

核子事故對全臺劑量評估與事故外釋射源項回推技術 發展

期末報告

委託單位：原子能委員會

受委單位：核能研究所 保健物理組

中華民國 106 年 12 月 31 日

目 錄

1. 計畫目的	1
2. 模式簡介	13
2.1 降尺度系統 (CWB/MDDS).....	13
2.2 A2C (Atmosphere to Computational fluid dynamic) 數值模式介紹.....	21
2.3 劑量評估系統說明	25
2.4 射源項評估與回推的方法	29
2.5 氣象觀測資料同化分析方法	33
3. 核二廠多層巢狀網格之降尺度氣象預報系統開發與建置	43
3.1 核二廠區 3 層巢狀網格降尺度氣象預報系統開發與建置	43
3.2 核二廠區 3 層巢狀網格降尺度氣象預報系統案例測試	44
3.3 核二廠 4 層巢狀網格之劑量評估系統建置	52
3.4 核二廠每日假想事故評估	59
4. 核電廠假想事故案例分析	67
4.1 夏季個案討論	69
4.2 秋季個案討論	83
5. 氣象資料庫類型劑量評估系統之核二廠氣象資料庫更新	96
6. 開發並建立氣象觀測資料同化分析技術	102
6.1 地面觀測資料對氣象資料同化分析	102
6.2 高空觀測資料品質控制前置處理模組、高空資料引入及同化模組開發.....	112
7. 利用本土化的射源項回推作業程序，重建日本福島事故射源項推估	

7.1 射源項回推方法	118
7.2 射源項回推案例測試與方法驗證	121
7.3 日本福島事故射源項重建	128
7.4 台灣區域即時輻射偵測資料傳輸系統建置	137
8. 核二廠嚴重事故外釋射源項資料庫更新	141
9. 辦理系統操作與伺服器端例行運轉之維護訓練	146
9.1 系統操作訓練課程	146
9.2 劑量評估系統維運	147
9.3 劑量評估系統之系統文件更新	149
9.4 國際核子試爆擴散模擬	150
9.4.1 疑似俄羅斯核試爆模擬評估	150
9.4.2 北韓核試爆模擬評估	152
10. 結論與說明	154
10.1 結論.....	154
10.2 總結.....	157
11. 參考文獻	158

圖目錄

圖 1-1 劑量評估系統發展歷程.....	2
圖 1-2 第一代三維緊急應變劑量評估系統介面.....	2
圖 1-3 即時化氣象預報三維劑量評估系統.....	4
圖 1-4 可減免劑量之劑量評估系統介面.....	5
圖 1-5 福島事故後劑量評估系統資料視覺化提升.....	6
圖 1-6 劑量評估系統 2016 年版介面.....	7
圖 1-7 核三廠三維劑量評估結果顯示.....	7
圖 1-8 劑量評估結果輸出 kml 檔案功能建立及結果展示	8
圖 2-1 CWB/WRF 不同解析度所包含的範圍及 MDDS 高解析度氣象資 訊之範圍。紅色方框為 CWB/WRF，藍色方框為 MDDS 2.5 公里解析 度範圍.....	14
圖 2-2 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	20
圖 2-3 福島事故觀測資料點與劑量模擬計算結果.....	30
圖 3-1 核二廠區 MDDS 3 層巢狀網格區範圍圖	44
圖 3-2 2017 年 4 月 1 號地面天氣圖.....	45
圖 3-3 MDDS 核二廠第一層巢狀網格，風場圖	46
圖 3-4 MDDS 核二廠第二層巢狀網格，風場圖	46
圖 3-5 MDDS 核二廠第三層巢狀網格，風場圖	47
圖 3-6 2017/04/01 氣象局自動氣象站風場圖.....	47
圖 3-7 2017/04/01 氣象局局屬測站及機場測站風場圖	48

圖 3-8 MDDS 核二廠第一層巢狀網格，壓力擾動場	49
圖 3-9 MDDS 核二廠第二層巢狀網格，壓力擾動場	49
圖 3-10 MDDS 核二廠第三層巢狀網格，壓力擾動場	50
圖 3-11 MDDS 核二廠第一層巢狀網格，溫度擾動場	50
圖 3-12 MDDS 核二廠第二層巢狀網格，溫度擾動場	51
圖 3-13 MDDS 核二廠第三層巢狀網格，溫度擾動場	51
圖 3-14 系統登入畫面	52
圖 3-15 新增個案流程	53
圖 3-16 輸入個案流程案例名稱	53
圖 3-17 電廠位置選擇	54
圖 3-18 氣象模式挑選	55
圖 3-19 外釋量設定功能切換	55
圖 3-20 「快速」外釋量設定	56
圖 3-21 「進階」外釋量設定	57
圖 3-22 啟動作業問題排除提示	58
圖 3-23 圖形產品	58
圖 3-24 核二廠 4 層巢狀網格之劑量評估系統結果，圖為 2017/06/14 Cs-137（左）以及 I-131（右）的假想案例模擬，預報 24 小時後 (2017/06/15) 的有效劑量率分布。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	62
圖 3-25 核二廠 4 層巢狀網格之劑量評估系統結果，圖為 2017/06/14 Cs-137（左）以及 I-131（右）的假想案例模擬，預報 24 小時後 (2017/06/15) 的沉降量活度濃度分布。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	64
圖 3-26 核二廠 4 層巢狀網格之劑量評估系統結果，圖為 2017/06/14	

Cs-137 (左) 以及 I-131 (右) 的假想案例模擬，預報 24 小時後 (2017/06/15) 的甲狀腺等價劑量分布。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	66
圖 4-1 假想事故每日模擬作業個案討論流程圖	68
圖 4-2 中央氣象局地面天氣圖，時間為 2017 年 8 月 11 日 12UTC...	70
圖 4-3 2017/08/11 12UTC 個案風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站 風場.....	70
圖 4-4 2017/08/11 12UTC 個案台北宜蘭地區風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場	71
圖 4-5 2017/08/11 12UTC 個案花蓮地區風場比較 (a) NCEP GFS 250 公 尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀 氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場	72
圖 4-6 2017/08/11 12UTC 個案台東地區風場比較 (a) NCEP GFS 250 公 尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀 氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場	73
圖 4-7 2017/08/11 12UTC 個案恆春墾丁地區風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場	74
圖 4-8 2017/08/11 12UTC 個案高雄美濃地區風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場	75
圖 4-9 2017/08/11 12UTC 個案南投地區風場比較 (a) NCEP GFS 250 公 尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀	

氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場	76
圖 4-10 2017/08/11 12UTC 個案新竹地區風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場	77
圖 4-11 2017/08/11 12UTC 個案，色階為追隨地勢座標下水平之輻合輻散 (a) NCEP GFS 高度 500 公尺 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里之高度 500 公尺	78
圖 4-12 2017/08/11 核一廠 Cs-137 假想事故之劑量評估系統模擬，水平解析度為 0.25 公里沉降量的模擬結果，時間解析度為 6 小時，呈現沉降量的變化。單位為 Bq/m^2	79
圖 4-13 2017/08/11 核一廠 Cs-137 假想事故之劑量評估系統模擬，水平解析度為 0.5 公里沉降量的模擬結果，時間解析度為 6 小時，呈現沉降量的變化。單位為 Bq/m^2	80
圖 4-14 2017/08/11 核一廠 Cs-137 假想事故之劑量評估系統模擬，水平解析度為 1 公里沉降量的模擬結果，時間解析度為 6 小時，呈現沉降量的變化。單位為 Bq/m^2	81
圖 4-15 2017/08/11 核一廠 Cs-137 假想事故之劑量評估系統模擬，水平解析度為 2.5 公里沉降量的模擬結果，時間解析度為 6 小時，呈現沉降量的變化。單位為 Bq/m^2	82
圖 4-16 中央氣象局地面天氣圖，時間為 2017 年 10 月 13 日 06UTC	83
圖 4-17 2017/10/13 06UTC 個案風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場	84
圖 4-18 2017/10/13 06UTC 個案台北宜蘭地區風場比較 (a) NCEP	

GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場.....	84
圖 4-19 2017/10/13 06UTC 個案花蓮地區風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場	85
圖 4-20 2017/10/13 06UTC 個案台東地區風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場	86
圖 4-21 2017/10/13 06UTC 個案恆春墾丁地區風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場	87
圖 4-22 2017/10/13 06UTC 個案高雄美濃地區風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場	88
圖 4-23 2017/10/13 06UTC 個案南投地區風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場	89
圖 4-24 2017/10/13 06UTC 個案新竹地區風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場	90
圖 4-25 2017/10/13 06UTC 個案，色階為追隨地勢座標下水平之輻合輻散 (a) NCEP GFS 高度 500 公尺 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里之高度 500 公尺.....	91
圖 4-26 2017/10/13 核一廠 Cs-137 假想事故之劑量評估系統模擬，水平解析度為 0.25 公里沉降量的模擬結果，時間解析度為 6 小時，呈	

現沉降量的變化。單位為 Bq/m^2	92
圖 4-27 2017/10/13 核一廠 Cs-137 假想事故之劑量評估系統模擬，水平 解析度為 0.5 公里沉降量的模擬結果，時間解析度為 6 小時，呈現沉 降量的變化。單位為 Bq/m^2	93
圖 4-28 2017/10/13 核一廠 Cs-137 假想事故之劑量評估系統模擬，水平 解析度為 1 公里沉降量的模擬結果，時間解析度為 6 小時，呈現沉 降量的變化。單位為 Bq/m^2	94
圖 4-29 2017/10/13 核一廠 Cs-137 假想事故之劑量評估系統模擬，水平 解析度為 2.5 公里沉降量的模擬結果，時間解析度為 6 小時，呈現沉 降量的變化。單位為 Bq/m^2	95
圖 5-1 A2Cflow 調校後之模擬（20 公尺高）風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 20LST，中心位置為核二廠（第 1 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 $^\circ\text{C}$	98
圖 5-2 A2Cflow 調校後之模擬（20 公尺高）風場，模擬日期太陽日為 第 15 日，模擬初始時間為 20LST，中心位置為核二廠（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 $^\circ\text{C}$	98
圖 5-3 A2Cflow 調校後之模擬（20 公尺高）風場，模擬日期太陽日為 第 15 日，模擬初始時間為 20LST，中心位置為核二廠（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 $^\circ\text{C}$	99
圖 5-4 A2Cflow 調校後之模擬（20 公尺高）風場，模擬日期太陽日為 第 15 日，模擬初始時間為 20LST，中心位置為核二廠（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 $^{\circ}\text{C}$	99
圖 5-5 A2Cflow 調校後之模擬（20 公尺高）風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 20LST，中心位置為核二廠（第 1 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 $^{\circ}\text{C}$	100
圖 5-6 A2Cflow 調校後之模擬（20 公尺高）風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 20LST，中心位置為核二廠（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 $^{\circ}\text{C}$	100
圖 5-7 A2Cflow 調校後之模擬（20 公尺高）風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 20LST，中心位置為核二廠（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 $^{\circ}\text{C}$	101
圖 5-8 A2Cflow 調校後之模擬（20 公尺高）風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 20LST，中心位置為核二廠（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 $^{\circ}\text{C}$	101
圖 6-1 2017 年 10 月 13 號 06UTC 地面天氣圖，台灣受到冷高壓出海影響為東北風.....	104
圖 6-2 2017/10/13 06Z (a) meso 氣象局人工氣象站(b) metar 機場測站(c) newshp 氣象局自動氣象站	104
圖 6-3 2017/10/13 06Z (a) NCEP/GFS 初始輸入 MDAS 之氣象場 (b)經 MDDS 降尺度至 2.5 公里解析度後 (c) 經 MDAS 降尺度至 2.5 公里解析度後.....	106
圖 6-4 2017/10/13 06Z (a) 台北地區 MDDS 降尺度後風場 (b) 台北地	

區 MDAS 降尺度後之風場，可看到資料同化後台北盆地風場較 MDDS 接近觀測資料（風向更偏向東風）	106
圖 6-5 2017/10/13 06Z (a) 台中地區 MDDS 降尺度後風場 (b) 台中地區 MDAS 降尺度後之風場，可看到資料同化後風場於彰化八卦山較明顯往山區符合，較 MDDS 更接近於觀測資料.....	107
圖 6-6 2017 年 7 月 29 號 00UTC 地面天氣圖，台灣受到中度颱風諾盧外圍環流的影響	108
圖 6-7 2017/07/29 00Z (a) meso 氣象局人工氣象站(b) metar 機場測站(c) newshp 氣象局自動氣象站	108
圖 6-8 2017/07/29 00Z (a) NCEP/GFS 初始輸入 MDAS 之氣象場 (b)經 MDDS 降尺度至 2.5 公里解析度後 (c) 經 MDAS 降尺度至 2.5 公里解析度後.....	109
圖 6-9 2017/07/29 00Z 台北地區 (a) MDDS 降尺度後風場 (b) MDAS 降尺度後之風場	110
圖 6-10 2017/07/29 00Z 台北地區 (a) meso 氣象局人工氣象站 (b) metar 機場測站 (c) newshp 氣象局自動氣象站	110
圖 6-11 2017/07/29 00Z 台南地區 (a) MDDS 降尺度後風場 (b) MDAS 降尺度後之風場	111
圖 6-12 2017/07/29 00Z 台南地區 (a) meso 氣象局人工氣象站 (b) metar 機場測站 (c) newshp 氣象局自動氣象站	111
圖 6-13 高空資料引入 MDAS 之資料來源及可用氣象變數.....	114
圖 6-14 高空資料品質控制結果示範圖。藍色風標表示近地面至 700 hPa 風場，黑色表示 700 至 400 hPa，綠色表示 400 至 100 hPa.....	116
圖 6-15 高空觀測資料經品質控制後探空資料類別之輸出格式.....	116
圖 6-16 高空觀測資料經品質控制後衛星資料類別之輸出格式.....	116

圖 7-1 外釋射源項回推系統作業程序.....	119
圖 7-2 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，黑線為 Katata et al.的回推結果，紅線為 Terada et al.修正後的結果.....	122
圖 7-3 理想案例 Cs-137 釋放率回推結果時序圖	125
圖 7-4 一般案例 Cs-137 釋放率回推結果時序圖	126
圖 7-5 一般案例 Unit Run 3 月 15 日 03 時至 04 時的煙陣立體位置圖	128
圖 7-6 一般案例單位釋放率模擬 3 月 15 日 03 時至 04 時的煙陣立體 位置圖.....	128
圖 7-7 福島電廠場內輻射偵測點分布位置圖.....	129
圖 7-8 福島電廠內 3 月 11 日至 21 日的輻射偵測值(TEPCO, 2011) 130	
圖 7-9 福島事故射源項回推結果.....	131
圖 7-10 福島電廠 MG 測站劑量率模擬結果	132
圖 7-11 福島電廠 NMB 測站劑量率模擬結果.....	132
圖 7-12 福島電廠 GYM 測站劑量率模擬結果	133
圖 7-13 福島電廠 WG 測站劑量率模擬結果	133
圖 7-14 福島電廠 MP1 測站劑量率模擬結果.....	133
圖 7-15 福島電廠 MP2 測站劑量率模擬結果.....	134
圖 7-16 福島電廠 MP3 測站劑量率模擬結果.....	134
圖 7-17 福島電廠 MP4 測站劑量率模擬結果.....	134
圖 7-18 福島電廠 MP5 測站劑量率模擬結果.....	135
圖 7-19 福島電廠 MP6 測站劑量率模擬結果.....	135
圖 7-20 福島電廠 MP7 測站劑量率模擬結果.....	135
圖 7-21 福島電廠 MP8 測站劑量率模擬結果.....	136

圖 7-22 核研所 SFTP 站台接收即時輻射偵測資料傳輸結果	138
圖 7-23 核一廠劑量評估結果與即時偵測數據整合顯示.....	139
圖 7-24 核二廠劑量評估結果與即時偵測數據整合顯示.....	140
圖 7-25 核三廠劑量評估結果與即時偵測數據整合顯示.....	140
圖 8-1 核一廠嚴重事故外釋射源項選單.....	144
圖 8-2 核二廠嚴重事故外釋射源項選單.....	144
圖 8-3 核三廠嚴重事故外釋射源項選單.....	145
圖 9-1 106.03.24 訓練課程簽到單.....	146
圖 9-2 106.07.05 訓練課程簽到單.....	147
圖 9-3 自訂釋放源位置功能.....	149
圖 9-4 放射性碘 131 有效劑量模擬結果.....	151
圖 9-5 北韓可能核彈攻擊之擴散模擬結果.....	152
圖 9-6 106/09/03 北韓氫彈試爆輻射影響評估	153

表目錄

表 2-1 JAEA 與 NCAR 外釋射源項回推方法比較.....	33
表 5-1 各月份地面平均地面溫度與海水表面溫度.....	97
表 6-1 中央氣象局 FGGE 格式高空資料表格	113
表 7-1 理想案例 Cs-137 釋放率回推結果	124
表 7-2 一般案例 Cs-137 釋放率回推結果	126
表 7-3 一般案例 R11 回推結果	127
表 7-4 福島電廠內輻射偵測點經緯度及代號表.....	130
表 7-5 全國固定式監測站輻射偵測資料示意.....	138
表 7-6 移動式偵測器輻射偵測資料示意.....	138
表 8-1 WHO 報告外釋射源項之核種與活度	143

1. 計畫目的

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，作為諸如核安演習應變演練情節規畫、輻測偵測站佈站、環境取樣點及民眾集結點規畫之參考，讓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歷程如圖 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 1-2。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多寡，提供給緊急應變決策者之重要決策資訊參考。

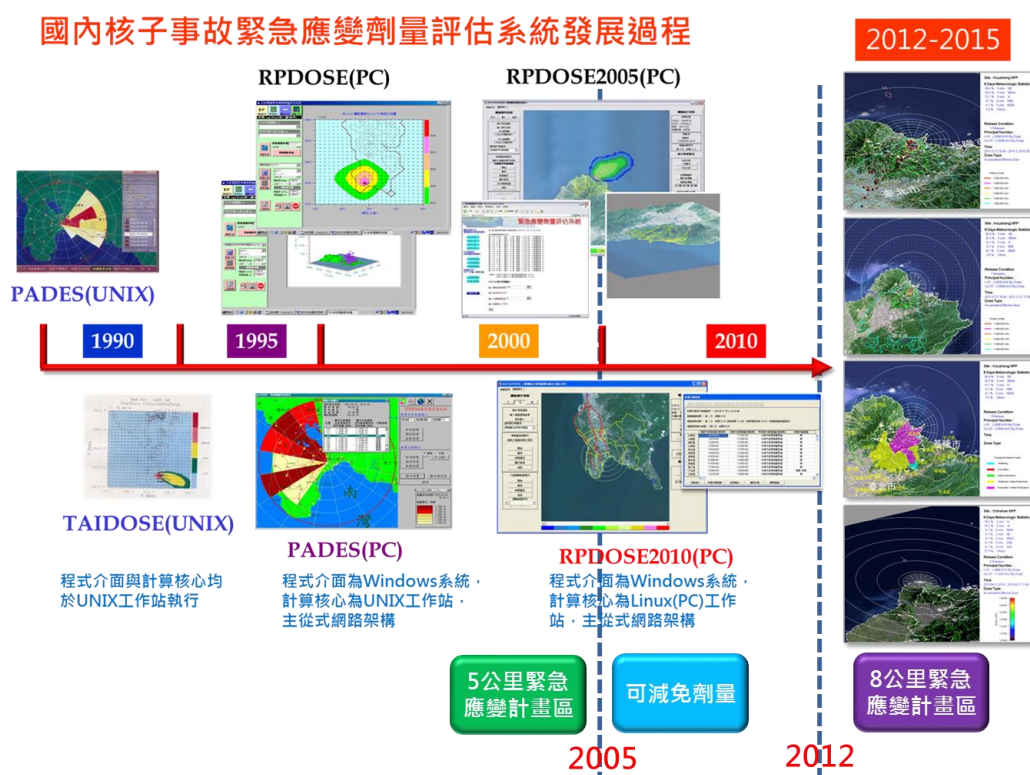


圖 1-1 劑量評估系統發展歷程

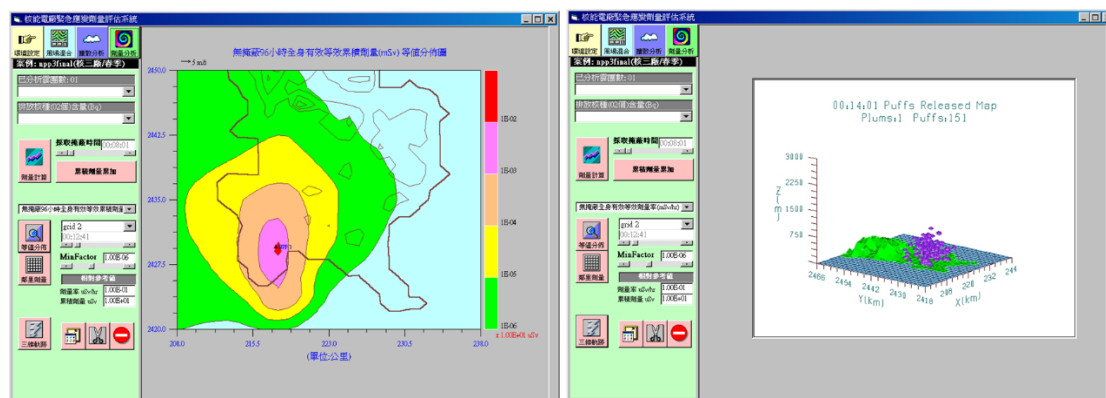


圖 1-2 第一代三維緊急應變劑量評估系統介面

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 1-3。

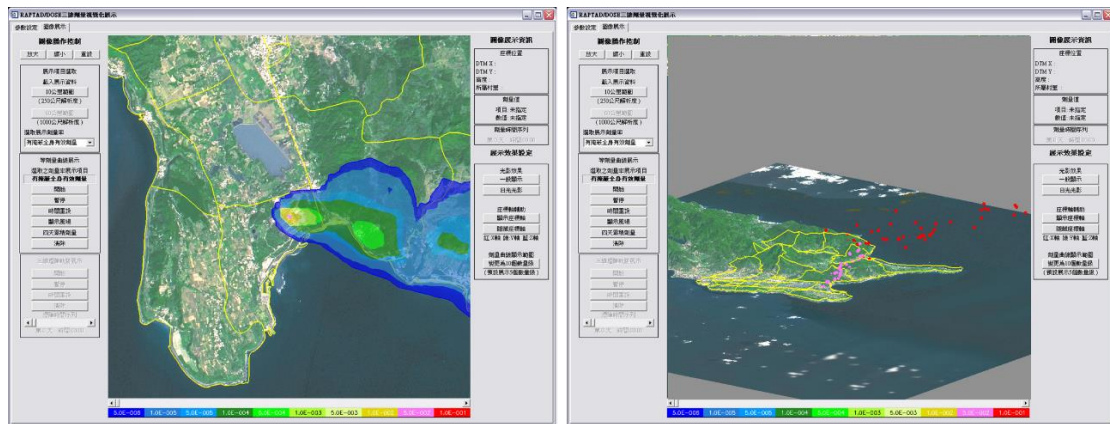


圖 1-3 即時化氣象預報三維劑量評估系統

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 1-4。

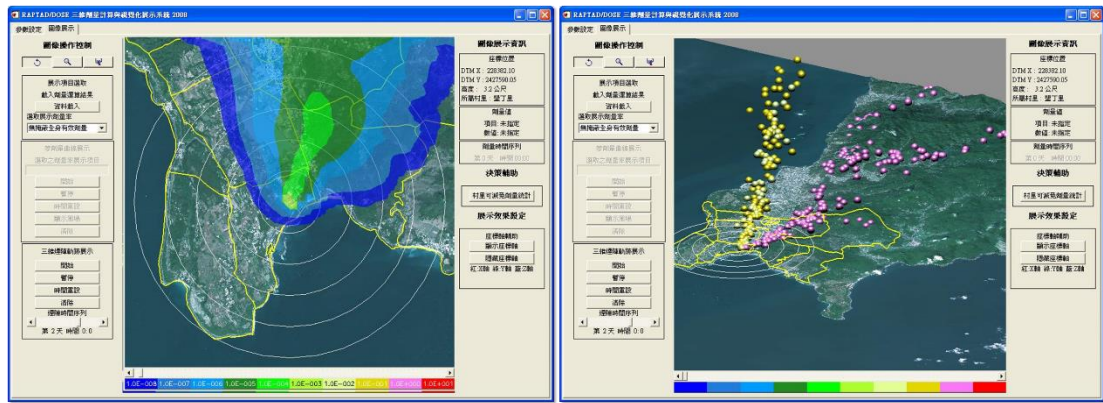


圖 1-4 可減免劑量之劑量評估系統介面

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 1-5。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。

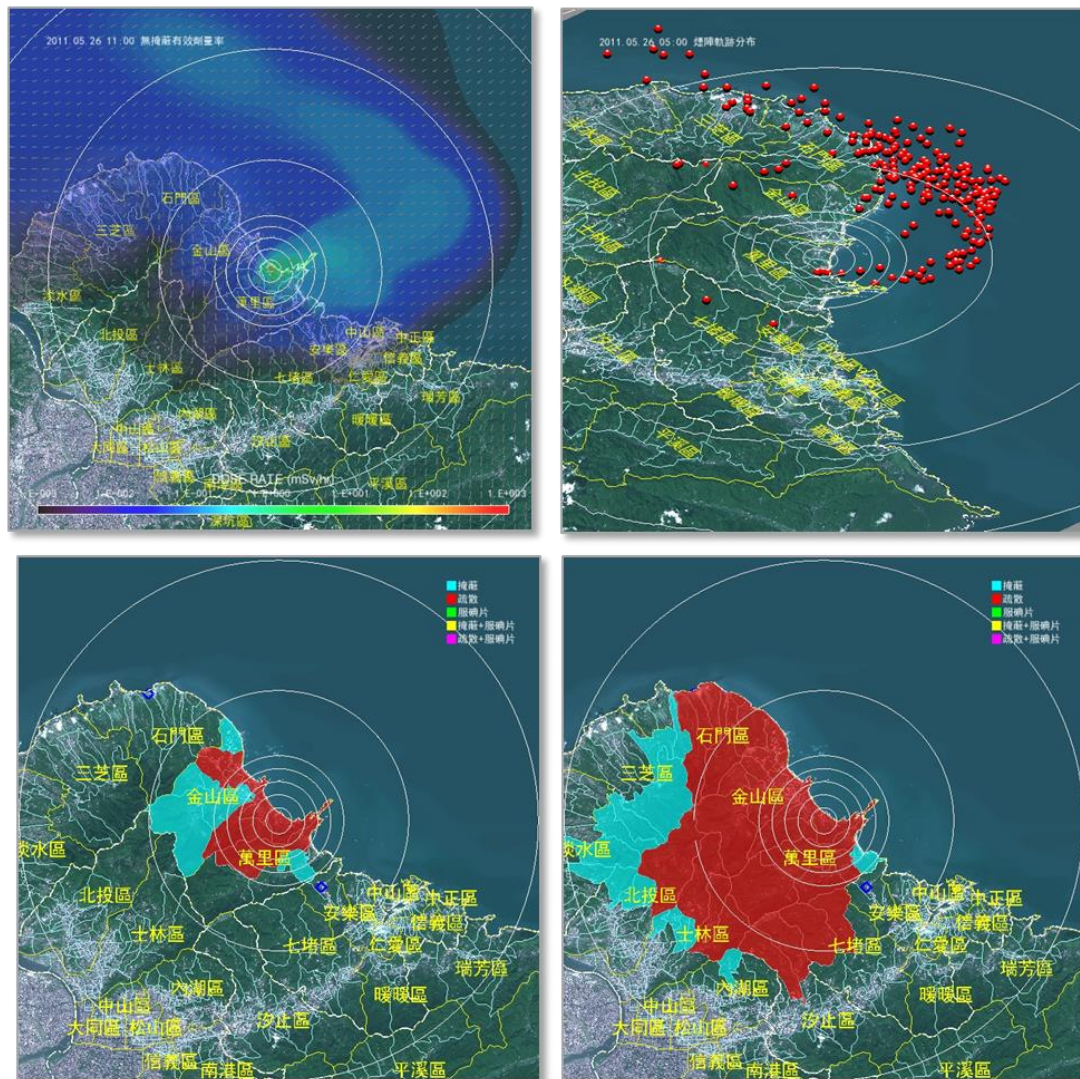


圖 1-5 福島事故後劑量評估系統資料視覺化提升

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 1-6)，與強化劑量評估結果之二維與三維視覺化顯示功能(如圖 1-7)。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 1-8。

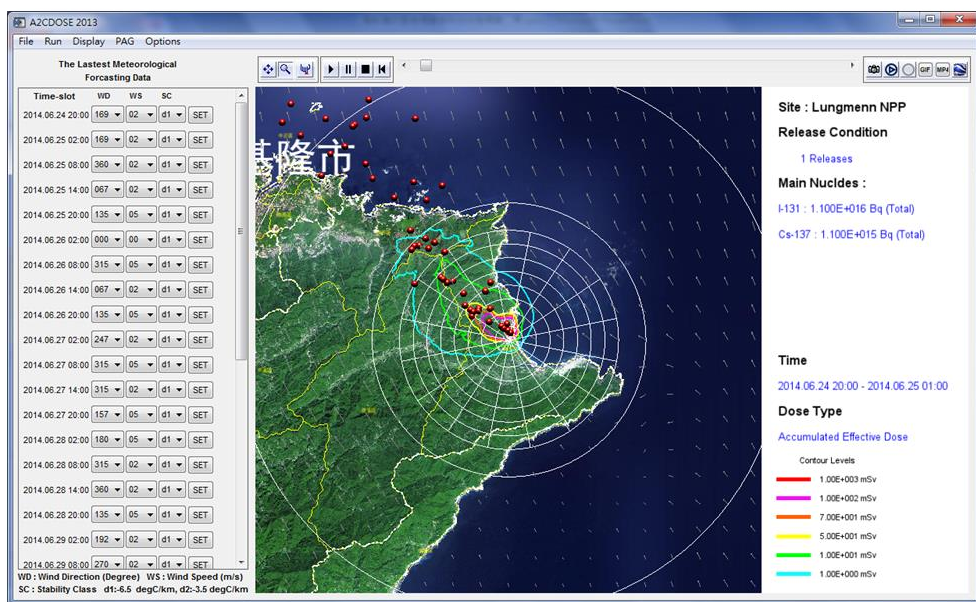


圖 1-6 劑量評估系統 2016 年版介面

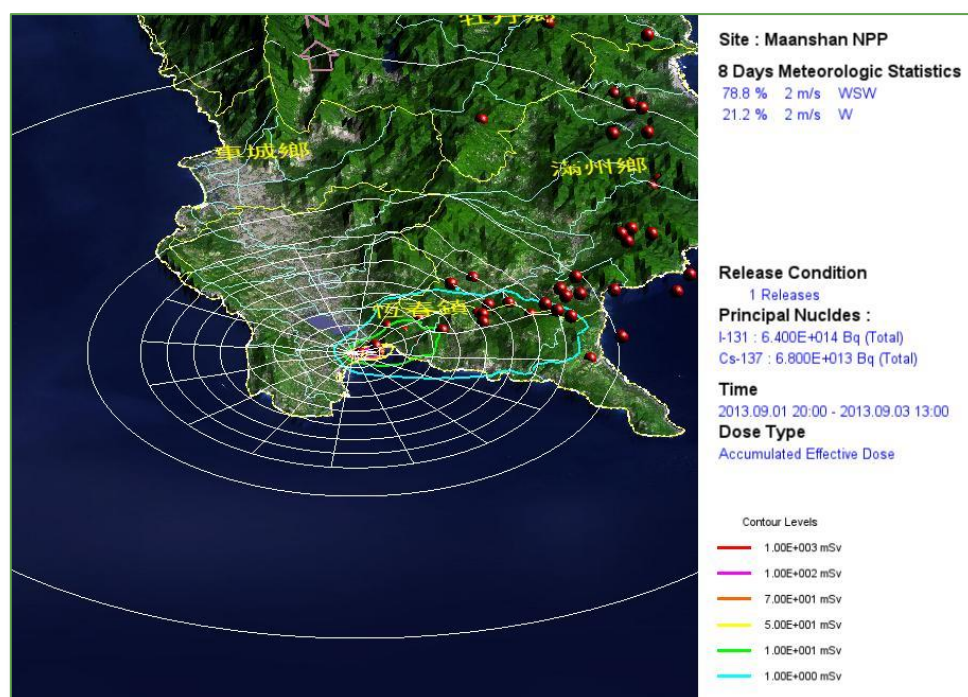


圖 1-7 核三廠三維劑量評估結果顯示

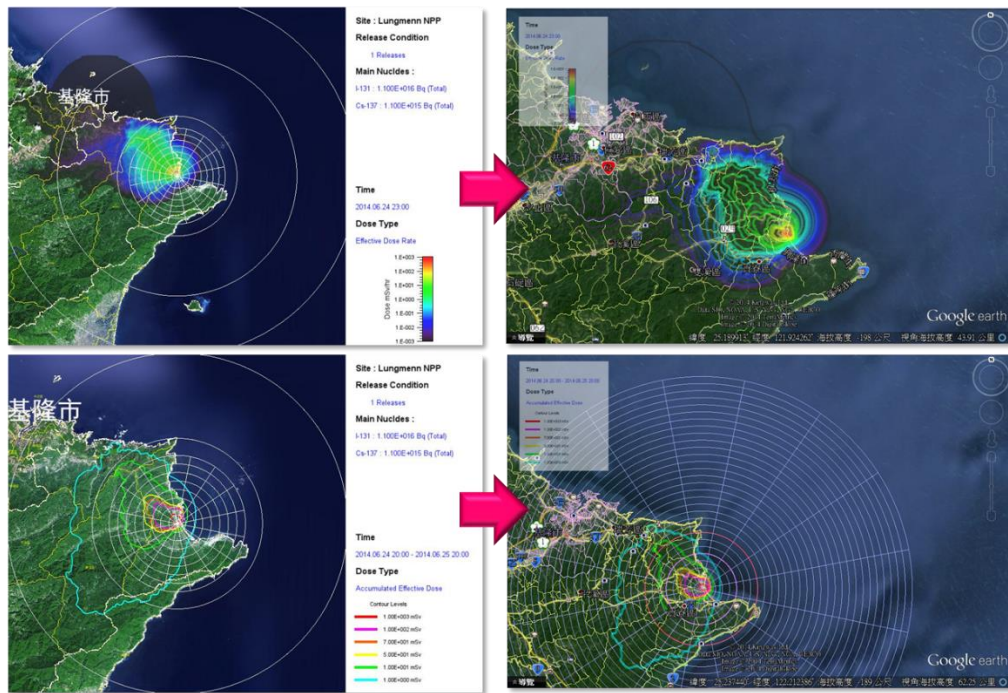


圖 1-8 劑量評估結果輸出 kml 檔案功能建立及結果展示

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。

因此本計畫主要目標為利用 104 年開發之射源項回推功能，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，使得劑量評估系統可根據環境監測結果用以預測未來的劑量影響趨勢；此外，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。同時於本計畫執行期間，亦積極與相關研究機構，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。

本計畫為四年期計畫，規畫工作項目如下：

1. 核子事故劑量評估系統作業運轉維護。
2. 整合境內境外劑量評估系統，簡化系統操作程序，降低維運成本，以具備境內核災對於緊急應變計畫區及全台灣之劑量影響分析能力。
3. 開發並建立氣象觀測資料同化分析技術，使劑量評估系統可同時兼具已發生之輻射影響評估，及預測未來民眾劑量影響趨勢之能力。加速擴散模式運跑效能，提升濕沉降之計算評估能力。
4. 將 104 年開發之射源項回推技術，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。並基於射源項回推方法，建立輻射量測與環境取樣分析之需求規範。
5. 結合事故評估專業，研究事故評估系統評估外釋射源項之各項參數條件，擬定最適化之參數設定，建立各電廠嚴重事故射源項外釋時序與外釋量資料庫。

本期（第二年度）規畫之各工作項目皆如期完成，如下：

1. 完成核二廠區 3 層巢狀網格區（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）降尺度氣象預報系統開發與建置。

2. 完成核二廠 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），以每日提供核二廠假想事故之劑量評估結果。
3. 利用核一、二、三廠與大陸福清電廠假想事故，進行全臺 2.5 公里解析度每日擴散模擬評估作業結果，完成每週選定案例之分析。
4. 利用年度氣象場預報校驗結果，進行氣象資料庫類型劑量評估系統之核二廠氣象資料庫更新。
5. 完成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。
6. 利用本土化的射源項回推作業程序，應用於福島事故地區，其氣象資料由降尺度氣象預報系統應用於日本地區而獲得，輻射塵量測分析資料為日本福島事故實際量測資料，重建日本福島事故射源項推估。
7. 完成核二廠嚴重事故外釋射源項資料庫建立。
8. 辦理系統操作與伺服器端例行運轉之維護訓練。

2. 模式簡介

2.1 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 2-1），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 2-1 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。

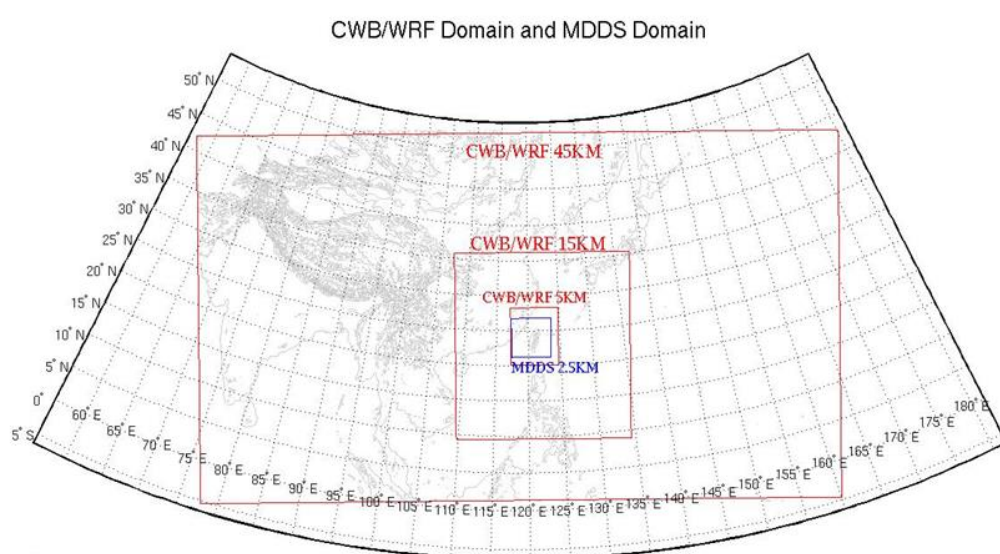


圖 2-1 CWB/WRF 不同解析度所包含的範圍及 MDDS 高解析度氣象資訊之範圍。紅色方框為 CWB/WRF，藍色方框為 MDDS 2.5 公里解析度範圍

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 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。

$$\begin{aligned} 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} + w \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} + w \frac{\partial v}{\partial \eta} \right) + f u \\ 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 w}{\partial x} + v \frac{\partial J_3 w}{\partial y} + w \frac{\partial J_3 w}{\partial \eta} \right) - \left(u \frac{\partial J_1 u}{\partial x} + v \frac{\partial J_1 u}{\partial y} + w \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} + w \frac{\partial J_2 v}{\partial \eta} \right) - \frac{(\kappa-1)g}{\bar{p}} p' - \frac{g}{\bar{\theta}_v} \theta' \\ P_4 &= (1-\kappa) p^{-1} \left(u \frac{\partial p'}{\partial x} + v \frac{\partial p'}{\partial y} + w \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 w - J_1 u - J_2 v) \\ &\quad + \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial \eta} - \frac{u}{J_3} \frac{\partial J_1}{\partial \eta} - \frac{v}{J_3} \frac{\partial J_2}{\partial \eta} + \frac{w}{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} + w \frac{\partial \theta'_v}{\partial \eta} + \frac{1}{J_3} (J_3 w - 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} + w \frac{\partial q'_v}{\partial \eta} + \frac{1}{J_3} (J_3 w - J_1 u - J_2 v) \frac{\partial \bar{q}_v}{\partial \eta} \end{aligned}$$

其中 u 、 v 、 w 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， $p = \bar{p}(z) + p'$ ， $\theta_v = \bar{\theta}_v(z) + \theta'_v$ ， $q_v = \bar{q}_v(z) + q'_v$ ， $R_d = 287 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ 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， $\kappa = 0.287$ 。原各方程中的密度項為減少變數及控制方程的數量，用狀態方程取代。此並可使每個控制方程有較多的不同氣象變數，增加變分求解時之穩定性。

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 2-2）。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。

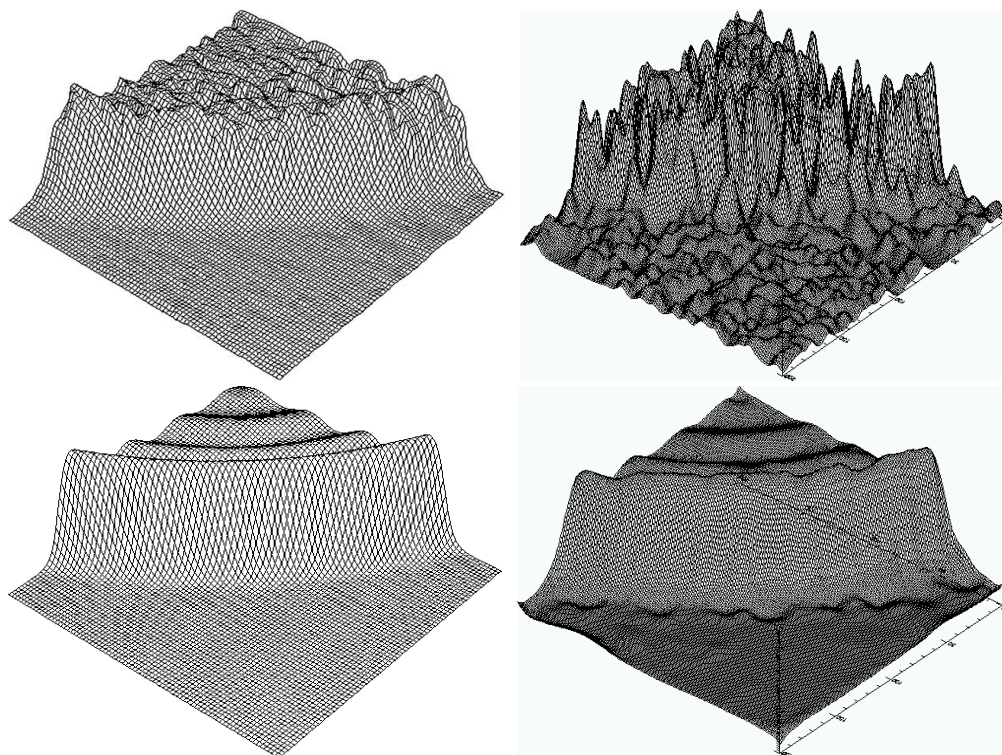


圖 2-2 利用多重尺度之複雜現象的理想化試驗數據進行不同資料同化（或客觀分析）的比較。上圖左為 Barnes 方法、上圖右為現行的 3DVAR 方法、下圖左為理想化試驗數據圖、下圖右為連續變分方法

2.2 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：

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

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：

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

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_l 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：

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

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。

2.3 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
清除比指的是汙染物在水中濃度和汙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 為汙染層的厚度。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 0.5 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。

2.4 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 2-3 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)。

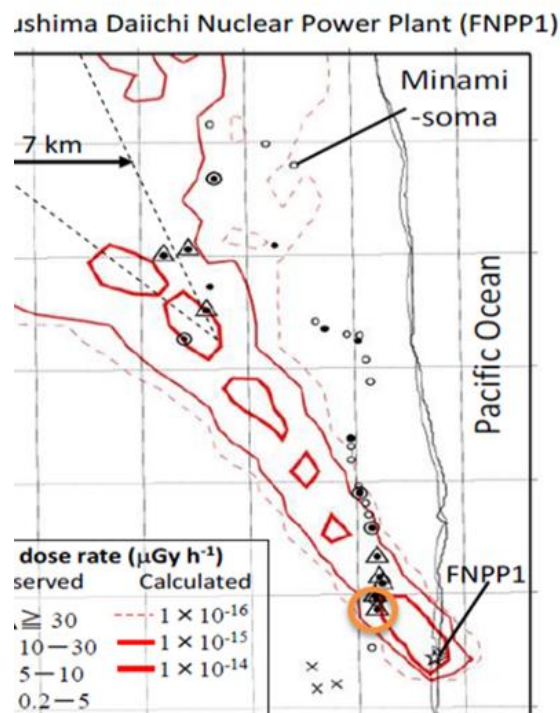


圖 2-3 福島事故觀測資料點與劑量模擬計算結果

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 $Q_n, n=1 \sim N$ ，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 $W = \{\omega_1 \sim \omega_N\}$ 。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 $n=1 \sim N, m=1 \sim M, k=1 \sim K$ ，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 2-1 即為 JAEA 與 NCAR 外釋射源項回推方法比較。

表 2-1 JAEA 與 NCAR 外釋射源項回推方法比較

	JAEA	NCAR
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

2.5 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：(曾忠一，1997)

- (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 Obukhov (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：

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

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

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

$$\frac{z_a}{L} = \frac{Ri_b}{1 - 5Ri_b} \ln \left(\frac{z_a}{z_0} \right) \quad \frac{z_a}{L} \leq 0.5$$

$$\frac{z_a}{L} = \left[1.89 \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) + 44.2 \right] Ri_b^2 + \left[1.18 \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) - 1.37 \right] Ri_b \quad \frac{z_a}{L} > 0.5$$

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

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

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

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。

3. 核二廠多層巢狀網格之降尺度氣象預報系統開發與建置

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，原氣象資料庫類型完全無法適用之問題。

3.1 核二廠區 3 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 公里外的影響評估，三層巢狀網格的設定如下：中心點設定為東經 121.6252，北緯 25.2444，參考緯度為北緯 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 3-1 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，其滿足核二廠半徑

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，其滿足核二廠半徑 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，其滿足核二廠半徑 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 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，40 公尺解析度）。

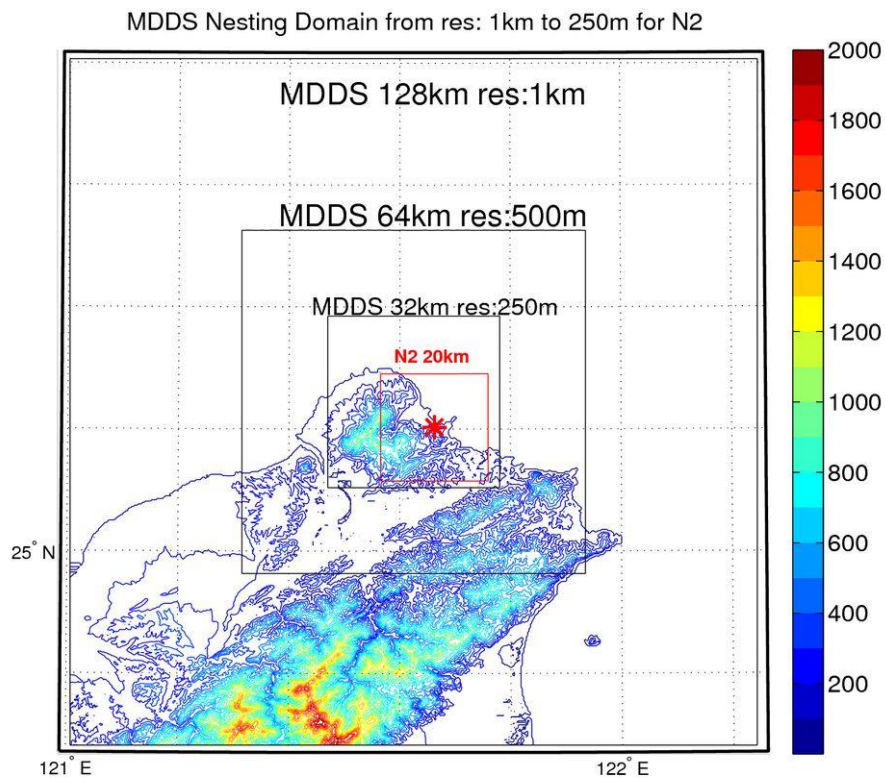


圖 3-1 核二廠區 MDDS 3 層巢狀網格區範圍圖

3.2 核二廠區 3 層巢狀網格降尺度氣象預報系統案例測試

測試案例為 2017 年 04 月 01 號 00Z 的時間點，其天氣系統為一冷高壓產生的冷鋒面過台灣後的東北風情況。圖 3-2 為當時

的地面天氣圖，冷高壓 1028 百帕在北緯 28 度東經 112 度，即位在湖南向東移動，時速約 20 公里。受冷高壓影響台灣地區風向多為東北風。

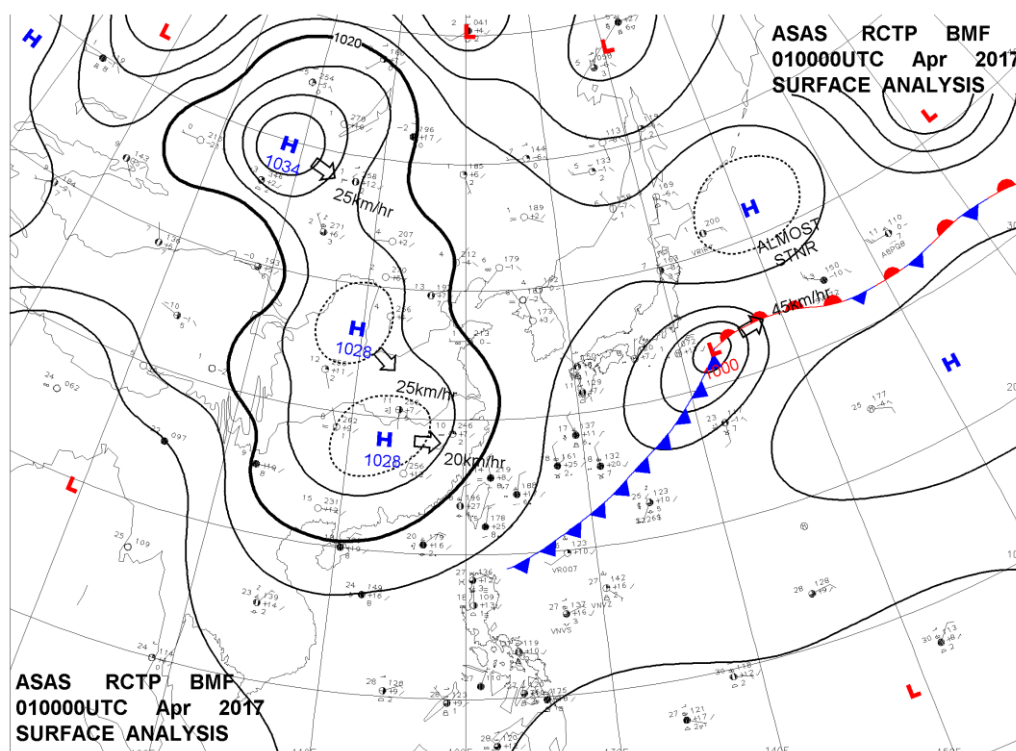


圖 3-2 2017 年 4 月 1 號地面天氣圖

圖 3-3 到圖 3-5 分別為 1 公里/500 公尺/250 公尺解析度範圍所表示的風場，在 1 公里的解析度中，可以看到東北風從陽明山東側進入後遇到雪山山脈阻擋轉向成東風進入台北盆地，且陽明山阻擋了東北風直接跨越，所以在陽明山的西南側產生了一西南風系的風場，隨著解析度的提高，MDDS 也解析出淡水河上面的東北風在蘆洲三重士林一逆時針的渦旋，是陽明山西南側產生西南風系的主要原因，對比地面觀測站的圖。圖 3-6 為氣象局自動氣象站之同時間測站風向圖，圖 3-7 為氣象局局屬測站及機場站之測站風向圖，均可以發現測站風向在陽明山西南側為南風與

