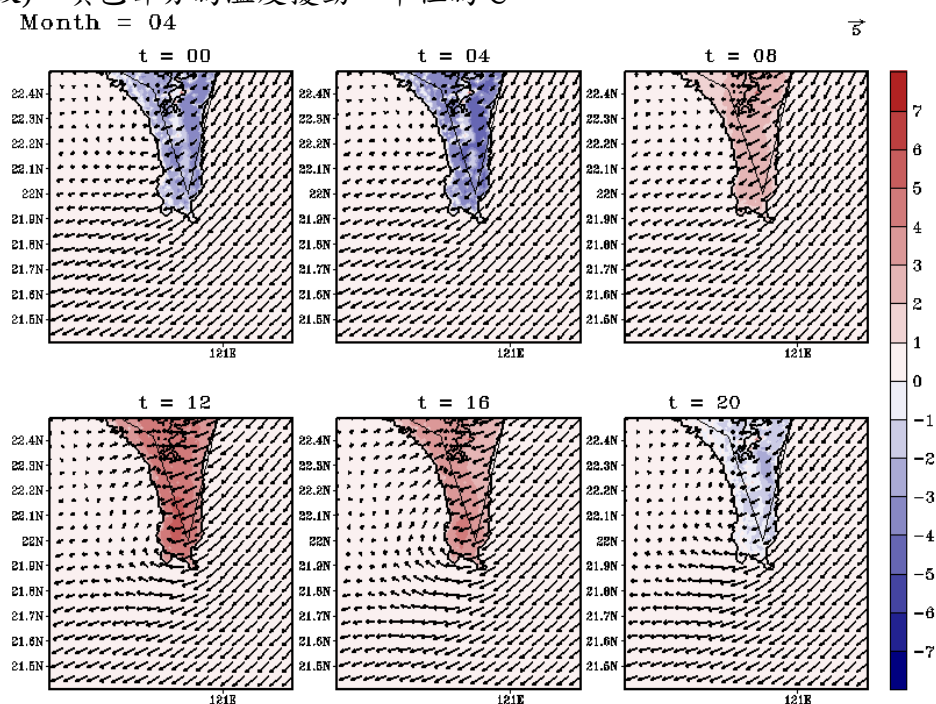


圖 2.5.46 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 105 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 2 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

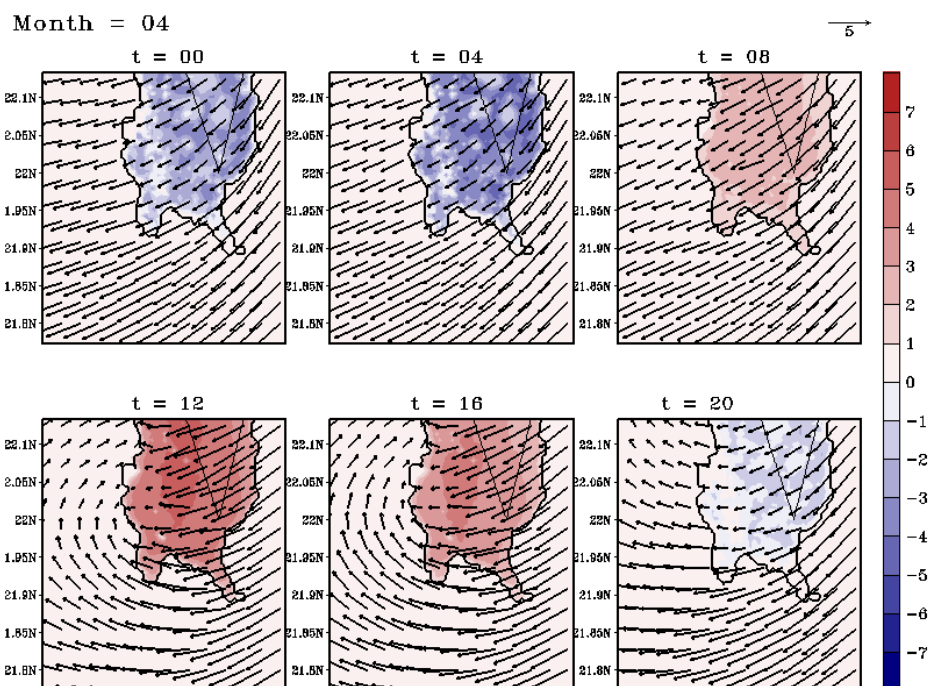


圖 2.5.47 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 105 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 3 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

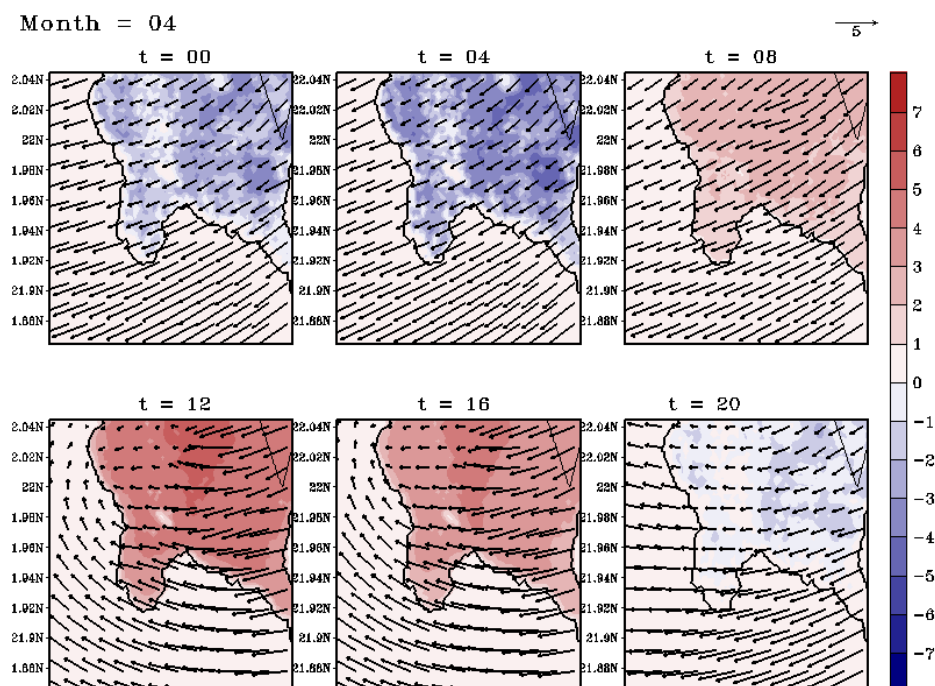


圖 2.5.48 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 105 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 4 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

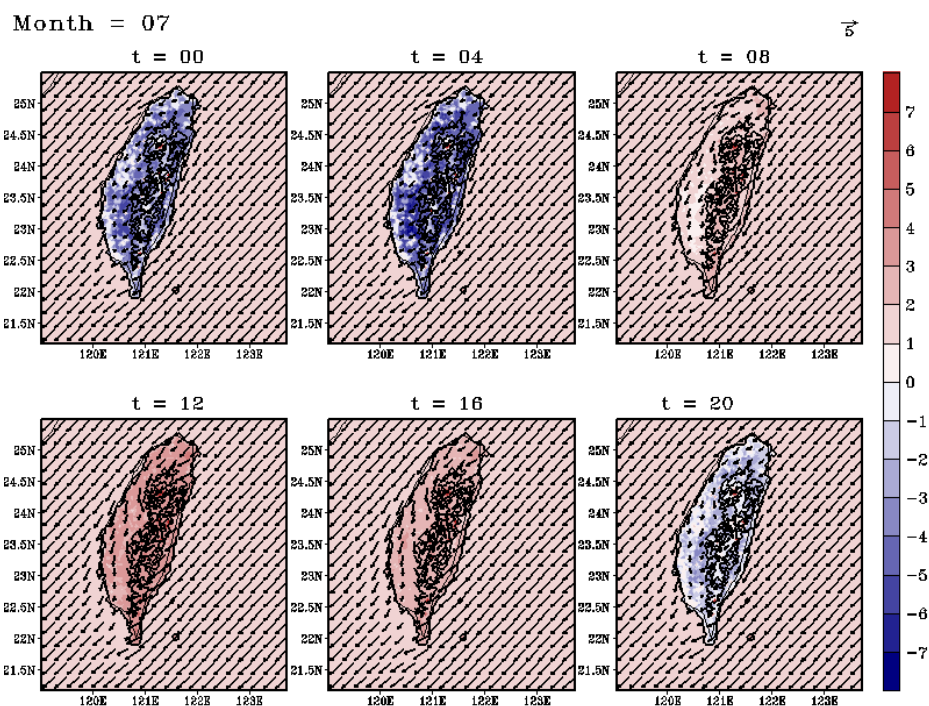


圖 2.5.49 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 196 日，模擬初始時間為 02LST，風向為 45°，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為°C。

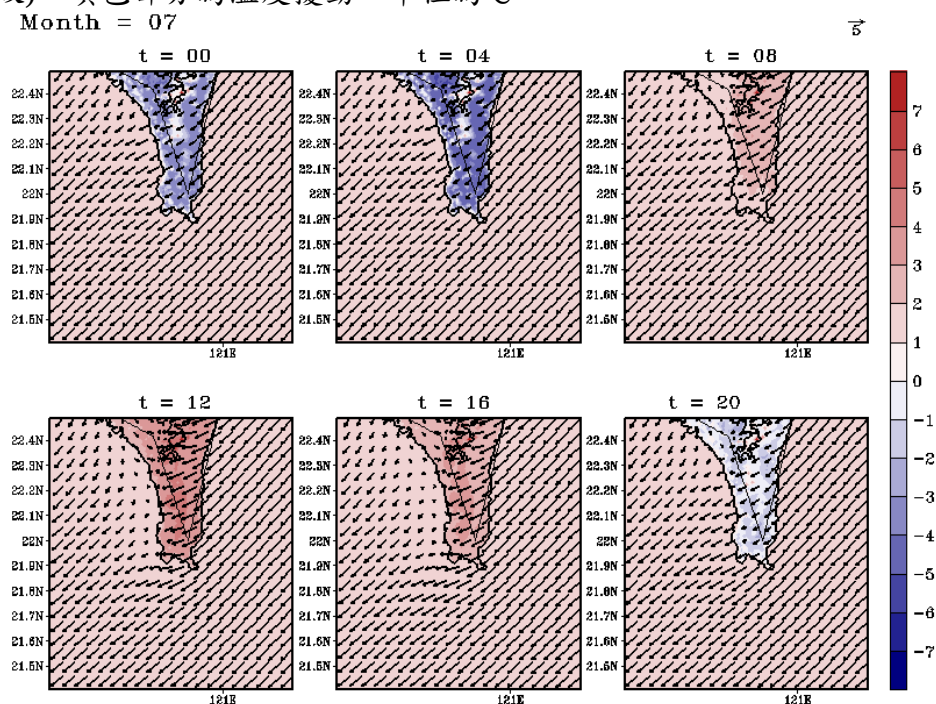


圖 2.5.50 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 196 日，模擬初始時間為 02LST，中心位置為核三廠(第 2 層巢狀網格)，風向為 45°，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為°C。

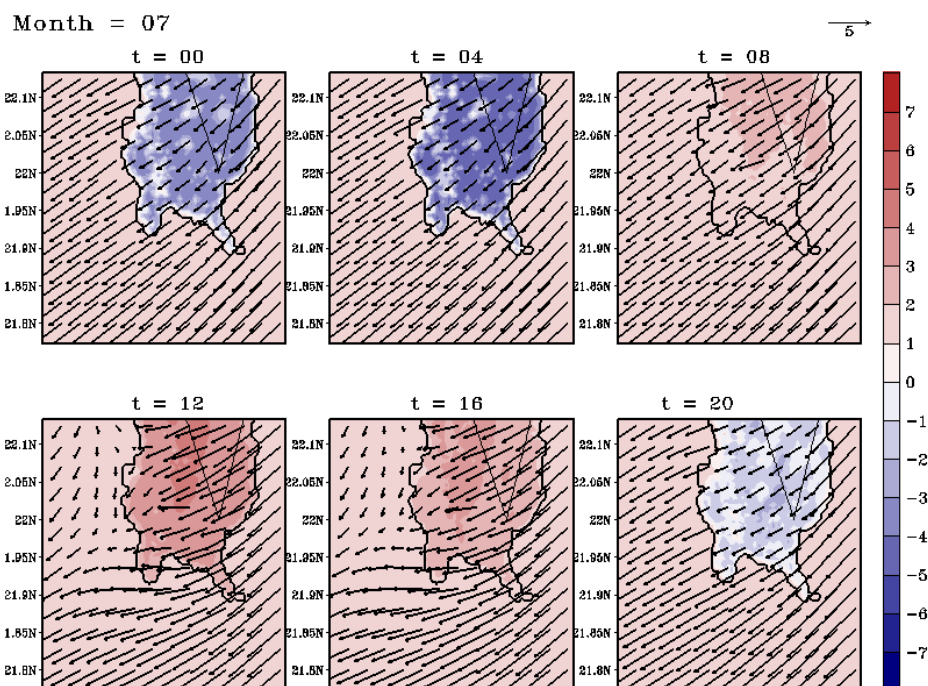


圖 2.5.51 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 196 日，模擬初始時間為 02LST，中心位置為核三廠(第 3 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

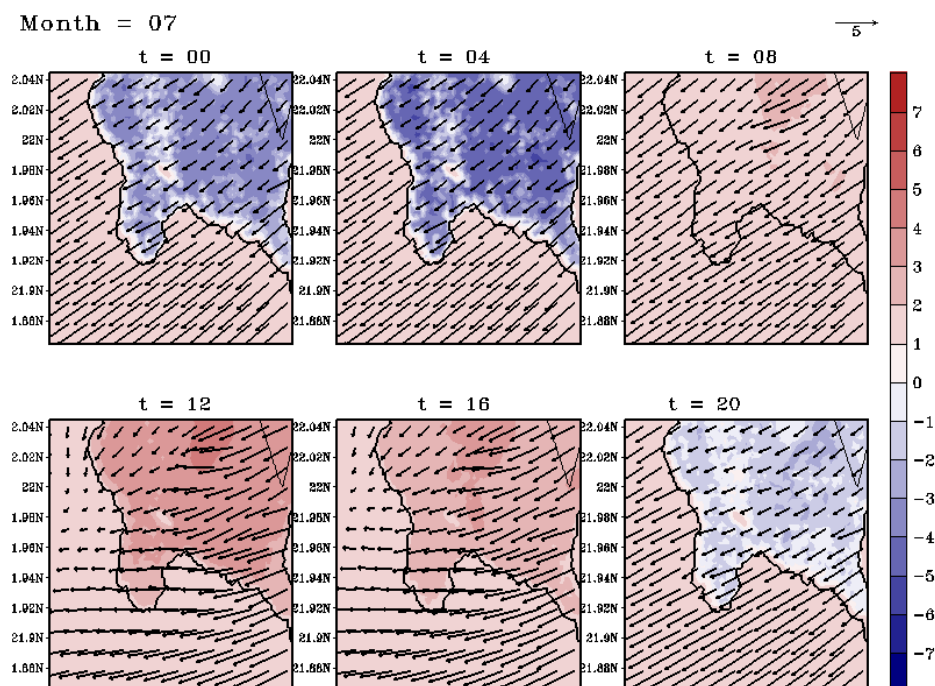


圖 2.5.52 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 196 日，模擬初始時間為 02LST，中心位置為核三廠(第 4 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

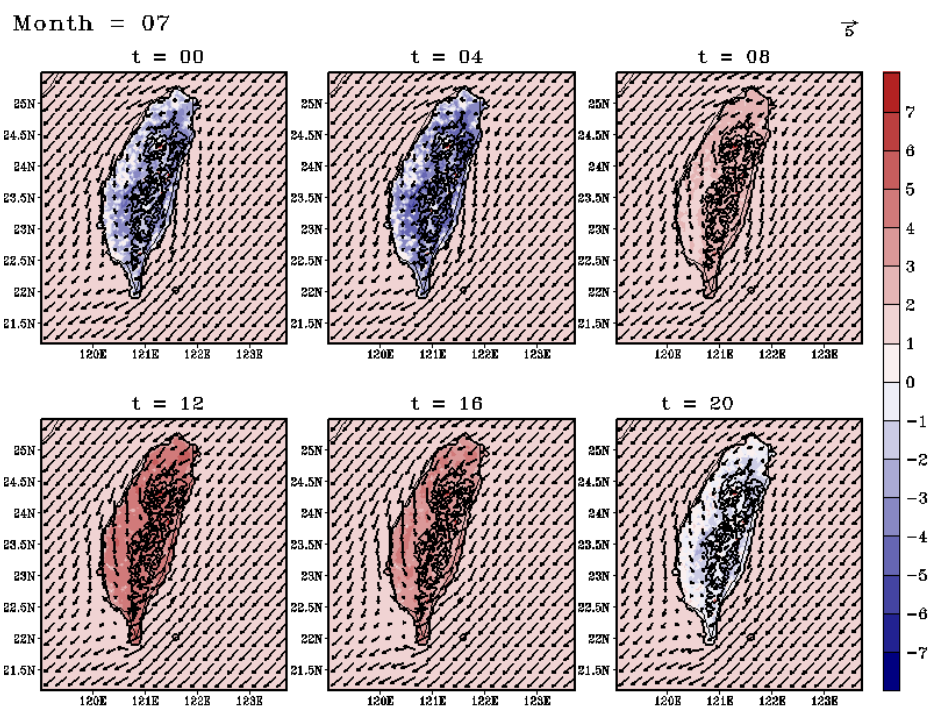


圖 2.5.53 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 196 日，模擬初始時間為 02LST，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

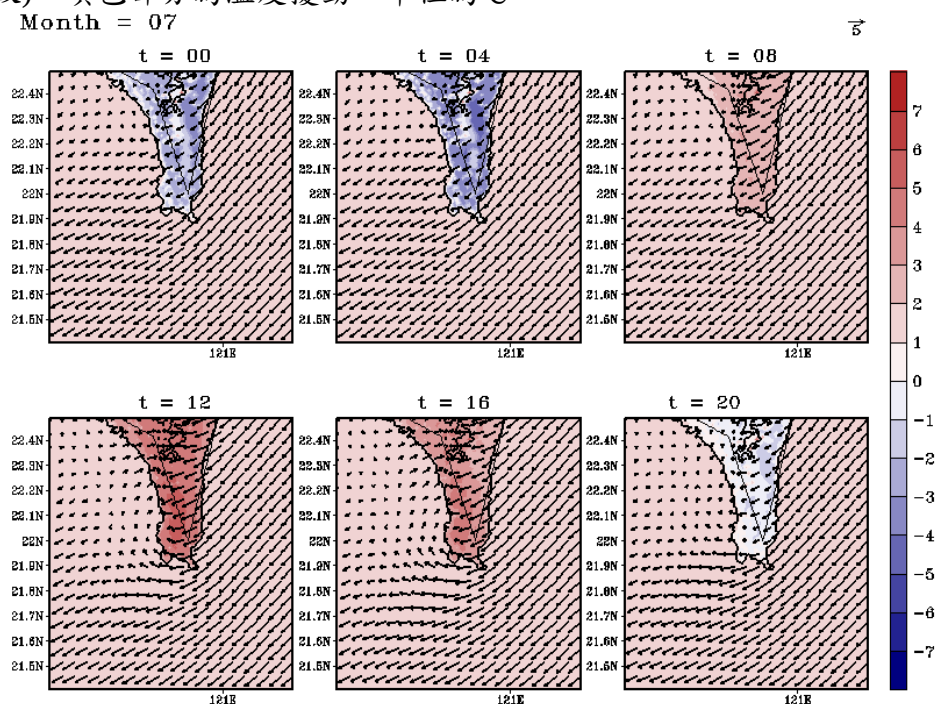


圖 2.5.54 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 196 日，模擬初始時間為 02LST，中心位置為核三廠(第 2 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