西南風向。250 公尺解析度的風場可以明顯看清楚東北風場受地形高度的阻擋減小且山後的諸多風場繞流。

MDDS 128km/1km 20170401 00Z f000 Wind Speed at 250m

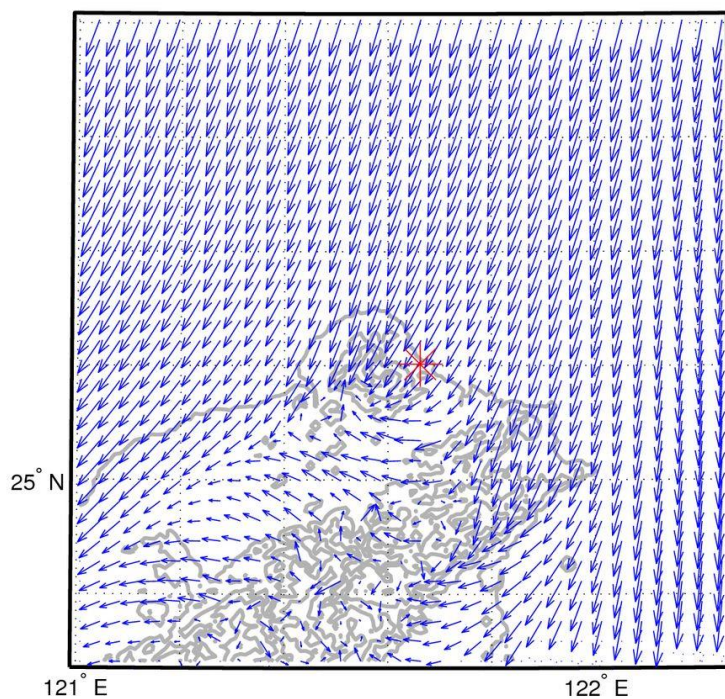


圖 3-3 MDDS 核二廠第一層巢狀網格，風場圖

MDDS 64km/500m 20170401 00Z f000 Wind Speed at 250m

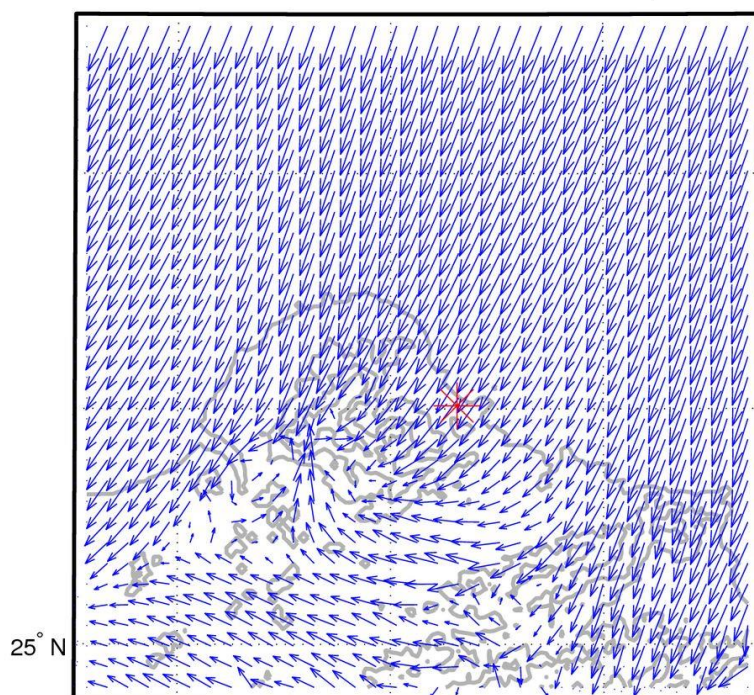


圖 3-4 MDDS 核二廠第二層巢狀網格，風場圖

MDDS 32km/250m 20170401 00Z f000 Wind Speed at 250m

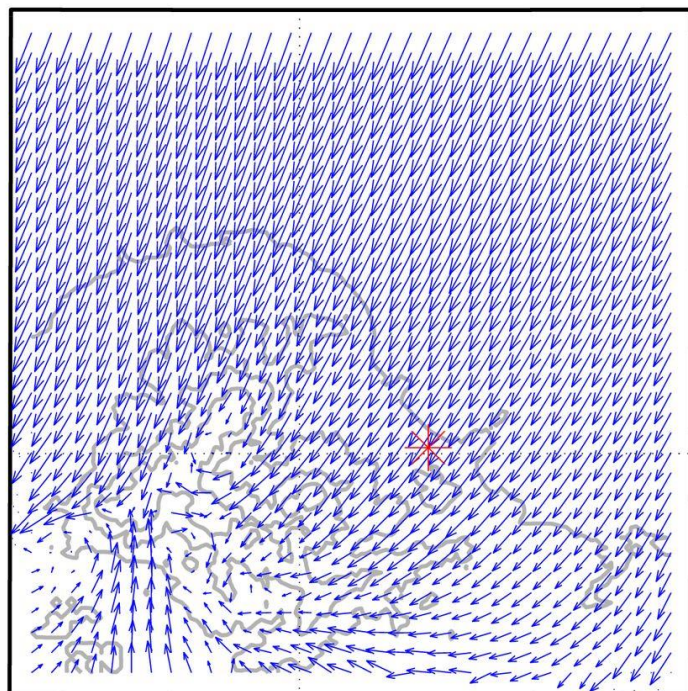


圖 3-5 MDDS 核二廠第三層巢狀網格，風場圖

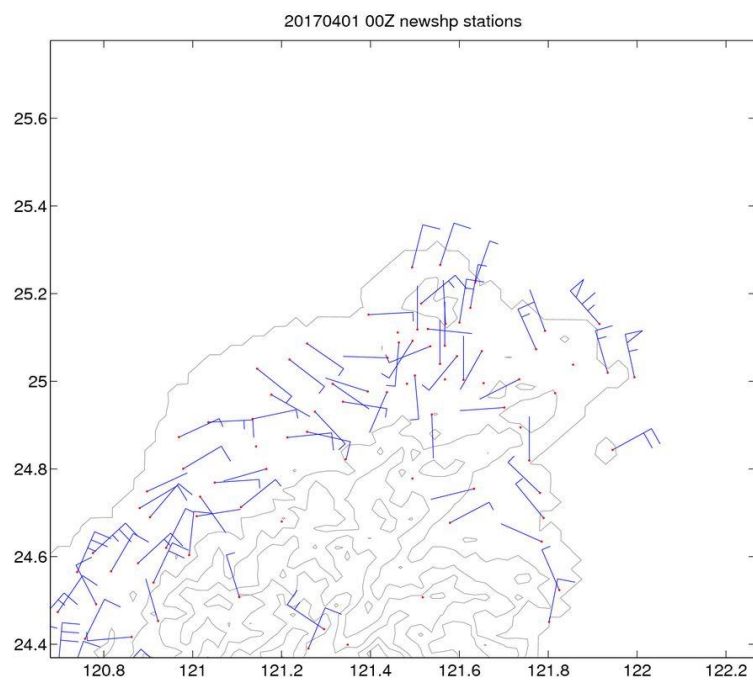


圖 3-6 2017/04/01 氣象局自動氣象站風場圖

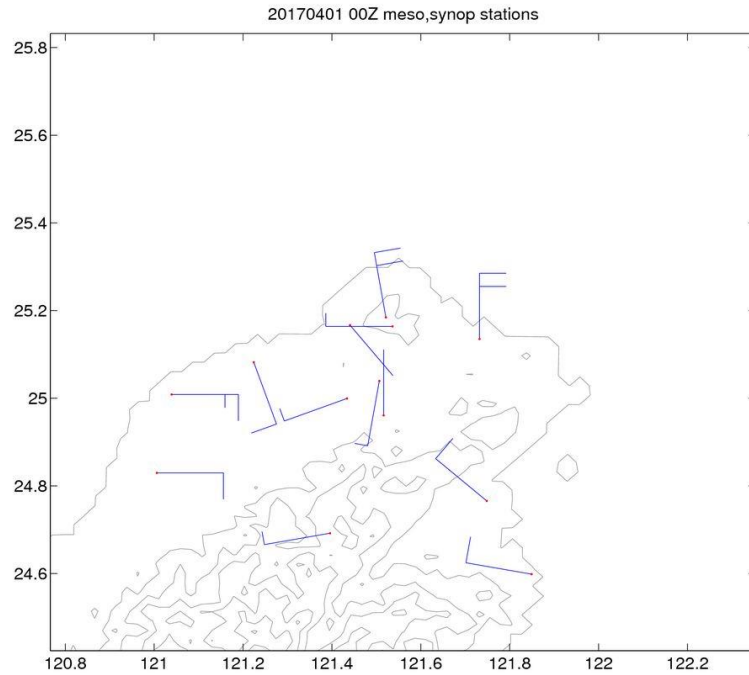


圖 3-7 2017/04/01 氣象局局屬測站及機場測站風場圖

圖 3-8 到圖 3-10 則分別為 1 公里/500 公尺/250 公尺解析度範圍所表示的壓力擾動場，可以看到隨著解析度的增加，越能解析出壓力場在地形上面的變化，地形越高壓力越小，陽明山上的壓力是最小的。圖 3-11 到圖 3-13 分別為 1 公里/500 公尺/250 公尺解析度範圍所表示的溫度擾動場，同樣的可以看到隨著解析度的增加，越能解析出溫度擾動場在地形上面的變化，越高的地形溫度場越低，在陽明山的東北側風場受地形阻擋而一小部分風場下沉增溫，可以看到陽明山東北側的溫度場較西半邊高。

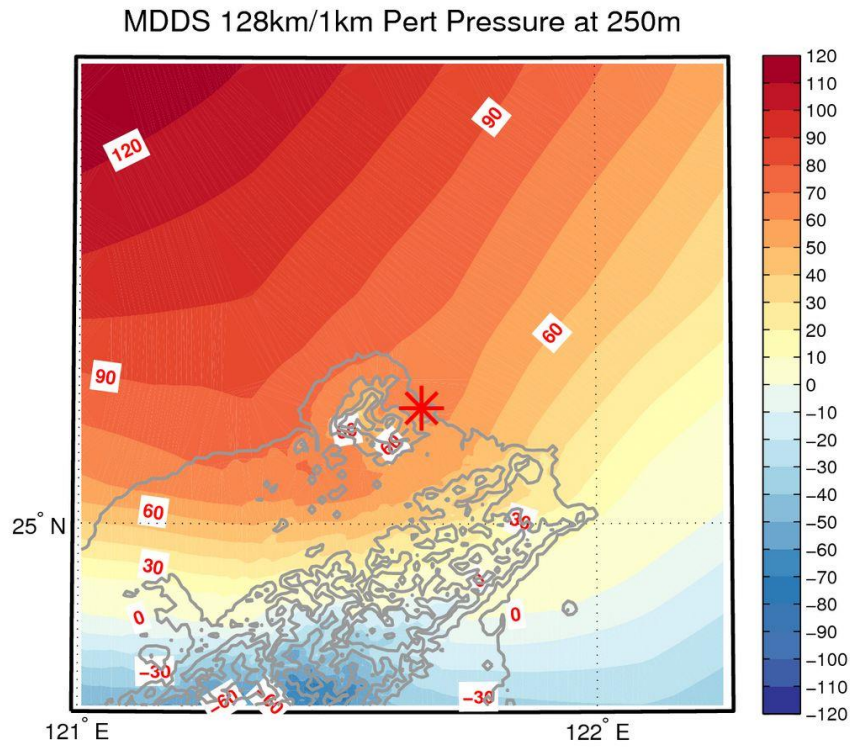


圖 3-8 MDDS 核二廠第一層巢狀網格，壓力擾動場

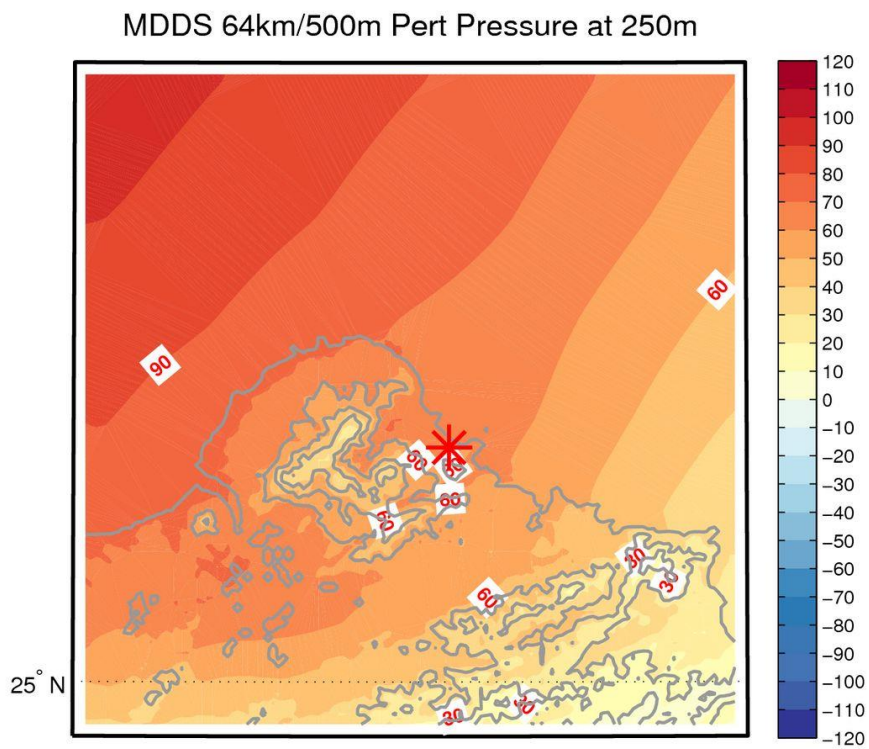


圖 3-9 MDDS 核二廠第二層巢狀網格，壓力擾動場

MDDS 32km/250m Pert Pressure at 250m

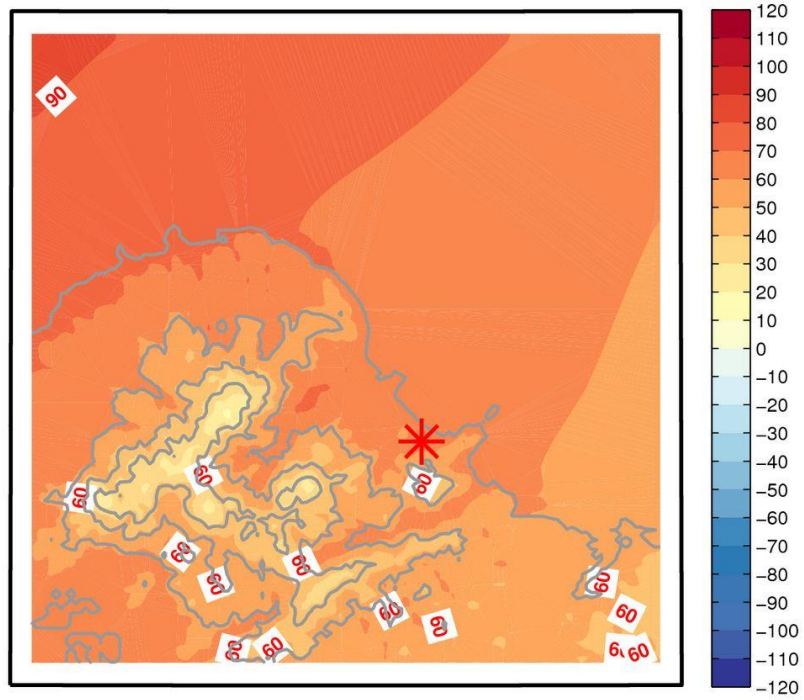


圖 3-10 MDDS 核二廠第三層巢狀網格，壓力擾動場

MDDS 128km/1km Pert T at 250m

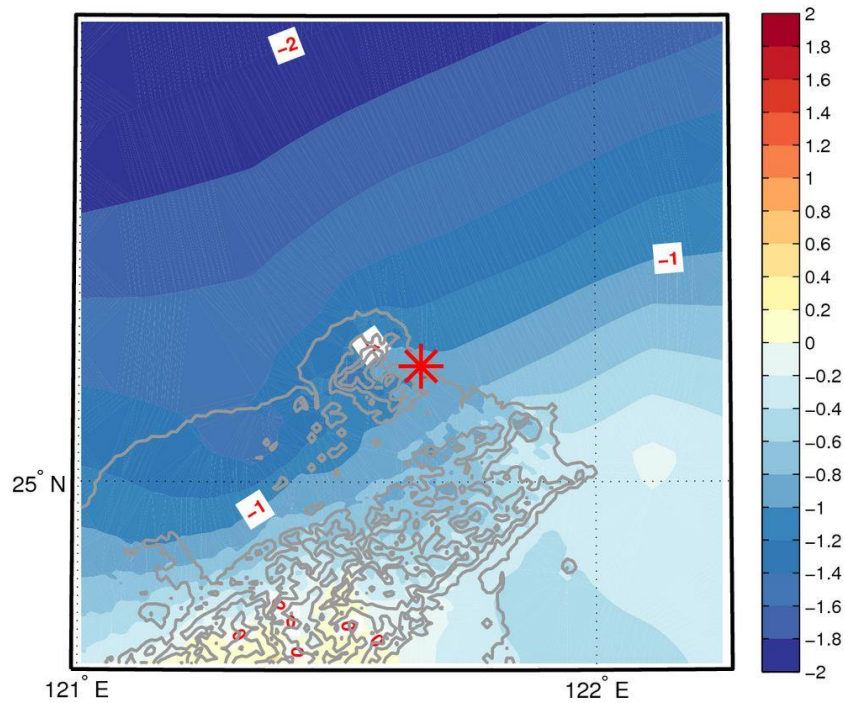


圖 3-11 MDDS 核二廠第一層巢狀網格，溫度擾動場

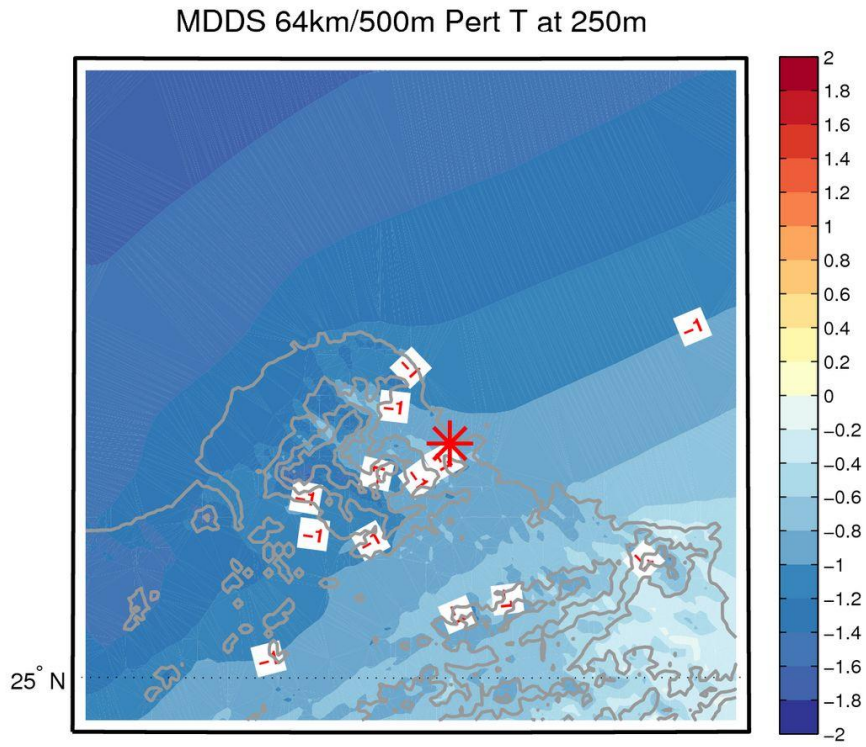


圖 3-12 MDDS 核二廠第二層巢狀網格，溫度擾動場

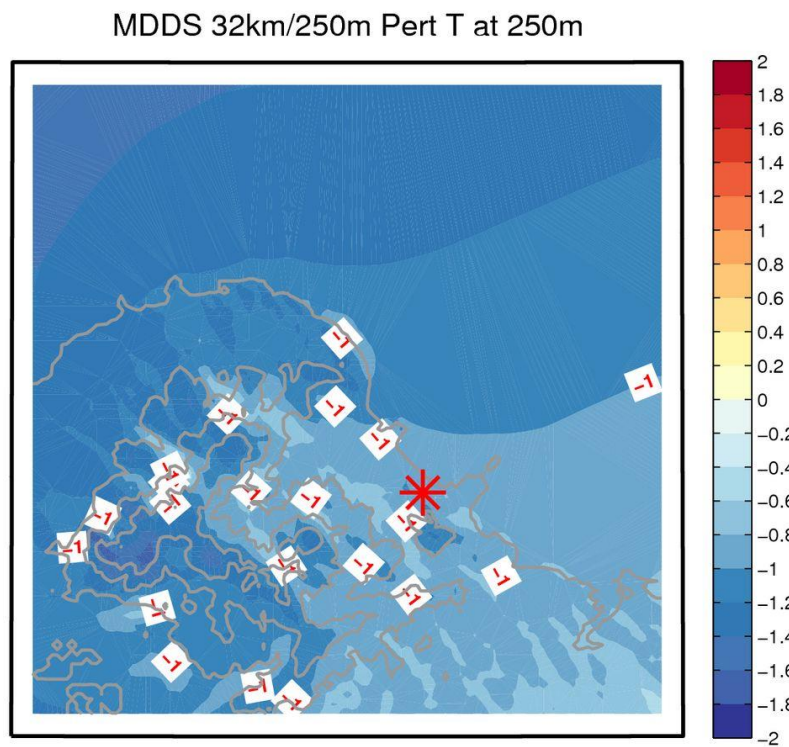


圖 3-13 MDDS 核二廠第三層巢狀網格，溫度擾動場

3.3 核二廠 4 層巢狀網格之劑量評估系統建置

於 106 年 3 月開始，系統以核二廠為目標，新增符合緊急應變區範圍及解析度之氣象預報資料，分別為解析度 250 公尺之 20 公里範圍，解析度 500 公尺之 40 公里範圍，以及解析度 1 公里之 80 公里範圍。在劑量計算的部分，加上包含全台灣範圍的 2.5 公里解析度資料，於新一代核子事故緊急應變劑量評估系統新增 4 層巢狀網格之選項，以便使用者於網頁介面操作。

系統登入畫面如圖 3-14 所示，登入系統網址後，於「個案流程」選單下點選「新增個案流程」，如圖 3-15，輸入中、英文名稱等基本資訊後，即建立新個案，如圖 3-16。於「個案流程」選單下點選前述新建個案之「繼續編輯」，即可進入個案設定頁面，其流程分為「電廠位置挑選」、「氣象模式選取」及「外釋量時序編修」等 3 步驟。

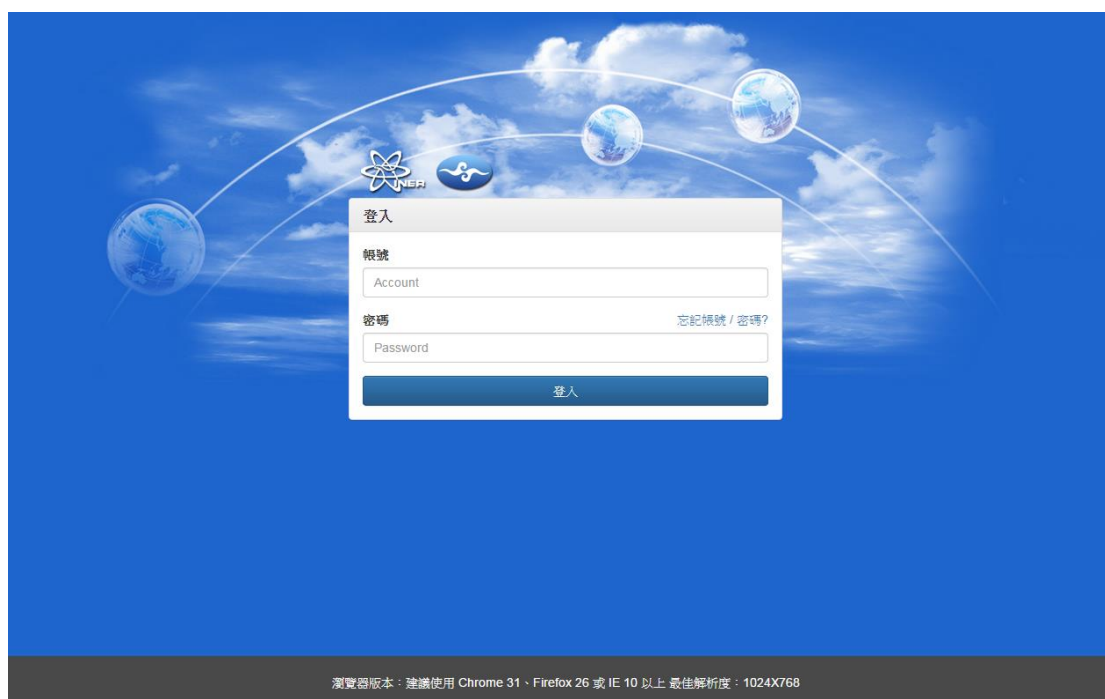


圖 3-14 系統登入畫面



圖 3-15 新增個案流程

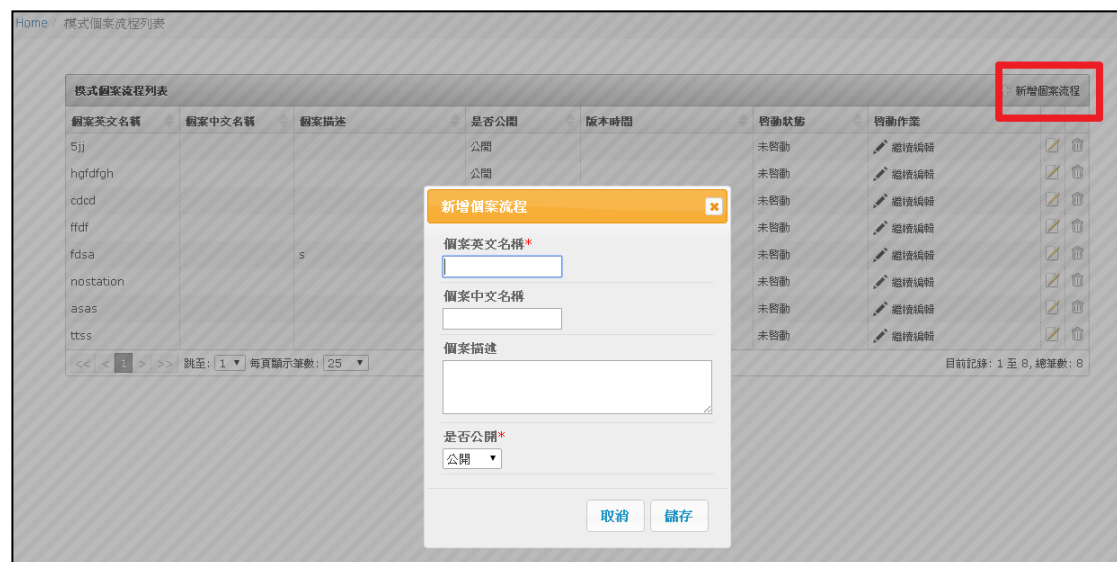


圖 3-16 輸入個案流程案例名稱

「電廠位置挑選」功能可藉由 Google Maps 介面挑選世界各國之核電廠，或由選單依國家選取電廠，亦可自行輸入釋放位置之經緯度，如圖 3-17。

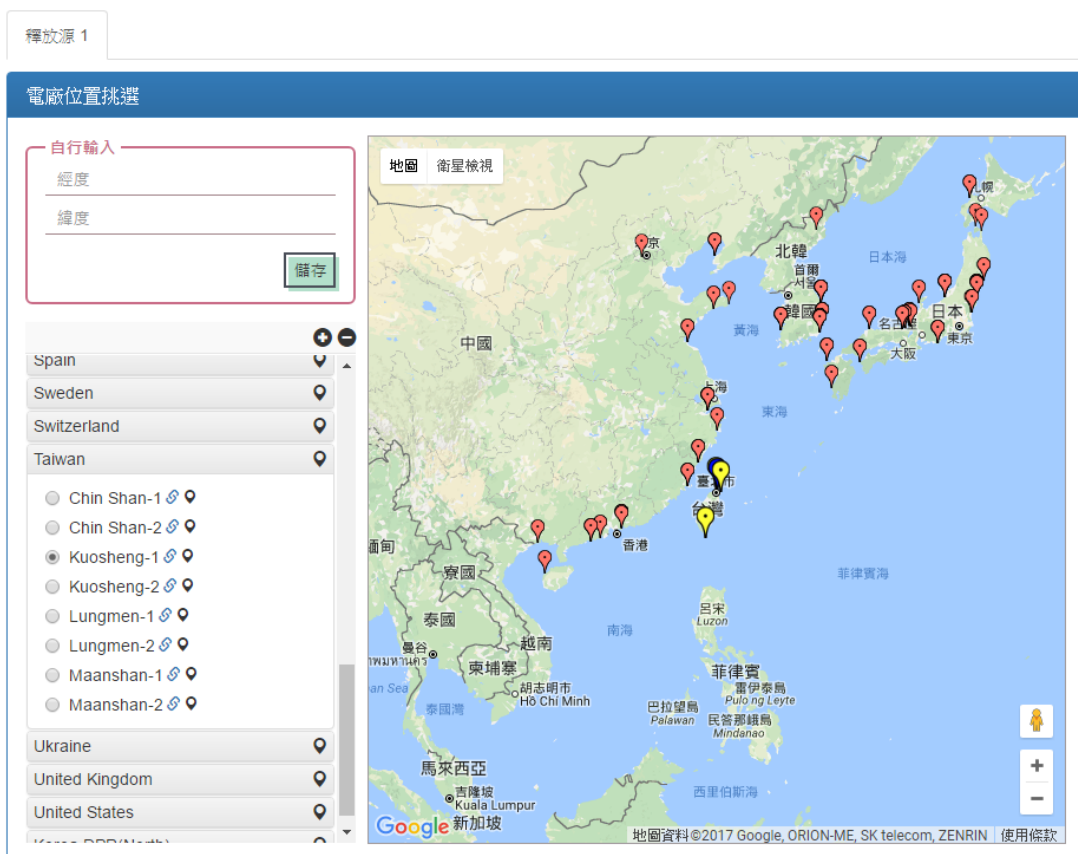


圖 3-17 電廠位置選擇

其次於「模式挑選」功能中選取劑量評估開始時間之全球模式，擇定後系統會自動帶出於該時段內可選擇之區域模式，選取的規則為必選 1 組全球模式，區域模式可複選，其中核二廠 4 層巢狀網格分別為：MDDS_NCEP_TW 為 2.5 公里解析度、MDDS_N1N2_1km 為 1 公里解析度、MDDS_N1N2_500 為 500 公尺解析度、MDDS_N1N2_250 為 250 公尺解析度，如圖 3-18。

模式挑選

全球模式 (必選)

☒ NCEP_GFS (預設模式，模式最新時間：2017-06-21 02:00:00)
 ☐ CWB_GFS

全球模式時間

2017-06-19 08:00:00 ▼

模式說明

區域模式 (任選)

☐ WRF_05KM
 ☐ WRF_15KM
 ☐ WRF_45KM
 ☐ MDDS_NCEP_TW
 ☐ MDDS_N1N2_1km
 ☐ MDDS_N1N2_250
 ☒ MDDS_N1N2_500
 ☐ MDDS_NPP3_1km
 ☐ MDDS_NPP3_250
 ☐ MDDS_NPP3_500
 ☐ MDDS_NCEP_KoreaDPK_Puggyeri

圖 3-18 氣象模式挑選

「外釋量時序編修」功能可使用「快速」或「進階」等二種方式進行設定，「快速」可以設定單核種或多核種之線性釋放，「進階」則可設定多核種之非線性釋放，如圖 3-19。

外釋量時序編修

☐ 快速
 ☒ 進階

釋放源高度

高度：

20.000000000

公尺

模式起始時間

起始：

2017/06/19 08:00

結束：

2017/06/27 08:00

核種及釋放量

儲存

☒ 單核種

釋放量

1.0000e+1 Bq

Ba-139 ▼

☒ 多核種

預設值

釋放量

1.0000e+1 Bq

I-131 0.1%

Cs-137 1%

Xe-133 98.9%

☐ 自行輸入

圖 3-19 外釋量設定功能切換

外釋量「快速」設定可指定單一核種之釋放量，或自行設定多核種釋放量，並提供一組固定比例 (I-131 0.1%, Cs-137 1%, Xe-133 98.9%) 之預設值，只須設定總量，即可依比例分配各核種之釋放量，如圖 3-20。

核種及釋放量 儲存

☒ 單核種

✎ 釋放量 Bq

☒ 多核種

☒ 預設值

✎ 釋放量 Bq

☒ I-131 0.1% ☒ Cs-137 1% ☒ Xe-133 98.9%

☐ 自行輸入

✎ 釋放量 Bq

☐ Ba-139	☐ Ba-140	☐ Ce-141	☐ Ce-143	☐ Ce-144	☐ I-131	☐ I-132	☐ I-133
☐ I-134	☐ I-135	☐ Y-90	☐ Y-91	☐ Y-92	☐ Y-93	☐ Zr-95	☐ Zr-97
☐ Nb-95	☐ La-140	☐ La-141	☐ La-142	☐ Pr-143	☐ Nd-147	☐ Np-239	☐ Pu-238
☐ Pu-239	☐ PU-240	☐ Pu-241	☐ Am-241	☐ Cm-242	☐ CM-244	☐ Kr-85	☐ Kr-85m
☐ Kr-87	☐ Kr-88	☐ Xe-133	☐ Xe-135	☐ Rb-86	☐ Cs-134	☐ Cs-136	☐ Cs-137
☐ Co-58	☐ Co-60	☐ Mo-99	☐ Tc-99m	☐ Ru-103	☐ Ru-105	☐ Ru-106	☐ Rh-105
☐ Sb-127	☐ Sb-129	☐ Te-127	☐ Te-127m	☐ Te-129	☐ Te-129m	☐ Te-131m	☐ Te-132
☐ Sr-89	☐ Sr-90	☐ Sr-91	☐ Sr-92				

圖 3-20 「快速」外釋量設定

外釋量「進階」設定提供圖像化之介面，可自行輸入不同時段各核種之釋放量，如圖 3-21。

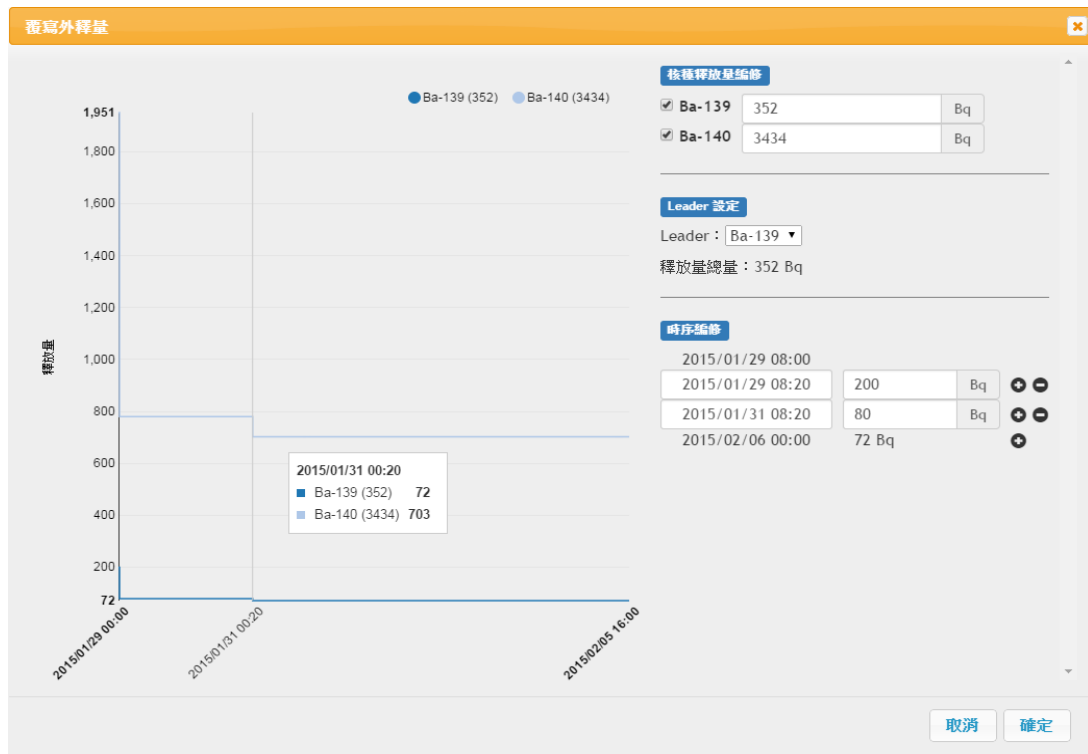


圖 3-21 「進階」外釋量設定

前述設定完成後，即可點選頁面右下角之「啟動作業」按鈕啟動劑量評估，過程中如發生無法啟動之狀況，可將滑鼠移置「為什麼無法啟動？」之文字上，系統會提示無法啟動的原因，排除後即可開始模擬，如圖 3-22。

於網頁點選「圖形產品」，依選單選取「個案名稱」、「模式」、「變數」、「顯示方式」後，即可於網頁呈現相關產品，如圖 3-23。

模式挑選

全球模式 (必選)

☒ NCEP_GFS (預設模式，模式最新時間：2017-03-22 20:00:00)
 ☐ CWB_GFS

全球模式時間

2017-03-22 20:00:00 ▼

區域模式 (任選)

☐ WRF_05KM
 ☐ WRF_15KM
 ☐ WRF_45KM
 ☒ MDDS_NCEP_TW

模式說明

釋放源 1

1. 電廠位置挑選

2. 模式挑選

3. 外釋量時序編修

外釋量時序編修

釋放源高度

高度：

20.000000000

公尺

設定方式

☐ 上傳 RASCAL 檔案

上傳

 Drag & Drop Files
 ☐ 歷史圖案參考

DPRK-2 / DPRK-2 (2016-09-10 13:14:44) ▼

☒ 自行輸入

模式起迄時間

起迄：

2017/03/22 20:00

結束：

2017/03/30 20:00

缺少項目：

釋放源 1：請設定時序外釋量

為什麼無法啟動?

啟動作業

圖 3-22 啟動作業問題排除提示

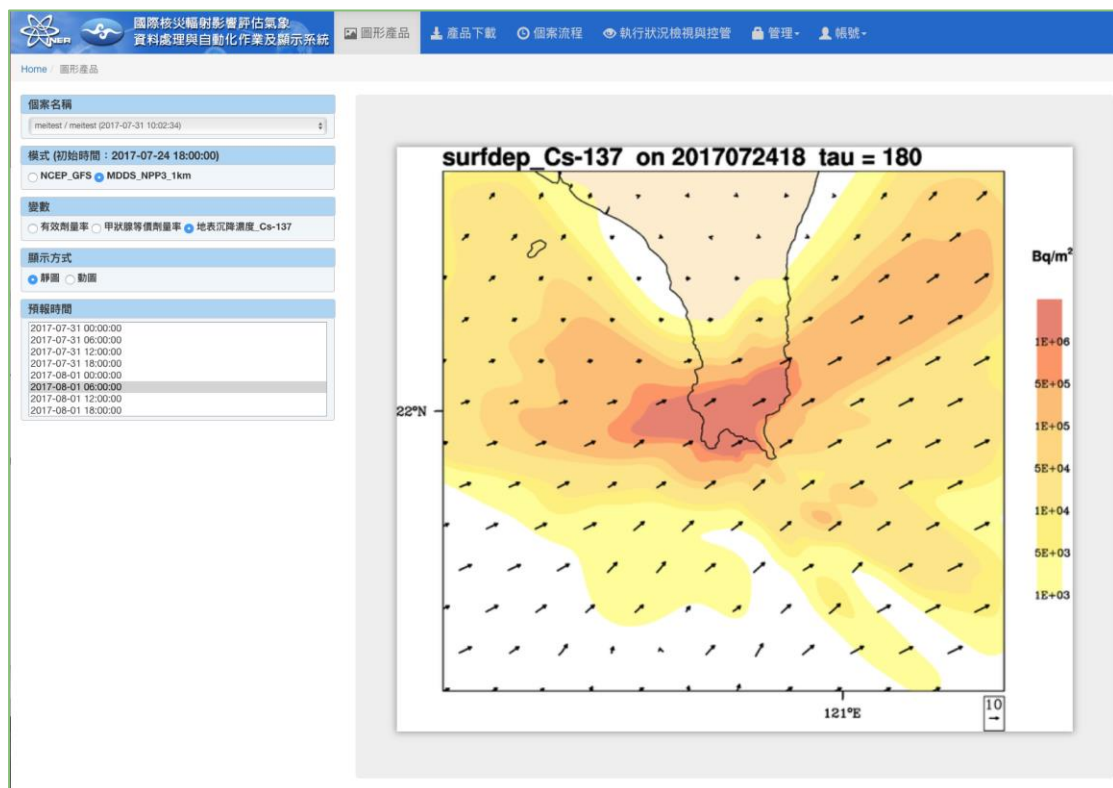


圖 3-23 圖形產品

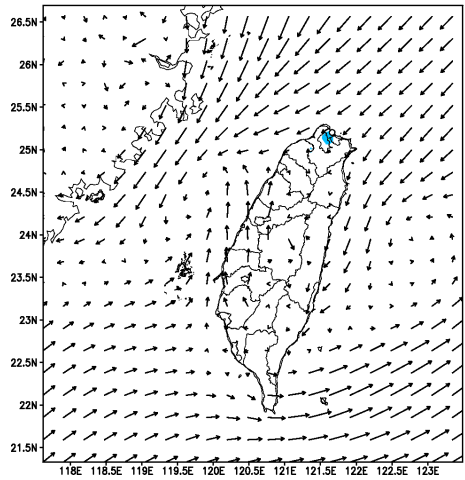
3.4 核二廠每日假想事故評估

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 8 天(192 小時)，因此劑量評估的計算模擬也是 192 小時，解析度為 6 小時，其中 Cs-137 的乾沉降速度為 0.01 m/s，I-131 的乾沉降速度為 0.03 m/s。輸出的產品有有效劑量率、甲狀腺等價劑量率以及地表沉降濃度。

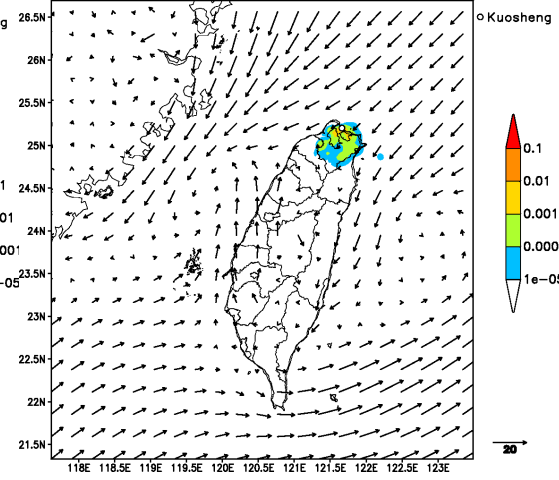
以 2017 年 06 月 14 日的案例為例，圖 3-24 為在預報時間 24 小時，風向大致上是東北風偏東風的情況，風速由海面上 5 m/s 到陸地上大約 2 m/s，是風速偏小的天氣情況，Cs-137 的有效劑量的模擬，於解析度 2.5 公里的結果（圖 3-24a），可看到 1×10^{-5} mSv/hr 核種 Cs-137 的影響範圍大約距核二廠 20 公里左右，而核種 I-131 的影響範圍幾乎可涵蓋北北基；解析度 1 公里的結果（圖 3-24b），Cs-137 的分布影響在新北市樹林區附近有一個達 1×10^{-4} mSv/hr 的區域極值，顯示放射性物質在不同的氣象條件以及地形影響之下，除了下風方向遞減的影響範圍外，也可能產生不連續的累積情形，這樣的情形在較高解析度的資料下，較能清楚的掌握到，其中核二廠附近的極值大小大約是 1×10^{-3} mSv/hr，而在 I-131 的分布結果圖中，除了同樣出現在樹林區的區域極值之外，北市萬華區、中正區、大安區及新北市中和區、永和區、板橋區附近可觀察到較大範圍的區域極值；解析度 500 公尺的結果（圖 3-24c），在解析度提升之下，可觀察到有部分低劑量區域的分布結果與 1 公里解析度比較起來略有差異，但整體的

趨勢仍然一致，同時因解析度的提升，高劑量的區域可以觀察到較為明顯的梯度變化；在解析度 250 公尺的結果中（圖 3-24d），Cs-137 分布影響範圍集中在新北市萬里區，相較之下，I-131 則是會造成大範圍的劑量影響。圖 3-25 為沉降量的分布，可以看到從 2017/06/14 00Z 開始釋放後，各個時間的風向風速影響累積的結果，風向是由西北風轉變為東北風，I-131 的劑量分布結果較能明顯觀察到風向轉變的情形，而 I-131 的外釋活度為 Cs-137 的 10 倍，因此可明顯觀察到 I-131 的分布範圍較廣，同時，在兩者的沉降速度不同之下，分布趨勢也略有差異；在解析度 2.5 公里的模擬結果（圖 3-25a），可看到兩者沉降量的分布方向皆在核二廠東南方至西南方，極值超過 $100,000 \text{ Bq/m}^2$ ，在 I-131 的分布結果可觀察到受山區阻擋之下，在山後一段距離造成區域極值，顯示氣流經過地形抬升後遠處下降，造成地表沉降濃度不連續之情形。圖 3-26 為甲狀腺等價劑量分布與劑量大小，大致與有效劑量相似，較明顯的差異在於核二廠東南方的分布，甲狀腺等價劑量在核二廠的東南部分布較少，此部分的差異來自於的地表輻射途徑的貢獻。

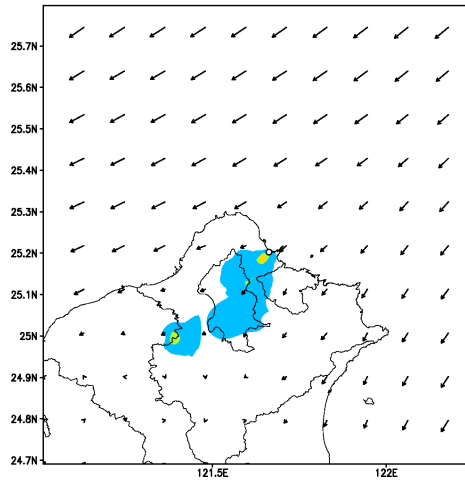
Cs-137 Effective Dose on 00Z15JUN2017



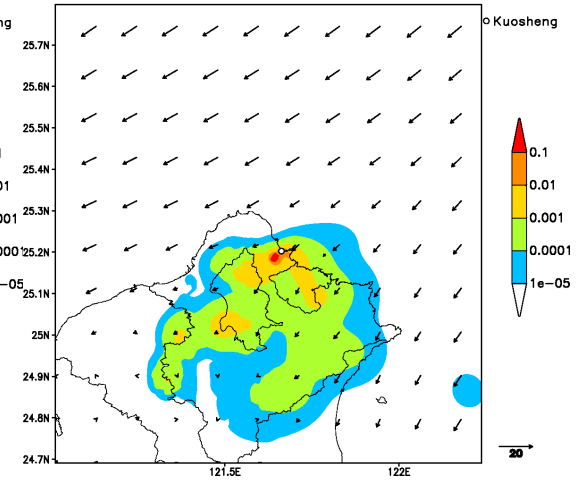
I-131 Effective Dose on 00Z15JUN2017



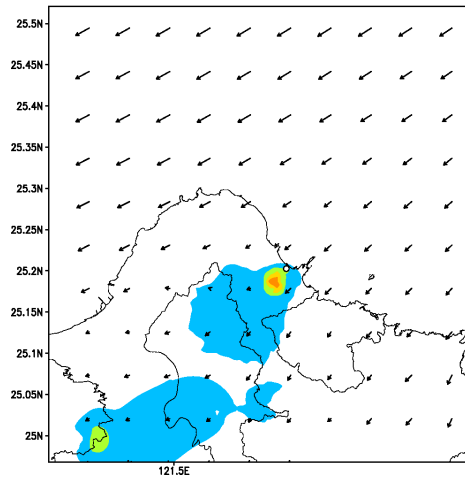
Cs-137 Effective Dose on 00Z15JUN2017



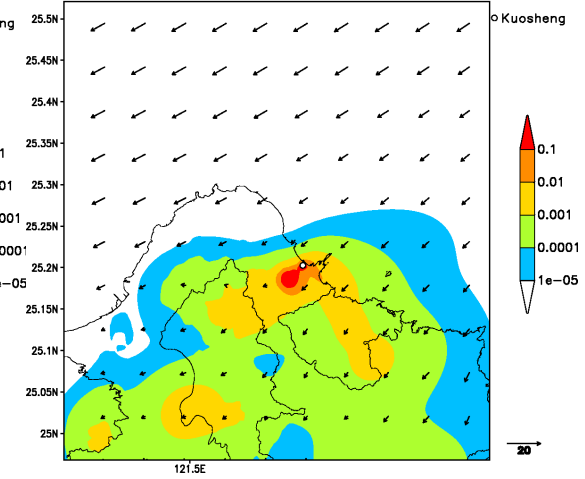
I-131 Effective Dose on 00Z15JUN2017



Cs-137 Effective Dose on 00Z15JUN2017



I-131 Effective Dose on 00Z15JUN2017



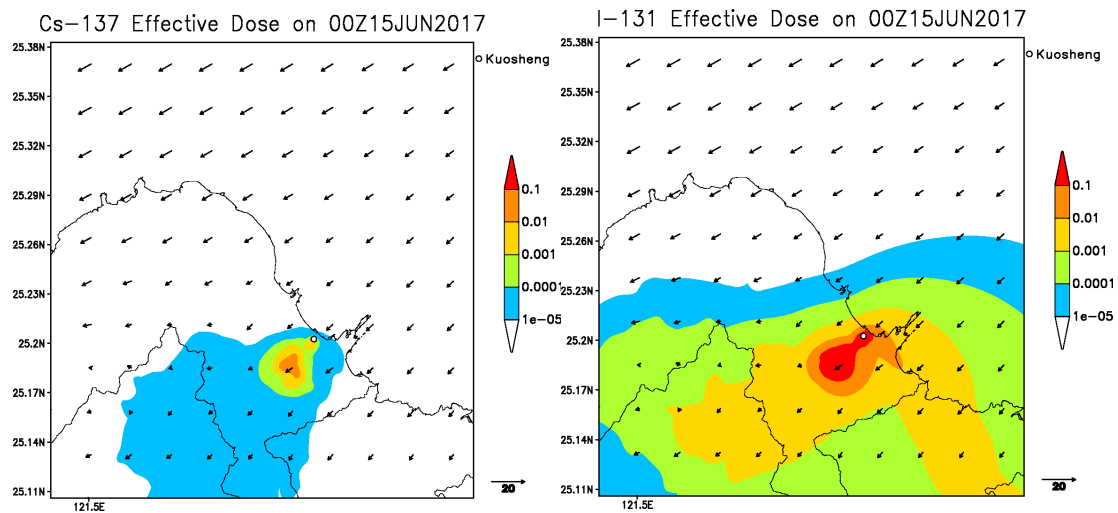
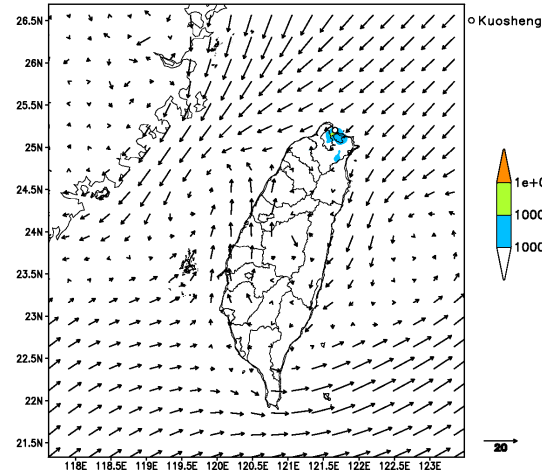
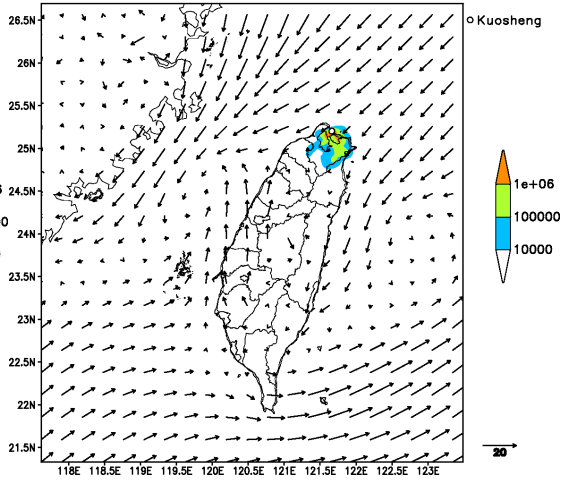


圖 3-24 核二廠 4 層巢狀網格之劑量評估系統結果，圖為 2017/06/14 Cs-137（左）以及 I-131（右）的假想案例模擬，預報 24 小時後 (2017/06/15) 的有效劑量率分布。由上至下依序為 a. 解析度 2.5 公里 b.解析度 1 公里 c.解析度 500 公尺 d.解析度 250 公尺

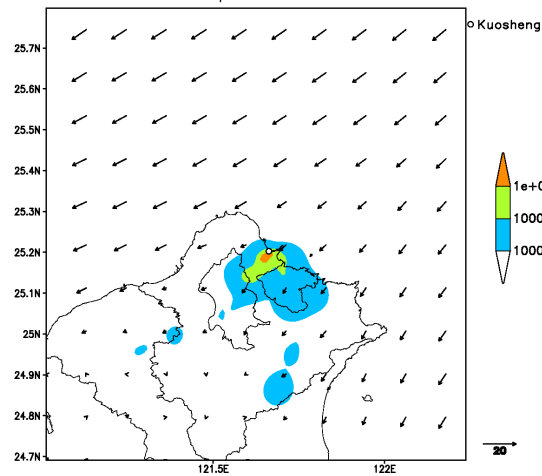
Cs-137 Surface Deposition on 00Z15JUN2017



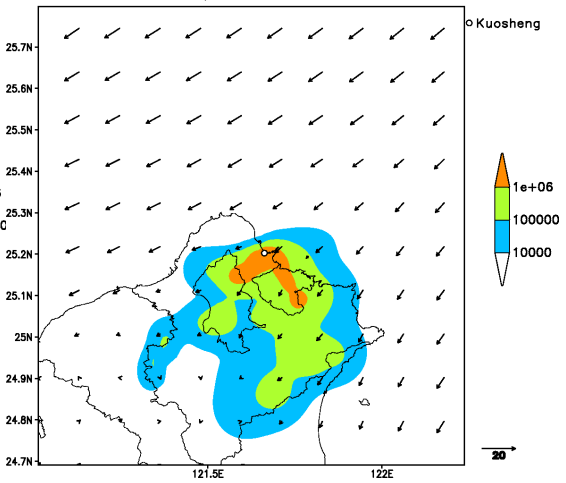
I-131 Surface Deposition on 00Z15JUN2017



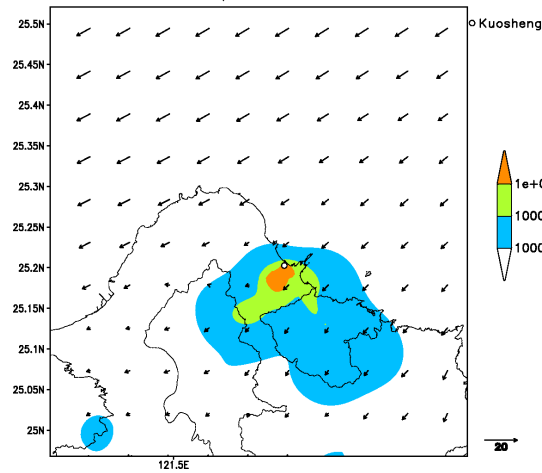
Cs-137 Surface Deposition on 00Z15JUN2017



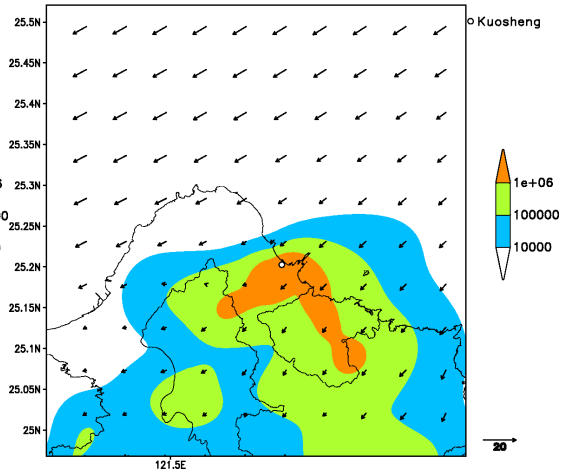
I-131 Surface Deposition on 00Z15JUN2017



Cs-137 Surface Deposition on 00Z15JUN2017



I-131 Surface Deposition on 00Z15JUN2017



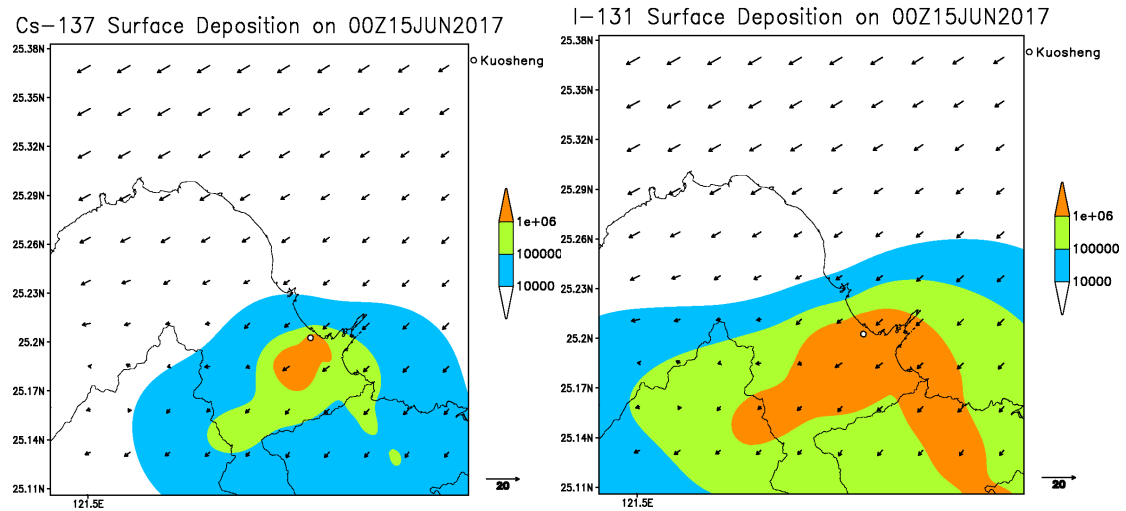
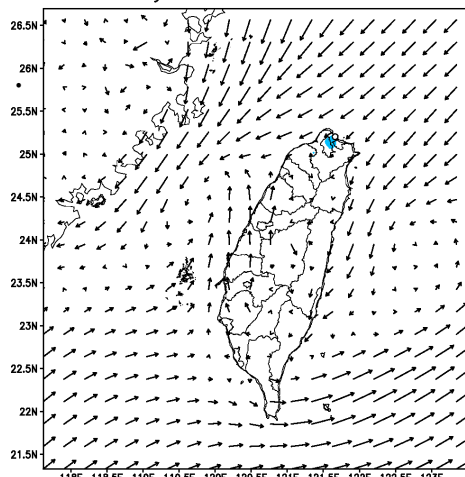
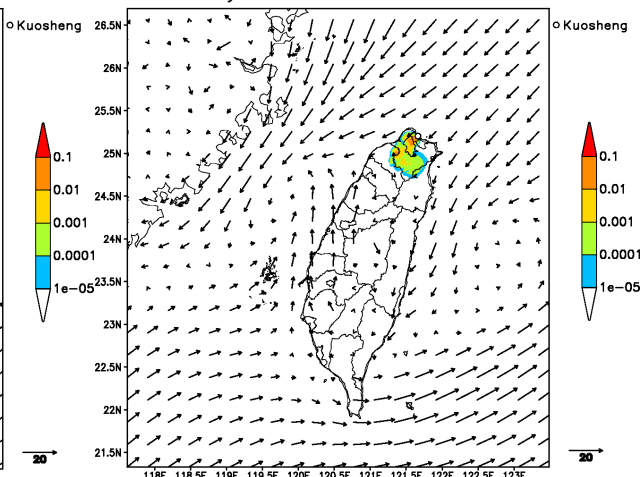


圖 3-25 核二廠 4 層巢狀網格之劑量評估系統結果，圖為 2017/06/14 Cs-137（左）以及 I-131（右）的假想案例模擬，預報 24 小時後 (2017/06/15) 的沉降量活度濃度分布。由上至下依序為 a. 解析度 2.5 公里 b.解析度 1 公里 c.解析度 500 公尺 d.解析度 250 公尺

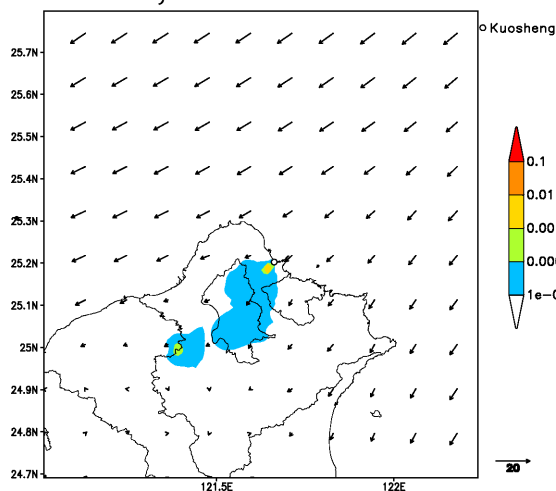
Cs-137 Thyroid Dose on 00Z15JUN2017



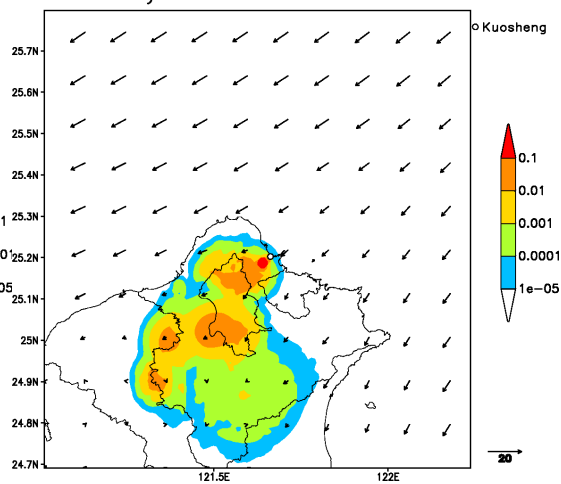
I-131 Thyroid Dose on 00Z15JUN2017



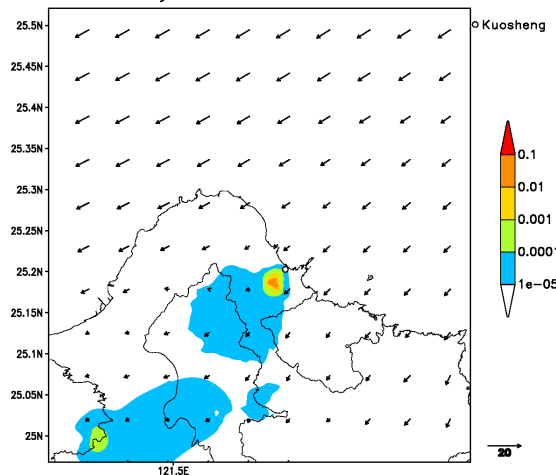
Cs-137 Thyroid Dose on 00Z15JUN2017



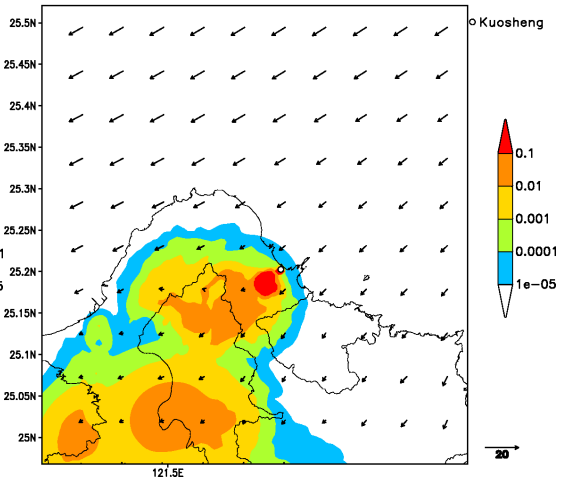
I-131 Thyroid Dose on 00Z15JUN2017



Cs-137 Thyroid Dose on 00Z15JUN2017



I-131 Thyroid Dose on 00Z15JUN2017



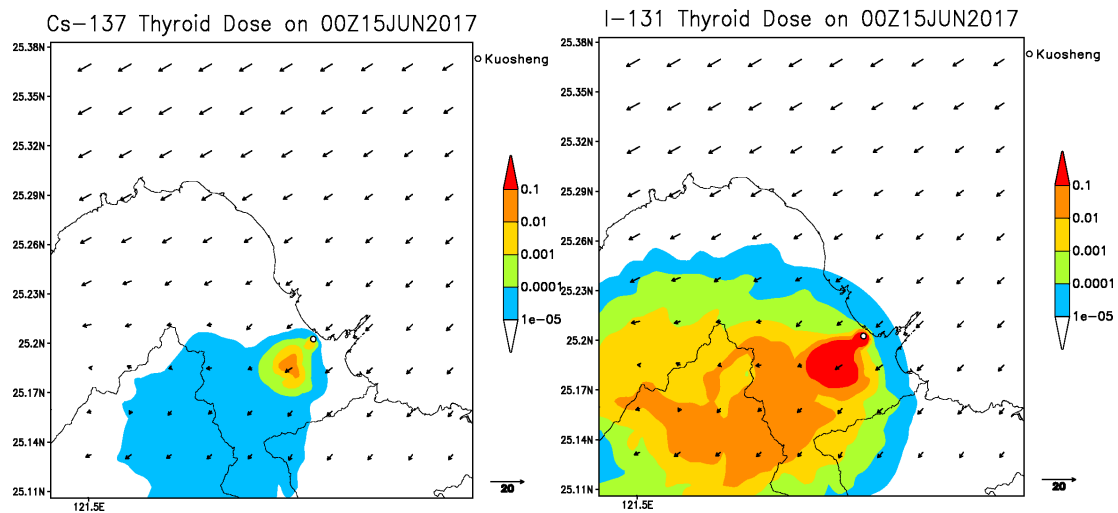


圖 3-26 核二廠 4 層巢狀網格之劑量評估系統結果，圖為 2017/06/14 Cs-137（左）以及 I-131（右）的假想案例模擬，預報 24 小時後 (2017/06/15) 的甲狀腺等價劑量分布。由上至下依序為 a. 解析度 2.5 公里 b.解析度 1 公里 c.解析度 500 公尺 d.解析度 250 公尺

4. 核電廠假想事故案例分析

新一代核子事故劑量評估系統前期開發期間（民國 103 年底），即開始進行每日的假想事故模擬評估，並於 104 年 5 月起每週進行假想事故氣象場與劑量評估結果之個案探討，以利系統特性掌握，以及系統操作人員對於核電廠區周圍地形，台灣各季節天氣特徵，所反應出假想事故的劑量結果之合理性，具有判斷的敏銳度。

目前假想事故電廠每日擴散模擬，使用之氣象場，分別是 NCEP GFS 模式之全球範圍資料，以及經由降尺度系統之 NCEP GFS 在台灣地區之高解析度資料，因此每週之個案探討，會包含 NCEP GFS 模式預報能力討論，至降尺度過程分析，最後是核一、二、三廠之銻 137 及碘 131 沉降量和劑量分布變化，以及大陸福清電廠之銻 137 沉降量和劑量分布變化。

圖 4-1 為每週劑量評估系統案例的討論流程，首先會透過一週的天氣圖大致了解本週天氣情形，並且挑出所要討論之個案，接著對於 NCEP GFS 在此個案的天氣型態中，不同時間預報結果的良窳，及其差異原因進行探討。在降尺度系統分析的部分，如前述模式簡介中降尺度系統的介紹可知，降尺度系統包含了 6 個控制方程式，降尺度系統首先進行平衡控制方程式的調整，逐步提高資料解析度，提高解析度的過程中透過疊代，令各個氣象場滿足控制方程式。因此圖 4-1 中可看到將降尺度系統分析的討論，分為兩個步驟。第一步驟為第一次降尺度，其水平解析度是原始模式資料的一半，討論調整前後之三維風場、壓力場、溫度場之變化。最後第五次降尺度，則是討論提高到最高解析度，與原始模式資料，在三維風場、壓力場、溫度場、以

及台灣地形上各個局部風場之細部變化，並且佐以實際觀測資料，進行系統掌握天氣型態的能力討論。最後是劑量評估系統的模擬結果，探討當週之假想事故的分布情形，假想個案的釋放率以福島事件之總釋放量除以 7 天計算而得，釋放源的地點分別是核一、核二、核三及大陸福清電廠，其中核二電廠分別有 4 個解析度（250 公尺、500 公尺、1 公里和 2.5 公里）的模擬結果，以及 Cs-137 和 I-131 的沉降濃度、等效劑量率及有效劑量率分布，而核一、核三、福清電廠僅 2.5 公里解析度之 Cs-137 之模擬。

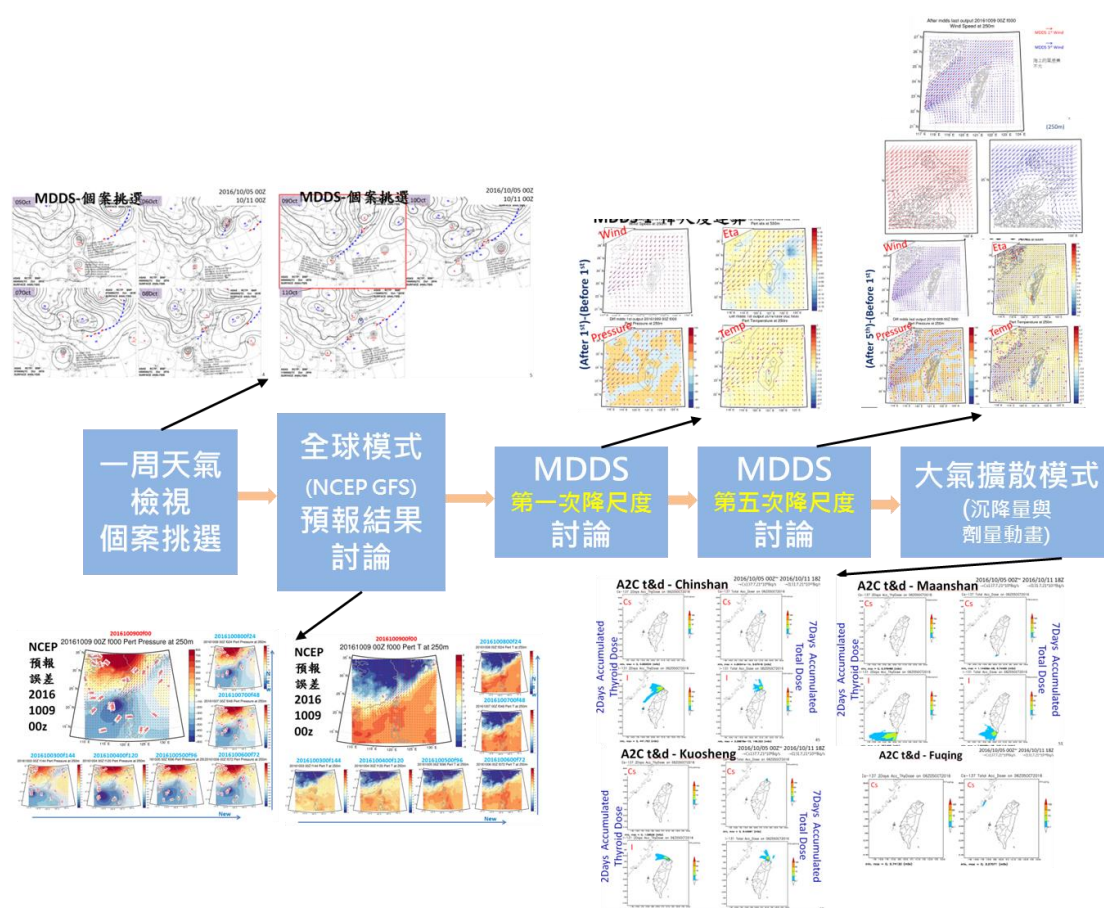


圖 4-1 假想事故每日模擬作業個案討論流程圖

自今年 1 月開始至 11 月底，共有 45 個個案之討論，其每週個案討論之簡報檔，收錄於附件中供參。在台灣地區，春夏之際有颱風、鋒面等中小尺度的系統影響，此時全球預報模式 (NCEP GFS) 的預

報掌握度就沒有這麼好，各個預報時間的預報結果差異較明顯，而秋冬季節，受大陸高壓等較大尺度系統的影響，則全球預報模式 (NCEP GFS) 的掌握度較佳，約 5~6 日前的預報結果，都有不錯的表現。降尺度分析的部分，期待降尺度系統能利用全球預報模式帶來的綜觀天氣資訊，呈現出在台灣複雜地形與天氣交互作用下，產生的細部天氣變化，故在幾個地方需特別關注，例如：台灣北部的大屯山，其高度大約 1000 公尺，在全球預報模式的解析度下，無法解析到大屯山，在降尺度系統中，大屯山對於秋冬盛行風，東北季風的阻擋效應，在其山後的台北盆地產生的尾流效應，與全球預報模式中一致的東北風大不相同。台灣東部在降尺度系統中，可以看到海岸山脈的效應，在東風的個案時，可以看到氣流更早的轉向。以下挑選 2 個個案，分別為 2017/08/11 夏季天氣型態，以及 2017/10/13 秋季天氣型態進行討論分析。

4.1 夏季個案討論

在台灣八月屬於颱風季，在颱風季節當中，無論是颱風本身或者其外圍環流都會為台灣帶來不少的雲雨系統，抑或是午後熱對流的降雨，帶來的局部降溫，此等因為降雨造成局部天氣變化，是缺乏降水物理過程的降尺度系統所缺乏的，為避免降水在實際天氣型態帶來的變因，在此挑選一個弱綜觀天氣型態影響的個案。圖 4-2 是 2017/8/11 1200UTC 東亞地區地面天氣圖，台灣地區主要受到太平洋副熱帶高壓影響，風向以西南風為主。在 NCEP 全球預報模式當中（圖 4-3a），台灣附近高度 250 公尺的風場以西南風為主，遇到台灣地形繞流情形明顯，往西加速通過台灣海峽，往東繞過中央山脈尾端，在山後台灣的東部海面形成

一個正渦旋。在降尺度至 2.5 公里解析度之時（圖 4-3b），海面上的風場差異不大，較多的差異出現在台灣的地形之上，接著與綜觀氣象站的觀測資料相比（圖 4-3c），也是存在差不多的流場配置。

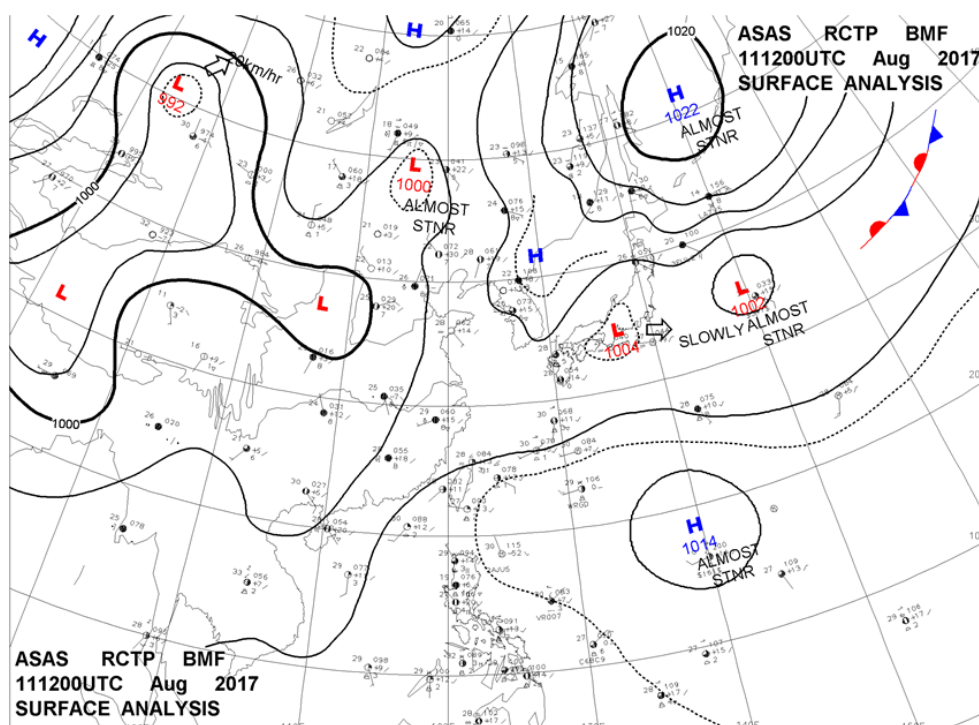


圖 4-2 中央氣象局地面天氣圖，時間為 2017 年 8 月 11 日 12UTC

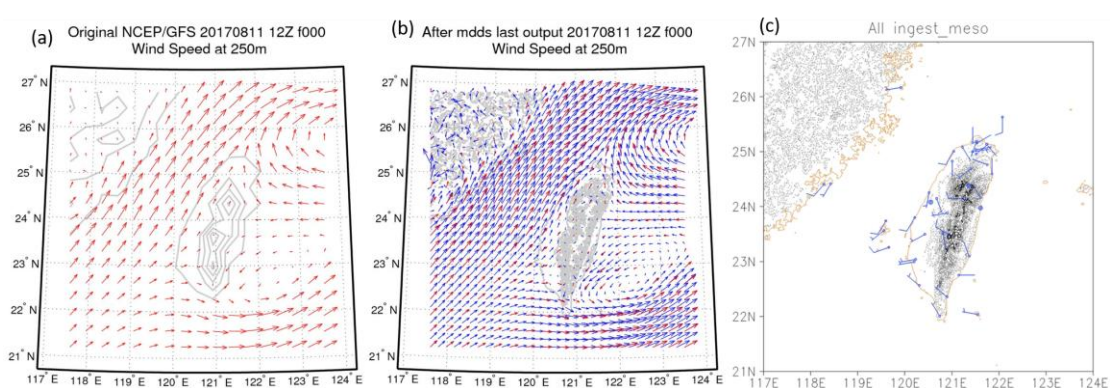


圖 4-3 2017/08/11 12UTC 個案風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場

接著由北而南，順時針將台灣分為 7 個區域逐步探討，降尺度系統與其輸入之全球預報模式氣象資料之差異，以及從測站風場中試圖找出降尺度過後足以驗證之證據。

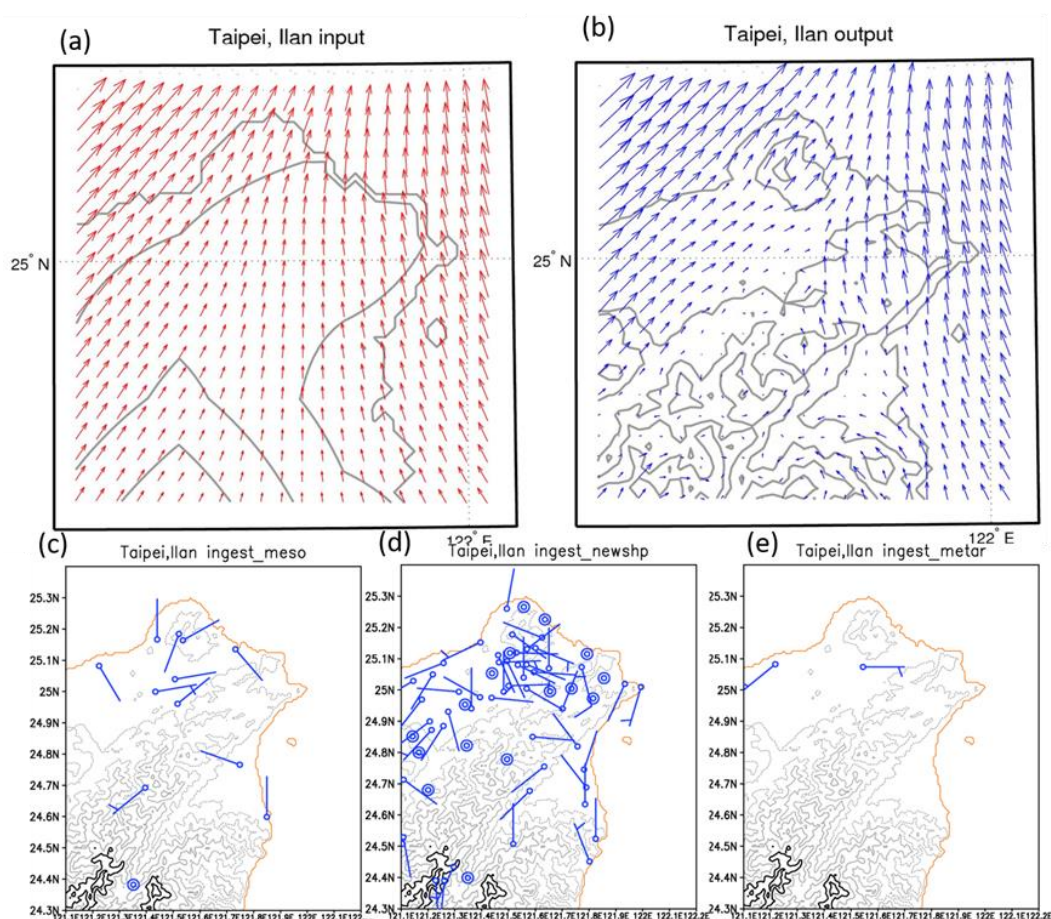


圖 4-4 2017/08/11 12UTC 個案台北宜蘭地區風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場

首先，台北和宜蘭地區（圖 4-4），在 NCEP GFS 的模擬中，沒有大屯山以及雪山山脈的輪廓，因此風場一致的南風系，在降尺度系統之中，西南風受到大屯山阻擋，西南風在台北盆地轉為西風，在東部的偏南風通過宜蘭地區在蘇澳附近會有部分轉入平原地區，形成一股東風分量，平原的北邊為一個弱風區，在實際

的觀測部分，其來源分別有自動測站，局屬測站和機場測站，在台北盆地主要為東風系，但風速都不大，在宜蘭地區，沿岸都是微弱的北風，與降尺度系統的結果不盡相同。

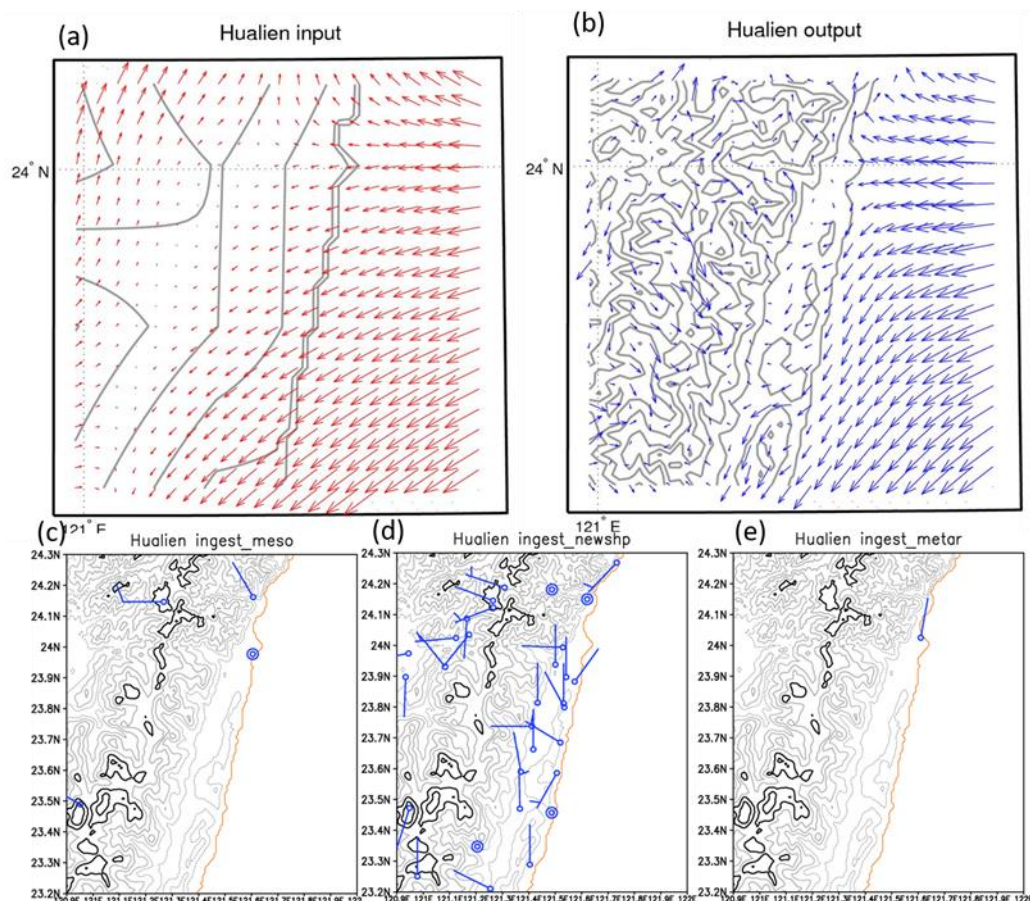


圖 4-5 2017/08/11 12UTC 個案花蓮地區風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場

在花蓮及東部沿岸地區(圖 4-5)，NCEP GFS 模式的結果，在北緯 24 度附近為東風的分流點，以北為東南風，以南為東北風，在降尺度系統中沿岸的東北風之北風分量較多，且流場在遇到海岸山脈的缺口時，會有明顯轉向切入的情形，在花東縱谷的部分，風向多是順著地形方向的北風，而測站的觀測風向在花東縱谷也是類似的情形。

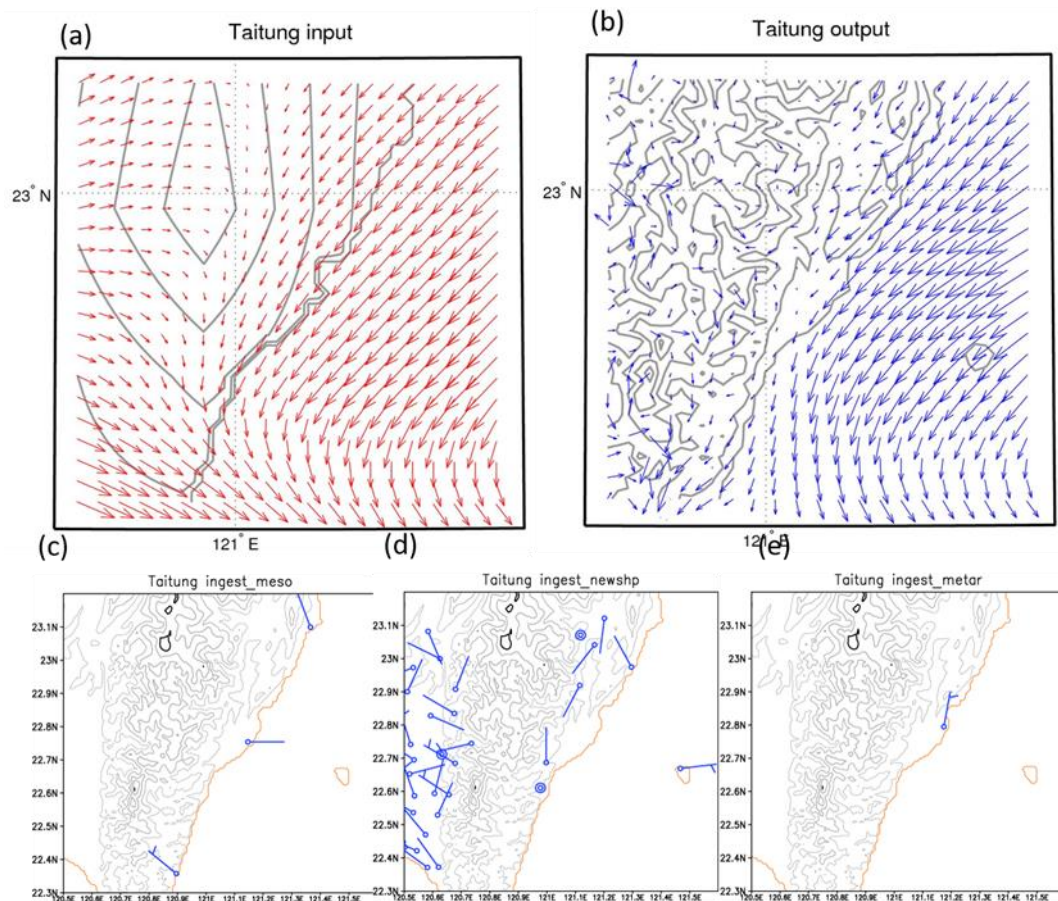


圖 4-6 2017/08/11 12UTC 個案台東地區風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場

台東及綠島地區（圖 4-6），NCEP GFS 模式中，為東北風轉北風的風場分布，降尺度系統與其差異也不多，但因為恆春半島地區的地勢較 NCEP GFS 來得高，阻擋了來自西邊的西北風，在降尺度系統的結果中便沒有西北分的分布。此區域測站的分布較疏，代表性不足，不過在綠島北邊的測站觀測到的東風，與降尺度系統中的東北風差異，來自於其代表的高度不同，測站觀測的位置較低，風場受地形影響較顯著。

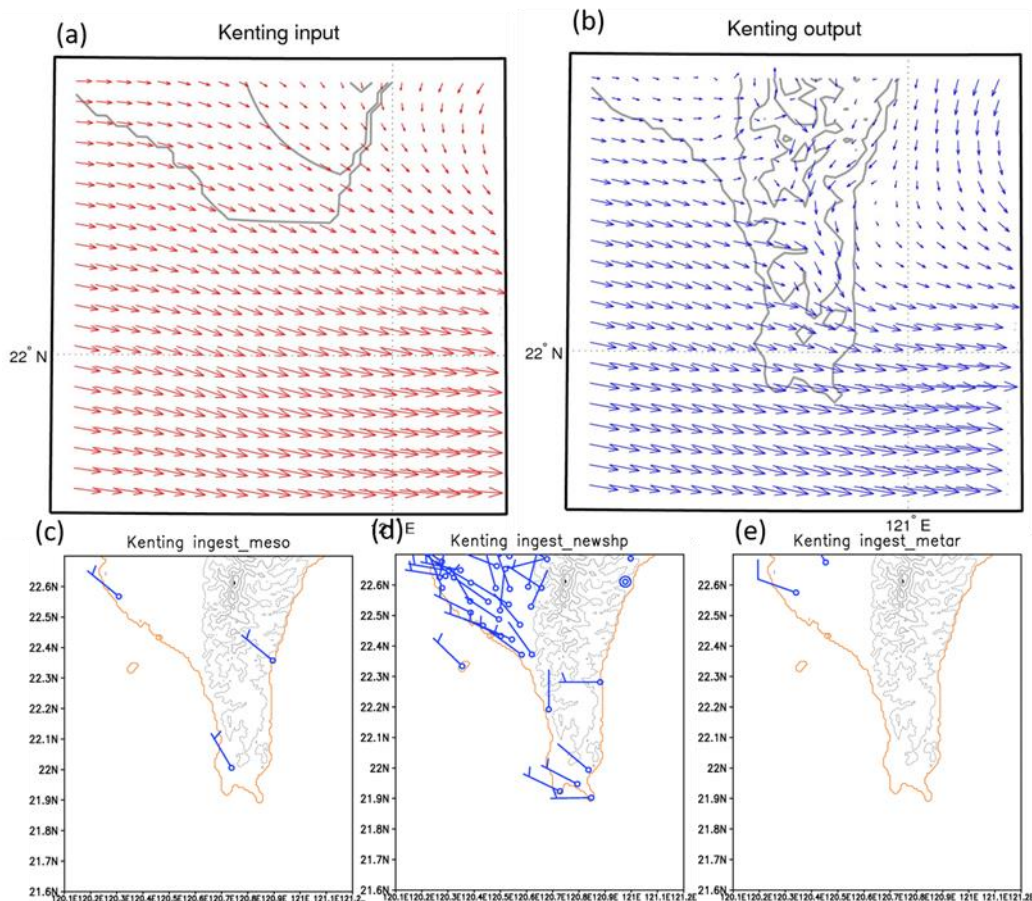


圖 4-7 2017/08/11 12UTC 個案恆春墾丁地區風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場

恆春半島地區（圖 4-7），在 NCEP GFS 模式當中，幾乎是沒有地形存在，在這個範圍內以西風系為主，而在降尺度系統中，恆春半島的地形，使得東邊的東北風可以延伸到較南端，成為一股北風流場往南與西邊的西風匯流，而測站的分布多集中在恆春半島的西北方以及墾丁地區，以西風、西北風為主，與 NCEP GFS 和降尺度系統差異不大。

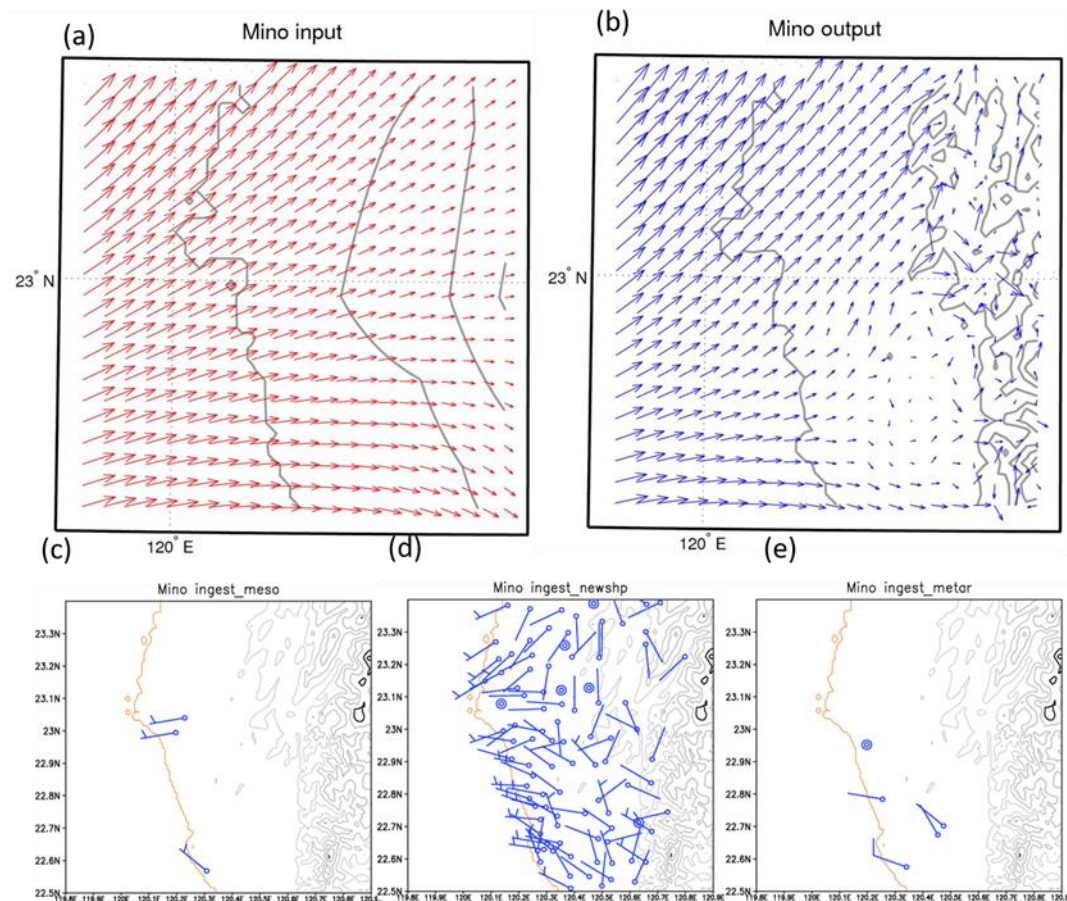


圖 4-8 2017/08/11 12UTC 個案高雄美濃地區風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場