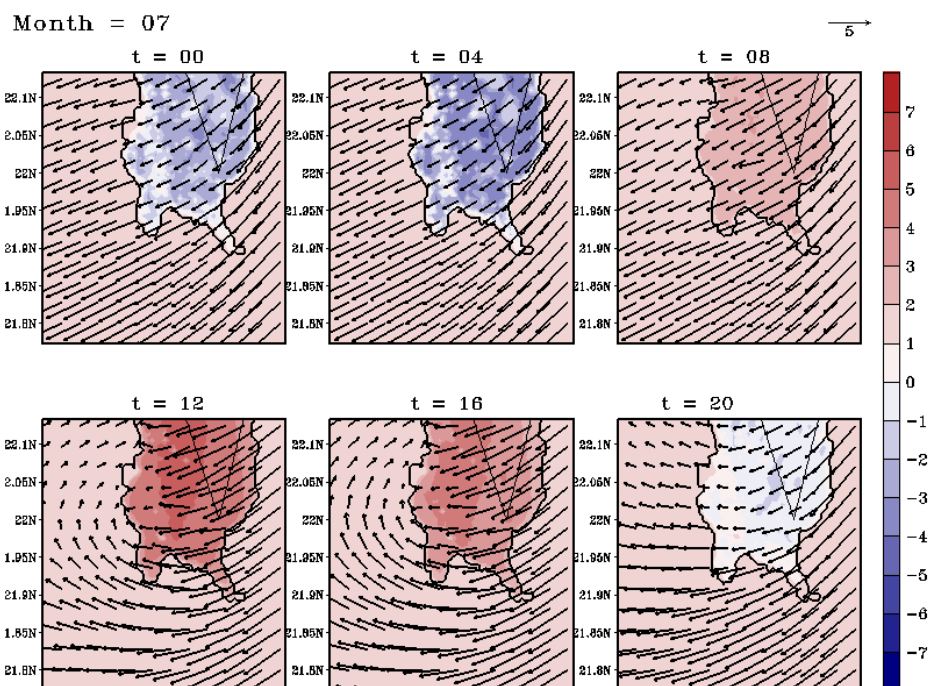


圖 2.5.55 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 196 日，模擬初始時間為 02LST，中心位置為核三廠(第 3 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

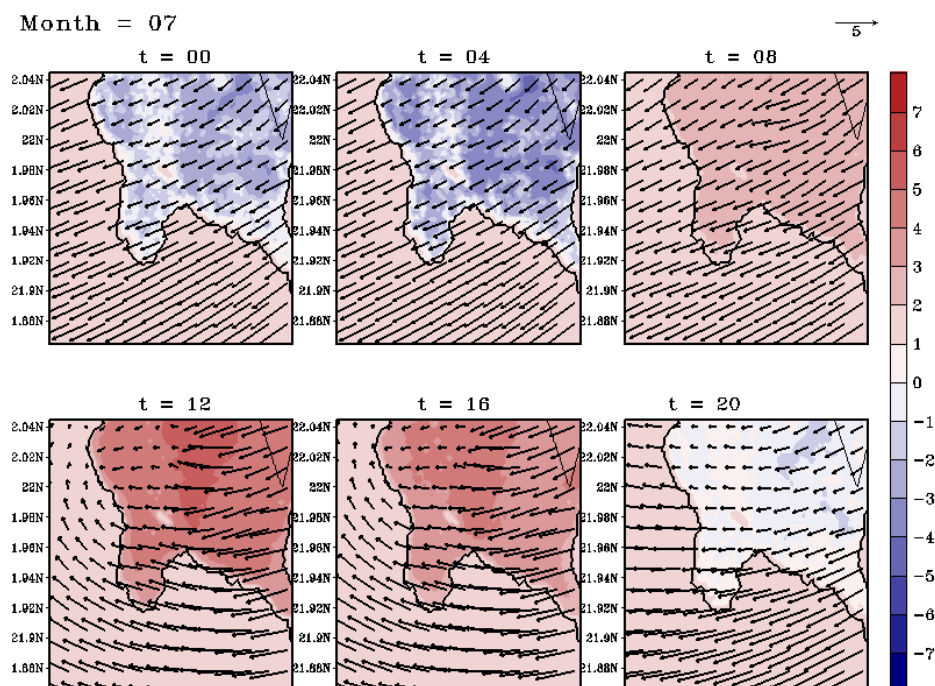


圖 2.5.56 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 196 日，模擬初始時間為 02LST，中心位置為核三廠(第 4 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

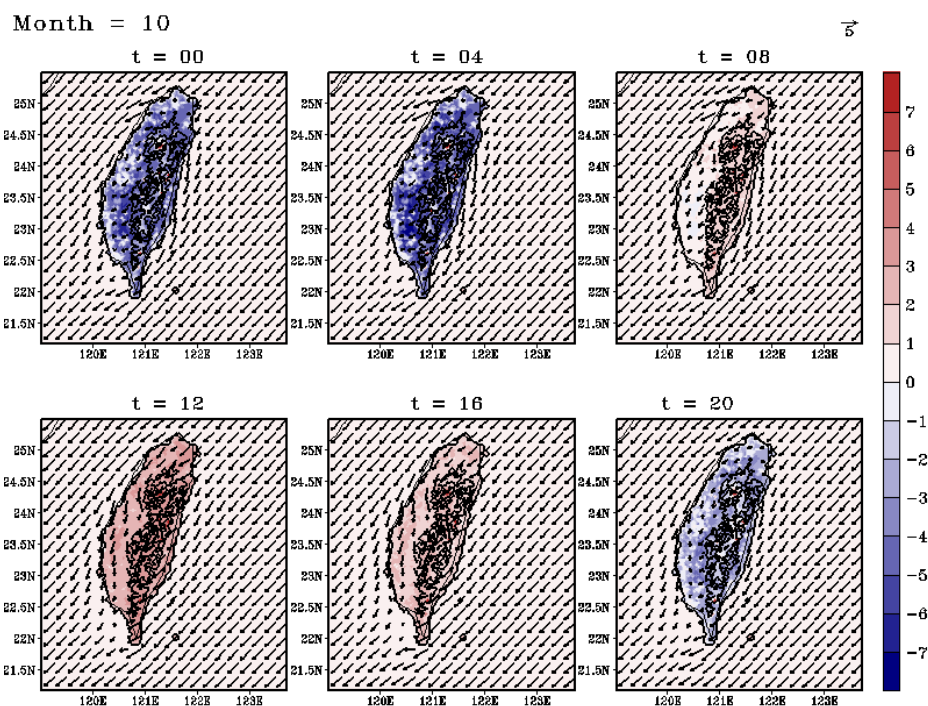


圖 2.5.57 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 288 日，模擬初始時間為 00LST，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。

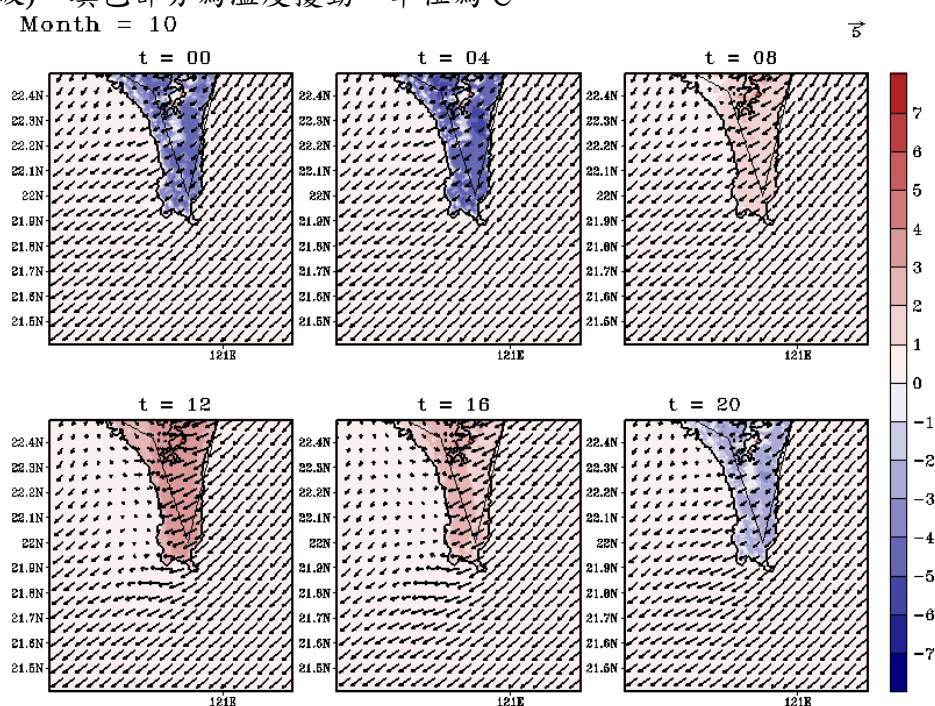


圖 2.5.58 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 288 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 2 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。

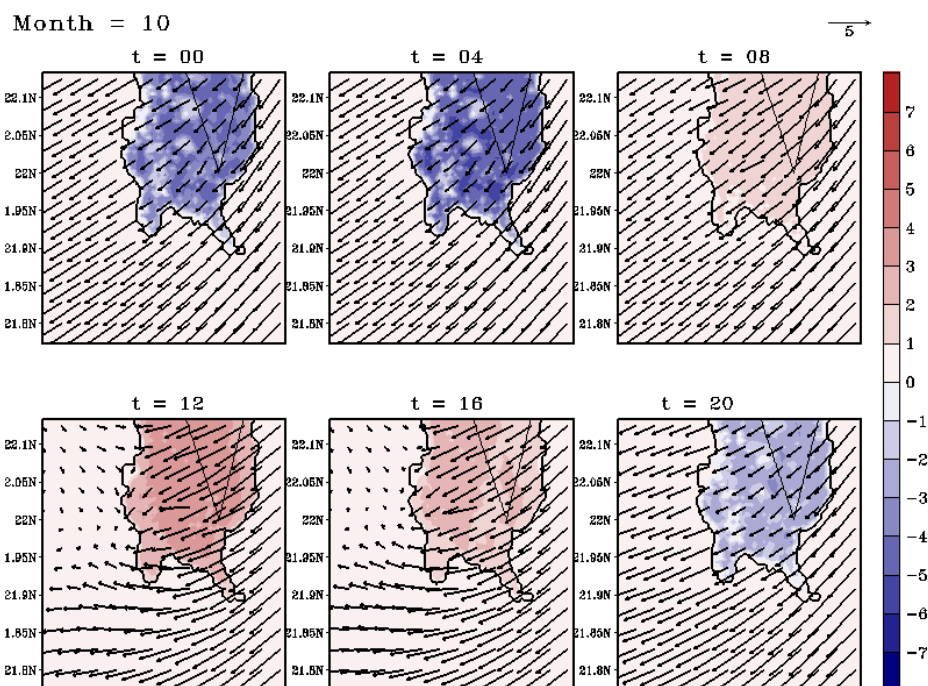


圖 2.5.59 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 288 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 3 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

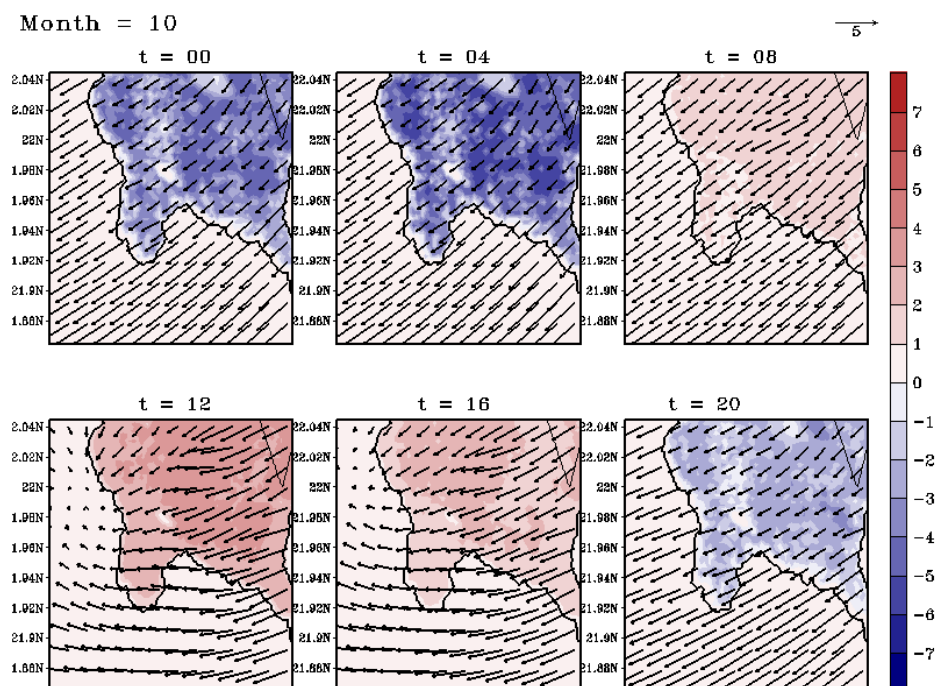


圖 2.5.60 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 288 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 4 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

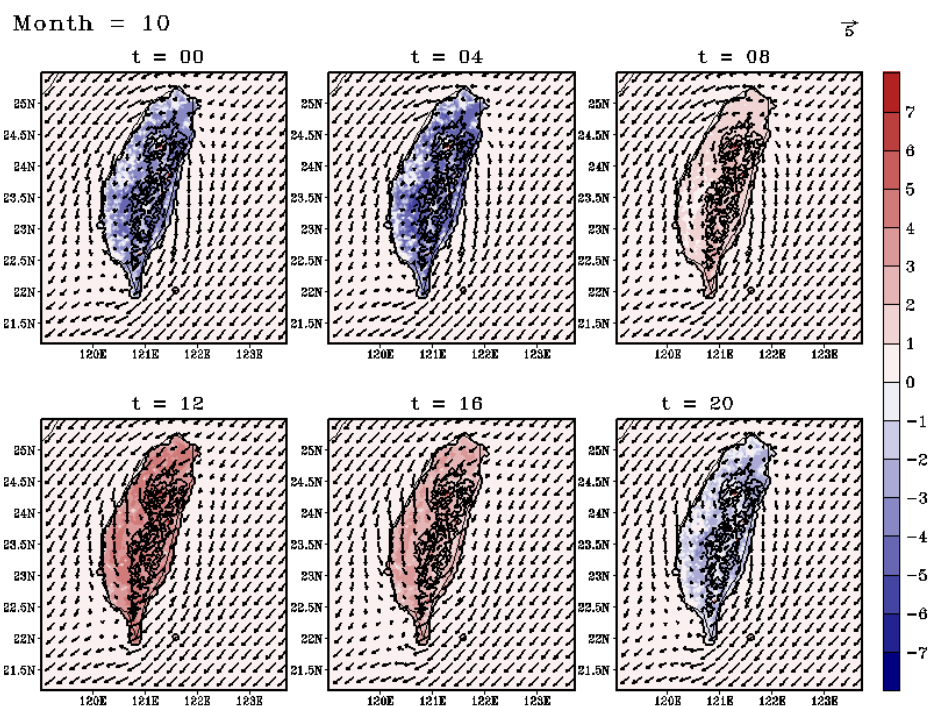


圖 2.5.61 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 288 日，模擬初始時間為 00LST，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

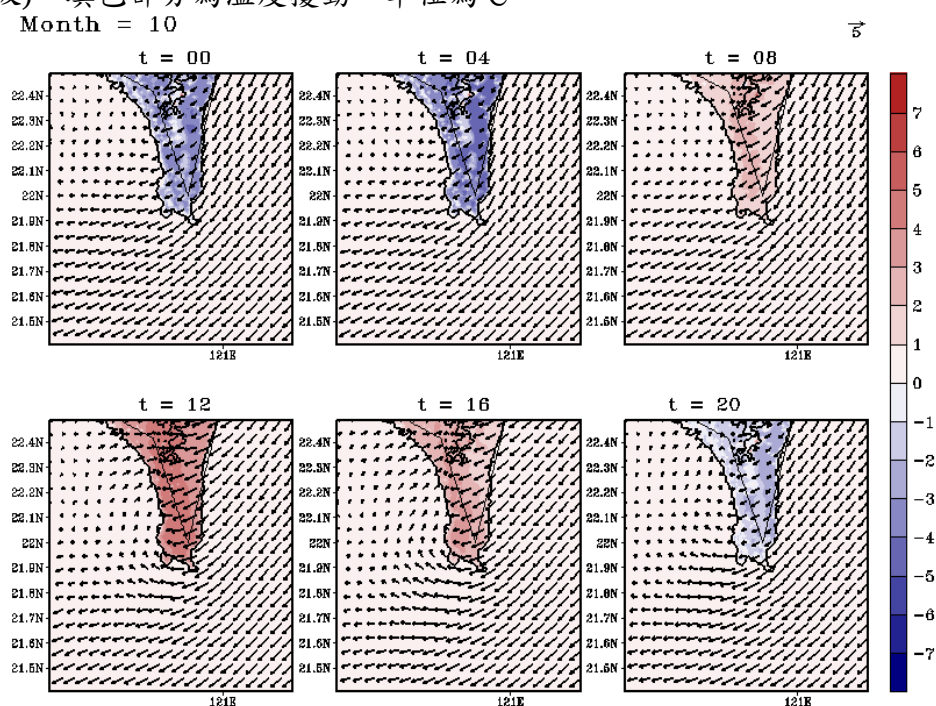


圖 2.5.62 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 288 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 2 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

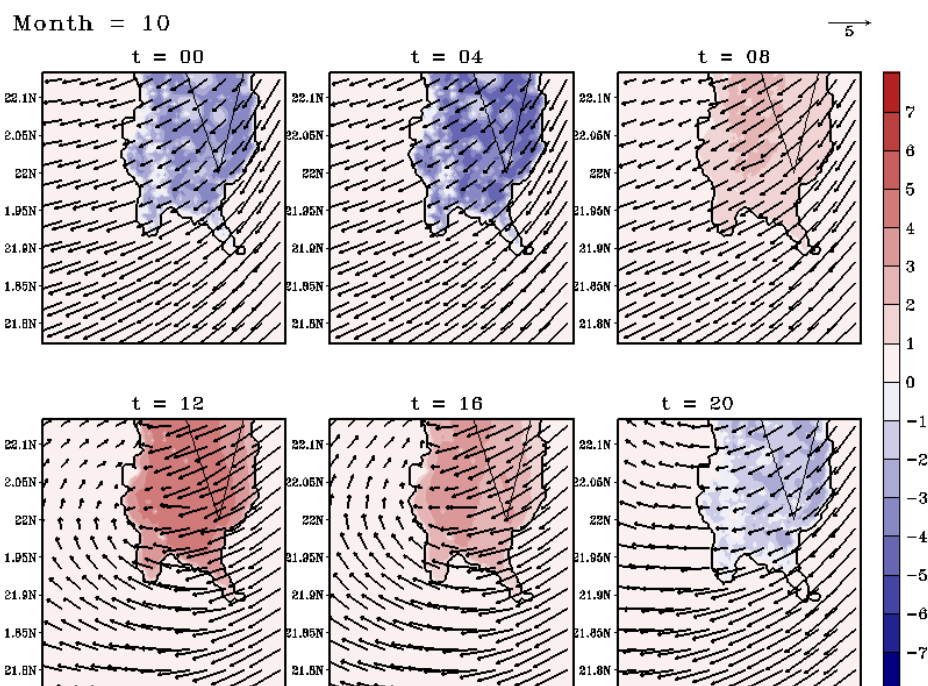


圖 2.5.63 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 288 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 3 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

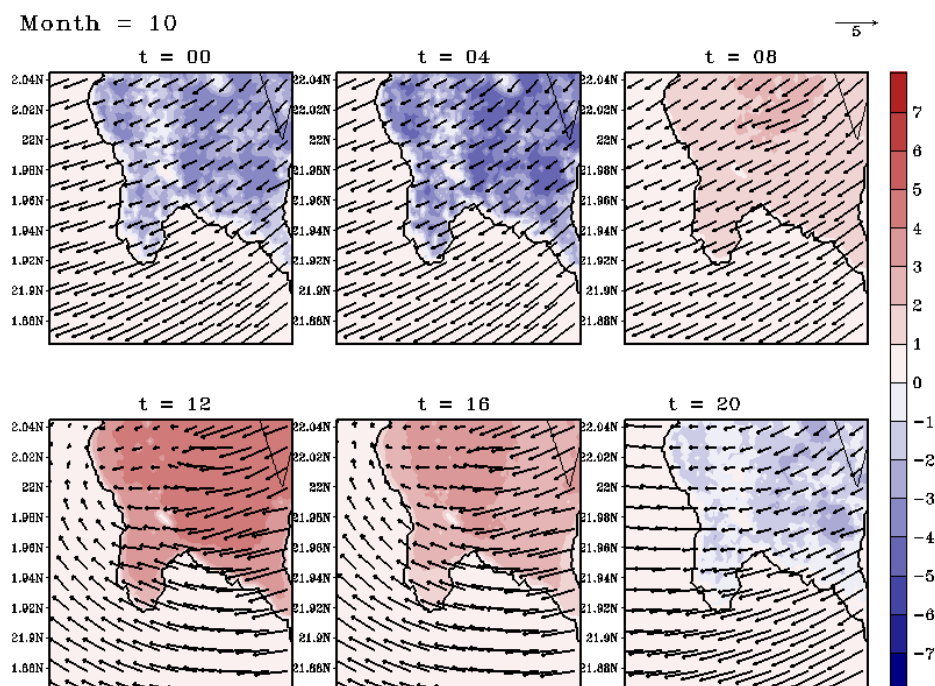


圖 2.5.64 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 288 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 4 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 5m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