高雄美濃地區（圖 4-8），在 NCEP GFS 模式中為西南風的迎風面分流點，向北順著地形仍為西南風，向南受山脈阻擋轉為西北風，而在降尺度系統中，流場與 NCEP GFS 模式的情況相去不遠，唯有在北緯 23 度以南的陸地上出現了一個渦旋，風場較為混亂，而測站風場的分布，亦是類似的情況，但其分流點較 NCEP GFS 模式北方。

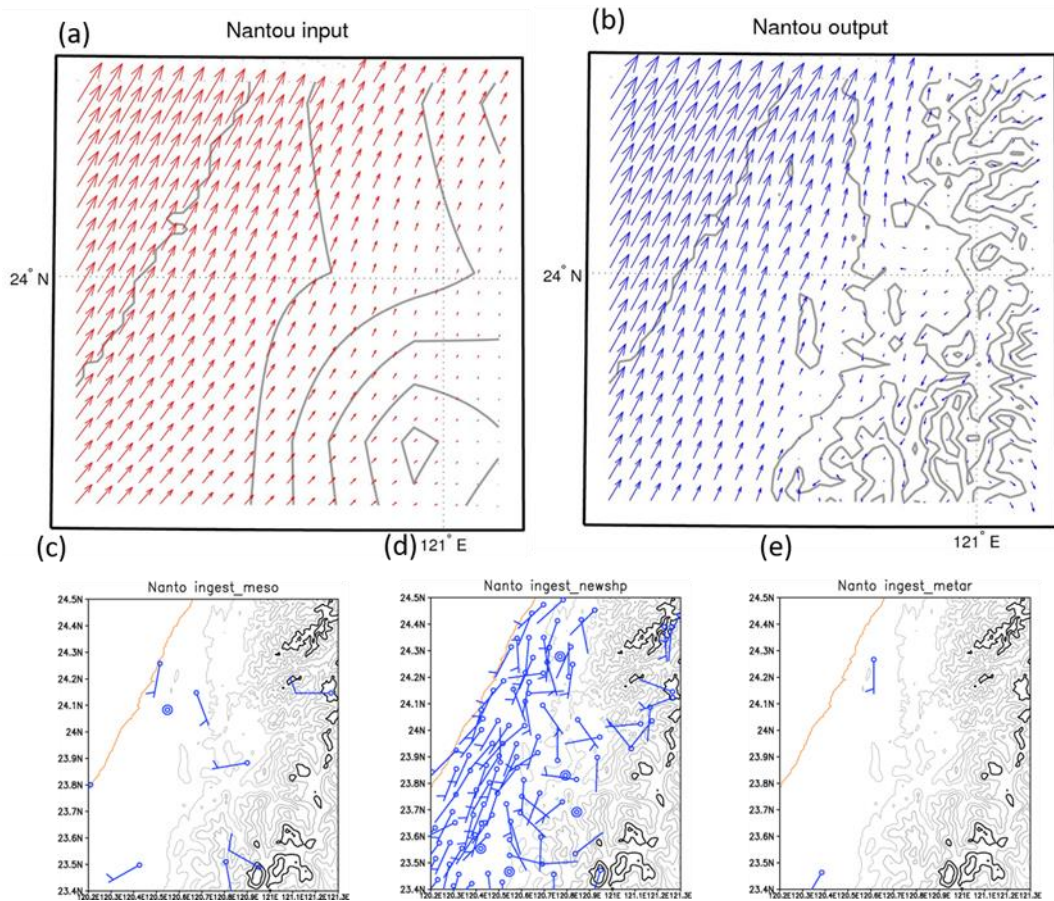


圖 4-9 2017/08/11 12UTC 個案南投地區風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場

南投地區(圖 4-9)，在 NCEP GFS 模式中為一致的西南風，降尺度系統中的結果也相似，其中在北緯 24 度，八卦台地以東地勢較低的山凹處，風場紊亂風速小，系統性不足，在測站的風場分布，相同以西南風為主。

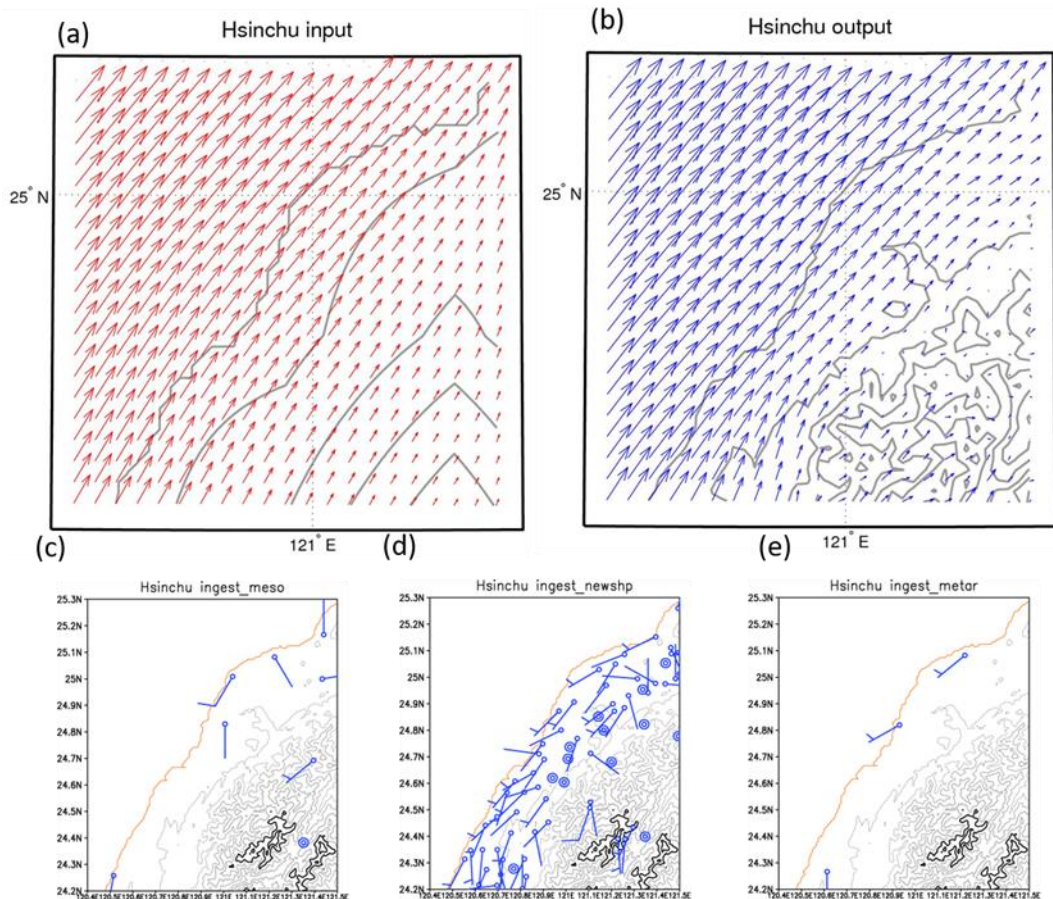


圖 4-10 2017/08/11 12UTC 個案新竹地區風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場

最後在新竹的部分（圖 4-10），不論是在 NCEP GFS、降尺度系統以及測站風場分布，大都是一致的西南風。垂直運動的部分（圖 4-11），在 5 次降尺度結束之後，在此案中的變化並不明顯。

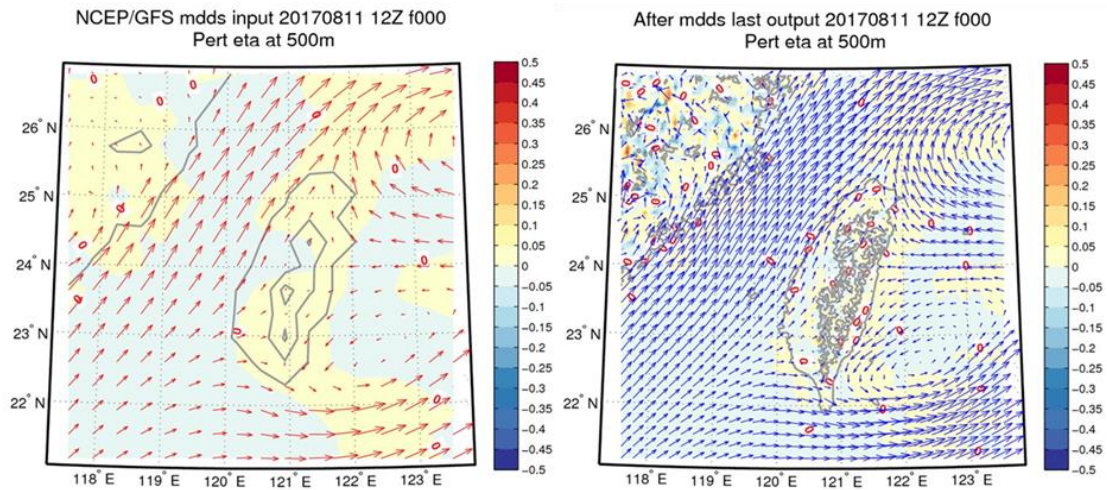


圖 4-11 2017/08/11 12UTC 個案，色階為追隨地勢座標下水平之輻合輻散 (a) NCEP GFS 高度 500 公尺 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里之高度 500 公尺

擴散及劑量模式模擬的部分，圖 4-12 至圖 4-15 為核一廠 Cs-137 假想事故的模擬結果，依序為解析度 250 公尺、500 公尺、1 公里、2.5 公里，每六個小時的沉降結果，在這 7 天之內風向變化不大，穩定的西南風，使得沉降物質大約都落在台灣的東北部海面上，且在 1 公里解析度的範圍裡，台灣東北部海上大約在 8 月 16 日 06UTC 時開始有一區域性的極值出現。

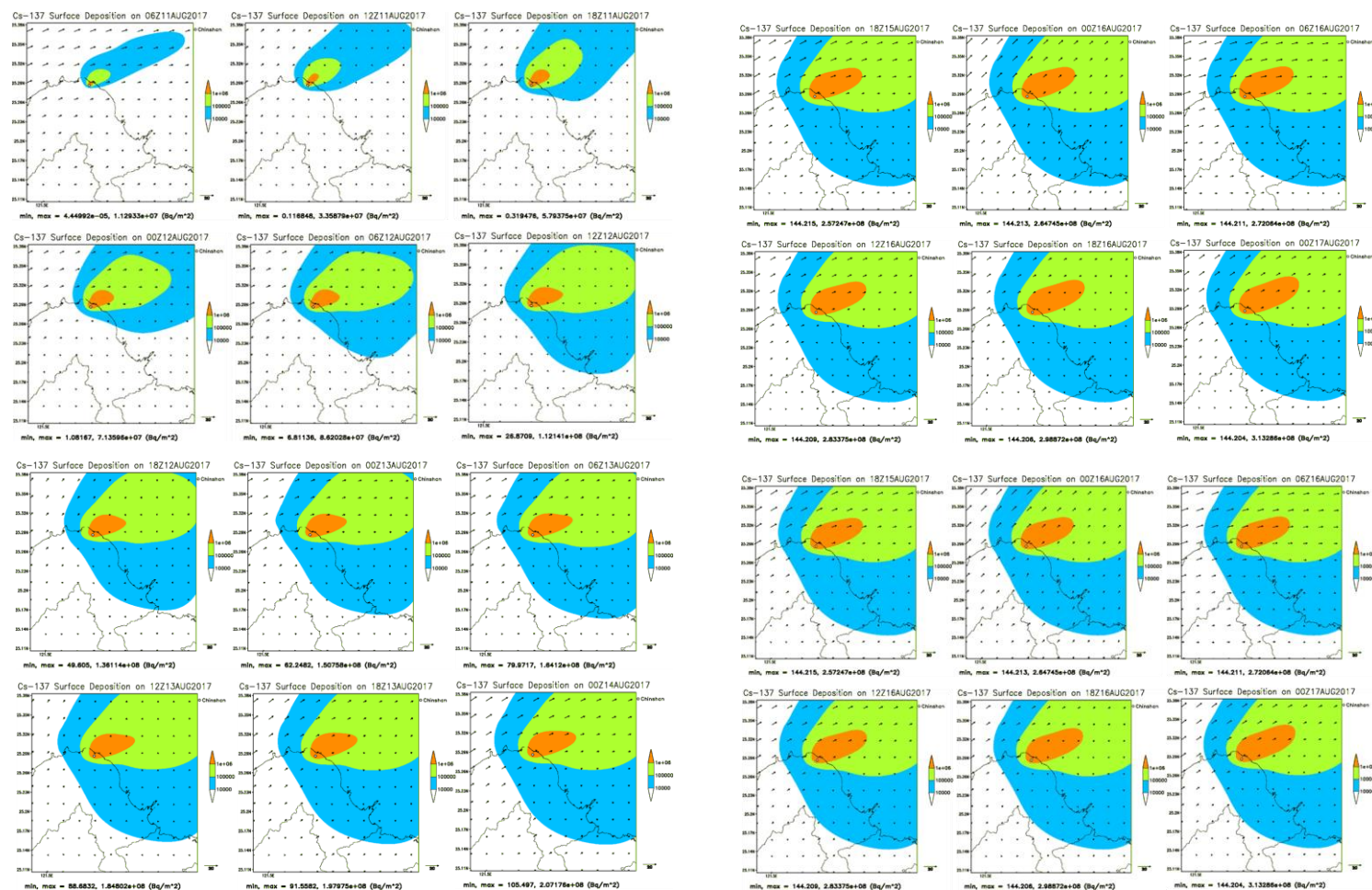


圖 4-12 2017/08/11 核一廠 Cs-137 假想事故之劑量評估系統模擬，水平解析度為 0.25 公里沉降量的模擬結果，時間解析度為 6 小時，呈現沉降量的變化。單位為 Bq/m²

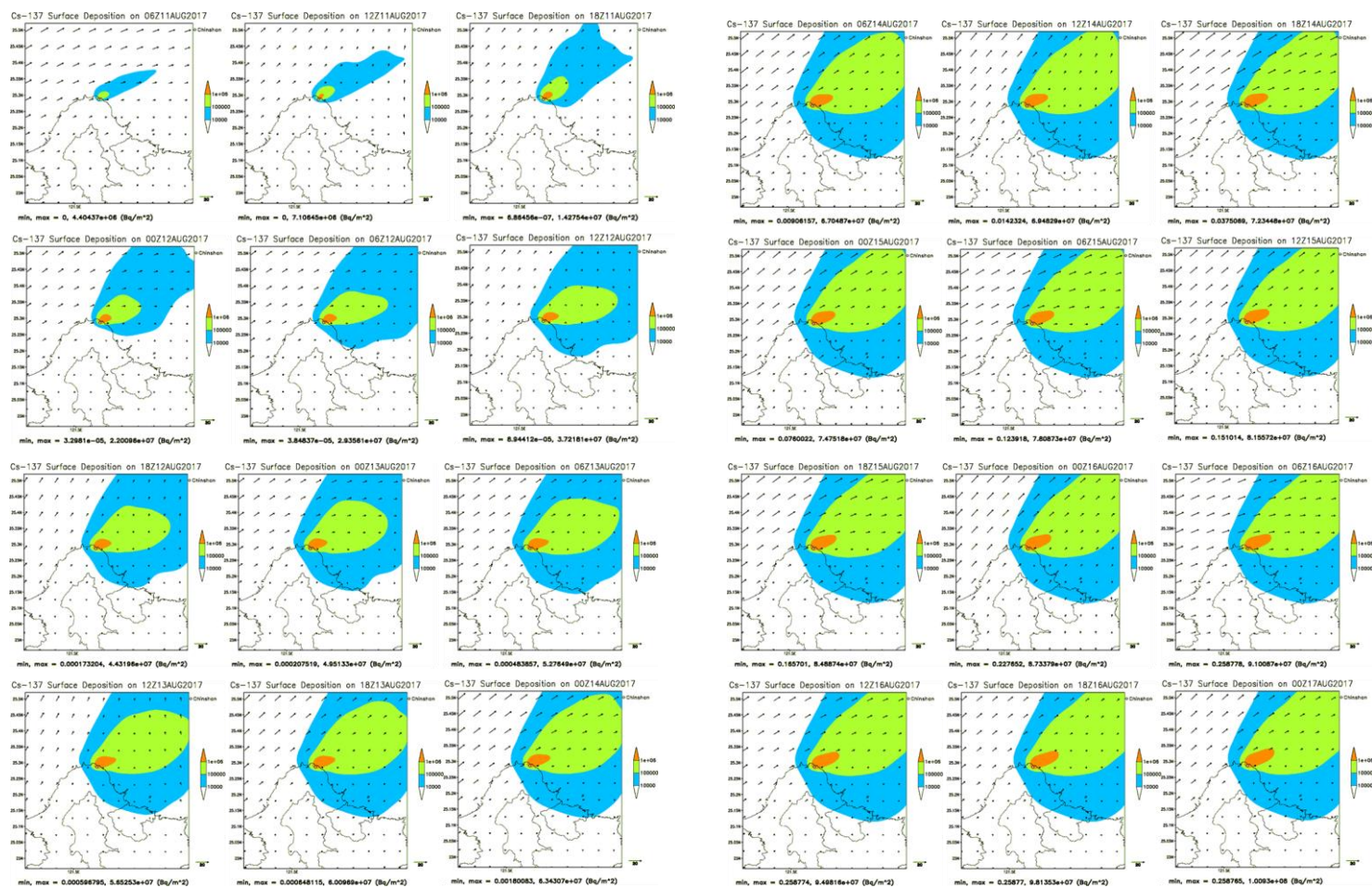


圖 4-13 2017/08/11 核一廠 Cs-137 假想事故之劑量評估系統模擬，水平解析度為 0.5 公里沉降量的模擬結果，時間解析度為 6 小時，呈現沉降量的變化。單位為 Bq/m²

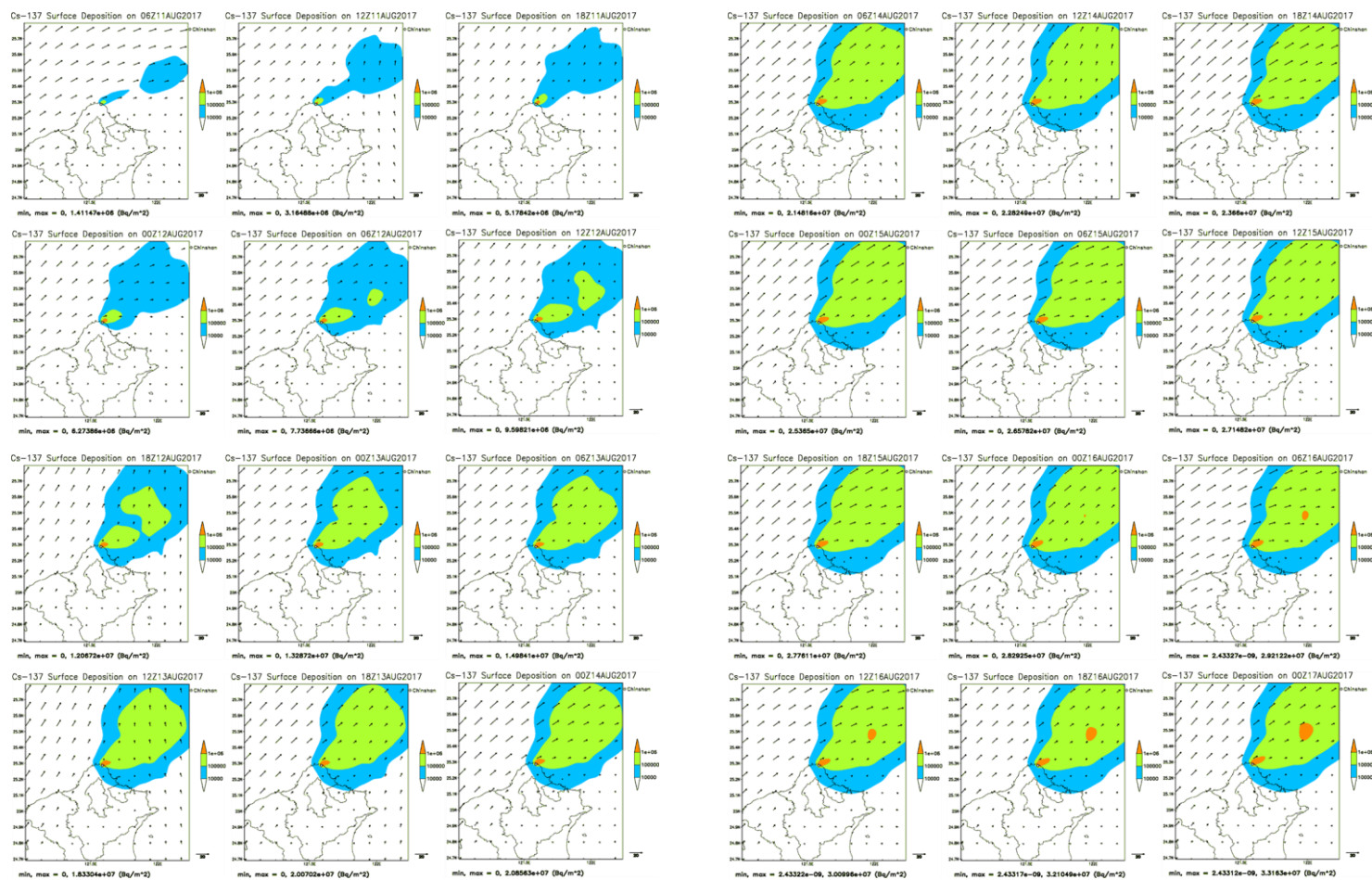


圖 4-14 2017/08/11 核一廠 Cs-137 假想事故之劑量評估系統模擬，水平解析度為 1 公里沉降量的模擬結果，時間解析度為 6 小時，呈現沉降量的變化。單位為 Bq/m²

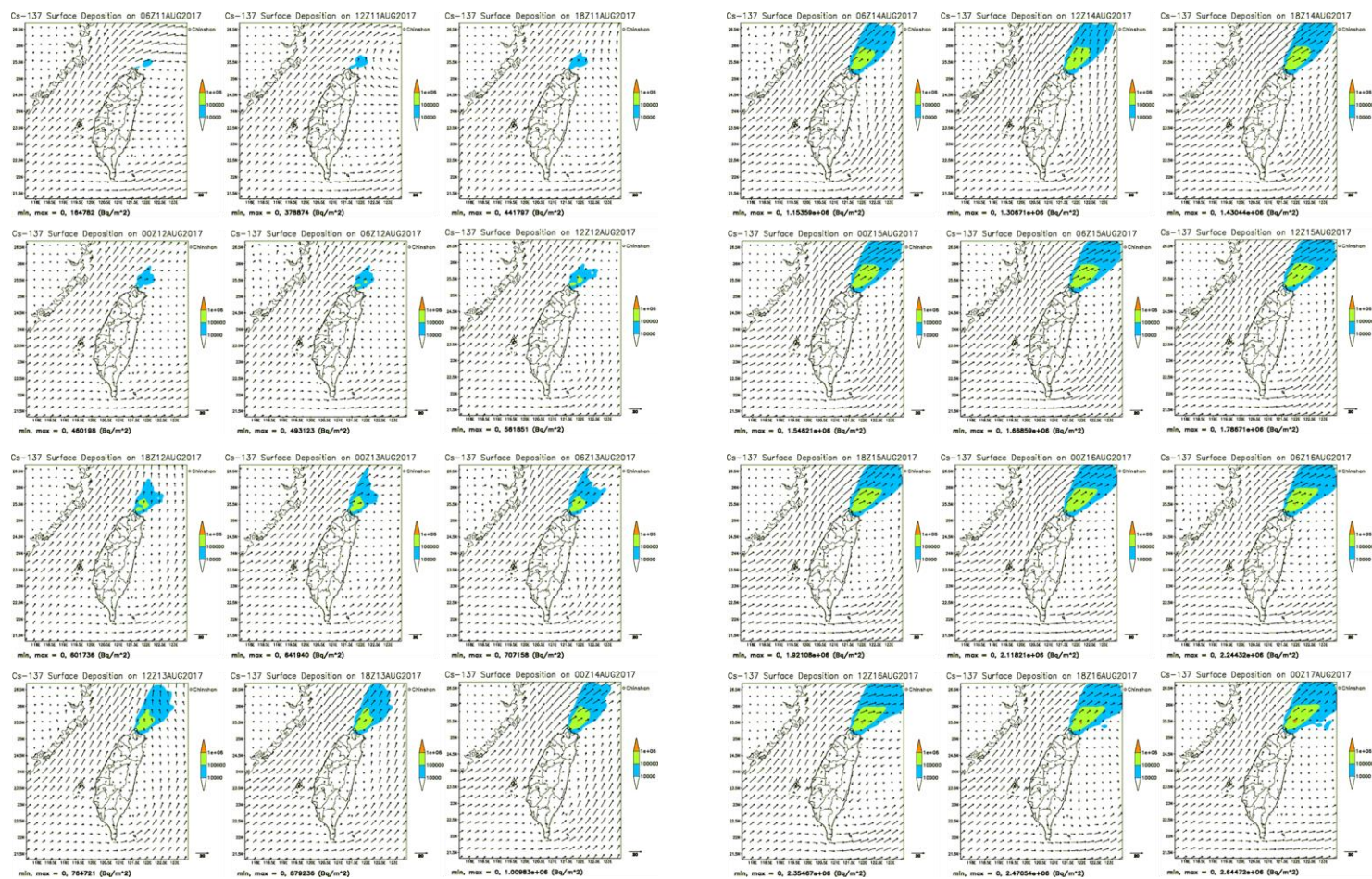


圖 4-15 2017/08/11 核一廠 Cs-137 假想事故之劑量評估系統模擬，水平解析度為 2.5 公里沉降量的模擬結果，時間解析度為 6 小時，呈現沉降量的變化。單位為 Bq/m²

4.2 秋季個案討論

台灣的 10 月份是秋季，西北太平洋的低壓擾動仍處活躍的狀態，但是大陸北方的高壓也漸漸南移，東北季風與颱風共伴常常為台灣帶來不少的雨量，在 10 月 13 日 06UTC 的地面天氣圖中（圖 4-16），卡努颱風位在台灣和菲律賓中間的巴士海峽上，大陸高壓大約在黃河口和渤海的位置，即將出海，與卡努颱風環流為主要影響台灣天氣的兩個系統，風向為東北風。

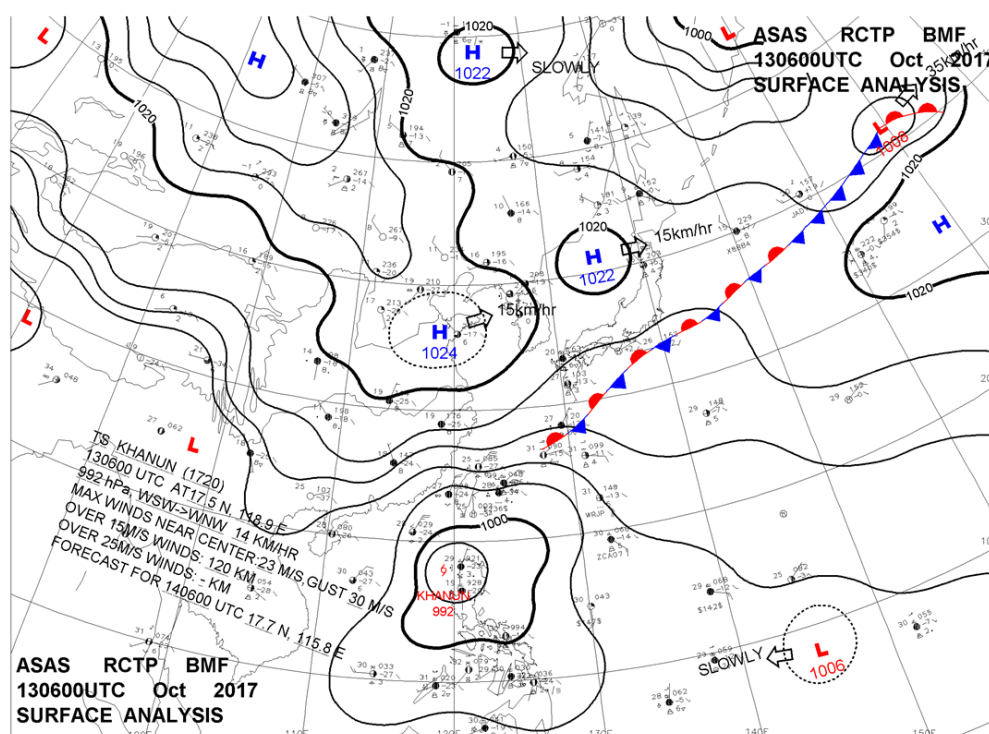


圖 4-16 中央氣象局地面天氣圖，時間為 2017 年 10 月 13 日 06UTC

在 NCEP 全球預報模式當中（圖 4-17a），台灣附近高度 250 公尺的風場為一致的東北風，在降尺度系統中（圖 4-17b），水平解析度為 2.5 公里時，洋面上的部分也是類似的情形，而測站的風場分布亦相去不遠。接著將台灣分為 7 個區域進行降尺度系統與全球預報模式 (NCEP GFS)，在地形上的差異，以及利用測站資料為降尺度系統中，綜觀天氣與台灣地形影響之下的結果，

相互驗證。

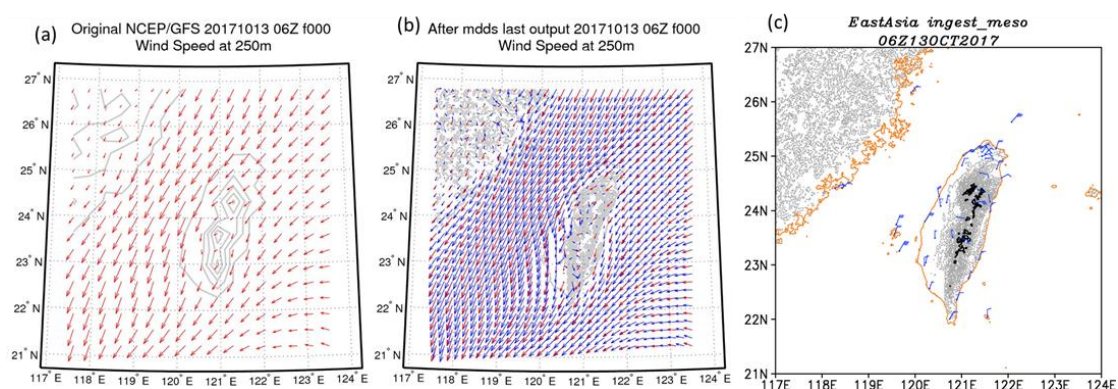


圖 4-17 2017/10/13 06UTC 個案風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場

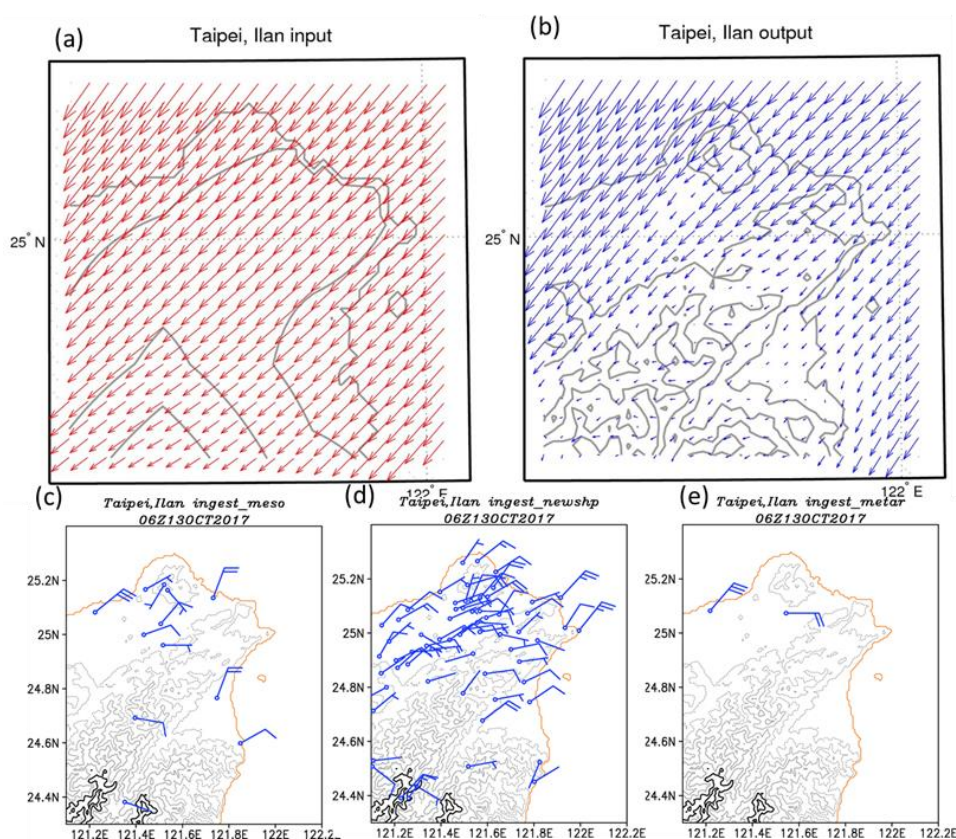


圖 4-18 2017/10/13 06UTC 個案台北宜蘭地區風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場

在台北宜蘭地區（圖 4-18），NCEP GFS 模式結果為風速大

小變化不大的東北風，而降尺度系統中，東北風受到大屯山的阻擋，在大屯山後風速減弱的現象，蘭陽平原的風也有明顯的減速，但仍然是東北風，在測站的風場，則因為地勢較 250 公尺更低，受地形阻擋的情形更為明顯，在臺北盆地區域中，東北風轉為東風，蘭陽平原則大多仍是東北風。

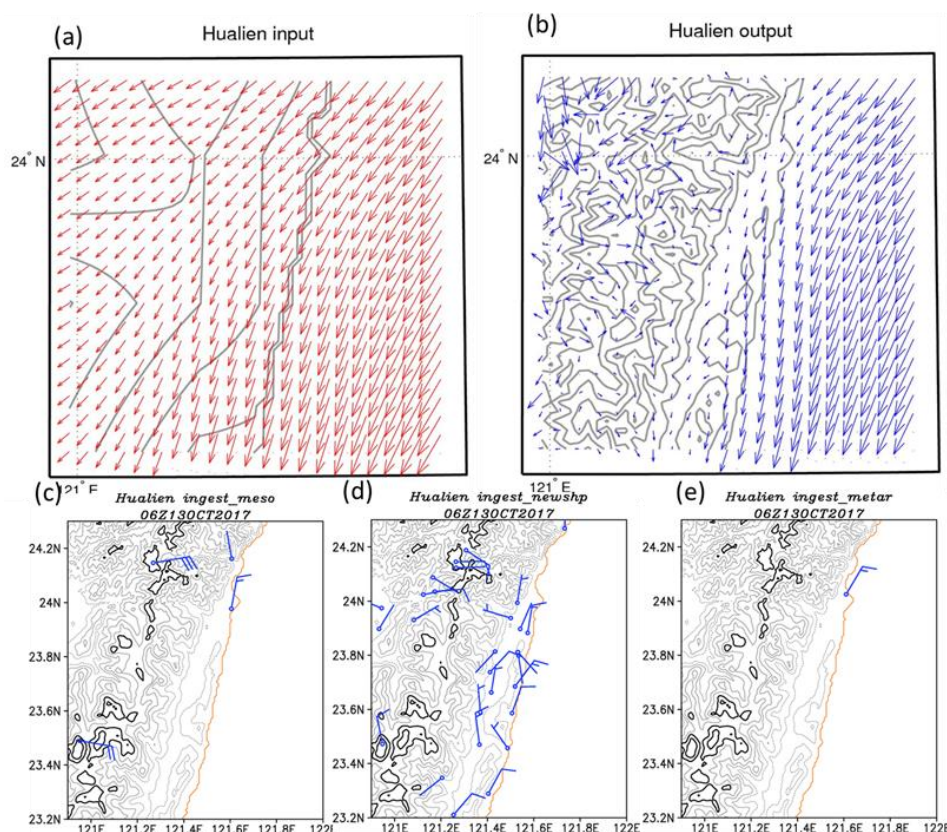


圖 4-19 2017/10/13 06UTC 個案花蓮地區風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場

在花蓮地區（圖 4-19），NCEP GFS 大致上都為東北風，而降尺度系統中，受到海岸山脈的影響，在沿岸的地區轉為偏北風，花東縱谷的風是從北邊，中央山脈和海岸山脈的缺口引入，一路往南吹，測站的風場分布也大多是東北風及東風，差異不大。

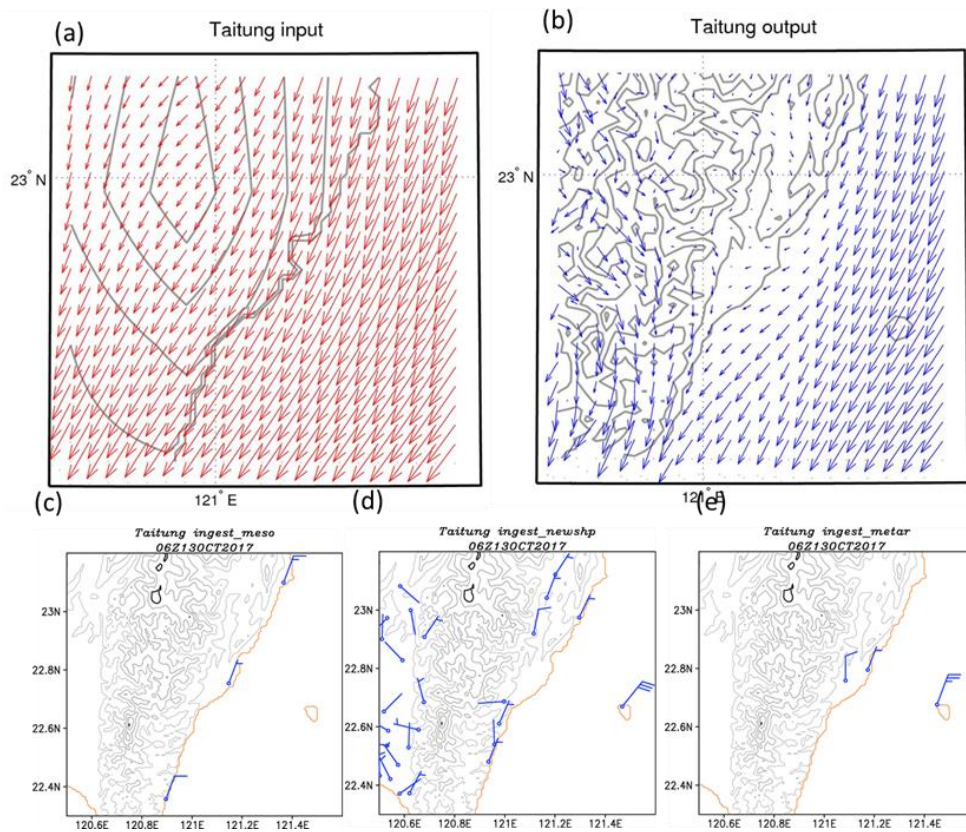


圖 4-20 2017/10/13 06UTC 個案台東地區風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場

台東地區（圖 4-20），與 NCEP GFS 模式相比較大的差異在於海岸山脈南端，當東北風順著地形南下，地勢突然降低，有部分的東北風轉成東風，順著地形轉入，然而在這個地區的測站風場並無呈現出轉向的情形。

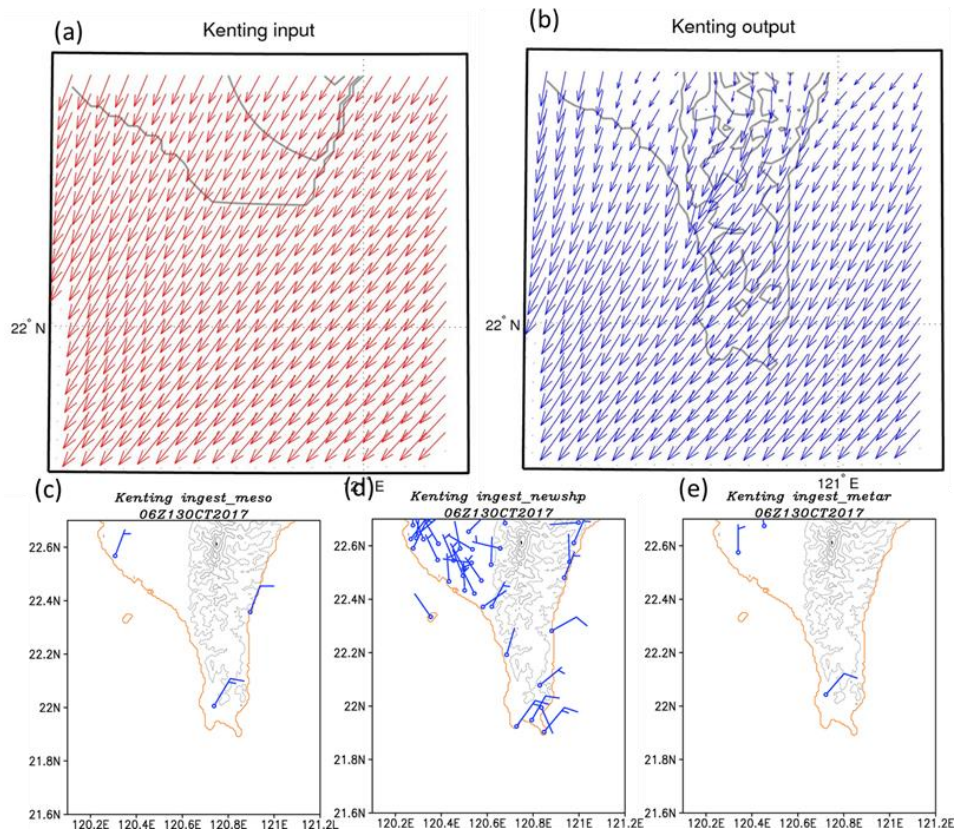


圖 4-21 2017/10/13 06UTC 個案恆春墾丁地區風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場

恆春半島地區（圖 4-21），NCEP GFS 與降尺度系統的結果差異不大，大致上都是東北風，但屏東平原的測站風場則是呈現西北風。

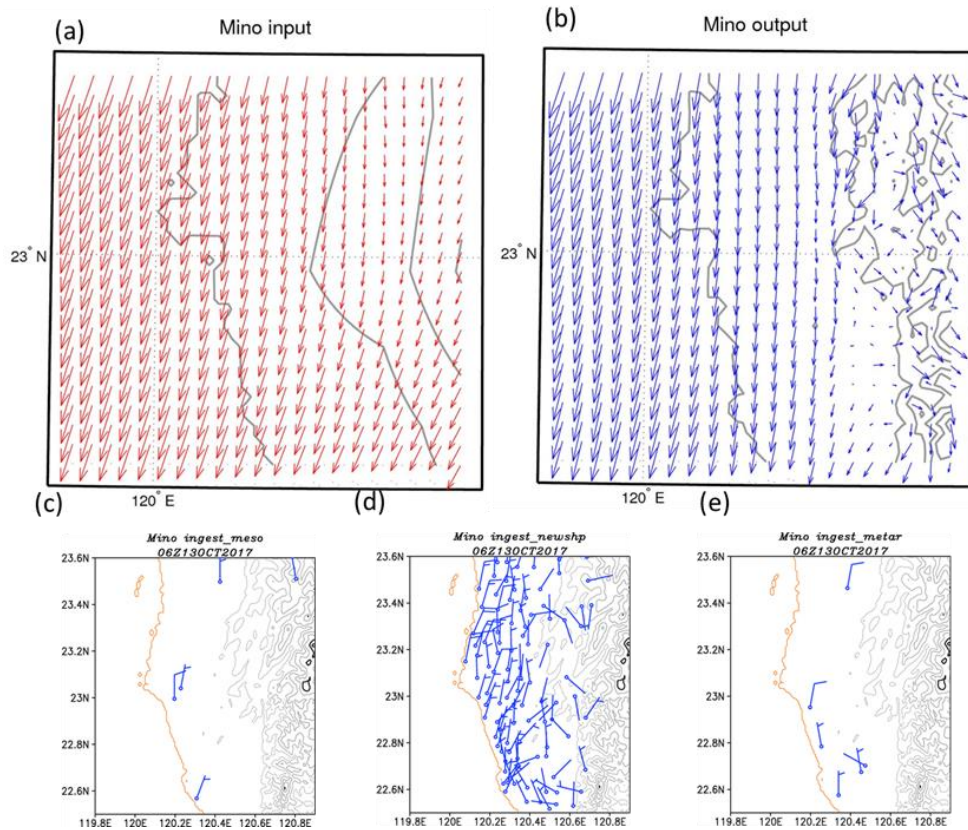


圖 4-22 2017/10/13 06UTC 個案高雄美濃地區風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場

美濃地區（圖 4-22），由於降尺度系統中山脈的地勢較高，東北風轉為北風的情形更為顯著，而測站部分最大的不同是在接近屏東地區，有較多的西風分量出現，呈現西北風，與 NCEP GFS 和降尺度系統中的北風、東北風有些不同。

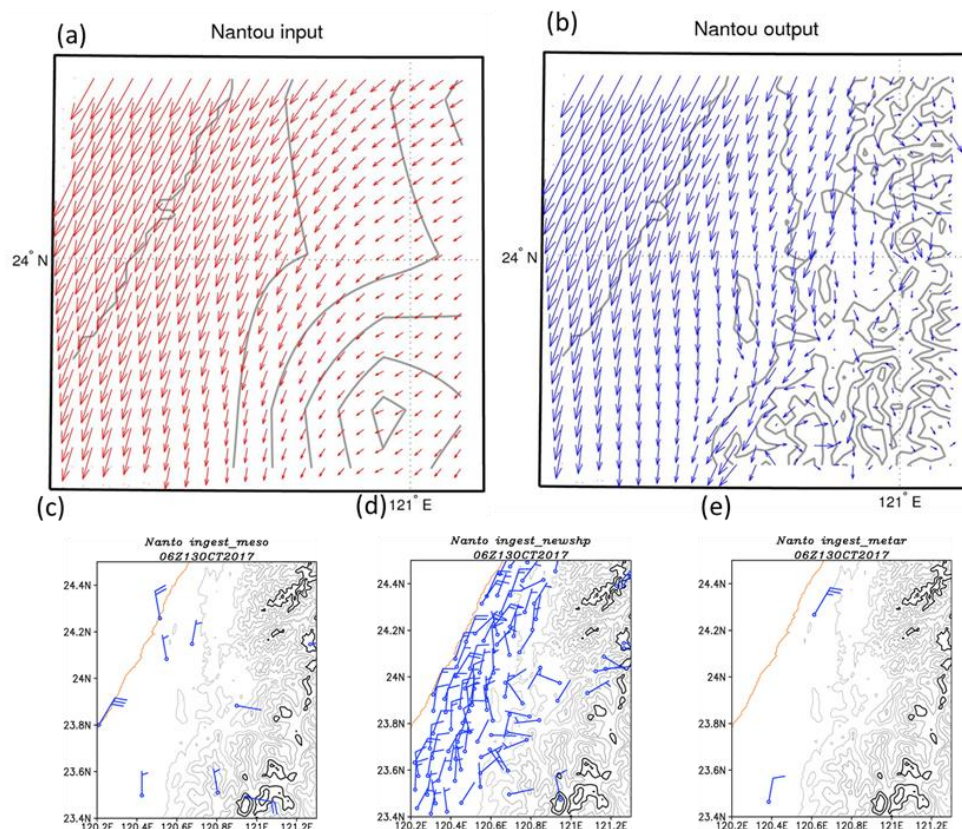


圖 4-23 2017/10/13 06UTC 個案南投地區風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場

南投地區（圖 4-23），降尺度系統之後風向轉為北風的部分較 NCEP GFS 更為明顯，在測站的風場分布也是有相似的情形。

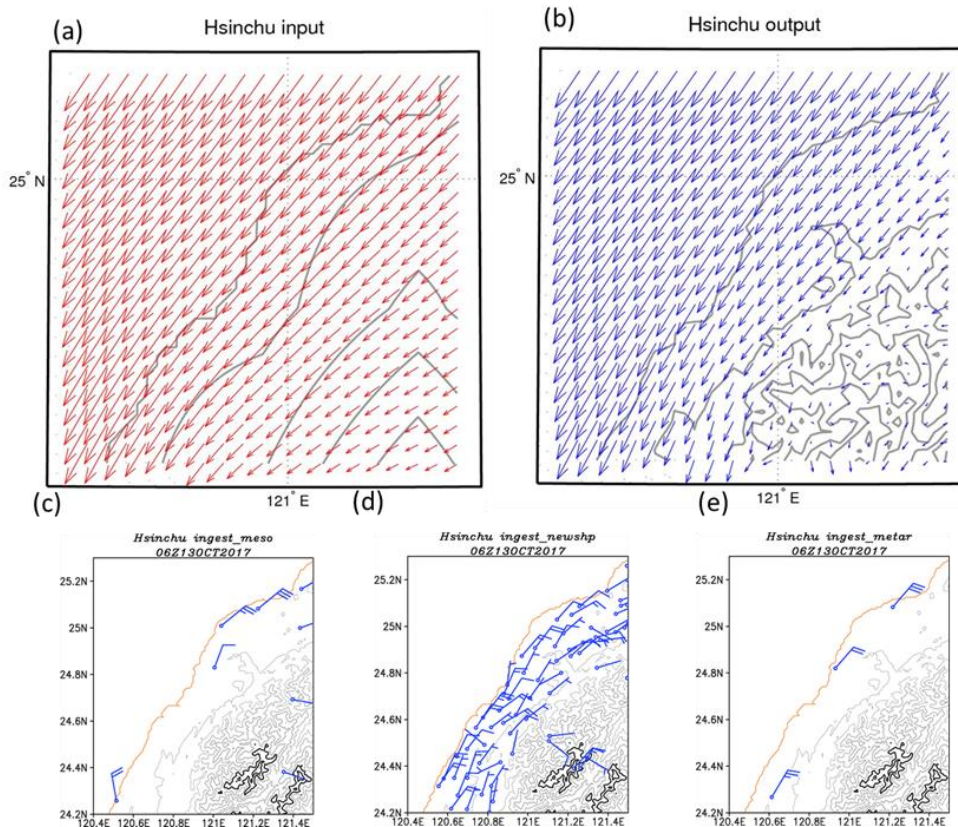


圖 4-24 2017/10/13 06UTC 個案新竹地區風場比較 (a) NCEP GFS 250 公尺風場 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里高度 250 公尺之風場 (c) 綜觀氣象站風場 (d) 自動測站風場 (e) 機場測站風場

新竹地區（圖 4-24），NCEP GFS、降尺度系統的結果與測站的風場差異都不大。垂直運動的部分（圖 4-25），降尺度到解析度 2.5 公里時，由於地形複雜度的提升，垂直運動的被地形切割的較為零碎，在北部的台北盆地位置，由於風速減速，為輻合區，另外，在台東地區，風向由東北風轉為東風，加強輻散的程

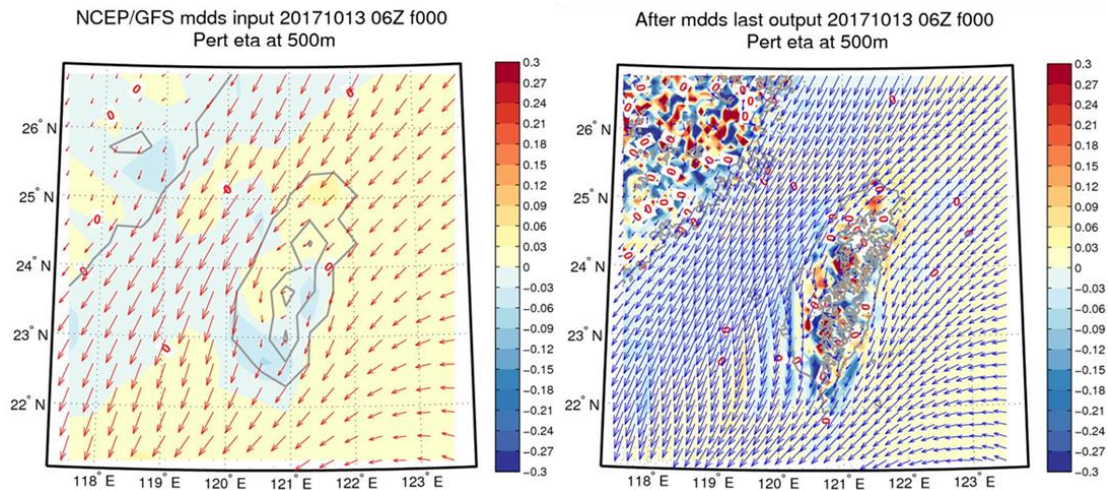


圖 4-25 2017/10/13 06UTC 個案，色階為追隨地勢座標下水平之輻合輻散 (a) NCEP GFS 高度 500 公尺 (b) MDDS 水平解析度 2.5 公里之高度 500 公尺

擴散及劑量模式模擬的部分，圖 4-26 至圖 4-29 為核一廠 Cs-137 假想事故的模擬結果（其它結果略），依序為解析度 250 公尺、500 公尺、1 公里、2.5 公里，每六個小時的沉降結果，在這 7 天之內，核一廠周圍風向的變化主要是由東北風轉為東南風，再轉為西北風的情形，使得沉降物質大約都往核一廠之西南風及西方沉降，且在 1 公里解析度的範圍裡，桃園及其沿岸附近都有一區域性的大值出現，為風場輻合所造成。

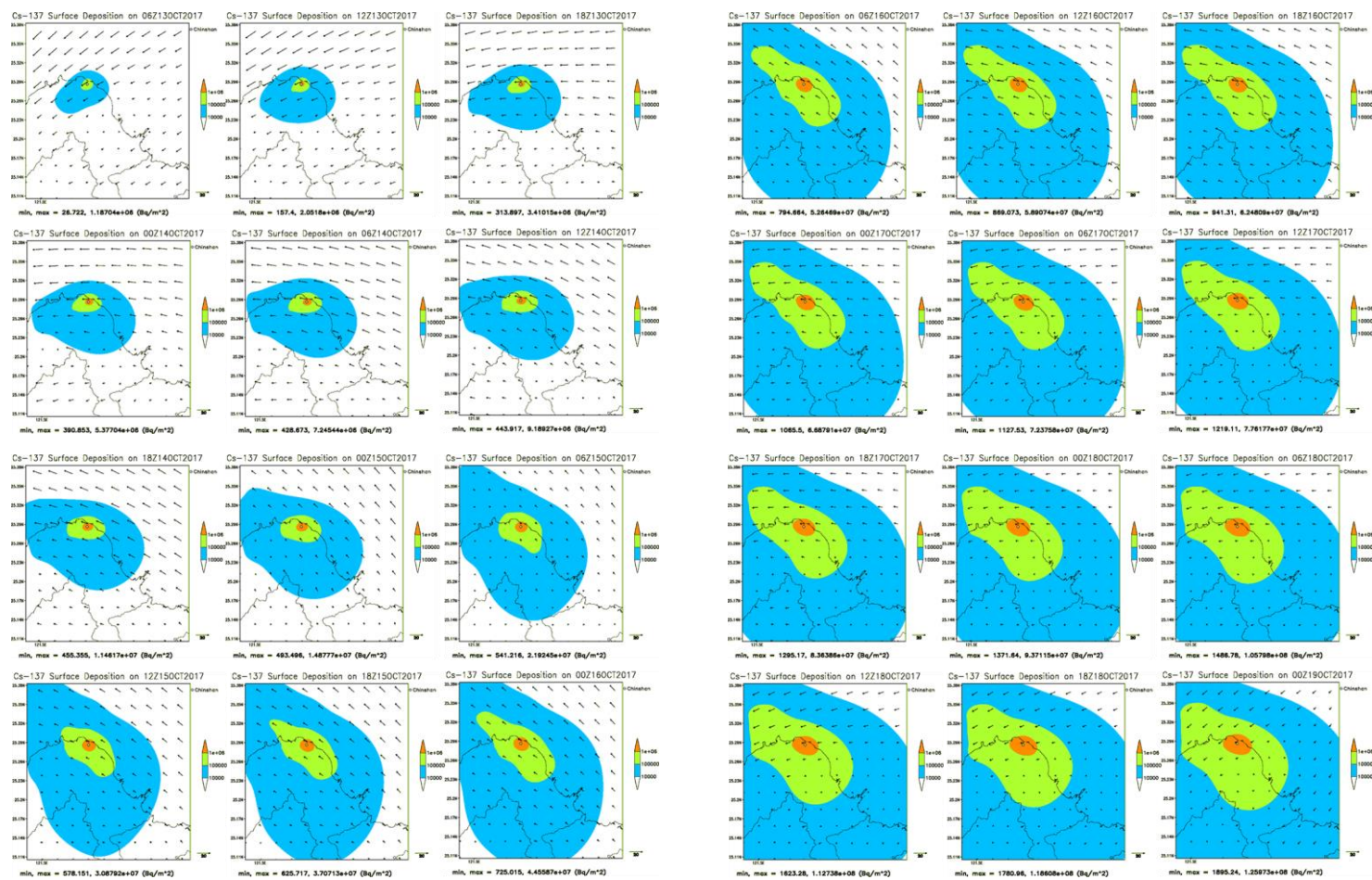


圖 4-26 2017/10/13 核一廠 Cs-137 假想事故之劑量評估系統模擬，水平解析度為 0.25 公里沉降量的模擬結果，時間解析度為 6 小時，呈現沉降量的變化。單位為 Bq/m²

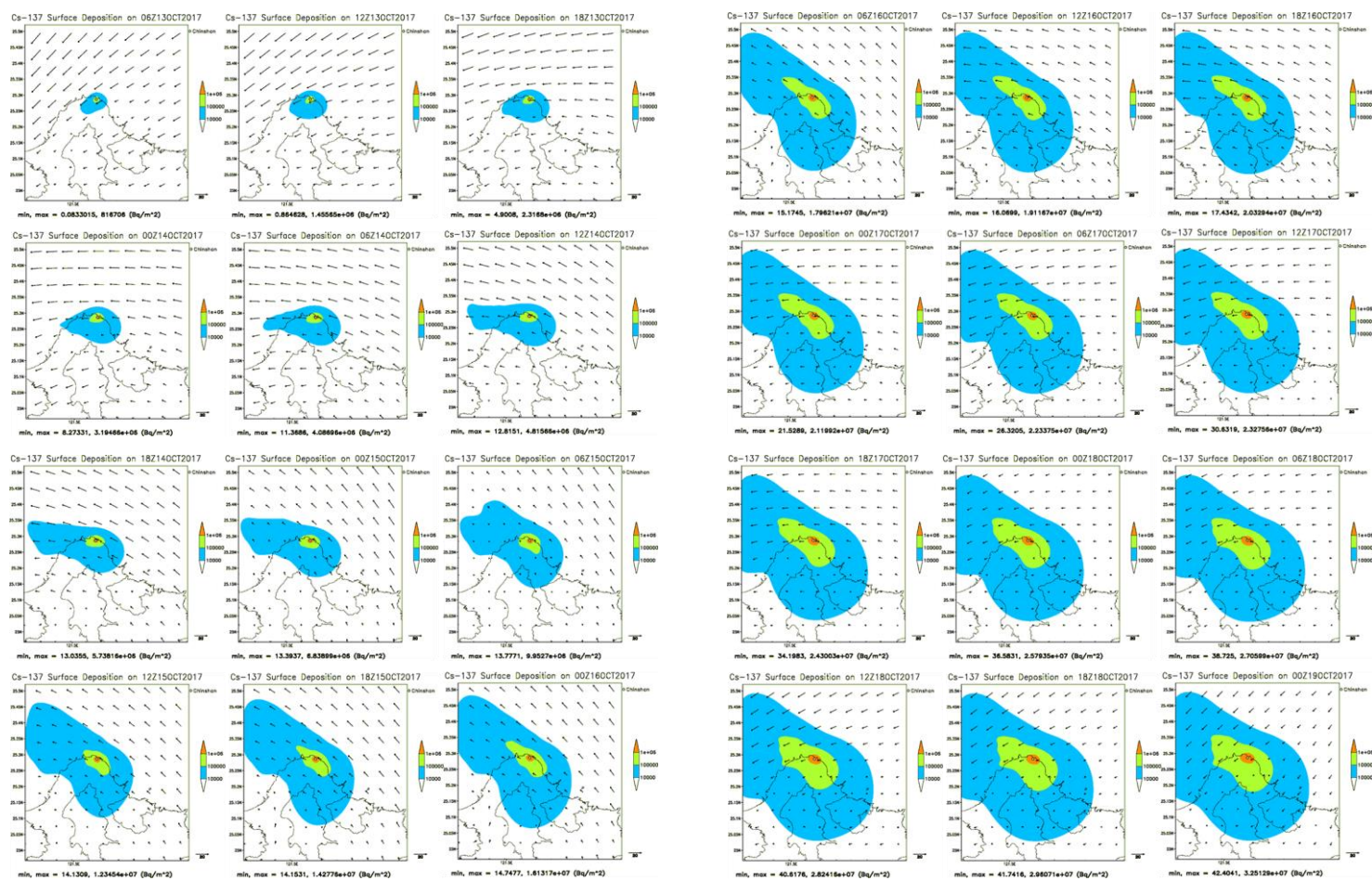


圖 4-27 2017/10/13 核一廠 Cs-137 假想事故之劑量評估系統模擬，水平解析度為 0.5 公里沉降量的模擬結果，時間解析度為 6 小時，呈現沉降量的變化。單位為 Bq/m²

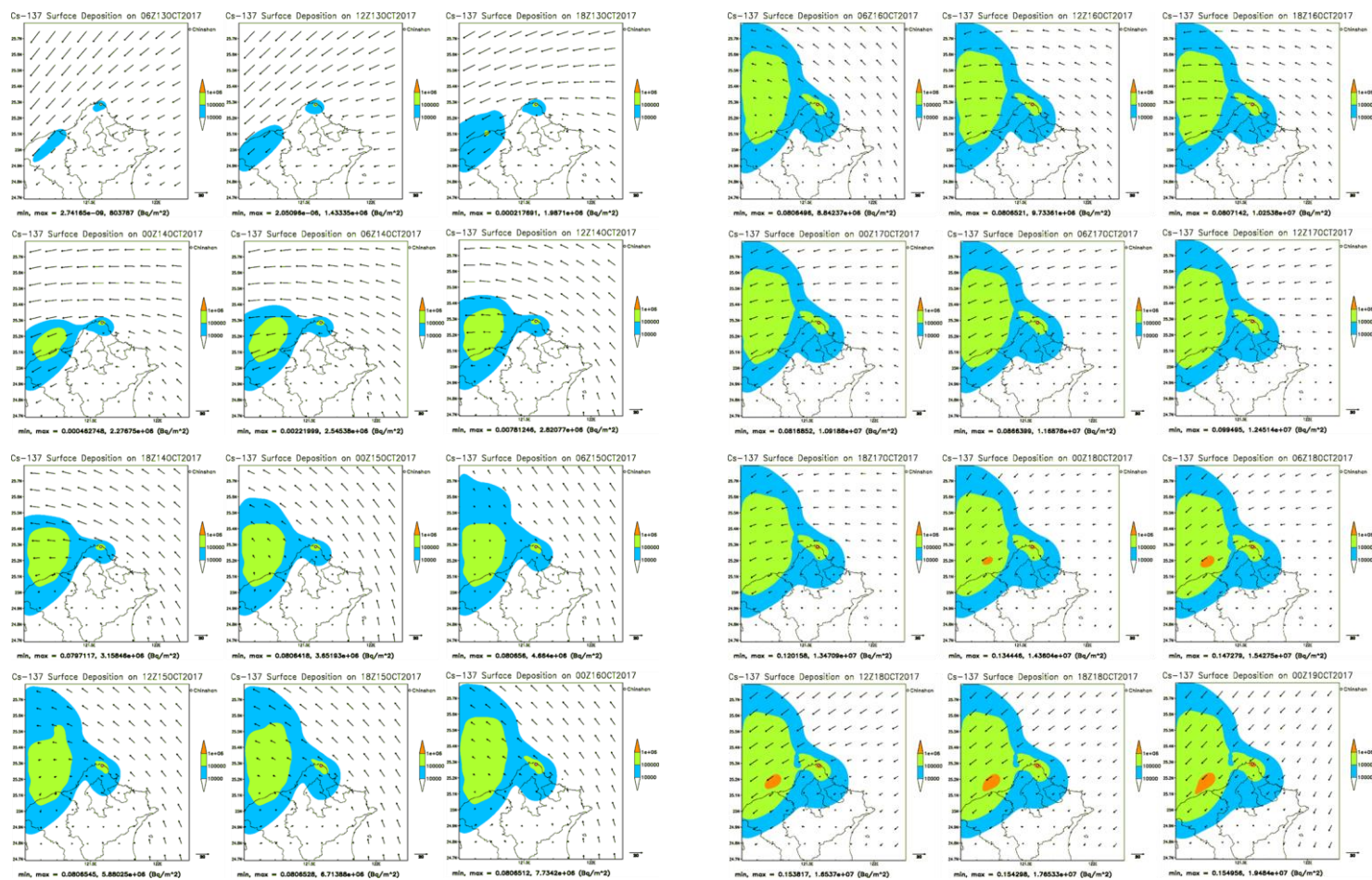


圖 4-28 2017/10/13 核一廠 Cs-137 假想事故之劑量評估系統模擬，水平解析度為 1 公里沉降量的模擬結果，時間解析度為 6 小時，呈現沉降量的變化。單位為 Bq/m²

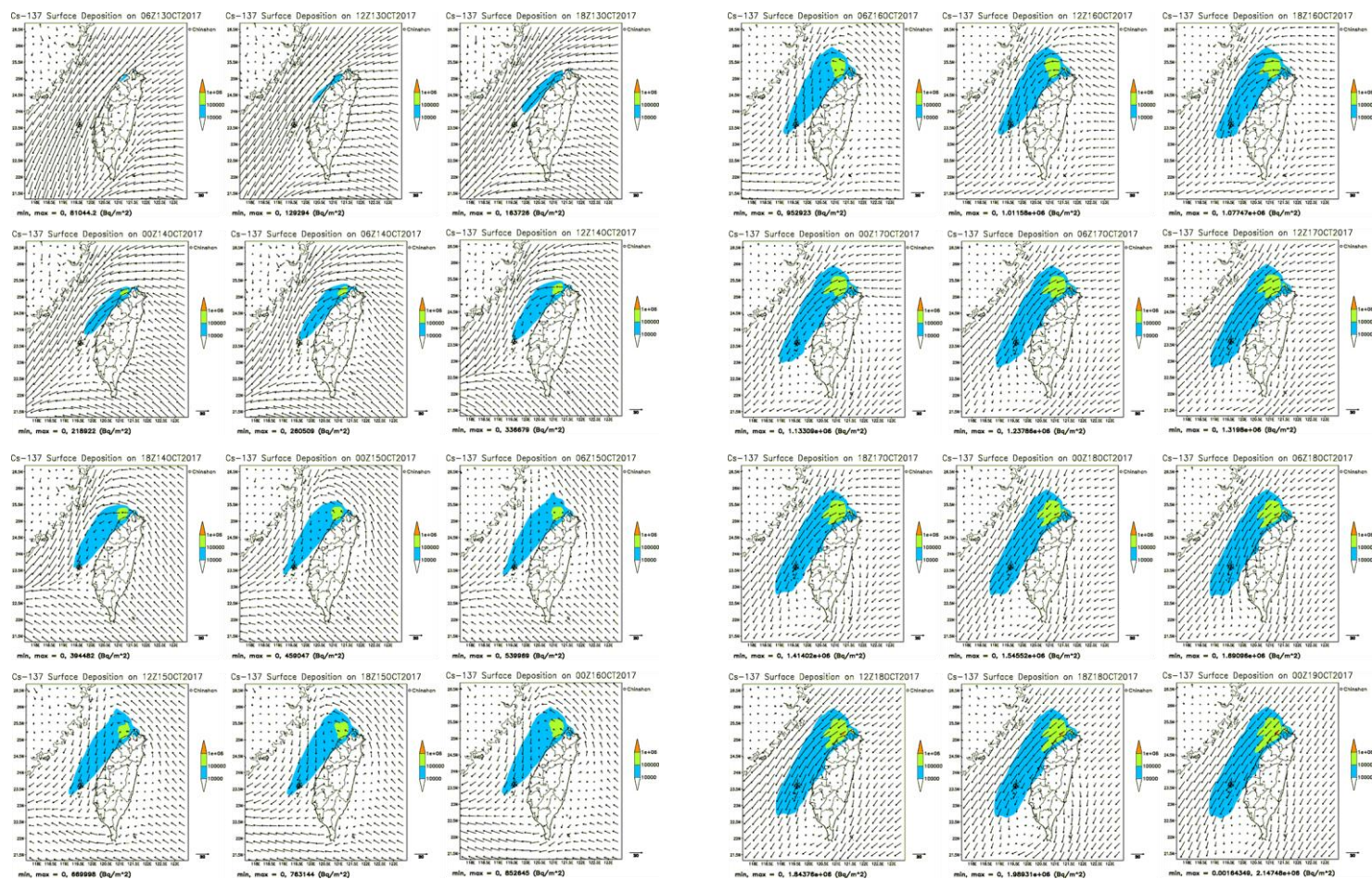


圖 4-29 2017/10/13 核一廠 Cs-137 假想事故之劑量評估系統模擬，水平解析度為 2.5 公里沉降量的模擬結果，時間解析度為 6 小時，呈現沉降量的變化。單位為 Bq/m²

5. 氣象資料庫類型劑量評估系統之核二廠氣象資料庫更新

因應氣象局 CWB GFS 模式進行升級，由原本的 T319L40 版本更新為 T511L60 版本，模式的水平解析度由 0.5 度提高至 0.25 度，垂直解析度由 40 層增加至 60 層，且舊版本於 106 年 4 月下線。CWB GFS 模式的資料主要是應用於原劑量評估系統的氣象資料庫，利用 CWB GFS 8 天每 6 小時 1 筆的預報資料，內插出各個核電廠附近具代表性的風場、穩定度之氣象資訊，以提供給系統進行風場混合程序，產出劑量評估系統之氣象資料。而舊版本的 CWB GFS 資料使用的是垂直座標為 sigma-level 的資料，資料名稱為 GGMG，但新版本的 sigma-level 資料產出的預報時間解析度不敷使用，因此改用垂直座標為 p-level 的資料，資料名稱為 GH0G，並且採用 10 米的 u、v 風速，計算風向、風速。

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。

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

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 5-1 之每月的溫度平均值作為模擬初始

值設定。

表 5-1 各月份地面平均地面溫度與海水表面溫度

上半年	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
地面溫度(°C)	14.67	15.45	16.81	20.42	23.50	25.50
海水表面溫度(°C)	20.39	21.04	22.84	23.63	25.20	26.22
下半年	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
地面溫度(°C)	27.31	27.15	25.77	22.79	19.94	16.25
海水表面溫度(°C)	28.29	28.82	28.10	26.36	26.58	22.09

A2Cflow 模式模擬的設計分為四個巢狀網格，解析度為 8 公里、2 公里、1 公里還有 0.5 公里，格點數分別為 60×60、60×60、40×80 以及 40×80，最小範圍則涵蓋以各核二廠為中心；模式初始風向係參照原各月分統計獲得的風向，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°C/100m，相當於穩定度分類中的 D 級）跟 0.005（-0.35°C/100m，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 22LST，夏季的初始模擬時間為 02LST，冬季的初始模擬時間為 20LST，每一個模擬均總共模擬 36 個小時。圖 5-1 到圖 5-8 為 A2Cflow 模式模擬風向 45°、風速 2 m/s、大氣穩定度 D 之冬季風場結果，共 8 組模擬。向量圖為模式第二層之風場，其高度為 20 公尺，溫度擾動以陰影表示。

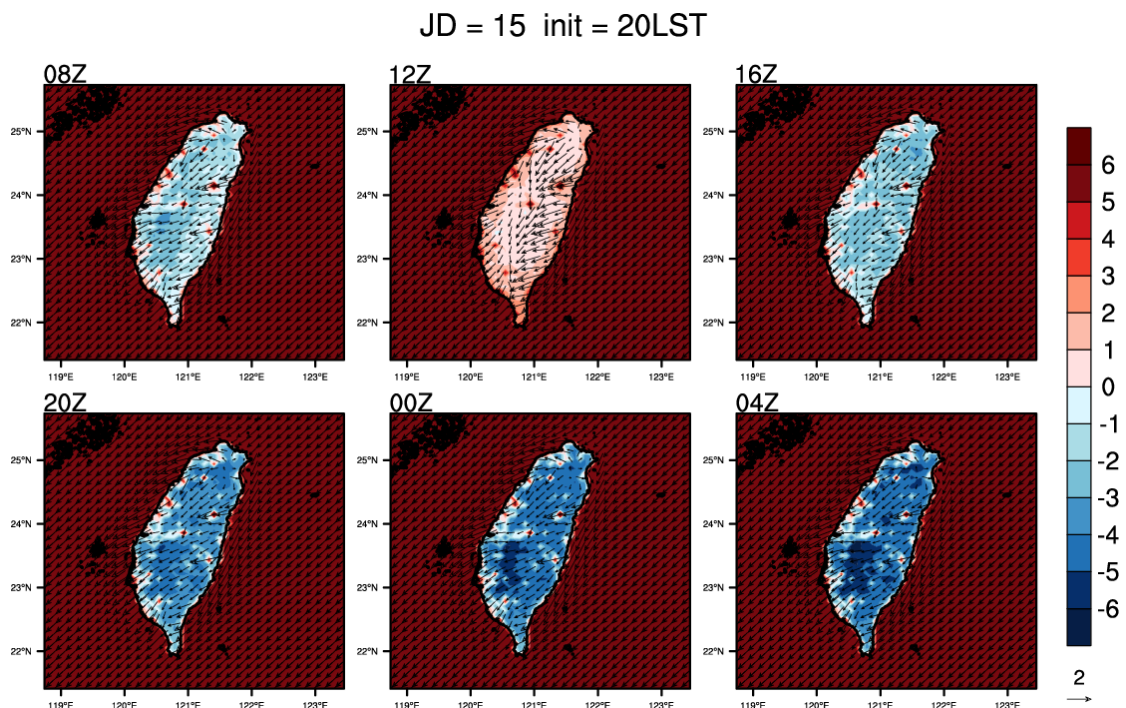


圖 5-1 A2Cflow 調校後之模擬 (20 公尺高)風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 20LST，中心位置為核二廠 (第 1 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.002 (穩定度分類 D 級)；填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$

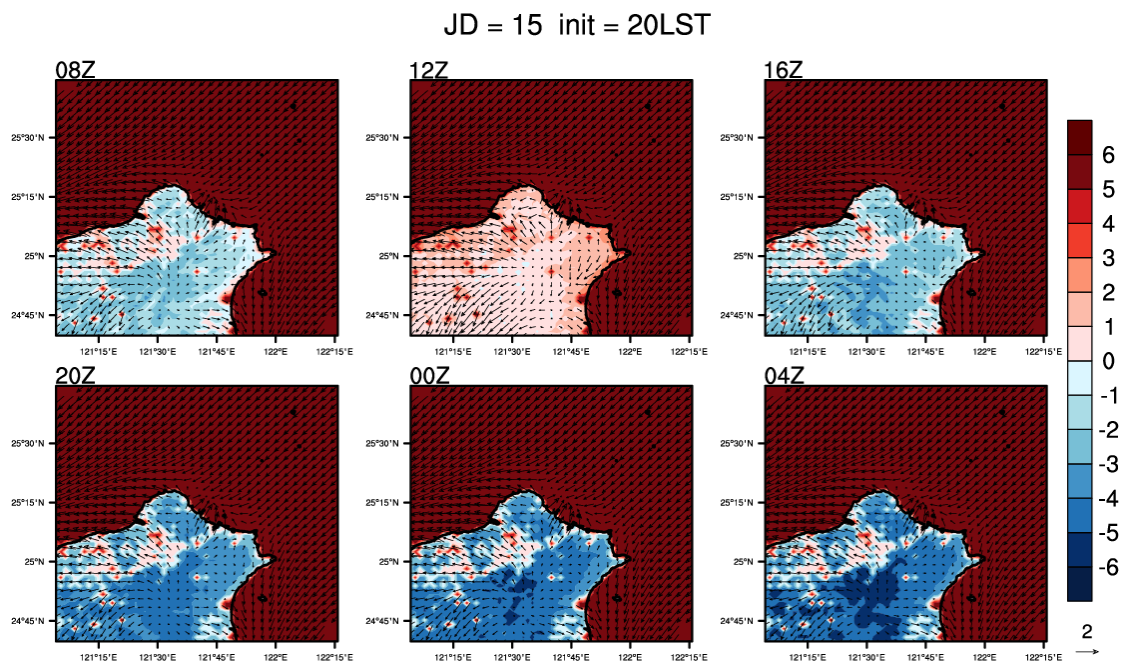


圖 5-2 A2Cflow 調校後之模擬 (20 公尺高)風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 20LST，中心位置為核二廠 (第 2 層巢狀網格)，風向為 45° ，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.002 (穩定度分類 D 級)；填色部分為溫度擾動，單位為 $^\circ\text{C}$

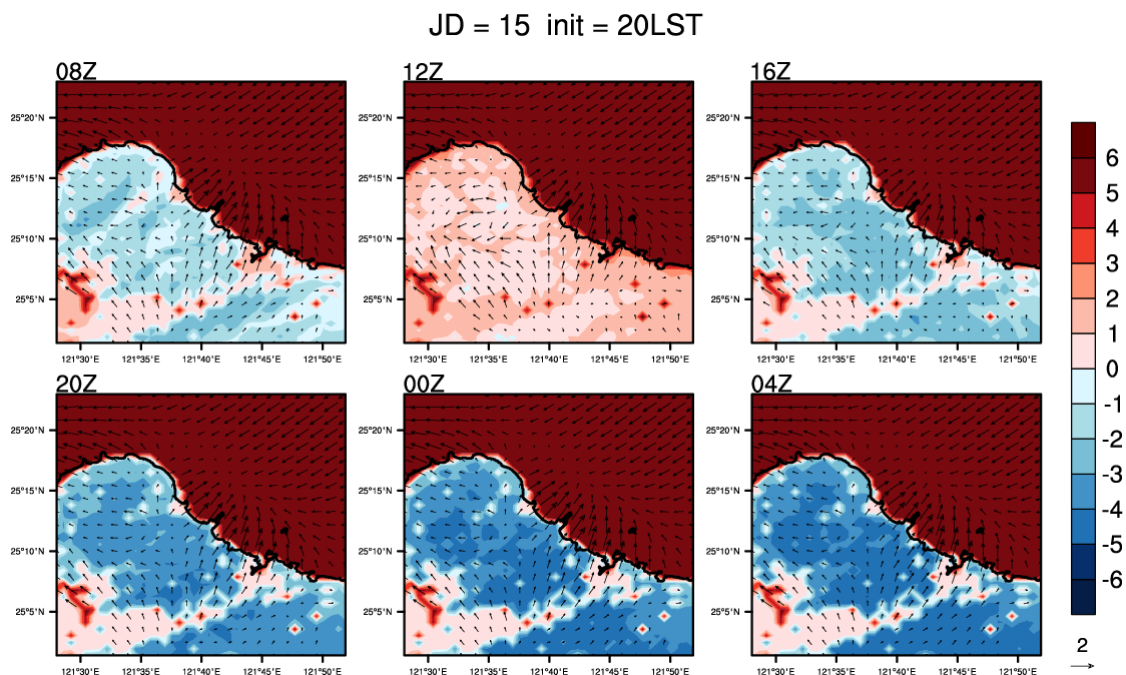


圖 5-3 A2Cflow 調校後之模擬（20 公尺高）風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 20LST，中心位置為核二廠（第 3 層巢狀網格），風向為 45°，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.002（穩定度分類 D 級）；填色部分為溫度擾動，單位為℃

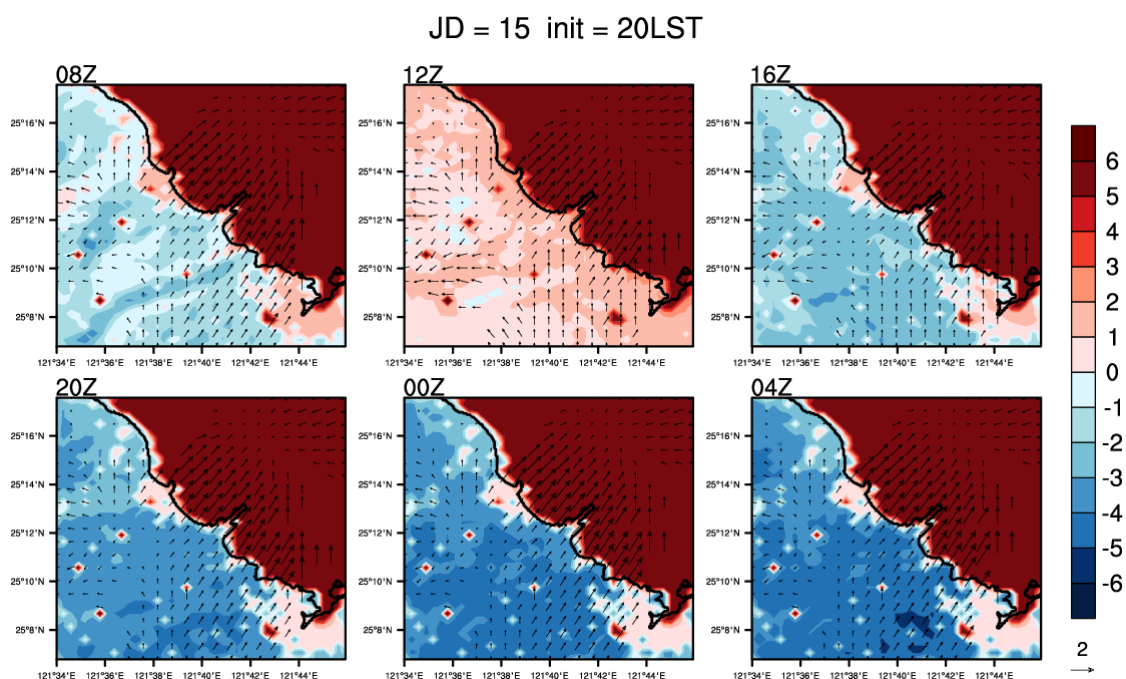


圖 5-4 A2Cflow 調校後之模擬（20 公尺高）風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 20LST，中心位置為核二廠（第 4 層巢狀網格），風向為 45°，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.002（穩定度分類 D 級）；填色部分為溫度擾動，單位為℃

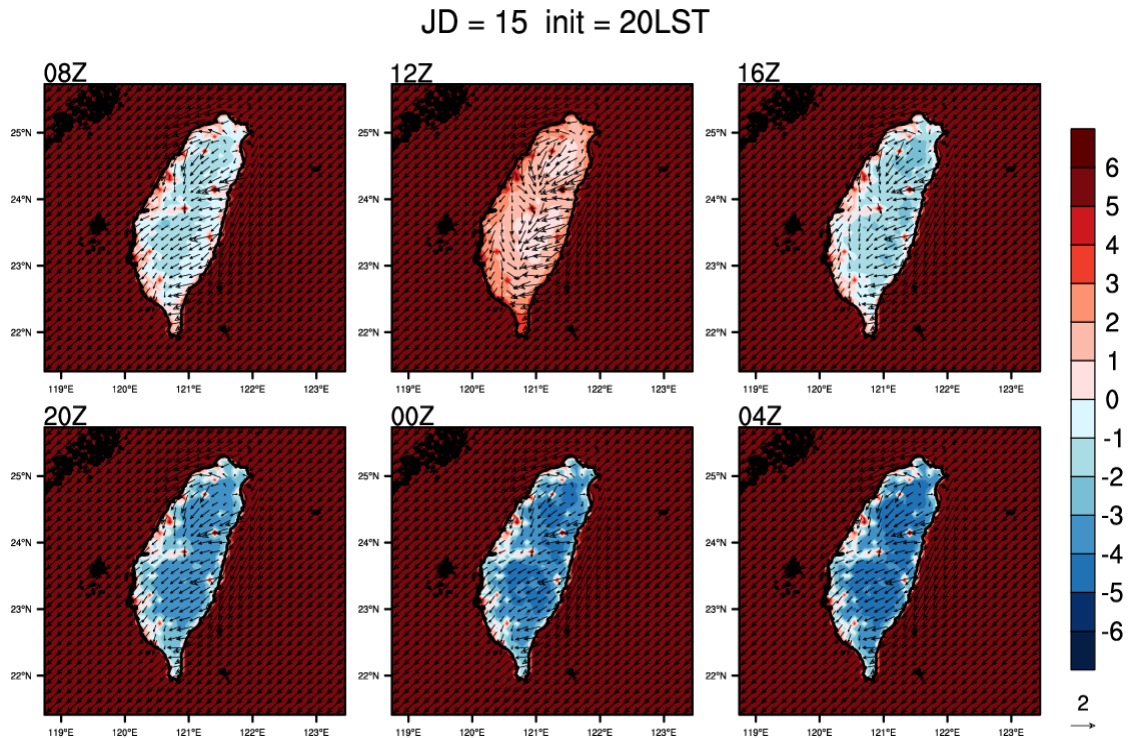


圖 5-5 A2Cflow 調校後之模擬（20 公尺高）風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 20LST，中心位置為核二廠（第 1 層巢狀網格），風向為 45°，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.005（穩定度分類 E 級）；填色部分為溫度擾動，單位為°C

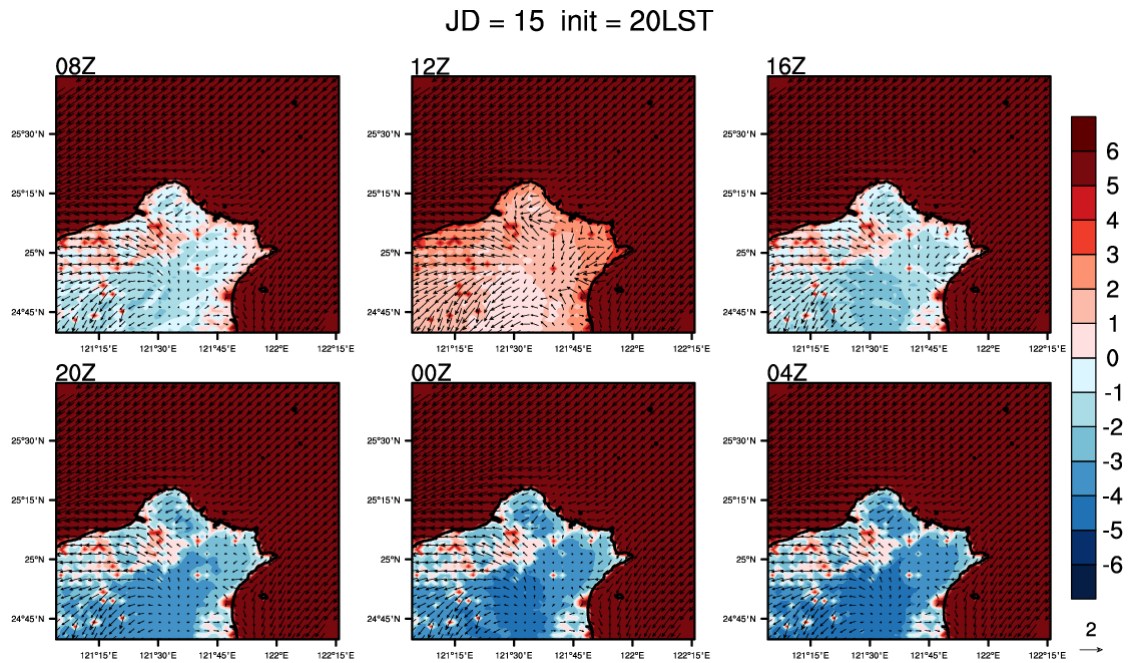


圖 5-6 A2Cflow 調校後之模擬（20 公尺高）風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 20LST，中心位置為核二廠（第 2 層巢狀網格），風向為 45°，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.005（穩定度分類 E 級）；填色部分為溫度擾動，單位為°C

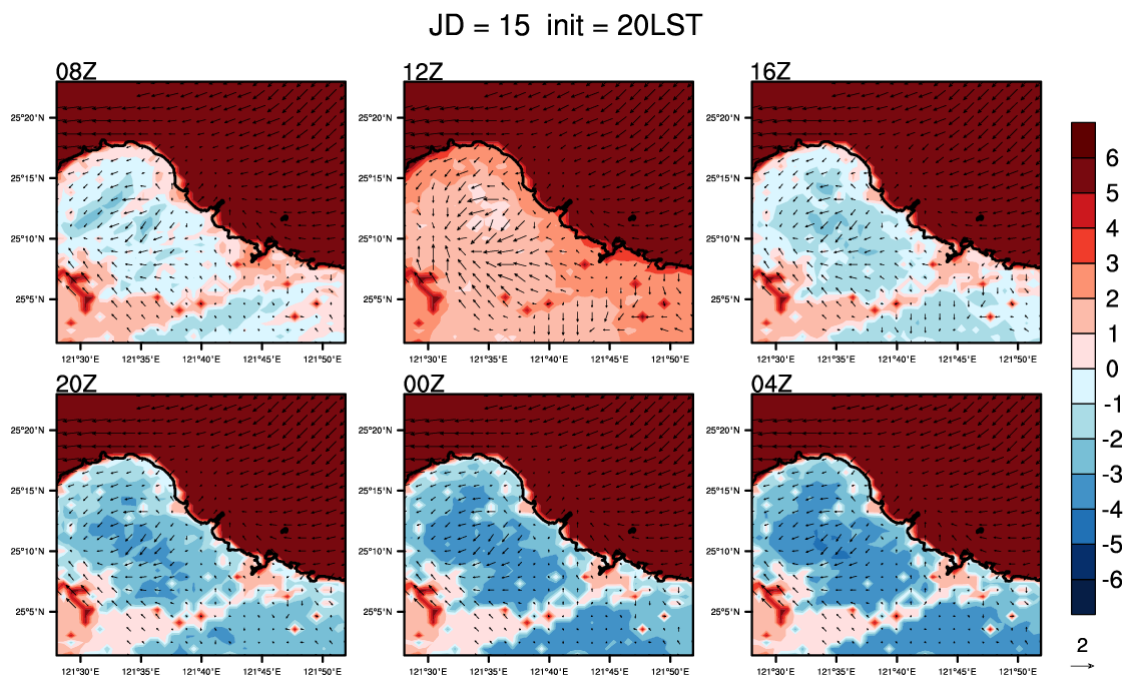


圖 5-7 A2Cflow 調校後之模擬 (20 公尺高) 風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 20LST，中心位置為核二廠 (第 3 層巢狀網格)，風向為 45°，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.005 (穩定度分類 E 級)；填色部分為溫度擾動，單位為°C

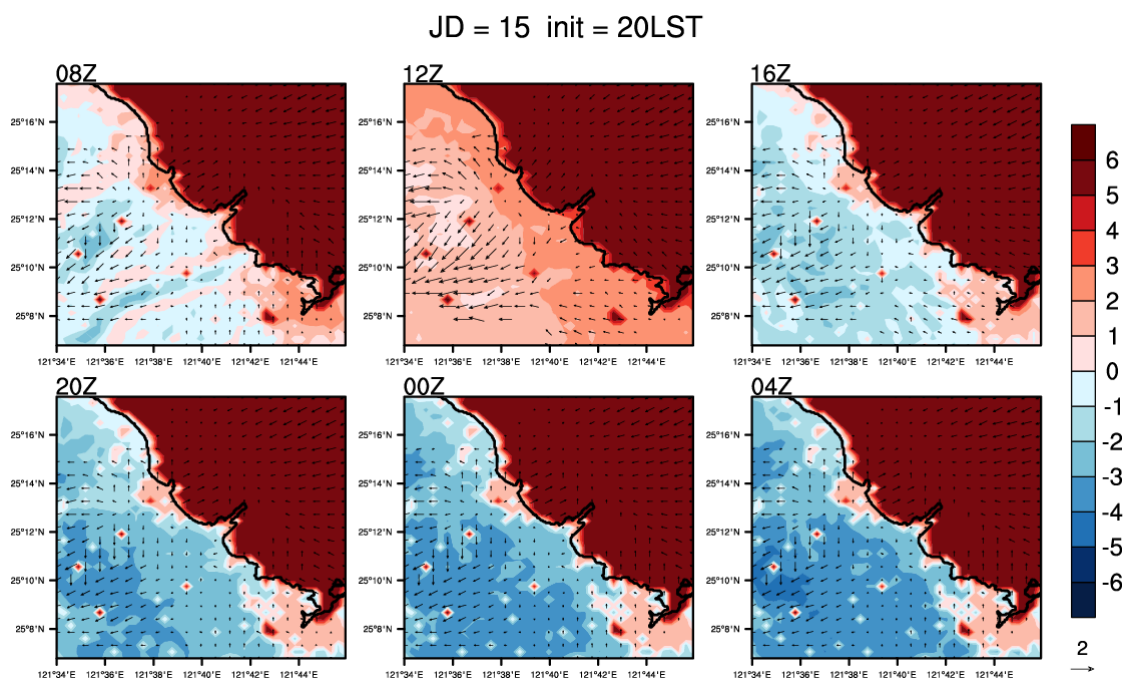


圖 5-8 A2Cflow 調校後之模擬 (20 公尺高) 風場，模擬日期太陽日為第 15 日，模擬初始時間為 20LST，中心位置為核二廠 (第 4 層巢狀網格)，風向為 45°，風速為 2m/s，穩定度參數為 0.005 (穩定度分類 E 級)；填色部分為溫度擾動，單位為°C

6. 開發並建立氣象觀測資料同化分析技術

6.1 地面觀測資料對氣象資料同化分析

中央氣象局中尺度動力分析系統 (Mesoscale Dynamic Analysis System, MDAS) 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資料同化分析系統，其理論說明描述於第 2.5 章節。

MDAS 的發展是以 MDDS (Mesoscale Dynamic Downscaling System) 為主軸，將不同種類的氣象觀測資料利用變分法加入 MDDS 中。

MDAS 之泛函 J 可以寫成為：

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

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

$$J_2 = \iiint \left(\alpha_1 P_1^2 + \alpha_2 P_2^2 + \alpha_3 P_3^2 + \alpha_4 P_4^2 + \alpha_5 P_5^2 + \alpha_6 P_6^2 + \alpha_7 P_7^2 \right) d,$$

其中 J_1 為觀測資料的泛函， J_2 為原 MDDS 的泛函，其亦為變分資料同化中的約束條件的泛函。 ω_1 和 ω_2 則為觀測資料和約束條件的權重。觀測資料的泛函 J_1 中， $\beta_{i,j}$ 為觀測資料的種類與觀測變數的權重， i 為傳統觀測資料種類， j 為觀測資料的變數有 5 種，分別為 u wind, v wind, pressure, temperature, specific humidity。 O_j 為觀測資料， X_j 則為周圍網格點資料內插至 O_j 所在位置之值。

規劃 MDAS 在降尺度的過程中觀測資料與動力降尺度並重，因此直接給定 MDAS 中有關觀測資料和約束條件的權重 (ω_1 , ω_2) 均為 1。根據中央氣象局氣象儀器校正現況與展望(葉瑞元，103)，氣象局之人工測站、機場測站、自動氣象站等相關測站儀器均有送氣象局之檢校中心校驗，其風速的觀測誤差在 5 m/s、10 m/s、20 m/s、30 m/s 分別為 0.18 m/s、0.24 m/s、0.43 m/s、0.54 m/s，溫度之觀測誤差在 0°C 至 40°C 時為 0.15°C~0.28°C，濕度之觀測誤差為 1.0% RH，壓力誤差為 0.13 hpa ~ 0.14 hpa。給定每一項變數之權重與其觀測誤差之倒數平方成正比，再依據假定每一種觀測資料之重要程度相當，並且也與 MDDS 動力約束條件重要程度相當，給定各種觀測資料間不同的權重使各個觀測資料之初始泛函 order 相當，綜上所述即可求得觀測資料的種類與觀測變數的權重 β_{ij} 。

東北季風為台灣冬天最常見的天氣型態。案例為 2017 年 10 月 13 號 06 UTC (如圖 6-1)，台灣南邊在菲律賓外海有輕度颱風卡努，北邊有大陸冷高壓於渤海出海。台灣地區風場實質受到冷高壓出海的影響，環境風場為東北風。由圖 6-2 可以看到地面測站的部分不論是(a)局屬測站、(b)機場測站、(c)自動氣象站，台灣地區的環境風場為東北風，並沿著台灣山區地形而轉向。