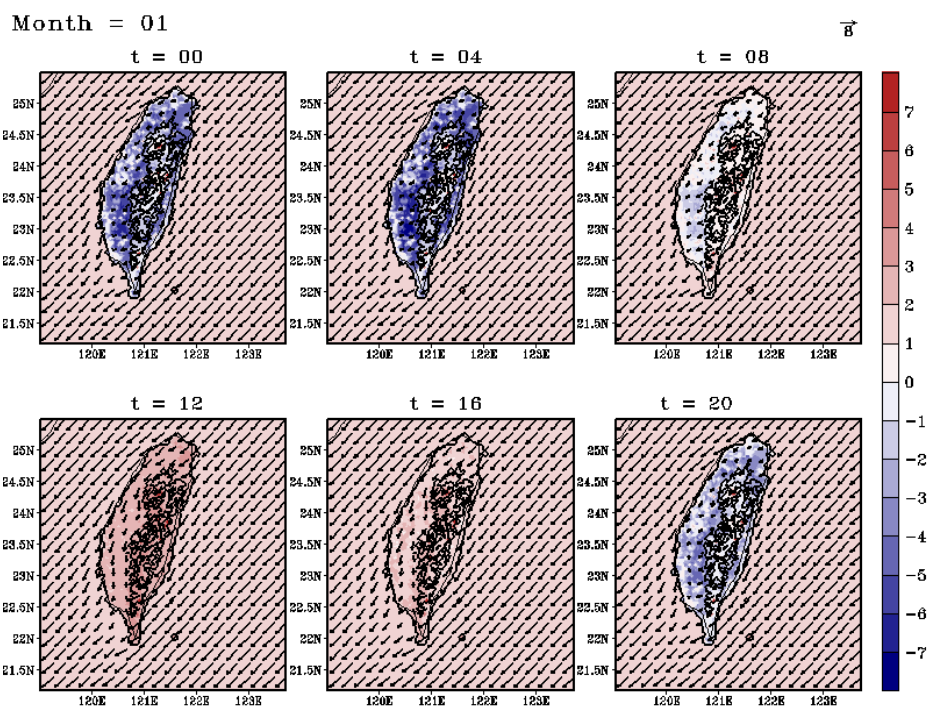


圖 2.5.65 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 22LST，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。

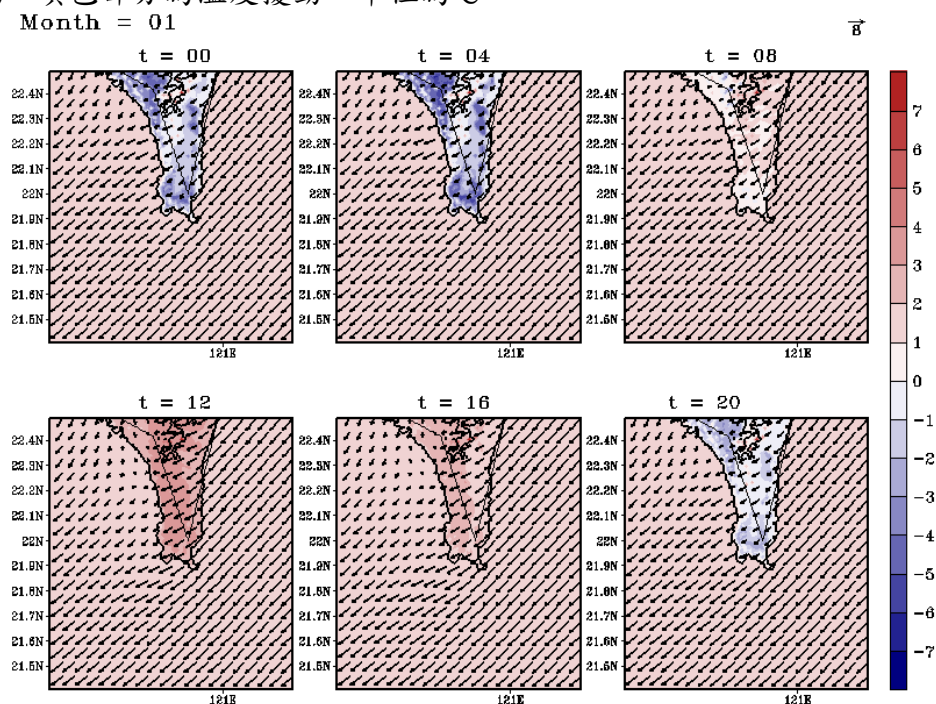


圖 2.5.66 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 22LST，中心位置為核三廠(第 2 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。

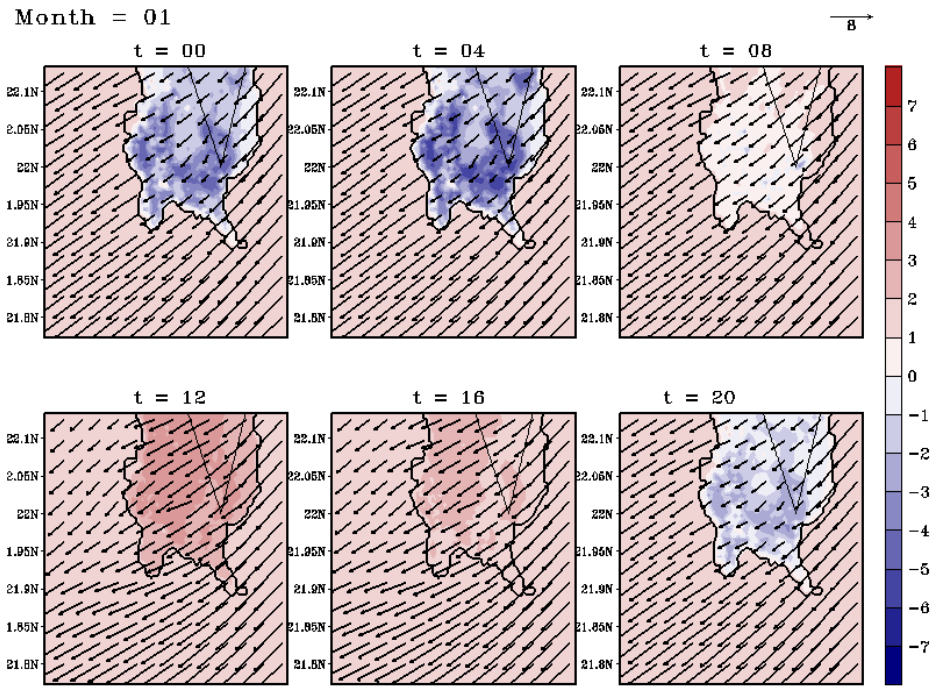


圖 2.5.67 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 22LST，中心位置為核三廠(第 3 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

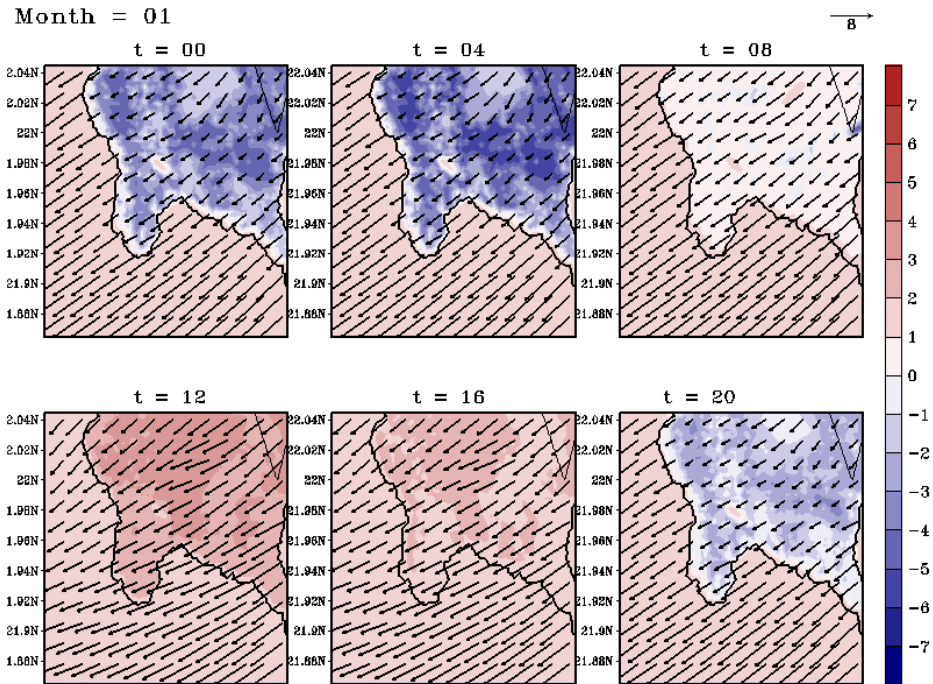


圖 2.5.68 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 22LST，中心位置為核三廠(第 4 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

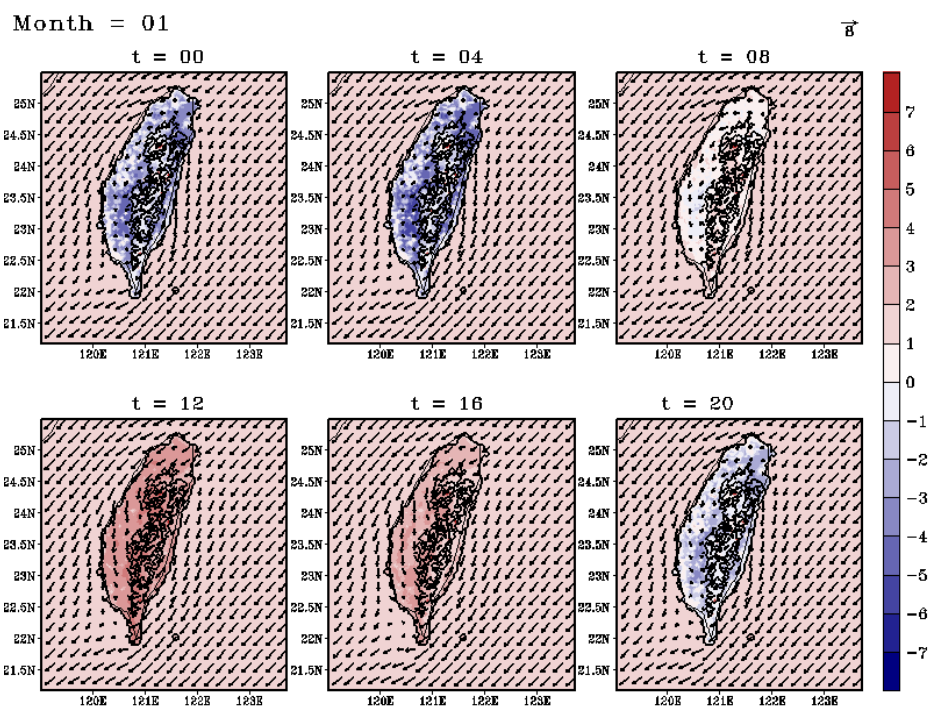


圖 2.5.69 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 22LST，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

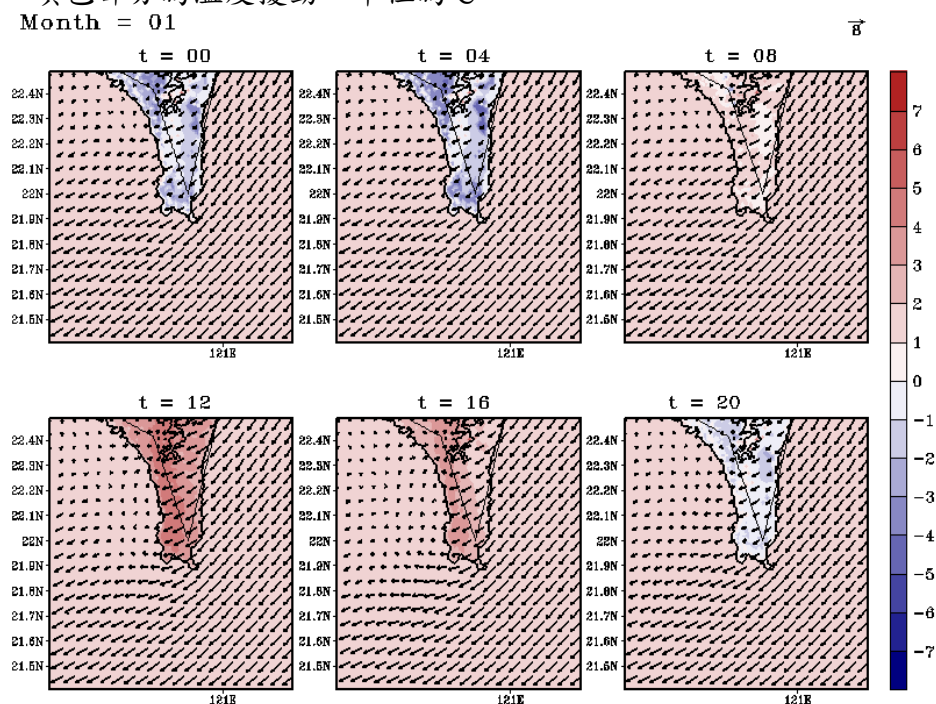


圖 2.5.70 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 22LST，中心位置為核三廠(第 2 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

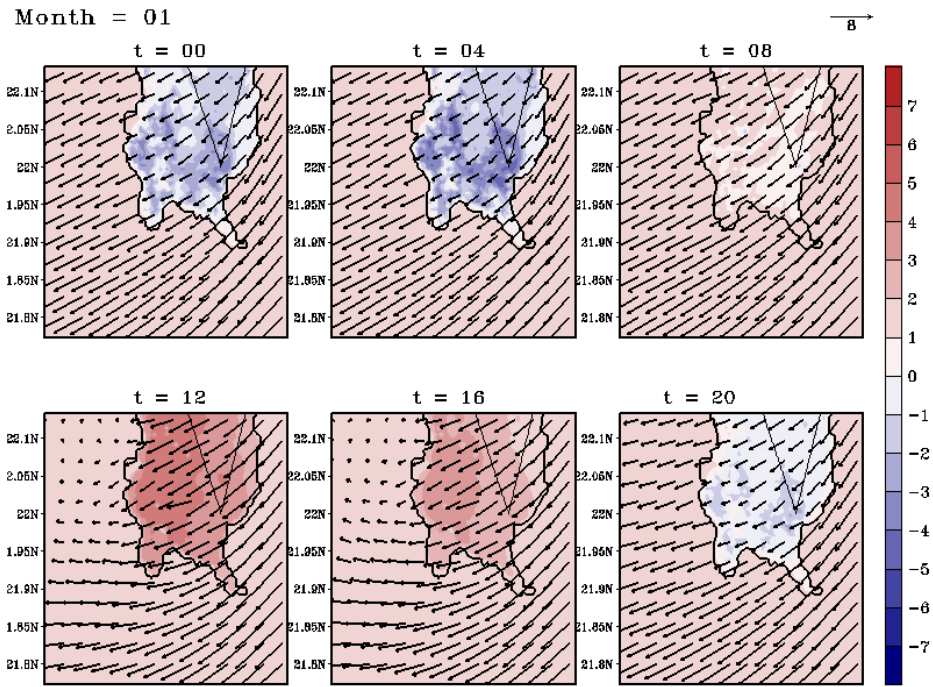


圖 2.5.71 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 22LST，中心位置為核三廠(第 3 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

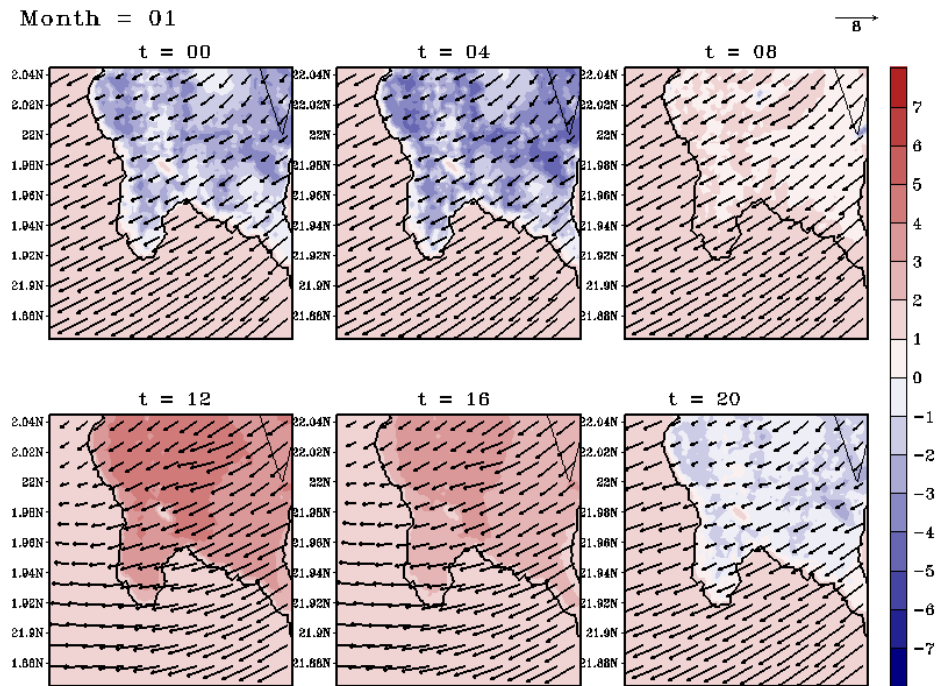


圖 2.5.72 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 22LST，中心位置為核三廠(第 4 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

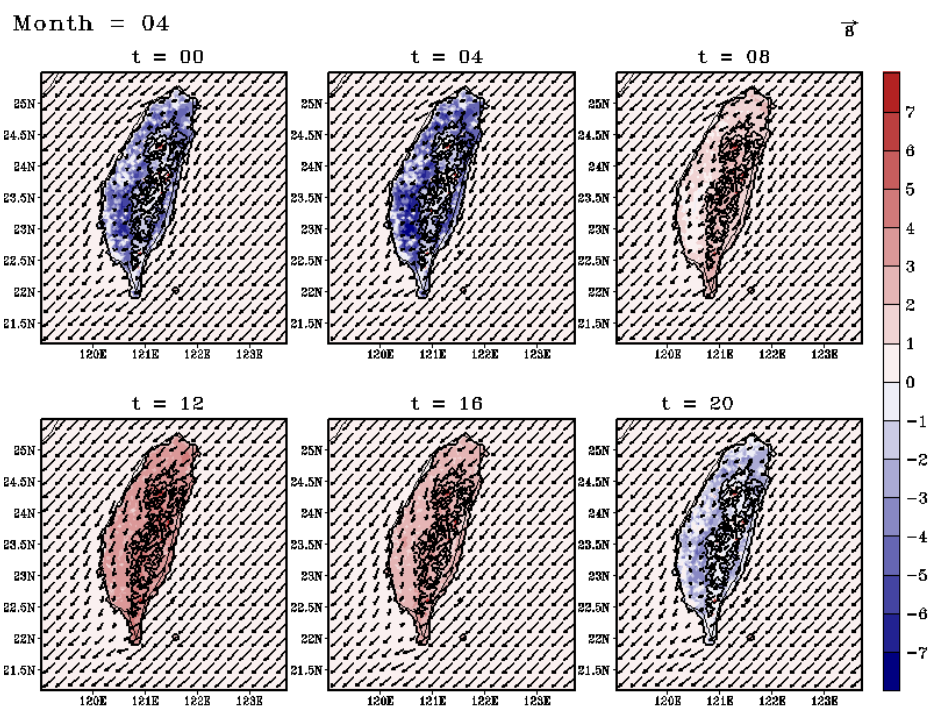


圖 2.5.73 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 105 日，模擬初始時間為 00LST，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。