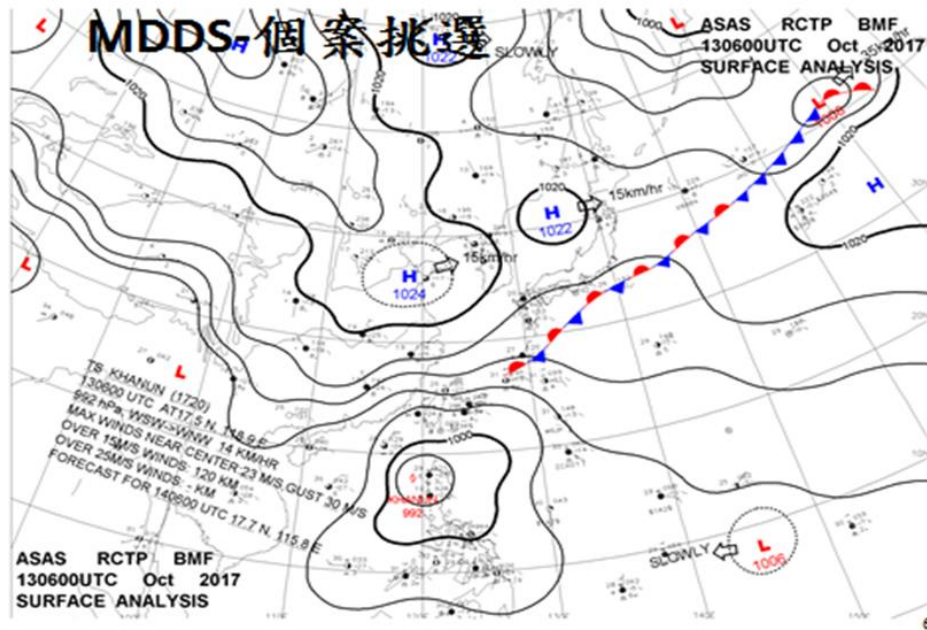


圖 6-1 2017 年 10 月 13 號 06UTC 地面天氣圖，台灣受到冷高壓出海影響為東北風

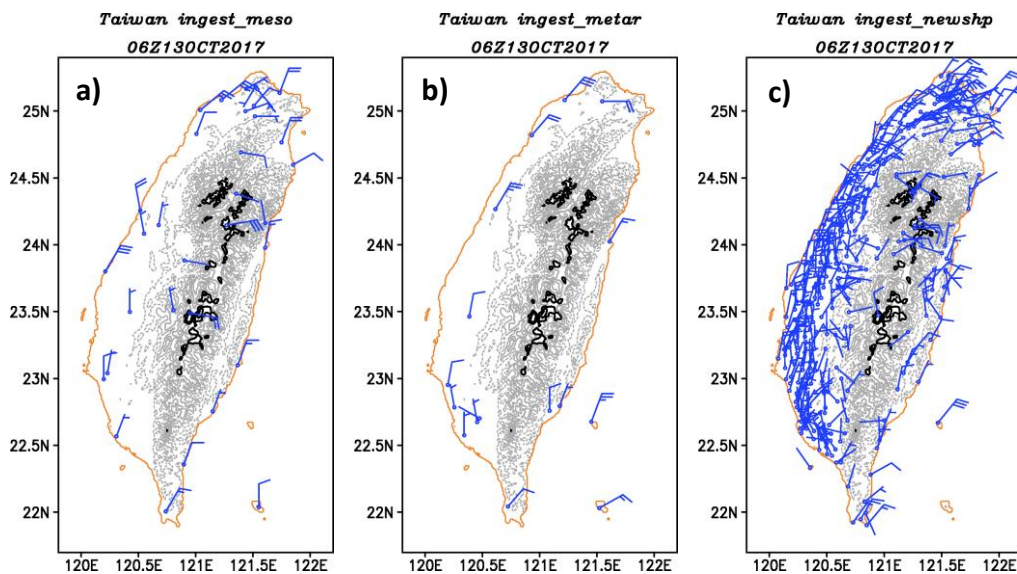


圖 6-2 2017/10/13 06Z (a) meso 氣象局人工氣象站(b) metar 機場測站 (c) newshp 氣象局自動氣象站

比較整體的風場，圖 6-3(a)為經過 NCEP/GFS 0.5 度資料經過前氣象場處理過程後之初始風場，(b)則為經 MDDS 降尺度至 2.5 公里解析度，(c)為經 MDAS 降尺度至 2.5 公里解析度。在海

面風場的部分，由於降尺度過程受地形影響，故海面上（太平洋、台灣海峽、巴士海峽、東海）的風場與輸入場一致。在台灣地形區風場的部分，東部地區與新竹地區 MDDS 之解析風場與觀測資料已經有相當符合性，故 MDAS 之表現與 MDDS 相當，改變不大。較有差異的為台北及台中盆地地區。圖 6-4(a)(b)分別為 MDDS 和 MDAS 於台北地區的放大，圖 6-5(a)(b)分別為 MDDS 和 MDAS 於台中地區的放大。臺北盆地部分，MDDS 在較強烈的東北風情況下，風場更傾向於直接過陽明山，較無法解析出觀測中的台北較弱的東北東風；而 MDAS 引入了傳統觀測資料後，較可以表現出東北風在進入台北盆地後受到中央山脈的阻擋而轉向及風速的減弱。台中部分 MDDS 無法解析出受到較強烈的東北季風影響，風場於受地形影響風速較弱的台中盆地南側轉向過程(東北風轉向成西北風)，而經過資料同化後之 MDAS 較能表現出更多的風場轉向填補低風速區。然而此案例在嘉南平原不論 MDDS 及 MDAS 均為北北東風，無法表現出東北風隨地形轉向成西北風的過程。

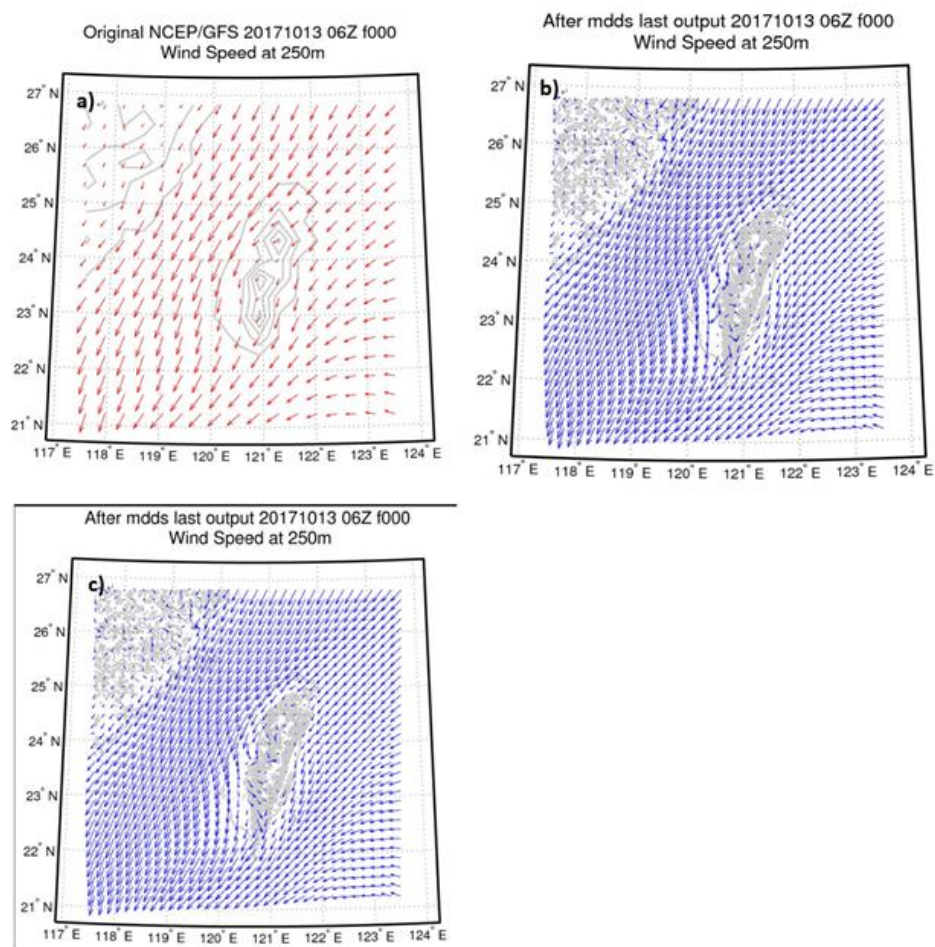


圖 6-3 2017/10/13 06Z (a) NCEP/GFS 初始輸入 MDAS 之氣象場 (b) 經 MDDS 降尺度至 2.5 公里解析度後 (c) 經 MDAS 降尺度至 2.5 公里解析度後

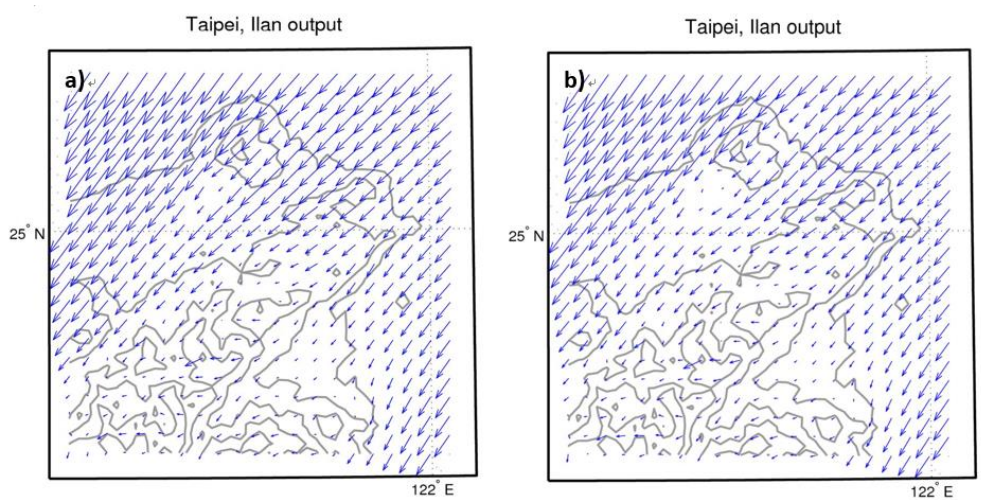


圖 6-4 2017/10/13 06Z (a) 台北地區 MDDS 降尺度後風場 (b) 台北

地區 MDAS 降尺度後之風場，可看到資料同化後台北盆地風場較 MDDS 接近觀測資料（風向更偏向東風）

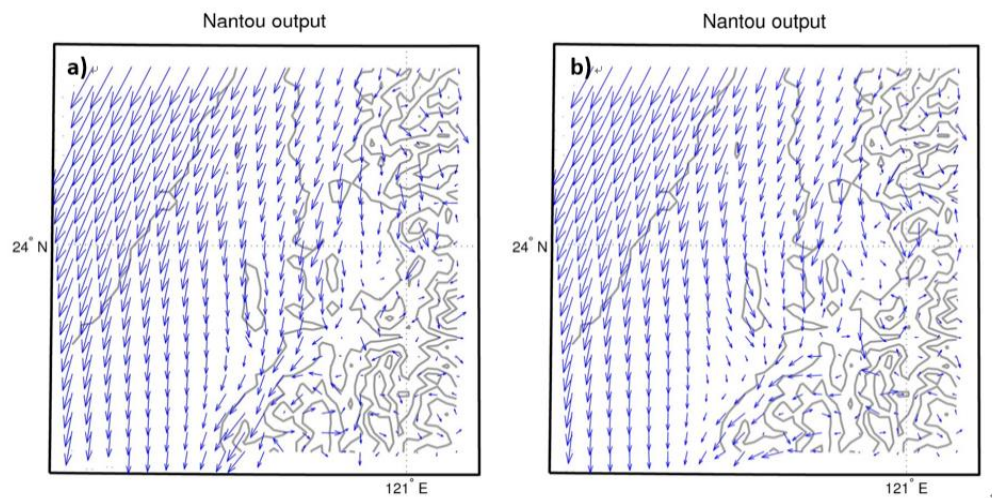


圖 6-5 2017/10/13 06Z (a) 台中地區 MDDS 降尺度後風場 (b) 台中地區 MDAS 降尺度後之風場，可看到資料同化後風場於彰化八卦山較明顯往山區符合，較 MDDS 更接近於觀測資料

颱風案例為 2017 年 7 月 29 號 00 UTC (圖 6-6)，其時颱風為中度颱風諾盧，位置約在墾丁東邊海面上 250 公里左右，7 級暴風半徑約 180 公里，向南南西方前進。由測站資料顯示 (圖 6-7(a)(b)(c)) 其風場在台灣之東半部為較強的東北風及北風，北部受外圍環流為東風，西部及中部風場為受颱風外圍環流(東風)受中央山脈地形阻擋產生的背風渦旋，嘉南平原為東南風，屏東一代則受颱風南邊外圍環流所影響的西風。

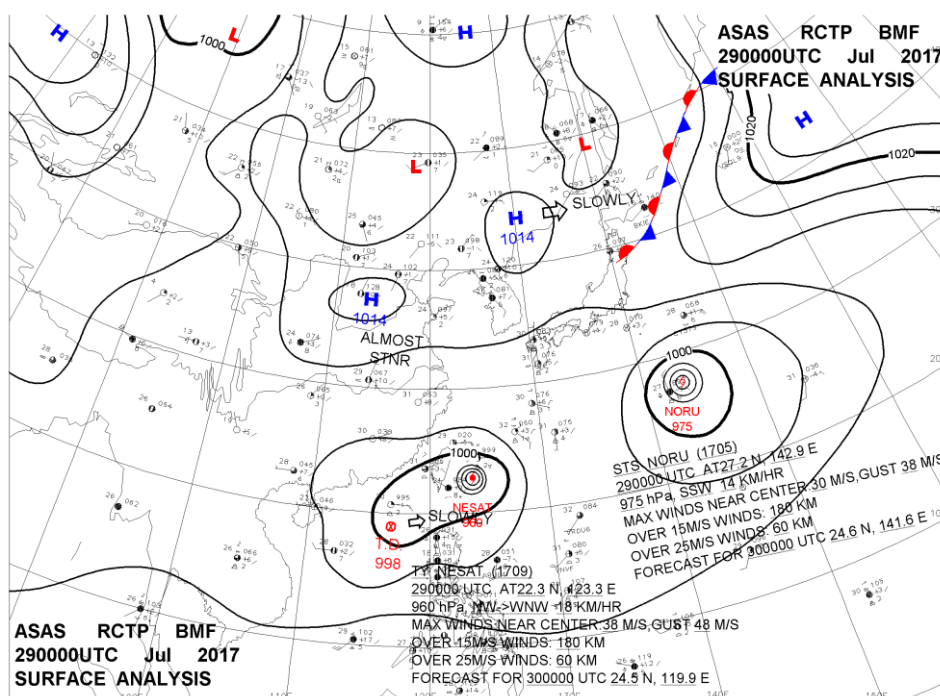


圖 6-6 2017 年 7 月 29 號 00UTC 地面天氣圖，台灣受到中度颱風諾盧外圍環流的影響

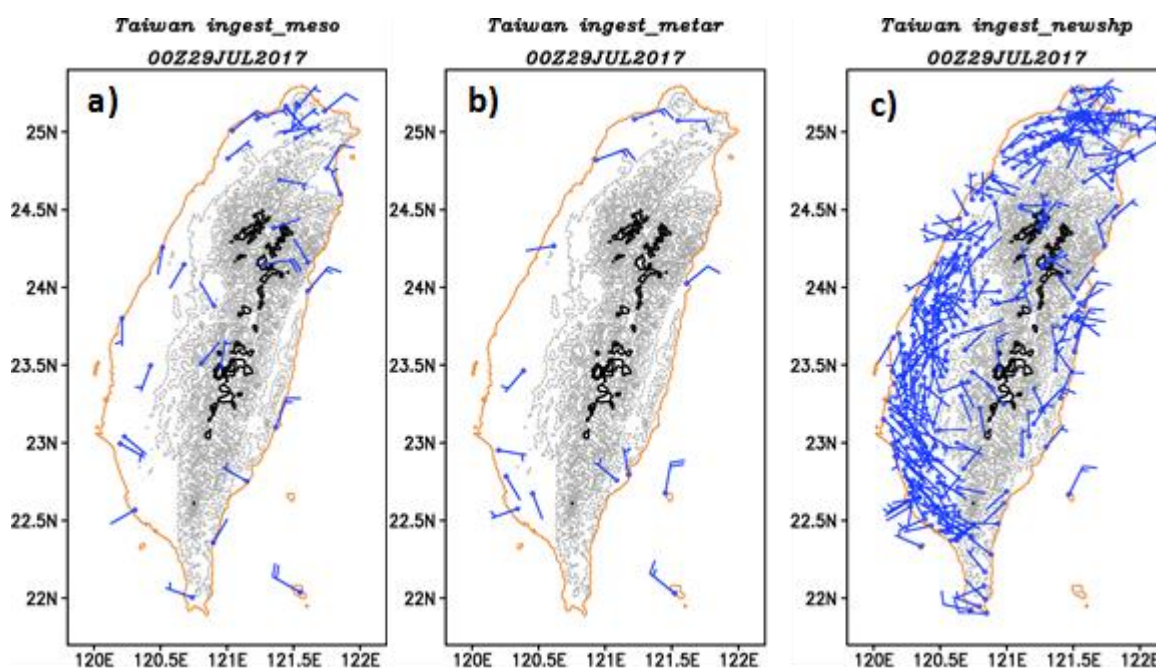


圖 6-7 2017/07/29 00Z (a) meso 氣象局人工氣象站(b) metar 機場測站 (c) newshp 氣象局自動氣象站

由 NCEP/GFS 0.5 度初始風場（圖 6-8a）和 MDDS 降尺度風場（圖 6-8b）及 MDAS 降尺度風場（圖 6-8c）做比較，海面

上不受地形影響而風場沒有太大的改變。相比 MDDS 及 MDAS 台灣地形區上改變最多的地方是嘉南平原（圖 6-11ab），其次是台北盆地地區（圖 6-9ab）。在台北地區，不論是 MDDS 或是 MDAS 均可以解析出風場進宜蘭平原後，一部分風場從蘇澳出海（圖 6-10ac 可以看到蘇澳測附近為西北風系），在台北盆地部分，可以看到東風進入台北盆地後其繞著陽明山（向北偏）及雪山山脈（向南偏），MDAS 之表現均較 MDDS 要好，使台北中心之風場較小，與觀測較一致。

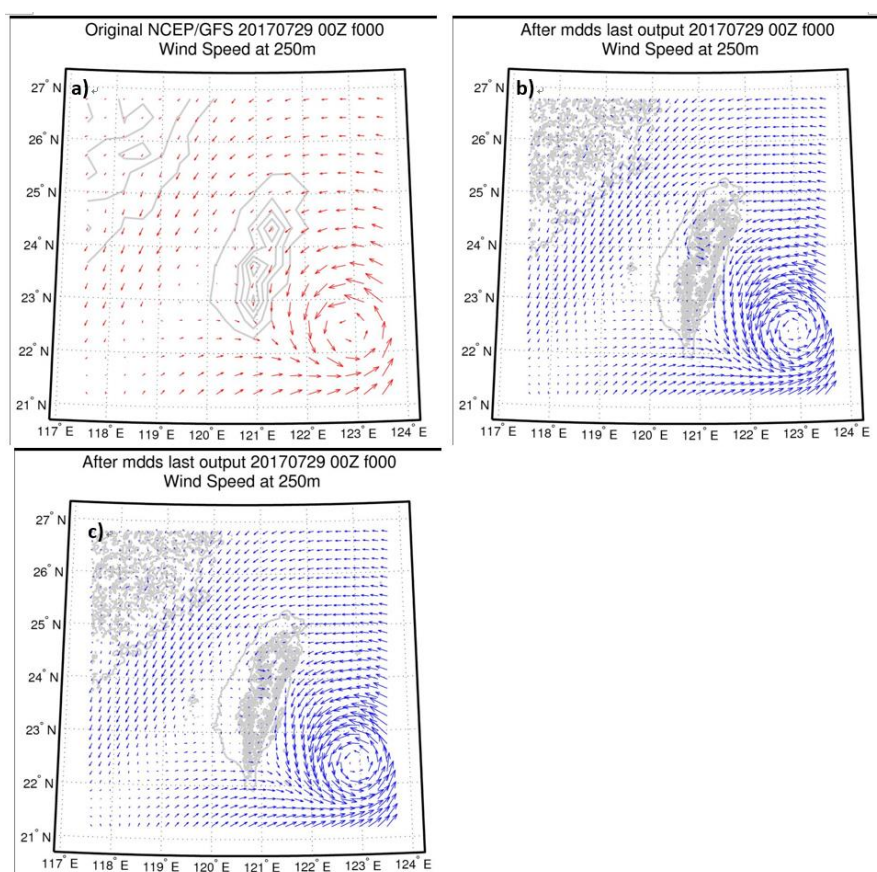


圖 6-8 2017/07/29 00Z (a) NCEP/GFS 初始輸入 MDAS 之氣象場 (b) 經 MDDS 降尺度至 2.5 公里解析度後 (c) 經 MDAS 降尺度至 2.5 公里解析度後

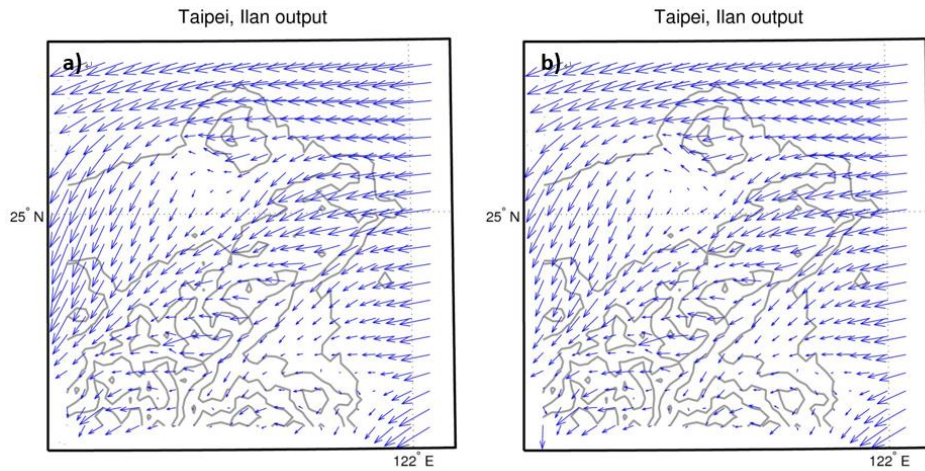


圖 6-9 2017/07/29 00Z 台北地區 (a) MDDS 降尺度後風場 (b) MDAS 降尺度後之風場

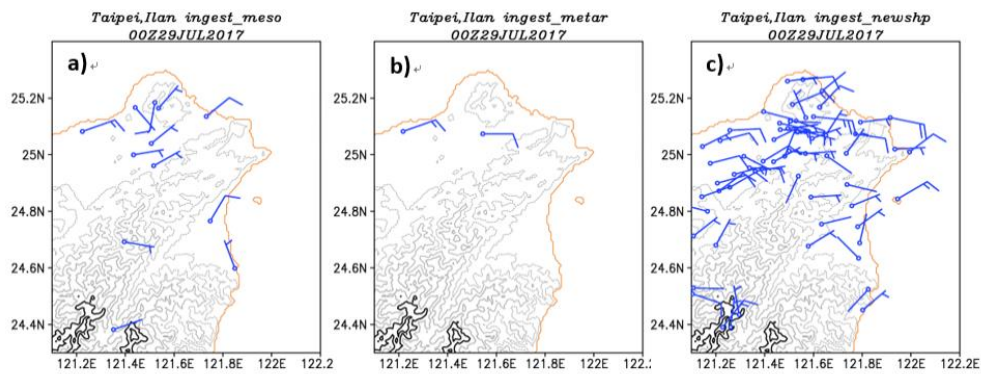


圖 6-10 2017/07/29 00Z 台北地區 (a) meso 氣象局人工氣象站 (b) metar 機場測站 (c) newshp 氣象局自動氣象站

嘉南平原部分，由地面測站之局屬氣象站（圖 6-12a）、機場測站（圖 6-12b）、自動氣象站（圖 6-12c）資料觀看，地面風場均為微弱的東南風，除了南台南北高雄一帶海邊測站為西風，嘉南平原為風速較小的東南風系，推測由於位於颱風外圍環流受中央山脈地形阻擋的背風測，風速極為微弱，在南台南外海一帶有一個小的背風渦旋的產生（逆時針），而近山區的東南風系則是由更南方的西風系遇中央山脈阻擋而形成。MDDS（圖 6-11a）有看到在台江公園外海有一背風渦旋產生，但其位置偏北邊也無

法解析出地面的東南風系，MDAS（圖 6-11b）因為觀測資料的加入則背風渦旋的位置建立的較南邊且較完整，可以表現出部分的東南風系的成因。

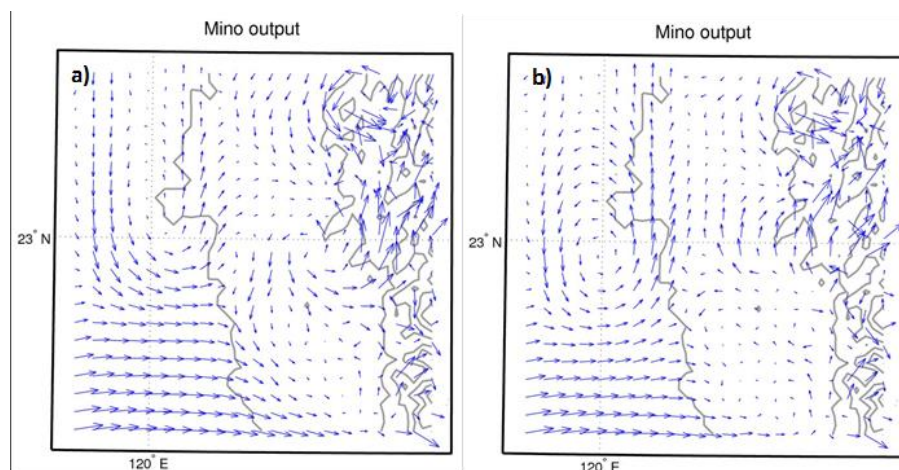


圖 6-11 2017/07/29 00Z 台南地區 (a) MDDS 降尺度後風場 (b) MDAS 降尺度後之風場

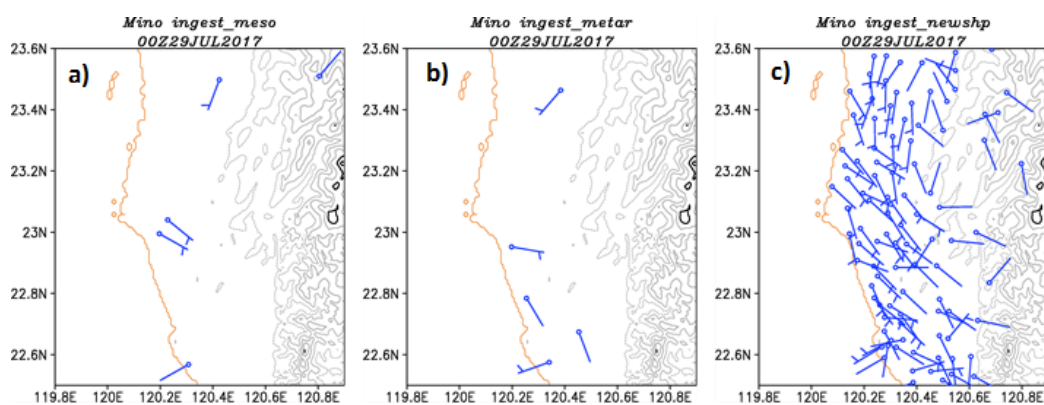


圖 6-12 2017/07/29 00Z 台南地區 (a) meso 氣象局人工氣象站 (b) metar 機場測站 (c) newshp 氣象局自動氣象站

6.2 高空觀測資料品質控制前置處理模組、高空資料引入及同化模組開發

世界氣象組織 (World Meteorological Organization, WMO) 下的 Global Telecommunication System (GTS) 的全球觀測資料目前由中央氣象局定時接收來自美國 (GWDI) 及日本 (JWA) 兩條線路資料，傳送至自動氣象資料處理系統 (Automatic Meteorological Data Processing System, AMDP) 進行不同報別資料分類、解碼、檢定，將結果依據 FGGE 格式存取至 silo (氣象局主要儲存系統)，提供不同單位使用。而全球高空觀測資料來源主要分成三大類，飛機 (AIRCRAFT)、探空 (RAOB) 及衛星資料 (SATELLITE)，而資料主要的報別、觀測類型及氣象變數詳細紀錄於表 6-1。飛機資料包含了：民用飛機觀測 (airep, ua)、投落送 (tempdrop, ux)、颱風渦漩之飛機偵查 (vortex_recco, ur)，觀測成本高，資料取得不易，不定時有資料。探空資料有兩種來源：一為地面之高空溫壓報 (temp, us) 與高空風報 (pilot, up)，二為海面船舶探空溫壓報 (tempship, uk)，資料為單點隨高度變化，每十二小時一筆資料。衛星資料包含了：衛星風報 (satob, ts)、衛星探空 (NOAA 繞極軌道衛星 TOVS 輻射觀測儀之反演產品) (satem, tt)、高密度衛星風 (購自美國 Wisconsin University CIMSS) (hidden-satwind, tw) 及衛星雲導風 (Cloud-Drift Winds)，資料密度高且範圍廣。其中衛星雲導風資料為中央氣象局衛星中心提供，原理為追蹤雲系移動方向再和區域預報模式作簡單品管後得到的風場，在有天氣系統情況下 (有雲時) 資料密集度較高。MDAS 導入上述高空觀測資料種類，如圖 6-13 所示，一共有八種資料，但額外有兩種資料不引入，(1) 衛星探空 (satem)，氣象變數主

要為雲層氣壓與可降水量，無提供 MDAS 控制方程所需之氣象變數。(2) 高密度衛星風 (hidden-satwind) 目前已停止更新，故無法引入。

表 6-1 中央氣象局 FGGE 格式高空資料表格

報別	觀測類型	氣象變數	垂直分布	水平分布	接收時間
airep(ua)	民航飛機	氣壓、高度、溫度、風向、風速	多層(疏)	海陸皆有	不定時
tempdrop(ux)	飛機投落送	氣壓、高度、溫度、溫度露點差、風向、風速	多層(疏)	海陸皆有	不定時
vortex_recco(ur)	飛機偵查	氣壓、高度、溫度、溫度露點差、風向、風速	多層(疏)	海陸皆有	不定時
tempship(uk)	船舶探空	氣壓、高度、溫度、溫度露點差、風向、風速	單點隨高度分布	海面	00,12Z
pilot(up)	地面高空風	氣壓、高度、風向、風速	單點隨高度分布	陸地	00,12Z
temp(us)	地面探空	氣壓、高度、溫度、溫度露點差、風向、風速	單點隨高度分布	陸地	00,12Z
satem(tt)	衛星探空	有效雲層氣壓、對流層氣壓與溫度、表面層溫度、雲層厚度、標準層氣壓、可降水量	多層(密)	海陸皆有	三小時一次
hidden-satwind(tw)	衛星風場	氣壓、風向、風速	多層(密)	海陸皆有	2011年停止更新
satob(ts)	衛星風場	壓力、溫度、風向、風速	多層(密)	海陸皆有	六小時一次

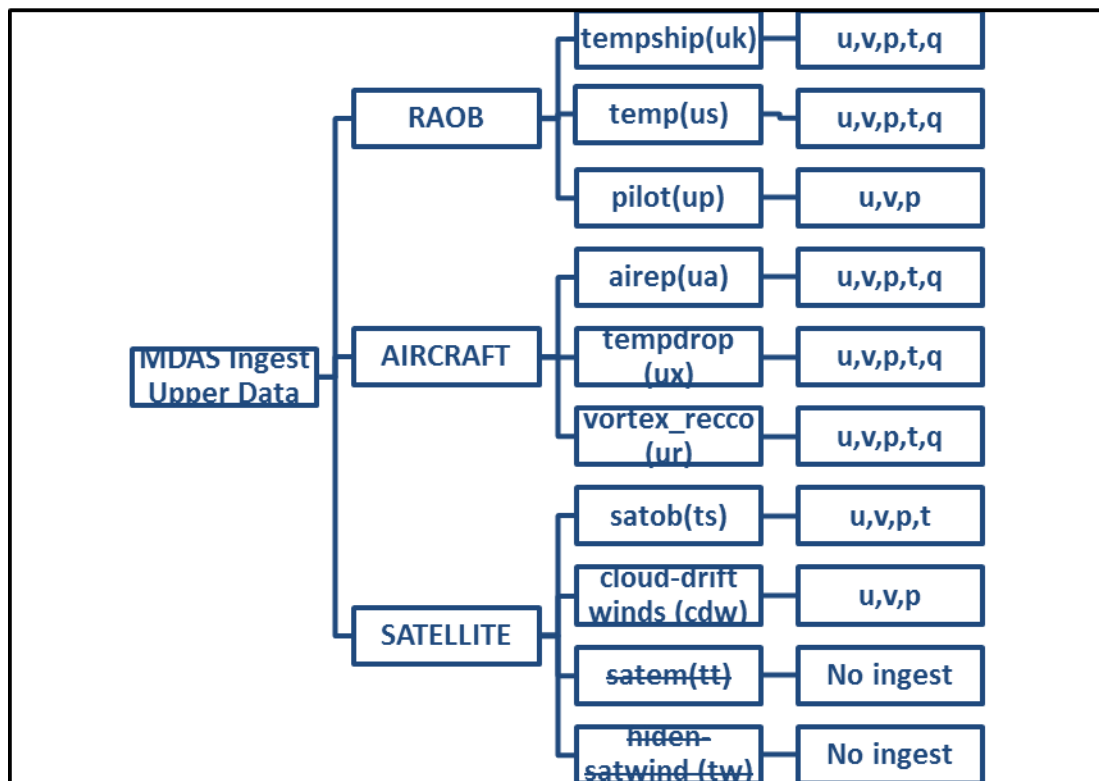


圖 6-13 高空資料引入 MDAS 之資料來源及可用氣象變數

依據過去中央氣象局與美國國家海洋暨大氣總署 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)之地球系統實驗室全球系統組技術合作，發展臺灣本土之劇烈天氣預報系統 (Local Analysis and Prediction System, LAPS)，此預報系統有獨特的分析過程，結合數值預報模式引入臺灣地區特有的多種觀測資料，提升對劇烈天氣的短時降雨預報能力。而在此章節的高空資料模組主要參考 LAPS 系統中資料品質控制程式架構，進行資料的篩選。關於 LAPS 說明文件可參閱 LAPS-README 網頁。

ftp://aftp.fsl.noaa.gov/divisions/frd-laps/software/LAPS_README.html

MDDS 高空資料品質控制前置處理模組，主要分成四個部分，分別是 Timing Consideration、Domain Setting、Wind Quality Control、Temperature Quality Control。Timing Consideration 參

LAPS-README 2.4.1 章節，對於高空資料時間品質控制定義，給予一段時間區間 (time window)，如果資料觀測時間超過規定區間則不引入。不同類型的資料有不同的 time window，如探空資料選定正或負 60 分鐘，飛機資料正或負 30 分鐘。Domain Setting，高空資料導入有效經緯範圍與 MDDS 動力降尺度範圍設定相同，選取經度 $117.379^{\circ}\sim 123.728^{\circ}$ 、緯度 $21.195^{\circ}\sim 26.825^{\circ}$ 、高度 15,500 公尺，超出範圍的觀測資料則不採用。Wind Quality Control，參考 LAPS-README 3.3.1 章節對於風場品質控制，觀測值風速與背景場 (background) 風速值差高於門檻值以上，則該筆觀測值不採用，不同類型資料門檻值定義分別為飛機報 10 m/s、衛星雲導風 10 m/s、剖風儀資料 22 m/s、都普勒雷達資料 12 m/s、其他類型資料 30 m/s。未來工作也會將雷達資料導入，並參考 LAPS 對於逕向風場的校正，增加高空資料豐富度與密度。Tempature Quality Control 參考 LAPS-README 3.3.3 章節針對溫度品質控制，應用於 ROAB 探空類型資料，定義該層探空的溫度與模式背景場相同位置的溫度差異若高於 10 度以上，則該筆探空資料被剔除。藉由上述資料品質控制，可以保留較合理之高空資料，高空品質控制結果如圖 6-14 所示範，以 2017/03/31 06UTC 風場分布情況，在中國福建區塊由於資料來源為飛機，故較密集度高，而海面資料大部分來源為衛星雲導風。經由高空資料品質控制後所產生的探空類資料格式如圖 6-15 所示，衛星類的資料如圖 6-16 所示。

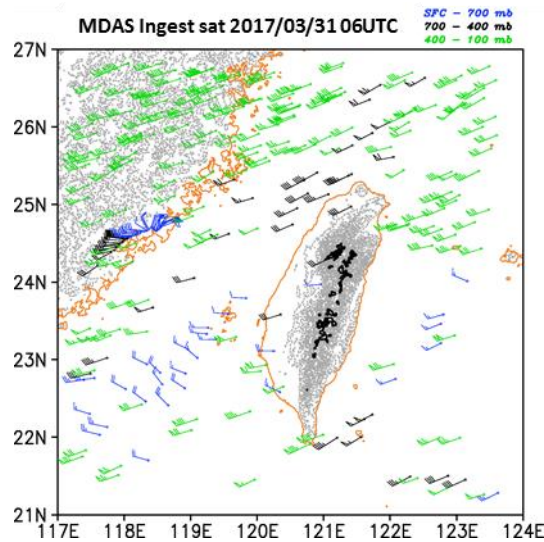


圖 6-14 高空資料品質控制結果示範圖。藍色風標表示近地面至 700 hPa 風場，黑色表示 700 至 400 hPa，綠色表示 400 至 100 hPa

測站代碼	垂直層數	測站高度	測站經緯度						
46750	80	22.6700	120.4500	27.00	161840008	RAOB			
-99.90	1008.00	27.80	22.80	30.00	2.00	161840008	22.6700	120.4500	
-99.90	1005.00	-99.90	-99.90	350.00	1.00	161840008	22.6700	120.4500	
100.00	1000.00	28.20	23.60	350.00	1.00	161840008	22.6700	120.4500	
-99.90	979.00	-99.90	-99.90	320.00	4.00	161840008	22.6700	120.4500	
-99.90	969.00	-99.90	-99.90	295.00	4.00	161840008	22.6700	120.4500	
-99.90	956.00	-99.90	-99.90	215.00	4.00	161840008	22.6700	120.4500	
-99.90	943.00	-99.90	-99.90	185.00	6.00	161840008	22.6700	120.4500	
790.00	925.00	23.20	20.70	175.00	7.00	161840008	22.6700	120.4500	
-99.90	916.00	22.40	20.30	-99.90	-99.90	161840008	22.6700	120.4500	
資料高度	氣壓	氣溫	露點溫度	風向	風速				

圖 6-15 高空觀測資料經品質控制後探空資料類別之輸出格式

		氣壓	溫度	風向	風速			緯度	經度	來源
CNFPIL	-99.90	998.00	31.00	24.00	4.00	172092356	1707282356	24.5500	118.1300	AIREP
CNFPIL	-99.90	962.00	28.00	24.00	9.00	172092356	1707282356	24.5500	118.1500	AIREP
CNFPIL	-99.90	945.00	26.00	34.00	7.00	172092357	1707282357	24.5600	118.1500	AIREP
CNFPIL	-99.90	931.00	24.00	22.00	11.00	172092357	1707282357	24.5600	118.1600	AIREP
CNFPIL	-99.90	891.00	21.00	33.00	13.00	172092357	1707282357	24.5800	118.2000	AIREP
CNFPIL	-99.90	839.00	19.00	42.00	15.00	172092358	1707282358	24.6100	118.2100	AIREP
	99.90	225.00	-99.90	104.00	12.10	172100000	1707290000	26.4200	117.5100	CDW
	-99.90	237.00	-99.90	110.00	11.20	172100000	1707290000	26.5300	117.7000	CDW
	-99.90	200.00	-99.90	72.00	15.20	172100000	1707290000	26.2900	118.9000	CDW
	-99.90	187.00	-99.90	90.00	12.00	172100000	1707290000	26.5200	119.2200	CDW
	-99.90	200.00	-99.90	74.00	13.90	172100000	1707290000	26.3600	119.5500	CDW

圖 6-16 高空觀測資料經品質控制後衛星資料類別之輸出格式

接續建立接介 MDAS 與高空資料同化模組，IPO 流程主要如下，Input 為讀取上述良好之高空觀測資料的氣象變數，依據

資料格式不同分別處理，分成 ingest_satellite（衛星）、ingest_sounding（探空）兩大類，而 MDAS 讀取其資料分成：mdas_read_snd.f90 為讀取探空類資料之程式，mdas_read_sat.f90 為讀取衛星資料類之程式，讀取之後擷取及轉換接介 MDDS 所需之氣象變數（U wind, V wind, Pressure, Virtual potential temperature, Specific humidity），同時也將不同資料之經緯座標系統一致轉換成 twd67 系統。mdas_grad_snd.f90 及 mdas_grad_sat.f90 則是將讀取後的資料轉換成 MDAS 變分法所需的價值函數，處理過程有三個步驟，（一）求取出觀測變數的擾動場，藉由模式資料基本場的 one sounding 資料（此資料由計算網格水平面的加總平均算得水平面的平均值當作觀測變數的基本場）對應測站觀測值，扣除即得擾動場。（二）求出接介 MDDS 初始場之測站相鄰網格點位置。（三）將擾動觀測資料導入 MDAS 價值函數。輸出結果為同化高空觀測資料之初始場，在進一步依需求進行動力降尺度至細網格。

7. 利用本土化的射源項回推作業程序，重建日本福島事故射源項推估

在 311 福島事件發生後，觀測資料種類繁多，但時間上並不連續及完整，為有效測試與驗證射源項回推方法的正確性，本計畫先使用 A2Ct&d 於假定測站的模擬空氣劑量率替代真實觀測資料，針對日本福島核電廠事故案例以射源項回推程序進行分析，檢驗射源項回推方法正確性後，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。

7.1 射源項回推方法

射源項回推方法的基礎概念是參考 JAEA 的方法，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，(7-1)式即為外釋射源項回推關係式：

$$Q_i = M_i / C_i \quad (7-1)$$

其中， Q_i 是任一待求核種釋放率或是多個核種釋放率總和 (Bq/sec)， M_i 是觀測之空氣劑量率 (mSv/sec)， C_i 是稀釋因子 (sec/m^3)，相當於模式在單位釋放率設定為 $1 Bq/sec$ 下模擬出的空氣劑量率。

以此方法為核心建構的外釋射源項回推系統作業程序如圖 7-1 所示，步驟依序為 A2Ct&d 單位釋放率模擬(Unit Run)、資料處理階段 (Data Processing)、射源項回推階段 (Source Term Estimate Process, STE)及釋放率驗證(Release Rate Verification)。

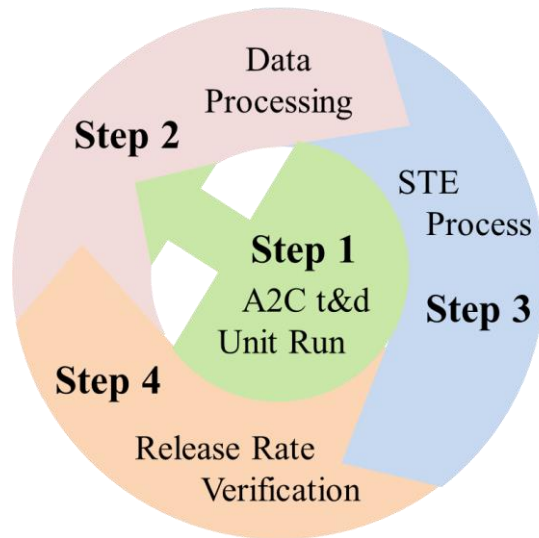


圖 7-1 外釋射源項回推系統作業程序

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 A2Ct&d 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。進入步驟三射源項回推階段前，為了求解射源釋放率時序，需先將待求的事故射源釋放率時序以現有的資訊進行分段，事件歷程資料即是重要的分段設計依據。

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及射源釋放率分段資訊。步驟二中已將射源釋放率 R 依時間序列分段成 $R_1 \sim R_n$ ，第 k 段釋放率 R_k 釋放的煙陣提供 s 測站於 t 時間的空氣劑量率一共為 $A_k^{s,t}$ ，則 t 時間 s 測站空氣劑量率觀測值 $A^{s,t}$ 可以表示為

$$A^{s,t} = \sum_{k=1}^n A_k^{s,t} \quad (7-2)$$

由外釋射源項回推關係式(7-1)式得知，單一釋放率期間 k 所釋放的煙陣提供 s 測站於 t 時間的空氣劑量率可表示為

$$A_k^{s,t} = R_k \times Au_k^{s,t} \quad (7-3)$$

其中 $Au_k^{s,t}$ 為單位釋放率模擬於第 k 段釋放率期間釋放的煙陣提供 s 測站於 t 時間的空氣劑量率。利用(7-3)式，第 k 段釋放率可表示為：

$$R_k = \frac{A_k^{s,t}}{Au_k^{s,t}} = \frac{A^{s,t} - \sum_{l=1}^n A_l^{s,t}}{Au_k^{s,t}}, \quad l \neq k \quad (7-4)$$

將(7-4)式中的 $A_l^{s,t}$ 以(7-3)式代換掉後可改寫為

$$R_k = \frac{A^{s,t} - \sum_{l=1}^n (R_l \times Au_l^{s,t})}{Au_k^{s,t}}, \quad l \neq k \quad (7-5)$$

利用(7-5)式即可求得第1至 n 段釋放率，亦為射源回推計算核心公式，求解方法如下：

篩選出單位釋放率劑量評估模式模擬中，測站 s 只受單一釋放率時段 R_a 影響的時間，這些時間的空氣劑量率模擬值僅來自 R_a ，因此 $\sum_{l=1}^n (R_l \times Au_l^{s,t})$ 在 $l \neq a$ 時，總和為0，則(7-5)式便可簡化為

$$R_a = \frac{A^{s,t}}{Au_a^{s,t}} \quad (7-6)$$

R_a 即可直接由觀測點觀測與模擬的空氣劑量率比值求得 R_a 。其中，若多個測站於多個時間皆只受單一釋放率 R_a 的影響，則可分別求解出代表 R_a 的釋放率，並將其平均視為 R_a ，接著以此方法試著分別針對 $R_1 \sim R_n$ ，個別篩選出其影響時間進行求解。

至此多數的釋放率時段已求得，接著篩選出即使混合了數個釋放率時段影響，但其中僅有一組未知釋放率 R_b 的時間，即可因為 $\sum_{l=1}^n (R_l \times Au_l^{s,t})$ 在 $l \neq b$ 的時候皆為已知，利用(7-5)式進行 R_b

的求解。依此類推，重複進行數次的疊代便可一步步扣除已求得的釋放率部分，完成射源項回推階段。

由於煙陣中心對周圍的劑量影響隨距離呈高斯分布，距離大於 3 倍標準差之外所造成的劑量影響非常小，因此於該時段的釋放率計算可先將超出距離範圍的煙陣排除在外，理想情況之下可計算所有時段的釋放率，pseudocode 如下：

```
iterations
for each Time  $t$  in TimeSeries
  for each Site  $s$  in SiteList
    find Puffs  $ps$  in PuffList if  $ps$  are in the vicinity of  $s$  at  $t$ 
    for each Puff  $p$  in  $ps$ 
      if  $R(p)$  has value, then remove  $p$  from  $ps$ 
    if only one puff in  $ps$ 
       $R(ps) = (\text{dose observed from } s \text{ at } t) / (\text{dose simulated from } ps \text{ at } t)$ 
```

4. 釋放率驗證：利用步驟二中的事件歷程資料，檢視步驟三求得的外釋射源釋放率時序演變合理性，倘若釋放率時序特性與事件歷程無法匹配，或蒐集到新的觀測資料與事件歷程資料時，回到步驟二進行觀測資料更新及釋放率時段的分段調整。

步驟 2、3、4 為一個循環，重複解出釋放率時間序列及合理性驗證，進而求得合理的釋放率時間序列。

7.2 射源項回推案例測試與方法驗證

為驗證射源項回推公式的正確性及實際案例的適用性，以下規劃兩組案例分別為理想案例 (Ideal Case) 與一般案例 (General Case)，案例中設定福島電廠中心向外八個方位（北、東北、東、東南、南、西南、西、西北）2 公里處為假定觀測站，由北依順時針依序編號為 1 至 8 號測站，以 A2Ct&d 於假定測

站的模擬空氣劑量率替代真實觀測資料，此模擬簡稱為替代觀測模擬(AObs 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., 2012 與 Terada et al., 2012)如圖 7-2 所示，使用其前 8 天 15 段的釋放率時序（圖 7-2 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 10 分鐘釋放一個 Cs-137 煙陣，釋放初始高度為 20 公尺。

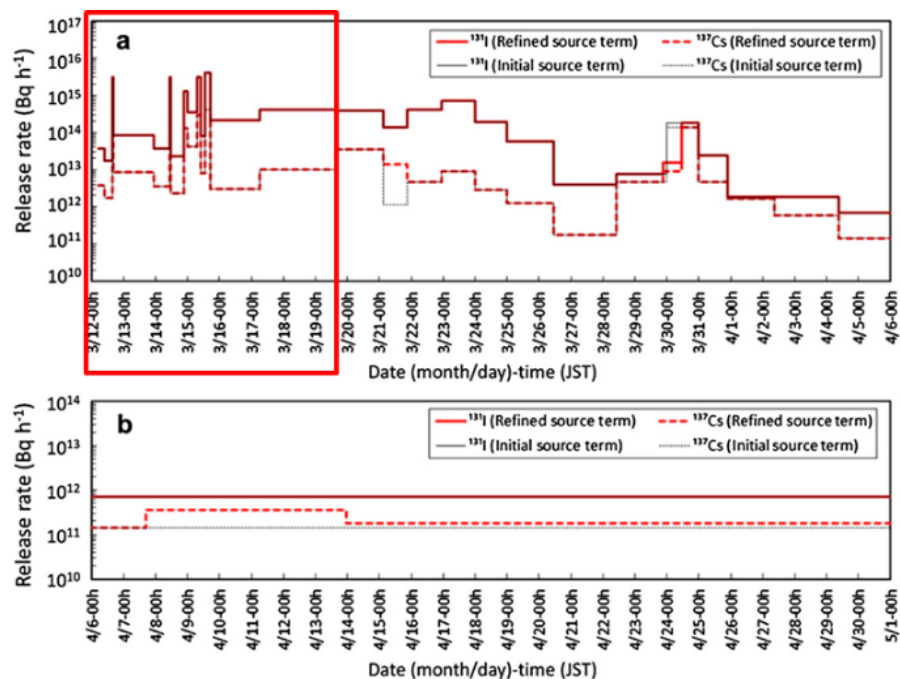


圖 7-2 JAEA 的 Cs-137 與 I-131 釋放率回推結果。實線為 I-131 釋放率，虛線為 Cs-137 釋放率，黑線為 Katata et al.的回推結果，紅線為 Terada et al.修正後的結果

在理想案例中，單位釋放率模擬的模擬設定皆與替代觀測模擬相同，唯獨差別在於 Cs-137 釋放率調整為單位釋放率 (1 Bq/sec)，且單位釋放率模擬與替代觀測模擬的煙陣質點位置 (7-7)式中的隨機變數 ζ 設定為相同的隨機變數，可使兩組模擬具有完全相同的亂流擾動，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

單位釋放率模擬與替代觀測模擬具有不同的亂流擾動。

質點位置方程式：

$$x_i(t + \Delta t) = x_i(t) + U_{pi}\Delta t \quad (7-6)$$

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，

$$u_i(t + \Delta t) = au_i(t) + b\sigma_{ui}\zeta + \delta_{i3}(1 - a)t_{Lx_i}\frac{\partial}{\partial x_i}(\sigma_{ui}^2) \quad (7-7)$$

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，使煙流產生隨機的亂流擾動。 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。

理想案例射源回推計算結果如表 7-1 所示，表格左至右為第 1 至 4 次疊代結果，第 4 次疊代結果（陰影欄）亦為回推最終結果，意即經過了 4 次疊代即可求得理想案例的所有釋放率分段。最右列為 JAEA 的釋放率回推結果，表中 R_1 、 R_4 、 R_5 、 R_7 及 $R_{13} \sim R_{15}$ 於第 1 次疊代即求得釋放率，意即這 7 段釋放率可以分別篩選出只受其影響的時段，再利用觀測資料（替代觀測模擬）之空氣劑量率和單位釋放率模擬之空氣劑量率比值求得釋放率。 R_2 、 R_6 、 R_8 與 R_{12} 可於第 2 次疊代時求得，這 4 段釋放率須利用已於第 1 次疊代時求得的釋放率方可求解。同理， R_3 與 R_9 需透過第 1 與第 2 次疊代求得之釋放率方可求解； R_{10} 與 R_{11} 則需透過第 1 至 3 次疊代求得之釋放率，接著於第 4 次疊代時求得。

回推最終結果（第 4 次疊代結果）與 JAEA 的結果近乎一致如圖 7-3 所示，圖中黑線為 JAEA 的射源項回推結果，紅線為理想案例回推結果。結果顯示，理想案例利用(7-5)式完美地回推替

代觀測模擬 Cs-137 釋放率。這可以由以下原因解釋，替代觀測模擬使用 JAEA 的射源項回推結果做為模擬的釋放率時序，用以替代觀測資料，然而在理想案例中，相同的隨機變數 ζ ，使單位釋放率模擬與替代觀測模擬具有相同的亂流擾動，這也造成單位釋放率模擬所有煙陣傳輸路徑與替代觀測模擬皆一致，再搭配相同的氣象場，即完成近乎沒有誤差的回推結果，同時也驗證了回推公式之正確性。

表 7-1 理想案例 Cs-137 釋放率回推結果

R_n	Ideal Case STE Result (unit: Bq/sec)				JAEA
	iter=1	iter=2	iter=3	iter=4	
R_1	1.0E+09	1.0E+09	1.0E+09	1.0E+09	1.0E+09
R_2	-999	4.7E+08	4.7E+08	4.7E+08	4.7E+08
R_3	-999	-999	8.3E+10	8.3E+10	8.3E+10
R_4	2.3E+09	2.3E+09	2.3E+09	2.3E+09	2.3E+09
R_5	1.0E+09	1.0E+09	1.0E+09	1.0E+09	1.0E+09
R_6	-999	8.3E+10	8.3E+10	8.3E+10	8.3E+10
R_7	6.4E+08	6.4E+08	6.4E+08	6.4E+08	6.4E+08
R_8	-999	3.6E+10	3.6E+10	3.6E+10	3.6E+10
R_9	-999	-999	1.1E+10	1.1E+10	1.1E+10
R_{10}	-999	-999	-999	8.3E+10	8.3E+10
R_{11}	-999	-999	-999	2.1E+09	2.2E+09
R_{12}	-999	1.1E+11	1.1E+11	1.1E+11	1.1E+11
R_{13}	8.3E+08	8.3E+08	8.3E+08	8.3E+08	8.3E+08
R_{14}	2.8E+09	2.8E+09	2.8E+09	2.8E+09	2.8E+09
R_{15}	9.6E+09	9.6E+09	9.6E+09	9.6E+09	9.6E+09

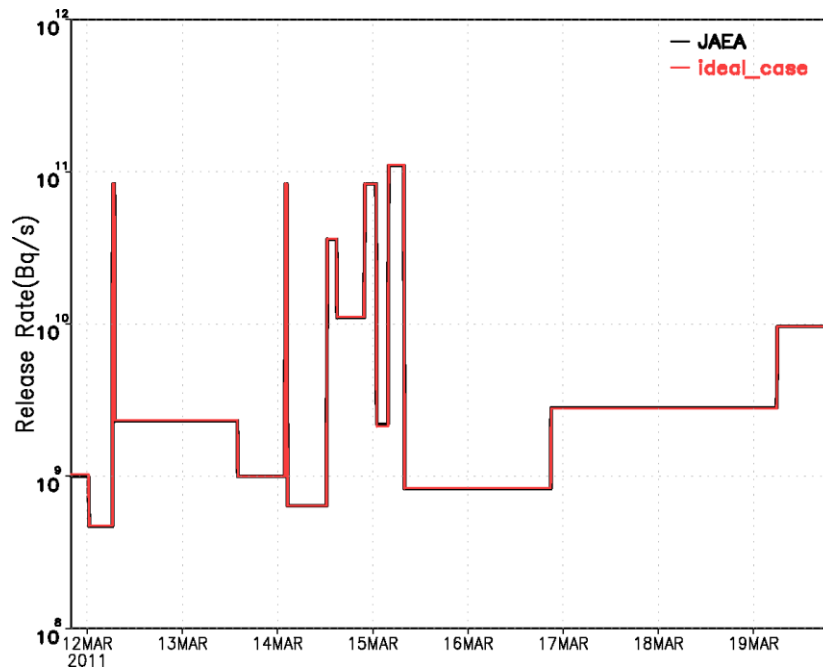


圖 7-3 理想案例 Cs-137 釋放率回推結果時序圖

一般案例射源回推計算結果如圖 7-4 所示，而逐次的疊代結果記錄在表 7-2。在一般案例中，釋放率的求解於第 3 次疊代時已求得全部 15 段的釋放率，且大部分時段的回推結果能與 JAEA 的結果有很好的匹配，唯 R_7 與第 R_{11} 回推結果有較大落差，其中又以 R_{11} 的落差最大，以下探討其原因。

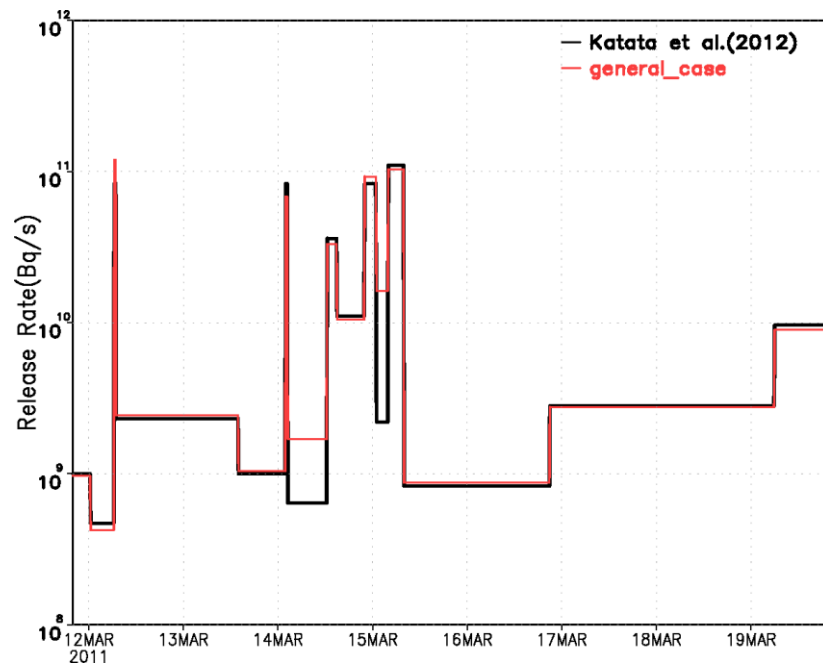


圖 7-4 一般案例 Cs-137 釋放率回推結果時序圖

表 7-2 一般案例 Cs-137 釋放率回推結果

General Case STE Result (unit: Bq/sec)				JAEA
R_n	iter=1	iter=2	iter=3	
R_1	9.7E+08	9.7E+08	9.7E+08	1.0E+09
R_2	4.2E+08	4.2E+08	4.2E+08	4.7E+08
R_3	-999	1.2E+11	1.2E+11	8.3E+10
R_4	2.4E+09	2.4E+09	2.4E+09	2.3E+09
R_5	1.0E+09	1.0E+09	1.0E+09	1.0E+09
R_6	-999	6.8E+10	6.8E+10	8.3E+10
R_7	1.7E+09	1.7E+09	1.7E+09	6.4E+08
R_8	-999	3.3E+10	3.3E+10	3.6E+10
R_9	-999	-999	1.1E+10	1.1E+10
R_{10}	9.3E+10	9.3E+10	9.3E+10	8.3E+10
R_{11}	1.6E+10	1.6E+10	1.6E+10	2.2E+09
R_{12}	1.0E+11	1.0E+11	1.0E+11	1.1E+11
R_{13}	8.7E+08	8.7E+08	8.7E+08	8.3E+08
R_{14}	2.8E+09	2.8E+09	2.8E+09	2.8E+09
R_{15}	8.9E+09	8.9E+09	8.9E+09	9.6E+09

R_{11} 的釋放時間為 3 月 15 日的 01 時至 03 時 50 分，共 18 顆煙陣，煙陣釋放進入大氣，經一次疊代篩選後，6 號測站只受 R_{11} 影響的時段為 3 月 15 日 03 至 05 時，7 號測站為 3 月 15 日 03 至 04 時如表 7-3 所示，表中 A 與 Au 分別為替代觀測模擬與單位釋放率模擬的空氣劑量，最右列為 R_{11} 回推結果，而結果顯示 R_{11} 在 3 月 15 日的 03 時至 04 時於 6 號測站有較明顯的高估。圖 7-5 及圖 7-6 分別為單位釋放率模擬及替代觀測模擬於 3 月 15 日 03 時至 04 時的煙陣立體位置圖。圖中灰點為煙陣投影到地面的位置，色點為加入了煙陣高度後的位置，顏色則代表煙陣的釋放率時段。圖中顯示，亂數生成的隨機變數 ζ 使單位釋放率模擬與替代觀測模擬煙陣具有不同的亂流擾動，造成煙陣分布位置有所差異，其中，單位釋放率模擬影響 6 號與 7 號站的煙陣為 R_{11} ，而

在替代觀測模擬中，6、7 號站除了受到 R_{11} 煙陣影響外，亦會受到 R_7 、 R_9 及 R_{10} 煙陣的影響，射源回推計算時會將這些影響量皆視為 R_{11} 貢獻的，導致了 R_{11} 的高估。

福島事件理想案例中，射源項回推可以準確推算出釋放源釋放量，驗證了射源項回推方法的合理性；在一般案例中，多數的釋放率分段能有合適的回推結果，僅於少數分段回推結果落差較大，誤差主要為隨機亂流擾動造成的煙陣位置差異所導致。

表 7-3 一般案例 R_{11} 回推結果

Observation No.6 on 15 Mar 2011			
time	A(mSv/hr)	Au(mSv/hr)	R_{11} (Bq/s)
03:00	3.06E-04	1.03E-14	2.97E+10
04:00	1.04E-04	6.88E-15	1.51E+10
05:00	5.93E-05	1.42E-14	4.17E+09
Observation No.7 on 15 Mar 2011			
time	A(mSv/hr)	Au(mSv/hr)	R_{11} (Bq/s)
03:00	2.40E-04	1.65E-14	1.45E+10
04:00	1.20E-04	2.26E-14	5.32E+09

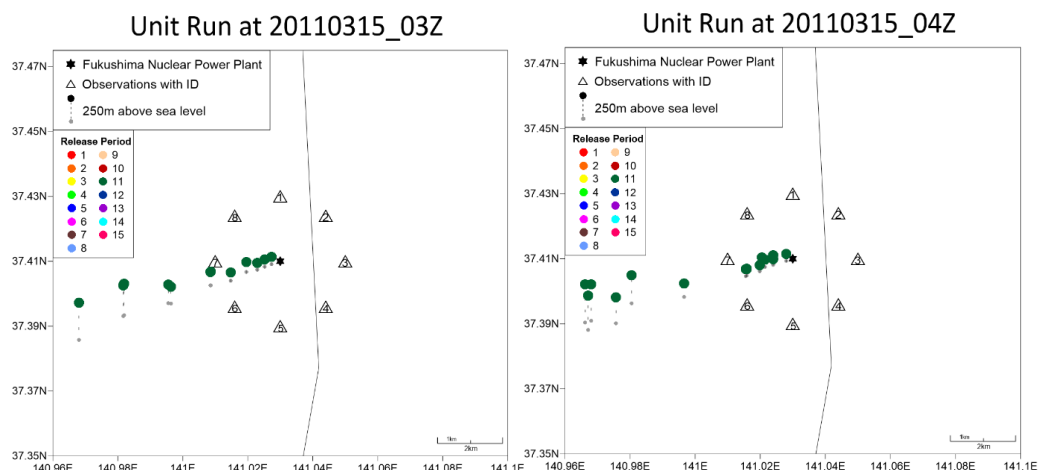


圖 7-5 一般案例 Unit Run 3 月 15 日 03 時至 04 時的煙陣立體位置圖

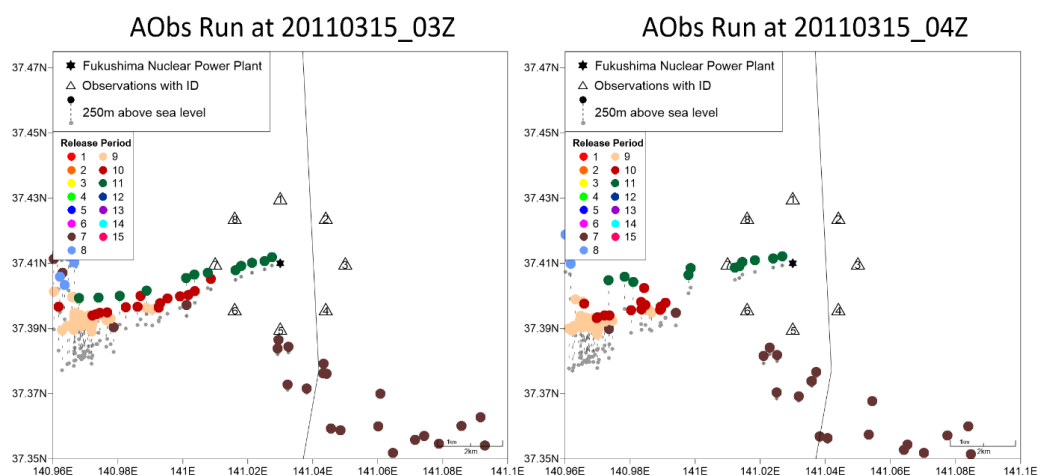


圖 7-6 一般案例單位釋放率模擬 3 月 15 日 03 時至 04 時的煙陣立體位置圖

7.3 日本福島事故射源項重建

事故期間的觀測資料種類繁多，其中適合配合 A2Ct&d 劑量評估模擬結果用作射源項回推的資料為東京電力公司 (Tokyo Electric Power Company) 提供的福島電廠內 3 月 11 日至 21 日的輻射偵測值 (gamma dose rate, $\mu\text{Sv/h}$) (TEPCO, 2011)，監測點分布如圖 7-7 所示，代號及經緯度整理在表 7-4。

另外日本各縣雖然皆有地面劑量監測站，但資料起始時間皆在 3 月 14 日，除了離事故發生時間點較久之外，且絕大多數測

站距離電廠皆超過 100 公里，其中離電廠最近的福島縣地面測站(距離福島電廠 61 公里)要到 4 月份才開始有資料，因此在射源項回推計算上主要使用福島電廠內的輻射偵測資料，以計算事故早期的外釋時序。圖 7-8 即為福島電廠內 3 月 11 日至 21 日的輻射偵測值。

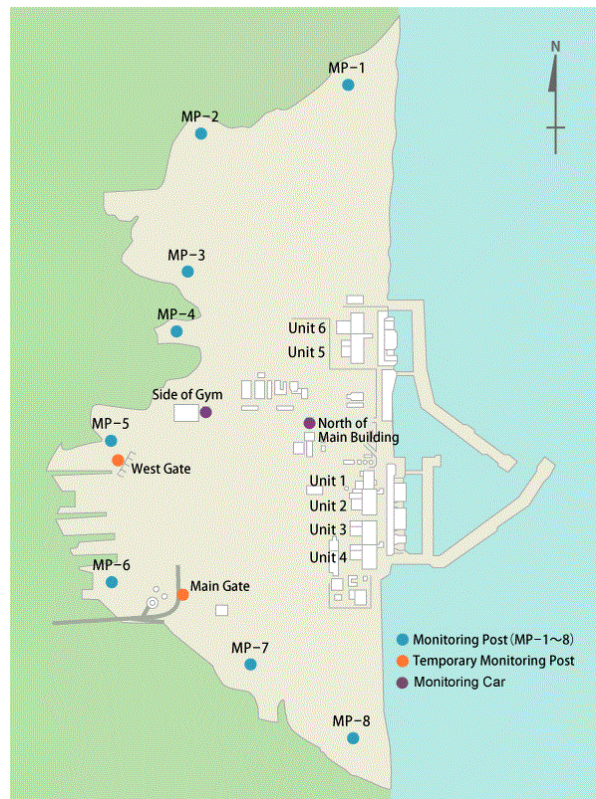


圖 7-7 福島電廠場內輻射偵測點分布位置圖

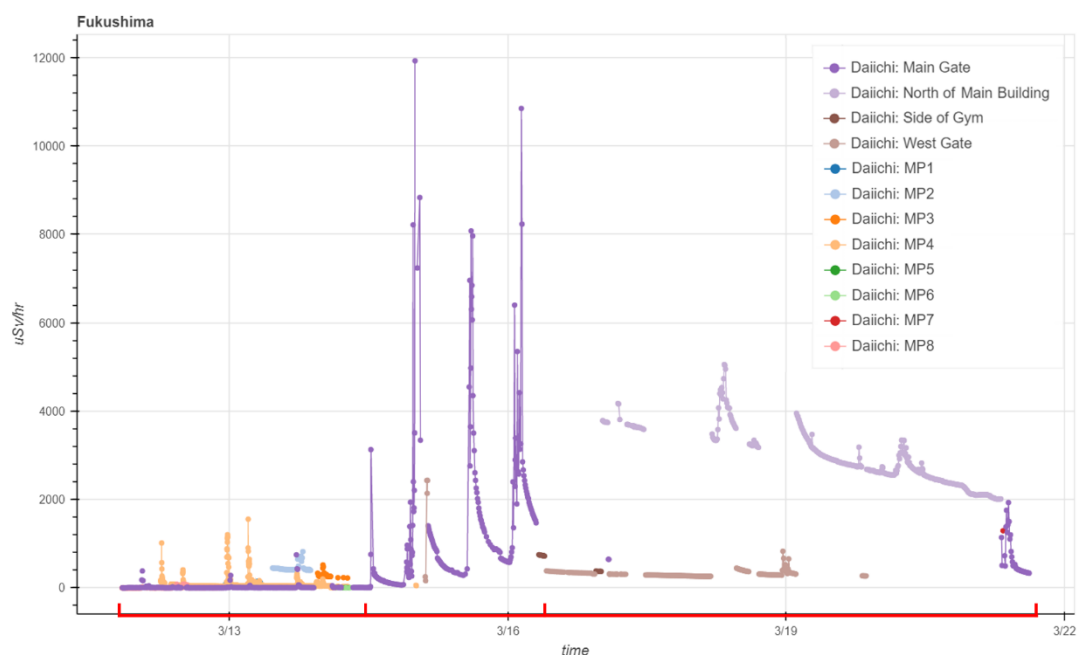


圖 7-8 福島電廠內 3 月 11 日至 21 日的輻射偵測值(TEPCO, 2011)

表 7-4 福島電廠內輻射偵測點經緯度及代號表

監測點代號	經度	緯度	監測點描述
MG	141.023	37.419	Temporary monitoring post at Main Gate at Fukushima Daiichi
NMB	141.031	37.426	Fukushima Daiichi monitoring by car located North of Main Building
GYM	141.024	37.426	Fukushima Daiichi monitoring by car located at the side of the GYM
WG	141.020	37.424	Temporary monitoring post at West Gate at Fukushima Daiichi
MP1	141.033	37.440	Fixed Monitoring Post 1 at Fukushima Daiichi
MP2	141.025	37.438	Fixed Monitoring Post 2 at Fukushima Daiichi
MP3	141.024	37.432	Fixed Monitoring Post 3 at Fukushima Daiichi
MP4	141.023	37.430	Fixed Monitoring Post 4 at Fukushima Daiichi
MP5	141.020	37.425	Fixed Monitoring Post 5 at Fukushima Daiichi
MP6	141.020	37.419	Fixed Monitoring Post 6 at Fukushima Daiichi
MP7	141.027	37.416	Fixed Monitoring Post 7 at Fukushima Daiichi
MP8	141.032	37.412	Fixed Monitoring Post 8 at Fukushima Daiichi

福島事故射源項回推部分，單位釋放率模擬為 2011 年 3 月 11 日 20 時至 19 日 19 時，共 192 小時（8 天）的模擬，每 2 分鐘釋放一個活度為 10^{10} Bq/sec 的 Cs-137 煙陣，釋放初始高度為 20 公尺，並使用福島電廠內的實際輻射偵測資料。射源項回推結果如圖 7-9 所示，圖中紫色實線為射源項回推結果，橘色與藍色實現分別為 JAEA 的 I-131 與 Cs-137 的回推研究結果。不同於日本方面的研究，I-131 與 Cs-137 之活度比大致上為 10:1，本研

究單純以廠內測量之空氣劑量率進行回推，將所有外釋核種皆視為 Cs-137，外釋時序回推結果如圖 7-9，事故期間釋放率回推結果約落在 $10^{11} \sim 10^{16}$ 之間，變動範圍較 JAEA 的 $10^{12} \sim 10^{16}$ 之間大一些，而整體趨勢與 JAEA 的研究成果相符，約落在 JAEA 的 I-131 與 Cs-137 之間，特別值得注意的是 R_3 與 R_6 分別為福島電廠 1 號機組與 3 號機組發生氫爆的時間區段， R_{10} 則為 2 號機組核子反應爐容器壓力抑制室周遭發生爆炸聲的區段， R_3 、 R_{10} 與釋放率回推高值區段皆能有很好的匹配， R_6 則是混雜了 R_5 區段的煙陣影響，將釋放率高值平均在 R_5 時間區段中。

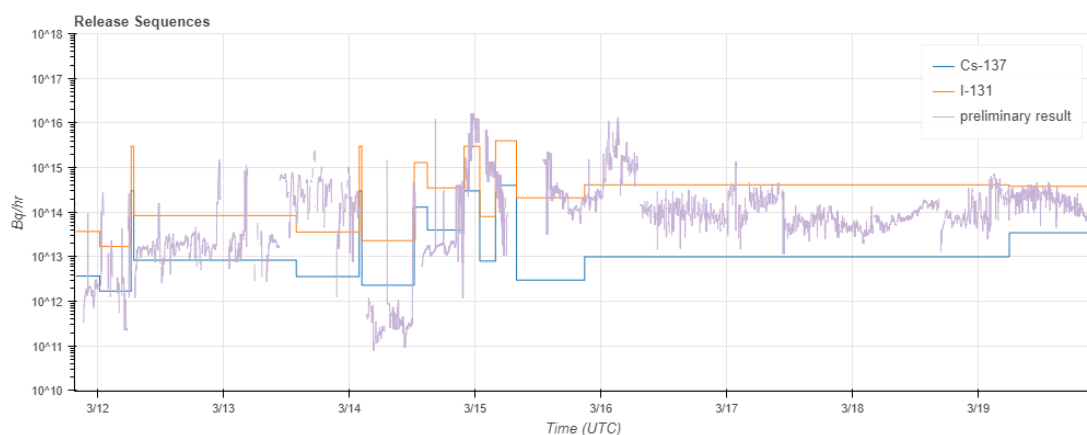


圖 7-9 福島事故射源項回推結果

利用射源項回推結果重新進行 A2Ct&d 劑量模式模擬，模擬完的測站值如圖 7-10 至圖 7-21 所示，圖中彩色實線為 A2Ct&d 劑量模式於測點的模擬結果，色點為觀測值。如圖 7-8 所示（標示於 X 軸上紅色區間）可以將觀測資料大致分為三個區段探討，分別為 14 日至 16 日的高值起伏區段、12 日至 14 日的零星高值區段及 16 日之後的 NMB 站。14 日至 16 日劑量率高值起伏區段部分，由圖 7-10 及圖 7-10b 顯示，測點 MG 的模擬趨勢與觀測值有很好的匹配。其他觀測點於此段時間資料缺漏嚴重，無法進行比較。12 日至 14 日的觀測值出現零星高值區段部分，圖 7-14

至圖 7-21（觀測點 MP1 至 MP8）顯示，回推後的釋放率模擬結果能大致掌握高值出現的時間點，其中觀測資料較完整的 MG（圖 7-10a）與 MP4（圖 7-17），觀測劑量率高值部分，模擬高值出現的時間點與觀測也都有很好的匹配。16 日之後的觀測資料部分，僅 NMB 站點（圖 7-11）於高值起伏的部分有較連續及完整的資料，而其中模擬的高值起伏趨勢與觀測有很好的匹配。

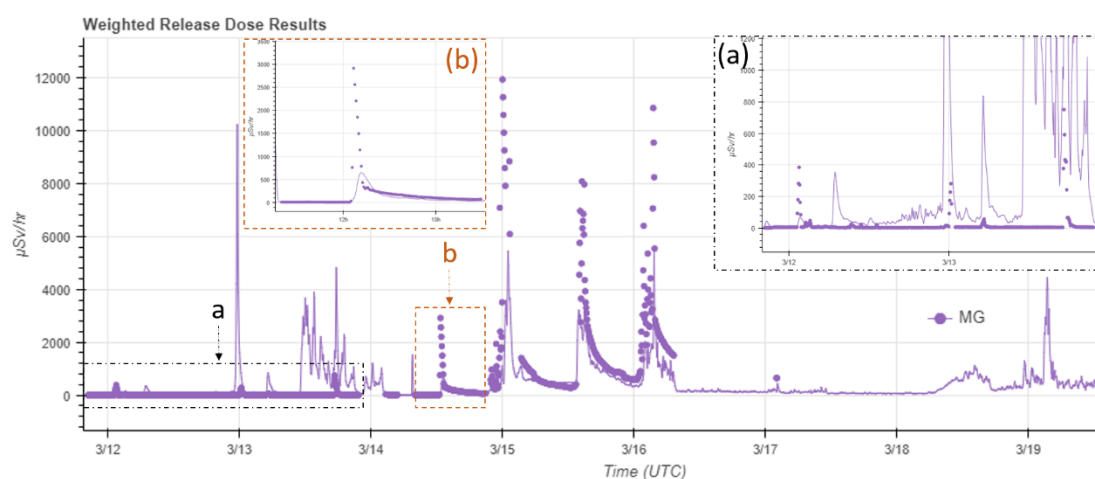


圖 7-10 福島電廠 MG 測站劑量率模擬結果

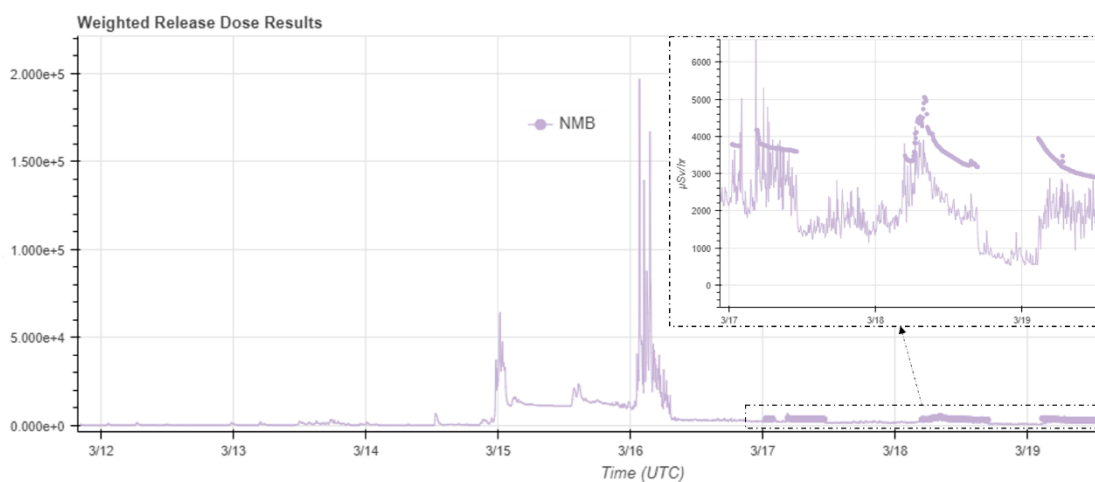


圖 7-11 福島電廠 NMB 測站劑量率模擬結果

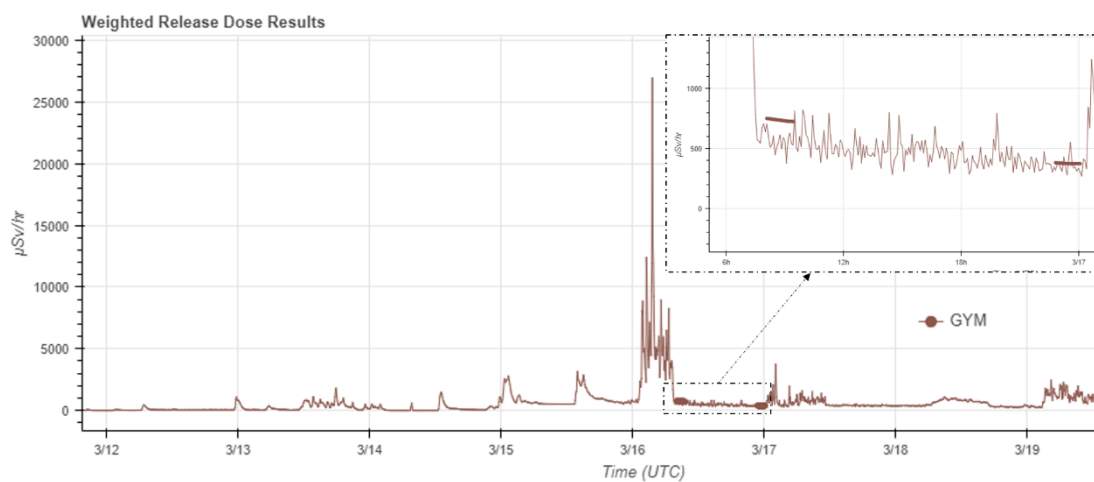


圖 7-12 福島電廠 GYM 測站劑量率模擬結果

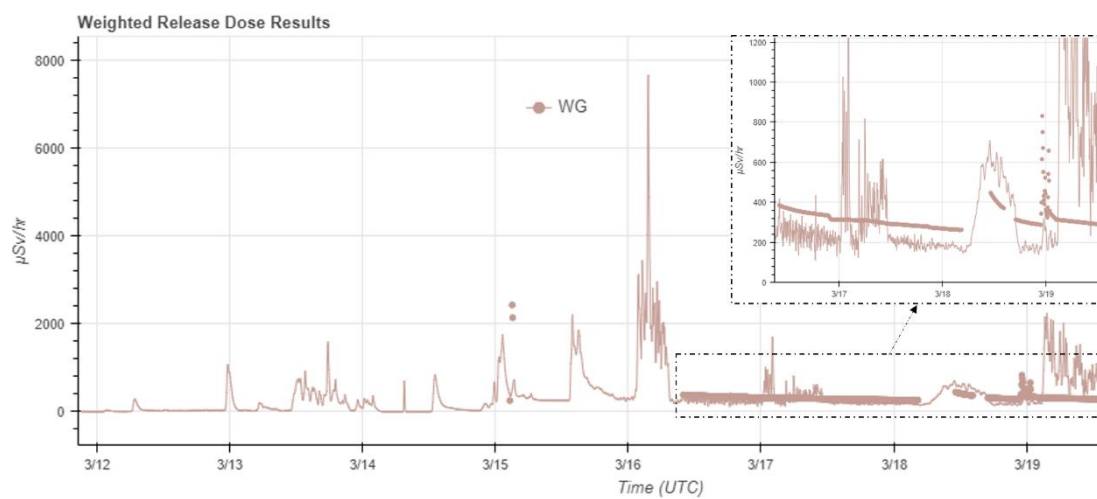


圖 7-13 福島電廠 WG 測站劑量率模擬結果

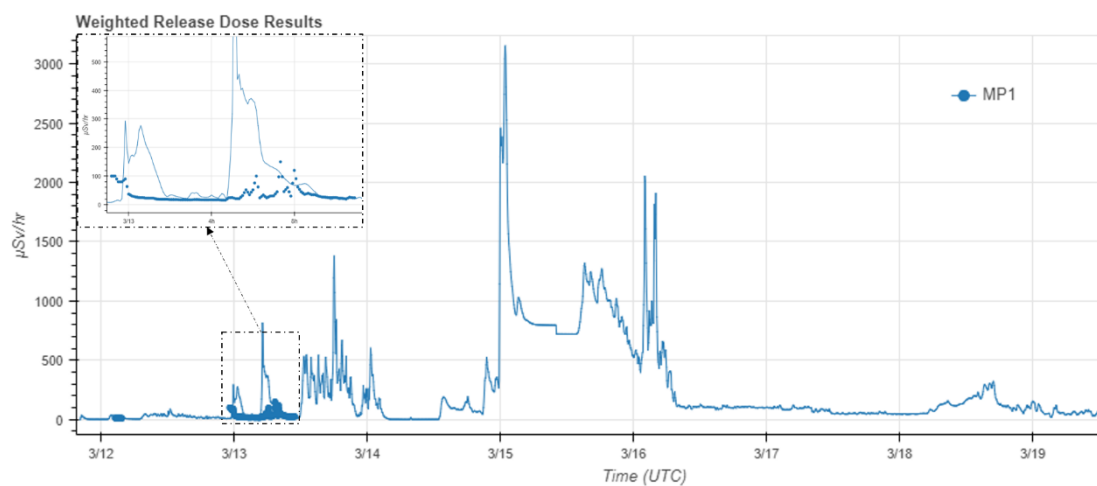


圖 7-14 福島電廠 MP1 測站劑量率模擬結果

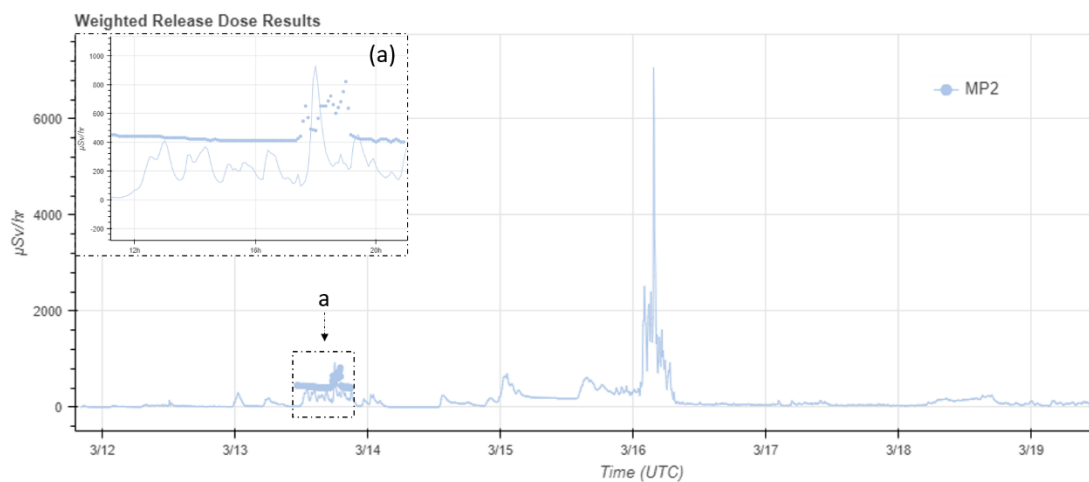


圖 7-15 福島電廠 MP2 測站劑量率模擬結果

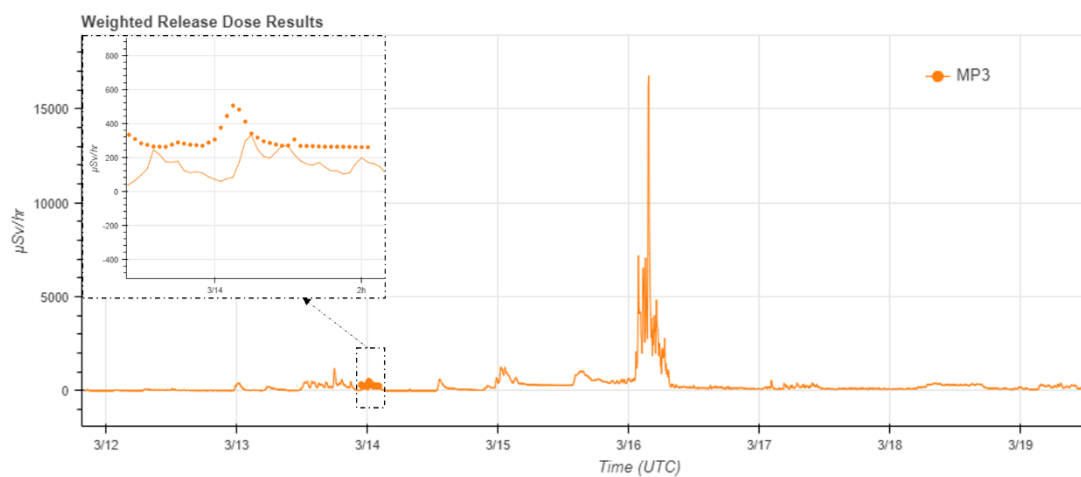


圖 7-16 福島電廠 MP3 測站劑量率模擬結果

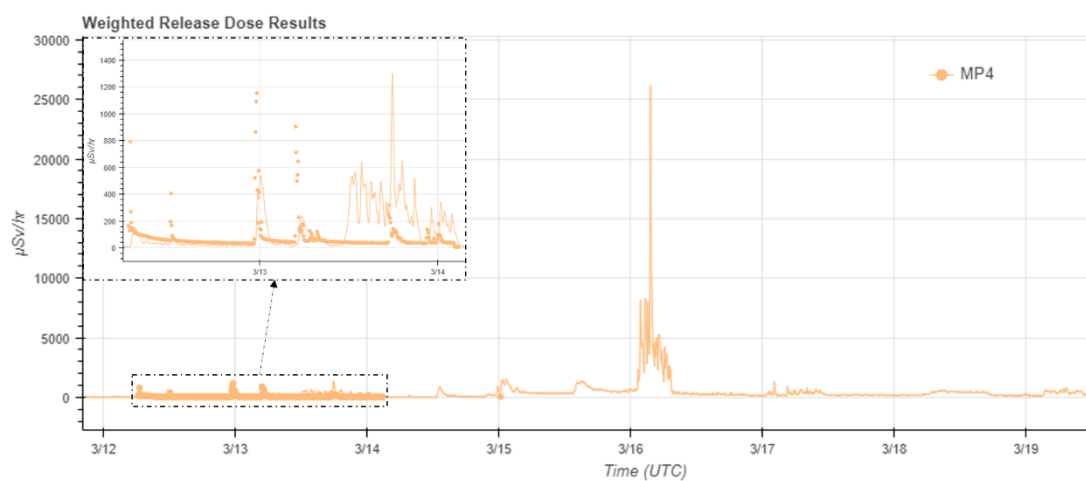


圖 7-17 福島電廠 MP4 測站劑量率模擬結果

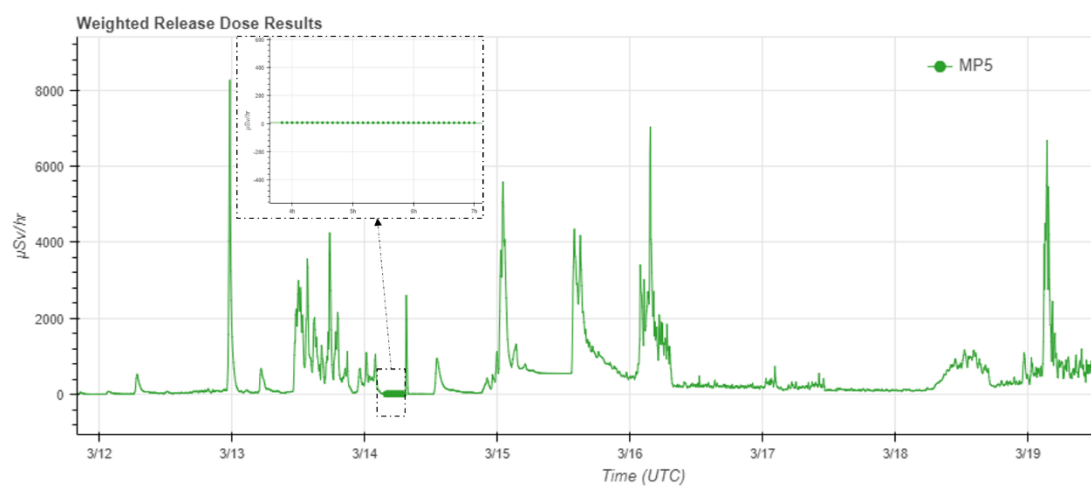


圖 7-18 福島電廠 MP5 測站劑量率模擬結果

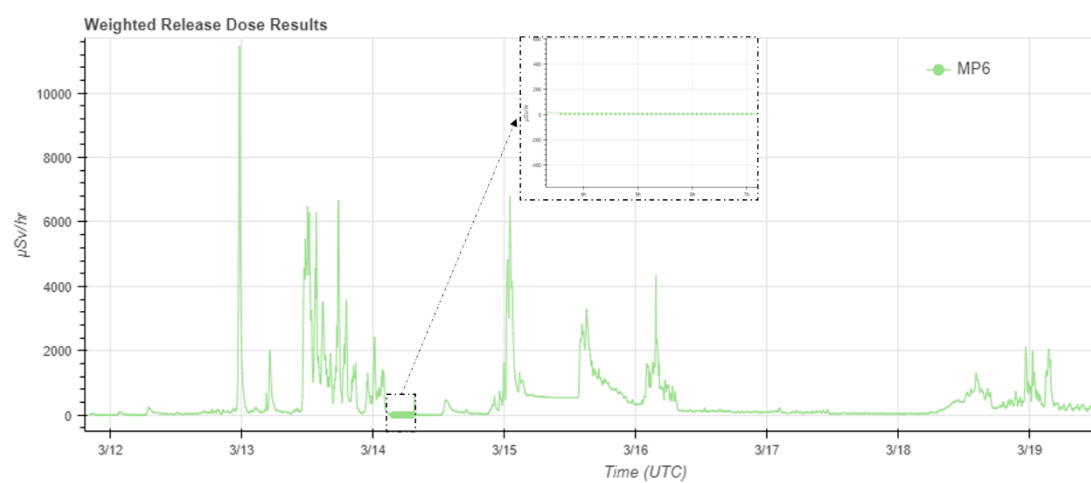


圖 7-19 福島電廠 MP6 測站劑量率模擬結果

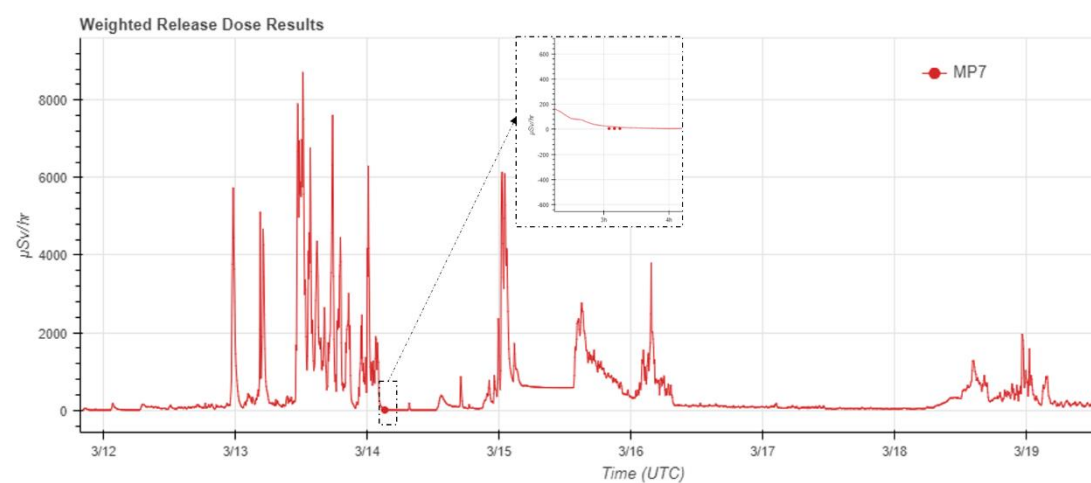


圖 7-20 福島電廠 MP7 測站劑量率模擬結果

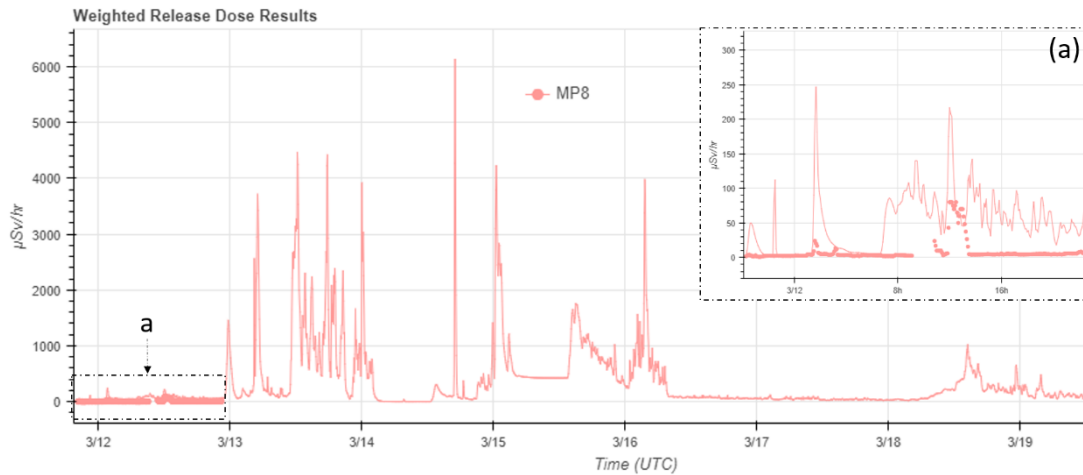


圖 7-21 福島電廠 MP8 測站劑量率模擬結果

日本福島事故射源項重建部分，日本在氣象場方面是使用 MM5 模式的模擬結果，而本計畫使用之氣象場為 NCEP GFS 模式經 MDDS 動力降尺度之 3 維氣象資料；地形方面本計畫使用美國 USGS 30 s 全球資料（解析度約 1 公里），而 JAEA 相關報告沒有特別說明地形資料的資訊，但評估所使用的應該是更高解析度的資料，雖然模式以及引用的資料不盡相同，但整體而言釋放率量級及起伏趨勢都與 JAEA 的回推成果接近，且在氫爆時間點的釋放率高值也都有相對應的回推成果。將釋放率回推結果回饋於 A2Ct&d 劑量評估模式模擬後，顯示在量測資料不完整的情況之下，模擬結果依然能夠掌握大致的分布情況，回推模擬情況多能符合大量外釋的時間點，配合核電廠廠址周圍有限的即時監測結果，可為事故早期階段的劑量評估進行修正，以填補各劑量觀測站之間的劑量分布資訊，同時做為緊急應變行動之參考。

7.4 台灣區域即時輻射偵測資料傳輸系統建置

根據日本 JAEA 射源項回推方法為基礎的外釋射源項回推技術，係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，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。即時輻射偵測資料部分，為了使緊急應變劑量評估系統於事故發生時，能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，於系統中加入台灣區域即時輻射偵測資料傳輸系統，即時收集各縣市輻射偵測資料。