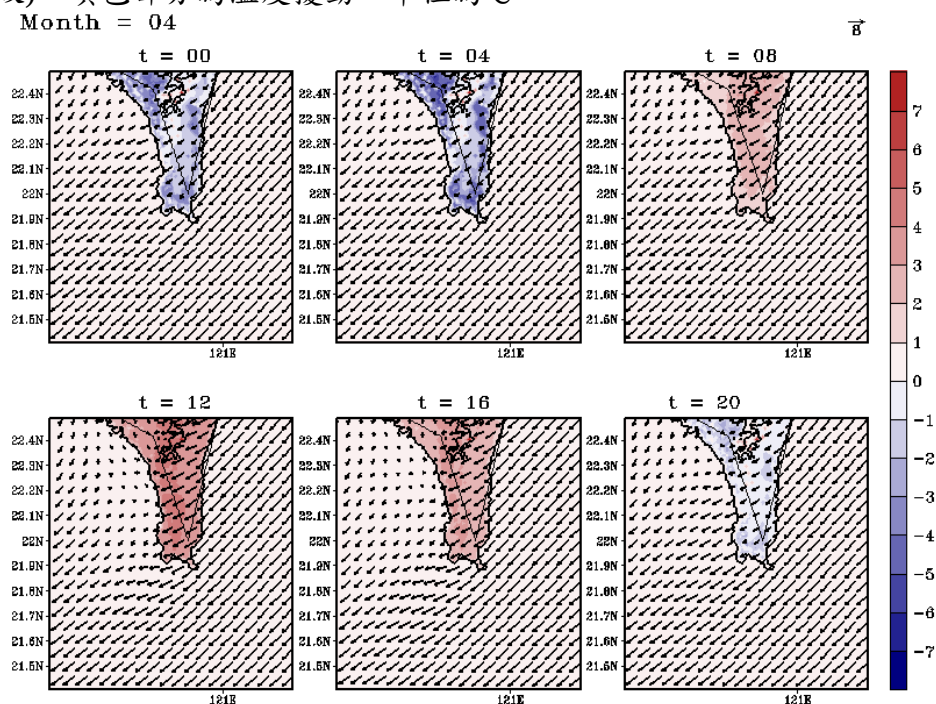


圖 2.5.74 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 105 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 2 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。

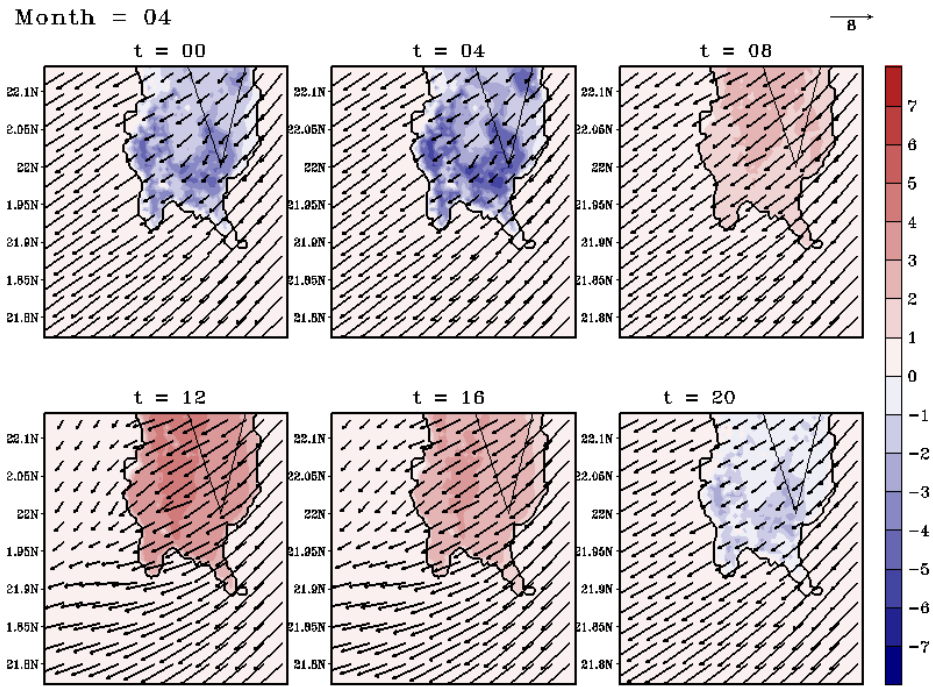


圖 2.5.75 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 105 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 3 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

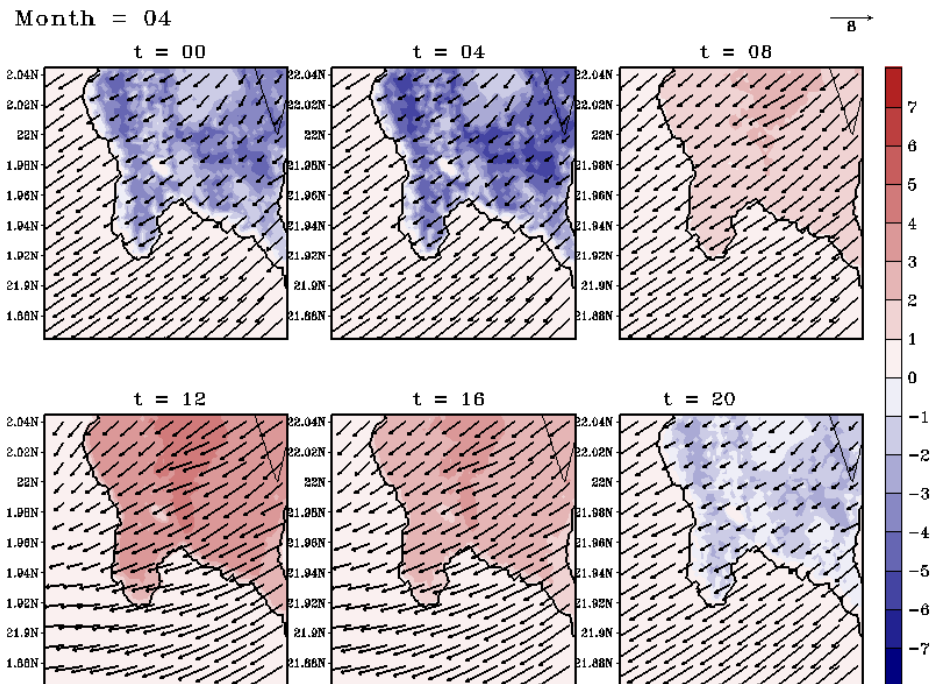


圖 2.5.76 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 105 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 4 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

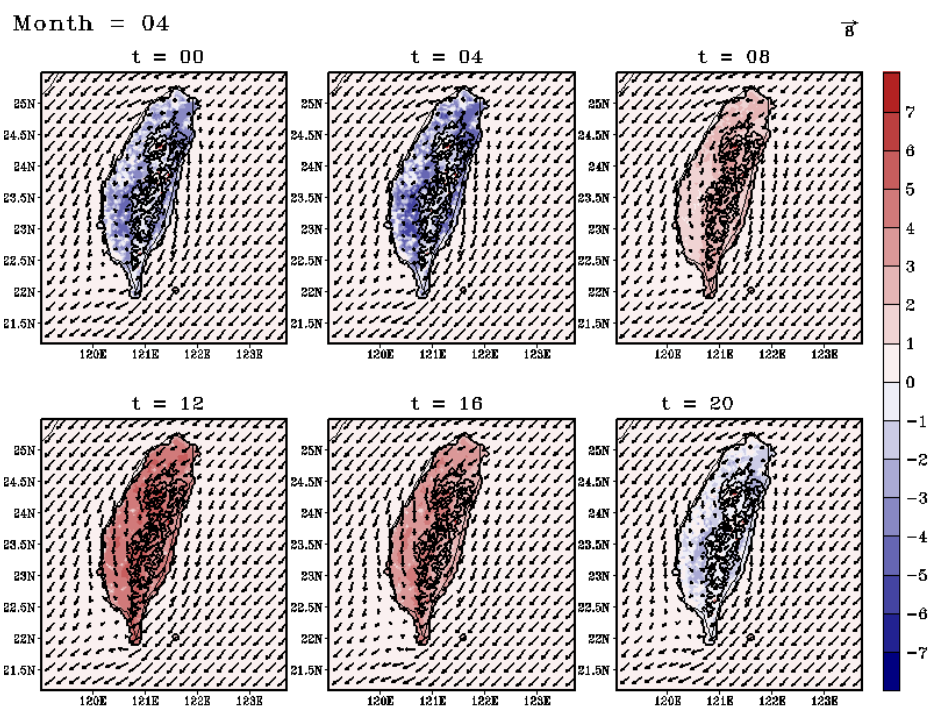


圖 2.5.77 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 105 日，模擬初始時間為 00LST，風向為 45°，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為°C。

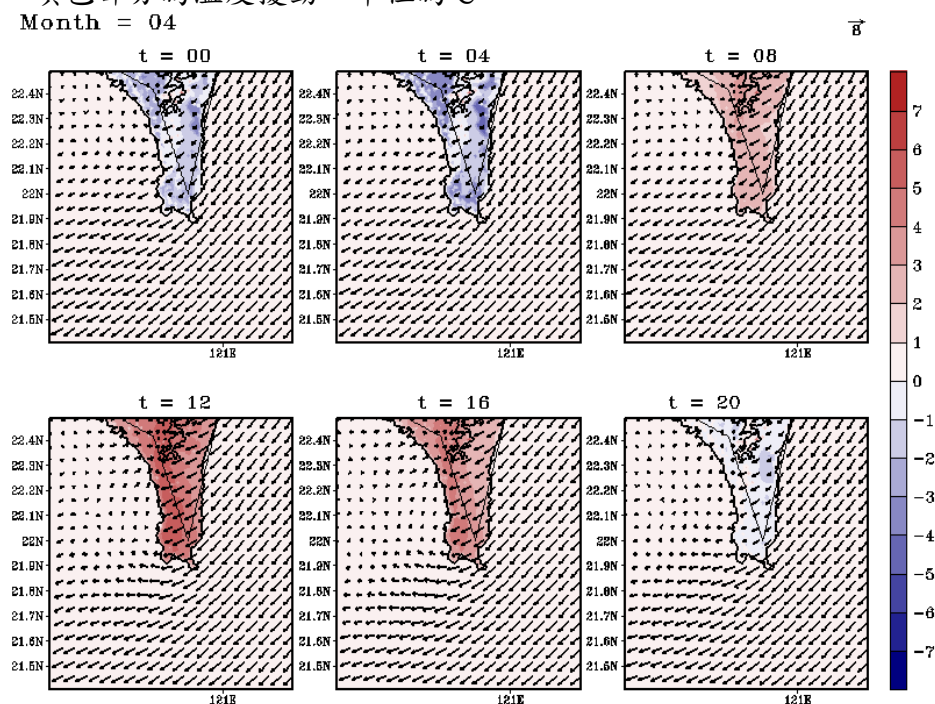


圖 2.5.78 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 105 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第層巢狀網格)，風向為 45°，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為°C。

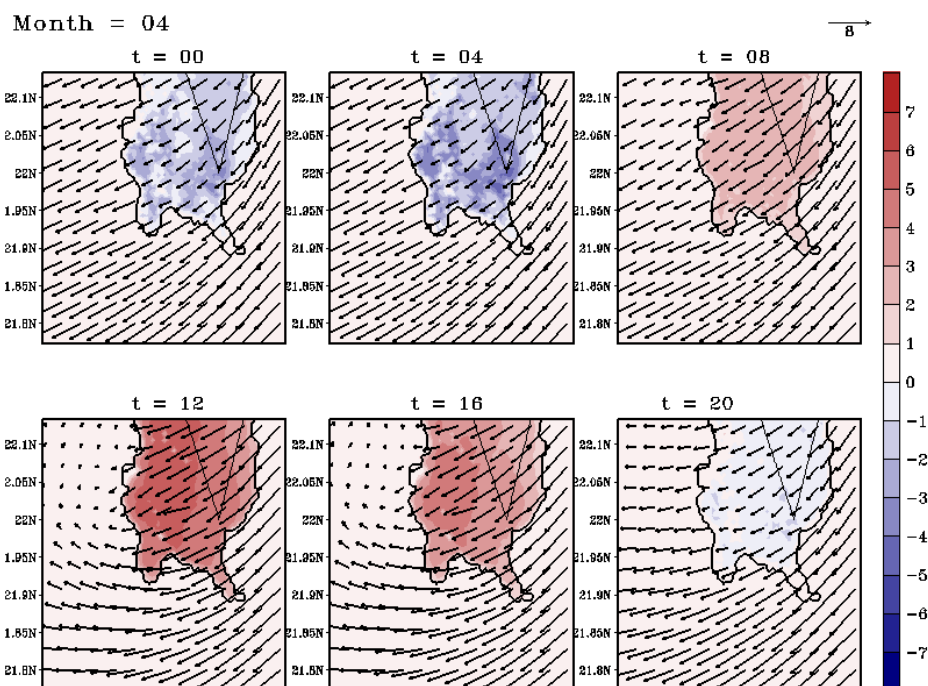


圖 2.5.79 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 105 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 3 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

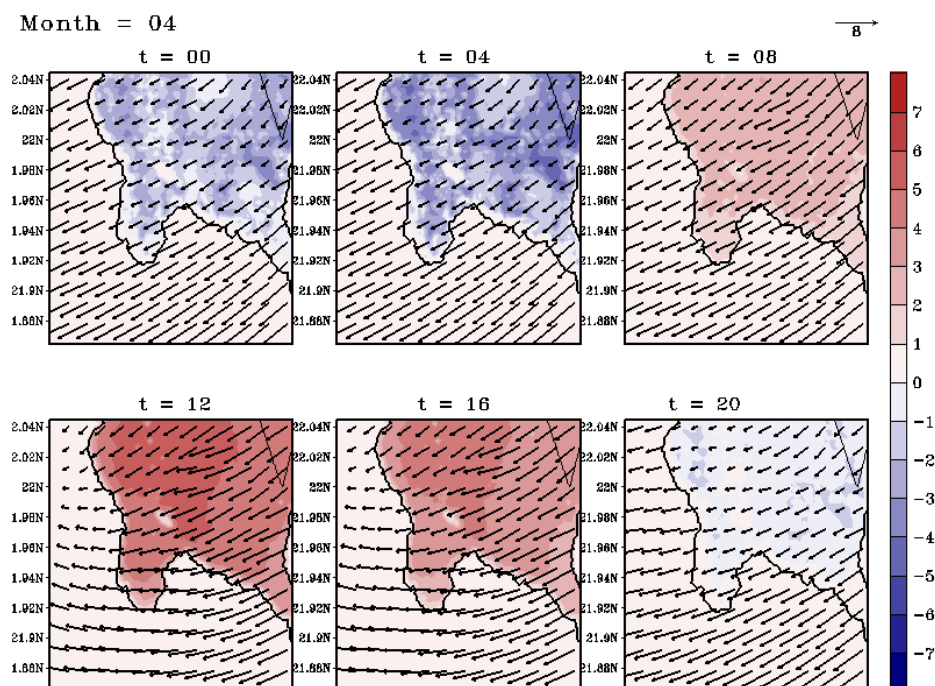


圖 2.5.80 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 105 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 4 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

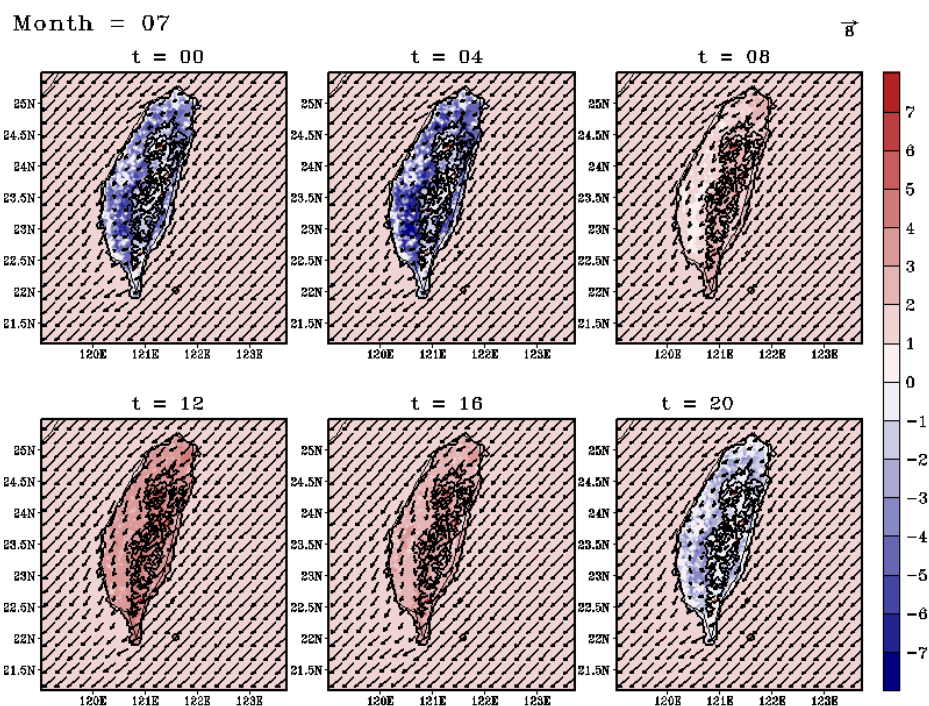


圖 2.5.81 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 196 日，模擬初始時間為 02LST，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

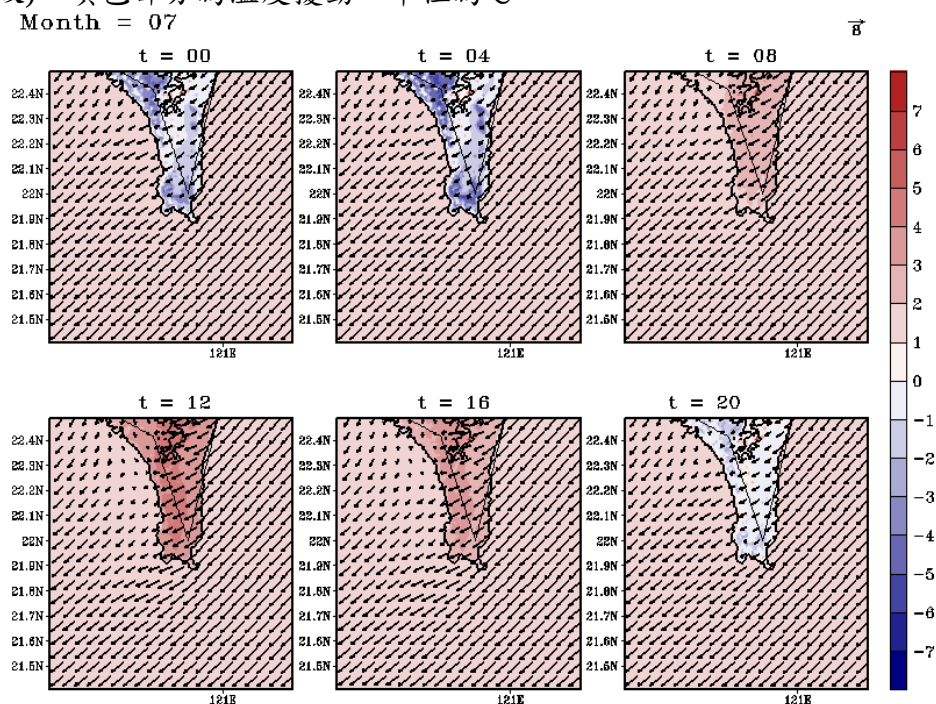


圖 2.5.82 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 196 日，模擬初始時間為 02LST，中心位置為核三廠(第 2 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