本計畫已與原子能委員輻射偵測中心合作，於 2017 年 10 月 6 日開始，每分鐘將最新的輻射偵測資料傳輸至核研所 SFTP 站台如圖 7-22 所示。資料種類檔名如下：

1. 全國固定式監測站 TRMCFXYYYYYMMDDHH.CSV
2. 移動式偵測器 TRMCXYYYYYMMDDHH.CSV
3. 核能 1-4 廠 TPNUPLYYYYYMMDDHH.CSV
4. 蘭嶼 TPLAYUYYYYYMMDDHH.CSV
5. 台北市政府 TPEGOVYYYYMMDDHH.CSV

檔名中，YYYY 為四位數年份、MM 為二位數月份、DD 為二位數日期、HH 為二位數小時。資料格式皆為逗點分隔檔 (CSV) 如表 7-5 至表 7-6 所示，由左而右為測站、由上而下為分鐘資料，逐分鐘刷新檔案。

TPEGOV2017112400.CSV TPEGOV2017112401.CSV TPEGOV2017112402.CSV TPEGOV2017112403.CSV TPEGOV2017112404.CSV
TPEGOV2017112405.CSV TPEGOV2017112406.CSV TPEGOV2017112407.CSV TPEGOV2017112408.CSV TPEGOV2017112409.CSV
TPEGOV2017112410.CSV TPEGOV2017112411.CSV TPEGOV2017112412.CSV TPEGOV2017112413.CSV TPEGOV2017112414.CSV
TPEGOV2017112415.CSV TPEGOV2017112416.CSV TPEGOV2017112417.CSV TPEGOV2017112418.CSV TPEGOV2017112419.CSV
TPEGOV2017112420.CSV TPEGOV2017112421.CSV TPEGOV2017112422.CSV TPEGOV2017112423.CSV TPEGOV2017112424.CSV
TPLAYU2017112401.CSV TPLAYU2017112402.CSV TPLAYU2017112403.CSV TPLAYU2017112404.CSV TPLAYU2017112405.CSV
TPLAYU2017112406.CSV TPLAYU2017112407.CSV TPLAYU2017112408.CSV TPLAYU2017112409.CSV TPLAYU2017112410.CSV
TPLAYU2017112411.CSV TPLAYU2017112412.CSV TPLAYU2017112413.CSV TPLAYU2017112414.CSV TPLAYU2017112415.CSV
TPLAYU2017112416.CSV TPLAYU2017112417.CSV TPLAYU2017112418.CSV TPLAYU2017112419.CSV TPLAYU2017112420.CSV
TPNUPL2017112421.CSV TPLAYU2017112422.CSV TPLAYU2017112423.CSV TPNUPL2017112400.CSV TPNUPL2017112401.CSV
TPNUPL2017112402.CSV TPNUPL2017112403.CSV TPNUPL2017112404.CSV TPNUPL2017112405.CSV TPNUPL2017112406.CSV
TPNUPL2017112407.CSV TPNUPL2017112408.CSV TPNUPL2017112409.CSV TPNUPL2017112410.CSV TPNUPL2017112411.CSV
TPNUPL2017112412.CSV TPNUPL2017112413.CSV TPNUPL2017112414.CSV TPNUPL2017112415.CSV TPNUPL2017112416.CSV
TPNUPL2017112417.CSV TPNUPL2017112418.CSV TPNUPL2017112419.CSV TPNUPL2017112420.CSV TPNUPL2017112421.CSV
TPNUPL2017112422.CSV TPNUPL2017112423.CSV TRMCEX2017112400.CSV TRMCEX2017112401.CSV TRMCEX2017112402.CSV
TRMCEX2017112403.CSV TRMCEX2017112404.CSV TRMCEX2017112405.CSV TRMCEX2017112406.CSV TRMCEX2017112407.CSV
TRMCEX2017112408.CSV TRMCEX2017112409.CSV TRMCEX2017112410.CSV TRMCEX2017112411.CSV TRMCEX2017112412.CSV
TRMCEX2017112413.CSV TRMCEX2017112414.CSV TRMCEX2017112415.CSV TRMCEX2017112416.CSV TRMCEX2017112417.CSV
TRMCEX2017112418.CSV TRMCEX2017112419.CSV TRMCEX2017112420.CSV TRMCEX2017112421.CSV TRMCEX2017112422.CSV
TRMCEX2017112423.CSV TRMCFX2017112400.CSV TRMCFX2017112401.CSV TRMCFX2017112402.CSV TRMCFX2017112403.CSV
TRMCFX2017112404.CSV TRMCFX2017112405.CSV TRMCFX2017112406.CSV TRMCFX2017112407.CSV TRMCFX2017112408.CSV
TRMCFX2017112409.CSV TRMCFX2017112410.CSV TRMCFX2017112411.CSV TRMCFX2017112412.CSV TRMCFX2017112413.CSV
TRMCFX2017112414.CSV TRMCFX2017112415.CSV TRMCFX2017112416.CSV TRMCFX2017112417.CSV TRMCFX2017112418.CSV
TRMCFX2017112419.CSV TRMCFX2017112420.CSV TRMCFX2017112421.CSV TRMCFX2017112422.CSV TRMCFX2017112423.CSV
sftp> █

圖 7-22 核研所 SFTP 站台接收即時輻射偵測資料傳輸結果

表 7-5 全國固定式監測站輻射偵測資料示意

	澳底	貢寮	雙溪	三港	龍門	椰油	阿里山
2017/11/25 15:00	0.069	0.0515	0.0612	0.0645	0.0612	0.0409	0.1048
2017/11/25 15:01	0.0687	0.0512	0.0612	0.0654	0.0609	0.041	0.1039
2017/11/25 15:02	0.0695	0.0509	0.0609	0.0646	0.0609	0.0416	0.1035
2017/11/25 15:03	0.0681	0.0514	0.0627	0.066	0.0598	0.041	0.1037
2017/11/25 15:04	0.0696	0.0529	0.0626	0.0645	0.0604	0.0415	0.1031
2017/11/25 15:05	0.0695	0.0534	0.0627	0.0647	0.0605	0.0414	0.102
2017/11/25 15:06	0.0691	0.0532	0.062	0.0651	0.06	0.0414	0.1012
2017/11/25 15:07	0.07	0.0525	0.0611	0.0647	0.0594	0.0421	0.1013
2017/11/25 15:08	0.0701	0.0522	0.0614	0.0631	0.0606	0.0419	0.1006
2017/11/25 15:09	0.0706	0.0525	0.0614	0.0625	0.0604	0.0419	0.1008
2017/11/25 15:10	0.0711	0.0524	0.0613	0.0615	0.0594	0.0428	0.1016
2017/11/25 15:11	0.0699	0.0523	0.0593	0.0624	0.0602	0.0426	0.1021
2017/11/25 15:12	0.0691	0.0523	0.0592	0.0623	0.0597	0.0424	0.1023
2017/11/25 15:13	0.0684	0.0524	0.0596	0.0614	0.0587	0.0429	0.1025

表 7-6 移動式偵測器輻射偵測資料示意

	W325-1(椰)	W325-4(阿)	W325-6(雲)	W325-8(換)	W325-15(電)	W325-17(右)	W325-10(章)
2017/11/25 15:00	0.0409	0.0398	0.0632	0.0989	0.1046	0.0375	0.0895
2017/11/25 15:01	0.041	0.0395	0.0629	0.1009	0.1055	0.0369	0.0895
2017/11/25 15:02	0.0416	0.0398	0.0621	0.1007	0.1055	0.0368	0.089
2017/11/25 15:03	0.041	0.0401	0.0633	0.0976	0.1067	0.0368	0.0882
2017/11/25 15:04	0.0415	0.0403	0.0636	0.0958	0.1069	0.0376	0.0871
2017/11/25 15:05	0.0414	0.0399	0.0628	0.0948	0.1081	0.0375	0.0864
2017/11/25 15:06	0.0414	0.0396	0.0623	0.0931	0.1077	0.0374	0.086
2017/11/25 15:07	0.0421	0.0402	0.0623	0.0941	0.1063	0.0375	0.0862
2017/11/25 15:08	0.0419	0.0401	0.0616	0.095	0.1076	0.0377	0.0882
2017/11/25 15:09	0.0419	0.0395	0.0603	0.0951	0.1067	0.0374	0.0881
2017/11/25 15:10	0.0428	0.0398	0.0615	0.0933	0.1069	0.037	0.089
2017/11/25 15:11	0.0426	0.0399	0.0627	0.0937	0.1072	0.0378	0.0904
2017/11/25 15:12	0.0424	0.0407	0.0614	0.094	0.1073	0.038	0.0908
2017/11/25 15:13	0.0429	0.0414	0.0601	0.0957	0.1054	0.0385	0.0903

圖 7-24 核二廠劑量評估結果與即時偵測數據整合顯示

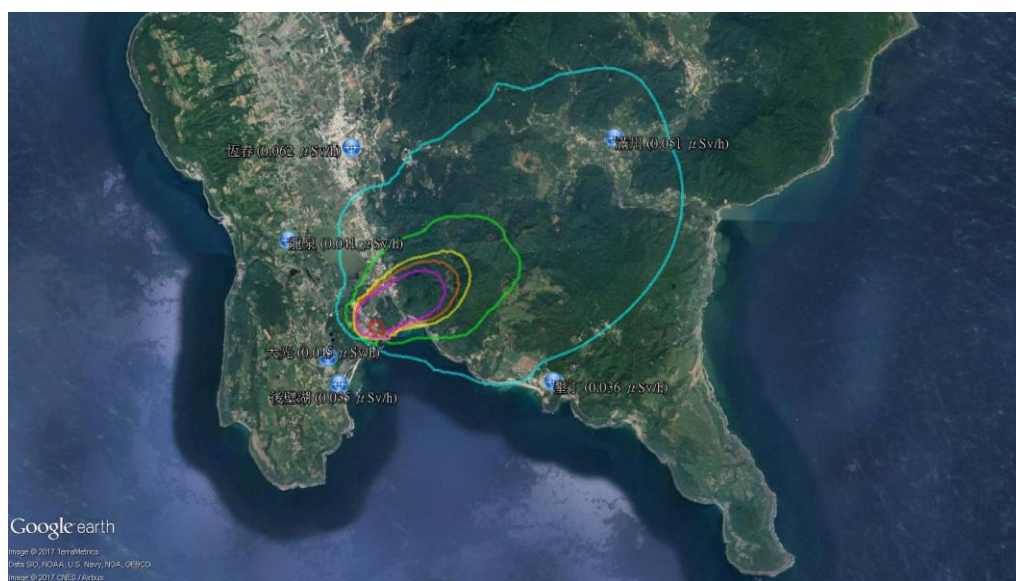


圖 7-25 核三廠劑量評估結果與即時偵測數據整合顯示

8. 核二廠嚴重事故外釋射源項資料庫更新

核電廠採深度防禦設計，即使爐心核燃料在事故中熔損，只要圍阻體保持完整，仍可有效地防止放射性物質的外釋。輻射外釋風險評估除了要估算爐心熔損頻率外，尚須整體考量與估算圍阻體於各種爐心熔損事故情節下喪失完整性的機會。因此核電廠完整的安全度評估 (Probabilistic Risk Assessment, PRA) 依爐心放射性物質包封邊界與事故演進的情節可概分成三階段，分別為一階 (Level-1) 的反應器冷卻水系統 (Reactor Coolant System, RCS) 分析、二階 (Level-2) 的圍阻體完整性及輻射源項分析，以及三階 (Level-3) 的輻射外釋後果分析，而緊急應變計畫區 (Emergency Planning Zone, EPZ) 的界定即屬於二/三階 PRA 的應用分析範疇。

根據「核子事故緊急應變法施行細則」第四條之五年定期檢討 EPZ 要求，原能會於民國 100 年審查台電公司「核一、二、三廠緊急應變計畫區檢討修正完成報告」所提出若干與輻射源項有關的審查意見，包括考量雙機組事故與地震、海嘯情境，考量嚴重事故處理指引 (Severe Accident Management Guidelines, SAMG or SAG)、氫爆與燃料池失火顧慮、反應器廠房的分裂產物輻射滯留效應等，將於本次 EPZ 更新時妥適處理。

在嚴重事故分析方面，核電廠輻射源項統一使用 MAAP 最新 5.0.3 版作為計算程式，係因 MAAP 為目前美國核能工業界最為廣泛使用於二階 PRA 輻射源項計算之嚴重事故整合式 (Integrated) 分析工具，可從事故初期一直計算到爐心熔毀、RPV 失效、圍阻體失效、分裂產物外釋等現象，並與許多實驗、程式進行驗證 (Benchmark) 且

呈現相似的結果。美國核管會要求新建核電廠必須執行二階 PRA，這些 PRA 絕大部分均使用 MAAP 分析輻射源項；除此之外，MAAP 也常應用於各電廠一階 PRA 模式成功準則的訂定，這些 PRA 常應用於各項風險告知應用，如運轉規範修改、營運期間檢測評估、功率提昇等。本次更新為將海嘯、地震危害事件納入風險評估範疇，可符實反映各廠現況之指標風險。

核電廠完整 PRA 依事故演進的情節概分成三個主要的步驟，分別為一階(Level-1)的反應器冷卻水系統分析、二階 (Level-2) 的圍阻體完整性及輻射源項分析，以及三階 (Level-3) 的災害後果分析。嚴重事故源項分析則屬於延續於一階 PRA 之後的二階分析範疇。

核能電廠嚴重事故主要潛在後果包括空浮放射性物質外釋廠外大氣與環境中，放射性物質外釋的重要特性包括如外釋時間、釋放持續時間、能量規模、源項類別等。源項類別(Source Term Categories, STCs)分析採用源項特性的決定因子，每一類 STC 具有其外釋特性，其中核一、二廠共有 27 個 STC 類別，核三廠共有 14 個 STC 類別。依據 STC 分析所得外釋類別與其對應具個廠特性之事故序列、圍阻體失效模式等結果納入運跑 MAAP5.0.3 所需設定參數之參考依據，圍阻體失效的事故序列方有較為顯著的輻射外釋，也才會納入外釋類別 (Release Category, RC)之定義歸屬，並獲得輻射源項之計算結果。

本報告引用之嚴重事故外釋射源項，係參照本所核工組 105 年 2 月完成之「核一、二、三廠輻射源項更新案例分析」報告，作為外釋射源項更新之依據。除了嚴重事故之外釋射源項資料外，也加入世界衛生組織 WHO 於 2012 年提出「Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami」報告中所提到與使用的 2 組福島事故外釋射源項，資料分別是由東京

電力公司(TEPCO) 與日本原子能研究開發機構 (JAEA) 所提出，以作為類福島外釋量的評估使用，射源項核種與活度資料如表 8-1。

劑量評估系統中核一、二、三廠嚴重事故外釋射源項資料庫選單分別如圖 8-1、圖 8-2、圖 8-3 所示

表 8-1 WHO 報告外釋射源項之核種與活度

	Source Term S ₁	Source Term S ₂
¹⁴⁰ Ba	3.13E+15	—
¹³⁴ Cs	1.76E+16	1.13E+16
¹³⁷ Cs	1.53E+16	9.66E+15
¹⁴¹ Ce	1.77E+13	—
¹⁴⁴ Ce	1.15E+13	—
¹³¹ I	1.59E+17	1.24E+17
¹³² I	1.30E+13	—
¹³³ I	4.21E+16	—
¹³⁵ I	2.27E+15	—
¹⁰³ Ru	7.50E+09	—
¹⁰⁶ Ru	2.14E+09	—
^{127m} Te	1.09E+15	—
^{129m} Te	3.33E+15	—
^{131m} Te	4.95E+15	—
¹³² Te	8.80E+16	—
¹³³ Xe	1.13E+19	1.13E+19

Release Nuclides Data Input & Dose Evaluation

Release Data

Source Term Category: LOCA

Release Plume: Release04

Release Start: 2015.09.24 10:30

Release Duration (min): 120

Edit Plume

Release Dose Evaluation: Estimate

Released Nuclides and Total Activities Unit: Bq

☐ I-134	☐ Te-129m	☐ Co-58	☐ Y-91	☐ Nd-147
☐ I-135	☐ Te-131m	☐ Co-60	☐ Zr-95	☐ Np-239
☐ Rb-86	☐ Te-132	☐ Mo-99	☐ Zr-97	☐ Pu-238
☐ Cs-134	☐ Sb-127	☐ Tc-99m	☐ Nb-95	☐ Pu-239
☐ Cs-136	☐ Sb-129	☐ Ru-103	☐ La-140	☐ Pu-240
☐ Cs-137 4.700E+011	☐ Sr-89	☐ Ru-105	☐ Ce-141	☐ Pu-241
☐ Te-127	☐ Sr-90	☐ Ru-106	☐ Ce-143	☐ Am-241
☐ Te-127m	☐ Sr-91	☐ Rh-105	☐ Ce-144	☐ Cm-242
☐ Te-129	☐ Ba-140	☐ Y-90	☐ Pr-143	☐ Cm-244

WD: Wind Direction (Degree) WS: Wind Speed (m/s)
SC: Stability Class d1: -6.5 degC/km, d2: -3.5 degC/km

Time

Dose Type

圖 8-1 核一廠嚴重事故外釋射源項選單

Release Nuclides Data Input & Dose Evaluation

Release Data

Source Term Category: LOCA

Release Plume: Release01

Release Start: 2017.06.18 20:00

Release Duration (min): 11520

Edit Plume

Release Dose Evaluation: Estimate

Released Nuclides and Total Activities Unit: Bq

☐ I-134	☐ Te-129m	☐ Co-58	☐ Y-91	☐ Nd-147
☐ I-135	☐ Te-131m	☐ Co-60	☐ Zr-95	☐ Np-239
☐ Rb-86	☐ Te-132	☐ Mo-99	☐ Zr-97	☐ Pu-238
☐ Cs-134	☐ Sb-127	☐ Tc-99m	☐ Nb-95	☐ Pu-239
☐ Cs-136	☐ Sb-129	☐ Ru-103	☐ La-140	☐ Pu-240
☐ Cs-137 1.600E+014	☐ Sr-89	☐ Ru-105	☐ Ce-141	☐ Pu-241
☐ Te-127	☐ Sr-90	☐ Ru-106	☐ Ce-143	☐ Am-241
☐ Te-127m	☐ Sr-91	☐ Rh-105	☐ Ce-144	☐ Cm-242
☐ Te-129	☐ Ba-140	☐ Y-90	☐ Pr-143	☐ Cm-244

WD: Wind Direction (Degree) WS: Wind Speed (m/s)
SC: Stability Class d1: -6.5 degC/km, d2: -3.5 degC/km

Time

Dose Type

圖 8-2 核二廠嚴重事故外釋射源項選單

Release Nuclides Data Input & Dose Evaluation

Release Data

Source Term Category: LOCA

Release Plume: Release01

Release Start: 2016.11.30 20:00

Release Duration (min): 11520

Edit Plume

Release Dose Evaluation: Estimate

Released Nuclides and Total Activities Unit: Bq

☐ I-134	☐ Te-129m	☐ Co-58	☐ Y-91	☐ Nd-147
☐ I-135	☐ Te-131m	☐ Co-60	☐ Zr-95	☐ Np-239
☐ Rb-86	☐ Te-132	☐ Mo-99	☐ Zr-97	☐ Pu-238
☐ Cs-134	☐ Sb-127	☐ Tc-99m	☐ Nb-95	☐ Pu-239
☐ Cs-136	☐ Sb-129	☐ Ru-103	☐ La-140	☐ Pu-240
☐ Cs-137	1.780E+015	☐ Ru-105	☐ Ce-141	☐ Pu-241
☐ Te-127	☐ Sr-89	☐ Ru-106	☐ Ce-143	☐ Am-241
☐ Te-127m	☐ Sr-90	☐ Rh-105	☐ Ce-144	☐ Cm-242
☐ Te-129	☐ Ba-140	☐ Y-90	☐ Pr-143	☐ Cm-244

2016.12.03 08:00 067

2016.12.03 14:00 067

2016.12.03 20:00 067

2016.12.04 02:00 067

2016.12.04 08:00 067 05 d1 SET

2016.12.04 14:00 079 05 d1 SET

2016.12.04 20:00 079 05 d1 SET

2016.12.05 02:00 067 05 d1 SET

2016.12.05 08:00 079 05 d1 SET

2016.12.05 14:00 067 05 d1 SET

2016.12.05 20:00 067 05 d1 SET

2016.12.06 02:00 067 05 d1 SET

2016.12.06 08:00 067 05 d1 SET

WD: Wind Direction (Degree) WS: Wind Speed (m/s)
SC: Stability Class d1: -6.5 degC/km, d2: -3.5 degC/km



Time

Dose Type

圖 8-3 核三廠嚴重事故外釋射源項選單

9. 辦理系統操作與伺服器端例行運轉之維護訓練

9.1 系統操作訓練課程

年度之劑量評估系統訓練課程分為理論說明與系統介紹，以及上機實作兩部分。於 106 年 3 月 24 日 9 點至 12 點辦理大氣擴散與氣象預報技術的說明，以及劑量評估系統新功能的介紹，簽到單如圖 9-1，附件一與附件二為訓練課程教材。於 106 年 7 月 5 日 9 點至 12 點為辦理劑量評估系統實際案例操作訓練，簽到單如圖 9-2。

另本計畫配合年度核安演習緊急應變人員再訓練課程，針對劑量評估系統項目提供講師與教材，共計 4 場。

行政院原子能委員會 核能研究所 核子事故緊急應變劑量評估系統訓練課程簽到單			
時 間 106 年 03 月 24 日上午 09 時 00 分~			
地 點 原能會四樓會議室			
出席人員：請簽名			
單位	姓名	職稱	
輻防處	蔡親賢	科長	
試運組	許蕙安	副研究員	
輻防處	朱屏丹	技正	
核技處	許恒瑞	技士	
物管局	毛錫勳	技正	
核技處	張維花	技士	
核技處	黃劍豪	技佐	
核技處	蔡晉文	技士	
輻防處	鄧之平	技士	
核技處	賴佑琳	技士	
輻防處	林貞鈞	技正	
核技處	羅玉芳	技正	
交車組 鍾如			

圖 9-1 106.03.24 訓練課程簽到單

行政院原子能委員會 核能研究所
核子事故緊急應變劑量評估系統訓練課程簽到單

時 間 106 年 07 月 05 日上午 09 時 00 分~

地 點 原能會四樓會議室

出席人員：請簽名

單位	姓名	職稱	
輻射防護處			
試導組	許嘉祥	副研究員	
輻防處	葉漢輝	技士	
輻防處	蔡親賢	科長	
輻防處	林復向	技正	
輻防處	李俊良	工程師	
輻防處	陳之平	技士	
中環組	鄧仁光	副研究員	
	何俊傑	助理	
核研所	張淑君	副研究員	

1

圖 9-2 106.07.05 訓練課程簽到單

9.2 劑量評估系統維運

今年度 2 月份下旬開始，降尺度系統新增了 6 個解析度之氣象模式資料，其 6 個解析度分別為台灣北部、南部包含核電廠區域之 1 公里、0.5 公里、0.25 公里解析度，由於降尺度系統之工作量增加，因此將所有的作業化程序移至數量較多中央處理器 (CPU) 之伺服器上，以節省運算時間，因此在附件一中核子事故劑量評估系統作業運轉維護年度檢查表，也新增了這幾個項目在 A-1 的欄位中。

在 106 年度之核子事故劑量評估系統作業運轉維護年度檢查表，包含網路連線、資料產出、繪圖產出這三大部分，網路連線問題約佔 1~2%，為較不可抗因素，但經事後資料補齊，對整體系統來說影響不會太大，氣象資料降尺度系統部分，其發生問

題多來自上游資料之延遲所造成，而劑量評估系統氣象資料前處理部分之缺失受網路連線問題及降尺度系統之影響，大約占 1~3 個百分比。擴散與劑量的模擬也是相同的大約是 3%左右的資料是經過事後修復的。最後，繪圖輸出的部分，因為擴散與劑量模擬結束時間因風場的因素，其模擬結束的時間較難預測，因此容易造成繪圖時間啟動時，模擬尚未完成的情形，因此其需要修補的資料大約佔 5%。未來也將因應以上之問題發生，改寫作業腳本(Shell script)，使上述問題發生機率降低，系統之效能更佳。

此外氣象局 CWB GFS 模式升級，由原本的 T319L40 版本更新為 T511L60 版本，模式的水平解析度由 0.5 度提高至 0.25 度，垂直解析度由 40 層增加至 60 層，舊版本於 106 年 4 月下線。CWB GFS 模式的資料主要是應用於原劑量評估系統的氣象資料庫，利用 CWB GFS 8 天每 6 小時 1 筆的預報資料，內插出各個核電廠附近具代表性的風場、穩定度之氣象資訊，以提供給系統進行風場混合程序，產出劑量評估系統之氣象資料。而舊版本的 CWB GFS 資料使用的是垂直座標為 sigma-level 的資料，資料名稱為 GGMG，但新版本的 sigma-level 資料產出的預報時間解析度不敷使用，因此改用垂直座標為 p-level 的資料，資料名稱為 GH0G，並且採用 10 公尺的 u、v 風速，計算風向、風速。

在 Web-Base 劑量評估系統操作介面上，為配合操作者需求，本年度於現行系統新增自訂釋放源位置(如圖 9-3)及外釋量快速設定功能，以便使用者操作。系統之操作流程於個案設定中包含電廠位置挑選、模式挑選及外釋量時序編修等 3 步驟，使用者依序完成各階段設定後即可啟動模擬。另系統移除產品下載功能，並將圖形產品展示頁面更換為新繪圖展示結果。

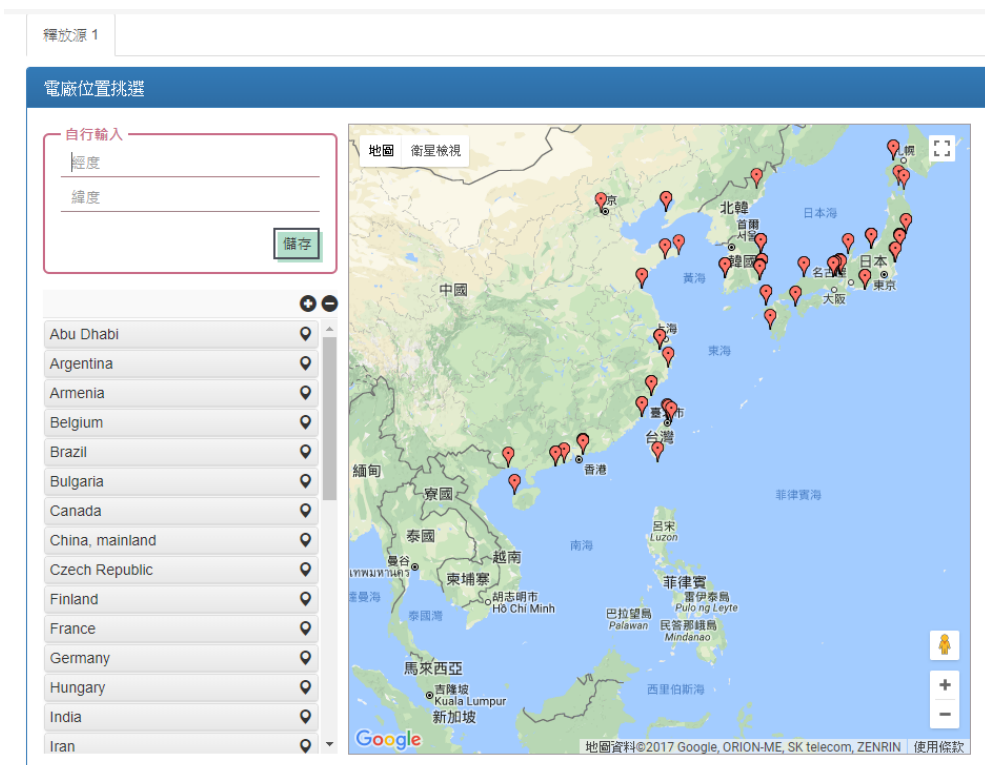


圖 9-3 自訂釋放源位置功能

9.3 劑量評估系統之系統文件更新

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，所以在系統文件的基本理論會依序介紹，除了基本理論之外，也詳細說明目前新一代劑量評估系統每日的例行作業的執行內容，完整系統文件收錄在附件二。

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，取代資料庫的方式，新一代劑量評估系統之氣象的部分具有較佳的預報資訊，此部分會介紹降尺度系統的基本理論。

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。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，乘上各核種的劑量轉換因數得到，其中也包含計算核種的半衰期。

目前系統即時氣象資料庫，除了各核電廠例行假想事故中會用到的 NCEP 預報資料和降尺度處理過後水平 2.5 公里解析度的 NCEP 預報資料，於每天固定 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，各資料原始格式、存放位置以及整合至 A2Ct&d 模式可使用的資料過程。上述資料目前存放時間為 15 天。

系統文件最後，為說明了目前每天例行假想事故的模擬資訊，核一、核二與核三廠分別模擬 Cs137 和 I131 核種，8 天的預報結果，和大陸福清電廠 Cs137 的預報結果，每天包含全身有效劑量率、地表輻射劑量率、甲狀腺等價劑量率和地表沉降量的結果輸出，以供參考。

本系統之系統文件包含說明系統本身的文件還有標準作業程序書和緊急應變程序數，今年度也因應核電廠區域巢狀網格氣象預報資料的增加，以及作業伺服器的更動進行了文件的改版，如附件二~附件四。

9.4 國際核子試爆擴散模擬

9.4.1 疑似俄羅斯核試爆模擬評估

根據外電報導歐洲測得放射性碘-131，疑似點為俄羅斯去

(105)年12月底至今(106)年1月間於極地地區進行核試爆所造成。本計畫即針對此議題進行核試爆放射性物質之模擬，以評估放射性物質經大氣擴散傳送對台灣地區影響。其模擬範圍第一層為全球的範圍，解析度為0.5度，使用NCEP GFS模式資料，第二層以釋放源為中心解析度2.5公里，使用經降尺度系統處理之NCEP GFS模式資料，射源為 $1 \times 10^{10} \text{ Bq/s}$ 採連續釋放，相當於311福島事故之量級。

模擬結果如圖9-4顯示主要傳輸路線有二，一為向東傳輸，影響範圍可到達中國東北、韓國、日本製美國北部及加拿大地區。另一向西傳輸，影響範圍主要為北歐地區，且此路徑在北歐之影響程度較往東至中國、日韓、美國高約1個數量級以上。這也是北歐地區會測得放射性碘131的主要因素。

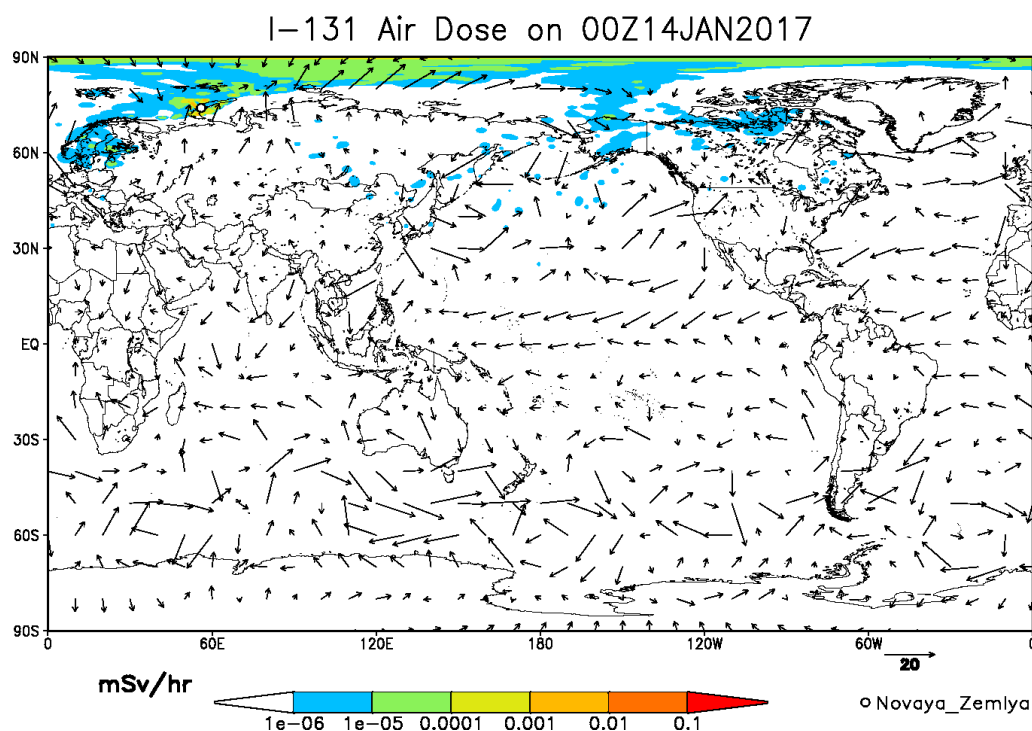


圖 9-4 放射性碘 131 有效劑量模擬結果

依當時綜觀氣象條件分析，絕大多數的影響區域均在北緯60度以上，在東亞地區因阿留申低壓帶的影響，會稍微往南帶

到北緯 30 度以南（太平洋中央）。台灣地區基本上不會有任何的影響，雖然隨著大氣擴散，台灣地區可能有些微放射性物質飄散至本島上空，其量值初估會較目前北歐國家量測到的值小至少 4 個數量級以上。

9.4.2 北韓核試爆模擬評估

今(106)年 4 月，北韓進行多次飛彈試射，引發朝鮮半島情勢緊張。本計畫也於該時期，模擬北韓可能發射核彈攻擊所造成的輻射擴散影響結果，本次模擬設定，第一層為全球的範圍，解析度為 0.5 度，使用 NCEP GFS 模式資料，第二層以釋放源為中心解析度 2.5 公里，使用經降尺度系統處理之 NCEP GFS 模式資料，射源為 $1 \times 10^{10} \text{ Bq/s}$ 採連續釋放。模擬結果圖 9-5 顯示該期間大環境風場為西風，放射性物質主要往東邊擴散，如圖 9-5，同時因距離因素，可能影響台灣地區的量值已較最嚴重區域小 4 個數量級以上。

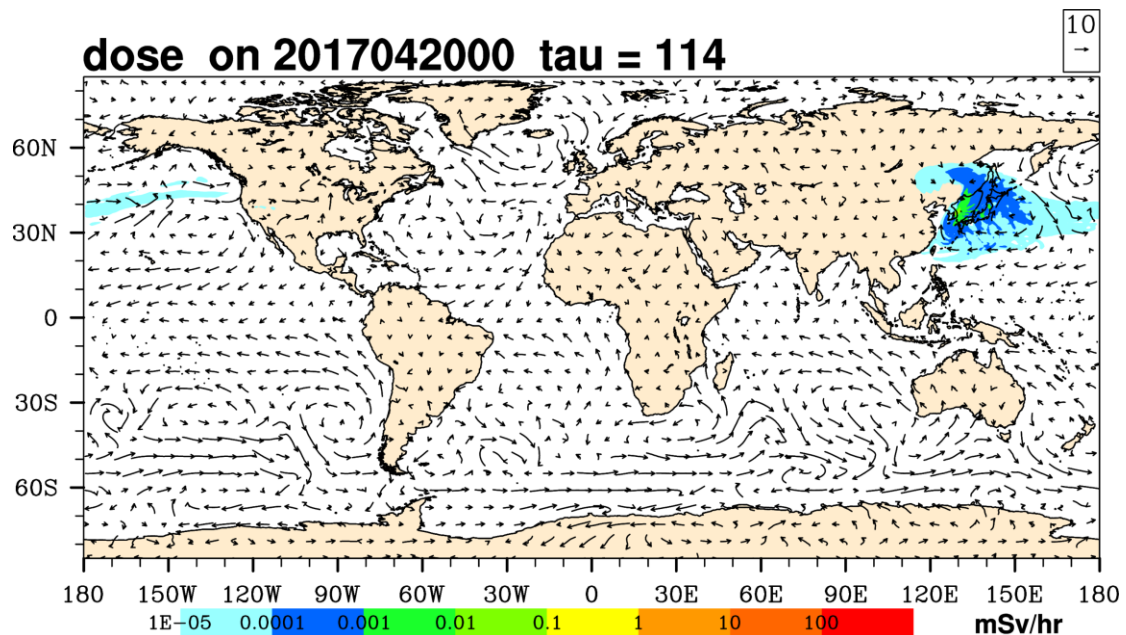


圖 9-5 北韓可能核彈攻擊之擴散模擬結果

今(106)年 9 月 3 日北韓進行氫彈試爆，本系統配合原能會

啟動國際核災輻射影響評估系統，以 Cs-137 1.0 Bq/hr 作為外釋射源項，利用 NCEP GFS 氣象預報資料，每日兩次更新輻射塵擴散趨勢預測（案例如圖 9-6），供原能會發佈新聞稿之用，適時澄清國人對於輻射塵是否侵台的疑慮，配合於 9 月 3 日至 9 月 16 日完成二週之定期追蹤，根據大氣擴散趨勢，掌握對臺灣地區可能之輻射影響。後續也將密切觀察朝鮮半島動態隨時待命。

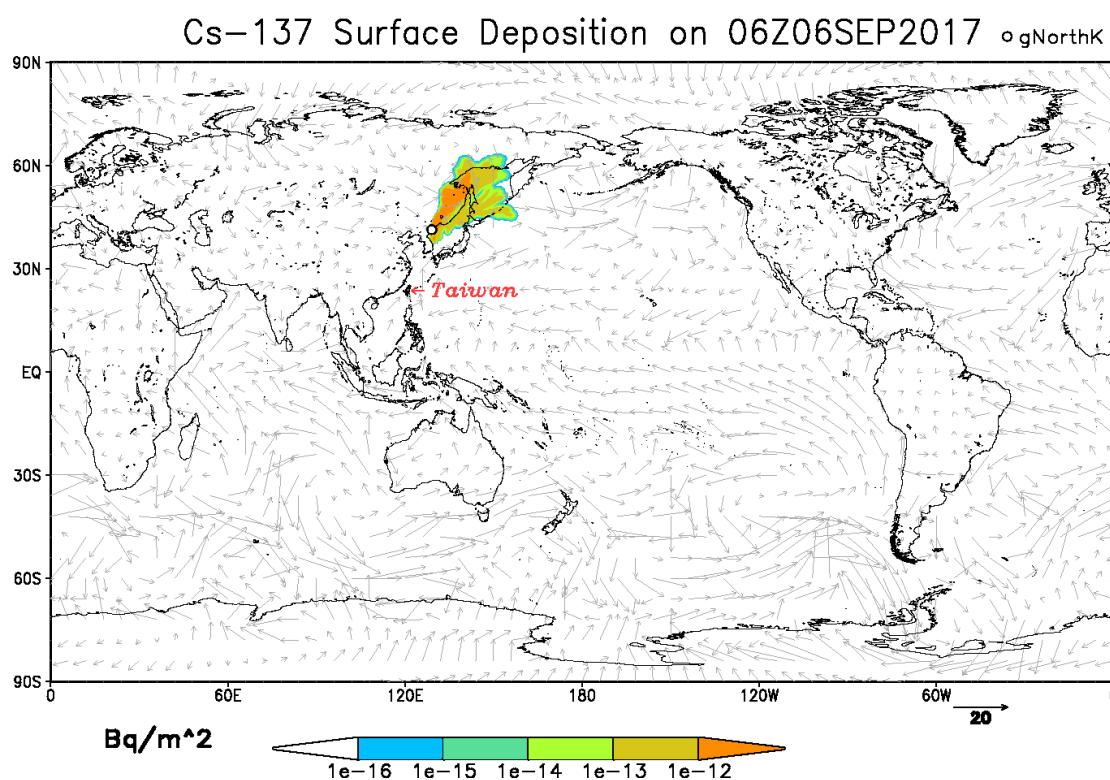


圖 9-6 106/09/03 北韓氫彈試爆輻射影響評估

10. 結論與說明

10.1 結論

核二廠氣象場三層降尺度系統已完成建置，其三層巢狀網格的設定如下：中心點設定為東經 121.6252，北緯 25.2444，參考緯度為北緯 30 度和 60 度，參考經度與中心點的經度相同。利用 MDDS 全台灣全真化 2.5 公里解析度氣象資訊，經三層巢狀網格從 2 公里解析度降尺度至 250 公尺解析度，其分別滿足核二廠 1 公里解析度半徑 30 公里範圍、500 公尺解析度半徑 20 公里範圍、250 公尺解析度半徑 10 公里範圍。所得之核二廠周圍的高解析度氣象場，後續可以提供給新一代劑量評估系統進行核二廠周圍的高解析度的擴散評估。

測試案例為 2017 年 04 月 01 號 00Z 的時間點，其天氣系統為一冷高壓產生的冷鋒面過台灣後的東北風情況，受冷高壓影響台灣地區風向多為東北風。從 1 公里的分析場中可以看到東北風從陽明山東側進入後遇到雪山山脈阻擋轉向成東風進入台北盆地，且因陽明山阻擋了東北風直接跨越，故在陽明山的西南側產生了一西南風系偏南風的風場(繞流)，隨著解析度的提高 MDDS 也解析出淡水河上面的東北風在蘆洲三重士林一逆時針的渦旋，是陽明山西南側產生西南風的主要原因，對比地面觀測站的圖亦支持其風場變化。壓力擾動場可以看到隨著解析度的增加，越能解析出壓力場在地形上面的變化，地形越高壓力越小，陽明山上的壓力是最小的；同樣溫度擾動場可以看到隨著解析度的增加，越能解析出溫度擾動場在地形上面的變化，越高的地形溫度場越

低，在陽明山的東北側風場受地形阻擋而一小部分風場下沉增溫，可以看到陽明山東北側的溫度場較西半邊高的配置。

核二廠區的新增的 3 高解析度 (1 km / 500 m / 250 m) 的氣象場範圍，以符合劑量評估系統之需求，取代資料庫形式之高解析度三維氣象資料，提供更好的氣象預報資料。由 2017/06/14 的假想個案，我們可以看到在各個不同解析度，沉降量濃度以及劑量率分布都有所不同，在較低解析度，較大的範圍中，主要聚焦在其大方向的分布，在較高解析度，較小的範圍中，極值發生的位置以及量值的大小，則是我們特別需要關注的部分，因此核二廠 4 層巢狀網格之劑量評估系統的建置，在事故發生時，提供更全面的資訊。

地面測站傳統觀測資料（包含局屬測站、機場測站、自動氣象站、農業測站）引入 MDAS 部分，設定觀測資料與 MDDS 之物理限制條件均為 1，此為希望觀測資料和物理條件並重。並藉由各觀測資料的觀測誤差以及調整各種觀測資料的權重使其初始之誤差斜方差一致。藉由實際案例發現，引入地面測站之傳統觀測資料後，MDAS 除了能保留經由降尺度過程所解析出來的細網格的地形效應，並且能藉由地面傳統觀測資料的加入使動力降尺度至細網格之解析結果更符合實際的氣象資訊。高空觀測資料部分，MDAS 引入了民用飛機觀測 (airep)、投落送 (tempdrop)、颱風渦旋之飛機偵查 (cortex_recco)、高空溫壓報 (temp) 與高空風報 (pilot)、海面船舶探空溫壓報 (tempship)、衛星風報 (satob) 及衛星雲導風 (cdw) 共 8 種高空觀測資料，並且依據劇烈天氣預報系統 (LAPS) 之觀測資料處理模組建立的高空資料品質控制系統。

本土化射源項回推方法建立與驗證部分，理想案例中釋放源釋放量精準的回推計算，驗證了射源項回推方法的合理性；而一般案例中的多數釋放率時段能有合適的回推結果，僅於少數區段回推結果落差較大，誤差主要為隨機亂流擾動造成的煙陣位置差異所導致；日本福島事故射源項重建部分，整體而言釋放率量級及起伏趨勢都與 JAEA 的回推成果接近，且在氫爆時間點的釋放率高值也都有相對應的回推成果。將釋放率回推結果回饋於 A2Ct&d 劑量評估模式模擬後，顯示在量測資料不完整的情況之下，模擬結果依然能夠掌握大致的分布情況，回推模擬情況多能符合大量外釋的時間點，配合核電廠廠址周圍有限的即時監測結果，可為事故早期階段的劑量評估進行修正，以填補各劑量觀測站之間的劑量分布資訊，同時做為緊急應變行動之參考。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，提供決策者合適的資訊及決策依據。

因應更多作業化程序的需求，將整套系統升級到更多運算核心 (cpu) 之伺服器，提高整套系統的效能，因此在系統文件的部分也針對這些部分進行了更新，而 GUI 操作顯示介面，隨著系統的更新以及使用者的需求，增加了操作的選擇性，以期待此套系統能有更好的靈活度及實用性。

10.2 總結

期末完成所有查核點工作項目如下：

1. 完成核二廠區 3 層巢狀網格區（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）降尺度氣象預報系統開發與建置。
2. 完成核二廠 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。
3. 完成故料庫類型核子事故緊急應變劑量評估系統之核二廠氣象資料庫更新。
4. 完成年度劑量評估專業與操作訓練課程。
5. 完成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。
6. 完成高空觀測資料品質控制前置處理模組、地面資料引入及同化模組開發。
7. 完成劑量評估系統匯入與顯示臺灣區域環境輻射即時監測資訊傳輸功能開發。
8. 利用本土化的射源項回推作業程序，應用於福島事故地區，其氣象資料由降尺度氣象預報系統應用於日本地區而獲得，輻射塵量測分析資料為日本福島事故實際量測資料，重建日本福島事故射源項推估。
9. 完成核子事故劑量評估系統作業運轉維護年度執行檢查表。

執行進度完成預定查核點，同時配合協助提供國際間核子試爆的擴散模擬，核技處緊急應變與劑量評估系統宣傳影片分鏡表，及動態影片製作，以及參與年度核安演習技術組劑量評估作業。

11. 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. 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.
3. Bürger G. 1996. Expanded downscaling for generating local weather scenarios. *Climate Research* 7: 111–128.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Businger, J. A., Wyngaard, J. C., Izumi, Y., and Bradley, E. E., 1971: Flux-Profile Relationships, *J. Atmos. Sci.*, 28, 181-189.
8. Businger, J. A., 1973: A note on free convection. *Boundary-Layer Meteorol.*, 4, 323-326
9. 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.

10. 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.
11. Chino M et al. Preliminary estimation of release amounts of ^{131}I and ^{137}Cs accidentally discharged from the Fukushima Daiichi nuclear power plant into the atmosphere. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 2011, 48(7):1129–1134.
12. 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.
13. Cavazos T, Hewitson BC. 2005. Performance of NCEP-NCAR reanalysis variables in statistical downscaling of daily precipitation. *Climate Research* 28: 95–107.
14. Chu, J.L., et al., Seasonal forecast for local precipitation over northern Taiwan using statistical downscaling. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 2008. 113(D12)
15. Deardoff, J. W., 1968: Dependence of air-sea transfer coefficients on bulk stability. *J. Geophys. Res.*, 73, 2549-2557
16. 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
17. 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.
18. 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.

19. Frei C, Christensen JH, D'équ'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.
20. 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.
21. Grotch SL, MacCracken MC. 1991. The use of general circulation models to predict regional climatic change. *Journal of Climate* 4:286–303.
22. 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.
23. 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
24. 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.
25. 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.

26. 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.
27. 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.
28. 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.
29. 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.
30. Huth R. 1999. Statistical downscaling in central Europe: evaluation of methods and potential predictors. *Climate Research* 13: 91–101.
31. Kang, H., et al., Multimodel output statistical downscaling prediction of precipitation in the Philippines and Thailand. *Geophysical Research Letters*, 2007. 34(15)
32. 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.
33. Lorenz, E. N., 1960: Energy and numerical weather prediction. *Tellus*, 12, 364–373.
34. Louis, J. F., 1979: A parametric model of vertical eddy fluxes in

- the atmosphere. *Bound.-Layer Meteor.*, 17, 187–202
35. Murphy J. 2000. Predictions of climate change over Europe using statistical and dynamical downscaling techniques. *International Journal of Climatology* 20: 489–501.
 36. 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.
 37. 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.
 38. 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.
 39. Roland R. Draxler, “description of the hysplit 4 modeling system,” Air Resources Laboratory, Silver Spring, Maryland, Dec. 1997.
 40. Sasaki YK., 1969: Proposed inclusion of time-variation terms, observational and theoretical in numerical variational objective analysis. *J Meteor Soc Japan* 47:115–203
 41. Sasaki YK., 1970a: Some basic formalisms in numerical variational analysis. *Mon Wea Rev* 98:857–883
 42. 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
 43. 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
44. 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.
 45. 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.
 46. 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.).
 47. 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
 48. 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.
 49. Troen, I., and L. Mahrt, 1986: A simple model of the atmospheric boundary layer; sensitivity to surface evaporation. *Bound.-Layer Meteor.*, 37, 129–148.
 50. 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

51. 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.
52. Wilby RL, Wigley TML. 1997. Downscaling general circulation model output: a review of methods and limitations. *Physical Geography* 21: 530–548.
53. Wilby RL, Conway D, Jones PD. 2002a. Prospects for downscaling seasonal precipitation variability using conditioned weather generator parameters. *Hydrological Processes* 16: 1215–1234.
54. 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.
55. 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.
56. 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
57. 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.

58. 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.
59. 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.