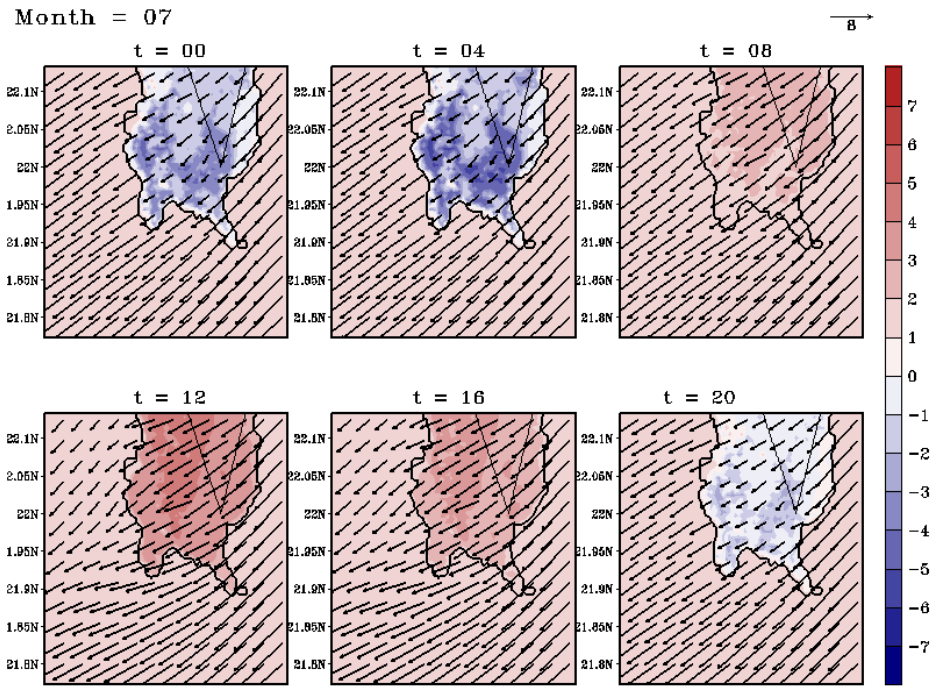


圖 2.5.83 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 196 日，模擬初始時間為 02LST，中心位置為核三廠(第 3 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

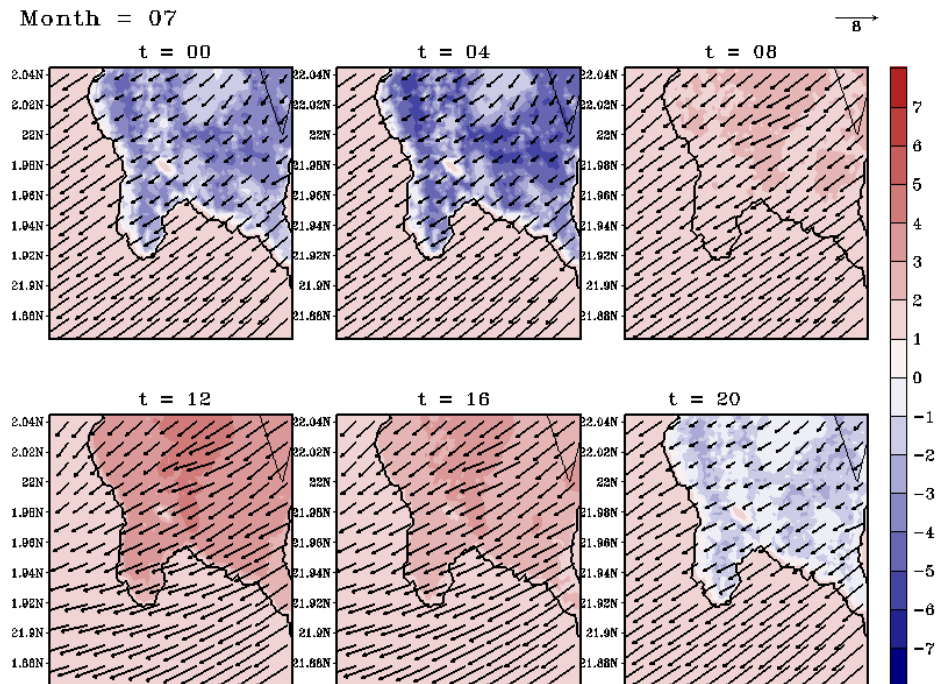


圖 2.5.84 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 196 日，模擬初始時間為 02LST，中心位置為核三廠(第 4 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

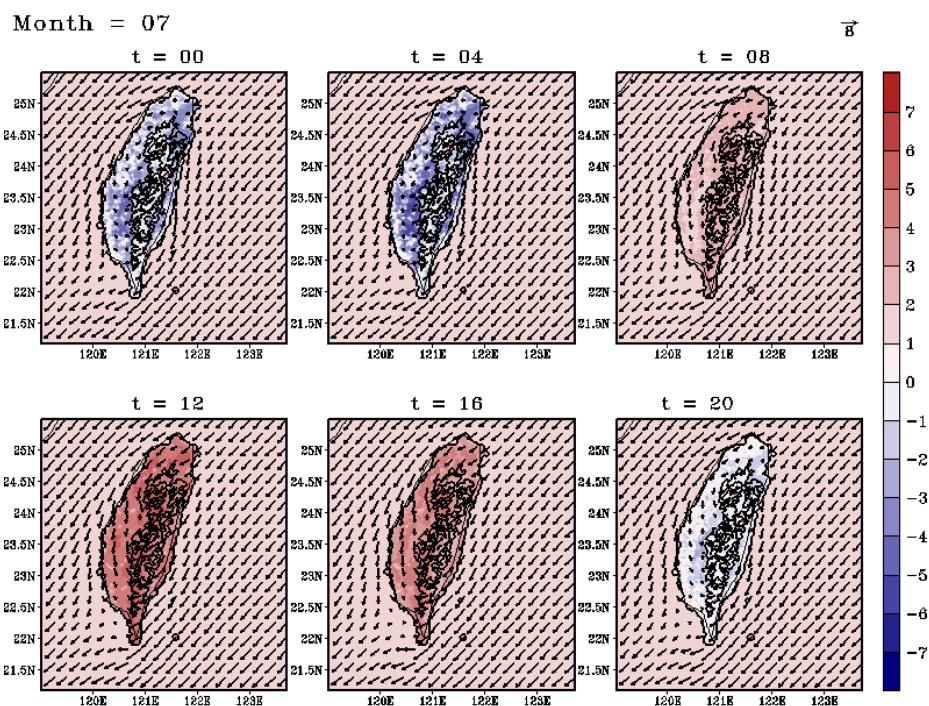


圖 2.5.85 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 196 日，模擬初始時間為 02LST)，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

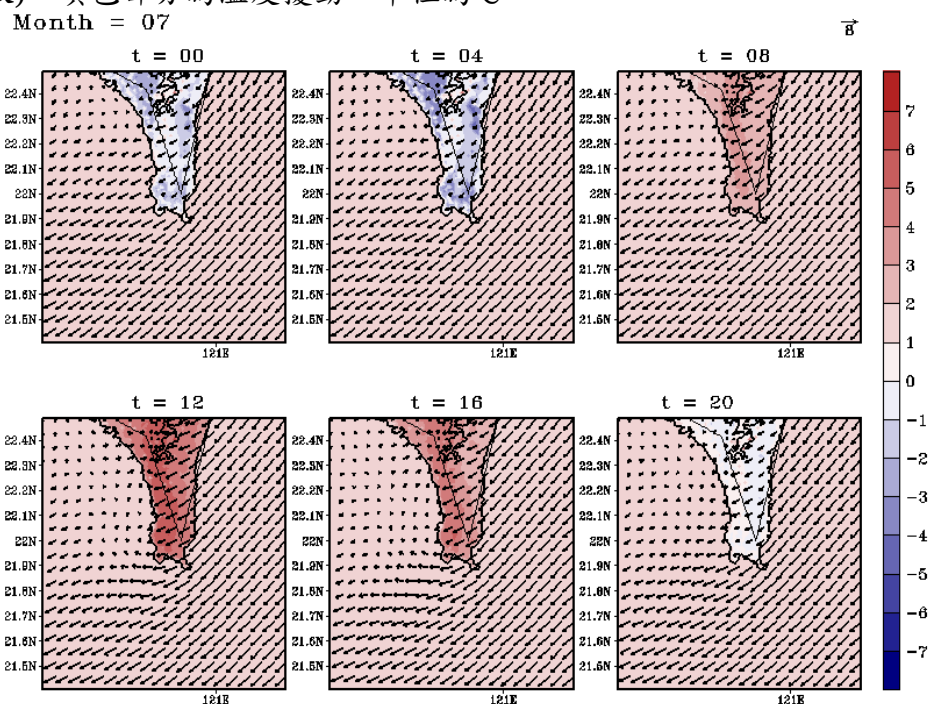


圖 2.5.86 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 196 日，模擬初始時間為 02LST，中心位置為核三廠(第層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

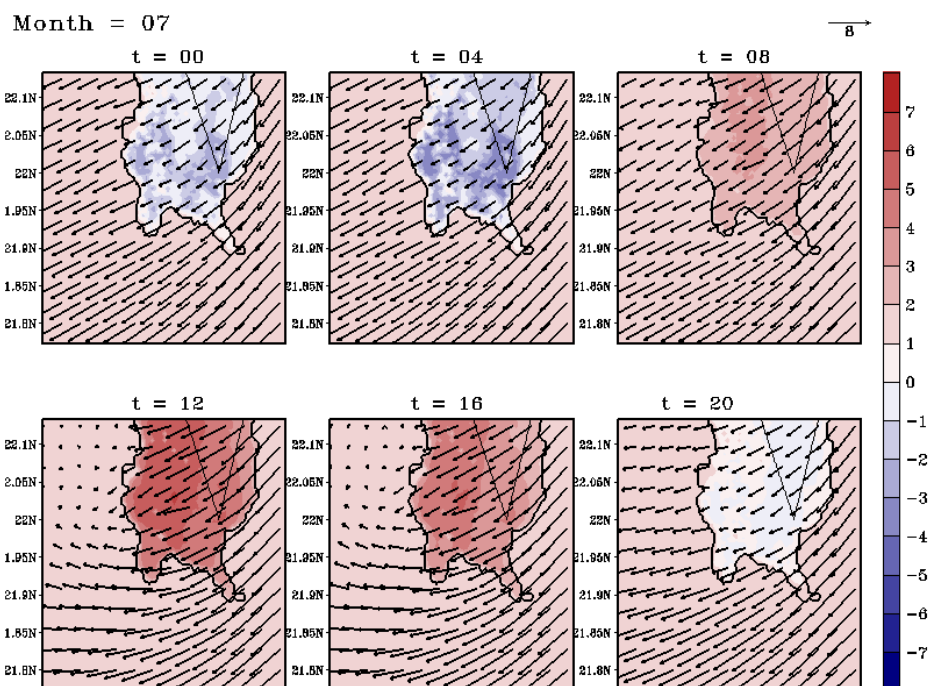


圖 2.5.87 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 196 日，模擬初始時間為 02LST，中心位置為核三廠(第 3 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

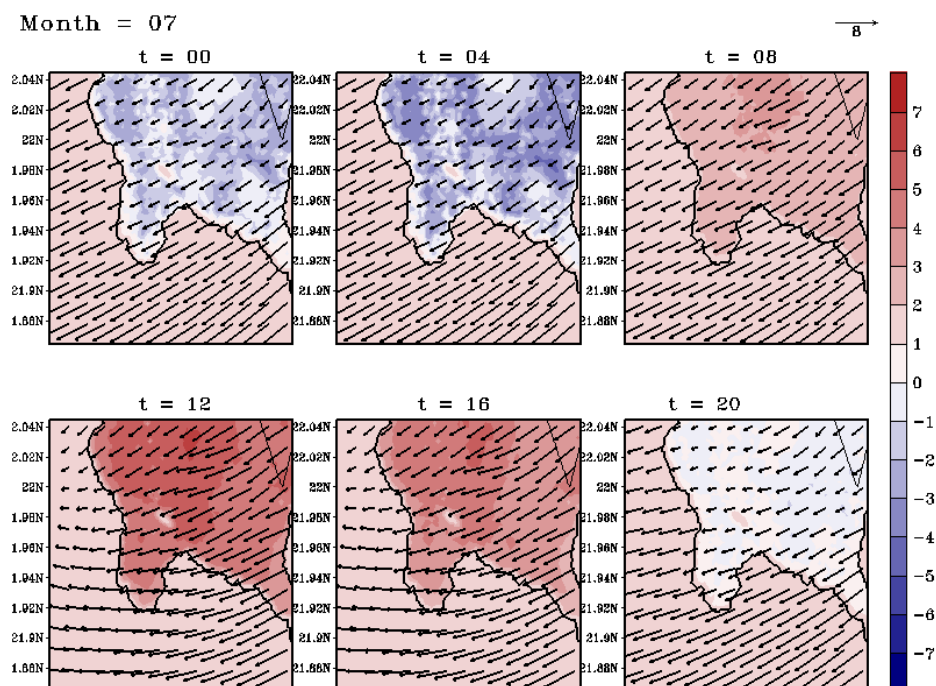


圖 2.5.88 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 196 日，模擬初始時間為 02LST，中心位置為核三廠(第 4 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

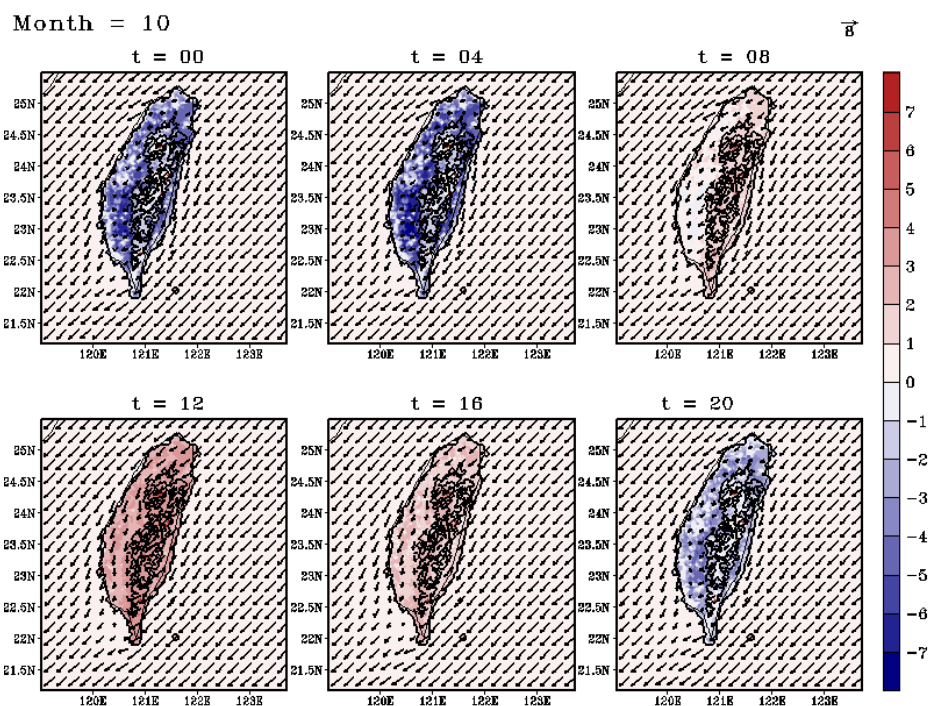


圖 2.5.89 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 288 日，模擬初始時間為 00LST，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

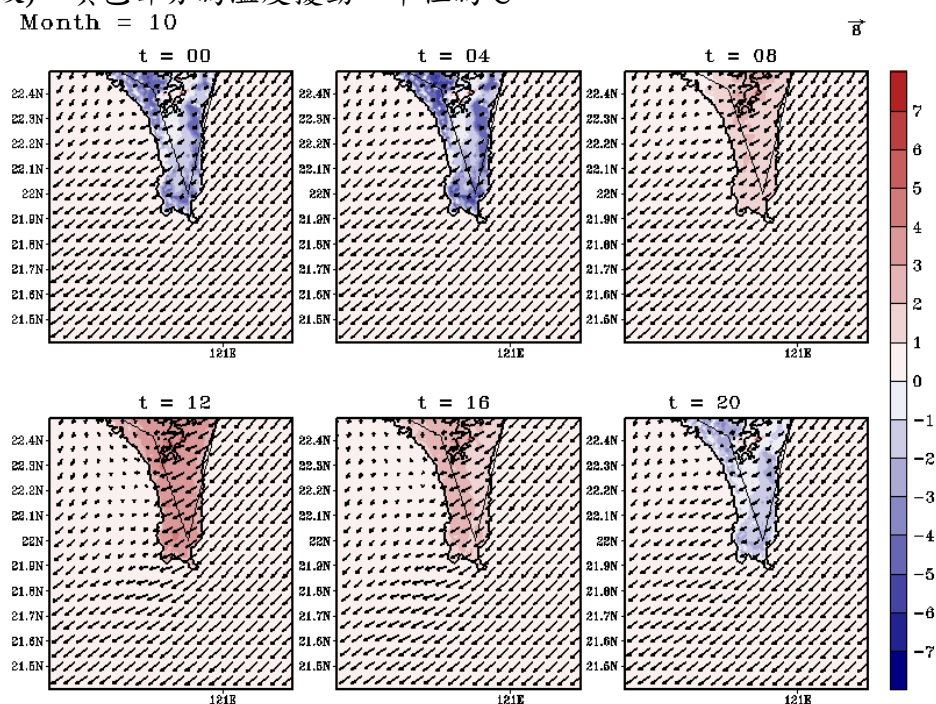


圖 2.5.90 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 288 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 2 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

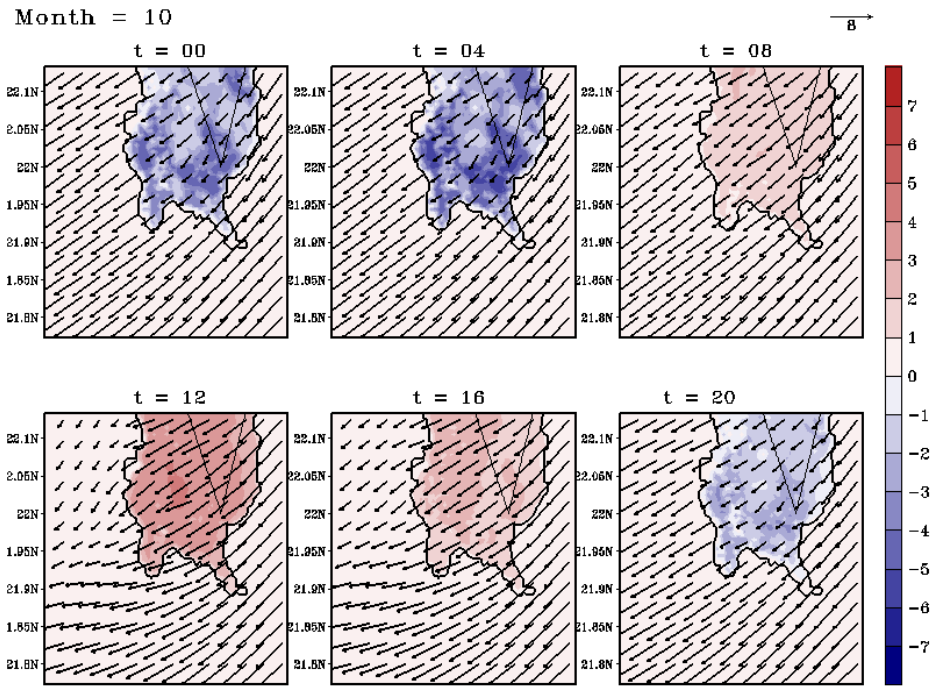


圖 2.5.91 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 288 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 3 層巢狀網格)，風向為 45°，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為°C。

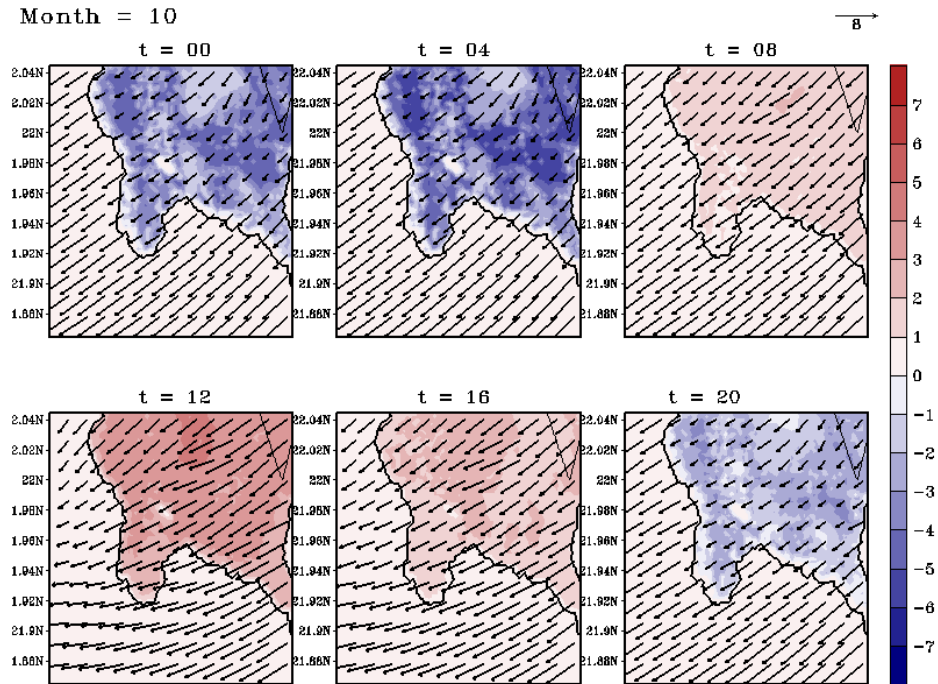


圖 2.5.92 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 288 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 4 層巢狀網格)，風向為 45°，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.002(穩定度分類 D 級)，填色部分為溫度擾動，單位為°C。

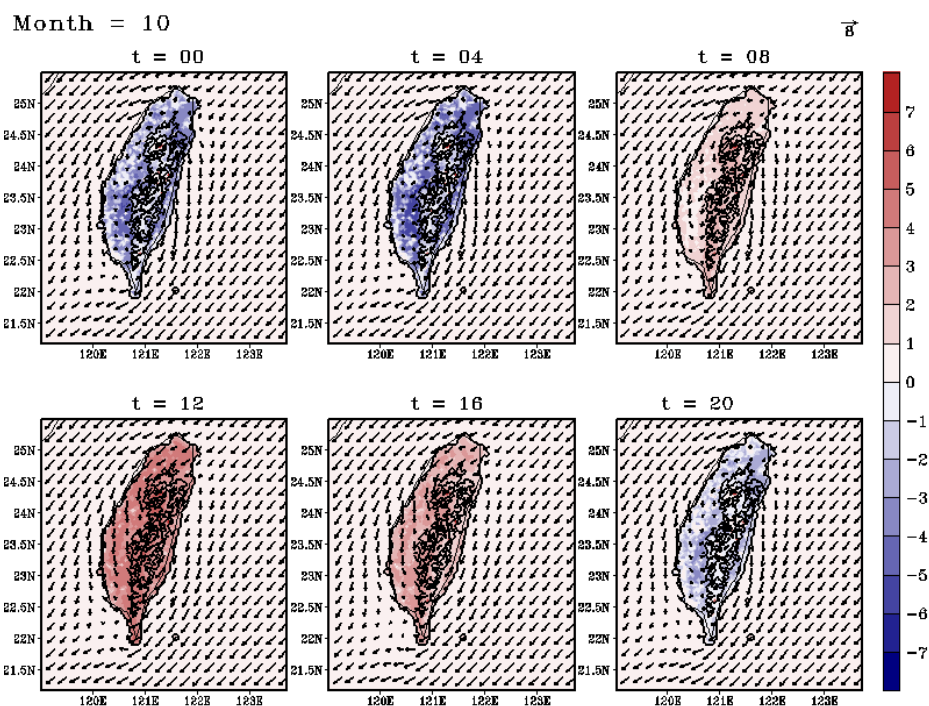


圖 2.5.93 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 288 日，模擬初始時間為 00LST，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。

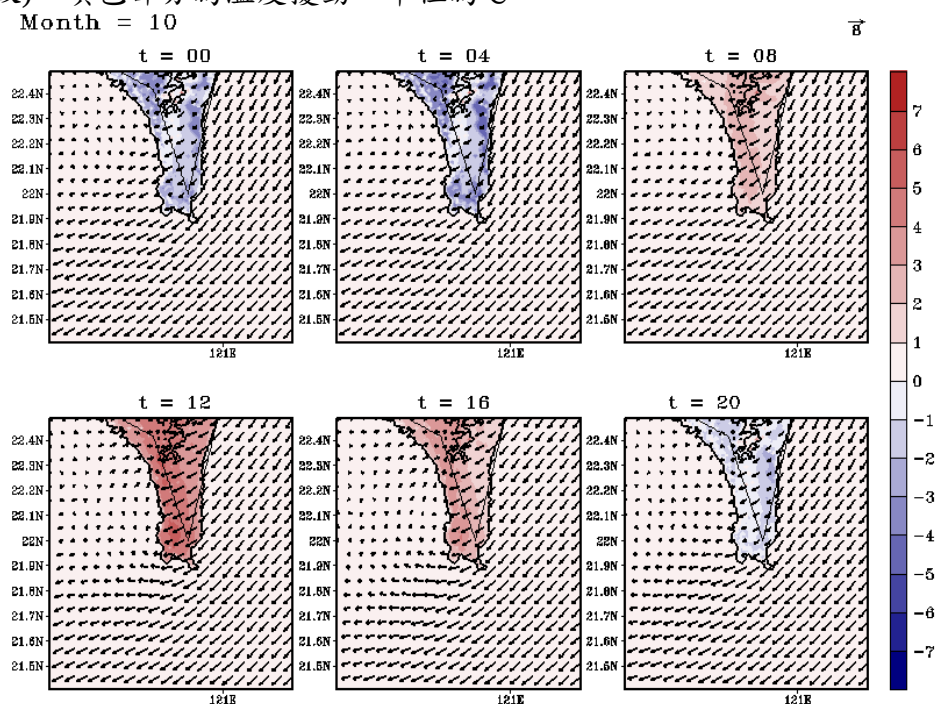


圖 2.5.94 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 288 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。

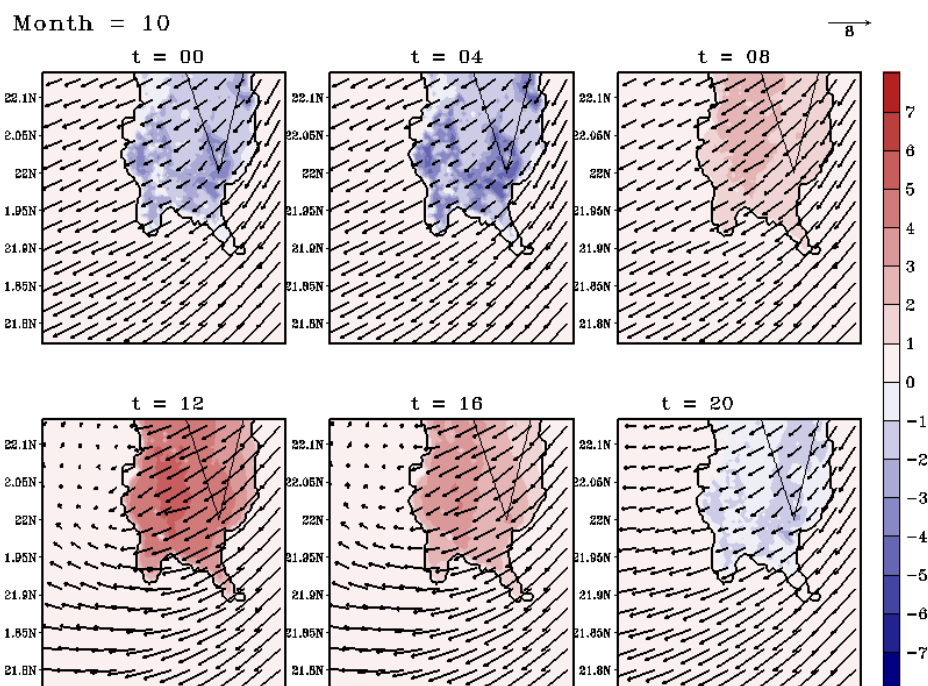


圖 2.5.95 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 288 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 3 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

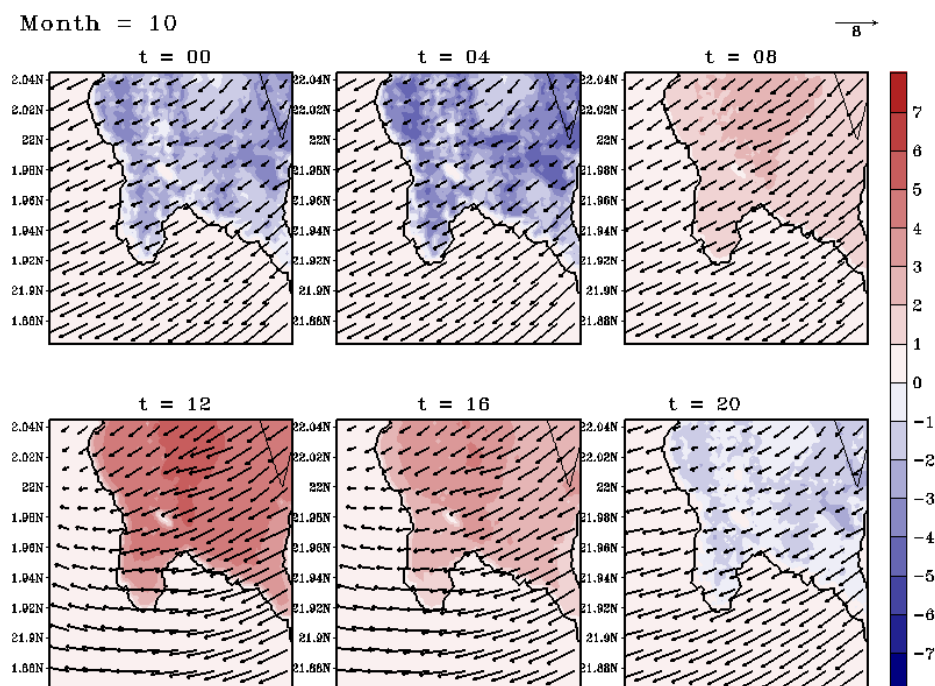


圖 2.5.96 A2Cflow 調校後之模擬(20m 高)風場，模擬日期太陽日為第 288 日，模擬初始時間為 00LST，中心位置為核三廠(第 4 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 8m/s，穩定度參數為 0.005(穩定度分類 E 級)，填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$ 。

```

[cwb_trans@rdc91 01]$ ls
npp301d100000 npp301d102315 npp301d105270 npp301d108180 npp301d202079 npp301d205057 npp301d208034
npp301d102012 npp301d102349 npp301d105293 npp301d108225 npp301d202090 npp301d205067 npp301d208045
npp301d102023 npp301d102360 npp301d105315 npp301d108270 npp301d202135 npp301d205079 npp301d208057
npp301d102034 npp301d105012 npp301d105349 npp301d108293 npp301d202180 npp301d205090 npp301d208067
npp301d102045 npp301d105023 npp301d105360 npp301d108315 npp301d202225 npp301d205135 npp301d208079
npp301d102057 npp301d105034 npp301d108012 npp301d108349 npp301d202270 npp301d205180 npp301d208090
npp301d102067 npp301d105045 npp301d108023 npp301d108360 npp301d202293 npp301d205225 npp301d208135
npp301d102079 npp301d105057 npp301d108034 npp301d200000 npp301d202315 npp301d205270 npp301d208180
npp301d102090 npp301d105067 npp301d108045 npp301d202012 npp301d202349 npp301d205293 npp301d208225
npp301d102135 npp301d105079 npp301d108057 npp301d202023 npp301d202360 npp301d205315 npp301d208270
npp301d102180 npp301d105090 npp301d108067 npp301d202034 npp301d205012 npp301d205349 npp301d208293
npp301d102225 npp301d105135 npp301d108079 npp301d202045 npp301d205023 npp301d205360 npp301d208315
npp301d102270 npp301d105180 npp301d108090 npp301d202057 npp301d205034 npp301d208012 npp301d208349
npp301d102293 npp301d105225 npp301d108135 npp301d202067 npp301d205045 npp301d208023 npp301d208360
[cwb_trans@rdc91 01]$ ls ../02
npp302d100000 npp302d102304 npp302d105282 npp302d108225 npp302d202113 npp302d205090 npp302d208067
npp302d102012 npp302d102315 npp302d105293 npp302d108270 npp302d202135 npp302d205102 npp302d208079
npp302d102023 npp302d102360 npp302d105304 npp302d108282 npp302d202180 npp302d205113 npp302d208090
npp302d102034 npp302d105012 npp302d105315 npp302d108293 npp302d202225 npp302d205135 npp302d208102
npp302d102045 npp302d105023 npp302d105360 npp302d108304 npp302d202270 npp302d205180 npp302d208113
npp302d102057 npp302d105034 npp302d108012 npp302d108315 npp302d202282 npp302d205225 npp302d208135
npp302d102067 npp302d105045 npp302d108023 npp302d108360 npp302d202293 npp302d205270 npp302d208180
npp302d102079 npp302d105057 npp302d108034 npp302d200000 npp302d202304 npp302d205282 npp302d208225
npp302d102090 npp302d105067 npp302d108045 npp302d202012 npp302d202315 npp302d205293 npp302d208270
npp302d102102 npp302d105079 npp302d108057 npp302d202023 npp302d202360 npp302d205304 npp302d208282
npp302d102113 npp302d105090 npp302d108067 npp302d202034 npp302d205012 npp302d205315 npp302d208293
npp302d102135 npp302d105102 npp302d108079 npp302d202045 npp302d205023 npp302d205360 npp302d208304
npp302d102180 npp302d105113 npp302d108090 npp302d202057 npp302d205034 npp302d208012 npp302d208315
npp302d102225 npp302d105135 npp302d108102 npp302d202067 npp302d205045 npp302d208023 npp302d208360
npp302d102270 npp302d105180 npp302d108113 npp302d202079 npp302d205057 npp302d208034
npp302d102282 npp302d105225 npp302d108135 npp302d202090 npp302d205067 npp302d208045
npp302d102293 npp302d105270 npp302d108180 npp302d202102 npp302d205079 npp302d208057
[cwb_trans@rdc91 01]$ ls ../03
npp303d100000 npp303d102315 npp303d105293 npp303d108225 npp303d202113 npp303d205090 npp303d208067
npp303d102012 npp303d102327 npp303d105304 npp303d108270 npp303d202135 npp303d205102 npp303d208079
npp303d102023 npp303d102360 npp303d105315 npp303d108293 npp303d202180 npp303d205113 npp303d208090
npp303d102034 npp303d105012 npp303d105327 npp303d108304 npp303d202225 npp303d205135 npp303d208102
npp303d102045 npp303d105023 npp303d105360 npp303d108315 npp303d202270 npp303d205180 npp303d208113
npp303d102057 npp303d105034 npp303d108012 npp303d108327 npp303d202293 npp303d205225 npp303d208135
npp303d102067 npp303d105045 npp303d108023 npp303d108360 npp303d202304 npp303d205270 npp303d208180
npp303d102079 npp303d105057 npp303d108034 npp303d200000 npp303d202315 npp303d205293 npp303d208225
npp303d102090 npp303d105067 npp303d108045 npp303d202012 npp303d202327 npp303d205304 npp303d208270
npp303d102102 npp303d105079 npp303d108057 npp303d202023 npp303d202360 npp303d205315 npp303d208293
npp303d102113 npp303d105090 npp303d108067 npp303d202034 npp303d205012 npp303d205327 npp303d208304
npp303d102135 npp303d105102 npp303d108079 npp303d202045 npp303d205023 npp303d205360 npp303d208315
npp303d102180 npp303d105113 npp303d108090 npp303d202057 npp303d205034 npp303d208012 npp303d208327
npp303d102225 npp303d105135 npp303d108102 npp303d202067 npp303d205045 npp303d208023 npp303d208360
npp303d102270 npp303d105180 npp303d108113 npp303d202079 npp303d205057 npp303d208034
npp303d102293 npp303d105225 npp303d108135 npp303d202090 npp303d205067 npp303d208045
npp303d102304 npp303d105270 npp303d108180 npp303d202102 npp303d205079 npp303d208057

```

圖 2.5.97 更新之核三廠資料庫類型之氣象資料，由上而下為 1~3 月份。

```

[cwb_trans@rdc91 01]$ ls ../04
npp304d100000 npp304d102327 npp304d105304 npp304d108270 npp304d202135 npp304d205090 npp304d208067
npp304d102012 npp304d102337 npp304d105315 npp304d108293 npp304d202180 npp304d205102 npp304d208079
npp304d102023 npp304d102360 npp304d105327 npp304d108304 npp304d202225 npp304d205135 npp304d208090
npp304d102034 npp304d105012 npp304d105337 npp304d108315 npp304d202270 npp304d205180 npp304d208102
npp304d102045 npp304d105023 npp304d105360 npp304d108327 npp304d202293 npp304d205225 npp304d208135
npp304d102057 npp304d105034 npp304d108012 npp304d108337 npp304d202304 npp304d205270 npp304d208180
npp304d102067 npp304d105045 npp304d108023 npp304d108360 npp304d202315 npp304d205293 npp304d208225
npp304d102079 npp304d105057 npp304d108034 npp304d200000 npp304d202327 npp304d205304 npp304d208270
npp304d102090 npp304d105067 npp304d108045 npp304d202012 npp304d202337 npp304d205315 npp304d208293
npp304d102102 npp304d105079 npp304d108057 npp304d202023 npp304d202360 npp304d205327 npp304d208304
npp304d102135 npp304d105090 npp304d108067 npp304d202034 npp304d205012 npp304d205337 npp304d208315
npp304d102180 npp304d105102 npp304d108079 npp304d202045 npp304d205023 npp304d205360 npp304d208327
npp304d102225 npp304d105135 npp304d108090 npp304d202057 npp304d205034 npp304d208012 npp304d208337
npp304d102270 npp304d105180 npp304d108102 npp304d202067 npp304d205045 npp304d208023 npp304d208360
npp304d102293 npp304d105225 npp304d108135 npp304d202079 npp304d205057 npp304d208034
npp304d102304 npp304d105270 npp304d108180 npp304d202090 npp304d205067 npp304d208045
npp304d102315 npp304d105293 npp304d108225 npp304d202102 npp304d205079 npp304d208057
[cwb_trans@rdc91 01]$ ls ../05
npp305d100000 npp305d102337 npp305d105315 npp305d108270 npp305d202135 npp305d205090 npp305d208067
npp305d102012 npp305d102349 npp305d105327 npp305d108304 npp305d202180 npp305d205102 npp305d208079
npp305d102023 npp305d102360 npp305d105337 npp305d108315 npp305d202225 npp305d205135 npp305d208090
npp305d102034 npp305d105012 npp305d105349 npp305d108327 npp305d202270 npp305d205180 npp305d208102
npp305d102045 npp305d105023 npp305d105360 npp305d108337 npp305d202304 npp305d205225 npp305d208135
npp305d102057 npp305d105034 npp305d108012 npp305d108349 npp305d202315 npp305d205270 npp305d208180
npp305d102067 npp305d105045 npp305d108023 npp305d108360 npp305d202327 npp305d205304 npp305d208225
npp305d102079 npp305d105057 npp305d108034 npp305d200000 npp305d202337 npp305d205315 npp305d208270
npp305d102090 npp305d105067 npp305d108045 npp305d202012 npp305d202349 npp305d205327 npp305d208304
npp305d102102 npp305d105079 npp305d108057 npp305d202023 npp305d202360 npp305d205337 npp305d208315
npp305d102135 npp305d105090 npp305d108067 npp305d202034 npp305d205012 npp305d205349 npp305d208327
npp305d102180 npp305d105102 npp305d108079 npp305d202045 npp305d205023 npp305d205360 npp305d208337
npp305d102225 npp305d105135 npp305d108090 npp305d202057 npp305d205034 npp305d208012 npp305d208349
npp305d102270 npp305d105180 npp305d108102 npp305d202067 npp305d205045 npp305d208023 npp305d208360
npp305d102304 npp305d105225 npp305d108135 npp305d202079 npp305d205057 npp305d208034
npp305d102315 npp305d105270 npp305d108180 npp305d202090 npp305d205067 npp305d208045
npp305d102327 npp305d105304 npp305d108225 npp305d202102 npp305d205079 npp305d208057
[cwb_trans@rdc91 01]$ ls ../06
npp306d100000 npp306d102337 npp306d105315 npp306d108270 npp306d202237 npp306d205180 npp306d208113
npp306d102045 npp306d102349 npp306d105327 npp306d108293 npp306d202247 npp306d205225 npp306d208135
npp306d102067 npp306d102360 npp306d105337 npp306d108315 npp306d202259 npp306d205237 npp306d208180
npp306d102079 npp306d105045 npp306d105349 npp306d108327 npp306d202270 npp306d205247 npp306d208225
npp306d102090 npp306d105067 npp306d105360 npp306d108337 npp306d202293 npp306d205259 npp306d208237
npp306d102102 npp306d105079 npp306d108045 npp306d108349 npp306d202315 npp306d205270 npp306d208247
npp306d102113 npp306d105090 npp306d108067 npp306d108360 npp306d202327 npp306d205293 npp306d208259
npp306d102135 npp306d105102 npp306d108079 npp306d200000 npp306d202337 npp306d205315 npp306d208270
npp306d102180 npp306d105113 npp306d108090 npp306d202045 npp306d202349 npp306d205327 npp306d208293
npp306d102225 npp306d105135 npp306d108102 npp306d202067 npp306d202360 npp306d205337 npp306d208315
npp306d102237 npp306d105180 npp306d108113 npp306d202079 npp306d205045 npp306d205349 npp306d208327
npp306d102247 npp306d105225 npp306d108135 npp306d202090 npp306d205067 npp306d205360 npp306d208337
npp306d102259 npp306d105237 npp306d108180 npp306d202102 npp306d205079 npp306d208045 npp306d208349
npp306d102270 npp306d105247 npp306d108225 npp306d202113 npp306d205090 npp306d208067 npp306d208360
npp306d102293 npp306d105259 npp306d108237 npp306d202135 npp306d205102 npp306d208079
npp306d102315 npp306d105270 npp306d108247 npp306d202180 npp306d205113 npp306d208090
npp306d102327 npp306d105293 npp306d108259 npp306d202225 npp306d205135 npp306d208102

```

圖 2.5.98 更新之核三廠資料庫類型之氣象資料，由上而下為 4~6 月份。

```

[cwb_trans@rdc91 01]$ ls ../07
npp307d100000 npp307d102338 npp307d105315 npp307d108293 npp307d202248 npp307d205225 npp307d208135
npp307d102045 npp307d102349 npp307d105327 npp307d108304 npp307d202259 npp307d205237 npp307d208180
npp307d102067 npp307d102360 npp307d105338 npp307d108315 npp307d202270 npp307d205248 npp307d208225
npp307d102079 npp307d105045 npp307d105349 npp307d108327 npp307d202293 npp307d205259 npp307d208237
npp307d102090 npp307d105067 npp307d105360 npp307d108338 npp307d202304 npp307d205270 npp307d208248
npp307d102102 npp307d105079 npp307d108045 npp307d108349 npp307d202315 npp307d205293 npp307d208259
npp307d102135 npp307d105090 npp307d108067 npp307d108360 npp307d202327 npp307d205304 npp307d208270
npp307d102180 npp307d105102 npp307d108079 npp307d200000 npp307d202337 npp307d205315 npp307d208293
npp307d102225 npp307d105135 npp307d108090 npp307d202045 npp307d202349 npp307d205327 npp307d208304
npp307d102237 npp307d105180 npp307d108102 npp307d202067 npp307d202360 npp307d205337 npp307d208315
npp307d102247 npp307d105225 npp307d108135 npp307d202079 npp307d205045 npp307d205349 npp307d208327
npp307d102259 npp307d105237 npp307d108180 npp307d202090 npp307d205067 npp307d205360 npp307d208337
npp307d102270 npp307d105247 npp307d108225 npp307d202102 npp307d205079 npp307d208045 npp307d208349
npp307d102293 npp307d105259 npp307d108237 npp307d202135 npp307d205090 npp307d208067 npp307d208360
npp307d102304 npp307d105270 npp307d108247 npp307d202180 npp307d205102 npp307d208079
npp307d102315 npp307d105293 npp307d108259 npp307d202225 npp307d205135 npp307d208090
npp307d102327 npp307d105304 npp307d108270 npp307d202237 npp307d205180 npp307d208102

[cwb_trans@rdc91 01]$ ls ../08
npp308d100000 npp308d102337 npp308d105315 npp308d108270 npp308d202180 npp308d205102 npp308d208079
npp308d102012 npp308d102349 npp308d105327 npp308d108304 npp308d202225 npp308d205135 npp308d208090
npp308d102034 npp308d102360 npp308d105337 npp308d108315 npp308d202247 npp308d205180 npp308d208102
npp308d102045 npp308d105012 npp308d105349 npp308d108327 npp308d202270 npp308d205225 npp308d208135
npp308d102057 npp308d105034 npp308d105360 npp308d108337 npp308d202304 npp308d205247 npp308d208180
npp308d102067 npp308d105045 npp308d108012 npp308d108349 npp308d202315 npp308d205270 npp308d208225
npp308d102079 npp308d105057 npp308d108034 npp308d108360 npp308d202327 npp308d205304 npp308d208247
npp308d102090 npp308d105067 npp308d108045 npp308d200000 npp308d202337 npp308d205315 npp308d208270
npp308d102102 npp308d105079 npp308d108057 npp308d202012 npp308d202349 npp308d205327 npp308d208304
npp308d102135 npp308d105090 npp308d108067 npp308d202034 npp308d202360 npp308d205337 npp308d208315
npp308d102180 npp308d105102 npp308d108079 npp308d202045 npp308d205012 npp308d205349 npp308d208327
npp308d102225 npp308d105135 npp308d108090 npp308d202057 npp308d205034 npp308d205360 npp308d208337
npp308d102247 npp308d105180 npp308d108102 npp308d202067 npp308d205045 npp308d208012 npp308d208349
npp308d102270 npp308d105225 npp308d108135 npp308d202079 npp308d205057 npp308d208034 npp308d208360
npp308d102304 npp308d105247 npp308d108180 npp308d202090 npp308d205067 npp308d208045
npp308d102315 npp308d105270 npp308d108225 npp308d202102 npp308d205079 npp308d208057
npp308d102327 npp308d105304 npp308d108247 npp308d202135 npp308d205090 npp308d208067

[cwb_trans@rdc91 01]$ ls ../09
npp309d100000 npp309d102327 npp309d105304 npp309d108225 npp309d202113 npp309d205090 npp309d208067
npp309d102012 npp309d102337 npp309d105315 npp309d108270 npp309d202135 npp309d205102 npp309d208079
npp309d102023 npp309d102360 npp309d105327 npp309d108304 npp309d202180 npp309d205113 npp309d208090
npp309d102034 npp309d105012 npp309d105337 npp309d108315 npp309d202225 npp309d205135 npp309d208102
npp309d102045 npp309d105023 npp309d105360 npp309d108327 npp309d202270 npp309d205180 npp309d208113
npp309d102057 npp309d105034 npp309d108012 npp309d108337 npp309d202304 npp309d205225 npp309d208135
npp309d102067 npp309d105045 npp309d108023 npp309d108360 npp309d202315 npp309d205270 npp309d208180
npp309d102079 npp309d105057 npp309d108034 npp309d200000 npp309d202327 npp309d205304 npp309d208225
npp309d102090 npp309d105067 npp309d108045 npp309d202012 npp309d202337 npp309d205315 npp309d208270
npp309d102102 npp309d105079 npp309d108057 npp309d202023 npp309d202360 npp309d205327 npp309d208304
npp309d102113 npp309d105090 npp309d108067 npp309d202034 npp309d205012 npp309d205337 npp309d208315
npp309d102135 npp309d105102 npp309d108079 npp309d202045 npp309d205023 npp309d205360 npp309d208327
npp309d102180 npp309d105113 npp309d108090 npp309d202057 npp309d205034 npp309d208012 npp309d208337
npp309d102225 npp309d105135 npp309d108102 npp309d202067 npp309d205045 npp309d208023 npp309d208360
npp309d102270 npp309d105180 npp309d108113 npp309d202079 npp309d205057 npp309d208034
npp309d102304 npp309d105225 npp309d108135 npp309d202090 npp309d205067 npp309d208045
npp309d102315 npp309d105270 npp309d108180 npp309d202102 npp309d205079 npp309d208057

```

圖 2.5.99 更新之核三廠資料庫類型之氣象資料，由上而下為 7~9 月份。

```

[cwb_trans@rdc91 01]$ ls ../10
npp310d100000 npp310d102293 npp310d105225 npp310d108135 npp310d202079 npp310d205057 npp310d208034
npp310d102012 npp310d102315 npp310d105270 npp310d108180 npp310d202090 npp310d205067 npp310d208045
npp310d102023 npp310d102360 npp310d105293 npp310d108225 npp310d202102 npp310d205079 npp310d208057
npp310d102034 npp310d105012 npp310d105315 npp310d108270 npp310d202135 npp310d205090 npp310d208067
npp310d102045 npp310d105023 npp310d105360 npp310d108293 npp310d202180 npp310d205102 npp310d208079
npp310d102057 npp310d105034 npp310d108012 npp310d108315 npp310d202225 npp310d205135 npp310d208090
npp310d102067 npp310d105045 npp310d108023 npp310d108360 npp310d202270 npp310d205180 npp310d208102
npp310d102079 npp310d105057 npp310d108034 npp310d200000 npp310d202293 npp310d205225 npp310d208135
npp310d102090 npp310d105067 npp310d108045 npp310d202012 npp310d202315 npp310d205270 npp310d208180
npp310d102102 npp310d105079 npp310d108057 npp310d202023 npp310d202360 npp310d205293 npp310d208225
npp310d102135 npp310d105090 npp310d108067 npp310d202034 npp310d205012 npp310d205315 npp310d208270
npp310d102180 npp310d105102 npp310d108079 npp310d202045 npp310d205023 npp310d205360 npp310d208293
npp310d102225 npp310d105135 npp310d108090 npp310d202057 npp310d205034 npp310d208012 npp310d208315
npp310d102270 npp310d105180 npp310d108102 npp310d202067 npp310d205045 npp310d208023 npp310d208360
[cwb_trans@rdc91 01]$ ls ../11
npp311d100000 npp311d102315 npp311d105270 npp311d108180 npp311d202079 npp311d205057 npp311d208034
npp311d102012 npp311d102349 npp311d105293 npp311d108225 npp311d202090 npp311d205067 npp311d208045
npp311d102023 npp311d102360 npp311d105315 npp311d108270 npp311d202135 npp311d205079 npp311d208057
npp311d102034 npp311d105012 npp311d105349 npp311d108293 npp311d202180 npp311d205090 npp311d208067
npp311d102045 npp311d105023 npp311d105360 npp311d108315 npp311d202225 npp311d205135 npp311d208079
npp311d102057 npp311d105034 npp311d108012 npp311d108349 npp311d202270 npp311d205180 npp311d208090
npp311d102067 npp311d105045 npp311d108023 npp311d108360 npp311d202293 npp311d205225 npp311d208135
npp311d102079 npp311d105057 npp311d108034 npp311d200000 npp311d202315 npp311d205270 npp311d208180
npp311d102090 npp311d105067 npp311d108045 npp311d202012 npp311d202349 npp311d205293 npp311d208225
npp311d102135 npp311d105079 npp311d108057 npp311d202023 npp311d202360 npp311d205315 npp311d208270
npp311d102180 npp311d105090 npp311d108067 npp311d202034 npp311d205012 npp311d205349 npp311d208293
npp311d102225 npp311d105135 npp311d108079 npp311d202045 npp311d205023 npp311d205360 npp311d208315
npp311d102270 npp311d105180 npp311d108090 npp311d202057 npp311d205034 npp311d208012 npp311d208349
npp311d102293 npp311d105225 npp311d108135 npp311d202067 npp311d205045 npp311d208023 npp311d208360
[cwb_trans@rdc91 01]$ ls ../12
npp312d100000 npp312d102315 npp312d105270 npp312d108180 npp312d202079 npp312d205057 npp312d208034
npp312d102012 npp312d102349 npp312d105293 npp312d108225 npp312d202090 npp312d205067 npp312d208045
npp312d102023 npp312d102360 npp312d105315 npp312d108270 npp312d202135 npp312d205079 npp312d208057
npp312d102034 npp312d105012 npp312d105349 npp312d108293 npp312d202180 npp312d205090 npp312d208067
npp312d102045 npp312d105023 npp312d105360 npp312d108315 npp312d202225 npp312d205135 npp312d208079
npp312d102057 npp312d105034 npp312d108012 npp312d108349 npp312d202270 npp312d205180 npp312d208090
npp312d102067 npp312d105045 npp312d108023 npp312d108360 npp312d202293 npp312d205225 npp312d208135
npp312d102079 npp312d105057 npp312d108034 npp312d200000 npp312d202315 npp312d205270 npp312d208180
npp312d102090 npp312d105067 npp312d108045 npp312d202012 npp312d202349 npp312d205293 npp312d208225
npp312d102135 npp312d105079 npp312d108057 npp312d202023 npp312d202360 npp312d205315 npp312d208270
npp312d102180 npp312d105090 npp312d108067 npp312d202034 npp312d205012 npp312d205349 npp312d208293
npp312d102225 npp312d105135 npp312d108079 npp312d202045 npp312d205023 npp312d205360 npp312d208315
npp312d102270 npp312d105180 npp312d108090 npp312d202057 npp312d205034 npp312d208012 npp312d208349
npp312d102293 npp312d105225 npp312d108135 npp312d202067 npp312d205045 npp312d208023 npp312d208360

```

圖 2.5.100 更新之核三廠資料庫類型之氣象資料，由上而下為 10~12 月份。

(六)變分法射源項回推技術開發

在經過幾次核子事件後，各方研究均發現評估射源項的工作，是存在最大的不確定性，包括劑量分布的誤差、大氣擴散模式的誤差及觀測資料測量的儀器誤差等等，尤其在 311 福島事件發生後，雖然資料種類繁多，但時間上並不連續及完整，很難完整評估事件中複雜的射源項。本計畫先使用大氣擴散模式於假定測站的模擬空氣劑量率代替真實觀測資料，針對日本福島核電廠事故案例以變分法計算出射源項，檢討此法的正確性後，(再引入福島事件期間的真實觀測資料，進行日本福島事故射源項推估)。

1. 射源項回推變分方法

變分回推方法的基礎概念是參考法國 Saunier et al. (2013)方法，利用測站的環境劑量率資料，與大氣擴散模式，且考慮釋放位置已知，可以描述射源項與測站劑量率的關係：

$$\mu = H\sigma + \varepsilon \quad (2.6.1)$$

其中， μ 是觀測劑量率包含觀測劑量率的筆數， σ 是釋放源的向量考慮了每個核種隨時間的變化， ε 表誤差向量，包含了模式誤差和儀器誤差， H 為各觀測站的模擬劑量率，在此式子當中希望的是 H 越接近 μ 越好，當模擬劑量率越接近觀測劑量率時， σ 釋放源就會越接近真實釋放率。

利用觀測劑量率和模擬劑量率之間的誤差最小化來辨認出釋放率的變化，透過最小化的價值函數(cost function)來解：

$$J(\sigma) = (\mu - H\sigma)^T R^{-1} (\mu - H\sigma) + (\sigma - \sigma_b)^T B^{-1} (\sigma - \sigma_b) \quad (2.6.2)$$

R 表 $E[\varepsilon\varepsilon^T]$ 為模式劑量率和觀測劑量率間的誤差協方差(error covariance)矩陣， E 是數學期望值，矩陣 $B = E[(\sigma - \sigma_b)(\sigma - \sigma_b)^T]$ 為初始猜測場 σ_b 的誤差協方差(error covariance)。

當假設初始猜測 σ_b 設定為 0，且將 R_1^{-1} 設為 1 單位矩陣後，可將價值函數改寫為：

$$J_1(\sigma_1) = (\mu_{plume} - H_1 \sigma_1)^2 * 1 + \sigma_1^T B^{-1} \sigma_1 \quad (2.6.3)$$

在此 H_1 為模式中所有的影響， σ_1 則表所有在影響範圍內的煙陣造成現在觀測劑量率值中，每顆煙陣最初的釋放率。

以變分法為基礎建構的外釋射源項回推技術開發，步驟依序為使

用大氣擴散模式，執行單位釋放率模擬(Unit Run)、資料處理階段、以變分法回推射源項階段。

1. 單位釋放率模擬：當事故發生射源項回推系統啟動，根據事故時間及地點以單位釋放率 1 Bq/sec 進行大氣擴散模式模擬，模擬完成即可輸出每個時間步階的煙陣活度、大小及位置。

2. 資料處理階段：蒐集現有的觀測資料及事件歷程資料。觀測資料包含測站位置資訊及逐時核種空氣劑量率測值，利用測站位置及步驟一輸出的煙陣資料，可計算出單位釋放率模擬於測站點的空氣劑量率。

3. 射源回推階段：步驟一與二完成後，即準備好射源回推計算所需資料，觀測逐時空氣劑量率、單位釋放率模擬逐時觀測點模擬空氣劑量率。步驟二中已將射源釋放率 σ 依時間序列分段成 $\sigma_1 \sim \sigma_{(k)}$ ，第 k 段釋放率 $\sigma_{(k)}$ 釋放的煙陣提供 s 測站於 t 時間的空氣劑量率一共為 $H_{1(s,t,k)}$ ，則 t 時間 s 測站空氣劑量率觀測值 $\mu_{(t,s)}$ 。

由於福島事件的觀測資料在時間上並不連續及完整，所以開始計算前，首先設定當觀測資料有值時，再繼續做變分法的計算條件，且釋放率的結果一定為大於等於 0，當大氣擴散模式以單位釋放率輸出每個時間步階的煙陣資訊後，可計算出單位釋放率模擬於測站點的空氣劑量率，將價值函數改寫成計算過程可簡化為：

$$\text{釋放率 } \sigma_{1(k)} = 2.0 * ce * (-1) * H_{1(i,j,k)} \quad (2.6.4)$$

其中 $ce = [\mu_{(i,j)} - (\sum_{puff=1}^k (H_{1(i,j,k)} \sigma_{1k}))]$ ，逐次迭代會使 ce 越來越小，令我們模擬的劑量率越接近真實觀測的劑量率，逐次修正模式結果的趨勢與比重，進而得到射源項結果。

2. 射源項回推方法驗證

為驗證射源項回推變分法的正確性，先以理想案例 (Ideal case) 來做回推測試，假設輻射粒子均為 Cs-137，以大氣擴散模式於假定測站的模擬空氣劑量率代替真實觀測資料，此模擬簡稱為替代觀測模擬 (A Obs Run)。替代觀測模擬的釋放率時序是參考 JAEA 的射源項回推結果(Katata et al.,與 Terada et al.,2012)如圖 2.6.1，使用期前 8 天 15 段的釋放率時序(圖 1 之紅色方框)進行 2011 年 3 月 11 日 20 時至 19 日 19 時，共 192 小時(8 天) 的模擬，每五分鐘釋放一個 Cs-137 煙陣，釋放初始高度為 20 公尺。

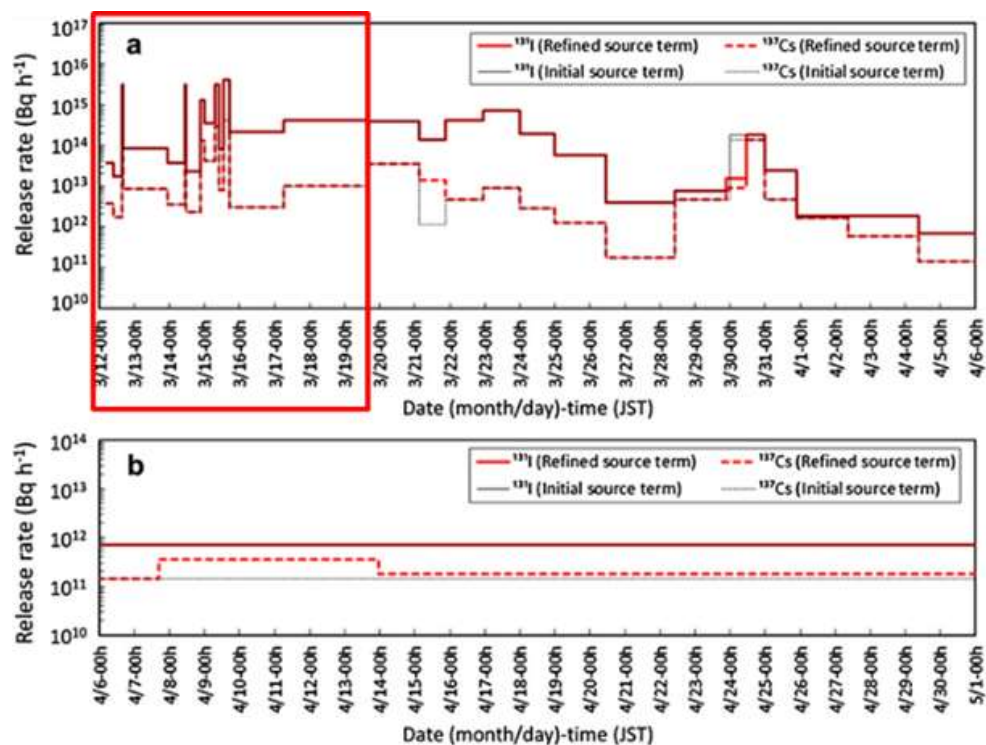


圖 2.6.1 JAEA 的 Cs-137 與 I-131 釋放率回推結果。實線為 I-131 釋放率，虛線為 Cs-137 釋放率，黑線與紅線分別為 JAEA 回推結果及修正後結果。

在理想案例中，Unit Run 的模擬設定皆與 AObs Run 相同，唯獨差別在於 Cs-137 釋放率調整為單位釋放率(1Bq/sec)，且 Unit Run 與

AObs Run 的煙陣質點位置方程式(2.6.6)式中的隨機變數 ζ 設定為相同的隨機變數，可使兩組模擬具有相同的蜿蜒情形，而一般案例中，為了測試射源項回推公式於實際案例中的適用性，於是將 ζ 恢復為正常的隨機變數，使 Unit Run 與 AObs Run 具有不同的蜿蜒效應。

質點位置方程式：

$$x_i(t + \Delta t) = x_i(t) + U_{pi}\Delta t \quad (2.6.5)$$

其中 U_{pi} 為質點 x_i 方向的速度，且 $U_{pi} = U_i + u_i$ ， U_i 為平均速度， u_i 為亂流速度，

$$u_i(t + \Delta t) = au_i(t) + b\sigma_{ui}\zeta + \delta_{i3}(1 - a)t_{Lx_i}\frac{\partial}{\partial x_i}(\sigma_{ui}^2) \quad (2.6.6)$$

其中 $a = \exp(-\Delta t/t_{Lx_i})$ ， $b = (1 - a^2)^{0.5}$ ，式中 ζ 是以一個標準偏差及零平均值之高斯分布隨機變數，使煙流產生隨機的蜿蜒效應。 t_{Lx_i} 是速度 u_i 的拉氏積分時間尺度（Lagrangian integral time scale）。 σ_{ui} 是速度 u_i 變化的標準偏差， δ_{i3} 是 Dirac delta。 U_i 和 σ_{ui} 是從氣象模式計算而得來。

理想案例變分法射源回推計算結果如圖 2.6.2 所示(藍線)，其計算在各測站的模式劑量率與觀測劑量率(A Obs Run)差值，得到一個趨勢去修正模式劑量率，目前實驗疊代約 100 次可以求得較好的釋放率，且大部分時段的回推結果能符合 JAEA 的 Cs-137 結果如圖 2.6.2 所示(橘線)，特別值得注意的是，第一與第二個高值，分別是福島電廠 1 號機組與三號機組發生氫爆的時間區段，在以變分法回推的釋放率的結果也有表現出此兩處的高值，與 JAEA 的大小也是相當匹配，另外在 15 號左右有連續三個高值，且量越來越大，此時則為 2 號機組核子反應爐容器壓力抑制室周遭發生爆炸的區段，模擬式放率結果

也有相似的表現，且釋放率的高值也有隨著時間有所升高。

福島事件理想案例中，以變分法回推射源項可以較準確地計算出釋放源的釋放量，驗證了變分法的合理性及可用性。

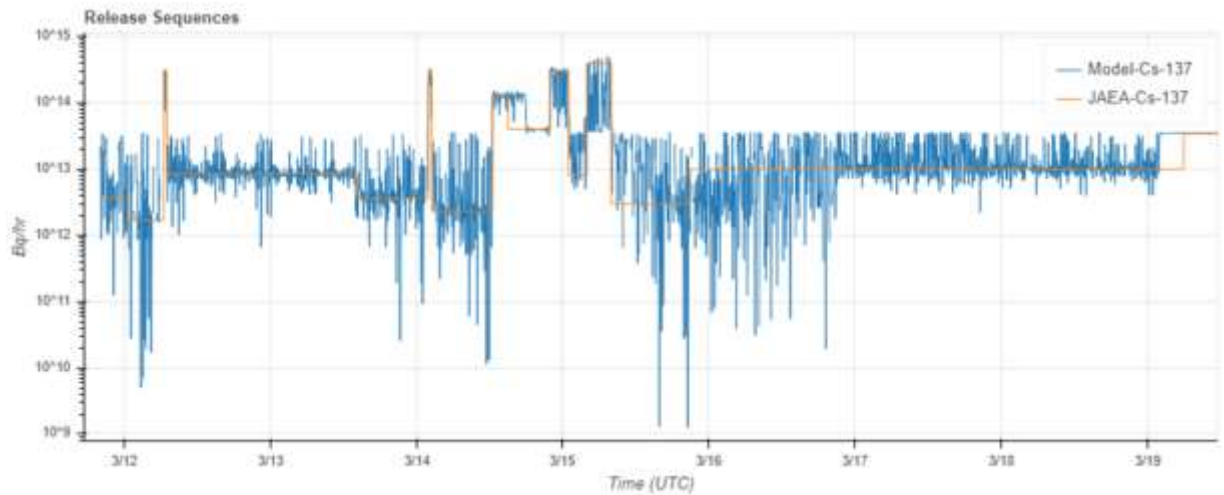


圖 2.6.3 理想案例中變分法回推射源項結果與日本 JAEA 結果比較

另外，去年計畫的本土化射源項回推方法建立，在完成以量測分析資料及高解析度氣象分析資料為主的外釋射源項回推功能後，使緊急應變劑量評估系統可根據即時輻射偵測資料，評估已發生的放射性物質外釋射源項，並根據劑量評估模擬預測未來影響趨勢，且系統中加入的台灣區域即時輻射偵測資料傳輸部分，使緊急應變劑量評估系統得以於事故發生時，於第一時間進行放射性物質外釋射源項評估及未來影響趨勢預測，在此提供標準作業程序於附件一，敬請參閱。

參、主要發現與結論

一、期中完成查核點工作項目如下：

1. 完成核三廠緊急應變計畫區 250 公尺、緊急應變準備區 500 公尺、60 公里範圍 1 公里及全台範圍 2.5 公里解析度劑量評估系統建置。說明如 2.1.1 節與 2.1.2 節。
2. 完成核電廠假想事故冬春每日案例對於陸地行政區域之影響情況分析。如第 2.2.1 節和 2.2.2 節。
3. 完成氣象分析資料自動化更新機制。說明如第 2.3 章。
4. 完成非傳統氣象觀測資料同化分析技術測試與校驗。說明如第 2.4 章。

二、期末完成查核點工作項目如下：

1. 完成核電廠假想事故夏秋每日案例對於陸地行政區域之影響情況分析。如第 2.2.3 節~2.2.5 節。
2. 完成 A2Cflow 模式調校精進及核三廠氣象資料庫更新，如第 2.5 章。
3. 完成以變分法為基礎之射源項回推技術開發。如第 2.6 章。

肆、參考文獻

1. 曾忠一, 1997: 氣象資料同化, 渤海堂文化公司, 台北市.
2. 林書正, 2012: ASCAT 衛星散射儀反演風場於熱帶氣旋環境下的誤差特徵。中國文化大學, 碩士論文。
3. 張保亮、唐玉霜, 2014: 雙都卜勒雷達風場分析在侵台颱風海面風力估計之研究。
4. Bannai T. Regarding the evaluation of the conditions on reactor cores of Units 1, 2 and 3 related to the accident at Fukushima Dai-ichi nuclear power station. Tokyo Electric Power Co. Inc. Tokyo, Nuclear and Industrial Safety Agency, 2011.
5. Barnston, A. G., M. H. Glantz, and Y. He, 1999: Predictive skill of statistical and dynamical climate models in SST forecasts during the 1997/98 El Niño episode and the 1998 La Niña onset. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80, 217–243.
6. Bentamy, A., D. Cooize-Fillon, Croize-Fillon, and C. Perigaud, 2008: Characterization of ASCAT measurements based on buoy and QuikSCAT wind vector observations. *Ocean Sci.*, 4, 265-274.
7. Bürger G. 1996. Expanded downscaling for generating local weather scenarios. *Climate Research* 7: 111–128.
8. Beljaars, A. C. M., 1995: The parametrization of surface fluxes in large-scale models under free convection. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 121, 255–270.
9. Blackadar, A. K., 1976: Modeling the nocturnal boundary layer. Preprints, Third Symp. on Atmospheric Turbulence, Diffusion, and Air Quality, Raleigh, NC, Amer. Meteor. Soc., 46–49.

10. Blackadar, A. K., 1979: High-resolution models of the planetary boundary layer. *Advances in Environmental Science and Engineering*, J. R. Pfafflin and E. N. Ziegler, Eds., Gordon and Breach Science Publishers, 50–85.
11. Businger, J. A., Wyngaard, J. C., Izumi, Y., and Bradley, E. E., 1971: Flux-Profile Relationships, *J. Atmos. Sci.*, 28, 181-189.
12. Businger, J. A., 1973: A note on free convection. *Boundary-Layer Meteorol.*, 4, 323-326
13. Bannai T. Regarding the evaluation of the conditions on reactor cores of Units 1, 2 and 3 related to the accident at Fukushima Dai-ichi nuclear power station. Tokyo Electric Power Co. Inc. Tokyo, Nuclear and Industrial Safety Agency, 2011.
14. Carlson, T. N., and F. E. Boland, 1978: Analysis of urban-rural canopy using a surface heat flux/temperature model. *J. Appl. Meteor.*, 17, 998–1013.
15. Cavazos T, Hewitson BC. 2005. Performance of NCEP-NCAR reanalysis variables in statistical downscaling of daily precipitation. *Climate Research* 28: 95–107.
16. Cervone G., and Franzese P., Source Term Estimation for the 2011 Fukushima Nuclear Accident, Workshop: Methods for Estimating Radiation Release from Fukushima Daiichi, NCAR Boulder, CO, February 2012.
17. Chino M et al. Preliminary estimation of release amounts of ¹³¹I and ¹³⁷Cs accidentally discharged from the Fukushima Daiichi nuclear power plant into the atmosphere. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 2011, 48(7):1129–1134.
18. Chou, K.-H.; Wu, C.-C.; Lin, S.-Z. Assessment of the ASCAT wind error characteristics by global dropwindsonde observations. *J. Geophys. Res.* 2013, 118, 9011–9021.

19. Chu, J.L., et al., Seasonal forecast for local precipitation over northern Taiwan using statistical downscaling. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 2008. 113(D12)
20. Collins, W. G., and L. S. Gandin, 1990: Comprehensive quality control at the National Meteorological Center. *Mon. Wea. Rev.*, 118, 2752– 2767.
21. Deardoff, J. W., 1968: Dependence if air-sea transfer coefficients on bulk stability. *J.Geophys. Res.*, 73, 2549-2557
22. Dyer, A. J., 1967: The turbulent transport of heat and water vapor in unstable atmosphere. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 93, 501–508., 1974: A review of flux-profile relationships. *Bound.-Layer Meteor.*, 7, 363–372
23. Díez E, Primo C, García-Moya JA, Gutiérrez JM, Orfila B. 2005. Statistical and dynamical downscaling of precipitation over Spain from DEMETER seasonal forecasts. *Tellus Series A-Dynamic Meteorology and Oceanography* 57(3): 409–423.
24. F. Bruijn, and H.-L. Pan, 1990: A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting. *Mon.Wea. Rev.*, 118, 1561-1575.
25. Fowler, H.J., S. Blenkinsop, and C. Tebaldi, 2007 Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. *International Journal of Climatology*, 27(12): 1547-1578.
26. Frei C, Christensen JH, D´equ´e M, Jacob D, Jones RG, Vidale PL.2003. Daily precipitation statistics in regional climate models: evaluation and intercomparison for the European Alps. *Journal of Geophysical Research* 108(D3): 4124, DOI: 10.1029/2002JD002287.

27. Giorgi F, Hewitson BC. 2001. Regional climate information – evaluation and projections. In *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. C, Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, van der Linden PJ, Dia X, Maskell K, Johnson CA (eds). Cambridge University Press: Cambridge.
28. Grotch SL, MacCracken MC. 1991. The use of general circulation models to predict regional climatic change. *Journal of Climate* 4:286–303.
29. Grell, G. A., J. Dudhia, and D. R. Stauffer, 1994: A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). NCAR Tech. Note NCAR TN-398-1-STR, 117 pp.
30. Godfrey, J. S. and Beljaars, A. C. M., 1991: On the turbulent fluxes of buoyancy, heat and moisture at the air-sea interface at low wind speeds. *J. Geophys. Res.*, 96, 22043-22048
31. Haylock, M.R., et al., Downscaling heavy precipitation over the United Kingdom: A comparison of dynamical and statistical methods and their future scenarios. *International Journal of Climatology*, 2006. 26(10): 1397-1415.
32. Holtslag, A. A. M., and B. A. Boville, 1993: Local versus nonlocal boundary-layer diffusion in a global climate model. *J. Climate*, 6, 1825–1842.
33. Holtslag, A. A. M., F. Bruijn, and H.-L. Pan, 1990: A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting. *Mon. Wea. Rev.*, 118, 1561-1575.
34. Hong, S.-Y., and H.-L. Pan, 1996: Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a Medium-Range Forecast model. *Mon. Wea. Rev.*, 124, 2322–2339.
35. Huth R. 1999. Statistical downscaling in central Europe:

- evaluation of methods and potential predictors. *Climate Research* 13: 91–101.
36. Kang, H., et al., Multimodel output statistical downscaling prediction of precipitation in the Philippines and Thailand. *Geophysical Research Letters*, 2007. 34(15)
 37. Katata, G, Ota, M, Terada, H, Chino, M and Nagai, H. 2012. Atmospheric discharge and dispersion of radionuclides during the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. Part I: source term estimation and local-scale atmospheric dispersion in early phase of the accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, 109: 103–113.
 38. Local Analysis and Prediction System -README (LAPS) <http://laps.noaa.gov/>
 39. Lorenz, E. N., 1960: Energy and numerical weather prediction. *Tellus*, 12, 364–373.
 40. Louis, J. F., 1979: A parametric model of vertical eddy fluxes in the atmosphere. *Bound.-Layer Meteor.*, 17, 187–202
 41. Murphy J. 2000. Predictions of climate change over Europe using statistical and dynamical downscaling techniques. *International Journal of Climatology* 20: 489–501.
 42. Mahrt, L., and J. Sun, 1995: The subgrid velocity scale in the bulk aerodynamic relationship for spatially averaged scalar fluxes. *Mon. Wea. Rev.*, 123, 3032–3041.
 43. Monin, A. S. and Obukhov, A. M., 1954: Osnovnye zakonomernosti turbulentnogo peremesivanijav prizemnom sloe atmosfery. (Dimensionless Characteristics of Turbulence in the Surface Layer of the Atmosphere. In Russian. *Trudy Geofiz. Inst. Akad. Nauk. SSSR*. 24, 163-187.
 44. O. Saunier, A. Mathieu, D. Didier, M. Tombette, D. Quelo,

- V.Winiark, and M. Bocquet.(2013) An inverse modeling method to access the source term of the Fukushima Nuclear Power Plant accident using gamma dose rate observations. *Atmos. Chem. Phys.*, **13** 11403-11421.
45. Prudhomme C, Reynard N, Crooks S. 2002. Downscaling of global climate models for flood frequency analysis: Where are we now? *Hydrological Processes* 16: 1137–1150.
 46. Roland R. Draxler, “descriptionof thehysplit_4 modelingsystem,“Air Resources Laboratory,Silver Spring, Maryland,Dec.1997.
 47. Sasaki YK., 1969: Proposed inclusion of time-variation terms, observational and theoretical in numerical variational objective analysis. *J Meteor Soc Japan* 47:115–203
 48. Sasaki YK., 1970a: Some basic formalisms in numerical variational analysis. *Mon Wea Rev* 98:857–883
 49. Sasaki YK., 1970b: Numerical variational analysis formulated under the constraints as determined by long-wave equations as a low-pass filter. *Mon Wea Rev* 98:884–898
 50. Sasaki YK., 1970c: Numerical variational analysis with weak constraint and application to the surface analysis of severe storm gust. *Mon Wea Rev* 98:899–910
 51. Song-You Hong, Yign Noh, and Jimmy Dudhia, 2006: A New Vertical Diffusion Package with an Explicit Treatment of Entrainment Processes. *Mon. Wea. Rev.*, 134, 2318–2341.
 52. Steinacker, R., M. Ratheiser, B. Bica, B. Chimani, M. Dorninger, W. Gepp, C. Lotteraner, S. Schneider and S. Tschannett, 2006: A mesoscale data analysis and downscaling method over complex terrain, *Monthly Weather Review*, 134, 2758-2771; doi: 10.1175/MWR 3196.1.

53. Syu, H.H., J.D. Neelin, and D. Gutzler, Seasonal and Interannual Variability in a Hybrid Coupled GCM. *Journal of Climate*, 1995. 8(9): 2121-2143.
54. TEPCO, Tokyo Electric Power Company, 2011. Additional Monitoring Data at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11052811-e.html> (accessed 18.11.11.).
55. Terada, H., G. Katata, M. Chino, and H. Nagai (2012), Atmospheric discharge and dispersion of radionuclides during the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident. Part II: Verification of the source term and analysis of regional-scale atmospheric dispersion, *J. Environ. Radioact.*, 112, 141–154
56. Timbal, B., A. Dufour, and B. McAvaney, 2003. An estimate of future climate change for western France using a statistical downscaling technique. *Climate Dynamics*, 20(7-8):807-823.
57. Troen, I., and L. Mahrt, 1986: A simple model of the atmospheric boundary layer; sensitivity to surface evaporation. *Bound.-Layer Meteor.*, 37, 129–148.
58. Verspeek J A, Stoffelen A, Portabella M, et al. Validation and calibration of ASCAT using CMOD5.n[J]. *Geoscience and Remote Sensing*, 2010, 48(1): 386-395.
59. Verspeek J A, Portabella M, Stoffelen, et al. Calibration and Validation of ASCAT Winds[R]. OSI SAF Technical Report SAF/ OSI/ KNMI/ TEC/ TN/163, 2011.
60. Verspeek J A, Stoffelen A, Portabella M, et al. Validation and calibration of ASCAT using CMOD5.n[J]. *Geoscience and Remote Sensing*, 2010, 48(1): 386-395.
61. Von Storch, H., E. Zorita and U. Cubasch, 1993: Downscaling of global climate change estimates to regional scales: An

- application to Iberian rainfall in wintertime. *J. Climate* 6: 1161-1171
62. Wilby RL, Charles SP, Zorita E, Timbal B, Whetton P, Mearns LO (2004) Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods: supporting material of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Task Group on Data and Scenario Support for Impacts and Climate Analysis.
 63. Wilby RL, Wigley TML. 1997. Downscaling general circulation model output: a review of methods and limitations. *Physical Geography* 21: 530–548.
 64. Wilby RL, Conway D, Jones PD. 2002a. Prospects for downscaling seasonal precipitation variability using conditioned weather generator parameters. *Hydrological Processes* 16: 1215–1234.
 65. Wood AW, Leung LR, Sridhar V, Lettenmaier DP. 2004. Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs. *Climatic Change* 62: 189–216.
 66. Xie, Y., S. Koch, J. McGinley, S. Albers, P. E. Bieringer, M. Wolfson, and M. Chan, 2011: A space–time multiscale analysis system: A sequential variational analysis approach. *Mon. Wea. Rev.*, 139, 1224–1240.
 67. Xue Y, Vasic R, Janjic Z, Mesinger F, Mitchell KE, 2007: Assessment of dynamic downscaling of the continental US regional climate using the Eta/SSiB regional climate model. *J Clim* 20(16):4172–4193
 68. Yamada, T. and S. Bunker, 1988: Development of a Nest Grid, Second Moment Turbulence Closure Model and Application to the 1982 ASCOT Brush Creek Data Simulation. *J. Appl.*

Meteor.,27, 562-578.

69. Y. -L. Lin, N. -H. Lin, R. P. Weglarz. (1992) Numerical modeling studies of lee mesolows, mesovortices and mesocyclones with application to the formation of Taiwan mesolows. *Meteorology and Atmospheric Physics* 49:1-4, 43-67.
70. Zhang, D. L., and R. A. Anthes, 1982: A high-resolution model of the planetary boundary layer—Sensitivity tests and comparisons with SESAME-79 data. *J. Appl. Meteor.*, 21, 1594–1609.